An International Publication of Engineering Science



ALG RIAN JOURNAL

OF

TECHNOLOGY

DE L'EAU POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN

Congrès international organisé par :

le Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau LRS-Eau/ ENP) et le Réseau Méditerranéen des Ecoles d'Ingenieurs (RMEI)

Alger le 21-22-23 Mai 2005

Numéro spécial





An International Publication of Engineering Science





ALGERIAN JOURNAL OF TECHNOLOGY

DE L'EAU POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN

Alger le 21-22-23 Mai 2005

Congrès international organisé par :

le Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau (LRS-Eau / ENP) et le Réseau Méditerranéen des Ecoles d'Ingénieurs (RMEI)





Avec la collaboration de :

CDER : Centre de Développement des Energies Renouvelables

CRSTRA : Centre de Recherches scientifiques et Techniques des Régions Arides : Centre d'Etude et de Recherche en Information Scientifique et Techniques

CDTA : Centre de développement en Technologie Avancé

INA : Institut National Agronomique

ADEP : Association des Anciens élèves de l'ENP

ANDRU : Agence Nationale de Développement de la Recherche Universitaire





















Présidents d'honneur:

Directrice ENP: Pr. Ghania NEZZAL Président RMEI: Pr. Philippe ZANIN

Président

Directeur LRS-EAU/ENP/RMEI: Pr. Ahmed KETTAB

Comité d'organisation

Présidents: Mlle BENMAMAR Saida (1) - Mr. BENZIADA Salim (2)

KETTAB Ratiba LRS-EAU/ENP Coordination **BAMMOUN** Aicha LRS-EAU/ENP Coordonnateur pays Anglophones

ARRAR Diazia LRS-EAU/ENP **GACEMI** Fatiha LRS-EAU/ENP

YOUCEF ETTOUMI Fatiha LRS-EAU/ENP - USTHB

MIHOUBI Kamel LRS-EAU/ENP BOUBAKEUR Ahmed ADEP/ENP LARBES Cherif AJOT/ENP

ZILE Soihilé Coordonnateur Europe/RMEI **BOUZID** Tallal Coordonnateur Tunisie/RMEI **BENMANSOUR** Nadia Coordonnateur Maroc/RMEI

JACQUES Louis RMEI

BOBEE Bernard Coordonnateur Amériques/ INRS-ETE-Canada

KEHAL Salim CDER **BOUCHAHM** Noura CRSTRA HADJ SAID Samia **CRSTRA** Farida **ADMANE** CERIST **BERRAOUI** Yasmina CERIST **HENDA** Karim CDTA BOUZNAD Zouaoui INA TALEB Safia U. Bellabès

LEMDJED Mohamed ENP

AOUAR Aziza ENP Relations extérieures

SEBAIBI Zhor LRS-EAU/ENP

ENP **MAHTOUT** Ouahiba

HENIN Said LRS-EAU/ENP

(1) LRS-EAU/ENP Responsable de l'organisation scientifique (2) LRS-EAU/ENP Responsable de l'organisation logistique

Secrétariat de la Conférence:

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau - LRS-EAU ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE (E.N.P.)- Alger 10, Av. Hacène - Badi BP182 El-harrach 16200 ALGER.

Tél.: [213] (0) 21 82 33 79/81

Fax: [213] (0) 21 82 33 79/81; 21 52 29 73

Mail: Kettab@yahoo.fr

LRS-EAU@netcourrier.com

Web: www.enp.edu.dz www.lrs-eau-enp.dz







Présidents d'honneur:

Directrice ENP: Pr. Ghania NEZZAL Président RMEI: Pr. Philippe ZANIN

Président

Directeur LRS-EAU/ENP/RMEI: Pr. Ahmed KETTAB

Comité Scientifique:

Professeurs:		
ABBAS Abderrahiim	Prof.	U. Manama, Bahrein
Abdel-Aziz Turbak	Prof	U. Saudi Arabia, Saudi Arabia
ACHOUR Bachir	Prof	U. Biskra, Algérie
AIDAOUI Abdellah	Prof	INA , Algérie
Al-WESHAH Redwan	Prof	UNESCO, Egypte
ATTIA Fatma	Prof	M. H. Egypte
BALABAN Miriam	Prof	EDS. Italie
BELHAMEL Mayouf	Dr.	CDER, Algerie
BENHADID Salah	Prof.	USTHB, Algérie
BENMANSOUR Nadia	Prof.	EMI Rabat, Maroc
BENNACAR Naoual	Dr.	Univ. Nice France
BERRAH Mounir Khaled	Prof	ENP, Algerie
BEYHAN Oguz	Prof.	ITU Istambul, Turquie
BIHRAT Önöz	Prof.	ITU Istambul, Turquie
BOBEE Bemard	Prof.	INRS-ETE, Canada
BOUHADEF Malek	Prof.	U.S.T.H.B, Algérie
BOUHLILA Rachida	Prof.	ENIT, Tunisie
CANDELLA Lucila	Prof.	U. Barcelone, Espagne
CARUBA Raoul	Prof	UNESCO Nice, France
DAİBES Fadia	PhD	U. Palestine, Palestine
DJABRI Larbi	Prof.	U. Annaba, Algérie
DJELLOULI Yamna	Prof.	U. Mans, France
ENCARNACIÓN Rodriguez	Prof.	Polytec. Barcelona, Espagne
GERASSIMOS Lyberatos	Prof.	U. Patras, Grèce
HALAWANI Jalal	Prof.	U. Libanaise, Liban
HUSEYIN Gokcekus	Prof.	U. Chypre, Chypre
JALEL Bouzid	Prof.	ENIS, Tunisie
KABAY Nalan	Prof.	U. EGE, Turkey
KHAMMAR Farida	Prof.	CRSTA, Algérie
KHERBACHI Rabah	Prof.	ENP, Algérie
KULCZYCKA Joanna	Prof.	U. Varsovie, Pologne
LABORDE J.Pierre	Prof.	U. Nice. France
LARABI Abdelkader	Prof.	EMI Rabat, Maroc
MAISSEU André	Prof.	U. Paris 6. France
MASSOUH Fawaz	Prof.	ENSAM Paris, France
MANDY Laila	Prof.	U. Marrakech, Maroc
Nalān KABAY	Prof.	ITU Istamboul, Turquie
NEDJRAOUI Dalila	Prof.	USTHB, Algérie
REMINI Boualem	Prof.	U. Blida, Algérie
SAFI Mohamed	Prof.	ENIT, Tunisie
SHATANAWI Mohamed	Prof.	U. Amman, Jordanie
SMETS Henry	Prof.	Académie de l'eau, France
TALEB Safia	Prof.	U. Belabes, Algérie
THIRRIOT Claude	Prof.	INPToulouse, France
TOUCHAN Havat	Prof.	U. Alep, Syrie
OUARDA Taha	Prof.	INRS-ETE, Canada
YAHI Hamid	Prof.	U. Tizi Ouzou, Algérie
ZILLI Mario	Prof.	U. Italie, Italie
Personnalités:	1.101.	C. Maile, Italie
ABDULRAZZAK M	Director	of UNIESCO (Colo)

ABDULRAZZAK M. Director of UNESCO (Cairo) BABES Md Seghir BENTIR Mohamed Coord. U. Laval/ex Ministre Algérie Algérie Président ADEP SG UNESCO BERCHICHE Tahar Algérie BOUMEDIENNE BRUN Jean François DG ADE Algérie Président EA-Pôle eau France CIENZO Reyne Présidente HYDROTOP Directeur wrd-ACSAD France DROUBI Abdellah COULOM Thierry ORY Christian Syrie V/Président Nancie France Direct. Houille Blanche France DONZIER Jean François France FAIO Bilal Direct. Sciences ISESCO Maroc GENTILINI Marc Président Académie de l'eau LESTRAT Anne MARGAT Jean France V/Président Plan Bleu France TAIBI Rachid DG ANRH DG Conseil Mondial de l'eau

Président Revue Science de l'eau

ZIMMER Daniel

AMBLARD C.

Algérie France Canada







Member of world council of water
Member of water French Academy.
Member of Mediterranean institute of water (IME)
Member founder of Arab Council of water
Coordinator of one group of Mediterranean Action on water – RMEI - France
Consultant/ International Expert
Member of scientific committee of internationals journals
Professor/Director of Research at ENP
Director of laboratory Research Sciences of Water ENP – Algiers



The water for sustainable development

It is universally proven these last years in the various reports of UN, UNESCO, and World Council of water, Agenda of 21st, the Blue Plan... that the water resources will cause a serious problem to humanity since 2005. Two thirds of planet is likely to suffer of a serious lack of water (if it is not already the case) in case where the current diagrams of the policy, of the strategy of water remain unchanged. A sustainable development for humanity with a rational and optimal use of the water resources requires a new international vision, regional, even national.

It is from now largely allowed that the implementation of a sustainable development requires to put in equation social and economic concerns at the environmental concerns by taking account of the essential factor and limit namely water.

Water, natural resource increasingly rare, is part of the inheritance of a nation and also an inheritance of Humanity. Its protection, its valorisation and the development of the resources usable within the framework of natural balances are of a general interest for the nation and the world. We must take care of the respect of this noble principle and to regard water as an economic and social good and its access is a right for each individual.

Water is essential for the man. It always plays a significant role in the History of Humanity. Source of life, it causes also conflicts in many areas of the world. In this beginning XXI century, water becomes an important stake and only the nations which will have known to preserve their hydrous capital will be able to survive. The countries of the Mediterranean basin, considered as semi-arid will be confronted more and more with water shortages, so much the pressures coming from agriculture, industry and the populations are important and increasing in this area. In this context, water has a socio-economic and geopolitical particular value. The technical and financial solutions imply, in fact, solidarity between areas and states.

The management of water also must, above all, to take account of the sedentary questions and for this reason a certain number of agreements and conventions are essential

A sustainable approach of the resolution of the problems of water imposes innovating and global solutions to us which can beings conceived only by interdisciplinary teams working in network.

During these two intense days, a rich, varied, multi and pluri-disciplinary program with high level of scientist and technical, with 7 sessions and two workshops will allow us to discuss with the academics, the researchers, the industrialists, the policy makers, the managers, the officials elected, the clients, the water subjects of current events and a future.

The following topics are approached such as:

Strategies; water policy; vision of sustainable development; desalination of water sea; education; communication; training on water matter; technological progress and advances in sciences of water; regulation; institutions and management tools; adequate tools of financing and privatization.

You are thus cordially invited to take an active part in these days of 21st, and 23nd May 2005 at Hilton

Hotel in Algiers.

Pr. Ahmed KETTAB President of Congress







Membre du Conseil Mondial de l'Eau
Membre de l'Académie Française de l'Eau.
Membre de l'institut Méditerranéen de l'eau (IME)
Membre fondateur du Conseil Arabe de l'Eau
Coordonnateur d'un groupe d'action Méditerranéen sur l'Eau – RMEI - France
Consultant/Expert International
Membre de comité scientifique de revues internationales
Professeur/Directeur de Recherches à L'ENP
Directeur du laboratoire de recherches en sciences de l'eau – ENP – Alger



De l'eau pour un développement durable

Il est prouvé mondialement ces dernières années dans les différents rapports de l'ONU, de l'UNESCO, du Conseil Mondial de l'eau, de l'agenda 21, du Plan Bleu, ... que les ressources en eau vont poser un grave problème à l'humanité c'és 2005. Deux tiers de la planète risquent de souffrir d'un manque d'eau grave (si ce n'est pas déjà le cas) en cas où les schémas actuels de la politique, de la stratégie de l'eau restent inchangés. Un développement durable pour l'humanité avec une utilisation rationnelle et optimale des ressources en eau nécessite une nouvelle vision internationale, régionale, voire nationale.

Il est désormais largement admis que la mise en place d'un développement durable exige de mettre en équation des préoccupations sociales et économiques aux préoccupations environnementales en tenant compte du facteur essentiel et limite à savoir l'eau.

L'eau, ressource naturelle de plus en plus rare, est une partie du patrimoine d'une nation et aussi un patrimoine de l'Humanité. Sa protection, la mise en valeur et le développement des ressources utilisables dans le cadre des équilibres naturels sont d'un intérêt général pour la nation et le monde. Nous devons veiller au respect de ce noble principe et considérer l'eau comme un bien économique et social et son accès est un droit pour chaque individu.

L'eau est essentielle à l'Homme. Elle a toujours joué un rôle important dans l'Histoire de l'Humanité. Source de vie, elle est aussi source de conflits dans de nombreuses régions du monde. En ce début du XXI ième siècle, l'eau est devenue un enjeu de taille et seules les nations qui auront su préserver leur capital hydrique pourront survivre. Les pays du pourtour méditerranéen, considérés comme semi-arides seront de plus en plus confrontés à des pénuries d'eau, tant les pressions provenant de l'agriculture, de l'industrie et des populations y sont fortes et croissantes. Dans ce contexte, l'eau a une valeur socio-économique et géopolitique particulière. Les solutions techniques et financières impliquent, de fait, une solidarité entre régions et entre états.

La gestion de l'eau doit aussi, avant tout, tenir compte des questions sécuritaires et pour cela un certain nombre d'accords et de conventions sont indispensables.

Une approche durable de la résolution des problèmes de l'eau nous impose des solutions innovantes et globales qui ne peuvent êtres conçues que par des équipes interdisciplinaires travaillant en réseau.

Pendant ces deux jours intenses, un programme riche, varié, multi et pluri disciplinaire de haut niveau scientifique et technique, avec 7 sessions et deux ateliers permettra de débattre avec les universitaires, les chercheurs, les industriels, les politiques, les gestionnaires, les élus, les donneurs d'ordres des sujets d'actualités et d'avenir.

Les thèmes suivants sont abordés à savoir :

Stratégies; politique des eaux; vision et développement durable; dessalement des eaux de mer; éducation; communication; formation en matière d'Eau; avancées technologiques en sciences de l'eau; réglementation; institutions et outils de gestion; moyens de financement adéquats et privatisation.

Vous êtes donc cordialement conviés à participer activement à ces journées du 21 -2 3 Mai 2005 à l'Hôtel Hilton- Alger

Pr. Ahmed KETTAB Président du Congrès







SOMMAIRE

28 send to 29 seed 0.050 1880911 32 201 1	
Poulard CNavratil O. (France). « Une maquette de bassin versant interactive pour exposer au grand public les principes de prévention des inondations et de développement durable ».	11
Mebarki A Laborde J-P. (Algérie, France). «Ressources hydrologiques et stratégie d'aménagement et de protection des eaux : cas de l'Algérie orientale».	21
Berreksi A Benmamar S Remini BKettab A. (Algérie). « Simulation numérique des écoulements supercritiques à travers un élargissement de canal à forte pente ».	33
Hasbaia M Benayada L. (Algerie). "Simulation numérique du régime transitoire dans les cours d'eau naturels ».	41
Mitiche H Mitiche R Kettab A. (Algérie). Etude d'un mécanisme d'humidification par condensation en milieu poreux par une approche prévisionnelle	49
Boussahel R Babali N Harik D. (Algérie). « Réduction du lindane présent dans l'eau par le fer à la valence zéro ».	57
Baba Hamed S Belhadri MBenabdallah L Gaouar T. (Algérie). « Conséquences de la pollution des eaux sur la santé ».	65
Bengharez Z Taleb S Benghalem A. (Algérie). «Les fluorures dans les eaux de consommation de l'ouest Algérien »	75
Kirane D Bedioui SMorakchi H. (Algérie). « Utilisation d'Aspergillus sp et de Penicillium sp dans l'épuration biologique des eaux contaminées par le mercure (cas du lac oubeira) ».	79
Bouchahm N Achour S. (Algérie). «Les aquifères du Sahara septentrional algérien, une ressource importante comparée à une qualité médiocre ».	85
Broers, C.A.M. (Hollande). « New Developments in the Bioluminescence Assay».	95
Taleb S. (Algérie). « Confrontation des normes algériennes des eaux potables aux directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ».	101
Bessedik M. (Algérie). « Vers une gestion durable de l'eau en Algérie ».	109
Habi M. (Algérie). « Education et sensibilisation à la préservation de l'eau en Algerie ».	119
Kerboua B Bedia E. A. (Algérie). «Education et culture en matière d'eau et pour un développement durable ».	127
Tarakli M. (Algérie). L'eau en Algérie	137
Metaiche M Kettab A. (Algérie). « Modélisation mathématique des systèmes de dessalement di-etiage en série de production pour le dessalement de l'eau par osmose inverse »	141
Marmouch H Orfi J Ben Nasrallah S. (Tunisie). « Étude théorique et conception d'un distillateur solaire »	149
Bessenasse M. (Algérie) « Dessalement d'eau de mer : Etude de trois stations du littoral algérois »	159







Eaboratone de Recherenes des Sciences de l'eau : LRS-EAU	
Benmoussat A Habi M Hadjel M. (Algérie). « Etude sur le dessalement solaire et l'irrigation par condensation souterraine d'air humide »	167
Chouaki B. (France). « Nouveau type de prise d'eau de mer modulaire pour stations littorales de dessalement en matériaux géo synthétiques »	173
Kafi F Renaudin V Alonso D Hornut J.M. (France). "Thermal performances of three effects plate evaporator and preliminary design of an industrial ten effects desalination unit".	185
Halwani Jalal (Liban). « Reforme de la politique de la gestion l'eau au Liban pour un développement durable »	195
Yildiz Dursun - Ozguler Hamza (Turquie). « Water Problems of Mediterranean Developing Countries under the Climate Change Impact».	201
Lahlou A. (Maroc). «Socio-economic impacts of the erosion and silting-up of large dams in No Africa countries»	211
Saloui A Ben Aouda S. (Maroc). "L'eau au Maroc : Politiques actuelles et perspectives d'avenir ».	219
Remini B Remini W. (Algérie). « La sedimentation dans les barrages de l'Afrique du nord »	237
Önöz Bihrat et E. Beyhan Yeğen (Turquie). « Drought impact on water supply system of istanbul metropolis».	249
Zella L Kettab A Chasseriaux G. (Algérie, France). « Réseaux de micro-irrigation : Modélisation et dimensionnement ».	259
Afoufou Fateh - Achour Samia - Guesbaya Nacira (Algérie). « Influence de la minéralisation de l'eau sur l'élimination de quelques composes organiques aromatiques par coagulation - floculation »	271
Asmlal Lmahfoud (Maroc). «Etude d'Impact des Margines sur les Ressources en Eau au Maroc »	281
Berrahi Midoun Fatiha (Algérie). « Une irrigation de plus en plus rare et une gestion de l'eau en difficulté : La vulnérabilité des périmètres irrigués Oranais ».	287
Bessenasse M Kettab A Paquier A. (Algérie). « Contribution de la modélisation numérique du transport solide sur la gestion des barrages et le développement durable ».	297
Bouchrih Asma – Zerfa Fatma Zohra (Algérie). «Simulation numérique par dispersion et describent du transport d'un polluant chimiquement inerte dans un milieu poreux saturé ».	305
Boussahel Rachid - Harik Djamila- Dilmi A Ould Ramoul S. (Algérie). « Essais l'élimination du lindane présent dans l'eau par adsoprtion sur des charbons actifs en poudre ».	313
Chenaoui Bakhta - Touaibia Benina (Algérie). « Erosion quantifiée à partir des micro bassins t stations Hydrométriques du bassin versant de Oued Mina (Algérie).	319
Debabeche Mahmoud - Ghamri Ali - Achour Bachir (Algérie). « Le ressaut hydraulique voluant dans un canal profile en U à fond rugueux ».	325
<u>Diabri Larbi</u> - Hani Azzedine - Laouar Rabah (Algérie). «Incidences des pluies xceptionnelles sur la nappe superficielle de la plaine de tebessa (n.e algerien) ».	341
Gacem Yasmine (Algérie). « Valorisation des eaux usées en irrigation localisée ».	347
Gacem Yasmine - Iddou Aek (Algérie). « Pollution et moyens de traitement des nappes d'eau	353







000 The Julian (27) ■ 400 CO	-
souterraine ».	
Gafsi Mustapha – Kettab Ahmed – Benmamar Saâdia – Benziada Salim (Algérie). « Etat de connaissance sur les différents systèmes mécaniques impliqués dans la restauration des lacs et reservoirs.	363
Guergazi S Achour Samia (Algérie). « Action oxydative du permanganate de potassium sur la matière organique des eaux naturelles ».	375
Hamitouche Mourad - Remini Boualem (Algérie). «Les impacts sur l'environnement du dessalement de l'eau de mer ».	385
Ikni Tahar - Berreksi Ali - Benmamar Saâdia - Remini Boualem - Kettab Ahmed (Algérie). « Un schéma explicit de Richtmyer pour le calcul des écoulements bidimensionnels a surface libre dans des canaux de faible et de forte pente ».	395
Kadri Mohammed (Algérie). « Effet de la non linéarité géométrique sur le comportement des barrages ».	403
Kerbache Khedjija – Benmamar Saâdia – Bilek Amar (Algérie). «Résolution numérique des équations de Saint-Venant par la méthode des volumes finis ».	409
Lahlou A. (Maroc). «Recharge artificielle des basaltes du golfe et au Maroc sous climat aride a semi-aride ».	417
Mokrane Wahiba et Kettab Ahmed (Algérie). «Les aménagements hydroélectriques en Algérie».	427
Mokadem Maamar - Achour Djillali (Algérie). « Modélisation de la biodégradation dans les cours d'eau en zones semi-arides) ».	435
Ouanoughi Samira, Achour samia (Algérie). « Efficacité de la précipitation chimique a la chaux sur l'élimination du cadmium dans différentes eaux ».	443
Rami Ali, Kahlouche Salem, Haddad Mahdi. (Algérie). « Détermination du niveau moyen altimétrique de la méditerranée occidentale a partir des données du satellite jason-1 ».	449
Rezeg Assia, Achour Samia (Algérie). « Elimination d'acides organiques aromatiques par coagulation - floculation au sulfate d'aliminuim. Effet de la minéralisation ».	459
Toumi Abdelouaheb - Remini Boualem (Algérie). « Contribution à l'étude des fuites d'eau à travers les rives du barrage de foum-el-gherza, Biskra, Algérie ».	467
Toumi Abdelouaheb - Remini Boualem (Algérie). «Les fuites d'eau au niveau des barrages quelques exemples algériens ».	477
Zaidi Nedjoua, Farine Jean-Pierre, Soltan Noureddine, (Algérie - France). « Analyse des résidus d'un insecticide (dimilin [®]) dans l'eau et les différents compartiments d'un poisson non cible ».	483
Zeggane H., Touaibia Benina, (Algérie). « Approche cartographique de l'érosion hydrique cas du bassin versant de l'oued isser ».	487
Naouel Bennaçar - Kettab A Chavin R. (France, Algérie). "L'effectivité du droit d'accès à l'eau : condition nécessaire au développement durable ».	495
Al-Zboon K (Jourdanie). «Shared Water in the Middle East as a Source of Conflicts and Peace Opportunities».(1)	507







Benayada L Kettab A. (Algérie). « Problématique de l'eau en Algérie : Nécessité d'une gestion intégrée de la ressource en eau dans la perspective d'un développement durable ». (1)	508
Boukhari K Er-Rouane S Gouzrou A. (Maroc). « L'outil mathématique pour la gestion des ressources en eaux au niveau de la plaine de Mejjate et sa bordure occidentale, (Haouz occidental, Maroc) ». (1)	509
M. Bayazit & B. Onoz (Turquie) «Envelope Corves for Maximum Floods in Turkey »(1)	510
Bouzit M Dörfliger N. (France). « Développement de technologies innovatrices pour une gestion intégrée de l'eau en Méditerranée : le projet MEDITATE ». (1)	511
Hani Nigim (Palestine) «Capacity Building and Case Studies»(1)	512
Jean Margat, Vice Président du PLAN BLEU, France «L'avenir de l'eau en Méditerranée, problèmes et solutions : nouvelle prospective 2025 du Plan Bleu» (1)	513
Öktem Onur (Turquie). «General Assessment of the Turkey's Harmonization Efforts on the EU- Water Framework Directive in the Context of EU's Mediterranean Water Policy: Weighing Geopolitics & Leading Trends».(1)	514
Stéphane Pouffary, ADEME – France. «Eau et énergies renouvelables en méditerranée – Exemples de programmes de bailleurs de fonds et de financements potentiels ».(1)	515
J.L Sasseville, B. Bobee INRS-ETE- (Canada). «Eau, incertitudes, connaissances stratégiques et développement durable ».(1)	516
Henri Smets, (Académie de l'eau France). « Le droit à l'eau potable dans la pratique Européenne et Africaine». (1)	517
Jean-Loup Rouyer (EDF - France) « Quelles énergies pour le pompage de l'eau». (1)	518
Raoudha Gafrej Lahache (Tunisie) «Diagnostic de l'utilisation de l'eau dans le secteur touristique en Tunisie». (1)	519
Dr. Patrick Philipe, CEA – France. « Les critères du développement durable, Les difficultés de la mise en œuvre». (1)	520
Ahmed Kettab (Membre Conseil Mondial de l'Eau, Prof. ENP - Algérie) «De l'eau pour le développement durable (DD) ». (1)	521
Kettab Ahmed - Khodjet Kesba Omar (Algérie). «Moyens et système d'aménagement d'une unité de distillation ». (1)	524
Khodjet Kesba Omar - Kettab Ahmed (Algérie). Contribution à l'étude de l'érosion abrasive d'une pompe (cas d'une station de pompage)». (1)	525
Hamoudi A. (Algérie). « (أزمة المياه في المنطقة العربية، تجاوز الأزم،	527

⁽¹⁾ Résumé seulement, l'article complet à paraître sur l'AJOT numéro spécial volume 2.

UNE MAQUETTE DE BASSIN VERSANT INTERACTIVE POUR EXPOSER AU GRAND PUBLIC LES PRINCIPES DE PREVENTION DES INONDATIONS ET DE DEVELOPPEMENT DURABLE

AN INTERACTIVE WATERSHED MODEL TO EXPLAIN TO THE PUBLIC THE PRINCIPLES OF FLOOD PREVENTION COMPLYING WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Résumé français:

Le Cemagref conduit des travaux de recherche sur des stratégies de prévention des inondations conformes au principe du développement durable, avec une réflexion intégrée, à l'échelle du bassin versant.

En 2002, nous avons choisi de participer à la « Fête de la Science » sous ce thème. Cette manifestation nationale annuelle promeut les sciences par une rencontre entre le grand public et les chercheurs.

Nous avons conçu une maquette de bassin versant avec zones agricoles et habitations ; le cours d'eau central est alimenté par une pompe.

Autour de ce support, le public est invité à réfléchir sur l'origine des crues, et nous les amenons aux notions de probabilité d'inondation (aléa) et d'enjeux (vulnérabilité). Après avoir défini des objectifs de protection raisonnables, chacun peut proposer et tester un aménagement : digues, barrage, élargissement de ponts, mais aussi épandages en zones à enjeu faible. Efficacité et limites, coût et effets négatifs sont discutés. Des méthodes non-structurales, comme les documents d'urbanisme, sont abordées.

Cette expérience a été un succès auprès du public, et nous a permis d'évaluer leur culture des crues. Nous pensons donc que ce type de maquette est bon support pédagogique, utilisable par exemple par une municipalité désireuse d'informer sur les risques ou de communiquer autour d'un projet en cours.

English summary:

Cemagref carries out research on flood mitigation strategies complying with the principle of Sustainable Development, implying integrated management at catchment scale. In 2002 we choose to present these works at « la Fête de la Science ». This annual event promotes Sciences by inviting people to meet researchers.

We designed an interactive watershed model with a stream in the middle, fed by a pump. In the valley, there are agricultural and inhabited zones.

First, the public is asked to think about flood causes. Then, looking at the model, the notions of flood probability (hazard) and stakes (vulnerability) are introduced.

After sorting out what should be protected, everybody is asked to propose and test remedies: levees, bridge replacement, upstream dam... Diverting water to low-stake plots is

Congrès International : De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditérranéen Le 21 - 22 mai 2005 à Alger 11 also tested. For each experiment, efficiency is assessed; costs, limits and side-effects are discussed. Non-structural measures, such as land-planning, are also mentioned.

This successful experience allowed us to check how people perceived floods and what they really knew. We think this kind of model is an efficient medium to promote flood awareness; such models could be useful for local authorities to communicate about flood risk or to explain their policy and projects.

Auteurs: Christine POULARD, Oldrich NAVRATIL

Unité de Recherche Hydrologie-Hydraulique, Cemagref de Lyon (France) poulard@lyon.cemagref.fr; Fax +33 (0)4 78 47 78 75

<u>Mots clefs</u>: Prévention des Inondations, méthode Inondabilité, Communication scientifique, Culture du risque

Introduction: Prévention des Inondations et Développement Durable

Le Cemagref est actif dans le domaine de la prévention des inondations dommageables, et étudie des stratégies d'aménagement conformes au principe du développement durable. Il s'agit de développer et promouvoir des méthodologies permettant de diminuer de manière raisonnée les inondations par une gestion intégrée à l'échelle du bassin. En effet, la réflexion doit s'effectuer à l'échelle du bassin : empêcher les inondations localement en les reportant en fait ailleurs ne constitue pas une solution économique pour la collectivité. De même, il faut raisonner en intégrant tous les aspects de la gestion du bassin. Un projet, même si son objectif premier est de lutter contre les inondations, doit également prendre en compte les équilibres sédimentaires, le paysage et l'environnement, voire l'aspect ressource, sous peine de se révéler inadapté à terme. Ces notions se sont maintenant bien imposées, et sont centrales dans la recherche actuelle en prévention des inondations.

Le présent article résume quelques travaux du Cemagref en matière de diagnostic du risque et de stratégie d'aménagement. Dans une seconde partie, nous exposerons une expérience originale de communication, qui s'est attachée à démontrer que ces notions font appel au bon sens, et peuvent donc – et doivent - être expliquées aux citoyens, même très jeunes, à condition de faire un petit effort de pédagogie. Nous proposons enfin quelques pistes pour valoriser cette expérience, notamment pour transmettre la culture du risque.

1. Travaux de recherche : méthode Inondabilité et stratégies d'aménagement

La méthode Inondabilité propose une définition raisonnée et opérationnelle du risque (Gilard, 1998, Gilard et Gendreau, 1998). On peut la résumer en trois idées simples, explicitées dans les paragraphes qui suivent.

1.1. Diagnostic : le risque est une fonction de l'aléa et de la vulnérabilité

Le phénomène des inondations ne peut être supprimé ; tout au plus peut-on chercher à protéger une zone jusqu'à un niveau de crue donné. Il faut donc définir un objectif de protection raisonnable, en fonction des enjeux présents. La méthode Inondabilité propose d'exprimer cet objectif en période de retour d'inondation tolérée.

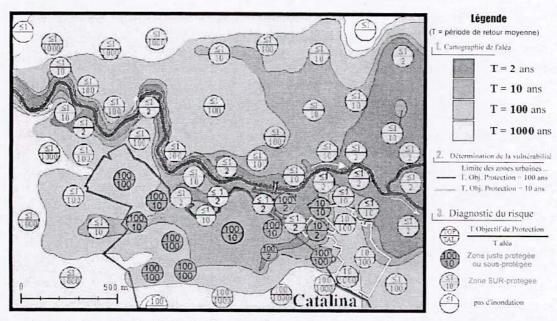


Figure 1 : Exemple de diagnostic du risque à partir des cartes d'aléa et de vulnérabilité (d'après Gendreau et Pretorian, 1998)

La Figure 1 illustre la démarche d'Inondabilité, qui s'effectue en trois étapes :

- établir une cartographie de l'aléa d'inondation, exprimé en période de retour moyenne estimée. Ici, l'extension maximale des zones inondées par 4 crues de projet est figurée en nuances de bleu (périodes de retour T=2, 10, 100 et 1000 ans).
- 2. indépendamment, le territoire est découpé en zones d'enjeu homogène. Une période de retour acceptable d'inondation est affectée à chaque zone, après négociation avec les acteurs locaux. Ici, trois zones seulement ont été définies : d'une part la ville de Catalina et une zone moins densément urbanisée en périphérie, matérialisées par leurs limites. L'objectif de protection choisi est : pas plus d'une inondation tous les 100 ans en moyenne sur le territoire de Catalina, et tous les 10 ans en moyenne dans sa banlieue. Sur le reste du territoire, la contrainte est faible : pas plus d'une inondation par an. Le découpage peut être plus complexe et tenir compte des infrastructures (axes de circulation prioritaires à protéger).
- 3. sur la Figure 1, des pastilles synthétisent l'information en rappelant l'objectif de protection (en haut) et l'aléa (en bas). Puisqu'ils sont exprimés dans la même unité, i.e. une période de retour, ils peuvent être comparés facilement. Un code de couleur permet de distinguer les pastilles où l'aléa est supérieur ou égal à la limite tolérée.

Cette méthode de diagnostic impose donc de définir et annoncer les objectifs de protection -quelle que soit la méthode choisie pour les déterminer-, et ceci indépendamment de l'aléa. Enfin, et ce n'est pas le moindre avantage, cette méthodologie permet d'établir une cartographie claire, destinée à être comprise par tous.

Sur les zones « sous-protégées » mises en évidence grâce à ce diagnostic, il faut ensuite travailler à rendre le niveau de protection compatible avec le besoin de protection.

1.2. Réduction de l'aléa : gérer les volumes de crue sur le bassin

Pour résoudre un problème de sous-protection, la première réaction est de réduire l'aléa en certains points par des travaux hydrauliques.

Il est tentant de recourir aux endiguements et aux recalibrages. Or, se débarrasser du flux en l'accélérant vers l'aval risque fort de reporter les inondations plus loin. Il vaut mieux gérer les volumés de crue à l'échelle du bassin, notamment en favorisant les épandages de crue et rétentions temporaires dans des zones sur-protégées (Gilard, 1996 et 1998). Il faut alors expliquer et utiliser la notion de sur-protection : certaines zones supporteraient une inondation plus fréquente ; favoriser leur utilisation comme zone d'expansion de crue soulagerait d'autant l'aval. Les débordements et les rétentions temporaires en amont des zones à protéger sont intéressantes à deux conditions : que la topographie s'y prête, mais également que les propriétaires l'acceptent ou que les emprises soient rachetées. Un Guide Méthodologique a d'ailleurs été rédigé pour présenter les opportunités de laminage des crues dès l'amont et propose des conseils de mise en œuvre (Chastan et al., 2004) ; (Poulard et al., 2005) présente une étude de faisabilité utilisant cette stratégie. Le recours aux protections localisées reste néanmoins possible et complémentaire, en limitant autant que faire se peut les effets néfastes ; il est par exemple conseillé de rapprocher les digues de l'objectif à protéger, pour éviter d'empiéter sur les zones d'expansion de crue.

1.3. Réviser les objectifs de protection

La méthode Inondabilité, en exprimant le risque comme une fonction de l'aléa et de la vulnérabilité, nous rappelle que l'on peut aussi résoudre un problème de sous-protection en acceptant de revoir à la baisse un niveau de protection demandé.

Bien évidemment, il sera souvent très difficile de faire afficher des objectifs de protection raisonnables du premier coup, chaque riverain souhaitant la meilleure protection possible. Il faudra donc démontrer, si nécessaire après une première étude de faisabilité, que les objectifs souhaités ne sont pas réalistes, pour des raisons de coût ou de conséquences écologiques.

Obtenir un accord négocié sur les niveaux de protection nécessite donc un effort de communication de la part du Maître d'Ouvrage envers les riverains et autres parties prenantes (Givone, 1995), avec éventuellement recours à un médiateur. Cette démarche, certes un peu lourde, présente cependant un énorme avantage : chaque riverain est informé et prend conscience du risque d'inondation. Elle permet aussi d'amorcer une campagne d'information plus complète (recommandations, gestion de crise...).

Cette méthodologie a été appliquée avec succès par le Cemagref sur des cas-pilotes (e.g. Gilard, 1995). Nombre de travaux ultérieurs sur le thème de la prévention des inondations intègrent ces concepts et s'appuient sur la démarche proposée.

La « Fête de la Science » nous a donné l'occasion d'exposer ces principes directement auprès du grand public, afin de vérifier d'une part qu'ils sont relativement aisés à comprendre -au prix d'un petit effort de pédagogie-, et d'autre part qu'ils sont bien reçus.

2. Conception de la maquette et des posters pédagogiques

La « Fête de la Science » est une manifestation annuelle grand public proposée par le Ministère de l'Education et de la Recherche. Le Cemagref y participe régulièrement, et présente tour à tour différentes facettes de son activité. En 2002, nous avons donc choisi d'afficher le thème « Vivre avec les inondations » ; autrement dit, nous voulions expliquer pourquoi l'on ne peut éradiquer les inondations et comment gérer les crues.

2.1. Une maquette pour simuler les inondations et tester des aménagements

Nous voulions un dispositif qui permette d'illustrer les concepts et de tester des aménagements de manière ludique mais réaliste. Nous avons choisi de construire une maquette représentant un bassin versant, suffisamment grande pour reproduire les phénomènes de manière visible tout en restant facilement accessible : ses dimensions sont

d'environ 2m x 1 m. Elle reproduit une vallée, avec un cours d'eau central, une plaine et des versants. Des prairies, des champs et bien sûr des habitations y sont représentées (Figure 3).

Pour obtenir ce résultat, un relief a été modelé avec du grillage, qui s'est révélé facile à manipuler et suffisamment robuste dans la durée (Figure 2). De la toile de verre a été plaquée dessus et enduite de résine étanche. Craignant des problèmes d'écoulement à cette échelle, voire l'apparition de contre-pentes par déformation du grillage, nous avons préféré marquer la rivière par une forme rigide fixée au socle (Figure 2), même si cela donne au final une rivière rectiligne (Figure 3). Le tout est ensuite peint. Le décor est constitué de matériaux bon marché ou de récupération : polystyrène, carton ondulé... L'ensemble, de la conception à la réalisation, a nécessité l'équivalent de deux mois de travail, mais a coûté moins de 450 euros : l'outillage, le support ainsi que la pompe ont été empruntés à différents services.

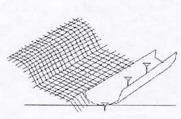


Figure 2 : Principe de construction de la rivière et des versants

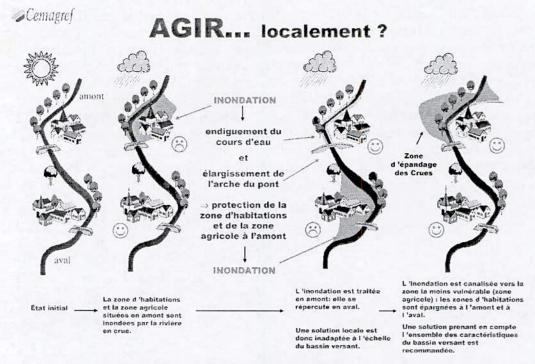
Figure 3 : maquette terminée, avec éléments de décor

2.2. Conception de posters en complément

Nous disposions d'un schéma, déjà bien conçu à notre avis, pour expliquer de manière simple pourquoi il faut raisonner à l'échelle du bassin (Gilard, 1998). Ce schéma a d'ailleurs servi de point de départ pour réfléchir au contenu et au déroulement des animations ultérieures de la maquette.

Au prix de quelques adaptations, nous en avons fait un poster que les visiteurs pouvaient découvrir seuls ou que nous utilisions comme support au besoin. Ce poster, reproduit Figure 4, illustre les méfaits de solutions pensées localement. Si un village choisit de s'endiguer (Figure 4, troisième schéma), l'onde de la prochaine crue sera transmise plus rapidement à l'aval, qui subit maintenant des inondations aggravées. Il aurait été plus judicieux de réfléchir sur l'ensemble du bassin, pour identifier et protéger sélectivement les zones à fort enjeu, *i.e.* les habitations, et favoriser là où cela est possible les épandages sur les zones peu vulnérables (Figure 4, dernier schéma).

D'autres posters ont également été réalisés, souvent en simplifiant des schémas de rapports ou de présentations scientifiques (notion de bassin versant, processus de genèse des crues...).



Il faut raisonner à l'échelle du Bassin Versant

Figure 4 : Poster préconisant la gestion à l'échelle du bassin, pour la Fête de la Science

3. Utilisation de la maquette - Retour d'expérience

Nous avons réfléchi au préalable à un canevas de présentation, avec un plan et les messages les plus importants à transmettre. Ce canevas s'est révélé bien adapté.

Dans une présentation-type, l'animateur commence par demander aux visiteurs de décrire ce qu'ils voient, une maquette, et ce qu'elle représente. Il peut introduire quelques réflexions sur la notion de modèle réduit. L'animateur aborde ensuite la variabilité du débit au cours d'une année, puis l'origine des crues, phénomènes naturels qui dépendent de la pluie mais aussi des nappes.

Nous invitons ensuite les personnes à réfléchir aux déroulement d'une crue, et à ses conséquences possibles. Elles doivent déterminer, d'après la topographie, quelles sont les zones susceptibles d'être inondées le plus souvent; nous introduisons en fait la notion de probabilité d'inondation, ou aléa. Est-ce grave si telle ou telle zone est inondée? Nous abordons ainsi le problème des enjeux, et des objectifs de protection raisonnables.

Un groupe de maisons, en particulier, est souvent inondé (en bas à droite sur la Figure 5). Chacun peut proposer un aménagement, et le tester. L'animateur commente alors avec les visiteurs l'efficacité et les limites des structures. Le plus souvent, la première idée émise est l'endiguement. Celui qui l'a proposé est invité à réaliser des digues en pâte à modeler (flèche 1). Une simulation de crue montre que le site est effectivement protégé, jusqu'à une certaine intensité de crue, mais les écoulements sont maintenant détournés vers l'autre rive où ils provoquent des inondations (flèche 2) : comme annoncé sur le poster, le problème n'est pas résolu mais déplacé.

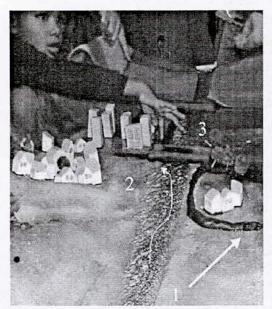


Figure 5: protection locale par endiguement, et conséquences



Figure 6 : test d'une stratégie de redistribution des ponts

Il faut donc chercher d'autres solutions. Une autre possibilité, qui émerge en général plus difficilement, consiste à favoriser les épandages de crue et rétentions temporaires en amont, là où cela est un moindre mal : les zones à faible enjeu.

On remarque que les arches étroites du pont font obstacle à l'écoulement, ce qui aggrave la crue en amont (Figure 5, point 3). On envisage de remplacer le pont par un autre aux arches plus larges (Figure 6, point a). Une expérience avec ces nouvelles conditions nous montre que l'on aggrave alors l'onde de crue vers l'aval; cela peut-être acceptable ou non, selon les enjeux à l'aval. Poursuivons la réflexion : en ville, limiter le débit est plutôt néfaste, mais en amont cela serait au contraire utile. On place donc un pont à arches étroites ou un barrage au point b, et on teste (Figure 6). Les avantages et inconvénients des barrages écrêteurs traditionnels et des barrages à pertuis ouverts sont ensuite discutés à cette occasion.

D'autres aménagements proposés ne peuvent être testés, comme le recalibrage. L'animateur doit alors conduire les débats sans support visuel.

Enfin, les visiteurs sont amenés à estimer le coût des aménagements. Dans le cas du groupe de maisons isolées, le coût des travaux supporté par la collectivité risque même d'être supérieur à la valeur des propriétés. Nous comprenons donc l'intérêt des documents d'urbanisme, pour empêcher la construction en zone inondable.

La maquette nous a donc permis d'introduire la notion de niveau de protection raisonnable et d'illustrer de nombreux principes de la prévention des inondations. De plus, les intervenants ont abordé également autour de ce support d'autres thèmes selon leur spécialité propre et en fonction des questions posées : les embâcles, les équilibres sédimentaires, la rivière en tant que ressource et risque, la fragilisation des écosystèmes par certains aménagements.

Nous avons veillé à faire parler et participer au maximum le public, ce qui permet de vérifier que nos messages étaient compris. Nous devions utiliser un vocabulaire simple ou définir tout mot technique utilisé. En retour, cette expérience nous a permis d'évaluer la

culture des crues du public et ses attentes vis-à-vis des élus et des techniciens. Nous avons également constaté que les enfants se font volontiers les avocats de l'écologie, et conseillent spontanément d'exproprier des habitations placées en zone inondable : devenus adultes et riverains, garderont-ils cette sensibilité ?

Conclusions et perspectives

La maquette a permis d'introduire un grand nombre de concepts de manière visuelle. Elle a conduit les visiteurs à réfléchir à la problématique, formuler des propositions d'aménagement, les tester et en discuter. Ce support attractif et interactif a fortement intéressé les visiteurs et les a captés sur le stand suffisamment longtemps, en moyenne, pour nous permettre de transmettre les idées essentielles.

Notre dispositif connaît toutefois certaines limites. En particulier, il se prête mal aux démonstrations en régime transitoire : les barrages que l'on place sont remplis en quelques secondes, et il est donc difficile de bien voir leur fonctionnement. Il a fallu également trouver une astuce pour introduire le rôle des nappes, en faisant par exemple remarquer qu'il y a de l'eau en permanence dans la plupart des rivières françaises, même quand il n'a pas ou peu plu pendant des semaines. Nous avons constaté à de nombreuses reprises que la nature et le rôle des nappes sont très mal connus – le cliché de rivières et lacs souterrains reste très répandu. Des démonstrations sur des éponges plates, représentant le sol du versant (au premier plan de la Figure 3), ont permis de montrer quelques phénomènes : infiltration, saturation, ruissellement. Nous réfléchissons désormais à un dispositif expérimental complémentaire, centré sur le fonctionnement des nappes.

Les posters ont été peu consultés par les visiteurs de façon autonome, mais nous nous sommes régulièrement tournés vers eux en cours de présentation, pour approfondir un point suite à une question. La conception de nouveaux posters serait utile ; nous avons par exemple regretté l'absence d'un poster sur les recalibrages (e.g. Wasson et al., 1998 ; Poulard et al, 2004), qui ne pouvaient pas être testés sur la maquette.

L'animation pédagogique auprès de groupes d'enfants a été une expérience intéressante. Nous avons également mené un projet pédagogique autour des inondations avec une classe de primaire. Une seconde maquette, sur le thème de l'usage de l'eau en ville et des problématiques environnementales s'y rattachant, a été conçue par une autre équipe du Cemagref en collaboration avec une école primaire. Elle a également connu un grand succès à la Fête de la Science 2003 et 2004. Cependant, ce type d'action n'est envisageable qu'à titre exceptionnel. Pour être mieux valorisées, ces maquettes pourraient être reprises et exploitées par une association spécialisée. Une formation de l'animateur sera toutefois nécessaire s'il n'est pas un spécialiste du domaine, pour l'aider à concevoir et cadrer son intervention et répondre aux questions les plus probables.

Sur un plan plus opérationnel, nous espérons mettre à profit cette expérience pour aider des maîtres d'ouvrages à communiquer avec les riverains. Nous avons en effet montré qu'une maquette est efficace pour illustrer et justifier des choix d'aménagement, ainsi que pour mettre en évidence la nécessité de définir des objectifs de protection raisonnables. Elle permet d'entamer le dialogue et donc de faciliter le processus de négociation. Des contacts ont d'ailleurs été pris en ce sens avec une commune. Une maquette spécifique, reprenant la topographie du bassin étudié, serait sans doute plus parlante, mais il faudra alors rappeler au public les limites de représentativité du modèle réduit. A cette échelle, les écoulements reproduisent les tendances, mais les régimes sont différents : il ne faudrait surtout pas y chercher de conclusion chiffrée.

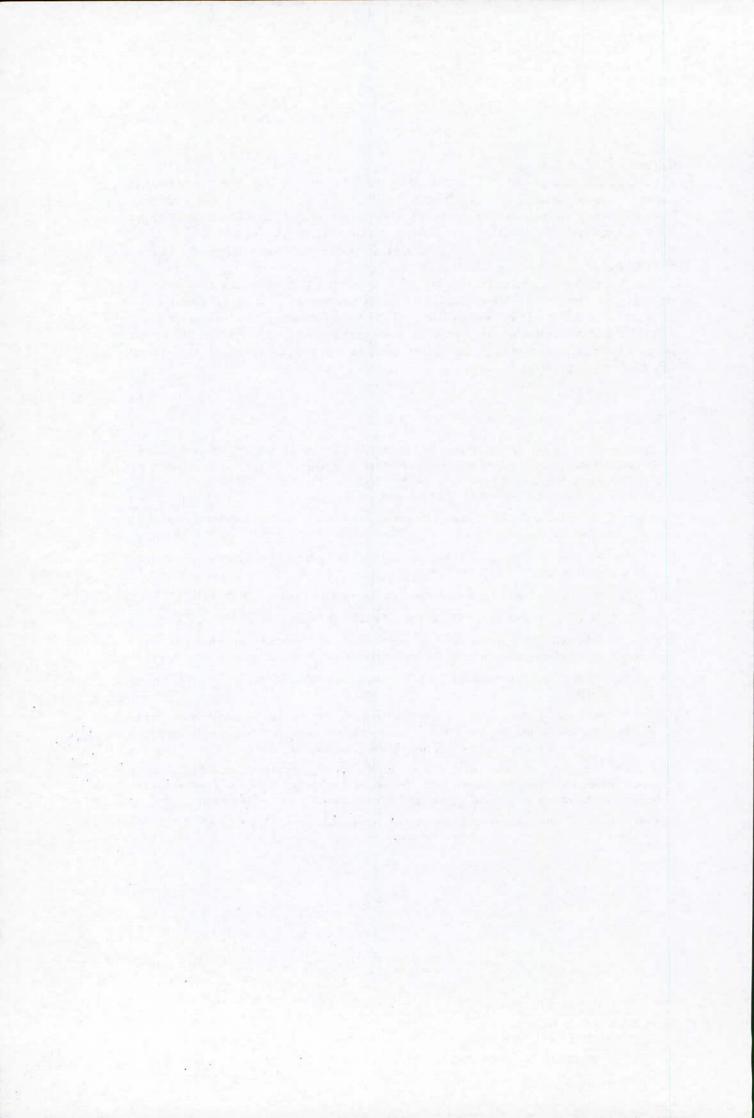
Remerciements:

Cette expérience a été possible grâce à une équipe dynamique de chercheurs, doctorants et techniciens du Cemagref de Lyon, qui se sont impliqués dans la conception, la construction et l'animation de la maquette. Outre les auteurs de cette communication, il faut donc citer, par ordre alphabétique : C. Boudard, G. Dramais, R. Gnouma, N. Jordana, S. Le Clerc, F. Ruysschaert, E. Sauquet, S. Sébéa, L. Thivol, J. Vetter, J.-P. Vidal. Nous ont rejoints en 2003 : K. El Kadi et E. Mignot.

Nous tenons à associer à ces remerciements le Directeur Régional du Cemagref de Lyon, qui nous a encouragés et aidés, et la cellule 'Communication' de Lyon qui coordonne notre participation à la Fête de la Science. Une collaboration fructueuse avec l'Ecole primaire 'Chevalier Bayard' nous a permis de peaufiner notre présentation de la maquette, et d'aller un peu plus loin en construisant un projet pédagogique plus approfondi. La maquette sur l'eau en ville a été conçue par *P.-H. Dodane*.

Bibliographie:

- Chastan, B. et al., 2004. Le ralentissement dynamique pour la prévention des inondations; Aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écrêtement dans de petits ouvrages, Guide Technique rédigé pour le Ministère français de l'Environnement et du Développement Durable, Cemagref Editions, Antony, 100p.
- Gendreau, N. et Pretorian, R., 1998. Application de la méthode Inondabilité au bassin versant du Riul Negru (Roumanie). Floodaware Scientific Meeting, Madrid, Esp., 19-20 Janvier 1998, 15 p.
- Gilard, O., 1995. Connaître les inondations: l'exemple de la Bourbre. Ingénieries EAT, numéro spécial "risques naturels", 7-16
- Gilard, O., 1996. Rôle et intérêt de zones d'écrêtement des crues. La Houille Blanche, 6-7:74-80
- Gilard, O., 1998. Les bases techniques de la méthode Inondabilité. Cemagref Ed., Antony, 207 p.
- Gilard, O. et Gendreau N., 1998. Inondabilité: une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion intégrée des bassins versants. Rev. Sci. Eau, vol. 11, 3:429-444
- Givone, P., 1995. *La négociation du risque, une étape nécessaire*. Ingénieries EAT, numéro spécial "risques naturels", 87-95
- Poulard, Ch., Ratomski, J. et Perrin J.-F., 2004. Development of river training methods respectful of river habitats and landscape, IAHR Congress Proceedings – 5th International Symposium on EcoHydraulics, Madrid, Espagne, 13-17 Septembre 2004, pp 595-601
- Poulard, Ch., Szczęsny, J., Witkowska, H. et Radzicki, K., 2005 (à paraître). Dynamic Slowdown: A flood mitigation strategy complying with the Integrated Management concept - Implementation in a small mountainous catchment, Journal of River Basin Management, 20p environ.
- Wasson, J.-G. et al., 1998. *Impacts écologiques de la chenalisation des rivières*, Coll. Etudes, Gestion des Milieux aquatiques, n°14, Cemagref Editions, Paris, 158p.



RESSOURCES HYDROLOGIQUES ET STRATEGIE D'AMENAGEMENT ET DE PROTECTION DES EAUX : CAS DE L'ALGERIE ORIENTALE

SURFACE RUNOFF AND STRATEGY OF WATER PLANNING AND PROTECTION: CASE OF THE EAST OF ALGERIA

Azzedine Mebarki * & Jean-Pierre Laborde **

- * Université de Constantine, Faculté des Sciences de la terre, Géographie et Aménagement du territoire E. Mail : mebarki_azzedine@yahoo.fr
 - ** Université de Nice-Sophia Antipolis U.M. R. 5651 "Espace" du C.N.R.S. Equipe "G.V.E."

 E. Mail : laborde@unice.fr

RESUME

L'inégale répartition des ressources en eau de surface de l'Est algérien s'inscrit dans l'opposition physico-géographique Nord-Sud qui caractérise les bassins hydrographiques.

L'étude des apports des cours d'eau est abordée à partir des séries observées sur plus d'une trentaine de bassins jaugés. La cartographie automatique est, en outre, utilisée comme outil de représentation spatiale des éléments du bilan hydrologique, quantifiés en chaque nœud d'une grille régulière de 2 km de côté, issue du Modèle Numérique de Terrain. Dans une première approche, les contributions à l'écoulement annuel moyen (E) sont calculées en soustrayant le déficit d'écoulement (D =ETR) des précipitations (P). Une seconde démarche, dédiée à la modélisation, permet de reconstituer mois par mois les écoulements en alimentant le modèle LOIEAU (dérivé de GR2M) de pluies et E.T.P. mensuelles estimées sur le bassin versant.

Aux fins de répondre aux besoins croissants en eau des villes et des terres sèches à mettre en valeur, ces ressources en eau font l'objet d'un vaste programme de mobilisation par barrages-réservoirs, complétés par de longs transferts hydrauliques du Tell vers les Hautes Plaines. L'impact des barrages sur le développement durable dépendra du niveau de protection des cours d'eau contre la pollution. Or, à ce jour, le déficit de traitement des eaux résiduaires est considérable. Une stratégie environnementale de l'eau s'impose.

<u>Mots clés</u>: Eaux de surface- Bilan- Cartographie automatique- Barrages-Réservoirs-Protection- Est algérien.

ABSTRACT

In the East of Algeria, the surface flows are characterized by major contrasts, because of the North-South opposition which distinguishes the drainage basins. The rivers' streams flows are analysed using data from over thirty hydrological stations. The automatic mapping is also used to represent spatial elements of balance water, evaluated in every node of a regular grid. This grid of 2 km of side is created from Digital Elevation Model.

In a first approach, surface runoff (E) is evaluated as the difference between rainfall (P) and runoff deficit (D= ETR). In order to assess month by month flows values, a second method is developed, using "LOIEAU" model (derived from GR2M). This model is supplied with a data base of monthly rainfall and potential evapotranspiration (ETP).

In order to satisfy the increasing water needs in cities and dry areas, a vast implementation program for dams will be realised and completed by long hydraulic transfers from Tell to High Plains. The impact of dams will depend on protection degree of rivers. However, about

cleaning of waste water, the deficit is considerable. An environmental strategy of water should necessarily be applied.

<u>Key words</u>: Surface Runoff- Water Balance- Automatic Mapping- Dams- Protection- East Of Algeria.

1. INTRODUCTION

En matière de valorisation de l'information hydroclimatologique, des outils modernes (méthodes d'analyse des données, de géostatistique et de cartographie automatique) sont utilisés pour accéder à une information traitée, interpolée et numérisée.

Après la cartographie automatique des précipitations (A.N.R.H., 1993; Laborde., 1995; Mebarki, 2003, Laborde et al., 2003) et celle de l'évapotranspiration (A.N.R.H., 2002), il devient aujourd'hui possible de généraliser l'information spatiale sur les apports des cours d'eau algériens, calculés en chaque noeud d'une grille du Modèle Numérique de Terrain (Mebarki, 2003; ANRH-GTZ, 2003).

La démarche, mise en œuvre à l'échelle de l'Est algérien, répond à l'objectif d'une meilleure connaissance des apports et de leur variabilité dont dépend le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, les barrages-réservoirs en particulier.

Les eaux de surface étant largement sollicitées par l'aménagement en vue de rattraper le retard accumulé dans le domaine hydraulique, un taux appréciable de régularisation des apports des oueds pourra être atteint à l'horizon 2020. Des transferts d'eau, d'envergure régionale, sont également envisagés. Le remarquable déficit de traitement des rejets rend, toutefois, problématique la protection de la qualité des eaux mobilisées (Mebarki, 2000).

2. LES APPORTS HYDROLOGIQUES DES COURS D'EAU JAUGES

2. 1. Contexte physique et données hydrométriques

L'Algérie orientale, marquée par un fort contraste climatique (climat de type méditerranéen au Nord et continental désertique au Sud), juxtapose deux systèmes hydrographiques bien distincts: cours d'eau relativement fournis, tributaires de la mer Méditerranée (bassins exoréiques des Côtiers constantinois, Soummam, Kébir-Rhumel, Seybouse et Medjerda) et cours d'eau à débit manifestement modeste, reliés à des dépressions fermées (bassins endoréiques des Hauts Plateaux, Chott Melrhir et Chott Hodna).

Schématiquement, les précipitations décroissent du littoral (de 1 à plus de 1,5 m par an sur les sommets du Tell maritime) vers l'intérieur suivant un fort gradient latitudinal. Ce dernier est altéré par l'effet orographique de l'Atlas saharien, mais s'accentue à nouveau sur le Piémont saharien où les précipitations se raréfient (moins de 100 mm).

Les apports hydrologiques observés sont analysés à l'aide des chroniques de débits de 33 stations hydrométriques de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H), choisies pour leur fort taux d'information disponible. La superficie des bassins jaugés varie de 16 km² (oued Erkel à la station du même nom) à 8 735 km² (oued Kébir-Rhumel à la station d'El Ancer) (fig. 1). La prise en compte des bassins intermédiaires, compris entre les stations hydrométriques amont-aval, permet de dégager 42 unités jaugées au total (l'écart de surface se réduit à 16 - 3 120 km²).

2.2. Répartition des apports aux stations hydrométriques

L'influence du climat est primordiale dans la répartition des débits à travers l'Est algérien : aux abondants flux produits par les zones hydrologiques, telliennes et littorales, s'opposent les maigres débits des bassins méridionaux, à dominance semi-aride et subaride (Mebarki, 2002) (figure 1).

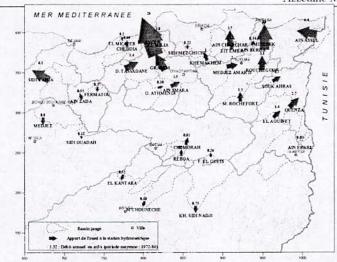


Figure 1: Apports annuels moyens des oueds aux stations de jaugeage (Période commune : de septembre 1972 à août 1984)

- Au niveau des hydrosystèmes exoréiques, les affluents telliens, drainant des formations géologiques peu perméables, sont à l'origine d'un accroissement rapide des apports avec la surface drainée. Les débits du Kébir-Rhumel, modestes sur les Hautes Plaines, s'accroissent remarquablement à l'aval de Constantine où l'apport des puissants affluents montagnards (oueds Bou Siaba, Irdjana...) se conjugue à celui de l'oued Enndja. Le débit annuel moyen enregistré à El Ancer s'élève à 26,2 m³/s, à l'issue d'un bassin de 8 735 km². Les cours d'eau des Côtiers constantinois, avec des bassins de taille réduite, véhiculent des débits fort abondants (l'oued Kébir-Est écoule 6,38 m³/s à Ain Assel, à l'issue d'un bassin de 680 Km²);
- Dans les bassins endoréiques, ce schéma s'inverse: l'écoulement, généré sur les versants montagneux, peu soutenu à l'aval, finit par s'échouer dans les cuvettes lacustres (soumises à une forte évaporation). Ceci est manifestement marqué sur le versant méridional de l'Atlas saharien. L'oued El Arab, tributaire de la dépression aride du Chott Melrhir, enregistre un module de 0,67 m³/s à Khangat Sidi Nadji, station qui contrôle un bassin de 2 085 km².

3. MODELISATION ET CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE DES RESSOURCES HYDROLOGIQUES

3.1. Méthode du bilan hydrologique : application du modèle de l'E.T.R. de Turc

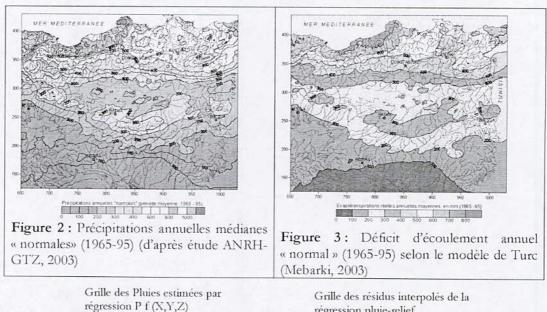
3.1.1. La démarche d'ensemble

La représentation du champ pluviométrique a été réalisée grâce à la valorisation, sur une grille régulière du M.N.T., de l'information observée aux postes pluviométriques (figure 2). Il s'avère, d'un autre côté, que le déficit d'écoulement, assimilé en année moyenne à l'évapotranspiration réelle (E.T.R.), peut être cartographié directement en le calculant, en tout point du maillage, à partir d'un modèle pluvio-thermique du type Turc (figure 3). Il devient alors possible de combiner les deux grilles d'information (pluie et déficit d'écoulement) pour soustraire et cartographier la tranche d'eau représentant l'écoulement de surface, troisième et dernier terme du bilan annuel moyen d'un bassin (figure 4).

Le calcul, en dernière analyse, de la lame d'eau moyenne écoulée au bassin, permet de vérifier la validité de l'écoulement cartographié, par référence à celui mesuré. La méthode conduisant à quantifier et à « représenter le bilan graphiquement, sous forme de cartes coordonnées » avait été initiée en 1979 par l'Université de Lausanne (Montmollin (de) et al., 1979). La

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

lourdeur des moyens informatiques d'alors ne facilitait pas le travail cartographique, alors qu'un logiciel du type SURFER permet aujourd'hui l'interpolation des données et leur cartographie automatique.



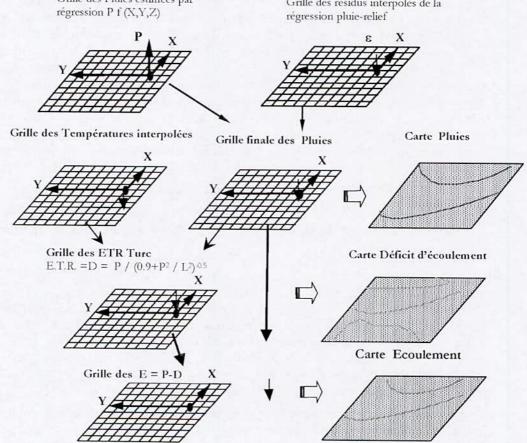


Figure 4 : Etapes de construction de la carte de l'écoulement (Mebarki, 2003)

3.1.2. De la connaissance du déficit d'écoulement à la cartographie des apports

La formule de l'E.T.R. de Turc, bien que mal adaptée aux bassins de très faible étendue, convient par le fait qu'elle se base sur deux paramètres climatiques mesurés (précipitations et températures) :

E.T.R. =D = P / $(0.9+P^2 / L^2)^{-0.5}$

D : déficit d'écoulement d'eau interannuel (mm) ; P : précipitations interannuelles (mm) ; t : température interannuelle de l'air en °C ; $L = 300 + 25t + 0.05 t^3$

Comme les pluies, les températures dont les variations sont en rapport avec celles du relief, se prêtent à une régionalisation (A.N.R.H., 2002). La généralisation de la formule de Turc à l'ensemble du maillage conduit à une cartographie (de moins de 100 à plus de 800 mm par an) qui illustre bien la dépendance de l'évaporation par rapport aux précipitations, ces dernières intervenant fortement sur l'E.T.R. par le biais de la réserve du sol qu'elles alimentent (Carrega, 1988). Vérifiées sur 42 bassins, les valeurs des lames de déficit d'écoulement cartographiées ont montré une étroite liaison statistique (R = 0.94) avec celles déduites des bilans observés (Mebarki, 2003).

La grille finale, obtenue par différence (E = P-D), permet de dessiner la carte des lames d'écoulement annuel moyen (figure 5). Il devient loisible de déterminer pour chaque bassin la tranche d'eau représentant l'écoulement pluriannuel, la variation du stock en eaux souterraines étant négligeable devant les précipitations et l'écoulement.

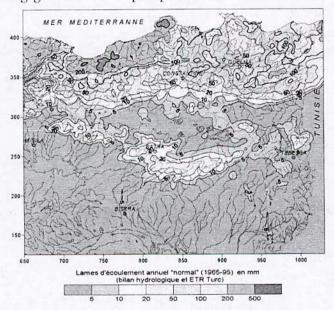


Figure 5 : Carte de l'écoulement annuel « normal » (bilan hydrologique et E.T.R. Turc)

Afin d'obtenir des lames cartographiées sur les bassins aux stations, parfaitement corrélées aux lames observées (R passant de 0.94 à 1), nous avons procédé aux corrections des valeurs aux nœuds de la grille, par application de la régression : Y= 1.3333 X – 1.3699 . Par ailleurs, le choix d'une lame écoulée moyenne minimale de 5 mm par an s'inspire de l'étude méthodologique de S.O.G.R.E.A.H.(1989), concernant le calcul de l'apport annuel des petits bassins algériens. La bonne concordance générale entre apports cartographiés et apports mesurés sur 42 bassins très différenciés de l'Est algérien (période commune : 1972-84), traduit l'intérêt de la méthode adoptée qui mérite, par ailleurs, d'être affinée (figure 6).

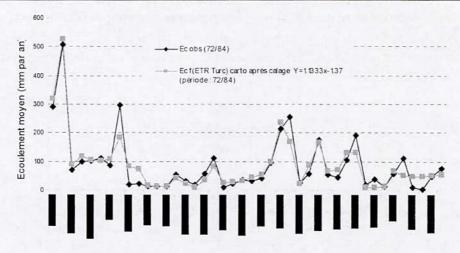


Figure 6 : Ecoulement cartographié (bilan avec ETR Turc) et écoulement observé sur 42 bassins jaugés de l'Est algérien

3.2. Utilisation du modèle à réservoirs « LOIEAU » comme modèle distribué

3.2.1. « LOIEAU » et les données d'entrée du modèle

Dans la récente étude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord, le modèle « LOIEAU », autre version du modèle dit « GR2M », a paru le plus pertinent dans le contexte hydrologique algérien (ANRH-GTZ, 2003). Comme le montre la figure 7, ce modèle global à réservoirs permet de reconstituer les écoulements mensuels (Makhlouf et Michel, 1994).

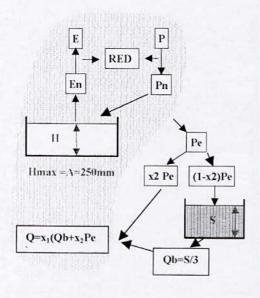


Figure 7 : Schéma de principe du modèle LOIEAU

LOIEAU est une autre version de GR2M. Elle en diffère principalement en faisant intervenir différemment le paramètre x1 de la fonction de production. C'est un modèle à deux réservoirs, un réservoir superficiel dont lequel la hauteur H est limitée à 250mm. L'état de ce réservoir sert essentiellement à contrôler l'évapotranspiration réelle E et l'écoulement. Le second réservoir dans lequel la hauteur est S sert à différer les écoulements dans le temps.

Les entrées du modèle sont l'évapotranspiration potentielle E_i et la précipitation P_i du mois considéré. L'état initial du système est donné par les hauteurs H_{i-1} et S_{i-1} des deux réservoirs à la fin du mois précédent.

Dans un premier temps on corrige les estimations de l'ETP et de la pluie par une réduction commune RED_i pour obtenir En_i et Pn.:

$$RED_{i} = \frac{P_{i} * E_{i}}{(P_{i}^{1/2} + E_{i}^{1/2})^{2}}$$

$$Pn_{i} = P_{i} - RED_{i}$$

$$En_{i} = E_{i} - RED_{i}$$

L'alimentation du modèle a été faite à partir de l'information disponible sur les pluies et les E.T.P. mensuels :

- Les évapotranspirations potentielles (E.T.P.) mensuelles de chaque bassin ont été extraites des 12 grilles des E.T.P. moyennes mensuelles (étude de synthèse sur les évapotranspirations de l'Algérie du Nord). Il a été admis que les E.T.P. moyennes mensuelles suffisaient à représenter correctement l'E.T.P. pour chaque mois d'une année donnée;
- Les pluies mensuelles relèvent des 360 grilles (12 mois x 30 ans) de précipitations mensuelles (étude de synthèse sur les ressources en eau de surface). Elles ont été établies de façon à respecter les relations entre pluie et relief (mises en évidence à l'échelle des pluies médianes), la distribution statistique dissymétrique des précipitations mensuelles et enfin, tenant compte de la forte anisotropie spatiale du phénomène (Laborde et al., 2003).

3.2.2. Validité des résultats et cartographie des écoulements

Les pluies et les E.T.P. permettant d'alimenter le modèle LOIEAU et de caler les paramètres X1 et X2 du modèle. Le calage a été entrepris de façon satisfaisante sur 70 stations limnimétriques algériennes. L'incapacité du modèle à reconstituer les débits réels mensuels a concerné principalement les stations du milieu désertique (ANRH-GTZ, 2003).

Il était possible d'utiliser « LOIEAU » comme modèle distribué pour générer la lame écoulée sur chacune des mailles de 2 km x 2 km couvrant le Nord de l'Algérie (soit 100 701 mailles où sont connues les 12 E.T.P. mensuelles médianes, les 360 pluies mensuelles et de façon grossière, la valeur de X1 et celle de X2). Nous en avons extrait la carte de l'Est algérien, tracée à l'aide de la somme des 12 grilles de l'écoulement mensuel interannuel d'une période trentenaire (de 1965/66 à 1994/95) (figure 8). Elle permet d'estimer, en tout point de l'espace, les apports annuels moyens avec 70 % de chance de rester dans une fourchette "multipliée ou divisée par 1.2" (Laborde et al, 2003).

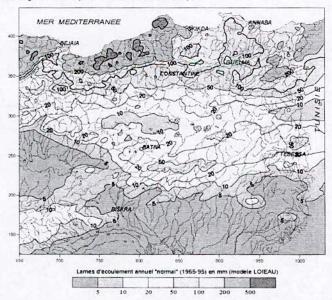


Figure 8 : Carte de l'écoulement annuel « normal » (modèle « LOIEAU » distribué)

Malgré les nuances de détail, cette carte ne diffère pas fondamentalement de la précédente carte tracée à l'aide du bilan hydrologique. De grandes disparités dans la répartition des écoulements sont mises en évidence : de moins de 50 mm sur les Hautes Plaines et le Piémont saharien à plus de 500 mm par an (voire 1000 mm) sur les massifs du Tell

maritime. La région de l'Est, telle que délimitée sur la carte, recèle un potentiel annuel total en eaux de surface proche de 5 milliards de m³.

4. AMENAGEMENT ET PROTECTION DES EAUX DE SURFACE

4.1. Les barrages-réservoirs

Pour des raisons évidentes, les programmes de barrages réalisés par la colonisation ont été concentrés sur l'Ouest du pays. L'Algérie orientale, pourtant mieux nantie du point de vue hydrologique, a accumulé un énorme retard en matière de mobilisation des eaux de surface.

La réalisation, depuis deux décennies, d'un nombre croissant de barrages permettra de régulariser, à l'horizon 2020-2030, un volume de 2,3 milliards de m³ par an (45 % du potentiel annuel moyen). Le taux de régularisation escompté sera très variable d'un bassin à l'autre (le Kébir-Rhumel et la Seybouse connaîtront les taux les plus élevés, respectivement 61 et 52 %) (figure 9).

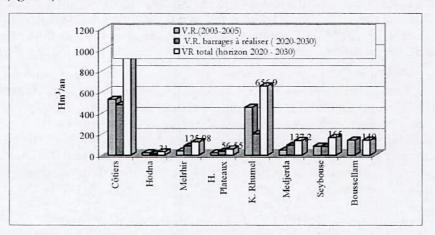


Figure 9 : Répartition par bassin hydrographique des volumes régularisés des barrages

La répartition des barrages est, du point de vue volume régularisé (et capacité), marquée par une évidente prédominance dans la zone Nord où s'offrent disponibilités en eau et sites topographiques favorables (figure 10). Elle tend à répondre, au mieux, aux besoins en eau de la région (A.E.P. des villes et des industries, irrigation).

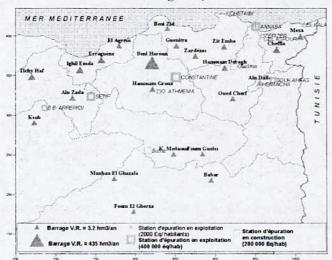


Figure 10 : Répartition des barrages et des stations d'épuration dans l'Est algérien

L'importance d'une politique hydraulique, comme clé du développement agricole, n'a émergé que tardivement. A l'échelle de l'Est, des projets conséquents sont engagés (26 907 ha en cours d'équipement) en vue d'atteindre, à long terme, un total irrigué avoisinant les 238 000 ha (Mebarki, 2004). Ils bénéficieront de l'eau emmagasinée dans les barrages ou acheminée dans le cadre des grands transferts hydrauliques. Les eaux usées épurées des villes (Tebessa, Annaba, Msila) seront également réutilisées pour l'irrigation.

4.2. Les transferts hydrauliques

Devant le déséquilibre du bilan ressources-besoins, l'alternative consiste à dégager l'excédent en eau de la région tellienne et son transfert vers la région déficitaire des Hautes Plaines. Ceci passe par l'installation de capacités de stockage conséquentes, des pompages sur des hauteurs de refoulement importantes (500-1000 m), des transferts sur des distances qui se comptent en centaines de kilomètres ...

- Le système de Beni Haroun : en plus du volume régularisé (435 hm³/an) par le barrage de Beni Haroun sur l'oued Kébir-Rhumel (capacité : 960 hm³), le système se complètera par la connexion du barrage de Bousiaba (volume régularisé : 69 hm³/an). Le total à transférer annuellement pour répondre aux besoins des agglomérations et des industries de 5 wilayate : 310 hm³/an à l'horizon 2030. Le solde disponible de 194 hm³/an sera affecté à l'irrigation de prés de 30 000 ha dans la zone semi-aride (périmètres de Teleghma, Chemora et Batna-Ain Touta);
- Le système de Sétif-Hodna: il prévoit d'acheminer les eaux des oueds côtiers de la région de Béjaia-Jijel, jusqu'aux marges steppiques du Hodna. A la faveur de barrages en cascade (Ighil Emda et Mehouane pour le système Ouest; Erraguène et Drâa Diss pour le système Est), les eaux des oueds Agrioun et Djendjenne, destinées autrefois à l'hydroélectricité, seront transférées pour l'A.E.P. et l'irrigation de 30 000 ha dans les Hautes Plaines sudsétifiennes.

4.3. La protection des hydrosystèmes

4.3.1. Ecoulement d'étiage et eaux usées

Les régimes hydrologiques sont marqués par l'indigence prononcée de l'écoulement d'étiage (rareté des pluies et nappes en cours d'épuisement), par opposition à l'importance des crues. Le débit mensuel d'étiage représente en moyenne moins de 5 % de l'écoulement annuel moyen ; il peut atteindre 15-20 % dans les bassins où s'offrent d'appréciables réserves souterraines régulatrices. En conséquence, l'étiage s'accompagne d'une dégradation sensible de la qualité des oueds, à l'aval des agglomérations et des industries, principales sources de rejets polluants.

Dans une étude antérieure, nous avons montré que les charges de pollution pouvaient être appréhendées par les rapports entre débits d'eaux usées et débits mensuels d'étiage ou QME d'août (Mebarki, 2000). Sur le Kébir-Rhumel, cet indice passe de 0,50 sur le cours supérieur à prés de l'unité sur le Rhumel moyen, à l'aval immédiat de Constantine (impact des rejets de la ville). S'agissant de la Seybouse, l'évolution du rapport des rejets à l'écoulement d'étiage s'établit autour de 35 - 43 % sur la majeure partie du bassin ; malgré le soutien apporté par la nappe côtière, il atteint 69 % sur le littoral (rejets de la ville d'Annaba et de ses industries). La vulnérabilité des oueds à la pollution est confirmée par les analyses des eaux établies par l'A.N.R.H. (A.B.H. - C.S.M, 2000).

4.3.2. Déficit de dépollution et perspectives

La région apparaît comme nettement sous-équipée en matière d'épuration des eaux usées urbaines : dans trois bassins étudiés (Côtiers, K-Rhumel et Seybouse), le taux de dépollution moyen se situe autour de 12 %. Concernant le traitement des effluents industriels, les stations

existantes connaissent des défaillances de fonctionnement fréquentes, si elles ne sont pas à l'arrêt.

Le problème de protection des eaux d'un barrage de la taille de Beni-Haroun, situé à 40 km l'aval de l'agglomération constantinoise, est du coup posé. La station d'épuration sensée traiter les rejets de la ville fonctionne à moins d'un tiers de sa capacité de 800 l/s (non achèvement du réseau de collecte d'eaux usées et problèmes de gestion). La ville d'Annaba dispose d'une station qui fonctionne selon le système de lagunage; elle traite en moyenne 200-300 l/s pour une capacité théorique de 700 l/s.

Un programme est lancé, à l'échelle de la région, en vue d'améliorer le taux de traitement des eaux usées d'origine urbaine : avec les stations en construction et l'exploitation optimale des capacités installées, le volume traité devrait atteindre les 2 millions Equivalent-habitants (fig. 10). Les projets à l'étude (horizon 2020) permettent d'escompter une capacité supplémentaire correspondant à plus de 1,5 millions Eq-hab. Une étude prospective des « débits écologiques » à garantir à l'aval des barrages est, par ailleurs, nécessaire.

5. CONCLUSION

En raison des importantes disparités spatiales des apports des cours d'eau dans l'Est algérien, l'absence d'observation hydrométrique constitue, à l'évidence, une contrainte majeure pour toute étude de projet d'aménagement. Il devient, de ce fait, nécessaire de s'appuyer sur des études de synthèse.

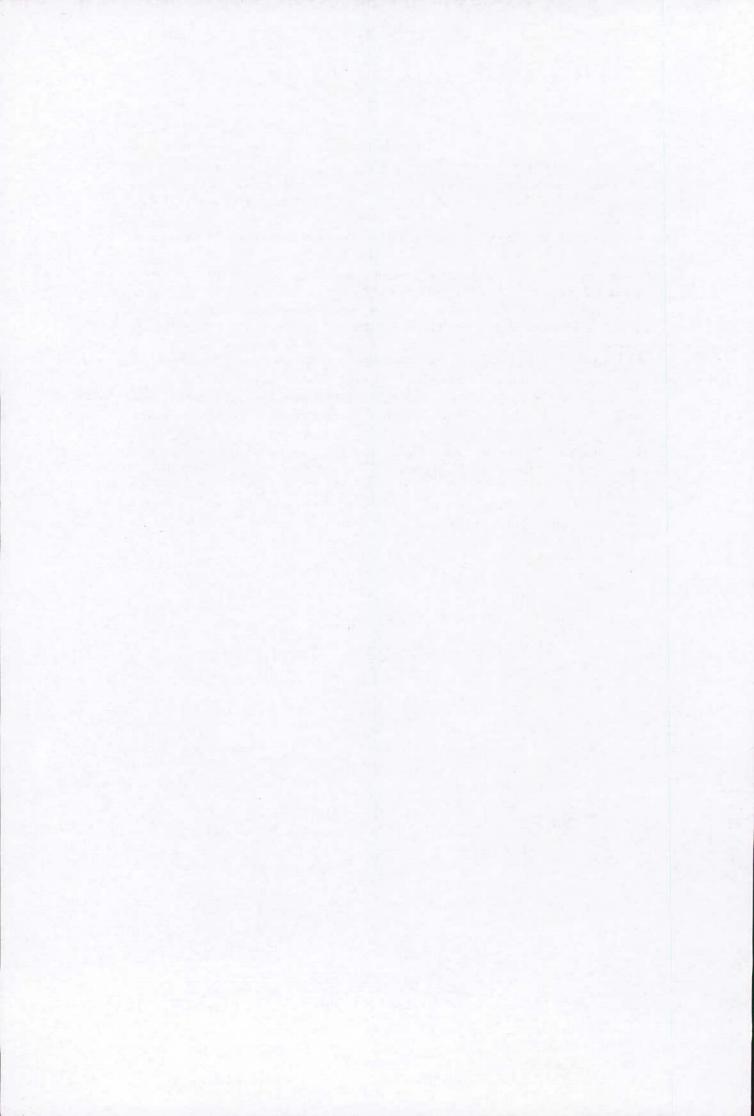
Une cartographie automatique des ressources en eau de surface est proposée. Il s'agissait au préalable de valoriser au mieux l'information climatologique disponible, par régression avec les données géo-topographiques et par interpolation spatiale. Les cartes numérisées obtenues constituent à la base des grilles d'information, prêtes à être utilisées dans un Système d'Information Géographique (Touazi, 2001).

Le taux de régularisation des apports des oueds tend à s'accroître rapidement à la faveur du programme de barrages hydrauliques en cours. La connexion des ouvrages sera bénéfique aux zones méridionales où les disponibilités en eau sont très réduites. Dan un souci de développement durable, un effort considérable reste à faire pour juguler l'effet polluant des effluents urbains et industriels.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1. ABH-CSM, 2000, Pollution des eaux superficielles, Cahiers de l'Agence, Constantine, n°3, 17 p.
- 2. ANRH, 1993, Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000, Ministère de l'Equipement, Alger, (2 feuilles, notice de 49 p.)
- 3. ANRH, 2002, Carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie au 1/500 000, Ministère des Ressources en Eau, Alger, (2 feuilles, notice de 42 pages).
- 4. ANRH-GTZ, 2003, Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord, Alger, 36 p.
- 5. Carrega P., 1988, L'évapotranspiration potentielle et réelle dans le Midi méditerranéen. Son originalité par rapport au reste de la France, Méditerranée, 4 : 3-8
- 6. Laborde J-P., 1995, Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 8 : 37-46
- 7. Laborde J-P., Assaba, M. et Belhouli L., Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie, Colloque SHF, Gestion du risque en eau en pays semi-arides, Tunis, 21-22 mai 2003

- 8. Makhlouf Z., Michel C., 1994, A two-parameter monthly water balance model for French watersheds, Journal of Hydrology, 162: 299-318
- 9. Mebarki A., 2000, Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins « méditerranéens » de l'Algérie orientale, Géocarrefour, Revue de géographie de Lyon, vol. 75 n° 4 : 399-416
- 10. Mebarki A., 2002, Apports des cours d'eau et bilans hydrologiques des bassins de l'Est algérien, Bulletin des Sciences Géographiques, 10 : 45-54
- 11. Mebarki A., 2003, Cartographie automatique des précipitations : application à l'Est algérien, Revue des Sciences et Technologie (série B), 20 : 100-107
- 12. Mebarki A., 2003, Cartographie automatique du contexte hydroclimatique algérien (Algérie orientale, basin du Kébir-Rhumel), Revue du Laboratoire d'Aménagement du Territoire, 1 : 72-89
- 13. Mebarki A., 2004, Déficit hydrique et irrigation : le point sur l'Est algérien, Commun. Journée d'étude, L'eau et l'agriculture, ABH-CSM, Constantine, 29 nov. 2004
- 14. Montmollin (De) F., Olivier R. et Zwahlen F., 1979, Utilisation d'une grille d'altitudes digitalisées pour la cartographie d'éléments du bilan hydrique, Journal of Hydrology, 44 : 191-209
- 15. SOGREAH, 1989, Etude méthodologique sur l'hydrologie des retenues collinaires et mise au point d'outils de calculs pratiques à l'usage des directions de l'hydraulique des wilayates, INRH, Alger
- 16. Touazi M., 2001, Evaluation des ressources en eau et acquisition de bases de données à références spatiale et temporelle en Algérie du Nord, Thèse doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 300 p.



SIMULATION NUMERIQUE DES ECOULEMENTS SUPERCRITIQUES A TRAVERS UN ELARGISSEMENT DE CANAL A FORTE PENTE

NUMERICAL SIMULATION OF SUPERCRITICAL FLOWS THROW EXPANSION OF CHANNEL WITH HIGH BOTTOM SLOPE

Berreksi Ali (1,2), Benmamar Saadia 1, Remini Boualem 3 & Kettab Ahmed 1

(1) Laboratoire de Recherches des Sciences de l'Eau "LRS-EA / Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (2) Laboratoire de Recherches : Hydraulique Appliquée et Environnement/Université de Bejaia (3) Université de Blida (Algérie)

Ali Berreksi@Yahoo.fr, Benmamar@Yahoo.fr, Reminib@Yahoo.fr, Kettab@Yahoo.fr

RESUME

L'étude des écoulements supercritiques dans des élargissements de canaux à forte pente a été faite en utilisant les équations bidimensionnelles des écoulements non permanents à surface libre de Saint Venant généralisées au cas d'un canal avec des pentes de fond quelconques. Les équations du mouvement ont été résolues par la méthode des différences finies avec le schéma explicite de Gabutti. Les résultats obtenus dans cette étude sont très satisfaisants.

Mots clés

Elargissement. Saint Venant. Supercritique. Simulation. Différences finies. Pente forte.

ABSTRACT

Study of supercritical flow throw channels expansion was done by using equations of two dimensional unsteady free surface flows of Saint Venant generalised of case of high bottom slope. The equations of motion are solved numerically by Gabutti explicit finite difference scheme. The results obtained in this application are very satisfactory.

Keywords

Expansion. Saint Venant. Supercritical. Simulation. Finite différence scheme. High slope.

1. INTRODUCTION

L'étude des écoulements à surface libre supercritiques dans des canaux ayant des changements locaux de sections présente d'une part, une grande importance dans le domaine de l'hydraulique, et d'autre part, une complexité assez considérable engendrée par la forme non prismatique de ces canaux.

Ces changements locaux de sections, qui peuvent êtres soit des élargissements ou des rétrécissements entraînent une surface d'écoulement irrégulière et ondulée. Ces irrégularités représentent de grandes perturbations qui provoquent des ondes stationnaires à la surface de l'eau, surtout dans le cas des rétrécissements.

On analysera dans notre cas un écoulement supercritique bidimensionnel à travers un élargissement symétrique de canal avec une pente de fond variable.

Les élargissements de canaux à ciel ouvert appelés souvent transitions, sont fréquemment utilisés dans plusieurs applications hydrauliques, notamment dans les coursiers d'évacuateurs de crues.

Les équations bidimensionnelles de Saint Venant en régime non permanent ont été généralisées afin de prendre en considération l'influence de l'augmentation de la pente de

Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

fond du radier sur les caractéristiques de l'écoulement dans la transition étudiée. On rappelle que les équations de Saint Venant avaient été établies en supposant des faibles pentes de fond (canaux presque horizontaux), c'est d'ailleurs l'une des hypothèses classiques de Saint Venant.

La résolution des équations du mouvement ainsi obtenues, qui n'ont malheureusement pas de solution analytique, a été faite en utilisant la méthode des différences finies moyennant un schéma explicite du type "Prédicteur-Correcteur" de second ordre, en l'occurrence, le schéma de Gabutti.

Le modèle numérique élaboré a été validé dans le cas d'un élargissement progressif symétrique horizontal (pente nulle). Ensuite, le modèle a été testé pour un canal à section transversale rectangulaire à forte pente. Les profils des lignes d'eau obtenus dans ces applications concordent bien avec les mesures expérimentales et les résultats numériques d'autres chercheurs.

A partir de là, notre étude a été étendue au cas d'un canal non prismatique à pente variable. Les résultats obtenus sont appréciables.

2. ECOULEMENT TORRENTIEL DANS UN ELARGISSEMENT DE CANAL

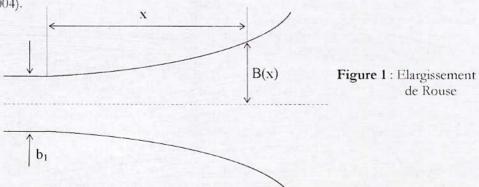
Un élargissement de canal dans un écoulement torrentiel est fréquemment utilisé aux endroits où l'écoulement sort avec une grande vitesse à partir d'une vanne de fond, d'un évacuateur de crues ou d'un déversoir à pente raide (Hager, 1992; Berreksi, 1998).

Par opposition à un rétrécissement de canal, où la vitesse moyenne diminue et la hauteur d'eau augmente, la vitesse dans des canaux à parois divergentes augmente et la hauteur diminue. Par conséquent, de tels écoulements n'entraînent pas des variations rapides de la hauteur d'eau (Bagge et Herbich, 1967; Mazumder et Hager, 1993).

Les premières études des élargissements sont l'œuvre de Rouse (Rouse et al., 1951; Berreksi et Benmamar 1998); et c'est pour cette raison d'ailleurs qu'on rencontre souvent l'appellation "élargissement de Rouse". Ces chercheurs ont étudié expérimentalement des élargissements de canaux dans des conditions d'écoulement torrentielles et ont déterminé par suite une forme limite définie par l'équation suivante:

$$\frac{B(x)}{b_1} = \frac{1}{2} \left[1 + f_e \left(\frac{x}{b_1 F_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$
 (1)

L'élargissement donné par l'équation (1) pour f_c =1, est appelé généralement "élargissement de Rouse". Il a été considéré en premier comme le plus efficace, car la divergence des parois est tellement progressive (figure (1)) que la distribution des pressions est hydrostatique (ou presque), et que la formation des ondes transversales est réduite (Rouse et al., 1951 ; Berreksi et al., 2004).



<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

3. EQUATIONS DU MOUVEMENT

La solution des problèmes scientifiques passe généralement par une représentation mathématique des phénomènes mis en jeu. Les équations de base régissant le phénomène étudié sont celles d'un écoulement bidimensionnel graduellement varié en régime non permanent dans des canaux découverts, données par Saint Venant. Ces équations obtenues en appliquant le principe de conservation de la masse et le théorème de la quantité de mouvement, ont été généralisées dans le but de prendre en considération l'effet d'une pente de fond variable sur les caractéristiques de l'écoulement. Les équations du mouvement écrites sous une forme conservative (Rahman et Chaudhry, 1997; Ikni et al., 2004; Berreksi et al.,

2004) sont:
$$U'_t + E_X + F'_v + S' = 0$$
 (2) avec, $U'_t = (h, uh, vh)^t$

$$E_{x} = \begin{bmatrix} u h \\ u^{2}h + g \frac{h^{2}}{2} \cos \alpha_{x} \\ u v h \end{bmatrix} ; F'_{y} = \begin{bmatrix} v h \\ u v h \\ v^{2}h + g \frac{h^{2}}{2} \cos \alpha_{y} \end{bmatrix} ; S' = \begin{bmatrix} 0 \\ -g h (S_{0x} - S_{fx}) \\ -g h (S_{oy} - S_{fy}) \end{bmatrix}$$
(3)

$$S_{ov} = \sin \alpha_{v} \qquad (4) \qquad ; \qquad S_{ov} = \sin \alpha_{v} \qquad (5)$$

$$S_{ox} = \sin \alpha_{x}$$
 (4) ; $S_{oy} = \sin \alpha_{y}$ (5)
$$S_{fx} = \frac{n^{2}u\sqrt{u^{2}+v^{2}}}{h} \left(\frac{b+h}{bh}\right)^{1/3}$$
 (6) ; $S_{fy} = \frac{n^{2}v\sqrt{u^{2}+v^{2}}}{h} \left(\frac{b+h}{bh}\right)^{1/3}$ (7)

4. RESOLUTION DES EQUATIONS DE BASE

Les écoulements non permanents à ciel ouvert sont gouvernés par un système d'équations aux dérivées partielles du type hyperbolique non linéaire. De telles équations ne peuvent être résolues théoriquement que dans des cas particuliers et très simples ayant des géométries régulières. Par conséquent, plusieurs problèmes en hydraulique exigent par manque de solution analytique, une solution numérique des équations aux dérivées partielles.

Dans le but de résoudre les équations du mouvement, on a utilisé un schéma aux différences finies explicite du type "Prédicteur-Correcteur", précis à l'ordre deux, en espace et en temps, à savoir, le schéma de Gabutti (Gabutti, 1983 ; Fennema et Chaudhry, 1990).

Par ailleurs, on signale que l'utilisation du schéma de Gabutti exige d'écrire les équations de base sous une forme non conservative (Berreksi, 1998; Berreksi et al., 2004):

$$V_{t}' + P_{x} + R_{y} + T = 0 (8)$$

$$P_{x} = \begin{bmatrix} u h \\ \frac{u^{2}}{2} + g h \cos \alpha_{x} \\ u v \end{bmatrix} ; R_{y} = \begin{bmatrix} v h \\ u v \\ \frac{v^{2}}{2} + g h \cos \alpha_{y} \end{bmatrix} ; T = \begin{bmatrix} 0 \\ -g (S_{ox} - S_{fx}) \\ -g (S_{oy} - S_{fy}) \end{bmatrix}$$
(9)

5. EXPERIMENTATIONS NUMERIQUES

5.1. Validation du modèle numérique

5.1.1. Elargissement progressif à pente nulle

La validation du modèle numérique élaboré sera testée en étudiant un écoulement supercritique à travers un élargissement progressif symétrique avec une pente de fond nulle. L'équation donnant la forme de cet élargissement appelée "élargissement de Rouse", est :

$$B(x) = \frac{b_1}{2} \left[\left(\frac{x}{b_1 F_1} \right)^{1.5} + 1 \right]$$
 (10)

Les profils des lignes d'eau le long de l'axe de symétrie et le long de la paroi latérale de cette transition sont représentés dans les figures (2) et (3) ci-dessous :

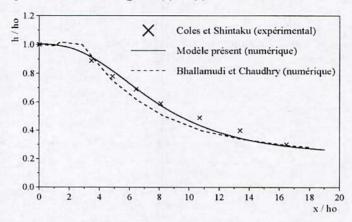


Figure 2 : Ligne d'eau au niveau de l'axe de symétrie dans un élargissement progressif

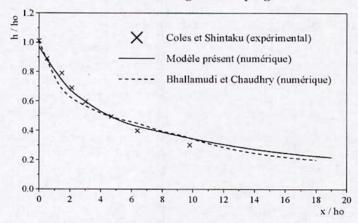


Figure 3 : Ligne d'eau au niveau de la paroi latérale dans un élargissement progressif

A travers ces figures, on constate essentiellement que :

- La ligne d'eau au niveau de l'axe de symétrie diminue en fonction de la distance. Au début de la transition, la diminution se fait progressivement.
- Le profil de la surface libre le long de la paroi latérale diminue aussi en fonction de la distance. La diminution est dans ce cas plus rapide par rapport à celle de l'axe médian.
- Les résultats obtenus en utilisant le schéma aux différences finies explicite de Gabutti présentent un accord très satisfaisant avec les résultats numériques obtenus par Bhallamudi et Chaudhry, 1992, que ce soit au niveau de l'axe ou de la paroi.
- Une très bonne concordance existe aussi entre nos résultats et les mesures expérimentales obtenues par Coles et Shintaku (Bhallamudi et Chaudhry, 1992) au niveau de l'axe et de la paroi.
- Aucune perturbation de l'écoulement n'est observée dans cette transition.

Ainsi, on peut dire que les bons résultats obtenus dans cette étude sont dus principalement à la validité de l'hypothèse d'une répartition hydrostatique des pressions dans l'élargissement étudié, ce qui n'était guère le cas pour un rétrécissement rectiligne symétrique (Berreksi et Kettab, 2002). En effet, l'augmentation de l'angle de déviation de la paroi est suffisamment graduelle pour prévenir la formation des ondes transversales, et ne cause donc aucun changement brusque de la profondeur de l'écoulement à n'importe quelle section du canal.

De ce fait, le modèle élaboré peut être utilisé pour le calcul des écoulements torrentiels dans des canaux non prismatiques à faible pente.

5.1.2. Canal rectangulaire à forte pente

On se propose dans la seconde application d'analyser un écoulement supercritique à travers un canal découvert à section transversale rectangulaire et à forte pente. Ce canal représente un modèle réduit (A.N.B., 1987) d'un évacuateur de crue ayant une longueur de 0.74 m, une largeur de 0.41 m et une pente de fond du radier d'environ 28°.

Les profils de la surface libre au niveau de la paroi latérale du canal pour un débit de 0.0689 m³/s (débit réel : 2000 m³/s) et un débit exceptionnel de 0.093 m³/s (débit réel : 2700 m³/s) sont donnés respectivement dans les figures (4) et (5) suivantes :

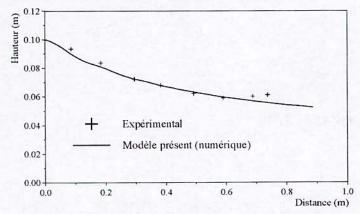


Figure 4: Ligne d'eau le long de la paroi dans un coursier rectangulaire pour un débit de 0.0689 m³/s

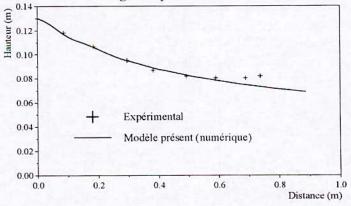


Figure 5 : Ligne d'eau le long de la paroi dans un coursier rectangulaire pour un débit de 0.093 m³/s

On constate que les résultats numériques obtenus s'approchent bien des mesures expérimentales pour les deux débits étudiés.

Par suite, on peut conclure que notre modèle numérique est apte à simuler les écoulements torrentiels dans des canaux à ciel ouvert avec une pente de fond quelconque.

5.2. Elargissement progressif à forte pente

On analysera dans cette troisième application, le passage d'un écoulement supercritique à travers un divergent graduel symétrique dont la pente de fond est considérablement accentuée, afin de voir comment deviendra l'allure de la ligne d'eau par rapport au profil obtenu pour une transition horizontale. L'étude est faite pour les pentes de 15°, 25° et 40°.

Les profils de la surface libre le long de l'axe de symétrie calculés pour les trois pentes sont regroupés dans la figure (6) ci-après :

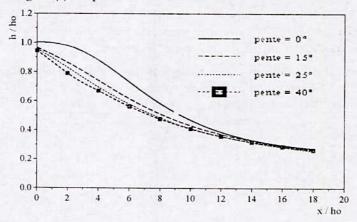


Figure 6 : Effet de l'augmentation de la pente du radier sur la ligne d'eau dans un élargissement progressif (axe de symétrie)

On remarque que :

- Un léger rabaissement à l'amont, de la ligne d'eau obtenue pour les trois pentes consécutives de 15°, 25° et 40°, par rapport au profil calculé pour une pente nulle.
- Les trois profils déterminés se rencontrent à l'aval au niveau d'une même hauteur (rapport des profondeurs d'écoulement h/h₀ ≈ 0.25).
- Aucune perturbation de l'écoulement n'est observée dans cette transition.

Par ailleurs, la figure (7) donne les profils des lignes d'eau le long de la paroi latérale pour les trois pentes étudiées.

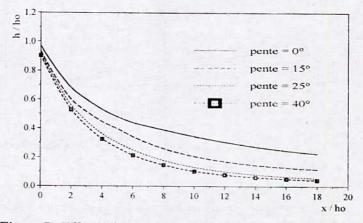


Figure 7 : Effet de l'augmentation de la pente du radier sur la ligne d'eau dans un élargissement progressif (paroi latérale)

On constate aussi que:

- L'augmentation de la pente de fond entraîne une diminution considérable de la profondeur d'écoulement.
- Plus la pente du radier augmente, plus le rabaissement de la ligne d'eau devient très important.
- L'écoulement se fait sans perturbation dans la transition.

Ce qu'on peut dire dans ce cas, est que l'écoulement supercritique à travers un élargissement de canal pareil avec des pentes de fond considérables, a tendance à moins s'étendre latéralement; ce qui était d'ailleurs prévisible. Ceci permet donc, de confirmer la cohérence des résultats obtenus pour cette zone de transition.

6. CONCLUSION

L'étude des écoulements supercritiques dans des canaux à ciel ouvert représente une importance considérable dans le domaine de l'hydraulique. Leur complexité est plus importance dans le cas des canaux non prismatiques.

Le modèle mathématique régissant le phénomène étudié est donné par le système d'équations bidimensionnelles de Saint Venant. Ce dernier a été par la suite généralisé dans le but de prendre en considération l'influence d'une pente de fond variable, sur les caractéristiques de l'écoulement.

Le système d'équations aux dérivées partielles obtenu, qui est du type hyperbolique non linéaire, a été résolu numériquement par le schéma aux différences finies explicite de Gabutti, précis à l'ordre deux, en espace et en temps.

Le modèle numérique ainsi élaboré, a été validé dans le cas d'un écoulement supercritique à travers un élargissement progressif horizontal (pente nulle). Les résultats obtenus concordent bien avec les mesures expérimentales et les résultats numériques d'autres chercheurs que ce soit au niveau de l'axe de symétrie ou au niveau de la paroi latérale.

L'aptitude du modèle présenté à simuler les écoulements supercritiques dans des canaux à forte pente a été vérifiée en traitant l'écoulement à travers un canal à section transversale rectangulaire (modèle réduit) avec une pente de fond d'environ 28°. Les profils de la ligne d'eau obtenus sont très proches des mesures expérimentales effectuées au laboratoire.

Par la suite, l'étude a été étendue au cas des canaux à géométrie variable à forte pente, où on a analysé un élargissement graduel symétrique à pente variable. Les profils obtenus dans cette application montrent que la ligne d'eau diminue en fonction de la distance, et que plus la pente de fond augmente, plus le rabaissement est accentué.

Ce type d'élargissement réduit sensiblement l'effet d'une distribution non hydrostatique des pressions; en effet, l'augmentation de l'angle de déviation de la paroi est suffisamment graduelle pour éviter la naissance des perturbations (formation des ondes transversales) et n'entraîne aucun changement brusque du tirant d'eau à n'importe quelle section du canal.

Par ailleurs, on signalera qu'une transition bien conçue devra permettre dans la majorité des cas, d'éliminer les régions avec concentration d'écoulement et surtout les régions pratiquement sans écoulement, qui sont des zones de basses pressions causées par les effets de courbures avec un risque potentiel de cavitation; car l'écoulement dans une telle structure à forte pente à tendance à moins s'étendre latéralement.

Finalement, on peut dire que le modèle numérique présenté permet de simuler les écoulements supercritiques à travers des canaux découverts prismatiques ou non prismatiques, à faible ou à forte pente.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Agence Nationale des Barrages (A.N.B.), 1987. Etude d'avant projet détaillé du barrage de l'oued CHERF. Modèle Hydraulique, Rapport Partiel N°11.
- [2] Bagge, G., and Herbich, J. B., 1967. *Transitions in supercritical open-channel flow.* Jour. of Hydr. Div., ASCE, 93 (Hy5): 23-41.
- [3] Berreksi, A., 1998. Simulation des écoulements à surface libre dans des canaux à faible et à forte pente à géométrie variable. Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie.
- [4] Berreksi, A. et Benmamar, S., 1998. Simulation des écoulements à surface libre dans des canaux non prismatiques à faible pente. Troisième Séminaire National sur l'Hydraulique, 26-28 Octobre, Biskra, Algérie.
- [5] Berreksi, A., et Kettab, A., 2002. Simulation numérique des écoulements non permanents à surface libre Etude d'un rétrécissement rectiligne symétrique. Colloque International sur l'Eau dans le Bassin Méditerranéen: Ressources et Développement Durable, WATMED 2002, 10-13 Octobre, Monastir, Tunisie.
- [6] Berreksi, A., Ikni, T., Belhocine, M., Remini, B. et Kettab, A., 2004. Elargissement de canal en écoulement supercritique. Séminaire National sur l'Eau, 27-28 Novembre, Université de Annaba, Algérie.
- [7] Berreksi, A., Remini, B. et Kettab, A., 2004. Calcul des écoulements bidimensionnels supercritiques dans des canaux à géométrie variable et à forte pente. Colloque International sur l'Eau et l'Environnement, Ecole Normale Supérieure d'Hydraulique de Blida (ENSH), 07-08 Décembre, Blida, Algérie.
- [8] Bhallamudi, S. M., and Chaudhry, M. H., 1992. *Computation of flows in open channel transitions*. Jour. of Hydr. Research, 30 (1): 77-93.
- [9] Fennema, R. J., and Chaudhry, M. H., 1990. Explicit methods for 2-D transient freesurface flows. Jour. of Hydr. Engrg., ASCE, 116 (8): 1013-1034.
- [10] Gabutti, B., 1983. On two upwind finite-difference schemes for hyperbolic equations in non-conservative form. Computers and Fluids, 11 (3): 207-230.
- [11] Hager, W. H., 1992. Spillways, shockwaves and air entrainment. Review and Recommandation, Commission Internationale des Grands Barrages, CIGB, bulletin 81, Paris, France.
- [12] Ikni, T., Berreksi, A., Benmamar, A. et Kettab, A., 2004. Intégration des équations de Saint Venant à deux dimensions par un schéma aux différences finies implicite -Application: (Ecoulement torrentiel dans un canal uniforme et dans un divergent rectiligne). Premier Séminaire National sur les Sciences de la Terre au Service du Développement Durable, 26-27 Avril, Tébessa, Algérie.
- [13] Mazumder, S. K., and Hager, W. H., 1993. Supercritical expansion flow in Rouse modified and reversed transitions. Jour. of Hydr. Engrg., ASCE, 119 (2): 201-218.
- [14] Rahman, M., and Chaudhry, M. H., 1997. *Computation of flow in open-channel transitions*. Jour. of Hydr. Research, 35 (2): 243-255.
- [15] Rouse, H., Bhoota, B. V., and Hsu, E. V., 1951. Design of channels expansions. Symposium on High-Velocity Flow in Open Channels, Trans. Amer. Soc. Civ. Engrs., 116: 347-363.

Modélisation Numérique du régime transitoire dans les cours d'eau naturels

(*)HASBAIA Mahmoud & (**) BENAYADA Lahouari

(*)Université MOHAMED BOUDIAF de M'sila Faculté des sciences et de science de l'ingénieur Département d'Hydraulique BP 166 Echiblia M'sila 28000, Algérie Has Moud@vahoo.fr Tel/ Fax +213 (0) 35 550357 (**) Laboratoire de Rhéologie et de transfert et traitement Des fluides complexes LRTTFC Université des sciences et de la technologie d'Oran BP 1505 El Manouar Bir Eldjir, Oran, 31000 Algérie Benavada@usto.dz Tel +213 (0) 41 421771

Résumé

Les caractéristiques des écoulements dans les cours d'eau suite aux fortes pluies, rupture ou manœuvre des vannes des barrages, sont des écoulements typiquement transitoires régit par le système d'équations différentielles de Saint-Venant. Et comme ses équations non pas de solution analytique, Nous présentons dans cet article une résolution numérique de ces dernières par un schéma aux différences finies de Preismann généralisé. Nous utilisons également dans la fermeture du système une relation semi-empirique de perte de charge globale couvrant l'ensemble des cas pratiques possibles.

Dans ce contexte un code de calcul dit PRG-FLOOD est développé en Visuel Basic pour l'application Microsoft Excel. Les résultats de ce code ont été satisfaisants jugés après la simulation des plusieurs crues pour des cours d'eau naturels réels.

Mots clés crues, cours d'eau, différences finies, PRG-FLOOD, Saint-Venant, régime transitoire

1. Introduction

L'écoulement dans les cours d'eau est très souvent transitoire, où toutes ses caractéristiques (profondeur d'eau, débit, vitesse,...)sont variables dans le temps et dans l'espace.

Si dans un bassin versant drainé par un cours d'eau, des fortes pluies viennent de se produire, on constate une progressive augmentation puis une réduction de la profondeur d'eau, par conséquent toutes les autres caractéristiques de l'écoulement. Il s'agit donc d'un écoulement typiquement transitoire.

Les écoulements transitoires dans les cours d'eau sont gouvernés par les équations de conservation de la masse liquide et de la quantité de mouvement de Saint-Venant, et comme ces équations non pas des solutions analytiques, nous présentons dans le présent article Le modèle PRG-FILOOD qui résout numériquement ses équations par un schéma aux différences finies de Preismann généralisé.

Dans PRG-FLOOD nous considérons que les cours d'eau ont des faibles pentes et des sections transversales rectangulaires à largeurs variables, ces considérations réduit le taux des données à fournir au modèle ce qui lui rendre utilisable dans des larges situations pratique de l'hydraulique fluviale. Dans ce sens PRG-FLOOD est efficacement est utilisé dans l'étude de la propagation des crues (Hasbaia 2004), il peut être également un outil très efficace dans l'engineering fluvial.

2. Présentation du modèle

Ce modèle est basé sur les équations de Saint-Venant qui gouvernent les écoulements transitoires dans les cours d'eau à faible pente. Il se compose de deux équations aux dérivées partielles de deux dimensions (x l'espace, t le temps), une équation de conservation de la masse liquide (1) et une équation de conservation de la quantité de mouvement (2) respectivement

$$\begin{cases}
\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = q_1 \\
\frac{\partial Q}{\partial t} + 2Q \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{A} \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x}_{h=cste} + gAI_x = -gAJ
\end{cases} \tag{1}$$

tel que,

Q est le débit liquide, h la profondeur de l'eau, B la largeur du cours d'eau, A la section mouillée, ql l'apport liquide latéral, J la pente de la ligne de charge, et I_x est la pente géométrique du cours d'eau.

Ce système différentiel est fermé par une relation semi-empirique, de la dissipation d'énergie, et vu la complexité d'étudier la dissipation d'énergie dans les cours d'eau, on procède le plus souvent à une séparation entre le frottement sur les berges et le frottement sur le fond ; ce dernier est lui-même séparé en frottement relatif aux grains constituant le fond et celui relatif aux formes de ce même lit

Plusieurs chercheurs ont proposé des formules de dissipation d'énergie dans les cours d'eau, chacune de ces formules est applicable sous conditions bien précises.

Une idée proposée initialement par Krichnappan et repris par Correia (L. P. Correia, 1992), sert à écrire neuf formules par une seule expression globale, mais avec des exposants différents. Cette expression s'écrit comme suit

$$S_f = k_1 \left(\frac{R_h}{d_*}\right)^{k_2} \left(\frac{U^2}{gR_h}\right)^{k_3} \tag{3}$$

Tel que, R_h est le rayon hydraulique, U est la vitesse moyenne d'écoulement, d_* le diamètre représentatif des sédiments, et k_1 , k_2 , k_3 des coefficients qui dépend des paramètres physiques et hydrauliques.

L'utilisation de la précédente formule globale (3), nous a permet en plus de la facilité de sa programmation, l'utilisation de 7 formule de dissipation d'énergie couvrant la totalité des cas pratiques possibles, et qui sont les formules de Brownlie(M. Hasbaia, 2001), de Van Rijn (M. Hasbaia, 2001), de Kichi & Kuroki (M. Hasbaia, 2001), de Garde & Ranga (M. Hasbaia, 2001), d'Engelund (M. Hasbaia, 2001), de Strickler (Graf, W.H 1972), de Chezy (Graf, W.H 1972) et de Darcy Weisbach (Graf, W.H 1972), et la formule de Griffithis (G.A. Grffithis, 1981).

La résolution du système est faite par un schéma aux différences finies de Preissmann généralisé avec des coefficients de pondération dans l'espace et dans le temps ϕ , θ respectivement (L. P. Correia, 1992.

Selon ce schéma une fonction continue / et ses dérivées sont écris comme suit :

$$f(x,t) = \theta \left(\phi f_{i+1}^{j+1} + (1-\phi) f_i^{j+1} \right) + (1-\theta) \left(\phi f_{i+1}^{j} + (1-\phi) f_i^{j} \right)$$
(4)

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{\Delta x} \left[\theta \left(f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1} \right) + (1 - \theta) \left(f_{i+1}^{j} - f_i^{j} \right) \right]$$
 (5)

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{\Delta t} \left[\phi \left(f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^{j} \right) + (1 - \phi) \left(f_{i+1}^{j} - f_{i}^{j} \right) \right] \tag{6}$$

avec.

i, j: l'ordre du maillage selon x, t respectivement;

 θ , ϕ : facteurs de pondération pour le temps et l'espace respectivement ;

Un code de calcul dit PRG-FLOOD est développé dans ce contexte avec le langage Visuel Basic pour l'application Microsoft Excel (VBA. Ce code de calcul donne en plus de l'avantage d'utiliser toutes les procédures d'Excel, un choix multiple entre sept formules de dissipation d'énergie (Hasbaia, 2004).

3. Caractéristiques des cours d'eau étudiés

Dans une première validation du modèle, nous allons étudier des cas réels. Il s'agit des crues accompagnées par une variation dans le temps des caractéristiques de l'écoulement (Q débit liquide, h profondeur d'eau) pour des cours d'eau décrits dans la littérature. Ces cas sont

3.1 La crue de 17/12/81et de 22/5/81 pour la rivière Rio Jacul (Brésil)

Le tronçon étudié est situé au sud de Brésil, entre l'usine hydroélectrique d'Itauba et le site du Barrage Dona Francisco. Ces crues sont des crues assez rapides dues aux manœuvres des vannes du barrage Itauba (Marcio.B 1990.

3.2 La crue de 1978 de la Save (France)

Le tronçon étudié est de 28 000 m de longueur avec un lit dégagé d'une larguer de 20 m et une pente de 0.00075 (Marcio.B 1990)

3.4 La crue de 1990 pour la rivière Dobs [Suisse]

Le tronçon étudié passe par le village St-Urssan sur une longueur de 700 m, cette crue a duré plus de 5 jours (L. P. Correia, 1992).

Les caractéristiques des tronçons des rivières étudiés sont récapitulées dans le tableau suivant

Tronçon de la rivière	Longueurs [m]	Largeur [m]	Pente -	Caractéristique du matériau du fond
Rio Jacul [Bresil]	29800	65	0.001215	Kr = 37
La Save [France]	28500	20	0.00075	Kr = 20
Dobs [Suisse]	700	Variable 35.52-46.13	0.0018	d50 =32

Tableau N°1 les caractéristiques géométriques des tronçons étudiés

Les paramètres de calcul utilisés sont récapitulés dans le tableau suivant :

	Tronçon de la rivière de		∆t [s]	∆x [m]	Θ	Φ	Formule de dissipation d'énergie
	Rio Jacul	Crue de 17/12/81	7200	500	1	0.5	Strickler
	[Brésil]	Crue de 22/5/81	7200	500	1	0.5	Strickler
Ī	La Save [I	France]	43200	500	1	0.5	strickler
	Dobs [suis	sse]	3600	70	1	1	Griffithis

Tableau N°2 les paramètres de calcul

4. Analyse des résultats

Après avoir introduit ces données et ces paramètres dans notre code de calcul nous avons eu les profondeurs et les débits d'eau dans chaque point des tronçons étudiés et à chaque pas de temps. On présente ces résultats dans les figures suivantes

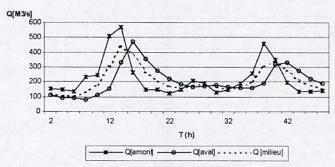


Fig-1 La variation des débits d'eau de la rivière Rio Jacul La crue de 17/12/81

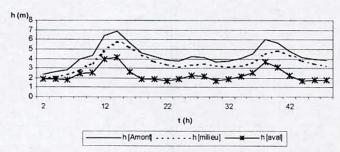


Fig-2 La variation des profondeurs d'eau de la rivière Rio Jacul La crue de 17/12/81

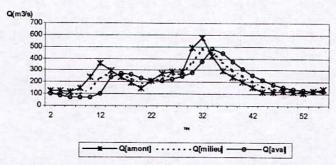


Fig-3 La variation des débits d'eau de la rivière Rio Jacul La crue de 22/5/81

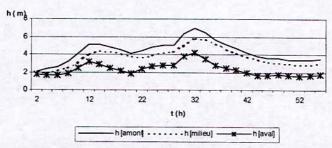


Fig-4 La variation des profondeurs d'eau de la rivière Rio Jacul La crue de 22/5/81

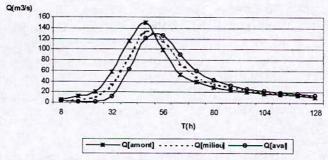


Fig-5 La variation des débits d'eau de la Save La crue de 1978

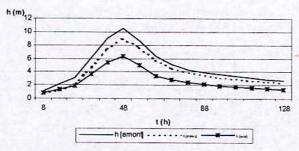


Fig-6 La variation des profondeurs d'eau de la Save La crue de 1978

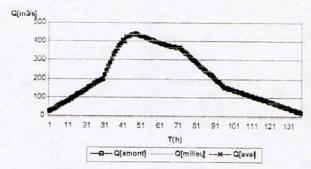


Fig-7 La variation des débits d'eau de la rivière Inn La crue de 1990

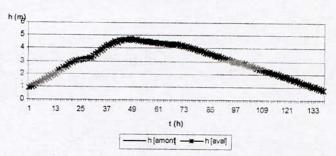


Fig-8 La variation des profondeurs d'eau de la rivière Inn La crue de 1990

Grâce à ces essais, nous avons pu déterminer toutes les caractéristiques de l'écoulement à chaque pas de temps et dans chaque point des tronçons étudiés.

Au cours des simulations, nous avons remarqué des fortes oscillations numériques en aval pour les trois premiers cas, et nous n'avons pas pu les éliminer que par l'augmentation des pas de temps et la réduction du coefficient de pondération Φ , par contre pour le dernier cas, PRG-FLOOD donne les résultats sans aucun problème numérique. Les oscillations remarquées sont dues aux longueurs importantes des tronçons de rivière étudiés.

Les tronçons étudiés des rivières Rio Jacul et la Save qui sont relativement longs (des kilomètres) présentent des claires réductions et retards des débits et des profondeurs d'eau en allant de l'amont vers l'aval.. Ces réductions et retards sont dues aux effets des frottements et stockages dans les cours d'eau. Tandis que pour le dernier cas la longueur du tronçon étudié est relativement petite de l'ordre de quelques centaines de mètres d'où les atténuations et les retards sont nettement très faibles.

5. Conclusion

Dans le présent article nous avons présenté le modèle PRG-FOOD Basé sur les équations de Saint-Venant tout en introduisant des suppositions qui réduit le taux des données à introduire au modèle et en utilisant sept formules de dissipation d'énergie couvrant l'ensemble des cas pratiques possibles.

Les cas utilisés pour la vérification du modèle sont soigneusement choisit, pour balayer tous les cas possibles. Nous avons choisi des cours d'eau de longueur variable de quelques centaine de mètres à des dizaines de kilomètres et des crues de quelques heures à quelques jours.

L'ensemble des cas étudiés juge la bonne qualité des résultats du modèle, ces derniers sont comparables à ce qui a été publié dans le domaine.

6. Bibliographies

G.A.Grffithis, 1981, flow resistance in coarse gravel bed rivers, jornal of hydraulics research, vol 107, N°HYD7

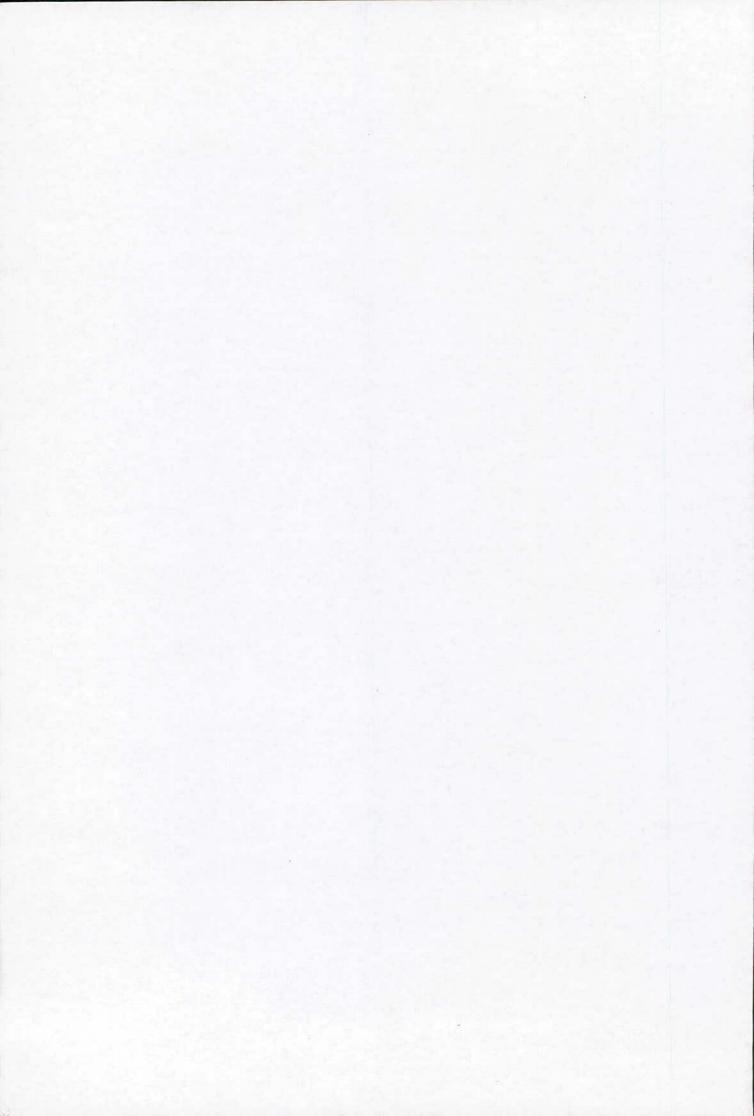
Graf, W.H 1972, Hydraulics of sediment transport-, MCGRAW-HILL Serie Water Resources and Environmental engineeringg, 1971, p515

L. P. Correia, 1992, Numerical modeling of unsteady channel flow over a mobile boundary, Thèse de doctorat, l'école polytechnique Fédérale de Lausane, Suisse.

Marcio BAPTISTA (1990), contribution à l'étude de la propagation des crues hydrologique, thèses de doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, France

M. Hasbaia, 2001. Modélisation de l'écoulement liquide-solide dans les cours d'eau, mémoire de Magister, Université USTO d'Oran, Algérie.

M. Hasbaia, & Benayada. L (2004), PRG-FLOOD un modèle numérique de simulation de la propagation des crues, Séminaire nationale sur l'eau, Université de Badji Mokhtar –Annaba, Algérie



ETUDE D'UN MECANISME D'HUMIDIFICATION PAR CONDENSATION EN MILIEU POREUX PAR UNE APPROCHE PREVISIONNELLE

E.H. Mitiche, R. Mitiche, Pr. A. Kettab

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau - LRS-EAU/ENP École Nationale Polytechnique (E.N.P.) - Alger – Algérie E.mail : emitiche@yalvoo.fr kettab@yalvoo.fr

RESUME

Le travail présenté concerne l'étude de l'humidification par condensation de matériaux capillaro-poreux.

Deux objectifs sont principalement visés: l'analyse des mécanismes d'envahissement du milieu par la phase condensée et l'évaluation des possibilités offertes par les modèles continus de prévision des transferts couplés de chaleur et de masse pour prévoir ces phénomènes. La comparaison entre résultats d'expériences et simulation numérique a permis de dégager le rôle et l'importance relative des mécanismes de transferts de masse et d'énergie et de justifier au moins partiellement l'usage du modèle de DE VRIES en tant que modèle de prévision.

1. INTRODUCTION

Les phénomènes de diffusion de vapeur et de condensation en milieu poreux jouent un rôle capital dans de très nombreux problèmes industriels et d'environnement. Du point de vue pratique, il convient de rappeler en effet que la fixation d'eau par condensation a des conséquences néfastes sur les propriétés thermiques et mécaniques des matériaux et que la compréhension de certains phénomènes naturels (échanges sol - atmosphère) ainsi que la maîtrise, le contrôle et l'optimisation de différents procédés techniques (récupération assistée du pétrole, échangeurs,...) dépendent fondamentalement des connaissances acquises sur les mécanismes de changement de phase, liquide - vapeur, en milieu poreux.

Selon les secteurs d'application concernés, ou les problèmes rencontrés, diverses tentatives de description physique et de modélisation mathématique des phénomènes de changement de phase en milieu poreux ont été effectuées au cours des dernières décennies. C'est ainsi qu'après les premiers travaux de Comings et al [8] et de Glaser [1] fondés sur la prise en compte exclusive du transfert en phase vapeur, des améliorations sensibles ont été apportées à la modélisation par Vos et al [8], Krischer et al [2], De Vries [3], Luikov [4], Marle [5], Whitaker [6], en prenant en considération les transferts simultanés en phase liquide et vapeur ainsi que les effets de couplage et d'interaction entre transfert de chaleur et transfert de masse

Bien que de nombreux travaux aient été consacrés à l'évaluation de ces modèles, lorsque le rôle de la phase condensée peut être considérée comme prédominant (ce qui est le cas en séchage de matériaux capillaro-poreux), Recan [10], Crausse [9], il n'existe, par contre, que peu d'études ayant pour objectif leur validation dans des situations de condensation thermique. Une approche prévisionnelle [13] est essentiellement envisagée pour cet effet.

Les résultats présentés s'inscrivent dans cette double préoccupation d'analyse et d'évaluation. Ils visent, à l'échelle macroscopique à compléter notre compréhension des mécanismes de base liés au processus de condensation de l'humidité (vapeur d'eau + air sec) au sein du matériaux capillaro-poreux, ainsi qu'à valider les modèles mathématiques proposés pour prévoir ces phénomènes.

Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

2. APPROCHE THEORIQUE

2.1. Modèle mathématique

L'analyse théorique des écoulements polyphasiques en milieux poreux s'appuie sur les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Ces équations, sont bien connues. Cependant, la complexité de la géométrie du milieu poreux rend leur résolution impossible, la forme géométrique des limites n'étant pas accessible en pratique.

Pour pallier cette difficulté, on est conduit à définir de nouvelles grandeurs dites "macroscopiques "ainsi que les "lois macroscopiques locales "qu'elles suivent à une échelle à définir, suffisamment grande par rapport à l'échelle des pores pour éviter le problème posé par leur géométrie et suffisamment petite par rapport à l'échelle du milieu poreux pour leur conférer un caractère local.

Il existe plusieurs tentatives de modélisation théoriques des phénomènes de transfert en milieu poreux. L'idée est cependant toujours la même: il s'agit de définir un opérateur de prise de moyenne et un domaine conférant aux grandeurs macroscopiques un sens physique, et aux lois la forme générale des lois de conservation.

Les premiers modèles théoriques qui ont été utilisés pour décrire les transferts couplés de chaleur et de masse avec changement de phase, mis en jeu dans les processus d'humidification des structures, considéraient uniquement les phénomènes de condensation liés au mécanisme de diffusion de la vapeur au sein du matériau Glaser [1]. Modifiée par Vos [8], puis par Krischer [2], pour prendre en compte l'influence des effets capillaires sur la phase fluide condensée, cette modélisation a été établie dans sa forme actuelle, faisant intervenir les effets de couplage entre transfert de masse et transfert de chaleur, respectivement par De Vries [3] en 1957 puis Luikov [4] en 1958. Ce modèle fondé sur l'identification du milieu poreux à un milieu continu fictif équivalent, a enfin été formellement justifié par Whitaker [6], en 1977.

Dans le cadre des hypothèses et restrictions précisées dans ref [6] et généralement satisfaites dans les processus de condensation en régime diffusionnel, le formalisme proposé par De Vries [3] apparaît actuellement comme celui dont le niveau de description des phénomènes est le plus complet.

Dans le cas des transferts unidirectionnels étudiés ici, le système d'équations proposé par De Vries [3] pour décrire la condensation s'exprime sous la forme complète par :

$$(\mathbf{1} + \boldsymbol{\alpha}) \frac{\partial \omega}{\partial t} + \eta \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(a_1 + a_v \right) \frac{\partial \omega}{\partial x} + \left(a_1 \delta_1 + a_v \delta_v \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right]$$
 (1)

$$\rho_0 L \alpha \frac{\partial \omega}{\partial t} + \left[\left(\rho_c \right)^* + \rho_0 L \eta \right] \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\lambda^* + \rho_0 L a_v \delta_v \right) \frac{\partial T}{\partial x} + \rho_0 L a_v \frac{\partial \omega}{\partial x} \right]$$
 (2)

Dans ces équations représentant respectivement les bilans de masse (1) et d'énergie (2), t est le temps, ρ_0 la masse volumique apparente du milieu poreux sec, ω la teneur en eau pondérale en eau liquide, L l'enthalpie de changement de phase, λ^* et (ρ c)* la conductivité thermique et la chaleur volumique effectives du milieu poreux, T la température et a_l , a_v , δ_l , δ_v des coefficients dépendant de la teneur en eau et de la température, traduisant les propriétés de transport de masse du matériau [9,10].

Les coefficients α et η résultent quant à eux de l'expression de $\left(\frac{\partial \omega_{\mathbf{v}}}{\partial t}\right)$, avec $\omega_{\mathbf{v}}(\omega,T)$ teneur

pondérale en vapeur d'eau, dans le bilan de masse.

Comme les précédents, ces coefficients sont de fonctions compliquées de la teneur en eau, de la température et des caractéristiques de la microstructure du matériau considéré [9].

2.2. Conditions aux limites

Elles correspondent à celles des expériences. Le milieu poreux est supposé initialement sec à température uniforme, égale à celle de l'air circulant dans la veine [8].

Du point de vue des conditions aux frontières, en x = 0 et x = L, elles expriment respectivement : la condition de flux de masse nul et une température constante en x = L, la continuité des densités de flux de masse et d'énergie en x = 0.

La densité de flux de chaleur G, sur l'interface x=0, somme du flux conductif et éventuellement du changement de phase (vapeur-liquide), Recan [10], s'exprime par :

$$G = \left(\lambda^* + \rho_0 L a_v \delta_v\right) \frac{\partial T}{\partial x} - \rho_0 L a_v \frac{\partial \omega}{\partial x}$$
(3)

En ce qui concerne la densité du flux massique W, elle correspond à l'addition des densités de flux de masse en phase vapeur et liquide, et s'expriment par :

$$W = -\rho_0 \left[\left(a_1 + a_v \right) \frac{\partial \omega}{\partial x} + \left(a_1 \delta_1 + a_v \delta_v \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right]$$
 (4)

Côté externe, c'est à dire dans l'atmosphère en contact avec le milieu poreux et plus précisément sur l'interface, les échanges convectifs sont communément régis par :

$$H = h_c(T_c-T_s)$$
 pour la densité de flux de chaleur (5)

où he est le coefficient de transfert de chaleur par convection et par :

$$E = h_m (P_v - P_s)$$
 pour la densité de flux de masse,
où h_m est le coefficient de transfert de masse. (6)

 T_s , T_c , P_s , P_v , correspondent respectivement aux températures et aux pressions partielles de vapeur d'eau à la surface du matériau x = 0 et dans l'air.

Les définitions qui précèdent conduisent dès lors aux expressions suivantes pour les conditions aux limites sur l'interface air - milieu poreux:

$$-\rho_0 \left[\left(a_1 + a_v \right) \frac{\partial \omega}{\partial x} + \left(a_1 \delta_1 + a_v \delta_v \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] = h_m \left(P_v - P_s \right) \text{ pour la densité de flux de masse}$$
 (7)

et:
$$(\lambda^* + \rho_0 La_v \delta_v) \frac{\partial T}{\partial x} - \rho_0 La_v \frac{\partial \omega}{\partial x} = h_c (T_c - T_s) + Lh_m (P_v - P_s)$$
 (8)

pour la densité de flux de chaleur

Il est important de noter que, si les mécanismes physiques mis en jeu dans les processus de transfert au sein du milieu poreux sont relativement bien décrits actuellement, le niveau de connaissance concernant les problèmes d'interface est, par contre dans un état embryonnaire. Hormis quelques travaux récents [11] sur la modélisation des échanges à l'interface air-milieu poreux, il convient de souligner en effet que les expressions des coefficients h_c et h_m sont généralement d'origine empirique. Comme évoqué dans [9] étant donné que l'objectif essentiel de l'étude concerne l'analyse des phénomènes qui se développent au sein du milieu

poreux, il est en effet équivalent de ce point de vue, d'étudier ces phénomènes en imposant sur l'interface les lois expérimentales qui rendent compte explicitement et précisément du couplage et des interactions entre couches limites externes et milieu poreux.

Compte tenu de ces remarques, les conditions aux limites retenues pour la résolution du système d'équations (1) et (2) ont été les suivantes:

Sur la surface libre x = 0:

$$\begin{vmatrix} -\rho_0 \left[(a_1 + a_v) \frac{\partial \omega}{\partial x} + (a_1 \delta_1 + a_v \delta_v) \frac{\partial T}{\partial x} \right] = m(t) & \text{avec, } m(t) = \text{hm (Cs - C}\infty) \\ T = T_p = T_a = 30^{\circ} \text{C} & (9) \end{aligned}$$

et à l'extrémité x = L où la densité de flux de masse est nulle et la température T_e imposée:

$$-\rho_0 \left[\left(a_1 + a_v \right) \frac{\partial \omega}{\partial x} + \left(a_1 \delta_1 + a_v \delta_v \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] = 0$$

$$T = T_e = 10^{\circ} C$$
(10)

Les conditions initiales relatives à la teneur en eau et à la température étant donnée quant à elles par :

$$t \le 0 \; ; x \in [0,L]$$

$$\begin{cases} \omega = \omega_0 = 0.02\% \\ T = T_e = 10^{\circ}C \end{cases}$$
 (11)

Le milieu poreux étant en équilibre hygrothermique dans l'atmosphère du laboratoire.

La technique numérique mise en oeuvre pour résoudre le système d'équation (1) et (2) associé aux conditions aux limites (9) et (11) est une méthode aux éléments finis dont la présentation détaillée a été faite dans la ref [12].

Les coefficients de transfert de masse et les propriétés thermophysiques du milieu poreux utilisées dans le calcul résultent de la banque de données obtenue par Crausse [9].

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Profils hydriques et thermiques

Les profils hydriques représentés sur les figures 3.1 et 3.2 montrent les distributions de teneur en eau à différents temps obtenus par comparaison des résultats numériques et expérimentaux, et la figure 3.3 montre l'évolution des profils hydriques au cours du temps obtenus par calcul numérique.

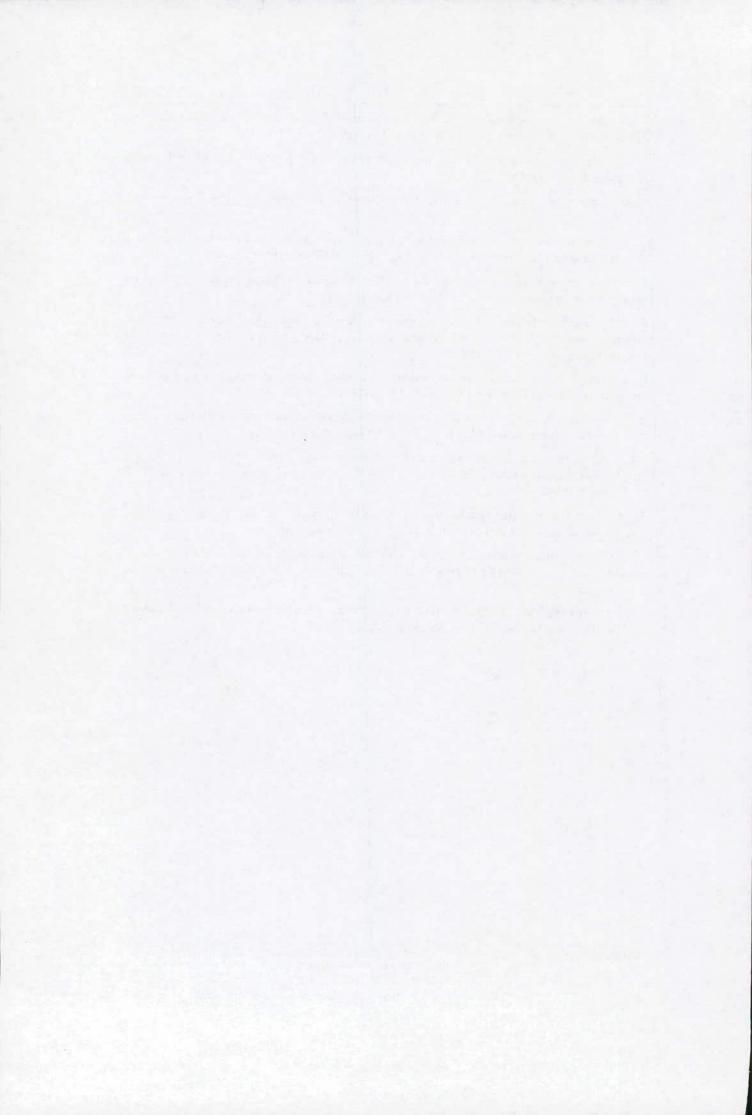
On note tout d'abord, la présence de deux zones bien distinctes:

- une zone sèche, comprise entre la phase exposée à l'air humide (x=0) et l'interface de condensation et,
- une zone humide, saturée en liquide condensé, comprise entre l'interface de condensation et la surface refroidie en (x=d).

Dans la zone sèche, l'évolution de teneur en eau suit la loi d'adsorption du matériau, tandis que dans la zone humide, dont l'interface progresse au cours du temps sous l'influence des effets thermiques et hydriques, la condensation se poursuit.

D'une manière générale, ces résultats montrent bien le caractère satisfaisant du modèle de PHILIP DE VRIES pour prévoir les phénomènes observés expérimentalement, la figure 3.4 représente la comparaison des résultats numériques et expérimentaux pour les profils thermiques et la figure 3.5 montre l'évolution des distributions de température au cours du temps obtenue par calcul numérique.

- 2. O.Krischer and K.Kroll, Technique du séchage, Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques, B.P. N° 9, 91402 Orsay (1978).
- 3. D.A. de Vries, The theory of heat and moisture transfer in porous media revisited, *Int.J. Heat Mass Transfer* **30**, 1343-1350 (1987).
- 4. A.V. Luikov, Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies. Pergamon Press, oxford (1966).
- 5. C.M. Marle, On macroscopique equations governing multiphase flow with diffusion and chemical reactions in porous media, *Int. J. Eng sc.* 20 (5), 643-662 (1982).
- 6. S.Whitaker, Simulation heat, mass and momentum transfer in porous media. A theory of drying in porous media, Adv in Heat Transfer 13, 119-200 (1977).
- 7. S.Bories, Transferts de chaleur et de masse dans les matériaux. Analyse critique des différents modèles. Dans L'humidité dans les bâtiments (Edited by conseil International de la Langue Française), pp.13-72 (1984).
- 8. S.Larbi, G.Bacon and S.Bories, Diffusion d'air humide avec condensation de vapeur d'eau en milieu poreux, *Int.J.Heat mass Transfer* 38 13, 2411-2426 (1995).
- 9. P.Crausse, G.Bacon and S.Bories, Etude fondamentale des transferts couplés de chaleur-masse en milieu poreux, *Int.J.Heat Mass Transfer* **24** (6), 991-1004 (1981).
- 10. M.Recan, Simulation numérique du comportement thermique et hydrique d'un sol nu. Application à l'étude de l'évaporation par télédétection, Thèse de Docteur-Ingénieur de l'INP de Toulouse (1982).
- 11. J.C.Larrea, Etude par simulation numérique de l'hydrodynamique au voisinage d'une interface poreuse, Thèse de Doctorat de l'INP de Toulouse (1991).
- 12. G.Bacon, Simulation numérique des transferts de chaleur et de masse dans un milieu poreux non saturé. Colloque sur les Transferts de chaleurs et de masse en milieu poreux, Lausanne, Suisse (1982).
- 13. E.H Mitiche, Etude Fondamentale d'un Mécanisme d'Humidification par Condensation en Milieu poreux. Magister, C.U de Médéa (1997).



REDUCTION DU LINDANE PRESENT DANS L'EAU PAR LE FER A LA VALENCE ZERO

R. Boussahel(1), N. Babali(2) D. Harik(3)

(1) Hôpital Central de l'Armée. Service de Toxicologie, BP 244 Kouba 16050, Fax 021 54 52 38 E.mail:

r boussabella yahoo, fr

(2) Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, BP 19 Dely Ibrahim 16320

(3) Ecole Nationale Polytechnique, BP 182 El Harrach 16200

RESUME

Nous rapportons dans ce papier les résultats obtenus lors d'essais en laboratoire d'élimination du lindane présent dans l'eau par réduction chimique au fer à la valence zéro. Compte tenu de son prix de revient faible et de son efficacité, ce procédé nous semble être un traitement très prometteur.

Du fer en poudre, préalablement traité par une solution d'H₂SO₄, est introduit dans une bouteille contenant une solution d'eau distillée dopée par des quantités connues du pesticide étudié. Une agitation continue est alors appliquée et régulièrement des échantillons sont prélevés et analysés.

Les résultats obtenus montrent que la vitesse de dégradation de ce pesticide est du type pseudo - premier ordre et quelle et dépendante de la quantité pesticide, de la quantité fer et du pH. L'ajout de $\rm H_2O_2$ a donné lieu à une réaction de type Fenton et a multiplié cette vitesse par un facteur de $\rm 10,4$.

Mots clés: pesticide, lindane, fer, déchloration, réduction.

I. INTRODUCTION

Les pesticides sont devenus un outil indispensable pour lutter contre les ennemis des cultures en agriculture (insectes, parasites). Leur action sur l'augmentation du rendement agricole est bien réelle, mais après quelques années d'utilisation, des accusations d'atteinte à la santé et à l'environnement se sont fait entendre.

De nombreux travaux scientifiques ont montré que les pesticides peuvent avoir des effets toxiques, mutagènes, tératogènes ou cancérigènes. Compte tenu de leurs dangers, les instances sanitaires internationales ont limité sévèrement leur présence dans les eaux potables. Pour se conformer à ces normes, les producteurs d'eau ont été obligé d'introduire des procédés d'élimination de ces polluants dans leurs filières de traitement. Certains d'entre eux utilisent la rétention comme principe (l'adsorption sur charbon actif en poudre ou en grain et les procédés membranaires), d'autre la transformation (l'oxydation à l'ozone ou à l'ozone couplée au peroxyde d'hydrogène). Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients et surtout un coût.

Les eaux algériennes ne sont pas exemptes de cette forme de pollution comme indiqué par une étude effectuée dans la région de Staouali. Les résultats obtenus montrent la présence de pesticides organochlorés (lindane, heptachlore, 2.4 et 4.4 DDT, 2.4 et 4.4 DDE) et de pesticides organophosphorés (diazinon et parathion méthyle). Dans plus de 30% des échantillons analysés, la concentration de certaines de molécules dépassaient les valeurs guides de l'OMS (Boussahel et al.2003).

Une nouvelle approche a été développée ces dernières années pour remédier à certains problèmes de contamination des eaux de surface par l'utilisation du fer à la valence zéro (Fe°) qui est un puissant réducteur chimique, non toxique et relativement pas cher.

Le fer a la capacité de dégrader beaucoup de composés hydrocarbonés halogénés tels que : le tétrachlorure de carbone, le trichloroéthane, trichloroethylène et certains pesticides (Cantrell et al.1997). Le Fe° réduit également certains oxyanions très mobiles (Cr0₄²- et Te0₄) et oxycations (UO₂⁺) Wust et al.1999). Cette transformation rend ces composés non toxiques et inoffensifs pour l'environnement (Bigg et Judd, 200).

Les mécanismes de déshalogénation par le Fe° sont bien connus. L'équation qui s'y rapporte est la suivante :

$$Fe^{0} + RX + H^{+} \rightarrow Fe^{2+} + RH + X^{-}$$
 (1)

Le mécanisme d'activation du fer est dû sans doute au déplacement de l'oxygène physico ou chimisorbé à la surface du fer (Siantar et al,1996). D'autre part, certains auteurs ont conclu en étudiant le processus de déshalogénation des solvants chlorés (Matheson et Tratnyek, 1994), (Tratnyek, 1996), que ce mécanisme est équivalent à une corrosion du fer avec les alkyls comme agent oxydant et dont la réaction caractéristique est une dissolution oxydative du métal à pH proche de la neutralité. En présence d'oxygène, la corrosion du fer est rapide et conduit à la formation d'hydroxyde ferrique. Une précipitation d'hydroxyde ferreux Fe (OH)₂ formant une couche à la surface du fer est observée lors des deux types de corrosion. Dans ce processus, il y a la présence simultanée de trois espèces réductrices: Le fer métallique valence zéro Fe⁰, le fer ferreux Fe²⁺ et l'hydrogène H₂.

Par conséquent, il y a la possibilité d'existence de trois mécanismes de réduction :

- La réduction par Fe° des espèces halogénées par transfert d'électron à partir de la surface du fer jusqu'à l'halogène.
- Le fer ferreux joue le rôle d'intermédiaire de corrosion suivant la réaction :

$$2Fe^{2+} + RX + H^{+} \rightarrow 2Fe^{3+} + RH + X^{-}$$
 (2)

L'hydrogène intervient directement suivant la réaction :

$$H_2 + RX \rightarrow RH + H^+ + X^- \tag{3}$$

Cette dernière réaction n'intervient pas directement dans la déshalogénation car la force de réduction de l'hydrogène est faible en l'absence de catalyseurs et son accumulation à la surface du métal inhibe le processus de corrosion (Matheson et Tratnyek, 1994). D'autre part, selon Weber, 1996, la réduction des composés halogénés par le fer est un processus de surface par transfert d'électron.

Certains facteurs défavorisent la réaction de déshalogénation :

- L'accumulation de l'hydrogène, dégagé par la corrosion du fer, à la surface du métal peut stopper sa corrosion et entraîner sa passivation (Matheson et Tratnyek, 1994).
- La précipitation de carbonate de calcium en milieu anaérobie provoque une saturation de la corrosion du fer et une précipitation d'hydroxyde ferreux Reardon, 1998.

L'objectif de ce travail est d'étudier la possibilité d'élimination d'un pesticide par une réduction au fer à la valence zéro. Notre choix s'est porté sur le lindane, un insecticide organochloré interdit d'utilisation depuis l'année 2002 dans beaucoup de pays mais qui continuera de laisser son empreinte pendant des années encore du fait de sa persistance.

II. MATERIELS ET METHODES

Une quantité connue de fer en poudre 100 mesh (Labosi) est introduite dans une bouteille en verre de 500 ml et lavée par 50 ml d'une solution de H₂SO₄ 0,5 M (MERCK) pendant 10 minutes sous agitation avec un agitateur mécanique (IKA-WERKE.GMBH & CO.KG, IKA RW 20n). La solution de lavage est jetée et l'opération renouvelée une seconde fois. Un

volume de 1 L d'une solution de lindane (Aldrich) d'une concentration connue préparée dans de l'eau distillée est ajouté. Tout juste après, l'électrode du pH - mètre (Bioblock Scientific) est immergée dans la solution. Dans le cas où nous avons travaillé à un pH de 2,0 (\pm -0,1). Ce dernier est ajusté et maintenu à ce niveau par ajout de quelques gouttes d'une solution de H_2SO_4 3M (MERCK).

Régulièrement, des prélèvements de volumes de 5 ml de cette solution ont été effectués avec une pipette. Ce volume prélevé est introduit dans une fiole jaugée de 250 m1 contenant de l'eau distillée et 4 ml d'une solution de NaOH 2,5N (MERCK). Cette dernière est utilisée afin d'arrêter la réaction de déchloration Une fois que le volume est ajusté à 250 ml avec de l'eau distillée, l'échantillon est bien mélangé. Le prélèvement subit alors le protocole expérimental analytique qui va suivre. Chaque expérience a été réalisée au moins deux fois.

Le volume de 250 ml de la solution aqueuse obtenue après filtration est extrait par une fois 25 ml,15 ml puis 10 ml d'hexane pour analyse (MERCK), après avoir agité chaque fois pendant 10 minutes puis dégazé. Les phases organiques sont récupérées dans des erlenmeyers et séchées à l'aide de sulfate de sodium anhydre (MERCK).

Les résidus du lindane sont dosés par un spectrophotomètre UV – Visible (SHIMADZU model 1240). Un balayage spectral d'une solution à 50 mg.L⁻¹ a permis de déterminer que la longueur d'onde d'adsorption maximale du lindane est à 203,5 nm. Une série de solutions étalons a été préparée à partir d'une solution mère de lindane à 1 g.L⁻¹ dans l'hexane de manière que l'éventail de concentrations soit plus large que celui de la solution inconnue à analyser.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Influence de la concentration initiale du pesticide

Dans un premier temps, nous avons essayé d'évaluer l'influence de la concentration initiale en lindane sur le déroulement de la réaction de sa dégradation par le fer à la valence zéro. Pour cela, nous avons testé deux niveaux de concentration 0,1 et 0,2 mg.L⁻¹ pour une même quantité de fer (10g).

Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 1. Ils montrent le pourcentage du lindane restant (non dégradé) en fonction du temps de contact avec le fer.

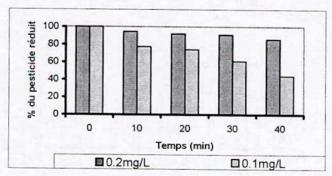


Figure 1: Comparaison de l'évolution des quantités restantes du pesticide en % en fonction du temps et de la quantité initiale du pesticide.

L'analyse de ces résultats montrent bien l'efficacité du fer à dégrader ce pesticide et que celleci est dépendante de la concentration initiale de ce dernier.

Ainsi, le pourcentage du lindane dégradé passe en 40 minutes de moins 20% pour C₀=0,2 mg.L⁻¹ à plus de 80% pour C₀=0,1 mg.L⁻¹. Ce constat est largement confirmé par les constantes de vitesse calculées ci - dessus. A ce titre, ces vitesses de déchloration (ou de

dégradation) dans un système de batch sont décrites dans la littérature par une équation de pseudo-premier ordre Wust et al., 1999 :

$$\frac{d[C]}{dt} = -k[C] \tag{4}$$

où. [C] : concentration du composé organique dans la solution en mg.L-1;

[t]: temps en heures;

K : constante de vitesse de pseudo-premier ordre.

Le tracé des courbes log (C₀/C) en fonction du temps permet de déduire les constantes K. Les coefficients de régression obtenus (Tableau 1) montrent bien que la dégradation du lindane peut être considérée comme une réaction de pseudo-premier ordre comme cela a été déjà mentionné pour d'autres pesticides (Sayles *et al.*, 1999), (Boussahel *et al.*, 2001). Les constantes K déduites des courbes ln C/C₀ = f (t) (Tableau 1) sont de 0,204 h⁻¹ et 1,128 h⁻¹ pour respectivement C₀=0,2mg.L⁻¹ et C₀=0,1mg.L⁻¹. La réduction de la concentration du lindane de moitié conduit à une augmentation d'un facteur de 5,5 de la vitesse de dégradation.

Tableau 1 : résultats obtenus à partir du tracé des courbes $\log (C_0/C) = f(temps)$

Conditions opératoires	K (h-1)	Coefficients de régression R ²
10 g de fer + 0,2 mg.L-1 Lindane	0,204	0,9483
10 g de fer + 0,1 mg.L-1 Lindane	1,128	0,9695
50 g de fer + 0,2 mg.L-1 Lindane	1,350	0,9386
10 g de fer + 0,2 mg.L-1 Lindane, pH=2 ± 0,1	1,470	0,9843
10 g de fer + 0,2 mg L-1 Lindane +H ₂ O ₂	2,200	0,9653

III.2. Influence de la quantité du fer

Pour évaluer l'influence de la quantité de fer sur la vitesse de dégradation du lindane, nous avons réalisé des expériences avec une quantité de 50 g de fer et une concentration initiale de 0,2 mg.L⁻¹. Les résultats de ces expériences ont été comparés à ceux obtenus avec 10 g de fer et la même concentration initiale du pesticide. Les résultats sont illustrés dans la figure 2 et mettent bien en évidence l'influence de la quantité de fer sur la vitesse de dégradation du lindane.

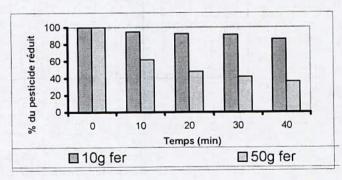


Figure 2 : Comparaison de l'évolution des quantités restantes du pesticide en % en fonction du temps et de la quantité de fer.

Ainsi, plus de 60 % du lindane sont dégradés au bout de 40 mn pour une quantité de 50 g. Alors que 10 g de fer ont dégradé moins de 20 % du lindane au bout du même temps. Ceci est bien visible avec les constantes de vitesse déduites des courbes $\ln C/C_0 = f(t)$ (tableau 1).

Elles sont respectivement de 0,204 h⁻¹ et 1,35 h⁻¹ pour 10 g et 50 g de fer. Ainsi le constat que nous pouvons faire et que la vitesse de dégradation du lindane est multipliée par 6,6 quand la quantité de fer et multipliée par 5.

Nous pouvons dire que la déchloration du lindane par le fer est dépendante de la quantité de fer utilisée comme cela a été déjà décrit dans la littérature pour d'autres pesticides (Nam et Tratnyek, 2000). L'augmentation de la quantité de fer augmente la surface de contact et favorise ainsi la vitesse de déchloration des pesticides.

III.3. L'influence du pH de la solution

Pour étudier l'influence du pH de la solution sur la vitesse de dégradation du lindane par le fer, nous avons réalisé des expériences avec une quantité de 10 g de fer et une concentration initiale de 0,2 mg .L¹ tout en maintenant le pH de la solution à une valeur de $2\pm0,1$, par ajout de H_2SO_4 (3M). Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus avec la même quantité de fer et de lindane mais avec un pH libre. La différence est bien illustrée sur la figure 3 où nous pouvons noter que la valeur du pH libre s'élève de 3 à 4 en 40 minutes. En second lieu, nous pouvons constater que la quantité du lindane dégradé dépasse 60 % dans le cas où le pH est fixé à une valeur de $2\pm0,1$, alors qu'elle est inférieure à 20% dans le cas ou il est laissé libre.

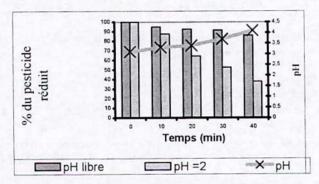


Figure 3 : Comparaison de l'évolution des quantités restantes du pesticide en % en fonction du temps à pH libre et pH = $2 \pm 0,1$

Ceci est bien confirmé par les constantes de vitesse déduites des courbes $\ln C/C_0 = f(t)$ (tableau 1) et qui sont respectivement de 0,204 h⁻¹ et 1,47 h⁻¹ pour pH libre et pH 2,0 ± 0,1.

Ainsi le maintien du pH de la solution à une valeur de 2 ± 0.1 , permet de multiplier la vitesse de dégradation par un facteur de 7,2. La réaction de corrosion du fer se caractérise par une dissolution du métal :

$$Fe^0 \xrightarrow{\leftarrow} Fe^{2+} + 2e^-$$
 (5)

De plus, l'eau seule peut servir comme oxydant :

$$2H_2O + 2e^- \xrightarrow{\leftarrow} H_2 + 2OH^- \tag{6}$$

$$Fe^{0+} + 2H_2O \xrightarrow{\leftarrow} Fe^{2+} + H_2 + 2OH^-$$
 (7)

L'équation 7 montre bien que l'oxydation du fer qui conduit à la formation de l'hydroxyde ferrique est le phénomène responsable de l'élévation du pH de plus il y a formation de film passif composé de magnétite (Fe₃O₄) qui peut être aussi constitué d'une double couche deFe₃O₄ et d'une couche externe de Fe₂O₃ Zawaideh et Zhang, 1998. L'existence de ce film ralentit la vitesse de dissolutions du fer et par conséquent celui de la réaction.

III.4. Influence de la présence du peroxyde d'hydrogène (H2O2)

Pour évaluer l'influence du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) sur la vitesse de dégradation du lindane par le fer, nous avons réalisé des expériences une concentration initiale de $0,2~{\rm mg.L^{-1}}$ d' H_2O_2 . Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus précédemment avec les mêmes quantités sans H_2O_2 . La figure 4 illustre bien cette comparaison et montre l'influence de la présence de H_2O_2 sur la dégradation du lindane. Aussi, 80% de la quantité initiale du pesticide a été dégradée au bout de 40 mn, alors qu'elle ne dépassait pas les 20% dans l'autre cas.

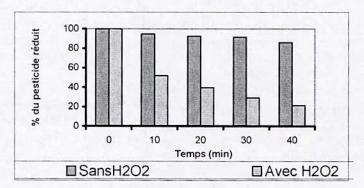


Figure 4 : Comparaison de l'évolution des quantités restantes du pesticide en % en fonction du temps en présence et en absence de H₂O₂

Les constantes de vitesse déduites des courbes $\ln C/C_0 = f(t)$ (Tableau 1) illustrent bien ce phénomène. Elles sont respectivement de 2,2 h⁻¹ et 0,204 h⁻¹ avec H_2O_2 . Ainsi, l'ajout de 2 mg.L⁻¹ de peroxyde d'hydrogène multiplie la vitesse de dégradation du lindane par un facteur de 10,8. Cette réaction d'oxydation avancée est connue sous le nom de réaction d'oxydation de type FENTON mais avec le fer à la valence zéro comme catalyseur au lieu de l'ion ferrique Fe⁺². En présence de H_2O_2 , Fe° est transformé en Fe⁺² (Bergendahl et Thies, 2004):

$$Fe^{0} + H_{2}O_{2} \rightarrow Fe^{2+} + 2OH^{-}$$
 (8)

L'ion Fe⁺² peut alors réagir avec H₂O₂ dans une réaction traditionnelle d'oxydation avancée :

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + OH$$
 (9)

$$Fe^{3+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{2+} + H^+ + HO_2^{\bullet}$$
 (10)

Comme présenté dans la réaction 10, l'ion ferreux réagit avec le peroxyde d'hydrogène pour former un produit extrêmement fort, le radical hydroxyle, qui est capable d'oxyder un grand nombre de produits organiques. La réaction FENTON est de plus en plus appliquée dans le traitement des eaux contaminées.

L'ajout du peroxyde d'hydrogène permet de tirer le maximum d'avantage du produit de corrosion du fer, Fe²⁺. Les réactions qui se déroulent durant l'oxydation du contaminant sont nombreuses; comme le montre l'équation 11. Le contaminant (RHX), H₂O₂, l'ion ferreux, comme catalyseur, sont consommés pour produire de l'eau et du dioxyde de carbone. RHX représente un composé organique et X représente un halogène (tel que le chlorure) (Liao et al., 2003):

$$RHX + H_2O_2 \xrightarrow{Fe^{2+}} H_2O + CO_2 + H^+ + X^+$$
 (11)

De nos jours, le procédé FENTON est de plus en plus utilise dans la décontamination des eaux polluées par les phénols, formaldéhyde, pesticides...etc (Bergendahl et Thies, 2004), (Liao et al. 2003).

IV. CONCLUSION

L'utilisation du fer à la valence zéro pour la dégradation des pesticides est une méthode récente et d'avenir qui consiste en une déchloration du pesticide en rendant facile sa biodégradabilité et son caractère de persistance éliminé par l'élimination des atomes d'halogène.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'efficacité du traitement est dépendante de plusieurs paramètres :

- Le taux de dégradation du lindane est d'autant plus grand que sa concentration initiale est faible ou que la quantité de fer est grande, et cela est du à l'augmentation des sites de réaction entre le fer et le pesticide.
- Le pH acide facilite les échanges protons- chlore entre le pesticide et la solution. Il évite aussi la formation du film passive de magnétite (Fe₃O₄)
- La réaction du type Fenton obtenue par l'ajout de H₂O₂ active au maximum le processus de dégradation en donnant naissance à un oxydant très fort, le radical hydroxyle qui permet de s'affranchir du maintien du pH à des valeurs faibles tout en accélérant la vitesse de déshalogénation.

Étant donnée que les concentrations dans les eaux réelles sont d'un ordre résiduaire, ces résultats nous laissent très optimistes quant au traitement des eaux contaminées par le lindane, et cela laisse même à espérer une décontamination *in situ* de certains milieux marins abrités ou la pollution n'est pas diluée. Il reste à optimiser les paramètres de la réaction Fenton (ratio fer / H_2O_2) et poursuivre l'étude sur des eaux réelles afin de voir l'influence des différents composants (matière minérale, matière organique) sur la vitesse de la réaction.

REFERENCES

- [1]: Boussahel R., Harik D., Moussaoui K.M., (2003), Essais d'élimination des pesticides présents dans certaines eaux algériennes, 2èmes Journée Scientifiques de l'ANDRS. Oran Algérie.
- [2]: Cantrell K.J., Kaplan D.I. & Gilmore T.J. (1997), Injection of colloidal Fe⁰, particles in sand with shear thinning fluids, *Journal of Environmental Engineering*, <u>August</u>, 786 791.
- [3]: Wust W.F., Kober R., Schlicker O. & Dahmke A. (1999), Combined zero and first order kinetic model of the degradation of TCE and cis DCE with commercial iron, *Environ. Sci. and Technol.*, 33, 4304 4309.
- [4]: Bigg T, Judd J, (2000), Zero valent iron for water treatment, Environmental Technology, 21, 661-670.
- [5]: Siantar D.P., Schreier C.G. & Reinhard M. (1996), Treatment of 1, 2 dibromo 4 chloropropane and nitrate contaminated water with zero valent iron or hydrogen / palladium catalysts, *Water Research*, 30 (10), 2315 2322.
- [6]: Matheson J, Tratnyek P G, (1994), Reductive dehalogénation of chlorinated methanes by iron metal, *Environ. Sci. and Technol*, 28, 2045-2053.
- [7]: Tratnyek P.G., (1996), Putting corrosion to use: remediating contaminated groundwater with zero valent metals, *Chemistry and Industry*, July, 499-503.

- [8]: Weber E.J. (1996), Iron mediated reductive transformations: investigation of reaction mechanism, *Environ. Sci. and Technol.*, 30 (2), 716 719.
- [9]: Reardon E.J. (1998), Anaerobic corrosion of granular iron: measurement and interpretation of hydrogen evolution rates, *Environ. Sci. and Technol.*, 29 (12), 2936 2945.
- [10]: Sayles D.G., You G., Wang M. & Kupferle M.J. (1997), DDT, DDD and DDE dechlorination by zero valent iron, *Environ. Sci. and Technol.*, 31, 3448 3454.
- [11]: Boussahel R., Welte B., Baudu M., Moussaoui K. M., Montiel A. (2001), Removal of chlorinated pesticides from water by zero valent iron, The Second European Workshop on Water, Air and Soil treatment by advanced Oxidation Technologies: Innovative and Commercial Applications, February 28 March 2, Poitiers, France.
- [12]: Nam S. & Tratnyek P.G. (2000), Reduction of azo dyes with zero valent iron, Water Research., 34 (6), 1837 1845.
- [13]: Zawaideh L.L. & Zhang T.C. (1998), The effect of pH and addition of an organic buffer (HEPES) on nitrate transformation in Fe⁰ water systems, *Water Science Technology*, 38 (7), 107 115.
- [14]: Bergendahl, J. A., Thies T.P., (2004), Fenton's oxidation of MTBE with zero-valent iron, Water Research, 38, 327-334.
- [15]: Liao. C.H, Kang S.F, Hsu Y.W. (2003), Zéro valent iron reduction of nitrate in the presence of UV light, organic matter and hydrogen peroxide, Water research, 17,4109-4118.

CONSEQUENCES DE LA POLLUTION DES EAUX SUR LA SANTE CONSEQUENCES OF WATER POLLUTION ON HEALTH

Samira Baba Hamed⁽¹⁾, Mansour Belhadri⁽¹⁾, Lila Benabdallah⁽²⁾ et Touria Gaouar⁽³⁾

(1) Laboratoire de rhéologie, transport et traitement des fluides complexes
Université des sciences et de la technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf - Algérie
(2) Epidémiologue - Direction de la santé et de la population d'Oran - Algérie
(3) Médecin généraliste - Direction de la santé et de la population d'Oran - Algérie

Correspondance auteur: samira babahamed@yahoo.fr

RESUME

L'eau est la source de la vie, mais mal exploitée, elle devient un problèmes ; polluée, elle donne l'accès à tous les maux et ouvre des portes à la pauvreté, au sous développement et devient la raison de la mort La pollution des eaux a plusieurs origines. La plupart des polluants proviennent des rejets des eaux usées domestiques et industrielles dans les rivières et mers. La conséquence de cette pollution est directe sur la santé publique ; elle se concrétise par des risques de maladies à transmission hydriques tel que le choléra, la fièvre typhoïde, la dysenterie, hépatite virale A et les maladies de la peau.

Cette étude est réalisée dans la ville d'Oran, elle donne une estimation de l'évolution des maladies à transmission hydriques ces dernières décennies. Nous établirons un bilan de situation générale et planification des opérations à réaliser en matières d'hygiène du milieu et de lutte contre les M.T.H.

Nous proposerons un programme qui commence par l'application de simples normes d'hygiène et s'étend sur le contrôle des points d'eau et du réseau de distribution.

L'individu et la communauté peuvent contribuer favorablement à minimiser la pollution des eaux en signalant les fuites et en gérant rationnellement la ressource en eau.

Mots clés: Pollution - Eau Usées - MTH - Environnement - Prévention

ABSTRACT

Water is the source of life, but when badly exploited, it becomes a source of problems; polluted, it gives access to all diseases and opens doors to poverty, under development and becomes a cause of death. Water pollution has many sources. The most polluting of them are the city sewage and industrial waste discharged into the rivers or sea. They can cause many illnesses that range from typhoid, dysentery, cholera, hepatitis A and skin diseases.

This study has been carried out in the town of Oran (west Algeria), it gives an estimate of the evolution of hydrous transmitted diseases these last decades. We will establish an assessment of general situation and planning of the actions to be taken practical in front of epidemics diseases with hydrous transmission.

We will propose a program which starts with the application of simple standards of hygiene and extends on control of water points, the treatment of tanks and control the drinking water network.

The individual and the community can help minimize water pollution. By simple housekeeping and management practices the amount of waste generated can be minimized.

Keys Words: Pollution - Sewage - Diseases - Environment - Prevention

I. INTRODUCTION

L'eau est le premier ressort et le déterminant même de la vie. Chaque partie du cycle de l'eau serait un écosystème relié lui-même aux autres écosystèmes aquatiques. De ce fait, quand les gouttes d'eau tombent vers la terre, toute substance entraînée vers le sol devient un polluant de l'eau. La pollution a donc de nombreuses origines qui sont reliées au cycle de l'eau. Elle peut provenir directement des activités humaines comme le déversement des déchets ou des substances chimiques dans l'eau, ou peut s'introduire n'importe où dans le cycle de l'eau naturel, ou pendant son transfert du lieu de captage jusqu'au consommateur.

La pollution de l'eau est indissociable avec la dégradation de ses qualités vitales c'est à dire de l'altération ou de la suppression des fonctions potentielles de l'eau.

Les eaux destinées à la consommation peuvent être contaminées suite à des infiltrations ou à des rejets. Cette contamination se traduit par la présence d'éléments toxiques et polluants hors normes dans les eaux potables.

Les origines de ces infiltrations sont nombreuses, entre autres les rejets mal contrôlés, qui proviennent de certaines industries et finiront par rejoindre une nappe phréatique, l'infiltration des eaux usées du réseau d'assainissement dans le réseau d'alimentation en eau potable (cross connexion) et aussi les fosses septiques se trouvant dans le rayon de pompage d'un puits.

Ces problèmes qui à l'origine sont facilement réglables peuvent avec le temps toucher à la santé du consommateur et à l'économie, car certaines maladies à transmission hydrique engendrent des épidémies aux lourdes conséquences. Cette étude est réalisée dans la ville d'Oran où la pollution des eaux potables est une des causes possibles d'épidémies.

II. LA POLLUTION DES EAUX

Les eaux se répartissent en deux groupes les eaux terrestres et les eaux marines.

La pollution de ces eaux a plusieurs origines, quel soit terrestre ou marine, elle finira inévitablement par toucher à la santé de l'être humain en raison de sa consommation ou de son contact.

La pollution des eaux potables peut être superficielle et/ou souterraine, ces conséquences sur la santé sont des maladies à transmission hydriques. Quant à la pollution marine, les maladies de la peau et d'autres organes se transmettent suites aux baignades dans les eaux polluées. La pollution est provoquée par des agents chimiques ou microbiens provenant des structures domestiques, industrielles et agricoles.

II.1 Le parcours de l'eau

L'assurance de la bonne qualité sanitaire de l'eau reste le premier objectif à atteindre, quelque soit le parcours de l'eau, du captage jusqu'au consommateur.

Cet objectif doit se prévaloir tout au long du système d'alimentation en eau qui regroupe en général les opérations suivantes :

Captage l'eau : souterrain et superficiel - Prise d'eau - Station de pompage - Adduction - Station de traitement - Ouvrages de stockage : réservoir - Réseau de distribution : consommateur.

Chacune de ces opérations requiert obligatoirement un soin particulier du point de vue hygiène. On peut en effet constater une contamination massive au niveau d'une des opérations citées, alors que l'on bénéficiait, à la source, d'une eau parfaitement potable.

II.2. Origine de la pollution des eaux

Les maladies à transmission hydrique continuent à sévir à l'état endémique et épidémique touchant à la santé du citoyen. Elles se propagent suite à la dégradation de la qualité bactériologique de l'eau.

Une eau peut être polluée :

- a- A la source: qui peut être superficielle: lieu de captage ou souterraine: le rejet d'une fosse septique rejoint le rayon de pompage d'un puits.
- b- Dans les ouvrages hydrauliques : ouvrages de stockages, réservoirs.
- c- Dans les conduites d'adduction : conduite en mauvais état, fissuration ou déboîtement des joints.
- d- Dans le réseau de distribution, c'est la cross connexion : infiltration des eaux du réseau d'assainissement dans le réseau d'alimentation en eau potable.
- e- Autres: dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux usées peuvent rejoindre une nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...).

Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées.

L'irrigation des cultures avec les eaux usées est aussi une cause possible des maladies à transmission hydriques.

III. RECENSEMENT DES EPIDEMIES LIEES A LA CONSOMMATION DE L'EAU DANS LA WILAYA D'ORAN

La conséquence de la contamination des eaux potables sur la santé c'est la propagation des maladies à transmission hydrique. Les MTH sont des maladies à déclarations obligatoires. Elles apparaissent suite à la dégradation de la qualité bactériologique de l'eau due à sa pollution. Certaines maladies sévissent à l'état épidémique et d'autres à l'état endémique néanmoins, elles sont en nette régression comme le démontrent plusieurs enquêtes réalisées dans la Wilaya d'Oran. Les données transmises par la direction de la santé et de la direction d'Oran (D.S.P) sont représentées dans le tableau

Tableau I: Situation épidémiologique de la wilaya d'Oran de 1983 à 2004 (1er semestre)

Années	MALADIE	Total			
	Choléra	F.Typhoide	Hépatite A	Dysenterie	
1983	0	49	0	0	49
1984	0	62	76	30	168
1985	0	0	0	0	0
1986	447	96	76	64	683
1987	220	46	102	71	439
1988	349	74	23	7	453
1989	70	26	100	28	224
1990	74	62	55	42	233
1991	3	68	86	60	217
1992	4	51	154	44	253
1993	0	34	96	40	170
1994	0	47	88	31	166
1995	0	68	174	52	294
1996	0	27	74	29	130
1997	0	60	119	18	197
1998	0	21	76	44	141
1999	0	64	107	37	208
2000	0	9	98	47	154
2001	0	17	50	79	146
2002	0	33	44	19	96
2003	0	23	29	6	58
2004 (1er semestre)	0	3	4	1	8

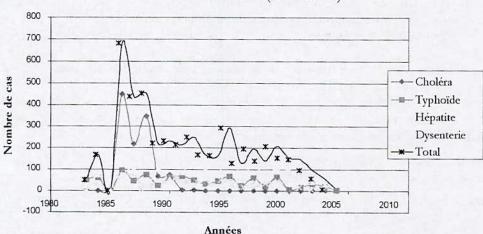


Figure 1 : Situation épidémiologique des MTH dans la Wilaya d'Oran entre 1983 et 2004 (1er semestre)

Comme le démontre la figure 1, les MTH ont connu une recrudescence rapide entre les années 1986 et l'année 1992, ceci est due à la dégradation de la qualité bactériologique de l'eau et à la restriction hydrique importante.

Néanmoins, à partir de 2000, ces maladies diminuent visiblement et aucun cas de choléra n'est recensé, ceci grâce aux efforts déployés par les secteurs de la santé et de l'hydraulique. La fièvre typhoïde reflète le caractère endémique de la maladie et à un moment donné la concentration des cas ; quant aux hépatites virales A ce sont les cas déclarés qui sont représentés vu qu'il y'a toujours des cas traités. En effet l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau, la rareté des coupures et la création de nouvelles adductions ont amélioré l'approvisionnement en eau des collectivités; ajoutant à cela la prise de conscience des citoyens qui ont compris que l'amélioration des conditions de leur vie est basée sur un respect strict des règles d'hygiènes

IV. RECENSEMENT DES MTH DANS LES DIFFERENTS SECTEURS DE LA WILAYA D'ORAN

Nous avons pris les quatre dernières années 2001, 2002, 2003 et le premier semestre de 2004 et nous avons estimé la situation épidémiologique des MTH dans la wilaya d'Oran en fonction des différents secteurs sanitaires et communes de la wilaya d'Oran. Les données sont regroupées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Bilan annuel des MTH des secteurs sanitaires et communes d'Oran

Années	MTH		Secteurs sanitaires et communes				Total
			SS Oran	SS Arzew	SS Es Senia	SS Ain El Turck	
	F. Typhoïde	C.sus	13	3	9	3	28
		C.Conf	8	1	5	3	17
2001	H virale A		29	2	12	7	50
	Dysenterie		43	5	26	5	79
	T.I.A.C		136	37	189	7	369
2002	F.Typhoïde	C.Sus	21	6	2	14	43
		C.Conf	16	3	1	33	33
	H virale A		15	2	19	8	44
	Dysenterie		6	2	10	1	19
	T.I.A.C		36	487	49	0	572
1012	F. Typhoïde	C.Sus	13	2	8	17	40
		C.conf	5	1	4	13	23
2003	H virale A	1	12	2	10	5	29
	Dysenterie		1	0	5	0	6
	T.I.A.C		105	141	51	17	314
	F. Typhoïde	C.Sus	1	0	0	2	3
2004		C.conf	1	0	0	2	3
	H virale A	. 1 7	3	0	1	0	4
(1er	Dysenterie		0	0	1	0	1
semestre)	T.I.A.C		27	95	47	23	192

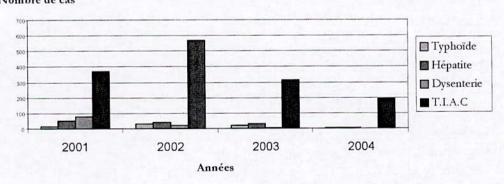
Source: D.S.P Oran

C.Susp: cas suspect

C.Conf: cas confirmé

T.I.A.C: toxi-infection alimentaire collective

Figure 2 : situation épidémiologique de la Wilaya d'Oran année 2001-2004 (1er semestre)



Comme le démontre la figure 2, les années 2001,2002, 2003 et le premier semestre de 2004 ont connu un réel recul des MTH preuve de l'efficacité des enquêtes épidémiologiques, de la sensibilisation de la population et d'un meilleur apport de l'eau. Le travail reste à faire pour les T.I.A.C, aussitôt que la piste hydrique sera suspectée, procéder au prélèvement et à l'analyse de l'eau nécessaire à la préparation des aliments, glace etc.....

V. APERCU SUR LA POLLUTION DES EAUX MARINES

Les cotes algériennes s'étendent sur environ 1200 km, elles présentent des paysages merveilleux, sources de repos et de détente.

Mais souvent derrière ces vues paradisiaques se cache le point de rencontre de toutes les pollutions et ceci sous forme d'un rejet : canal immense et inesthétique qui déverse des eaux noirâtre et nauséabonde dans cette étendue d'eau bleu initialement pure, touchant à la faune et à la flore marine.

Le réservoir marin a pour caractéristique de s'épurer très lentement. La méditerranée étant privée de courants forts et de marées, ce phénomène se trouve accru. Mais si la nature a bien fait les choses, le rejet des bateaux, des produits chimiques, et les rejets industriels et domestiques n'ont pas été prévus dans l'auto-épuration de la mer; ajoutant à cela un afflux touristique saisonnier surabondant. Les maladies de la peau et d'autres organes se transmettent suite aux baignades dans les eaux polluées. Le tableau 3 donne un aperçu sur les maladies provoquées par ces eaux.

Tableau 3: Les principales maladies causées par les eaux réactives - Bendahmane, 2002 [2]

Catégories	Maladies	Germes	Site d'attaque	Origine
Affection gastro- intestinale	Les gastro-entérites			Eau et coquillage
Affection cutano- muqueuses	Infection otique (otite externe) Sinusite conjonctivite	streptocoque	La peau du conduit Sinus frontal. La conjonctive (muqueuse de l'œil)	0
Manifestation fébrile polymorphe	Herpès		La bouche	Eau
Affection génito- urinaire	Urétrite banale	Chlamyde	L'urètre	Eau

Même si beaucoup de germes sont tolérés en milieu marin, il ne doivent pas dépasser certaines limites comme le démontre le tableau

Tableau 4: Norme de la qualité des eaux de baignades J.O N° 46 du 14/07/1993 – Bendahmane, 2002 [2]

Paramètres	Unités	Valeurs guides	Valeurs limites
Coliformes totaux	/100 ml	500	10 000
Coliformes fécaux	/100 ml	100	2000
Streptocoques fécaux	/100 ml	100	
Salmonelles	/11		0
Vibrion cholérique	/450 ml		0
Entérovirus	PFU /101		0

Les eaux de bonnes qualités sont représentées dans les valeurs guides

Les eaux de qualités acceptables sont comprises entre les valeurs guides et les valeurs limites et doivent faire l'objet d'une surveillance continue.

La protection des eaux marines passe par la réalisation de plus de stations d'épurations dans les villes côtières et les villages touristiques. Pour prévenir les maladies dues à ces eaux, il important d'éviter la baignade dans les eaux polluées.

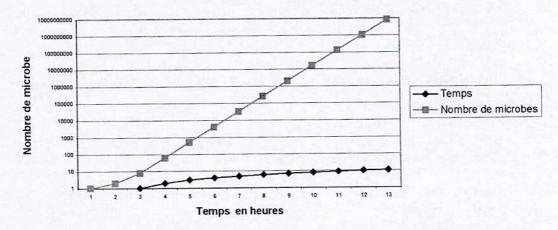
VI. PROGRAMME DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION DES EAUX

Si l'on considère la vitesse fulgurante de développement d'un microbe, on comprendra aisément qu'il est plus facile pour tous les secteurs de travailler sur la prévention. En effet, à partir d'un microbe à un temps initial, on peut obtenir en cinq heures plus de trois millions; comme le démontre le tableau 5.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Tableau 5: Evolution de la population microbienne en fonction du temps (UNICEF, 1999

Temps (heures)	Nombre de microbes
0	1
0.33	2
1	8
2 3	64
3	512
4	4096
5	32768
6	262144
7	2097152
8	16777216
9	134217728
10	1073741824
11	8589834592

Figure 3 : évolution de la population microbienne en fonction du temps



Ajoutant à cela l'impact économique et social, les épidémies coûtent chères. En 1999, un casde fièvre typhoïde demandait à l'état 120 000 DA approximativement par cas. En effet, un cas de maladie en général nécessite un traitement et possibilité hospitalisation, un arrêt de travail ou scolarité pour les enfants, les analyses de l'eau, les enquêtes épidémiologiques, le suivi du malade etc,....

L'impact social est aussi profond avec les cas de psychose au sein de la population et de décès.

VI.1. Contribution des secteurs relevant de la santé

Les MTH sont des maladies à déclarations obligatoires, la liste doit être actualisée régulièrement et tenir compte même des cas isolés, et il faut veiller à la diffusion des statistiques conformes à la réalité sur terrain

a. Mesures préventives.

Les mesures préventives relevant des secteurs de la santé regroupent les points suivants :

- Surveillance et enquête épidémiologique à longueur d'année.
- Sensibilisation et éducation sanitaires.

- Assurer la coordination entre les différents secteurs sanitaires.
- Donner l'information aux médias (radio, journaux ...)

b. Mesures curatives

Les mesures curatives dépendent de la gravité de la maladie. En générale, les étapes suivantes sont suivies :

- Diagnostic, confirmation de la maladie et traitement du malade.
- Réalisation d'une enquête épidémiologique dans l'entourage direct du malade pour dépister les porteurs sains.

VI.2. Contribution des secteurs relevant de l'hydraulique

Le secteur de l'hydraulique contribue de la façon suivante :

- a. Surveillance de la qualité de l'eau: protection des réserves souterraines et superficielles
 - Protection des réserves superficielles : contrôler les rejets.
 - Protection des réserves souterraines: les nappes phréatiques rejoindront un puits, si ce puits est prévu comme source d'approvisionnement en eau potable, il faut veiller à un respect scrupuleux des règles d'hygiènes.

Un puits ordinaire ne peut plus être considéré comme source d'eau potable sans traitement dés que deux analyses bactériologiques consécutives révèlent la présence de plus de 10 coliformes par 100 ml.

Les vérifications préliminaires à faire sont : le puits doit être éloigné d'au moins 15 m de toute source de pollution possible et ne pas être localisée à plus de 100 m (maximum 150 m) des habitations.

b. Entretien des points d'eau

- Procéder à la javellisation automatique de tous les points de stockage de l'eau, le chlore par sa propriété de rémanence est le meilleur traitement pour l'eau.
- Chaulage des puits à l'aide de la brique poreuse
- Dresser un état de besoin des produits nécessaires : chlorure de chaux, brique poreuse, chlore gazeux ...
- Surveillance de la qualité de l'eau.
- Seiller à la qualité bactériologique de l'eau d'irrigation

c. Entretien des réseaux d'alimentation en eau potable

- Etablissement d'un constat périodique de l'état du réseau et d'un bilan annuel
- Entretien et gestion du réseau d'AEP avec contrôle régulier pour la détection des fuites, car toutes sorties d'eau suppose une entrée des matières polluantes.
- Pérennité des ouvrages, un matériau qui se dégrade ou s'oxyde développera des poches d'air qui favoriseront le développement des bactéries
- Lutte contre l'entartrage : l'injection du polyphosphate constitue un traitement préventif et inhibitif contre l'entartrage.
- Lutte contre la corrosion : par le revêtement des canalisation ou par la protection cathodique.
- Rénovation des joints défectueux et des canalisations en cas de besoin.

VII. CONCLUSION

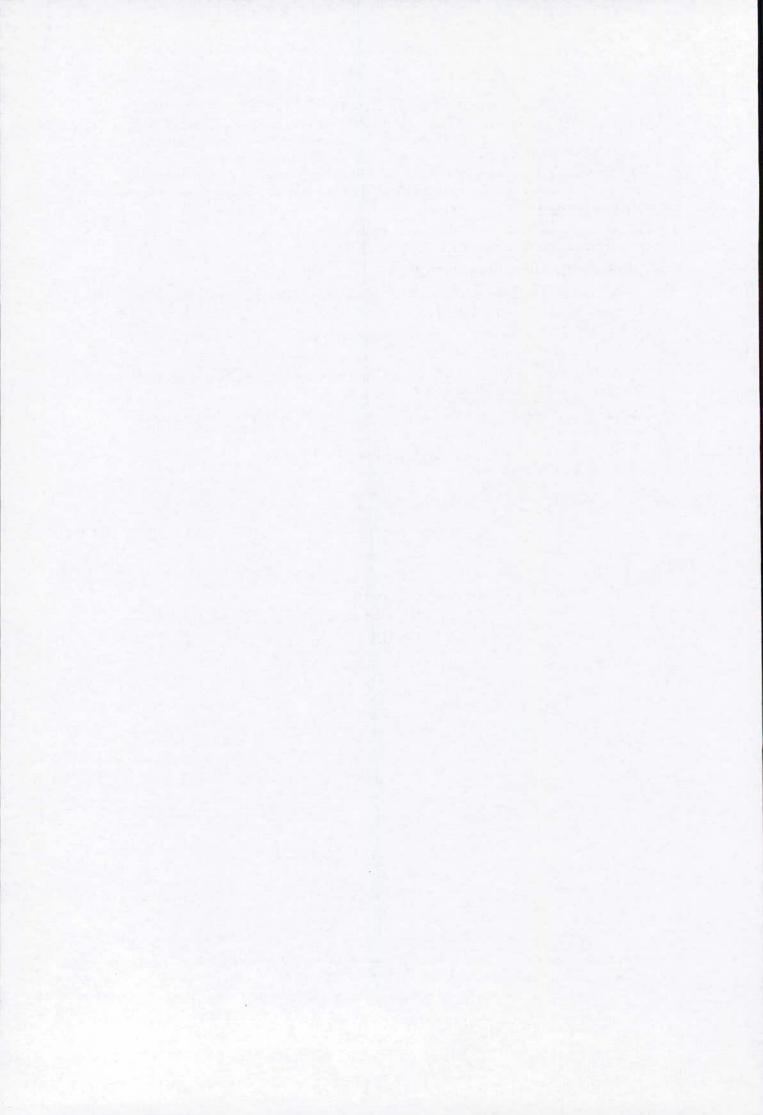
Dans la prévention des maladies à transmission hydrique, la protection de la ressource en eau et de l'environnement occupe une place de premier choix, essentiellement contrôlable par l'hygiène du milieu.

La lutte contre la pollution des eaux requiert des efforts permanents de la part des différentes institutions tel que la santé et l'hydraulique. Les études réalisées démontrent qu'il est possible de réduire ces maladies, par la mise en place d'un programme de lutte contre les MTH continu et étendu sur toute l'année, et redoubler de vigilance au moment des périodes à risques, liées à la sécheresse. Le problème doit être traité à la source, en préservant et en veillant à la qualité de l'eau tous au long de son parcours.

La prise de mesure simple à l'origine peut conduire à une réduction notable des épidémies et de la morbidité par des maladies à transmission hydriques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- [1] Bared bouheni et Cherchab Djillali , 2002 Etude du problème de la cross connexion de la ville d'Oran. (Encadré par Baba Hamed Samira)
- [2] Les eaux de baignades et leurs rapports avec les maladies à transmission hydriques. Kaddour Bendahmane - mai 2002
- [3] Guide pratique pour l'eau potable et l'assainissement rural et suburbain organisation mondiale de la santé Copenhague 1984
- [4] L'hygiène alimentaire en milieu scolaire guide du gestionnaire des cantines scolaires Unicef 1999
- [5] David Krantz and Brad Kifferstein Water Pollution And Society



LES FLUORURES DANS LES EAUX DE CONSOMMATION DE L'OUEST ALGERIEN

FLUORIDES IN DRINKING WATER OF ALGERIAN WEST

Z. Benghareza, S. Taleba & A. Benghalem c

Laboratoire de Chimie Organique Physique et Macromoléculaire. Faculté des Sciences.
 Laboratoire de Chimie Analytique Appliquée. Faculté des Sciences
 Laboratoire de Matériaux et de Catalyse. Faculté des Sciences
 Université Djillali Liabès de Sidi-Bel-Abbès

E.mail: dzbengharez@yahoo.fr safiatak@yaoo.fr benghalem bas@yahoo.fr

RESUME

En 2001, des zones endémiques de fluorose sont détectées à El-Oued, Touggourt, Biskra, Timimoun, Ouargla et Ghardaïa à cause de l'ingestion d'excès du fluor contenu dans les eaux de boisson. En effet, ces eaux proviennent essentiellement de deux nappes souterraines: Complexe Terminal et du Continental Intercalaire (nappe albienne) réputées pour être fluorée. Par ailleurs, de récents résultats d'analyse sur les eaux de robinet et des eaux embouteillées de nombreuses régions du Sud ont confirmé l'excès de cet oligo-élément

C'est ainsi que nous proposons de déterminer la teneur des fluorures des eaux d'adduction publique et eaux embouteillées de la région Ouest Algérien où aucune évaluation n'est connue.

Les dosages se font par électrode sélective des ions F dans un milieu tamponné (pH = 5 - 5.5) afin d'éviter les interférences avec les ions OH . Nos résultats montrent que la très grande majorité des eaux de boisson analysées contient moins de 1.5 mg/l: valeur guide recommandée par les normes algériennes (NA 6360) en accord avec celles de l'OMS dans ses directives de 2004 sur la qualité de l'eau de boisson. Nos résultats seront comparés à ceux du Sud Algérien.

Mots clés: Fluorures, eau d'adduction publique, eau embouteillée, électrode spécifique.

SUMMARY

At 2001, endemic zones of fluorose are detected in El-Oued, Touggourt, Biskra, Timimoun, Ouargla and Ghardaïa because of the ingestion of excess of fluorine contained in drinking water .Indeed, this water comes primarily from two underground aquifer: Complexe Terminal and Continental Intercalaire famous to be fluorinated. In addition, recent results of analysis on tap water and bottled water of many areas of the South confirme the excess of this trace element.

Thus, we propose to determine the content of fluoride's water of public adduction and bottled water of the Algerian Western area where no evaluation is known.

Dosage is done by selective electrode of the ions F $^-$ in a medium plugged (pH = 5-5.5) in order to avoid the interferences with ions OH $^-$. Our results show that the very great majority of analyzed drinking water contains less than 1.5 mg/l: value guides recommended by Algerian Standarts with agree WHO in its directives of 2004 concerning the quality of the drinking water. Our results will be compared with those of the Algerian South.

Key words: Fluorides, water of public adduction, bottled water, specific electrode, atomic, spectrometry.

I. INTRODUCTION

En vertu des lois sur la protection de l'environnement, plusieurs pays développés ont choisi les fluorures comme une des substances prioritaires à évaluer dans les eaux potables, afin de connaître ses effets sur l'environnement et sur la santé publique.

Si les fluorures sont indispensables pour prévenir la carie dentaire, l'excès de ceux ci peut entraîner des effets nocifs sur la santé.

Des maladies telles que la fluorose squelettique, fluorose dentaire sont décrites chez certaines populations consommant des eaux riches en fluorures.

Des études épidémiologiques montrent qu'il existe effectivement une augmentation de taux de fractures chez les personnes âgées de plus de 65 ans vivant dans ces régions où l'eau potable est riche en fluorures par rapport à d'autres régions où l'eau consommée est pauvre en fluorures. (Keller, 1991.)

C'est ainsi que l'organisation mondiale de la santé dans ses directives sur la qualité de l'eau de boisson, préconise une valeur guide de 1.5 mg/l. (OMS, 2004.), ceci est en accord avec les normes algériennes de potabilité.[NA 6360]

Pour cela, nous nous sommes intéressés aux concentrations des fluorures contenus dans les eaux que nous consommons. Nous nous demandions si nos eaux respectaient les normes et les recommandations de l'OMS?

C'est ce qu'on a voulu savoir dans un 1^{er} temps. Pour cela, nous avons dosé les fluorures dans les eaux potables de l'ouest algérien, de comparer nos résultats à ceux du Sud algérien dont les eaux sont riches en fluorures (Djellouli, 2004; Achour, 1990.). Enfin de tenter de relier les résultats obtenus aux conséquences éventuelles sur la santé dentaire en particulier et pourquoi pas sur la santé publique en général.

II. PARTIE EXPERIMENTALE

II.1. Appareillage

Nous avons utilisé pour le dosage de fluor une électrode indicatrice des ions F. Son potentiel a été mesuré, par rapport à l'électrode de référence au calomel, à l'aide d'un millivoltmètre Tacussel.

Le potentiel de l'électrode est donné par la relation de NERNST:

$$E = E_0 + (2.3RT / nF) \log a_h$$

R = Constante des gaz parfaits

F = FARADAY

T = T° absolus

n = charge de l'ion [dans notre cas n = -1]

 a_h = activité de l'ion en question, en solution diluée a_h = concentration

Eo = constante dépendant du choix de l'électrode de référence et de solutions internes

Cependant la réponse de l'électrode à ion fluorure n'est linéaire que pour l'intervalle de concentration compris entre 10 ⁻² et 10 ⁻⁶ en plus la sélectivité de cette électrode n'est pas

parfaite car elle répond à l'interférence de l'ion OH (Ferry et al., 1984.), nous avons alors travaillé dans une gamme de pH d'environ 5 à 7.

II.2. Etalonnage

Il à été réalisé à partir de solutions de F de concentrations connues préparées par dilutions successives d'une solution mère de NaF 1M.

Le pH de chaque solution a été contrôlé, il est compris entre 5 et 7 c.a.d dans une zone où l'interférence de OH est négligeable.

Les solutions ont été maintenues à température constante égale à 25° à l'aide d'un thermostat. Les mesures seront effectuées en plongeant les deux électrodes (électrode à ions F et électrode de référence) dans la solution.

La réponse de l'électrode, calculée par régression linéaire est :

$$E (mv) = -34.8 - 58.7 log [F]$$

II.3. Dosage des échantillons

En rapportant les valeurs du potentiel des échantillons dans la courbe d'étalonnage, la teneur des ions fluorures est déterminée. Les résultats sont résumés dans le tableau 1 :

Echantillon	[F] en mg/l
Mansourah	0.476
Abou-tachfine S	0.826
Sidi Boumediene	0.603
Ain Mazouta	1.132
af-Saf	0.300
Гessala	1.010
Eau de Saida	0.650
Eau de robinet de SBA	0.630

Region de Tlemcen

III. INTERPRETATION ET CONCLUSION

Les résultats de nos premières analyses montrent que la teneur en fluorures dans ces eaux se situe entre 0.476 et 1.132 mg/l.

- Des teneurs analogues sont observées dans des eaux minérales, nous citerons à titre d'exemple les eaux françaises dont la teneur en fluor est comprise entre 0.5 et 1.3 mg/l.
- Les normes américaines préconisent une limite maximale admissible de 2.4 mg/l.
- D'après les recommandations de 2004 sur la qualité de l'eau potable au Canada, la concentration maximale acceptable de fluor est de 1.5 mg/l.
- De nombreuses études canadiennes montrent que la fluoration de l'eau potable [atteindre 0.8 à 1.0 mg/l] pouvait aider à réduire sensiblement le nombre de caries dentaires chez les enfants

^{*} Eau embouteillée

- Nous remarquons à travers notre étude que seulement 3 sur 8 eaux analysées sont dans les normes, toutes les autres ont une concentration inférieure à 0.8 mg/l concentration minimale requise :
- D'autre part, des zones endémiques de fluorose sont détectées à El-Oued, Touggourt, Biskra, Timimoun, Ouargla et Ghardaïa, constituant un problème de santé publique à cause de la richesse en fluorures des eaux de boisson (Circulaire interministérielle, 2001.). En effet, un travail de recherche récent (Djellouli, 2004.) dans ces régions donne des teneurs en fluor dépassant 1.5 mg/l; les plus fortes concentrations se localisent dans la région de Touggourt atteignant 3.76 mg/l pour l'eau provenant de la Zaouia El-Abidia. De telles valeurs, très au-dessus des normes de potabilité admises exposent la population à des risques d'intoxication importants. Contrairement aux eaux étudiées de la région Ouest qui présentent des teneurs en ions fluorures relativement faibles.
- Nous souhaitons à l'avenir établir une cartographie des teneurs en fluor en Algérie et de voir s'il est souhaitable de fluorer ou défluorer l'eau de distribution dans le cadre des mesures de santé publique.

VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achour, S., 1990. La qualité des eaux du Sahara Septentrional en Algérie: Etude de l'excès en fluor. Trib. EAU., 42, N° 542, 53-57.
- 2. Circulaire interministérielle du 07 Mai 2001 relative au programme national de santé Bucco-Dentaire en milieu scolaire, Ministère de la Santé et de la Population., Ministère de l'Education Nationale
- 3. Djellouli , H.M.,2004. «Application de la méthode turbidimétrique à l'étude, in vitro, des eaux de boisson du Sud algérien et de leur effet sur la cristallisation oxalocalcique.» Mémoire de magister- Université D. LIABES- SBA. 73-111.
- Ferry, D., Machtinger, M et Bauer, D., 1984. Electrode indicatrice de l'ion fluorure. Etude de l'interférence de l'ion hydroxyde. Analysis , V.12, N° 2, 90-95.
- Keller, C., 1991. Fluorides in drinking water. Paper presented at the workshop on drinking water fluoride influence on hip fracture and bone health. Bethesda, MD, cité à la référence 175.
- 6. OMS: WORLD HEALTH ORGANISATION, 2004. Guidelines for drinking-water quality, Vol1, third edition, Geneva.

Congrès international:

UTILISATION D'ASPERGILLUS SP ET DE PENICILLIUM SP DANS L'EPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX CONTAMINEES PAR LE MERCURE (CAS DU LAC OUBEIRA)

Dr. Djamila Kirane *, Soraya Bedioui *, H. Morakchi **

*: Université Badji Mokhtar. Faculté des Sciences. Département de Biochimie. Annaba. BP. 12/23000 **: Centre Universitaire de Souk Ahras. Département de biologie. Projet financé par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

RESUME

Le déversement anarchique des eaux usées dans le lac oubeira (zone humide protégée) perturbe l'écosystème aquatique par la présence de produits xénobiotiques comme le mercure.

La récupération des métaux dissous dans l'eau s'avère coûteuses et surtout peu performantes lorsque l'on a affaire à des solutions relativement peu concentrées (de 1 à 50 mg/l). En effet, l'utilisation des champignons filamenteux pour leurs propriétés de matériaux « biosorbants » par la présence de la paroi est capable d'accumuler des quantités importantes de métaux lourds en solution dans l'eau. L'adsorption est vérifiée par passage de l'échantillon en adsorption atomique (laboratoire de pétrochimie Sonatrach Skikda)

Après 24 heures de contact d'une culture mixte d'Aspergillus sp et de Penicillium sp en faisant varier la concentration du mercure, le taux d'adsorption du mercure est de 100% pour la majorité des concentrations utilisées.

Ces résultats très encourageants sont en accord avec beaucoup de travaux. Ce procédé répond ainsi à une demande urgente concernant les problèmes que rencontrent les solutions des effluents industriels qui sont relativement peu concentrées. Sur ce principe, un procédé dépuration d'effluents industriels aqueux par ce biosorbant et raisonnablement envisageable.

Mots clés Mercure- dépollution biologique- adsorption- champignons filamenteux- eau- lac

1. INTRODUCTION

La dégradation des ressources protégée, comme c'est cas du lac Oubeira (zones humides), sous l'effet du déversement sans traitement préalable d'effluents chargés en produits xénobiotiques comme les métaux lourds et notamment le mercure (Hg) porterait préjudice à la convention de Ramsar.(1)

Une conséquence quasi immédiate de la pollution organique de ces eaux tend a diminuer la teneur en oxygène dissous, ce qui nous conduit à opter pour un procédé biologique naturel qui se base sur la capacité d'adsorption de la paroi de nombreux microorganismes (4).

Plusieurs micro-organismes (algues, bactéries, champignons) possèdent le pouvoir de réduire, d'accumuler ou d'éliminer certains polluants tel que les métaux lourds

Un certain nombres d'algues sont capables de fixer de nombreux métaux lourds en suspension dans les eaux usées tel que : Axophyllum et Fucus.

D'après les résultats obtenus par Roux (1996) : le genre Axophyllum présenterait une plus grande capacité d'adsorption que le genre Fucus. Les ions métalliques se fixent sur les radicaux carboxyles et phosphorés qu'offre la membrane de ces algues.

De nombreux travaux ont démontrés que les bactéries résistent à une large variété de métaux lourds. Ces souches ont été isolées et identifiées et leur mécanisme est encodé par des opérations sur des plasmides, parmi ces bactéries on cite Alcaligenes entrophus metallotolerans (1).

L'étude de la paroi de <u>Rhodococcus erythropolis</u> pour sa capacité de fixation des ions métalliques, à démontrée que le phénomène d'adsorption se fait grâce à un système de compétition entre les ions de calcium (situé sur la paroi) et les ions métalliques (présents dans les effluents). Cette compétition abouti à libération du calcium et la rétention des ions métalliques.(3)

D'autres bactéries tel que *Thiobacillus erroxidants* agissant par oxydation, stock les métaux sous forme de métal sulfite dans de larges granules situés sur la cellule. (8)

Cependant, les champignons restent les meilleurs adsorbant de métaux que n'importe qu'elle autre biomasse et cela grâce leur grande tolérance vis avis des métaux lourd ainsi que les conditions défavorable de l'environnement.

Les champignons qui se développent sans exigences nutritionnelle, possèdent une paroi a grande capacité de fixation et présentent souvent des valeurs élevés de rétention intracellulaires même a l'état de biomasse morte « biosorbant». Cette rétention s'effectue à l'aide d'un processus qui piége les cations métalliques en solution aqueuse. (1)(9).

Notre travail porte sur la capacité que présente certains champignons autochtones isolés des eaux du lac Oubeira a adsorber le mercure, dans le but d'un nettoyage biologique abordable financièrement a comparer avec les techniques conventionnelles en présence de faibles concentrations de métaux.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Description du site de prélèvement

Le lac Oubeira est situé dans la partie occidentale du complexe humide d'El Kala a 30°50'N et 30°23'E.

Ce lac fait partie des sites protéges et figure également sur la liste de la convention de RAMSAR (1983).

Le bassin versant du lac est d'une superficie de 99.19 km² qui abrite une cuvette presque circulaire d'une superficie de 22.91 km², c'est un système androïde alimenté principalement par l'oued Messida et l'oued El Kebir le reliant à la Méditerranée.

Le lac est classé le deuxième plan d'eau du Parc National car il est le plus profond des lac des eaux douces. Il présent une organisation spatiale typique en ceinture de végétation (*Typha sp*) avec une importante superficie colonisée par des herbes flottants d'hydrophytes.

Il revêt une importance du fait de sa capacité d'accueil pour les oiseaux aquatiques hivernales (80% canards et siffleurs) et jouit de protection juridiques multiples de part son importance géographiques qu'écologique.

2. 2. <u>Isolement et Identification des champignons</u>

2.2.1. Isolement et identification

Nous avons utilisé les techniques usuelles de microbiologie. (Laboratoire de microbiologie de Dr. Djamila KIRANE).(1)

2.2.2. Adsorption

Nous avons adopter la méthode homologuée par l'AFNOR: NFT90-113. La cinétique d'adsorption a été effectuée par Spectrophotometrie d'adsorption atomique. Après oxydation et minéralisation des échantillons nous ajoutons le mercure a différentes concentrations en présence de la même taille de l'inoculum. (Laboratoire de Pétrochimie Sonatrach skikda)

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Après isolement et identification des nombreuses souches de moisissures seulement deux espèces: Aspergillus sp et Penicillium sp ont donné de bon résultats d'adsorption en comparaison aux autres souches isolées.

La récupération du mercure par adsorption sur la paroi des deux genres isolés, a été affichée en faisant varier deux paramètres a savoir

- La concentration du mercure de 10μg/l jusqu'à 5.10³μg/l, en se rapprochant ainsi des conditions environnementales.
- · Le temps de contact.

L'analyse des résultats obtenus sont très encourageante et confirmée par l'étude statistique qui donne pour le temps de contact de 48h des résultats significatifs (p> 0.05) et pour un temps de contact de 72h des résultats très significatifs (p> 0.01).

Les figures 1 et 2 résument l'essentiel de nos résultats :

Adsorption après 24 H, on observe :

❖ Une adsorption initiale élevée (96%) pour Penicillium sp par rapport à

Aspergillus sp qui peut s'expliquer par la rapidité d'adaptation (temps de latence court) du Penicillium sp dans un milieu contenant du mercure en solution.

- La quantité de mercure résiduelle chez Aspergillus sp est identique pour les trois dernières concentrations. Celle-ci explique par la saturation des sites d'Aspergillus sp situés sur la surface de la paroi et la composition de cette dernière.
- par contre pour Penicillium sp on observe pour la concentration 3.10³μg/l une diminution de la concentration en mercure résiduel.

Adsorption après 48 H:

Il y a une corrélation proportionnelle entre le taux d'adsorption et le temps de contact, en effet, les deux souches expriment une grande capacités d'adsorption du mercure pour des concentration plus élevés.

Adsorption après 72 H de contact:

❖ Les taux d'adsorption atteignent les 100 % en présence des deux genres

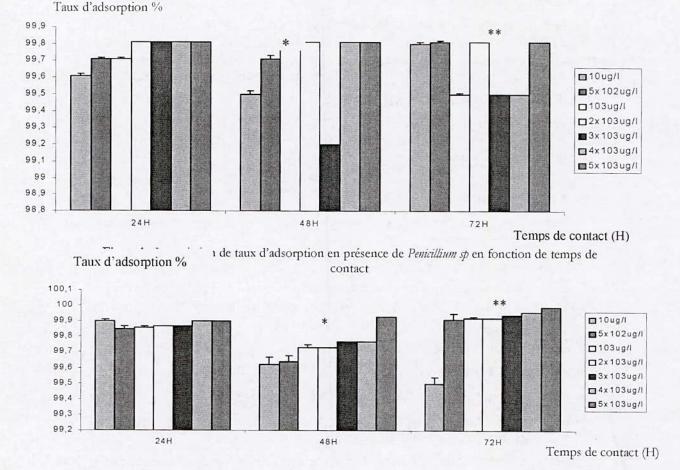


Figure 2 :La variation de taux d'adsorption en présence d'Aspergillus sp en fonction de temps de contact

p > 0.05 * p > 0.01 **

4. CONCLUSION

Les deux genres utilisés pour la réalisation de ce travail présentent une bonne capacité d'adsorption. Le phénomène de dilution du mercure est primordial car il existe une corrélation proportionnelle entre la variation de la concentration en mercure et le taux d'adsorption. Par ailleurs ces champignons microscopiques qui ont été isolés des eaux du lac Oubeira, présentent des bonnes caractéristiques (pièges des cations métalliques efficaces) et sont donc à conseiller.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

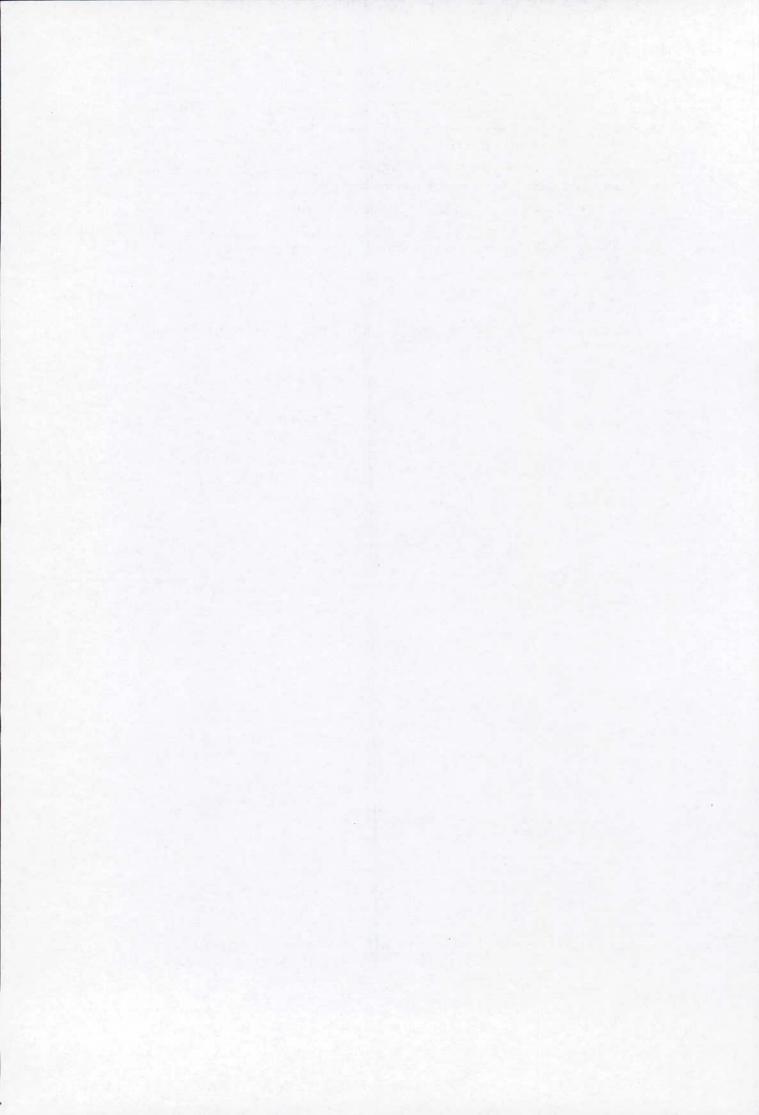
1-Kirane D., 1999 : Adsorption des métaux lourds par des champignons récupérés dans les déchets de l'industrie laitière.2^{ème}.Seminaire Maghrébin sur l'eau. 28-30 Juin. Tizi-ouzou.

2-Larpent j., 1997 Mémento technique de microbiologie Londres. Paris 3^{eme}Edition p167.

3-Mehra R.k et Winge D.R .,1991:Metal ion resistance in fungi : molecular mechanisms and their regulated expression.J.Cell.Biochem.,45.pp30-40

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

- 4-Michelot D.,2000: Evaluation de la teneur en métaux lourd dans les champignons .Implications environ mentales et toxicologiques .Biotechnologie pp1-4.
- 5-Ramade f ., 2000: Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Les polluants de l'environnement à l'home Edi. science international Paris. p167.
- 6-Rodier j., 1996: L'analyse de l'eau. Dunod 1ère édition Paris p310.
- 7- Roux J.C. et Fourest E. 1993: Utilisation des champignons pour la récupération des métaux dans les effluents. Récents Progrès en génie des procédés N°25 vol 7 p19-24.
- 8- Stotzky.,Leysen R.,1998: The use of <u>Alcaligenes eutrophus</u> immobilized in a tubular membrane reactor for heacy metal recuperation .Ed A.Tarma .M.L Apel and C.L Apel and C.L Brierley The minerals, Metal and Materials Society.pp 133-143.
- 9- Winge D.R et Mehra RK .,1999 :Metal ion resistance in fungi.molecular mechanisms and their regulated expression .j Cell .Biochem., 45 ,pp30-40 .



LES AQUIFERES DU SAHARA SEPTENTRIONAL ALGERIEN, UNE RESSOURCE IMPORTANTE COMPAREE A UNE QUALITE MEDIOCRE

Mme Bouchahm Nora (*) & Mme Achour Samia (**)

* Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les régions Arides, Biskra, Algérie Site: www.crstra.dz, email: BOUCHAHM_NORA@YAHOO.FR Adresse: CRSTRA BP 1682 RP 07000 Biskra, Algérie. ** Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface (LARHYSS) Université de Biskra, Algérie.

Site: WWW.LARHYSS.ORG, email: INFO@LARHYSS.ORG

RESUME

L'essentiel des ressources en eau pour le sud algérien est constitué d'eau souterraine. Dans ce papier nous allons présenter les différents types d'aquifères exploités dans la région du Sahara septentrional algérien. Nous donnerons un aperçu sur les potentialités en eaux souterraines exploitables, compte tenu de la diversité des formations et des structures géologiques ainsi que de l'importance de l'alimentation des nappes, nous présenterons une classification de ces aquifères.

La présentation des résultats de notre campagne d'échantillonnage d'eau des différentes nappes souterraines exploitées dans toute la région orientale du Sahara septentrional, va nous permettre de donner une lecture hydrochimique aussi complète que possible des eaux de ces nappes aquifères et de définir les Caractéristiques physico-chimiques des eaux utilisées dans la région étudiée que ce soit pour l'alimentation en eau potable ou pour l'irrigation des cultures.

Enfin nous exposerons les problèmes rencontrés du point de vue qualité de ces eaux et les différentes propositions pour remédier à ces problèmes vis-à-vis de la santé publique et du facteur de rareté de cet élément qui l'eau.

ABSTRACT

The main part of the water resources for the Algerian south provides for groundwater. In this paper we will present the various types of aquifers exploited in the area of the northern Algerian Sahara. We will give an outline on the exploitable groundwater potentialities, taking into account the diversity of the formations and of the geological structures as well as importance of the food of the tablecloths, we will present a classification of these aquifers. The presentation of the results of our water sampling campaign of the various underground tablecloths exploited in all the Eastern area of the northern Sahara, will enable us to read out hydrochimic as complete as possible water of these water tables and to define the physicochemical Characteristics of the water used in the studied area as it is for the drinking water supply or the irrigation of the cultures. In end we will expose the encountered problems from the quality point of view of this water and the various proposals to cure these problems with respect to the public health and of the factor of scarcity of this element which it water.

I. INTRODUCTION

Les potentialités en eau souterraines directement exploitables sont évaluées à 1.8 milliards de m³ dans la région située au nord de l'Atlas Saharien et de 5 milliards de m³ pour le Sahara (essentiellement les nappes du Sahara septentrional) soit au total 6.8 milliard de m³.

Jusqu'en 1980, les eaux souterraines ont constitué l'essentiel de la ressource utilisée pour satisfaire la demande en eau potable notamment relayée progressivement par les eaux superficielles mobilisées par les barrages.

La découverte de nombreux foyers de fluorose dentaire et osseuse explique l'intérêt porté, depuis le début du siècle, à la présence du fluor dans les eaux naturelles.

Cette intoxication chronique qui peut même s'installer à l'état endémique dans certaines régions peut avoir diverses origines mais les eaux constituent le principal vecteur de ces fluoroses (MCKAY, 1926; DEAN & ELVOVE, 1935; DEAN, 1942; KUMPULAINEN & KOIVISTOINEN, 1977).

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable (RICHARDS & al, 1967; MYERS, 1978; TRAVI, 1993) et sont donc vitales pour le développement de ces pays.

En Algérie, le Sahara septentrional, et notamment la zone orientale, constitue la région la plus exposée au risque fluorotique. Diverses études (PINET, 1961; SIAU, 1966; BOUARICHA, 1971), entreprises depuis une trentaine d'années, ont en effet montré que les eaux de cette région sont caractérisées par des concentrations élevées en fluorures le plus souvent associées à la dureté et une minéralisation totale excessive.

Les données épidémiologiques (AZOUT, 1978; AROUA, 1980), bien que rares et incomplètes, permettent également de conclure que la partie orientale du Sahara septentrional présente les pourcentages les plus élevés de personnes atteintes de fluoroses.

Cependant, aucune étude synthétique n'avait été engagée jusqu'à ce jour pour délimiter les zones contaminées et tenter d'expliquer l'origine du fluor dans les eaux des principaux aquifères de la région.

Parallèlement à cet aspect important du problème du fluor que nous abordons au cours de ce travail, nous nous intéressons également à l'étude globale des caractéristiques physicochimiques des nappes concernées.

Ces dernières, contenues dans les formations continentales du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T) constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde (ERESS, 1972). De plus, les conditions lithologiques, hydrodynamiques et hydrochimiques sont variées, notamment dans la partie Est de la région, et confèrent de ce fait un intérêt particulier à ces nappes.

L'objectif de notre étude est donc de délimiter géographiquement et géologiquement le risque fluorotique dans la région du Sahara septentrional algérien en nous intéressant plus particulièrement à la zone orientale (Biskra, Touggourt, Ouargla, El Oued).

Pour cerner de manière aussi complète que possible le problème de l'excès de fluor dans les eaux de ces régions, des éléments de comparaison, ont été recherchés entre la présence du fluor dans les eaux de ces régions et certains éléments minéraux.

II. METHODOLOGIE

II. 1. Echantillonnage

La campagne d'échantillonnage a concerné les régions de Ouargla, Touggourt, El Oued, Biskra, les principales zones urbaines de la région orientale du Sahara septentrional. Nous avons choisi de prélever des échantillons à chaque niveau aquifère exploité (nappe phréatique, nappe des sables ou du Miopliocène, nappe des calcaires ou du Sénonien et nappe Albienne).

Les prélèvements, au nombre de 118 ont été effectués manuellement dans des flacons en matière plastique de 1000 cm³ de capacité. Lorsqu'il s'agit d'un forage destiné à l'irrigation, l'échantillon est pris directement à la tête du forage. Mais lorsqu'il s'agit d'un château d'eau la javellisation est arrêtée, la conduite est vidangée pour que l'échantillon soit représentatif de l'eau du forage (TABOUCHE, 1999).

La conductivité et la température ont été mesurées in situ chaque fois qu'il a été possible. L'échantillon doit toujours être parfaitement identifié et porter le code du forage, la date, et si possible la profondeur et le niveau aquifère.

II.2. Méthodes analytiques

Nous avons effectué les analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux au sein du laboratoire Qualité et traitement des eaux souterraines et de surface "LARHYSS". Les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard. La conductivité est déterminée grâce à un conductimètre électrique (WEILHEIM LF 90) qui donne directement la conductivité de l'échantillon, à la température adoptée (25°) en ms/cm ou en µs/cm.

Les duretés totale et calcique des échantillons sont déterminées par compléxométrie, par titrage avec l'acide éthylène-diamine-tétracétique (EDTA)

La mesure de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume de l'échantillon par l'acide sulfurique (N/50).

Les chlorures sont déterminés par la méthode de Mohr (RODIER, 1984) et les sulfates par lecture de l'absorbance à \square = 420 nm pour une suspension obtenue par réaction des sulfates avec le chlorure de baryum.

Le sodium et le potassium sont dosés par photométrie à émission de flamme sur appareil JENWAY PFP7.

Le fluor est dosé par la méthode potentiométrique grâce à une électrode spécifique aux ions fluorures (ISE 944098/11). L'établissement de courbes d'étalonnage reliant les concentrations de l'ion fluorure au paramètre mesuré a été nécessaire.

Une gamme variée de méthodes analytiques a dû donc être utilisée pour les différents essais expérimentaux, en passant des méthodes titrimétriques, aux méthodes électrochimiques ou spectroscopiques.

II.3. Résultats

Les résultats des analyses physico-chimiques sont présentés en tableaux dont nous proposons quelques exemples (Tableau 1) et cela pour toutes les régions concernées par la campagne ainsi que tous les niveaux aquifères exploités dans ces dernières.

Tableau 1 : Analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'étude

Région	nappe	forage	C ms/cm	pН	TH °F	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	F mg/l
Ouargla	PHREATIQUE	P121 P118	4.46 6.45	8.20 8.05	188 194	363 505	235 164	591 1134	21 30	198 1032	1874 2174	2302 1605	1.07 1.61
	MIOPLIOCENE	D1F141 D1F150	3.10 4.95	8.40 7.93	130 169	280 372	145 184	516 470	21 32	74 63	790 1000	650 963	1.47 1.43
	SENONIEN	D1F128 D1F112	1.90 2.60	7.58 7.95	102 103	245 240	99 104	233 225	14 23	124 99	360 400	620 575	1.68 2.20
	ALBIEN	HADEB ROMANI	2.50 2.79	8.06 7.84	103 105	196 229	131 115	178 372	22 27	165 98	400 739	580 1520	0,63 0.65
Touggourt	Miopliocène	D38F36 D24F29	5.09 5.79	8.24 8.30	268 308	796 820	166 552	455 560	30 27	146 128	1744 2174	900 1500	2.70 2.40
	ALBIEN	MEGARI NEZLA	2.81 1.78	8.11 8.37	158 82	380 328	152 30	215 190	34 32	134 134	924 924	800 590	0.70 0.5
	PHREATIQUE	REGUIB ZGOUB	3.35 13.46	7.64 7.48	450 533	816 1430	590 421	80 1125	11 59	34 178	700 4998	1018 3170	2.56 5.21
Souf	PONTIEN	CHOTT KOUINIE	52 3.70	7.32 7.51	100 113	128 190	166 157	600 540	32 30	122 113	685 693	860 870	172 1.65
	ALBIEN	DW102 H-Khelifa	2.39 2.93	7.21 8.30	83 94	165 66	100 186	228 425	34 27	134 49	374 381	790 1820	0.36 0.80

Biskra	PHREATIQUE	Doucen Hadjeb	4.88 3.19	7.14 7.14	351 179	702 645	421 43			1150 185	1100	1750	2.94 2.41
	MIOPLIOCÈNE	M-Cid2 F-Wilaya	6.32 4.82	7.04 7.56	156 123	189 184	261 185	690 450	33 37	351 212	1999 1949	700 366	1.49 1.49
	EOCENE ALBIEN	Chaiba O- Diellal	1.44 3.97	8.22	59 191	133 454	62 186	356	56	167 139	639 1545	370 1250	2.63

III. DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

III.1. La Température

Le tableau (2) relatif à la région de Ouargla, montre que les températures mesurées sur les eaux de la nappe phréatique présentent des valeurs moyennement élevées, vu la période d'échantillonnage (mois de mars).

Tableau 2: Températures des eaux de la région de Ouargla pour les différents niveaux aquifères captés.

Région de Ouargla	Date de prélèvement	Niveau aquifère	Température
P4: Chott.	5.3.97	Nappe phréatique	18.80
P30 : EDEMEAO.	5.3.97	Nappe phréatique	21.60
N'Goussa.	5.3.97	Miopliocène	26.00
Hassi-Miloud.	5.3.97	Miopliocène	28.60
Oum Raneb	5.3.97	Miopliocène	25.50
Ain Moussa.	4.3.97	Miopliocène	27.70
Chott.	4.3.97	Sénonien	25.00
Sidi Khuiled	4.3.97	Sénonien	26.70
El Bour	4.3.97	Albien	55.00
El Hadeb	4.3.97	Albien	56.00
Khchem El RIH	4.3.97	Albien	55.00

Pour les deux autres nappes du complexe terminal, la température varie entre 25,50°C et 28,60°C pour la nappe du miopliocène et entre 25°C et 27°C pour la nappe du sénonien. On peut dire que les deux niveaux sont thermiquement homogènes avec une légère augmentation de la température pour la nappe du miopliocène; ce qui est logique, car la température, des nappes superficielles, est plus élevée que celle des nappes sous-jacentes. Cela contirme l'absence de couches complètement imperméables entre ces deux niveaux aquifères.

La nappe de l'albien se caractérise dans toute la région d'étude par des eaux à températures très élevées (des eaux thermales), la température est de l'ordre de 55°C. Ceci implique la nécessité d'un refroidissement avant la distribution urbaine.

III.2. Le pH

Le pH de toutes les eaux est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin. La plupart des eaux présentent aussi un caractère alcalin bicarbonaté du fait que le pH est souvent inférieur à 8,3.

III.3. La conductivité

Toutes les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 µs/cm. De plus, elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M.S (soit 1500 mg/l).

III.4. Le titre hydrotimétrique

Les valeurs de la dureté mesurée, pour tous les échantillons prélevés dans les nappes de la région d'étude, sont classées en valeurs minimales et maximales dans le tableau 3:

Tableau 3 : Dureté des eaux de la région d'étude

Région	Nappe	Valeur Min (°F)	Valeur Max (°F)
Ouargla	- phréatique	188	3000
Cuarga	- Miopliocène	90	279
	- Sénonien	81	206
	- Albien	103	110
El Oued	- Phréatique	144	666
	- Pontien	88	144
	- Albien	77	122
Touggourt	- Miopliocène	194	480
rouggourt	- Albien	82	158
Biskra	- Miopliocène	120	214
Diskia	- Eocène	59	214
	- Albien	191	

D'après les normes de potabilité des eaux établies par l'O.M.S (tableau 4) ,on remarque que pour tous les échantillons prélevés, le titre hydrotimétrique minimal dépasse 54°F; ce qui montre que les eaux de cette région orientale du Sahara septentrional sont très dures.

Tableau 4: Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après O.M.S (1972)

TH (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	54
Dureté de l'eau	douce	Modérément douce	Assez douce	dure	Très dure

III.5. Faciès chimique

Représentés sur le diagramme de Piper, les classements des anions et cations majeurs, donnent par région et par nappe :

III.5.1. Les nappes de la région de Ouargla

- a. Nappe phréatique: chlorurées sodiques et potassiques, avec des tendances vers d'autres pôles pour certains forages.
- b. Nappe du Miopliocène: selon le sens de l'écoulement des eaux trois faciès d'eau sont rencontrés :
 - chlorurées et sulfatées calciques et magnésienne;
 - tendance vers le faciès chloruré sodique et potassique ;
 - sulfatés calciques.

Les cations dominants sont le calcium et le magnésium, changent avec le sens de l'écoulement pour devenir le sodium et le potassium.

Les anions dominants sont les chlorures Cl'>SO₄" >HCO₃, avec l'écoulement deviennent : SO₄" > Cl' > HCO₃ (SO₄">50%)

- c. Nappe du Sénonien: sont de deux types
 - chloruré et sulfaté calcique et magnésienne ;
 - en aval une tendance à devenir chloruré sodique et potassique

Les cations dominants sont le calcium et le magnésium. Les anions dominants sont les chlorures, avec une tendance en aval vers le pôle sulfaté.

d. Nappe de l'albien: les eaux de cette nappe albienne sont de type chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

$$Cl > SO_4 > HCO_3$$

 $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+}$

III.5.2. Les nappes de la région du Souf

a. Nappe phréatique: chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes.

$$Cl > SO_4$$
 > HCO_3 ,
 $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+}$

- b. Nappe du Pontien: type chloruré sodique et potassique, les cations dominants sont Na⁺
 Ca⁺⁺ > Mg⁺⁺ et les anions dominants sont Cl>SO₄ >HCO₃.
- c. Nappe de l'albien : sont sulfatées et chlorurées calciques et magnésiennes
 - les cations dominants sont le calcium et le magnésium.
 - Les anions dominants sont les sulfates SO₄ > Cl' > HCO₃ (SO₄ > 50%)

III. 5. 3. les nappes de la région de Touggourt :

a. Nappe phréatique: les eaux de cette nappe se chargent de plus en plus de matières dissoutes. La distribution montre une nette dominance des chlorures et des sulfates sur le calcium et le magnésium.

Selon les formules caractéristiques les ions s'ordonnent de la manière suivante :

En amont: $SO_4^- > CI^- > HCO_3^-$ et $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$ En aval: $CI^- > SO_4^- > HCO_3^-$ et $Na^+ > Mg^{++} > Ca^{++}$

b. Nappe du miopliocène : chloruré et sulfaté calcique et magnésienne

$$Ca^{++}>Mg^{++}>Na^{+}$$

Cl- > SO4-- > HCO3-

c. Nappe de l'albien: chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne

$$Ca^{++}>Mg^{++}>Na^{+}$$

 $Cl^{-}>SO_{4}^{--}>HCO_{3}^{-}$.

III. 5.4. Les nappes de la région de Biskra

- a. Nappe du miopliocène : type chlorurée sodique et potassique.
- b. Eocène: sulfaté calcique.

D'après ces résultats, nous pouvons dire que les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates parmi les anions et le calcium et le magnésium parmi les cations. Aussi nous pouvons dire que les eaux de la région étudiée présentent deux faciès suivant le sens de l'écoulement, chloruré et sulfaté calcique et magnésien en amont avec une tendance à devenir chloruré sodique et potassique à l'aval. Compte tenu de l'évaporation intense, les nappes phréatiques sont souvent hyper chlorurées sodiques.

III.6. Minéralisation

La minéralisation correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau. Nous l'avons déterminé à partir de la conductivité des échantillons prélevés, toutes les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 µs/cm. De plus, elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M.S, soit 1500 mg/l. Pour mieux suivre l'évolution de ces concentrations dans les différentes nappes et suivant le sens de l'écoulement, nous avons opté pour une représentation en carte de minéralisation (concentrations en sels dissous en g/l) désignant chaque nappe et dans toutes les régions étudiées. Pour la nappe du Miopliocène de la région de Ouargla (figure1), les concentrations varient entre une valeur minimale de 2,07 g/l et une valeur maximale de 5,19 g/l.

Cette carte montre que le sens d'accroissement de la minéralisation se fait toujours du Sud-Ouest vers le Nord- Est (vers les chotts et sebkhas), ce qui coïncide aussi avec le sens de l'écoulement de la nappe. Cette augmentation de la salinité peut être due à la concentration des sels au niveau de la nappe du Miopliocène et l'hétérogénéité de la formation (sables, argiles, marnes et gypses).

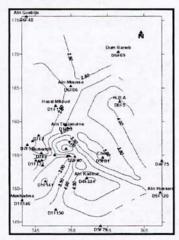


Figure 1 : Carte de la minéralisation, Nappe du Miopliocène région de Ouargla

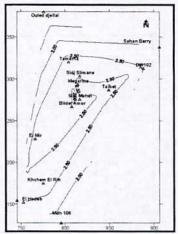


Figure 2 : Carte de la minéralisation de la nappe de l'Albien, région orientale du Sahara septentrional

Selon SCHOELLER (1948), pour la famille chlorurée et sulfatée sodi-calcique et magnésienne ainsi que pour la famille chlorurée sodique et potassique la lithologie de l'aquifère est plus fine, la circulation de l'eau est difficile, le temps de contact eau- roche augmente d'où l'augmentation de la salinité et l'influence des argiles devient plus marquée. Cette interprétation traduit le phénomène de concentration par dissolution.

Les eaux de la nappe de l'Albien sont modérément minéralisées, les concentrations en sels varient entre 1,73 g/l (Albien Tamerna) à Touggourt et 3,01 (Albien Ouled Djellal) à Biskra. Sur la carte (Figure 2) on observe la progression de la minéralisation qui se fait du Sud-Ouest (à Ouargla) vers le Nord-Est (à Biskra), l'évolution se fait de 2 à 3 g/l.

III. 7. Teneurs en fluor

Les teneurs en fluor les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque que soit la région considérée (Tableau 5) :

Tableau 5: Teneurs en fluor des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional.

Région	Nappe	F- (mg/l) Valeur minimale	F (mg/l) Valeur maximale
Ouargla	Phréatique	0.14	3.05
0	Miopliocène	0.90	2.26
	Sénonien	1.22	2.20
	Albien	0.56	0.65
El Oued	Phréatique	2.56	5.21
	Pontien	1.58	2.14
	Albien	0.36	0.8
Touggourt	Miopliocène	2.04	3.01
	Albien	0.5	0.7

Dans la nappe des sables (Miopliocène, Pontien) et des calcaires (Eocène, Sénonien), les teneurs dépassent dans tous les cas 1mg/l avec un accroissement suivant le sens de

l'écoulement présumé des eaux considérées. La figure 3 présente une carte de la répartition des teneurs en fluorures de la nappe du Miopliocène dans la région de Ouargla. Une carte des teneurs en fluor, (Figure 4), dans les eaux du Miopliocène est proposée pour toute la région orientale du Sahara septentrional. Elle montre que la région de Touggourt est celle qui présente les plus fortes teneurs en fluor.

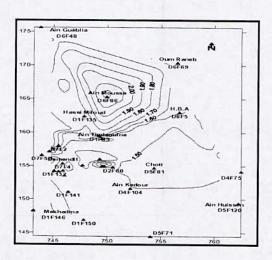


Figure 3 : Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du Miopliocène région de Ouargla

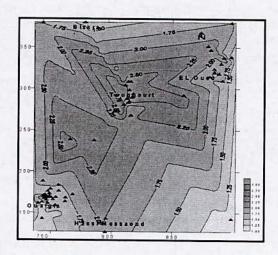


Figure 4 : Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du Miopliocène

IV. CONCLUSION

Cette campagne a concerné les deux principaux aquifères du Sahara septentrional, le complexe terminal et le continental intercalaire dans les régions de Ouargla, Touggourt, El Oued et Biskra, à différents niveaux aquifères.

Nous avons utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage des éléments minéraux. Il nous a été possible d'étudier l'évolution des principaux paramètres de qualité physicochimique tant du point de vue géographique que géologique.

En particulier, les conductivités sont variables selon la région considérée et diminuent avec la profondeur de l'aquifère en allant de la nappe phréatique vers la nappe Albienne.

Les ions dominants sont le plus souvent les chlorures et les sulfates ainsi que le calcium et le magnésium. Les cartes de minéralisation dressées indiquent un accroissement de ce paramètre dans le sens de l'écoulement des eaux.

Quant au fluor, les teneurs les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque soit la région considérée.

Concernant la nappe des sables et des calcaires, les teneurs dépassent dans tous les cas la norme de potabilité.

D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non- conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappes du complexe terminal).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACHOUR. S (1990): La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie-Etude de l'excès en fluor, Tribune de l'eau, Cebedeau, n°6, 42 (542), 53-57.

A.N.R.H (1986): Ressources en eau et en sols de l'Algérie, rapport.

AZOUT. B., ABRAHAM. J (1978): Existence et causes des fluoroses humaines dans la région d'El Oued, Annales de l'I.N.A., Volume VIII, 3, 5-12 Alger.

BEL F., CUCHE D (1970): Etude des nappes du complexe terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique, D.H.W., Ouargla.

BOUARICHA K (1971): contribution à l'étude de l'intoxication fluorée, chronique, osseuse dans la région su Souf (Algérie), thèse de Doctorat en Médecine, Université d'Alger.

C.D.T.N. (1992): Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, rapport.

DEAN H.T. (1942): The investigation of physiological effects by the epidemiological method. Am. Assoc. Adv. Sci., 19: 23-31.

E.R.E.S.S (1972): Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation, Vol. II, Vol. III, Vol. V.

O.M.S (1972): Normes internationales applicables à l'eau de boisson, Genève.

O.M.S (1985): Fluor et fluorures, Critères d'hygiène de l'environnement, 36, Organisation mondiale de la santé, Genèse, 150pp.

PINET F., BARRIERE J., BOUCHE B. (1961): Endemic fluorosis of aqueous origin in Souf. Darmous and fluorosis osteoporoses. A report of 51 cases of condensing osteoses, Algérie Med, 65.

RODIER J. (1984): L'analyse de l'eau ; Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7^{ème} Edition, Ed. Dunod, Paris.

SCHOELLER, H. (1948) : Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une nappe. Assemblée générale d'OSLO de l'union Géodésique et Géophysique internationale.

TABOUCHE N (1999): Etude de la répartition spatiale des teneurs en fluorures des eaux souterraines du Sahara septentrional, Thèse de Magister en sciences hydrauliques , Université de Biskra, Algérie.

TRAVI Y (1993): Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Thèse de Doctorat.

TRAVI Y., LECOUSTEUR E. (1982): Fluoroses dentaires et eaux souterraines : l'exemple du Sénégal, eau du Québec, 15, 1, 9-12.

NEW DEVELOPMENTS IN THE BIOLUMINESCENCE ASSAY

Broers, C.A.M.

Skalar BV, Tinstraat 12, NL-4823 AA, Breda, The Netherlands. Email: broers.c@skalar.com

Keywords: Vibrio fischeri- bioluminescence- biosensor- toxicity- water quality

INTRODUCTION

The industrial development, the use of pesticides in agriculture and the urbanization threaten the natural water resources. Legislation was introduced for monitoring and preventing the release of toxic substances to protect water quality. The traditional approach to toxicant monitoring in water involves standard analytic procedures. In general these techniques are selective and very sensitive. One is able to detect very low concentrations of a single chemical. However, these benefits have their drawback. Water may contain thousands of chemicals. Because of the selectivity only a limited number of compounds can be evaluated adequately. A broad based chemical analysis is expensive or sometimes impossible. Furthermore, most of the methods are laborious and time-consuming and cannot assess toxicity.

An alternative to the specific chemical methods is the bioassay. In bioassays, whole organisms are used for testing the quality of aqueous samples. Living organisms are sensitive to a broad spectrum of bio-available substances. The conventional aquatic bioassays use fish and waterfleas. However, these tests are unpractical for routine screening, because culturing and testing is costly and laborious as well as time and space consuming. This has led to the development of the microbiotests. Because microorganisms are used in these tests, many of the drawbacks mentioned above are overcome. They are cheap, available as kits and use small test volumes. The demand was a test that was technical simply, using organisms with sufficient sensitivity to a broad spectrum of toxic compounds, an easy detection, reproducible, rapid results and minimal sample preparation. The bioluminescence assay fulfills these needs and the Vibrio fischeri bioluminescence assay is standardized and widely used now. Despite the benefits of this system, there is a growing demand for bacteria that are more sensitive than the previous mentioned bacteria especially to metals and pesticides (chlorinated organic compounds). In this presentation we will discuss the traditional Vibrio fischeri assay and introduce some novel approaches in toxicity testing using metal biosensors and a luminescent bacterial strain which is much more sensitive to metals and organic toxicants.

MICROBIOTESTS FOR DETECTION OF TOXICANTS IN WATER

The Vibrio fischeri assay is the most widely used. The test organism is Vibrio fischeri, a luminescent marine bacterium. The luminescence is part of their natural metabolism (Nealson and Hastings, 1979). It is an aerobic oxidation process as a sideway of their respiration pathway. The enzyme luciferase is involved in the generation of bacterial luminescence. The reaction catalyzed by this enzyme involves the oxidation of a long-chain aldehyde and a reduced coenzyme flavin mononucleotide (Hastings and Nealson 1977, Meighen, 1991):

Luciferase

 $FMNH_2 + O_2 + R-COOH \longrightarrow FMN + H_2O + R-COOH + Light$

The intensity of the light output depends on several external factors including temperature, pH, salinity, nature and concentration of the toxicant (Kaiser and Ribo 1987, Reichelt and Baumann, 1974). Toxic compounds interact with cellular structures and functions: DNA, membranes, enzymes and energy fluxes, which are fundamental to all living organisms. In *Vibrio fisheri* these interactions result directly or indirectly in the inhibition of the light production. Because the metabolic activity in the bacteria is much faster than in eukaryotic cells, the exposure time to the toxic compound is very short. Within 30 minutes, but often after 5 minutes, a notably inhibitory effect of the toxicant on the light emission is measured (Bulich, 1982).

The procedure for toxicity testing is a very simple procedure. A dilution series of the sample is prepared. Each dilution is added to a test tube with a suspension of bacteria. The bacteria are incubated for 5, 15 or 30 minutes at 15°C and the light is measured in a luminometer, containing a photomultiplyer tube. The light production of each dilution is compared to a blank. The results are plot out in an inhibition curve and the dilution factor causing 50% inhibition is calculated. This value is the EC₅₀. The method using the bacterial strain *Vibrio fisheri NRRL B-111 77* is standardized (ISO 11348-3).

Commercial kits from several companies are available now. These contain in general freeze-dried bacteria. The bacteria are treated as a reagent. They can be stored for one year in a freezer. The advantage is that they can be used at moment when it is needed. The freeze-dried bacteria are hydrated and can be used immediately.

The freeze-dried bacteria need to be transported on dry ice. This is quite expensive and sometimes impossible by the recent restrictions in air transport. Exposure to ambient temperatures is disastrous for the quality of the bacteria. An alternative is the use of freshly prepared bacteria. This method is also standardized (ISO 11348-1). This is especially beneficial when many samples have to be analyzed. The sensitivity of the bacteria is influenced by the way the bacteria are cultivated and by the method of preparation for analysis. In table 1 the freeze-dried bacteria are compared to the freshly prepared bacteria.

Table 1: Comparison of EC50 values

Chemical	ISO 11348-3 Freeze- dried bacteria	ISO-11348-1 Freshly prepared bacteria	ToxTracer methods Freshly prepared bacteria
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	2.2 mg/l	25 mg/l	8 mg/l
3,5-Dichlorophenol	3.4 mg/l	6 mg/l	4 mg/l
K ₂ Cr ₂ O ₇	18.7 mg/l	4 mg/l	5 mg/l

In the last column the results of our method of preparation of fresh bacteria are shown. This method combines the good results of the ISO standards of freeze-dried and freshly prepared bacteria (table 1).

Recently some new applications using the bioluminescence assay have been developed. A method for the determination of BOD in water using *V. fischeri* is available now. Furthermore, a strain variant of the same bacterium is used for assimilable organic compounds (AOC)

NEW LUMINESCENT BACTERIA STRAINS

Despite the ease and sensitivity of the *V. fischeri* test, there are some serious disadvantages. First, the freeze-dried bacterial reagent preparation needs freezing during shipment what is expensive.

Secondly, it was found that for some organic compounds and metals, the bacteria are not sensitive enough. Furthermore, for work in the field the test is not suitable because of the restriction in an exposure temperature of 15°C. A thermostat is required.

Alternative organisms were tested, such as Vibrio harveyi (Thomulka et al, 1993). Despite the positive evaluation of this organism, the bioassay method using this organism was not commercialized (Thomulka et al,1993). Girotti et al described an assay using the bacterium Vibrio logei. The bacterium showed sensitivity characteristics similar to the ISO procedure. However, stringent temperature conditions are not required. There is no need for a thermostat, making the test simpler and cheaper (Girotti et al, 2002).

The sensitivity of V. harvey and V. logei for heavy metals is good (Table 2) but they seem to be less sensitive to organic toxicants as compared to the V. fischeri test.

Most promising is a novel test utilizing a highly sensitive variant of the luminescent bacterium *Photobacterium leiognathi* (Ulitzur et al, 2002). It allows the detection of sub-mg/L levels of a diverse group of toxicants, including heavy metals, pesticides, PCB, PAH's and fuel traces in water (Table 2 and 3). For most of the toxic agents studied so far, the new assay is much more sensitive than the toxicity data reported for *V. fischeri*. The test can be performed at ambient temperatures, between 18°C and 27°C. This enables to perform the test on-site. At this moment the test is not conform to national or international toxicity testing standards. Moreover, the lyophilized bacteria do not need to be transported on dry ice.

Table 2: EC50 (ppm) values after 30 minutes exposure to heavy metals.

Heavy metal	V. fischeri	V. harvey ²	V. logei ³	P. leiognathi4*
Cadmium	5.45	ND	0.5	0.06
Cobalt	3	0.046	ND	0.05
Copper	86	0.62	0.3	0.02
Lead	0.315	>100	0.2	0.1
Mercury	0.0656	0.03	0.05	0.07
Silver	ND	0.046	ND	0.04
Zinc	2.56	0.22	3.0	0.6

Table 3 : EC50 (mg/L) values for pesticides

Chemical	V. fischeni¹	P leiognathi4	V logei ³
Dieldrin	15	0.77	250
DDT	7	0.12	250
Chlorpyrofos	46.2	1	300
Carbaryl	2	ND	40

EC50 values (Kaiser and Palabrica)¹, (Thomulka et al., 1993)², (Goretti et al 2002)³, (Ulitzur et al 2002)⁴, (Tchounwou P.B. and Reed L. 1999)⁵, (Bulich and Isenberg, 1981)⁶,

METALSENSORS

The bioavailability of heavy metals can be measured with specific biosensors. These biosensors can be genetically modified *Escherischia Coli* bacteria. They produce light if the cell takes up a specific metal. The biosensors carry a plasmid with a firefly luciferase gene (luc operon). The

Congrès International : De l'eau pour le développement durable dans le bassin Méditerranéen Le 21- 22 mai 2005 à Alger promotor region has a metal responsive element that recognizes the metal and controls the expression of the luciferase reporter gene (Virta et al, 1994, Ivask et al, 2001). In the presence of a specific metal the gene is induced and the production of luciferase mRNA and corresponding protein begins. After addition of the substrate D-luciferin the cells starts to emit light which is measured by the ToxTracer luminometer (fig 1).

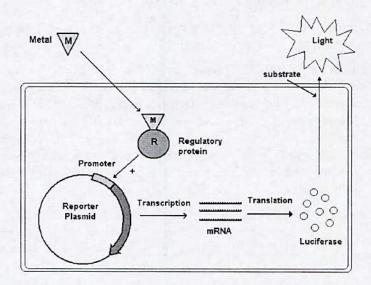


Figure 1: Genetic response of metal biosensors

Several strains of genetically engineered *E. coli* bacteria are available now: for inorganic mercury, organomercurials, arsenics, cadmium, chromate and lead (Tauriaien et al, 1998, Ivask et al, 2001). Sub-toxic levels are measured and detection limits of 0.05 ppb for organomercurals and 4 ppb for Arsenic (V) are reported (see fig 2 and 3).

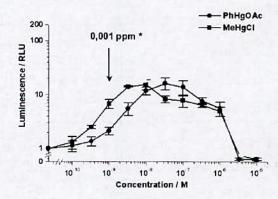


Figure 2: Response curve of the mercury sensor.

In contrast to the marine luminescent bacteria test there is no requirement for adjustment of the osmotic value of the sample. The method is extremely sensitive as compared to the traditional toxicity test (Lappalainen et al, 2000).

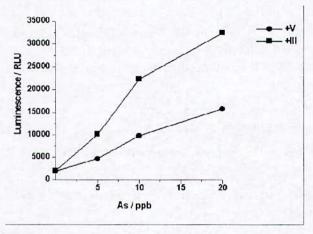


Figure 3: Response curves of the Arsenic-III and Arsenic-V sensors

Other metal biosensors were developed by using the luxCDABE operon from Vibrio fischeri. The lux operon was coupled to promoters of metal resistance genes and inserted into the soil bacterium Ralstonia metallidurans. Because the whole lux reporter system is cloned, no addition of luciferin is required. However, the luminescence is less intensive as compared to the firefly luciferase because the chemical energy is less efficient converted to light energy. Depending on the type of biosensor the sensitivity lies in roughly in the range between 1 and 20 ppm/kg soil. The mercury sensor is more sensitive, up to 20 ppb/kg soil. As compared to the E. coli biosensors, the bacterium is better suited for testing environmental samples since it is native to soil. At the moment sensors for Zinc, Cadmium, Copper, Lead, Chromium (VI), Nickel and mercury are constructed.

CONCLUSION

The traditional *V. fischeri* bioluminescence assay has been proofed to be a stable test. A long list with EC50 values for pure chemical compounds is available. Results are highly reproducible and the method is standardized. The transport and storage of the lyophilized reagent at temperatures below zero and the restriction to perform the test at 15°C are serious drawbacks. A good alternative for the freeze-dried bacteria is the use of freshly prepared *V. fischeri* bacteria. Recent research has shown that other strains of light emitting bacteria are more sensitive to toxic compounds. Improvement of the freeze-drying technique has made dry ice transport unnecessary. Progress is made in the utilization of the light-producing bacteria in other application fields such as AOC testing.

Recombinant DNA-techniques have resulted in the construction of whole-cell bacterial sensors. This allows the detection of single heavy metals at ppb levels by measuring bioluminescence. The biosensors detect the biological availability fraction as opposed to the total concentration. This gives more accurate information of the potential risks. The biosensors are fast and less labor intensive than traditional methods.

LITERATURE

Bulich A.A. and Isenberg D.L.Use of the luminescent bacterial system for the rapid assessment of aquatic toxicity. ISA Transactions 1981, 20: 29-33

Bulich A.A. A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples. Proces Biochem. 1982 2: 45-47

Corbisier P., Van der Lelie D., Borremans B., Provoost A., de Lorenzo V., Brown N.L., Lloyd J.R., Hobman J.L., Csöregi E., Johansson G. and Mattiasson B. Whole Cell- and protei-based biosensors for the detection of bioavailable heavy metals in environmental samples. Anal. Chim. Acta. 1999. 378: 235-244

Girotti S., Bolelli L., Roda A., Gentilomi G. and Musiani M. Improved detection of toxic chemicals using bioluminescent bacteria. Anal.Chim Acta 2002, 471: 113-120

Hastings J.W. and Nealson K.H. Bacterial bioluminescence. Ann Rev. Microbiol. 1977, 31: 49-595

Ivask A., Hakkila K., and Virta M. Detection of organomercurals with sensor bacteria, Anal. Chem. 2001 21: 5168-5171.

Lappalainen J.O., Karp M.T., Nurmi J., Juvonen R., and Virta M.P.J. Comparison of the total mercury contant in sediment samples with a mercury sensor bacteria test and *Vibrio fischeri* toxicity test. Environ. Toxicol. 2000, 15: 443-448

Meighen E.A. Molecular biology of bacterial bioluminescence. Microbiol. Rev. 1991, 55: 123-142

Nealson K.H. and Hastings J.W. Bacterial bioluminescence: Its control and ecological significance. Microbiol. Rev. 1979, 43: 496-518

Ribo J.M. and Kaiser K.L.E. Photobacterium phosphoreum toxicity bioassay. I. Test procedures and applications. Toxicity Assessment 1987 2:305-323

Reichelt J.L. and Baumann P. effect of sodium chloride on growth of heterotrophic marine bacteria. Arch. Microbiol. 1974 97: 329-345.

Tauriaien S., Karp M., Chang W. and Virta M. Luminescent bacterial sensor for cadmium and lead. Biosensors & Bioelectronics, 1998 13: 931-938

Tchounwou P.B. and Reed L. Applications of microbial assays in the assessment of metal toxicity. BEST Annual report 1999.

Thomulka K.W, Mcgee D.J. and lange J.H. Detection of biohazardous material by measuring bioluminescence reduction with the marine organism Vibrio harveyi. J. Environ. Sci Health. 1993 A28: 153-2166.

Ulitzur S. Lahav T. and Ulitzur N. A novel and sensitive test for rapid determination of water toxicity, Environmental Toxicology Journal 2002 17: 291-296.

Virta M., Lampinen J. and Karp M. A luminescence-based mercury biosensor. Anal Chem. 1994 67: 665-669

CONFRONTATION DES NORMES ALGERIENNES DES EAUX POTABLES AUX DIRECTIVES DE L'ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS)

CONFRONTATION OF THE ALGERIAN STANDARDS OF DRINKING WATERS TO THE DIRECTIVES OF THE WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO)

Professeur S. Taleb*

*Laboratoire de Chimie Analytique Appliquée-Faculté des Sciences-Université D. LIABES- Sidi Bel-Abbès (Algérie) E.mail: safiatal@yahoo.fr

RESUME

L'eau potable de bonne qualité est essentielle à la santé. A cet effet, il est indispensable d'avoir une eau saine, car l'eau contaminée par des produits chimiques ou des microorganismes peut nuire à la santé. Cette eau doit répondre à des normes pré- établies qui fixent les concentrations « seuil » à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances dangereuses et pouvant y être présentes. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) publie, régulièrement, des Directives de qualité pour l'eau de boisson dont de nombreux pays s'inspirent pour élaborer leurs propres normes nationales. Ces Directives représentent une appréciation scientifique des risques sanitaires associés aux substances biologiques et chimiques de l'eau de boisson et de l'efficacité des mesures déployées pour y remédier. L'OMS recommande aux autorités nationales de prendre en considération les aspects sociaux, économiques et environnementaux en procédant à une évaluation comparative des risques et des avantages lorsqu'ils adaptent ces Directives aux normes nationales. Qu'en est-il alors pour l'Algérie?

L'objectif de cette étude est de réaliser une revue critique des Normes Algériennes de potabilité des eaux de consommation humaine par rapport aux directives internationales. Sont-elles conformes aux recommandations éditées par l'OMS?

SUMMARY

The good quality of drinking water is essential to health. To this end, it is essential to have a healthy water, because the water contaminated by chemical products or micro-organisms can harm health. This water must meet established pre standards which fix the concentrations "threshold" not to exceed for a some number of dangerous substances and being able there to be present. The World Health Organization (WHO) publishes, regularly, the Directives of quality for the drinking water which many countries take as a starting point to work out their own national standards. These Directives represent a scientific appreciation of the medical risks associated to the biological and chemical substances of the drinking water of and effectiveness of measurements deployed to cure it WHO recommends to the national authorities to take into account the social, economic and environmental aspects while proceeding to a comparative evaluation of the risks and advantages when they adapt these Directives to the national standards. What happen does then for Algeria?

The objective of this study is to carry out an assessment of the Algerian Standards of potability of water of human consumption compared to the directives. Are they, in conformity with the published recommendations by WHO?

Mots clés : Eau potable- norme algérienne de potabilité- paramètres de qualité- risque sanitaire.

1. INTRODUCTION

L'eau de boisson, de bonne qualité, est essentielle à la santé. S'assurer de sa potabilité représente un défi pour le monde entier. L'organisme humain a besoin d'environ deux litres et demi d'eau par jour. L'eau sert à véhiculer les éléments nutritifs tout en aidant à l'élimination des déchets et à maintenir le fragile équilibre électrolytique à l'intérieur des cellules (Giddings, 1997). A cet effet, il est indispensable d'avoir une eau saine, car l'eau contaminée par des produits chimiques ou des micro-organismes peut nuire à la santé. On ne détecte souvent la contamination de l'eau de boisson qu'après une crise sanitaire : déclaration de maladies à transmission hydrique pouvant entraîner la mort. Pour cela, l' eau doit répondre à des normes pré- établies qui fixent les concentrations « seuil » à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances dangereuses et pouvant y être présentes. Cependant, bien qu'une eau potable soit conforme aux normes, cela ne signifie pas pour autant qu'elle soit indemne de ces substances, mais que leur teneur est assez faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (Berger, 2004).

La norme est représentée par une valeur chiffrée , qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser pour une substance donnée , ou une limite inférieure à respecter , exemple :[NO₃]= 50mg/l ou encore une fourchette comprise entre un minimum et un maximum (**OMS,2000**).

A l'heure actuelle, l'OMS publie de nouvelles recommandations qui aideront à prévenir la contamination de l'eau de boisson. « Il s'agit d'un changement d'orientation extrêmement important du point de vue de la santé publique. Ces directives révisées permettront aux gestionnaires de la santé publique de s'attacher davantage à la prévention de la contamination microbienne et chimique des ressources en eau » a déclaré le Dr Kerstin Leitner: Sous Directeur général de l'OMS pour le développement durable. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) publie, régulièrement, des *Directives de qualité pour l'eau de boisson.* (OMS*, 2004), dont de nombreux pays s'inspirent pour élaborer leurs propres normes nationales. Ces Directives représentent une appréciation scientifique des risques sanitaires associés aux substances biologiques et chimiques de l'eau de boisson et de l'efficacité des mesures déployées pour y remédier .L'OMS recommande aux autorités nationales de prendre en considération les aspects sociaux, économiques et environnementaux en procédant à une évaluation comparative des risques et des avantages lorsqu'ils adaptent ces Directives aux Normes nationales. Qu'en est-il alors pour l'Algérie ?

L'objectif de cette étude est de réaliser une revue critique des Normes Algériennes de potabilité des eaux de consommation qu'elles proviennent d'adduction publique, de source ou embouteillées par rapport aux directives. Sont-elles conformes aux recommandations éditées par l'OMS?

2. MATERIELS ET METHODES

2. a. Matériels

L'analyse est effectuée à partir de textes réglementaires tels que la publication de normes algériennes de potabilité des eaux de consommation, normes homologuées (NA 6360), arrêté ministériel concernant les eaux de boisson pré-emballées, eaux minérales et eaux de source (journal officiel n°51 du 20août 2000).

2. b. Méthode

Analyse statistique par logiciel Excell.

3. RESULTATS

La réglementation algérienne en matière de qualité des eaux de consommation n'est pas encore publiée dans le journal officiel. Ce sont des normes homologuées (NA 6360), appliquées depuis une année. Les paramètres de qualité de l'eau y sont classés en deux groupes :

- > facteurs physico-chimiques,
- > facteurs indésirables et toxiques.

Pour les paramètres physico-chimiques : 17 paramètres y figurent. 7 paramètres (41%) sont publiées avec leurs normes correspondantes en forme de niveau guide (NG)et 15 paramètres (88%) le sont à l'aide de la concentration maximale admissible (CMA) : qui_sont donc des critères de qualité à respecter. 6 paramètres (35%) possèdent à la fois la valeur guide et la concentration maximale admissible.

Pour ce qui concerne les paramètres indésirables et toxiques : ils sont au nombre de 21 . 2 paramètres (9.5%) possèdent une valeur guide tandis que l'ensemble des paramètres (100%) sont accompagnées de leur concentration maximale admissible. Enfin, seuls deux paramètres possèdent à la fois la valeur guide et la concentration maximale admissible.

Deux types d'eau embouteillée existent officiellement : eau de source et eau minérale. La qualité de l'eau de source est représentée par trois séries de paramètres : paramètres organoleptiques au nombre de quatre (4) . Des paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau au nombre de 12 et des paramètres de substances chimiques indésirables : 5. L'ensemble de ces paramètres possèdent une seule norme : CMA.

Par ailleurs, la qualité de l'eau minérale est caractérisée par deux ensembles de substances chimiques : la première série est relative à la structure hydro-géologique : 16 substances sont publiées avec des normes à ne pas dépasser. L'autre série de composants chimiques est des polluants, au nombre de 5 dont la présence est prohibée.

4. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

4. a. Discussion

Selon les directives de qualité pour l'eau de boisson de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS**, 2004), la qualité de l'eau est caractérisée par trois principales catégories de substances chimiques : des substances chimiques qui sont exclues car leur présence est improbable dans l'eau de boisson : elles sont au nombre de 25. Des substances chimiques dont les normes n'ont pas été établies ou publiées : 52, dont l'étude médicale (toxicologie, risque sur la santé) n'a pas donné de résultats probants. Ce sont des paramètres n'ayant_plus de caractère impératif, mais que leur non conformité pourrait être le signe d'un dysfonctionnement. Enfin, des composants chimiques dont la présence requiert une importance sanitaire : ils sont au nombre de 94 accompagnées de leur valeur guide (VG).

Eaux d'adduction publique

Parmi les paramètres physico-chimiques mentionnés dans le texte des normes algériennes de potabilité des eaux de consommation, normes homologuées (NA 6360), y figurent le pH, l'aluminium (Al), l'ammoniac (NH3) et la dureté totale (Ca +Mg) qui sont des paramètres dont l'OMS ne donne pas de valeur guide. Cependant, l'OMS précise les raisons pour lesquelles, elle ne publie pas les normes. Les raisons sont les suivantes :

Le paramètre physique: pH: bien que pH n'ait habituellement aucun impact direct sur des consommateurs, il est un des plus importante paramètres opérationnels de qualité de l'eau. Une attention particulière à la mesure du pH est nécessaire car il a une influence sur la corrosion qui peut contaminer d'eau potable et comme conséquence défavorable: effets sur

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

son goût et aspect (**OMS*****, 2004). La valeur du pH exigé variera selon la composition de l'eau et de la nature de matériaux employés dans la construction du système de distribution. Enfin, l'OMS propose deux valeurs limites qui sont 6,5 –8. C'est ce qui est publié dans les textes algériens (6,5 –8,5).

Pour la substance chimique : Aluminium l'Aluminium naturel aussi bien que des sels d'aluminium utilisés comme coagulants pour le traitement d'eau potable sont à l'origine de sa présence. Des concentrations au dessus de 0,1–0,2 mg/litre sont la cause des plaintes du consommateur en raison du dépôt de l'hydroxyde d'aluminium dans des systèmes de distribution et de la coloration de l'eau par le fer. Il est donc important d'optimiser des processus de traitement afin de réduire au minimum l'aluminium résiduel.

L'OMS préconise des concentrations de moins que 0.1mg/litre alors les textes normatifs algériens proposent la valeur de 0.2mg/l pour la CMA, ce qui conforme aux données de l'OMS.

Pour la dureté totale : cela dépend du consommateur. La tolérance publique du degré de dureté de l'eau peut changer considérablement d'une population à une autre, selon des conditions locales. En particulier, les consommateurs sont susceptibles de noter les changements de la dureté.

Selon l'OMS, l'eau présente un goût lorsque la teneur en calcium se situe entre 100 –300 mg/litre, dépendant de l'anion associé. En revanche pour le magnésium, la concentration sera inférieure par rapport à celle du calcium. Parfois, les consommateurs tolèrent la dureté de l'eau même lorsque celle-ci est supérieure à 500 mg/litre. Ainsi, dans les textes normatifs algériens, le calcium et magnésium possèdent une concentration maximale respective de 200 mg/l et de 75mg/l pour la valeur guide. L'OMS ne propose pas, pour cela de valeur guide

Pour les facteurs plus importants tels les substances indésirables et toxiques, publiées dans les textes algériens, ne figurent pas des paramètres impératifs de qualité (selon OMS) telles que : les THM : trihalométhanes, bromates qui sont des sous-produits de désinfection de l'eau, les borates. le benzène, l'acrylamide. Sauf pour le baryum, les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques). Il est très important de constater que les normes algériennes des eaux d'adduction publique mentionnent seulement 21 paramètres ayant un impact sur la santé du consommateur par rapport à 94 paramètres pour l'OMS comme représenté dans la figure 1 suivante :

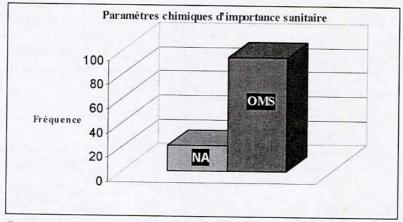


Figure 1 : Comparaison entre nombre des paramètres chimiques d'importance sanitaire des eaux d'adduction publique et celles de l'OMS

Seulement 21/94 soit 22,3% des paramètres sont publiés dans les normes algériennes.

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

Pour ce qui concerne la publication des normes guide, seules 2 des 21paramètres possèdent des valeurs : ce sont le cuivre (Cu) et le fluor (F) comme le montre la figure 2

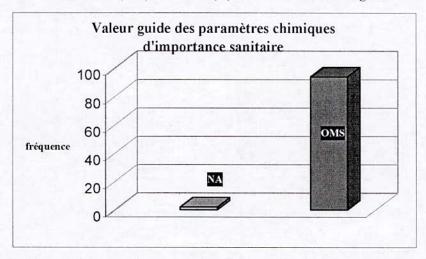


Figure 2 : Comparaison entre le nombre des valeurs guide algériennes et celles de l'OMS Cependant, si les valeurs guide ne sont pas publiées, les textes mentionnent des valeurs pour les concentrations maximales admissibles (CMA).

Eaux embouteillées et eaux de source

Pour ce qui concerne les eaux embouteillées : eaux minérales (arrêté ministériel concernant les eaux de boisson pré-emballées, eaux minérales et eaux de source (journal officiel n°51 du 20août 2000).

Les 16 paramètres chimiques représentent (16/94) 17% des données de l'OMS qui sont représentées dans la figure 3.

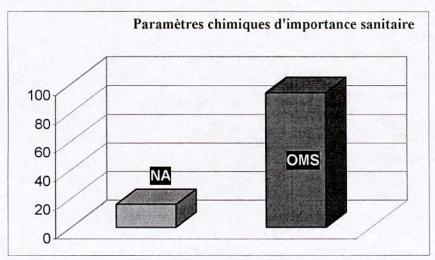


Figure 3 : Comparaison entre nombre des paramètres chimiques d'importance sanitaire des eaux embouteillées et celles de l'OMS

Les valeurs publiées sont des CMA puisqu'il est mentionné que ce sont des taux à ne pas dépasser. Sont-elles conformes à celles de l'OMS ? 6 paramètres ont des valeurs identiques aux valeurs guide de l'OMS ce qui représente (6/16= 37,5%) comme le montre la figure 4

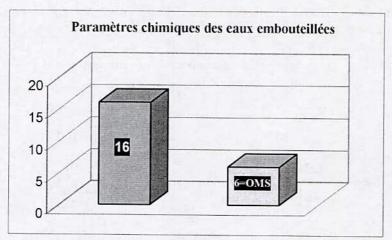


Figure 4 : paramètres chimiques d'importance sanitaire des eaux embouteillées identiques à celles de l'OMS

Et 5/16 (31,25%) possèdent des valeurs supérieures à celles publiées par l'OMS.(tableau 1)

Tableaul: quelques valeurs des normes d'eaux embouteillées algériennes (minérale) supérieures à celles données par l'OMS

Eau embout	eillée (CMA)*	OMS (VG)	
Arsenic	0,05mg/l	0,01mg/l	
Baryum	lmg/l	0,7mg/1	
Borates	5mg/l	0,5mg/1	
Fluorures	2mg/l	1,5mg/l	
Sélénium	0,05mg/1	0,01mg/l	

^{*} Arrêté ministériel concernant les eaux de boisson pré-emballées, eaux minérales et eaux de source (journal officiel n°51 du 20août 2000).

4. b. Conclusions

Le contenu des textes normatifs algériens est très confus puisqu'il est reconnu, internationalement, deux grands types de classification [5] :

⇒Type I: paramètres organoleptiques (2 sous-types: facteurs physiques, facteurs chimiques: substances minérales, organiques.)

⇒Type II: paramètres chimiques d'importance sanitaire (4 sous-types : composants minéraux, composants organiques, pesticides, métabolites issus des désinfectants)

Dans les normes homologuées (NA 6360), la classification des paramètres en deux catégories est très insuffisante. Elle ne fournit aucune indication sur l'importance sanitaire de la substance chimique

D'autre part, certains paramètres chimiques classés impératifs de qualité de l'eau de consommation humaine ne figurent pas dans les textes algériens comme les sous-produits issus de la désinfection tels que : les bromates (10micro-g/l) et les THM (100micro-g/l) (chloroforme, bromoforme, dibromochlorométhane et bromodichlorométhane.) dont les normes internationales ne cessent de diminuer en prenant le soin de ne pas compromettre la désinfection de l'eau à cause de leur incidence sur la santé publique

Le benzène, l'acrylamide, le plomb doivent nécessiter à l'avenir une surveillance dans l'eau du robinet, à cause d'un risque accru sur la santé humaine. L'acrylamide est un monomère

résiduel des polyacrylamides, utilisé essentiellement dans les produits de traitement des eaux destinées à la consommation humaine (notamment dans les adjuvants de floculation). Sa présence dans l'eau provient en général de sa migration depuis les produits de traitement utilisés pour le traitement de l'eau. La limite de qualité étant de 0,10 µg/L

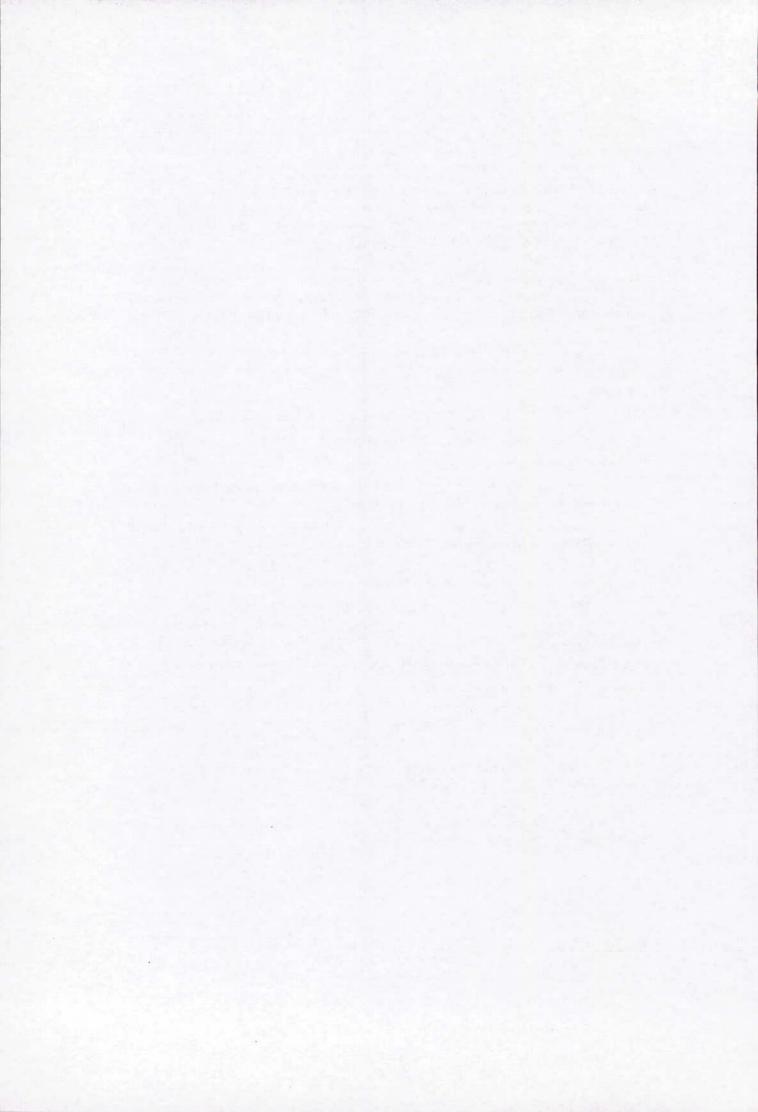
Par ailleurs, la publication de la réglementation européenne et française des eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles (Extrait du décret 1220,2001) est fort intéressante, en ce sens où le texte est très clair et précis. Nous pourrions nous en inspirer pour la réglementation nationale : il existe deux critères : limites de qualité et références de qualité.

Etant donné l'importance capitale que revêt cette réglementation pour la consommation des eaux potables sur la santé publique, il est impératif de revoir le fonds et la forme du contenu de nos normes. Ceci pour une meilleure compréhension pour l'application du contrôle de qualité de ces eaux.

Enfin, par son impact socio-économique, la normalisation officielle et son strict respect d'application est une sécurité tant dans les domaines de la santé que de l'environnement.

5. REFERENCES

- [1] Giddings M., 1997. « La lumière sur l'eau potable. », Santé Canada.
- [2] Berger G., Sabouret J.F., Tissier M., 2004. « dossier scientifique : l'eau. » CNRS-France
- [3]OMS: Organisation Mondiale de la Santé, Octobre 2000. « Aide-mémoire », N°256.
- [4] Cahiers Techniques de Stage VII , Norme Algérienne (NA 6360) « Norme de potabilité des eaux de consommation. », E.P-A.D.E., Tizi-Ouzou.
- [5] OMS: Organisation Mondiale de la Santé,1994. « Directives de qualité pour l'eau de boisson. »Recommandations, Vol1, 2^{ème} Edition, Genève
- [6] OMS*: WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004« Guidelines for Drinking-water Quality »Recommendations ,Vol1, third Edition,Geneva,494p.
- OMS **: WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004: chemical summary tables, annex 4, dans « Guidelines for Drinking-water Quality », Vol1, p.488-493, third Edition, Geneva.
- OMS ****: WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004. « Acceptability aspects » chap 10 dans « Guidelines for Drinking-water Quality » ,Vol1, p.488-493, third Edition,Geneva.
- [7] Extrait du décret 2001-1220 « Réglementation française et européenne des eaux destinées à la consommation humaine. » (à l'exclusion des eaux minérales naturelles)
- [8] [Communiqué de presse, 21 septembre 2004, Congrès Mondial de l'Eau de l'International Water Association (IWA).MARRAKECH/GENEVE, OMS.
- [9] Arrêté ministériel concernant les eaux de boisson pré-emballées, eaux minérales et eaux de source (journal officiel n°51 du 20août 2000).
- [10]Circulaire DGS/SD7A n° 2003-445 du 17 septembre 2003 concernant les modalités d'application de l'arrêté relatif aux méthodes d'analyse d'échantillons d'eau et à leurs caractéristiques de performance.



VERS UNE GESTION DURABLE DE L'EAU EN ALGERIE TOWARD A MANAGEMENT LASTING OF WATER IN ALGERIA

Bessedik Madani

Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département d'hydraulique Université Aboubekre Belkaid, Tlemcen B.P 230 Tlemcen 13000.

RESUME

Si l'alimentation en eau potable, l'usage de l'eau le plus indispensable, s'effectue encore d'une manière sporadique à l'aube du troisième millénaire, dans certaines villes algériennes, il faudrait sans doute revoir toutes les décisions prises depuis la genèse de cette pénurie et même avant. Il faut reconnaître que les limites des ressources en eau ont été, à plusieurs reprises, atteintes, mais ceci, n'exclut pas l'idée, qu'il reste des progrès à faire au niveau des différentes étapes de la gestion, pour garantir au système de production et de distribution de l'eau une fiabilité et une sécurité renforcée.

C'est dans ce cadre de raisonnement – en se basant sur des comportements des différents acteurs et des consommateurs vis-à-vis l'eau - que l'on s'efforcera, dans cet article, de rechercher un modèle de hiérarchisation des usages de l'eau, et spécifiquement dans les pratiques individuelles et collectives, devant orienter la recherche de solutions réalistes, durables, tenant compte de l'incapacité à affronter et de faire face à la pénurie chronique (exemple : le contexte algérien), et des spécificités nationales et régionales.

ABSTRACT

If the supply of drinking water, the most indispensable of water use, is carried out again in a sporadic way at the eve of the third millenium, in certain Algerian towns, it should without a doubt see again all the decisions taken since the genesis of this shortage and even before. It should be recognized that the resources of water have been in many reach resumption, but this does not exclude the idea that some progress is to be made at different levels of management, to guarantee the production system and water distribution as a reliability and reinforced security.

However, in this framework based on the behaviors of different actors and the consumers vis-à-vis water consumption to try hard in this article, to search a hierarchy model of water uses and specifically in individual and collective practices one, it should adjust the research of realistic lasting solutions, taking in to a count the incapacity to confront and to face the chronic shortage (example: Algerian context) and national and regional specicities.

Mots clés: Développement durable- gestion et politique de l'eau- comportements.

I. INTRODUCTION

Dans la déclaration du Symposium sur l'eau, la ville et l'urbanisme qui s'est tenu à Paris¹, (avril 1997), considérant l'importance de se pencher d'une manière dynamique et opérationnelle sur les problèmes liés à l'hydraulique urbaine, on peut lire : "Le processus accéléré d'urbanisation dans la plupart des pays et spécialement dans le monde en développement est la cause de pressions en croissance exponentielle sur l'eau disponible, ce processus atteignant des proportions critiques".

¹ Cette déclaration est fondée sur les acquis des précédentes Conférences Internationales, y compris la Déclaration de Dublin (1991), l'Agenda 21 de la Conférence sur l'Environnement et le Développement (Rio 1992), la Déclaration de Pékin (1995), l'Agenda d'Habitat II (Istanbul, 1996) et dans l'esprit du premier Forum Mondial de l'Eau (Marrakech 1997).

"L'adoption de stratégies efficaces de gestion de l'eau en vue de réaliser un développement urbain durable et, dans certains cas, d'assurer la survie à long terme des villes, tends à devenir un but exclusif et appelle l'attention de tout le monde" (Symposium sur l'eau, 1997).

Les problèmes liés à l'hydraulique urbaine en Algérie, pour ne pas dire le monde entier, touchent toutes les phases du cycle de l'eau : l'eau, la terre, l'air et l'énergie. De plus, elles sont en étroite relation avec l'ensemble des activités humaines. En outre, les aspects sociaux, culturels, politiques, institutionnels et économiques s'intègrent et parfois dominent les questions de la gestion de l'eau, et donc les négliger ne peut apporter des solutions aux problèmes existants, surtout dans un environnement où les préoccupations d'équité et de durabilité sont de plus en plus importantes. La nature de l'eau dans sa double dimension de bien économique et d'élément nécessaire à tous les secteurs de la société doit être pleinement reconnue pour une utilisation qui prend en compte les exigences de rationalité et de durabilité.

II. APPREHENDER LA QUESTION DE L'EAU EN TERMES DE DEVELOPPEMENT DURABLE

L'ensemble des experts de l'eau s'accorde sur la nécessité de changer le contenu concret des politiques de l'eau." « La gestion de l'eau » doit se transformer aujourd'hui en une «gestion durable de l'eau » et ce changement de forme implique, au-delà de l'opportunisme politique, un changement de fond" (Meublat, 2001). Car, les politiques appliquées jusqu'à présent suivent la logique de l'ingénierie de la domestication des ressources en eau naturelles et adaptent, souvent, l'offre à la demande. Or, on ne saurait en outre oublier que l'eau est une ressource limitée dans le temps et l'espace. Alors, il faut s'intéresser aux frémissements, aux signes annonciateurs de mutations se préparant dans le secret des formations sociales, ou dans celui des événements naturels et qui, tôt ou tard, deviendront des éléments avec lesquels il faudra compter. Cette complexité foisonnante impose de tenir compte de la satisfaction des besoins, du mode de gestion, et des pratiques sociales et environnementales de l'eau.

Le concept de "développement durable" ne doit pas être uniquement un développement classique pour les espaces aux enjeux ancrés dans la compétition internationale ou un développement de rattrapage réservé aux espaces en difficulté, mais qu'il doit également pouvoir se construire en des lieux sans difficultés majeures.

Du Club de Rome en 1971 à la notion de développement durable (Sustainable Developpement) exprimée en 1980 pour la première fois par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), de nombreuses contributions ont aidé à construire et étayer le concept de Développement Durable, aujourd'hui adopté dans le monde entier. Pour y parvenir, les entreprises, les pouvoirs publics et la société civile devront travailler main dans la main afin de réconcilier trois mondes qui se sont longtemps ignorés : l'économie, l'écologie et le social. À long terme, il n'y aura pas de développement possible s'il n'est pas économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement tolérable.

La définition la plus soutenable du concept de développement durable dans le secteur de l'eau est celle décrite dans le rapport de Bruntland. Dans la thèse BLANC, on peut lire "le concept de «développement durable» défini dans le Rapport Bruntland, répond à l'idée de satisfaction des besoins présents sans compromettre le développement des générations futures qui devront satisfaire leurs propres besoins. La durabilité, telle qu'entendue dans le rapport Bruntland, porte donc sur les capacités ou les potentiels de choix offerts aux générations futures, sans préjuger des libres choix que ces générations entendront réaliser".

En fin, les approches du développement durable consistent à mettre en œuvre tous les instruments possibles, institutionnels, techniques, politiques, scientifiques pour assurer aux sociétés, présentes et à venir, une parfaite disponibilité des ressources hydriques nécessaires

au développement économique et social, présent et futur. Ces biens communs sont la propriété de l'ensemble de l'humanité et doivent être considérés comme des éléments dont chacun est responsable pour la survie de tout le monde. Une telle approche nécessite donc la modification des méthodes de gestion, des comportements individuels, des choix industriels et des concepts régissant les relations internationales, mais elle entraîne surtout des conséquences au sein même des organismes de gestion pour s'adapter à ces nouveaux objectifs (Boutet, 2000).

III. L'APPLICATION DU DEVELOPPEMENT DURABLE

La mise en œuvre des théories du développement durable est la conséquence de l'évolution de l'écologie, en tant que science, et notamment de l'adoption par les scientifiques d'une approche systémique et intégrée du fonctionnement de la biosphère et des relations entre les populations et le milieu naturel, qu'on appelle dans le langage des spécialistes "l'écologie globale". Cette dernière approche a été adoptée par les planificateurs et a donné lieu à l'élaboration de méthodes de gestion globale de l'environnement, basées sur des critères de rentabilité, de rationalisation, d'efficacité et sur des outils empruntés à la gestion des entreprises économiques. Par conséquent, le domaine de l'hydraulique s'est réellement transformé en un domaine d'intervention des gestionnaires et des planificateurs qui considèrent les ressources naturelles dans une dimension intégrée en incluant les aspects économiques, environnementaux, institutionnels, politiques, sociaux, plutôt comme des outils et moins comme des sujets. On peut également observer un autre phénomène dans ce processus qui se résume par la sectorisation de la gestion de la ressource hydraulique. En effet, jusqu'à présent, la gestion de l'eau était mise en place en fonction des activités économiques et anthropologiques spécifiques, de l'agriculture, de l'industrie et sans oublier l'urbanisation. En outre, l'intervention des pouvoirs publics consistait essentiellement à mobiliser le maximum des ressources d'approvisionnement disponibles. L'eau est désormais un objet d'intervention politique autonome, avec la mise en place d'outils institutionnels et d'outils spécifiques (Boutet, 2000).

Les politiques et les planificateurs ne peuvent plus simplement demander aux techniciens de chercher et de mobiliser l'eau comme c'était pratiqué et l'est encore jusqu'à présent, mais ils doivent s'orienter vers l'identification de stratégies permettant de modeler une gestion plus prudente des ressources locales et nationales et en même temps déployer des efforts pour la maîtrise de la démographie.

Une approche intégrée est nécessaire pour considérer la gestion de l'eau et de l'environnement. L'urbanisme et ses aspects connexes en ce qui concerne l'eau devrait dépasser, dans sa dimension physique, les limites de la ville et prendre en compte à la fois le bassin versant dans le quel il appartient et la région environnante affectée par la ville et entrant en interrelations avec cette dernière, avec la condition de se placer dans un plan multisectoriel. C'est à dire, il faut la participation de tous les secteurs concernés de manière opérationnelle et significative (Symposium sur l'eau, 1997). Ce qui est intéressant à relever de la déclaration de Paris (1997), dans ce contexte, est la place importante qu'occupe d'autres acteurs non spécialisés dans le domaine de l'hydraulique tels que "l'éducation, l'agriculture, les finances, l'énergie, etc. La présence de la population responsabilisée et nantie de mécanismes, lui permettant de participer à la prise de décision à un niveau local et à des niveaux plus élevés, est essentielle pour atteindre des résultats effectifs".

IV. LES STRATEGIES DU DEVELOPPEMENT DURABLE

En effet, le développement durable, concept au caractère globalisant défini à la macro échelle, basé sur l'équité sociale, économique et écologique, impliquant de trouver un juste équilibre entre la nécessité de la croissance et la préservation du milieu naturel, de favoriser l'ascension de la démocratie participative, ainsi que de développer de nouveaux échanges

d'informations, apparaît aujourd'hui comme synonyme d'efficacité en termes de gestion de l'aménagement du territoire (Léonard, 2002). Quant à l'application de ce concept à la gestion de l'eau, dans les villes algériennes, soulève un certain nombre de questions :

- 1. Quelles mesures faudrait-il prendre en matière d'agriculture pour optimaliser entre la préservation de l'hydrosystème et le développement économique ?
- 2. Comment cultiver la notion de la préservation de l'eau dans les mœurs de l'ensemble des usagers ?
- 3. Comment procéder pour réunir l'ensemble des acteurs autour d'un bien commun, tout en développant des nouveaux concepts d'échanges d'informations entre le local et le global?
- 4. Comment procéder pour déterminer les limites physiques d'une ville pour développer une gestion de l'eau intégrée ?

Pour répondre à ces questions; il faut développer des mécanismes pour constituer une gestion de la demande, tendant à réduire la demande totale en eau et d'accorder la priorité à des utilisations de plus grande valeur, compte tenu de la pression croissante, sur les ressources en eau conventionnelle disponibles. Instituer une politique raisonnable de la tarification de l'eau, tout en optimisant entre la valeur économique de l'eau et la sensibilité sociale. Des incitations à une économie de l'eau et au développement des procédés de recyclage de l'eau représentent une composante complémentaire. Une certaine sensibilisation de la population avec des outils techniques, légaux, économiques et éducationnels est nécessaire.

Il est clair que pour la mise en place et l'adoption de nouvelles approches fondées sur le concept du développement durable, il faut agréger toutes les parties intrinsèques et extrinsèques qui ont une relation avec la question de l'eau. Donc, pour cela, il faut :

- 1- La mise en œuvre des résolutions, pour apaiser les conflits existants entre les régions urbaines et rurales en matière exploitation de l'eau, en adoptant des approches agricoles plus efficaces, telles que l'utilisation de techniques d'irrigation moins consommatrice d'eau, ainsi que l'élaboration de programmes de production agricoles économes en eau. L'exemple de Labre, citant la ville d'Hermosillo (Mexique), illustre d'une manière très significative l'importance de ces approches. Cette ville de 600000 habitants est tributaire d'un barrage réservoir, dont les apports aléatoires peuvent être nuls pendant plusieurs années consécutives. La situation devient insupportable dans une ville dont la population croît de 5% par an. L'Etat de Sonora a lancé un projet de dessalement de l'eau de mer d'une capacité de 45 millions de m³/an, afin de sécuriser les ressources. La ville étant située à 100 km de la côte et à 200 m d'altitude, cette solution nécessiterait un investissement de 200 à 250 millions de dollars américains et aurait probablement pour effet de faire doubler le prix payé par les usagers en ville (environ 0,9 dollars américains/m³ en 2002). En octobre 2000, la municipalité d'Hermosillo a procédé à l'analyse des enjeux croisés ruraux et urbains :
- L'agriculture représente 80% des consommations d'eau dans le bassin du Rio Sonora, en particulier l'association d'irrigants du périmètre "Costa de Hermosillo" (50 000 ha) situé dans la plaine en aval, qui prélève 400 millions de m³/an dans un aquifère de grande capacité (mais surexploité et menacé d'intrusion d'eau salée).
- Les agriculteurs ont engagé une action de conversion qui permettrait d'économiser environ 100 millions de m³/an sur les volumes prélevés dans l'aquifère côtier, ce qui rétablirait un bilan positif pour ce dernier. La conversion était limitée par la capacité d'autofinancement des agriculteurs ; les besoins totaux en financement (coûts de plantation de vergers, transformation de l'irrigation gravitaire en goutte à goutte) sont du même ordre que pour le projet de dessalement.

La municipalité, après concertation avec les leaders de l'association des irrigants, propose une alternative au dessalement, fondée sur une transaction avec les agriculteurs :

- La ville acquerrait la moitié des ressources en eau de l'aquifère côtier libérées par la conversion de l'agriculture. L'autre moitié permettrait la reconstitution progressive de la réserve souterraine.
- Le produit des indemnités versées à la communauté des irrigants complété par le dispositif d'incitations financières déjà mis en place, permettrait d'achever rapidement la conversion agricole.

"Un tel accord permet d'induire des bénéfices pour toutes les parties : les agriculteurs pourraient faire progresser leurs revenus en optant pour des productions fruitières à haute valeur ajoutée ; les usagers urbains bénéficieraient d'une ressource garantie, en contrepartie d'une augmentation de prix plus modérée que dans l'option dessalement ; la restauration de l'aquifère serait facilitée. En outre, les capacités de financement de la ville pourraient être en partie affectées à l'épuration des eaux résiduaires qui aujourd'hui sont utilisées brutes par certains agriculteurs et risquent de polluer l'aquifère" (Labre, 2002).

2- Dans les pays en voie de développement - où le contexte algérien s'inscrit dans cette catégorie - il faut aborder leurs problèmes spécifiques d'une manière appropriée. Ces problèmes sont liés au manque de financement, aux techniques archaïques d'entretien des équipements et des réseaux, à l'absence de personnel qualifié et au retard enregistré dans le domaine de la sensibilisation de la population.

L'élaboration de nouvelles approches appropriées aux comportements des usagers doit être initiée. D'une manière générale l'attitude et les comportements de la population sont perçus par les autorités ou les services publics à partir de stéréotypes considérant les réactions individuelles à l'eau comme des réactions d'indifférence, d'ignorance ou de gaspillage. Or, l'ensemble des variables environnementales, sociales et individuelles se combinent et s'organisent en systèmes de valeurs, en fonction du caractère naturel ou domestique, qui dominent les représentations de l'eau.

Les comportements sont fonction du contrôle perçu de la situation. Une étude exploratoire, établie par De Vanssay, concernant les perceptions et les usages de l'eau a été menée dans six grandes métropoles internationales : Brasilia, Jakarta, Munich, Madrid, Osaka et Ouagadougou. Le but de cette étude est de mettre en perspective la disparité des représentations et des comportements faces aux inégalités d'accès à l'eau, à la fois, d'un point de vue qualitatif et quantitatif. La diversité et les similitudes des comportements permettent le rapprochement paradoxal des situations contrastées, dans cette étude :

- Les comportements d'économie : on fait des économies à Osaka et à Ouagadougou en fonction de la perception d'une ressource limitée et épuisable. On fait également des économies d'eau à Munich dans une perspective de préservation de la ressource pour les générations futures et à Madrid pour répondre à une situation considérée comme récente et ponctuelle. Les comportements d'économie paraissent modulés en fonction des valeurs de référence et d'évaluation des performances du service public. A Ouagadougou, on pense qu'il suffirait d'améliorer la gestion quantitative de la ressource pour lutter contre la pénurie, mais en même temps on jette les eaux usées sans envisager un éventuel recyclage.
- Les comportements de filtrage de l'eau apparaissent fondés sur des critères plus culturels qu'objectifs: si les traditions et les pratiques anciennes japonaises ou indonésiennes en font une habitude comportementale, à Osaka l'installation de filtres individuels répond à une perception négative de la qualité de l'eau, tandis qu'à Jakarta faire bouillir l'eau s'apparente plus à un rituel qu'à une recherche d'efficacité sanitaire. A Brasilia filtrer l'eau est une habitude sans relation à la qualité de l'eau. L'eau excellente à Munich et à Madrid exclut le recours à des filtres. C'est parce que l'eau du robinet est considérée comme

- évidemment potable qu'à Ouagadougou elle ne donne lieu à aucune mesure particulière, si ce n'est son stockage.
- Les comportements sont parfois liés à des facteurs culturels comme le niveau d'instruction. Ainsi, à Jakarta, il n'y a pas d'adoption de comportements de préservation de la ressource, malgré une bonne connaissance de la répercussion globale au niveau de l'écosystème de la pollution de l'eau urbaine. L'inefficacité perçue de l'action individuelle n'entraîne pas de modification des comportements traditionnels, liés à la perception de l'abondance de la ressource. La perception du contrôle social joue un rôle important dans l'adoption des comportements vis-à-vis de l'eau à Osaka et à Madrid.

Le prix de l'eau, selon les échantillons étudiés, paraît jouer des rôles différents : dans l'ensemble des populations des villes en question, le prix de l'eau est rarement contesté, mais l'eau est toujours trop chère pour les habitants de la ville de Ouagadougou, alors qu'elle ne paraît pas assez chère pour les Munichois, en raison d'une lutte contre le gaspillage. A Jakarta, sa prise en charge par les institutions et le recours aux puits individuels éliminent les préoccupations financières.

- 3- L'incitation des communautés locales, y compris les individus concernés, les femmes, la jeunesse et les associations locales à la participation aux prises de mesures et de décisions. Il faut instaurer un dialogue entre les dépositaires d'enjeux, et une volonté d'inverser le processus traditionnel de la décision du sommet vers la base devrait être établie (Symposium sur l'eau, 1997). En fait, il est temps de concevoir des stratégies d'application de solutions et de systèmes nouveaux lorsque ceux qui existent déjà se sont révélés peu adaptés et/ou irréalisable dans des contextes différents. Ces stratégies peuvent constituer un modèle pragmatique, propre aux villes algériennes, produisant des solutions durables pour atténuer le désordre incommodé par la pénurie de l'eau. Citons, l'exemple de Tlemcen, dans cette ville s'est installée une égalité par la base (Bethmont, 1991), soit un raccordement de presque la totalité de la population. Cependant la desserte globale de la ville n'est plus assurée de façon continue, à raison de deux fois par semaine en moyenne. Les horaires de distribution de l'eau potable influencent directement la satisfaction de la demande en eau de la population. La demande augmente de plus en plus avec le temps et exige une croissance proportionnelle de l'offre, alors que, cette adéquation est rarement atteinte. Certes, la mobilisation de la ressource en eau n'a jamais cessé de progresser, mais cette croissance est insuffisante et inférieure à celle de la demande, entraînant un écart entre le volume demandé et le volume offert par les services de l'eau de la ville de Tlemcen. Ce mode de gestion est fondé sur une logique qui semble accorder le primat à la demande : elle fait de la consommation une contrainte à laquelle il faut adapter l'offre, comme si l'eau était véritablement une ressource inépuisable. Il faut donc dés à présent penser à envisager l'optimisation de l'offre et de la demande en terme de réciprocité. Comment réguler la consommation hydrique dans le cas de la ville de Tlemcen, et sur quel facteur agir ?
- Le premier facteur est la croissance démographique : dans les conditions actuelles, c'est une donnée avec laquelle il faut composer en attendant que la politique de régulation des naissances se traduise par des résultats significatifs et durables.
- Le deuxième facteur est le phénomène d'urbanisation accéléré: il doit être jugulé de façon urgente. Car, l'anarchie urbaine s'est déjà installée dans les mœurs des villes algériennes et pose des problèmes très complexes aux réseaux d'alimentation en eau potable.
- Le troisième facteur est représenté par le phénomène de généralisation du modèle occidental de la distribution de l'eau potable : il agit par tous les choix technologiques et d'investissements qui en découlent aux niveaux domestique, agricole et industriel. Il doit être régulé par des mesures souples respectant la liberté des usagers, sans compromettre l'intérêt général et les contraintes environnementales. En effet, les conditions

environnementales algériennes sont loin d'êtres semblables à celles de l'Europe ou de l'Amérique du Nord. Il doit nécessairement en découler une différence au niveau du modèle de consommation de la ressource hydraulique, surtout au niveau de la consommation domestique, et donc, une différence aussi au niveau des choix technologiques et économiques. Ceci est possible et accessible, et encore plus ce n'est pas une nouveauté dans le contexte algérien, car cela se faisait avant la désarticulation économique engendrée par la colonisation.

C'est dans ce cadre de raisonnement que l'ensemble des acteurs doit identifier un modèle de hiérarchisation des usages de l'eau, et spécifiquement dans les pratiques domestiques, devant orienter la recherche de réponses réalistes, tenant compte de l'incapacité d'affronter et de faire face à la pénurie chronique, et des spécificités nationales et régionales. Paradoxalement, ce sont les citoyens lassés de la pérennité de cette situation, devenant de plus en plus insupportable et incertaine, et en l'absence d'informations sur la genèse de la pénurie de l'eau, qui tentent au mieux de s'organiser pour s'approvisionner et s'assurer un minimum de réserve en eau. Alors, des systèmes d'organisation et de mobilisation pour le stockage domestique de l'eau (citerne, bâche d'eau, réservoir domestique, etc...), inventés par les habitants afin de s'adapter à la situation, se sont progressivement sophistiqués, perfectionnés et diffusés au point de constituer aujourd'hui un élément important à prendre nécessairement en compte dans toute approche traitant les questions de la distribution et de la consommation de l'eau potable, et dans le rapport entre le service public de l'eau et la population au sein de la ville algérienne.

A la suite du développement de ce dispositif de stockage domestique - selon les résultats d'une enquête² quatre foyers tlemceniens sur cinq sont équipés d'un tel système (voir figure N° 1) – où pratiquement tous les ménages interrogés pensent trouver la solution pour faire face aux incommodités générées par la pénurie. Dans cette optique, l'ampleur de cette approche s'appuie sur les performances et les succès, qu'elle a apporté en matière de continuité de la distribution de l'eau à l'intérieure de l'habitation, de l'emmagasinement de volumes importants, du confort et d'une certaine satisfaction en matière de consommation. L'efficacité de ce modèle est d'autant plus remarquable que les ménages équipés soient indifférents envers les irrégularités des fréquences de distribution, en leur permettant, dans des situations extrêmes, de se faire approvisionner par les fournisseurs informels pour subvenir à leurs besoins, en fonction de l'importance de la durée des coupures d'eau.

Ces vendeurs d'eau tirent profit de la situation désastreuse dans laquelle seuls les usagers sont emprisonnés, en faisant des spéculations sur une marchandise à laquelle ils ne participent nullement ni à sa production ni à sa mobilisation, et la vendant avec des prix illusoires à des consommateurs condamnés à subir les diktats de ces spéculateurs et du rationnement imposé par l'Algérienne Des Eaux.

Est-ce que l'émergence du marché informel de l'eau n'est pas un signe de la providence de la privatisation des services de l'eau ?

² Une enquête, par la distribution d'un questionnaire et l'élaboration d'entretiens, faite en été 2000 sur 199 ménages, nous a permis de savoir comment les usagers de l'agglomération tlemcenienne, intègrent le système de stockage domestique dans leur vie quotidienne en raison du rationnement imposé par les services de l'eau, et d'apprécier la place de la citerne dans l'organisation des rapports entre l'habitat et les usagers. Le choix de l'adoption des deux méthodes d'enquête, se justifie par la complexité du phénomène étudié, notamment par son originalité et sa conception au sein de la vie quotidienne des ménages. La méthode de distribution du questionnaire, a permis l'élaboration d'une analyse quantitative, et a mis en perspective la généralisation du système de stockage domestique de l'eau. En revanche, la deuxième méthode qui est basée sur les entretiens a permis, quant à elle, d'avoir une approche qualitative. De la juxtaposition des résultats des deux méthodes ont émergé des interactions entre les données socio-urbaines et technico-hydrauliques, et donc l'évolution du système de stockage au sein de la ville de Tlemcen a pu, alors, être saisie à travers ces deux dimensions.

La privatisation des services de la mobilisation et de la distribution de l'eau dans les pays en développement rassemble des réformes qui proposent l'amélioration des performances des organismes gestionnaires, la réduction de l'endettement public, le rattrapage du retard d'investissements dans des procédés correspondants et utiles et l'accroissement des taux de desserte. Mais, cette réforme ne peut réussir sans l'estimation des indices permettant d'évaluer les possibilités d'accès à l'eau des classes défavorisées. Il s'agira d'identifier des arrangements qui, localement et souvent indépendamment des principes d'extrapolation des normes et des modèles, tentent d'apporter des réponses à la question de la pénurie de l'eau et tiennent compte des capacités financières de toutes les catégories sociales, avec des résultats mitigés en termes de cohésion et d'intégration urbaines (Jaglin, 2001).

Dans un souci d'atténuer les malaises résultants de la crise de l'eau, il semble qu'une politique d'incitation au développement de l'usage du système de mobilisation et de stockage domestique de l'eau devrait être instaurée, à court terme, sans distinction du point de vue des classes sociales, au moins pour les villes qui souffrent de la pénurie de l'eau. Les résultats de cette même enquête ont montré que le processus de développement du système de stockage de l'eau domestique a conduit à la récupération de certaines pratiques qui étaient fortement conditionnées par le rationnement imposé par les services de l'eau de la ville (comme par exemple se doucher ou faire le grand ménage et autres pratiques consommatrices d'eau sans être vraiment dépendant de la fréquence de desserte).

Situé sur cet axe, cet essai d'analyse de l'impact du système de stockage domestique de l'eau sur les mutations spatiales et sociales prend son sens véritable, celui d'un moment d'une recherche plus globale qui ambitionne de saisir des solutions efficaces, comme résultat d'une évolution individuelle, mais qui, en tant que résultat, permet aussi de surpasser les incommodités de la pénurie de l'eau, ces solutions étant elles-mêmes appréhendées comme des mécanismes d'une amélioration de la gestion de l'eau dans la ville, pour accroître son rendement économique et l'équité de son usage, vital pour les populations défavorisées. Il s'agit au fond de poursuivre une recherche qui se propose de rendre compte des réalités technico-économiques, sociales et urbaines. N'est il pas vrais que, la place de l'équité est essentielle dans le paradigme du développement durable, et que la respecter garantit la cohérence et la stabilité du processus de ce développement.

V. CONCLUSION

Le développement durable est l'intégration du long terme dans la décision d'aujourd'hui. Donc, les décideurs des politiques publiques algériens doivent intégrer, dans les travaux de planification, la raréfaction de l'eau dans la représentation de l'avenir et mettre en œuvre une politique de régulation de la demande. Il s'agit d'un changement profond dans la participation du consommateur dans la prise de décision, par rapport à la place qu'il occupe actuellement, où il est considéré comme juste un abonné qui doit se contenter de ce qu'on lui distribue.

La littérature sur le thème de la gestion de l'eau, mentionne qu'il existe différents éléments pouvant aider à clarifier les relations du consommateur avec les partenaires du service de l'eau, et ils se résument en :

- > Une plus grande transparence, et une meilleure information des consommateurs afin de les sensibiliser envers la situation actuelle,
- Une concertation, en mettant en place des commissions consultatives,
- Une présence de représentants des consommateurs dans toutes les instances qui ont un lien direct avec l'eau (comme les agences des bassins),
- > Des relations nouvelles entre associations et collectivités locales.

Seule, la mise en place de toutes ces nouvelles mesures contribuera à redonner confiance aux consommateurs algériens concernant la crise de l'eau, l'amélioration des services, le règlement des litiges et l'information sur les dispositifs d'aides à la décision.

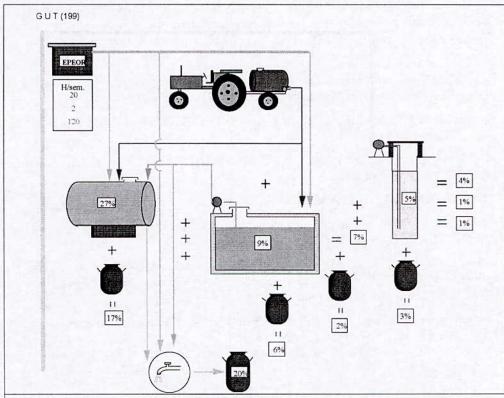


Figure 1 : La répartition des modes de stockage – Groupement Urbain de Tlemcen

Source: Bessedik M. 2003

Légende:

Distribution hebdomadaire (heures): moyenne = 20 h; faible = 2 h; forte = 120 h

Tableau N° 1: Moyen(s) de stockage:

Mode de stockage	Pourcentage	Mode de stockage	Pourcentage
Citeme	27 %	Réservoir + Bassine	6 %
Réservoir	9 %	Citeme + Puits	4 %
Puits	5 %	Réservoir + Puits	1 %
Bassines	20 %	Puits + Bassines	3 %
Citeme + Réservoir	7 %	Citeme + Réservoir + Bassines	2 %
Citerne + Bassines	17 %	Citeme + Réservoir + Puits	1%

GUT: Groupement Urbain de Tlemcen

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bessedik M. 2003 : "Stockage et pratiques de l'eau en situation de pénurie dans la ville de Tlemcen". Thèse de doctorat l'Université Pierre Mendès France, IUG, Grenoble.

Bethemont J. 1991 : "L'eau et la ville dans les pays méditerranéens". URBAMA, Fascicule de recherches N° 22 : l'eau et la ville du Bassin Méditerranéen et de la mer Noire, Tours, p 19.

Blanc N. 2002 : "L'eau et l'intégration européenne. Essai sur le temps, l'espace et la rationalité des acteurs". Thèse de doctorat de l'Université Pierre Mendès France, Sciences Economiques, Grenoble.

Boutet A. 2000 : "Quelques aspects structurants de l'organisation de la gestion de l'eau en Egypte". Les cahiers d'URBAMA : l'eau au milieu urbain dans le monde arabe. N° 15, Tours, p 25.

Jaglin S. 2001 : "L'eau potable dans les villes en développement : les modèles marchands face à la pauvreté". Revue Tiers Monde N° 166, T. XLII, avril-juin 2001, p 275.

Léonard M. 2002 : "La prise en compte des usagers". Problèmes économiques N° 2752, 13 mars 2002, p 26.

Meublat G. ET Le Lourd P. 2001 : "Les agences de bassins", Revue Tiers Monde, Tome XLII, N° 166, avril-juin 2001, P 375.

BIBLIOGRAPHIE INTERNET

De Vanssay B. (1998) : "Paradoxes et similitudes des rapports à l'eau en milieu urbain". http://www.eaudd.com/

Labre J. (2002): "L'eau, enjeu du XXI^e siècle". Colloque de l'association des anciens auditeurs du Centre d'Etudes Diplomatiques et Stratégiques (CEDS)- Paris 10 mars 2001. 07/12/2002 http://www.waternunc.com.

Le Symposium sur l'eau, la ville et l'urbanisme (1997) : "Eau et ressources. Déclaration de Paris", Paris, 1999, http : //www.waternunc.com.

EDUCATION ET SENSIBILISATION A LA PRESERVATION DE L'EAU EN ALGERIE

EDUCATION AND PUBLIC AWARENESS TO THE PRESERVATION OF WATER IN ALGERIA

Mohammed Habi

Maître de conférences à l'Université de Tlemcen, Faculté des Sciences de l'Ingénieur. B.P. 230 Tlemcen 13000: Email: moba.habi@gmx.de

RESUME

L'homme doit non seulement faire face à une diminution des ressources hydriques naturelles, mais aussi à une dégradation de la qualité de l'eau, qui peut la rendre impropre à la consommation. La communauté internationale a débuté sa prise de conscience il y a une trentaine d'année et veut préférer aujourd'hui une approche dynamique pour gérer nos ressources appauvries en eau. L'expérience montre en effet que la gestion de l'eau doit impliquer tous ses usagers, particulièrement les femmes et les enfants, aussi bien que les planificateurs et décideurs de tous les niveaux. La vision mondiale de l'eau pour le XXIème siècle, qui fédère la communauté internationale, se fonde ainsi sur le principe d'une approche pluridisciplinaire pour gérer l'eau. Elle veut enclencher un processus participatif de la société civile, avec une importance particulière accordé aux femmes, qui partout sont au centre des tâches et des corvées liées à l'eau. C'est l'éducation qui sous-tend en premier lieu l'implication des usagers. Elle est primordiale pour promouvoir des valeurs et des modes de vie plus adaptés à la stabilité durable d'un environnement. L'éducation des populations en matière de l'eau doit prendre en compte la diversité de publics : agriculteurs, enseignants, étudiants, spécialiste de l'information,....

Mots-clés: Eau- éducation- sensibilisation- ressources- gestion durable- population

SUMMARY

The man must not only face a reduction in the natural hydrous resources, but also a degradation of the quality of water, which can make it unsuitable for consumption. Thirty years ago, the international community start thinking about this enormous problem. Today, they privileged a dynamic approach to manage our thinning resources in water. Indeed, the experiment shows that the management of water must involve all its users, particularly the women and the children, as well as the planners and decision makers at all the levels. The world vision of water for the 21st century is based on the principle of a multi-field approach to manage water, and engage a participative process of the civil society, with a particular importance granted to the women, who everywhere are the most important users of water. It is the education which underlies the implication of all the users. It is of primary importance to promote values and ways of life more adapted to the durable stability of an environment. The education of the population regarding the problem of water must take into account the diversity of the public: farmers, teachers, students, specialist in information.

K ey words: Water- education- awareness- resources- durable management- population

1. INTRODUCTION

La situation alarmante de pénurie d'eau douce dans laquelle se trouvent certains pays notamment dans les régions arides et semi-arides du globe, qui ne disposent pas de ressources suffisantes en terres et en eau pour assurer la survie de populations de plus en plus

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

nombreuses, nécessite une action urgente et immédiate dans ce domaine. A ce propos, l'Algérie fait partie des régions les plus vulnérables du monde. De ce fait, l'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé à 1000 m³/ hab / an. Les pays européens utilisent tous plus de 600 ou 700 m³/an / habitant.

L'accroissement brutal des besoins, les retards enregistrés dans les programmes de mobilisation et de transfert et l'absence d'outils de planification et de gestion, ont généré des situations de déficit chronique, et se sont répercutés de façon négative sur le développement socio- économique de notre pays.

Pour de nombreux Algériens, les choses ne s'améliorent pas. Le spectacle de jeunes gamins, jerricans en main, courant les rues pour la corvée d'eau, demeure fréquent. Il y a quelques années, un premier ministre algérien soutenait que la pénurie d'eau risquait de se transformer durant la prochaine décennie en un véritable problème d'ordre public. L'actualité de ces dernières années a largement confirmé ces appréhensions. Dans l'est du pays, plusieurs mouvements de protestation avec blocage de routes, parfois suivis d'émeutes, ont été déclenchés par des populations harassées et excédées. Ce fut le cas en juin 2001 à la périphérie de la ville côtière d'Annaba.

2. ETAT DES EAUX DOUCES EN ALGERIE

Présenter un état des eaux douces en Algérie, me paraît nécessaire afin de justifier la problématique de la question posée. Il aurait été, en effet, inconcevable de traiter d'une éducation à la préservation de l'eau en Algérie si sa gestion était acceptable, ou tout au moins respectueuse, et si les divers impacts de l'activité humaine n'en détérioraient gravement la qualité.

Les potentialités globales sont évaluées à 19.4 milliards de m³ par an dont seulement 12 milliards sont mobilisables : 6.8 Milliards au Nord (5 Milliards de m³ par an pour les eaux de surface, 1.8 Milliards de m³ par an pour les eaux souterraines). Ces potentialités correspondent actuellement à un taux de 600 m³/ hab/ an qui passera à 400 m³/ hab/ an à l'horizon 2020.

La demande en eau est actuellement de 2.4 milliards m³/an pour une population de 30 millions d'habitants, alors que l'offre n'est que de 1,6 milliards de m3/an. La demande sera à l'horizon 2020 de 3,6 milliards m³/ an pour une population de 40 millions d'habitants (Kettab, 2001).

L'Algérie a connu durant les 25 dernières années, une période de sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique important, évalué à près de 30%, sur l'ensemble du pays. Durant l'année 2001-2002, ce déficit a été de 50%.

La sécheresse n'est pas seule en cause. L'Algérie a beaucoup moins investi dans la construction de barrages, et plusieurs d'entre eux sont envasés. Les efforts consentis par les autorités demeurent faibles par rapport à l'ampleur des besoins. Le pire réside cependant dans l'extrême vétusté du réseau d'alimentation en eau potable, responsable de fuites qui atteindraient, selon des sources officieuses, près de 60 %.

Près de la moitié des quantités d'eau mobilisées pour l'irrigation est par des aménagements coûteux pour la collectivité est perdu dans le transport, par de mauvais réglages des apports aux champs, une faible efficacité des systèmes d'irrigation, et des choix de cultures trop consommatrices.

Beaucoup d'industries usent par des défauts de recyclage, des fuites et pertes, et des défauts d'efficiences des procédés prélèvent des quantités d'eau bien supérieures à leurs besoins, en dégradant leur qualité.

Ce compte-rendu rapide de l'état des eaux douces en Algérie nous permet de constater, d'emblée, la carence des pouvoirs publics dans la gestion de l'eau. Malheureusement aggravée par les dégradations dues à l'ignorance, l'inconscience et souvent l'absence de sens civique chez un grand nombre de citoyens. Les mesures de rationnement mises en œuvre depuis plusieurs années ont un effet pervers, en effet les algériens profitent des heures de distribution d'eau pour constituer des stocks et gaspiller le précieux liquide. En quelques heures de disponibilité, ils se rattrapent et consomment autant que s'ils avaient l'eau courante vingt-quatre heures sur vingt-quatre.

3. POURQUOI UNE CULTURE SAINE ET UNE MORALITE ?

A la lumière de ce constat nous pouvons mieux répartir les responsabilités : celles de l'autorité politique et celles des citoyens. Il faut insister sur la nécessité évidente d'une gestion rationnelle des eaux qui incombe, en premier lieu à l'État, lequel doit entreprendre d'urgence la réfection des réseaux de distribution, ainsi que la réorganisation de l'administration des eaux.

Au lendemain de l'indépendance, la gestion de l'eau reprend l'organisation bicéphale léguée par le pouvoir colonial avec d'une part la petite et moyenne hydraulique, sous tutelle du Ministère de l'agriculture et d'autre part la grande hydraulique attribuée au Ministère de la construction, des travaux publics et des transports. De l'indépendance au début des années 1980, seuls trois barrages ont été construits. Le déficit en eau s'est donc aggravé et généralisé sur l'ensemble du territoire. L'année 1977 a marqué un tournant avec la création du Ministère de l'Habitat et celui de l'Hydraulique en remplacement du secrétariat d'état à l'hydraulique crée en 1970. Le premier plan quinquennal (1980-1984) confirme cette politique : 5,8 % du programme total de investissements de l'état alloué à l'hydraulique, tandis que 15 % à l'habitat. La construction des barrages s'est intensifiée, mais les efforts restent encore insuffisants (Chikhr, 1998).

Aujourd'hui on compte, 56 barrages en exploitation à travers le territoire national, la majorité souffrent d'une insuffisance due essentiellement au manque de moyens matériels, financiers et managériaux. L'agence national des barrages a bénéficier du programme triennal pour la relance économique d'une enveloppe globale de l'ordre de 31 milliards de dinars sur une période de trois ans (2001-2003).

Selon le directeur adjoint de l'agence national des barrages cette enveloppe est importante mais pas suffisante.



Les grandes entreprises et sociétés réussies dans le monde montrent, par leurs statistiques, que la sensibilisation des intéressés joue un rôle efficace dans le domaine de leur spécialité. Plus les gens sont conscients du problème plus les résultats seront meilleurs, en quantité et en qualité. Lorsqu'on voit l'agence national des barrages (ANB) propose l'ouverture publics des

plis financier relatifs à l'attribution du contrat de réalisation des travaux de transfert des eaux du barrage TAKSEBT vers Tizi-ouzou, Boumerdes et Alger avec un montant de plus 20 milliards de DA et 360 millions d'Euros. On pose la question sur la planification morale et culturelle sur ce projet de grande envergure, et sur la formation morale et scientifique du personnel d'exploitation du projet une fois terminé. Cette question soulève de la sensibilisation morale et éducative des régions bénéficiaires de ce projet, qui va transformer complètement toute une région.

Les exemples suivants justifiés la problématique de la question posée :

• Les délais de la réception du projet de transfert d'alimentation en eau potable (AEP) à partir du barrage Beni Bahdel, qui devait résoudre en partie le problème de l'AEP au niveau du groupement urbain du grand Tlemcen (Tlemcen, Mansourah, Chetouane), ont été largement dépassés. Les raisons de ce retard sont multiples et les spéculations vont bon train dans les milieux des responsables de ce énorme projet de 171 millions de dinars, qui devait normalement- dans une première tranche – apporter un débit complémentaire de 400 l/s à la population tlemcénienne qui souffre d'un grand déficit en eau potable.

Apres l'achèvement des travaux ont été achevés, et à chaque essai, c'est la catastrophe : les pompes, les vannes et même les conduites sautent sous l'effet de la pression de l'eau.... Les spécialistes évoquent la non-conformité des pompes et vannes aux normes établies dans le cahier des charges. On parle aussi de l'incompétence de certaines entreprises ayant eu la charge de ce marché.



 Un autre exemple touchant c'est les grands et petits projets de dessalement de l'eau de mer ainsi que ceux relatifs à la déminéralisation des eaux des nappes phréatiques.

A l'exception d'un cas ou deux, tous les projets dont les stations devaient être fonctionnelles il y a de cela quelques mois, sont à l'arrêt. Un constat qui laisse « consterné ». Il est impossible qu'une station tombe en panne, deux mois après sa mise en marche, il s'agit de la station de dessalement d'Oued Ghir. (Ministre des ressources en eau). Ce constat est généralisé. Il concerne pratiquement toutes les stations projetées à travers le territoire national.



Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger A ce propos, les techniciens incombent les défaillances à des négligences au niveau des études. Plusieurs projets ont été revus car confrontés à des contraintes d'ordre techniques. C'est le cas des 18 stations décidées il y a de cela trois années. Les projets qui devaient assurer chacun un débit journalier de l'ordre de 40.000 mètres cubes, ont été réduit à de petites stations de l'ordre de quelques 2.000 mètres cubes par jour. « L'urgence » des opérations a relégué au second plan l'approfondissement des études. On passe à l'installation d'une station (les équipements de dessalement) avant de « penser » à son alimentation. Une alimentation qui se fait soit par un forage, soit par une prise d'eau. Le plus souvent, on procède par une alimentation à l'aide d'un forage. Les quantités disponibles sont très minimes ou du moins insuffisantes. Ainsi, la prise d'eau s'avère nécessaire. Alors, on revoit l'étude en prévoyant une solution autre que celle déjà retenue. Cette dernière sera abandonnée par la suite. Une conséquence à ce contretemps est certainement l'arrêt momentané qui peut durer plusieurs mois voire plusieurs année, du moins jusqu'à l'élaboration d'une nouvelle « variante » en matière d'étude.



• Selon le directeur général de l'ADE un million de foyers ne sont pas dotés de compteur. C'est pour cela que la tutelle ne dispose, d'ailleurs, pas de statistiques fiable sur la consommation de l'eau en Algérie.

A Tunis on compte 500.000 abonnés sur une population de 2,7 millions, alors qu'à Alger ils sont de l'ordre de seulement 300.000 abonnés pour une population de 3,2 millions.

4. POURQUOI UNE POPULATION EDUQUEE ET AVERTIE?

L'explosion démographique a conduit à une extension anarchique des villes à travers tout le territoire National. Les conséquences sont le cumule des problèmes de l'évolution irréversible et la pénurie des ressources vitales.

Malgré que pour certaine région, la pénurie d'eau à la dimension d'une véritable catastrophe, on observe encore une dégradation croissante de la qualité des ressources. Les causes en sont multiples :

- Les aléas de la nature (changement climatiques, répartition inégale des ressources)
- Le niveau et le mode de vie des populations et leurs conséquences (gaspillage, surexploitation, pollution)
- Déficience aux niveaux de l'information et de la sensibilisation des usagers.

Près de 70 % des Algériens ne payent pas régulièrement leurs factures d'eau. Cette situation qui grève foncièrement la trésorerie de l'entreprise a obligé la direction de l'unité de Tlemcen à intenter des poursuites judiciaires à l'encontre de 1.500 abonnés pour le recouvrement de ses créances (Quotidien d'Oran, 2003).

Quotidien d'Oran – 2003

L'ADE ANNONCE 25 MILLIARDS DE DINARS DE CRÉANCES

«70% des Algériens ne payent pas leurs factures d'eau»

Seuls 30% des Algériens s'acquittent, régulièrement, de leurs factures d'eau. Les 70% restants échappent à ce devoir civique, a indiqué, hier, à Alger, le premier responsable de l'Algérienne des Eaux, Mammar Boumédiène, en marge des travaux du Conseil scientifique et technique de l'Union africaine des distributeurs d'eau (UADE). Cette réalité est noircie par le fait également qu'un million de foyers n'ont pas de compteur.

CHANIA AMRIOUT

de l'ADE, par une multiplication des créances de l'entreprise. Celles-ci, a précisé M. Boumédiène, atteignent 25 milliards de dinars. Cette somme colossale

même pas dolés de compleur». C'est Ceta situation se traduit sur le plan dinancier, selon le directeur général de l'ADE, par une multiplication des créances de l'entreprise. Celles-ci, a prépeut pas adopter une politique cohérente, appropriée et efficace», a ajouté, le DG de l'ADE.

hydriques va se prolonger». C'est pour-quoi, a-t-il indiqué, lors de son allocution d'ouverture des travaux de la rencontre de l'UADE, «il y a urgence à définir une nouvelle politique de gestion».

Celle-ci consiste, serce lui, à consentir Celle-ci consiste, serce lui, à consentir des investissements dans le secteur, en vue, notamment, de protéger les nappes phréatiques de la pollution et de réaliser des stations de dessalement d'eau. Une démarche qui doit, poursuit M. Attar, se faire dans le cadre d'un partenariat et qui doit toucher, entre autres, les volets du secteur de la distribution et de la gestion. Pour les stations de dessalement d'eau, à titre d'exemple, elles sont plus que né cessaires dans certaines régions du pays. C'est le cas dans l'Oranie, a indi-

Parmi les résultats d'une enquête exploratrice concernant l'étude des pratiques et usages de l'eau dans le groupement urbain de Tlemcen (ouest d'Algérie), seulement 40% des personnes enquêtées déclarent connaître l'origine de l'eau qu'ils consomment.

Pratiquement 62.8% ne connaissant pas leur consommation journalière d'eau à la maison et 92.3% ignorent le prix qu'ils paient pour un m³ d'eau. Par contre, à la question de savoir comment ils jugent le montant de leurs factures trimestrielles, les réponses sont : 41.5% le trouvent normal, 28.1 % un peu cher et 25.6% très cher (Habi, 2003).

La réaction de la société aux problèmes de l'eau, tant vis à vis des pénuries et de la qualité, que des inégalités dans l'approvisionnement, ne sont pas supportés de manière égale par tous les citoyens, d'un quartier à un autre. Les choses sont radicalement différentes, puisque, dans un même quartier, on peut trouve d'un coté une coopérative immobilière approvisionnée en eau potable, de l'autre coté un quartier populaire qui est alimenté difficilement. Malgré les essaies des services concernés pour remédier ce problème, les difficultés du réseau et des fuites empêchent une solution immédiate et adéquate. Tous ces problèmes, et ces inégalités font que, le citoyen ressente une injustice le distinguant par une réaction semant une culture redoutable et incorrecte, qu'il faut combattre par une bonne éducation.

La modification des situations ne peut se faire qu'avec le libre consentement de la société civile. Il faut que chaque citoyen prenne conscience des dangers qu'il court s'il persiste à dilapider et à polluer ses eaux. Il faut qu'il s'imprègne de cette évidence que sa qualité de vie ainsi que sa survie en dépendent, de même que celles des générations futures (Nasr, 1998).

Il faut qu'une partie importante de la population soit consciente de l'acuité des problèmes et des enjeux, et assume la responsabilité de gérer d'une part sa reproduction, et d'autre part ses moyens de vie, en faisant des choix éclairés dans ces domaines. Education et sensibilisation du public au problème de l'eau prennent ici toute leur importance car elles permettent d'associer la population à la politique de l'eau et de promouvoir la démocratie participative.

La première couche du public à sensibilisé se sont les éducateurs et les formateurs afin qu'ils puissent transmettre ces préoccupations dans leurs interventions à tous les niveaux, en particulier les enfants ; c'est avant l'âge adulte qu'il est le plus facile de faire acquérir des connaissances et des comportements responsables. C'est à l'âge scolaire que les enfants ont le plus de curiosité et d'intérêt pour l'environnement, et qu'ils sont le plus aisément éducables parce que plus réceptifs. Ils constituent un relais efficace vis-à-vis des adultes que sont leurs parents et leurs proches, autant qu'ils constituent les adultes, consommateurs et décideurs de demain. Leur éducation est un investissement sur l'avenir. Sans oublier l'éducation des femmes, qui jouent un rôle fondamental au sein de la famille pour assurer la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en eau potable.

Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

La base de toute culture de l'eau, se déroule sous les aspects des connaissances réelles avec les rapports de tous les chercheurs intéressées par cette source qu'on appelle mère de toute chose vivante sur la terre. Il faut donc mettre en réseau tout les chercheurs et universitaires concernées afin de pouvoir influer sur toute la population et par la suite sur tout l'environnement, par la création des cites Internet pour focaliser les énergies et enrichir les débats par la contribution de tous les intervenants, chacun dans sa spécialité. C'est dans ce contexte que des solutions peuvent être trouvées pour une meilleure prise en charge des problèmes de l'eau. En d'autres termes, il s'agit d'associer les chercheurs et les universitaires autour de ses problèmes culturelles et socio- économiques, afin de pouvoir par la suite attirer la population toute entière sur un point commun qui est la manière de préserver ce liquide vital.

L'application de ces principes ne signifie cependant pas qu'il convienne de rechercher un modèle généralisable ou d'utiliser systématiquement l'un de ceux qui aurait déjà fait ses preuves dans tel ou tel pays. Il faut en effet tenir compte de situations locales, de conditions géographiques, économiques et sociales pouvant être extrêmement diverses.

5. CONSEILS ET PROPOSITIONS

Dans la perspective du moyen et du long terme, la préoccupation principale est représenté par la grande méconnaissance des habitants sur tout ce qui concerne l'eau : l'origine, leur consommation et le prix d'achat, car cela peut signifier un comportement dangereux pour les ressources difficilement renouvelable (Habi, 2003).

A notre avis, il n'y a pas de communication entre l'entreprise de distribution et les abonnés et des démarches de sensibilisation, concernant l'utilisation de l'eau sont inexistantes.

Les thèmes autour desquels une campagne de sensibilisation pourrait être menée seraient les suivants :

D'aider les gens à comprendre le cycle de l'eau depuis le captage jusqu'à la distribution. Vu l'ignorance démontrée lors des interviews, il ne serait pas étonnant que beaucoup de personnes considèrent l'eau comme un don naturel et qu'il n'y pas des coûts récurrents.

Il faut expliquer le système utilisé par l'entreprise de distribution pour assurer la distribution d'eau dans une ville, ainsi que le problème posé par la rareté des pluies, source principale des nappes souterraines.

Parallèlement à cette démarche, il faut insister sur la nature difficilement renouvelable de l'eau et qu'en raison de cela, il ne faut pas la gaspiller par une mauvaise utilisation en faisant plus de réserves qu'il n'est nécessaire.

Une campagne pourrait faciliter le recouvrement des factures trimestrielles par des informations concernant le prix d'exploitation et le prix de vente et que sans cet appui, de la part de la population, l'entreprise de distribution serait incapable d'assurer de manière régulière, l'alimentation en eau de la ville.

Sensibiliser les différentes couches de la population, les gestionnaires et les décideurs en vue d'une meilleure gestion des demandes en eau (Chabason, 1998).

Informer le grand publique, les décideurs et les gestionnaires sur les gains possibles grâce à une gestion économe d'eau.

Intégrer effectivement des opérations concrètes pour favoriser une gestion plus économe de l'eau.

L'éducation d la population en matière de l'eau doit prendre en compte la diversité des publics :

- Les agriculteurs, vu qu'une grande quantité d'eau mobilisé pour l'irrigation est perdu, par manque d'efficacité des systèmes d'irrigation utilisés.
- Les industries n'utilisant pas de recyclage et le défaut d'efficience des procédés de prélèvement induisent la dégradation de la qualité des ressources.
- Sans oublier bien sur les grandes quantités d'eau utilisées par des usages abusifs (usages domestiques, et dans les collectivités).

La gestion de l'eau étant au centre de tout développement durable. Toute politique nationale de l'eau doit accorder l'intérêt nécessaire à la sensibilisation et l'information des enfants et des adultes. C'est sur eux également que repose, en grande partie, l'éducation des générations montantes.

La sensibilisation et l'éducation des gens sur la valeur de l'eau et les risques de pénurie peut être bien réaliser en s'appuyant sur les milieux associatifs, et sur l'ensemble des moyens de communication audio-visuelles, des matériaux et actions éducatives adaptés à l'Algérie.

6. BIBLIOGRAPHIE

Kettab, A., 2001. Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. Desalination, 136: 25-33

Chikhr, S. F., 1998. L'enjeu de l'eau dans les grandes villes algériennes. L'information géographique, 3:111-119

Quotidien d'Oran, 2003. L'ADE annonce 25 milliards de dinars de créances.

Habi, M. 2003. Impact socio-économique de l'alimentation discontinue et irrationnelle, en eau potable de la ville algérienne. Séminaire national sur l'eau et l'environnement. Bechar, Algérie, pp. 13-19

Nasr, C., 1998. Education à la préservation de l'eau au Liban. Congrès international. Kaslik, Liban, pp. 45-48

Chabason, L., 1998. La gestion de la demande en eau dans le bassin méditerranéen. Conférence Internationale"eau et développement durable". Paris, France, pp. 23-28

EDUCATION ET CULTURE EN MATIERE D'EAU

Bachir Kerboua & E. Adda Bedia

Enseignant, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Abou-bakr Belkaid -Tlemcen-Algérie

Email: kerboua (Eyahoo, fr.)

RESUME

Nous ne pouvons plus aujourd'hui parler de source d'eau sans parler de l'environnement et de la pollution dans le sens large. Les réflexions dans les années à venir devront se faire sous l'égide de l'éducation et de la culture de manière à ce que les objectifs économiques et environnementaux se rejoignent. Nos consommations en eau douce risquent de nous conduire à une impasse collective. Au rythme actuel les consommations mondiales de l'eau seront multipliées par 3 d'ici 2050, tout comme les produits polluants, ce qui menace gravement l'équilibre écologique de la Terre. A l'horizon de 2050, une population mondiale estimée à plus de 8 milliards d'individus, et avec le contenu de la source d'eau actuelle, l'Humanité prend le risque considérable d'être incapable de satisfaire les besoins de populations entières, et, de créer pour les États des relations internationales aux conditions incertaines.

Le but de notre travail montre que le nouveau modèle d'une culture et d'une éducation à l'eau incorpore des changements au niveau de la démographie et de la technologie, en matière d'utilisation de l'étique à l'eau. Ce modèle reproduit les tendances passées en matière d'utilisation d'une sensibilisation fondée sur le principe d'un respect mutuel entre l'homme et l'environnement.

SUMMARY

We cannot speak today of source of water without speaking of the environment and the pollution in the large sense. The reflections should make themselves in years to come under the aegis of the education and the culture so that the economic and environmental objectives join themselves. Our consumptions in water risk driving us to a collective dead end. To the present rhythm the world consumptions of water will be multiplied by 3 from 2050, all as the polluting products, what threatens the ecological balance of the Earth seriously? To the horizon of 2050, a world population estimated to more of 8 billions of individuals, and with the content of the present water source, the humanity takes the considerable risk to be incapable to satisfy the needs of whole populations, and, to create for the international relation Estates to the uncertain conditions.

The goal of our work shows that the new model of a culture and an education to water incorporates some changes to the level of demography and the technology, concerning use of the éthique to water. This model reproduces the tendencies passed concerning use of a sensitization founded on the principle of a mutual respect between the human and the environment.

Mots-Clés : Eau, culture, éducation, moralité, environnement

1. INTRODUCTION

L'eau est nécessaire au développement de toutes les formes de vie, animales ou végétales, au centre du développement socio-économique de l'humanité, à tous les instants de la vie privé ou publique. Il faut donc préserver cette ressource vitale sur les plans de la qualité comme de la quantité. Pour cela, il faut assurer une gestion durable de cette ressource et préserver l'environnement avec lequel l'eau se trouve en interactions continues, la biosphère.

Problème de quantité? Pour fabriquer un kilogramme de sucre il faut quatre vingt litres d'eau et pour fabriquer une voiture il faut trente cinq mille litres d'eau. La vétusté des réseaux de distribution serait à l'origine de 50% des pertes d'eau potable. De longues coupures d'eau potable dans une zone habitée peuvent entraîner une catastrophe sanitaire.

Problème de qualité ? Depuis plusieurs décennies les volumes d'eaux usées comme toutes les formes de pollution de la nature, y compris la vétusté des réseaux d'évacuation des eaux usées, ne cessent d'augmenter. L'une des conséquences, est l'accroissement du taux des maladies "hydriques" : si l'insuffisante d'eau en volume pose des problèmes d'hygiène, la consommation d'eau et de produits agricoles pollués ont des conséquences biologiques et médicales désastreuses (journal le Quotidien d'Oran, 2003).

Pour tous les pays du monde, il y a une responsabilité individuelle et collective à cette pollution. Le gaspillage et la surconsommation de l'eau, parfois même, la surconsommation dans ses différentes usages (domestique, agricole et industrielle), même si certains phénomènes incontrôlés ont un impact non négligeable (incendies des forêts, éruptions volcaniques, inondations, ...).

En Algérie, les déjections animales contribuent, peut-être plus qu'ailleurs, à la pollution des rivières et des nappes phréatiques. Ces eaux sont aussi dégradées par effluents industriels et aussi par une mauvaise utilisation des engrais, tout particulièrement dans le Sud où les nappes fossiles sont utilisées pour développer une agriculture intensive, ce qui pose une question d'éthique et de politique de développement durable. En 2003, la longue pénurie d'eau, a eu un impact sur l'hygiène élémentaire et a provoqué de très graves atteintes sanitaires dans plusieurs villes et villages de l'Algérie (galle, choléra, peste, ...).

Devant de tels drames, les problèmes posés par l'eau constituent une préoccupation universelle, malgré des progrès sensibles dans les pratiques agricoles, industrielles et plus rarement domestique pour certains pays. On peut alors se poser la question sur l'utilité de plus de dix années de colloques internationaux sur les problèmes de l'eau? On est même en droit de demander des comptes, car chaque citoyen de la planète a contribué directement ou indirectement à leur financement.

Quel est le pourcentage de pays, à l'échelle planétaire, qui peuvent être considérés comme exemplaire en matière de politique de l'eau et plus généralement de l'environnement ? Nous savons que l'ordre de grandeur est de 1%.

Quelle solution ? Cet article se propose de mettre en évidence quelques éléments de solution.

2. SITUATION EN ALGERIE

Pour avoir une idée de la situation hydrique de l'Algérie, on peut proposer trois constats illustrant la situation actuelle de cette ressource vitale, sachant que les besoins nationaux sont de 6 milliards de m³.

 Les moyens existants en barrage et en forage ne dépasse pas 2.5 milliards de m³, volume auquel il faut retrancher les pertes (~ 60%) dans un réseau de distribution vétustes, parfois archaïque.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

- Sur 45 stations d'épuration, 6 fonctionnent normalement et 24 sont arrêtés pour maintenance (dont le coût est 1.4 milliards de dollars).
- Seulement 47% d'une population paye l'eau.

L'eau et la société sont deux éléments indissociables. Elle peut agir par sa qualité, sa rareté ou son abondance sur le mode de vie, la capacité intellectuelle de tout individu. L'eau c'est la vie mais aussi la joie de vivre. Peut-on imaginer un instant la vie des habitants de certains quartiers d'Alger, capitale d'un pays, dans lequel en 2003 des habitants avaient de l'eau au robinet une fois par semaine?

Toute chose est vivante grâce à l'eau (parole de Dieu le Tout Puissant dans ses livres sacrés).

L'eau est devenue une véritable source d'inquiétude pour tous les pays, certains plus que d'autres. Les sources en eau sont simultanément aujourd'hui soumises à la pression de la demande et à l'agression croissante des multiples pollutions, qui pourraient devenir une menace pour la paix, si des solutions concrètes ne seront pas adoptées Kerboua, 2003].

La dernière décennie de l'histoire de la méditerranée prouve encore le besoin d'une éducation bien fondée sur la base du respect de l'environnement de l'eau. On constate une dégradation des eaux de surface et souterrains très rapide, ce qui entraîne une pénurie très inégalée de l'eau douce et, en même temps un nombre croissant des habitants des rives de la méditerranée.

Les zones les plus touchées par une culture sur l'eau sont les régions du Sahara qui sont confrontés à une véritable catastrophe incontrôlée des pertes d'eau et de la stérilisation des sols. Les solutions morales immédiates aux problèmes spécifiques des oasis pour préserver au maximum les sources d'eau, par une réserve des eaux de pluie, dans des endroits bien aménagées. Cette opération immédiate demande une amélioration de la consommation de l'eau comme source nécessaire pour l'existence et la vie de la population des ses régions, donc ils doivent veiller sur sa présence et sur sa disponibilité en permanence.

L'humanité supporte des tensions hybrides croissantes avec le temps dont la nature et l'importance varie suivant les régions, ce qui entraîne une diversité de cultures chez les habitants de la méditerranée. L'expertise internationale et les organismes intergouvernementaux ont bien dénoncées les causes de la dégradation croissante des ressources en eau et ses conséquences sur la biosphère [Marcoux, 1994].

Les actions concrètes ne sont jamais entreprises, à cause d'une absence totale de la culture à l'eau, la non participation des moyens d'information audio-visuelles et l'absence de programme d'éducation des populations.

Par contre une expertise non éducative et non planifiée de manière correcte aggrave la crise et reste un slogan et un discours académique, chose qui est rejetée de la part d'une population privée d'un moyen vitale pour sa vie quotidienne. Ce paramètre vital qui menace leur entourage et l'environnement tout entier.

Pour mener à bien la compagne d'éducation et de la culture, on doit s'adresser en même temps à diverses couches de la société.

- · Les mairies
- Les Associations
- · Les moyens de culture écrite, morale et audio-visuelle

3. METHODOLOGIE

3.1. Tendance éducative

Après avoir décrit ces labelles, on doit, dors et déjà, penser à appliquer le méthode éducative en amont de tout projet lié à l'environnement. Ceci mène à responsabiliser les autorités locales et les associations qui, sont liés d'une manière ou d'une autre, à l'ordre public.

La base de toute discussion éducative sur l'eau doit être fondée sur l'histoire lointaine de l'homme et de l'eau, dans un contexte de l'environnement, avant même la richesse de la terre. Comme exemple, c'est l'histoire de notre saints prophètes Ibrahim et son fils Ismail (que Dieu le tout puissant leurs bénissent) dans le Sahara de l'Arabie saoudite. Cette histoire a fait de cette eau et depuis des siècles une eau d'une grande valeur morale et spirituelle. On peut déduire de ça que les rapports de la société avec ce précieux liquide depuis des milliers d'années, a permis toute une civilisation, qui a terminé par fondé une grande empire de développement et de richesse dans cette région (Kerboua, 2003).

L'explosion démographique a donnée une extension anarchique des villes à travers tout le territoire National. Les conséquences sont le cumule des problèmes avec évolution irréversible conduisant à une pénurie des ressources vitales. Prenant comme exemple, le projet de la SABKHA d'Oran qui date depuis cent treize années, il commence à prendre forme dans l'esprit des responsables qui, ont repris le dossier et qui ont compris son intérêt.

Une mauvaise éducation avec une déformation de notre culture islamique (culture qui donne à toute chose vivante sa valeur morale et spirituelle) entraîne une dégradation de tout l'environnement avec ses créatures humaine et animale, causant par cela la dégradation des moyens de survie, et en l'occurrence l'eau. Le contexte islamique morale est considéré comme premier élément dans la vie avant même la création de l'homme. Dieu le Tout Puissant lorsqu'il dit aux Anges je vais créer sur terre un être humain, ils l'ont déconseillé, en disant que cet humain va semer de la terreur et va couler beaucoup de sang. C'est une éducation d'une grande valeur, si on sait la placer dans sa vraie forme et dans sa vraie grandeur.

3.2. Education de la population

Les grandes entreprises et sociétés réussies dans le monde montrent, par leurs statistiques, que la sensibilisation joue un rôle efficace pour la mise en œuvre de toute application économique ou sociale. Plus les gens sont conscients de leur problème plus les résultats seront meilleurs, en quantité et en qualité.

On pose la question de la planification morale et culturelle sur ce projet de grande envergure, et sur la formation morale et scientifique du personnel d'exploitation du projet une fois terminé. Cette question soulève une autre question qui est la sensibilisation morale et éducative des régions bénéficiaires de ce projet qui, peut transformer l'économie et le mode de vie de toute une région [Cesano, 1999].

La base de toute culture à l'eau, se déroule sous les aspects des connaissances réelles avec les rapports de tous les chercheurs intéressées par cette source qu'on appelle mère de toute chose vivante sur la terre (Dieu le Tout Puissant dit : j'ai créer à travers l'eau toute chose vivante). Il faut, donc, mettre en réseau tout les chercheurs et universitaires concernées afin de pouvoir influer sur toute la population et, par la suite, sur tout l'environnement, par la création des sites Internet afin, de focaliser les énergies et enrichir les débats par la contribution de tous les intervenants, chacun dans sa spécialité. C'est dans ce contexte que des solutions peuvent être trouvées pour une meilleure prise en charge des problèmes de l'eau. En d'autre termes, il s'agit d'associer les chercheurs et les universitaires autour de ses problèmes culturelles et socio-économiques, afin de pouvoir attirer la population toute entière sur un point commun qui, est la manière de la préservation de ce liquide vital, qu'on ne peut pas préserver sa totalité.

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

La sensibilisation de la société aux problèmes de l'eau, tant vis à vis des pénuries que de ses qualités, ainsi que, dans des inégalités d'approvisionmement, ne sont pas supportés de manière égale par tous les citoyens, d'un quartier à un autre, de la qualité d'un réseau à un autre, de l'existence de réseau d'un quartier à l'autre. Malgré les efforts des services concernés de la distribution pour remédier à ce problème, les difficultés du réseau et les fuites empêchent une solution immédiate et adéquate. Tous ces problèmes et ces inégalités font que, le citoyen ressent une injustice psychique et morale se caractérisant par une réaction semant une culture redoutable et incorrecte, qu'il faut combattre par une éducation saine [Editions UNESCO et Odile Jacob, 1996, Paris].

4. RESULTATS

4.1. Prévisions

Comme premiers résultas de ce travail c'est :

- La croissante demande de l'eau due à un exode rural non contrôlée (particulièrement dans les hauts plateaux et les hautes pleines)
- Les chiffres ascendants de fuite d'eau et le vieillissement des réseaux d'AEP
- Une démographie croissante et une absence de culture avec une condensation côtière de la population qui dépasse neuf (9) millions, tout en ajoutant les problèmes de l'insécurité.

En premier lieu c'est le personnel de l'exploitation et de la maintenance qui constitue la structure et l'ossature si on veut assurer une AEP conforme aux normes mondiales et, faire un bon suivi de toute exploitation. Se sentir responsable, c'est être conscient de tout son travail et, donc, essayer de le mener efficacement aux normes pour pouvoir rentrer dans la concurrence national et internationale.

4.2. Les conséquences néfastes d'une absence de culture

Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), 3 à 4 millions de personnes meurent chaque année des maladies causées par les eaux usées dans les pays en développement (diarrhées, intoxications, maladies parasitaires,......). Au niveau mondial, elle tue plus de 12 millions, entraînant en même temps un manque d'eau énorme et un sol épuisé, avec une pollution de l'air qu'on respire. Sans oublier une démographie en accensions menaçant tout l'environnement, par le risque à un désastre écologique.

La demande de l'eau douce par une démographie en croissance dépasse la disponibilité et les ressources annuelles, ce qui risque dans un avenir très proche d'être la cause d'une guère nationale et internationale entre les pays. Ca ne sera pas une guère pour avoir le pétrole ou le gaz, mais pour avoir une eau douce garantissant leur existence et leur vie. Une exemple qui pourra frappé directement la moralité des peuples c'est le conflit probable, et qui a été un certain moment entre l'Egypte, l'Ethiopie et le Soudan sur la stratégie d'utilisation des eaux du Nil.

Les six milliards de personnes qui vivent sur la planète s'approprient déjà de la moitié de toute l'eau douce que renferment les réserves mondiales des cours d'eau des nappes et des lacs. En 2025 le taux d'appropriation sera de 70%. Avec la croissance démographique actuelle, l'homme pourra alors consommé plus de 90% de toute l'eau douce disponible sur terre, ne laissant à peine que 10% aux autres espèces vivantes. On dira alors que l'homme a détruit avec ses propres mains les ressources de tout signe de vie, entraînant ainsi un chaos absolu de la planète toute entière [UNESCO-UNEP], (Journal le quotidien d'Oran, 2003).

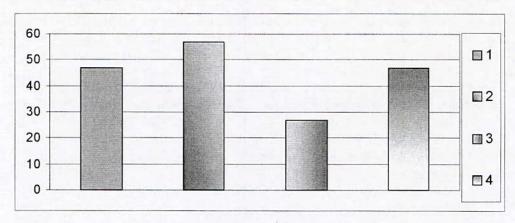


Figure 1: Exploitation Nationale en Eau (%)

Production Nationale en Eau Les fuites d'Eau Vieillissement du réseau AEP Eau facturée

5. PROPOSITIONS D'ACTION

5.1. Actions culturelles et éducatives.

La majorité de la population desservie par les services d'eau municipaux sont facturés selon des méthodes qui, n'incitent pas à sa conservation, de tel sorte que, les frais ou l'évaluation sont fixes ou sont soumis à un taux fictif sur le volume consommé. Des études menées en France et en Canada ont arrivées par leur structure tarifaire à décroître l'augmentation de la consommation. D'autres études ont constaté une augmentation de la facture avec l'augmentation de la consommation. Ces études ont abouti aux résultats, que l'augmentation de la facture avec l'augmentation de la consommation, permet une conservation meilleur de la quantité d'eau, et ont bien déduit que les augmentations des prix font baisser la consommation dans ces régions. Ils ont introduit une éducation publique bien étoffée pour expliquer à la population le but et les conséquences d'une telle mesure à long terme et de ses bons résultats (Kerboua, 2003).

5.2. Actions sur la conservation de l'eau à l'intérieur des maisons

- Contrôler la quantité d'eau de la machine à laver avant sa mise en marche, pour éviter le gaspillage
- Les tuyaux et les robinets doivent être réparé, pour éviter les fuites qui coûtent très cher
- Réduire le temps des douches et fermer les robinets en temps mort, ça gaspille des milliers de mettre cube par année
- Fermer le robinet pendant le moment de la brosse des dents et au moment de nettoyage de la vaisselle
- Ne penser pas refroidir l'eau en le laissant écouler un bon moment
- Contrôler bien les chasses d'eau et ne les utiliser qu'aux moments utiles

5.3. Actions sur la conservation de l'eau à l'extérieur des maisons

- Utiliser un sceau et un linge pour laver l'automobile au lieu du système habituel d'arrosage.
- Remplir les piscines la nuit au lieu de la journée ça permet, d'éviter l'évaporation et permet de gagner des milliers de mètres cube par année.
- Eviter le gaspillage en arrosant les jardins et les pelouses de façon aléatoire.
- N'arroser pas les cours et les bâtiments tous les jours.

"Les sages disent : les sources d'eau fraîche disponibles sont extrêmement stressées en raison de l'impact de la consommation humaine, les changements climatiques et la sécheresse. Pour

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

assurer l'approvisionnement adéquat pour soutenir la vie, SVP pratiquer de bonnes habitudes pour conserver l'eau à une année longue et enseigner les à vos enfants".

« Le Dieu le Tout puissant dit : Attention à la préservation de l'eau douce, parce qu'elle vous est desservie par des quantités précises de notre honneur »

Il faut bien comprendre que l'eau est effectivement une source renouvelable par sa masse relative qui circule constamment dans le cycle hydrologique, mais cette précieuse source fait l'objet de pression croissante. Le rythme de prélèvement d'eau dans toutes les wilayas ne cesse d'augmenter ce qui diminue de façon néfaste les réserves en comparaison avec une accrue limitée. Toute fois à mesure que s'épuisent les réserves d'eau, nous commençons à comprendre que la quantité d'eau disponible est réellement limitée.

Cependant, nous pouvons contribuer positivement à résoudre ces problèmes en réduisant la consommation inutile. A cette fin, nous devons repérer les cas de gaspillage à la maison et au travail ainsi que dans les immeubles et les propriétés industriels, et modifier en même temps nos appareils et nos habitudes culturelles et spirituelles sur la consommation d'eau.

6. COMMENTAIRE

La conservation de l'eau ne se limite pas aux utilisations usuelles des usagés. Mais, elle va plus loin dans le cadre de la conservation de l'énergie, dont la mesure souhaitable en soi, contribuent indirectement à la conservation de l'eau. En effet, la consommation réduite en énergie se traduit par une demande moins élevée en production de l'électricité, dont l'utilisation de l'eau étant de beaucoup supérieur à toutes les autres.

Si nous assumons les dépenses reliées à la longue détérioration qui ont subit nos réseaux d'eau et d'assainissement et, si nous rattrapons les années d'indifférence et de négligence dont ont souffert nos ressources en eau. Dans ce cas, nous serons vivement en mesure de relever le défi de la conservation de cette eau, tant pour notre bien-être que pour celui des générations à venir. Toutefois, si nous ne savons par tirer la leçon que nous enseignent les erreurs du passé, nous ne ferons qu'hypothéquer encore plus lourdement nos ressources environnementales. Nous devons apprendre, d'une part, à n'utiliser que le nécessaire et, d'autre part, à accorder nos besoins avec la disponibilité des ressources. Sachons ménager ces ressources afin de mieux en jouir plus tard. La figure (2), montre l'énorme dépense dans la conservation de l'eau.

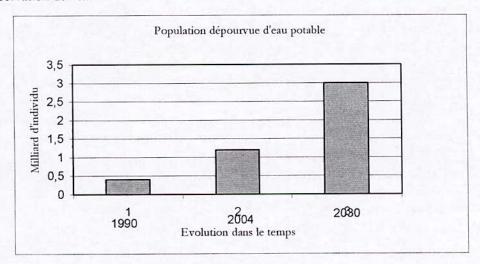


Figure 2 : Situation hydrique des populations

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Des moyens, qui actuellement non contrôlés, ont leur part sur la dégradation de la situation des ressources en eau. On peut dire même, qu'ils sont à présent des générateurs de toute forme de gaspillage morale et culturelle suite à une mauvaise interaction avec l'environnement. Ceci constitue une perte de tout projet de reforme et incite par inconscience, toute moralité à se contrecarrer de façon destructive à tout projet de redressement.

Tout projet de culture à l'eau doit intégrer les capacités suivantes :

Connaître et prendre en compte positivement les phénomènes lies à la communication interpersonnelle. Développer des conduites maîtresses d'écoute et d'expression dans la vie sociale. Savoir adapter sa stratégie de communication aux relations hiérarchiques. Subjectivité et communication (généralités sur la communication, modèle emetteur-recepteur, "caractéristiques" de la subjectivité... Savoir écouter, savoir s'exprimer (facteurs d'efficacité et de dysfonctionnement, objectifs et attitudes d'écoute, objectifs et modes de traitement de l'information; éléments d'analyse transactionnelle de programmation d'écoute active...) Communiquer de façon motivante (adapter son expression en fonction de l'interlocuteur, de l'environnement..., relations d'autorité, représentations de l'homme au travail et incidences sur les relations socioprofessionnelles...).

Mise en évidence de la problématique de la gestion de l'eau et des capacités consommées dans les entreprises industrielle. Connaissance des méthodes classiques de gestion et des méthodes planifiées. Connaître les méthodes de gestion : méthodes réactives, méthodes de planification des besoins en composants, la planification des charges, la régulation charges-capacités. La réussite est basée sur la définition du plan directeur de l'information.

7 . CONCLUSION

L'eau passe par un stade complexe durant sa vie et doit être renouveler à tout instant dans son parcourt afin, de garder intacte sa qualité et, en même temps la vie humaine et, donc toute notre planète. Dans le cas contraire, elle devient polluante et source de poison, entraînant la mort de son cycle dynamique et donc la mort de tout l'environnement.

La pollution de l'eau est très conséquente car, elle perturbe l'équilibre de la nature et limite de façon approfondie l'exploitation de certaines ressources naturelles comme, la pêche, la baignade, les eaux souterraines, les produits bruts et semi fini des ressources minières. On arrive finalement à la pollution de toute la biosphère.

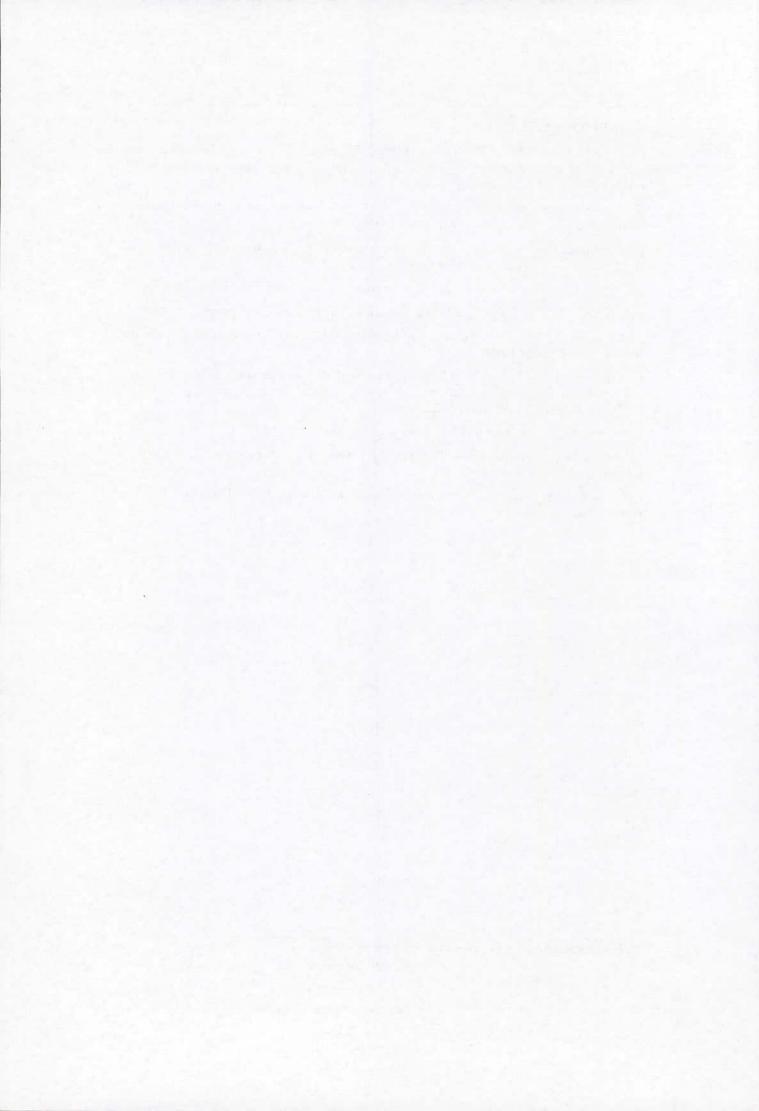
Le discours officiel de l'éducation dit: qu'il s'agit de développer la personnalité à la citoyenneté et d'insérer la jeunesse dans la société et dans l'environnement. Mais dans la forme actuelle de notre démocratie, ces objectifs sont pris séparément, ce qui exclue pratiquement les autres paramètres indispensables, et mène à un chaos total tout ce qui a été rattaché à notre système éducatif de base.

La tragédie de l'homme moderne n'est pas forcement qu'il s'interroge de moins en moins sur le sens de la vie, mais que la dégradation de son environnement ne le dérange presque plus.

La crise d'une éducation à l'eau renvoie à une crise de l'école qui, elle même renvoie à celle d'une civilisation tout entière. Cependant, comment, exiger des élèves le respect des valeurs que nous n'incarnons pas et que nous ne respectons pas! Comme dit le Dieu le Tout puissant dans le Coran « les hommes non sages détruisent leur environnement et en même temps leur vie par leur propre mains ».

8 . BIBLIOGRAPHIE

- [1] Alain Marcoux, 1994, "Population and Water Resources", in the series "Population and the Environment: a review of issues and concepts for population programs staff", FAO/UNFPA TSS
- [2] Daniel Cesano, Jan Erik Gustafsson., 1999, "Les répercussions et la mondialisation économique sur les ressources en eau". KTH, Stockholm, Suede,.
- [3] Wardrop Engineering Inc. Tertres Consultants Inc. Et CH2M Hill Ltd., 1994, "Regional Water Supply Conseptual Study", Final report.
- [4] UNESCO-UNEP, 2000, "éduquer pour un avenir viable" : une vision transdisciplinaire
- [5] UNESCO-UNEP, 2000, "Freshwater Resources", Environmental Education Module,
- [6] Kerboua, B., 2003, "Interaction entre l'Eau et l'Education des populations", colloque International, Cogolin, France.
- [7] Rapport à l'UNESCO, 1996, "L'éducation, un trésor est caché dedans", de la Commission Internationale sur l'Education pour le Vingt et Unième Siècle, présidée par Jacques DELORS, Editions UNESCO et Odile Jacob, Paris.
- [8] Problèmes de l'Eau, Journal le quotidien d'Oran., 2003.
- [9] Jean A. Vergnes, 2001, L'Eau, l'Homme et la Connaissance, Cannes, France, Symposium International.
- [10] Jean A. Vergnes, 1996, Éducation et Informatique, Moscou, Russie, Université. Congrès International.



L'EAU EN ALGERIE

Mohamed Mokhtar Tarakli

Président Directeur Général HYDRO TRAITEMENT

L'eau a toujours été en Algérie une véritable obsession et sa disponibilité une lutte permanente. Le constat des difficultés liées à la disponibilité de cette denrée précieuse se ressent auprès de la population, l'industrie et l'agriculture.

L'alimentation en eau potable des populations constitue l'une des principales préoccupations car elle montre de plus en plus des signes de déséquilibre devenus même dramatiques avec l'existence de pénurie d'eau et de rationnement dans certaines villes dus à la sécheresse exceptionnelle des deux dernières décennies devenant de plus en plus insupportable. Ce bouleversement agit directement sur la vie économique et sociale du pays.

Ce phénomène climatique découlant d'une régression de la pluviométrie n'a pas manqué de générer une rareté de la ressource hydrique au moment où les besoins en eau deviennent de plus en plus important que ce soit pour la consommation humaine, l'agriculture ou l'industrie.

De plus l'explosion démographique et le développement de certains pôles industriels, gros consommateurs d'eau accentuent, sensiblement ce déficit d'année en année.

Il est plus que certain que les besoins en eau ne cessent de croître et d'ores et déjà le XXI éme siècle est désormais dénommé le siècle de l'EAU.

Ceci implique la nécessite impérieuse d'accroître les ressources en eau, de les protéger et de s'assurer toutes les possibilités de produire sa propre eau pour la survie de sa population.

Non seulement l'eau est indispensable à toute vie, on ne peut donc s'en passer mais on ne lui a trouvé aucun substitue. C'est pour cette raison que tout doit être mis en oeuvre à grande échelle pour organiser d'une manière institutionnelle et technique son équilibre, sa protection, son assainissement et sa conservation.

Son prix ne résulte jamais de la confrontation de l'offre et de la demande mais est fixé selon la politique et la mise en œuvre des moyens techniques permettant sa bonne qualité.

Si l'eau est une marchandise, elle a quand même cette particularité que sa circulation n'est pas internationalisée ou du moins pas encore même si certains «producteurs d'eau» y réfléchissent et s'organisent dans cette perspective.

Le marché international de l'eau se limite aux équipements, aux techniques, au savoir-faire, mais par contre la privatisation de la gestion de l'eau tend à se généraliser dans beaucoup de pays développés ou non et l'offensive repose sur la question du prix de l'eau et l'efficacité de la gestion municipale.

Mais la politique dont elle est l'objet, les pratiques sociales auxquelles elle se prête, peuvent constituer une clé importante dans la stratégie en matière de développement du pays et la satisfaction des besoins en eau.

Le rapport Eau/Développement dans le contexte de l'Algérie se pose en terme de conditions de maîtrise de la nature pour passer de la situation de rareté à la situation d'abondance.

Peut-on dire que la rareté de l'eau en Algérie est un résultat et non pas une donnée géographique?

Cette réalité est tout au moins importante de rappeler et à prendre en considération dans les mesures à prendre pour exploiter les ressources en eau.

Les différents constats des déséquilibres de ce secteur ont entraîné des risques sociaux que peuvent générer de telles situations.

Pour comprendre la raison de cette problématique, la gestion de ce secteur est devenue une épreuve de vérité pour le système politico-administratif.

Ce manque d'eau se traduit, en plus des problèmes d'alimentation en eau potable et d'hygiène déjà cités, mais aussi par un laissez aller général de négligence dans la mesure où les espaces publics ne peuvent être entretenus et les rues pas nettoyées.

La presse consacre presque quotidiennement, ces colonnes à ces problèmes et y relate les mésaventures liées à cette pénurie.

Depuis des siècles les populations de notre région se sont adaptées aux conditions difficiles de leur environnement pour en tirer le meilleur, sans perturber outre mesure le milieu et sans influer sur l'équilibre naturel.

Bien que le mécanisme d'adaptation a commencé avec la construction des premiers barrages et des espaces irrigués avec l'occupation française, mais malheureusement cette période correspond aussi avec l'exclusion de l'usage de l'eau d'une partie importante de la population algérienne. Les algériens ont été déplacés à cause des expropriations coloniales et les relations vis-à-vis de l'environnement naturel avec ses repères ont été modifiées sinon perdus.

Les méfaits et les discriminations raciales qu'a vécu la population algérienne se sont transformés, au lendemain de l'indépendance en 1962 en une ruée vers les villes engendrant ainsi un exode rural sans précédent. Ce déplacement important des populations a engendré une irresponsabilité collective dans la mesure où les villes n'étaient pas prêtes à les accueillir, et les campagnes abandonnées.

L'exemple le plus frappant est celui de la capitale Alger qui passe de 300.000 à 4 millions d'habitants en l'espace de trois décennies explique la problématique et la complexité en matière de satisfaction en eau entre autres.

L'énoncé du problème est simple, mais très compliqué à résoudre car les besoins pour satisfaire la demande passent par l'équation de la gestion politico-administrative, technique, économique et organisationnelle.

Une réflexion doit nous amener à comprendre pourquoi les modèles et les moyens mis en œuvre pour résoudre les problèmes de l'eau à très haut niveau sont en inadéquation avec les résultats obtenus :

- Les hypothèses considérées sont elles différentes de la réalité ?
- Faut-il revenir en terme de réflexion au bassin hydrographique, qui est une réalité géographique et s'éloigner du découpage administratif?

Un tel travail exige des données, des enquêtes, des potentialités et surtout du temps pour se faire une hypothèse que l'on pourrait trouver dans des expériences identiques à rechercher ailleurs afin de relancer la réflexion et les solutions.

On peut se demander pourquoi dans certaines situations les contraintes liées à l'eau ont un effet stimulant sur les imaginations, la politique d'une gestion sociale, et le développement de technique comme à Malte et en Espagne où le génie hydraulique est florissant alors qu'en d'autre localisation elles sont aussi pesantes qu'une malédiction.

La politique de l'eau comme celle de l'économie doit situer le débat, les conflits, les enjeux et comment ce secteur peut mettre en relation l'espace national avec le reste du monde, en définissant les types de relation coopération ou domination technologique et financière. Il est donc intéressant d'identifier ces intérêts et de savoir de quelle manière ils risquent de s'imposer à l'avenir, à la faveur de quelles conditions et de quelles alliances.

Cette réflexion doit être intégrée d'une manière plus au moins critique dans l'approche des gestionnaires de l'hydraulique par la globalisation du problème de l'Eau à l'échelle Méditerranéen pour en tirer des arguments d'orientation politique, de solidarités et de moyens.

Plusieurs manifestations scientifiques et politiques ont été tenues sur la question de stratégie de gestion des eaux dans les pays Méditerranéens pour différents horizons, mais malheureusement elles n'ont pas pu faire prendre conscience de l'urgence pour certains pays à adopter les bonnes mesures de gestion, de la production d'eau et ses affectations.

En plus des dispositions propres à chaque pays, on s'aperçoit que les inter-actions entraînent la nécessité à proposer des plans d'actions régionaux pour un développement sur la base des critères suivants :

- Respect d'une justice sociale et d'une efficacité économique;
- Respect écologique culturel et équilibre de l'environnement.

CONCLUSION

La stratégie de l'eau en Algérie, en matière de mobilisation et de diversification des ressources naturelles compte tenu de la rareté, de l'irrégularité, des incertitudes pluviométriques est l'objet de débats et d'enjeux dont les implications dépassent les frontières nationales.

Chaque pays met en œuvre son savoir-faire et ses techniques pour adapter le niveau global de ses ressources au cycle économique de l'eau et éliminer ainsi l'incertitude liée à l'irrégularité du cycle naturel climatique.

La coopération régionale peut constituer un immense progrès en la matière vers une telle démarche.

De lourds investissements ont été consentis ces dernières décennies en Algérie en matière d'équipements et d'infrastructures hydrauliques ainsi qu'en organisation et formation, mais l'impact reste négligeable sur l'amélioration de la desserte en eau des populations et de la vie quotidienne.

Si des barrages ont été bel et bien réalisés quoiqu'en nombre et en capacité de mobilisation bien en deçà des besoins réels du pays, leur remplissage a été tout un autre problème de ces dix dernières années avec le bouleversement climatique et la sécheresse qu'a connu le pays : Plus on réalise des barrages et plus on manque d'eau.

Faut-il donc continuer à réaliser des barrages en se posant la question s'ils se rempliront un jour ou bien carrément aller vers les ressources non conventionnelles et faire face à des investissements d'une autre nature.

Ces changements de stratégie impliquent des prises de décisions rapides telles que :

- La remise à jour et l'adaptation du plan national de l'eau qui tienne compte des réalités climatiques;
- L'installation des unités de production d'eau à partir de ressources non conventionnelles (dessalement eau de mer) proche des lieux de consommation et éviter les grands transferts coûteux et difficile à gérer;

- L'intensification de la lutte contre les fuites sur les réseaux de transfert et de distribution;
- La révision du tarif de facturation de l'eau qui jusqu'à présent subventionné par l'Etat n'a fait qu'encourager le gaspillage.
- L'amélioration des méthodes de gestion pour une meilleure productivité des installations afin que celles ci ne vieillissent pas avant même d'avoir servi.

Des ressources hydriques de plus en plus réduites, une population de plus en plus nombreuse, des besoins en eau sans cesse croissants imposent des mesures d'urgence qui doivent s'inscrire dans le cadre d'une politique globale de l'eau et d'un programme national d'utilisation de cette ressource et de sa protection.

Retarder davantage la mise en route de cette politique équivaut à asphyxier le pays à moyen terme et que reporter ce problème coûtera beaucoup plus cher encore à le résoudre.

Le régler à court terme assurera la restauration d'un cadre de vie. L'eau n'est pas seulement nécessaire à la vie : elle est la vie et elle est considérée comme sacrée et se voit réserver l'attention la plus particulière et le respect le plus précieux.

MODELISATION MATHEMATIQUE DES SYSTEMES DE DESSALEMENT DI-ETAGES EN SERIE PRODUCTION POUR LE DESSALEMENT DE L'EAU PAR OSMOSE INVERSE

M. Metaiche 1,2 et A. Kettab 2

1 Département d'Architecture, Université de Béchar, BP 417 Béchar, Algérie, Email: metaiche@yahoo.fr 2 Laboratoire de Recherche des Sciences de l'eau, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie.

RESUME

L'objectif de ce travail est la modélisation mathématique des paramètres de dessalement pour les systèmes d'osmose inverse di-étagés en série production : débits, qualités, conversions, nombres d'étages et de modules, et énergie ; tout en utilisant des modèles de calcul des paramètres récemment développés pour les systèmes mono-étagés.

Le travail comporte aussi un algorithme détaillé et exhaustif permettant le calcul des différents paramètres, ce qui rend le modèle élaboré, automatisable et permet facilement sa programmation sur ordinateur et PC, ce qui le rend encore pratique.

Le modèle élaboré, peut servira efficacement comme modèle de simulation afin de développer les configurations de systèmes, d'améliorer les performances (qualité) pour réduire encore les coûts et atteindre un bon rapport qualité/prix. Il forme ainsi, un outil primordial pour l'optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse.

<u>Mots clés</u> Osmose inverse- dessalement- di-étagés- série production- modélisation mathématique- procédé industriel.

1. INTRODUCTION

Les systèmes d'osmose inverse deviennent de plus en plus importants. Leur emploi dans le domaine de dessalement s'élargie dans ces dernières années : à cause de leur souplesse, de l'économie qu'ils offrent, et de leur efficacité pour les différentes tailles et capacités. Néanmoins, le domaine de dessalement n'est pas le seul domaine où ces systèmes ont démontré leur efficience et utilité : il y a aussi les différents domaines de l'industrie comme l'agro-alimentaire, la pharmaceutique, l'industrie électronique, l'industrie électrotechnique etc. On note aussi que le développement important dans le domaine des membranes (matériaux de fabrication, amélioration des performances, baisse de coûts) a donné encore lieu à une utilisation élargie et des progrès évolutifs [1],[2],[3].

Les systèmes d'osmose inverse, se configurent suivant différents montages pour répondre aux objectifs des secteurs industriels, pour atteindre les buts techniques et pour avoir les performances voulues, dont on cite : les systèmes mono-étagés, les systèmes di-étagés en série rejet, les systèmes di-étagés en série production, et les systèmes di-étagés hybridés.

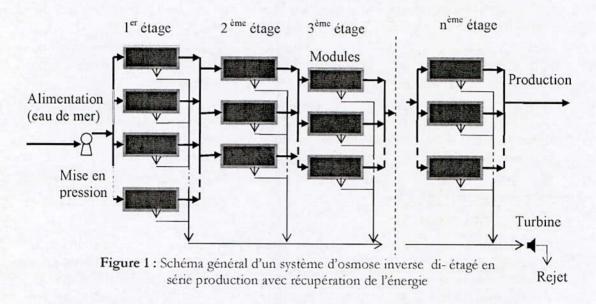
La caractéristique principale d'un système d'osmose inverse di-étagé en série production est ; qu'il permet d'atteindre la qualité (concentration) voulue en sels dans la production finale. A chaque augmentation du nombre d'étages, la qualité s'améliore, la concentration en sels diminue et le taux d'élimination de sels s'élève considérablement [4].

Ce type de système est utilisé pour le dessalement des eaux de mer (spécialement lorsqu'elles sont très chargées en sels), où bien lorsque une qualité élevée est exigée.

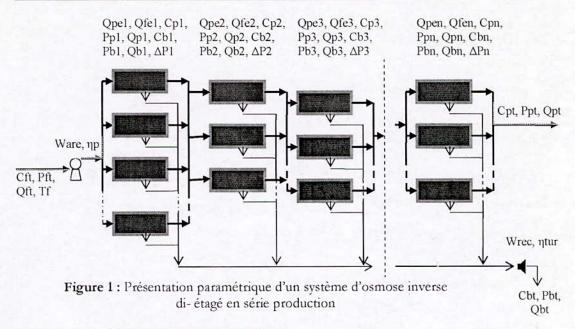
Nous notons que le champ d'utilisation de ces systèmes dans le secteur de dessalement est étendu actuellement pour donner de meilleures conditions économiques afin de réduire encore les coûts, en employant les techniques de plusieurs pass et les techniques de mélange [1],[5],[6],[7],[8],[9],[10],[11]. L'objectif de ce travail est la modélisation mathématique des paramètres de dessalement pour les systèmes d'osmose inverse di-étagés en série production : débits, qualités, conversions, nombres d'étages et de modules, et énergie ; tout en utilisant des modèles de calcul des paramètres récemment développés pour les systèmes mono-étagés.

2. DESCRIPTION

La composition d'un système d'osmose inverse di-étagé en série production, est formée par un ensemble d'étages dont la production de chaque étage alimente l'étage suivant et ainsi de suite, de sorte que l'alimentation de chaque étage a des caractéristiques identiques aux celles de la production de l'étage précédent. Les rejets de l'ensemble des étages sont collectés pour donner à la fin, le rejet total du système, qui se relie à une turbine (pour le cas de récupération de l'énergie) pour réaliser la détente de la pression du rejet (voir figure n°1) [4], [11], [5], [12].



La production du système est celui du dernier étage. Chaque étage est composé d'un ensemble de modules, et caractérisé par une production, un rejet, une qualité (concentration) de la production, une qualité du rejet, un débit de production modulaire, un débit de rejet modulaire, une pression de la production, une pression du rejet, une perte de charge, une conversion, un nombre de modules etc., dont la figure n°2 présente seulement les paramètres indépendants. Le système est caractérisé lui-même : sur la phase alimentation par un débit, une pression, une qualité (concentration) et une température de l'eau; et sur les phases production et rejet par : un débit, une pression et une qualité (concentration) (voir figure n°2).



3. DEBIT MODULAIRE DANS L'ETAGE I

Le débit de chaque module est donné par [13]:

Cas de modules B-10

$$Q_{pi} = 0.00216.Q_0.[P_{fi} - P_{pi} - \pi_{fb}].TCF.MFRC_i/[1 + 1.35.10^{-7}.Q_0.TCF.MFRC_i.(2 - Y_i)/Y_i]$$
 (1)

Cas de modules B-9 type 8" et 10"

$$Q_{pi} = 0.00216.Q_0[P_{fi} - P_{pi} - \pi_{fbi}].TCF.MFRC_i/[1+1.9.10^{-7}.Q_0.MFRC_i.TCF.(2-Y_i)/Y_i]$$
 (2)

Cas de modules B-9 type 4"

$$Q_{pi} = \frac{-b_i + \sqrt{\Delta_i}}{2.a_i} \tag{3}$$

Avec, $a_i = 5.10^{-11}$. $Q_0 \cdot [(2-Y_i)/Y_i]^2$. MFRC_i.TCF $b_i = 1+3,8.10^7$. $(Q_0 \cdot (2-Y_i)/Y_i)$. MFRC_i.TCF $c_i = -0,00216$. $Q_0 \cdot (P_{fi}-P_{pi}-\pi_{fbi}-0,065)$. MFRC_i.TCF Et $\Delta_i = b_i^2$ -4. $a_i \cdot c_i$

3.1. Détermination de P₆

P₆: est à imposée pour i =1 jusqu'à n

3.2. Détermination de ΔP_{thi}

La différence de pression sur la phase alimentation- rejet dans l'étage i est donnée par [13],

Pour les modules B-10 :
$$\Delta P_{tbi} = 25.10^{-5}$$
. $Q_{pi} \cdot (2-Y_i)/(2.Y_i)$ (4)

Pour les modules B-9 type 8" et 10":
$$\Delta P_{fbi} = 3,47. \ 10^{-4}$$
. $Q_{pi} \cdot (2-Y_i)/(2.Y_i)$ (5)

Pour les modules B-9 type 4":

$$\Delta P_{\text{fbi}} = 0,46. \ 10^{-7}. \ (Q_{\text{pi}}(2-Y_{\text{j}})/Y_{\text{j}})^2 + 3,56. \ 10^{-4}. \ Q_{\text{pi}}(2-Y_{\text{j}})/Y_{\text{i}} + 0,1293$$
 (6)

3.3. Détermination de Ppi-

Ppi est égale à la pression atmosphérique [14]
$$P_{pi} = 0$$
 (7)

3.4. Détermination de π_{fbi}

La pression osmotique moyenne entre alimentation et rejet dans l'étage i est donnée par [15], [16], [17]:

$$\pi_{\text{fbi}} = 0.0385.C_{\text{fbi}} \cdot (\Gamma_{\text{f}} + 273.15) / (1000 - C_{\text{fbi}} / 1000)$$

Par définition nous avons [14], [15]: $C_{thi} = (C_{fi} + C_{hi})/2$

$$et : C_{bi} = C_{fi} / (1-Y_i)$$

$$\Rightarrow$$
 $C_{fbi} = C_{fi} \cdot (2-Y_i) / (2-2Y_i)$

Ce qui donne :

$$\pi_{\text{fbi}} = 0.0385. \ C_{\text{fi}} \cdot (2-Y_i) / (2-2Y_i) \cdot (T_f + 273.15) / (1000 - C_{\text{fi}} \cdot (2-Y_i) / (2-2Y_i) / 1000)$$
 (8)

3.5. Détermination de TCF

Le facteur TCF est donné pour les modules B-10 dans n'importe quel étage par [15], [17] :

$$TCF = 1,028^{(T_f - 25)}$$
 (9)

Tant que Pour les modules B-9, il est donné par [16], [17] :

$$TCF = 1,03^{(T_f - 25)}$$
 (10)

3.6. Détermination de MFRC,

Le facteur MFRC dans l'étage i est donné par:

3.6.1. Cas des modules B-10 [18]

$$MFRC_{i} = (-31,667.10^{-6} \cdot T_{f}^{-3} + 15,479.10^{-4} \cdot T_{f}^{-2} - 0,7471.10^{-2} \cdot T_{f} + 1,0773).$$

$$e^{[(14,507.10^{-6} \cdot T_{f}^{-3} + 10,636.10^{-4} \cdot T_{f}^{-2} - 0,1047.10^{-2} \cdot T_{f} - 0,125).10^{-3} \cdot P_{ff}]}$$
(11)

3.6.2. Cas des modules B-9 [19]

MFRC_i =
$$(-0.0552.10^{-6} \cdot T_f^{3} - 0.043.10^{-4} \cdot T_f^{2} + 1.24.10^{-2} \cdot T_f + 0.9991)$$
.
 $e^{[(-43.195.10^{-6} \cdot T_f^{3} + 13.321.10^{-4} \cdot T_f^{2} \cdot 2.1359.10^{-2} \cdot T_f \cdot 0.2291) \cdot 10^{-3} \cdot P_{fi}]$ (12)

4. QUALITE DE LA PRODUCTION DANS L'ETAGE I

La qualité de la production (concentration des sels dans l'eau produite) dans l'étage i est donnée par [13]:

$$C_{pi} = SP_{0} \cdot (C_{fb}/C_{fb0}) \cdot [(P_{f0} - \Delta P_{fb0}/2 - P_{p0}) - (\pi_{fb0} - \pi_{p0})] \cdot C_{fbi}/[(P_{fi} - \Delta P_{fbi}/2 - P_{pi}) - (\pi_{fbi} - \pi_{pi})]$$
(13)

5. QUALITE DU REJET DANS L'ETAGE I

L'équation de continuité de débit s'écrit pour chaque étage :

$$Q_{fei} = Q_{bei} + Q_{pei} \Rightarrow Q_{bei} = Q_{fei} - Q_{pei}$$
(14)

Et par définition, nous avons [16]:
$$Y_i = Q_{pei}/Q_{fei} \Rightarrow Q_{pei} = Q_{fei}.Y_{ei}$$
 (15)

$$\Rightarrow Q_{bei} = Q_{fei} - Y_i \cdot Q_{fei} \Rightarrow Q_{bei} = Q_{fei} \cdot (1 - Y_i)$$
L'équation de conservation des sels s'écrit aussi comme [14]:

$$C_{fi} \cdot Q_{fei} = C_{bi} \cdot Q_{bei} + C_{pi} \cdot Q_{pei}$$
 (17)

Remplaçant les expressions (15) et (16) dans celle de (17) et simplifiant, nous obtenant l'expression donnant la concentration de sels dans le rejet de l'étage i:

$$C_{bi} = (C_{fi} - C_{pi} \cdot Y_{i}) / (1 - Y_{i})$$

$$Avec : C_{fi} = C_{p(i-1)} \text{ pour } i \neq 1$$

$$Et C_{fi} = C_{fi} \text{ pour } i = 1.$$
(18)

6. DEBIT DE PRODUCTION DE L'ETAGE I

Le débit de production dans chaque étage est la somme des débits modulaires du même étage [10], [9], [13]:

$$Q_{pei} = N_i \cdot Q_{pi} \tag{19}$$

7. CONVERSION DE L'ETAGE I

Par définition, nous donnons la conversion de chaque étage par:

$$Y_i = Q_{pei} / Q_{fei}$$
(20)

8. DEBIT DE REGIT DE L'ETAGE I

Le débit de rejet de l'étage i est donné par l'équation (16) déduite précédemment : $Q_{bei} = Q_{fei} \cdot (1-Y_i)$ (21)

9. DEBIT D'ALIMENTATION DE L'ETAGE I

D'après la configuration des systèmes di-étagés en série rejet on peut donner :

Pour
$$i = 2$$
 jusqu'à $n : Q_{fei} = Q_{pe(i-1)}$
Pour $i = 1 : Q_{fei} : \text{est à imposé.}$
(22)

10. DEBIT DE PRODUCTION DU SYSTEME

Le débit total de production du système, comme il est déjà énoncé, est la somme des débits produits dans chaque étage :

$$Q_{pt} = N_n \cdot Q_{pn} = Q_{pd} \tag{23}$$

11. CONVERSION DU SYSTEME

Toujours par définition, vous avons :

$$Y_1 = Q_{pe1} / Q_{ft} \Rightarrow Q_{pe1} = Y_1.Q_{ft}$$
.

$$Y_2 = Q_{pe2} / Q_{pe1} = Q_{pe2} / [Y_1.Q_{fi}] \Rightarrow Q_{pe2} = Y_1.Y_2.Q_{fi}$$

$$Y_3 = Q_{pe3} / Q_{pe2} = Q_{pe3} / [Y_1.Y_2.Q_{ft}] . \Rightarrow Q_{pe3} = Y_1.Y_2.Y_3.Q_{ft}$$

Ce qui permet d'établir la relation de récurrence suivante :

$$Q_{pd} = Q_{pen} = \prod Y_i \cdot Q_{ft}$$

$$\Rightarrow Q_{ft} = Q_{pd} / \prod Y_i$$
.

$$\Rightarrow \prod Y_i = Q_{pd} / Q_{ft}$$

et comme nous avons par définition $Yt = Q_{pd} / Q_{ft}$.

$$\Rightarrow Yt = \prod Y_i. \tag{24}$$

12. DEBIT DE REJET DU SYSTEME

L'équation de continuité s'écrit pour le système : $Q_{\rm ft} = Q_{\rm pt} + Q_{\rm bt}$

$$\Rightarrow Q_{bt} = Q_{ft} - Q_{pt} \tag{25}$$

13. DEBIT TOTAL D'ALIMENTATION DU SYSTEME

$$Q_{\rm fl} = Q_{\rm pd} / \prod Y_{\rm i}. \tag{26}$$

14. QUALITE DE LA PRODUCTION DU SYSTEME

L'équation de conservation des sels dans sur la phase production du système s'écrit : $C_{pt} = C_{pn}$ (27)

15. QUALITE DU REJET DU SYSTEME

L'équation de conservation des sels s'écrit aussi comme :

$$C_{bt} . Q_{bt} = \sum (C_{bi}.N_i.Q_{bi})$$

$$\Rightarrow C_{bt} = \frac{\sum (C_{bi}.N_i.Q_{bi})}{Q_{bt}}$$
(28)

16. DETERMINATION DU NOMBRE DE MODULES DU SYSTEME

La détermination du nombre de modules dans chaque étage et par la suite, le nombre total de modules se fait sur la base de :

Nous avons sur le dernier étage :

$$Q_{pd} = Q_{pen} = N_n \cdot Q_{pn}$$

$$\Rightarrow N_n = Q_{pd} / Q_{pn}$$
(29)

et nous avons aussi sur chaque étage :

$$Y_{i} = \frac{Q_{pei}}{Q_{pe(i-1)}} = \frac{N_{i} \cdot Q_{pi}}{N_{i-1} \cdot Q_{p(i-1)}}$$

$$\Rightarrow N_{i-1} = \frac{N_{i} \cdot Q_{pi}}{Y_{i} \cdot Q_{p(i-1)}}$$
(30)

17. CONSOMMATION DE L'ENERGIE DU SYSTEME

17.1. Sans récupération de l'énergie

L'énergie consommée dans ce cas est donnée par [11],[13] :

$$W_{\text{srec}} = \sum [P_{\text{fi}} D_{\text{fi}} / (3,67. \, \eta_{\text{p}} Y_{\text{i}})]$$

$$\text{avec } D_{\text{fi}} = (C_{\text{fi}} + 10^{6}) / 10^{6}$$
(31)

17.2. Avec récupération de l'énergie

L'énergie récupérée dans ce cas sera:

$$W_{\text{rec}} = \sum_{i} [(P_{fi} - \Delta P_{i}) \cdot D_{bi} \cdot \eta_{\text{tur}} \cdot (1/Y_{i} - 1) / 3,67]$$

$$Avec D_{bi} = (C_{bi} + 10^{6}) / 10^{6}$$
(32)

Avec la perte de charge dans l'étage i : ΔP_i est donnée par [13], [9]:

18. ALGORITHME GENERAL DE CALCUL

Le calcul d'un système di-étagés d'osmose inverse peut se faire suivant l'algorithme proposé en ci-dessous :

- \bullet Donner C_{ft} , T_f , Q_{pd} et C_{pd} .
- · Choisir n (nombre d'étages)
- Imposer P_{fi} où i = 1 à n (pour chaque étage).
- Fixer Y; où i = 1 à n
- Calculer Q_{pi}, Q_{bi}, C_{pi}, C_{bi} pour i = 1 à n
- Verifier : si $C_{pn} < C_{pd}$ continuer les étapes suivants, si non modifier le nombre d'étages.
- Calculer $C_{pt} = C_{pn}$, $Y_t = \prod Y_i$, $Q_{ft} = Q_{pd} / \prod Y_i$.
- Calculer N_i ; avec : $N_n = Q_{pd} / Q_{pn}$

Et Ni-1 =
$$\frac{N_i.Q_{pi}}{Y_i.Q_{p(i-1)}}$$

- Calculer $N_i = \sum N_i$.
- Calculer $Q_{pei} = N_i . Q_{pi}$ et $Q_{bei} = N_{i-1} . Q_{p(i-1)} N_i . Q_{pi}$, pour i = 1 à n

- Calculer $Q_{pt} = N_n \cdot Q_{pn}$, $Q_{bt} = \sum Q_{bei}$, et $C_{bt} = [\sum (C_{bi} \cdot N_i \cdot Q_{bi})]/Q_{bt}$.
- Calculer W_{srec} ou/et W_{arec}.

19. CONCLUSION

Une méthode de détermination des paramètres des systèmes de dessalement par osmose inverse di-étégés en série production a été dressée.

Un modèle mathématique est élaboré pour calculer l'ensemble des paramètres globaux et les paramètres sur les phases production et rejet, à savoir : les débits, les qualités (concentration), les conversions, les nombres d'étages et de modules sur chaque étage, et la consommation de l'énergie en présence et en absence de systèmes de récupération de l'énergie.

Un algorithme détaillé et exhaustif est présenté, permettant le calcul des différents paramètres, ce qui rend le modèle élaboré, automatisable et permet facilement sa programmation sur ordinateur et PC, ce qui le rend encore pratique.

Le modèle mathématique réalisé, peut servira efficacement comme modèle de simulation afin de développer les configurations de systèmes, d'améliorer les performances (qualité) pour réduire encore les coûts et atteindre un bon rapport qualité/prix. Il forme ainsi, un outil primordial pour l'optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse.

20. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1. «Prix de l'Eau Dessalée selon les Performances Récentes: Modélisation, Simulation et Analyse», M.Metaiche and A.Kettab, proceeding of International Colloquium about Oasis, Water and Population, Biskra (Algeria), September 2003.
- 2. «Desalination Water Price from Recent Performances: Modelling, Simulation and Analysis», M. Metaiche and A. Kettab, article accepted to publish in International Journal of Nuclear Desalination, number of January/February 2004.
- 3. «RO Reject Staged Systems for Water Desalination: Mathematical Simulation», M. Metaiche and A. Kettab, Article presented in EuroMed 2004 Desalination Strategies in South Mediterranean Countries, Marrakech (Morroco) Mai 2004.
- 4. «Osmose Inverse et Ultrafiltration: II- Technologie et Application », A.Maurel, Techniques de l'Ingénieur, Imprimerie Strasbourgeoise, 1996.
- 5. «Parametric Cost Analysis Study of Seawater Reverse Osmosis Systems Design in Kuwait», A.A.J.Al Zubaidi, Desalination, 76(1989).
- 6. «SeaWater RO System Design with Permasep* Permeators: bulltin 2030», Du Pont Company, 1994.
- 7. «RO system design with B-9 Permasep* Permeators: Bulletin 3030», DuPont Company, 1994.
- 8. «Osmose Inverse: Technologie», SophieBertrand, Manuel du cours en tensif sur «techniques à membranes et dessalement de l'eau de mer et des eaux saumatres :

principes-etat de l'ap, Tuni (Tunisia) 23-27 Février 2004.

9. «Contribution à la Modélisation du Prix de Revient de l'eau Dessalée par un Système d'Osmose Inverse Mono étage», M.Metaiche, A.Kettab and B.Bengueddach, Actes du colloque international sur l'eau: gestion quantitative et qualitative des ressources en eau, Chlef (Algeria), fabruary 2002.

- 10. «Modélisation de la production Quantitative et Qualitative d'un Système de dessalement», M.Metaiche ,A.Kettab et B.Bengueddach, Proceeding des Journées d'Etudes sur la Chimie pour l'Environnement à Tiaret (Algeria), november 2001.
- 11. «Effet de la Qualité Exigée sur la Consommation d'Energie d'un Système de Dessalement», M.Metaiche ,A.Kettab et B.Bengueddach , Actes du 2^{eme} Séminaire National sur les ressources en eau, Mascara (Algérie), avril 2002
- 12. «Design and Economics of Seawater Desalination», A.Malek, M.N.Hawlader and J.C.Ho, Desalination 105(1996).
- 13. «Mathematical Modeling of Desalination Parameters: Mono Stage Reverse Osmosis Case», M. Metaiche and A. Kettab, article accepted for Publish in Desalination Journal 2004.
- 14. «A Lumped Transport Parameter Approach in Predicting B-10 RO permeator performance», A.Malek, M.N.Hawlader and J.C.Ho, Desalination 99(1994).
- 15. «B-10 Permasep* Permeators Factors Influencing Performance: Bulletin 2020», Du Pont Company, 1994.
- 16. «B-9 Permasep* Permeators Factors Influencing Performance: Bulletin 3020», Du Pont Company, 1994.
- 17. «Permasep Products Engineering Manual», Du Pont Company, 1992.
- 18. «Contribution à la modélisation du facteur de correction de flux de rétention de la membrane « MFRC » de dessalement de l'eau de mer : cas des modules B-10», M.Metaiche, A.Kettab and B.Bengueddach, Desalination, 158(2003).
- 19. «Coefficient de Flux de Rétention de la Membrane des Modules B-9 de Dessalement des Eaux Saumâtres:Contribution à la Modélisation», M.Metaiche and A.Kettab, proceeding of National Seminar about Water and Environment, Béchar (Algeria), October 2003.

ETUDE THEORIQUE ET CONCEPTION D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE

H. Marmouch, J. Orfi, S. Ben Nasrallah

Laboratoire d'Etude des Systèmes Thermiques et Energétiques, Etole Nationale d'Ingénieurs de Monastir 5000, Tunisie. Email: hidrem marmouds@yalvoo.fr

RESUME

Ce papier présente les caractéristiques d'un système de dessalement solaire utilisant le principe d'humidification-déshumidification. Ce système comprend les composantes suivantes: un capteur solaire à eau, un évaporateur, un condenseur et une tour de refroidissement. Dans ce travail on présente un modèle mathématique pour les différentes composantes du système en appliquant les équations de transfert de masse et d'énergie. L'étude numérique permet de contrôler les différents paramètres et de voir l'évolution des températures et de l'humidité dans chaque composante.

ABSTRACT

This paper shows the characteristics of a solar system of desalination using the principle of humidification-dehumidification. This system includes the following components: a solar heat collector, an evaporator, a condenser and a cooling tower. In this work we present a mathematical model for the various components of the system by applying the equations of transfer of mass and energy. The numerical study makes it possible to control the various parameters and to see the change of the temperatures and the moisture of each component.

1. INTRODUCTION

Actuellement, 1.4 milliard d'habitants sur terre ne disposent pas d'eau propre à la consommation. Ce chiffre atteindra 2.3 milliards d'ici 25 ans. Les océans (1.34 milliards des milliards de mètres cubes (m³)), qui représentent 97 % de l'eau de la planète, constituent pourtant une réserve inépuisable d'eau potable à condition d'en extraire de l'eau douce.

Cette crise de l'eau potable annoncée relance fortement l'intérêt de développer rapidement des techniques de dessalement moins chères, plus simples, plus robustes, plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement.

Le dessalement de l'eau de mer est aujourd'hui considéré comme la solution la plus attrayante.

- l'eau de mer est la plus grande ressource d'eau;
- une grande partie de l'eau de mer est non polluée;
- l'ampleur et la répartition des capacités de dessalement de l'eau mer indiquent que beaucoup des régions dans le monde ont déjà épuisé d'autres moyens de fourniture d'eau potable.

Pour produire de l'eau potable à partir d'eau de mer, il existe cinq procédés majeurs. La distillation par Multi Flash MSF, par effets multiples MED, par compression de vapeur CV, par osmose inverse OI et par électrodialyse. BUROS (2000) [1] indique que la plupart de ces procédés se font à grande échelle produisant jusqu'à 20 000 m³/jour et par conséquent, ils nécessitent une grande consommation d'énergie, soit d'environ 12 kWh/m³.

Pour des pays pauvres en matières énergétiques et en eau potable, le dessalement solaire des eaux salées devient un enjeu à la fois économique et social.

En se basant sur le principe de l'humidification et de déshumidification, A. Nafey et coll [2] (2004) ont conçu un prototype de dessalement en Egypt fonctionnant suivant le principe d'humidification /déshumidification (figure 1). L'humidificateur est une tour de longueur 2.1 m. Le condenseur est construit par des tubes en cuivre de longueur total 29.44 m. Les tubes sont teintées par une couche d'aluminium d'épaisseur 0.5 mm. La production de cette unité peut atteindre jusqu'à 1.2 kg/h au mois de Juillet selon les conditions expérimentales.

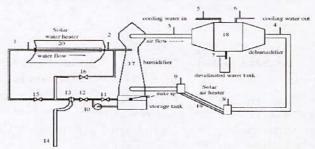


Figure 1 : Prototype de dessalement [2]

Ben Bacha et coll. (1999)[3], ont considéré un distillateur fonctionnant aussi suivant le principe de l'humidification / déshumidification. Ce système récupère l'énergie libérée lors de la condensation. Pour ce processus, le débit d'eau produit est d'environ 3.6 l/m²h.

Orfi et coll (2004) [4] ont étudié théoriquement et expérimentalement un système de dessalement solaire à condenseur et évaporateur séparés (figure 2). Ce système comprend, un évaporateur de section rectangulaire, est construit en bois et isolé par la laine de verre. Un condenseur avec deux rangées de serpentins en cuivre. Le deux échangeurs sont à contre courant. Ce système comprend aussi un capteur solaire à air pour chauffer l'air à l'entrée de l'évaporateur. Le travail montre qu'il existe un rapport particulier des débits d'eau et d'air qui maximise la quantité d'eau douce à la sortie du condenseur.

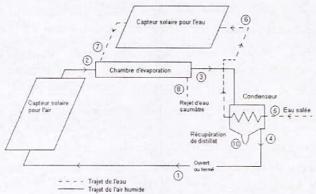


Figure 2: Distillateur solaire modulaire [4]

Efat Chafik [5] (2004) a conçu et réalisé un système de dessalement solaire en utilisant plusieurs étages de chauffage et d'humidification de l'air (figure 3). Ce système a pour but d'augmenter de plus en plus l'humidité spécifique de la vapeur d'eau à la sortie de l'humidificateur et aussi de minimiser le volume d'air de la circulation.

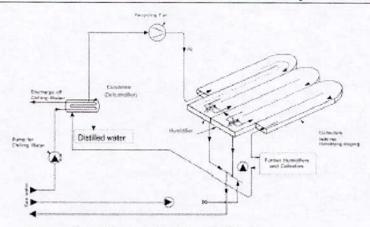


Figure 3 : Schéma du distillateur [5]

K. Bourouni et coll [6] (1999) ont étudié expérimentalement un système de dessalement fonctionnant par l'énergie géothermale. Le système comprend principalement un évaporateur et un condenseur. Ces deux échangeurs sont fabriqués par un faisceau de tubes en polypropylène afin de minimiser le coût d'investissement de cette unité. Le problème rencontré dans cette unité est le refroidissement dans le condenseur. L'eau de refroidissement à la sortie de l'évaporateur n'atteint pas des températures très basses à l'entrée du condenseur.

Dans notre présent travail, on va présenter les caractéristiques de chaque composante du système solaire modulaire. Ensuite on va présenter le model mathématique du système à fin d'étudier l'influence de certains paramètres sur la performance de chaque composante ainsi que celle du système.

2. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME

Le système proposé est un distillateur solaire modulaire utilisant le principe d'humidification/déshumidification. La figure 4 présente les composantes principales de ce distillateur.

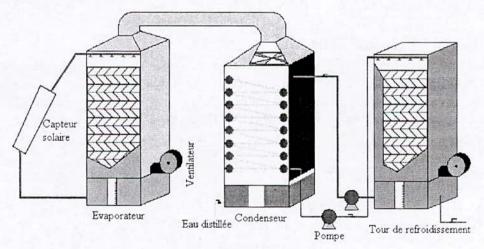


Figure 4: Distillateur solaire

L'eau de mer qui se trouve dans le bassin s'échauffe dans le capteur solaire à eau, ensuite sera pulvérisée en haut de l'évaporateur. L'air est aspiré à l'aide d'un ventilateur hélicoïdal. Les deux fluides sont mis en contact dans l'évaporateur par une mousse métallique en matière aluminium pour augmenter la surface d'échange entre ces deux fluides. Par la suite la vapeur d'eau contenue dans l'air vient se condenser dans le condenseur au contact sur les tuyaux où circule l'eau de refroidissement. Cette dernière se met en circulation fermée entre le condenseur et la tour de refroidissement pour diminuer sa température avant d'être envoyée

au condenseur. L'eau distillée est récupérée dans un bassin et l'air humide qui n'est pas condensé sera rejeté.

2.1. Conception des composantes du système

Le système proposé comprend quatre composantes principales : un capteur solaire à eau, un évaporateur, un tour de refroidissement et un condenseur.

- Capteur solaire à eau : il représente une surface de 4 m² avec une ballon de stockage de 300 litres.
- L'évaporateur : de hauteur 2 m, largeur 1 m et de longueur 1m. Un bassin d'eau de capacité 1 m³ pour l'alimentation du capteur. On utilise des coupeaux d'aluminium pour augmenter la surface d'échange entre l'eau est l'air. Un ventilateur centrifuge est installé de façon à obtenir un évaporateur à contre courant.
- Le condenseur : est supposé l'unité la plus importante du système. Les dimensions du condenseur sont : hauteur 3 m, largeur 1.2 m et longueur 1.2 m. le condenseur est constitué d'un serpentin en cuivre de diamètre 12/14 de longueur total 864.

3. ETUDE THEORIQUE

Un modèle théorique qui se base sur des bilans d'énergie et de masse appliqués sur chaque composante du système a été développé.

3.1. Capteur solaire à eau

On considère que le capteur est parfaitement isolé. L'équation de la température de l'eau dans le capteur est obtenue analytiquement par [4].

$$T_{l}(l_{cl}) = \left(T_{l}(0) - \frac{(\alpha\tau)_{cl}I}{U_{v,cl}} + T_{amb}\right)e^{\frac{-U_{v,cl}L_{cl}I_{cl}}{n^{2}c_{l}C_{pl}}} + \left(\frac{(\alpha\tau)_{cl}I}{U_{v,cl}} + T_{amb}\right)$$
(1)

3.2. Les échangeurs de chaleur

L'écoulement dans les échangeurs (évaporateur, tour de refroidissement ou condenseur) peut être co-courant ou contre courant. L'écoulement d'eau est toujours de haut en bas, pour l'écoulement d'air suivant le type de l'échangeur étudié. La surface d'échange est modélisée comme étant plane, de largeur P et de longueur x.

L'élaboration du modèle mathématique est basée sur les hypothèses suivantes:

- L'écoulement est stationnaire et monodimensionnel.
- Aucune perte de masse n'est considérée.
- L'eau à évaporer est un film mince.
- Entre l'eau et l'air se trouve un film d'air contant de la vapeur saturée à la température T_f.

L'application des bilans d'énergie et de masse sur un élément de volume de chaque échangeur permet d'obtenir les équations différentielles suivantes [7].

$$n x_{\alpha} \frac{d\omega}{dx} \pm \frac{dn x_{\gamma}}{dx} = 0 \tag{2}$$

$$n\delta_a \frac{d\omega}{dx} = U_m P \left(\omega_{sat} - \omega\right) \tag{3}$$

$$U_{l}P\left(T_{f}-T_{l}\right)=\pm n\mathcal{E}_{l}C_{pl}\frac{dT_{l}}{dx}\tag{4}$$

$$U_{a}P\left(T_{f}-T_{a}\right)=\left[n\Re_{a}\left(C_{pa}+\omega C_{pv}\right)+\left(1-\varepsilon\right)n\Re_{\varepsilon}C_{pl}\right]\frac{dT_{a}}{dx}\tag{5}$$

$$n\mathbf{k}_{a}\frac{d\omega}{dx}i_{vl} = U_{l}P\left(T_{l} - T_{f}\right) + U_{a}P\left(T_{a} - T_{f}\right) \tag{6}$$

Ou ε est un paramètre qui défini le cas évaporation ou condensation avec ($\varepsilon = 1$ évaporation), ($\varepsilon = 0$ condensation).

Les conditions aux limites pour ce problème sont : $T_a(x=0) = T_{a0}$ et $\omega(x=0) = \omega_e$ et $\omega(x=0) = T_{a0}$ et $\omega(x=0) = T_{a0}$ et $\omega(x=0) = \omega_e$ et $\omega(x=0) = T_{a0}$ et $\omega(x=0) = \omega_e$ et

$$n \mathcal{E}_{T}(x=L) = n \mathcal{E}_{T_0}$$
 et $T_{I}(x=L) = T_{I_0}$, pour l'écoulement contre courant

Un modèle numérique pour la résolution du système d'équations écrites ci haut a été développé à l'aide de l'environnement Matlab.

3.3. Validation du problème

3.3.1. Comparaison avec la solution analytique d'un simple échangeur de chaleur

Le transfert de chaleur sans transfert de masse et d'annuler le terme du coefficient de transfert massique U_m =0. Le système d'équation (2)-(6) devient :

$$U_{l}P\left(T_{f}-T_{l}\right)=\pm n \& C_{pl}\frac{dT_{l}}{dx} \tag{7}$$

$$U_a P \left(T_f - T_a\right) = n \delta \zeta \left(C_{pa} + \omega C_{pv}\right) \frac{dT_a}{dx} \tag{8}$$

$$U_{I}P(T_{I}-T_{f})+U_{a}P(T_{a}-T_{f})=0$$
(9)

Ce système d'équation représente les bilans d'énergie d'un écoulement à co-courant ou à contre courant (signe +, ou signe - dans eq (7) respectivement).

La solution exacte de ce système à trois équations est :

$$T_{i}(x) = A \exp(-\alpha x) + B \tag{10}$$

Les coefficients A et B dépendent de la nature de l'écoulement. Pour l'écoulement cocourant dont : $T_a(x=0) = T_{a0}$ et $T_I(x=0) = T_{I0}$.

$$A = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{\left(T_{I0} - T_{a0} \right)}{n \Re \mathcal{C}_{pl}} \frac{U_a P U_l}{U_a + U_l} \right] \tag{10a}$$

$$B = T_{to} - A \tag{10b}$$

Pour l'écoulement à contre courant : $T_a(x=0) = T_{a0}$ et $T_l(x=L) = T_{l0}$

$$A = \frac{T_{a0} - T_{l0}}{1 - \exp(-\alpha L) + n \mathcal{E}_{7} C_{pl} \left(\frac{U_{a} + U_{l}}{U_{a} P U_{l}}\right) \alpha}$$

$$(10c)$$

$$B = T_{i0} - A \exp(-L\alpha) \tag{10d}$$

Les expressions des températures de T_a et T_f sont données :

$$T_a(x) = T_l(x) + \frac{U_a + U_l}{U_a P U_l} \left(\pm n C_{pl} \frac{dT_l}{dx} \right)$$

$$\tag{10e}$$

$$T_{f}(x) = \frac{U_{a}T_{a} + U_{l}T_{l}}{U_{a} + U_{l}}$$
(10f)

Les solutions des équations (7), (8) et (9) sont analogues aux solutions de [8].

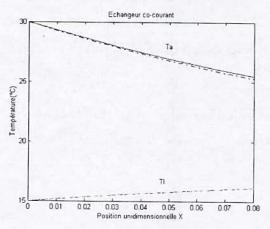


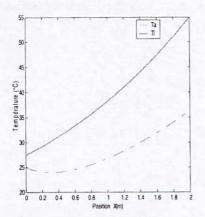
Figure 5 : Validation du modèle proposé Echangeur à co-courant

La figure 5: représente un échangeur simple entre l'air et l'eau. Les conditions d'entrées de deux fluides sont : $T_a(x=0)=30^{\circ}\text{C}$, $\omega(x=0)=0.02$, $T_a(x=0)=15^{\circ}\text{C}$ et $m_A^{\circ}(x=0)=m_A^{\circ}(x=0)=0.1$ kg/s. Les solutions des équations (10)-(10f) sont analogues aux solutions d'un échangeur simple par la méthode DTLM.

4. RESULTATS ET INTERPRETATION

4.1. Etude des transferts dans l'évaporateur

Les figures 6 et 7 montrent l'évolution de la température de l'eau, de l'air et de l'humidité spécifique dans un évaporateur à contre courant. $(T_a(x=0)=25\,^{\circ}\text{C}, \omega(x=0)=0.01, \text{ et } T_a(x=0)=55\,^{\circ}\text{C})$. La température de l'eau diminue de 55 °C à 27 °C. Cette valeur de température à la sortie de l'évaporateur est considérée élevée pour refroidir la vapeur dans le condenseur. La figure 7 montre que la valeur de l'humidité à la sortie de l'évaporateur est située dans la zone de saturation avec 50 g/kg air sec.



0.055 0.045 0.045 0.04 0.035 0.025 0.025 0.025 0.025 0.02 0.015 0.01

Figure 6 : Distribution de la température de l'eau et de l'air dans l'évaporateur

Figure 7 : Distribution de l'humidité absolue dans l'évaporateur

4.1.1. Influence de la température d'entrée de l'eau sur l'humidité spécifique

La figure 8, montre l'influence de la température d'entrée de l'eau chaude sur l'humidité absolue à la sortie de l'évaporateur. La figure montre que lorsque la température de l'eau à l'entrée augmente l'humidité spécifique augmente aussi c'est qui entraîne l'augmentation du débit évaporé.

4.1.2. Influence du débit d'eau na sur l'humidité spécifique

Sur la figure 9, on remarque que lorsque le débit d'eau à l'entrée de l'évaporateur augmente l'humidité spécifique à la sortie augmente aussi.

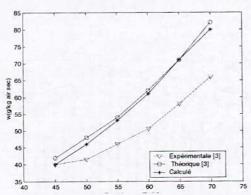


Figure 8: Distribution de l'humidité dans l'évaporateur n = n = 0.5 kg/s et T(x=0)=25 °C

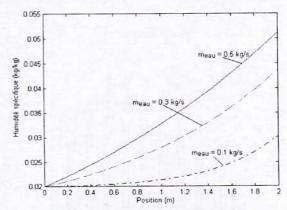


Figure 9 : Distribution de l'humidité dans l'évaporateur $T_1(x=1)=60$ °C, $T_2(x=0)=25$ °C.

4.2. Etude des transferts dans le condenseur

4.2.1. Influence de la température de l'eau de refroidissement sur le débit d'eau distillée

La figure 10 montre que lorsque la température d'entrée dans le condenseur augmente le débit de condensation diminue. L'utilisation d'une température inférieure à 20 °C est

difficile à atteindre surtout en été. Dans ce cas on a utilisé un tour de refroidissement pour diminuer la température à la sortie du condenseur.

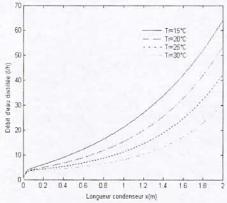


Figure 10 : Influence de la température de refroidissement sur le débit d'eau distillée

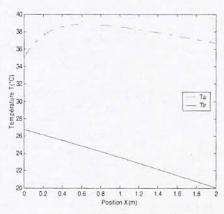


Figure 11 : Distribution des températures dans le condenseur

La figure 11 montre l'évolution des températures de l'air et de l'eau dans le condenseur. La température de l'eau se chauffe à 27 °C c'est qui nécessite la refroidissement de la température de l'eau à la sortie du condenseur.

4.3. Etude de la tour de refroidissement sur le débit d'eau distillée

La figure 13 montre l'influence du débit d'eau de refroidissement à l'entrée du condenseur sur le débit d'eau distillée dans le cas sans tour de refroidissement. La figure montre que pour des grands débits de 0.5 et 0.25 kg/s le débit d'eau distillée atteint la valeur de 9.3372 l/m²/jour. Par contre pour un faible débit de 0.05 kg/s le débit d'eau distillée atteint une valeur de 7.9152 l/m²/jour.

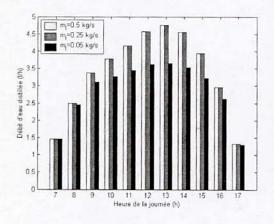


Figure 13 : Influence du débit d'eau dans le condenseur pour 4 m² du capteur sans tour de refroidissement

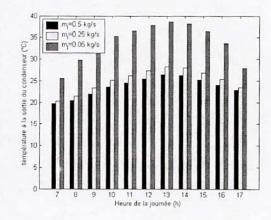


Figure 14: Influence du débit d'eau dans le condenseur sur la température à la sortie

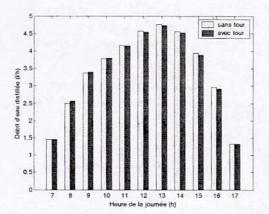


Figure 15 : Influence de la tour de refroidissement sur le débit d'eau distillée pour m_I=0.5 kg/s

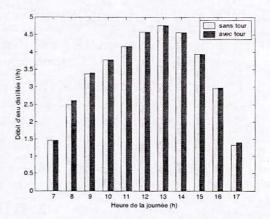


Figure 16 : Influence de la tour de refroidissement sur le débit d'eau distillée pour m_i=0.25 kg/s

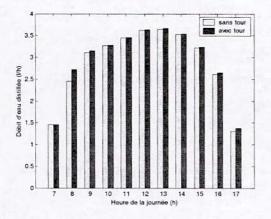


Figure 17 : Influence de la tour de refroidissement sur le débit d'eau distillée pour m_l=0.05 kg/s

La figure 14 donne l'évolution de la température à la sortie du condenseur en fonction du débit d'eau de refroidissement. La figure montre que pour un débit de 0.05 kg/s la valeur de la température atteint 38 .6°C. Pour des grands débits la température atteint une valeur de 25°C. Pour diminuer la valeur de la température avant qu'elle soit renvoyée dans le condenseur on fait passé l'eau à la sortie du condenseur dans la tour de refroidissement.

Les figures 15, 16 et 17 donnent l'influence de la tour de refroidissement sur le débit d'eau distillée pour différentes valeurs de débits d'eau à l'entrée du condenseur. Pour des grands débits d'eau de 0.5 et 0.25 kg/s (figures 14 et 15) la tour de refroidissement n'a pas d'influence sur le débit d'eau distillée dans le condenseur. Pour le cas d'un débit d'eau de 0.05 kg/s il est nécessaire de récirculer l'eau entre le condenseur et la tour de refroidissement. Dans ce cas le débit d'eau distillée atteint la valeur 8.0383 l/m²/jour.

5. CONCLUSION

Dans ce papier nous avons présenté une étude théorique sur un système de dessalementsonctionnant par le principe d'humidification/déshumidification. La résolution des équations des bilans d'énergie et de masse de chaque composante du système donne l'évolution des températures et de l'humidité et le débit d'eau distillée.

L'étude théorique nous montre l'importance de l'utilisation de la tour de refroidissement dans le système pour résoudre le problème de condensation. Le débit d'eau distillée obtenu par le calcul peut atteindre 9 l/m²/jour.

6. REFERENCES

- [1] BUROS, O.K The ABCs of Desalting, 2e édition, International Desalination Association, Topsfield, MA, USA, 2000, 31p.
- [2] A.S. Nafey, H.E.S. Fath, S.O. El-Helaby, A. Soliman,' Solar desalination using humidification-dehumidification processes. Part II. An experimental investigation', Eng. Conv. And Management, vol 45,2004, pp 1263-1277.
- [3] H. Ben Bacha, M. Bouzguenda, M.S. Abid, A.Y. Maalej,' Modelling and simulation of a water desalination station with solar multiple condensation evaporation cycle technique', Renewable Energy, vol 18, 1999, pp 349-365.
- [4] J. Orfi, M. Laplante, H. Marmouch, N. Galanis, B. Benhamou, S. Ben Nasrallah, C.T. Nguyen. 'Experimental and theoretical study of a humidification-
- dehumidification water desalination system using solar energy', Desalination, vol 168, 2004, pp151–159.
- [5] Efat Chafik, 'Design of plants for solar desalination using the multi-stage heating/humidifying technique', Desalination, vol 168, 2004, pp 55-71.
- [6] K. Bourouni, Jean Claude Deronzier, Lounes Tadrist, 'Experimentation and modelling of an innovative geothermal desalination unit', Desalination, vol 125, 1999, pp 147-153.
- [7] Laplante (2003) : 'Etude numérique et expérimentale d'un distillateur solaire', mémoire, de Maîtrise, Université de Sherbrooke.
- [8] K. Boulama, N. Galanis, J. Orfi, Heat and mass transfer between gas and liquid streams in direct contact, Int Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 47, 2004, pp 3669-3681.

DESSALEMENT D'EAU DE MER : ETUDE DE TROIS STATIONS DU LITTORAL ALGEROIS SEAWATER DESALINATION : STUDY OF THREE COASTAL AREAS

Dr Bessenasse Mohamed

Enseignant et chercheur universitaire – Université SAAD Dahleb (Blida). Chercheur au Laboratoire LRS – EAU (E.N.P) – Alger. Adresse: B.P 26 D Hadjout – W.Tipaza – 42200 – Algérie. Fax: (213).25.43.68.11 - Courriel: mbessenasse@yalvoo.fr

RESUME

Suivant les données statistiques, le nombre d'habitants en Algérie va doubler dans les trente années à venir, alors que les ressources hydriques conventionnelles n'auront pas changé. La situation hydrique surtout dans les villes littorales reflète nettement un état de sécheresse, qui dure depuis plus de deux décennies. Le dessalement se présente comme une solution efficace face au sérieux problème de pénuries d'eau. En effet, par le phénomène de la littoralisation, la plus grande partie de la population et des activités économiques se trouvent le long des 1200 km de côte. Les conditions tout à fait particulières de la mer méditerranée (eau fraîche à 19°c et salinité moyenne, alors que les eaux du golf sont à 30°c et très salées) font que les coûts d'exploitation des stations implantées en méditerranée sont plus économiques et les rendements plus élevés. La méthode par osmose inverse a été adoptée pour les stations implantées. Nous sommes intéressé aux stations de : palm beach, la fontaine et Bouismail, qui se situent pas loin de la capitale Alger. L'objectif était porté sur l'évaluation du coût des produits chimiques utilisés au niveau de ces stations ainsi que les coûts globaux du mètre cube d'eau potable produite. Le coût global du mètre cube ne dépasse pas 0,5 Euro, ce qui est très intéressant.

Mots - Clefs: Dessalement - Osmose inverse - Sécheresse - Station - Ressource - Coût.

ABSTRACT

According to recent demographic statistical data, the number of inhabitants in Algeria should double in the next thirty years whereas conventional water resources will not change. The hydrologic situation especially for the coastal areas reflects severe drought conditions that is lasting since two decades. Seawater desalination could be a n efficient alternative in order to tackle the serious problem of water shortage. In fact, due to rural depopulation a large majority of the people and the economic activities are nowadays concentrated in the coastal cities of the Mediterranean sea along ~1200 km of coast. The good physico - chemical features of Mediterranean seawater (19°C and medium salinity as compared to Persian golf seawater which exhibits 30°C and much higher salinity) make of Mediterranean desalination plants more profitable with less operating costs and better efficiencies.

The reverse osmosis has been chosen as the best desalination process because it has seen many improvements of its technology especially with regard to better performance and longer lasting membranes. The present study has focussed on three small desalination plants located not far from the capital city Algiers namely: Palm-beach sea resort, la Fontaine and Bou-Ismaïl. Our main objective was directed towards the evaluation of the cost of the chemical consumables and the overall cost oft the desalinated cubic meter of water. The latter was found lower than 0.5 euro, which is quite interesting. All in all, the desalination option seems to be a good alternative to deal the most urgent matters in terms of ensuring durable water allocation in the present climatic context prevailing nowadays.

Keywords_: Desalination, reverse osmosis, plant, drought, resource, cost.

I. INTRODUCTION:

D'après les données statistiques, la population algérienne doublera dans les 25 ans à venir alors que les ressources conventionnelles en eau n'auront pas beaucoup changé, dépendantes des aléas climatiques jusque-là défavorables. D'où la solution du dessalement de l'eau de mer, une ressource abondante et inépuisable.

L'option pour le dessalement a longtemps été bloquée par des hésitations découlant de la référence à l'expérience des pays du Golf où le coût de production était élevé. Les spécialistes, études comparatives à l'appui, ont réussi à plaider la cause du dessalement et de la méthode d'osmose inverse particulièrement intéressante, avec son dimensionnement adaptable en fonction de la demande.

I.1 Historique du dessalement en Algérie

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi inexistant.

Néanmoins une seule expérience a été tentée dans une situation où il n'existait aucune autre solution. Il s'agit de l'unité de déminéralisation de Ouled Djellal dans la wilaya de Biskra (sud-est algérien).

Dans l'industrie, la déminéralisation et le dessalement sont utilisés pour assurer la fourniture de l'eau :

- De chaudière,
- > de refroidissement,
- > de traitement.

En 1964, trois petits blocs de 8 m³/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). Le procédé utilisé est « à tubes submergés » travaillant à basse pression. Et en 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j. Le procédé utilisé est MSF.

Dés lors de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mise en place en parallèle avec les nouveaux complexes

D'autre installations ont été mise en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au process des complexes de production d'électricité (Cap Djénet à l'est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda).

Egalement quelques installations sont destinées, principalement dans le Sud, à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières

I.2. Unités existantes et en projet

Quelques stations de dessalement qui existent ou qui sont en cours de réalisation sont citées ci d'après : []

- Mostaganem Unité de dessalement d'eau saumâtre par osmose inverse utilisée pour les besoins d'une papeterie (52000m³/j -1994);
- Annaba Unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de 5184m³/j utilisée par ASMIDAL (1996)
- ➤ Unités monobloc Dans le cadre du programme d'urgence des unités d'osmose inverse ont été installée en 2002 à Ghazaouat, Skikda et dans le Grand Alger. La capacité totale est d'environ 55.000m³/j.

- ➤ Arzew La construction d'une usine de dessalement par distillation (capacité 88.000 m³/j) a débuté récemment ;
- ➤ Bredea La construction d'une unité de déminéralisation d'eau saumâtre par osmose inverse (capacité 34.000m³/j) a aussi débuté récemment.
- ➤ Hamma (Alger) Usine de dessalement, de capacité de 200.000 m³/j par distillation à proximité de la nouvelle station de production d'électricité, est en cours de construction.
- Les usines de production d'électricité de SONELGAZ sont pourvues de petites unités de dessalement pour les besoins internes au site.

Tableau 1 : Quelques projets existants en Algérie.

Site	Nombre d'unités	Débit (m³/j)	Procédé	Mise en service
Skikda	1	1440	Flash	1971
Skikda	2	720	Flash	1971
Skikda	/	1440	Echangeur d'ions	1971
Annaba	2	960	Echangeur d'ions	1971
Annaba	2	3600	Echangeur d'ions	1973
Ghazaouat	1	840	Echangeur d'ions	1974
Arzew	6	3888	Electrodialyse	1975
Arzew	/	960		1975
Hassi Messaoud	6	1000	Electrodialyse	1975
Hassi Messaoud	2	110	Electrodialyse	1976
Hassi Touil	1	55	Electrodialyse	1977
Arzew	1	350		1978
Annaba	3	14180	Multiflash	1978
Hassi Messaoud	2	350	Electrodialyse	1978
Bel Abbés	/	1500	Echangeur d'ions	1978
Haoud Bercaoui	1	55	Electrodialyse	1979
Hassi Messaoud	2	30	Electrodialyse	1979

I.3. Programme de dessalement en urgence

La crise de ressources hydriques qui a même menacé ces dernières années, l'alimentation en eau potable de la population dans diverses régions du pays a pressé l'Algérie dans le dessalement.

Le projet dessalement d'eau de mer fait partie d'un programme d'urgence décédé par le gouvernement pour pallier durablement au déficit en ces ressources.

La réalisation du projet va se traduire par la production de 57.500m³/j répartis entre :[]

- ➤ Wilaya d'Alger: 12 stations pour un volume journalier de 30.000 m³.
- ➤ Wilaya de Boumerdes : 01 station pour un volume journalier de 5000 m³.
- Wilaya de Tipaza: 01 station pour un volume journalier de 5000 m³.
- ➤ Wilaya de Skikda: 04 stations pour un volume journalier de 10.000 m³.
- ➤ Wilaya de Tlemcen : 02 stations pour un volume journalier de 5000 m³.
- ➤ Wilaya de Tizi ouzou : 01 station pour un volume journalier de 2500 m³.

Le marché est conclu et signés entre l'E.P Algérienne de eaux, d'une part, et :

- 1) L'entreprise nationale Hydro traitement le 11/05/2002.
- 2) L'entreprise allemande Linde kca le11/05/2002.

Le recours au dessalement de l'eau de mer pour lequel un programme a été tracé en vue de la réalisation d'unités de petites et grandes capacités pour une production globale de l'ordre d'un million de mètres cubes représentant un cinquième (1/5) des besoins de consommation du pays à l'horizon 2005.(ADE)

II. COUT DU DESSALEMENT

Il est très difficile de calculer le coût, précis, sans une étude effectuée cas par cas prenant en compte les conditions locales à la fois techniques et économiques.

II.1. Conditions techniques

On peut résumer les conditions techniques comme suit :

- Salinité de l'eau à traiter : eaux de mer ou eaux saumâtre
- Salinité de l'eau produite : eau destinée à la consommation humaine (selon la tolérance des habitants) ou eau de haute pureté pour l'industrie.
- Caractéristiques physiques de l'eau(turbidité, matières en suspensions) qui peuvent, en particulier dans le ca de l'osmose inverse, imposer un prétraitement très complexe si l'eau est très polluée ou au contraire l'absence de prétraitement si l'on a une eau très propre(cas de sous marins en haute mer).
- Composition chimique de l'eau à traiter dans le cas des eaux saumâtres (dureté, teneur en sulfates).
- Degré d'automatisation et de contrôle.
- Source d'énergie disponible.
- Taille de l'unité.

II.2. Conditions économiques

A propos des conditions économiques, on peut citer :

- Coût de l'énergie est nul sur une plate forme offshore, peu élevée au Moyen Orient, très élevé pour des sites isolés.
- Coût des produits chimiques suivant que ces produits sont fabriqué localement ou doivent subir de transport plus ou moins longs.
- Fluctuation de monnaies : la variation des cours des monnaies ne permettent pas de calculer des coût avec une grande précision.
- Inflation variable en fonction du pays et du temps.
- Conditions de financement (taux d'intérêt).
- Coût de la main d'œuvre.

III. ETUDE DES TROIS STATIONS DE DESSALEMENT

Cette étude consiste à déterminer et à étudier le coût des réactifs utilisés pour le prétraitement chimique effectué sur l'eau de mer avant son passage à travers les membranes. Nous avons travaillé au niveau de trois stations de dessalement d'eau de mer, par la technique dite d'osmose inverse, située à l'ouest d'Alger.

Pour cela nous avons réalisé des prélèvement mensuel d'eau de mer, pendant quatre mois (Mai, Juin, Juillet et Août) de l'année 2004 et au niveau de chaque station à fin d'analyser ses paramètres physico-chimique que nous avons effectué au niveau du laboratoire central de l'A.D.E d'Alger.

III.1. Caractéristiques techniques des stations étudiées

Les installations de dessalement d'eau de mer étudiées font partie d'un projet d'alimentation en eau potable de la région côtière algérienne. Un programme d'urgence a été décidé par le

gouvernement pour pallier durablement au déficit en ressources hydriques engendré par la situation de sécheresse qu'a connu le pays pendant les année quatre-vingt dix et particulièrement la région algéroise. A cet effet, les travaux de réalisation de douze stations, pour un volume de 30.000m³/j, ont été lancés à partir du mois de juin 2002.

Notre étude se porte sur trois unités d'osmose inverse situées, respectivement, dans la wilaya d'Alger et la wilaya de Tipaza.

▶ Palm Beach
 ▶ La Fontaine
 ▶ Bou Smail
 2500m³/j
 5000m³/j

III.2. Filière de traitement

- Les étapes ci-après décrites sont identiques dans les trois stations.
- Un pompage d'eau brute par une prise d'eau de mer directe. Exception faite pour la station de Zéralda ou le pompage d'eau brute est réalisé par des pompes d'eau de puits,
- > Prè chloration à l'hypochlorite de sodium,
- Filtration sur filtres à gravier multicouches,
- > Injection d'acide ou d'hexamétaphosphate de sodium,
- Microfiltration par cartouche (5μ),
- Pompage haute pression,
- > Osmose inverse,
- Réminéralisation,
- > Ajustement du pH,
- Post-Chloration à l'hypochlorite de sodium,
- Lavage des membranes.

III.3. Mode de fonctionnement

En plus de fonctionnement en manuel et semi automatique (armoire de commande), chaque station est équipée d'un automate programmable (PLC) permettant le contrôle informatique et la gestion de l'installation.

Le PLC permet un suivi efficace de l'exploitation ; contrôle des bilans, enregistrement de mesures et relevé des valeurs, comptage et démarrage des équipements.

III.4 Critères de conception

III.4.1 Données sur l'eau brute

Valeur pH \sim 7 à 7,5 Température 20°C Concentration en sel \sim 35 à 39g/1

III.4.2 Exigences de fonctionnement

Les conditions d'exploitation sont données dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Conditions de fonctionnement

Installation à 2500n	n3/j	Installation à 5000	m³/j
Durée service quotidienne.	24h	Durée service quotidienne	24/24
Durée service annuelle en jour	~340jour	Durée service annuelle	-340
Débit min. eau de mer (m³/j)	5556	Débit min. eau de mer (m³/j)	11111
Débit de refoulement perméat	2500m³/j	Débit de refoulement perméat	5000m ³ /3056
Débit de refoulement concentré	3056	Débit de refoulement concentré	6111
Taux de conversion	45%	Taux de conversion	45%
Pression osmose inverse bar	73 bars	Pression osmose inverse	73
Température de service °C	20 à 25°C	Température de service	20 à 25

III.4.3 Exigences appliquées au perméat

Capacité quotidienne	2500 (5000) m
> Teneur en sel	~350mg/1
➤ Valeur de pH	7 à 7,5
> Température	20°C
> Teneur en chlore	~1 à 2 mg/l

III.4.4 Prise en mer

La prise en mer directe est assurée par une pompe centrifuge; débit minimal estimé à 231,5m³/j, diamètre 800mm, et de longueur de quatre kilomètres (4 Km). Elle est immergée à une profondeur de six mètres.

III.5. Décanteur d'eau brute

Dans ce réservoir intermédiaire a lieu la prèchloration, la coagulation - floculation et aussi la décantation. Le réservoir est en béton de dimension 7m x 3m x 4m.

III.6. Station de dosage des produits chimiques

Les stations de dosage se composent en principe d'un réservoir, où on prépare les solutions des produits chimiques à injecter, avec jauge de niveau et une pompe de dosage magnétique comprenant un aspirateur.

III.7. Filtre multicouches

Dans le tableau suivant, les caractéristiques des filtres à gravier pour les stations.

Tableau 3: Caractéristiques techniques des filtres

Capacité (m³/j)	2500	5000
Nombre	4	6
Débit (m³/j)	231	462
Diamètre (m)	2,8	2,8
Hauteur (m)	3,6	3,6
Surface de filtration/réservoir (m²)	~6,15	6,15
Surface total de filtration (m²)	-24,6	36,9
Pression admissible (bar)	6	6
Température de service (°C)	20	20
Vitesse de filtration (m/s	~9,4 (12,5 si 3 filtres en service)	12,5 (15 si 5 filtres en service)
Eau de rinçage à contre courant (m³/m²h)	~25	-25
Air de rinçage à contre courant (m³/m²h)	68	68
Couches filtrantes		
matériau	Sable	Sable

III.8. Tubes de pression

Au niveau de chaque unité, les tubes de pression présentent les caractéristiques résumées dans le tableau 4.3.

Tableau 4 : Caractéristiques des tubes de pression

Capacité (m³/j)	2500	5000
Nombre de tubes de pression	27 (+1 de réserve)	54 (+2 de réserve
Nombre de membranes par tube de pression	7	7
Nombre d pompes HP	1	2
Matériau	Superduplex	Superduplex
Pression de service (bar)	73	73

III.9. Membranes

Les membranes utilisées au niveau de ces stations d'osmose inverse ont les caractéristiques techniques illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Caractéristiques techniques des membranes

Capacité (m³/j)	2500	5000	
Nombre de membranes	196	392	
Membrane/ tube de pression	7	7	
Fabricant/model	Hydranautics/SWC3	Hydranautics/SWC3	
Nature de la membrane	Composite de polyamide	Composite de polyamide	
Type	Enroulé	Enroulé	
Dimension	0,2m x 1m	0,2m x 1m	
Pression de service	75	75	
Perte de pression max. sur 7 membranes	4,2	4,2	
Température de service	~25	-25	
Température max. pour le nettoyage	50	50	
pH service	2-11	2-11	
pH nettoyage	1-12	1-12	
Taux de conversion	45%	45%	
Diminution de flux de perméat annuelle	~7%	-7%	
Fuite de sels annuelle	~10	~10	

IV. REACTIFS

De ce qui précède, on déduit l'importance du prétraitement chimique (du prétraitement physique ainsi que le lavage des membranes d'osmose inverse). La longévité des membranes qui représente la grande partie de l'investissement dépend de l'efficacité de ce traitement. Le coût du prétraitement chimique vient en troisième position juste après le coût de l'énergie.

Le prix calculé par l'Algérienne Des Eaux d'Alger est estimé à 35,20 Da/m³ le pourcentage des réactifs représente 12%.

Le tableau suivant résume les coûts des réactifs utilisés au niveau des trois stations étudiés pendant les mois de Mai, Juin, Juillet, et Août d'après notre travail.

Tableau 6: Résumé des coûts des réactifs.

Station	La Fontaine	Palm beach	Bou Ismail
Coût global Da/m³	46,67	28,44	34.67
Pourcentage du coût des réactifs %	16	18.46	14

On remarque que les pourcentages des coûts des réactifs sont relativement importants et variables d'une station à l'autre.

Le coût du prétraitement chimique dépend des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer pompée au niveau des stations de dessalement ; Les caractéristiques physico-chimiques des eaux marines fixent leur aptitude à être dessalées.

V. CONCLUSION

L'osmose inverse est très dépendante de la salinité mais aussi de la turbidité et des autres paramètres physico-chimiques de l'eau brute. Des études approfondies de tous ces facteurs d'influence sont nécessaires à fin d'évaluer avec précision la qualité des eaux pompées.

Donc mieux maîtriser le prétraitement chimique et trouver des concentrations standard adéquates dans le but de diminuer son coût.

Nous sommes intéressé aux stations de : Palm Beach, La Fontaine et Bou Ismail. Notre intérêt s'est porté sur l'évaluation du coût des produits chimiques utilisés au niveau de ces stations pendant quatre mois. Les coûts globaux variant entre 35 et 47 Da, et pour le pourcentage des coûts de des réactifs oscille entre 14 et 18,5 % du coût global.

Le prix estimé par l'Algérienne Des Eaux d'Alger est de 35,20 Da/m³, Coût des réactifs est de 4,22Da/m³ et leur pourcentage représente 12% du prix global.

Les coûts des réactifs qui ressortent de notre travail sont plus élevés. Une étude approfondie des variations de la consommation des produits chimiques, s'appuyant sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques, s'impose dans le but de réduire les frais.

L'handicap majeur des stations de dessalement c'est qu'elle sont très coûteuses ; plus de 200 000 000 Da car les frais d'investissement sont énormes et aussi ceux d'exploitation. Le citoyen ne pays que presque 4Da/m³!

Le dessalement peut permettre d'adapter l'offre à la demande en associant une politique globale de gestion de l'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.D.E (Algérienne des eaux Alger).
- [2]. Maurel, A., 2002. Dessalement des eaux de mers et des eaux saumâtres, Editions Lavoisier, Paris.
- [3]. Mayet, J., 2002. Pratiques de l'eau, Editions Lavoisier, Paris.
- [4]. Montégat, G., 1983. Propriétés de l'eau de mer, Editions Techniques de l'ingénieur, Paris.
- [5]. Danis, P., 1983. Dessalement d'eau de mer, Editions Techniques de l'ingénieur, Paris.
- [6]. Degrémont., 1989. Mémento technique de l'eau, Editions Lavoisier.

WATER SOLAR DESALINATION AND THE IRRIGATION

BY WATER CONDENSED VAPOR

A. Benmoussat et M.Habi DESSALEMENT SOLAIRE ET IRRIGATION PAR VAPEURS D'EAU CONDENSEES

A. Benmoussat et M.Habi

* Faculté des sciences de l'ingénieur, Laboratoire eau et ouvrages de l'eau (EOLE)

Equipe de recherche Eau et matériaux

Université de Tlemcen, BP 230 chetouan 13000, TLEMCEN (ALGERIE)

Tel/ fax +213 (043) 285685

Email: a benmoussat@mail:uniu-tlemcen.dz Moha.habi@gmx.de

RESUME

Les ressources naturelles en eau sont de plus en plus rares par suite d'une pluviométrie faible. Le procédé de dessalement par distillation solaire a été choisi comme solution technique et financière pour produire de l'eau à des coûts réduits de l'énergie et pour répondre aux besoins croissants des populations, l'irrigation et l'industrie. L'eau est produite par distillation de l'eau salée dans des évaporateurs solaires et par condensation des vapeurs saturées. Le flux d'air avec vapeur saturée est conduit par ventilation forcée vers des pipes de drainage enterré. L'air est refroidi progressivement par condensation le long de la surface de la pipe qui alimente le sol par des fentes prévues à cet effet.

L'influence des paramètres énergétiques de condensation de l'eau sur les pipes enterrées et la distribution de la température dans le sol sont étudiées. Le taux de transfert thermique dépend de la différence de température entre le flux d'air turbulent et la surface de la pipe, de la zone de contact et du coefficient de convection. La température de l'air diminue le long du pipe en fonction du temps. Le mur du pipe deviendra réchauffeur causant une différence de température entre le pipe et l'air turbulent. Cette différence s'annule lorsque les températures s'approchent de l'état d'équilibre

<u>Mots clés</u> : Dessalement - Distillation Solaire - Condensation - Irrigation Solaire - Transfert Thermique

ABSTRACT:

Water natural resources are increasingly rare in consequence of a weak pluviometry. Desalination process by solar distillation was selected as technical and financial solution to produce water at reduced cost energy and to answer to the needs increasing for populations, irrigation and industry.

Water is produced by distillation of saltwater in solar evaporators and by saturated vapor condensation. Air flow with saturated vapor is led by forced ventilation towards buried drainage pipes. Air is cooled gradually by condensation along the pipe surface of which feeds the soil by slits foreseen to this effect.

Energy parameters influence of water condensation in buried pipes and temperature distribution in soil are studied. Thermal transfer rate depends on temperature difference between turbulent air flux and pipe surface in contact zone and coefficient of convection.

Air temperature decreases along the pipe according to time. The wall of the pipe will become heater causing a difference in temperature between pipes and the turbulent air. This difference is cancelled when the temperatures approach the balance state.

Keys words: desalination - solar still - condensation - solar irrigation -- thermal transfer

INTRODUCTION

Les ressources en eaux naturelles au nord de l'Afrique comme en Algérie sont rares, mal réparties sensibles aux sécheresses par suite d'une pluviométrie faible et insuffisantes pour répondre aux besoins croissants de consommation des populations, l'irrigation et l'industrie. Cette insuffisance dans ces régions arides est le manque d'eau qui se traduit par une insuffisance dans le rapport eau - population, une dégradation accéléré du sol et une baisse dans la productivité agricole. Selon des statistiques établies par les nations unies pour l'Afrique [1], seulement 10% de la terre offrent des possibilités de culture par les pluies, d'ou la nécessité d'un développement de l'irrigation par des techniques de production d'eau à des coûts réduits. Une des solutions apportée est de produire de l'eau douce à partir de l'eau de la mer ou d'une source d'eau salée ou polluée était l'objectif recherché pendant les trente dernières années. Des techniques de traitement par dessalement des eaux basées sur la distillation ou sur l'osmose inverse ont été développées [2] avec la recherche de coût réduit d''énergie. Le procédé par distillation est le plus utilisé, plus de 90% des unités dans le monde l'utilise en minimisant les coûts de production par l'utilisation de l'énergie solaire.

Les recherches actuelles, objet de notre travail est de minimiser les coûts de l'énergie par utilisation des évaporateurs solaires et une irrigation superficielle en surface sous jacente permettant de réduire au minimum l'eau d'arrosage, comme une première phase du projet car d'autres thèmes seront évoqués ultérieurement comme les paramètres de la distillation solaire, l'effet de salinité produite sur la composition du sol, les paramètres de l'irrigation et de la productivité agricole...

L'eau saumâtre ou saline provenant du dessalement solaire est distillée à nouveau pour devenir une nouvelle source d'eau douce. La condensation souterraine élimine les pertes dues à l'évaporation. La chaleur émise par l'air humidifié chauffera le sol autour des pipes de drainage et sera conduite dans le système de pipes pendant la nuit et diminuera les pertes thermiques dues au refroidissement de l'air. Le secteur irrigué de la terre peut être considéré comme un système de résistance thermique et de stockage de la chaleur pendant le jour pour la libérer pendant la nuit.

Les fentes prévues dans les pipes pour l'irrigation permettent à l'air et l'eau condensée de couler à travers la surface dans le sol environnant. Ce transfert de masse contribue à un flux accru de la chaleur provenant des pipes et qui améliore le processus de refroidissement à l'air.

On estime qu'une température au sol jusqu'à 40°C serait favorable pour la croissance des racines et que tout accroissement de température serait nocif pour les plantes.

Le projet a envisagé la réalisation d'une installation pilote à l'université de Tlemcen avec la collaboration du laboratoire des énergies renouvelables (Tlemcen) et du centre de recherche CDER pour les énergies renouvelables en Algérie ce qui nous permettra de déterminer les caractéristiques technico-économiques de la production de l'eau et du système d'irrigation solaire. La conception de cette unité pilote fera l'objet d'un travail complémentaire qui définira le choix des équipements solaires et le coût de l'installation.

2 MATERIELS ET METHODES

L'influence des paramètres énergétiques de condensation de l'eau sur les pipes enterrées et la distribution de la température dans le sol seront étudiées. L'eau est produite par distillation solaire à des températures relativement basses inférieures à 60°C afin d'éviter toute précipitation des sels ou formation des résistances thermiques de précipitation.

Le système de production d'eau est un procédé basée sur la distillation de l'eau salée ou de l'eau de mer par des distillateurs solaires prévus à cet effet et la condensation de vapeur saturée dans les pipes de drainage.

Les vapeurs produites sont mélangées avec l'air circulant sur la surface du distillateur solaire. Le flux d'air avec vapeur saturée est conduit par ventilation forcée vers des pipes de drainage enterré. L'air est refroidi progressivement par condensation le long de la surface de la pipe qui alimente le sol par des fentes prévues à cet effet

Des sondes thermiques à haute précision ont été utilisées pour mesurer les températures. En fonction du temps d'exposition, nous avons relevés les températures à l'intérieure du pipe où l'eau est condensée et à l'extérieure en zone de contact avec le sol. La figure 1 montre la distribution interne de la température et la figure 2 la distribution externe.

3 RESULTATS

Les résultats de la distribution de la température ont été obtenus pour des longueurs de pipes en PVC choisi.

La température est distribuée dans la direction radiale et elle est fonction du temps. Une approximation numérique par application de la méthode des différences finies est utilisée. Les valeurs sont calculées aux points discrets dans le temps et l'espace.

La température diminue le long du pipe en fonction du temps. Le mur du pipe deviendra réchauffeur causant une différence de température entre le pipe et l'air turbulent. Cette différence s'annule lorsque les températures s'approchent de l'état d'équilibre.

Les températures de vapeurs saturées et les températures à l'intérieur du pipe tendent mutuellement vers un état d'équilibre en fonction du temps et de la longueur du pipe.

4 DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

4.1 Paramètres de condensation

La <u>masse d'eau condensée</u> par ce système peut être déduite de la loi universelle des gaz en supposant que la vapeur d'eau saturée se comportent comme des gaz idéaux sous pression interne normale dans les pipes et à la sortie : $m_I = \frac{P_I V}{R_* T}$ (1)

où m_i est la masse partielle [kg], P_i est la pression partielle [Pa], V est le volume partiel [m3], R_i est la constante universelle des gaz pour l'air et la vapeur d'eau [J/kg, K] et T la température [K].

la masse d'eau contenue dans la masse spécifique d'air sec [Kg d'eau / Kg d'air sec] exprime <u>L'Humidité absolue</u> c'est le rapport des masses partielles x de vapeur d'eau et

de l'air sec dans le système :
$$x = \frac{0.622 P_{VSAT}}{p_{tot} - P_{vsat}}$$
 (12)

où P_{v,sat} est la pression partielle de vapeur saturée [Pa] et P_{tot} est la pression totale du mélange de vapeur air-eau [Pa]. Le facteur 0.622 représente le rapport des constantes universelles des gaz respectivement pour l'air et la vapeur d'eau. Puisque la pression du mélange est supposée égal à la pression normale à l'admission et à la sortie des pipes enterrées , la différence entre l'humidité spécifique du mélange chaud de mélange de vapeur eau – air à la sortie du distillateur solaire et du mélange de vapeur refroidi dans les pipes enterrés constitue la quantité d'eau condensée.

4.2 Transferts thermiques

La différence de température entre le flux d'air chaud et humide turbulent et la surface du pipe produit un transfert thermique par convection forcée du milieu chaud vers le milieu froid. Le taux de transfert thermique dépend de la température entre les deux zones, le secteur de contact et le coefficient de convection qui dépendra des nombres Reynolds, Prandtl et Nusselt.

L'air humide est refroidi le long du pipe, l'eau condensera par transfert de masse de convection et libérera une grande quantité de la chaleur qui était anciennement stockée comme chaleur latente dans la vapeur. Le transfert de masse de convection est le volume d'eau condensée par unité de surface. C'est une fonction de la convection du coefficient de conduction pour l'air, du coefficient de diffusion entre l'eau et l'air et du nombre de Lewis

Les transferts thermiques entre le pipe et le sol environnant peut être évalué en considérant quelques approximations. On pourra diviser le pipe en petits intervalles de température, le flux thermique extérieure est uniforme et que la couche thermique frontière est répartie sur tout le pipe.

L'équilibre thermique pour un intervalle et par unité de longueur de pipe:

$$q = q_{cond} + q_{conv}. (3)$$

q - flux total de chaleur par unité de longueur de pipe,

q_{cond} - flux de chaleur sortant de condensation par unité de longueur de pipe

q_{conv.} flux de chaleur de convection par unité de longueur de pipe

Équation du flux de chaleur par Convection

$$q_{conv} = h_d \pi . D. \Delta T$$
 (4)

 h_d - $\,$ coefficient de convection, D – $Diamètre du pipe, <math display="inline">\Delta T$ - $\,$ Intervalle de température de l'air et de la surface de contact du pipe

Equation du flux de chaleur dégagé du à la condensation

$$q_{cond} = m_c. \pi. D. H \tag{5}$$

m.- masse d'eau condensée

H - Chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température d'équilibre

4.3 <u>Distribution de la température</u>

D'après les résultats obtenus, les températures de vapeurs saturées et les températures à l'intérieur du pipe tendent mutuellement vers un état d'équilibre en fonction du temps d('exposition et en fonction de la longueur du pipe.

La température est distribuée dans la direction radiale et elle est fonction du temps. La température diminue lorsque la longueur du pipe augmente.

4.4 Conclusions

Le procédé de production d'eau par dessalement solaire a été choisi pour produire de l'eau par suite d'une insuffisance des ressources en eaux naturelles. Cette insuffisance se traduit par un déficit dans le rapport eau - population, une dégradation accéléré du sol et une baisse dans la productivité agricole. Le procédé présente des avantages dans les coûts réduits.

Le système d'irrigation solaire par condensation souterraine d'air chaud et humide est un procédé basée sur la distillation de l'eau salée ou de l'eau de mer par des distillateurs solaires prévus à cet effet et la condensation de vapeur saturée. Le flux d'air avec vapeur saturée est conduit par ventilation forcée vers des pipes de drainage enterré qui sera refroidi progressivement par condensation produisant l'eau qui alimentera le sol.

La différence de température entre le flux d'air chaud et humide turbulent et la surface du pipe produit un transfert thermique par convection forcée du milieu chaud vers le milieu froid. Le taux de transfert thermique dépend de la température entre les deux zones, le secteur de contact et le coefficient de convection.

La condensation d'eau en sol est estimée par la différence entre l'humidité spécifique du mélange chaud de mélange de vapeur eau – air à la sortie du distillateur solaire et du mélange de vapeur refroidi dans les pipes.

Le projet est encore à l'étude et la réalisation d'une installation pilote nous permettra de déterminer les caractéristiques du système d'irrigation solaire qui sera utilisé dans une deuxième étape à la production de l'eau potable.

Références

- [1] UNEP (United Nations Energy Program) http://www.unep.org/geo2000/english/0046.htm
- [2] Michels t, 1977. document technique du projet SIDEM (France) d'installation de l'unité de dessalement de l'eau de mer de la Méditerranée à Ghazaouet (Algérie).
- [3[Y. Alayli , J. Leblond (1987). Production d'eau potable par un moyen non conventionnel, Desalination, 67, 227.
- [4] Gustavsson, AM., Lindblom, J.: Underground Condensation of humid Air a Solar Driven System for Irrigation & Drinking-water production. Master

Thesis 2001:140 CIV, Lulea University of Technology, Sweden, 2001.

- [5] SolAgua, Solar Water purification systems, Texas. http://www.solagua.com/salwatdisl.html
- [6] Scherer, T. Seelig. B. Franzen (1996), soil ,water &plant characteristics important to irrigation, *North Dakota State university*, https://www.ext.nodak.edu/extpubs/ageng/irrigate/eb66w.htm#plants

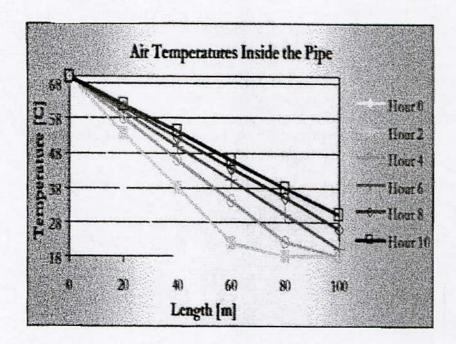


Figure 1 Distribution de la température de l'air humide à l'intérieure du pipe en fonction de la longueur du pipe et de la durée d'exposition

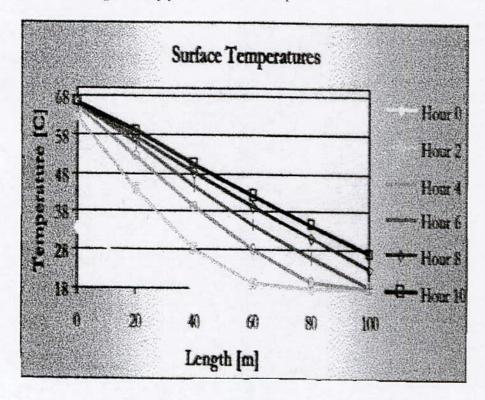


Figure 2 Distribution de la température dans la zone de contact en fonction de la longueur du pipe et de la durée d'exposition

NOUVEAU TYPE DE PRISE D'EAU DE MER MODULAIRE POUR STATIONS LITTORALES DE DESSALEMENT EN MATERIAUX GEOSYNTHETIQUES

Author: Boussad Chouaki,

Directeur Général de "PEPPIT Ingénieurs-conseils" S.a.r.l., Email: <u>bydromi@consultant.com</u>.

RESUME

La présente communication traite d'un nouveau type de prise d'eau de mer pour stations de dessalement littorales. Par rapport aux prises d'eau de mer classiques, ce nouveau type de prise d'eau présente des particularités qui contribuent à lui conférer de réels avantages. Nous les résumons ci-après.

- Prise d'eau modulaire (modules de 6000 à 12000 m3/jour d'eau de mer brute). Elle peut équiper des stations de 2500 m3/jour à 35000 m3/jour d'eau douce.
- Conçue pour des distances au rivage de 350 mètres à 1000/1200 mètres et des tirants d'eau de - 3.5 mètres à - 10 mètres.
- A l'inverse des prises d'eau classiques ce type permet d'assurer une pré-filtration (blocage de tout solide en suspension >400 μm) de l'eau avec un système simple de décolmatage des filtres. Ce qui fait diminuer les coûts de traitement primaire de l'eau brute.
- Système simple, léger car entièrement en matériaux géosynthétiques, facile et rapide à monter et à pré-assembler au rivage, puis à lancer à flot et à immerger.
- Tout aussi facilement démontable si nécessaire, en particulier pour des besoins de rénovation des dispositifs de décolmatage, de nettoyage par hydrocurage ou par raclage de tout solide, y compris des mollusques adhérents.

Mots clés : Géotextile- Géotube- Géocontainer- Hydrocurage- Racleur- Décolmatage.

I.INTRODUCTION

Le présent travail concerne un système nouveau de prise d'eau brute pour station côtière compacte de dessalement d'eau de mer. Outre le système ce mémoire concerne les ouvrages de génie civil et les équipements mécaniques et électromécaniques qui en font partie.

Les caractéristiques principales du système et de ses composants physiques sont données cidessous:

I.1. Le système est modulaire :

Le module de base est conçu pour une station compacte traitant 6000 m3/j d'eau brute, ce qui équivaut à une production de 2500 m3/j d'eau dessalée.

Moyennant quelques menus équipements additionnels, le module peut traiter une production double soit traitant 12000 m3/j d'eau brute, ce qui équivaut à une production de 5000 m3/j d'eau dessalée.

- 1.2. Le système est conçu pour des distances au rivage n'excédant pas 350 mètres, et pour des tirants d'eau à la prise d'eau au moins égaux à 3.5 à 4 mètres. Compte tenu de la turbidité quelquefois élevée dans cette zone littorale, la prise en compte sérieuse du problème de colmatage des éléments filtrants s'impose. Ce système en tient compte, et en fournit des solutions satisfaisantes.
- I.3. Le système est basé sur l'utilisation systématique maximale de matériaux

 Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

 Le 21 22 Mai 2005 à Alger

géosynthétiques. Ces matériaux sont en effet légers, faciles de mise en œuvre, économiques, susceptibles de s'adapter à des configurations variées car aisément thermosoudables et thermoformables. Ils possèdent en outre trois propriétés essentielles:

- a) Une bonne résistance mécanique,
- b) Une excellente résistance à la corrosion à divers produits chimiques dont en particulier les eaux salées (eau de mer) et les saumures,
- c) Une excellente résistance à l'abrasion (effet dynamique d'eaux turbides chargées en sables en suspension).
- I.4. Le débit nominal sera de 110 l/s, compte tenu de la durée impartie au fonctionnement (16 heures par jour). La vitesse de l'eau dans la conduite d'amenée est comprise entre 1.185 m/sec et 2.37 m/sec. Le débit nominal est calculé pour 1.185 m/sec. Mais ce débit peut être doublé tout en sachant qu'on atteindra alors, à la plage, une perte de charge plus élevée (3.90 mètres de hauteur au lieu de 1.10 mètres), pour une longueur de conduite de 350 mètres.
- I.5. Ce calcul (des pertes de charge) a révélé un avantage intéressant que nous mettons en évidence-, celui qui veut que ce module de prise d'eau puisse être théoriquement utilisé jusqu'à une distance de 1240 mètres (350 x 3.9/1.1), à condition toutefois de ne pas excéder le débit de 110 l/s. Dans cette situation la profondeur serait de l'ordre de 10 mètres. Dans la suite nous nous maintiendrons toutefois à la limite de 1000 mètres, pour des tirants d'eau compris entre 8 et 10 mètres, zone où nous avons des chances de trouver une eau de bonne qualité (faible turbidité, température pas très élevée et relativement constante).
- I.6. Le système est donc basé sur une longueur totale de conduite d'amenée d'eau de mer de 350 m, de la tête de prise d'eau jusqu'à l'extrémité aval de la conduite en haut de plage. La conduite considérée est en PEHD (PolyEthylène Haute Densité), de diamètre intérieur 343.79 mm. Les pertes de charge calculées selon la formule de Hazen-Williams sont limitées grâce au poli du matériau (Coefficient de Hazen-Williams C=155, au lieu de C=130/140 pour le verre par exemple).

Cette propriété permet de recourir au moyen de pompage simple, à savoir le pompage par aspiration dans un puisard situé sur le rivage. Ce qui est valable aussi bien pour le débit de 110 l/s (6000 m³/j), que pour le débit double (220 l/s ou 12000 m³/j), à la condition toutefois que le radier du puisard soit à une profondeur d'au moins 5 à 6 m, pour tenir compte des pertes de charge singulières à apparaître surtout en tête de prise d'eau. Comme on pourra le voir plus loin, ces dernières ne sont pas importantes à cause des faibles vitesses imposées au fluide par la filtration.

II. MORPHOLOGIE DE LA TÊTE DE PUISAGE

- II.1. Pour des raisons de rigidité, densité, et poids (relativement faible épaisseur), les tubes de la tête de prise seront en PVC (Chlorure de polyvinyle). Ils seront crépinés (fentes de 0.3 à 0.5 mm). Le tube à considérer est un tube de diamètre ext. 175 mm, de diamètre int. 165.6 mm, d'épaisseur 4.7 mm, et d'ouverture de fentes de 0.3 mm. Ce qui donne une surface par mètre linéaire de tube de 0.55 m2.
- II.2. Le calcul détermine que la surface totale de tubes crépinés nécessaire est de <u>22 m2</u>, ce qui nous donne une longueur théorique totale de tubes d'au moins 40 mètres. En prenant des tubes de 6 mètres de long, il nous faut 7 tubes semblables, ce qui nous donne ainsi une longueur totale de tubes crépinés de <u>42 m</u>.
- II.3. Les tubes seront placés parallèlement les uns aux autres, dans le sens de la plus grande pente de la plage. Ils sont fermés à une extrémité. A l'autre extrémité ils sont reliés à un ouvrage spécial de jonction conçu pour assurer la liaison de la tête de prise avec l'extrémité amont de la conduite d'amenée. Cette chambre de jonction sera décrite à part. C'est cette configuration générale qui m'a fait conférer à ce système, le vocable de "Prise d'Eau de Mer Chandelier".
- II.4. Les tubes seront entourés d'une manche filtrante élastique, qui assure une filtration primaire avant admission à l'intérieur du tube par les fentes qui servent aussi bien de surface de filtration secondaire que de canaux d'admission vers le complexe de filtration tertiaire. La manche élastique également en matériau géosynthétique, est aisément amovible pour des besoins d'opérations de nettoyage, couture et décolmatage à réaliser à terre.
- II.5. A l'intérieur du tube on trouve le système de filtration tertiaire finale, avec le complexe lui servant de support et l'aidant à lui conférer le maximum d'efficacité et d'homogénéité dans la répartition de la surface filtrante.

Le filtre tertiaire est constitué d'un géotextile non tissé de 350 à 500 g/m² de grammage, et ayant un AOS (Apparent Opening Size) O₉₅ de 106 µm environ. Une telle texture est capable de filtrer des éléments de sols de granulométrie 2 à 6 µm environ. Ce qui est l'objectif poursuivi. Tout comme les manches élastiques extérieures du tube crépiné, le complexe tertiaire de filtration (non tissé plus les accessoires- supports) est conçu comme aisément amovible pour des besoins de nettoyage, décolmatage, et éventuellement remplacement.

Le non tissé est donné comme ayant une perméabilité ASTM D-4491 de 74 l/m²/s. Or le débit de filtration est compris entre 110 l/s et 220 l/s pour les 7 tubes ce qui fait 16 à 32 l/s par tube, soit 5 à 10 l/m²/s. Ce qui donne un ratio de sécurité compris entre 15 et 6, ce qui est plus que suffisant.

II.6. Le complexe support du filtre tertiaire est constitué de 3 éléments: 2 géonets par exemple losanges (en PP [PolyPropylène] ou bien PE [PolyÉthylène], de 12 mm x 12 mm de côtés et de 2 mm d'épaisseur de filaments). Les géonets enserrent le non tissé en sandwich, et lui évitent ainsi de coller à la paroi intérieur du tube crépiné et à la paroi extérieure d'un tube PVC fendu hélicoïdalement, dont le rôle est à la fois de "plaquer" le complexe contre la paroi du tube crépiné et d'assurer l'écoulement de l'eau filtrée vers la chambre de jonction très sommairement décrite ci-après.

Pour pouvoir assurer cette fonction de placage, le diamètre du tube plein PVC à scier en hélice doit être bien supérieur au diamètre du tube crépiné. Après étirage et blocage au diamètre du tube crépiné, la bande hélicoïdale sciée, doit dégager une surface ouverte au moins égale à la section du tube soit 22/100 de m². Nous considérons, pour les bandes

d'hélices une largeur de 10 cm ouverte, pour une largeur de 30 cm pleine.

Prenons pour cela, pour fixer les idées, un tube (plein) PVC type "assainissement", de diamètre extérieur 250 mm. Après sciage, étirage, admission et relâchement à l'intérieur du tube crépiné, on aboutit au résultat qui fait que 6 mètres de tube crépiné en viennent à équivaloir 6 mètres de tube PVC plein scié (en négligeant l'épaisseur du complexe de filtration). La surface interne du tube crépiné est de 3.12 m² environ. La surface du tube scié hélicoïdalement est les 75% de cette valeur, soit 2.34 m² environ Ce qui donne un tube de longueur initiale 3.70 m environ disons 4 m, comme il se trouve que nous disposons d'une bonne marge en coefficient de sécurité. Remarquons qu'à partir de 2 tubes de 6 m de long, on peut fabriquer 3 tubes "ressort". Deux d'entre eux seront complets, le troisième sera constitué de 2 parties préalablement solidarisées longitudinalement par soudage ou collage. Ce qui fait globalement 28 m de tubes-ressorts PVC pleins.

Avant d'installer le tube ressort en spirale - lui-même déjà préalablement entouré du complexe de filtration tertiaire (non tissé + sandwich de géonets) -, il suffira de l'étirer, de le bloquer au niveau de la chambre de jonction, de le bloquer provisoirement à l'autre extrémité, à une longueur supérieure à 6 mètres. Une fois le complexe de filtration placé jusqu'à fixation au fond du tube crépiné, au niveau de la chambre de jonction, on lâche le système de blocage de l'étirement du "ressort" (hélice). Celle-ci se raccourcit jusqu'à venir plaquer le "complexe" de filtration tertiaire, contre la paroi intérieure du tube crépiné.

Pour débloquer le complexe il suffira, après ouverture de l'extrémité amont du tube crépiné, d'étirer le PVC ressort pour réduire son diamètre, de le bloquer dans une longueur supérieure à 6 mètres (disons 7.5 mètres), de le dégrafer de sa fixation à l'extrémité aval au niveau de la chambre de jonction, et de le sortir du tube crépiné. Le complexe de filtration est soit entraîné, soit extrait à part si nécessaire.

- II. 7. Si les conditions de maintenance du complexe de filtration tertiaire s'avèrent contraignantes, nous mettons en évidence que ce système de filtration peut heureusement aussi être localisé à terre dans une fosse immédiatement à l'aval du puisard de pompage. Le complexe serait alors plan ou cylindrique (cylindre à ligne directrice polygonale). Il serait constitué de panneaux faciles d'accès, et amovibles. Dans ce cas, le complexe de filtration tertiaire n'existant plus, les opérations de maintenance concernant le décolmatage ne concerneraient plus que les filtres primaires et secondaires.
- II.8. Les 7 tubes crépinés munis de leurs manches de géotextile élastique, sont placés bloqués- en haut et en bas entre de petits bers faits de segments de fers plats verticaux terminés par une tige filetée de blocage boulonnée sur une entretoise en fourche -, en sandwich entre 3 traverses constituées d'une paire de profilés IPN galvanisés de 140 147 N/m (15 kgf/m) de poids et de 5 mètres de longueur chacune. L'intervalle entre les traverses est de 2 mètres, et celui qui sépare 2 tubes crépinés voisins est de 0.70 m. Les 2 IPN d'une traverse sont solidarisés l'un à l'autre au moyen d'un mécanisme conçu comme dégrafable lors des opérations de maintenance. La longueur totale d'IPN 140 galvanisés est de 30 m. et leur poids total de 4415 N (450 kgf).
- II.9. Les 3 IPN inférieurs des traverses-sandwichs sont, à leur tour, solidement boulonnés sur 2 traverses-supports galvanisées type glissières de sécurité de routes. La largeur des traverses-supports est de 30 cm environ (largeur développée 45 cm environ), leur épaisseur 3 mm environ, et leur longueur de 5 mètres. Leur poids linéaire approximatif est de 118 N/m (12 kgf/m). Elles sont parallèles entre elles et parallèles à la direction des tubes crépinés. Elles reposent sur les 2 géotubes les plus amont, de manière à libérer le géotube aval appelé, quant à lui, à servir de support à la chambre de jonction (cf. infra). La longueur totale des traverses est de 10 m et leur poids total de 1180 N (120 kgf).

- II.10. Les 3 traverses IPN sont ancrées de part et d'autre au moyen de chaînes liées il des corps-morts, l'ensemble étant calculé pour résister à toute force déstabilisatrice éventuelle. Cet ancrage sert aussi évidemment de lestage aux équipements à faible densité (en matériaux géosynthétiques). Ce système d'ancrage est classique. Il n'est pas décrit ici.
- II.11. Un certain nombre de corps morts seront placés tout autour de la tête de prise d'eau. Leur rôle est de servir de prise de forces de réaction, aux forces à exercer au moyen de mécanismes et machines manuelles simples nécessaires à des plongeurs pendant les opérations de maintenance (treuils à main, palans, tire-forts). Les opérations de levage et/ou d'écartement par exemple des IPN pour dégager les manches de filtration primaire seront effectuées au moyen de petits vérins hydrauliques du type vérin d'automobile. Il sera aussi possible d'utiliser des outils hydrauliques ou à air comprimé, la centrale hydraulique ou le groupe motocompresseur étant embarqués sur une petite vedette de servitude à moteur, à mettre à la disposition permanente de l'équipe de maintenance marine (2 plongeurs et un marinier également plongeur-auxiliaire).
- II.12. Toutes les structures immergées à base d'acier (ou de fer) seront conçues pour être si nécessaire, protégées contre la corrosion marine par un système de protection cathodique par anodes sacrificielles. Ce système n'est pas décrit ici.
- II.13. La vedette de servitude est une vedette de 6 à 8 mètres de long environ. Elle est conçue pour être respectivement lancée au rivage et halée du rivage -, au moyen d'un ber très simple sur pneus actionné par un petit treuil en haut de plage. Son plan de halage sur la plage pourrait être stabilisé au moyen d'une géomembrane 2.5 mm d'épaisseur. Cette vedette et toutes les machines et équipements embarqués à son bord (groupe motocompresseur, groupe moto-pompe type "incendie"", groupe électrogène, groupe hydraulique, ..) sont conçus comme tractables sur routes -, pour permettre éventuellement à 2 ou plusieurs stations de le détenir et de l'exploiter en commun. Ces équipements ne sont pas décrits ici.
- II.I4. En plus de l'extraction pour entretien ou changement des complexes de filtration (manches élastiques extérieures, complexe intérieur à base de géotextiles non tissés, ..), il a été aménagé la possibilité d'une chasse d'eau pour nettoyage hydraulique par contre-courant exercé par un groupe motopompe embarqué sur l'embarcation décrite ci-dessus. Pour cela les tubes crépinés peuvent être directement branchés à la pompe au moyen de pièces spéciales (vanne plus rascord type pompier). Il est également prévu la possibilité d'effectuer un curage intensif HP (Haute Pression) des tubes au moyen d'outils spéciaux branchés à une hydrocureuse embarquée sur la vedette de servitude. Ces équipements ne sont pas décrits ici.

III. CHAMBRE DE JONCTION

Celle-ci est conçue pour remplir les fonctions suivantes qui consistent à servir de:

- organe de liaison à l'extrémité aval de chaque tube crépiné;
- support au mécanisme de fixation du complexe de filtration tertiaire;
- support au système de vannage d'isolement des tubes et/ou de liaison vers les outils, dans toute combinaison d'ouverture / fermeture désirée;
- organe de liaison hydraulique directe et contrôlée d'acheminement de l'eau de mer claire vers la conduite d'amenée;
- support aux pièces spéciales de liaison conçues pour la chasse d'eau de décolmatage des tubes crépinés;
- support aux pièces spéciales conçues pour le curage hydraulique HP des tubes crépinés;

 support au système éventuel d'admission de tête, d'un équipement de raclage hydraulique- type racleurs de pipelines d'hydrocarbures liquides -, de la conduite d'amenée.

Comme il a été dit plus haut, toutes les manutentions - vannages, démontages, enlèvements, etc. - essentiellement nécessitées par ces fonctions sont conçues pour être aisément exécutables par une équipe de 2 plongeurs autonomes, aidés d'un marinier d'assistance, au moyen d'outils très simples. En particulier la manipulation des vannes pourra être effectuée par AC (air comprimé) au moyen d'un petit compresseur embarqué sur une petite vedette de servitude. La manutention hissage, immersion, halage sur le fond ou entre deux eaux - d'objet lourds tels que les pompes immergées par exemple, peut se faire au moyen de petits parachutes ou flotteurs appropriés.

N.b.: La Chambre de jonction n'est pas décrite dans le détail, dans le présent mémoire.

IV. GÉOTUBES SUPPORTS DE LA TÊTE DE PRISE D'EAU & DE LA CHAMBRE DE JONCTION

Les géotubes sont des sacs de tailles variables (quelques mètres cubes jusqu'à plusieurs milliers de mètres cubes), confectionnés à partir de matériaux géosynthétiques tissés donc perméables, généralement des textiles à base de polypropylène (PP). Ils sont cousus à la forme désirée. Ils constituent une enceinte qu'on vient ensuite remplir de n'importe quel type de matériaux naturels (vases, sable, galets, graviers, tout-venants, etc...). Le remplissage est effectué au moyen de pompes à déblais qui forcent la mixture à être piégée à l'intérieur. L'eau de mouillage de la mixture sort par les pores du géotextile. Cette évacuation de l'eau concentre les matériaux pierreux naturels à l'intérieur des géotubes qui finissent par avoir l'aspect et la configuration de blocs moulés de taille respectable. En travaux hydrauliques et maritimes les géotubes, associés aux matériaux pierreux naturels, sont utilisés comme éléments d'ouvrages de génie civil de protection portuaire et côtière (brise-lames, jetées, digues, épis, etc..).

- IV.1. Les dimensions théoriques des géotubes de forme parallélépipédique sont: 12 m x 4 m x 0.50 m. Les 3 géotubes sont placés côte à côte, perpendiculairement à la ligne de plus grande pente du fond marin. Les 2 géotubes amont supportent le complexe de puisage (tubes crépinés), le troisième géotube supportant quant à lui la chambre de jonction. La surface totale de géotextile est de : 3 x 112 = 336 m2.
- IV.2. Les géotubes sont confectionnés par couture à partir de géotextiles tissés en PP. Le type à adopter est celui ayant un diamètre apparent d'ouverture (American Standard Testing of Materials) ASTM D-471 (AOS ou Apparent Opening Size) O_{95} de 600 μ m, et une perméabilité de 1830 $1/\min/m2$.
- IV.3. Les géotubes sont munis aux deux extrémités de l'axe de symétrie longitudinal du rectangle horizontal supérieur, d'une manche conçue pour les opérations de remplissage/vidange.
- IV.4. Pour l'installation, les géotubes seront amenés à pied d'œuvre. Comme ils flottent (densité du PP ≅ 0.91), il faudra légèrement les lester pour les immerger vides, côte à côte. Ils seront remplis de sable en même temps, par liaison de manches équipant les orifices de remplissage à 3 tubes flexibles reliés en fourche à un tube de refoulement d'une pompe à déblais capable de refouler des mixtures de sables, vases, silts, voire gravier, de densités pouvant aller jusqu'à 1.40. Le volume total théorique nécessaire de matériaux disons des sables vaseux de 72 m3, est refoulé dans les 3 géotubes à forte pression (pression de refoulement des pompes de dragues marines), par les manches des orifices situés d'un même

côté. Les 3 autres manches en face sont évidemment fermées, car l'objectif est de piéger la mixture à l'intérieur du géotube. Sa concentration ira en augmentant par évacuation, par les pores du géotextile, de l'eau de mouillage nécessaire au refoulement. Cette opération est appelée "dewatering", en anglais ce qui signifie ou extraction de l'eau hors de la mixture (par drainage ou lessivage). A la fin du remplissage les orifices (manches) de remplissage sont fermés.

En cas de nécessité les géotubes sont conçus pour être vidés de leur contenu. Dans ce cas, les deux paires de manches (orifices de remplissage/vidange) sont maintenues ouvertes. Par l'une, on injecte un jet d'eau à forte pression pour désagréger le matériau naturel contenu à l'intérieur du géotube. La mixture est alors évacuée par l'autre manche. Il est préférable d'utiliser comme outil de jet, une torpille désagrégatrice autopropulsée du type torpille d'hydrocureuse, placée dans un tube en PVC, par exemple de diamètre 3 à 4 fois celui de la torpille. La torpille avance rapidement, en entraînant avec elle en direction de l'ouverture opposée son tube-guide, la vidange se poursuivant et allant en s'accroissant par effet "renard".

V. LES TAPIS À ANCRAGE DE FONDATIONS EN GÉOTEXTILES, DES OUVRAGES

V.1. Tous les ouvrages seront placés sur un tapis en géotextile tissé à ancrer sur le pourtour, et dont le rôle est de :

- aplanir plus ou moins le sol sous-jacent;
- constituer une semelle de répartition et d'homogénéisation des charges pondérales sur le sol sous-jacent;
- · servir d'ouvrage anti-affouillement.
- V.2. Ce tapis est à placer sous l'ensemble des ouvrages, à savoir la prise d'eau proprement dite, la chambre de jonction et la conduite d'amenée. Il est des cas ou des géotubes seront interposés entre le tapis et les ouvrages (prise d'eau, chambre de jonction, derniers 70 mètres de la conduite au rivage, ..), et il en d'autres ou l'ouvrage est en tout ou partie directement posé sur le tapis (première partie 280 m- de la conduite d'amenée).
- V.3. Le tapis est confectionné à base de PP tissé très résistant (résistance au poinçonnement 55 à 65 kN, résistance à la traction (dans les 2 sens principaux) 35x35 à 70x70 kN/m, AOS 095 de 425 à 600 μ m, ..).
- V.4. Le tapis est lesté aux extrémités par des segments de tubes en PVC remplis de mortier, de diamètre 4 à 6", et de longueur pas plus de 3 m environ pour en faciliter la manutention. Les tubes servent d'ancrage au tapis. Ils sont sertis dans un ourlet à confectionner à l'extrémité du tapis. Cet ourlet est cousu à terre et les segments de tubes sont placés après, juste avant le lancement à flot et l'immersion du tapis.
- V.5. Le tapis est de dimensions 24 x24 m2 (576 m²) dans le cas de la tête de prise d'eau. Il est confectionné d'un seul tenant. Dans le cas de la conduite, ses dimensions sont de 9 x 362 m2 (3198 m²). Il est confectionné en éléments de 50 mètres, mis en place au fond avec des recouvrements de 2 m de longueur, non cousus mais lestés par les mêmes géotubes qui seront décrits un peu plus loin que ceux qui servent à lester la conduite d'amenée,. La longueur totale de tubes de Ø 6" (150 mm environ) de lestage du tapis, y compris ceux du tapis de la tête de prise d'eau est d'environ 750 m. Le volume de mortier de remplissage des tubes d'ancrage est de 1.0 m3 environ pour le tapis de la prise d'eau, et de 7.0 m3 pour celui de la conduite d'amenée.
- V.6. Selon les caractéristiques des sols, et en particulier si les sols sont de reliefs

tourmentés, durs et susceptibles de poinçonner, un léger tapis de sable est interposé -étalé - sous le tapis avant son déploiement. Ceci est exécuté de manière un peu semblable à celle du remplissage des géotubes, sauf que dans le cas présent le sable est directement répandu sur le fond marin. Ceci est effectué au moyen d'un embout flexible, en prenant soin de procéder au refoulement à faible vitesse, pour éviter de mettre le sable en suspension et de le disperser. Le volume de sable concerné est estimé à <u>25 m3</u> environ.

V.7. Dans le cas du tapis placé directement sous la conduite d'amenée, une surélévation du sable sous le tapis de quelques 15 à 30 cm le long du tracé de la conduite - créant un monticule de 0.70 m de développement en largeur -, sera très utile pour la répartition des charges de la conduite sur le tapis. Ceci donne un volume de sable de <u>25 m3</u> pour la tête de prise d'eau et <u>350 m3</u> pour la conduite d'amenée, soit un total <u>375 m3</u> environ.

VI. LA CONDUITE D'AMENÉE

VI.1. Rappelons, en les récapitulant dans le tableau ci-après, les principales caractéristiques de la conduite d'amenée à considérer pour un module de 2500 m3/j ou 5000 m3/j de production d'eau douce.

DÉSIGNA TION DES CARACTÉRISTIQUES&/OU DES PARAMÈTRE	TYPES &/OU VALEURS
Matériau géosynthétique de base	PEHD
Densité du matériau de base ASTM D-1505 (PEHD carboné o résistant aux UV)	et _{0.957}
Diamètre nominal	406.40 mm
Diamètre intérieur	343.79 mm
Épaisseur	30.10 mm
Poids unité linéaire N/m	347N/m
Déplacement du mètre linéaire de conduite en eau de mer	26 N/m
SDR (Standard dimension ratio)	13.5
Pression de service	9 Bars
Débit nominal pour 6000 m3/j	110 l/s
Vitesse du fluide pour débit nominal	1.185 m/s
Perte de charge correspondante	1.10 m de CE
Débit pour utilisation possible à 12000 m3/j	220 1//s
Vitesse correspondante	2.37 m/s
Perte de charge correspondante	3.90 m de CE
Perte de charge pour débit 6000 m3/j seulement, et longueur de conduite d'amenée de 1000 à 1240 mètres	3.90 m de CE
Niveau minimal du radier du puisard de pompage	- 5 m

A toutes fins utiles, il est bon de connaître les limites hydrauliques du système. Autrement dit jusqu'à quelles valeurs de débit, et corrélativement de vitesse, il est possible de monter sans risquer d'atteindre la limite physique imposée par la l'aspiration (cavitation), tout en gardant une marge suffisante de sécurité. Fixons à 7 m de CE (Colonne d'Eau), la valeur de cette perte de charge. Le débit qui lui correspond est d'environ 305 l/s ou 16600 m³/j, auquel correspond une vitesse de 3.40 m/s. Ce calcul n'est valable que pour la distance de 350 m. Pour la distance alternative de 1000 mètres, après calcul on obtient une vitesse limite de 1.7 m/s; ce qui donne un débit de 152 l/s ou 8300 m³/j.

À l'arrivée sur la plage au niveau du puisard, la conduite fait un siphon en arc, et plonge dans le puisard de manière que son extrémité (la conduite) vienne très près du radier. Comme le système de pompage par aspiration fonctionne en siphon, la conduite doit être munie d'un clapet de pied. Le clapet ouvert pendant les opérations de pompage, doit être fermé pendant le remplissage du siphon pour amorçage. La partie haute du siphon doit donc être munie d'un système de remplissage avec vanne.

- VI.2. La conduite est prévue d'être pré-assemblée à terre sur le rivage, en 3 éléments 140 m, 140 m, 70 m en allant du rivage vers le large -, lancés à flot, assemblées à flot au moyen d'un assemblage à brides spéciales en acier Inox, lestés pour l'immersion, puis immergés et enfin (voir plus loin) lestés et ancrés définitivement au fond au moyen de géotubes.
- VI.3. Toutes les pièces spéciales seront posées en atelier sur le rivage avant l'immersion. Parmi ces pièces il y aura pour mémoire car probablement d'occurrence très rare les soupapes aux points hauts. Il y aura surtout de place en place tous les 50 mètres environ un Té avec vanne destiné à permettre l'éventuelle admission de torpilles d'hydrocureuse.
- VI.4. Le lancement s'effectue en commençant par le rivage. À l'exclusion des 20 premiers mètres qui sont seront maintenus provisoirement hors d'eau légèrement surélevée, le reste du premier tronçon est lancé à flot, puis immergé par remplissage d'eau par l'aval et évacuation de l'air de la conduite par la partie surélevée- et lesté juste assez avec bien sur un coefficient de sécurité de 1.3 pour pouvoir équilibrer le déplacement de la conduite. Pour la jonction des tronçons des reniflards émergeants équiperont les extrémités amont des tronçons pour l'évacuation de l'air pendant le remplissage de mise à l'eau du tronçon. Puis on continue ainsi en s'éloignant du rivage, en direction de la tête de prise d'eau. Au fur et à mesure de l'immersion des tronçons, on vient mettre en place le lest définitif d'ancrage de la conduite, le lest d'immersion n'étant conçu que pour fonctionner pendant quelques jours de mer calme
- VI.5. Le lest d'immersion est conçu comme étant 1.3 fois le déplacement de la conduite en eau de mer (densité maximum de 1.03, pour une salinité, disons limite, de S= 364 N/l (40g/l). Le déplacement linéaire de la conduite étant de 26 N/m (2.7 kgf/m), le lest sera d'un poids unitaire de 34,3 N/m (3.5 kgf/m. Les lests d'immersion sera en cavaliers en béton armé de 686 N (70 kgf de poids, avec un espacement de 20 mètres entre 2 lests voisins. Il y aura donc au total 15 à 17 lests -disons 17 lests- pour l'ensemble des 3 tronçons.

Le lest est en forme simple en cavalier en U renversé (U de branches ouvertes vers le bas). Les dimensions de l'U sont les suivantes:

- Hauteur = 0.41 m;
- Largeur au plafond = 0.41 m;
- Longueur définie le long de la conduite = 0.27m;
- Épaisseur uniforme 0.08 m;
- Volume = 0.030 m^3 ;
- Poids = 706 N ou 72 kg;

Une fois placé, les deux branches du lest viennent se poser sur une dallette présentant de part et d'autre symétriquement par rapport au plan vertical de l'axe de la conduite, 2 petites excavations en forme de "tas de sable" (à pente des paros latérales de 45°), dans lesquelles viendront se caler les extrémités des branches de l'U du lest. Les dimensions de la dallette les suivantes:

- Longueur = 0.95 m;
- Largeur = 0.50 m;
- Epaisseur 0.08 m (sauf aux échancrures ou elle est de 0.04 m)
- Longueur base inférieure de l'échancrure = 0.27 m;

- Largeur base inférieure de l'échancrure = 0.08 m;
- Profondeur de l'échancrure = 0.04 m;
- Volume de la dallette = 0.01856 m3;
- Poids = 441 N ou 45 kg;
- Volume total BA des dallettes-supports des cavaliers de lestage = 0.32 m³.

Ce qui nous donne un volume total de BA, des éléments de lestage d'immersion de:

Volume total BA: 0.83m3

VI.6. De même qu'est prévu, en complément d'un hydrocurage classique, un système de raclage au moyen de racleurs du type racleurs de pipes de pétrole. Il faudrait donc prévoir, lors d'opérations régulières de maintenance antifouling, de racler et balayer- en poussant ou en traînant - toutes les matières et concrétions solides vivantes ou inertes susceptibles de se déposer et surtout, de coller et de s'agglutiner à la paroi (crustacés). En particulier, pour éviter de telles agrégations de crustacés, des raclages préventifs réguliers seront à programmer et à effectuer.

Car, il faut éviter une situation qui serait telle que le racleur devienne inopérant pour une telle distance, si on ne dispose que du seul orifice d'admission dans la conduite situé au niveau de la chambre de jonction. Sauf à diviser le travail, et prévoir un orifice d'admission par exemple tous les 50 m, comme pour la torpille d'hydrocurage. Car l'énergie de coupe et de dragage du racleur n'est au plus, que celle que peut lui fournir la pompe de la prise d'eau de mer, d'autant que celle-ci pourrait se trouver à fonctionner tout près des conditions limites fixées à l'aspiration.

C'est pourquoi il ne faut pas exclure la possibilité de placer une chambre d'admission du racleur en tête de la conduite, au niveau de la chambre de jonction. De même qu'il ne faille pas exclure que la seule énergie d'aspiration de la pompe ne puisse pas suffire pour déplace le racleur, et qu'il faille apporter un pompage d'appoint par refoulement à partir de la chambre de jonction. Ce pompage ne pourrait économiquement être effectué qu'à partir d'un groupe de pompage à bord de la vedette de servitude.

VI.7. Comme il a été décrit plus haut, la conduite est posée directement sur le tapis sur les 280 premiers mètres. Sur les 70 m au-delà et jusqu'au rivage, une série de matelas en géotubes est interposée entre elle et le tapis. Les géotubes sont semblables à ceux servant de support à la tête de prise d'eau. Ils sont placés côte à côte en ligne avec un vide de séparation de 2 m environ entre eux. A l'inverse des géotubes de la tête de prise d'eau, les orifices de remplissage/vidange sont au nombre de 4 (2 paires de chaque placés en chaque coin). Il y a donc 5 géotubes totalisant une surface de géotextile de membrane de : $5xl12 = \underline{560 \text{ m2}}$. Le volume de remplissage de sable de ces géotubes est de $5x 12x4x0.50 = \underline{120 \text{ m3}}$.

VI.8. Il nous reste à examiner les questions du lestage (d'ancrage) de la conduite d'amenée. Les géotubes sont considérés comme étant lestés avec du sable de densité 1.5 à l'air. Le calcul établi pour des conditions de houle déferlante, conjuguée à des courants de vitesse 2.4 mis - déjà jugés assez violents pour la Méditerranée -, donne un lest moyen théorique d'environ 1.470 kN/m (150 kg/m) déjaugé, ce qui donne un lest global de 515 kN (52500) kg pour l'ensemble de la conduite. Nous avantageons de 30% en densité linéaire de lest, les 70 derniers mètres derniers de la conduite.

La répartition est donc de 387 kN (39500 kg) pour les 280 premiers mètres, soit 1.37 kN/m (140 kg/m environ), et 127.5 kN (13000 kg) pour les 70 mètres restants soit 1.81 kN/m (185 kg/m environ. Pour avoir une meilleure répartition de la charge de lestage, nous adopterons plutôt un type de petits géotubes appelés plus communément "géocontainers". Leurs dimensions sont de 2x2x0.3 = 1.2 m3. Ils pèsent donc environ 17.7 kN/ unité (1800

kg/unité). En fait les géocontainers ne seront pas des parallélépipèdes (carrés), mais leur forme sera plutôt celle d'une "berlingot" carré. Nous considérons qu'en dépit de la différence de forme, le volume, le poids du contenu (sable) et la surface de géotextile, restent invariants et sont équivalents à ceux du géocontainer de forme parallélépipédique.

Les géocontainers sont placés en "selle", la médiane de l'un des côtés du carré étant située dans le plan vertical de l'axe de la conduite. Le "berlingot" porte aux quatre coins, un orifice de remplissage/vidange en forme de manche. Ils portent aussi sur le milieu de l'un des petits côtés un cinquième orifice de remplissage/vidange.

De part et d'autre de la conduite, il est prévu de placer des fourreaux en segments de tubes PVC de Ø 150 mm (6") de 3 m de longueur chacun, par exemple -, à l'endroit et en dessous des géocontainers de lestage. Ces fourreaux pourraient servir ultérieurement à faire passer définitivement ou provisoirement des tubes, des câbles électriques de télécommande ou d'énergie électrique (courant continu 24 volts). Tous ces feeders peuvent être utiles à l'acheminement de tout type de fluide (eau, air comprimé, impulsions électroniques, électricité, etc..) en direction de la tête de prise d'eau.

Il faudrait 22 géocontainers semblables - espacés de 13 m entre axes transversaux sur la première partie de 280 m, et 7 tels géocontainers - espacés de 10 m - sur les 70 mètres restants. Si l'on ajoute les 12 (2 x 6) géocontainers à placer tous les 50 m, à l'endroit des aires de recouvrement du tapis de la conduite, il y aura au total 41 géocontainers totalisant un volume de sable 2x2x0.3 x41 m3 \cong 50 m3, et une surface de géotextile 10.4x41 m2 \cong 430 m2. Le linéaire total de segments de fourreaux PVC est de: 29x2x3=174 m.

VII. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES OUANTITÉ ESTIMATIVES DE MATÉRIAUX PAR NATURE D'OUVRAGE

Désignation	<u>Unité</u>	Quantité	
l'ete de prise d'eau et chambre de jonction			
Prise d'eau			
Tubes crépinés ∅ int. 394.39 mm	m	42	
Manches élastiques filtres	m2	42	
Non tissé filtre tertiaire	m2	42	
Géonets de blocage et drainage	m2	84	
Traverses-sandwichs en IPN 140 galvanisé.	m//kg	30//450	
Traverses-supports (glissière sécurité) galvanisé	m//kg	10//120	
Système d'ancrage	PM	PM	
(poids morts et chaînes) Non détaillé			
Chambre de jonction			
Non détaillée	PM	PM	
Géotubes supports tête de prise d'eau & Chambre de jonction			
Géotubes 12x4x0.50	U	3	
Géotextiles tissé	m2	336	
Sable de remplissage des géotubes	m3	72	

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

		Doussad Choi	
Tapis-fascines de fondation			
de la prise d'eau		p could	
Tapis en PP tissé	m2	576	
Éléments de tubes PVC 6", d'ancrage	m	50	
Mortier de lestage des tubes	m3	1	
Sable anti-poinçonnement	m3	25	
CONDUITE D'AMENEE			
Conduite			
Tubes PEHD diam. 406.4 mm/343.79 mm thermosoudés	m	350	
Pièces spéciales d'assemblage sous eau	U	3	
Pièces spéciales (Té, vanne, soupape)	U	7	
Cavalier de lestage d'immersion avec leurs dallettes-supports en BA	U & m3	2x17 & 0.83	
Géotubes sous-jacents 70 derniers mètres			
Géotubes 12 x 4 x 0.50	U	5	
Géotextile tissé	m2	560	
Sable de remplissage des géotubes	m3	120	
Géocontainers-selles "berlingot" de lestage de la conduite			
Géocontainers 2 x 2 x 0.50	U	29	
Géotextile tissé	m2	308	
Sable de remplissage des géotubes	m3	35	
Tapis-fascines de fondation de la conduite d'amenée			
Tapis en PP tissé	m2	3200	
Eléments de tubes d'ancrage PVC Ø nom. 155 mm (6")	m	700	
Mortier de lestage des tubes	U	7	
Sable anti-poinçonnement	m3	350	
Géocontainers de lest des recouvrements	m2	12	
Géotextile tissé	m3	122	
Sable de remplissage des géotubes	m3	15	
Fourreaux-passages de feeders en PVC			
Tubes de 3 mètres en PVC Ø Nom. 155 mm (6")	U & m	58 & 174	

THERMAL PERFORMANCES OF THREE EFFECTS PLATE EVAPORATOR AND PRELIMINARY DESIGN OF AN INDUSTRIAL TEN EFFECTS DESALINATION UNIT

F. Kafi⁺, V. Renaudin ⁺•, D. Alonso⁺•, J.M. Hornut⁺•

*LSGC -CNRS-1 Rue Grandville - BP 451 - 54 001 NANCY Cedex - FRANCE

*Université Henri Poincaré, IUT Nancy-Brabois Le Montet, 54 601 VILLERS les Nancy

ABSTRACT

EasyMED, a patented multiple-effect plate Evaporator is studied [1]. Results obtained for this MED process on laboratory have shown promising performances [2,3]. But tests in real conditions are necessary to prove the reliability of one process. Thus, three effects evaporator was recently built on the Italian sea shore (see figure 4). First results for this unit which is composed of three effects in series and five cells in parallel have confirmed those obtained in laboratory. The daily production reached 3 m³/day of high quality distillate with conductivity lower than 20uS/cm. The evaporation ratio was around 10 %. About 80 % of the brine was recycled to avoid large consumption of energy to preheat seawater up to its boiling point. The overall heat transfer coefficients between heating water and seawater falling film reached 1400 W.m⁻².K⁻¹ whereas the coefficient between condensing vapour and evaporating seawater is about 4000 W.m⁻².K⁻¹. Temperature difference between the heating cells and the first evaporation cells is around 11°C and between 3 and 6°C between effects. The GOR seems to be not influenced by the variation of the top brine temperature. Such results are practically important: waste heat at 80°C can be used to supply energy to first effect evaporators. A preliminary design of a ten-effects unit producing about 150 m³/day is proposed thanks to the results of previous units.

Keywords: Multiple effect distillation- heat transfer- plate- evaporation- thermal desalination

1. INTRODUCTION

Up to now, the share of Multi-Effect Distillation (MED) processes in the desalination market doesn't exceed 8% [4]. But it is predicted that this part will grow thanks to researches in this field. The most important advantage of MED is the low primary energy consumption comparing to MSF and Reverse Osmosis. The use of waste heat to supply energy for MED processes leads to a growing interest for this process. The EasyMED programme supported by the European Commission under the 5th Research Framework Programme, aims to contribute to the technological development of an improved cost and energy efficient plate Multi-Effect Distillation (MED) desalination process. The proposed innovative thermal process will contribute to the diversification of MED processes.

Two units were constructed and tested in laboratory conditions with synthetic salted water [1, 3]. The results of this first step have enabled to design a pre-industrial unit operating in real conditions on the Mediterranean sea shore. The first results obtained with this pilot are presented and used to propose a preliminary design of an industrial process: a ten-effects MED plant producing around 150m³/day.

2. DISCRIPTION OF THE EASY-MED PROCESS

EasyMED process is a patented Multi-Effect Distillation Process [1] which is obtained by an association of modular elementary cells with human size (see figures1&2). The cells are arranged so that the evaporation zone of one effect lies between two condensation zones of the previous effect. Each cell is composed of two metallic vertical plates separated by a 3cm thick polypropylene frame divided in two zones: an evaporation zone and a condensation

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger zone. The seawater to be evaporated flows as a thin falling film along the plates covered by grids placed inside the frames to prevent plate crushing and to promote film turbulence.

The film is obtained thanks to a distribution system located in the upper part of the evaporation cell to enable a homogeneous repartition of the seawater film along the cell width.

The vapour produced in the evaporation zone flows to the condensation zone through sloped holes drilled in the central part of the frame. It is then condensed along the plate and the energy released by condensation is transferred through the metallic plate to allow seawater evaporation in the next effect. In each corner of each zone are drilled holes for the input and output of fluids (seawater, distillate, brine and non-condensable gases).

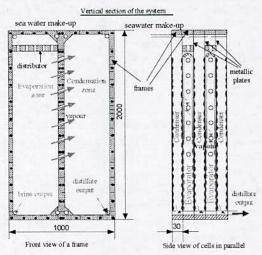


Figure 1: Front view and side view of elementary cells of the EasyMED process

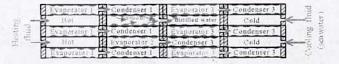


Figure 2: Top view of the association of elementary cells: 3 in series * 5 in parallel

Compared to the classical MED, the EasyMED process has the following advantages:

- Less heat loss due to the absence of external piping between the effects.
- The elementary cells with common sizes are easily transportable and may be assembled on the operating site.
- Construction-friendly. Does not require a skilful workforce for assembling (no welding).
- A very compact system, thus enlarging the potential use by reducing the weight of the system and the raw material consumption.
- Standard elementary cells thus decreasing the total engineering and construction costs.

3. DISCRIPTION OF THE EASY-MED 3 EFFECTS SEASIDE UNIT

The laboratory studies with a transparent wall single-effect unit [2], and with a three-effects unit [3] enabled to optimise the design of the process and the operating conditions. The feasibility of the multi-effect process was therefore demonstrated with synthetic salted water. After this laboratory step, a study of performances in real conditions is necessary to validate

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger the process. To reach this objective, a pre-industrial unit composed of three effects in series and five cells in parallel (see figure 4) was constructed and installed on the Mediterranean sea shore in Italy.

The seawater suction is ensured by a plastic centrifugal pump. An inlet filter consisting of a tube drilled with 8 mm diameter holes is used in order to prevent the suction of large solid particles (mussels, sand,...) that may damage the pump. Then seawater is filtered through cartridges with cut diameter of 150 µm. Two cartridges are placed in parallel in order to enable continuous operation. Biocide (5 ppm isothiazoline) and antiscale (10 ppm phosphonic acid) chemicals are added to the filtered seawater thanks to two dosing pumps.

Figure 3 shows a schematic view of the seaside unit:

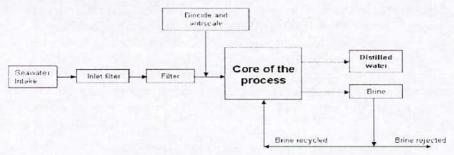


Figure 3: Schematic view of the experimental three-effects seaside unit

The core of the process which consists of three effects associated in series and 5 cells arranged in parallel is composed of:

- 8 double cells that are polypropylene frames (height =2 m, width =1 m, thickness =3 cm).
- 4 single cells that are polypropylene frames (2 m x 0.5 m x 3 cm). These cells are used as heating or cooling cells. Each heating cell is located between two evaporation zones of the first effect. In the same way, each cooling cell is located between two condensation zones of the third effect. Each cooling or heating cell is totally filled with water that flows upward along the metallic plate. The latter supports on the other face seawater falling film or condensing distilled water. Moreover to increase heat transfer, horizontal baffles are added to reduce the cross sectional area for the liquid flow and increase Reynolds' number [2].
- 8 stainless steel plates (2 m x 1 m x 1 mm) located behind and in front of each frame.
- 16 metallic grids are placed inside the evaporation and condensation zones. The horizontal wires of these grids are placed against the stainless steel plates in order to promote turbulence in the seawater film. The grids also prevent the crushing of the plates due to operating pressure below atmospheric pressure.
- 8 single thicker stainless steel plates (2 m x 1 m x 2 mm) covered by reinforcement frames, (2 m x 0.5 m x 5 mm) are used as external faces of the pilot. They are added to avoid important deformation due to tightening of the bolts. Indeed, the different pieces of the pilot are assembled with 240 threaded rods of nominal diameter 8 mm with adapted nuts and rings.
- O-ring EPDM seals placed in grooves machined in the frames ensure air and water tightness between successive effects and between the inside and the outside of the pilot.

All the pipes, except seawater intake, are 40 mm outer diameter PVC pipes.

To ensure heating of the first evaporation cells, **hot water** (heated by three electrical resistances of 12 kW) at about 75°C is used. The circulation of heating water from the tank to the two heating cells is ensured by a centrifugal pump (see PID diagram on Figure 5).

The cooling of the last condenser is ensured by seawater. Then warm seawater leaving the cooling cells is partly used to feed the evaporation cells, the other part is rejected to sea.

- Brine is first recovered from the different effects in a stainless steel waterbox before being recycled or rejected to sea. An other waterbox is used to recover distilled water. These two boxes are linked to the vacuum system. At the outlet of each waterbox, a peristaltic pump is placed to extract distillate or brine.
- Vacuum is produced by an hydroejector; the motive fluid is tap water circulating in a closed loop from a tank with a centrifugal pump. Non-condensable gases are extracted from the inside of the pilot with pipes at the upper part of the condensation zones and from the distillate and brine waterboxes.
- The pressure difference between effects is obtained with diaphgrams. These diaphragms are 40 mm diameter stainless steel disks (1 mm thickness) drilled with calibrated holes whose diameter ranges between 0.5 and 10 mm. They are placed in the union fittings on the three circuits linked to the hydroejector (brine extraction, distillate extraction, non-condensable gas extraction). The choice of diaphragms is very difficult since their sizing depends on the pressure reached by the hydroejector and on the flowrate in each pipe but also on the level of liquid in the cells. These parameters are not known precisely during the design of the unit since they depend on the thermal and hydrodynamic performances to be measured.

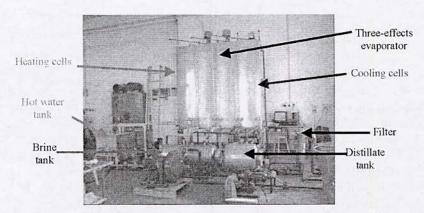


Figure 4: Photography of the experimental three-effect seaside unit

An insulation material layer covers the external pilot faces in order to reduce heat losses.

To measure thermal performances, several sensors are used and are disposed according to the PID diagram (see Figure 5):

- Pt100 sensors to measure the temperatures of the brines and distillates, of heating and cooling water at the inlet and the outlet and of the salted water feed (seawater + recycled brine) in each effect.
- Electromagnetic flowmeters are used to measure the flowrates of the heating water, of the seawater used as cooling water and of salted water film in each effect.
- Gear wheel flowmeters are used to measure distillate flowrates produced in effects 1 and 2 and the total distilled water flowrate.

Conductivity probes are used to measure the conductivity of seawater, distillate leaving each effect and the brine at the outlet of the waterbox.

- Pressure sensors are used to measure absolute pressure in each effect condensation cells and also to measure liquid levels in waterboxes.
- Control electrovalves are used to control falling film flowrate in each effect, cooling and heating water flowrates.

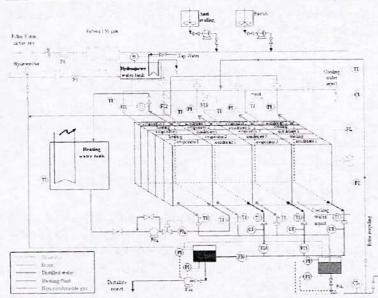


Figure 5: PID of the EasyMED unit (Parallelepiped at the centre represents the core of the process)

All sensors and control systems are linked to a PC acquisition system equipped with the Testpoint® software.

4. EXPERIMENTAL RESULTS OF THE SEA SIDE UNIT

4.1. Experimental conditions

Taking into account the results obtained with the single effect unit [2], and the three effects laboratory unit [3], preliminary tests have been done to choose the operating conditions for the seaside pilot. Tests were then performed with the following operating conditions:

- falling film flowrate on each plate = 85 L/h
- heat carrier fluid temperature varying between 65 and 80 °C
- heat carrier fluid flowrate varying from 3 to 7 m³/h (for two heating cells).
- logarithmic mean temperature difference between heating cells and evaporators of the first effect ≈ 10 °C
- logarithmic mean temperature difference between condensation cells and evaporation cells of the next effects between 4 and 6°C.

In this paper, only the influence of the top brine temperature is studied. Other experiments have been performed to conclude about the influence of heating fluid flowrate on the thermal performances [5].

4.2. Distillate production

All the experiments have allowed to produce good quality distillate with conductivity lower than $20 \,\mu\text{S/cm}$. These results confirm those obtained with the laboratory units.

The gear wheel flowmeters used to measure distillate flowrates were disturbed by the presence of vapor bubbles in the boiling liquid and were inefficient at temperatures higher than 65°C. For this reason, we calculate distillate flowrates assuming that all the thermal power released by the heat carrier fluid or by the condensing vapour was used to preheat the film to its boiling point and to vaporize part of it. Therefore, the production is slightly overestimated since calculations neglect thermal losses and suction of vapour with noncondensable gases by hydro-ejector.

Figure 6 presents the variation of the total calculated distillate flowrate as a function of the top brine temperature for a heating fluid flowrate of 7m³/h.

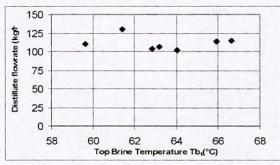


Figure 6: Variation of calculated distillate flowrate with top brine temperature for $Q_h = 7m^3/h$

As shown by figure 6, the production ranges between 100 and 130 L/h that is about 3m^3 /day. It does not vary significantly with top brine temperature (first effect brine temperature). The increase of top brine temperature is obtained thanks to the increase of heating fluid temperature. Moreover, the temperature difference between heating fluid and brine in the first effect was quite constant (≈ 10 °C) because of the increase of pressure inside effects. That leads to a quite constant power transferred between heating cells and evaporating cells of the first effect. Therefore the distillate production is not affected by the top brine temperature.

The average production per plate is around 11 L/h/plate for a thermal power density of about 11.5 kW/m² whereas the production for the single-effect unit [2] reached 17 L/h/plate for a power density of about 16 kW/m². This slight decrease of production arises from the fact that the fraction of energy used to preheat the film is higher in real conditions.

4.3. Gain Output Ratio

This coefficient is calculated as follows:

$$GOR = \frac{Q_{d1}.L_{v1}(T_{b1}) + Q_{d2}.L_{v2}(T_{b2}) + Q_{d3}.L_{v3}(T_{b3})}{Q_h \cdot \rho_h \cdot C_{ph}(T_{hi} - T_{ho})}$$

where Q_{dn} is the mass distillate flowrate in the effect n (kg/s); Q_h is the heating fluid flowrate (m³/s); C_{ph} is the heating fluid heat capacity (J/kg.°C); ρ_h is the heating fluid density (kg/m³); T_{hi} and T_{ho} are respectively the inlet and outlet heating fluid temperatures (°C); $L_{vn}(T_{bn})$ is the latent heat of vaporisation at the brine temperature of effect n (J/Kg).

The variation of GOR with top brine temperature is presented on figure 7. GOR seems to be constant and is not affected by the variation of the top brine temperature in the present configuration of the plant. The values are around 2.3, that is largely lower than the theoretical value of 3 for an ideal three-effects unit. This low value is due to the quite important fraction of supplied energy used to preheat salted water up to its boiling point. Indeed, this value is about 17% in each effect. The salted water inlet temperature is about 10°C lower than the boiling point. For classical MED, the brine coming from one effect is used to feed the following. In this case no energy is consumed for preheating and consequently higher GOR are obtained. The fraction of energy to preheat salted water can be reduced (and then GOR increased) by recycling more then 80% of brine to be mixed with the seawater leaving the cooling cells.

This observation about a constant GOR confirms the previous concerning the distillate production. It is practically important: the EasyMED process production in the present

configuration is not significantly affected by the hot source temperature variation. Therefore, the use of waste heat as a source of energy with low temperature (around 75°C) is possible.

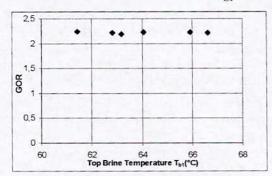


Figure 7: Gain Output Ratio as a function of top brine temperature for $Q_h = 7 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.4. Overall heat transfer coefficients between heating cells and first effect evaporators

The variation of the overall heat transfer coefficient between heating cells and first effect evaporators with the top brine temperature is presented on figure 8 for a heating fluid flowrate Q_h of 7 m³/h. The coefficient is calculated as follows: $K_{h-E1} = \frac{Q_h \cdot \rho_h \cdot C_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho})}{\Delta T m l_{h-E1} \cdot S_1}$

where S_1 is the total heat transfer area for the first effect (m²); $\Delta Tml_{h\cdot E1}$ is the logarithmic mean temperature difference between heating fluid and film in evaporation zones of effect 1.

To calculate this temperature difference, it is supposed that the film temperature is constant and equal to the top brine temperature T_{b1} (boiling temperature): $\Delta Tml_{h-E1} = \frac{\left(T_{hi} - T_{b1}\right) - \left(T_{ho} - T_{b1}\right)}{\ln\frac{T_{hi} - T_{b1}}{\ln\frac{T_{hi} - T_{b1}}{\ln\frac{T_{hi}}{L}}}$

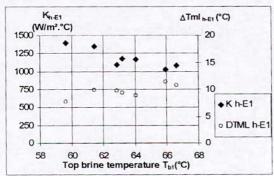


Figure 8: Heat transfer coefficient between heating cell and evaporator 1 and mean temperature difference as functions of top brine temperature for $Q_h=7 \text{ m}^3/\text{h}$.

It appears that the overall coefficient $K_{h\text{-El}}$ decreases with top brine temperature, this seems to be due to the slight increase of the logarithmic mean temperature difference \Box Tml $_{h\text{-El}}$. The overall heat transfer coefficient ranges between 1000 and 1400 W/m².°C. This confirms the order of magnitude observed with the single-effect unit [2]. These values are quite low with reference to those of classical MED tube heaters which values range between 1500 and 1800 W/m².°C [6] for Titanium tubes. But they are higher than values around 800W/m^2 .°C obtained with smooth vertical Ni-Cu tubes inside which seawater flows as a climbing film [7].

4.5. Overall heat transfer coefficients between effects

The variation of the overall heat transfer coefficient between condensation zones of effect 1 and evaporation zones of effect 2, K_{C1-E2} , with the top brine temperature is presented on figure 9. This coefficient is calculated as follows:

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

$$K_{C1-E2} = \frac{Q_{h} \cdot \rho_{h} \cdot C_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho}) - Q_{s2} \cdot Cp_{s2} \cdot (T_{b2} - T_{si2})}{\Delta Tml_{C1-E2} \cdot S_{2}}$$

where Q_{s2} is the salted water (seawater + recycled brine) mass flowrate flowing as falling films in the second effect evaporators (kg/s); C_{ps2} is the salted water heat capacity (J/kg.°C) T_{b2} is the second effect brine temperature (°C); T_{s2} is the second effect salted water inlet temperature (°C); S_2 is the total heat transfer area for the second effect (m²); ΔTml_{C1-E2} is the logarithmic mean temperature difference between condensing vapour of effect 1 and evaporating film of effect 2. The vapour temperature in effect 1 is assumed to be T_{b1} – v_1 (where v_1 is the boiling point elevation). The film temperature in evaporators 2 is assumed to be constant and equal to T_{b2} : $\Delta Tml_{C1-E2} = T_{b1} - v_1 - T_{b2}$

Measured values of K_{C1-E2} range between 2700 and 3700 W/m². °C for ΔTml_{C1-E2} ranging between 2.5 and 4°C. These values are of the same order of magnitude than for horizontal tube evaporators whose typical values are 3300 W/m².°C [6] for 1 mm thick tubes made of copper-nickel or aluminium-brass alloys which thermal conductivities are higher than that of stainless steel.

 $K_{\text{C1-E2}}$ is significantly higher than $K_{\text{h-E1}}$. It can be concluded that the main limitation to heat transfer in the whole process is between heating cells and evaporators of the first effect and not between the following effects. Therefore, production should be improved by using steam instead of hot water as a heat source.

Figure 9 shows that there is no clear dependence of K_{C1-E2} with the top brine temperature. It seems that the heat power transferred between effects 1 and 2 remains constant since a decrease of ΔTml_{C1-E2} is followed by an increase in K_{C1-E2} .

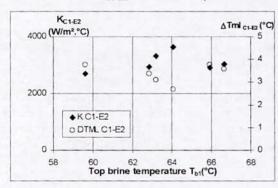


Figure 9: Heat transfer coefficient and mean logarithmic temperature difference between condenser 1 and evaporator 2 as a function of top brine temperature for $Q_h=7 \text{ m}^3/\text{h}$

The same phenomenon is observed for K_{C2-E3} . These values range between 1400 and 2200 W/m².°C, these lower values are due to the fact that ΔTml_{C2-E3} is higher (around 6°C). It is difficult to reduce, in our case, this temperature difference since the pilot is composed of only three effects and then the third effect temperature is quite low due to the cooling by seawater.

The heat transfer coefficient between last condensers and cooling cells has not been studied since the temperature difference between them is very high (around 28°C) and not representative of real conditions for a typical MED unit with 10 effects or more.

5. PRELIMINARY DESIGN OF A TEN EFFECTS DESALINATION UNIT

The unit was designed considering the following assumptions:

1/ The top Brine Temperature is limited to 70°C. According to Al-Shammiri [4], this unit can be classified as a Low Temperature MED (LT-ME) where the Top brine Temperature is less than 90°C. The TBT is restricted by:

<u>Congrès international</u> : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

- Corrosion and scaling problems: at 70°C scaling is very limited. One can use low grade materials for the plates like 316 L stainless steel.
- Material resistance: at 70 °C, piping and other auxiliaries made of plastic materials can be used.
- The possibility to use waste heat source with low temperature. The energy cost can then be strongly reduced.
- 2/ Temperature of the seawater used as cooling water is assumed to be 25°C (Mediterranean sea).
- 3/ Temperature difference between successive effects. In our case, that difference is assumed to be constant and equal to 4°C.
- 4/ The core of the process should be mounted and transported using standard container. The number of cells in parallel and in series is therefore limited by the standard container dimensions (6m length and 2.5m width). 50 cells in parallel lead to a width of about 1.8 m, whereas 10 effects in series give a length of 5.5m.

Considering the maximum temperature difference between the top brine temperature (70°C) and cooling water (25°C)(assumptions 1 to 3), as well as the size limitation of the container (assumption 4), it is proposed to use 10 effects in series.

5/ The power density between heating cells and evaporating cells of the first effect is about 15 kW/m^2 [2]. Since the plate exchange area between the 25 heating cells and the 25 first effect evaporation cells is 35 m^2 , the required thermal power has to be 530 kW. To reach such a power density, the temperature difference between those cells is about 12°C . With these conditions, the expected distillate flowrate is around 17 L/h/active plate that means $20 \text{ m}^3/\text{day}$ for the first effect.

6/ According to the first results obtained with the seaside three effects unit, for which GOR is around 2.2 we can at least expect a GOR of 7.3 for the ten effects unit.

With the previous hypotheses, the performances are calculated and are given in table 1.

Table 1: Summary of the predicted performances of the ten effect unit and 50 cells in parallel

Cooling seawater flowrate	m ³ /day	1200
Heating water flowrate	m³/day	1800
Inlet heating water temperature	°C	85
Top Brine Temperature	°C	70
Temperature Difference between effects	°C	4
Mean seawater temperature	°C	25
Power supply	kW	- 530
GOR	1	7.3
Salted water Feed	m ³ /day	1020
Distillate flowrate	m³/day	150
Specific Consumption	kWh/ m ³	85

Further tests on seaside unit will lead to optimize the operating conditions and consequently improve the performances, especially the GOR. Moreover the increase of the number of cells in parallel comparing to the present seaside unit will also increase the performances in reducing the side-effects, especially in increasing the fraction of surface really active for heat transfer.

One is entitled to hope a GOR of about 8. In this case, the production would reach 160 m³/day and the specific consumption decreases to 80 kWh/m³. This value can be significantly reduced if vapour compression is combined with our process like in many present industrial plants using MED technology [4].

Table 2: Size of the ten effects unit

Length* Height* Width	m	5.5*2*1.8
Volume	m ³	20
Weight	Tons	9.1
Heat exchange area	m ²	380
Daily Water production / Unit volume	m³of water per day /m³of unit	7.5

Table 2 summarizes dimensions of the unit core. We can easily notice that the EasyMED process is really compact. Comparison of the ten effects unit with other industrial units shows that the specific production per unit volume is competitive. In Mirfa (UAE), a spray film low temperature plant with four units each composed of four effects produces $7500\text{m}^3/\text{day}$ [4]. Each effect sizes 4.8m diameter, 12m length and then 3472 m^3 for the whole unit. It weighs about 240 tons. The ratio water production per unit volume is about $2\text{m}^3/\text{day}/\text{m}^3$ unit.

6. CONCLUSION

First tests with the three-effects seaside EasyMED unit have demonstrated the feasibility of this innovative process. The heat transfer coefficient between heating cells and the evaporation cells of the first effect reached 1400 W/m².°C. The heat transfer coefficient between condensation cells and evaporation cells reached 3700 W/m².°C. Thanks to brine recycling it has been possible to reach a daily production of 3 m³ and GOR of 2.3. Further experiments will enable to optimise the operating conditions and increase performances. The preliminary design of a ten-effects industrial unit is proposed using the results of the first tests as a calculation basis. The plant is expected to produce 150m³/day with 50 cells in parallel (length 5.5m, height 2m, width 1.8m). Further studies will enable to refine the preliminary design.

Acknowledgements

This work was supported by the European Union through the 5th PCRD EasyMED project EVK1-CT-2001-00095. The authors gratefully acknowledge the Italian Navy for the hosting of the experimental unit and especially Mariperman staff for their technical help.

7. BIBLIOGRAPHY

- [1] V. Renaudin, P. Le Goff, J.M. Hornut, Method for distilling a fluid with horizontal vapour transfer into a condensation zone and modular device for implementing said method, International patent WO 00/04968 by NANCIE (2003).
- [2] F. Kafi, V. Renaudin, D. Alonso, J.M. Hornut, New MED plate desalination process: thermal performances, , Desalination, 166 (2004) 53-62.
- [3] V. Renaudin, F. Kafi, D. Alonso, A. Andreoli, Performances of a three-effect plate desalination process, Proceeding of the Conference Desalination and the Environment, La Spezia, Italy, May2005.
- [4] M. Al-Shammiri, M. Safar, Multi-effect distillation plants: state of the art, Desalination, 126 (1999) 45-59.
- [5] F. Kafi, V. Renaudin, D. Alonso, J.M. Hornut, M.Weber, Experimental study of a three-effect plate evaporator: Seawater tests in La Spezia, Proceeding of the Conference Desalination and the Environment, La Spezia, Italy, May2005.
- [6] A.M. El Nashar, Predicting part-load performances of small MED evaporators a simple simulation program and its experimental verification, Desalination, 130 (2000) 217-234
- [7] P. K. Dey, M.N.A. Hawlader, S.K. Chou, J.C. Ho, Performance of a single-effect desalination system operating with different tube profiles and materials, Desalination, 166 (2004)69-78.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

REFORME DE LA POLITIQUE DE LA GESTION DE L'EAU AU LIBAN POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE

REFORM OF WATER POLICY MANAGEMENT IN LEBANON FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT

HALWANI Jalal

Université Libanaise B.P. 246 Tripoli - LIBAN Tel: 961 3 674 817 - Fax: 961 6 436 740 Email : jhahvani(Wyheria net.lb; jhahvani(Wul.edu.lb

RESUME

Le développement durable des ressources en eau du Liban est devenu depuis très peu de temps la hantise des autorités nationales, à cause de la poussée démographique, et les développements industriels et agricoles qui pèsent de plus en plus sur l'équilibre de l'offre et de la demande. En effet, si dans le passé les ressources en eau ont paru suffisantes, voire même abongante, la situation actuelle n'est plus tellement rassurante. En analysant les données hydrologiques et hydrométriques, le Liban parait comme potentiellement capable d'avoir une autonomie, par contre les quantités exploitées infirment cette constatation. Le Liban apparaît donc comme l'exemple type d'un pays qui reçoit des quantités de pluie importantes mais qui se trouve devant des grandes difficultés financières et techniques pour les mobiliser. Cela pourra avoir comme conséquence de freiner relativement son développement surtout sur le plan agricole lorsqu'on sait que les surfaces irriguées actuellement représentent à peine 40% des surfaces irrigables.

Dans les années quatre vingt dix, naît un projet de réforme visant à la réorganisation institutionnelle du secteur de l'eau qui intègre les principes de la "bonne gouvernance ". Le but est d'assurer l'efficacité des réformes, leur démocratisation dans un pays marqué par le confessionnalisme et la fragmentation de son territoire. L'orientation libérale de la réforme prend corps et la concession du service de l'eau selon le modèle français de la gestion déléguée est retenue, Tripoli a été choisie pour un test pilote de cette gestion. Le Ministère de l'Energie et l'Eau a commencé depuis très peu de temps à appliquer le principe fondamental de la gestion durable de l'eau qui requiert le recours à la planification et à la gestion intégrée et implique l'existence d'objectifs de moyens et de longs termes. Un vaste mouvement de restructuration des autorités chargées de gérer l'eau a été opéré. Les 22 offices et 200 commissions dispersés du nord au sud du pays ont été ramenées à 4 augmentant de la sorte l'efficacité et les moyens au niveau de la gestion et des services. Des modifications législatives sont opérées pour dynamiser les problèmes de fonctionnement et d'entretien par la participation d'opérateurs spécialistes privés. Des efforts sont aussi déployés pour gérer la demande et mieux contrôler son évolution. La construction d'une trentaine de barrages est planifiée. Une attention particulière est portée aux matériels et techniques permettant de réduire les consommations d'eau tant dans les domaines domestiques et industriels que dans les domaines agricoles. Une approche scientifique et efficace est aussi mise en oeuvre pour protéger la ressource en agissant sur les sources de pollution et en définissant avec grand soins les périmètres de protection. La révision de la tarification de l'eau devrait réduire le déficit de la production de l'eau.

Mots clefs: Gestion intégrée-Ressources en eau- Développement durable- Liban.

I- INTRODUCTION

Au Liban, le problème de l'eau est une question vaste et complexe : les pénuries ne sont pas dues essentiellement à l'insuffisance des ressources mais à l'absence d'une structure adéquate pour la gestion et la maintenance des réseaux et des équipements. Le Liban connaît une période humide assez abondante durant 5 mois (décembre à avril) et une période plutôt sèche de 6 mois (Mai à Octobre). De la sorte les besoins peuvent être satisfaits durant les mois humides alors que les mois secs révèlent une pénurie qui devrait aller en s'aggravant avec la croissance de la demande et ce, au cas où aucune action ne serait entreprise pour augmenter les ressources disponibles.

Les ressources en eau au Liban sont estimées par le ministère de l'eau à 4055 millions de mètres cubes (MMC) et son potentiel en eau de surface à 2500 MMC; le reste étant composé d'eaux souterraines et d'écoulements d'eau des sources. Le montant total de la demande en eau dans les secteurs domestique, agricole et industriel est actuellement estimée à 1400 MMC et les prévisions indiquent qu'elle atteindra 3850 MMC en 2025. Bien que pour le moment il n'y ait pas de pénurie d'eau au Liban, on s'attend à ce qu'en 2025 elle soit de 20 %. Selon les statistiques de l'ESCWA (Commission Economique et Sociale pour l'Asie Occidentale de l'ONU), la quantité d'eau utilisable actuellement est d'environ 2854 MMC (2250 MMC en surface et 600 MMC souterraine), contre une demande de 1412 MMC en 2000, (67% pour l'agriculture, 22% pour la demande domestique, 11% pour l'industrie). Cette commission indique que le Liban pourrait connaître de sérieuses pénuries d'eau d'ici 2025 si le gaspillage et la gestion inefficace ne sont pas freinés.

Le non traitement des eaux usées, l'exploitation illégale de l'eau souterraine, la contamination (usage excessif de pesticides et de fertilisants), le recours à des moyens d'irrigation obsolètes et la pollution industrielle sont également causes de pertes.

Autre problème au Liban, le prix de l'eau est plus bas que le coût de production. Il faudrait donc réviser la tarification de l'eau car seuls 40% des libanais payent l'eau et les montants perçus ne couvrent pas les frais opérationnels et de maintenance.

II- REFORME DE LA POLITIQUE DE LA GESTION L'EAU

En vue d'améliorer la gestion de l'eau dans le cadre d'une pratique de gestion intégrée et développement durable, le Ministère de l'Energie et de l'Eau a lancé plusieurs réformes. Il s'agit principalement de la loi de regroupement et de fusion des 21 offices et 200 commissions des eaux en quatre établissements basés sur des considérations hydrogéologiques ou géographiques selon le modèle français et celle du regroupement des eaux et eaux usées sous la gestion des établissements de l'eau. Le gouvernement a nommé un Conseil d'Administration pour chaque office et procède actuellement à la formulation de leurs structures organisationnelles. Il accordera une période transitoire de 2 ans avant que les nouveaux offices ne deviennent totalement opérationnels. Il a également chargé une banque locale de les conseiller sur la meilleure stratégie de privatisation du secteur. La banque propose au cas par cas différents scénarios : contrat de concession, de gestion déléguée ou de privatisation.

Le processus de libéralisation du secteur a débuté par la signature d'un accord concernant l'Office des eaux de Tripoli (OET), chef lieu du nord. Sa gestion a été confiée à la société française « ONDEO » (ex Lyonnaise des Eaux) qui a remporté l'appel d'offre. Le contrat de quatre ans porte sur un total de 20 millions d'Euro qui seront financés par l'Agence Française de Développement. Neuf millions seront consacrés au financement de la gestion déléguée et 11 millions d'Euro au financement des travaux d'infrastructure nécessaires pour la réhabilitation du réseau. Il est prévu que le contractant de gestion opèrera les installations et

équipements de l'OET. Il gèrera aussi la facturation et la collecte des recettes de même que les ressources humaines et financières de l'office. En outre, il est prévu que le contractant de gestion devra superviser la construction d'un troisième réseau d'adduction d'eau potable dans l'ancienne partie de la ville et l'augmentation de la capacité de la station de traitement de l'eau potable à Bahsas.

Le Conseil de Développement et de Construction (CDR) a également lancé un appel d'offres pour des consultations en vue de préparer les documents d'adjudication pour la remise de la gestion de l'Office des Eaux Potables et de l'Irrigation de Baalbeck-Hermel (OEIBH) au secteur privé à l'instar du contrat de gestion de l'OET. Il est prévu que les documents d'appel d'offres seront prêts courant 2005. Le CDR envisage que la participation du secteur privé dans la gestion de l'OEIBH contribuera largement à l'amélioration à grande échelle des services fournis par l'Office et, en même temps, à l'amélioration de la productivité et de l'efficacité de l'Office. Ce projet sera financé par la Banque mondiale pour environ 10 millions de dollars.

Quant à l'Etablissement des Eaux du Liban Sud, le CDR a conclu avec un consultant français pour des consultations au sujet des options qui s'offrent pour la gestion par le secteur privé de cet office. Le CDR désignera par la suite un consultant pour préparer les documents d'adjudication relatifs à la participation du secteur privé à la gestion de ces offices. L'Agence française de Développement financera les contrats de consultants tandis que le contrat de gestion sera financé conjointement par l'Agence et la Banque mondiale.

L'Etablissement de Beyrouth et de Mont Liban regroupe 1.3 millions d'habitants soit 1/3 de la population totale du pays et les 2/3 de sa population urbaine), c'est l'établissement le plus ancien, le mieux équipé et le plus structuré. Il a été décidé que l'étape d'une gestion déléguée n'est pas nécessaire et le capital de l'établissement devrait être ouvert à un investisseur privé.

III- LES RESSOURCES EN EAU ET LE DEVELOPPEMENT DURABLE

Pour assurer un développement durable des ressources il faudrait tenir compte de la réalité géologique existant. Etant donné que le réseau de karstification intéresse 65% environ de sa surface, et en l'absence de mesures préventives, le développement des zones rurales et urbaines aura un impact négatif, sur la qualité de la ressource qui sera soumise à des dégradations parfois irréversibles.

Plusieurs actions sont entreprises à l'heure actuelle pour remédier a la situation actuelle: amélioration quantitative des disponibilités en particulier par la construction des barrages, préservation de la qualité en réduisant les sources de pollution, mise en place d'un réseau de mesures hydrométrique et la révision de la tarification de l'eau. Une attention particulière est portée aux matériels et techniques permettant de réduire les consommations d'eau tant dans les domaines domestiques et industriels que dans les domaines agricoles.

1- Construction des retenues d'eau

Le Ministère de l'Energie et de l'Eau a récemment adopté un plan décennal destiné à mettre fin à 40 ans de gaspillage, prévoyant la construction d'une trentaine de barrages et lacs artificiels dans les différentes régions libanaises. Conscient de l'urgence de rationaliser la gestion de l'eau, le gouvernement avait élaboré en 2000 une stratégie décennale sur ce plan. Cette stratégie vise à assurer des ressources supplémentaires (par le stockage et la recherche de nappes aquifères) et à exécuter des projets de traitements des eaux usées, d'irrigation, d'alignement, de rectification des cours d'eau et d'équipement électrique. Ce plan tend à réduire les déséquilibres de distribution entre les régions et à la réhabilitation de certains réseaux et conduites d'eau. Les barrages actuels stockent 850 millions de m³ (MMC). Le barrage de Karaoun, qui génère de l'électricité et fournit de l'eau pour l'irrigation, possède la

plus grande capacité de stockage (220 MMC). Il régule le flux du Litani, principal cours d'eau au Liban, irrigue la vallée de la Bekaa avant de se jeter dans la Méditerranée. Mais cela est insuffisant et le plan décennal prévoit la construction de 30 barrages, dont trois ont déjà été octroyés à des maîtres d'oeuvre. Le plus important, celui de « Chabrouh », le plus haut barrage du Moyen-Orient, (d'une capacité de stockage de 11 MMC (millions de m³) et d'une valeur de 45 millions de dollars, est en cours de construction par un consortium franco-libanais.

D'autre part, le Liban et la Syrie ont entériné le projet de construction, en territoire libanais, d'un barrage sur l'Oronte d'une capacité de 3 millions de m³ et du partage des eaux de ce fleuve et de ses affluents. Le fleuve a une longueur totale de 570 km dont 18 en territoire libanais. La part revenant au Liban sera de 80 millions si le débit, au niveau du Hermel, est supérieur à 400 millions de m³. En cas de débit inférieur, le quota libanais représentera 20% du débit. Le Liban continuera à profiter des quantités d'eau provenant des puits déjà creusés dans les limites du bassin de l'Oronte, sans que ces quantités ne soient déduites de son quota; alors que les quantités provenant de puits éventuellement creusés après la date de l'accord feront partie des 80 millions de m³. Les travaux d'exécution du barrage seront entamés en 2005. Il sera capital pour le développement de la région du Hermel, l'une des régions les plus pauvres et les plus négligées du Liban.

2-Préservation de la qualité

La préservation de la qualité implique la réduction des sources de pollution en entreprenant des recherches et des études permettant de définir les zones de protection des ressources et d'élaborer une série de mesures et de réglementations susceptibles de garantir les actions préventives dictées par les circonstances. La construction d'une dizaine de stations de traitement des eaux usées et des milliers de kilomètres de conduites d'eau usées est prévue dans les années à venir. Ceci devrait réduire sensiblement le taux de pollution des ressources en eau estimé a 64%. Ces stations seront gérées par des opérateurs privés et devraient rendre compte aux nouveaux Etablissements des Eaux.

3-Réseaux de mesure

Le Liban disposait avant l'année 1975 d'un réseau hydrologique de 142 stations dont la plus ancienne remonte à 1876 et d'un réseau hydrométrique de 95 stations fixes dont la plus ancienne remonte à 1931. Pour le reste les séries varient entre 10 et 40 ans. De même ces séries sont parfois incomplètes avec des mesures de température, de vitesse du vent, d'humidité d'ensoleillement..., localisées en certains endroits. Après 1975, plusieurs stations ont été détruites durant les événements et le réseau ne dispose plus que du quart des stations à peine. Il est évident qu'il est difficile d'envisager des projets de grande envergure avec peu de données et de renseignements sur la ressource. De même, les analyses physico-chimiques et bactériologiques ne sont pas continues et ne permettent pas de suivre régulièrement l'évolution de la qualité des ressources. Des efforts sont entrepris pour remettre en place un réseau de mesures efficace pour les principaux paramètres hydrologiques. Enfin la réorganisation des réseaux de mesures hydrauliques et hydrologiques devra permettre de constituer des bases de données, éléments essentiels de la planification.

4- Tarification de l'eau

Une nouvelle étude tarifaire basée sur les coûts réels est aussi envisagée dans le but d'arriver à l'équilibre financier des offices chargés de la ressource et à une réduction de la consommation inutile.

IV-CONCLUSION

La nouvelle loi sur l'eau donnant naissance aux quatre Etablissements, constitue l'ultime étape d'une longue marche vers le développement durable des ressources en eau au Liban. Le fait qu'il y ait 22 offices et plus de 200 commissions avec des législations différentes d'un office à un autre constituait un handicap majeur vers la gestion durable. Les mesures préventives et les actions décidées pour augmenter les quantités disponibles et améliorer la qualité devraient combler les besoins futurs. On estime que d'ici 2020, environ 90% de la population libanaise aura accès à l'eau potable.

Dans ce contexte, si la territorialisation de la gestion de l'eau apparaît certes comme une aubaine pour repenser les solidarités territoriales et accéder aux financements internationaux, elle conforte aussi les verrouillages politiques et attise les luttes institutionnelles pour le contrôle des territoires de l'eau. La décentralisation politico-administrative semble se combiner à terme avec une décentralisation économique reposant sur le couple concession, gouvernance de bassin versant via la régionalisation des Etablissements.

REFERENCES

- Abboud, M., & Aker, N. (1986). The study of the aquiferous formations of Lebanon through the chemistry of their typical springs. Lebanese Science Bulletin, 2(2), 5–22.
- Comair, F. (1998). Problems with pollution and squandering of surface water. Abaad No. 7, June pp. 14–19. Lebanese Center for policy studies, Beirut, Lebanon. (in Arabic).
- ➤ El-Fadel, M., Zeinati, M., & Jamali, D. (2000). Water resources in Lebanon: Characterization, water balance and constraints. Water Resources Development, 16(4), 619–642.
- ➤ ESCWA, Economic and Social Commission for Western Asia. (1999). Water vision for the Arab countries of Western Asia: Alternative water policies. In: Proceedings of expert group meeting on harmonization of environmental standards in the water sector of ESCWA member states, Beirut, 28 September—1 October 1999 (E/ESCWA/ENR/1999/WG.2/12).
- Fawaz, M. (1992). Water resources. In: Proceedings of the conference on the status of waters in Lebanon, Beirut, 27–28 November 1992. UNICEF, Lebanon, pp.17–28 (in Arabic).
- ➤ Geadah A. (1996). Recent Contributions to Planning and Evaluation of Water Resources and Demands in the Framework of Hydro-Agricultural Development in Lebanon. National Conference on Water Resource Data System in Lebanon. LNCSR ACSAD.
- ➤ Hajjar, Z. (1993). Water needs in Lebanon: Potable, agricultural and industrial. In Proceedings of the workshop on water affairs in Lebanon and peace process. Project series of Lebanon life studies 5, Lebanese Center for Studies, Documentation and Publication. Beirut, Lebanon (pp. 67–80) (in Arabic).
- ➤ Jaber B. (2000). Reform Envisaged in Lebanon. Seminar on Management of Water Infrastructures. Regional Water and Environment Centre.
- ➤ Jaber, B. (1993). Water availability in Lebanon. In Proceedings of the workshop on water affairs in Lebanon and peace process. Project series of Lebanon life studies } 5, Lebanese Center for Studies, Documentation and Publication. Beirut, Lebanon (pp. 53–66) (in Arabic).
- ➤ Jaber, B. (1996). Country paper: Lebanon. In: Proceedings of expert group meeting on the implications of agenda 21 for integrated water management in the ESCWA region, Amman 2–5 October 1995. United Nations, New York.

- Jurdi, M. (1992). A national study on the quality of potable water in Lebanon. In Proceedings of the national workshop of the status of water in Lebanon, United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF). Beirut, Lebanon (pp. 145–173) (in Arabic).
 - Khair, K., Aker, N., Haddad, F., Jurdi, M., & Hachach, A. (1994). The environmental impacts of humans on ground water in Lebanon. Water, Air and Soil Pollution, 78, 37–49.
 - Lebanese Official Journal (2000) Law No.221 Concerning Organisation of the Water Sector and its Amendments (Arabic).
 - Mallat, H. (1995). Water laws in Lebanon. In J. A. Allan, & C. Mallat (Eds.), Water in the Middle East: Legal, political and commercial implications (pp. 151–174). London, IB: Tauris Publishers.
 - Moudallal, S. (1997). Water resources in Lebanon. Dar Al Fikr Al Arabi. Beirut, Lebanon (in Arabic).
 - Owaydah, K. (1993). Actual irrigation plans of Litani River. In Proceedings of the workshop on water affairs in Lebanon and peace process. Project series of Lebanon life studies} 5, Lebanese Center for Studies, Documentation and Publication. Beirut, Lebanon (pp. 127–149) (in Arabic).
 - > Sene, K. J., March, T. J., & Hachache, A. (1999). An assessment of the difficulties in quantifying the surface water resources of Lebanon. Journal of Hydrological Science, 44(1), 79–96.

PROBLÈMES DE L'EAU DES PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT MÉDITERRANÉENS SOUS LES IMPACTS DE CHANGEMENT DE CLIMAT

WATER PROBLEMS OF MEDITERRANEAN DEVELOPING COUNTRIES UNDER THE CLIMATE CHANGE IMPACTS

Dursun Yildiz* et Hamza Ozguler**

* Hydro-political Expert, General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) Investigation and Planning Department - 06100, Yucetepe, Ankara, Turkey

"Hydrological Expert, General Directorate of State Hydraulic Works (DSI)

Investigation and Planning Department - 06100, Yucetepe, Ankara, Turkey

Hamza.ozguler@dsi.gov.tr

ABSTRACT

The Mediterranean basin is one of the area with opposite demographic characteristics, contrasted levels of development and renewable water resources as well as contrasted contribution level of sub regions to the global warming.

For the reasons mentioned above, it can be concluded that one of the most critical mid and long-term threat to the developing countries in the Region is the potential adverse impacts of the climate change on freshwater quality and availability, which implies that Mediterranean Countries have to act together for their own common future and the developed North and developing South must pay serious attention to causes and consequences of global warming problem.

The geo-position of Turkey, combining some different type of characteristics found in the region, and remaining in the position between the North and the South, can be considered to be as a representing country of the whole region which shows extreme levels of the climate variables.

Considering the contrasted level of emission from the developed and developing countries with respect to the global warming problem, and being aware of that the analysis of climate change impacts in the Mediterranean requires analysis of the interaction between global changes and regional activities, this paper focuses on the potential impacts of climatic change on limited fresh water resources in the region, while informing some local information on Turkish experiences regarding to the challenge of global warming.

Key words

Mediterranean basin, Climate change, Water resources, Turkey

RESUME

Le bassin méditerranéen est l'une des frontières rares qui sépare deux secteurs adjacents avec des caractéristiques démographiques opposées, niveaux contrastés du développement et ressources d'eau renouvelables aussi bien que le niveau des contributions au chauffage global.

Pour les raisons mentionnées ci-dessus, il peut conclure qu'un de la mi et à long terme menace la plus critique pour les pays en voie de développement dans la région est les impacts défavorables potentiels du changement de climat sur la qualité et la disponibilité d'eau douce, qui implique que les pays méditerranéens doivent agir ensemble pour leur propre futur commun et le du nord développé et les Sud se développants doivent prêter une attention sérieuse aux causes et aux conséquences du problème de chauffage global.

La geo-position de la Turquie, combinant un certain type différent de caractéristiques trouvées dans la région, et restantes dans la position entre le nord et les Sud, peut être considérée pour comme pays de représentation de la région entière qui montre les niveaux extrêmes des variables de climat.

Vu le niveau contrasté de l'émission des pays développés et en voie de développement en ce qui concerne le problème de chauffage global, et se rendre compte de cela l'analyse des impacts de changement de climat dans le méditerranéen exige l'analyse de l'interaction entre les changements globaux et les activités régionales, foyers de cet article sur les impacts potentiels du changement climatique sur les ressources limitées d'eau doux de la région, tout en informant de l'information locale sur des expériences turques considérant au défi du chauffage global

Mots clés

Bassin méditerranéen, changement de climat, ressources d'eau, Turquie

1. THE GLOBAL CHANGE ISSUES AND GLOBAL CLIMATE CHANGE

Some of the outgoing infrared radiation is absorbed by naturally occurring atmospheric gases-principally water vapor (H₂O) as well as carbon dioxide (CO₂), Ozone (O₃), Methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), and clouds (Benarde, 1992).

This absorption is termed the natural greenhouse effect because these gasses, which are termed greenhouse gases, operate much like a greenhouse.

This natural process is critical to the sustenance of life on earth elevating surface temperatures by about 33° Celsius (°C) (University of Capetown, 1999).

In the past, the net incoming solar radiation at the top of the atmosphere was balanced by net outgoing infrared radiation, contributing to climatic stability. However with the advent of fossil –fuel burning plants to support industry, mass use of automobiles and the energy demand of modern consumers "human began to interfere seriously in the composition of the atmosphere" (Pearce, 1995)

Total world now produce approximately 5.5 gigatons of Carbon annually, nearly all of which enters the atmosphere as CO₂. An additional 1.5 gigatons is released into the atmosphere from land-use changes, such as deforestation. As a consequences, concentration of carbon dioxide in the atmosphere have increased approximately 25 per cent since 1850, from 270-280 parts per million by volume to over 370 ppm today (Jardine, 1994; IPCC, 2001a), most of the increase occurring in the past fifty years. Anthropogenic activities have also resulted in substantially increased atmospheric concentration of other greenhouse gases.

Increases in the concentration of greenhouse gases reduce the efficiency with which the earth's surface radiets to space. It results in an increased absorption of the outgoing infrared radiation by the atmosphere, with this radiation re-emitted at higher altitudes and lower temperatures.(IPCC, 2001b). This resulting change in net radioactive energy, which is termed radiative forcing, tends to warm the lower atmosphere and the earth's surface (Wigley, 2001). The amount of radiative forcing that occurs is dependent on the magnitude of increased in the concentration of greenhouse gases, the radioactive properties of the gases, and the concentrations of existing greenhouse gases in the atmosphere. Overall, CO₂ accounts for 65 percent of the total radiative forcing resulting from anthropogenically released green house gases, methane contributes an additional 19 percent chloroflourocarbons 10 per cent and nitrous oxide about 6 percent (Aplin, 1999).

Therefore CO₂ emissions is considered as a basic parameter to compare emissions released by some developed countries and Mediterranean Countries. Most of the Mediterranean Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

developing countries emission rate per capita is lower then OECD average as well as world average as shown in Figure 1. Contrasted levels of CO₂ emissions contributions to the global warming in Southern and Northern Mediterranean Countries is also shown in Figure 1.

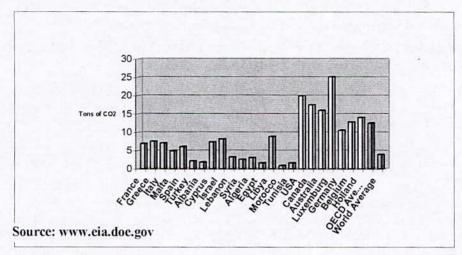


Figure 1: Per Capita CO2 Emissions From the Consumption and Flaring of Fossil Fuels in Mediterranean and Some Developed Countries (1980-2002 Average)

The latest assessment by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) concluded that rising concentrations of greenhouse gases are the primary cause (IPCC, 2001a) for the increase in average global temperatures of about 0.6 °C in the past century (UK Department, 1999). Global temperature departure from long term mean during the past century is also shown in Fig. 2.

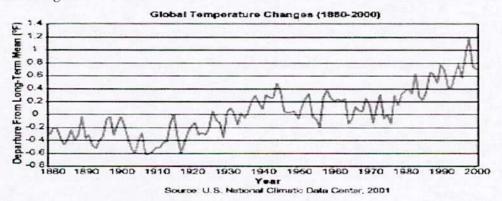


Figure 2: Global Temperature Changes (1880-2000)

2. PROJECTIONS FOR MEDITERRANEAN BASIN

Inter-annual to decadal climate variability and the tendency towards extended drought periods as well as precipitation concentrating in heavy rainfall events falling on dried-out hard soils or burned areas and causing flash floods are severe threads for ecosystems, economy and human life in the Mediterranean area.

In the global map that shows the modeled expected precipitation changes under the increasing greenhouse effect in the recently published IPCC2001 assessment report, the Mediterranean area is spotted as "red". In the so-called scenario, by the year 2100, the global temperature increases is 3.8 K, the summer precipitation decreases substantially by -20 %. For the Mediterranean, these results may be sound somewhat curious because in regions

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger where there is hardly any rain during the summer months it is very unlikely that there will be dramatically less in the future and in areas where during the last years extreme floods occurred in autumn or winter people ask themselves whether this is a first sign of climate change. (Bolle, 2004). However, the general conclusion is that the Mediterranean system is not understood well enough to stimulate regional climate development.

3. INFORMATION ON THE EXISTING CLIMATE AND HYDROLOGICAL CONDITIONS OF THE MEDITERRANEAN BASIN

It is known that both the seasonal variability as well as the multi-annual variability of the water cycle are high in the Mediterranean region. Very recently extreme summers with extended dry periods have been experienced in various parts of the Mediterranean area.

If the illustration of the various components of the water cycle is considered, it is seen that a large fraction is evaporated by the strong solar input which leads to the water deficit in summer.

Angelakis and Kosmas (1998) point out that by combining the projected renewable water resources with the projected population development there may be dramatic decrease of the water resources per capita in 2050 by 50% in Algeria, Egypt, Israel, Morocco and Tunisia. 60% reduction is expected for Lebanon, 40% for Turkey, and 25% for Libya and Syria. Increases are expected for Greece, Portugal, Italy, and Spain.

4. POTENTIAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE IN THE MEDITERRANEAN BASIN

Over the 20th century, the global surface temperature increased by more than 0.6 °C. The rate of change for the period since 1976 is roughly three times that for the past 100 years as a whole. In the northern hemisphere, the 1990s were the warmest decade with an average of 0.38 °C. (WMO, 2005)

Water resources of the Mediterranean countries will be also effected by climate changes. The effects and extent of these changes are as yet uncertain and can not be easily quantified nor foreseen. Potential impact of climate change in the Mediterranean Basin can be classified as follows;

4.1. Climatic Impacts

Climate anomalies and events in 2004 have significantly affected also the Mediterranean region. According to the WMO report (WMO, 2005), in the area of Mediterranean, including the Countries of Jordan, Syria, Greece and Turkey, a wide spread winter storm in February has been observed in 2005. In addition to this, Approximately 60 cm of snow in Jordan was measured in Jordan.

For many countries in the Mediterranean basin, as in other parts of the world, some extreme meteorological events have been very common, having disastrous dimensions in some cases. While most of the Mediterranean countries have been experiencing extreme rainy periods, first snow, highest temperature values, great damage due to flooding, extreme weather conditions, floods and landslides because of heavy storms, strong winds, hottest summer of the century, the driest summers, Turkey has being mostly affected by storms.

4.2. Hydrological Impacts

The hydrology of the Mediterranean is characterized by high rainfall intensities, rugged orography, rapid changes in land use and cover and small and highly variable recharge rates. The implications of global climate change on the hydrology of the area are highly uncertain with respect to predictions of precipitation and precipitation variability. In contrast, land use

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger change and human use of water are likely to have a profound impact on the water cycle of the area. (ENRICH, 1996)

Human induced land use change and human use of water are particularly important in assessing the impact on water availability in the region in long term development of agricultural and other-socio practices.

Environment, especially climate, seems to have had important influence in the historical development of the Mediterranean region. However, still no generally accepted reconstruction of past environmental fluctuations exists and detailed chains of causes and impact are unknown. Although coincidence of reconstructed droughts with the abandonment of cities points to a causal relationship, it is not yet clear whether human activities contributed to the desertion of cities due to mismanagement, and whether climate changes were governed solely by external factors or also by internal factors like land use. As global warming seems more and more likely and water shortage could become the major threat for the Mediterranean region, it is urgently up-to-date to clarify the mechanisms of climate variations in the Mediterranean and to develop strategies to prevent or to cope with water shortages.

4.3. Hydro-geopolitical impacts

Even if it is not quantitatively certain yet but a certain consensus exists regarding a presumed increase in climate contrast in the Mediterranean basin. In the South, a drier climate is probable in the 21st century and it will have the dual effect of reducing resources and increasing water demand, by intensifying evaporation and accentuating droughts. In the North, the climate is expected to become more contrasted-with more rainfall in winter and drier, less regular summers that could influence water production and increase water demand in summer (Margat and Vallee, 2000).

In the Northern Mediterranean Countries demand is growing the least where water availability is the greatest, inversely in the Southern Mediterranean Countries demand is growing the most in places where water resources are scarcest and most utilized.

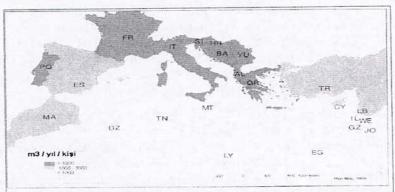


Figure 3: Hydro-geopolitical sub-units in the Mediterranean Region, 1999 (Plan Blue, 1999 Note on the unit: The translation of "m3/yil/kisi" given in Turkish is "m3/year/person")

Considering Plan Blue studies predictions it seems that most of the Northern Mediterranean Countries rich in water and where water demand is stable or even decreasing will not affected by potential impacts of climate change as quantity shortage problems except for short periods of time and for localized areas.

Western Mediterranean Countries, with overall excess resources (1000 to 3000 m³/year /cap), but where demands are more or less increasing, are more sensitive to structural shortages related with climate changing and will be affected as quantity shortage problems.

Southern Mediterranean Countries and Islands where the resources (less then 1000 m³/year/cap) are already saturated and demographic growth is strong are already experiencing structural shortages. This condition is likely to turn into water scarcity in the region by potential impacts of climate change.

Overall evaluation of the Mediterranean basin with the potential impacts of climate change shows that the sub-regions of the basin will be affected adversely and this will increase the gap between the regions. This potential adverse regional impacts of the climate change on the freshwater quantity is likely to change the current hydro-geopolitical sub units conditions (Fig. 3).

This can increase the strength and cause instability in the region. Therefore developed North and developing South must also be aware of consequences of hydro-geopolitical impacts of the climate change in the region.

Being aware of the consequences of this potential problem Mediterranean Countries have to act together for their own common future.

5. POTENTIAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON TURKEY

Recently, there has been increasing interest in climatic trends in Turkey as a result of concern about man-made environmental effects and because long climatic data series are now becoming available.

It is now well documented that climate change will lead to an intensification of the global hydrological cycle and can have major impacts on regional water resources. A change in the volume and distribution of water will affect both ground and surface water supplies for domestic and industrial uses, irrigation, hydropower generation, navigation, in-stream ecosystems, and water based recreation (IPCC, 2001a and 2001b).

Water resources would generally benefit from wetter winter, but warmer summers with longer growing seasons and increased evaporation would lead to greater pressures on water resources, especially in the south-east of Turkey (Kadioglu, 1998). Increased rainfall variability, even in a slightly wetter climate, could lead to more floods in any region in Turkey. Higher temperatures would lead to demand increments for water and higher peak demands, requiring more investment in water resources and infrastructure.

It has been assessed by Kadioglu (1997a, 1997b and 1998) that the increase in precipitation from 1932 to 1990 occurs in spring and autumn while summer and winter have both shown slight decreases in precipitation. Recognizing that for Turkey the numerical models predict an increase in winter precipitation (which has not been occurring) and a decrease in summer rainfall (which has been occurring) one would expect that the ratio between winter and summer precipitation should increase.

Various studies have been carried out in the world as well as in Turkey to determine the climate change signals. According to the predictions, the temperature resulting from GCM will increase in 30 years at southern Europe, where Turkey is also located. However, there were studies on the variations of climatologic parameters in Turkey (Kadioglu, 1997a, 1998; Turkes, 1996, 1995). According to Kadioglu (1997a), the air temperature trends over Turkey are not the same with the predictions of GCMs. In contrast, the trend of temperature analyzed by Mann-Kendall depends on the location and season. Hence, the mean annual temperature records in Turkey had a warming trend over 1939 to 1955 periods, but a cooling

trend from 1955 to 1989. Additionally, Turkes (1996) have analyzed the changes in the mean seasonal daily maximum and minimum temperatures over Turkey.

a) Climatic impacts

It is a well known a fact that climate change is among the trigger agents of unusual floods. It causes changes in timing, regional patterns and intensity of precipitation events, and in particular, in the number of days with heavy and intense precipitation occurrence. Climate changes could cause thousands of deaths every year - but reduce the number of cold-weather deaths, say the experts.

Recent floods in northern Turkey were caused primarily by unusually high precipitation combined with saturation of soil due to earlier precipitation. Floods are now being experienced in areas where there were no floods in the past. This may be due to the global climate change.

On the other hand, the potential for increased flooding following climate change would be exacerbated by erosion associated with deforestation and overgrazing both of which are now very widespread in many parts of Turkey. Such environmental degradations also increase surface runoff and the severity of flooding and contribute to landslides. Hence, in order to assess effectively the future flood occurrence possibilities and loss consequences, especially erosion and deforestation areas, rates should also be taken into consideration in any part of the world.

b) Hydrological impacts

In brief, it can be informed that, from the hydrological point of view, during the last year there were some extraordinary flooding events with some significant impacts on community, socio-economy and environment. Compared with the previous year in the country, the floods occurred in 2001 can definitely be considered as far more harmful.

In 2001, floods have generally occurred due to heavy rainfall, which have been observed much higher than average values, with high intensity on the coastal areas of the northern, southern and western parts of Anatolia and with a sudden increase in air temperature, resulting in snow melt in the eastern and mountainous part of southeastern Anatolia. All these factors produced widely devastating flooding events or the so-called "flash floods" in the country in the summer season.

Although the possible relationship between floods and climate change, exacerbated by erosion associated with deforestation and overgrazing, has often been mooted, it is unclear to what extent the two can be linked. Ultimately, the climate change component has an incremental effect, likely to make extreme floods more frequently in some areas in Turkey. Nevertheless, not all floods or the health impacts of floods can be attributed to climate change.

6. MITIGATING MEASURES IN TURKEY

Because of increasing number of flooding events in the Country, the General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) has been given the responsibility of constructing flood protection facilities against flood waters. The followings are the conventional works carried out by DSI to date in the framework of flood management:

- Structural projects,
- · Hydrometric and meteorological observations,
- Modernization of the existing hydro-meteorological network,
- · Preparation of survey reports soon after flood events,

- Flood surveys, which are conveyed to municipalities or governmental organizations and institutions for use as data at the planning stage,
- Regional flood plans that have the basin-wide coverage to be integrated to basin disaster plan for using in the emergency management of the future disasters in the basin,
- · Erosion control projects,

Considering the climatic characteristics of the country whose social and economical structure is changing and developing rapidly, the information on flood events that frequently hits urban areas, infrastructures, industrial facilities, agricultural land and recreational sites is getting more important.

Therefore, in response to these floods, the Government of Turkey with assistance from the World Bank has identified a working programme named TEFER (Turkey Earthquake and Flood Emergency Recovery) Project to develop flood management and to reduce or eliminate long-term risk and damage to people and their property from natural hazards. Connectivity and integration of the rainfall-runoff routing model to incorporate hydrometric and automatic weather data, and real-time quantitative radar data, in real time, is required.

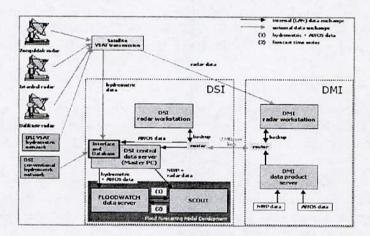


Figure 4: TEFER Project Western Turkey pilot area (DSI,

The project will provide technical assistance to perform hydrometric network review and design and automated weather and hydrometric system design. In addition, the project will support the installation of about 129 automatic real-time hydrometric, 206 automatic real-time meteorological and 3 Doppler radar stations so that real-time data will be available in order to run the operational flood forecasting models.

7. CONCLUSION

Mediterranean geographical position is sensitive to all global change drivers, whether physical climate or socio-economic drivers are concerned. Furthermore, the sustainable development of the Mediterranean region is limited by the available fresh water resources. Therefore the question of how these limited water resources will be effected by climate change. But the net water budget of the Mediterranean basin and it's future development under global warming to date can not be answered conclusively.

If climate change is taken into account on a global basis in the Mediterranean Basin, there is likely to be a need for investment in new technologies and infra structure. New irrigation systems may be required where aridity or instability of precipitation ensues. But the level of capacities is unbalanced in the whole region. Besides, there is a reasonable research and development capacity in the North while little capacity seems to exist in the South.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Climate change response strategies will be crucial if agricultural production yield is under the risk of potential climate change and/or climate variability. The impact of potential climate change on agriculture need to be especially considered by Southern Mediterranean Countries who should recognize the urgent need for investment in new technologies, infrastructure and knowledge related to agriculture in response to major problems in the region. Therefore climate change or/and climate variability is emerging as an important issue to be considered in terms of minimum food security policy which is also known as self sufficient production of the basic food.

Potential impacts of the climate change in the Mediterranean Region can also increase traditional opposition between the developed "water rich North" with developing "water scarce South", while it is likely to change hydro-geopolitical conditions in the basin and increase tensions between North and South

Since Mediterranean water situation under the potential climate change impacts calls for proactive anticipatory water planning rather than waiting for serious possible water problems. Therefore, water planners and managers should begin to study on re-examination of engineering design criteria, operating rules, contingency plans and water allocation policies. It is a conclusion that international cooperation should be strengthened for all these studies to protect common future of the basin.

As for the Turkish experiences regarding to the measures to the regional effects of climate change on floods, the Country has already started some initiatives. This is mostly need for the reason that the floods of the last decade, with their costly results have brought Turkey to a new view-point, namely the "Integrated Flood Management", to reduce and control the susceptibility to the flood damages, In this context, together with a sound underwriting for land use control, it is the early warning system which is being considered.

Furthermore, years of experiences gained showed structural measures such as dams, levees and dykes, diversions, channel improvements, implemented in the basin-wide were effective with rather high cost, to reduce the risk in flood damage. Therefore non-structural measures are becoming more important in flood hazard management in the country.

8. REFERENCES

Angelakis, A. and Kosmas, C. 1999 "Water resources availability in relation to the threat for further degradation in the Mediterranean region". Proceedings of the International held in Porto Torres, Italy, 18-20 September, 1998

Aplin, G. 1999 Global Environmental Crises (2d ed.) p.222

Burns, W.C.G. 2000 "The impact of climate change on Pasific Islands developing countries in the 21st century" In a. Gillespie and W.C.G. Burns(eds). Climate change in the South Pasific Impacts and Responses in Australia, New Zealand, and Small Island States. Kluwer Academic Dordrecht, pp 233-251

Bolle, H.J. 2004 "Climate, Climate Variability, and Impacts in the Mediterranean Area: An Overview", Mediterranean Climate, pp 5-86, Springer

Burns, W.C.G. 2001a. "From the harpoon to the heat:Climate change and the international Whaling Commission in the 21st century" Georgetown International Environmental Law Review. Vol.13 pp.335 339

ENRICH, 1996 Global Change and the Mediterranean Region, START Project, Spain Intergovernmental Panel on Climate Change 2001a. Working Group I.Third Assessment Report Summary for Policymakers.Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change 2001b. Technical Summary of the Working Group I. Report. Third Assessment Report. Cambridge University Press. Cambridge.

Jardine, K.1994. Finger on the carbon pulse" Ecologist. Nov. / Dec., p.220

Kadioglu, M., 1998. Possible climate changes over Greater Anatolian Project (GAP), Int. Symposium on Water Supply and Treatment 25-26 May, 1998, Istanbul, pp. 65-144.

Kadioglu, M., 1997a. Trends in surface air temperature data over Turkey. Int J of Climatol 17: 511-520.

Kadioglu, M., 1997b. Trends in Turkish Precipitation Data. The International Conference on Water Problems in the Mediterranean Countries, 17-21 November 1997, Nicosia-North Cyprus, Vol. I, pp. 79-86.

Margat, J. and Vallee, D.(2000) "Mediterranean Vision on water ,population and environment for the 21st century" MEDTAC-Blue Plan. January 2000. Sophia. Antipolis.

Panjabi, R.K.L.1993 "Can international law improve the climate? An analysis of the United Nations Framework Convention on Climate Chenge signed at the Rio Summit in 1992." North Carolina Journal of International Commercial Regulation, Vol. 18 pp 491-500

Pearce, F.1995 "World lays odds on global catastrophe." New Science, April 8, p.4

Schlesinger, M.E.1993."Model projections of CO₂-induced equilibriumclimte change."In R.A Warrick, E.M.Barrow, and T.M.L Wigley (eds). Climate Change and Sea Level Change. Cambridge University Press. Cambridge.pp 285-300.

Turkes, M., 1995. "Türkiye'de yillik ve mevsimlik yagis verilerindeki egilimler ve dalgalanmalar", TUJJB Bildiri Kitabi, 694-706, Harita Genel Komutanligi, Ankara

Turkes, M. 1996. Spatial and teporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. Int. J. Climatol. 16, 1057-1076

United Kingdom Department of the Environment Transport and the Regions. 1999. Climate Change and Its Impacts. United Kingdom.

University of Capetown. Environmental and Geographical Science Department. 1999.

Climate Change-Some Basic available at http://www.egs.uct.ac.za/csag/faq/climate-change/fac-doc-5.html.

Wigley, T.M.L.2001. "The Science of climate change."In e. Claussen(ed). Climate change: Science, Strategies and Solutions, Pew Center on Global Change, Washington, D.C., p.7.

WMO, 2005. WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2004, WMO No 718, Geneva

Wigley, T.M.L., and S.C.B.Raper 2001. "Interpretation of high projections for global-mean warming" Science, Vol. 291pp, 453-454

SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF THE EROSION AND SILTING-UP OF LARGE DAMS IN NORTH AFRICA COUNTRIES

Lahlou abdelhadi

International Expert Engineer in Hydraulics Zankat Rhamna, Rabat, Morocco

Tahlouhadi2004@Yahoo..fr

I. INTRODUCTION

Congrès international:

The socio-economic and environmental impact of the climatic changes, the erosion and the silting of dams in North Africa and there interactions effects on the conservation of water and soils will be presented. The balance of the dipole water sediment is disturbed during the last thirty years of dryness and normal climatic fluctuations.

In addition the climatic variations present a great effect on the river erosion, the sediment transport in rivers (by suspension, bed load...) and on the silting of dams and collinear reservoirs: The evolution of silting-up of 75 dams in Morocco, Algeria and Tunisia will be presented and detailed.

The detailed study of the socio-economic impact of the silting of all reserves in the North Africa countries, will be presented, with the evolution and the models of sedimentation (according to time), of their service output. For this reason the total silting of all dams in Morocco, amounts 1.3 billion m³/year (since the construction of the dams.), which is equivalent, annually, to a loss of the capacity of large dam. The initial capacity of all reserves (14.46 billions m³) decreases each year of 9% which represents a great volume of water lost each year.

The average sediment yield observed in North Africa is among highest in the world, for example 7000 t/km²/year in Nekor (Morocco) and in the north of Algeria (in the basins of the dam Oued El Fodda in Algeria), and of the dam Masri and Sidi Saad in Tunisia).

The graphs of the specific silting of 75 reserves in North Africa, show the gravity of the reduction in the capacity of the majority of the dams; it is the case for example for Mohammed V whose capacity decreases in a drastic way: this dam irrigates the agricultural perimeter of low Moulouya:, the principal recommendation is to improve anti-erosive treatments in upstream watershed, biological management (reforestation, agro-sylvo-pastoral treatments...) and mechanical managements sedimentation small dams in the objective to reduce the velocity of flow and then the sediment transport and erosion.

The total losses generated by the impact of erosion in upstream watershed (reduction of agricultural production by ablation of organic matters) and in the downstream (by silting-up of large dams), rises currently in Morocco to 10 Billion DH/year (1 billion US \$/year). Suggestions to improve these phenomena will be presented, particularly the necessity to improve scientific research in the third fields: fundamental, applied and financing.

Key words: Erosion, Silting-up, North Africa dams, anti-erosive treatment, impacts, economy, environment

II. SITUATION AND CONSTRAINTS OF MOBILIZATION OF THE WATER RESOURCES IN NORTH AFRICA

In North Africa, the current global water resources per inhabitant will decrease gradually and are as follows: 780 m3/inhabitanr/year (Morocco); 405 (Algeria) and 350 in Tunisia, which is in the threshold S of shortage: S<500 m³inhabitant/year: year)..

Several natural and anthropologic constraints limit the water resources in North Africa, in particular:

- The exponential population increase constitutes also a capital constraint, since the total
 population of the three countries (Morocco, Algeria and Tunisia) will increase by 54
 million inhabitants in 1985, to 111 in 2010 and 202 in 2030,
- · The situation of these countries in an arid and semi-zones,
- · The silting-up of large dams and fluvial sedimentation,
- · The agro-industrial and urban pollution,
- · The scarcity of sites of the construction of new dams,
- The increasingly cost of the mobilization of water,
- The salinisation of soils and waters: example, west of Algeria; in Mina watershed the water of irrigation is highly charged with salts, increasing of the saltation of aquifers. The aquifer which would have to help surface waters, are already overexploited and know a salinisation presenting a negative impact on the agricultural. In addition, in Tunisia only 10 % of the ground water has salinity lower than 1.5 g/l whereas the quarter of the deep aquifers have a salinity exceeding 5 g/l.
- · The overexploitation of aquifers...

II.1. Situation of water in Morocco

The following table shows that the share of water allocated to the irrigation represents 80 % to 90 % of the total supply.

Currently 13.2 billion m³ of water are used in Morocco, of which:

- 85 % for l irrigation,
- 17 % for drinkable water and industrial production,
- 15 % for hydroelectric power

In 2000 90 % of the urban population was connected to treated water.

Table 1: Annual volumes of water for the various uses

	Year	Total volume of mobilized water Bm³	Yearly volume of potable water Bm³	Yearly water allocated for irrigation Bm³
	1990	10.9	0.85	10. 05 (92 %)
352	2000	14.1	2.04	12.07 (85 %)
	2010	18.2	2.95	15.26 (83%)
	2020	21 .0	4.0	17.00 (80 %)

In Morocco, the scarcity of water in the next twenty years is critical, on a national scale, for the following reasons:

 The irrigation (with an irrigated surface of 1300000 ha predicted in 2020), will requires 13.6 billion m³ (by taking into account optimistic hypothesis of consumption of 10470 m³/ha/year.

- The total needs for water in 2020 are estimated at 17.6 billion m³: it is planned: the heightening of dams (if it is technically possible), the construction of 50 new dams to the horizon 2025, the transfer of water from surplus basins to the overdrawn basins.
- In 2020, the total regularized volume will be 16.08 billion m³, the surface contributions would be 13.78 billion m³, and the volume of mobilized groundwater will be 2.99 billion m³, and the inter-area transfers would be 4.5 billion m³ (21 % of the mobilizable potential of water).

According to the World Bank, the long-term cost of the programmed dams varies from 0.25 to 9.8 DH/m³; the cost of the transfers varies from 0.98 to 6.63 not held the costs of the dams, the impact on environment and the energy expenditure.

Taking into account the offer and of the request estimated, the water deficit would be 800 million cubic meters in 2020: in the 18 years to come, the requirements out of water would exceed the resources in the entire watersheds.

World Bank indicates, in addition, that the piezometric levels of aquifers of Haouz (60 million m³), and especially of Souss (120 million m³), will drop quickly, involving the abandonment in the 10 to 15 years to come, of 2400 ha currently cultivated...

II.2. Situation of water in Algeria

The global water resources mobilized in Algeria is as follows:

- Renewable groundwater: 1.8 Bm3
- Saharan groundwater: 1.8 Bm³
- Surface water: 2.0 Bm3

The renewable water resources produced rises with approximately 14 km³/an. The potential usable of the water resources of the north of the country and the high plateaus is estimated at 8.1 km³ per year, including 6.5 regularized by dams and 1.6 exploitable annually from groundwater. The estimate of the annual "exploitable" resources annual from the fossil aquifers varies between 2 and 5 km³/year. Currently the total yearly is 5.3 Bm3/ear.

II.3. Situation of water in Tunisia

The conventional water resources in Tunisia are estimated at 4.7 Bm³, including 2.7 Bm³ of surface water, and 1.097 Bm³ for the groundwater (whose 0.7 Bm³ come from the phreatic aquifers and 1.2 Bm³ from the deep aquifers). The water mobilized in all dams amounts currently to 2.4 Bm³ (by 28 dams). We notice that additional 0.6 Bm³ can be mobilized by the techniques of conservation of water and soils.

Table 2: Evolution of the demand of water in main sectors in Tunisia

Year	2000	2010	2020	2030
Potable water	321	381	438	491
Industrial water	112	136	164	203
Water tourism supply	22	31	36	41
Total	455	548	637	735

Source: MAHE, 1991

III. SILTING-UP AND SEDIMENT YIELD IN NORTH AFRICA

III.1. Silting-up and sediment yield in morocco

Example: For the geological formations of the type C (sandstone, marl-sandstone, quartzite's, granites, pelites...), the relations obtained are:

D = $14.7 ext{ } 10^3 ext{ } S^{-0,384}$ for Morocco D = $22.5 ext{ } 10^3 ext{ } S^{-0,432}$ for Tunisia D = $7.10^2 ext{ } S^{-0,16}$ for Algeria D = $18.7 ext{ } 10^3 ext{ } S^{-0,393}$ for north Africa.

These relations published in several Proceedings in international Conferences determine, before the construction of future dams, the silting of future reservoirs. The annual average silting-up of all dams in North Africa is: 80 million m³/year in Morocco, 30 million m³/year in Algeria, and 17 million m³/year in Tunisia.

The existence in North Africa of high values of erosion is due mainly to the following factors:

- · situation of Morocco, Algeria and Tunisia in arid and half-arid bioclimatic stages,
- the existence of precipitations and sporadic flows (the instantaneous maximum intensity reaches 2 mm/mn and even more),
- the lithological nature of the basins (marls, shale's, schist's...) with low coefficient of force
 critical tractrice involving easy ablation and solid transport of materials at the river
 and dams.,
- · high values of the slopes,
- a reduced vegetable cover,
- a reduced agro-sylvo-pastoral managements (in order to fight by biological actions and mechanics the phenomenon of erosion), entropic actions due to the man and installations which he develops.

The efforts made to reduce the impacts of this random phenomenon are in my opinion weak comparatively with the damage recorded and incurred by the existence of this phenomenon: for example, in Morocco, the annual total losses generated by erosion are estimated at 10 billion DH/year, whereas the financial effort to reduce the negative impacts remains very low.

Tableau 3: Current silting-up of large dams in Morocco

No	Dam	Ourrent situation of the capacity of the reservoir		Silted volume of the reservoir		Mean yearly silting-up	
		Date of bathymetric survey	Volume Mm3	Mm3	(%)	Mm3	
1	OUED EL MAKHAZINE	1999	723.2	83.2	10	4.0	
2	IBN BATOUTA	2000	33.9	9.7	22	0.5	
3	9 AVRIL 1947	1994	300.9		100		
4	NAKHLA	1997	4.9	3.5	42	1.1	
5	SMIR	2000	41.9	1.3	3	0.1	
6	MOHAMED BEN ABDELKRIM AL KHATTABI	2000	26.6	16.6	38	0.9	
7	MOHAMED V	2001	383.2	342.6	47	10.1	
8	HASSAN II	2001	118.6	6.9	5	3.4	
9	MECHRAÄ HOMADI	1997	4.99	13.3	73	0.5	
10	IDRISS 1er	1999	1156.8	59.7	5	2.0	
11	ALLAL AL FASSI	1999	69.57	11.9	15	1.3	
12	SIDI ECHAHED	2000	169,1	0.9	1	0.2	
13	AL WAHDA	2001	3712.1	18.4	0	3.7	
14	EL KANSERA	2001	230.5	63.9	22	1.8	
15	SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH	2000	441.5	67,1	13	2.0	
16	OUED EL MELLAH	2002	5.0	3,2	39		
17	BIN EL OUIDANE	2000	1253.4	254.1	17	5.2	
18	MOULAY YOUSSEF	2000	161.0	36.2	18	1.2	
19	HASSAN 1er	2000	245.0	27.2	10	1.9	
20	SIDI DRISS	2000	1.3	2.7	82	0.4	
21	AL MASSIRA	2000	2744.4	40.7	1	1.8	
22	LALLA TAKERKOUST	1999	60.5	11.9	16	0.7	
23	AOULOUZ	1991	108.0				
24	ABDELMOUMEN	2000	201.2	16.3	7	1.0	
25	DKHILA	1988	0.3	0.42	58	0.2	
26	YOUSSEF BEN TACHFINE	1998	301.8	12.0	4	0.5	
27	MANSOUR EDDAHBI	1998	438.8	144.6	25	5.6	
28	HASSAN ADDAKHIL	1999	326.8	42.2	11	1.5	

1998

144.6

1982

37.9

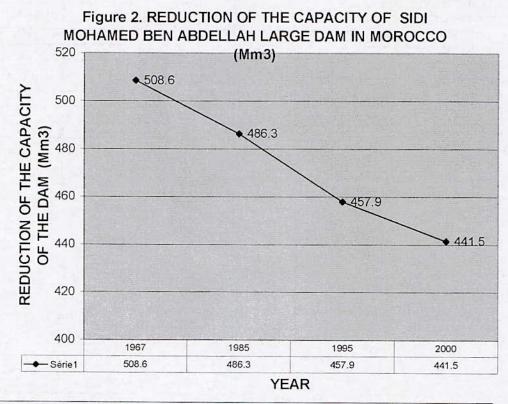
Figure 1. TOTAL SILTING-UP OF MANSOUR EDDAHBI LARGE DAM IN MOROCCO (Mm3)



1988

1994

98.1



Congrès international:

0

→ Série1

1972

0

« De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

Photo 1: Sedimentation dam in the North of Morocco, in the objective to reduce the sediment transport downstream



IV. VARIOUS INPACTS OF EROSION, SILTING-UP OF DAMS

IV.1. Socio-economic impacts of silting-up of dams in North Africa

The data of the silting of 75 North Africa dams, of Morocco, Algeria and Tunisia, enabled me to lead to the following results:

- The annual average silting of all the dams of Morocco, Algeria and Tunisia in the year 2030: 260 million cubic meters of sediment per year, constituting an equivalent lack of water to withdraw service outputs and represents, in volume, the capacity of large dam,
- The annual reduction of energy production of 100.10⁶ kWh/an, in 2030, corresponding to an important loss of energy (of which the cost becomes increasingly high),
- The annual drinking water reduction, in 2030, of 245 million cubic meters of water constituting
- The water reduction per silting (and replaced by sediments), involves a lack of surface to
 be irrigated of 11800 hectares per year, by 2030 for Morocco, Algeria and Tunisia:, what
 constitutes a potential loss of the production and agricultural productivity, the annual loss
 for the agriculture, estimated at 1380 million dirham, in 2030, is the consequence of the
 water reduction by sedimentation, of reservoirs.

the reduction of employment: 48000 agricultural employment will be lost each year, by 2030, because of silting of the North Africa dams, following the reduction of irrigated surface mentioned

As an indication, specific erosion , (among highest in the world) and obtained from bathymetric surveys of reservoirs and other methods, are: $5900 \text{ t/km}^2/\text{year}$ in Morocco, observed in the watershed of the dam Mohamed Ben Abdelkrim El Khattabi (in Morocco), $7200 \text{ t/km}^2/\text{year}$ in the hydrodynamic basin of the dam Ighil Emda in Algeria and, finally of $5100 \text{ t/km}^2/\text{year}$ in the watershed of the dam Kasseb in Tunisia

Yearly Yearly Yearly Yearly losses losses of reduction of reduction Yearly employments potable water of for silting-up Impacts due to irrigated irrigation due to of all dams sedimentation surface due to sedimentation. 10⁶ m3/an sedimentation Number of 106 m3/an ha/year 105 \$/year employments 2000 2030 2000 2030 2004 2030 2000 2030 Year 120 8000 800 16000 37000 Morocco 80 50 340* 8000* 100000* 30 30* 4000* Algeria 75* 18 20* 3000* 340* 6000* 8000* Tunisia Total 128 100* 245* 15000* 1400* 30000 55000*

Tableau 4: Predicted socio-economic impacts of silting-up of large dams in North Africa

IV.2. Impacts on eutrophication

The leaching of the soils caused by storm with maximum instantaneous precipitation exceeding 1 mm/mn in the Maghreb countries, bring nutritive salts in reserves downstream, involving the problem of eutrophication mentioned. Between December 1981 and Mars 1991, the large dam of the Sidi Salem in Tunisia was silted by 52 Mm3 of sediments, with a percentage of filling of reserve by the sediments of 9,2% (since its start-up). This reservoir is regarded as mesotroph, from where the impact of this phenomenon on the quality of provided water. The project "Protection of the Water Resources of reserve Sidi Salem" (Saadaoui, 1991), analyses this problem in the shutters: safeguarding and improvement of the quality of water, fight against the erosion and protection of reserve, against the silting.

5. REFERENCES

- Lahlou Abdelhadi, 2000, in book:" How environment in North Africa", ISESCO, Rabat
- Lahlou Abdelhadi, September 2003, European International Seminar on « Wastewater Reclamatuin, Izmir, Turkey, Pub.« Water Resources in North Africa », Website:http://www.med-reunet.com/02medr1/03_seminar.asp
- Lahlou Abdelhadi, 2000, in book: "productions agricoles à partir des eaux saumâtres », ISESCO, Rabat
- Lahlou Abdelhadi, April 2002, International Conference; «Les problèmes Environnemental Problems in Medterranean region, , Near East University, Nicosie, TRNC. Pub. "Watershed erosion and silting-up of large and small dams in North Africa", Website: http://epmr2002.neu.edu.tr/sess/ss10%20sirali.doc
- · Mahe, 1991, in Proceedings of the international conference on erosion, Alger, 1991
- · Saadaoui, 1991, in Proceedings of the international conference on erosion, Alger, 1991

^{*} Estimated values

L'EAU AU MAROC : POLITIQUES ACTUELLES ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Abdelmalik Saloui1 et Hassan Ben Aouda2

1. INTRODUCTION

Depuis son indépendance, le Maroc a parié sur le développement de l'agriculture comme une constante de sa politique économique. Cette agriculture reste dépendante des disponibilités hydriques qui sont déterminées par une pluviométrie faible et aléatoire. Compte tenu de ces conditions, c'est le développement de l'agriculture irriguée qui a constitué la préoccupation majeure des pouvoirs publics.

Pour mener une politique de développement d'envergure de l'irrigation, l'état a crée en 1960 l'Office National de l'Irrigation (ONI). Ainsi cet organisme s'est vu confié des compétences très larges sur l'ensemble du territoire national allant de la recherche des ressources en eau à leur valorisation à des fins agricoles. A partir de 1966, les pouvoirs publics ont opté pour la décentralisation au niveau régional, par la création des Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole (ORMVA) dans les zones à "fort" potentiel agricole. Ces ORMVA sont chargés dans leurs zones d'action d'aménagement des périmètres irrigués, de gestion des ressources en eau à usage agricole et des réseaux d'irrigation et de développement agricole. Ces établissements sont actuellement au nombre de neuf couvrant les zones de Moulouya, Gharb, Doukkala, Haouz, Tadla, Tafilalt, Ouarzazat, Souss Massa et Loukkos. En 1969 le code des investissements agricoles est venu préciser le cadre d'intervention des ORMVA et les mécanismes de régulation des relations entre l'état et les agriculteurs notamment la tarification de l'eau d'irrigation.

La superficie équipée en grande hydraulique représente près de 78 % de la superficie globale aménagée par l'état en irrigation pérenne, qui s'élève actuellement à 1,364 millions d'hectares comprenant en plus des périmètres de grande hydraulique, les périmètres de petite et moyenne hydraulique gérés souvent par les agriculteurs organisés en associations d'irrigants. Sur les 7,7 millions d'hectares des terres cultivables, 1,6 millions sont potentiellement irrigables.

Au Maroc la majorité des ressources en eau sont utilisées en agriculture, 90 % par rapport à seulement 6 % pour des fins domestiques et à 4 % pour l'industrie.

2. LES RESSOURCES EN EAU AU MAROC

Au Maroc, les ressources en eau sont très limitées en raison du climat semi-aride à aride dans la majeure partie du territoire. Les disponibilités hydriques sont déterminées essentiellement par une pluviométrie faible, aléatoire et très variable dans l'espace et dans le temps. On estime qu'à peine 20 % des précipitations totales annuelles (estimés à près de 150 milliards de m³ par an) arrivent dans les réservoirs d'eau et les nappes phréatiques. Sur l'ensemble de ces ressources renouvelables, évaluées à 29 milliards de m³, les ressources potentiellement mobilisables sont estimées à 20 milliards de m³ par an dont 16 milliards de m³ en eau de surface et 4 milliards de m³ en eau souterraine.

Jusqu'à la fin des années 60, l'eau destinée à la consommation provenait exclusivement des nappes phréatiques souterraines. Mais en raison de la demande monotone croissante, d'une

¹ U.F.R. "Eau & Civilisation", Faculté des Lettres & des Sciences Humaines, Université Hassan II -Mohammedia, Mohammedia, Maroc.

² Ingénieur chercheur, I.N.R.A., Settat, Maroc

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

part, et à l'extension des infrastructures d'irrigation pour l'activité agricole, d'autre part, et à la croissance démographique, les réserves d'eau souterraines se sont progressivement taries au point d'imposer la construction urgente des barrages et de bassins de retenus en eau. Ces trente dernières années, plusieurs grands barrages de capacités diverses ont été construits. Le Maroc compte de ce fait 96 grands barrages d'une capacité totale de 14,5 milliards de m³ d'eau. Un programme, en cours de réalisation, prévoit de construire, d'ici l'an 2020, de 2 à 3 nouveaux barrages par an. Le plus grand barrage du Maroc est celui d' "Al Wahda". Grâce à sa capacité de 3,8 milliards m³, cet ouvrage est classé le deuxième grand barrage dans le continent africain.

La mobilisation des ressources en eau

Les ressources en eau mobilisables sont évaluées à 20 milliards de m³ par année. Les bassins de Sebou, du Bou-regreg et de l'Oum Rbia détiennent à eux seuls plus des 2/3 du potentiel hydraulique du pays. Les eaux mobilisées atteignent 56 % du potentiel. L'irrigation est le principal utilisateur de l'eau au Maroc avec près de 90% de la demande globale, alors que le reste est utilisé pour l'approvisionnement des populations en eau potable avec 6 % et 4 % pour l'industrie (tous secteurs confondus).

Le développement des ressources en eau a débuté dès 1929 avec la mise en service du premier barrage (Sidi Saïd Maâchou) à but énergétique et d'approvisionnement en eau potable et industrielle. Mais le véritable élan de cette politique de maîtrise de l'eau na véritablement démarré qu'en 1967 où Feu le Roi Hassan-II a fixé l'objectif du "million d'hectare irrigué" pour l'an 2000. Depuis, un vaste programme de réalisation d'infrastructures hydrauliques (barrages, ouvrages de transfert, forages, textes de loi, etc.) a été lancé. Ce programme est articulé principalement autour des objectifs suivants :

- 1. La satisfaction des besoins d'approvisionnement en eau potable et industrielle de la population;
- 2. Le développement de l'agriculture irriguée considérée comme base du développement agricole; secteur privilégié pour le lancement de la croissance économique ;
- 3. La promotion du développement des régions déshéritées et la réduction des disparités régionales avec pour objectif de lutter contre l'exode rural; en créant des pôles de développement socio-économique autour des périmètres de petite et moyenne hydraulique;
- 4. L'instauration d'une solidarité interrégionale en matière d'accès à l'eau; en recourant à la pratique des transferts massifs d'eau entre bassins hydrologiques voisins.

La mobilisation des eaux de surface

Durant les trois dernières décennies (1967-1997) la capacité totale des barrages est passée de 2,2 milliards de m³ à 14,5 milliards de m³ et les volumes régularisés de 2,1 milliards à 9,4 milliards de m³; soit des taux d'accroissement annuels moyens respectifs de 6 % et 5 %. Les barrages réalisés jusqu'à 1967 étaient destinés à la production de l'électricité et à l'alimentation en eau potable et, accessoirement, à l'irrigation. Depuis 1967, la composante irrigation s'est vue réservée une place de choix dans la programmation et la réalisation des barrages dont les capacités se sont considérablement accrues. La capacité moyenne des barrages construits avant 1967 était de 140 millions de m³ par barrage pour un volume régularisé moyen de 129 millions de m³; elle est passée à 162 millions de m³ pour les barrages construits après 1967 pour un volume moyen régularisé de 97 millions de m³ par barrage.

Les ressources en eau de surface actuellement mobilisées sont estimées à 11 milliards de m³ par année.

La mobilisation des eaux souterraines

L'exploitation des nappes souterraines actuellement identifiées permet de mobiliser près de 2,65 milliards de m³, soit près de 70 % du potentiel en eau souterraine qui est estimé à 4 milliards de m³. Ces ressources jouent un rôle stratégique dans l'approvisionnement en eau du pays, et particulièrement durant les années de sécheresse. Certaines nappes comme celles du bassin du Souss-Massa connaissent une surexploitation des ressources potentielles mobilisables. Les nappes du Sebou, de l'Oum-Rbiaâ, du Bouregreg et du Tensift accusent des taux d'exploitation dépassant les 90 %. Seules les nappes de la Moulouya et des bassins sudatlantiques offrent encore de larges possibilités d'exploitation supplémentaire.

La poursuite de l'effort de mobilisation

Pour répondre à la demande en eau des différents secteurs de l'économie nationale, il est impératif d'asservir la ressource en eau irrégulière par des efforts accrus de mobilisation. Ces efforts portent aussi bien sur la construction des barrages de stockage et de régularisation et des ouvrages de transfert d'eau, que des infrastructures et ouvrages de captage des eaux souterraines et de recharge artificielle des nappes.

Dans le cadre d'une politique hydraulique harmonieuse matérialisée par le plan national de l'eau, et les plans directeurs des différents bassins versants, le programme de mobilisation porte sur la réalisation d'ici l'an 2020 :

- de plus de 60 grands barrages d'une capacité totale de stockage de 9,223 milliards de m³ et régularisant plus de 2,765 milliards de m³,
- d'une centaine de petits et moyens barrages au rythme de 2 à 3 par an,
- l'affinement des projets de transfert d'eau notamment suivant les axes nord-sud et nord-est,
- la réalisation d'ouvrages de captage pour la généralisation de la desserte de la population rurale en eau potable et la couverture de la quasi-totalité de la population urbaine.

Gestion des ressources en eau au Maroc

Les ressources en eaux superficielles sont limitées et une économie de ces ressources est nécessaire dans le but de satisfaire les besoins en eau potable, en eau industrielle et en eau agricole pour le XXI^{ème} siècle. Si la demande en eau est, globalement, satisfaite, certaines régions souffrent encore d'une demande trop importante, phénomène exacerbé durant les années de sécheresse.

La multiplication du nombre de barrages est l'un des éléments choisis pour augmenter la ressource. Mais il s'agit aussi de préserver la ressource existante. Ainsi, l'envasement des barrages actuels représente près de 50 millions de mètres cubes par an, et la capacité déjà perdue en 1990 est de 800 millions de mètres cubes (7 % de la capacité totale). Un programme de protection des barrages contre l'envasement est donc en cours de réalisation. Un autre élément choisi est l'extraction de plus en plus importante des ressources souterraines. Mais le coût de la mobilisation des ressources est très élevé et certains aquifères sont déjà surexploitées.

La politique actuellement souhaitée par le Gouvernement passe donc par une gestion de la demande, en modérant ou en réorientant celle-ci, en réduisant les pertes, en protégeant la qualité des ressources et en maximisant les effets socio-économiques de l'utilisation de l'eau.

Un Programme national d'irrigation a été adopté en 1992 et avait pour objectifs :

O D'équiper la totalité des surfaces dominées par des barrages existants ou en cours de construction (environ 250 000 ha);

O D'améliorer les performances des anciens périmètres de grande hydraulique ou de petite et moyenne hydraulique en réhabilitant ou en modernisant leurs équipements.

Le programme concerne 250 000 ha en équipements nouveaux et 200 000 ha en réhabilitation.

Enfin, une réflexion est menée sur la structure de la propriété foncière caractérisée par la prédominance de la petite propriété foncière (moins de 5 ha), le morcellement des exploitations, l'absence de titres fonciers et de sécurité foncière, et ses implications sur la gestion des périmètres et de la ressource.

Organisation de la politique de l'eau au Maroc

En 1995 est entrée en vigueur au Maroc la Loi n° 10/95 qui établit le cadre légal de la politique nationale de l'eau pour les prochaines décennies. Cette loi comprend une série d'instruments juridiques visant à remédier à la raréfaction des réserves en eau, à la demande croissante en eau, à la hausse des prix de l'eau et à la détérioration de la qualité de l'eau et de l'environnement.

Les principes majeurs contenus dans cette loi peuvent se résumer comme suit: l'eau est la propriété de l'Etat, elle a une valeur économique et, en plus, elle fait l'objet d'une concertation nationale; il y a lieu d'instaurer à tous les niveaux (national, régional et local) une solidarité en matière de gestion de l'eau. Cette concertation a été institutionnalisée par la création de trois organismes, à savoir le "Conseil supérieur de l'Eau et du Climat" (C.S.E.C.), les "Agences de Bassin" (A.d.B.) et les "Commissions préfectorales/provinciales de l'Eau" (voire croquis n°. 1).

Le Conseil supérieur de l'Eau et du Climat est mandaté pour coordonner la politique de développement des ressources hydriques par l'examen des politiques de développement du secteur, l'approbation de plans directeurs régionaux liés au développement des ressources hydriques (préparés par la Direction de l'équipement rural), l'arbitrage de conflits en matière d'allocation des ressources en eau et l'élaboration de politiques pour la préservation de la qualité de l'eau. L'administration hydraulique assure le secrétariat de ce Conseil qui réunit les principales administrations concernées par le secteur, des représentants élus, des organisations socioprofessionnelles, les autorités locales et des représentants des différents types d'utilisateurs d'eau.

Les Agences de Bassin, probablement le volet le plus innovant de la loi sur l'eau, complètent l'organisation administrative du secteur de l'eau au Maroc. Véritables organes de la décentralisation de la gestion de l'eau, elles associent tous les intervenants à la prise de décision dans ce domaine. Bien que l'entrée en vigueur de la loi date déjà de 1995, on ne compte actuellement qu'une seule "Agence de Bassin" opérationnelle dans le pays. Sur le plan administratif, c'est la "Direction générale de l'Hydraulique" (D.G.H.); un département du Ministère des Travaux publics, qui est chargée de la gestion effective des réserves d'eau.

Sur le terrain, la politique élaborée par la D.G.H. est mise en œuvre par les "Directions régionales de l'Hydranlique" (D.R.H.). La production d'eau potable est, à concurrence de 80 %, entre les mains de l'"Office national de l'eau potable" (O.N.E.P.) Les 20 % restants sont produits par les "Régies autonomes de Distribution" (R.A.D.) qui assument aussi en partie la distribution de l'eau dans le pays.

La distribution de l'eau est également prise en charge par une série de communes et d'entreprises privées. C'est le cas notamment à Casablanca (Lydec), à Rabat (Redal), à Tanger et à Tétouan (Vivendi).

Tout ce qui concerne la politique de l'irrigation au Maroc est du ressort de la cellule de l'"Administration du Génie rural" au sein du Ministère de l'Agriculture.

Sur le terrain, ce sont les "Offices régionaux de Mise en Valeur agricole" (O.R.M.V.A.) et les "Directions provinciales de l'Agriculture" (D.P.A.) qui ont en charge l'exécution de la politique de l'eau dans le secteur agricole.

Dans le sous-secteur de l'approvisionnement en eau potable et l'assainissement, les principaux organismes concernés sont :

- L'Administration de l'hydraulique (A.H.), placée sous la tutelle du Ministère des travaux publics, s'occupe de l'approvisionnement en eau au niveau des bassins versants. Elle est, à ce titre, chargée de l'étude et de l'exploitation des ressources en eau;
- L'Office national de l'eau potable (O.N.E.P.), organisme sous la tutelle du Ministère des travaux publics, est chargé de contrôler la distribution de l'eau en milieu urbain, en accord avec les régies, et dans quelques municipalités rurales. Il planifie, construit et gère les installations de traitement et de transport en provenance des sources primaires de l'administration hydraulique, c'est-à-dire les réservoirs et canaux primaires;
- 16 régies autonomes intercommunales de l'eau, placées sous la tutelle du Ministère de l'intérieur et supervisées par la Direction des régies et services concédés de ce Ministère, sont chargées de la distribution de l'eau dans ces municipalités;
- Le Ministère de la santé publique est chargé de contrôler avec l'O.N.E.P. la qualité des ressources hydriques pour les réseaux d'eau potable des villes et villages dont il assure l'alimentation.

Dans le secteur de l'agriculture irriguée, les principaux organismes impliqués sont :

- Le Ministère de l'agriculture : Il est chargé de superviser les nouveaux investissements, en particulier l'expansion, la réhabilitation et la maintenance de tous les périmètres de la grande et moyenne hydraulique;
- L'Administration hydraulique : Elle est chargée de la mobilisation de l'eau pour le secteur de l'irrigation de la grande hydraulique. Elle construit et entretient les grands travaux hydrauliques tels que les barrages, les dérivations fluviales et les projets d'exploitation des eaux souterraines;
- L'Administration du génie rural (A.G.R.), qui a la responsabilité de la gestion des périmètres irrigués :
- 1. Les O.R.M.V.A., qui sont des établissements publics financièrement autonomes, placés sous la tutelle du Ministère de l'agriculture, sont responsables de la planification et de la gestion des ressources en eau à usage agricole, de la conception, la construction et la gestion des périmètres de grande hydraulique. Les O.R.M.V.A. sont aussi responsables de la petite et moyenne hydraulique de leurs juridictions géographiques.
- 2. En dehors des zones d'action des O.R.M.V.A., les Directions Provinciales d'Agriculture sont chargées de la promotion et la gestion des petits et moyens périmètres d'irrigation, mais les services proposés restent essentiellement limités à la vulgarisation.

3. DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION

Au Maroc, l'eau constitue le facteur majeur limitant la production agricole. Les disponibilités hydriques sont déterminées essentiellement par une pluviométrie faible et aléatoire. L'irrigation s'avère un impératif incontournable pour contribuer à la stabilisation de la production agricole. En effet l'irrigation a toujours bénéficié d'une attention particulière des pouvoirs publics, puisque l'état lui a accordé une priorité dans les différents plans de développement agricole. La part du budget qui lui a été alloué représente entre 44 % et 77 %, selon les budgets d'investissement des différents plans. Le potentiel irrigable de façon pérenne serait d'environ 1 364 000 ha à laquelle s'ajoutent quelques 300 000 ha pouvant

bénéficier d'une irrigation saisonnière. La technique d'irrigation est surtout l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion n'étant pratiquée que dans certains aménagements en grande hydraulique. Les principales cultures irriguées sont les céréales.

L'aménagement hydro-agricole a connu une évolution depuis 1935, date de réalisation des barrages Lalla Takerkoust et El Kansera pour l'irrigation des périmètres du N'fis dans le Haouz et du Beht dans le Gharb (carte n°. 1). Les grands aménagements réalisés pendant la période 1940-1956 avaient pour objectif principal, la production d'énergie et accessoirement l'irrigation des grandes fermes de colonisation. L'eau, comme facteur de production, était alors délivrée en tête de parcelle et mis au service de l'agriculteur. La mise en valeur restait très insuffisante en dehors des grandes exploitations. En 1955, la superficie nette dominée était de 132.000 ha et celle équipée était de 53.857 ha. Mais la superficie irriguée ne dépassait guère les 30.100 ha.

Les quatre premières années de l'indépendance ont constitué une période de transition et c'est le plan 1960-64 qui a constitué le point de départ d'une politique d'irrigation volontariste et intégrée concrétisée par la création de l'Office National de l'Irrigation en 1961(O.N.I.). C'est au cours de ce plan que les concepts et les paramètres de base régissant désormais les aménagements hydro-agricoles ont été définis. Ces concepts se veulent de rentabiliser l'infrastructure existante et à venir, en résorbant le décalage entre, d'une part, les superficies dominées et équipées et, d'autre part, les superficies irriguées et mises en valeur.

Le bilan du plan 1965-1967 a mis en relief le caractère capricieux du climat et ses impacts négatifs sur l'économie nationale et a recommandé l'intensification des efforts pour la maîtrise et la valorisation des ressources en eau dans le cadre d'une approche sélective intégrée et régionalisée. La création des O.R.M.V.A. en 1966 a constitué le premier jalon de l'approche développée.

Ainsi, dans le plan 1968-72, dénommé «Plan des Barrages», l'agriculture irriguée se voit affecter 43 % des investissements publics prévus. Cette politique volontariste et interventionniste de l'Etat en matière d'aménagement hydro-agricole, régulée désormais par un cadre juridique contractuel qui est le code des investissements agricoles a été poursuivie dans les plans ultérieurs.

Cette politique de développement de l'irrigation qui a connu son apogée durant le plan 1973-77, a été accompagnée dès 1975, par une approche sélective plus globaliste où un regain d'intérêt a été porté aux zones bours, à la petite et moyenne hydraulique et aux projets dits intégrés.

Dès le début des années 1980, tenant compte des nouvelles contraintes auxquelles devrait faire face l'économie nationale, des infléchissements importants ont été apportés à la stratégie de développement agricole. Dans le cadre de l'ajustement structurel, le recentrage des activités des différents intervenants et la ré-allocation conséquente des ressources de l'Etat ont amené les pouvoirs publics à développer une approche ciblée et à concentrer l'effort financier prioritairement vers les opérations d'amélioration de la productivité de l'existant.

Dans les périmètres irrigués, cette politique s'est traduite par la mise en oeuvre des programmes d'amélioration de la grande irrigation. Dans ces contextes, les superficies nettes équipées en grande irrigation sont passées de 121.545 ha en 1967 à 211.213 ha en 1972, 377.816 ha en 1980 et 492.488 ha en 1994 pour atteindre 1 018 770 ha en 2002.

Les zones irriguées, bien qu'elles ne représentent que moins de 11 % de la S.A.U., contribuent à environ 45 %, en moyenne, de la valeur ajoutée agricole, constituent 75 % des exportations agricoles et assurent plus du tiers de l'emploi en milieu rural. Dans ce sens,

l'aménagement hydro-agricole constitue un véritable catalyseur pour l'économie nationale (carte n°. 2).

L'irrigation au Maroc a toujours été un impératif et un instrument privilégié pour assurer l'accroissement de la productivité agricole, garantir une stabilité de la production et améliorer le revenu des agriculteurs. Son développement reste cependant tributaire des potentialités du pays notamment, en matière de ressources en eau.

La grande hydraulique

Dès les années 60, l'accent a été mis sur la construction de barrages et les aménagements en grande hydraulique. Ces périmètres de grande hydraulique (pour des surfaces supérieures à 30.000 ha) sont gérés de manière décentralisée par les O.R.M.V.A., au nombre de neuf, couvrant une superficie totale de 431.650 ha en 1989, 496.000 ha en 1993 et 682.600 ha en 2002.

La petite et moyenne hydraulique

Aux superficies de grande hydraulique décrites plus haut, il faut ajouter environ 826.550 ha en petite et moyenne hydraulique (l'irrigation par épandage de crues incluse), dont 333.630 dans les zones gérées par les O.R.M.V.A., et le reste en dehors. Environ 397.000 ha de ces zones en petite et moyenne hydraulique sont irriguées par des eaux pérennes, 265.000 ha le sont à partir d'eaux saisonnières et 165.000 ha par épandage des crues.

Les périmètres de montagne utilisent le plus souvent l'eau des sources et fonctionnent en distribution gravitaire.

Le principe de la distribution, tant en grande hydraulique qu'en petite et moyenne hydraulique, est le tour d'eau. L'unité de mesure la plus fréquente en gravitaire est constituée par une "main d'eau" correspondant à un débit de 30 l/s. Cette unité sert ainsi de base au dimensionnement des réseaux en grande hydraulique.

Potentialités hydrauliques et d'irrigation

Ainsi, au regard de la surface agricole utile au Maroc qui s'élève à plus de 7,7 millions d'ha, ce sont les ressources en eau disponibles qui limitent le potentiel des terres irrigables. Compte tenu du potentiel hydraulique mobilisable et de la part qui peut être réservée à l'agriculture, le potentiel irrigable est estimé actuellement à 1,664 millions d'ha dont 1,364 millions d'ha en irrigation pérenne (880.000 ha en grande hydraulique et 484.000 ha en petite et moyenne hydraulique) et 0,3 millions d'ha en irrigation saisonnière et de crue.

La participation des bénéficiaires

La participation des bénéficiaires à l'effort d'investissement consenti par la collectivité nationale doit être appréhendée à travers la stratégie de développement agricole explicitée dans l'exposé des motifs du Dahir 1-69-25 du 25 juillet 1969 formant code des investissements agricoles.

Tout en décidant qu'une place de choix revient aux périmètres d'irrigation dans le développement de la politique agricole, le législateur affirme «Cependant, la justice sociale et les nécessités de développement exigent l'utilisation au profit d'autres secteurs de l'économie d'une partie des ressources dégagées par les projets les plus rentables. Il en découle que les bénéficiaires de l'eau d'irrigation doivent participer à l'effort financier entrepris par l'Etat en leur faveur».

La participation financière des agriculteurs comprend d'une part une participation directe proportionnelle au nombre d'hectares irrigués comme contribution à l'effort d'investissement sélectif consenti par la collectivité nationale à concurrence de 40 % du coût moyen pondéré

Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger des équipements et, d'autre part, une redevance annuelle et permanente pour usage de l'eau d'irrigation comme couverture des charges du service de l'eau. Cette participation des bénéficiaires est aussi exigible dans les zones d'assainissement. Une redevance supplémentaire destinée à couvrir les frais de pompage a été instituée. Sont assujettis à cette redevance appelée taxe de pompage les usagers desservis par pompage à partir du canal principal à l'aide de stations de pompage et d'un réseau de distribution haut service construits et équipés par l'Etat et, les usagers desservis par aspersion à partir du canal principal à l'aide de stations de pompage et d'un réseau de distribution construits et équipés par l'Etat.

La redevance d'eau et la taxe de pompage sont respectivement révisées en fonction de l'évolution des prix et des salaires par une formule d'indexation et de l'évolution du prix de l'énergie.

Les redevances d'eau appliquées dans les périmètres d'irrigation sont de 0,19 à 0,20 DH/m³ et la taxe de pompage varie de 0,07 DH/ m³ en cas de relevage à 0,24 DH/ m³ dans le cas de la mise en pression.

La maîtrise de l'eau et les techniques d'irrigation

L'économie et la maîtrise de l'eau constituent les concepts de base pour le développement et la gestion de l'irrigation. Cependant, à la pratique et suite aux adaptations progressives du développement de l'agriculture irriguée, ces concepts n'ont pu être appliqués d'une façon efficiente. Ce qui a entraîné des dysfonctionnements des systèmes développés. Les périmètres modernes ont été conçus suivant deux trames d'aménagement. Ces périmètres sont conçus en blocs d'irrigation, divisés en 4 à 6 sols, d'une superficie de 20 à 30 ha pour une main d'eau de 30 l/s. En trame B, chaque exploitation recoupe toutes les soles et se présente sous la forme d'un rectangle dont le sens de longueur est perpendiculaire aux arroseurs. En trame A, les exploitations sont, en général, délimitées par deux arroseurs et les assolements ne sont plus calqués sur le canevas hydraulique.

La trame B a été retenue de préférence à la trame A sur les périmètres équipés en gravitaire et en aspersion pour atteindre quatre objectifs majeurs :

- 1. la mise en place d'assolements prescrits afin de répondre aux objectifs de production,
- 2. la mécanisation collective des petites exploitations agricoles et l'accès aux techniques modernes de production,
- 3. l'irrigation suivant un tour d'eau identique pour tous les agriculteurs en fonction de l'occupation des sols par les cultures,
- 4. l'introduction de la raie longue comme technique efficiente de l'irrigation à la parcelle.

A la pratique, la trame B n'est généralement plus respectée. En effet, les assolements ont été progressivement libéralisés et les soles initiales desservies par un arroseur comprennent en réalité plusieurs cultures, la mécanisation lourde et collective n'a jamais été adoptée par les agriculteurs, le tour d'eau est plus ou moins établi à la demande, et la raie longue a été délaissée au profit d'une technique traditionnelle qu'est la robta.

L'approche des aménagements hydro-agricoles ainsi développée par les pouvoirs publics s'est voulue intégrée et surtout interventionniste. Cette démarche, dictée par les impératifs du moment, était d'une logique parfaite du fait que l'installation de la trame B allait de pair avec l'introduction des méthodes d'irrigation nouvelles notamment en irrigation de surface (raie longue et calant). Cette logique se trouve dans les principes de ses méthodes, dans l'aménagement qu'elles supposent et dans leurs pratiques. Le recours à la robta et l'émergence de la trame de fait apparaissent alors comme un non-sens technico-économique annonciateur d'un dysfonctionnement de la logique développée et sa non-adaptation à l'évolution des conditions pratiques du terrain et de conduite des cultures. Ainsi, le choix des

cultures pratiquées par les agriculteurs ne dépend que partiellement du facteur irrigation. Par contre la répartition en surface des cultures sur une exploitation est fonction de la dotation en eau accordée aux agriculteurs qui est dépendante du volume des ressources en eau disponibles et du taux d'équipement des périmètres. La dotation de la période de pointe est limitée par la capacité du réseau qui est dimensionné sur la base de l'assolement et des besoins en eau retenus dans le projet. Quelle que soit la technique d'irrigation utilisée la dose nette reste insuffisante en période de pointe. Les tours d'eau sont établis sur la base des demandes des agriculteurs exprimées en surfaces irriguées par culture, transformées en dotation horaire à partir des besoins en eau des projets. La main d'eau de projet est, en règle générale, fixée d'une façon uniforme à 30 l/s indépendamment des conditions du milieu et des cultures pratiquées. En réalité, compte tenu des pertes sur les réseaux portés et des erreurs de calage des modules, la main d'eau effective est inférieure à 30 l/s et elle est d'environ 25 l/s (cas du Tadla).

Le canevas hydraulique de la trame B est conçu de telle sorte que dans un même bloc, tous les agriculteurs utilisent en communs tous les arroseurs. En aspersion ça se traduit par l'utilisation commune du matériel mobile d'irrigation. Cette utilisation collective des équipements constitue un obstacle majeur à l'entretien des équipements et surtout à leur remise en état dans la mesure où ils sont généralement dégradés. Les pertes en eau dans les arroseurs sont en régime stabilisé d'environ 8 à 15%. Ces pertes pénalisent les parcelles les plus éloignées donc d'une façon systématique les exploitations en aval dans le cas de la trame B.

En plus de l'incidence néfaste qu'elle a sur le nivellement, la technique de robta entraîne une perte de terrain de l'ordre de 15 % et le rendement de l'irrigation à la parcelle de cette technique ne dépasse guère les 50 %. Malgré les nombreuses campagnes de sensibilisation, l'irrigation à la raie n'a pas connu le développement attendu. La problématique du nivellement, notamment de son entretien, en constitue la contrainte majeure.

En irrigation par aspersion, en plus des problèmes liés à la pratique de la trame d'aménagement, le problème de la technologie des matériels utilisés reste posé et la détérioration des organes des bornes et des prises a entraîné un processus de dégradation inflationniste. Par manque d'entretien et de renouvellement, des bornes et des matériels mobiles d'irrigation, les matériels et les réseaux ne fonctionnent pas dans les conditions optimales entraînant par là des pertes non négligeables en énergie des stations de pompage et pénalisent les usagers situés en extrémité des réseaux.

Pour l'irrigation localisée, développée par le privé, les matériels présents sur les marchés sont très diversifiés en nombre mais aussi en qualité, et les techniques de pilotage utilisées présentent les même caractéristiques que les matériels puisqu'elles vont du pilotage « à vue » au contrôle automatique des arrosages pour certaines cultures sous serre. La problématique du développement de ce mode d'irrigation, qui est porteur à plusieurs égards, se pose en termes de maîtrise technique et technologique.

La valorisation de l'eau d'irrigation

La valorisation de la ressource en eau est un des fondements du code d'investissement agricole à travers notamment l'obligation des résultats assignés aux périmètres irrigués en matière de revenus et de ressources financières. La rentabilisation de l'important effort financier consenti par la collectivité nationale en matière d'équipement hydro-agricole doit se traduire par une gestion optimale et efficiente de l'eau d'irrigation et une durabilité des aménagements ainsi réalisés.

La gestion des ressources en eau et le développement de l'irrigation se trouvent actuellement confrontés à une série de défis notamment :

- 1. la baisse de la disponibilité en eau,
- 2. la croissance rapide du coût marginal de l'eau et des coûts d'investissement,
- 3. la nécessité d'amélioration de l'efficience et de la productivité de l'irrigation,
- 4. la conservation des ressources et la nécessité de la mise en oeuvre d'une gestion intégrée, participative d'une part, et d'une gestion à la demande des ressources hydrauliques d'autre part.

L'expérience des dernières sécheresses, la saturation de la ressource et l'augmentation de la concurrence intersectorielle sur l'eau dans la plupart des bassins versants (Oum R'biâ, Souss, Moulouya, Massa, Tensift...) imposent désormais d'appliquer les concepts de la gestion de la demande, qui met l'accent sur l'amélioration de l'efficience de l'utilisation de l'eau.

Durant les cinq dernières campagnes, le volume annuel moyen délivré en tête des secteurs d'irrigation est de 2,6 milliards de m³ soit en moyenne 5.600 m³/ha équipé. La couverture des besoins varie entre 137 % pour le Loukkos et 26 % pour le Tafilalet. Le taux de couverture des besoins est de 60 % dans l'ensemble des périmètres. Ce taux n'intègre pas une série de facteurs et s'explique par diverses raisons : sous irrigation de certaines cultures notamment les céréales d'automne, le recours au pompage dans les nappes dans le cas de la Moulouya, du Tadla et du Tafilalet, et l'apport des crues et des résurgences des bassins intermédiaires dans certains périmètres. Cet équilibre précaire de l'adéquation offre-demande en eau dans les périmètres d'irrigation impose l'amélioration de l'efficience et de l'économie de l'eau dans ces périmètres, et donc de leur mise en valeur.

La demande en eau par type de culture dans les périmètres de grande irrigation, compte tenu du niveau technique actuel des usagers et des assolements pratiqués, est peu flexible sachant que les cultures sucrières alimentant les usines, les fourrages alimentant les bovins de races améliorées et les plantations représentent ensemble plus de 65 % de la demande totale.

Cependant l'exigence de la demande est moins pesante car le maraîchage et les cultures industrielles nécessitant une irrigation régulière et à satisfaction presque totale. Il est à remarquer que les cultures industrielles, souvent les premières retenues pour évaluer la valorisation de l'eau en agriculture, ne représentent que 17 % de la demande globale. L'analyse de la demande entre Offices permet de distinguer trois groupes de périmètres :

- 1. le Haouz, Tafilalet, Ouarzazate et la Moulouya où la demande est trop rigide suite à la plantation d'une grande partie de la superficie équipée ;
- le Loukkos et le Gharb où les cultures industrielles constituent une grande pression de la demande en eau d'irrigation, donc d'exigibilité de la demande;
- 3. les Doukkala, Tadla et Souss-massa où la demande en eau est bien répartie entre différents types de cultures.

La confrontation entre le niveau et la structure de la demande en eau des périmètres de grande hydraulique d'une part et les disponibilités en eau d'autre part permet de relever le déficit chronique dans la satisfaction des besoins en eau des cultures et par là, la nécessité impérieuse d'allocation des ressources sur la base d'une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation aux mieux des intérêts de l'usager et de la collectivité nationale.

Dans les périmètres de la P.M.H.³, les besoins nets théoriques pour les 363.000 ha d'irrigation pérenne avoisinent les 2.130 millions de m³ par an soit près de 5.860 m³ à l'hectare. En tête des ouvrages de mobilisation, la demande actuelle est d'environ 5.330 millions de m³ soit en moyenne 14.680 m³/ha compte tenu d'une efficience globale de 40 %. Les volumes délivrés

³ Petite et moyenne hydraulique

en tête de ces périmètres sont estimés à 3.214 millions de m³, soit en moyen 8.853 m³ /ha. La satisfaction des besoins potentiels est d'environ 60 %. La couverture des besoins pour les 17 périmètres étudiés couvrant 16.389 ha varie entre 111 % et 16 %.

La valorisation de l'eau d'irrigation

La valeur ajoutée actuellement dégagée est en moyenne d'environ 9.400 DH/ha⁴, avec une grande variation entre Offices : de 6.000 DH/ha pour le Haouz à 12.140 DH/ha dans les Doukkala. Le revenu monétaire dans les exploitations familiales, très majoritaires dans les périmètres irrigués, correspond à la valeur ajoutée moins une proportion variable du coût de la main d'œuvre. Ainsi, pour les petites exploitations de moins de 5 ha, constituant 84 % du nombre total des agriculteurs dans les périmètres de grande irrigation, caractérisées par l'emploi de la main d'œuvre familiale et le mode de faire valoir direct, le revenu annuel par hectare correspond à la valeur ajoutée. Pour une exploitation moyenne de 3 ha, ce revenu est d'environ 28.000 DH/ha. La marge nette rapportée à l'ensemble des charges engagées donne un rendement financier moyen de 39 %, qui varie entre 55 % pour les Doukkala et 20 % dans le Loukkos. En dépit de ce bon rendement, très peu de promoteurs ont pu s'installer dans les périmètres irrigués, ceci est dû en grande partie à l'absence du marché de la terre et met en relief toute la problématique des structures foncières dans les périmètres irrigués. La valorisation brute de l'eau dans les périmètres des Offices est d'environ 1.63 DH/m3. Elle est légèrement supérieure aux prix de revient de l'eau estimés pour certains périmètres en cours d'équipement. Mais les effets indirects de la production agricole sont tellement importants qu'une telle comparaison ne puisse être valable sans les évaluer et les intégrer dans l'analyse. Bien que la considération des effets sur l'emploi en ne comptant que les valeurs d'avant aménagement (780 DH/ha en moyenne) le taux de valorisation passe de 1,63 DH/ha à 1,89 DH/m3. Par ailleurs, la valorisation brute de l'eau délivrée par les réseaux est corrélée négativement au volume consommé (-0,71). Par contre la valeur ajoutée, la marge brute et la marge nette sont faiblement mais positivement corrélées au volume d'eau consommé. Les coefficients de corrélation sont respectivement de 0,47, 0,64 et 0,68. Ainsi, la recherche d'un plus fort taux de valorisation financière de l'eau risque d'être au détriment du développement économique national et des intérêts de la collectivité nationale.

L'efficience de l'eau d'irrigation

Les différents diagnostiques menés dans les périmètres de grande hydraulique ont permis de mettre en évidence un certain nombre de contraintes en matière de régulation et de fonctionnement des réseaux d'irrigation, ayant un impact négatif sur les performances et l'efficience de l'irrigation se traduisant notamment par :

- l'accroissement des pertes dues aux débordements et déversements sur les réseaux de distribution,
- · la réduction de l'efficience de l'adduction et des réseaux de distribution,
- la réduction de l'uniformité de distribution de l'eau au niveau des périmètres,
- l'augmentation de la charge de travail du personnel d'exploitation du réseau,
- la surconsommation d'énergie de pompage et l'augmentation des coûts d'exploitation et de pompage.

Mesures des débits et comptage des volumes d'eau

Tous les réseaux de distribution à surface libre des grands périmètres d'irrigation sont d'une manière générale dépourvus de systèmes fiables de mesure de débit, à l'exception des périmètres du Haouz et de la Tassaout. En général, les débits ou les volumes fournis à

⁴ dirham, monnaie marocaine, dont 1 DH équivaut aujourd'hui environ 0.09 euro.

l'irrigation sont «mesurés» au niveau des points de prélèvement et de distribution, et en tête du périmètre, donc au niveau des vannes et modules installés sur ces réseaux.

Comme principe général de conception, tous les systèmes sous pression sont pourvus de dispositifs de mesure installés en tête du réseau de conduites ou au point de prélèvement et à l'aval du réseau à la prise d'irrigation (bornes). Dans quelques périmètres, on a installé des dispositifs de mesure intermédiaires sur les conduites et les antennes.

Le fonctionnement des appareillages de mesure est d'une manière général peu satisfaisant et ne permet pas aux O.R.M.V.A. de déterminer avec la précision requise les volumes distribués et consommés pour le suivi des performances des systèmes d'irrigation.

Une bonne gestion technique et financière des périmètres impose de bien maîtriser les débits et volumes desservis et consommés. La présence et le bon fonctionnement de ces dispositifs de mesure constituent une condition primordiale pour l'usage efficace et rationnel de l'eau affecté à l'irrigation. La mise en place d'un réseau de mesure de débit et de comptage de volumes sur l'ensemble des périmètres de grande hydraulique constitue une action au préalable et prioritaire à tout plan visant à l'amélioration du fonctionnement et de l'exploitation des périmètres.

La distribution de l'eau d'irrigation

La procédure de la programmation de la campagne d'irrigation au niveau des grands périmètres d'irrigation se base essentiellement d'une part sur la situation du stock dans les retenues de barrages au début de la campagne agricole et sur les estimations prudentes sur les apports attendus au niveau de ces retenues, et d'autres part, sur l'ajustement de l'offre et de la demande en eau.

La distribution de l'eau à l'intérieur des périmètres gravitaires se fait suivant le système du tour d'eau, c'est à dire la main d'eau circule à l'intérieur d'un ou plusieurs blocs d'irrigation selon un programme préétabli en fonction des cultures mises en place et les superficies. Cette procédure a été prévue à l'origine pour des assolements bien déterminés et le respect de la trame d'irrigation. A l'heure actuelle, où les assolements sont libéralisés, les procédures initiales ont été ajustées de façon que les tours d'eau soient actuellement établis à la demande des agriculteurs individuels. Dans le cas de l'irrigation par aspersion, la distribution de l'eau fonctionne normalement à la demande. Cependant, lors des périodes de pénurie⁵ d'eau, on introduit l'irrigation au tour d'eau selon les mêmes principes comme pour les secteurs gravitaires. Bien que les procédures de la programmation et de la distribution étaient bien satisfaisantes pour les conditions prévues lors de la conception des grands périmètres d'irrigation, la situation actuelle impose quelles soient ajustées aux conditions nouvelles. Deux contraintes majeures se présentent :

1. L'expérience des périodes de sécheresse successives et l'accroissement continue de la demande en eau, ont conduit à la situation où les volumes disponibles sont presque en permanence inférieurs à la demande, nécessitant la réduction des dotations pour les grands périmètres d'irrigation d'une manière quasi-structurelle.

Les procédures en vigueur méritent en conséquence une évaluation, et pouvant éventuellement aboutir à des adaptations et des affinements (gestion des ressources en eau en temps réel),

2. La programmation du tour d'eau à la demande semble une solution de compromis, mais elle est très peu efficace. Dans la situation actuelle, il semble pratiquement impossible de programmer un tour d'eau efficace devant satisfaire toutes les demandes d'eau individuelles

⁵ Il est démontré, par un bon nombre d'études climatologiques, que l'année sèche représente "une année normale", alors que l'année humide représente "une année exceptionnelle".

dans des conditions de pénurie et d'un assolement aussi variable. Il en découle également une tâche extrêmement lourde pour les aiguadiers et les services de l'exploitation des O.R.M.V.A.

L'efficience des réseaux de distribution

Compte tenu de l'état actuel de fonctionnement des réseaux de mesure de débit et les procédures de son exploitation, la fiabilité et la précision des données sont en général peu élevées. L'information disponible permet d'estimer la précision des mesures comme suivant :

- Seuils de mesure et ouvrages jaugeurs exploités par la D.G.H.: 5 à 10 %
- Débitmètres installés sur conduites sous pression : > 10 %
- Stations de pompage non calées : sous estimation des débits de 10 à 20 %
- Modules à masque Q > 200 l/s : sous-estimation des débits de 15 % en moyenne
- Compteurs d'eau (bornes) : sous comptage de 10 à 20 % (compteurs Opérationnels).

Les efficiences des réseaux gravitaires sont tout à fait raisonnables compte tenu de l'état actuel de leur fonctionnement hydraulique. On observe une tendance à sur estimer l'efficience des réseaux secondaires, étant donnée que les débits des prises secondaires sont sous estimés (10 %), tandis que les débits aux prises tertiaires ont une tendance à être sur estimés (15 %). La résultante nette peut prêter à une sur estimation de 20 à 25 %. Pour les mêmes raisons, l'efficience du réseau d'adduction principale peut être sous-estimée, ce qui pourrait compenser la sur estimation dans le réseau secondaire.

Les efficiences observées dans les réseaux sous pression alimentés en eau par pompage sont relativement faibles étant donnée que les pertes sur les conduites ne sont en général pas signalées ou observées. Les valeurs obtenues sont sous-estimées, étant donnée que les volumes de pompage sont souvent sur estimés (10 % en moyenne), tandis que les volumes comptés à la borne ont une tendance à être sous-estimés (10 à 20 %). Ceci pourrait conduire à une sous-estimation des efficiences des réseaux sous-pression de 15 à 20 %. Il est estimé que 40 % des pertes (environ 50 % des fuites, vols et pertes dues au dysfonctionnement du système de régulation) peuvent être évitées par une amélioration du fonctionnement hydraulique et de l'exploitation du système de distribution.

L'efficience de l'application de l'eau à la parcelle

Les analyses effectuées permettent de conclure que la base des données disponibles relatives à la consommation de l'eau et l'efficience de l'application de l'eau à la parcelle ne permet pas d'évaluer les efficiences actuelles dans les périmètres de grande hydraulique avec la précision requise. Néanmoins, on peut dire que les efficiences de l'application de l'eau sont très variables selon les périmètres et se trouvent dans les fourchettes suivantes :

- l'irrigation gravitaire : 0,60 à 0,75
- l'irrigation par aspersion : de 0,70 à 0,90.

Les pertes en irrigation gravitaire ne semblent pas très excessives par rapport aux normes courantes (0,7 à 0,8), alors que les pertes en aspersion sont le plus souvent plus élevés que la norme technique adoptée (0,90 à 0,95)

Les bilans hydrauliques globaux d'irrigation

Les bilans hydrauliques d'irrigation permettent de tirer quelques conclusions globales et de faire les commentaires suivants :

- les pertes moyennes sur l'ensemble des bassins s'élèvent à environ 2,4 Milliards de m³/an, qui représentent 40 % des volumes d'eau fournis à l'irrigation (6 Milliards de m³/an),
- environ 60 % des pertes totales ont leur origine au niveau de la parcelle,

- environ 20 % des volumes d'eau fournis peuvent être considérés comme «return flow», étant 45 % des pertes totales. Les pertes de percolation en profondeur sont dans le même ordre de grandeur,
- les efficiences globales de l'eau en irrigation sont variables selon les périmètres et les bassins. La moyenne globale des bassins est environ 0,60.
- les «return flow» et les pertes de percolation sont en général récupérables dans le bassin, sauf l'écoulement hors du bassin. Le taux de récupération potentielle «recyclage des pertes» est par conséquent variable selon les cas et fortement tributaires des volumes de pertes à la mer. Compte tenu des pertes récupérables, l'efficience de l'usage de l'eau d'irrigation au niveau d'un bassin versant est assez élevée, 0,90 en moyenne. Environ 90 % des volumes fournis à l'irrigation sont soit utilisés en direct (3,6 Milliards m³/an), soit utilisés d'une manière indirecte (1,8 Milliards m³/an).

Analyse des bilans hydrauliques

Actuellement, des situations de déficits en eau sont déjà enregistrées au niveau des certains bassins versants comme la Moulouya, Bouregreg, Tensift, Sous-Massa et la zone sudatlasique. Les déficits relevés au niveau des bassins du Tensift et du Souss sont largement atténués par la surexploitation non durable des nappes du Haouz et du Souss-Massa et par le transfert d'eau de l'Oum Rbiaâ pour le Tensift.

Au-delà de l'horizon 2020, seuls les bassins du Sebou, du Loukkos et côtiers méditerranéens offriraient des possibilités réelles de mobilisation de ressources en eau additionnelles. Ces ressources excédentaires devraient être retenues pour combler les déficits que connaîtront à terme d'autres bassins.

La mobilisation des ressources en eau non conventionnelles comme la réutilisation des eaux usées, le dessalement d'eau de mer, le retour des irrigations, permettrait d'atténuer les déficits en eau notamment dans les bassins du Souss-Massa, de l'Oum Rbiaâ et le Tensift.

Planification et perspectives de développement des ressources en eau

L'accroissement rapide des besoins en eau, en raison de la croissance démographique et l'amélioration des conditions économiques et sociales du pays, se traduira par une pression croissante sur les ressources en eau. Le ratio ressource eau mobilisable par habitant passera de 688 m³/hab/an à l'an 2000 à 519 m³/ha/an en l'an 2020. Ce qui signifie que le Maroc devrait faire face à une situation permanente de stress hydraulique. En plus de la rareté, la sécheresse, l'érosion, le transport solide, la pollution constituent les principales contraintes au développement durable des ressources en eau. Pour lever ces contraintes, la stratégie adoptée s'articule autour de :

- 1) la poursuite de l'effort de mobilisation de la ressource en eau,
- 2) la lutte contre la pollution et la préservation de la qualité de l'eau,
- 3) la préservation de l'infrastructure hydraulique,
- 4) le développement des ressources en eau non conventionnelles,
- 5) L'amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau par les cultures adaptées,
- 6) l'organisation et la réglementation du secteur de l'eau.

4. BIBLIOGRAPHIE

BAHHOU A. (2002): La sécheresse climatique au Maroc : ses caractères et ses relations avec les mécanismes de la circulation atmosphérique et son impact sur la céréaliculture, thèse de doctorat d'Etat, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Mohammedia, Maroc.

BEN AOUDA H. (2003): Irrigation et compétition sur la ressource en eau au Maroc, Etude présentée dans le cadre de PRUD, Université Hasan II- Mohammedia, Maroc.

Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (1993) : Aménagement hydroagricole - Situation actuelle et perspectives.

Direction de l'Aménagement du Territoire (2000) : L'Espace Marocain, Etat des lieux, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, d'Urbanisme et de l'Habitat, Royaume du MAroc

Direction Générale de l'Hydraulique (1996) : Développement des ressources en eau au Maroc, Ministère des Travaux Publics, Rabat.

Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat (1999) : Stratégie de la gestion des ressources en eau du Maroc,

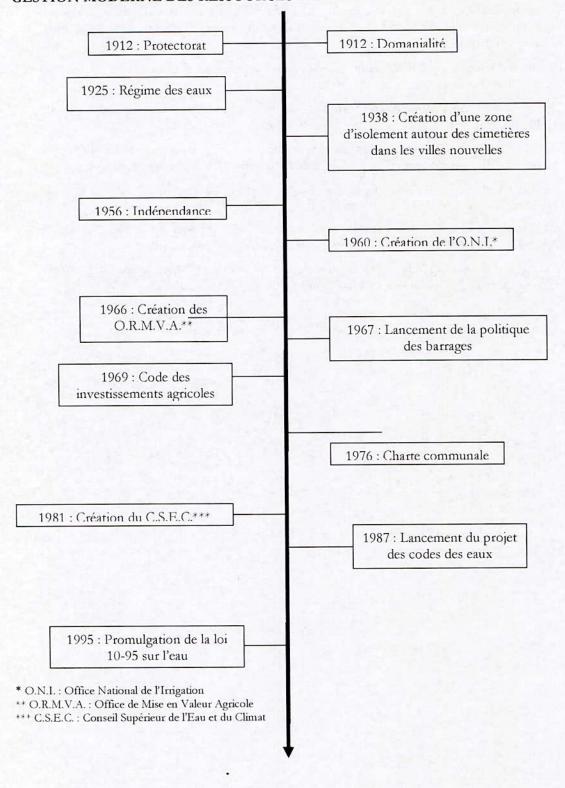
SALOUI A. (2000): Précipitations et bilans hydriques dans les plaines et plateaux atlantiques marocains, Thèse de doctorat d'Etat, Université Mohammed V- Agdal, Rabat, Maroc,

YACOUBI M. & al. (1996) : L'irrigation au Maroc : Bilan et Perspectives, Administration du Génie Rural, Ministère de l'Agriculture, Rabat.

YACOUBI M. & al. (1997) : Refonte du Code des Investissements Agricoles : Secteur de l'Irrigation, Administration du Génie Rural, Ministère de l'Agriculture, Rabat.

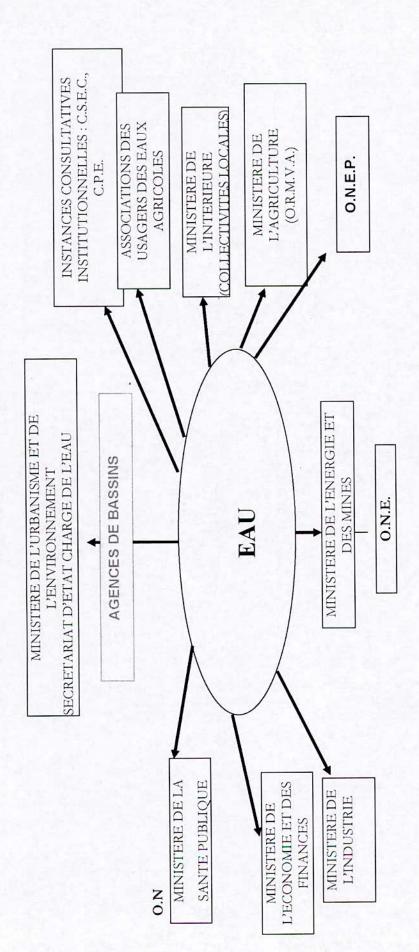
YACOUBI M. & al. (1999) : Les ressources en eau au Maroc : Bilan, perspectives et plan d'action, Administration du Génie Rural, Ministère de l'Agriculture, Rabat.

PRINCIPALES ETAPES D'INTERVENTION DES POUVOIRS PUBLICS DANS LA GESTION MODERNE DES RESSOURCES EN EAU



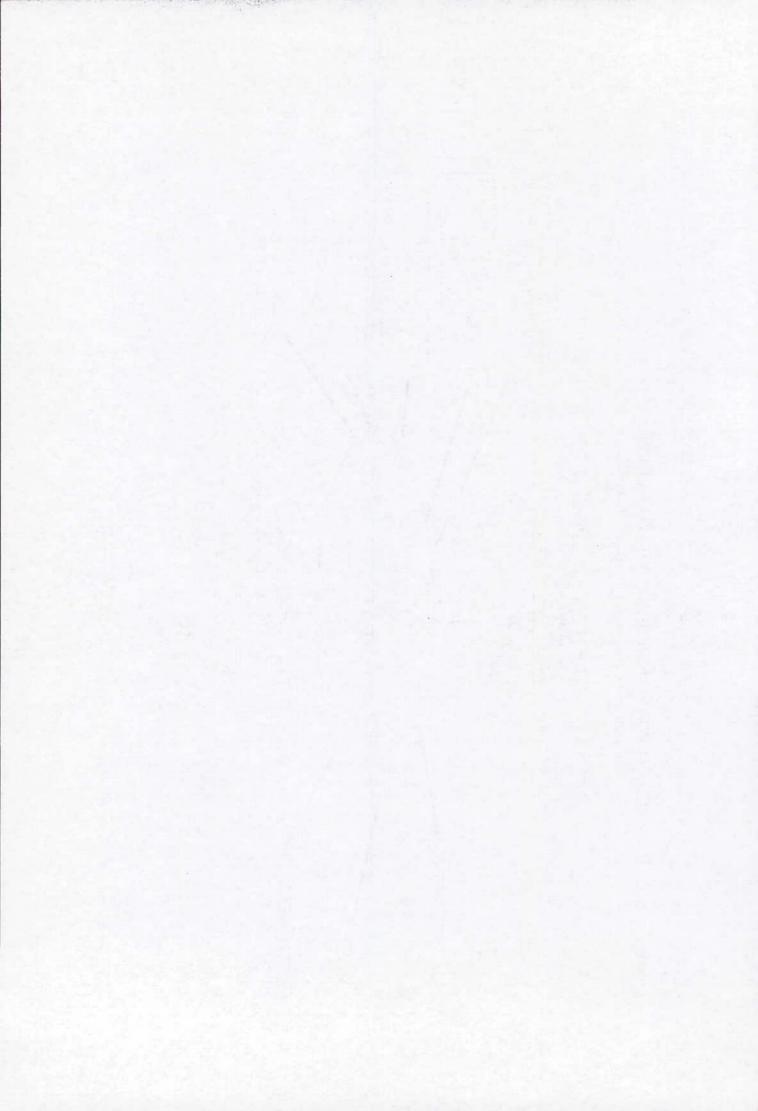
Croquis n°. 1:PRINCIPAUX ACTEURS INTERVENANT DANS LE SECTEUR DE L'EAU

(en rouge, la modification apportée par la loi 10-95 sur l'eau)



international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Congrès



LA SEDIMENTATION DANS LES BARRAGES DE L'AFRIQUE DU NORD

Remini Boualem et Remini Wassila

Département de Génie Rural, Université de Blida Email : reminib(Wyaboo.fr,

RESUME

L'infrastructure hydrotechnque des pays de l'Afrique du nord a augmenter en 2004; le nombre de barrages dépasse largement 250 avec une capacité totale de plus de 23 milliards de m³. Le taux de sédimentation a évolué aussi ces dernières années, du fait de la forte érosion des bassins versants. Cette capacité se trouve amputée par le phénomène de la sédimentation; au moins 130 millions de m3 des sédiments se déposent chaque année au fond des réservoirs de ces barrages. L'Algérie dispose actuellement de 114 barrages en exploitation, totalisant une capacité de 52 milliards de m3. Le taux d'envasement annuel est évalué à 32 millions m3 et le nombre de réservoirs mis hors service par suite de l'alluvionnement est en augmentation constante. Différents moyens de lutte contre ce phénomène ont été pratiqués sur l'ensemble des barrages de l'Afrique du nord, tels que : l'aménagement, le reboisement des bassins versants et la protection des sols (Algérie, Tunisie et le Maroc), la surélévation des digues (en Algérie), le dragage des barrages (en Algérie), le soutirage et les chasses par les vannes de fond (Algérie, Tunisie et le Maroc). Malgré l'avancée spectaculaire de la sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord, les résultats obtenus par les différents moyens techniques de lutte employer par les services hydrauliques se sont avérés très satisfaisants et la durée de vie de plusieurs barrage a été prolongée, ce que nous essayons de les présenter dans cette communication. Les résultats obtenus par le technique des courants de densité dans notamment les barrages d'Ighil Emda, Erraguenne et Oued El Fodda feront l'objet de cette étude. C'est ainsi que la durée de vie du barrage d'Ighil Emda a été multipliée par trois et celle de Oued d'Erraguenne par deux.

Mots clés

Algérie- Afrique du nord -Barrage - Sédimentation - Dévasement.

1. INTRODUCTION

L'Afrique du nord dispose actuellement de plus de 230 barrages d'une capacité totale de stockage de 23 milliards de m³ répartis comme suit (fig. 1, et 2).

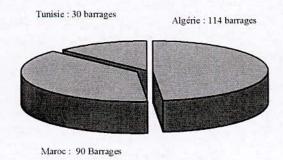


Figure 1: Nombre de barrages en Afrique du nord

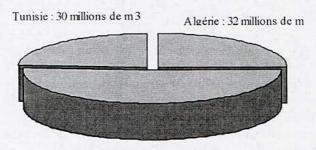
Tunisie: 3.5 milliards de m 3

Algérie: 5.2 milliards de m 3

Maroe: 14 milliards de m 3

Figure2 : Capacité de stockage en Afrique du nord

Le suivi de l'envasement des retenues, a permis d'évaluer à près de 130.10⁶ m³ la capacité perdue par envasement en moyenne chaque année. Cette capacité est répartie comme suit (fig.3) entre les trois pays.



Maroc: 65 millions de m3

Figure 3: Envasement annuel en Afrique du nord

En plus de la réduction de la capacité, la sédimentation a un impact au niveau du réservoir lui même, en amont, et en aval du barrage. Ces pays (Algérie, Tunisie, Maroc), font partie d'une zone montagneuse caractérisée par un climat agressif avec alternance d'années sèches et humides, et des pluies d'automne dévastatrices pour les sols, d'autant plus qu'elles surviennent à une période où la couverture végétale est réduite ou inexistante, et les sols ameublis par les labours. La conséquence est que d'une part, les crues d'automne violentes, et brutales sont la cause d'une forte ablation, et d'autre part, le taux d'érosion dans les bassins versants est important, ce qui favorise l'apparition des courants de densité dans les réservoirs des barrages des pays de l'Afrique du nord.

Dans cette étude, on propose de mettre en relief la gravité du phénomène de la sédimentation des barrages dans la région de l'Afrique du nord à travers l'analyse des étapes du processus de l'envasement (figure 4).

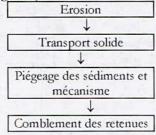


Figure 4 : Processus de la sédimentation-

2. EROSION DES BASSINS VERSANTS

L'érosion hydrique correspond à la séparation entre la particule et son support, sans inclure le transport et la sédimentation, même s'il se produit toujours un micro-transport [1]. Ce phénomène est très répandu en Afrique du nord. En effet, la majorité des bassins versants de l'Algérie, la Tunisie, et le Maroc est caractérisée par de fortes dégradations spécifiques dépassant 2000 t/km².an. A titre d'exemple, dans les bassins versants marocains, le taux d'érosion spécifique est:

- supérieure à 2000t/km².an au niveau des bassins du Martil, de l'Ouergha, de Lakhdar, et de la Tessaout.
- comprise entre 1000 et 2000 t/km².an au niveau des bassins du Neckor, de M'Harhar, et du Loukkos.
- comprise entre 500 et 1000 t/km².an au niveau des bassins versants de Sebou, de l'Inanouène, de l'Oued El Abid, et du Massa.
- inférieure à 500 t/km².an au niveau du reste du pays [2].

En Tunisie, l'érosion hydrique dégrade les terres cultivables. Au total, 1,2 millions d'héctars sont gravement affectés par l'érosion dans le nord, et le centre de la Tunisie, soit 25% de la superficie totale des terres [3].

En Algérie, le taux d'érosion dépasse 2000t/km².an sur la plupart des bassins versants de l'Atlas Telien (Rhiou, Sly, Fodda, Mazafran, Isser). Il atteint 4000t/km².an sur la chaîne côtière de Dahra, et 5000 t/km².an sur le bassin très dégradé de l'Oued Agrioum [4]. Sur la Seine, par contre, le taux d'érosion est de 62t/km².an, il atteint 1500 t/km².an sur celui de la Durance (France), et dépasse 2500 t/km².an sur certains bassins de la Chine, et de l'île de Java [5].

Tous ce matériel érodé est transporté plus ou moins rapidement jusqu'aux cours d'eau. Il comprend des particules fines en suspension, des sédiments grossiers charriés, et de la matière dissoute. Ce sont les crues d'automne qui causent le plus d'érosion.

3. TRANSPORT SOLIDE

Une fois ce matériau solide arrivé dans les cours d'eau, il sera transporté par la force du courant. Les concentrations des sédiments sont très élevées suivant les cours d'eau, et l'importance des crues.

Elles varient énormément et peuvent atteindre ou même dépasser les 200 g/l en Tunisie. Des concentrations de 100 g/l sont fréquentes à la Madjerda, au Zeroud, et au Marguellil (Tunisie). Des quantités considérables de sédiments sont transportées par les cours d'eau algériens pendant les crues. Variant de 50 à 150 g/l, avec des valeurs maximales dépassant même 500 et 600 g/l puisque des valeurs de 650 g/l ont été enregistrées sur certaines rivières [6]. Une proportion importante de ces sédiments sera piégée dans les retenues de barrages. Par exemple, au Maroc près de 60% des 100.106 de tonnes de terre érodée annuellement se dépose dans les retenues de barrages [2].

4. PIEGEAGE DES SEDIMENTS ET MECANISME DE SEDIMENTATION

Une fois la crue arrivée au niveau des eaux calmes du réservoir, les matériaux grossiers se déposent dans la zone de remous en formant un « delta » en queue de la retenue. Les particules fines sont piégées dans la retenue et commencent à se déposer, se tasser, et à se consolider diminuant ainsi progressivement leur capacité de stockage en eau. Lorsque la concentration des sédiments est très élevée, les particules fines plongent au fond de la retenue et s'y écoulent sous forme d'un courant de densité (fig. 5). La configuration géométrique des retenues sous forme de canal (fig. 6) pour la plupart des barrages de

l'Afrique du nord favorise les courants de densité à se propager jusqu'au pied du barrage. En l'absence d'ouverture des vannes, les sédiments drainés par les courants de densité, se déposent et se tassent puis se compactent selon leur nature, et les conditions physicochimiques du milieu. (fig. 7). Cette consolidation peut gêner, plus tard, l'évacuation des sédiments accumulés dans la cuvette lorsque les manœuvres des vannes seront opérées très en retard.

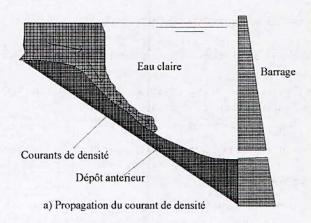


Figure 5 : Propagation d'un courant de densité

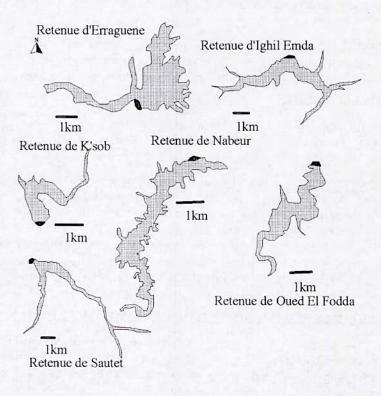


Figure 6 : Quelques exemples des retenues de type « canal »

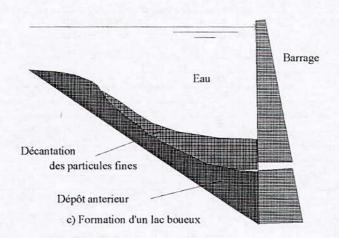


Figure 7 : Décantation et tassement des particules solides fines

5. PROBLEMES POSES PAR LA SEDIMENTATION

La sédimentation dans les barrages pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir lui même, mais aussi en amont et en aval du réservoir. Elle entraîne la réduction de la capacité utile du barrage. Le blocage des organes de vidange. La sédimentation peut mettre la stabilité de l'ouvrage en danger.

Elle peut aussi accélérer l'eutrophisation du lac. Les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par les canaux, à partir des barrages, se déposent dans ces ouvrages, réduisent leur débitance, et rendent difficile leur exploitation (fig.8).

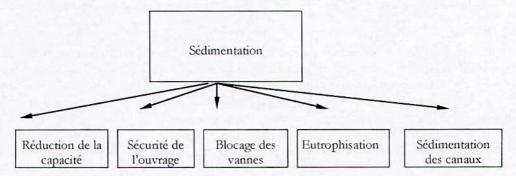


Figure8: Problèmes posés par la sédimentation

5.1. Réduction de la capacité

Les pays de l'Afrique du nord comme l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie, détiennent plus de 220 barrages d'une capacité de plus de 20 milliards de m³. Chaque année, un volume de 120 millions de m³ de vase se dépose dans les réservoirs. Le tableau 1 représente le taux de sédimentation d'une dizaine de barrages des plus envasés de l'Afrique du nord.

Tableau 1: Taux d'envasement (2002)

Barrages	Année de mise en eau	Capacit é.10 ⁶ m ³	En moy.ann. 10 ⁶ m ³ /an	Taux de sédimentation (%)
Mohamed V(Maroc)	1967	725	11,6	56
Mansour Edahabi(Maroc)	1972	592	4,8	24
El Massira(Maroc)	1979	2724	9	7,5
Bir El Ouidane(Maroc)	1953	1484	4,5	15
Mellegue(Tunisie)	1954	332	5,94	85
Sidi Salem(Tunisie)	1981	555 -	5,6	21
Ghrib(Algérie)	1939	280	3,2	72
Oued El Fodda(Algérie)	1932	228	2,31	71
Ighil Emda(Algérie)	1953	155	1,33	42
Boughezoul(Algérie)	1934	55	0,66	81

Il est à constater, que le taux de sédimentation annuel est évolué à 50.10⁶ m³ uniquement pour les dix barrages sur les 220. Ce qui représente 40% de l'envasement annuel du nombre total. Cependant, le barrage Mohamed V (Maroc) est le premier barrage de l'Afrique du nord, il reçoit annuellement un volume de vase égal à 11,6.10⁶ m³. Les quatre barrages marocains Mohamed V, Eddahabi, El MAssira, et Ben El Ouidane reçoivent annuellement une quantité de vase de 30.10⁶m³, l'équivalent de ce que les 114 barrages algériens reçoivent annuellement.

5.2. La sécurité de l'ouvrage

La sédimentation des retenues a un impact sur la sécurité des barrages, par la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la force hydrostatique produite par le remplacement accéléré du volume d'eau par la vase. Ceci se traduit par l'accroissement de la masse spécifique qui peut atteindre 1,8 t/m³. Ce cas a été signalé aux barrages des Zardézas, et K'sob. Nous pouvons dire que si le taux de comblement d'une retenue dépasse 50% de la capacité initiale et la vase est en contact de l'ouvrage, dans ce cas, il faut prendre au sérieux la stabilité du barrage. C'est le cas des barrages de Oued El Fodda, et de Foum El Gherza.

5.3. Blocage des vannes

La présence des courants de densité dans une retenue accélère la sédimentation, et peut avoir comme impact l'obturation des organes de vidange. Le non maîtrise du mécanisme des courants de densité peut avoir un effet néfaste sur les vannes de fond. En effet, l'ouverture tardive des vannes de fond, par rapport à l'arrivée des courants de densité, favorise la consolidation des vases près des pertuis de vidange et rend plus difficile leurs manœuvres. Comme exemple, on peut citer le cas du barrage de Oued El Fodda dont la vanne de fond a été bloquée depuis 1948 suite à la consolidation rapide de la vase. Actuellement, elle se trouve sous 40 m de hauteur de vase. La vanne du barrage de Foum El Gherza s'est obturée durant la période 1981-1989 [7] Celle du barrage des Zardézas a été bloquée durant les années 90.

5.4. Accélération de l'eutrophisation

Une fois déposées, les particules solides se tassent, et se consolident suivant leur nature, et les conditions physico-chimiques du milieu. Du fait de l'eutrophisation qui en résulte, la qualité de l'eau se dégrade très sérieusement. Plusieurs cas ont été signalés dans la région de l'Afrique du nord. En effet, les déficits en oxygène, enregistrés près du fond du barrage El Khattabi (Maroc) au cours de la saison d'été, ont provoqué une activité de biodégradation dans les zones profondes [2].

5.5. Sédimentation dans les canaux d'irrigation

Un autre problème délicat posé par la sédimentation qui s'étend cette fois-ci à l'aval du barrage. En effet, l'irrigation par l'eau chargée provoque le dépôt des sédiments dans les canaux. La section mouillée diminue avec le temps et le débit d'écoulement par conséquent. Ce problème impose leur entretien, et leur dévasement d'une manière périodique. Selon Badraoui A. et Hajji A. (2001) [2] u Maroc, plusieurs canaux d'irrigation s'envasent à chaque opération d'irrigation. C'est le cas du canal de rocade qui alimente les périmètres du Haouz central, et la ville de Marrakech à partir du complexe Hassan 1^{er} Sidi Driss. Les périmètres de Habra, dans l'ouest algérien, s'envasent à chaque opération d'irrigation. Ils arrivent souvent que les siphons se bouchent par la consolidation de la vase, et le curage devient donc indispensable, et d'une manière régulière.

6. ENVASEMENT DES BARRAGES EN ALGIRIE

Les 52 grands barrages reçoivent 32 millions de m³ de matériau solide annuellement. La répartition des barrages sur les cinq bassins hydrographiques indiquent clairement que les barrages de la région de Chéllif – Zahrez sont les barrages les plus menacés par le phénomène de l'envasement, puisque le taux de sédimentation annuel est de 0.75% (fig. 9). Ceci est dû à la forte érosion des bassins versants de la région, favorisé par la nature des sols et l'absence de boisement. Même pour les petits barrages, le taux de comblement évalué en 2002 dans le bassin hydrographique Chellif –Zahrez est de 16% de la capacité totale, il est beaucoup plus grand par rapport à celui des autres régions (fig. 10).

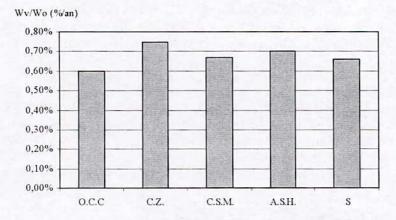


Figure 9: Répartition du taux de comblement annuel des garnds barrages dans les bassins hydrographiques(Remini B. et Hallouche W., 2004).

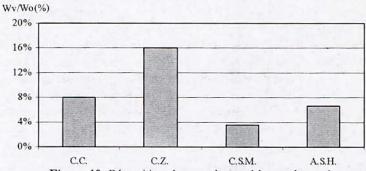


Figure 10: Répartition du taux de comblemnt des petits barrages dans les bassins hydrographiques de l'Algérie du nord (Remini B. et Hallouche W., 2004).

C.S.M: Constantinois -Seybouse - Mellegue

C.Z: Chéllif – Zahrez A.S.H: Algérois - Soummam -Hodna

O.C.C: Oranie -Chott Chergui S: Sud

Wy : volume de vase Wo : volume initial de la retenue.

Nous avons établi une carte de sensibilité à l'envasement (fig. 11) qui montre quatre types de zones d'envasement ;la zone de faible taux de comblement (T<0,5%/an), la zone de moyen taux de comblement (0,5%/an<T<1%/an), la zone de fort taux de comblement (1%/an <T<3%/an) et la zone de très fort taux de comblement envasement (T>3%/an). Le taux de comblement exprime en %/an représente la perte de capacité (en %) d'un barrage suite aux dépôts des sédiments par année. Cette carte est de grande utilité pour les services hydrauliques qui peuvent avoir une idée sur l'état de l'envasement des barrages en exploitation et la priorité d'intervention pour lutter contre l'envasement. Ils peuvent avoir une idée sur la vitesse de sédimentation des barrages afin d'en tenir compte lors de la réalisation de nouveaux barrages.

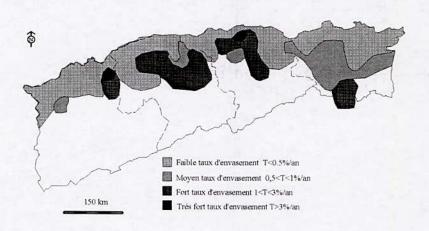


Figure 11 : Carte de sensibilité à l'envasement des barrages (Remini B., 2004)

7. MOYENS DE LUTTE TECHNIQUES CONTRE L'ENVASEMENT

Nous citons les principaux moyens de lutte techniques contyre l'envasement utilisés par les pays de l'Afrique du nord.

7.1. Surélévation des barrages

L'une des techniques de lutte contre l'envasement et par conséquent de prolonger la durée de vie d'un barrage est la surélévation de la digue. L'Algérie est parmi les premiers pays de l'Afrique du nord qui a pratiqué cette technique. Cette méthode consiste, lorsque le taux de comblement est avancé, à augmenter la hauteur de la digue d'une taille variable, permettant la constitution d'une réserve complémentaire pour compenser la perte du volume occupé par la vase. Quatre barrages ont été surélevés : Zardézas (1975), Ksob (1977), Boughezoul (1960) et Bakhada (1958). La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée. La nouvelle situation ainsi créée ne peut qu'influencer l'évolution des dépôts des sédiments dans la retenue. Nous avons constaté que l'envasement a augmenté plus rapidement après cette surélévation, ce fait étant confirmé par l'examen du tableau 2, pour les quatre barrages cités ci dessus.

Tableau 2 : Vitesses de sédimentation movennes des barrages surélevés [8]

Barrages	Vitesse de (10 ⁶ m ³ / an) sédimentation				
	Avant surélévation	Après surélévation			
ZARDEZAS	0,30	0,70			
K'SOB	0,25	0,29			
BOUGHZOUL	0,34	0,50			
BAKHADA	0,05	0,15			

7.2. La technique de chasse

La technique de chasse consiste à évacuer une quantité des sédiments par les pertuis de vidange à l'arrivée des crues. Elle est appliquée souvent au barrage de Beni Amrane. Ce dernier d'une capacité de 15,6 10⁶ m³ a été doté de six vannes de fond. Environ 2,2.10⁶ m³ de vase ont été évacués durant la période 1988-1993. L'évacuation des sédiments par les pertuis de vidange n'est efficace que pour la zone proche des vannes.

L'efficacité des chasses opérées dans le temps au niveau du barrage qui n'a pas dépassé les 26 % du total des sédiments entrants. L'ouverture de la vanne de fond au barrage de Foum El Gherza a permis d'évacuer environ 0,5 10⁶ m³ de vase durant l'année 1989/1990 et une quantité de 0,1 10⁶ m³ de vase de 1990 à 1993.

7.3. Soutirage des courants de densité

La majorité des retenues en Algérie présentent les conditions favorables à l'apparition des courants de densité. En effet, la forte concentration en sédiments dans les cours d'eau surtout en période de crues et la forme géométrique (de type cana) donnent naissance aux courant de densité à l'entrée d'une retenue et peuvent se propager jusqu'au pied du barrage. L'ouverture des vannes de fond dans le moment opportun peut évacuer une forte quantité en sédiment. C4est ainsi que cette technique est utilisé dans les barrages d'Ighil Emda, Erraguene et Oued El Fodda. Le barrage d'Ighil Emda a été équipé d'un dispositif installé spécialement pour le soutirage des sédiments et constitué de 8 vannettes de dévasement et 3 vannes de dégravement. Une quantité importante évaluée à 45,3.10⁶ m³ a ainsi été évacuée en 39 ans d'exploitation (fig. 3). Durant la période 1984-1992, le rendement est de 55 %; en effet une quantité de vase de 8,3.10⁶ m³ a été évacuée pour un apport total de 15,3.10⁶ m³ dans la retenue [9]. Pour tenter de résoudre le problème de l'obturation de la vanne de fond Le

Barrage de Oued El Fodda en 1948 (et qui se trouve actuellement sous 45 m de vase), cinq vannettes de dévasement ont été installées dans ce barrage en 1961. La retenue avait initialement (1932) une capacité de 228 10⁶ m³ qui a été ramenée progressivement à 124 10⁶ m³ en 1994, mais en l'absence de soutirage de soutirage cette capacité en 1994 aurait été inférieure puisque réduite à 100,5 10⁶ m³. Durant la période : 1961-1994, une quantité de 57,5.10⁶ m³ de vase est arrivée dans la retenue, alors que seulement 21,5.10⁶ m³ de vase a été évacuée, soit un rendement de 37 % [10]. Malgré le faible taux d'envasement dans la retenue, le barrage d'Erraguene a été équipé d'un système de soutirages composé de 4 vannettes de dévasement et de deux vannes de dégravement. Le suivi des soutirages est mené de façon à peu pré satisfaisant. Une quantité de vase évaluée à 9.10⁶ m³ a été évacuée en 30 années d'exploitation (1962-1992). Pendant la période globale 1962-1992 environ 9.10⁶ m³ de vase ont été évacués, alors que 19.10⁶ m³ se décantent dans la retenue, soit un rendement moyen de 32 % [10].

7.4. Réalisation de barrage de décantation

La meilleure façon d'éviter l'envasement, c'est d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage, cela peut se faire par la création de retenues pour la décantation des apports solides, ce qui revient à construire un autre barrage en amont. Cette solution n'a été appliquée dans un seul cas en Algérie. La réalisation du barrage de Boughezoul en amont de celui de Ghrib, bien qu'édifié essentiellement pour amortir les crues de oued Chellif, cette retenue a permis de retenir depuis sa création un volume de prés de 50 10⁶ m³ de vase, qui sans elle, seraient venus s'ajouter aux 150 10⁶ m³ qui se sont déposés dans celle de Ghrib (en l'an 2000). Le barrage de Boughezoul a ainsi réduit l'envasement du Ghrib de prés de 18 %.

7.5. Dragage des barrages

Les résultats de travaux de dragage obtenus par la drague «Lucien Dumay» durant la période 1958 -1969 sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3: Résultats des travaux de la drague « Lucien DUMAY »

Résultats	Barrages					
	Sig	Cheurfas I	Fergoug	Hamiz		
Durée de dragage (en mois)	4	47	10	26		
Volume de vase draguée (densité = 1,6) (106 m³)	1,96	10,2	3,1	3,77		
Rapport: Eau claire/vase (en volume)	3,5	4,8	4,6	6,8		
Densité moyenne de la mixture	1,133	1,104	1,108	1,076		

Il est à constater que seulement 19 millions de m3 de vase ont été dragués pendant une durée de 97 mois avec une perte d'eau claire de 96 millions de m3. Le barrage de Fergoug III (actuel) d'une capacité initiale (1970) de 18 millions de m3 envasé à 14,1 millions de m3 en 1989 avant le dévasement a été dragué pendant la période 1989 - 1992 par la drague « Rezoug Youcef ». Un volume de vase de 6,5 millions de m3 a été enlevé avec une quantité d'eau claire égale à 7 millions de m3. L'état d'envasement très avancé du barrage de Zardezas a obligé les services hydraulique de dévaser le barrage, puisque mon pas seulement la capacité de stockage qui a été menacée par l'envasement mais la stabilité de l'ouvrage a été menacée par la forte poussée des sédiments. Les travaux de dragage ont commencé à partir de 1993 et jusqu'aujourd'hui, la drague se trouve sur le site. Elle est programmée pour extraire un volume de 10 millions de m3 de vase. Durant dix années (1993-2002) de dragage, une quantité de vase de 8,6 millions de m3 a été évacuée. Mais, il faut ajouter que durant cette période de dix années, un volume de vase de 2,5 millions de m3 s'est déposé dans la retenue avec un taux d'envasement de 0,25 millions de m3 par an.

8. CONCLUSION

L'Algérie du nord perd annuellement un volume de 130 millions de m3 d'eau suite aux dépôts successifs des sédiments dans les retenues de barrages. Cependant ce volume pouvait atteindre le double si ce n'est les moyens techniques de lutte déployés par les services hydrauliques depuis plusieurs années. Plusieurs techniques ont été utilisées pour minimiser ce phénomène à savoir ; l'aménagement des bassins versants et des cours d'eau, le dragage des barrages, le soutirage des courants de densité. La demande croissante en eau et le manque de sites favorables à la réalisation des barrages ont incité beaucoup de chercheurs à étudier ce phénomène. Pour nous, il est indispensable d'entretenir les barrages (anciens) en exploitation en utilisant les différents moyens de lutte. La technique de dragage devra être pratiquée pour les barrages les plus envasés. Pour les barrages en réalisation, il faut aménager des maintenant leurs bassins versants et concevoir les pertuis de dévasement spécialement pour le soutirage des courants densité. Le nombre des vannetes doit être déterminé en fonction concentration des particules fines que draine le cours d'eau principal qui débouche dans la retenue. A l'aval du barrage la vase évacuée par les pertuis de vidange ou par dragage doit être utilisé dans les différents domaines agricole, industriel et artisanal quant à l'eau perdue, elle doit être utilisée pour la réalimentation de la nappe (fig. 12)

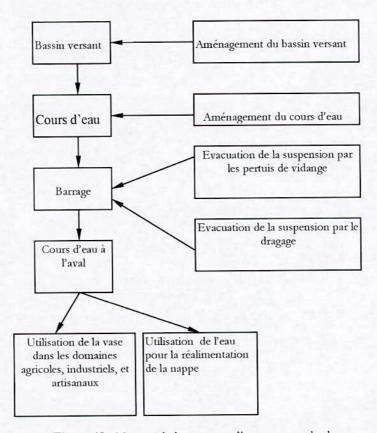


Figure 12: Moyens de lutte contre l'envasement des barrages

9. BIBLIOGRAPHIE

[1] Rampon. 1990.

Erosion hydrique et sédimentation dans les barrages. Informations techniques CEMAGREF, juin, 1990, n° 78, note 6 pp. 1-7.

[2] Badraoui A et Haji A., 2001.

Envasement des retenues de barrages. Revue la Houille Blanche, n°6/7, pp. 72-75.

[3] Bouzid A., 1991.

L'expérience de la Tunisie dans la protection des sols et des barrages. Sem. Int. sur l'érosion et l'envasement des barrages, Alger.

[4] Demmak A., 1982.

Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse du Docteur Ingénieur, université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.

[5] Mechin Y., 1980.

Rapport général introductif sur le dévasement des retenues. Séminaire international sur le dévasement des retenues. Tunis, 1-4 juillet, 5 p.

[6] Mekerta B. et Tisot J-P., 1993.

Etude de la sédimentation dans les retenues de barrages, propriétés mécaniques. Proceding 1er congrès national des grands barrages, Alger 24 et 25 mai, pp. 1-9.

[7] Remini B., 1997.

Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de Doctorat d'état, Ecole nationale Polytechnique d'Alger, mars, 342 P.

[8] Remini B., 1999.

Les conséquences de l'envasement des barrages: quelques exemples algériens. Revue Techniques sciences méthodes, n°4, avril, pp. 55-62.

DROUGHT IMPACT ON WATER SUPPLY SYSTEM OF ISTANBUL METROPOLIS

* Bihrat ÖNÖZ et E. Beyhan YEĞEN

Istanbul Technical University, Civil Engng. Faculty, Division of Hydraulics, 34469, Maslak, Istanbul, TURKEY onoz@itu.edu.tr emineb@itu.edu.tr

ABSTRACT

The water supply system of many big cities are effected by droughts. Istanbul city with a population over 10 million is one of these cities which has suffered lack of water due to droughts in the past seriously. Especially at the end of year 1990 all reservoirs supplying water to the city had been emptied and the water supply system was unable to meet the city's demand. At that time temporary remedies were used. Later on more radical solutions have been brought into life. Istanbul water supply system is greatly effected by the variability of precipitation under present conditions. For an optimal operation of the reservoirs which exist for water supply to the city drought analysis is to be helpful. This analysis may be performed as point drought analysis and regional drought analysis. In this study, as for point drought analysis, the runs theory of statistics has been used for truncation levels of 0.50, 0.40 and 0.30 for monthly total precipitation. By using the precipitation data of basins of reservoirs supplying water to the city dry period analysis has been done and parameters have been determined. Drought effecting an area can be investigated by considering precipitation falling at various points of the area altogether. For this reason, drought analysis has been performed for the region carrying water to the water supply system of Istanbul and dry period variables have been analysed for the state of the city today and results have been interpreted.

Key words

Point drought, regional drought, runs, Istanbul water supply system

INTRODUCTION

At present, water for the metropolis of Istanbul is provided by five reservoirs around the city. These are Terkos, Alibeyköy, Ömerli, B.Çekmece and Darlik reservoirs. There are plans to extend the system in the future by adding new reservoirs one of which will be B. Melen. The weight of B. Melen reservoir in the future water supply system of Istanbul will be approximately 0.5 (Bayazit and al., 1994). The locations of the reservoirs in the system are shown in Figure 1.

The precipitation gauging stations of which the characteristics are seen in Table 1 represent precipitation areas of significant reservoirs belonging to Istanbul Water Supply system. Annual total precipitation depth (mm) is used during a water year.

^{*} correspondent author

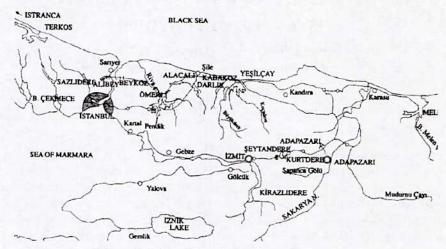


Figure 1. Map of Istanbul water supply system.

Table 1: Characteristics of the Precipitation Stations

Precipitation stations	Sile	Bahcekoy	Terkos	B. Cekmece
Weighting coefficient	0.51	0.07	0.24	0.18
Observation period	1938-2003	1948-2003	1962-2003	1968-2003
N (years)	66	56	42	36
Mean (mm)	804.56	1099.24	817.66	563.97
Stand. dev. (mm)	199.88	201.84	173.48	114.85
Skew	1.57	0.42	0.13	0.85
Serial corr. coef.	0.22	0.07	0.04	-0.02
The most dry year and its value	1957 (454.6)	1989 (694)	1993 (392.7)	1989 (336.8)

POINT DROUGHT ANALYSIS

At a point considered, a year is defined as dry in case the annual precipitation of this year remains smaller than a selected critical value x_0 . x_0 determined as the value such as the probability of annual rainfall remaining smaller than this value is q. The probability distribution function of the annual precipitation is shown by F(x).

$$Q = P(X < x_0) = F(x_0) = 1-p p=1-q (1)$$

In this study q is selected as q=0.50, q=0.40 and q=0.30. In case q=0.50, a year during which the total precipitation is smaller than the median is assumed as a dry year.

From Table 1 it can be seen that the station with the longest record is Sile (N=66) and the station with the shortest record is B. Cekmece (N=36). The truncation levels of the aforementioned stations have been assessed under the assumption that Terkos data is normally and the data of the three other stations are lognormally distributed.

Anderson test has been applied to the serial correlation coefficients which are seen in Table 1 and Sile station has been accepted as dependent at a significance level of 10%.

Run Length Analysis

The runs theory has been used to calculate run length (L) (the number of years during which rainfall remains continuously smaller than x_0 dry period length). While investigating droughts the most frequently used variable is the negative run length. In this study, for the analysis of point drought, only the negative run lengths of precipitation series have been examined.

It has been determined that the distribution of L (negative run length expressing the dry period) is not dependent on the distribution of X (annual precipitation) (Downer and al., 1967). In case X is independent it has been shown that L follows the geometric distribution.

$$f(L) = p.q^{L-1} \tag{2}$$

Here,
$$s = P(x_i < x_0) | x_{i-1} < x_0$$
 (3)

The theoretical expressions of the parameters of negative run lengths have been given by Bayazıt and Sen (Bayazit and Sen, 1976) for independent and dependent series.

$$E(L) = 1/p Var(L) = q/p^2 (4)$$

$$E(L) = 1/(1-s)$$
 $Var(L) = s/(1-s)^2$ (5)

The theoretical parameter values of the negative run lengths have been calculated as well as their statistics. Theoretical parameters and statistics can be seen in Table 2.

Table 2: Mean and Standard Deviation of Run Lengths, Theoretical and Observed

q	Mean and stand. of run lengths	Theoretical (independent case)	Bahcekoy	Terkos	B. Cekmece	Theoretical (dependent case)	Sile
	E(L)	2.00	2.14	1.82	1.90	2.33	1.94
0.5	S(L)	1.41	1.17	1.25	1.60	3.08	1.16
0.1	E(L)	1.67	1.86	1.50	2.14	1.94	2.07
0.4	S(L)	1.05	1.17	0.80	1.86	1.82	1.14
	E(L)	1.43	1.43	1.40	2.40	1.65	1.77
0.3	S(L)	0.78	1.85	0.70	1.67	1.06	0.83

when Table 2 is examined the maximum value of E(L) is observed for q=0.5 at Bahcekoy and Terkos stations whereas it is observed for q=0.4 at Sile and for q=0.3 for B.Cekmece stations.

Return Period of Run Lengths

The theoretical return period of dry length lasting L years is given by the following formula (Bayazit and al., 1992):

$$T(L)=1/(1-q).q.s^{L-1}(dependent case)$$
(6)

If q is substituted for s in Equ. 6, the formula can be obtained for the independent case. The return periods of the maximum dry period lengths (L_{max}) for different q values are calculated by the help of Equ. 6. L_{max} and corresponding return periods are given in Table 3.

Table 3: Return periods of	he observed	longest dry periods
----------------------------	-------------	---------------------

	Sile		Bahcekoy		Terkos		B. Cekmece	
	L _{max} (years)	T (years)	L _{max} (years)	T (years	L _{max} (years)	T (years	L _{max} (years)	T (years)
q=0.5	4	25	5	64	5	64	6	128
0.4	4	43	5	163	3	26	6	407
0.3	3	36	3	53	3	53	5	588

When Table 3 is examined, at Sile station which has the longest record period, theoretical return periods at various q levels remain shorter than the record period. At the other stations return periods at various q levels are found which are longer than the observation periods.

At a level of q=0.5, L_{max} remains between 4-6 years and the corresponding return periods are in the interval of 25-128 years. At a level of q=0.4, L_{max} remains between 3-6 years and the corresponding return periods are in the interval of 26-407 years. At a level of q=0.3, L_{max} remains between 3-5 years and the corresponding return periods are in the interval of 36-588 years. The greatest values have been observed at B Cekmece at all three truncation levels.

REGIONAL DROUGHT ANALYSIS

Since the drought phenomena is not observed at only one point, it is required to determine the regional distribution of drought by considering precipitation measured at various points together. The regional drought analysis, a multidimensional problem, is more complex compared to the point drought analysis (Duranyildiz and Oguz, 1994).

The most extensive study on regional droughts has been carried out by Santos, 1983. She defines variables to characterize the drought in a region of area s, where m raingauge stations exist each with an area of influence s_i. A weighting coefficient, a_i = s_i/s was assigned to each station. The behaviour during dry periods of a water supply system which consists of storage reservoirs can be analyzed using the variables proposed by her. Bayazit and al., 1994 proposed certain modifications for Santos' variables in order to apply them to a water supply system. They assigned a weight to each reservoir in the system which is proportional to its annual water yield. They assumed that the precipitation of the basin of a reservoir is characterized by the precipitation measured at the representative raingauge station in the basin. The weighing coefficient, a_i, of a station is now the weight of the reservoir in the basin, computed as described above, rather than its area of influence. In the case where more than one reservoir is represented by a gauge, the weights of all reservoirs should be summed up in order to obtain the weighting coefficient of the station. The weighting coefficients of the stations are given in Table 1.

Bayazıt and al., 1994 define and formulate the modified variables that characterize a dry year of the system as is given below:

Modified variables that characterize a dry year of the system can be formulated as follows.

1. The system deficit occurs in a certain year, t:

$$A_{s}(t) = \sum_{i} a_{i} I_{i}(t) \tag{7}$$

where I, is an indicator function defined as:

$$\begin{split} &I_i(t) = 1 \quad \text{if } x_i(t) < x_{ci} \\ &I_i(t) = 0 \quad \text{if } x_i(t) > x_{ci} \end{split} \tag{8}$$

where x_a is the critical level selected for the station, i, such that a year is considered dry when the precipitation, $x_i(t)$, is below x_a .

2. The system drought ratio is the proportion of the system in which a drought occurs:

$$A_d(t) = (A_s(t) \mid A_s(t) \ge A_c) \tag{9}$$

where A_c is the critical ratio such that a drought is assumed to occur when the deficit ratio of a certain year exceeds the value selected for A_c

3. The system deficit is the amount of missing water over the whole system:

$$D(t) = \sum_{i} a_{i} (x_{\alpha} - x_{i}(t)) I_{i}(t)$$
 (10)

4. The system drought deficit is the amount of water missing from the system when a drought exists:

$$D_{d}(t) = (D(t) \mid A_{s}(t) \ge A_{c})$$

$$\tag{11}$$

System drought is defined as the time interval during which A, exceeds the critical ratio A.

The following four drought characteristics are defined for the system drought.

- 1. The system drought duration, L, is the length of time interval along which the system drought occurs.
- 2. The total system drought deficit, U, is equal to the sum of the yearly system deficits along the drought duration: $U = \sum_{L} D_{d}(t) \tag{12}$

3. The average system drought ratio is the time average of the yearly drought ratios during a system drought:

$$A = \sum_{L} A_{d}(t) / L \tag{13}$$

4. The system drought intensity is equal to the ratio of the total system deficit to the drought duration:

$$I=U/L$$
 (14)

These variables have been calculated for Istanbul Water Supply System and are given in Tables 4-6 for different A_c values and for q=0.5.

Table 4: Drought Characterizing Variables of the System for $A_c = 0.5$ and q = 0.5.

Year	$A_{\rm s}$	A_d	D (mm)	D _d (mm)	L (year)	U (mm)	A	I (mm/year)
1968	0.18	0	0.84	0				
1969	1	1	104.61	104.61		104.60	1	104.60
1970	0	0	0	0	1	7	1	
1971	0.92	0.92	74.93	74.93	The state of the s	352.2	0.75	88.10
1972	0.58	0.58	66.45	66.45	4	SV	0.75	A. 1991 199
1972	1	1	153.76	153.76	-			
1974	0.74	0.74	57.07	57.07				
1975	0	0	0	0				
1976	0.76	0.76	84.17	84.17		223.29	0.70	111.65
1977	0.82	0.82	139.13	139.13	2	7 10 10	0.79	
1978	0	0	0	0	7211			1 W. C. C.
1979	0.5	0.5	7.49	7.49		7.49	0.5	7.49
1980	0.18	0	1.74	0	1		0.5	
1981	0	0	0	0				
1982	0.5	0.5	55.55	55.55		230.38	0.67	76.80
1983	0.5	0.5	74.42	74.42	3		0.07	
1984	1	1	100.43	100.43				
1985	0.42	0	19.45	0	San Land			
1986	1	1	86.48	86.48		86.48	1	86.46
1987	0.18	0	8.80	0	1		1	
1988	0.58	0.58	5.48	5.48		239.17	0.75	79.72
1989	1	1	207.30	207.30	3		0.75	
1990	0.5	0.5	26.39	26.39	7-1-1			
1991	0	0	0	0				
1992	0.5	0.5	103.19	103.19		436.68	0.67	145.60
1993	1	1	179.42	179.42	3		0.07	
1994	1	1	154.09	154.09		Take D. J.		
1995	0	0	0	0		190		
1996	0.58	0.58	21.93	21.93		21.93	0.58	21.93
1997	0.18	0	3.63	0	1		0.36	
1998	0	0	0	0				
1999	0	0	0	0				
2000	0.24	0	13.05	0				
2001	1	1	100.15	100.15		100.15	1	100.15
2002	0	0	0	0	1		1	
2003	0.32	0	49.87	0	AUT.			

For the case A_c =0.5, q=0,5 (Table 4) which means 50% of the system receives precipitation below the mean, longest system drought duration is 4 years. The maximum total system drought deficit is 436.68 mm and the maximum system drought intensity is 145.6 mm/year.

Table 5: Drought Characterizing Variables of the System for A_c =0.33 and q=0.5.

Year	As	A_d	D (mm)	D _d (mm)	L (year)	U (mm)	A	I (mm/year)
							- 70	
	0.18	0	0.84	0				
1968	1	1	104.61	104.61				
1969	ō	0	0	0	1	104.61	1	104.61
1970	0.92	0.92	74.93	74.93		20 1102		20,000
1971	0.58	0.58	66.45	66.45	4	352.20	0.81	88.05
1972	1	1	153.76	153.76		332.20	0.01	00.00
1972	0.74	0.74	57.07	57.07				
1974	0.74	0.74	0	0				
1975	0.76	0.76	84.17	84.17				
1976	0.70	0.70	139.13	139.13	2	223.29	0.79	111.65
1977	0.82	0.82	0	0	2	223.27	0.15	111.03
1978	0.5	0.5	7.49	7.49				
1979	0.3	0.5	1.74	0	1	7.49	0.5	7.49
1980	10.00	0	0	0	1	7.49	0.5	1.49
1981	0 -	V. T. S.	W. 170	and the same				
1982	0.5	0.5	55.55	55.55		336.30	0.68	67.26
1983	0.5	0.5	74.42	74.42	5	330.30	0.08	07.20
1984	1	1	100.43	100.43				
1985	0.42	0.42	19.45	19.47				
1986	1	1	86.48	86.48				And the same
1987	0.18	0	8.80	0				
1988	0.58	0.58	5.48	5.48				
1989	1	1	207.30	207.30	3	239.17	0.69	79.72
1990	0.5	0.5	26.39	26.39	11.75			
1991	0	0	0	0				
1992	0.5	0.5	103.19	103.19				
1992	1	1	179.42	179.42	3	436.68	0.67	145.56
1993	-1	1	154.09	154.09				
	0	0	0	0				
1995	0.58	0.58	21.93	21.93				
1996	0.18	0	3.63	0	1	21.93	0.58	21.93
1997	0	0	0	0				
1998	0	0	0	0				1000
1999	0.24	0	13.05	0				376
2000	1	1	100.15	100.15				
2001	0	o	0	0	1	100.15	1	100.15
2002	0.32	0	49.87	0				
2003	0.52				5000		1000	A THE REST

Table 6: Drought Characterizing Variables of the System for A_c =0.2 and q=0.5.

Year	A_s	A _d	D (mm)	D _d (mm)	L (year)	U (mm)	A	I (mm/year)
1968	0.18	0	0.84	0				
1969	1	1	104.61	104.61	1	104.61	1	104.61
1970	0	0	0	0				
1971	0.92	0.92	74.93	74.93	4	352.20	0.81	88.05
1972	0.58	0.58	66.45	66.45				
1972	1	1	153.76	153.76				the state of
1974	0.74	0.74	57.07	57.07				
1975	0	0	0	0				
1976	0.76	0.76	84.17	84.17	2	223.29	0.79	111.65
1977	0.82	0.82	139.13	139.13				
1978	0	0	0	0				600
1979	0.5	0.5	7.49	7.49	1	7.49	0.5	7.49
1980	0.18	0	1.74	0				
1981	0	0	0	0				
1982	0.5	0.5	55.55	55.55	5	336.30	0.68	67.26
1983	0.5	0.5	74.42	74.42			7	
1984	1	1	100.43	100.43				
1985	0.42	0.42	19.45	19.45				
1986	1	1	86.48	86.48				
1987	0.18	0	8.80	0	The state of			
1988	0.58	0.58	5.48	5.48	3	239.17	0.69	79.72
1989	1	1	207.30	207.30				
1990	0.5	0.5	26.39	26.39				
1991	0	0	0	0				
1992	0.5	0.5	103.19	103.19	3	436.68	0.83	145.56
1993	1	1	179.42	179.42				
1994	1	1	154.09	154.09				
1995	0	0	0	0				
1996	0.58	0.58	21.93	21.93	1	21.93	0.58	21.93
1997	0.18	0	3.63	0				
1998	0	0	0	0				
1999	0	0	0	0				
2000	0.24	0.24	13.05	13.05	2	113.19	0.62	56.60
2001	1	1	100.15	100.15		DE LE DE		to the second
2002	0	0	0	0	ur all'e			
2003	0.32	0.32	49.87	49.87	1	49.87	0.32	49.87

EVALUATION

The effect of results of point drought and system drought analyses have been evaluated on Istanbul Water Supply System. The operational monthly data between January 1990–July 2004 belonging to the five reservoirs of subject in this study have been obtained via DSI (State Hydraulic Works). As an example B. Cekmece Reservoir has been chosen because when the data is examined it is seen that this reservoir is the most effected one by dry periods.

Though the longest negative run lengths at B. Cekmece station at q=0.5, q=0.4, and q=0.3 levels are 6, 6 and 5 years, corresponding to periods 1982-87, 1982-87 and 1982-86 respectively, it is not possible to see their effects on Figure 2 since the operational data of the reservoir starts with the year 1990. Therefore the effects of the dry period which takes place during years 1992-94 at all q levels can be traced on Figure 2. At the end of year 1994 B. Cekmece reservoir is emptied and remains empty for several months.

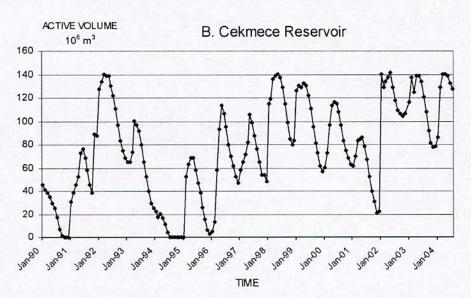


Figure 2: The active volume in B. Cekmece Reservoir during 1990-2004.

When the problem is examined at regional scale, a similar situation is met. In Table 4, A_c =0.5 and q=0.5 case, it is seen that during years 1992-94 a system drought longing three years with a system drought intensity of 145.6 mm/year is seen. The effect of this drought is seen on B. Cekmece Reservoir in Figure 2, the reservoir starting this period with a volume of $140x10^6$ m³ and emptying at the end of this period with an exception of increase in volume during the winter of 93. When Table 4 is examined further, a system drought intensity of 100.1 mm/year is met longing for only one year, 2001. The effect of this drought can be traced on B. Cekmece Reservoir; at the end of year 2001 only $20x10^6$ m³ of water is left in the reservoir.

When the monthly operational data of Omerli and Terkos Reservoirs are examined the following conclusions can be drawn. Though Omerli is a large reservoir with a capacity of 357×10^6 m³ at normal level, its yield has been decreased approximately down to 8×10^6 m³'s from approximately 20×10^6 m³'s. The reservoir level was never permitted to fall below the minimum water level.

It is not possible to tell the same for Terkos Reservoir. The reservoir level falls below the minimum water level during September 90-December 90. This period synchronizes with the end of a system drought duration starting with 1988 and lasting three years (Table 4). Terkos Reservoir level also falls below the minimum level during October 94-December 94. This period is also the end of the system drought duration starting with 1992 and lasting for three years (Table 4).

ACKNOWLEDGEMENT

The operational data of the reservoirs of Istanbul Water Supply System have been obtained from DSI (State Hydraulic Works) with the help of Bahattin Yanik, Ph D. The authors wish to forward their thanks to DSI and Mr. Bahattin Yanik.

REFERENCES

1. Bayazit, M., Sen, Z., 1976, Hidrolojik süreçlerin kurak devre özellikleri, TBTAK (Turkish Scientific and Technical Research Council), Project No:409, (in Turkish).

- 2. Bayazit, M., Oguz, B., Duranyildiz, I., 1992, İstanbul yöresindeki yağışların istatistik analizi, Istanbul Technical University, Research Fund Project, (in Turkish).
- 3. Bayazit, M., Oguz, B., Duranyildiz, I., 1994, Dry period analysis of the water supply system of Istanbul, Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences, 18, 225-232.
- 4. Downer, R.N., Siddiqui, M. M., Yevjevich, V., 1967, Application of runs to hydrologic droughts, Proc. of the International Hydrology Symposium, Fort Collins, Vol. I.
- 5. Duranyildiz, I., Oguz, B.,1994, Regional drought analysis, Romanian Journal of Hydrology and Water Resources, Vol. 1, No:2, 115-121, UNESCO Seminar Low Flows, Droughts, Desertification.
- 6. Santos, M.A., 1983, Regional droughts:a stochastic characterization, Journal of Hydrology, 66:183-212.

RESEAUX DE MICROIRRIGATION: MODELISATION ET DIMENSIONNEMENT

Lakhdar ZELLA^{1,2}, Ahmed KETTAB², Gérard CHASSERIAUX³

1- Université de Blida, Algérie, Email: lakhdarz@yahoo.fr 2- Laboratoire de Recherche Eau, E N P, El Harrach, Alger, Email: kettab@yahoo.fr 3- INH, UMR SAGAH, Angers, France

RESUME

La microirrigation est une technique dont l'uniformité de distribution d'eau par les goutteurs est très sensible aux faibles variations de pression. Pour maîtriser ces variations, avec davantage de précision, le présent travail est basé sur une analyse hydraulique approfondie de l'écoulement aboutissant à des équations différentielles aux dérivées partielles dont la pression et la vitesse de l'eau sont des inconnues. Ces équations non linéaires sont résolues en utilisant la méthode d'intégration Runge-Kutta d'ordre quatre. Les modèles développés dans la présente étude permettent de simuler la dynamique de l'eau dans la rampe et dans le réseau et sont utilisés pour déterminer le dimensionnement optimal du réseau. Les résultats obtenus corroborent ceux publiés par d'autres auteurs ayant utilisé la méthode des volumes de contrôle ou la méthode des éléments finis.

Mots clés: microirrigation, goutteur, rampe, réseau, modèle, Runge-Kutta.

ABSTRACT/ Modelisation and design of microirrigation network

Microirrigation is a technique of which the uniformity of water distribution per emitters is very sensitive to the small variations of pressure. So to manage these variations, with higher precision, the present work is based on a large hydraulic analysis of out-flow in the netwok. The focus of analysis rule to the theoretical development will be to derive partial differential equations of which the pressure and the velocity of water are the unknown. These equations no linear are solved using the method of Runge-Kutta integration of order four. The model developed in the present study permits the simulation of the water dynamics in the lateral and in the network, and permits to determine the optimal design of the network. The results corroborate those published by other authors having used the numerical method of control volume or the finite element method.

Key Words microirrigation, emitter, lateral, network, modele, Runge-Kutta.

1. INTRODUCTION

1.1. Problématique de la microirrigation

En microirrigation (mI) l'eau est distribuée sous pression par un réseau ramifié totalement en matière plastique. Le réseau est composé, de l'amont à l'aval, d'une conduite principale alimentant une ou plusieurs conduites secondaires sur lesquelles sont branchées des rampes placées parallèlement à l'alignement de la culture. Les rampes portent l'élément terminal du réseau appelé distributeur, émetteur ou goutteur. Placé le plus souvent au pied du végétal, cet organe débite l'eau grâce à un orifice de très faible section à la pression atmosphérique. Chaque conduite secondaire dessert un ensemble de rampes, dit peigne, qui arrose une aire de 1 à 5ha définissant l'unité du réseau de mI. L'ensemble des unités alimentées par la même conduite principale détermine le réseau entier dont la surface couverte peut avoisiner 20 à 30ha (BRALTS et al., 1987). Comme pour tout réseau de distribution d'eau, l'uniformité de répartition est le facteur déterminant de la performance du réseau et de l'efficience de l'arrosage. Cette uniformité est largement tributaire du dimensionnement du réseau. Sachant que les dimensions modifient les paramètres de l'écoulement (vitesse et pression) de l'eau dans les conduites ils modifient en conséquence la répartition spatiale de la distribution d'eau

par l'ensemble des goutteurs du réseau. D'un bout à l'autre de chaque rampe du réseau, les différences de pressions, en absence de pente, peuvent être très importantes. Ces écarts, engendrés par les pertes de charge, induisent des variations de débit des goutteurs qui causent une hétérogénéité de distribution et donc d'alimentation en eau et en fertilisants de la culture. Ces déviations sont jugulées principalement par le choix approprié des caractéristiques du goutteur, des dimensions des conduites du réseau, de la structure géométrique du réseau et des facteurs d'exploitation (pression fournie en tête du réseau).

La recherche des facteurs structuraux et fonctionnels pour garantir une exploitation optimale du réseau est l'objectif majeur du dimensionnement. Cet objectif définit le réseau qui réalise un compromis entre la contrainte économique par le choix des conduites les plus réduites et la contrainte technique en assurant une distribution de pression qui génère une meilleure uniformité des débits des goutteurs. Bien que l'hétérogénéité des débits peut être atténuée par le choix de goutteurs auto-régulants capables de réduire les différences de pression, néanmoins le dimensionnement du réseau est cependant d'une nécessité incontournable.

Les paramètres susceptibles d'influencer les variations de l'uniformité sont nombreux et variés, plus ils sont intégrés dans le modèle mathématique mieux ce dernier est proche du modèle physique naturel représenté par le réseau. Ces paramètres sont classés en trois catégories: les paramètres dimensionnels et structuraux (les caractéristiques du goutteur, les caractéristiques des conduites, écartement entre les goutteurs et entre les rampes et la structure géométrique du réseau), les paramètres fonctionnels (pression en tête du réseau) et enfin les paramètres environnementaux (pente du terrain, température de l'eau et de l'air, qualité de l'eau). Globalement, il y a douze paramètres maîtrisables sans compter les effets du bouchage des goutteurs et les effets de la température qui perturbent certes l'uniformité selon la double dimension du temps et de l'espace, mais demeurent des paramètres très aléatoires et difficiles à maîtriser. Cette analyse montre l'opportunité d'utiliser la simulation des scénarios de dimensionnement afin de pouvoir choisir la meilleure combinaison de ces paramètres. L'objectif de maximaliser la production agricole par le réseau de mI est étroitement liée à l'uniformité de distribution de l'eau, laquelle est dictée par le dimensionnement qui minimise la perte de charge.

1.2. Aspect théorique du dimensionnement

Depuis longtemps, les ingénieurs se sont familiarisés dans le cas des réseaux d'eau potable à la détermination de la charge totale d'une conduite dont la totalité du débit initial est distribué en route. La précision n'était pas de rigueur étant donné que les faibles variations de pression n'étaient pas dommageables. Sur la base de cette approche, CHRISTIANSEN (1942) élabore une procédure de calcul en considérant une rampe munie d'un nombre de goutteurs, similaires et équidistants et ayant un débit uniforme. La perte de charge d'une rampe est alors assimilée à celle d'une conduite sans sorties, affectée d'un coefficient de réduction, fonction du nombre de goutteur, estimé expérimentalement par le rapport de la perte de charge d'une rampe avec goutteurs et celle d'une conduite équivalente sans goutteurs. La méthode de CHRISTIANSEN (1942) a été longtemps utilisée aussi bien dans le dimensionnement des réseaux d'aspersion que celui des réseaux de mI. Le choix des dimensions est arrêté sur la base du coefficient d'uniformité qui porte d'ailleurs son nom et en supposant l'écoulement turbulent sur toute la longueur de la conduite. Les hypothèses de cette méthode aboutissent inéluctablement à un dimensionnement approximatif et surévalué par rapport à d'autres méthodes (ZELLA et DANG, 1998; ZELLA et KETTAB, 2001).

L'essor qu'à connu la mI a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs à se pencher sérieusement sur la perfection des algorithmes et des processus de calcul relatifs au dimensionnement. Plusieurs modèles de calcul ont été développés mais la plupart ont basé leur analyse sur les hypothèses de CHRISTIANSEN (1942). KELLER et KARMELI (1974) ont établi un modèle sur la base du débit moyen, en subdivisant la rampe en tronçons de différentes

sections et en adoptant un nouveau concept d'uniformité fonction du débit maximal et du débit minimal des goutteurs installés sur la rampe et du coefficient C₁. Les hypothèses du débit moyen et de la rampe à diamètres différents ont constitué un sérieux handicap pour leur modèle. WU et GITLIN (1974) ont considéré l'uniformité en fonction de la pression maximale et la pression minimale de la conduite secondaire en introduisant la notion de ratio de perte de charge ou gradient hydraulique. La courbe représentant ce rapport est utilisée pour déterminer la pression sur la rampe, néanmoins la hauteur de l'énergie cinétique est négligée. Leur travail à cependant permis d'établir des abaques et nomographes qui ont longtemps servi pour le dimensionnement. JOBLING (VERMEIREN et JOBLING, 1983) a adopté la même démarche en introduisant le concept du débit unitaire variable et linéairement décroissant vers l'aval, cependant cette linéarité est une autre simplification. ZELLA et DANG (1998) et ZELLA (2000) ont repris la méthode de CHRISTIANSEN (1942) en considérant dans un premier temps la variabilité du régime d'écoulement et en second, la variabilité du débit du goutteur après une seule approximation, aboutissant à un modèle théorique relatif à la rampe dont l'approche n'est pas loin de celle de WU et YUE (1993) ayant repris la formulation de WU et GITLIN (1975) laquelle est basée sur l'hypothèse du débit uniforme. Cette dernière hypothèse nous permet de classer les modèles qui s'en réfèrent, de modèles classiques par opposition aux modèles récents basés sur une formulation mathématique complète du phénomène physique décrivant l'écoulement dans les rampes et les réseaux de mI. Ces modèles récents sont traduits par des équations émanant des lois universelles de la mécanique, en l'occurrence les lois de conservation de masse et de conservation d'énergie. En leur associant les conditions aux limites, ces équations permettent de caractériser avec fidélité et davantage de précision les paramètres de l'écoulement dans la rampe et par extension dans le réseau. Il s'agit d'équations différentielles aux dérivées partielles, non linéaires et ayant deux inconnues interdépendantes à savoir la pression et la vitesse de l'eau dans la conduite. Leur résolution analytique directe est rendue impossible du fait de leur non linéarité, ce qui a contraint la plupart des auteurs à l'utilisation des procédures d'itération ou d'approximations successives.

Plusieurs modèles dynamiques relatifs à la rampe et au réseau ont été publiés ces dernières années dont les différences résident dans les détails de leurs algorithmes, en revanche, le modèle numérique est souvent basé sur la méthode FEM. En utilisant cette méthode, MOKHTAR et al. (1991); KANG et NISHIYAMA (1994) ont établis des modèles de simulation du fonctionnement des rampes de mI qui intègrent plusieurs paramètres tels que la pente et le bouchage. BRALTS et EDWARDS (1986) supposent que la méthode FEM est celle qui devrait être utilisée systématiquement pour solutionner ce type d'équations. Cette méthode est certes adaptée à ce type de problème, cependant sa complexité et sa lourdeur dans le cas du réseau constituent à notre point de vue une contrainte majeure. Pour contourner cet handicap, BRALTS et al. (1993); GUERRICH et al. (1996) ont introduit la notion du goutteur virtuel qui concentre plusieurs goutteurs en un seul. Ce principe a permis de porter le nombre de goutteurs de 12000 à 80 goutteurs virtuels, ainsi le nombre des matrices et des itérations est substantiellement réduit et la convergence est rapide. Les modèles reposant sur la méthode FEM sont très sophistiqués et nécessitent une extrême rigueur dans l'élaboration des algorithmes. Les résultats obtenus par ces modèles ont été vérifiés par des modèles qui utilisent des algorithmes simples basés sur la méthode numérique des volumes de contrôle "CVM" (ZELLA et al., 2003).

En considérant les mêmes hypothèses, le présent travail a pour objectif de proposer des algorithmes relativement simples basés sur la méthode d'intégration numérique Runge-Kutta d'ordre quatre, utilisée pour la résolution des modèles mathématiques développés pour le dimensionnement des réseaux de microirrigation. Le paramètre relatif à la structure géométrique du réseau est intégré dans le but de minimiser davantage les coûts liés à l'équipement.

2. DEVELOPPEMENT THEORIQUE

2.1. Modèle mathématique

2.1.1. Cas de la rampe

Une rampe de mI en service est considérée selon un plan horizontal (fig. 1), elle comporte un nombre de goutteurs (NG) identiques et équidistants de Δx . Appliquons les lois de conservation d'énergie et de masse à un volume de contrôle de longueur dx choisi sur la rampe et comportant un goutteur de débit q_e .

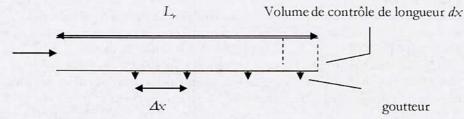


Figure 1 : Schéma du volume de contrôle élémentaire de la rampe

Le bilan massique réalisé entre les sections d'abscisse x et x+dx permet d'écrire l'égalité des débits: $Q_x = Q_{x+dx} + q_e$ (1)

où Q_x est le débit entrant dans le volume de contrôle au niveau de l'abscisse x alors que Q_{x+dx} est le débit sortant au niveau de l'abscisse x+dx et soit q_e le débit du goutteur. Cette équation

peut être écrite autrement :
$$Q_x = Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx + q_e$$
 (2)

Après simplification, l'équation (2) devient:
$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} dx = -q_e$$
 (3)

sachant que $Q_x = V_x A$, où V_x est la vitesse de l'eau au point x et A la section droite de la

rampe, l'équation (3) s'écrit :
$$A \frac{\partial V_x}{\partial x} dx = -q_e$$
 (4)

Le débit q_e est évalué par l'équation caractéristique du goutteur. $q_e = \alpha H^y$ (5)

En remplaçant le débit du goutteur q_{ϵ} par son expression (5) où α est un coefficient dimensionnel de l'orifice du goutteur et y est un exposant lié au régime d'écoulement, H_x =H étant la charge à laquelle est soumis le goutteur, l'équation (4) devient:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = -\alpha \frac{H^y}{Adx} \tag{6}$$

Le bilan énergétique du volume élémentaire de la rampe permet d'écrire l'équation :

$$E_x = E_{x+dx} + hf \tag{7}$$

où E_x et E_{x+dx} représentent l'énergie totale du liquide au points x et x+dx, et bf est la perte d'énergie entre x et x+dx. Le développement de l'équation (7) donne :

$$h + z + \frac{V_x^2}{2g} = \left(h + \frac{\partial h}{\partial x}dx\right) + \left(z + \frac{\partial z}{\partial x}dx\right) + \frac{1}{2g}\left(V_x + \frac{\partial V_x}{\partial x}dx\right)^2 + hf \tag{8}$$

où h représente l'énergie de pression hydrostatique, z est l'énergie de position due à l'altitude, $V_x^2/2g$ est l'énergie cinétique et g est l'accélération de pesanteur. En développant l'équation (8) et en substituant la somme h+z par la hauteur piezométrique H, on trouve:

$$H + \frac{V_x^2}{2g} = H + \frac{\partial H}{\partial x} dx + \frac{1}{2g} \left(V_x + \frac{\partial V_x}{\partial x} dx \right)^2 + hf \tag{9}$$

Après développement et simplification de l'équation précédente, on aboutit à:

$$\frac{\partial H}{\partial x} dx + \left(\frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} dx \right) + \frac{1}{2g} \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} dx \right)^2 + hf = 0$$
 (10)

Les vitesses aux extrémités de l'élément dx ne sont pas très différentes d'où $V_x = V_{x+do}$ ainsi la variation de vitesse est nulle et les quantités entre parenthèses de l'équation (10) sont donc

négligées d'où:
$$\frac{\partial H}{\partial x} dx + hf = 0$$
 (11)

En remplaçant la perte de charge linéaire hf par son expression (12), l'équation (11) devient:

$$h f = aV_x^m \tag{12}$$

$$\frac{\partial H}{\partial x}dx = -aV_x^m \tag{13}$$

En régime d'écoulement laminaire, $R_r = VD/v < 2300$, l'exposant m=1 et le coefficient de perte de charge a est donné par l'expression de Poiseuille : $a = \frac{32v}{gD_t^2}$ (14)

où, v est le coefficient de viscosité cinématique et D, est le diamètre intérieur de la rampe.

En régime d'écoulement turbulent, R, > 2300, selon Hazen-William (CARLIER, 1980)

l'exposant
$$m=1,852$$
 et le coefficient a est évalué par: : $a = \frac{K}{C^m A^{0,5835}}$ (15)

où C est le coefficient de Hazen-William caractérisant la rugosité de la paroi et K un coefficient de proportionnalité égal à 5,885 selon Hazen-William (BRALTS et al., 1993).

Les coefficients d'uniformité de distribution de la pression (C_{nH}) et du débit (C_{nq}) au niveau des goutteurs sont exprimés par les relations statistiques du coefficient d'uniformité :

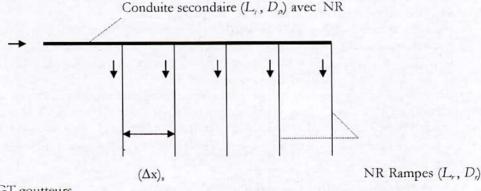
$$C_{uH} = 100(1 - C_{vH})$$
 (16)

$$C_{uq} = 100(1 - C_{vq})$$
 (17)

où C_{pH} et C_{pq} correspondent aux coefficients de variation de pression et du débit, évalués respectivement par le rapport de l'écart type et de la valeur moyenne de la pression ou du débit.

2.1.2. Cas du réseau

En considérant un réseau de mI ayant une structure géométrique asymétrique (figure 2) dont les caractéristiques dimensionnelles principales sont l'équidistance entre les goutteurs et entre les rampes et l'horizontalité de toute la structure. La procédure d'analyse précédemment décrite dans le cas de la rampe est extrapolée au cas du réseau, ainsi deux systèmes d'équations sont définis, l'un décrivant l'écoulement dans des rampes similaires dotées de goutteurs identiques et l'autre décrivant l'écoulement dans la conduite secondaire qui alimentent en eau l'ensemble des rampes de longueurs identiques.



avec NGT goutteurs

Figure 2 : Schéma du réseau de microirrigation, Cas 1

L'écoulement dans la rampe est représenté par le système d'équations (6) et (13), l'écoulement dans la conduite secondaire est décrit par le système d'équations:

$$\left(\frac{\partial V_x}{\partial x}\right)_s = \left(\frac{Q_R}{Adx}\right)_s \tag{18}$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)_{s} = -\left(aV^{m}\right)_{s} \tag{19}$$

L'indice (r) et (s) renvoie respectivement à la rampe et à la conduite secondaire, Q_r étant le débit à l'amont de la rampe $(Q_r)_{max}$ qui est l'équivalent du débit dans le tronçon de la conduite secondaire $(Q_r)_x$ de section droite A_s . Lors de la discrétisation, l'élément dx est remplacé, selon le cas par Δx_r et Δx_s qui représentent l'écartement entre les goutteurs et celui entre les rampes.

2. 2. Procédure de résolution et tests de convergence

Les formes finales des équations (6) et (13) représentent le modèle dynamique appelé "RK", ce dernier simule le fonctionnement hydraulique d'une rampe de mI répondant aux hypothèses annoncées précédemment. Pour la résolution de ce système d'équations différentielles du premier ordre, aux dérivées partielles et non linéaires dont H et V sont les inconnues, les conditions aux limites suivantes sont considérées. A l'extrémité aval de la rampe, la vitesse de l'eau est nulle notée V(L)=0 et la pression est $H(L)=H_{\min}$ et à l'extrémité amont, la vitesse est $V(0)=V_{\text{max}}$ et la pression est $H(0)=H_{\text{max}}$. En fixant H_{min} et en effectuant un calcul récurrent (principe back step) la grandeur H_{\max} est déterminée, en revanche si le calcul est poursuivi depuis l'amont (principe forward step), la pression H_{max} est fixée et H_{min} est déterminée. La résolution mathématique approchée de ces équations est basée sur la méthode de Runge-Kutta d'ordre quatre. Cette méthode généralise la formulation d'Euler dont le fondement réside dans la méthode d'intégration de Simpson (THEODOR, 1989). Son principe consiste à discrétiser les équations différentielles et à calculer la courbe intégrale en automatisant le calcul grâce à la programmation informatique. Le critère (arepsilon) choisi comme le seuil de l'arrêt des itérations représente la valeur de la convergence à laquelle les valeurs de l'erreur relative à la pression, E_{rH} et celle relative à la vitesse E_{rV} tendent. Elles sont évaluées

par ces expressions:
$$E_{rH} = \frac{H_i^{K+1} - H_i^K}{H_i^{K+1}} \le \varepsilon$$
 (20)

$$E_{rV} = \frac{V_{i}^{K+1} - V_{i}^{K}}{V_{i}^{K+1}} \le \varepsilon \tag{21}$$

Les d'équations (6), (13), (18) et (19) décrivent l'écoulement dans tout le réseau et définissent le modèle de simulation "RS". En se donnant une première valeur de H_{min} la première valeur de H_{max} est calculée par les équations (6) et (13) et correspond à $(Q_{max})_r = (Q_s)_x$, puis en utilisant les équations (18) et (19), la deuxième valeur de H_{max} et de V_{max} sont calculées, ces valeurs subissent le test de convergence. En utilisant l'approximation linéaire, on arrive à faire correspondre à H_{max} un débit Q_{max} . Le processus itératif est poursuivi depuis la dernière rampe du réseau munie de NG goutteurs jusqu'à l'extrémité amont de la conduite secondaire en intégrant l'ensemble des NR rampes. Sur la base du débit nominatif q_n du goutteur installé, le débit moyen du réseau Q_{moy} est estimé en multipliant le débit nominatif par le nombre total des goutteurs NGT, ce débit moyen est alors distribué sur les NGT goutteurs sur la base des équations du modèle RS. Ce dernier donne le débit total $Q_T \cong Q_{moy}$ et la pression totale H_T requise en tête du réseau.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Cas de la rampe

Le modèle RK est appliqué à une rampe de mI munie d'un nombre de goutteurs NG=50, dont les caractéristiques α =3,3 pour q_e exprimé en l/h et α = 9,14 10^{-7} pour q_e exprimé en m^3 /s, l'exposant de l'équation du goutteur est y=0,5. L'écartement entre les goutteurs est Δv_r =5m. La rampe, placée en position horizontale (pente nulle) a une longueur L_p =250m et un diamètre intérieur D_r =15,2mm. Le coefficient de rugosité C=150 et la viscosité de l'eau est v=10⁻⁶ m^2 /s correspondant à une température de 20°C. La pression en tête de rampe est fixée à H_{max} =30m et les résultats obtenus après exécution du programme informatique du modèle RK avec ε = 0,1% sont présentés par les figures 3 et 4.

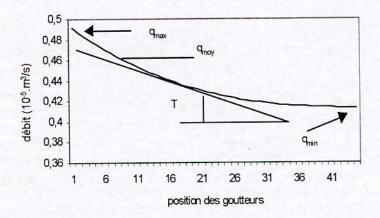


Figure 3: Distribution du débit des goutteurs sur la rampe (L,=250m,D,=15,2mm, NG=50)

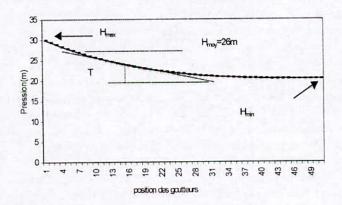


Figure 4. Distribution de la pression le long de la rampe (L=250m, D=15,2mm, NG=50)

Cette distribution permet de connaître le débit de chaque goutteur et notamment les valeurs particulières correspondant au débit maximal du goutteur à l'amont de la rampe $q_{max}=18,07$ l/h, au débit minimal $q_{min}=14,91$ l/h du dernier goutteur et au débit moyen $q_{moy}=17$ l/h. La différence entre les deux débits extrêmes représente 3,16 l/h soit un $q_{var}=17,5\%$ provoqué par un écart de pression de 9,57m ou $H_{var}=31,9\%$. La pression moyenne sur la rampe est évaluée à 26m d'où $q_{moy}=17$ l/h délivré par le $10^{\rm ente}$ goutteur au 1/5 de $L_{\rm e}$, les 40 goutteurs restants ont un débit inférieur à q_{moy} .

Plus l'écart entre q_{max} et q_{min} est grand, plus la pente de la tangente (angle T) est grande et plus la variation du débit est importante correspondant à une faible uniformité de débit (C_{nip}) . L'angle T dans la courbe du débit est relativement plus petit que celui de la courbe de pression, la variation du débit étant moins importante que celle de la pression. Les mêmes

courbes peuvent être obtenues en initiant le calcul selon le principe (back step). Les courbes ayant un angle T davantage plus faible (C_{nq} élevé) avec les dimensions de canalisation les plus réduites sont potentiellement retenues lors de l'optimisation.

Tableau I. Comparaison des résultats obtenus par les trois modèles

Modèles	RK (ZELLA e	CVM et al., 2003)	FEM (BRALTS et al., 1993)
Paramètres cal	V-000		
$V_{\text{max}} (\text{m/s})$	1,20	1,99	
H_{max} (m)	30,00	30,00	30,00
H_{\min} (m)	20,43	20,30	20,30
Cuq (%)	94,32	94,22	94,00
C_{uH} (%)	88,36	88,15	88,00
Itérations	3,00	2,00	15,00

* L,=250m, D,=15,2mm et NG=50

De très faibles différences, de l'ordre de 1% pour la vitesse et 0,6% pour la pression sont observées en comparant les valeurs du tableau I. Il s'avère que le modèle RK minimise davantage la perte de charge dans la rampe, cette dernière est évaluée à 9,698m par le modèle CVM contre 9,565 m par le modèle RK et 9,7 m par le modèle FEM. Outre cette précision, le modèle RK se caractérise par une rapidité de la convergence vers la solution. Le programme du modèle RK est testé pour plusieurs valeurs de diamètre D_n de longueur L_n ainsi que différentes valeurs de H_{min} et H_{max} . Les tableaux II et III présentent quelques paramètres essentiels (C_{uq} , C_{uH} , H_{uar} et q_{var}) permettant le choix du diamètre optimal et de la longueur optimale de la rampe. Les douze paramètres peuvent être testés et tour à tour variés lors du calcul, néanmoins si la sur-paramétrisation du modèle théorique le rapproche davantage au modèle réel physique, le volume de calcul et les risques d'erreurs deviennent importants. Ainsi, le nombre de combinaisons aboutissant à des scénarios de dimensionnement est élevé et le volume de calcul est tellement important qu'il est difficile de le réaliser sans l'apport de ce type de modèles. Le programme est élaboré pour permettre les calculs selon deux types d'approximation, l'une linéaire et l'autre parabolique. Les résultats selon ces deux approches sont similaires. L'examen de l'évolution du nombre de Reynolds R, le long de la rampe permet de situer les tronçons soumis au régime turbulent et ceux soumis au régime laminaire. Ce dernier se manifeste à l'aval sur une portion de 10% de L, où les vitesses de l'eau sont assez faibles pour favoriser la sédimentation des matières en suspension contenues dans l'eau d'irrigation et accentuer ainsi la vulnérabilité des goutteurs au bouchage. L'apparition de ce dernier phénomène diminue à l'évidence l'uniformité de distribution des débits.

Tableau II. Principaux paramètres en fonction du diamètre D, de la rampe

D_r (mm)	10	12	15	17	20	25	
CaH (%)	34,30	66,72	87,62	93,13	96,85	98,93	
Cug (%)	68,73	84,17	93,97	96,62	98,43	99,47	
$H_{max}(\mathbf{m})$	28,15	29,99	29,99	29,63	29,82	29,93	
Hmin (%)	4,66	11,05	19,98	23,76	26,87	28,88	
Htar (%)	83,44	63,15	33,37	19,84	9,89	3,50	
$q_{max}(1/h)$	17,45	17,65	17,84	17,89	17,96	18,00	
qmin (1/h)	7,10	10,93	14,68	16,02	17,05	17,68	
quar (%)	59,31	38,03	17,67	10,46	5,21	1,76	
$V_{max}(m/s)$	1,70	1,57	1,22	1,01	0,76	0,50	

*L = 250m et NG=50

Tableau III. Principaux paramètres en fonction de la longueur de la rampe L,

			$L_r(m)$	4		
Paramètres *	100	150	200	250	300	350
rarametres			NG			
	20	30	40	50	60	70
CuH (%)	99,17	97,28	93,78	88,36	80,89	71,47
Cuq (%)	99,59	98,65	96,94	94,32	90,78	86,38
H _{max} (m)	29,97	29,74	29,58	29,43	29,99	29,98
H _{min} (%)	29,08	27,24	24,24	20,44	16,40	12,60
H ₁₀₁ (%)	2,98	8,39	18,05	30,55	45,36	5 8,00
q _{max} (1/h)	17,97	17,94	17,89	17,84	17,81	17,77
qmin (1/h)	17,74	17,17	16,20	14,87	13,32	11,67
quar (%)	1,30	4,29	9,47	16,65	25,22	34,30
$V_{max}(m/s)$	0,51	0,77	0,99	1,20	1,33	1,43

 $D_r = 15,2 \text{mm}, H_{max} = 30 \text{m}$

Les valeurs du tableau II montrent que l'augmentation du diamètre de la rampe fait diminuer la vitesse de l'eau dans la rampe et donc la perte de charge et améliore ainsi l'uniformité, cependant le (C_{nej}) varie plus rapidement que l'uniformité de pression (C_{nej}) . Le diamètre relativement à la longueur a une influence sur l'uniformité plus grande.

3.2. Cas du réseau

Il s'agit de dimensionner un réseau de mI qui équipe une parcelle de forme rectangulaire d'une superficie de 1,25ha ayant une structure géométrique analogue à celle du cas 1 (figure 2). La longueur de la conduite secondaire est L_r =50m, son diamètre intérieur est D_s =25mm et sa pente est nulle. Elle alimente des rampes similaires et équidistantes de Δx_r =5m. Les rampes, au nombre NR=10, ont les mêmes caractéristiques techniques décrites précédemment au paragraphe (2.1) d'où un nombre total de goutteurs NGT=500 et un débit total moyen Q_{moy} =23,61 10^{-4} m³/s véhiculé en tête de la conduite secondaire et estimé sur la base de q_n = 0,47 10^{-5} m³/s (ou 17 l/h). Les résultats donnés par le programme de calcul du modèle "RS" sont représentés par le débit total exigé par le réseau Q_T =23,57 10^{-4} m³/s, la pression totale requise H_T = 44,23m et une vitesse V_{smax} = 4,8m/s. On constate que cette dernière est trop élevée par rapport à la norme qui la limite à 2,5m/s, le calcul est refait en considérant la valeur D_s =40mm qui induit une vitesse V_{smax} =1,87m/s, une pression totale égale à H_T = 36m et un coefficient d'uniformité globale C_{sc} =94,3%.

Si on considère une nouvelle structure de réseau (cas 2, figure 5) dont la différence consiste à alimenter en eau la conduite secondaire en son milieu par la conduite principale, tous les autres paramètres étant similaires au cas 1. Le réseau est ainsi composé de deux parties de peigne parfaitement symétriques, le calcul concerne la moitié du réseau soit un peigne de 5 rampes. La pression totale $H_{\rm T}$ =36,15m et $V_{\rm smax}$ =2,4m/s pour un diamètre $D_{\rm s}$ =25mm contre $H_{\rm T}$ =30,2m et $V_{\rm smax}$ =0,69m/s pour un diamètre $D_{\rm s}$ =40mm et l'uniformité globale est 95%. La structure du réseau (cas 2) exige (-8m) d'énergie de pompage que le réseau du cas 1 bien que le débit total ($Q_{\rm T}$) délivré soit identique.

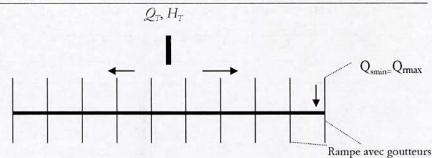


Figure 5. Réseau de microirrigation de structure symétrique (cas 2)

La structure du réseau relative au cas 3 est caractérisée par une conduite secondaire qui alimente de part et d'autre, des rampes en nombre identique et similaires à celles des cas Précédents (figure 6).

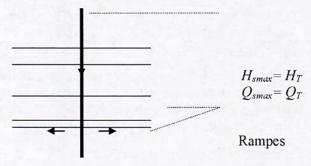


Figure 6. Réseau de microirrigation de structure en double peigne (cas 3)

La pression exigée par ce type de structure est $H_{\rm T}$ =30,93m, $V_{\rm smax}$ =1,8m/s et l'uniformité globale de 96,3% pour le diamètre $D_{\rm s}$ = 40mm. Il apparaît que la structure en double peigne relative au cas 3 n'apporte pas de changements au niveau des paramètres hydrauliques du réseau et que les résultats sont sensiblement identiques à ceux du cas 2. En revanche, en augmentant le nombre de rampes à 20 (NGT=1000), le réseau nécessite un débit $Q_{\rm T}$ = 47,08 $10^{-4} {\rm m}^3/{\rm s}$ et $H_{\rm T}$ =44,23m. Si on augmente le nombre de rampe NR=50 pour couvrir une superficie de 6,2ha, la nouvelle pression est $H_{\rm T}$ =38,57m, $V_{\rm smax}$ =2,34m/s et le débit total $Q_{\rm T}$ =1175,6 10^{-5} m³/s pour un diamètre $D_{\rm s}$ =80mm et une uniformité égale à 96%. Le programme ne converge pas pour des valeurs de $D_{\rm s}$ inférieures à 80mm. L'équipement d'une superficie de 12,5ha nécessitant NR=100 (NGT=5000), exige une pression $H_{\rm T}$ =59,53m et un débit $Q_{\rm T}$ =2361,30 $10^{-5} {\rm m}^3/{\rm s}$. Le tableau IV illustre l'influence de la structure sur l'optimisation du réseau qui équipe une superficie de 1,25ha, de longueur 250m et de largeur 50m.

Tableau IV. Caractéristiques du réseau en fonction de sa structure géométrique

Caractéristiques*	(cas 1)	(cas 2)	(cas 3)	(cas 3+)
$Q_{\rm T} (10^{-4} {\rm m}^3/{\rm s})$	23,57	23,57	23,57	23,57
$H_{\mathrm{T}}(\mathrm{m})$	36,01	35,57	34,20	33,30
V _{smax} (m)	1,87	0,94	1,87	1,87
CuG (%)	94,50	95,20	96,33	98,10
L_{τ} (m)	250	250	125	25
$L_s(m)$	50	50	.50	250
NG	50	50	25	5
NR	10	10	20	100
NGT	2500	2500	2500	2500

 $D_{\rm r}=15,2{\rm mm}$ et $D_{\rm s}=40{\rm mm}$

Ces résultats montrent que les réseaux bien qu'ils délivrent un même débit total Q_T et pour des caractéristiques dimensionnelles globales similaires (même longueur totale de rampe, de conduite secondaire, même NGT), les dispositions géométriques du réseau constituent un autre paramètre de dimensionnement et d'optimisation qui influence la performance de distribution. La structure représentée par le cas 3+ est la plus performante, elle exige relativement moins d'énergie de pompage: -2,7% par rapport au cas 3, -6,8% par rapport au cas 2 et -8,1% par rapport au cas 1. Dans ces cas, on peut conclure que la structure du réseau représentée par le cas 3+ est la structure optimale ce qui revient à favoriser les structures de longueur L, réduites, produisant moins de pertes de charge et augmentant l'uniformité.

4. CONCLUSION

Le modèle RK pour le cas d'une rampe et le modèle RS pour le cas d'un réseau, proposés sont basés sur une analyse théorique approfondie et générale par conséquent leur domaine d'application est large, en l'occurrence à tout type de goutteur, de dimensions des conduites et de structure géométrique du réseau. Ils sont très utiles pour la détermination des dimensions et des structures géométriques optimales des réseaux de microirrigation, en ce sens ils constituent en perspective un moyen d'aide à la décision. En utilisant la méthode numérique Runge-Kutta, le modèle développé pour simuler le fonctionnement hydraulique d'une rampe de mI aboutit aux mêmes résultats obtenus par des modèles qui utilisent la méthode des éléments finis. Le modèle est simple, précis et rapide.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bralts V. F., Edwards D. M., Wu I. P., 1987. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. *Academic Press inc. Advances in irrigation*, vol.4 pp67-117

Bralts V. F., Edwards D. M., 1986. Field evaluation of drip irrigation submain units. *Trans. ASAE*, 29(6):1659-1664.

Bralts V. F., Kelly S. F., Shayya W. H., Segerlind L. J., 1993. Finite elements analysis of microirrigation hydraulics using virtual emitter system. *Trans. ASAE* 36(3): 717 - 725.

Carlier M., 1980. Hydraulique générale et appliquée. [ed.] Eyrolles. pp158.-269.

Christiansen J. E., 1942. Hydraulics of sprinkling systems of microirrigation. *Trans. ASCE* 107:221-239.

Guerrish P. J., Bralts V. F., Shayya W.H., 1996. An improved analysis of microirrigation hydraulics using a virtuel emitter system. *Trans. ASAE* 39(4):1403-1410.

Kang Y., Nishiyama S., 1994. Finite element method analysis of microirrigation system pressure distribution. *Trans. JSIDRE*, feb. pp.19-26.

Keller J., Karmeli D., 1974. Trickle irrigation design parameters. Trans. ASAE 17(4):678-684.

Mokhtar R. H., Bralts V. F., Shayya W. H., 1991. A finite element model for analysis and optimization of pipe networks. *Trans. ASAE* 34(2):393-402.

Solomon K. H., Dedrick A. R., 1995. Standards developments for microirrigation. Center for irrigation technology (CIT). http://www. CIT-Stand. Htm

Theodor R., 1989. Initiation à l'analyse numérique. CNAN, cours A [ed.] Masson, Paris. http://www. Chronomath. Irem.univ-mrs.fr/petite chronologie des mathématiques.

Vermeiren L., Jobling G. A., 1983. L'irrigation localisée: calcul, mise en place, exploitation, contrôle du fonctionnement. *Bull. FAO d'irrig. drain.* n°36, 219P.

Wu I. P., Gitlin H. M., 1974. Drip irrigation based on uniformity. Trans. ASAE 3/429-432.

Wu I. P., Yue R., 1993. Drip lateral design using energy gradient line approach. Trans. ASAE 36(2):389-394.

Wu I. P., Gitlin H. M., 1975. Energy gradient line for drip irrigation laterals. *Trans. ASCE* 101(4): 323-326.

Zella L., Dang N. X., 1998. Calcul hydraulique d'un réseau de microirrigation. Revue Edil Infeau, n° 17, ed. Engineering Environnmental Consult (EEC), pp11-15.

Zella L., Kettab A., 2001. Critères de dimensionnement d'une rampe de microirrigation. Revue La Houille Blanche, n° 6/7, pp 130-135.

Zella L., 2000. Dimensionnement d'une rampe de microirrigation à débit constant. Revue La Houille Blanche, n° 7/8, pp 139-143.

Zella L., Kettab A., Chasseriaux G., 2003. Simulation hydraulique d'une rampe de microirrigation par la méthode dite des volumes de contrôle. Revue Agronomie, vol. 23, n°1, pp37-44.

INFLUENCE DE LA MINERALISATION DE L'EAU SUR L'ELIMINATION DE QUELQUES COMPOSES ORGANIQUES AROMATIQUES PAR COAGULATION-FLOCULATION

Afoufou Fateh, Achour Samia, Guesbaya Nacira.

Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface (LARHYSS), Université de Biskra. B.P. 145, R.P., 07000, Biskra, Algérie. E-mail: afoufou@yahoo.fr info@larhyss.net

RESUME

Le présent travail a pour but d'étudier l'influence de la dureté d'une eau sur la coagulationfloculation par le sulfate d'aluminium de deux composés organiques aromatiques différents, les substances humiques (SH) et l'aniline.

Les résultats obtenus ont ainsi montré que le procédé de floculation est plus efficace vis-à-vis de l'abattement de composés de fortes masses moléculaires (SH). L'ajout de sels minéraux constituant la dureté de l'eau n'améliore que très légèrement l'abattement de l'aniline, contrairement aux (SH) pour lesquelles une nette amélioration des rendements est observée.

Au cours de la dilution de ces composés organiques dans des eaux souterraines de minéralisations différentes, l'influence des éléments minéraux déjà observée en eau distillée a été confirmée. Les rendements d'élimination des SH se sont trouvés généralement fortement améliorés pour les eaux présentant des duretés importantes. Par contre, l'efficacité de la floculation de l'aniline a semblé peu affectée et même amoindrie au fur et à mesure que la dureté des eaux augmentait.

Les résultats de floculation d'une eau de surface dopée par les deux composés organiques montrent, comme dans le cas des eaux minéralisées, une faible élimination de l'aniline par rapport aux substances humiques.

1. INTRODUCTION.

Une eau à potabiliser, et surtout une eau de surface, est un mélange complexe souvent polyphasique, qui contient presque toujours plusieurs composés à éliminer. Il convient donc de choisir la filière la plus apte à réaliser conjointement l'élimination de ces polluants [1].

Parmi les différentes phases de traitement de cette filière, l'étape de coagulation-floculation, en utilisant des sels d'aluminium ou de fer, est la plus importante et conditionnera le reste du traitement. Ses objectifs sont doubles, l'élimination des matières en suspension et la réduction des matières organiques [2].

Il est en effet admis que la floculation peut être particulièrement efficace vis-à-vis de l'abattement de la charge organique d'une eau à condition d'optimiser son déroulement (nature et dosage du coagulant, pH, conditions de mélange,) [1].

Parmi les composés organiques présents dans les eaux de surface, les SH sont représentatives des macromolécules naturelles [3]. Du fait des problèmes organoleptiques et de santé qu'elles peuvent induire, de nombreux travaux ont été réalisés en vue de leur élimination par floculation [4]. Par contre, mis à part les pesticides, peu de travaux ont été consacrés à la réaction de composés organiques à faible masse moléculaire avec les coagulants usuels [4]. Divers mécanismes réactionnels sont proposés pour expliquer les interactions entre les formes hydrolysées du réactif coagulant et la matière organique [4].

Cependant, la plupart de ces travaux ont été conduits dans des milieux de dilution de force ionique très faible, voire nulle et surtout en eau distillée.

L'objectif de notre travail est donc d'étudier l'influence de la dureté d'une eau sur la floculation par le sulfate d'aluminium de deux composés organiques différents, les SH et l'aniline.

Dans un premier temps, l'expérimentation a eu pour objectif d'étudier la floculation des SH et de l'aniline dissoutes dans l'eau distillée seul puis enrichie en sels de calcium et de magnésium.

Dans un second temps, nous avons tenté d'examiner les résultats des essais de floculation des composés organiques précités mais dissous dans des milieux naturels plus complexes et nettement plus minéralisés. Il s'agira ainsi de considérer des eaux souterraines puis une eau de surface dopée en SH ou en aniline.

2. PROCEDURES EXPERIMENTALES

2.1. Produits et milieux de dilution

- Le coagulant utilisé est le sulfate d'aluminium Al₂ (SO₄)₃,18H₂O. Une solution mère de 10 g/l est préparée régulièrement.
- L'aniline est un composé organique de formule chimique C₆H₇N, elle se présente sous forme d'une solution colorée dont les caractéristiques sont les suivantes :
 - > Masse molaire: 93.13 g/mole
 - Densité: 1.022Pureté: 99 %.
- Les substances humiques utilisées pour les besoins de notre étude portent le nom de «Natrium huminate» (traduit par humate de sodium).

Les milieux de dilution sur lesquelles nous avons réalisé nos essais sont :

- L'eau distillée d'une conductivité de 3 à 5 μs/cm et un pH de 6 à 6.14.
- · Une eau commercialisée en bouteilles, provenant de la région d'Ifri (wilaya de Béjaïa).
- Une eau de source provenant de la région de Bordj-ros situé au sud-ouest de Biskra.
- · Une eau de forage situé dans la wilaya de Biskra.
- Une eau de surface qui provient du barrage Foum-El-Gherza, situé à 18 Km de la ville de Biskra.

Quelques caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques des eaux de dilution testées.

Eau	Ifri	Bordj-ros	Biskra	Foum-El-Gherza
pH	7.34	7.84	7.80	7.77
Conductivité (µs/cm)	596	2080	590	1447
TH (°F)	29.5	150	26	148.8
TAC (°F)	19	24	4.5	18.5
Ca2+ (mg/l)	66	152	144	200
Cl (mg/l)	19	120.9	149.1	142
SO4 (mg/l)	36	200	155	930

2.2. Méthodes de dosage

- Le dosage des composés organiques a été réalisé sur un spectrophotomètre UV visible de type "WPA LIGHT WAVE" aux longueurs d'onde □ = 280 nm pour l'aniline et □ = 254 nm pour les substances humiques.
- Les éléments minéraux ont été dosés par colorimétrie à l'aide d'un photomètre du type " PALINTEST PHOTOMETER 5000".

Par ailleurs, il faut noter que diverses caractéristiques physico-chimiques des eaux de dilution ont pu être déterminées selon les méthodes standard d'analyse.

2.3. Description des Essais de floculation "jar-test"

La floculation des composés organiques a été réalisée selon le protocole de "jar-Test". Le matériel d'essai est constitué par un floculateur à 6 agitateurs (floculateur Fisher 1198) avec une vitesse de rotation individuelle variant entre 0 et 200 tr /min. Les conditions d'agitation pour les quels nous avons opté sont : 3 minutes d'agitation rapide avec une vitesse égale à 200 tours /min, 30 minutes d'agitation lente avec une vitesse égale à 60 tours / min, et 3 heures de décantation suivie d'une filtration sous vide.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. <u>Influence de la dose de coagulant sur les rendements d'élimination des composés organiques en eau distillée</u>

Au cours de cette étape, nous avons tenté de coaguler selon la technique de Jar-Test des solutions d'eau distillée contenant une concentration fixe d'aniline ou de substances humiques (SH) avec des doses croissantes de sulfate d'aluminium dans le but de chercher la dose optimale de coagulant qui correspond au meilleur rendement.

Dans le cas de l'aniline (figure 1), nous pouvons constater que plus la dose de coagulant augmente et plus le pourcentage d'élimination devient important.

Pour les SH, les résultats obtenus (figure 1) permettent de remarquer que dans ce cas, les pourcentages d'abattement augmentent et se stabilisent après une certaine dose optimale de coagulant, dont la valeur est très faible par rapport au cas précédant.

A partir des résultats de floculation des deux composés, nous avons pu constater que le pourcentage d'élimination et la dose de coagulant dépendent largement de la nature des composés organiques.

Ainsi les composés ayant les masses moléculaires les plus élevées et la structure chimique la plus complexe (présence de plusieurs fonctions carboxyles et hydroxyles) sont mieux abattus avec des taux de traitement moins importants.

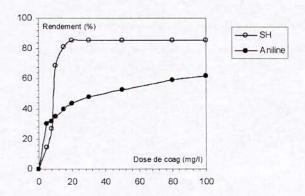


Figure1: Influence de la dose de coagulant sur l'élimination de l'aniline (10 mg/l) et les substances humiques (10 mg/l).

3.2. Influence de la teneur en sels sur l'élimination des composés organiques

L'objectif de cette phase de l'étude et de mettre en lumière le rôle que peuvent jouer les sels minéraux liés à la dureté de l'eau sur l'élimination des matières organiques.

Ainsi, des solutions contenant une concentration fixe de substances humiques ou d'aniline (10 mg/l), des teneurs variables en sels minéraux (10 ;30 ;50 ;100 ;150 ;200) mg/l ont été tour à tour coagulées par une dose constante de sulfate d'aluminium correspondant à celle aboutissant au meilleur rendement (elle est de 20 mg/l pour les SH et 100 mg/l pour l'aniline). Notons que, dans tous les cas, un bêcher témoin, sans ajout de sel a été introduit.

Les figures 2 et 3 permettent de visualiser les effets variables des sels minéraux testés sur l'élimination de l'aniline et des SH.

La figure 2 montre que dans le cas de l'aniline :

- les deux ions Ca⁺² et Mg⁺² liés aux chlorures conduisent à une légère amélioration du rendement qui commence à diminuer pour les fortes teneurs en sels, notamment pour le magnésium (dégradation de l'élimination).
- Par contre, les anions liés aux Ca⁺² et Mg⁺² ont un effet inhibiteur qui varie selon l'ordre :
 CO₃⁻²/HCO₃ > SO₄⁻² > Cl⁻²

Par ailleurs, au vu de la figure 3, nous pouvons remarquer que :

 L'effet promoteur des ions calcium et magnésium est plus important dans le cas de l'élimination des substances humiques.

Ceci apparaît aussi lors de l'ajout de CaCO₃ qui traduit une inhibition moins nette des bicarbonates comparée à l'élimination de l'aniline.

D'autre part, les sulfates (MgSO₄) entraînent une amélioration du pourcentage d'élimination ce qui pourrait avoir une relation avec les valeurs du pH de coagulation (pH = 6.14 - 6.30).

Les résultats concordent avec les travaux déjà réalisés au laboratoire [7,8] et avec les recherches de certains auteurs [5,6] et qui se sont surtout intéressé à l'effet bénéfique des ions calcium.

Concernant les mécanismes qui peuvent intervenir lors de la floculation de l'aniline et des SH, en présence des sels, nous pouvons suggérer qu'il y a :

 Adsorption des cations, notamment le calcium sur les flocs d'hdroxyde ce qui aboutit à la création de nouveaux sites d'adsorption

$$[Me_x (OH)_v]^{+n} + Ca^{+2} \rightarrow [Me_x (OH)_{v-1} OCa] + H^+.$$

• Formation de complexes (calcium – matières organiques) insolubles.

Il est à noter que pour les SH, un autre mécanisme pourrait intervenir, il s'agit de : l'effet de pontage des ions Ca^{+2} entre les formes anioniques des SH (pK_a = 4.2 et 8.2) et les espèces chargées négativement du coagulant.

En revanche, l'addition des anions sulfates et bicarbonates conduisent à un abaissement de la charge de surface des hydroxydes métalliques

$$\left[\mathrm{Me_{x}} \left(\mathrm{OH} \right)_{y} \right]^{+n} \ + \ \mathrm{SO_{4}}^{-2} \ \, \bigstar \ \, \left[\mathrm{Me_{x}} \left(\mathrm{OH} \right)_{y\text{-}1} \mathrm{SO_{4}}^{(n\text{-}1)^{+}} \right] \ + \ \, \mathrm{OH}^{-}.$$

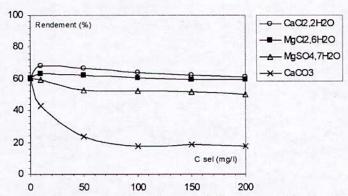


Figure 2: Influence de la teneur en sels minéraux sur l'élimination de l'aniline [Co = 10 mg/l].

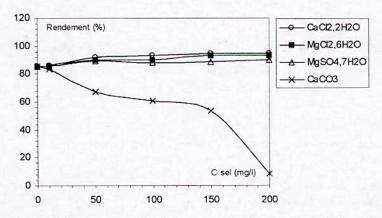


Figure 3: Influence de la teneur en sels minéraux sur l'élimination des SH [Co = 10 mg/l].

3.3. Essais de floculation d'eaux minéralisées dopées en composés organiques

Les essais de floculation réalisés sur les 3 types d'eaux minéralisées testées nous ont permis d'aboutir aux résultats illustrés sur les figures 4 et 5 concernant respectivement l'élimination des SH et l'aniline. Notons que les conditions expérimentales suivies sont les mêmes qu'en eau distillée.

Dan's le cas des SH, nous remarquons globalement une même allure des courbes (similaire à celle de l'eau distillée). En effet, le rendement s'améliore très légèrement pour les faibles doses de coagulant, puis augmente brusquement jusqu'à une certaine dose optimale à partir de laquelle il se stabilise enfin (figure 4).

En comparant les résultats des 3 eaux, nous pouvons constater que :

- Les pourcentages d'élimination varient selon l'ordre :
 Eau de Biskra > Eau Ifri > Eau Bordj-Ros.
- La dose optimale de sulfate d'aluminium diffère d'une eau à l'autre ; elle est de 50 mg/l pour l'eau de Biskra, 60 mg/l pour Ifri et Bordj-Ros.
- En absence de coagulant, il existe un certain pourcentage d'abattement des SH. En se référant aux caractéristiques des eaux étudiées (Cf. tableau 1), il semble que la minéralisation et la dureté de l'eau aient un impact déterminant dans la floculation des SH.

Toutefois, il faut rester prudent quant à ces hypothèses, car des éléments inhibiteurs (SO₄⁻², Cl) pourraient intervenir et minimiser l'effet promoteur des ions Ca⁺², ce qui pourrait

expliquer les résultats obtenus sur l'eau Bordj-Ros (R% = 85.70 % pour une dose de coagulant = 80 mg/l) malgré qu'elle présente une minéralisation et dureté importantes (TH = $150 \, ^{\circ}\text{F}$; Cond = $280 \, \mu\text{s/cm}$).

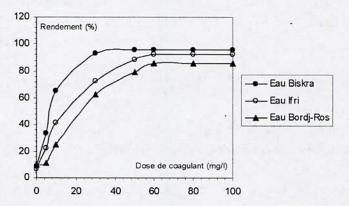


Figure 4: Influence de la dose de coagulant sur l'élimination des SH en eaux minéralisées [Co = 10 mg/l].

Notons également que pour chaque eau l'effet de la minéralisation peut apparaître en observant l'existence d'un certain pourcentage d'abattement en absence de coagulant ; deux phénomènes coexistent : "floculation par le sulfate d'aluminium" et "floculation naturelle par l'intervention des ions Ca⁺²".

Le suivi des différents essais sur les eaux minéralisées nous permet d'observer qu'au cours de la floculation, on a :

- Une baisse du pH et du TAC qui est due à la contribution des ions OH provenant de l'eau et des bicarbonates dans la formation de Al (OH)₃.
- Une baisse du calcium qui montre son éventuelle contribution à la floculation (notamment en absence de coagulant).
- Une diminution progressive de la conductivité.

Compte tenu de toutes ces constatations, nous pouvons suggérer que lors de la coagulation des eaux minéralisées, le mécanisme prédominant serait une adsorption des substances humiques sur les flocs Al(OH)₃ (pH des eaux proches de la neutralité).

Cependant, on note qu'il n'y a pas une restabilisation. Ceci laisse supposer l'intervention d'un autre mécanisme ; il s'agit de " l'effet pontage par les ions Ca⁺² " entre les formes anioniques des substances humiques et les espèces chargées négativement du coagulant.

Pour l'aniline, et à partir des courbes englobées dans la figure 5 nous pouvons remarquer que contrairement aux SH, l'aniline est faiblement abattue par floculation et qu'il n'y a pas une variation notable du rendement en fonction de la dose de coagulant. Il est à noter qu'une meilleure élimination est obtenue avec l'eau de Biskra qu'avec les deux autres eaux. En effet une dose de 150 mg/l de sulfate d'aluminium induit 52,85 % d'abattement de l'aniline mais avec une augmentation de la teneur de l'aluminium (1 mg/l) en solution (formes solubles de l'aluminium).

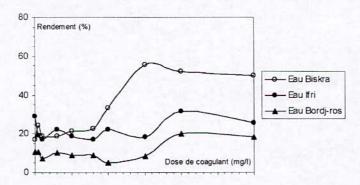


Figure 5 : Influence de la dose de coagulant sur l'élimination de l'aniline en eaux minéralisées [Co = 10 mg/l].

Nous pouvons lier la faible élimination de l'aniline aux pH des essais (7 ÷ 8). Ceci pourrait expliquer aussi le fait que le rendement s'améliore pour les fortes doses de coagulant (évolution du pH vers la gamme acide).

De même que pour les SH, on observe une certaine variation des caractéristiques physicochimiques des eaux et ce en fonction de la dose de coagulant mettant en évidence surtout la contribution de la minéralisation globale notamment le calcium sur l'élimination. Toutefois, l'influence reste très limitée et ce probablement à cause de l'intervention d'ions inhibiteurs tels que : les chlorures, les sulfates et les bicarbonates. En effet, une eau mi-dure mais faiblement alcalinisée (eau de Biskra) est mieux coagulée qu'une eau très dure et plus alcalinisée (eau de Bordj-Ros).

3.4. Essais de floculation d'une eau de surface

Nous nous sommes intéressé à la fin de notre étude à observer l'incidence de la coagulation sur l'abattement des composés organiques directement en eau de surface.

Nous avons mené nos essais d'abord en eau brute puis en eau brute dopée en composés organiques.

3.4.1. Essai de jar-Test sur l'eau brute

Les résultats des essais de coagulation par des doses croissantes de sulfate d'aluminium de l'eau brute du barrage Foum-El-Gherza sont résumés sur la figure 6.

Nous pouvons remarquer essentiellement que les doses optimales de coagulant correspondant à l'élimination de la turbidité et l'abattement de la charge organique coïncident. Ceci impliquerait que les SH se trouvent en partie sous forme colloïdale.

Concernant le mécanisme prédominant intervenant et suite aux valeurs de pH, il s'agirait du phénomène d'adsorption sur les flocs Al(OH)₃.

Après la dose de 30 mg/l de coagulant on assiste également à un phénomène de restabilisation des colloïdes.

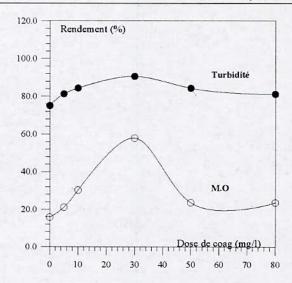


Figure 6 : Essai de jar-test de l'eau de barrage Foum-El-Gherza.

3.4.2. Essai de Jar-Test sur l'eau de barrage dopée en composés organiques

L'étude est poursuivie mais en dopant cette fois-ci l'eau de barrage par 10 mg/l d'aniline ou de SH.

Les résultats obtenus pour les deux composés organiques testés (figure 7) montrent, comme dans le cas des eaux minéralisées une faible élimination de l'aniline par rapport aux substances humiques.

La présence d'une charge organique initiale pourrait en particulier gêner l'élimination de l'aniline par le sulfate d'aluminium.

Nous constatons que la dose optimale pour l'élimination de la turbidité est de 30 mg/l que ce soit pour l'aniline ou les substances humiques et que par contre la charge organique nécessite un taux de traitement plus important.

Par ailleurs, signalons qu'il n'y a pas de restabilisation de la fraction colloïdale. Ceci provient du fait que les composés organiques testés sont en majorité à l'état dissous.

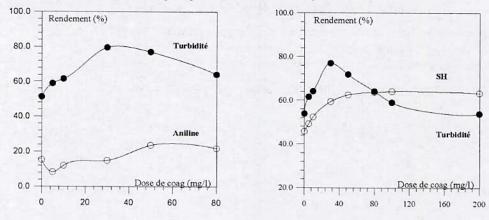


Figure 7 : Essais de jar-test de l'eau du barrage Foum-El-Gherza dopée en composés organiques [Co = 10 mg/l].

3.5. Conclusion

L'objectif de notre étude était d'observer les effets de la dureté d'une eau sur la floculation de deux composés organiques aromatiques.

Les essais conduits sur des SH en eau distillée ont ainsi confirmé divers travaux antérieurs et ont montré que la floculation au sulfate d'aluminium pouvait aboutir à d'excellents rendements d'élimination de ces substances.

Les sels constitutifs de la dureté peuvent notablement améliorer ces rendements à condition que l'anion associé au calcium ou au magnésium ne soit pas très inhibiteur de la réaction.

Quant à l'aniline, elle présente un comportement différent de celui des substances humiques et qui peut être attribué d'une part à sa forme dissoute et de faible taille moléculaire et d'autre part à sa structure chimique.

Comparée à d'autres composés simples tels que le phénol ou le résorcinol, l'aniline présente des rendements d'élimination non négligeables, plus importants aux pH voisins du pK_a de l'ion anilinium, en eau distillée.

Cependant, l'ajout de sels minéraux n'affecte que peu la réaction et peut même détériorer les rendements pour les fortes doses de sels.

De la même manière qu'en eau distillée, des essais de floculation des composés organiques testés ont été réalisés dans des milieux de minéralisation plus variée. Dans le cas des SH, les rendements d'élimination restent très élevés bien que les mécanismes de floculation soient différents de ceux en eau distillée. Par contre, l'aniline semble moins bien éliminée en présence d'un milieu de dilution de minéralisation variable et notamment en présence d'une dureté considérable.

Les essais de floculation effectués sur l'eau de surface dopée par les SH ou l'aniline ont mis également en évidence la complexité des mécanismes mis en jeu lorsqu'on doit prendre en compte les différentes interactions pouvant survenir aussi bien entre les diverses espèces hydrolysées de l'aluminium et les constituants minéraux et organiques de l'eau ainsi que les interactions matière organique / éléments minéraux, de même que les interactions phase dispersée / phase dissoute.

Différents phénomènes peuvent se produire soit simultanément, soit compétitivement et pourront englober plusieurs types de réactions de complexation, de précipitation ou d'adsorption entre les différentes entités.

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]-.Degremont. Mémento technique de l'eau, 9eme édition, Ed. Lavoisier. Paris, 1989.
- [2]- Achour. S. Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles. Thèse de Doctorat d'état. Université de Tizi-Ouzou, 2001.
- [3]- Bontoux. J, Introduction à l'étude des « eaux douces, eau naturelles, eau usées, eaux de boisson ». Ed. CEBEDOC Sprl, Liège, 1983.
- [4]- Legube. B., Croue. J.P. Étude sur les acides fulviques extraits d'eaux superficielles françaises. Rev. Sciences de l'eau. 3, 399-424, 1994.
- [5]- Lefebvre. E. Coagulation des substances humiques aquatiques par le fer ferrique en milieu aqueux. Effet de la préoxydation, thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 1990.

- [6]- Mazet. M, Wais Mossa. M.T, influence des sels minéraux sur l'adsorption des acides humiques sur flocs hydroxydes de fer préformés, Environnemental Technology, Vol-12 PP 725-730, 1991.
- [7]- Gesbaya. N, Achour. S, Influence de la minéralisation sur le pourcentage d'élimination des SH par floculation, 3^{eme} Séminaire National sur l'hydraulique, Biskra, 1998.
- [8]- Afoufou. F. Incidence de traitements d'oxydation sur l'élimination de la matière organique des eaux naturelles par coagulation-floculation, thèse de Magister en Hydraulique. ENSH, Blida, 2002.

ETUDE D'IMPACT DES MARGINES SUR LES RESSOURCES EN EAU AU MAROC

Lmahfoud ASMLAL,

Ecole Hassania des Travaux Publics, Casablanca, Maroc

RESUME

Dans ce travail, nous avons essayé d'étudier l'impact des margines sur les ressources en eau de la zone atlantique qui a été choisie comme la zone type pour illustrer un tel impact, dans la mesure ou elle mobilise un potentiel hydraulique importtant et concentre la majorité des unités de trituration d'olive recensées à l'échelle du Maroc.

Après avoir partagé cette zone en bassins hydrauliques suivi d'un diagnostic de chaque bassin, une estimation de la quantité et de la charge polluante de margines a été faite pour la période oléicole 2000-2001.

Les résultats de l'estimation a permis de classer les bassins correspondants à la zone atlantique en fonction de la vulnérabilité vis-à-vis des margines. Des cours d'eau ont été identifiés comme cible de ces margines dans les bassins les plus touchés, notamment, Sebou et Tensift. Au cours de cette étude, nous avons aussi essayé de proposer quelques traitements pour ces margines tout en mettant le point sur la nécessité de la résolution de la problématiques des margines dans une perspective de développement durable.

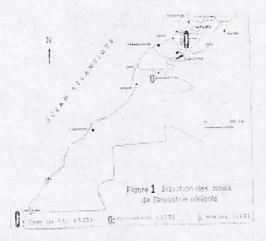
Mots clés: Margines - zone Atlantique - bassin hydraulique - développement durable ressources en eau.

I. INTRODUCTION

Au Maroc, l'extraction d'huile d'olive, que soit traditionnelle ou industrielle, a connu un développement important , dans les dernières décennies en liaison avec l'oléiculture développée et les demandes accrues des marchés, interne et externe en matière d'huile d'olive , engendrant ainsi un rejet important de margines , celles-ci caractérisées par des demandes biologiques et chimiques et surtout par la présence de toute une gamme de phénols constituent une menace pour l'environnement en général.

La complexité de la problématique de margines réside dans le fait que la plupart des unités de trituration d'olive, traditionnelles et industrielles (voir figure1), se concentrent dans la zone la plus importante en matière d'abondance des ressources en eau de surface, dite la zone atlantique.

L'importance de ces ressources pour un pays tel le Maroc, et l'impact jugé négatif de ces margines, nous a imposé à faire une étude d'impact, qui serait utilisé non seulement comme un outil de sensibilisation, mais aussi comme un document qui va définir les propriétés qui doivent être prises dans les plans d'action en matière de gestion des ressources en eau.



II. CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE

La zone choisie pour la présente étude est la zone atlantique qui constitue une zone type pour une telle étude, dans la mesure où elle mobilise 73,71 du potentiel hydraulique total et reçoit une quantité notable de margines.

Le souci d'avoir un bon diagnostic de cette zone, nous a amené à la partage en basins hydrauliques suivant le partage adopté par la loi (10-95), et diagnostiquer chaque bassin en soi, tout en exploitant les données des annuaires statistiques et les monographies des régions.

III. ESTIMATION DE LA QUANTITE ET DE LA CHARGE POLLUANTE DES MARGINES REJETEES DANS LA ZONE ATLANTIQUE.

L'estimation de la quantité et de la charge polluante en tant que deux indices indicateurs de l'impact, a été fait pour la période oléicole 2000-2001, en se basant sur l'inventaire des unités de trituration d'olive, réalisé par le ministère d'agriculture, de Pêche et de Développement Rural durant la même Période.

Les résultats d'une telle estimation sont rassemblés dans le tableau (1).

Tableau 1 : la quantité et la charge polluante de margines rejetées dans la zone atlantique

Bassin	Quantité de margines (m³/an)	Charge polluante Eq- hab
Sebou	201756	711584
Tensift	96585	349736
Oum Er rbii	32259	130542
Loukkos	19482	97007
Bouregreg		
	350082	1.288.869

Donc le volume total estimé à 350081m³, et qui représente une charge polluante estimée à 1.288.869 Eq-hab a été rejeté dans la zone atlantique pendant la période oléicole 2000-2001.

La contribution de chaque bassin dans le rejet total peut être représentée par la figure (2).

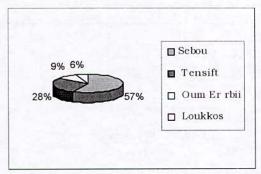


Figure 2 : La contribution de chaque bassin dans le rejet total des margines pendant la période oléicole 2000-2001.

D'après ce figure, le bassin de Sebou se classe en premier rang des bassins, en terme de production de margines (plus de 57%), suivi par le bassin de Tensift. Les contributions des autres bassins restent relativement modestes, et sont 9,2% pour le bassin d'Oum Er rbii et 5,6% pour le bassin de Loukkos.

Bassin de Sebou: reste l'exemple type pour illustrer l'impact des margines sur les ressources en eau de surface.

Bassin de Tensift : c'est un bassin où la problématique des margines est aussi bien exprimée, mais c'est surtout le patrimoine en eaux souterraines qui pourrait être touché.

Bassin d'Oum Er rbii ; dans ce bassin la problématique n'a pas encore atteint le degré critique, mais les potentialités dont dispose le bassin en matière d'oléiculture développée et les tendances vers l'investissement dans le secteur d'huile d'olive dans ce bassin, pourraient contribuer à un développement de l'industrie oléicole, et envoie de conséquence à l'augmentation du volume de margines rejeté dans ce bassin.

Bassin de Loukkos: l'activité de l'extraction d'huile d'olive se fait généralement d'une façon traditionnelle, générant un volume relativement faible de margines.

Bassin de Bouregreg: en dépit de l'importance de l'industrialisation dans ce bassin, les investissements dans le secteur d'huile d'olive sont limités à l'import et l'export.

IV. COURS D'EAU CIBLES DES MARGINES

Quelques cours d'eau susceptibles d'être touchés par les margines, ont été identifiés dans les bassins les plus touchés, notamment Sebou et Tensift, en se basant sur une base cartographique et des inventaires délivrés auprès des agences hydrauliques de ces bassins.

Pour le bassin de Sebou

Tableau 2: Les cours d'eau susceptibles d'être touchés par les margines dans le bassin de Sebou.

Cercle ou centre	Carte	Cours d'eau ou réseau hydrographique cible
Pachalik de Taounate	-	Oued Sra
Cercle de Taounate		Oued Sra
Cercle de Karia Ba Mhammed	Karia Ba Mhammed 1/50.000	Oued Habara Oued Haballat Bouchabel
Cercle de Tissa	Tissa	Oued lébene

Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

	1/50.000	Oued Ouerrha
Cercle de Rhafsai	Rhasfsai 1/50.000	Oued Oulay
Mahaya et Ain Taoujdate	Beni Ammar 1/50.000	Oued Mkés Oued Nja

· Pour le bassin de Tensift

Tableau 3: les cours d'eau susceptibles d'être touchés par les margines dans le bassin de Tensift.

Province	Commun e	Cours d'eau cible	
Essaouira	Essaouira	Assainissement vers la mer	
SidiYousse f Ben Ali	Ain Itti	Oued Issil	
Marrakech Ménara	Loudaya	Oued N'fis	
El Haouz	Tahanout	Oued Rheraya	
El Haouz	Ait Ourir	Oued Zal	
El Haouz	Ourika	Oued Ourika	

V. TRAITEMENT ET VALORISATION DES MARGINES

Le choix d'un bon traitement pour les margines implique la prise en considération de plusieurs paramètres climatiques, socio-économiques, hydro-géologiques. Et le choix du bon déroulement du système de traitement implique l'adoption d'une approche participative des oléifacteurs dans le processus de traitement.

Les traitements proposés dans cette étude étaient par mode d'extraction :

• Pour les unités traditionnelles

Epandage agricole des margines: pour des oléifacteurs d'un centre donné, la technique peut se pratiquer par un épandage collectif et alterné du rejet total des margines, relatif à ce centre. Autrement dit, les oléifacteurs vont se mettre d'accord pour faire un tour de rôle, pour l'épandage du rejet total de ce centre.

Séchage des margines: dans des bassins collectifs pour chaque ville, centre ou village et utilisation des résidus séchés comme fertilisants ou combustibles dans des fours ou bains traditionnels.

Production de compostes: dans des bassins d'évaporation naturelle, on ajoute aux margines; les excréments des bétails ou des déchets ménagers (biodégradables) préalablement séchés. Après la fermentation, le mélange est séché et conditionné sous forme de pellettes qu'on pourrait utiliser comme engrais.

*Pour les unités industrielles

Evaporation forcée : une partie du coût de cette technique peut être couvrée par la vente des grignons aux débouchés intéressés (fours ou bains traditionnels).

L'incinération: est aussi une technique, dont on peut se servir pour un traitement total des margines, tout en se profitant des grignons comme l'une des sources d'énergie pour la combustion.

Traitement biologique : la conception d'un bioréacteur propre à chaque unité, constitue une alternative très importante en matière de traitement de margines.

CONCLUSION

L'impact négatif des margines sur les ressources en eau, impose une sérieuse intervention de la part des gestionnaires de l'eau au Maroc.

Or, l'importance de l'activité d'extraction d'huile d'olive dans la société et l'économie marocaines, impose de traiter la problématique des margines dans une perspective de développement durable.

BIBLIOGRAPHIE

- « Analyse environnementale du projet d'implantation d'huilerie DAKKOUN », Octobre 2002 EAU –GLOBE;
- Annuaire statistique régionale « région Méknès-Taïlalt », Mars 2001: délégation des statistiques;
- Annuaire statistique régionale (région Rabat –Salé- Zemmour Zaer)
- · délégation des statistiques ;
- Annuaire statistique du Maroc 2002;
- Annuaire statistique du Maroc 1998;
- ASMLAL L. « L'eau au Maroc, Etat des lieux, aspects quantitatifs », intervention donnée au cours d'un séminaire du 25au 28 Mars Ecole Hassania des travaux publics;
- Diagnostic de la pollution des huileries dans le bassin du Sebou (impact sur les ressources en eau) Novembre 1993, rapport de mission, Direction Générale de l'Hydraulique;
- ELHEBIL C. 2001, »Prévention de la pollution générée par les rejets des margines » Certificat d'études supérieures en "INGENIERIE ET GESTION DE L'Eau" Ecole Hassania des travaux publics.
- « Elimination des margines de la ville de Fès », rapport Mai 1997 ONEP
- ERROUDI M., et .M.ARKANI M.,2001: « Etude des procédés d'épuration des margines: cas de la ville de Taounate ». Mémoire de la fin d'études, Ecole Hassania des travaux publiques;
- Etat de la qualité des eaux superficielles du bassin de l'Oum Rbii, rapport de l'ONEP 1992-1994;
- GABI.H et.ELHAJIL. K Finalisation des valeurs limites des rejets, mémoire du cycle d'études supérieures en ingénierie et gestion de l'eau, Fevrier2001, Ecole Hassania des travaux publics;
- Industries d'extraction d'huile d'olive, (Janvier 1996), Direction Générale de l'Hydraulique ;
- Jean-françois Troin, « Maroc, Regions, Pays, Territoires » Edition 2002
- Fndation AL SAOUD;
- Le Maroc des régions 2001, Edition de la banque populaire ;

- « Le traitement des effluents de l'industrie Agroalimentaire », rapport de mission Mai 1993, ONEP;
- Monographie de la région « Chaouia-Ouardigha 2000 » (Settat), délégation des statistiques;
- Monographie du Grand Casablanca 2002;
- Mouncif, 1993 « traitement et valorisation des eaux résiduaires des huileries d'olive », Mémoire de troisième cycle, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat; -« Procédés de traitement des margines », rapport de mission, Avril 1993 ONEP;
- « Rapport sur l'état de l'environnement au Maroc », Octobre 2001 délégation du Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Urbanisation de l'Habitat et de l'Environnement;
- SADOK. . M, « la pollution du moyen Sebou par les rejets des margines »
 Mémoire de la fin d'études, Faculté des Sciences Ain Chock Hassan II;
- SAHILI. E, « Problématique des rejets liquides et solides au niveau de la région hydraulique du Tensift: diagnostic, impact sur le milieu naturel et humain et proposition d'un plan d'action », thèse de Doctorat, Agence de bassin hydraulique de Tensif
- « Traitement des eaux résiduaires provenant des pressions d'olive », Ecole Hassania des travaux publics.

268

UNE IRRIGATION DE PLUS EN PLUS RARE ET UNE GESTION DE L'EAU EN DIFFICULTE :

LA VULNERABILITE DES PERIMETRES IRRIGUES ORANAIS

Berrahi Midoun Fatiha

Laboratoire de recherche : Espace géographique et aménagement du territoire Faculté des Sciences de la Terre de Géographie et de l'Aménagement du Territoire. Université d'Oran. E-mail : fatihaberrahi@yahoo.fr

RESUME

Le développement agricole durable reste conditionné par une mise en équation des potentialités en sol et en eau. L'agriculture est une activité économique qui se base sur un complexe naturel (sol, eau, homme). Ce complexe peut être un avantage ou une contrainte pour la production agricole en absence d'une bonne gestion « homme »ou d'une insuffisance d'utilisation des ressources en « eau et en sol ».

Ainsi les perturbations que connaît l'irrigation découlent de la faiblesse des ressources hydriques en Oranie mais aussi des politiques générales de l'eau et de l'agriculture, de législation, des instruments de régulation ou des institutions.

Jusque là, la question de la ressource en eau n'a été appréhendée qu'en termes de construction de barrages. Malgré le poids relatif des investissements réalisés dans ce secteur, il n'y a eu pour l'irrigation que des changements formels à la suite des assises de la politique de l'eau.

Cette communication permet de cerner les grands traits de l'irrigation en Oranie et de poser la problématique de quelques anciens périmètres irrigués situés pas très loin des plus grandes villes, des zones industrielles et du littoral oranais.

Malgré les progrès réalisés par certaines régions la situation de l'irrigation reste dans l'ensemble très déplorable : faibles performances en taux de raccordement en réseaux et stations, une capacité de la grande hydraulique insuffisante et des installations en panne ou à rendements médiocres. Devant le déficit de la ressource hydrique, la croissance démographique, la planification et l'aménagement spatial, les politiques urbaines, rurales et agricoles se succèdent sans que l'une prenne en compte l'ampleur ou le déclin de l'autre.

Qu'en est-il de la gestion de l'eau dans les périmètres irrigués en Oranie?

Mots clés

Vulnérabilité - Rareté - Gestion - Grande hydraulique - Mutations - Stratégies - Développement.

1. INTRODUCTION

L'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998. Estimée à environ 500 m³ à l'heure actuelle, elle ne sera que de 430 m³ en 2020 et serait encore plus réduite ramenée aux ressources en eau mobilisables (C.N. E. S. 2000).

La gestion des eaux d'irrigation a été marquée par une régulation strictement administrative basée sur l'offre, peu maîtrisée, alors que la demande est loin d'être canalisée en raison d'un système de tarification inapproprié et par le fait que ces réalisations sont très anciennes et ne bénéficient pas d'un entretien conséquent. Les grands bouleversements qu'a connu

Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

l'irrigation en Oranie qu'ils soient subis ou voulus, s'y sont tout naturellement traduits. La politique hydraulique s'est faite sans référence précise à l'espace, mais chaque intervention y a porté sa marque, positive ou négative.

2. LA VULNERABILITE DES PERIMETRES IRRIGUES EN ORANIE

La vulnérabilité des périmètres irrigués en Oranie concerne particulièrement l'eau, l'agriculture, la pollution et l'urbanisation.

Les prévisions climatiques pour la région auraient des conséquences néfastes directes et indirectes sur le potentiel en ressources en eau, tant du point de vue quantité que qualité, sur les besoins en eau et sur l'efficience d'utilisation de cette ressource pour les différents usages. Ainsi en Oranie, les changements climatiques pourraient exacerber les impacts négatifs sur le développement socio-économique de la rareté, de la disparité spatio-temporelle et de la forte dégradation qui caractérisent les ressources en eau. Les actions à mener pour une adaptation de ces périmètres irrigués aux impacts éventuels des changements climatiques se retrouvent pour la plupart dans les stratégies futures dans ce domaine (Plan National de l'Eau et la gestion intégrée de l'eau par bassin versant).

Ainsi, l'agriculture qui est identifiée comme étant l'un des secteurs les plus sensibles aux changements climatiques joue un rôle important tant sur le plan économique que social. Les ressources naturelles en terres, sols, climat et en eau permettent la pratique d'une agriculture diversifiée. Cependant cette agriculture demeure en général de type extensif malgré les efforts entrepris dans le sens de son intensification.

Les conditions de l'irrigation en Oranie ne permettent pas d'intensifier les cultures qui restent fortement conditionnées par les aléas climatiques. La rareté de l'eau constitue une contrainte qui restreint le potentiel irrigable et limite son extension. Les terres agricoles sont conduites à sec vu l'épuisement fréquent des réserves des barrages ; ces derniers n'assurent plus l'irrigation. Pendant la période de sécheresse

90 % des réserves en eau sont destinées à la consommation humaine et la quantité restante (10 %) est utilisée pour garantir seulement l'entretien de quelques plantations.

Les eaux de l'Oranie proviennent essentiellement des barrages (70%) et 30% seulement viennent des forages. A noter que les besoins en eau ont tendance à être à forte composante saisonnière : l'irrigation, la population, ainsi que la part du tourisme concentré dans les zones littorales concourent à déterminer une forte saisonnalité des utilisations de l'eau. A l'inverse de la variabilité saisonnière des ressources : les demandes en eau sont maximales quand les ressources sont minimales. Ce déphasage entre le régime des ressources et des demandes se produit également par le besoin de disposer d'un système de planification des ressources en eau qui s'est fait sentir et d'où l'initiation en 1992 d'un plan national de l'eau qui a été achevé et validé pour les régions hydrographiques chott Chergui (Oranie) et Cheliff

3. LA GESTION DES GRANDS PERIMETRES IRRIGUES

S'il est un secteur où la colonisation a laissé son empreinte, c'est bien celui des grands ouvrages. L'héritage concerne, particulièrement, les grands périmètres et les barrages réservoirs. Au lendemain de l'indépendance, les missions de l'hydraulique étaient réparties entre, d'une part, le secteur des Travaux Publics et, d'autre part, celui de l'Agriculture. Le secteur des Travaux Publics et de la Construction assurait l'essentiel des missions à travers une direction centrale au niveau du Ministère et deux services extérieurs : le SES (Service des Etudes Scientifiques- actuelle ANRH) et le SEGGTH (Service des études Générales et des Grands Travaux Hydrauliques, actuelle ANB et en partie l'AGEP). Le Ministère de

l'Agriculture, de son côté, assurait toutes les prérogatives relatives à l'irrigation et à l'hydraulique rurale.

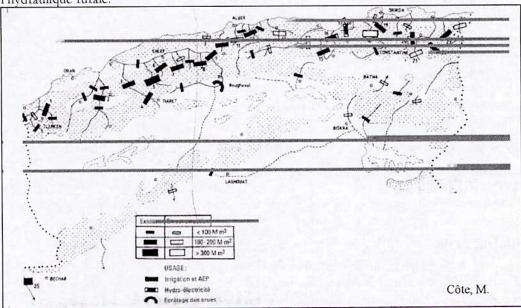


Figure 1: Les barrages en Algérie

La première décennie de cette période (celle du Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique, essentiellement) a été marquée par la mise en place de Directions de l'Hydraulique de Wilaya, la création d'entreprises d'études et de réalisation. Les années 80 ont été caractérisées par la création d'un bureau de Contrôle Technique des Constructions Hydrauliques (CTH)

Jusqu'en 1985, les grands périmètres irrigués étaient gérés par un service administratif centralisé appelé Budget Annexe des Irrigations (selon des procédures très lourdes). A partir de 1985 il a été créé progressivement 5 grands Offices Régionaux d'Irrigation sous la forme juridique d'établissement public à caractères industriel et commercial sous tutelle directe du Ministère chargé de l'hydraulique agricole et 8 Offices de Périmètres Irrigués de Wilaya sous tutelle des autorités administratives locales (Walis). Ces offices disposent d'une relative autonomie et d'une meilleure souplesse de gestion par rapport à la situation antérieure. Ils disposent également d'un conseil d'administration qui comporte un représentant de toutes les autorités locales concernées ainsi que celui des usagers. Les périmètres ont été donnés en concession aux offices sur la base d'un cahier des charges approuvé par décret.

4. QU'EN EST-IL DE L'IRRIGATION EN ORANIE?

La distinction entre les grands périmètres irrigués en Oranie ne réside pas dans les modes d'irrigation; ils sont tous conçus à partir de gros ouvrages et de systèmes d'irrigation par gravité. Les canaux en béton sont presque la caractéristique de tous les réseaux d'irrigation, de même que l'assainissement, qui n'a que peu d'importance. Il n'existe que des drains collecteurs insuffisants pour le drainage des eaux d'irrigation.

Leur classement pourra se faire en fonction de leur âge, de leur milieu physique et humain ainsi qu'aux problèmes qui se posent à chaque région. L'Oranie est un vaste ensemble qui a été occupé massivement par la colonisation. Les périmètres (Bas-Chellif, Mina, l'Habra, Sig, Maghnia) sont irrigués depuis longtemps. Toutefois les périmètres Habra-Sig étaient les seuls à disposer chacun d'un barrage (Fergoug et Cheurfas). Le périmètre de la Mina, par contre

ne bénéficiait que de l'eau d'un petit barrage de dérivation. Le développement de l'agriculture irriguée s'y trouvait très réduit, car presque tous les étés aux moments de l'étiage, l'eau manquait.

Cependant, dés les premiers résultats de la mise en valeur, l'agriculture irriguée y pris une extension remarquable au fur et à mesure que l'eau a été apportée, avec une régression de la céréaliculture, une stabilisation à un niveau très bas des surfaces consacrées aux luzernières et une progression considérable des cultures maraîchères et des cultures arbustives. Dans ces périmètres, le problème de la salinité de l'eau, des sols et celui du mauvais drainage naturel est commun.

Dans ces aires d'irrigation, l'agriculture se trouve actuellement dans une situation critique.

L'inexistence d'une « réelle » politique hydro-agricole dés l'indépendance où la priorité a été donnée à l'urbanisation et à l'industrie a marginalisé le secteur agricole et plus particulièrement les espaces dépendants de la grande hydraulique (les anciens périmètres irrigués).

4.1. Une gestion en difficulté

Les perturbations que connaît l'irrigation découlent de la faiblesse des ressources hydriques en Oranie. Elles trouvent aussi explication dans l'absence d'une gestion rationnelle de cette ressource rare. Qu'il s'agisse des politiques générales de l'eau, de législation, des instruments de régulation ou des institutions, la question de l'eau a été appréhendée depuis le début des années 70 en termes d'offre et de réalisation d'infrastructures ou plus exactement de construction de barrages. Cette approche, centrée sur les initiatives et des ressources strictement étatiques s'est avérée insuffisante dans la mesure où elle n'a pas permis une bonne satisfaction des besoins de l'agriculture et des infrastructures économiques malgré le poids relatif des investissements réalisés dans ce secteur. Il n'y a eu que des changements formels à la suite des assises de l'eau.

Ceci est d'autant plus vrai que lors de ces dernières années de sécheresse les volumes d'eau vendus ont été insignifiants ce qui n'a pas permis aux offices des périmètres irrigués de mener correctement leurs missions. Le déficit chronique des offices des périmètres irrigués de wilaya est dû aussi à d'autres raisons exogènes et endogènes parmi lesquelles en peut citer :

- la faible tarification de l'eau agricole facturée au taux administré et non actualisé de 1 à 1,20 DA le mètre cube,
- la réaffectation des ressources en eau au détriment de l'irrigation,
- l'encadrement insuffisant,
- la réalisation par ces établissements de travaux pour d'autres secteurs au détriment de la gestion exploitation maintenance des périmètres qui leur sont donnés en concession.
- Les charges financières de l'office (OPI) sont réparties en matières et services consommés, frais de personnel, impôts, amortissements et autres charges (Belhadi, 2001).

En l'absence de comptabilité analytique, la part des charges dépensées pour la gestion et l'entretien des infrastructures n'est pas identifiable; elle devrait normalement représenter la majeure partie de ces charges. La part la plus importante est représentée par les frais du personnel soit plus de 55% des charges totales.

La moyenne des charges totales pour la période 1990 à 1995 représentait 5,41 millions de dinars Algériens, soit en moyenne 624 DA par hectare, à cela il faut ajouter le financement

par l'Etat au travers de l'AGID, d'opérations de grosses réparations pour la période 1990 à 1995, soit un financement représentant environ 13,5 millions de Dinars Algériens (DA) par année.

Les dépenses totales de gestion, d'entretien et de grosses réparations représentent donc 2.182 DA/ha et par an; cette somme correspond à 0,74 % de l'investissement selon les critères habituellement utilisés. Ce taux de maintenance est considéré comme insignifiant, car pour maintenir l'infrastructure dans un état de fonctionnement acceptable il faut que ce taux soit compris entre 02 à 03 % d'un investissement neuf (Sallem, 2001).

Les périmètres irrigués en Oranie n'échappent pas moins à d'autres contraintes anthropiques.

4.2. Un réseau d'irrigation et de drainage dégradé

L'office a hérité des infrastructures hydro-agricoles délabrées qui datent des années cinquante. On peut affirmer d'une façon générale que presque la totalité des réseaux de transport et de distribution sont vétustes, détériorés ou ont dépassé leur limite de vie économique à l'exception de quelques tronçons qui ont été récemment rénovés dans le cadre des travaux de grosses réparations des périmètres irrigués entrepris par l'AGID.

Tous les canaux préfabriqués ne sont plus en mesure de fonctionner à 50% de leurs caractéristiques hydrauliques initiales. Ceux qui sont encore utilisés enregistrent des pertes d'eau extrêmement importantes dues aux:

• fuites locales au niveau des joints dues soit au vieillissement des joints, soit au déplacement des éléments ou des supports (voir photos : 1 -2);

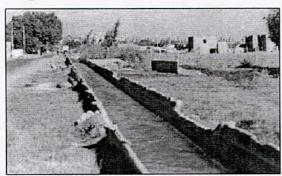




Photo.1-2: Périmètre du Sig2004

- fuites diffuses qui résultent de vieillissement et de l'effritement du béton (fissurations transversales et longitudinales);
- débordements engendrés par la destruction des revanches des canaux;
- les contre pentes engendrées par l'affaissement de certains supports causés par les fuites locales des joints qui entraînent des tassements du terrain au pied des supports;
- nombreuses détériorations sur les canaux de petit diamètre qui sont extrêmement fragiles. Ces détériorations sont parfois dues à des causes volontaires (chocs d'engin agricoles, destruction par les enfants notamment dans les zones urbaines);
- équipements hydromécaniques (vannes, modules,...) sont détériorés ou enlevés.

Les canaux restent pendant très longtemps secs à la suite de la restriction due à la sécheresse mais aussi à l'envasement des barrages.

Comme l'eau facteur limitatif à tous les travaux d'aménagement, le drainage reste indispensable aux opérations de lessivage.

Il existe déjà un réseau de drainage principal à Mina, Habra et à Sig où de grands collecteurs et les oueds qui traversent les périmètres doivent être remis en état (Cf. photos3-4). Sur la base d'une vaste campagne de relevés des données phréatimétriques et d'autres relevés sur les caractéristiques hydro pédologiques des sols, on pourra identifier les aires où il faut intervenir en priorité. Pour ce qui concerne le support technique, il serait nécessaire de divulguer largement les règles agronomiques connues des agriculteurs ainsi que d'autres techniques expérimentées dans des zones et dans des conditions analogues à celles de la région ouest du pays. La salinisation et l'alcalinisation des sols sont dues à l'affleurement de la nappe et à la remontée capillaire liée à la forte évaporation et au mauvais drainage.





Photos 3 : Drains collecteur remplis de déchets urbains. Photos4- Drains collecteur utilisé comme égout

Ce phénomène peut être maîtrisé par la distribution de volumes d'eau substantiels. L'état actuel du réseau d'irrigation et de drainage entrave toute initiative d'investissement agricole porteur et aggrave le déficit en eau qui est devenu une caractéristique de ces périmètres soit à cause de la sécheresse, de l'envasement ou du délabrement des canaux et parfois par la conjugaison de ces trois facteurs. Cette situation nécessite d'entreprendre d'emblée des travaux de rénovation et de réhabilitation de ces structures en attendant une substitution radicale par un système plus adapté au contexte pédologique (salinisation) géographique (spécificité de la région) et économique (système de culture). La rénovation optimale du réseau d'irrigation et de drainage engendrera sûrement un développement durable.

4.3. Des pratiques d'irrigation inquiétantes dans des périmètres à irrigation mixte (barrage et nappe)

La rareté de la ressource superficielle a imposé l'exploitation intensive des ressources souterraines. Le nombre de puits a fortement augmenté facilité par l'introduction de motopompes, chose qui a conduit à l'abaissement continuel de la nappe au fil des années et par conséquent, la plupart des puits de surface de la plaine sont à sec. C'est pourquoi, depuis années 90 , bon nombre d'agriculteurs ont eu recours à de nouvelles techniques de sondage permettant de puiser de l'eau dans des couches de nappes avoisinantes ensuite dans les plus profondes , d'où la surexploitation .

Chaque exploitant prélève pour soi, et, lorsque la ressource baisse trop, on approfondit le forage pour allez capter une autre veine souterraine. Certains pratiquent l'irrigation de submersion ou d'aspersion et d'autres adoptent la technique du micro jet ou de l'irrigation localisée (goutte à goutte). Il peut arriver que l'agriculteur propriétaire de la prise d'eau permette à un autre exploitant d'utiliser l'eau de sa prise d'eau et en contrepartie l'exploitant bénéficiaire cède une partie de sa terre "gratuitement" pendant un nombre de saisons fixées à

l'amiable. On peut aussi trouver des voisins qui s'entraident en se prêtant mutuellement leur captage en cas d'insuffisance ou de panne et même ceux qui la vendent ...

En réalité, si les forages sont soumis à un arrêté de la Wilaya et les puits par contre soumis à des autorisations de fonçage ils ne sont pas systématiquement inventoriés du fait de leur grand nombre. Il demeure donc une grande incertitude quant à leur nombre et à l'impact de l'exploitation sur la nappe.

Par ailleurs, il est à noter que, plus de la moitié des irrigants possèdent, en moyenne, un bassin de captage d'eau de 100m³, et plus encore, de réservoirs enterrés à ciel ouvert d'une capacité >100m³ alimentés directement des puits qu'ils desservent à partir delà, les parcelles par canalisation, mais cela est peu fréquent.

5. ABSENCE D'UNE STRATEGIE HYDRAULIQUE ET AGRICOLE GLOBALE

Devant l'absence d'une stratégie hydraulique globale des conflits et des tensions de plus en plus graves surgissent entre l'amont et l'aval de cette ressource rare qui est l'eau. Ce qui a impliqué des dotations préférentielles selon les nécessités de l'heure, et garantissant par la même la survie des différents usagers. De ce fait l'irrigation est classée au second rang des priorités au sens des dispositions légales (code de l'eau), mais en réalité elle demeure le parent pauvre de la politique hydraulique.

La gestion de l'eau constitue un enjeu stratégique et demeure une préoccupation permanente des pouvoirs publics parce que l'eau en Oranie a toujours, été au centre des turbulences des groupes sociaux.

Ce n'est qu'en 2003 que le comité technique de Chott Chergui-Oranie est installé à Oran.

La région Oranie-Chott-Chergui étendue sur 35% environ de la superficie totale de l'espace tellien, ne reçoit à peine que 8% des écoulements de surface totaux.

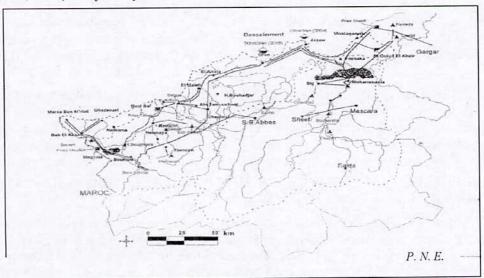


Figure 2 : Infrastructure de mobilisation et de transfert existantes et projetées.

Le but de cette structuration est l'implication de la société civile dans la gestion de l'eau, la création des conditions optimales d'une gestion intégrée des ressources hydriques ainsi que la concertation et la bonne affectation par des plans d'urgence (Cf.fig.2). La stratégie qu'il faut mettre en œuvre est de penser avec une action locale des prévisions à long terme de toutes les institutions, notamment l'Agence du bassin hydrographique (ABH) par la contribution de

l'Etat et de la lutte contre le phénomène de la sécheresse, la pollution et la mauvaise gestion des ressources. La mauvaise gestion des périmètres irrigués a contribué à une situation de déliquescence de l'agriculture algérienne

5.1. Pour le périmètre de l'Habra

La superficie irriguée est passée de plus de 13.500ha à moins de 5.000ha dont 4.000/4500ha sont réservés aux vergers agrumicoles : diminution de la superficie occupée par les agrumes d'environ 3.000ha (soit40% de la superficie existante dans les années 70), réduction des rendements unitaires et par conséquence une très forte diminution de la production végétale, une quasi-disparition des cultures horticoles et abandon des cultures industrielles, disparition des cultures céréalières en irrigué.

5.2. Pour le périmètre de Sig

Réduction de la surface irriguée de 5.400 ha à 3.300 ha, destinée à la culture de l'olivier et d'autres arbres fruitiers, diminution des rendements et réduction conséquente de la production oléicole, réduction voire une quasi-disparition des cultures horticoles de qualité et des cultures industrielles, réduction sensible des cultures céréalières d'hiver.

La dégradation progressive de la production végétale dans les deux périmètres a causé une diminution de leur production brute vendable estimée par des experts italiens aux environs d'un milliard de DA., c'est à dire plus de 300 millions de FF par an (estimation 1992).

Ce manque de production a provoqué une très forte réduction de l'emploi agricole tant pour les activités agricoles normales que pour la récolte. Il a été estimé prudemment qu'au moins 500.000 journées de travail sont perdues chaque année (c'est à dire non requises), ce qui correspondant à l'emploi de 2.000 ouvriers agricoles, soit 15% des agricoles actifs des zones intéressées et 50% de la population active employée (Lotti1992).

La diminution de la production a eu une influence négative également sur les activités induites du secteur agricole notamment les industries de transformation et de conditionnement des produits agricoles et l'ensemble des services de soutien à l'agriculture. Cette situation a provoqué une diminution très importante des ressources économiques de la région.

Si l'on n'intervient pas rapidement et de façon énergique, la situation risque d'accélérer l'effondrement de la production et la disparition des plantations arboricoles surtout que les signes avant-coureurs de la mondialisation et de la disparition des barrières tarifaires se manifestent déjà sur nos marchés. En l'absence de loi protégeant les périmètres irrigués, l'urbanisation n'aura pas également beaucoup de difficultés pour s'accaparer de plus d'espace.

6. REFORMES FONCIERES NON ADAPTEES AUX RESEAUX D'IRRIGATION

Depuis l'indépendance du pays, il n y a eu aucun lien entre les réformes foncières et la trame du système d'irrigation. Aucune réforme n'a introduit un nouveau mode d'irrigation ou amélioré les techniques usitées. Ces changements structurels se sont limités au réajustement de la structure foncière et il n'a été procédé à aucune extension de l'irrigation. Ainsi l'Etat n'a pas cherché à travers ces réformes à récupérer les plus-values attendues. De la collectivisation des terres à travers l'autogestion, en passant par la révolution agraire et la restructuration puis la fusion des deux secteurs en un seul secteur socialiste, les périmètres irrigués n'ont cessé depuis l'indépendance de subir des transformations structurelles (comme n'importe quelle autre territoire agricole) et ce en vue de créer les conditions d'une organisation socialiste de l'économie nationale.

De ce fait la restructuration des Domaines Agricoles Socialistes (DAS) en Exploitations agricoles Collectives (EAC) et Exploitations Agricoles Individuelles) (EAI) s'est traduite par une mutation spatiale qui a été matérialisée par la construction d'hangars, d'abris, de bâtiments d'exploitations extra-agricoles, un habitat individuel (réglementé par l'arrêté interministériel du 13 septembre1993 relatif aux droits de construction applicables aux territoires situés hors des parties urbanisées de communes) entraînant ainsi le rétrécissement des terres irriguées, la concurrence pour l'eau et la démotivation des agriculteurs et des techniciens . L'occupation polyvalente des terres le long des périmètres irriguées a modifié la répartition zonale de l'occupation du sol et de la morphologie foncière.

L'échantillon représenté par un extrait de la carte foncière (Cf.ig.3) et celle du réseau d'irrigation du périmètre irrigué de l'Habra (Cf.fig.4) est l'exemple type du morcellement et de l'inadaptation du réseau d'irrigation à la nouvelle structure foncière. Cet état de fait est général dans tous les périmètres irrigués en Oranie.

Le démembrement de la grande propriété du secteur socialiste, et l'éclatement des DAS en EAC et surtout en EAI, n'est pas dans l'intérêt des gestionnaires et des techniciens qui se retrouvent avec un grand nombre d'irrigants et d'interlocuteurs jamais recensés exemple du Périmètre irrigué du Sig où Le nombre d'irrigants est passé de 338 en période de la restructuration à 1.355 irrigants pour Le périmètre de l'Habra le nombre d'irrigants est passé de 683 à 2003.



Figure 3 : Démembrement foncier : périmètre irrigué d'El Habra (OPISH 2004).

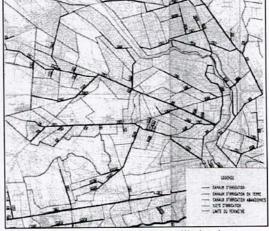


Figure 4 : Etat des Canaux d'irrigation : périmètre d'El Habra (OPISH 2004).

Vu l'état actuel des canaux, la trame fonctionnelle se limite aux canaux principaux. Comment donc faire acheminer l'eau d'une façon rationnelle et équitable à tous les usagers sans conflits?

7. CONCLUSION

La dégradation des infrastructures des périmètres irrigués et la discordance dans leurs travaux de réhabilitation ont des conséquences directes sur le potentiel productif et sur la volonté des irrigants.

L'office des Périmètres Irrigués en Oranie gère des périmètres en exploitation dont moins de 50% sont effectivement irrigués. La rareté de la ressource s'est traduite par des restrictions sur le plan de culture des usagers et la sauvegarde uniquement de l'arboriculture.

Parallèlement, ces anciennes zones de colonisation n'ont plus l'exclusivité de bénéficier de l'emmagasinage et de l'utilisation de l'eau alors qu'elles sont en aval des bassins versants. En

effet pour la rentabilité de leur production et l'amélioration de leur niveau de vie, les agriculteurs situés en amont des barrages(hors des périmètres) se sont donnés le droit à l'irrigation au fil de l'eau.

S'ajoutent à cela les concurrences pour l'eau nées du développement de l'industrie et de la croissance de la population ainsi que de l'extension de l'urbanisation sur les terres des périmètres irrigués.

L'eau : son transport, sa gestion et sa valorisation reste l'un des grands problèmes qui conditionnent l'avenir de cette région hydro-agricole et ce indépendamment de l'unique changement climatique. Les périmètres en Oranie sont en pleine mutation et stress hydrique ; ils tendent aussi à se retrouver en pénurie d'eau. Faut-il encore engager des investissements conséquents pour maintenir en vie ces espaces « en peau de chagrin » ?

La réflexion à des stratégies dans ce secteur propre doit se faire en urgence en prenant compte des vocations et des potentialités mais aussi des contraintes propres à chacun de ces périmètres sans aucune tergiversation.

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Belhadi, M. (2001) Quelques données sur le secteur de l'eau et sur la nouvelle politique de l'eau en Algérie Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- Côte M. (1996). L'Algérie. Masson / Armand Colin, Paris
- C.N. E. S (2003). L'eau en Algérie : le grand défi de demain, avant projet de rapporthttp://www.cnes.dz
- Hassaïnya, J. (1991). Irrigation et développement agricole l'expérience tunisienne.
 Options méditerranéennes n°3, CIHEAM-INAT
- Kettab, A. Les ressources en eau en Algérie: Stratégies, enjeux et vision. Ecole Nationale Polytechnique (ENP) Alger, Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau (LRS-EAU). D. Alger.
- Lotti et Associati (1992) Expertise des périmètres Habra-Sig.
- Midoun Berrahi, F. (2004). Dysfonctionnement technique et socio-économique d'un périmètre irrigué en Oranie . Bulletin des sciences géographiques, édité et publié par l'institut National de cartographie et de Télédétection n°13
- Plan d'Aménagement des Ressources en Eau, horizon 2020 Région Oranie-Chott-Chergui
- Salem, A. (2001).Les limites technologiques de la mobilisation de l'eau par les barrages algériens : faut-il ne plus les construire. Série Maghtech Edition publisud

CONTRIBUTION DE LA MODELISATION NUMERIQUE DU TRANSPORT SOLIDE SUR LA GESTION DES BARRAGES ET LE DEVELOPPEMENT DURABLE

CONTRIBUTION OF NUMERICAL MODELING IN DAM RESERVOIR

M. Bessenasse¹ - A. Kettab² - A. Paquier³

Enseignant à l'université de Blida – Chercheur au laboratoire LRS- EAU (E.Ñ.Pmbessenasse@yaboo.fr
 Professeur et Directeur du laboratoire LRS- EAU (E.Ñ.P): kettab@yaboo.fr
 Chercheur, Cemagref, Unité de Recherche Hydrologie – Hydraulique, 3 bis quai Chauveau, 69336 Lyon Cedex 09 - France.
 Mèl: paquier@lyon.cemagref.fr

RESUME

L'envasement des barrages en Algérie réduit rapidement et considérablement leur volume utile. En effet, le taux d'envasement moyen annuel est très élevé, il peut atteindre pour certaines retenues des valeurs de l'ordre de 5%. La prédiction de ce phénomène est alors primordiale afin de cerner son intensité, et définir les actions nécessaires à sa minimisation. A cet effet, l'utilisation de modèles mathématiques prédictifs constitue un outil intéressant, en particulier pour le choix de l'implantation des nouveaux projets de construction des retenues.

Sur la base de ces différents modèles existants, dans le contexte Algérien, seules quelques retenues ont et pourront être soumises à des observations suffisantes.

Le modèle hydraulique développé est bidimensionnel horizontal, appliqué sur la retenue de Zardezas de la région de Skikda en Algérie.

Les résultats récoltés de notre simulation nous permettent d'avoir des informations simultanées sur la sédimentation des retenues existantes, en voie de réalisation ou bien encore prévisionnelles. Pour ce dernier cas, il est possible de simuler des situations de sédimentation à différents emplacements de futures retenues, au vue de la meilleure variante, ce qui contribue fortement dans le développement durable sur le plan hydrique, qui représente un paramètre important dans la définition d'une stratégie pour la préservation des ressources en eau.

En définitif, le modèle numérique adopté constitue. En final, ce type de modèles constitue un vecteur très important dans la gestion et la préservation des ressources en eau et représente une base de données importante pour la conception et la réalisation de barrages à l'échelle du Maghreb Arabe.

Mots clés: Modèle – hydrogramme de crue – sédiments – barrage – préservation.

ABSTRACT

The method to build a numerical model intended to predict the formation and the change of sediment deposits upstream from a dam is presented. From information about the inputs of water and sediments coming from the catchment supported by a QdF type hydrological analysis, a horizontal 2-D hydraulic model which couples shallow water equations and one equation for advection and diffusion of sediment concentration is used. Applying this model to Zardezas reservoir in Skikda (Algeria) region shows, on the one hand, the practical difficulties met on such case and, on the other hand, the potentialities of such a method for the management of Algerian reservoirs.

It can be concluded that the proposed method provides useful results although some improvements are requested: sediment exchange relations between the flow and the bottom,

refining the calculation grid and reducing the uncertainty about the inputs which means accurate and regular measurements of both discharges and sediment concentrations. The method should be further validated on other existing reservoirs in same hydroclimatic context.

Keys words: Numerical model, flood hydrograph, sediments, dam, preservation.

1. INTRODUCTION

En Algérie, pour certaines retenues, la sédimentation annuelle peut représenter des valeurs de l'ordre de 5 % du volume total (voir tableau 1). Elle réduit donc rapidement et considérablement leur volume utile.

L'envasement des retenues constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique et le potentiel hydraulique perd annuellement environ 20 à 30 millions de mètres cubes, ce qui est très important. La prédiction de ce phénomène est alors primordiale afin de cerner son intensité et définir les actions nécessaires à sa réduction, en particulier, dans le cadre du choix de l'implantation des nouveaux projets de construction des retenues. A cet effet, l'utilisation de modèles mathématiques simulant les dépôts dans la retenue en fonction du régime hydrologique constitue un outil intéressant, complémentaire de l'analyse globale des apports du bassin versant et qui doit déboucher sur un mode de gestion adapté (POIREL, 2001).

Tableau 1 : Etat d'envasement de quelques barrages Algériens

BARRAGE	WILAYA	Année de mise en eau	Capacité initiale Mm ³	Capacité estimée en 1998 Mm³	Dépôt annuel estimé en 1998 Mm³	Perte de volume utile %	Volume dépôt annuel %
B. Amrane	Boumerdes	1988	16,0	7,1	0,89	56	5,5
Bouhanifia	Mascara	1948	73,0	42,5	0,61	42	0,8
Fergoug	Mascara	1970	18,0	7,0	0,39	61	2,0
F. Gherza	Biskra	1950	47,0	17,2	0,51	63	1,0
F. Gueiss	Khenchela	1939	3,0	1,6	0,03	47	1,0
Zardezas	Skikda	1947	31	17,3	0,27	44	0,8

Source: Agence Nationale des Barrages A.N.B-Alger

La construction d'un modèle numérique destiné à prédire le dépôt de sédiments à l'amont d'un barrage nécessite, d'une part, une analyse critique des données disponibles et de leur fiabilité relativement à la précision des résultats attendus et, d'autre part, le choix d'une méthode de calcul adaptée à la fois aux données, aux processus dominants et aux objectifs de l'étude (BESSENASSE et al. 2003).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation du site

La retenue de ZARDEZAS est située dans la région de Skikda, à l'Est d'Alger, à 40 km de la mer, à une altitude moyenne de 200 m. La superficie du bassin versant amont est de 345 km². Pour une hauteur de précipitation moyenne de 940 mm/an, l'apport moyen annuel est de 45 millions de m³ soit un coefficient d'écoulement de 14% (fig.1). La retenue a pour vocations principales de fournir l'eau potable (21 Mm³/an) et de permettre l'irrigation (4 Mm³/an).

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

2.2. Démarche

Les informations fournies par la station hydrométrique permettent de reconstituer les apports en eau et en sédiments à l'amont de la retenue. Dans la retenue, le transit des sédiments par suspension (le charriage pouvant être négligé) est simulé par un modèle 2D horizontal qui permet de rendre compte de la sédimentation différente sur la largeur d'un même profil en travers (alors que les modèles bidimensionnel vertical et unidimensionnel ne donnent pas d'information sur le transfert latéral sauf cas particulier, (BOUCHARD 2001)), et de préciser les zones d'eaux mortes à l'amont immédiat du barrage.

L'étude peut être décomposée en deux phases :

- une première phase de calage du modèle. La seule période disponible est 1975-1986. En partant de la bathymétrie de 1975, on s'efforce de simuler une situation finale en 1986 aussi proche que possible de la bathymétrie de 1986. L'utilisation d'un modèle 2D horizontal permet d'avoir accès à une bathymétrie détaillée, ce qui autorise une comparaison locale des niveaux c'est-à-dire un examen comparé entre simulation et mesures qui ne se limite pas au seul volume global de dépôts (BESSENASSE et al.2004).

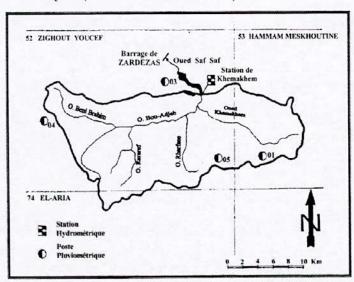


Figure 1: Bassin versant alimentant l'oued Saf – Saf.

- une seconde phase d'exploitation du modèle pour définir une stratégie de gestion permettant de réduire le volume de sédiments déposé dans la retenue. Dans cette phase, il est possible de réutiliser la chronique d'apports 1975-1986 mais il est plus pertinent de simuler d'autres chroniques puisque l'Algérie a été marquée par une succession de décennies aux pluviométries plus ou moins abondantes. Ces chroniques pourront être construites à partir de l'analyse du régime hydrologique.

2.3. Modélisation hydrodynamique

2.3.1. Définition des apports pour la simulation de calage

Pour la simulation de la période 1975-1986, nous avons préféré utiliser des hydrogrammes proches des événements observés. Les hydrogrammes ont été reconstitués à partir des données rassemblées en se basant sur les débits de pointe enregistrés et sur les débits moyens journaliers avec des durées de crue multiples de 24 heures, les mesures en cours de crue

n'ayant pu que rarement être utilisées. Finalement, on aboutit pour la période 1975-1986 aux 11 crues (sélection d'une crue par an en moyenne).

Les sédiments déposés sont relativement grossiers (sables et limons) mais leurs caractéristiques varient fortement sur toute l'étendue de la retenue sans que des tendances générales d'évolution aient pu être dégagées.

2.3.2. Présentation du modèle bidimensionnel

Les équations hydrodynamiques du problème sont les équations de Saint Venant écrites sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{t}} + \frac{\partial (\mathbf{h}\mathbf{u})}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial (\mathbf{h}\mathbf{v})}{\partial \mathbf{y}} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial\left(hu^2 + g\frac{h^2}{2}\right)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh\frac{\partial Z}{\partial x} - g\frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{K_{\cdot}^2 h^{1/3}} + K\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(h\frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right)$$
(2)

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial\left(hv^2 + g\frac{h^2}{2}\right)}{\partial y} = -gh\frac{\partial Z}{\partial y} - g\frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{K_s^2h^{1/3}} + K\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(h\frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right)$$
(3)

Où, h est la hauteur d'eau, Z la cote du fond, u la vitesse selon l'axe Ox, v la vitesse selon Oy, g l'accélération de la pesanteur, K une constante de viscosité (ou diffusion), K_i le coefficient de Strickler.

Une méthode en volumes finis fondée sur un schéma explicite de type Godunov avec deuxième ordre en temps et en espace (méthode de VANLEER (1979)) est utilisée pour résoudre ces équations sur un maillage constitué de quadrilatères et de triangles (PAQUIER, 1998).

L'équation de convection – diffusion de la concentration est écrite :

$$\frac{\partial(\mathrm{Ch})}{\partial t} + \frac{\partial(\mathrm{Chu})}{\partial x} + \frac{\partial(\mathrm{Chv})}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(\mathrm{hD}_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathrm{hD}_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \mathrm{E} + \mathrm{S} \tag{4}$$

où C est la concentration volumétrique de sédiments dans l'eau moyennée sur la verticale (à multiplier par la masse volumique pour obtenir une concentration en kg/m³), h la hauteur d'eau (m), u et v les vitesses suivant Ox et Oy (m/s), D_x , D_y les coefficients de diffusion suivant Ox et Oy (m²/s), E le taux d'érosion, S le taux de sédimentation.

Le terme source peut être défini comme la somme de deux termes, le taux d'érosion E et le taux de dépôt S. Plusieurs relations sont possibles dans le logiciel. L'option utilisée pour la retenue de Zardezas est de choisir un terme unique d'échange avec le fond proportionnel à la vitesse de chute et à l'écart entre concentrations effective et à l'équilibre, relation déjà proposée par (JOBSON et SAYRE, 1970) et (CELIK et RODI, 1988) et écrite de la manière suivante : $E + S = -\alpha w_s (C - C_e)$ (5)

où C_e est la concentration d'équilibre, α est un paramètre de calage adimensionnel, w_s est la vitesse de chute des sédiments (m/s) estimée en fonction du diamètre médian d_{50} par la loi de Stokes.

Une fois la méthode de calcul de la concentration à l'équilibre choisie, on limite le calage du modèle à optimiser la valeur du paramètre α , supposée ne pas varier dans le temps car étant essentiellement liée aux caractéristiques des sédiments. Les tests menés jusqu'ici ont pu

montrer que α agit de deux façons sur la sédimentation. Le terme d'échange E+S lui est directement proportionnel, α a donc une influence sur la quantité de sédiments déposés. Il modifie de plus la répartition du dépôt : ce dépôt étant déplacé vers l'amont de l'écoulement au fur et à mesure que α augmente.

Le code permet de prendre en compte dans la partie hydrodynamique la modification éventuelle du lit au cours du calcul. Cette option est primordiale lorsque le taux d'érosion ou de dépôt est important. Ainsi, on peut, à chaque pas de temps, recalculer la nouvelle cote de chaque nœud suivant le dépôt ou l'érosion subie dans les mailles voisines.

La méthode de calcul (code Rubar 20) a été validée par comparaison avec des mesures de terrain et sur modèle physique et par comparaison avec d'autres codes (PAQUIER et al., 1999).

3. RESULTATS

3.1. Mise en oeuvre du modèle hydrodynamique

Les conditions aux limites sont, à l'amont, l'hydrogramme et les concentrations, à l'aval, une loi de tarage correspondant au fonctionnement du barrage vannes ouvertes soit l'addition d'une loi de vanne pour les 5 vannes et d'une loi de déversoir pour le volet déversant servant d'évacuateur de crue.

Pour la simulation pendant la période 1975-1986, la ligne d'eau initiale correspond au niveau d'eau estimé, d'après les relevés mensuels à l'arrivée de la crue. En cohérence avec l'hypothèse d'une évolution lente hors crue, la concentration initiale est supposée égale à la concentration d'équilibre. Pour des raisons de simplicité de mise en oeuvre, une seule simulation enchaînant les différentes crues est effectuée (BESSENASSE et al.1998). Cela permet d'obtenir un état initial pour chaque crue qui correspond à un faible débit (10 m³/s utilisé) avec des concentrations réalistes. La durée du palier à faible débit peut permettre de faire baisser le plan d'eau à des valeurs proches de celles observées. Pendant ces phases à faible débit, les sorties de sédiments sont quasi-nulles, ce qui correspond à la situation réelle.

Le maillage (figure 2) comprend 1005 mailles. Il s'appuie sur les profils en travers levés et des lignes directrices joignant les points caractéristiques de ces profils en travers. La dimension des mailles varie de 10 à 80 mètres. Un coefficient de Strickler de 40 m $^{1/3}$ /s a été choisi du fait du lissage de la topographie par les dépôts de sédiments et les coefficients de diffusion ont été pris à 0,001 m 2 /s. Le coefficient \square a été pris égal à 0,02.

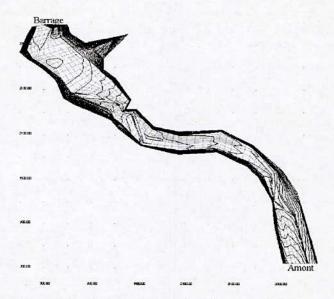


Figure 2 : Maillage de calcul et courbes de niveau de la topographie de 1975.

3. 2. Résultats de la période 1975-1986

Le profil en long du fond (point le plus bas) de la retenue en 1986 a été présenté Sur la figure 3 tel que mesuré et tel que simulé en partant de la situation en 1975. Les résultats montrent que l'épaisseur calculée des dépôts est relativement constante (autour de 4 m) et est, en cela relativement proche des phénomènes constatés. Les dépôts calculés apparaissent trop faibles à l'aval; ceci peut être attribué à une représentation inadéquate des courants à proximité du barrage où les vitesses verticales ne sont plus négligeables mais l'effet des petites crues non modélisées, ou l'influence de la granulométrie étendue peuvent être d'autres causes possibles. La figure 4 donnant la section en travers située au quart amont (PK 1300) de la retenue montrent assez bien que la disposition transversale des dépôts n'est pas non plus exacte; sauf aux extrémités amont et aval de la retenue, le calcul donne un dépôt quasi uniforme transversalement alors que, sauf incision de bras, le dépôt est quasi horizontal.

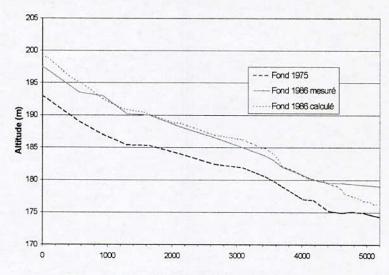


Figure 3 : Profil en long du fond de la retenue

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

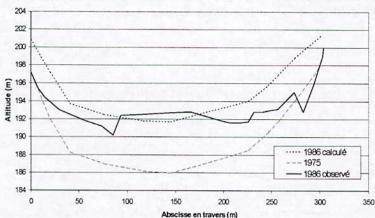


Figure 4: Profil en travers à 1300 m en amont de la retenue

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

La simulation numérique effectuée sur la retenue de Zardezas en Algérie, par l'utilisation d'un modèle hydraulique bidimensionnel horizontal, donne un volume total de sédiments proche du volume réel déposé dans la retenue pendant la période 1975-1986. Grâce au calage d'un paramètre, le dépôt est, en moyenne, positionné convenablement dans la retenue.

La limitation de la durée de la période simulée aux fortes crues ne semblant pas avoir d'influence notable (selon les test préliminaires menés consistant à ajouter des petites crues à l'échantillon sélectionné), il est certain que la part essentielle de l'incertitude sur les résultats résulte de l'incertitude sur les entrées.

L'application de la méthode proposée pour la gestion de retenues existantes ou pour le choix des sites d'implantation de nouvelles retenues est techniquement possible. Elle s'appuierait sur la génération de scénarios constitués d'une succession de crues de périodes de retour données. Les hydrogrammes d'apports correspondants seraient bâtis à partir d'une représentation synthétique de l'hydrologie par les modèles QdF. Ces données seraient complétées par l'hypothèse d'une faible variation de la concentration moyenne de sédiments d'une forte crue à une autre. Ce travail peut constituer un modèle de travail pour les chefs d'exploitation des retenues de barrage, pour définir une stratégie de gestion qui rentre dans le développement durable et la préservation des ressources en eau. Le modèle développé peut être adaptable à toutes les retenues de barrage similaires à la retenue de Zardezas, en l'occurrence celles du Maghreb Arabe par exemple, qui sont confrontées au même problème d'envasement.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bessenasse M., al. 2004. Modélisation bidimensionnelle du dépôt de sédiments dans un barrage en Algérie: La Houille Blanche, N°1/2004, pp 31 – 36.

Bessenasse M., al. 1998. Sediment deposits in a reservoir possible methods of estimation and choise. Séminaire international annuel du groupe Amhy de Friend. Rapport annuel N°6 (1997 – 1998), Istambul, Turkey, octobre 1998, 137 – 144.

Bessenasse M., al. 2003. Simulation numérique de la sédimentation dans les retenues de barrages : cas de la retenue de Zardezas, Algérie. Revue des Sciences de l'Eau, Vol.16, N°1 - pp103 – 122.

Bessenasse M. 2004. Dépôt des sédiments fins à l'amont d'une retenue, thèse de doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, juillet, 218p.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Bouchard J. P., 2001. La gestion des sédiments par chasse (2) : outils d'optimisation et de prévision d'impact: La Houille Blanche, N°6/7, 62-66.

Bravard J. P., PETIT F., 1998. Les cours d'eau : dynamique du système fluvial, Editions Armand Colin, Paris.

Geokart., 1987. Expertise de l'envasement de la retenue du barrage de Zardezas. Agence Nationale des Barrages, Alger.

Kassoul M., Abdelgader., A., Belorgey M., 1997. Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie: Revue des Sciences de l'Eau, 10, 339-358.

Poirel A., 2001. La gestion des sédiments par chasse (1) : retour d'expérience sur quelques aménagements hydrauliques alpins: La Houille Blanche, N°6/7, 55-61.

Ramez P., 1995. Erosion et transport solide en rivière : Tome 1 : Guide pour la compréhension des phénomènes, Cemagref, Antony.

Van Rijn L., 1984. Sediment Transport, Part II, Suspended Load Transport: Journal of Hydraulic Engineering, 110, 1613-1641.

Vanleer B., 1979. Towards the ultimate conservative difference scheme. V. A second-order sequel to Godunov's method: Journal of Computational Physics, 32, 101-136.

SIMULATION NUMERIQUE PAR DISPERSION ET ADVECTION DU TRANSPORT D'UN POLLUANT CHIMIQUEMENT INERTE DANS UN MILIEU POREUX SATURE

NUMERICAL SIMULATION BY DISPERSION AND ADVECTION OF THE TRANSPORT OF A CHEMICALLY INERT POLLUTANT IN A SATURATED POROUS MEDIA

Bouchrih Asma & Zerfa Fatma Zohra

Laboratoire de Recherches des Sciences de l'Eau "LRS-EAU" (E. N. P. d'Alger)

RESUME

La présence de plus en plus fréquente de pollution dans les systèmes hydrogéologiques incite à développer des outils de simulations numérique permettant de déterminer très précisément les champs de concentration en fonction de l'espace et du temps. A cet effet un code de calcul permettant l'étude de transport d'un polluant dans un milieu poreux saturé sera développé. Le transport d'un polluant dépend en premier lieu des caractéristiques de l'écoulement qui le transporte, donc un modèle d'écoulement sera construit. Le potentiel hydraulique est considéré comme une inconnue du modèle. La progression de la pollution dans l'environnement défini précédemment se modélise par l'intermédiaire d'un modèle advection- dispersion. La méthode des éléments finis sera utilisée pour la discrétisation dans l'espace des équations décrivant le phénomène découplé de la migration du polluant et d'écoulement dans l'aquifère. La méthode d'Euler implicite permet la discrétisation des équations du transport et d'écoulement dans le temps. Une simulation d'une décontamination sera étudiée pour protéger le milieu souterrain.

Mots clés:

Méthode des éléments finis, milieux poreux saturés, Méthode d'Euler implicite, transport des polluants, dispersion, advection.

ABSTRACT

The increasingly frequent presence of pollution in the systems hydrogeologic encourages developing tools for digital simulations making it possible to determine the fields of concentration according to space and time. To this end a computer code allowing the study of transport of a pollutant in saturated porous media will be developed. The transport of a pollutant depends initially on the characteristics of the flow which transports it, therefore a model of flow will be built. The hydraulic potential is regarded as an unknown factor of the model. The progression of pollution in the environment defined previously is modelled by the intermediary of model advection dispersion. The finite element method will be used for the discretization in the space of the equations describing the phenomenon uncoupled from the migration of the pollutant and flow in the aquifer. The method of Euler implicit allows the discretization of the equations of transport and flow in time. A simulation of a decontamination will be studied to protect the ground water.

Keys words: Finite element method, saturated porous media, Method of Euler implicit, transport of the pollutants, advection, dispersion, decontamination.

I. INTRODUCTION

Les eaux souterraines longtemps considérées comme pures et protégées par le sol contre les diverses activités humaines, sont en réalité souvent touchées par l'infiltration de multiples polluants à haut risque.

L'origine de cette pollution est due entre autre au déversement de polluants organiques et de sels de métaux lourds par les unités industrielles. L'enrichissement des sols pour intensifier l'agriculture par les engrais et pesticides peut également être à l'origine de la pollution des eaux souterraines.

Avec la demande accrue de l'eau et l'intensification de son utilisation, le problème de la qualité de l'eau devient un facteur essentiel dans le développement des ressources d'eau dans beaucoup de régions dans le monde en général et spécialement en Algérie.

L'objectif de cette étude étant le développement d'un code de calcul permettant l'étude de la migration bidimensionnelle par dispersion d'un polluant dans un milieu poreux saturé. La méthode des éléments finis a été la base de la discrétisation spatiale des équations décrivant les phénomènes découplés de la migration du polluant et d'écoulement dans l'aquifère.

La méthode d'Euler implicite est efficace pour la discrétisation des équations mathématiques de l'écoulement et du transport dans le temps. Elle est inconditionnellement stable dans le temps.

II. MODÉLISATION MATHÉMATIQUE

II.1. Modèle mathématique de l'écoulement souterrain

Dans le but de présenter un modèle mathématique simulant le phénomène d'écoulement en régime permanent ou transitoire. Des principes physiques et des relations exprimant les paramètres du sol ont été utilisés. Le modèle mathématique de l'écoulement bidimensionnel, avec un apport extérieur Q, s'écrit dans un milieu homogène anisotrope :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + Q = S_s \frac{\partial \phi}{\partial t}$$
 (1)

où, k_{xx}, k_{yy} : Perméabilités dans les deux directions x et y en (m/s), Q: Débit volumétrique (source/puits) en m³/s, ϕ : Potentiel hydraulique en (m), S_s : Coefficient d'emmagasinement spécifique, x, y: Coordonnées cartésiennes, t: Temps en (s).

II.2. Modèle mathématique du transport

La modélisation de la migration des espèces polluantes dans les milieux poreux saturés permet de simuler qualitativement et quantitativement la pollution en calculant la concentration en chaque point du domaine à simuler. L'équation d'équilibre du transport des polluants dans le cas bidimensionnel, pour un milieu chimiquement inerte, et avec une source de pollution s'écrit sous forme explicite comme suit :(Bear, 1972,1979; Pinder, 1970, 1977; Chen, 1992; Schäfer, 1995; Ghulam, 1997)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\underbrace{V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y}}_{\text{Terme advectif}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right)}_{\text{Terme dispersif}} + \underbrace{Q_P}_{\text{Terme (source/puits)}}$$
(2)

où, D_{xx} , D_{yy} : Dispersions hydrodynamiques dans les deux directions x et y en (m^2/s) , Q_p : débit volumétrique (source/puits) en m^3/s , C: Concentration en $(mole/m^3)$, V_x , V_y : Vitesse dans les deux directions x et y en (m/s), x, y: Coordonnées cartésiennes t: Temps en (s).

III. MODÉLISATION NUMÉRIQUE

Le passage du modèle mathématique à une formulation numérique qui peut être traitée par des moyens informatiques consiste en des méthodes de discrétisation spatiale et temporelle.

III.1. Discrétisation de l'équation de l'écoulement

III.1.1. Discrétisation spatiale

La discrétisation spatiale de l'équation (1) est faite par la méthode des résidus pondérés (Gallagher, 1976 ; Zienkiewicz, 1979 ; Humbert, 1984 ; Dhatt, 1984 ; Frind, 1986, Huyakorn, 1986).

L'élément pour lequel se fait l'intégrale est l'élément quadrilatéral à quatre nœuds. Il possède quatre degrés de liberté.

L'intégrale du résidu pondéré par la méthode de Galerkine et l'application du théorème du Green (Zienkiewic, 1979) donne un système différentiel du premier ordre :

$$[K]^{e}\{\phi\}^{e}+[M]\{\phi\}^{e}=\{f\}^{e}$$

$$(3)$$

III.1.2. Discrétisation temporelle

La discrétisation de l'équation (3) dans le temps se fera par la méthode d'Euler implicite. Son principe consiste à chercher la solution à l'instant $t+\Delta t$, en se donnant une solution initiale à l'instant t.

III.2. Discrétisation de l'équation du transport

III.2.1. Discrétisation spatiale

La discrétisation spatiale de l'équation (2) est faite par la méthode des résidus pondérés (Gallagher, 1976 ; Zienkiewicz, 1979 ; Dhatt, 1984 ; Frind, 1986, Istok, 1989).

L'intégrale du résidu pondéré par la méthode de Galerkine et l'application du théorème du Green (Zienkiewic, 1979) nous donnera un système différentiel du premier ordre comme suit : $[D]^{c}\{C\}^{c}+[M]^{c}\{C\}^{c}=\{f\}^{c}_{c}$ (4)

III.2.2. Discrétisation temporelle

La discrétisation de l'équation (4) dans le temps se fera par la méthode d'Euler implicite. Son principe consiste à chercher la solution à l'instant $t+\Delta t$, en se donnant une solution initiale à l'instant t.

III.3. Résolution numérique

Finalement nous obtenons le système algébrique pour l'écoulement et pour le transport, où les matrices et les vecteurs dépendent du temps.

En introduisant les différentes conditions aux limites et initiales, ces deux systèmes seront résolus par la méthode de Cholesky.

IV. APPLICATIONS

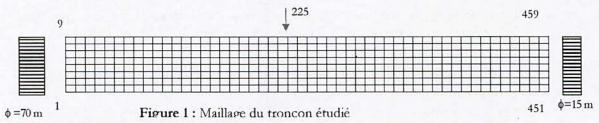
Cette partie est consacrée à l'application du code de calcul élaboré, où nous étudions le phénomène de transport par dispersion.

IV.1. Etude du phénomène de transport par dispersion dans le cas d'une pollution ponctuelle

Afin de tester notre code de calcul et afin de vérifier son efficacité vis à vis d'autres modèles numériques existants, nous allons effectuer quelques applications pour illustrer le phénomène du transport par dispersion, et ce en considérant l'écoulement à l'état permanent.

IV.1.1. Maillage du milieu

La figure (1) représente le milieu à simuler, on a considéré un tronçon d'un milieu poreux saturé de 150m de longueur et de 8m de profondeur.



IV.1.2. Conditions aux limites et initiales

Un potentiel hydraulique de 70 m a été imposé du nœud 1 jusqu'au nœud 9, et un potentiel hydraulique de 15 m a été imposé du nœud 451 jusqu'au nœud 459. Un débit d'écoulement de 0.1 m³/ jours a été infiltré au niveau du nœud 225. Un débit de pollution ponctuelle a été injecté au niveau du nœud 225.

IV.1.3. Etude de l'écoulement

Le phénomène de transport des polluants dans les milieux poreux dépend du sens et de la vitesse de l'écoulement, les lignes équipotentielles et le champ de vitesse sont représentés sur les figures (2) et (3).

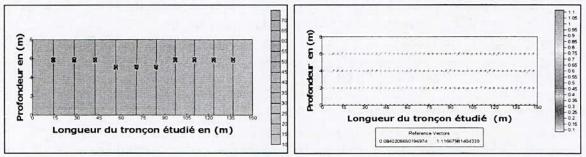


Figure 2 : Représentation des lignes équipotentielles

Figure 3: Représentation du champ de vitesse

Puisque le débit qui amène l'écoulement est faible, et l'écoulement se fait du plus grand potentiel 70m au plus petit 15 m, les vitesses sont horizontales et les lignes équipotentielles sont verticales, ce qui confirme l'orthogonalité entre les lignes équipotentielles et les lignes de courant.

IV.1.4. Etude du transport

Afin d'étudier l'évolution d'une pollution ponctuelle dans la nappe, les isoconcentrations de 20 et 40 jours ont été tracées sur la figure (4)

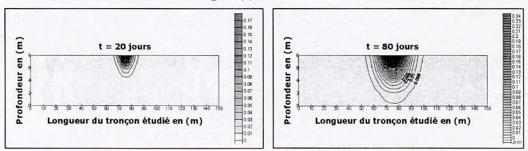


Figure 4 : Représentation des isoconcentrations de 20 et 80 jours pour une pollution

IV.1.5. Interprétations

Au voisinage du rejet du polluant, la concentration est élevée, et par ailleurs la substance polluante s'est étalée dans les deux directions verticale et horizontale et ce par effet de la dispersion longitudinale et transversale.

Ces images montrent une symétrie du nuage de pollution par rapport à la verticale.

IV.2. Etude du transport par advection dans le cas d'une pollution ponctuelle

IV.2.1. Maillage de la nappe

La figure (5) représente le maillage du domaine.

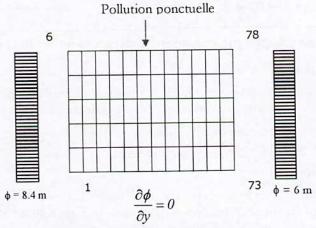


Figure.5: Maillage du tronçon étudié

IV.2.2. Conditions aux limites et initiales

Un potentiel hydraulique de 8.4 m a été imposé du nœud 1 jusqu'au nœud 6, et un potentiel hydraulique de 6 m a été imposé du nœud 73 jusqu'au nœud 78. Un débit d'écoulement de 0.1 m³/jours est infiltré au niveau du nœud 42. Un débit de pollution ponctuelle 1 m³/jours de est injecté au niveau du nœud 42.

IV.2.3. Etude de l'écoulement

Nous représentons sur les figures (6) et (7) les lignes équipotentielles et le champ de vitesse.

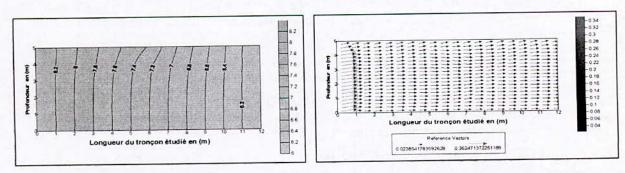


Figure.6: Représentation des lignes équipotentielles Figure.7: Représentation du champ de vitesse

Au niveau du nœud où nous avons un débit infiltré, la ligne équipotentielle est incliné, ce qui est expliqué par le fait que le tronçon est petit et le potentiel hydraulique influence

l'écoulement. Les vitesses sont horizontales et elles sont dirigées vers la droite ce qui explique le sens de l'écoulement dans le tronçon étudié.

IV.2.4. Etude du transport

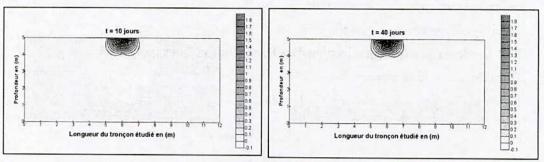


Figure.8: Représentation des isoconcentrations de 10 et 40 jours

IV.2.5. Interprétations

Le flux advectif petit est du aux vitesses d'écoulement qui sont petites dans le milieu souterrain. Alors la substance polluante ne se propage pas dans tout le milieu lors du transport par advection.

Ces figures montrent une symétrie du nuage de pollution par rapport à la verticale, et les isoconcentrations restent constantes dans le temps.

V. CONCLUSION

L'objectif de ce travail étant le développement d'un outil de simulation numérique ayant pour but de décrire le phénomène de transport d'un polluant chimiquement inerte dans les milieux poreux saturés. Si nous référons au travail effectué, nous pouvons affirmer que nous avons atteint cet objectif.

Le transport d'un polluant dans les milieux poreux saturés dépend du sens et de la vitesse d'écoulement. Une modélisation de l'écoulement a été faite, où l'inconnu du problème était le potentiel hydraulique. Les vitesses ont été calculées par le fait qu'elles dérivent d'un potentiel. Le champ de vitesses et les lignes équipotentielles ont été représentés pour expliquer le phénomène d'écoulement dans le milieu souterrain.

Le transport a été décrit par le tracé des isoconcentrations dans l'espace et dans le temps.

Nous avons discrétisés nos équations dans l'espace par la méthode des éléments finis et dans le temps par la méthode d'Euler implicite qui est une méthode inconditionnellement stable dans le temps.

Les résultats obtenus pour l'écoulement prouvent que les conditions aux limites ont été correctement choisies, le modèle réagit d'une manière satisfaisante.

Les résultats concernant les concentrations apparaissent également satisfaisantes, notre modèle décrit très correctement les phénomènes intervenant dans le transport d'une pollution dans les milieux poreux saturés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bear, J., Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier Publishing G.O, New york, 1972.

Bear, J., Hydraulics of groundwater. Mc Graw-Hill, New york, 1979.

Bear, J., and A. Verruijt, 1987. Mathematical and Numerical Modelling of Groundwater Flow and Pollution. Book published by Reidel Book Co., Netherlands, 414 pp,

Bouchrih, A., 2005. Simulation numérique du transport d'un polluant chimiquement inerte dans un milieu poreux saturé. Thèse de magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie.

Bouchrih, A., et Zerfa, F.Z., 2004. Simulation du transport d'un polluant dans un milieu poreux saturé par dispersion. Work shop sur la modélisation numérique, 4-6 Décembre, Ecole Nationale polytechnique d'Alger, Algérie.

Chen . y M, Abrida, L.M., Alvarez, P.J.J., Amid, P.J., Vogel, T.M., Modeling transport and biodegradation of benzene and toluene in sandy aquifer material. Water ressources. Res. 28,1833-1847, 1992.

Dhatt (G), Touzout(G) une présentation de la méthode des éléments finis. Maloine. S.A. Edition 1984.

Gallagher R.H., Introduction aux éléments finis, Edition Pluralis, France 1976.

Ghulam. rabbani.M, James a finite element linked model for analysis of solute transport in multilayer subsurface systems journal of hydrology. 163-182, 1997.

Humbert P.(1984), Application de la méthode de éléments finis aux écoulements en milieux poreux, Bulletin de liaison labo. Ponts et chaussées, N°132, pp21-37.

Huyakorn, P.S., Jones, B.G. a,d Anderson, P.F., Finite element algorithms for simulating groundwater flow and solute transport in multilayer systems, Water ressources. Res., 22(3):301-376, 1986.

Istok, J., Groundwater Modeling by the Finite Element Method: American Geophysical Union, Water Resources Monograph 13, 495 p, 1989.

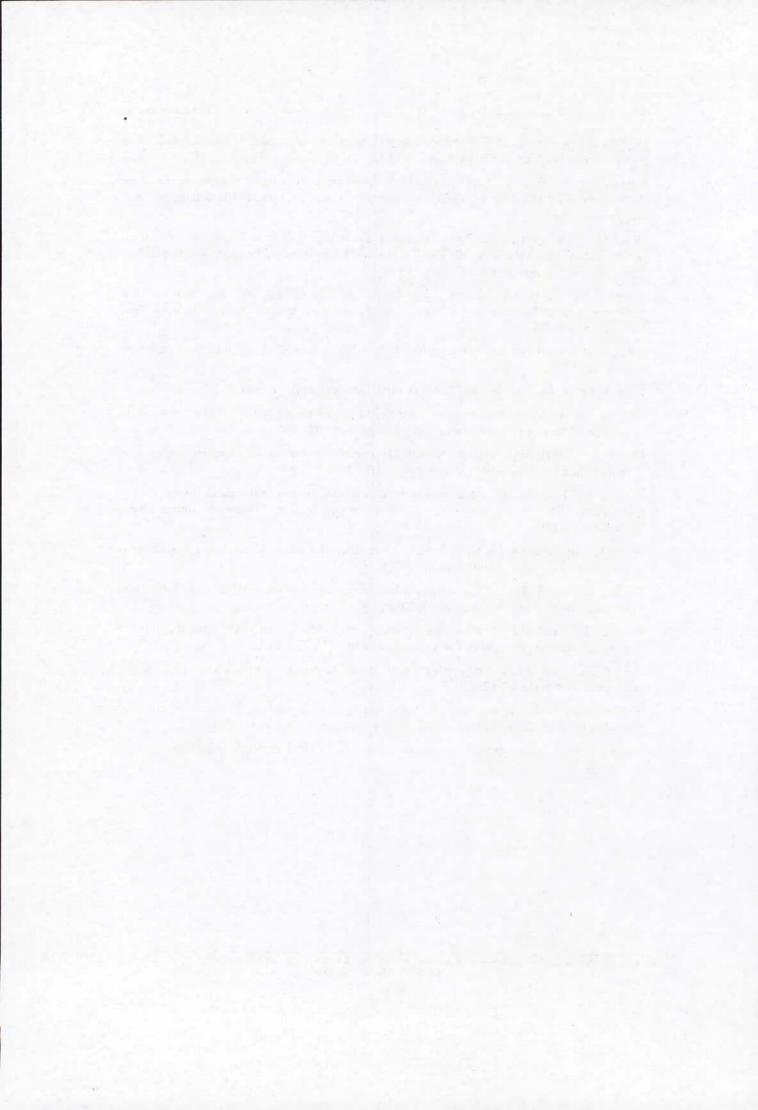
Pinder, G.F. and W.G. Gray, Finite Element Simulation in Surface and Subsurface Hydrology: Academic Press, New York, 295 p, 1977.

Pinder, G.F., and H.H. Cooper, Jr., A numerical technique for calculating the transiet position of saltwater transport, Water resources. Res., 6(3), 75-882, 1970

Pinder, G.F., AND O.E. Frind application of Galerkin's procedure to aquifer analysis, Water ressources. Res.,8(1), 108-120, 1977.

Shafer. Dirk, Wolfgang shafer, Wolfgang kinzelbach. Simulation of reactive processes related to biodegradation and reaction transport model, water research, 1995.

Zienkiewicz, O.C., La méthode des éléments finis, Mc Graw-Hill, New york, 1979.



ESSAIS D'ELIMINATION DU LINDANE PRESENT DANS L'EAU PAR ADSOPRTION SUR DES CHARBONS ACTIFS EN POUDRE

R. Boussahel^{(1) (2)}, D. Harik⁽²⁾, A. Dilmi⁽²⁾, S. Ould Ramoul⁽³⁾

(1) Hôpital Central de l'Armée. Service de Toxicologie, BP 244 Kouba 16050, Fax 021 54 52 38 E.mail : r. boussabel@yaboo.fr

(2) Ecole Nationale Polytechnique, BP 182 El Harrach 16200
(3) Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, BP 19 Dely Ibrahim 16320

RESUME

La contamination des ressources hydriques par les pesticides présente un danger potentiel pour la santé de la population car certains d'entre eux sont suspectés d'être cancérigènes et / ou mutagènes. Leur élimination est une préoccupation majeure des producteurs d'eau potable.

Nous présentons dans cette communication les résultats obtenus lors de essais effectué en laboratoires pour l'élimination du lindane, un pesticide organochloré largement utilisé en Algérie et qui a été déjà détecté dans certaines eaux, par adsorption sur deux charbons actifs en poudre (le Picazine et le Chemiviron F400). L'étude a été faite sur des eaux synthétiques contaminées par des quantités connues de ce pesticide.

Les équilibres isothermes obtenus montrent que l'adsorption est une fonction du type de charbon utilisé et qu'elle est plus influencée par la présence de la matière organique (acides humiques) que par la matière minérale (CaCl₂).

Mots clefs

Adsorption - lindane - charbon actif - isothermes - pesticides

1. INTRODUCTION

Les pesticides sont des substances couramment utilisées en agriculture pour la protection végétale, pour avoir de meilleurs rendements ou encore à la conservation des récoltes. Malheureusement, ils peuvent être toxiques pour les animaux et pour l'homme. Retrouvés dans quasiment tous les écosystèmes de notre planète, ils affectent aussi bien la faune que la flore. Ils peuvent être cancérigènes et /ou mutagènes. Leur présence dans les eaux potables est sévèrement limitée par les instances sanitaires internationales. Pour se conformer à ces normes, les producteurs d'eau ont été obligés d'inclure dans leur filière de traitement des procédés d'élimination de ces micropolluants organiques.

Les méthodes d'élimination des pesticides utilisés sur le plan international sont basées sur deux principes: la transformation et la rétention. Les premières citées (oxydation à l'ozone ou à l'ozone couplé au peroxyde d'hydrogène) sont de plus en plus délaissées à cause de leurs inconvénients (difficultés de mise en œuvre, production de métabolites de pesticides...). L'adsorption sur charbon actif en poudre ou en grains reste une méthode de choix pour son efficacité et sa simplicité.

Des analyses effectuées dans le centre d'Alger, plus précisément dans la région de Staouéli ont montré la présence de plusieurs pesticides organophosphorés et organochlorés dépassant les valeurs guides préconisées par l'OMS. Le lindane, pesticide objet de cette étude, en fait partie (Boussahel et al., 2003).

Pour son efficacité et les facilités de mise en œuvre qu'elle offre, l'adsorption sur le charbon actif (en poudre ou en grains) reste la méthode de choix parmi toutes les méthodes utilisées actuellement. L'objectif de ce travail est d'étudier l'adsorption de cet insecticide organochloré sur deux types de charbons actifs en poudre (le F400 et le Picazine) et de voir l'influence de

la présence de la matière organique (acides humiques) et de la matière minérale (ion calcium) sur leurs capacités d'adsorption.

2. MATERIEL ET METHODES

Les charbons actifs utilisés dans cette étude se présentent sous forme d'une poudre d'une granulométrie inférieure ou égale à 50 µm. Ils ont été utilisés après un passage de 12 heures dans une étuve à 105°C pour éliminer toute l'humidité de l'air adsorbée.

Tout les produits chimiques utilisés (Hexane pour analyse, sulfate de sodium anhydre, chlorure de calcium CaCl₂) ont été acquis chez Merck. Le standard pur de lindane (98,5%) et les acides humiques ont été achetés chez Aldrich.

Les équilibres d'adsorption sont effectués dans des erlenmeyers contenant 250 ml de solution de concentration initiale de 4 mg.L⁻¹ (C_0) du pesticide à étudier dans l'eau distillée et la dose de charbon est variable (de 50 à 150 mg). Ces solutions sont maintenues sous agitation magnétique continue à 50 tr/min, à une température ambiante de $20 \pm 2^{\circ}$ C.

Ceci nous a permis d'effectuer des isothermes d'adsorption pour lesquelles la durée d'agitation et la concentration en pesticide sont constantes mais où les masses de charbon varient.

Après 3 heures d'agitation, les suspensions sont filtrées sur du papier filtre qualitatif grade 285 (Sartoruis) et les solutions sont analysées afin de déterminer la concentration résiduelle des pesticides C_r ; la concentration adsorbée est :

$$C_{ad} = C_0 - C_r \tag{1}$$

Afin de s'affranchir de toute erreur expérimentale, un flacon témoin sans CAP est traité dans les mêmes conditions.

Pour l'étude de l'influence de la matière minérale sur l'adsorption, une eau synthétique de concentration en Ca²⁺ de 4 mg.L⁻¹ a été utilisée. Quant à celle de la matière organique naturelle, une solution synthétique préparée à partir d'acides humiques commerciaux à une concentration de 4 mg.L⁻¹ a été utilisée. Toutes les expériences ont été reproduites 3 fois.

Pour doser les quantités de pesticide qui n'ont pas été adsorbées le protocole expérimental utilisé est le suivant : Un volume de 250 ml de la solution aqueuse obtenue après filtration est extrait successivement par trois volumes d'hexane (25, 15 et 10 ml) dans une ampoule à décanter. A chaque fois une agitation modérée de 10 minutes est appliquée. Après un dégazage, les phases organiques sont récupérées dans des erlenmeyers, séchées à l'aide de sulfate de sodium anhydre et dosées par spectrophotométrie UV à 203,5 nm qui est la longueur d'onde d'adsorption maximale du lindane. L'étalonnage a été réalisé avec une série de solutions étalons préparées à partir d'une solution mère de lindane à 1 g.L¹ dans l'hexane de manière que l'éventail de concentrations soit plus large que celui de la solution inconnue à analyser.

D'autre part, une série de 10 extractions de solution d'eau distillée dopées à 4 mg.L¹ du lindane dans l'eau distillée a été réalisée dans le but d'évaluer les capacités de la méthode d'extraction utilisée. Le rendement moyen d'extraction a été estimé à 91,32 % avec un coefficient de variation de 16,57 % et un écart type de 0,605.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Le résultats obtenus ont été linéarisés suivant les deux modèles les plus utilisés dans la littérature à savoir ceux de Langmuir et Freundlich et dont les équations correspondantes sont respectivement les suivantes :

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

$$Q_e = \frac{q_m.b.C_e}{1 + b.C_e} \tag{2}$$

$$\log Q_e = \log K_f + (1/n) \log C_e \tag{3}$$

Le tracé des graphiques à partir des couples (Log Qe, Log Ce) et (1/Qe et 1/Ce) respectivement a permis de tirer les paramètres consignés dans le tableau 1 à savoir q_m et K_f correspondant aux capacités maximales d'adsorption de l'adsorbant en en $mg.g^{-1}$

Pour le cas d'eau distillée seule les résultats obtenus montrent les écarts d'adsorption entre les deux CAP. Le F400 présente une meilleure adsorption pour le lindane. L'adsorption d'un soluté sur CAP est fonction de la surface spécifique de ce dernier, de la distribution de sa porosité, de la nature et de la proportion des groupements de surface. Il faut ajouter la nature et la quantité en ions de surface en ce qui concerne les charbons bruts comme dans notre cas (Ayele et al., 1998). Le CAP F400 possède une surface spécifique supérieure à celle du Picazine, ce qui peut expliquer la meilleure adsorption du lindane.

A la valeur du pH à laquelle nous avons travaillé (autour de 5,5), le lindane est sous la forme moléculaire et ne présente pas de charge électrique. Par conséquent, il n'y a pas de mécanisme de type ionique au cours de son adsorption. Il faudrait plutôt parler d'interaction de type physique mettant en jeu les forces de London-Van Der Waals dont il résulte une interaction de faible intensité appelée physisorption (Leclerc, 1995). Par conséquent, l'adsorption de ce pesticide est de type hydrophobe directement liée à la surface spécifique des particules du charbon.

Dans le cas où la matière organique naturelle (MON) était présente, les résultats obtenus montrent que la capacité d'adsorption des deux CAP a diminué pour ce pesticide en présence des acides humiques par rapport à l'eau distillée. Ils montrent aussi que le F400, grâce à sa surface spécifique plus grande, présente toujours de meilleures capacités d'adsorption que le Picazine.

Les valeurs des pourcentages de réduction des capacités d'adsorption des deux CAP en présence de la MON par rapport à l'eau distillée sont les suivantes :

- Pour le Picazine : 69,17 % (selon le modèle de Freundlich) et 63,42 % (selon le modèle de Langmuir);
- Pour le F400: 49,28 % (selon le modèle de Freundlich) et 18,18 % (selon le modèle de Langmuir).

La réduction des capacités d'adsorption est due en partie aux interactions pesticide -acides humiques. Leur association donne formation à des complexes et par conséquent modifie les caractéristiques de l'adsorption. Ce phénomène a déjà été signalé dans la littérature (Ayele et al., 1993).

Les acides humiques sont par définitions des produits apolaires, très hydrophobes et de grande taille. Leur adsorbabilité a déjà été mise en évidence (De Laat, 1988). Elle dépend de leur nature, de leur origine et du type de charbon. Leur adsorption diminue le nombre de sites disponibles pour les micropolluants et pourrait même bloquer l'accès aux pores, diminuant aussi la capacité d'adsorption du CAP.

Les ions calcium ont eu peu d'influence sur l'adsorption du lindane puisqu'ils ne modifient pas les capacités d'adsorption des deux CAP aux erreurs expérimentales près (évaluées à 16,75 %).

Les valeurs des pourcentages de réduction des capacités d'adsorption des deux CAP en présence des ions calcium sont les suivantes :

- Pour la Picazine : 19,09 % selon le modèle de Freundlich et 11,77 % selon le modèle de Langmuir;
- Pour le F400 : 5,3 % selon le modèle de Freundlich et 12,5 % selon le modèle de Langmuir.

Les ions calcium sont en effet déterminants du potentiel zêta des particules du CAP qu'ils peuvent neutraliser en favorisant ainsi l'adsorption des composés chargés négativement. Mais dans le cas des molécules non chargées (comme c'est le cas du lindane, au pH de travail), le potentiel négatif du CAP n'a pas d'influence déterminante sur leur fixation (Yaacoubi et Ayele, 1999). Par conséquent, les ions calcium n'ont eu que peu d'influence sur l'adsorption du lindane.

Tableau 1: Description des isothermes du lindane étudiées dans de l'eau distillée en présence des ions calcium et d'acides humiques avec les CAP F400 et Picazine par le modèles de Freundlich et Langmuir (K_f en $mg.g^{-1}$ et Q_m en $mg.g^{-1}$).

	Eau distillée		Eau distillée + matière organique		Eau distillée + matière minérale	
	Kr	Qm	Kf	Qm	Kr	Qm
Picazine	471,5	666,7	128,7	243,9	381,5	588,2
F400	903,0	1111,0	458,0	909,0	950,9	1250,0

4. CONCLUSION

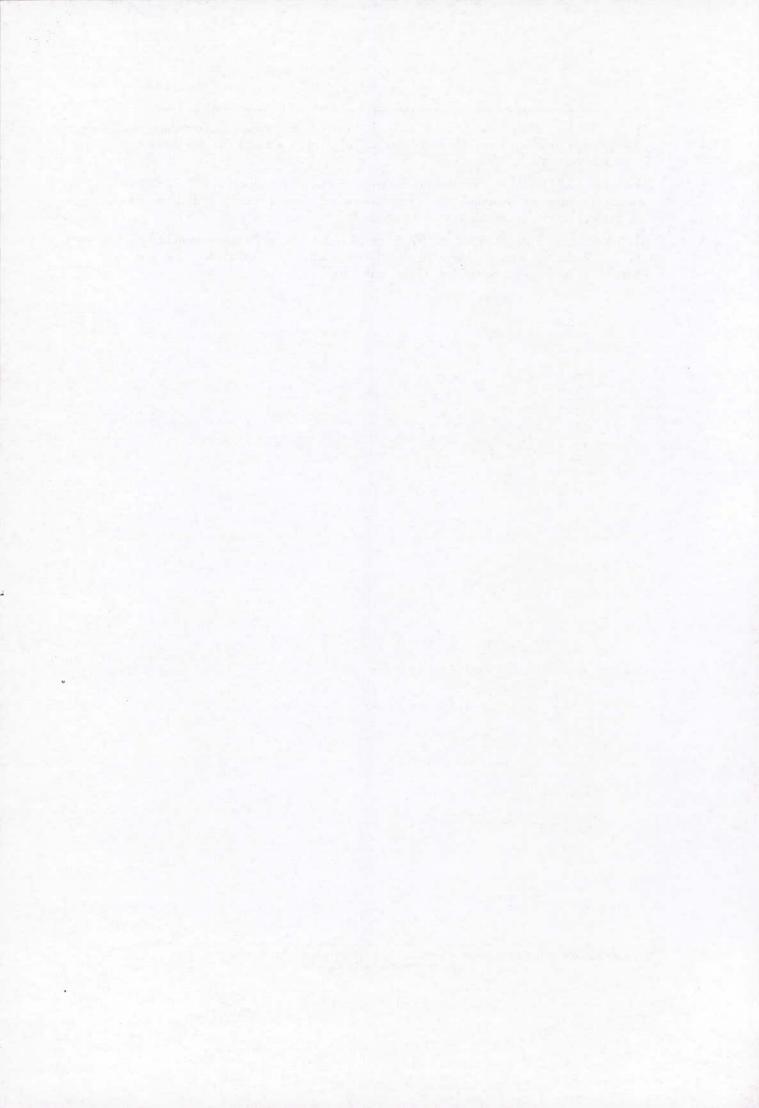
Les résultats obtenus dans cette étude montrent l'importance du choix du matériau adsorbant à utiliser et son influence sur les quantités du pesticide adsorbées. L'influence négative de la présence des acides humiques sur les capacités d'adsorption des deux CAP étudiés a été aussi mise en évidence. Au contraire, les ions calcium n'ont pas eu d'influence sensible sur le phénomène d'adsorption. Cependant, l'influence des acides humiques a été plus importante avec le CAP Picazine qu'avec le F400. Au vu des résultats obtenus, nous pouvons dire que le F400 présente de meilleures capacités d'adsorption pour le lindane.

L'étude doit être poursuivie pour voir l'influence de la coadsorption d'autres pesticides car malheureusement il est rare dans la nature d'avoir affaire à une pollution avec un seul pesticide.

5. REFERENCES

- [1] : BOUSSAHEL R., HARRIK D.& MOUSSAOUI K.M., (2003), Essais d'élimination des pesticides présents dans certaines eaux algériennes , 2èmes Journée Scientifiques de l'ANDRS. Oran Algérie
- [2]: AYELE J., LECLERC V. & COUILLAULT P., (1998). Efficiency of three powdred activated carbons for the adsorption of atrazine and diuron- use of some models. *J. WATER SRT-Aqua*, Vol. 47, N° 1, 41-45.
- [3]: LECLERC V. (1995), Etude de la coadsorption de molécules organiques et de cations minéraux sur charbons actifs, *Thèse de Doctorat*, Université de Limoges, N° d'ordre 28 1995.

- [4] : AYELE J., FABRE B. & MAZET M. (1993), Influence de l'origine et de la nature des substances humiques sur l'adsorption de l'atrazine sur charbon actif en poudre, Revue des Sciences de l'Eau, 6 (4), 381 394.
- [5]: DE LAAT J. (1988), Contribution à l'étude de mode d'élimination de molécules organiques modèles sur charbon actif en grains : interactions entre le processus d'adsorption et de biodégradation, *Thèse de Doctorat*, Université de Poitiers.
- [6]: YAACOUBI A. & AYELE J. (1999), Sorption de l'atrazine et du diuron sur charbon actif en poudre en présence de tensioactifs, ions calcium et bichromate : Essai de modélisation, Revue des Sciences de l'Ean, 12 (2), 389 406



EROSION QUANTIFIEE A PARTIR DES MICROBASSINS ET STATIONS HYDROMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DE OUED MINA (ALGERIE)

Chenaoui Bakhta* et Touaibia Benina**

Maître assistant à l'université Hassiba benbouali. CHLEF

"Maitre de conférences E.N.S.H. BLIDA

RESUME

Les retenues sont un élément essentiel de la gestion de la ressource eau en milieu semi aride. Leur protection contre le comblement par des sédiments par suite de l'érosion en amont des bassins versants est indispensable pour assurer la rentabilité de ces investissements.

La violence de l'érosion hydrique sur le bassin versant de l'Oued mina s'explique surtout par la présence de terrains marneux, de fortes intensités de pluies, des ruissellements concentrées sur les fortes pentes et une végétation presque inexistante.

L'étude proprement dite du phénomène aux différentes stations hydrométriques constitue l'objet de notre étude et porte sur l'évaluation du transport solide en suspension à partir des relations débits liquides-débits solides durant la période 73/74-94/95.

En utilisant la méthode de régression dans cette évaluation, le modèle régressif puissance a été retenu, tout en permettant de faire l'homogénéisation, la quantification et par suite le calcul de l'érosion spécifique par deux méthodes à savoir l'utilisation des débits moyens journaliers et les débits instantanés.

ABSTRACT

The reservoirs are an essentiel element of the management of water resource in a semi-aride environment. Their protection against height by sediments, following erosion in basins upstream is necessary for the profit of these investissements.

The violence of the water erosion on the oued mina catchment is especially due to land clay which is sensible, astrong rainfall intensity, some condensed runoff on the high slope and a poor rate vegetation interception.

The real study of the phenomenon at the different stations is our objective and concerns the evaluation of suspended sediment transport from the relation ships between the rate of the flow water 73/74-94/95. Using the regression method, the model power was accepted. While allowing to do the quantification and the computation of the specific erosion.

1. INTRODUCTION

L'érosion, ce phénomène très complexe et faisant intervenir plusieurs paramètres a pris beaucoup d'ampleur en Algérie et menace tous les jours, les terres agricoles, les infrastructures hydrauliques, par l'arrachage, l'affouillement, le transport et le dépôt des sédiments créant des exhaussements des lits d'oueds, des sapements de berges, des inondations et envasement de barrages qu'il est parfois quasi-impossible de remédier.

L'envasement des retenues de barrage constitue sans doute la conséquence la plus grave de ce phénomène dans nos régions où l'eau, de part son insuffisance et sa mauvaise répartition constitue un facteur limitant de développement économique

Avec une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2000T/km² et 4000T/km², l'Algérie se classe parmi les pays les plus érodibles du monde(Demmak, 1982).

L'objectif de ce travail est de quantifier l'érosion à partir de la stations hydrométrique située dans le bassin versant de Oued Mina en utilisant les débits moyens journaliers tirés des

annuaires et de comparer cette quantification avec celle trouvés en utilisant les débits correspondants aux hauteurs instantanées, de montrer l'erreur relative qui peut exister en utilisant les données instantanées ou les données moyennes.

Cette quantification permet de faire une estimation globale de l'érosion et par conséquent préserver le barrage de Sidi M'hamed Benaouda contre un envasement précoce. Ce barrage satisfait aujourd'hui une grande partie des besoins en eau d'irrigation pour la plaine de l'oued Mina.

2. ETUDE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED MINA

2.1. Présentation

Comme le montre la figure, le bassin versant de l'oued Mina chevauche sur quatre wilayates:

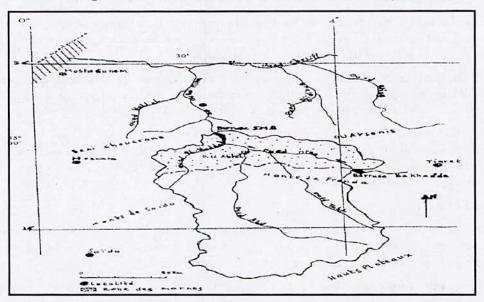


Figure 1 : Plan de situation du bassin versant de Oued Mina

- · au Nord, Relizane;
- · à l'Est, Mascara;
- · à l'Ouest, Tiaret;
- au Sud, Saida.

Il s'étend au droit du barrage de Sidi M'hamed Benaouda sur une surface 4900km², et se situe entre 0°20' et 1°20° de longitude Est et entre 34°40'et 35°40' de latitude Nord. Il se trouve à 300kms à l'Ouest d'Alger, sur le glacis septentrional du massif montagneux du chott dans le Nord Algérien.

Il y a cinq sous bassins de taille variable, drainés par les Oueds Medroussa, Taht, Haddad, Abd, et l'Oued Mina lui-même ; leur taille va de 470 Km² pour l'Oued Haddad à la station de Sidi abdelkader Djilali à 4130km² pour l'Oued Mina à la station d'Oued El Abtal, ce qui fait 87% de la surface.

2. 2. Caractéristiques

A partir de la situation et la présentation de la région d'étude, on note en premier lieu que les caractéristiques du milieu prévoient l'existence d'une érosion plus ou moins remarquable.

La pente moyenne du bassin versant de l'oued Mina qui est de 56.6% a une influence directe sur la vitesse de l'eau.

De même, les caractéristiques lithopédologiques marquent l'existence de marnes; en particulier il faut noter que les marnes sont des roches friables, donc un facteur favorable à la dégradation.

Les caractéristiques biogéographiques montrent une insuffisance de la végétation toute l'année et les surfaces sont souvent soumises à la pâture.

L'étude des indices climatiques confirme que le bassin versant de l'Oued Mina présente un climat semi-aride.

Le bilan climatique de la région fait ressortir :

- Une précipitation moyenne annuelle de 274mm (soit un volume d'eau de 1315,2 10⁶m³/an);
- Un déficit d'écoulement de 255 mm (soit un volume d'eau de 1224 106 m³/an);
- Un ruissellement calculé de5,92mm (soit un volume d'eau de 28,42 106 m³/an);
- L'infiltration serait 13,08mm (soit un volume d'eau de 63 10⁶ m³/an).

Les écoulements dans les Oueds du bassin versant de Oued Mina ne sont importants que durant la saison pluvieuse; car, à l'exception des grands affluents comme Mina et Abd, tous les cours d'eau tarissent en été.

Tableau 1 : Caractéristiques de l'écoulement interannuel (Période 73/74-94/95)

STATION	Q (m^3/s)	Mo (l/s.km²)	Ao (10^6m^3)	Ho (mm)	Kr (%)
Ain Amara	0,98	1,08	30,76	33,98	0,14
K. Mehboula	0,28	0,42	8,85	13,09	0,04
O.El Abtal	2,20	0,53	69,39	16,80	0,06
Sidi A.E.K Djilali	0,18	0,38	5,66	12,05	0,05
Takhmaret	0,59	0,38	18,73	12,07	0,05

3. PRESENTATION ET TRAITEMENT DES DONNEES

3.1. Les débits moyens journaliers

L'objectif à atteindre à travers le traitement des débits moyens journaliers est de voir comment se présente l'écoulement durant la période 1973/1974 à 1994/1995. Quelles en sont les années sèches des années humides, pouvant nous aider dans la recherche de modèles entre le débit solide-débit liquide pour les différentes stations du bassin versant de la Mina.

Pour cela on a calculer l'hydraulicité des stations hydrométriques. Les principaux modèles régressifs sont:

- Le modèle linéaire: Y= a+b X
- Le modèle parabolique: Y= a+b X+ cX²
- Le modèle exponentiel: Y=b eaX
- Le modèle puissance: Y= b Xa
- Le modèle logarithmique: Y= b lnX + a

Pour s'assurer de la validité objective de l'ajustement, on calcule le coefficient de corrélation linéaire qui sert a mesurer l'intensité ou le degré de dépendance entre les deux variables (débit

liquide et débit solide). En effet plus sa valeur est supérieure à 0,7 et plus l'ajustement des observations est bon.

On détermine des relations régressives entre les deux paramètres pour différentes échelles temporelles (interannuelle, annuelle, mensuelle, saisonnière et par années humides et années sèches).

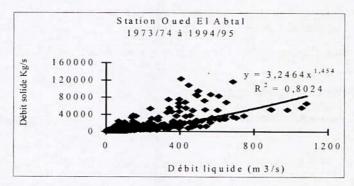


Figure2: Relation débit solide-débit liquide à l'échelle interannuelle

3.2. Les débits instantanés

Une autre méthode d'homogénéisation des données est de prendre les hauteurs instantanées pour lesquelles il n y a pas eu de mesure de concentration et dont les débits correspondants sont complétés à partir des barèmes d'étalonnage et de calculer le débit solide instantané pour chaque hauteur, ensuite pour chaque jour de l'année à partir du modèle retenu.

Pour cette étude, j'ai pris pour l'étude deux stations hydrométriques représentant presque la totalité du bassin versant de l'Oued Mina, à savoir: Oued El Abtal et Sidi A.E.K.Djilali.

Une fois l'homogénéisation est faite, on compare les résultats (ceux trouvés avec les débits moyens journaliers tirés des annuaires et ceux trouvés à partir des débits instantanés tirés des mesures). Le but est de montrer l'erreur relative qui peut exister en utilisant les données instantanées ou les données moyennes.

4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1. Homogeinisation des données du débit solide par les débits liquides moyens journaliers

L'application du modèle puissance à l'échelle mensuelle pour les différentes stations hydrométriques du bassin versant de l'oued Mina, aux débits moyens journaliers, a permis de quantifier l'apport de sédiments moyens journaliers

L'érosion spécifique a été calculée au droit des stations dont la variation interannuelle est

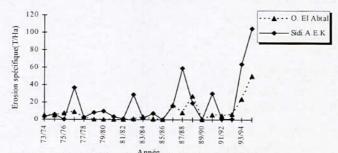


Figure 3. Variation interannuelle de l'érosion spécifique

On calcule la fluctuation interannuelle de la quantité de sédiments apportés par le cours d'eau par mois et la répartition intra-annuelle calculée pour la même période d'observation pour pouvoir interpréter les résultats de l'érosion spécifique des différentes stations hydrométriques.

4.2. Homogeinisation des données du débit solide par le instantané

Les débits instantanés sont des débits tirés à partir des barèmes d'étalonnage et qui correspondent aux hauteurs instantanées pour lesquelles il n'y a pas eu de mesure de concentration.

On quantifie l'apport des sédiments apportés annuellement au droit des stations hydrométriques comme précédemment fait pour les débits moyens journaliers, c'est à dire on appliquant le modèle puissance retenu à l'échelle mensuelle aux débits instantanés et cela pour deux stations hydrométriques du bassin versant de l'Oued Mina à savoir: Oued El Abtal et Sidi Abdelkader El Djilali.L'érosion spécifique moyenne estimée au droit des deux stations hydrométriques est:

- Station de Oued el Abtal: 8,03 t/ha;
- Station de Sidi A.E.K djilali: 18.31t/h.

En calculant l'écart relatif, il ressort nettement que la différence est considérable entre les deux méthodes d'homogénéisation que se soit pour la station Oued el abtal ou Sidi A.E.K djilali comme le montre les données suivantes:

4.2.1. On utilisant les débits moyens journaliers

- Station de Oued el Abtal: 1,17 t/ha;
- Station de Sidi A.E.K djilali: 1,77 t/ha.

4.2.2. On utilisant les débits moyens instantanés

- Station de Oued el Abtal: 8,03 t/ha;
- Station de Sidi A.E.K djilali: 18.31t/ha.

5. CONCLUSION

L'étude de l'érosion et le transport solide dans la zone semi-aride de la Mina a permis de préciser les paramètres mis en jeu et de quantifier le phénomène pour un éventuel aménagement anti-érosif pouvant être approprié pour la sauvegarde et la préservation du capital : eau-sol et préserver un barrage en exploitation qui se voit menacer par un envasement précoce.

Tout d'abord, à partir de la situation et la présentation de la région d'étude, on note en premier lieu que les caractéristiques du milieu prévoient l'existence d'une érosion plus ou moins remarquable.

Au terme de cette étude, l'érosion hydrique est quantifié au droit des stations hydrométriques et au niveau des micro-bassins expérimentaux.

En outre, nous avons recherché un modèle régressif reliant le débit solide et le débit liquide à différentes échelles temporelles (annuelle, mensuelle, saisonnière, par années humides et années sèches et à l'échelle instantanée).

L'analyse des données basée sur la méthode de régression en vue de la recherche de la meilleure relation débit solide- débit liquide, aboutit à accepter le modèle régressif puissance.

L'érosion spécifique moyenne interannuelle du bassin versant de l'Oued Mina au droit des différentes stations hydrométriques est: 1,17t/ha à O.El Abtal; 1,77t/ha à Sidi A.E.K.Djilali; 1,34t/ha à Ain Amara; 0,65 t/ha à Kef Mehboula; 0,66t/ha à Takhmaret pour la méthode de

quantification basé sur les valeurs moyennes journalières tandis que pour les valeurs instantanées, deux stations hydrométriques contrôlant chacune d'elles des sous bassins de l'oued Mina à une dizaine de km en amont du barrage sidi m'hamed benaouda ont fait l'objet de cette quantification. Il s'agit de la station S.A.E.K. sur l'oued Haddad (8,03t/ha) et de la station O.Abtal sur l'oued Mina (18,31t/ha). On remarque que la différence est significative entre les deux méthodes.

Malgré la faible valeur calculée du coefficient d'écoulement moyen interannuel sa fluctuation interannuelle comparativement à l'érosion spécifique reste très significative.

A chaque fois que le coefficient d'écoulement varie, l'érosion varie dans le même sens que se soit pour les valeurs moyennes journalières ou les valeurs instantanées.

Six micro-bassins ont fait l'objet de quantification de l'érosion. L'érosion observée a varié de 12.38 à 48.72 T/Ha.an avec des coefficients de ruissellement respectifs de 8.5% et 22.38% pour la seule année 1989/1990.

L'homogénéisation des données à l'échelle mensuelle reste la plus appropriée, vu l'irrégularité mensuelle des écoulements solide et liquide.

De part sa vocation, le barrage est menacé par cette zone, qu'il convient de protéger pour éviter de voir d'année en année sa capacité utile diminuer.

LE RESSAUT HYDRAULIQUE EVOLUANT DANS UN CANAL PROFILE EN *U*, A FOND RUGUEUX THE HYDRAULIC JUMP EVOLVING IN AN *U*-SHAPED CHANNEL, WITH ROUGH BED

Debabeche Mahmoud (1), Ghamri Ali (2) et Achour Bachir (3)

1,3. Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS),
2. Département d'hydraulique, Faculté des sciences et des sciences de l'Ingénieur,
UNIVERSITE MOHAMED KHIDER, BP 145 RP – 07000 BISKRA - ALGERIE
E-mail: mahmoud.debabeche@larhyss.net

RESUME

Cette étude a pour objectif d'expérimenter le ressaut hydraulique controlé par seuil, évoluant dans un canal profilé en 'U' à fond rugueux. Des relations fonctionnelles, en termes adimensionnels, liants les différentes caractéristiques du ressaut, faisant apparaître l'effet de la rugosité du fond du canal, sont obtenues. Une étude comparative avec le ressaut hydraulique en canal profilé en 'U' à fond lisse est également proposée.

Mots clés

Ressaut hydraulique, canal profilé en U, bassin d'amortissement, canal à fond rugueux

ABSTRACT

This study has for objective to experiment the controlled hydraulic jump by sill, evolving in an U-shaped channel, with a rough bed. Functional relations, in non-dimensional form, relating the jump characteristics, seeming the effect of the bed's roughness, are obtained. A comparative study with the hydraulic jump in U-shaped channel, with smooth bed is proposed.

1. INTRODUCTION

L'étude se propose d'examiner par voie expérimentale le ressaut contrôlé par seuil en canal profilé en "U" à fond rugueux. L'étude bibliographique montre que les caractéristiques adimensionnelles essentielles, intervenant au phénomène du ressaut, dans un canal profilé en "U", sont le nombre de Froude IF₁ ou le débit relatif Q*, la hauteur relative amont $y_1=h_1/D$ (h_1 est la hauteur au pied du ressaut, D est la largeur du canal), la hauteur relative aval $y_2=h_2/D$ (h_2 est la hauteur maximale mesurée à l'aval du ressaut) et le rapport $y=h_2/h_1$ des hauteurs conjuguées du ressaut.

À l'exception des travaux de Hager (1987, 1989) et ceux plus récemment de Debabeche (2003) et Achour et Debabeche (2003) qui ont concerné, le ressaut hydraulique en canal profilé en U à fond lisse, ce type de ressaut n'a pas reçu beaucoup d'attention. Quant au ressaut en canal à fond rugueux, à notre connaissance l'étude la plus connue est celle de Rajaratnam (1968), qui a expérimenté le ressaut hydraulique en canal rectangulaire à fond rugueux. A notre connaissance, le canal profilé en 'U' à fond rugueux, n'a jamais fait l'objet d'étude de ce genre. C'est dans le but de combler cette lacune que cette étude a été proposée.

L'objectif principal de cette étude est d'expérimenter le ressaut hydraulique controlé par seuil, évoluant dans un canal profilé en 'U' à paroi rugueuse. Des relations fonctionnelles, en termes adimensionnels, liants les différentes caractéristiques du ressaut, faisant apparaître l'effet de la rugosité des parois, seront proposées. Une étude comparative avec le ressaut hydraulique en canal profilé en 'U' à fond lisse sera également proposée.

2. POSITION DU PROBLEME

La modification des conditions à l'amont (débit, hauteurs,...etc) et à l'aval (type d'obstacle, sa position, sa hauteur, ...etc), peut conduire à différentes configurations de ressaut. Le ressaut est dit classique lorsqu'il se forme dans un canal rectangulaire de pente faible ou nulle, sans obstacle à l'aval. Il est dit contrôlé lorsque sa formation est conditionnée par la mise en place d'un obstacle à l'aval de l'écoulement. Il est dit forcé lorsqu'il se forme de part et d'autre de l'obstacle. Le ressaut hydraulique peut évoluer dans des canaux prismatiques ou non prismatiques, à paroi lisse ou rugueuse.

Pour notre cas il s'agit d'un ressaut contrôlé par seuil mince en canal profilé en 'U' à fond demi-circulaire rugueux. Deux rugosités équivalentes sont étudiées : $\epsilon = 0$ mm et 4,3 mm.

En effet, Pour une hauteur initiale h_1 fixe, l'accroissement du débit entraîne à la fois le déplacement du ressaut vers l'aval et l'augmentation de sa longueur de rouleau L_R . La distance Δx sur laquelle le ressaut s'étend augmente également et pour ramener celui-ci dans sa position initiale, c'est à dire à environ 5 cm de la sortie du convergent, le premier seuil de hauteur s doit être surélevé. Ainsi à chaque valeur du nombre de Froude IF_1 ou du débit relatif Q^* , correspond une longueur L_i du ressaut et L_i du rouleau, ainsi qu'une hauteur h_2 à l'aval du ressaut et une hauteur s du seuil (figure 1).

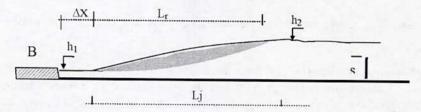


Figure 1: Ressaut contrôlé par seuil mince. h₁ hauteur d'eau amont, h₂ hauteur d'eau aval, s hauteur du seuil, L_τ longueur du rouleau de surface, Δx distance séparant la boite en charge B du pied du ressaut, B boite en charge.

L'objectif principal de cette étude est d'expérimenter le ressaut hydraulique contrôlé par seuil, évoluant dans un canal profilé en 'U' à paroi rugueuse.

Des relations fonctionnelles, en termes adimensionnels, liants les différentes caractéristiques du ressaut en canal à fond rugueux, seront proposées. Une étude comparative avec le ressaut hydraulique en canal profilé en 'U' à paroi lisse sera également proposée.

Les caractéristiques adimensionnelles du ressaut, concernées par cette étude sont les suivantes : le nombre de Froude IF_1 , le débit relatif Q^* ; la hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil à paroi mince ; la longueur relative Lj/h_1 du ressaut ; la longueur relative Lj/h_2 du ressaut ; la hauteur relative aval $y_2 = h_2/D$; la hauteur relative amont $y_1 = h_1/D$; la rugosité relative ϵ/D .

Il est nécessaire de noter que le régime d'écoulement de toutes les expérimentations réalisées, se situe dans le domaine du turbulent de transition.

3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

3.1. Description du modèle

Le canal de mesure qui nous a servi de banc d'essai (photo. 1) est constitué essentiellement d'une rigole demi-circulaire en 'pvc' de 5,67 m de longueur, sur laquelle est fixée latéralement, d'un coté une tôle en aluminium de 0,50 m de hauteur et de l'autre coté une

série de 7 panneaux transparents en Plexiglas permettant les prises de vues et observations. Ces panneaux sont reliés entre eux par collage au chloroforme. Le tout est fixé par boulonnage à une structure métallique rigide. L'étanchéité est assurée par des joints en caoutchouc et par de la silicone.

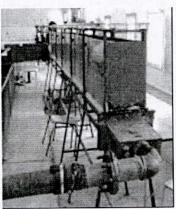


Photo 1: Photographie du canal avant servi à l'expérimentation.

Le fond du canal est parfaitement horizontal (de pente nulle). Un bassin d'alimentation est relié au canal par le moyen d'une conduite circulaire de 100 mm de diamètre. Celle-ci est reliée à une boite métallique fermée, sur laquelle est insérée une ouverture à paroi plane en tôle de largeur déterminée débouchant dans le canal (figure 1). Le rôle de cette paroi est de générer un écoulement incident à grande vitesse. La section de sortie de celle-ci est variable et sa hauteur correspondra à la hauteur initiale h_1 du ressaut.

Le réglage des débits volumes s'effectue par manipulation de la vanne et sont mesurés à l'aide d'un débitmètre à diaphragme. Les deux prises de pression sortant du diaphragme sont reliées à un manomètre différentiel (photo. 2c), permettant de lire la différence \square h des cotes des deux ménisques dans les tubes manométriques. Le débitmètre à diaphragme a été préalablement étalonné à l'aide d'un déversoir à échancre triangulaire placé dans un canal rectangulaire.

L'alimentation du canal s'effectue par le moyen d'une pompe débitant jusqu'à 80 l/s. Le canal de mesure a été conçu au laboratoire 'LARHYSS' de l'Université de Biskra.

3.2. Description des essais

L'étude expérimentale s'est intéressée au ressaut contrôlé par seuil à paroi mince dans un canal profilé en "U", à fond demi-circulaire rugueux.

L'expérimentation a été menée sous quatre hauteurs initiales ($h_1(cm) = 2.32, 3.40, 5.2, 6.1$). Une large gamme des nombres de Froude incidents a été ainsi obtenue ($2.3 < IF_1 < 15$).

Des seuils de différentes hauteurs s ont été testés, afin d'observer leur influence sur le contrôle du ressaut; treize seuils ont ainsi été confectionnés, dont la hauteur s varie entre 3,4 cm et 19,8 cm.

Pour une hauteur s et une position x du seuil et pour une hauteur h_1 de l'écoulement incident, l'augmentation du débit volume Q, provoque l'apparition d'un ressaut (photo. 2.). Le couple de valeur (Q,h_1) permet en outre le calcul du nombre de Froude IF₁ de l'écoulement incident. L'accroissement de IF₁ entraîne à la fois le déplacement du ressaut vers l'aval et l'augmentation de sa longueur de ressaut Lj. La distance $\square x$ sur laquelle le ressaut s'étend augmente également et pour ramener celui-ci dans sa position initiale, c'est à dire à environ 5 cm de la sortie du convergent, le seuil de hauteur s doit être surélevé. Ainsi à chaque valeur

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

du nombre de Froude IF₁ correspond une valeur de la longueur Lj de ressaut et une valeur de la hauteur s du seuil.

Un échantillon constitué d'une quarantaine de points de mesures expérimentales, pour chaque caractéristique, a permis ainsi d'aboutir à des résultats significatifs. Ces paramètres sont : la rugosité \Box du fond du canal, le débit Q, la hauteur initiale h_b la hauteur finale h_2 , la hauteur s du seuil, la longueur Lr du rouleau de surface et la longueur Lj du ressaut, compté à partir du début du ressaut.

Ceux-ci permettent de composer les produits adimensionnels suivants :

le débit relatif Q* ou le nombre de Froude incident IF₁,

$$F_{1} = \sqrt{\frac{Q^{2}D\sin\alpha}{g\left[\frac{D^{2}}{4}\left(\alpha - \sin\alpha\cos\alpha\right)\right]^{3}}}$$

$$F_{1} = \frac{8Q * \sqrt{\sin\alpha}}{\left(\alpha - \sin\alpha\cos\alpha\right)^{3/2}}$$

$$\alpha(rd) = \arccos(1 - 2y1)$$

$$Q^{*} = \frac{Q}{\sqrt{gD^{5}}}$$
(1)

- la hauteur relative amont y₁=h₁/D,
- ➤ la hauteur relative aval y₂=h₂/D,
- ➤ le rapport y=h₂/h₁ des hauteurs conjuguées du ressaut.
- la hauteur relative S = s/h₁ du seuil,
- la longueur relative Lj/h₁ du ressaut,
- la longueur relative Lj/h2 du ressaut.
- ➤ la rugosité relative □ /D.





Photo. 2 : Ressaut hydraulique évoluant dans un canal profilé en U à fond rugueux.

a) Vue à l'amont du ressaut. b) Vue à l'aval du ressaut

3.3. Mode de préparation de la rugosité utilisée

Afin d'obtenir un fond demi-circulaire rugueux, avec une répartition uniforme de la rugosité, nous avons procédé selon les étapes suivantes :

• Le tamisage du sable ou gravier de granulométrie différente est effectué par le moyen d'un tamiseur électrique composé par plusieurs tamis de différent diamètres normalisés

variant entre 1 et 8mm (photo 3), avec des temps de tamisage bien fixés en relations avec la gamme de gravier à tamisé (moins de 5 minutes).

- Après l'obtention de la gamme de gravier voulue, ce dernier est lavé puis séché.
- La gamme choisie, varie entre 4 et 5 mm selon le refus du tamis normalisé. Les particules obtenues sont ensuite uniformément réparties sur une toile en plastique (photo 4), puis collées par le moyen d'une colle forte.
- Enfin, la rugosité équivalente obtenue est : ε = 4,3 mm.

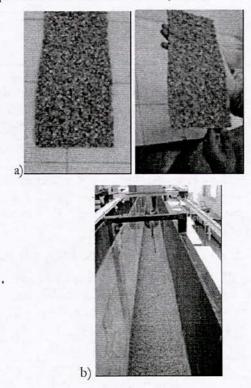


Photo. 3 : a) Echantillion de grains de gravier de rugosité équivalente ε=4,3mm.

b) Grains de gravier répartis uniformément sur le fond du canal.

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

4.1. Hauteur relative aval y2 en fonction du débit relatif Q*

La figure 2 représente la variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* , pour 04 valeurs distinctes de y_1 . Deux types de ressaut évoluant en canal profilé en U sont confrontés : le ressaut contrôlé en canal à fond rugueux et le ressaut contrôlé en canal à fond lisse.

La figure 2 montre quatre (04) séries de points de mesures, correspondant chacune à une valeur bien déterminée de la hauteur relative amont y₁. Les traits discontinus représentent la courbe théorique issue de l'équation de quantité de mouvement pour quatre valeurs de y₁: 0,0939, 0,1388, 0,2122 et 0,2489.

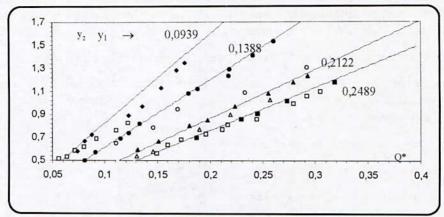


Figure 2: Variation de la hauteur relative aval y₂ en fonction du débit relatif Q*. Les motifs vides représentent les points expérimentaux du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. Les motifs pleins représentent le ressaut contrôlé en canal à fond lisse. (---) Courbe théorique selon l'équation de quantité de mouvement, pour les quatre valeurs de y₁: 0.0939, 0.1388, 0.2122 et 0.2489

Cette figure montre que les points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé 'à fond rugueux' se présentent bien au-dessous du ressaut contrôlé à fond lisse. Aussi, l'écart entre les deux nuages de points augmente considérablement avec l'augmentation de Q^* , à l'exception de la série y_1 = 2490 où l'écart est relativement faible. En effet, l'augmentation de la vitesse d'écoulement engendre l'augmentation des pertes de charges par frottement ce qui conditionne la diminution de la hauteur relative y_2 aval.

4.2. Hauteur relative aval y₂ en fonction du nombre de Froude IF₁

La figure 3 représente la variation de la hauteur relative y₂ en fonction du nombre de Froude incident (IF₁-1), pour les deux rugosités étudiées. Quatre nuages de points distincts correspondant chacun à une valeur bien déterminée de y₁ sont constatés, montrant ainsi l'influence de cette dernière. On remarque dans un premier temps que l'augmentation du nombre de Froude incident entraîne celle de la hauteur relative aval y₂.

En outre, Pour le même nombre de Froude IF₁, la hauteur relative aval y₂ augmente avec l'augmentation de y₁ et diminue avec l'augmentation de la rugosité équivalente.

En outre, on constate que l'augmentation de la hauteur relative amont y_1 provoque la diminution de l'écart entre les points de mesures expérimentales. Ces derniers sont quasiconfondus, à l'exception de $y_1 = 0,2489$, correspondant à l'ouverture $h_1 = 61$ mm.

Par ailleurs, l'ajustement des mesures expérimentales pour les deux rugosités considérées a permis de trouver une équation de la forme :

$$y_2 = \alpha \ y_1^{\beta} (IF_1 - I)^{\gamma} \tag{2}$$

Les valeurs des coefficients α , β et γ sont présentées au tableau 1 :

Tableau 1 : Les Coefficients α , β et γ

Rugosité relative 🗆 / D	α	β	γ
0 (lisse)	2,41	1,26	0,77
0,0176	1,95	1	0,63

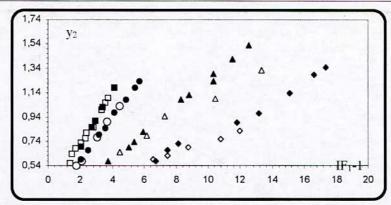


Figure 3: Ressaut contrôlé en canal profilé en U à fond rugueux. Variation de la hauteur relative aval $y_2=h_2/D$ en fonction du nombre de Froude incident IF₁, pour les quatre valeurs de $y_1: (\Box) 0.0939$, (o) 0.1388, (Δ) 0.2122 et (\Diamond) 0.2489. Les motifs vides représentent les points de mesures du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux de rugosité relative $\Box/D=0,0176$. Les motifs pleins représentent les points de mesures du ressaut contrôlé à fond lisse ($\Box/D\cong 0$).

Les figures 4 et 5 montrent que la relation $y_2 = f(IF_1, y_1)$ ajuste avec une bonne corrélation, pour les deux rugosités considérées, les points de mesures expérimentales. Ces derniers suivent parfaitement la première bissectrice.

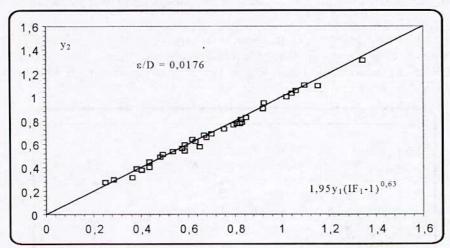


Figure 4: Variation de la hauteur relative y₂ aval en fonction de f(y₁,IF₁). (□) Points expérimentaux du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. (—) Première bissectrice d'équation y₂ = 195 y₁ (IF₁ −1)0,63.

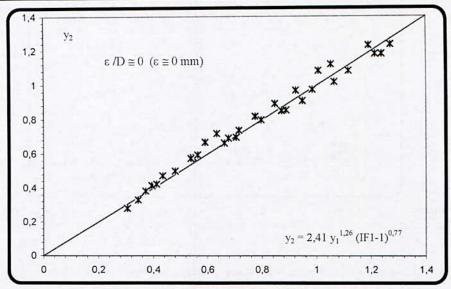


Figure 5 : Variation de la hauteur relative y₂ aval en fonction de f(y₁,IF₁). (*) Points expérimentaux du ressaut contrôlé en canal à fond lisse. (—) Première bissectrice d'équation y₂ = 2,41 y₁,1,26 (IF₁-1)^{0,77}

4.3. Hauteur relative aval $y_2 = y_2/D$ en fonction de la hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil

La figure 6 montre la représentation graphique de la variation de y_2 en fonction de la hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil, pour les deux valeurs de rugosités étudiées. Quatre (04) nuages de points distincts, correspondant chacun à une valeur bien déterminée de la hauteur relative amont y_1 sont également trouvés.

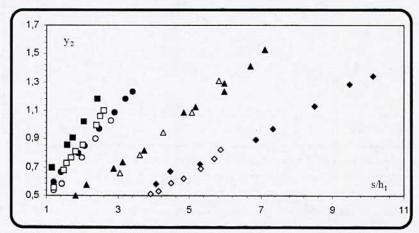


Figure 6 : Ressaut contrôlé en canal profilé en U à fond rugueux. Variation de la hauteur relative aval y₂=h₂/D en fonction de la hauteur relative S=s/h₁ du seuil, pour les quatre valeurs de y₁ : (□) 0.0939, (o) 0.1388, (Δ) 0.2122 et (◊) 0.2489. Les motifs vides représentent les points de mesures du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux de rugosité relative □/D = 0,0176. Les motifs pleins représentent les points de mesures du ressaut contrôlé à fond lisse (□/D ≅ 0).

Cette figure montre que les points de mesures du ressaut contrôlé en canal à fond lisse et du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux sont distincts, pour les 04 valeurs de y₁. En effet,

pour le même couple de valeurs (S, y_1) , la hauteur relative aval y_2 augmente avec la diminution de la rugosité relative \Box/D .

Par ailleurs, l'ajustement des mesures expérimentales pour les deux rugosités considérées a permis d'aboutir à une équation de la forme :

$$y_2 = \alpha' \ y_1^{\beta'} (s/h_1)^{\gamma'(y_1)}$$
 (3)

Les valeurs des paramètres α',β' et $\gamma'(y_1)$ sont regroupées au tableau 2 :

Tableau 2: Les paramètres α', β' et $\gamma'(y_1)$

Rugosité relative 🗆 /D	α'	β'	γ'(y1)
0 (lisse)	4,21	1,35	0,045-1,67y ₁
0,0176	5,10	1,62	1,300-1,90y ₁

Les figures 7 et 8 montrent que la relation $y_2 = g(s/h_1, y_1)$ ajuste avec une bonne corrélation les points de mesures expérimentales et ces derniers suivent parfaitement la première bissectrice.

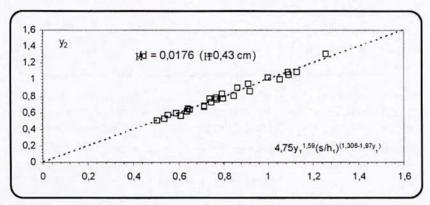


Figure 7: Variation de la hauteur relative y_2 aval en fonction de $g(y_1,S)$. \square Points expérimentaux du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. (\longrightarrow) Première bissectrice d'équation $y_2=4,75y_1^{1,59}S^{(1.31-1,97y1)}$.

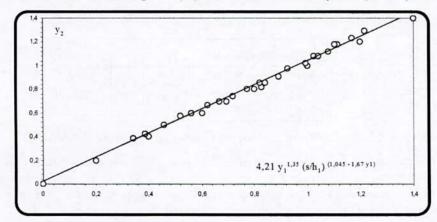


Figure 8: Variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction de f(S, y_1 . (\square) Points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé à fond rugueux. (\longrightarrow) Première bissectrice d'équation : $Y_2 = 4,21 \; Y_1^{1,35} \; \text{S/H}_1^{(1,045-1,67\,yl)}$

4.4. Hauteur relative $S = s/h_1$ du seuil en fonction du nombre de Froude incident IF_1

La figure 9 traduit la variation de la hauteur relative s/h_1 du seuil en fonction du nombre de Froude incident IF_1 . Il ressort que pour les nombres de Froude incident inférieur à 10, les points de mesures du ressaut contrôlé à 'fond rugueux' de rugosité équivalente $\varepsilon = 4,3$ mm situent légèrement au-dessus du ressaut contrôlé à 'fond lisse'. Autrement dit, la même hauteur relative $S=s/h_1$ de seuil, occasionne la formation d'un ressaut à 'fond rugueux' moins important que son homologue à 'fond lisse'. Au-delà de la valeur $IF_1 = 10$ environ, c'est l'inverse qui se passe. Cette valeur du nombre de Froude incident est assez importante dans la pratique et correspond à des ressauts relativement grand.

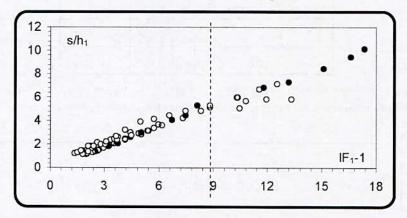


Figure 9: Ressaut hydraulique en canal profilé en U. Variation de la hauteur relative s/h₁ du seuil en fonction de (IF₁-1). Les motifs vides représentent les points expérimentaux du ressaut 'à fond rugueux' et les motifs pleins représentent les points expérimentaux du ressaut 'à fond lisse'.

L'ajustement statistique des points de mesures par la méthode des moindres carrées, pour les nombres de Froude inférieur à 10, a permis d'aboutir, pour les deux rugosités considérées avec une assez bonne corrélation, à la relation puissance suivante :

$$y_2 = \alpha''(s/h_1)^{\beta''} \tag{4}$$

Les valeurs des coefficients a"et \beta" sont regroupées au tableau 3 :

Tableau 3 : Les coefficients α "et β ".

Rugosité relative 🗆 / D	α"	β"
0 (lisse)	0,58	1,00
0,0176	0,90	0,80

4.5. Longueur relative Lj/h₁ du ressaut en fonction du nombre de Froude IF₁

La figure 10 illustre la variation de la hauteur relative Lj/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude incident IF_1 , pour quatre valeurs distinctes de la hauteur relative amont y_1 . Les motifs pleins noirs et vides rouges représentent les points de mesures expérimentales, respectivement du ressaut 'à fond lisse' et du ressaut 'à fond rugueux'. Il ressort de cette figure, qu'à l'exception des mesures correspondant à $y_1 = 0,2489$ ($h_1 = 6,1$ cm), les points de mesures du ressaut 'à fond lisse' se situent bien au-dessus de ceux du ressaut 'à fond rugueux'.

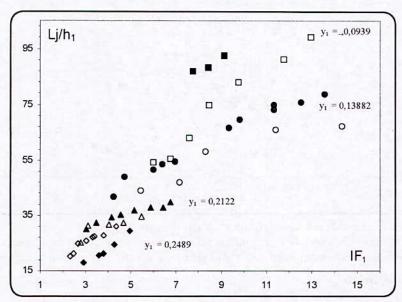


Figure 10: Variation de la longueur relative Lj/h₁ du ressaut en fonction du nombre de Froude IF₁. pour quatre valeurs distinctes de y₁. Les motifs vides représentent les points expérimentaux du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. Les motifs pleins représentent le ressaut contrôlé à fond lisse.

L'exception à la règle qui se présente pour la hauteur relative amont $y_1 = 0,2489$, pourrait, à notre avis, être attribuée à un changement du comportement du ressaut pour les hauteurs initiales relativement grandes. Cela dit, nous pouvons conclure que pour $0,0939 \le y_1 \le 0,2122$, la longueur du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux est plus petite que celle du ressaut contrôlé en canal à fond lisse.

4.6. Longueur relative Lj/h2 du ressaut en fonction du nombre de Froude IF1

La figure 11 illustre la relation $Lj/h_2 \sim (IF_1.1)$, pour les deux types de ressaut : le ressaut contrôlé en canal à fond lisse et le ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. On constate également que pour les nombres de Froude inférieur à 10, les points de mesures du ressaut 'à fond lisse' se situent au-dessus de ceux du ressaut 'à fond rugueux'. Autrement dit pour cette gamme très pratique des nombres de Froude, le ressaut 'à fond rugueux' est plus compact que sont homologue 'à fond lisse'. En outre, au-delà de la valeur $IF_1 = 10$ environ, c'est le contraire que se passe, et le ressaut change carrément de comportement, du moins pour les valeurs de y_1 égales à 2,3cm et 3,4cm. Cette constatation laisse penser que pour les grands nombres de Froude incidents (supérieur à 10), l'effet de frottement causé par la rugosité du fond du canal engendre une diminution de la hauteur aval h_2 relativement grande par rapport à la longueur L_1 du ressaut.

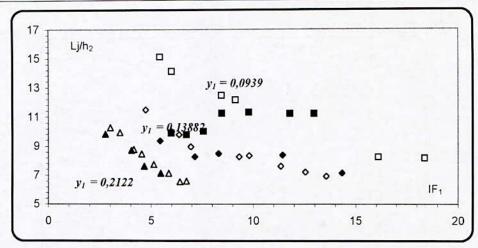


Figure 11 : Variation de la longueur relative Lj/h₂ du ressaut en fonction du nombre de Froude IF₁, pour quatre valeurs distinctes de y₁. Les motifs vides représentent les points expérimentaux du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux. Les motifs pleins représentent le ressaut contrôlé à fond lisse

5. CONCLUSION

Nous avons abordé dans cette étude, une analyse expérimentale du ressaut hydraulique contrôlé par seuil en canal profilé en U, à fond demi-circulaire rugueux. Deux valeurs de la rugosité équivalente ont été étudiées : $\epsilon \cong 0$ mm et $\epsilon \cong 4,3$ mm L'expérimentation a été menée sous quatre ouvertures de hauteurs : 2,3 cm $\leq h_1 \leq 6,1$ cm et dix-sept seuils de hauteurs : 3,40 cm $\leq s \leq 19,80$ cm. Une large gamme de débits relatifs et de nombres de Froude a été ainsi obtenue.

Dans un premier temps nous nous somme intéressés à la variation de la hauteur relative aval y_2 en fonction du débit relatif Q^* . Deux types de ressaut évoluant en canal profilé en U sont confrontés : le ressaut contrôlé en canal à fond rugueux de rugosité relative $\Box /d = 0,0176$ et le ressaut contrôlé en canal à fond lisse $(\varepsilon/d \cong 0)$.

Il ressort que pour le même débit relatif Q^* , les points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé 'à fond rugueux' se présentent bien au-dessous du ressaut contrôlé à fond lisse. Aussi, l'écart entre les deux nuages de points augmente considérablement avec l'augmentation de Q^* .

Dans un second temps, nous avons analysé la variation de y₂ en fonction du nombre de Froude incident IF₁, pour quatre (04) valeurs distinctes de y₁. Quatre (04) nuages de points distincts, correspondant chacun à une valeur bien déterminée de la hauteur relative amont y₁ sont trouvés, montrant ainsi l'influence de la hauteur initiale h₁. En outre, pour le même nombre de Froude incident IF₁, la hauteur relative aval y₂ augmente avec la diminution de la hauteur relative amont y₁.

Par ailleurs, l'analyse statistique des points de mesures expérimentales du ressaut contrôlé 'à fond rugueux', montre qu'un ajustement puissance est possible entre y_2 et IF_1 .

L'étude expérimentale a permis d'évaluer dans un troisième temps, la variation de la hauteur relative y₂ aval en fonction de la hauteur relative S du seuil. Deux types de ressaut sont également comparés : le ressaut contrôlé à fond lisse et le ressaut contrôlé à fond rugueux.

Il ressort les points de mesures du ressaut à 'fond rugueux' sont nettement au-dessous de ceux du ressaut à 'fond lisse'. Cette constatation montre que pour le même couple de valeurs

 (S, y_1) , la hauteur relative aval y_2 du ressaut à 'fond lisse' est plus grande que celle du ressaut à 'fond rugueux'.

En outre, l'ajustement statistique des points de mesures du ressaut contrôlé 'à fond rugueux', par la méthode des moindres carrées, a permis d'aboutir, avec une assez bonne corrélation, à une équation puissance liant S, y₂ et y₁.

Le quatrième volet de cette étude expérimentale a concerné la relation entre la hauteur relative du seuil et le nombre de Froude IF_1 . Les deux configurations de ressaut citées précédemment sont comparées. Il ressort que pour les nombres de Froude incident inférieur à 10, les points de mesures du ressaut contrôlé à 'fond rugueux' se situent légèrement audessus du ressaut contrôlé à 'fond lisse'. Autrement dit, la même hauteur relative de seuil, occasionne la formation d'un ressaut à 'fond rugueux' moins important que son homologue à 'fond lisse'. Au-delà de la valeur $\mathrm{IF}_1=10$ environ, c'est l'inverse qui se passe. Cette valeur du nombre de Froude incident est assez importante dans la pratique et correspond à des ressauts relativement grand.

L'analyse statistique des points de mesures expérimentales a montré également, qu'un ajustement puissance est possible entre s/h_1 et le nombre de Froude F_1 .

Par ailleurs, nous avons montré, la variation de la hauteur relative Lj/h_1 du ressaut en fonction du nombre de Froude incident IF_1 , pour les deux configurations de ressaut, à savoir : le ressaut 'à fond lisse' et le ressaut 'à fond rugueux', pour quatre valeurs distinctes de la hauteur relative amont y_1 . Il apparaît que pour $0,0939 \le y_1 \le 0,2122$, la longueur du ressaut contrôlé en canal à fond rugueux est plus petite que celle du ressaut contrôlé en canal à fond lisse.

L'étude expérimentale montre enfin, que pour une gamme très pratique des nombres de Froude, le ressaut 'à fond rugueux' est plus compact que sont homologue 'à fond lisse'.

Cela dit, d'une manière générale nous pouvons conclure, que pour une gamme pratique des nombres de Froude incident, le ressaut hydraulique en canal profilé en 'U' à fond rugueux, présente une longueur de ressaut assez réduite et une hauteur aval moindre que son homologue à fond lisse.

Annexe 1: Tableau de mesures expérimentales du ressaut contrôlé par seuil mince évoluant en canal profilé en U, à fond rugueux de rugosité équivalente ε = 43 mm.

h ₁ (mm)	□ h (mm)	Q (1/s)Q*	IF ₁	y2=h2/	$Dy_1=h_2/$	DS=s/h	Lj/h2	Lj/h ₁	IRe	
	3	2,34	0,025163	2,67	0,27	0,0947	1,48	12,89	37,39	34277,87	0,07
	4	2,70	0,029064	3,09	0,30	0,0947	1,87	12,24	38,70	37926,46	0,06
	7	3,58	0,038469	4,09	0,31	0,0947	2,22	12,58	41,96	48830,57	0,06
	9	4,06	0,043631	4,63	0,38	0,0947	2,70	10,90	43,91	49933,63	0,05
	11	4,49	0,048245	5,12	0,40	0,0947	3,22	10,80	45,87	53567,79	0,04
23	15	5,24	0,056356	5,99	0,51	0,0947	3,91	9,90	54,13	53616,85	0,03
2)	19	5,90	0,063442	6,74	0,53	0,0947	4,14	9,79	55,65	58853,77	0,03
	24	6,64	0,071319	7,58	0,59	0,0947	4,49	10,02	63,04	61845,62	0,03
	30	7,42	0,079755	8,47	0,62	0,0947	4,83	11,26	74,78	66675,62	0,03
	40	8,57	0,092119	9,79	0,69	0,0947	5,33	11,32	83,04	71848,72	0,03
	58	10,33	0,110968	11,7	90,76	0,0947	5,70	11,25	91,30	80478,72	0,02
	70	11,35	0,121931	12,9	50,83	0,0947	5,88	11,25	99,13	83239,76	0,02

<u>Congrès international</u> : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

					Deduce	ciic iviai	mioud, ,	ondini i m ce i ic	
	15	5,24	0,056356 2,7	6 0,39	0,1347	1,50	11,96	33,68 63328,72	0,05
	20	6,06	0,065093 3,1	9 0,45	0,1347	1,82	11,26	36,32 67445,6	0,04
	25	6,77	0,072793 3,5	7 0,49	0,1347	2,18	11,57	40,74 71445,75	0,04
34	58	10,33	0,110968 5,4	4 0,66	0,1347	3,04	9,37	44,26 89551,76	0,03
24	100	13,57	0,145787 7,1	5 0,79	0,1347	3,61	8,28	46,91 103315,7	0,02
	135	15,77	0,16944 8,3	1 0,95	0,1347	4,26	8,49	58,09 104206,4	0,02
	255	21,68	0,233021 11,	431,09	0,1347	5,06	8,39	66,03 128452,8	0,02
	400	27,17	0,291978 14,	321,31	0,1347	5,82	7,16	67,50 139221,7	0,02
	80	12,13	0,130367 2,7	8 0,54	0,2122	1,19	9,83	25,10 119745,4	0,03
	100	13,57	0,145787 3,1	0 0,58	0,2122	1,42		31,44 128214,3	0,02
52	170	17,70	0,190184 4,0	5 0,77	0,2122	1,98	8,72	31,83 136336,1	0,02
	225	20,37	0,218858 4,6	6 0,90	0,2122	2,36	7,63	32,40 140156,3	0,02
	310	23,91	0,256975 5,4	7 1,03	0,2122	2,79	7,14	34,71 148243,6	0,02
	105	13,90	0,149394 2,3	3 0,56	0,2489	1,21	8,97	20,25 133918,3	0,03
	120	14,86	0,159731 2,4	9 0,64	0,2489	1,31		21,23 131179,2	0,03
	140	16,06	0,172556 2,6	9 0,68	0,2489	1,48	9,17	24,92 136298,7	0,03
	180	18,21	0,195709 3,0	5 0,73	0,2489	1,56	8,84	25,90 146504	0,03
	210	19,67	0,211422 3,3	0 0,77	0,2489	1,69	8,70	27,05 151561,2	0,02
61	220	20,14	0,216408 3,3	7 0,81	0,2489	1,82	8,45	27,38 150497,6	
	280	22,72	0,2442 3,8	1 0,86	0,2489	2,01	8,02	27,70 161957,9	0,02
	365	25,95	0,278886 4,3	5 1,00	0,2489	2,38	7,69	30,98 164452	0,02
	400	27,17	0,291978 4,5		0,2489	2,49	7,61	32,30 165361	0.02
	435	28,34	0,30451 4,7	5 1 10	0,2489	2,59	7,78	34,26 167365,4	

Annexe 1 : Tableau de mesures expérimentales du ressaut contrôlé par seuil mince évoluant en canal profilé en U, à fond lisse ($\varepsilon \cong 0$ mm).

hı(m	m)□ h(m	m)Q (1/s)	Q*	IF ₁	Lj/h ₁	$y_2=h_2/\Gamma$	$y_1=h_2$	DS=s/h ₁	Lj/h ₂
23	3,5	4,04	0,04338	4,53	45,26	0,0947			18,3929
	3	3,73	0,04011	4,19	53,88	0,0947	0,28	1,81	
	3,8	4,21	0,04523	4,72	66,81	0,0947	0,33	2,10	17,28
	5	4,84	0,05200	5,43	68,97	0,0947	0,42	2,58	15,11
	6,1	5,35	0,05753	6,01	73,28	0,0947	0,47	3,01	14,14
	10	6,88	0,07396	7,72	u	0,0947	0,58	4,06	- 1 -
	11,9	7,52	0,08080	8,44	95,69	0,0947	0,67	4,45	12,50
	13,9	8,14	0,08744	9,13	99,14	0,0947	0,72	5,29	12,18
	27	11,40	0,12253	12,79		0,0947	0,89	6,87	

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

_					Debabe	che ivianni	ruu, Ona	mi Aii Ct	Acnour Baci
	33	12,63	0,13568	14,17	1641	0,0947	0,97	7,34	
	42,4	14,34	0,15411	16,09	120,69	0,0947	1,13	8,49	8,27
	50,6	15,69	0,16860	17,60	133,62	0,0947	1,29	9,48)
	55	16,37	0,17590	18,37	· * //	0,0947	1,34	10,13	8,20
	7,5	5,95	0,06390	3,32		0,1347	0,38	1,27	
	9	6,52	0,07011	3,65		0,1347	0,42	1,48	12,60
	12	7,55	0,08114	4,22	46,67	0,1347	0,50	1,81	
	15	8,46	0,09089	4,73	53,94	0,1347	0,58	2,12	11,49
	24	10,74	0,11541	6,00	56,36	0,1347	0,69	2,86	10,00
34	27	11,40	0,12253	6,38	57,58	0,1347	0,74	3,13	9,78
74	32	24,3	0,13358	6,95	60,30	0,1347	0,82	3,72	8,96
	57	16,67	0,17912	9,32	60,61	0,1347	1,09	4,83	8,27
	63	17,54	0,18847	9,81	67,58	0,1347	1,12	5,16	8,36
	84	20,30	0,21814	11,35	85,45	0,1347	1,29	5,97	7,63
	102	22,40	0,24076	12,53	85,45	0,1347	1,41	6,70	7,23
	119	24,23	0,26038	13,55	90,91	0,1347	1,53	7,12	6,93
	31	12,23	0,13144	3,02	34,00	0,2122	0,60	1,20	10,27
	41	14,10	0,15151	3,48	34,00	0,2122	0,67	1,40	9,94
	58	16,82	0,18071	4,15	38,00	0,2122	0,80	1,89	8,78
2	69	18,37	0,19739	4,54	38,60	0,2122	0,85	2,06	8,47
2	88	20,78	0,22336	5,14	41,00	0,2122	0,98	2,45	7,74
	136	25,93	0,27866	6,41	44,40	0,2122	1,18	3,19	6,55
	150	27,26	0,29289	6,73	44,60	0,2122	1,24	3,40	6,60
	114	23,71	0,25476	5,86	44,40	0,2122	1,09	2,90	7,14
	62	17,40	0,18694	2,91	28,20	0,2489	0,70	1,14	6,43
	93	21,38	0,22972	3,58	28,20	0,2489	0,86	1,55	5,95
5,1	105	22,74	0,24433	3,81	28,20	0,2489	0,91	1,69	5,83
	131	25,44	0,27341	4,26	36,39	0,2489	1,02	2,01	6,00
	177	29,65	0,31859	4,97	36,39	0,2489	1,18	2,38	6,21

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Achour, B., 1998. Dissipation d'énergie par ressaut, thèse d'état. Université de Tizi-Ouzou, Institut de Génie-Civil,

Achour, B., Debabeche, M., 2003. Ressaut contrôlé par seuil dans un canal profile en U. Journal of hydraulic research, Vol. 41 (02), pp. 97-103.

Bretz, N., V., 1988. Ressaut Hydraulique Forcé par seuil, Laboratoire de constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département de Génie Civil, Communication No.2.

Debabeche, M., 2003. Ressaut hydraulique dans les canaux prismatiques. Thèse de doctorat d'état, Département d'Hydraulique, Université de Biskra, Algérie.

Debabeche, M., Achour, B., 2000. Ressaut hydraulique classique en canal profilé en "U". 1^{ER} Séminaire Sur L'eau, Université de Mascara.

Hager, W., H., 1987. Der Ablufss im U-Profil. Korrespondenz Abwasser 34(5): 468-482.

Hager, W., H., 1989. Hydraulic jump in U-channel, Proc. ASEC, J. Hydraulic Engineering 115(5), 667-675.

Rajartnam, N., 1968. Hydraulic jumps on rough beds, Transaction of the engineering institute of Canada, Vol. 11, N° A-2.

Rand, W., 1957. An approach to generalized design of stilling basins, Trans. New York Academy of Sciences, Vol. 20 (2), 173-191.

INCIDENCES DES PLUIES EXCEPTIONNELLES SUR LA NAPPE SUPERFICIELLE DE LA PLAINE DE TEBESSA (N.E ALGERIEN).

EFFECTS OF EXCEPTIONAL HEAVY RAINFALLS OF THE ALLUVIUM NAPPE OF TEBESSA

Larbi Djabri* - Azzedine Hani** - Rabah Laouar**

* 11, Rue Asla Hocine, 23000, Annaba, Algérie - Email: djabri_larbi@yahoo.fr ** Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

RESUME

La zone étudiée est située dans le Nord-Est de l'Algérie, aux portes du désert et est caractérisée par une pluviométrie annuelle de l'ordre de 350 mm. Cependant, l'année hydrologique 2002-2003 a été relativement arrosée. Les pluies enregistrées au cours des mois de mai, juin, juillet et août 2002 étaient de l'ordre de 220 millimètres, ce qui correspond à 60% du total annuel pour une année normale.

Les précipitations accentuent les infiltrats, ce qui entraîne des modifications au niveau de la nappe (piézométrie et chimisme des eaux). Les mesures piézométriques montrent un apport d'eau assez considérable, pouvant atteindre parfois quatre mètres au niveau de certains points (puits 21, NP > 778 NP > 782).

Trois campagnes de prélèvements et d'analyses ont été réalisées. Les résultats obtenus indiquent une baisse des concentrations, particulièrement au cours de la période estivale où habituellement on assiste au cas inverse engendré par la forte évapotranspiration caractérisant la période estivale.

Ce travail a montré que le comportement de la nappe superficielle reste tributaire de tout changement.

ABSTRACT

The great quantities of precipitation (500 mm) recorded in the Tebessa region, northeast Algeria, during the year 2002 have large positive effects on both the quantity and quality of water in the alluvium nappe of the Tebessa plain. The last decade has known precipitations usually less than 350 mm/year. Piezometric measurements carried out during the year 2002 show a marked increase of piezometric level, up to 4 meters compared to that of 2001. On the other hand, chemical data show particularly a decrease of calcium, chlrorides, sodium, sulphate contents and conductivity.

The climatic factors, the piezometry and the hydrochemistry confirm the existence of a close relationship between theses three parameters.

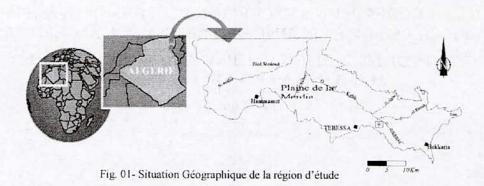
Mots clés: Pluies exceptionnelles - Superficielle - Piézométrie - Tébessa.

Key-words: Exceptional rainfalls - Alluvium - Piezometry - Tebessa.

1. INTRODUCTION

La zone étudiée est caractérisée par un climat semi-aride avec des précipitations atteignant au maximum 350 mm/an. Cependant la saison estivale de l'année 2002 a été très pluvieuse, entraînant un apport d'eau considérable à la nappe. Pour réaliser le présent travail, nous nous sommes basés sur l'historique des précipitations des mois de mai, juin, juillet et août, totalisant 220 millimètres de précipitations, ce qui correspond à 63% du total annuel pour une année normale. Les précipitations enregistrées au cours de ces quatre mois constituent un indice exceptionnel.

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger



2. MATERIEL ET METHODES

Pour réaliser le présent travail, nous avons effectué des mesures piézométriques sur le terrain en utilisant une sonde lumineuse (type SABA KLL). Par ailleurs, la conductivité a été également mesurée sur site en utilisant un conductimètre P3 PHKF.SET. Les analyses chimiqus ont été réalisées au laboratoire de l'A.N.R.H de Constantine, soit par chlorométrie, soit par absorption atomique à flamme.

3. RESULTATS

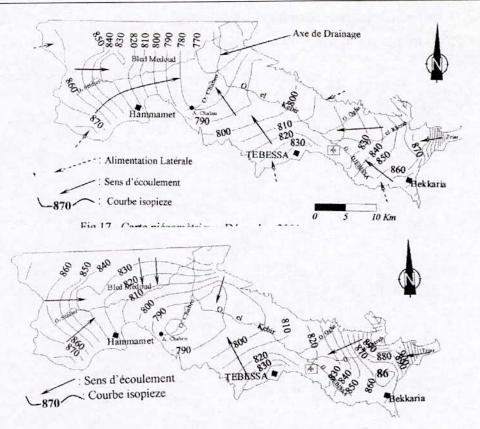
3.1. Incidences sur la piézométrie

Deux cartes piézométriques se rapportant aux mois de décembre 2001 et septembre 2002 (mois extrêmes) seront examinées, ce qui permettra la mise en évidence de l'influence des précipitations sur la nappe:

- * La carte réalisée au mois de décembre 2001 montre que l'écoulement se fait selon deux directions principales:
- une première Ouest-Est, caractérisant la zone de Hammamet-Oued Chabro, l'écoulement est rapide,
- une deuxième Sud.Est-Nord.Est (Bekkaria-Oued Chabro), l'écoulement est lent; il y a convergence des écoulements vers l'oued Chabro.
- * La carte réalisée au mois de septembre 2002 montre un écoulement Sud. Est-

Nord.Ouest (Bekkaria-Oued Chabro). Il est de direction Ouest-Est entre Hammamet et Oued Chabro. Cet écoulement engendre une stagnation des eaux, entraînant une élévation du niveau d'eau dans les puits. A titre indicatif, nous prenons l'exemple du puits 21 situé dans le secteur de l'oued Chabro, donnant les piézométries respectives

NP₁=778 m et NP₂=782 m, soit quatre mètres de différence.



Incidences sur le chimisme des eaux

Cinq puits témoins ont été choisis pour mettre en évidence l'influence des précipitations sur la qualité des eaux. Les résultats obtenus sont condensés dans le tableau suivant:

Elts chimiques	Ca C ₁	C ₂	Mg C ₁	C ₂	Na Cı	C ₂	C1 C1	C ₂	SO ₄	C ₂	Cond.	C ₂
Puis analysés		_	-			_	-	_				
Puits 1	46	40	100	101	65	57	60	55	202	157	1000	1060
Puits 2	68	60	16	10	130	81	205	180	490	420	2300	784
Puits 3	80	76	58	136	80	97	165	182	208	129	1200	1250
Puits 4	132	76	110	90	86	81	280	97	520	86	1800	1400
Puits 5	184	72	156	113	285	269	395	223	800	610	1700	1530

Légende: Elts: éléments

C₁: campagne (1)

C2: campagne (2)

Ca2+: calcium

Mg2+: magnésium

Na+: sodium

Cl: chlorures

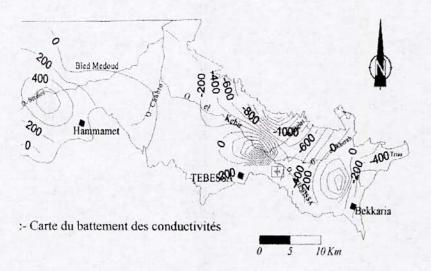
SO₄²: sulfates

Cond.: conductivité

Les résultats des analyses chimiques obtenus lors des deux campagnes indiquent une baisse des concentrations en calcium, sodium, chlorures et sulfates; elle s'accompagne d'une augmentation en magnésium, due probablement à un apport par les formations latérales riches en calcaires.

3.2. Carte de battement de la conductivité

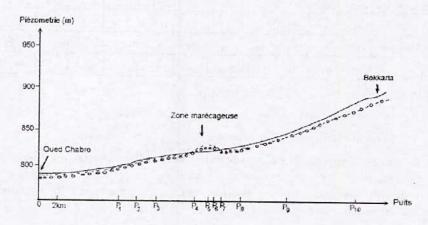
La conductivité a été mesurée sur tous les puits, ce qui a permis de dresser la carte de battement de la conductivité. Dans la partie Est (Bekkaria-Tébessa), au niveau d l'oued Chabro, la conductivité reste stable (D_{cond}=0). Par contre, dans la zone Ouest à Hammamet, on note une augmentation de la conductivité qui serait engendrée par le lessivage des marnes, conférant à l'eau cet excès de minéralisation.



3.3. Discussions et conclusions

Les résultats obtenus mettent en évidence un apport d'eau au niveau de la nappe confirmé par la piézométrie. La baisse des concentrations des éléments chimiques, particulièrement, Ca²⁺, Na⁺, Cl⁻ et SO₄²⁻ est vraisemblablement due à la dilution engendrée par l'apport important des eaux.

Les schémas suivants récapitulent le comportement du système aquifère au cours des deux périodes considérées.



Evolution du niveau piézométrique au cours des deux périodes.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

Apport d'eau

Cla Ca Mg Na Na Na L'oued Joue le role d'un axe de drainage

A. Avant les précipitations exceptionnelles

Retour d'eau

Cd Ca Mg
So4 Na Na

L'oued alimente
la nappe

 B. Après les précipitations exceptionnelles

Influence des précipitations exceptionnelles sur la qualité des eaux des nappes.

Ce travail réalisé sur une période relativement courte (quatre mois) montre la réaction quasi instantanée d'une nappe alluviale aux changements climatiques (quelques mètres de profondeur).

4. BIBLIOGRAPHIE

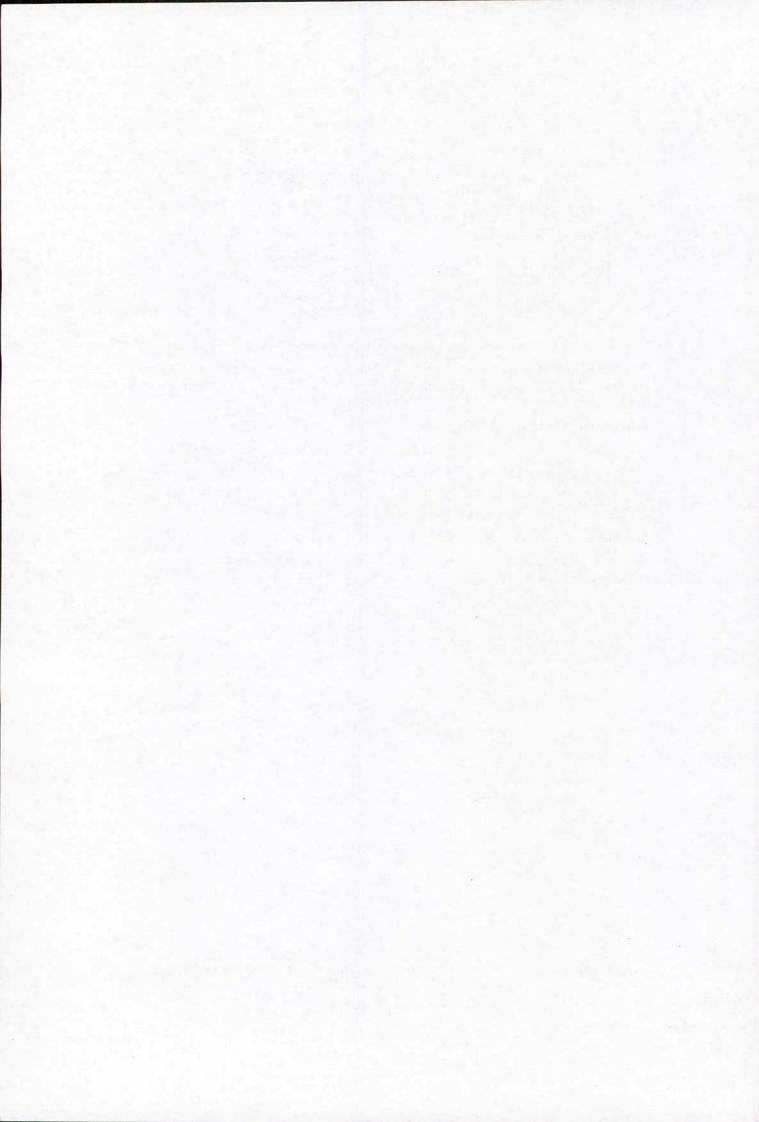
Bouchagoura L., 2003. Mise en évidence des diverses pollutions dans la nappe alluviale de Tébessa.

Mémoire de Magister de l'Université de Annaba.

Gouaidia L., 2000. Approche hydrochimique d'une nappe en zone semi-aride: Cas de la nappe alluviale de Tébessa Extrême Nord-Est algérien.

Mémoire de Magister de l'Université de Annaba.

Younsi A., 2001. Incidences des pluies exceptionnelles sur un aquifère libre côtier en zone semi-aride Chaouia, Maroc). Revue des Sciences de l'eau 14/2: 115-130.



VALORISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION LOCALISEE VALORIZATION OF WASTE WATER IN IRRIGATION LOCALIZED

* Gacem Yasmine

* Centre universitaire moulay tahar de saida (Algérie), Institut d'hydraulique ain el hadjar (W.saida) Email :jasmine_saida@yahoo.fr

RESUME

L'Algérie étant situé dans une zone semi-aride à aride, ses potentialités hydrauliques sont extrêmement limitées". Des efforts considérables ont été consentis pour le pays pour mobiliser les ressources en eau disponibles afin de couvrir ses besoins en eau sans cesse croissants. Ainsi pour l'agriculture, le potentiel irrigable ne représente qu'un faible pourcentage de la surface agricole utile. Dans ce contexte, la valorisation des eaux usées dans l'irrigation agricole peut certainement contribuer à satisfaire les besoins agricoles.

Ceci permettra également de protéger les ressources en eau contre la pollution générée pour les rejets d'eaux usées. Mais cette réutilisation exige toutefois la maîtrise des problèmes qui en résultent, notamment l'impact sur l'environnement.

ABSTRACT

Algeria being situated in a semi-arid zone to arid, its hydraulic potentialities are extremely limited". Considerable efforts have been consented for the country to mobilize available water resources so as to cover its needs in water without ceasing growing. Thus for the agriculture, the potential irrigable represents only a weak percentage of the useful agricultural surface. In this context, the valorization of waste water in the agricultural irrigation can certainly contribute to satisfy agricultural needs.

This will allow equally to protect water resources against the pollution generated for rejects of waste water. But this reuse demands however the mastery of problems that result especially the impact on the environment.

Key words: Agriculture - Environment - Valorization - waste water.

Parmi les différentes voies d'utilisation des eaux usées, l'irrigation agricole est la plus grande consommatrice d'eau. La valorisation des eaux usées en irrigation est considérée non seulement comme la création d'une nouvelle ressource mais aussi et surtout comme un traitement qui permet d'éviter tout rejet direct dans le milieu naturel [1]. Les pays des régions arides et semi aride couplent la réutilisation des eaux usées à l'irrigation localisée, ces pays se heurtent à de nombreuses difficultés allant de la qualité de l'eau jusqu'à la technologie du matériel d'irrigation. (Goutte à goutte, micro jet, ajutage etc.).

L'objectif de cette synthèse est de faire le point sur les principales contraintes liées à l'utilisation des eaux usées en irrigation.

1. CONTRAINTES LIEES A LA QUALITE DES EAUX USEES

La qualité des eaux usées traitées est fonction de la filière de traitement utilisé fig.1 tab.1. Pour la valorisation des eaux usées traitées en irrigation. Ces exigences de qualité (microbiologiques et physico chimiques) varient à leur tour suivant le type de système d'irrigation.

1.1. Qualité microbiologique

La protection de la santé publique est un point très important à considérer, compte tenu des risques de contamination inhérents à l'usage des eaux usées spécialement dans le secteur agricole. La protection de la santé publique est assurée par une série de normes et de réglementations adaptées à la spécificité des différents usages. Pour l'irrigation agricole, par exemple, il existe deux grands groupes de standards : les recommandations de l'OMS (1989) et la réglementation californienne <<Title 22>> (1978) [2].

L'objectif principal de ces normes est de limiter le plus possible, voire d'éliminer, les risques sanitaires. Ainsi, pour l'irrigation sans restriction, c'est-à-dire toutes cultures autorisées et sans limitation d'irrigation, la pollution microbiologique selon l'OMS doit être au-dessous de 1000 coliformes fécaux / 100ml et de moins de 1 oeuf d'helminthe / 1 [3]. <<Title 22>> fixe des restrictions plus sévères, à savoir :

Absence de germes tests et moins de 2.2 coliformes totaux / 100ml. Mais <<Title 22>> ne fixe pas la teneur en oeufs d'helminthes. Cf. tableau 1.

Dans certains pays les normes sont encore plus sévères concernant les eaux usées traitées destinées à l'irrigation des légumes consommés crus. L'Afrique du sud, l'Australie et certains pays du moyen orient exigent une eau de qualité potable pour une telle application. L'État d'Arizona a introduit l'absence de virus comme nouveau paramètre microbiologique. [2].

Tableau 1 : Synthèse des normes actuellement en application. {3,4}

	DIRI	ECTIVE DE L'OMS			TITLE 22	AUTRES	
Catégorie	Condition de réutilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux	Coliformes fécaux	Coliformes totaux		
А	Irrigation de cultures destinées à être consumées crues, terrains de sports et jardins publiques	Ouvriers agricoles Consommateurs Public	S1/I	≤1/l ≤1000/100 ml		Qualité de l'eau potable	
В	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères	Ouvriers agricoles	≤1/l	Aucune norme n'est recommandée	≤2.2/100 ml	Afrique du Sud Australie Autres pays	
Irrigation localise des cultures B, si	Irrigation localisée des cultures B, si les ouvriers ne sont pas exposés	Néant	Sans objet Sans obj			du Moyen- Orient	

Tableau 2:Apport en NPK (kg/ha) par les eaux d'irrigation pour un volume d'eau d'irrigation de 6500 m3/ha [4]

Elements mineraux	Eaux usées	Eaux usées	Besoins théoriques		
	Epurées	Brutes			
N	225	334	175		
P	99	145	75		
K	155	111	175		

L'azote et les autres éléments fertilisant en excès se concentrent soit dans les nappes, entraînant ainsi une détérioration de la qualité de l'eau, soit dans les eaux de surfaces où ils favorisent le phénomène d'eutrophisation.

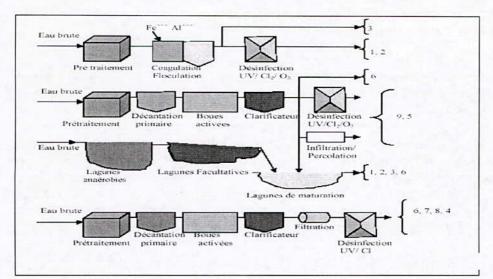


Figure 1 : Principales filières de traitement pour la réutilisation agricole des eaux usées résiduaires urbaines [2]

Tableau 3: Les normes de qualité bactériologique suivant les pays {3,4}

Pays/ Région	Catégories	Coliformes Fécaux	Coliformes Totaux	Nématodes Intestinaux	Virus	Cod e
France	Α	≤1000/100 ml		≤1/I		1
Mexico	В	≤1000/100 ml			_	2
(OMS)	С		_			3
Les Canaries,	_	-	≤2.2/100 ml	_		4
Californie(Title 22),	-	- 1	≤2.2/100 ml		-	5
Israël	-		2.2/100 ml			6
Floride	_		≤2.2/100 ml		-	7
Arizona	_		≤1/100 ml	-	≤1PFU¹/40ML	8
Australie	_	≤750/100 ml	-	_		9

2. IMPACT DES EAUX USEES SUR LE MATERIEL D'IRRIGATION LOCALISEE

2.1. Colmatage des filtres

La mesure de la capacité de bouchage des eaux usées s'effectue à partir d'un instrument qui mesure la pression nécessaire pour maintenir un débit constant à travers un filtre standard. En tout début quand le filtre est propre la pression est à zéro, ensuite, au fur et à mesure que le filtre se colmate, la pression devient de plus en plus grande. La capacité de bouchage de l'eau est exprimée par l'augmentation de la pression par rapport au temps (atmosphère / minute) × 1000 ou <<ATMIN>>.

L'instrument permettant la mesure fonctionne avec un courant continu de 12 Volts et est fabriqué pour être utilisé à bord d'une barque, en vue de faciliter la mesure de la capacité de bouchage de l'eau des réservoirs à différentes profondeurs [5].

Les résultats des études menées en Israël ont permis de conclure que la capacité de bouchage des eaux usées stockées augmente rapidement en fin de saison d'irrigation, quand les

réservoirs sont presque vides et que le pourcentage d'eau provenant du réseau d'assainissement augmente [6].

2.2. Bouchage des organes de distribution

Dans les systèmes d'irrigation localisée, l'eau est amenée à la parcelle au moyen de conduites en plastiques et distribuée aux plantes au moyen de différents types de distributeurs (goutteurs, ajutage, micro asperseurs, gaines perforées) dont le débit varie généralement de 2 à 12 litres/heure pour les goutteurs et de 50 et 150 litres/heure pour l'ajutage et le micro jet. Ceci signifie qu'au niveau des systèmes qui ne disposent pas en amont d'un filtrage approprié, l'eau arrive aux distributeurs chargés de particules qui peuvent entraîner leur bouchage. Les particules susceptibles de provoquer le bouchage sont : les particules minérales (sable, argile, limon...) en suspension dans l'eau, les matières organiques (particules alimentaires, algues, zooplanctons, bactéries, protozoaires, champignons...) et les dépôts chimiques. Certains d'entre eux entraînent un bouchage progressif, d'autre un bouchage brutal des distributeurs [4].

Le bouchage brutal des distributeurs est provoqué en général par des éléments grossiers d'origine minérale ou organique en suspension dans l'eau. Par contre, deux mécanismes interviennent dans l'accroissement du colmatage (bouchage progressif).

- Quand la rampe est vide, les algues et les éléments fins sèchent et forment des pellicules. Après la reprise de l'irrigation, celles-ci sont entraînées par l'eau et viennent boucher les orifices.
- Les éléments d'origine organique entraînés par le vent se déposent dans la rampe à travers les orifices.

3. TECHNIQUES PERMETTANT DE RESOUDRE LES ROBLEMES D'OBSTRUCTION

3.1. Irrigation localisée en surface

L'irrigation localisée de surface est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution de l'eau à la parcelle (goutteurs, ajutages, micro jet, gaines perforées). Elle se caractérise par:

La mise en place sur la parcelle d'un réseau dense de canalisations (rampes), perforées ou munies, de distributeurs, couvrant totalement la surface à irriguer, L'apport de l'eau au voisinage de la plante.fig.2

L'eau se localisée en surface, pénètre dans le sol où elle se déplace verticalement par gravité, obliquement et horizontalement par capillarité dans la zone explorée par les racines.

Ces éléments gonflent sous l'effet de l'humidité et boucher les distributeurs [4].

3.2 Système enterre

En irrigation localisée enterrée, les rampes sont placées à une profondeur de 20 à 50 cm. Le fait de placer les rampes sous le sol implique l'utilisation de distributeurs adaptés et de produits chimiques pour limiter le bouchage par des racines et / ou des particules de sol.

L'irrigation souterraine fonctionne à l'inverse du drainage: l'eau est envoyée à basse pression dans des conduits perforés ou équipés de distributeurs et remonte par capillarité. Le mode de distribution peut être varié:

■ Tuyaux très poreux (gaines perforées à simple ou à double paroi) continuellement en charge et laissant diffuser l'eau nécessaire dans le sol.

Drains ordinaires.

Lignes de goutteurs.

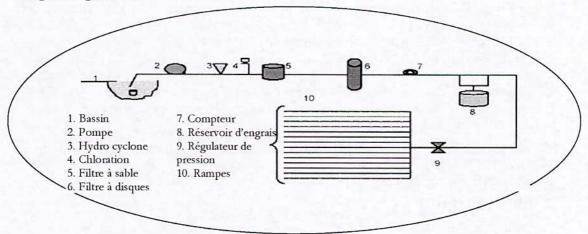


Figure 2: Schéma d'un système d'irrigation localisée avec eaux usées [6].

Les projets d'irrigation localisée en profondeur réalisée en Hawaii utilisent des goutteurs ayant des sinuosités et des orifices relativement grands. La protection des goutteurs contre l'intrusion des racines est assurée par l'injection de "trifluralin" dans le réseau. Le "trifluralin" est un produit chimique, approuvé par l'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis, qui protège l'orifice des goutteurs de la pénétration des racines [7].

Selon G. Oran, l'implantation de l'irrigation localisée en surface et en profondeur est à encourager dans les zones arides et semi-arides, particulièrement là où les ressources en eau sont limitées [8]. Ce mode d'application permet de valoriser des eaux à forte teneur en sel ainsi que des eaux usées.

D'autres avantages de l'irrigation localisée en surface et en profondeur sont les suivants:

- Réduction des risques de contamination résultant du contact des eaux usées avec les cultures, les ouvriers agricoles et l'environnement immédiat de la parcelle.
- Réduction des pertes par évapotranspiration et par ruissellement.
- Limitation du développement des mauvaises herbes.
- Diminution de la main d'œuvre et de la quantité d'engrais.
- Optimisation de l'absorption des éléments fertilisants (N, P, K)
- Protection des rampes et des goutteurs contre l'agression du climat, des oiseaux, des insectes et des rongeurs (en profondeur).

Les inconvénients de l'irrigation localisée sont les suivantes:

- Coût d'investissement relativement élevé par rapport aux autres systèmes d'irrigation.
- Exige un certain savoir-faire à tous les niveaux de l'étude préliminaire en passant par la conception de l'installation jusqu'à la conduite de l'irrigation à la parcelle.
- Nécessite une maintenance rigoureuse, en raison des risques liés à une interruption des arrosages.
- Fonctionne avec du matériel délicat à durée de vie relativement faible.

4. CONCLUSION

L'irrigation localisée permet d'utiliser une eau usée traitée de qualité microbiologique moins bonne à la sortie de l'unité de traitement, donc moins coûteuse, mais requiert un dispositif de distribution fragile et onéreux. L'avenir de l'utilisation des eaux usées en irrigation localisée repose sur l'aspect économique de la question, à savoir la recherche du point d'équilibre entre le coût de l'eau recyclée, du matériel d'irrigation et de l'impact du projet sur l'environnement. La mise en application de normes et de politiques destinées à assurer une protection véritable des milieux récepteurs et le problème que pose l'acceptabilité des projets de réutilisation des eaux usées en agriculture portent les décideurs à s'orienter davantage vers l'irrigation localisée comme une solution efficace et sûre.

L'irrigation localisée en profondeur peut, dans une certaine mesure, être considérée comme un élément de réponse à ce long débat sur les critères de qualité des eaux usées, principalement dans les régions où il est difficile de contrôler la qualité des effluents.

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Conseil Général de L'herault. L'Hérault s'engage dans la réutilisation des eaux usées.
- Technique Science Méthode, Septembre 1996, n° 9, p. 589 592
- [2] Lazarova Valentina. Rôle de la réutilisation des eaux usées pour la gestion intégrée des ressources. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, 1999, n° 227, p. 147 157
- [3] Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture: recommandations à visées sanitaires. Genève, OMS, 1989, p. 15 42
- [4] Xanthoulis Dimitri. Réutilisation agricole des eaux usées. In: Traité d'irrigation TIERCELIN J. Robert. Paris, Lavoisier, 1998, p. 628 630
- [5] Telsh B. et al. The clogging capacity reclaimed wastewater: a new quality criterion for drip irrigation. Water, Science and Technology, 1991, vol. 24, p. 131 132
- [6] Avidan Albert. Technique moderne d'irrigation. Ministère de l'Agriculture Etat d'Israël, 1999, p. 25 – 35
- [7] Gushiken Elson. Water reuse through permanent subsurface drip irrigation systems. Guideline for the treatment and use of reclaimed water, Hawaii State Department of Health, 1993, p. 13-27
- [8] Oran Gideon et al. Subsurface micro irrigation with effluent. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, February 1991, vol. 117, n° 1, p. 25 35

POLLUTION ET MOYENS DE TREAITEMENT DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE

(1)Y. Gacem, Aek. Iddou⁽²⁾

Centre Universitaire de Saida Moulay Tahar. Département D'hydraulique 20000 Saida
(1) 2 im année magistère option traitement des eaux, Email : jasminc_saida@yahoo.fr
(2) Maître assistant chargé de cours .S.T.ORAN

RESUME

Les pollutions dites diffuses proviennent d'épandages de produits solides ou liquides à la surface du sol sur des superficies importantes : par exemple engrais, herbicides, pesticides...

Les pollutions ponctuelles, par contre, proviennent d'une surface délimitée, faible vis-à-vis du bassin versant des eaux souterraines ou de surface, et définie dans un espace géographique. Elles sont qualifiées quelques fois d'accidentelles, mais elles ont le plus souvent pour origine des fuites sur des conduites ou des cuves, ou l'infiltration de lixiviats d' un dépôt solide, quelquefois la retombée de polluants, émis dans l'atmosphère, sur le sol à proximité des points d'émission. La nature des produits polluants peut être fortement variée, mais les plus fréquemment rencontrés sont les hydrocarbures (ce sont les liquides autres que l'eau les plus largement distribuées), les solvants chlorés, les chlorures, les sulfates, quelques métaux lourds particulièrement mobiles (chrome hexavalent par exemple), et autres sous-produits de l'industrie.

Dans la plupart des cas, la pollution de l'eau d'une nappe par une substance indésirable provoque de simples nuisances: l'eau est rendue impropre pour certaines utilisations (eau potable, eau agricole, eau industrielle), sans qu'il y ait un réel danger pour la santé. C'est par exemple, la plupart du temps, le cas des pollutions par hydrocarbures ; le seuil de détection à l'odeur et au goût est si faible que l'eau est impropre à la consommation bien avant que des doses préjudiciables ne soient ingérées.

En revanche, certaines substances dissoutes dans l'eau peuvent être peu sensibles et comporter un risque pour la santé. Fort heureusement les analyses de contrôle sur les exploitations d'eau potable sont, le plus souvent, suffisamment nombreuses et fréquentes pour que ce risque soit très faible.

Mots clés: Pollution - Nappes - Sols - Dépollution - Protection - Traitement.

SUMMARY

Diffuse Pollutions come from the spread of solid products or liquids on the surface of the ground of important areas; for example : fertilizer, herbicides, pesticides...

Punctual pollutions, on the other hand, come from a delimited surface, It is weak via the basin pouring underground or surface waters, and defined in a geographical space. They are sometimes qualified as being accidental, but they are , the most often, originated from escapes on the driven or vats, or the lixiviates infiltration of a solid deposit, sometimes the fallout of pollutants, emits in the atmosphere, on the ground in the proximity of emission points. The nature of products polluting can be strongly varied, but the most frequently met are hydrocarbons (they are other liquids than water, which are the most largely distributed), chlorinated solvents, chlorides, sulphates, some particularly mobile heavy metals (hexavalent chromium for example), and other by-products of industry.

In most cases, the pollution of a water sheet by a undesirable substance provokes simple pollutions: the water becomes unclean for some uses (drinking water, agricultural water,

industrial water), without having a real danger for health. It is, for instance and for most of the time, the case of pollutions by hydrocarbons; the odour and taste detection threshold is so weak that the water is unclean to the consumption and this before prejudicial doses are not interfered.

On the other hand, some dissolved substances in water can bring health risks. Fortunately control analyses on clean water exploitations are, the most often, sufficiently numerous and frequent so that this risk is very weak.

Key words: Pollution- sheets- grounds- purification- protection- treatment.

1. POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES

Les pollutions dites diffuses proviennent d'épandages de produits solides ou liquides à la surface du sol sur des superficies importantes : par exemple engrais, herbicides, pesticides...

Les pollutions ponctuelles, par contre, proviennent d'une surface délimitée, faible vis-à-vis du bassin versant des eaux souterraines ou de surface, et définie dans un espace géographique. Elles sont qualifiées quelques fois d'accidentelles, mais elles ont le plus souvent pour origine des fuites sur des conduites ou des cuves, ou l'infiltration de lixiviats d' un dépôt solide, La nature des produits polluants peut être fortement variée, mais les plus fréquemment rencontrés sont les hydrocarbures (ce sont les liquides autres que l'eau les plus largement distribuées), les solvants chlorés, les chlorures, les sulfates, quelques métaux lourds particulièrement mobiles (chrome hexavalent par exemple), et autres sous-produits de l'industrie.

La pollution de l'eau d'une nappe par une substance indésirable provoque de simples nuisances: l'eau est rendue impropre pour certaines utilisations (eau potable, eau agricole, eau industrielle), sans qu'il y ait un réel danger pour la santé. C'est par exemple, la plupart du temps, le cas des pollutions par hydrocarbures ; le seuil de détection à l'odeur et au goût est si faible que l'eau est impropre à la consommation bien avant que des doses préjudiciables ne soient ingérées.

En revanche, certaines substances dissoutes dans l'eau peuvent être peu sensibles et comporter un risque pour la santé. Fort heureusement les analyses de contrôle sur les exploitations d'eau potable sont, le plus souvent, suffisamment nombreuses et fréquentes pour que ce risque soit très faible.

2. CARACTERES DES POLLUANTS

(D'après BALLERINI et al., 1998)

2.1. Adsorption

Ce paramètre représente le potentiel d'un composé à s'adsorber sur le sol, résultant des actions physico-chimiques eau/roche. L'adsorption va de pair avec la surface spécifique des grains ou des fissures. Elle va se traduire par une diminution de la mobilité et de l'accessibilité du polluant.

L'adsorption dépend de la charge électrique des polluants. Les polluants chargés électriquement ont tendance à se lier aux particules d'argile et autres minéraux, alors que ceux non chargés s'associeront préférentiellement à la matière organique. Les polluants peuvent être adsorbés par des interactions ioniques, polaires, hydrophobes ou hydrophiles.

2.2. Biodégradabilité

La biodégradation des composés organiques se produit en condition aérobie ou anaérobie selon la structure moléculaire et les conditions environnementales. Le potentiel de biodégradation permet de classer les composés en trois catégories :

- les composés dégradables
- les composés persistants : ne changent pas d'état spontanément
- les composés récalcitrants.

3. PRINCIPAUX TYPES DE POLLUANTS CHIMIQUES

Les exemples locaux sont tirés du mémoire de A. DESBORDES (2001).

3.1. Les micro-polluants métalliques

Les pollutions engendrées par la présence de métaux dans les eaux souterraines sont dues généralement aux activités industrielles par rejets d'effluents et par lessivage de produits stockés sur un sol.

Certains de ces métaux peuvent être toxiques (cadmium, chrome, mercure, plomb...), D'autres éléments sont considérés comme indésirables et peuvent présenter des inconvénients au consommateur d'ordre organoleptique : goût, saveur, coloration. C'est le cas pour le cuivre, le zinc, le fer, le manganèse, l'aluminium.

3.2. LES nitrates et autres composés azotés

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniaque, nitrites, etc) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. La présence d'azote ammoniacal dans les eaux souterraines provient des rejets d'effluents domestiques et industriels.

Les nitrates sont des sels trés solubles qui sont facilement entraînés en profondeur par les eaux d'infiltration. Leur origine est principalement agricole, la pollution engendrée est diffuse: ils sont le résultat de:

*un excès de matières organiques végétales en décomposition sur et dans le sol après la récolte, après un déboisement.

*un épandage d'engrais azotés en quantité supérieure aux besoins des plantes cultivées: engrais chimiques (nitrates de potasse, scories, ...) et engrais organiques (fumier, lisier, boues de Stations d'Epuration...)

L'origine domestique et industrielle est secondaire; la pollution engendrée est plus ponctuelle (assainissement défectueux par exemple).

3.3. Les autres substances minérales

Les chlorures, les sulfates, le fluor (étant des paramètres de la qualité naturelle des eaux) et des éléments toxiques tels que le cyanure et l'arsenic sont des substances minérales issues de l'activité humaine et susceptibles de polluer les nappes de façon ponctuelle.

3.4. Les détergents (tensioactifs)

Ce sont des substances utilisées pour les diverses opérations de nettoyage. Un détergent est un produit complexe contenant un ou plusieurs agents de surface et des composés minéraux (carbonates, phosphates, polyphosphates, perborates), souvent associés à des matières organiques améliorantes (carboxyméthyl-cellulose, alkanolamides), à des enzymes hydrolysants et à des séquestrants (dérives de l'acide éthylènediamine tétracétique et de l'acide mitriloacétique). La biodégradabilité de ces substances est trés variable. Les détergents sont rares dans les eaux souterraines, sauf dans les zones suburbaines, en liaison avec les puisards recevant les eaux usées et dans certaines nappes alluviales en relation étroite avec un cours

d'eau pollué. Ces détergents sont peu toxiques mais ils facilitent par leur pouvoir mouillant la dispersion et le transfert d'autres polluants comme les pesticides.

3.5. Les pesticides

3.6. La matière organique diffuse

La matière organique résiduelle peut être rencontrée dans les aquifères fissurés (karst) et dans les aquifères alluviaux. Elle constitue un milieu nutritif favorable au développement des micro-organismes, notamment pathogènes. Sa présence est un indice de pollution généralement d'origine proche. Elle favorise l'apparition de mauvais goûts, notamment à la suite d'une chloration, et d'odeurs désagréables.

4. LES POLLUTIONS MICROBIOLOGIQUES

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau. La surveillance microbiologique des eaux de distribution concerne les paramètres suivants: coliformes thermotolérants (Escherichia coli, Enterobacter cloacae, Salmonella, Yersinia enterocolitica, ...), streptocoques fécaux (genres Enterococcus et Streptococcus) et bactéries aérobies revivifiables à 22°C (germes saprophytes) et à 37°C (germes pathogènes ou plutôt hébergés par l'homme et par les animaux à sang chaud).

5. LES DIFFERENTS TYPES DE POLLUTIONS EXISTANT EN ALGERIE

5.1 La pollution industrielle

L'industrie algérienne a connu un développement remarqué tant dans sa diversité que dans sa capacité, mais il faut noter que le processus d'industrialisation s'est effectué dans des conditions qui n'ont pas respecté les préoccupations environnementales

Avant la promulgation de la loi relative à la protection de l'environnement en 1983 (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000), les projets industriels étaient réalisés sans études d'impact sur l'environnement. Les opérateurs économiques de main-d'œuvre, à proximité des voies de communication et disposant de toutes les commodités. C'est ainsi que l'industrie s'est développée parfois sur des étendues de terres agricoles, ce qui a eu des effets néfastes sur les cultures.

Dans le choix des procédés de fabrication, les critères de protection de l'environnement n'étaient pas essentiels. Cette situation a eu des effets préjudiciables sur l'environnement et sur la santé publique.

Les principaux cas de pollution des ressources en eaux superficielles pendant la période 1985-1992 (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement 2000) montrent que les effluents industriels contribuent de manière notable à la pollution des cours d'eau et des ouvrages de mobilisation.

5.2. Pollution par les produits chimiques

5.2.1. Les produits chimiques utilisés dans l'agriculture

Des stocks importants de produits phytosanitaires se sont constitués au fil des années. Une enquête de l'Agriculture avait déjà révélé l'existence de 11000 tonnes de produits périmés. Une deuxième enquête effectuée en 1987 par l'ONAPSA avait rapporté l'existence d'un stock estimé à 5000 tonnes seulement ;6000 tonnes (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000) avaient donc disparu dans la nature en l'espace de 6 ans. Ce qui constitue une source importante de pollution de l'environnement et notamment des ressources en eau. Des taux de concentration des nitrates élevés sont d'ailleurs fréquemment relevés dans les eaux de surface et même dans certaines eaux souterraines.

Une étude réalisée par l'A.N.R.H (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000) et l'université de Blida, de 1990 à 1993, a révélé des niveaux critiques de pollution par les nitrates.

5.2.2. Les déchets radioactifs

Les déchets radioactifs rencontrés en Algérie proviennent des industries, des structures hospitalières et de certains laboratoires. En 1991, il a été rapporté les quantités en stock suivantes : (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000)

- Déchets solides : 588 sources ;
- · Déchets liquides : 100 litres ;
- Déchets gazeux : Quelques ampoules de krypton.
- Ces déchets sont récupérés et stockés dans le Centre national de radioprotection et de sûreté.

5.3. Contamination des eaux par les trihalométhanes

La teneur en trihalométhanes (THM) préoccupe la santé publique. Les THM sont le résultat entre la matière organique résiduelle et le chlore (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000). Les pics de concentration sont observés lors des épisodes de dégradation de la qualité des eaux brutes (crues au niveau des barrages).

6. ORIGINE ET QUANTITE DES EAUX USEES EN ALGERIE

Dans la ville nous trouvant différentes sortes d'eaux usées :

- Les eaux ménagères ;
- · L'eau de pluies ;
- Les eaux non polluées d'origine souterraine infiltrant dans les réseaux dégoût ;
- Les eaux industrielles.

Les quatre catégories forment la totalité des eaux usées à évacuer hors des agglomérations.

Les trois premières constituent les eaux usées communales contenant surtout des matières en décomposition mais aussi des résidus de poudre à laver, elles sont presque toujours non toxique et ainsi biodégradables.

Normalement la majeure partie des eaux usées est traitée avant d'être évacuée dans les cours d'eau. Leurs matières organiques sont pour la plupart éliminées par sédimentation puis action de micro-organismes aérobies à la faveur de leur passage à travers des filtres.

Les dispositifs de traitement n'arrêtent pas tout, ils laissent passer par exemple les détergents synthétiques. Il y a quelques années les cours d'eau étaient défigurées par des masses d'écume blanche qui provenait des détergents « durs » utilisés en général pour les lavages domestique et dans l'industrie textile.

Les eaux provenant d'usages domestiques sont rarement des poisons dangereux. De plus leurs constituants nocifs favorisent le développement d'organismes indésirables dans les eaux qui les reçoivent, par contre les déchets industriels sont parfois toxiques, les dégâts causés par des métaux tels que le cuivre, le zinc, le plomb et le mercure ne sont pas rare. Les plus dangereux avec ces métaux et qu'ils ont souvent des effets cumulatifs. Les réactions des organismes à ces métaux sont très diverses, les algues sont particulièrement sensibles au cuivre (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnemen, 2000).

Afin de lutter contre cette pollution liée aux dangers que constitues les eaux usées domestiques, l'administration algérienne a procédé durant les années 80 à l'exécution d'un

programme de réalisation de stations d'épuration. Ces dernières permettent le traitement d'environ 4 millions équivalent /habitant.

De plus, d'autres stations d'une capacité de traitement d'environ 1,2 millions équivalent /habitant sont en cours de réalisation. (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000). Malheureusement, ces stations sont inopérantes dans leur majorité. Cette situation se répercute gravement sur l'environnement et notamment sur la qualité des eaux superficielles.

Comme déjà sus-cité, et d'après les études menées par l'ANRH, d'importantes parties d'oueds sont déjà pollués. Cette situation concerne les lacs, certaines rivières, le niveau des plans d'eau (barrages, retenues) et des principales zones de débouchés maritimes. (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000)

Selon ces études on peut constater également que plusieurs barrages sont pollués, notamment :

- Béni-Mahdel (pollué par les rejets des villes de Sebdou et Khemis) ;
- Bakhadda (pollué par les rejets de la ville de Tiaret) ;
- Bougara (pollué en aval de Tissemsilte par un virus rendant l'eau impropre à l'irrigation, usage pour lequel ce barrage est principalement destiné);
- Ouizert (pollué par les déchets de la ville de Saida);
- Bouhanifia (pollué en aval de celui de Ouizert, recevant les rejets de la station thermale);
- Fergoug (pollué en aval des deux précédents, et alimentant Oran ; le couloir Arezw Oran présente les mêmes signes de pollution) ;
- Lakhal (pollué par les rejets de Sour EL-Ghozllane) ;
- Hammam Grouz (pollué par les rejets de la ville de Chelgoum EL-Aid);
- Oued Harbil pollué par les rejets de la ville de Médéa. La pollution de nature microbienne empêche la mise en service de la dérivation devant alimenter le barrage de Bouroumi destiné à l'irrigation de la plaine de la Mitidja Ouest.

7. LES DEFENSES NATURELLES CONTRE LES POLLUTIONS

7.1. Rôle du sol

Les sols constituent un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Le complexe argilo-humique confère des propriétés d'adsorption et d'échange : le sol constitue un système accumulateur de substances très diverses.

Le sol peut être un réservoir pour les germes pathogènes introduits accidentellement. Les bactéries circulent relativement peu dans les sols et sont retenues dans les premiers centimètres, à la différence des virus qui sont facilement entraînés et peuvent contaminer la nappe sous-jacente.

7.2. Rôle protecteur des berges des cours d'eau

Les dépôts vaseux situés au fond des cours d'eau et latéralement à proximité de la berge, riches en bactéries, sont le siège du processus de biodégradation des hydrocarbures, par exemple, et de l'accumulation des métaux lourds (Zn, Pb, Cd, As, Mn) qui se fixent sur les particules argileuses des alluvions.

8. PROTECTION DES NAPPES CONTRE LES POLLUTIONS

8.1. Le périmètre de protection rapprochée

Le périmètre de protection rapproché doit protéger le captage de la migration de substances polluantes. Sa surface dépend des caractéristiques locales; elle varie entre 1 et 10 hectares. Toutes les activités, installations et dépôts susceptibles de nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux sont interdits ou réglementés; il s'agit généralement de:

- la réalisation de forages et puits autres que ceux nécessaires à l'extension ou à la surveillance du champ captant
- · l'exploitation des carrières, le remblaiement d'excavations
- le dépôt de déchets et de tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité des
- l'installation de canalisations, réservoirs ou dépôts d'hydrocarbures, de produits chimiques et d'eaux usées
- l'épandage ou l'infiltration des lisiers et d'eaux usées d'origine domestique ou industrielle.

9. MOYENS DE TRAITEMENT DES NAPPES POLLUEES

Les procédés de décontamination des nappes polluées font appel à des voies physiques, chimiques et biologiques.

- Les voies physiques comprennent le pompage de l'eau, l'écrémage du polluant surnageant, la ventilation par bullage dans la nappe, la filtration par membrane.
- Les voies chimiques font appel aux réactions d'oxydation par O₃, H₂O₂ (avec U.V.)
- Les voies biologiques utilisent l'action des microorganismes du sol dont l'activité est stimulée par adjonction de nutriments et de dioxygène.

Ces différentes voies sont généralement associées.

Les traitements de décontamination peuvent être réalisés:

- in situ: le polluant est traité sur place, dans la zone non-saturée et la zone saturée
- ex situ: l'eau est pompée, traitée en surface puis réinjectée dans l'aquifère.

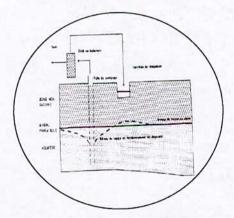


Figure 3: Pompage et traitement en surface de l'eau polluée (d'après Etude interagence n° 36).

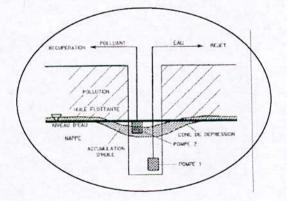


Figure 2: Technique in situ de pompageécrémage (d'après LECOMTE).

• Le confinement

Dans certains cas le confinement de pollutions, provenant par exemple de décharges, par une couche étanche à la surface du dépôt, et la réalisation d'une paroi étanche barrant la circulation des eaux souterraines, a été mise en oeuvre, évitant ainsi la lixiviation et l'entraînement de substances indésirables dans les eaux souterraines.

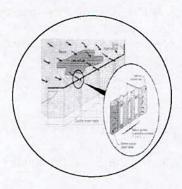


Figure 4: Confinement et barrière active (procédé SOLETANCHE BACHY).

10. LE TRAITEMENT PAR BARRIERES ACTIVES

Ce procédé, tout récemment mis au point consiste à contribuer à l'élimination physicochimique des produits polluants en mettant en place une barrière verticale, réalisée avec des moyens techniques équivalents à ceux utilisés pour créer des parois étanches souterraines. Les ouvrages sont disposés de telle façon qu'ils interceptent l'écoulement naturel des eaux souterraines, et le remplissage des parois est effectué avec des produits réactifs. La même technique peut être utilisée en employant des filtres biologiques.

11. LA BIODEGRADATION

Le sol contient naturellement des souches bactériennes qui ont la faculté de s'adapter rapidement à la dégradation des produits organiques qui se sont infiltrés suivant leur nature. De nombreux produits organiques sont biodégradables en milieu aérobie : c' est notamment le cas des hydrocarbures. On essaie alors d'accélérer cette biodégradation en facilitant la circulation d'oxygène, par exemple en aspirant les gaz présents dans la zone non saturée par des forages correctement équipés, et en apportant des nutriments complémentaires, comme par exemple des nitrates et des phosphates.

L'ajout de souches bactériennes, particulièrement adaptées, est quelques fois réalisé.

Le stade ultime de la bio dégradation (minéralisation complète et transformation en CO_2 et H_20) est un objectif lointain, l'apport d'oxygène étant généralement insuffisant. Il s'agit le plus souvent d'une bio transformation.

Certains polluants, comme les solvants chlorés (trichloréthane, trichloréthylène. . .), sont biodégradables uniquement en milieu anaérobie.

Des recherches sont actuellement menées pour mettre au point des procédés de dépollution <u>in situ.</u> En voici quelques exemples:

Traitement in situ par filtre biologique

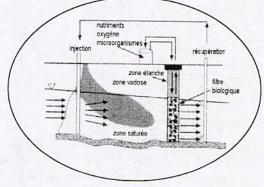


Figure 6: Procédé par filtre biologique in situ (d'après R. SAMSON in S. RENARD, 2002)

12. REFERENCES

AGENCE DE L'EAU, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT (1994) – Décontamination des nappes: état de l'art. Etudes interagences n° 36.

BALLERINI D., GATELIER C. et VOGEL T. (1998) – Techniques de traitement par voies biologiques des sols pollués. ADEME, 246 p.

BERAUD J.F. (2001) – La protection des ressources en eau. Bull. Spéc. Eau, ENS Géologie, Nancy, 25-28.

BARBIER J. et CHERY L. (1999) – Origine des éléments indésirables ou toxiques dans les eaux souterraines: réalisation d'un inventaire national et essai d'identification de l'origine des teneurs anormales. Rap. B.R.G.M. R 40448, 62 p.

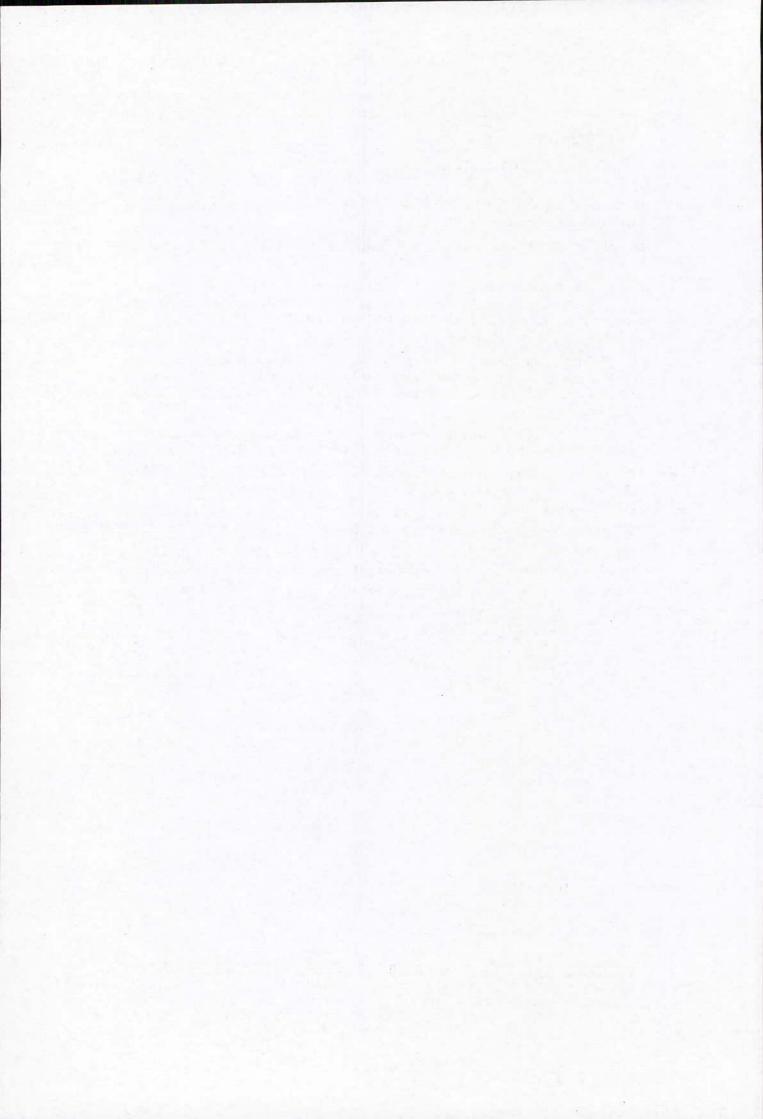
BERTHELIN J., BLOCK J.C., DUTARTRE Ph., FERARD J.F., HENRY A.L., LEYVAL C., MOREL J.L., MUNIER-LAMY C. et SINAJ S. (1995) – Traitement biologique des sols pollués au cours d'activités industrielles: réflexions sur une grille méthodologique permettant de définir la faisabilité d'un objectif de dépollution appliqué à la qualité des eaux. Agence de l'Eau Rhin Meuse, 150 p.

BONVOISIN N. (2001) – Transfert des polluants à la nappe: cas de la Picardie. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sci., Amiens, 60 p. + annexes.

DESBORDES A. (2000) – Pollution des eaux souterraines: cas de la Picardie. Mém. Maîtrise BG, Fac. Sci. Amiens, 42 p. + annexes.

DESBORDES A. (2001) – Qualité, dépollution et traitement des eaux de nappes.Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sci., Amiens, 65 p. + annexes.

GUILLEMIN C. et ROUX J.C. (1991) – Pollution des eaux souterraines en France, bilan des connaissances, impacts et moyens de prévention. Ed. BRGM, manuels et méthodes, n° 23, 262 p.



ETAT DE CONNAISSANCE SUR LES DIFFERENTS SYSTEMES MECANIQUES IMPLIQUES DANS LA RESTAURATION DES LACS ET RESERVOIRS

M. Gafsi (1, 2), A. Kettab(2) S. Benmamar(2), et S. Benziada(2)

(1) Université Ammar Telidji de Laghouat, Email : m.gafsi@mail.lagh-univ.dz (2) Laboratoire de recherches en Sciences de l'eau : LRS-EAU/ENP Ecole Nationale Polytechnique

RESUME

Les techniques de restauration des lacs ou prévention contre l'eutrophisation sont nombreuses (chimiques, biologiques, mécaniques,...). Vu le coût excessif et le rendement relativement faible de quelques unes d'entres elles, le processus d'aération dynamique est un des moyen les plus prometteurs [8].

Quatre techniques de stratégies de contrôle des éléments nutritives sont sélectionnes pour cette étude : déstratification artificielle par les bulles plumes, l'aérateur d'élévation partiel (ou total) d'air, l'oxygénation par les bulles plumes et l'oxygénation par le Speece Cône.

Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients. Une analyse technique et économique élaborées par différentes recherches révèle que l'oxygénation hypolimnètique est la stratégie la plus favorable pour le contrôle des élément nutritives ([5], [11]). Dans tous les systèmes aération hypolimnetique, le système d'aération par les bulles plumes apparaît d'être le plus économique, et peut être le plus simple pour les systèmes utilisés dans le lac Standley (Colorado, USA). Alors que d'autres recherches sélectionnent le système d'aération Speece Cône [14].

Sur la base de ces recherches, l'étude présenter ici fait un état de synthèse sur un nombre d'issues lies à l'aération dans les lacs et réservoirs, incluant les avantages et les inconvénients de ces systèmes d'aération. Aussi, cette étude se concentre sur le cote économique et technique associes avec ces systèmes d'aération.

Le travail qu'on doit présenter ici est une étude d'avant projet, qui consiste à présenter les limites d'utilisations et les impacts de ces techniques sur les réserves d'eau, et ceci pour décider à un choix de la technique la plus efficace pour la projeter dans notre future projet.

Mots clés: Destratification - Aération hypolimnètique - Oxygène dissous - Gaz d'azote - lacs.

1. INTRODUCTION

La densité de stratification dés lacs et les eaux des réservoirs est un fait commun ([7], [9]). La stratification thermique des lacs et réservoirs peut résulter largement à une perte d'oxygène de l'hypolimnion, lequel peut avoir des impacts négatifs sur l'eau froide des poissons, l'eau d'alimentation et la qualité de l'eau à l'aval [13]. Quand la durée est suffisamment longue la perte de l'oxygène résultant de la demande biochimique et biologique se produit dans l'eau hypolminètique qui est devenue isolée de la surface d'eau. Les conséquences immédiates de celles-ci varient et peuvent inclure à la formation des composés du fer et du manganèse en solution et en suspension qui provoquent la mort des poissons ([9], [10]), des recyclages internes accélérés des éléments nutritifs, solubilisation du métal, et des problèmes de goûts et d'odeurs qui sont indésirables dans les réserves d'eau ([10], [12]).

La restauration des lacs doit améliorer le niveau d'oxygène hypolimnètique et de limiter le recyclage du phosphore à partir des sédiments dans l'eau du lac [8].

Le mélange artificiel des lacs stratifies avec les aérateurs peut effectuer un nombre de changement par exemple, dans la composition de la population algale, dans le nombre total des algues, dans le taux de croissance, en plus causant une compensation presque complète du déficit de l'oxygène résultant à partir de l'activité métabolique [6].

Les techniques utilisées pour résoudre l'état anaérobie des lacs peuvent être groupées en deux grandes catégories : la destratification artificielle et l'aération hypolimnètique. La méthode la plus simple est la destratification artificielle où l'air comprimé est introduit à travers des diffuseurs localisés au fond du lac. L'aération hypolimnetiques est une stratégie utilisée pour maintenir le milieu aérobie dans l'hypolimnion tout en préservant la stratification thermique [14]. Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients.

Sur la base de plusieurs recherches axées sur ce domaine, l'étude présentée ici fait un état de synthèse bibliographique sur un nombre d'issues liées à l'aération dans les lacs et réservoirs, incluant les avantages et les inconvénients de ces systèmes d'aération. Aussi, cette étude se concentre sur les cotés économique et technique associés avec ces systèmes d'aération.

2. SYSTEMES D'AERATION

2.1. L'aération par le système de destratification

L'aération par déstratification est premièrement exposée par **Scott** et **Foley** en 1919, cette technique est plus fréquemment achevée par injection de l'air à travers un seul diffuseur d'air (Figure N°1) [5].

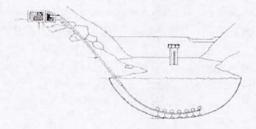


Figure 1 : Système de déstratification d'un lac

La figure N°2 représente les valeurs d'oxygène et de la température du réservoir d'El Capitan avant et durant la déstratification artificielle. Ces valeurs sont prises pour la période mi-août pour chaque année; ce lac n'est pas aéré durant 1964, il a été aéré en juin 1965 et en

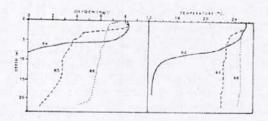


Figure 2 : Valeurs de l'oxygène te de la température avant et durant la déstratification

L'efficacité, le coût opérationnel, ou l'investissement nécessaire, ou tous les trois varient considérablement et impose des limitations sur l'utilisation de la plupart des aérateurs [1].

2.2. L'aération hypolimnétique

La figure N°3 représente les valeurs de l'oxygène et de la température au lac **Waccabuc N.Y**, avant et durant l'aération hypolimnetiques ([3] et [5]).Ce lac n'est pas aéré durant 1972, mais l'aération commence au début de juillet 1973. Les concentrations d'oxygène augmentent de 0.0 mg/1 à plus de 4 mg/1, tan disque les températures n'avaient pas changées beaucoup [5].

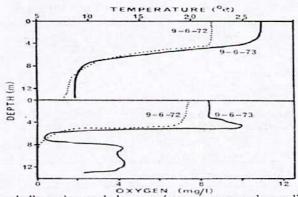


Figure 3 : Valeurs de l'oxygène et de la température avant et durant l'aération hypolimnétique au lac Waccabuc [5].

*Trois mécanismes principaux sont utilisés pour l'aération hypolimnètique (Figure 4) [11]. -Le Speece Cône; L'aérateur d'élévation d'air (air lift) ; Les bulles plumes.

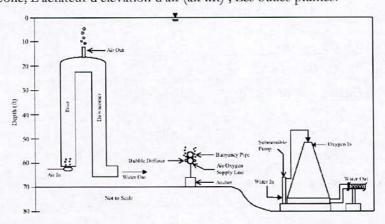


Figure 4 : Représentation des trois mécanismes d'aération hypolimnètiques [11].

Typiquement, l'oxygène pure est utilise dans le Speece cône, l'air est utilise dans les aérateurs d'élévation d'air (air lift), et les bulles plumes utilisent l'oxygène ou l'air ([11],[14]). L'oxygène pure est utilise pour l'oxygénation hypolimnetiques pour empêcher l'accumulation des molécules d'azote, lesquelles peuvent être toxique aux poissons [8]. Alors que l'aération avec l'air augmente la turbulence dans l'hypolimnion, qui par conséquent augmente la demande d'oxygène des sédiments, ou qui peut résulter à une déstratification accidentelle [13].

L'un des trois types d'oxygénateurs qui est généralement utilisé est l'aérateur d'élévation d'air (air lift) [15].

Dans les trois mécanismes d'oxygénations, les bulles de gaz en contact avec l'eau facilitent le transfert inter facial de l'oxygène, aussi bien que l'azote et d'autres gaz solubles [14].

Effets comparés des systèmes d'aérations hypolimnètiques

Sur la base d'une étude faite dans lac Standley (en Colorado: USA), McGinnis et Little (1997), ont révèle une analyse technique et économique de ces trois systèmes d'aération pour sélectionner le mécanisme le plus approprie pour un lac spécifique ou réservoir et ainsi optimiser à la fois la conception et l'opération qui peut assurer la plus grande efficacité du transfert d'oxygène.

Tableau 1 : Aérateur hypolimnètique d'élévation d'air partiel [11].

Variable et performances prévues	Valeurs
Débit d'air (Nm³/s) Hauteur du tube élévateur (m) Diamètre du tube élévateur (m) Débit d'eau écoule (m³/s) Augmentation dans la concentration d'oxygène (g/m³) Efficacité du transfert d'oxygène (%) Transfert d'oxygène par aérateur (kg/jour) Transfert total d'oxygène (16 aérateurs) (kg/jour)	0.120 12.2 3.1 4.6 4.6 16 464 7400

Tableau 2: Les bulles plumes [11].

Variable et performances prévues	Valeurs	
Débit d'oxygène (Nm3/s)	0.069	
Diamètre initial des bulles (mm)	2.5	
Longueur du diffuseur (m)	2.500	
Vitesse initiale de la plume (m/s)	0.038	
Hauteur de montée de la plume	1.5	
Efficacité du transfert d'oxygène (%)	93	
Transfert total d'oxygène (kg/jour)	7400	

Tableau 3: Le Speece Cône [11].

Variable et performances prévues	Valeurs
Débit d'oxygène (Nm³/s) Diamètre initial des bulles (mm) Débit d'eau imposée (m³/s) Temps de détention des bulles (min) Augmentation dans la concentration d'oxygène (g/m³) Efficacité du transfert d'oxygène (%) Transfert total d'oxygène (kg/jour)	0.068 2.0 1.3 2.0 66 94 7400

Résultats

McGinnis et Little (1997) ont montré que le diffuseur des bulles plumes est le système le plus économique et peut être le plus simple de ces trois systèmes. Leurs conclusions se sont basées sur le faits suivants :

- Dans l'aérateur d'élévation d'air, qui sont au nombre de 16, l'efficacité de transfert d'oxygène étant la plus faible d'une valeur de 16 %.
- Dans le Speece Cône, et les bulles plumes, l'efficacité de transfert d'oxygène sont très rapprochées de valeurs respectives 94 et 93 %; en plus, une grande vitesse d'eau dans tout le cône doit être maintenue, et ceci pour assurer que les bulles n'atteignent pas l'équilibre avec l'eau dans le cône; ceci pouvait conduire à une grande accumulation des bulles et une coalescence dans le cône, ce qui engendre une diminution dans l'efficacité totale.

De son coté, Fast A.W (1978), a proposé une étude comparative de trois systèmes d'aération hypolimnetiques, à savoir :

- Side-Stream Pumping (S.S.P) (Figure N°5);
- Aérateur hypolimnetiques d'élévation d'air partiel; Aérateur hypolimnetiques d'élévation d'air complet. (Ce système est typiquement opéré à des pressions supérieures à 3 atm et des températures d'eau de 10°c ou moins. L'efficacité de ce système, est basée sur la grande solubilité de l'oxygène pure et son injection dans l'eau sous pression [3].

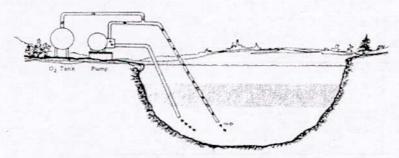


Figure 5: Side-Stream Pumping (S.S.P)» ([3], [5]).

Des auteurs ont comparé les coûts de trois types d'aérateurs de l'hypolimnion, et ils ont découvrit que la conception remontant l'air complet avait un frais d'exploitation beaucoup plus faible et une grande efficacité que l'un des deux systèmes d'aérateurs, le S.S.P ou la conception remontant l'air partiel. Le S.S.P a un coût capital plus faible [5].

Ruane et ses collaborateurs (1977) ont comparés les deux méthodes d'aérations (déstratification et aération hypolimnètique) avec les conditions sous lesquelles être appliquées au barrage Patrick Henry [4]:

Tableau N°4 : Domaine d'application des différentes méthodes d'aération pour le barrage Patrick Henry[4].

Condition sous laquelle la technique d'aération doit être appliquée	Déstratification	Aération hypolimnètique avec diffusion :	
		Air	Oxygène
Eaux froides	Effets négatifs	Effets positifs	Effets positifs
Forte augmentation de DO	Effets négatifs	Effets inconnus	Effets inconnus
Effet minimal sur la production d'énergie	Effets positifs	Effets positifs	Effets positifs
Augmentation minimale dans l'azote dissous	Effets inconnus	Effets inconnus	Effets positifs
Faible coût	Effets positifs	Effets négatifs	Effets négatifs

Constat

Ruane et ses collaborateurs (1977), ont constaté que la déstratification et l'aération hypolimnètique ne sont pas faisables sur le barrage Patrick Henry. La première méthode peut augmenter la température de l'eau, ce qui peut engendrer des effets néfastes sur la vie piscicole. Le barrage en question est classé comme une pêcherie des eaux froides. En plus

l'aération hypolimnètique avec l'air cause des super saturations de l'azote, et l'aération avec l'oxygène n'est pas attractive vu le coût élevé de l'oxygène.

En 2002, Marc Beutel, expose un travail où il a fait une comparaison sur les systèmes d'aération hypolimnetiques, en insistant sur les coûts associés avec ces systèmes, et leurs effets sur la qualité de l'eau.

Le tableau 5 montre les coûts aussi bien les avantages et les inconvénients des différents systèmes d'oxygénations

Tableau 5: Les systèmes d'oxygénations [14].

System (reference)	Capital Cost(\$)	Operating Cost (S/d)	Advantages	Disadvantages
Pure oxygen submerged chamber	~\$1 million	~\$850	Very high oxygen transfer efficiency. Oxygen discharged horizontally over sediment-water interface. System efficiency independent of lake depth.	Need for a submerged pump and chamber.
Deep pure oxygen U-tube	Not reported	~\$1,000	Low operating cost compared to on shore chamber. System efficiency independent of lake depth.	Need to construct 175-foot deep u-tube. Pumping involved.
Diffuse deep- water oxygenation	~81 million	-\$1,000	No pumping. Good horizontal distribution of oxygen.	Oxygen released above and away from sediment-water interface. System efficiency decreases with take depth. May impact thermal stratification.
Shallow pure oxygen U-tube	Not reported	~\$1,200	Tube only 20-30 feet deep. System efficiency independent of lake depth	Pumping involved, Compared to deep U-tube, less oxygen delivered per unit flow through the system.
Bubble plume oxygenation	Net reported	Not reported	By pumping air through the diffusers, it can also be used as destratification system.	System efficiency decreases with lake depth. Oxygen released above and away from sediment-water interface, System can impact thermal stratification.
Pure oxygen on shore pressurized chamber	Not reported	~\$3,000	Most facilities on shore. System efficiency independent of lake depth	High pumping cost.

Les effets de l'oxygénation hypolimnètiques sur le niveau du phosphore ont été plus variés. McQueen et ses collaborateurs attribuent ceci au niveau du PH et la disponibilité du fer pour la précipitation du phosphore. Plus après, Gâtcher et Wehri, concluent que le cycle interne du phosphore n'est pas affecté par l'augmentation de la concentration de l'oxygène dissous hypolimnètiques.

3. EFFETS COMPARES POSITIFS DE L'AERATION HYPOLIMNETIQUE ET L'AERATION PAR DESTRATIFICATION

3.1. Systèmes d'aération par déstratification

- * La déstratification est généralement très effective, spécialement quand le sulfure d'hydrogène, fer, manganèse et d'autres conditions associées avec l'eau anaérobie est un problème.
- *En se basant sur l'étude faite au lac Casistac, Calif (déstratification partielle), Fast A.W (1978), montre que les concentrations du phosphore sont basées à la surface et grandes au fond du l'eau. Aussi, l'auteur montre que, l'orthophosphore est de 23% du total à la surface, mais 87% du total au fond .La déstratification peut limiter la croissance des algues, si le mélange est complet, et si le lac a une profondeur relativement suffisante à sa zone euphotique [5].
- *En 1970, une étude faite par l'association américaine des travaux en eau sur 26 réserves qui utilisent le système de déstratification artificielle, et leurs résultats ont montré que 7% des algues fleurissant sont baissées par la déstratification, 12% des algues fleurissant sont

augmentées par la déstratification et 81% de ces algues sont restées inchangés par la déstratification [5].

- *Plusieurs études avaient montré une augmentation substantielle dans la distribution de la profondeur des poissons associées avec la déstratification [5].
- *Le système de déstratification peut empêcher en hiver les poissons d'être tues par oxygénation des glaces couvrant les lacs [5].
- *La déstratification peut parfois augmenter la production, en amenant à la surface les éléments nutritifs régénérés de l'hypolimnion, qui ne sont pas précipités par l'augmentation du potentiel redox ou avec CaCO₃ [2].

3.2. Systèmes d'aération hypolimnètique

- *L'aération hypolimnètique a plusieurs avantages sur le système de déstratification, les éléments nutritifs (l'azote et le phosphore), ne sont pas transportés à l'épilimnion où ils peuvent stimuler la croissance algale, et le processus peut préserver un habitat d'eau froide pour les poissons tel que les truites et les saumons [15]. L'avantage de l'aération hypolimnètique est l'aptitude de réapprovisionner l'oxygène dissous tout en préservant la stratification thermique ([14], [16]).
- *McQueen et Lean, concluent que [15]:
- Un système d'oxygénation bien conçu, peut maintenir la stratification et ne peut augmenter significativement la température d'eau de l'hypolimnion;
- Le niveau de l'oxygène de l'hypolimnion augmente ;
- Le fer, manganèse, sulfure d'hydrogène et la concentration du méthane décroissent ;
- La population du zooplancton n'est pas en général affectée ;
- Les concentrations en chlorophylle A sont habituellement non altérées ;
- La distribution de profondeur de la population des poisons des eaux froides est augmentée.
- *L'aération hypolimnètique n'avait pas un effet sur la distribution de la profondeur de la plupart des algues. Les moyens les plus probables par lesquels, elle pouvait affecter la densité algale sont [5] :
- Changement du cycle du taux des éléments nutritifs et leur chemin ;
- Création d'un changement dans la composition des espèces et la densité des zooplancton, faune benthique et autres niveaux trophiques.
- *L'aération hypolimnètique peut augmenter une diversité des espèces par création d'un habitat convenable des poissons des eaux froides telles que les « truites » et les « saumons » [5].

L'aération hypolimnètique est parfois plus désirable que la déstratification dans la gérance de la pêcherie et dans la provision des eaux domestiques et industrielles, puisqu'un mélange complet peut promouvoir une croissance des algue ([2], [5]).

Fast (1978), constate que l'aération hypolimnètique crée un habitat convenable pour les poissons des eaux froides dans différents lacs où aucune aération au préalable n'avait existée (Figure N°6) (5).

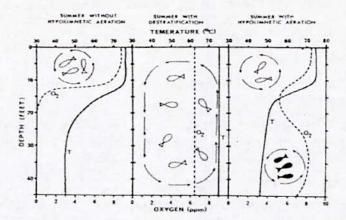


Figure 6 : Influence de l'aération artificielle sur les poissons d'un lac eutrophe durant les mois d'été [5].

Bernhardt (1978), montre des résultats à partir d'une aération hypolimnètique de 15 années sur le barrage de Wahnbach (Vol_{epi}=20.10⁶ m³, Vol_{hyp}=16.10⁶ m³, profondeur=45 m), utilisant un aérateur hypolimnètique développé par l'association du réservoir Wahnbach, leurs résultats montrent que [6]:

- Malgré un développement de masse d'algues occasionnelle, la consommation de l'oxygène à l'interface sédiment-eau est compensée durant la stratification. Aucune condition anaérobie ne s'est produite au fond du lac (supérieur ou égal à 4 mg/l o₂).
- Les concentrations en trop du fer et du manganèse ne sont pas produites dans l'hypolimnion, et le traitement pour supprimer le manganèse n'est pas nécessaire.
- La libération de l'orthophosphate à partir des sédiments demeure faible (charge interne), laquelle empêche un renouvellement rapide de l'eutrophisation.
- Durant la stratification, l'hypolimnion conserve une température inférieure ou égale à 10°c pour le mois d'octobre, et obéit à la valeur de guide pour l'eau potable [6].

Autres avantages de l'oxygénation hypolimnètique [13]:

- Faibles taux de recirculation de l'eau, qui minimise la turbulence dans l'hypolimnion, ce qui engendre une faible demande d'oxygène et la chance d'avoir une déstratification accidentelle;
- Maintient de grands niveaux d'oxygène dissous dans toute la période stratifie ;
- · Faible énergie ;
- Faible coût de commercialisation de l'oxygène.

4. EFFETS COMPARES NEGATIVES DES SYSTEMES D'AERATION

* Il a été reporte que l'aération avec la compression d'air élève la concentration de l'azote gazeux et qui par conséquent cause la mort des poissons ; alors que McQueen et Lean, ne découvrent aucun effet défavorable sur la population des poissons [15].

*Les concentrations de l'azote hypolimnètique au lac **Waccabuc** augmentent à partir d'une saturation proche de 150% de la saturation dans 80 jours d'une aération hypolimnètique continue (Figure N°7) ([3], [5]). L'utilisation de l'injection de l'oxygène aide à éviter les problèmes liés avec la supersaturation de l'azote [13].

Aussi le système de destratification pouvait augmenter la température d'eau, et l'aération hypolimnètique avec l'air pouvait introduire un problème de supersaturation du gaz d'azote [4].

- * La déstratification est moins effective dans la réduction de la densité algale et la production principale.
- *La déstratification fait augmenter largement la température des sédiments et l'écoulement de l'eau sur les sédiments, ce qui pourrait augmenter le taux d'échange du phosphore avec les sédiments [5].
- *La déstratification peut croître les éléments nutritifs dans la zone euphotique, et de ce fait, elle stimule la croissance algale.

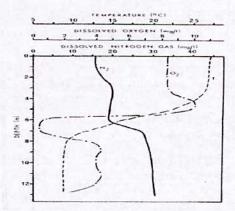


Figure 7 : Valeurs de l'oxygène, l'azote et de la température durant l'aération hypolimnètique au lac Waccabuc [5].

La déstratification artificielle au lac Casistas, Calif, cause des supersaturations en excès de l'azote de 140 % relative à la pression de surface (Figure 8) [5].

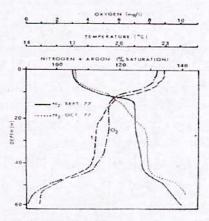


Figure 8 : Valeurs de l'oxygène, l'azote et la température durant la déstratification artificielle au lac Casitas, Calif [5].

*Fast (1978), mentionne que tous les facteurs affectant les concentrations de l'azote durant la déstratification avec compression d'air ne sont pas identifies. L'auteur conclue que ces facteurs incluent probablement le degré de mélange, la densité des bulles d'air, les vitesses verticales des plumes, la profondeur de l'injection de l'air, le rapport du volume total d'eau au volume total d'air injecté et le contenu d'oxygène dans l'eau [5].

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

- *L'aération par déstratification peut engendrer des impacts nuisibles au lac ; parmi lesquels [5]:
- Ces systèmes laissent certaines stratifications microthèrmiques prés de la surface, ce qui peut résulter dans l'augmentation de la croissance des algues;
- Ces systèmes provoquent une grande chaleur (température) dans le lac durant le mois été, ce qui peut éliminer les espèces des eaux froides telles que les «truites » et les « saumons » ([5], [14]);
- Plusieurs des propriétés chimiques devraient être plus uniformes et font obstacle à la distribution des poissons, zooplancton, faune benthique et d'autres biotes devraient être minimisés.
- *D'après Brian Kirke et Ahmed El Gezawy (1997), la méthode de déstratification englobe trois inconvénients [10]:
- Elle consomme une grande d'énergie. Les compresseurs utilises sont dans le rang de puissance: de 37 à 100 kw, et même ils peuvent être insuffisant pour de grands réservoirs;
- Une poussée de plume n'est pas capable de pénétrer une forte thermocline et la déstratification est accomplie seulement par un processus de frottement avec beaucoup de mélange non productif;
- Introduction d'un jet de grande énergie du compresseur près du fond, qui peut augmenter la turbidité en troublant le fond des sédiments.
- *La déstratification par le système des bulles plumes peut avoir des effets sur la qualité de l'eau. Ces plumes peuvent occuper toute la colonne d'eau ou compartimenter cette colonne d'eau par une cascade de plume, ceci a une grande implication sur la qualité de l'eau. Par exemple, une grande concentration des éléments nutritifs à partir des sédiments des lacs, peut être rapidement transférée à la zone photic par une bulle plume qui occupe la colonne d'eau entière. Par contre, une cascade de plume devrait espérer d'avoir une capacité de transfert faible en éléments nutritifs. Ainsi, dans certains circonstances, une cascade de plume peut être désirable, quoique l'efficacité du mélange est faible (Schladow, 1992).

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Donald C. Raney, and Terry G. Arnold. (1973). Dissolved Oxygen Improvement by Hydroelectric Turbine Aspiration. Journal of the Power Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.99, N°.P01, May, 1973, 139-152.
- [2] Fast, AW., Brian Moss, et Robert G. Wetzel. (1973). Effets of Artificial Aeration on the Chemistrie and Algae of Two Michigan Lakes. Water Ressources Research, 9, 624-647
- [3] Fast, AW., William J. Overholtz, et Richard A. Tubb. (1975). Hypolimnetic Oxygenation Using Liquid Oxygen. Water Ressources Research, II, 294-29.
- [4] Richard J. Ruane, Svein Vigander, et William R. Nicholas. (1977). Aearation of Hydro Releases at Ft. Patrick Henry Dam. Proceeding of American Society of Civil Engeneers, Vol. 103, N°. HY10, October, 1977, 1135-1145.
- [5] Fast, AW. (1978). Arificial Aeration as a lake restoration technique. Proceeding of National Conf on lake restoration, 121-131.
- [6] Bernhardt, H., and Clasen, J. (1985). Recent developments and perspectives of restoration for artificial basin used for water supply. Intern Congr on Lake Pollution and Recovery, 1985, 213-227.

- [7] Paterson, J.C., and Imberger.J. (1989). Simulation of bubble plume destratification systems in reservoirs. Aquatic Sciences. 51(1).3-18.
- [8] Wuest, A., Brooks, N.H.et Imboden, D.M.(1992). Bubble plume modelling for lake restoration. Water Resources Research, 28,12, 3235-3250.
- [9] Schladow, S.G. (1993). Lake Destratification by Bubble-Plume Systeme: Design Methodologie. Journal of Hydraulic Engeneering, Vol.119, N°3, March, 1993, 350-367.
- [10] Kirke, B., and El Gezawy, A. (1997). Design and Model Tests for an Efficient Mechanical Circulator/Aerator for lakes and Reservoirs. Water Research, Vol.31, N°.6. pp.1283-1290, 1997.
- [11] McGinnis, D.F et Little, J.C. (1997). Bubble dynamics and oxygene transfer in Speece Cone. In Proceeding of the IAWQ/IWSA joint Specialist Conference, Reservoir Management and water Supply- an Integrated System, Prague, Czech Republic, 19-23 May, 1997.
- [12] McGinnis, D.F, Little J.C and Wuest A. (2001). Hypolimnetic Oxygenation: Coupling Bubble-Plume and Reservoir Models. Proceedings of Asian WATERQUAL 2001, IWA Regional Conference, Fukuoka, Japan, September 2001
- [13] Marc Beutel. (2002). Improving Raw Water Quality with Hypolimnetic Oxygenation. AWWA 2002 Annual Conference Marc Beutel, Brown and Caldwell Environmental and Consulting 201 North Civic Drive, Walnut Creek, CA 94596 925-210-2844, mbeutel@brwncald.com
- [14] McGinnis, D.F et Little, J.C. (2002). Nutrient Control in Standley lake: Evaluation of Three Oxygen Transfer Devices. In Proceeding of the IAWQ/IWSA joint Specialist Conference Reservoir Management and Water Supply-an Integrated System Prague, Czech Republic, May 1997.
- [15] Vickie L. Burris, Daniel F. McGinnis and John C. Little. (2002). Predecting oxygen transfer and water flow rate in airlift aerators. Water Research 36, 4605-4615.



ACTION OXYDATIVE DU PERMANGANATE DE POTASSIUM SUR LA MATIERE ORGANIQUE DES EAUX NATURELLES OXIDATIVE ACTION OF POTASSIUM PERMANGANATE ON ORGANIC MATTER OF NATURAL WATER

Guergazi Saadia, Achour Samia

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface - LARHYSS-Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur Département d'Hydraulique-Université de Biskra; BP. 145.R.P.7000, Algérie info@Larhyss.net, samia.achour@larhyss.net

SUMMARY

The aim of our study is to examine effect of potassium permanganate on the organic matter in surface waters. Two oxidation experiments steps were conducted in aqueous synthetic solutions of organic compounds (phenol, resorcinol, humic substances). KMnO₄ was used alone in the first step, while the combination "KMnO₄ – Chlorine " was used in the second step. The obtained results have shown that oxidative effect of KMnO₄ is characterised by high consumption potentials whatever the tested organic compound structure. Consumption seems dependent on the following parameters namely, the oxidant ratio, the contact time, pH and the media mineralisation. Oxidation by KMnO₄ is improved by a high oxidant ratio, an alcaline pH and a significant contact time. Mechanisms of the oxidation could be strongly conditioned by pH, depending on the nature of redox couple and on the degree of the organic compounds structure dissociation. The mineralisation of dilution media for organic compounds led to an acceleration of the kinetic reactions. Effect of the coupled treatment "Pre-oxidation by KMnO4/Chlorination" on organic compounds was found to reduce chlorine consumption, particularly when pH is nearby the neutrality value.

Key words

Potassium permanganate, oxidation, humic substances, phenol, resorcinol, chlorination.

RESUME

L'objectif de notre étude est d'examiner l'action du permanganate de potassium sur la matière organique susceptible de se trouver dans les eaux de surface.

Les essais d'oxydation par le KMnO₄, seul puis couplé au chlore sont réalisés sur des solutions aqueuses synthétiques de composés organiques (phénol, résorcinol, substances humiques).

Les résultats obtenus ont montré que l'action oxydative du KMnO₄ se caractérisait par des potentiels de consommation en KMnO₄ élevés, quelque soit la structure du composé organique. Ces consommations sont apparues comme dépendantes du taux d'oxydant, du temps de contact, du pH et de la minéralisation du milieu. L'oxydation par le KMnO₄ est favorisée pour les forts taux d'oxydant, un pH basique et un temps assez long.

Le pH pourrait fortement conditionner les mécanismes d'oxydation, en fonction de la nature du couple redox en présence et de la structure plus ou moins dissociée du composé organique. La minéralisation du milieu de dilution des composés organiques a conduit à une consommation accrue en oxydant et à une accélération des cinétiques de réaction.

L'effet d'un couplage pré-oxydation au KMnO₄ / chloration sur les composés organiques s'est traduit par des consommations en chlore plus faibles, notamment à pH voisin de la neutralité.

Mots clés

Permanganate de potassium, oxydation, substances humiques, phénol, résorcinol, chloration.

1. INTRODUCTION

L'eau, principal élément constitutif de l'organisme est absolument indispensable à la vie et au bien être des populations. La démographie croissante, le développement de l'industrie et de l'agriculture oblige à faire de plus en plus appel à des eaux d'origines diverses et notamment les eaux de surface.

Cependant, les insuffisances existantes dans la protection de ces eaux face aux nombreuses pollutions peuvent contribuer à la dégradation de la qualité de ces eaux et à l'augmentation de certains micropolluants minéraux et surtout organiques indésirables dans les eaux destinées à la consommation (Achour et Moussaoui, 1993).

Il est donc indispensable de procéder au traitement de ces eaux afin de se conformer d'une part aux normes de probabilité et d'éviter d'autre part tout risque sanitaire lié à une éventuelle toxicité de ces substances.

Le traitement des eaux de boisson par chloration reste une étape très couramment utilisée et a pour but principal la destruction des bactéries grâce à l'action biocide du chlore. Il joue en outre différents rôles secondaires mais néanmoins importants tels que la destruction de l'azote ammoniacal, l'oxydation du fer, du manganèse, ...Il protège également contre la poussée des algues en station de traitement et facilite souvent la coagulation (Desjardins, 1997; Cheval, 1982). Mais l'inconvénient majeur de son emploi réside dans sa grande réactivité vis-à- vis de certains composés organiques qui induit la formation de composés organohalogénés suspectés d'être mutagènes et même cancérigènes. En particulier, les substances humiques et certains composés aromatiques peuvent conduire à des potentiels de consommation en chlore élevés (De laat et al,1982; Achour et Guergazi, 2002).

Afin de diminuer ces consommations en chlore et en même temps la formation des organohalogénés, nous pouvons envisager le remplacement du chlore par le permanganate de potassium durant l'étape de pré oxydation de l'eau.

Le but de notre travail est d'étudier l'incidence de l'utilisation des permanganate en tant qu' oxydant sur la réactivité de divers composés à structure simple (phénol, résorcinol) ou complexe (substances humiques).

Notre étude est consacrée aux essais d'oxydation par le permanganate de potassium seul puis combiné au chlore. Différents paramètres réactionnels seront variés ou contrôlés au cours de ces essais (pH, temps de contact, taux d'oxydant et minéralisation du milieu).

2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

2.1. Préparation des solutions synthétiques de composés organiques

Les solutions synthétiques de composés organiques sont préparées en utilisant comme milieux de dilution l'eau distillée (pH = 6.85, une conductivité de 3 à 5 µs/cm) et une eau minéralisée (eau d'Ifri). Cette eau est exempte initialement de matière organique et d'oxydant résiduel libre. Quelques caractéristiques physicochimiques de l'eau d'Ifri apparaissent dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques physicochimiques de l'eau Ifri

Paramètres	Valeurs	
рН	7.20	
Conductivité µs/cm	520	
TAC (°F)	18.5	
TH (°F)	29.5	

Les composés organiques utilisés comme modèles sont le phénol et le résorcinol à structure aromatique simple, ainsi que les substances humiques de structure complexe (type humate de sodium) et qui présentent des caractéristiques proches de celles des substances humiques aquatiques et notamment des acides fulviques (Croué, 1987).

Les solutions synthétiques de composés organiques sont préparées en milieu tamponné pour des concentrations initiale de l'ordre de 10^5 à 10^4 moles/l pour les composés simples et 10 mg/l pour les substances humiques.

2.2. Méthodes de dosage

L'oxydation du phénol, résorcinol et substances humiques est effectuée par des solutions concentrées de permanganate de potassium (10 à 16.81g/l).

Les taux d'oxydation adoptés sont définis comme le rapport molaire K variant de 0 à 20 pour les composés simples et k varie de 0 à 2 pour les substances humiques. Ce dernier est défini comme étant le rapport de la masse de KMnO₄ introduit par rapport à la masse des substances humiques. Le KMnO₄ résiduel, est donné par la formule suivante.

$$KMnO_4$$
 résiduel (mg/l) = V_1N_1 . 158.1000/5 V_2

KMnO₄ consommé = KMnO₄ Introduit - KMnO₄ Résiduel

Lors de la combinaison des deux oxydants, le chlore ou le $KMnO_4$ résiduels ont été mesurés par la méthode iodométrique (Rodier, 1984). Le chlore résiduel est déterminé par :

$$Cl_2$$
 résiduel $(mg/l) = 35.50 \cdot 10^3 (N_1 V_1 / V_2)$

V₁: Le volume de thiosulfate de sodium (Na₂SO₃,5H₂O) versé.

N₁: La normalité de thiosulfate de sodium.

 V_2 : Le volume de la prise d'essais = 10 ml.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Potentiels de consommation en permanganate de potassium en eau distillée

Les résultats des essais d'oxydation présentés dans le tableau 2, montrent que les potentiels de consommation en permanganate de potassium (KMnO₄) sont élevés quelque soit le composé organique testé. Ce qui témoigne d'une forte réactivité de ces composés vis-à-vis du KMnO₄.

Les composés simples (phénol, résorcinol) qui sont caractérisés par des structures aromatiques à forte densité électronique sont sensibles aux attaques oxydatives. La présence de groupements activants tels que l'hydroxyle -OH accentue encore leur réactivité vis-à-vis du KMnO₄. Ce qui explique les potentiels de consommation élevés de ces deux composés.

Tableau 2: Potentiels de consommation en permanganate de potassium par le phénol, résorcinol et substances humiques.

 $[Ph\acute{e}] = 1.06210^{-4} \text{mol/l}, [R\acute{e}s] = 9.0910^{-5} \text{mol/l}, K = 20;$

[SH] = 10 mg/l, k = 2; pH = 7; Temps = 24 heures

Composé	P.C. KMnO ₄	
Phénol (mole/mole)	7.013	
Résorcinol (mole/mole)	6.80	
Substances humiques (mg KMnO ₄ /mg SH)	0.830	

Toutefois, on note une légère supériorité des potentiels du résorcinol par rapport au phénol et qui serait due à la présence d'un deuxième hydroxyle en position méta sur le cycle résorcinol.

Concernant les substances humiques et compte tenu de leur structure complexe, la forte réactivité observée serait expliquée par la présence d'un grand nombre de noyaux phénoliques dans la structure même de ces composés.

Cependant, il ne faut pas négliger la réactivité d'autres sites de type carboxylique ou même de type cétone ou aldéhyde dont l'oxydation procède par un clivage de liaison oxygènemanganèse et départ du proton. La présence d'acide aminés à la périphérie des noyaux des substances humiques permet aussi de présager une certaine réactivité de ces sites par coupure de liaison carbone – azote (Croué, 1987; Doré, 1989).

Par ailleurs, la fragmentation des molécules mères complexes des substances humiques en molécules plus simples mais plus réactives peut être envisagée également.

3.2. Influence du taux d'oxydation en permanganate de potassium en eau distillée

Le suivi de la variation de la consommation en KMnO₄ en fonction de la variation de (K) et (k) respectivement pour les composés aromatiques simples et les substances humiques est réalisé en eau distillée et à pH = 7. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 1 pour un temps de contact de 2 heures.

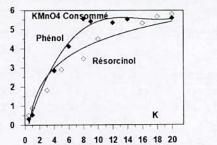
L'examen de ces résultats montre que l'évolution des consommations en KMnO₄ est également similaire pour tous les composés.

Les courbes obtenues présentent deux zones distinctes :

- Pour les faibles taux d'oxydation inférieurs à 6 pour le phénol et le résorcinol et à 0.50 pour les substances humiques, la consommation augmente fortement indiquant une forte réactivité.
- Pour les taux d'oxydation plus élevés, les consommations subissent des variations plus faibles et semblent moins dépendantes du taux de KMnO₄ appliqué.

Il est donc possible de suggérer que les faibles taux peuvent induire des mécanismes d'oxydation aboutissant à des produits intermédiaires plus réactifs que le composé organique initial.

Par contre, de forts taux en KMnO₄ impliquent une oxydation énergique aboutissant probablement à des composé organiques peu réactifs (composés aliphatiques).



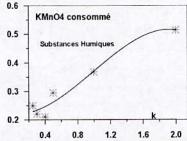


Figure 1 : Influence de la variation du taux de KMnO₄sur les consommations en KMnO₄ par les composés organiques testés en eau distillée

 $[Ph\acute{e}] = 1.06210 \cdot 4 \text{mol/l}, [R\acute{e}s] = 9.0910 \cdot 5 \text{mol/l}, [SH] = 10 \text{mg/l}; pH = 7; Temps = 2 \text{ heures}$

3.3. Influence du pH et du temps de contact sur la consommation KMnO4

Pour faire apparaître cette influence sur la consommation en KMnO₄, nous avons suivi la variation de la consommation en KMnO₄ par les composés organiques testés en considérant trois pH (pH = 4, 7 et 9). Nous avons choisi ces valeurs de pH afin de ne pas trop s'écarter des gammes de pH des eaux naturelles. Les résultats que nous avons présentés sur la figure 2 montrent que la réaction d'oxydation des composés organiques testés (phénol, résorcinol et substances humiques) présente deux étapes :

- Une étape très rapide au cours des 10 premières minutes et où la grande majorité du KMnO₄ introduit est consommée.
- Une étape succédant à la première et qui paraît lente, où la variation de consommation en KMnO₄ devient plus ou moins faible. Au bout de 2 heures, la réaction semble plus ou moins terminée. Ceci peut laisser supposer que l'oxydation des composés organiques par le KMnO₄ fait intervenir plusieurs processus dans les différents étapes de la réaction d'oxydation et la cinétique de la réaction globale est généralement très complexe. De plus, beaucoup d'oxydations sont conduites dans des conditions telles que le bioxyde de manganèse hydraté précipite dans le milieu, ce qui complique encore le mécanisme du fait de la superposition des réactions en phase homogène et en phase hétérogène à la surface du précipité (Doré, 1989).

De même, nous pouvons dire aussi que la variabilité des résultats obtenus peut globalement s'expliquer par:

- La nature des couples redox qui varie avec le pH, le potentiel d'oxydo- réduction pouvant lui-même varier avec le pH.
- La structure chimique du composé organique et l'effet du pH sur sa réactivité.

Lors de l'oxydation des composés organiques par le KMnO₄, les étapes de la réaction induisent des cinétiques très complexes.

Toutefois, en tenant compte du caractère oxydant du KMnO₄ qui réagit en tant qu'accepteur d'électrons, il semble évident que sa vitesse de réaction est dépendante du pH du milieu.

Dans la gamme de pH considérée entre 4 et 9, une grande différence de réactivité est notée.

Il faut noter avant tout qu'en milieu acide le couple redox en présence est MnO₄ / Mn²⁺ alors qu'en milieu neutre et basique c'est le couple MnO₄ / MnO₂ qui réagira.

En milieu basique, la réactivité est plus importante et plus rapide qu'en milieu neutre et pouvant s'expliquer par une grande réactivité de certains intermédiaires à pH =9.

Compte tenu du pKa des composés testés (de l'ordre de 9.0), ceci pouvait également être expliqué par une plus grande réactivité de ces composés organiques sous forme dissociée plutôt que sous forme moléculaire à pH = 7.

A pH acide, le couple redox est MnO₄ / Mn²⁺ et les mécanismes devraient être notablement différents et qui comporteraient une étape limitante qui conduit à la rupture des cycles aromatiques suivie de réactions plus rapides qui correspondraient à l'oxydation des produits résultant de l'ouverture du cycle.

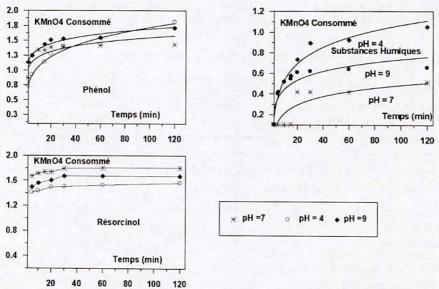


Figure 2 : Influence de la variation du temps de contact et du pH sur la consommation en KMnO₄ par les composés organiques testés en eau distillée [Phé]= 1.06210-4mol/l, [Rés]=9.0910-5mol/l,K = 20 ; [SH]=10mg/l; k = 2

3.4. Potentiel de consommation en KMnO₁ par les substances humiques en eau minéralisée

Les potentiels ce consommation en KMnO₄ dans l'eau d'Ifri sont présentés dans le tableau 3.Ils sont obtenus pour un temps de contact de 24 heures et un rapport massique k égal à 2. Nous rappelons les résultats obtenus sur l'eau distillée afin de faciliter la comparaison.

Tableau 3 : Potentiel de consommation en KMnO₄ par les substances humiques

dans l'eau d'Ifri k = 2; pH = 7.20. Temps = 24 heures

	Eau Distillée	Eau d'Ifri
	P.C KMnO ₄ (mg KMnO ₄ /mg SH)	P.C KMnO ₄ (mg KMnO ₄ /mg SH)
Substances humiques	0.862	1.680

En examinant le tableau 3, il apparaît clairement que le potentiel de consommation en KMnO₄ est élevé et peut s'estimer à 84% de la quantité du KMnO₄ introduit après 24 heures.

Sur la base de nos résultats déjà obtenus en eau distillée et à pH voisin de la neutralité, il est intéressant de signaler les différences de réactivité qui sont apparues en utilisant des milieux de minéralisations différentes.

En prenant comme référence le potentiel de consommation en KMnO₄ en eau distillée, la variation du potentiel par rapport à cette eau est de l'ordre de 50%, elle est positive,

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger indiquant ainsi une augmentation de la consommation en KMnO₄ en présence d'une minéralisation de l'eau.

L'ensemble de nos observations conduisent à penser que la minéralisation pourrait affecter le réaction du KMnO₄ avec les matières organiques présentes dans l'eau, soit globalement soit par le biais d'éléments minéraux spécifiques.

3.5. Cinétique de consommation en KMnO₁ par le substances humiques en eau minéralisée

La cinétique de consommation en KMnO₄ des substances humiques a été faite pour un rapport massique égal à 2 et un temps de contact variant de 2 minutes à 2 heures. Le suivi de la variation de la consommation en KMnO₄ en fonction du temps de contact a abouti aux résultats présentés sur la figure 3.

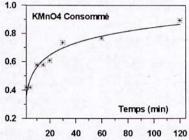


Figure 3 : Influence de la variation du temps de contact sur la consommation en KMnO₄ par les substances humiques en eau minéralisée (Ifri) [SH]=10mg/l; k = 2 ; pH = 7.20.

Cette figure montre qu'il existe toujours deux étapes, une étape rapide suivie par une étape lente.

En comparant les résultats que nous avons obtenus en eau distillée et en eau minéralisée, nous pouvons dire que les cinétiques sont plus rapides en milieu minéralisée qu'en eau distillée. Au regard des résultats que nous avons obtenus et présentés sur la figure 2, nous pouvons constater que dans le milieu minéralisé (eau d'Ifri) la demande en KMnO₄ est plus importante. Ceci peut être expliqué par la présence d'autres éléments réactifs vis-à-vis de KMnO₄.

En conséquence, nous pouvons déduire de tous ces résultats qu'il y a une influence notable de la minéralisation totale sur l'oxydation de la matière organique par le KMnO₄ et que le comportement de l'oxydant au sein des eaux douces (eau distillée) est différent de celui qu'on observe en eau minéralisée.

3.6. Combinaison de la pré oxydation au KMnO, et chloration

3.6.1. Potentiels de consommation en chlore en eau distillée

Les composés organiques (phénol, résorcinol et substances humiques) sont dans un premier temps pré oxydées à des taux de $KMnO_4$ constants K = k = 2 durant deux heures à pH = 7.

La chloration de ces composés est ensuite effectuée à un taux molaire r = 20 pour le phénol et le résorcinol et massique pour m = 2pour les substances humiques. Au bout de 2 heures puis de 24 heures, la demande en chlore est évaluée par la mesure du chlore résiduel. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Potentiels de consommation en chlore des composés organiques

 $[Ph\acute{e}] = 1.06210^{-4} \text{mol/l}, [R\acute{e}s] = 9.0910^{-5} \text{mol/l}, r = 20;$

[SH]=10mg/l, m=2; pH=7.

Composés organiques	P.C.CL ₂ 2 heures	P.C.CL ₂ 24 heures	P.C.CL ₂ sans KMnO ₄ , 24 heures
Phénol (mole/mole)	2.12	4.236	9.25
Résorcinol (mole/mole)	1.85	2.94	7.51
Substances humiques (mg Cl ₂ /mg SH)	0.065	0.54	0.722

Ils montrent que les potentiels de consommation en chlore accusent une nette diminution lorsque la matière organique a subi une pré oxydation au KMnO₄, notamment pour les composés simples. Dans le cas des substances humiques et aux taux de KMnO₄ utilisés, il semble toutefois que la diminution de la demande en chlore est moins significative.

Très peu de données sont disponibles en bibliographie et l'interprétation des résultats s'avère difficile. Toutefois, nous pouvons supposer qu'une oxydation massive des composés organiques par le KMnO₄ puisse aboutir à la formation de composés peu réactifs vis-à-vis du chlore, en particulier des structures aromatiques à fonctions carboxyliques (Masschelein, 1997). Par ailleurs, l'excès de permanganate de potassium peut conduire à l'ouverture des cycle et à la formation de composés aliphatiques peu sensibles à l'action du chlore.

Dans le cas des substances humiques, la structures plus complexe de ces composés peut mener à la fois à la formation de structures plus réactives ou peu réactives au chlore en fonction des sites présents sur les substances humiques.

De ce fait, la diminution de la demande en chlore est moins importante que pour les composés simples.

Toutes ces observation semblent valables aussi bien pour la demande en chlore à court terme (2heures) qu' à plus long terme (24 heures).

3. 6.2. Potentiels de consommation en chlore en eau d'Ifri

Le tableau 5 présente la demande en chlore des substances humiques en eau d'Ifri minéralisée au bout de 24 heures de réaction avec le chlore avec et sans KMnO₄.

Tableau 5 : Demande en chlore des substances humiques dans l'eau d'Ifri

[SH] = 10 mg/l; m = 2, k = 1.

	P.C.C (mg Cl ₂ /mgSH)	P.C.C sans KMnO ₄ (mg Cl ₂ /mgSH)	
Substances humiques	0.935	1.49	

Comparés aux potentiels de consommation en chlore en eau distillée nous pouvons constater une diminution des valeurs de potentiels obtenues en eau d'Ifri. Si nous rapprochons ces résultats de ceux de l'eau d'Ifri (Cf 3.4) et où la consommation en KMnO₄ augmentait, nous pouvons émettre l'hypothèse que le KMnO₄ étant plus réactif en milieu minéralisé, il a oxydé d'une manière suffisante la matière organique pour que sa réactivité diminue vis-à-vis du chlore.

La présence de calcium a pu également favoriser l'adsorption des substances humiques sur le précipité MnO₂ et diminuer aussi les consommations en chlore.

4. CONCLUSION

L'objectif de notre travail était d'étudier l'action d'un oxydant puissant, le permanganate de potassium sur la réactivité de la matière organique susceptible de se trouver dans les eaux de surface.

Au vu des résultats obtenus lors des essais sur les solutions synthétiques de composés organiques (phénol, résorcinol et substances humiques), le permanganate de potassium a présenté une action oxydative importante qui s'est caractérisée par des potentiels de consommation en KMnO₄ élevés, notamment pour les composés à structure phénolique.

Ces consommations sont apparues comme dépendantes du taux d'oxydation appliqué, du temps de contact, du pH et de la minéralisation du milieu.

L'oxydation par le KMnO₄ est favorisée pour les forts taux d'oxydant, pH basique et un temps assez long puisque les cinétiques semblent comporter une étape lente jusqu'à 24 heures de réaction.

La minéralisation du milieu peut influer sur la demande en oxydant par la présence de certains éléments minéraux eux mêmes réactifs vis-à-vis du KMnO₄. Les mécanismes d'interaction entre les matière organiques, le KMnO₄, les matières minérales et le précipité de MnO₂ formé apparaissent donc comme complexes et rendent l'interprétation des résultats délicate.

Nous pouvons supposer que les composés aromatiques testés simples ou complexes subissent une oxydation en donnant des produits intermédiaires encore réactifs vis-à-vis du KMnO₄ et un excès de permanganate peut conduire à la rupture des cycles et formation de composés aliphatiques, notamment à pH voisin de la neutralité.

Lorsque le KMnO₄ est utilisé en pré oxydation avant la chloration, les conditions expérimentales adoptées ont permis de constater une diminution dans les demandes en chlore à pH =7, comparées aux demandes en chlore sans pré oxydation.

Ceci est d'autant plus intéressant qu'il est prévisible qu'une réduction des teneurs en organohalogénés formés pourra être observée, ce qui diminue les risques de toxicité pour la santé du consommateur.

En présence d'une minéralisation spécifique tels que les ions calcium, le bioxyde de manganèse pourrait jouer un rôle important dans l'adsorption d'une fraction de substances humiques présentes dans une eau et réduire de ce fait la consommation en chlore.

Cependant, nous pouvons dire que l'ensemble des résultats obtenus au cours de ce travail permettent de montrer que le KMnO₄ pourrait être couplé à la chloration non seulement pour l'oxydation du fer et du manganèse mais aussi pour une réduction des quantités de chlore introduit et une limitation des taux en organohalogénés formés après chloration.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achour, S., Guergazi S., 2002. Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, Rev. Sci. Eau, 15, 3, 649-668.
- Achour, S., Moussaoui K., 1993. Effet de la chloration sur quelques types d'eaux Algériennes, Tribune de l'eau, 564, 4, 32-34.
- Cheval, A., 1982. La désinfection des eaux de consommation, Edition Office International de l'eau, France.

- Croué, J.P., 1987. Contribution à l'étude de l'oxydation par le chlore et l'ozone d'acides fulviques naturels extraits d'eaux de surface, Thèse de Docteur d'Université, Poitiers, France.
- De laat, J., Merlet, N., Doré, M 1982. Chloration de composés organiques : Demande en chlore et réactivité vis –à vis de la formation en trihalométhanes, Wat. Res., 16, 1437 1450.
- Doré, M.,1989. Chimie des oxydants- traitement des eaux, Ed. Lavoisier, Paris.
- Desjardins, R.,1997. Le traitement des eaux, Edition Ecole Polytechnique de Montreal, Canada.
- Masschelein, W.J., 1997. Utilisation du permanganate de potassium dans le traitement des eaux. Tribune de l'eau, 50, 589, 1-55.
- Rodier, J.,1984. L'analyse de l'eau: Eau naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 7^{ème} Edition, Paris.

LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER

M. Hamitouche * & B. Remini**

*Institut d'Architecture de Génie civil et d'Hydraulique, Centre Universitaire de Bechar -ALGERIE **Institut de Génie Rural, Université de Blida -ALGERIE E-mail : <u>mouradhamitouche@yahoo.fr</u>, Reminib@yahoo.

RESUME

La nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante dans de nombreuse parties du monde .Au cours des années 1950-1990, la consommation mondiale d'eau a triplé, tandis que la population de la planète augmentait de 2,3 milliards d'habitants.

Le dessalement de l'eau de mer est une industrie en essor constant. Cette forme de ressource en eau pratiquement illimitée consomme de l'énergie et elle a des impacts sur l'environnement. Ces impacts proviennent principalement de du concentré (saumure) produit au cours du dessalement, mais aussi des rejets de produits chimiques utilisées dans les procédés de dessalement.

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puit continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur (milieu marin).

Bien que les travaux de recherches consacrés à la question soient restreint, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifique des impacts possibles sur le milieu marin.

Mots-clé: Dessalement- rejets- impacts- mer- environnement- pollution.

1. INTRODUCTION

La croissance démographique dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande d'eau potable tandis que l'industrialisation, l'irrigation des sols et l'élévation des niveaux de vie se traduisent par un accroissement supplémentaire de la consommation d'eau douce par habitant. Cette évolution se produit surtout sur une étroite bande de littoral où prés de la moitié de la population de la planète vit, et cette proportion atteindre les trois quarts d'ici à 2020. Dans la région méditerranéennes, comme dans le monde, la croissance démographique et l'intensité de l'activité socio-économique font de l'eau douce une ressource de plus en plus rare. Selon les estimations la demande totale dans la région, qui était 300 milliards de mètres cubes par an en 1990, augmentera de 32% d'ici à 2010 et de 55% d'ici 2025, pour atteindre plus de 460 milliards de mètres cubes [9].

Pour exploiter l'eau de mer aux de dessalement, il faut au départ une eau brute de bonne qualité, mais les masses d'eau côtières subissent souvent les effets préjudiciables des rejets d'eaux usées provenant de toute une série d'activités menées à terre, y compris les installations de dessalement. Le courant de déchets produits par le dessalement se présente généralement sous la forme d'une saumure dont la salinité peut augmenter avec la température et qui contient des substances chimiques résiduaires du prétraitement, des métaux lourds dus à la corrosion ou des agents chimiques utilisés par intermittence pour le nettoyage. Le rejet dans la mer de ces déchets aux multiples composants, soit directement par les émissaires côtiers soit indirectement par des bateaux, risque donc d'avoir des effets

préjudiciables à la qualité de l'eau et des sédiments ou de nuire aux écosystèmes marins. Bien que les impacts soient le plus souvent liés au concentré, les usines de dessalement peuvent aussi être de grandes installations industrielles qui prennent de l'espace, exigent de l'énergie et émettent d'énormes quantités de gaz de combustion, ou peut avoir des effets indirects sur le développement socio-économique.

Donc il faut que les gouvernements concernés prennent en compte, dans la planification et la gestion des nouveaux projets des impacts potentiels environnementaux et socio-économiques qui en résulteront.

2. LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau qui donnent des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes (dunes de sable, herbiers marins.

En dépit du fait que des procédés différents ont été mis au point pour le dessalement - osmose inverse, distillation, électrodialyse, congélation sous vide, etc. -, ils ont tous en commun de consister à ôter de l'eau de mer les substances minérales et notamment mais pas exclusivement les sels qui y sont dissoutes. Il en résulte donc, dans tous les cas, un effluent concentré qui a une composition similaire à l'eau de mer d'alimentation mais dont la concentration et de 1,2 à 3 fois plus élevée [18], avec en plus les produits chimiques utilisés au cours des phase de prétraitement et de post-traitement. Toute une série de produits chimiques et additifs servent en effet, lors de dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération de microorganismes dans le cycle de dessalement.

Les constituants présents dans ces eaux résiduaires rejetées par les usines de dessalement dépendent dans une large mesure de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité d'eau douce produite et de la technique de dessalement adoptée. Cependant, les rejets des usines de dessalement ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure concentrée, les désinfectants et les agents antisalissures [2], mais également des eaux chaudes et des effluents aqueux tels que les distillats et condensas d'éjecteur. L'autre trait marquant des procédés de dessalement est qu'ils nécessitent un apport d'énergie thermique ou mécanique afin de réaliser la séparation de l'eau douce et de l'eau salée d'alimentation. Cet apport d'énergie se traduit par une hausse de la température de la saumure éliminée et par des rejets thermiques et des émissions atmosphériques associées à la production d'électricité.

2.1. Origine et type des émissions et rejets

2.1.1. Emissions atmosphériques

En général, les émissions atmosphériques des usines de dessalement consistent seulement en azote et oxygène provenant de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour réduire la corrosion, en rejets des éjecteurs (usines MSF) ou des dégazeurs (usines OI).

En outre, la production d'énergie destinée à être dans les usines de dessalement accroît les émissions atmosphériques. Des augmentations substantielles des émissions atmosphériques peuvent également se produire si une centrale thermique ou une installation de production couplée est construite dans le cadre d'un projet de dessalement.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

2.1.2. Rejets chimiques

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisées avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissures et antimousse. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée.

Ces produits chimiques ne sont pas les mêmes pour les principaux procédés de dessalement, à savoir MSF et l'osmose inverse. Les phases de pré- et de post-traitement des procédés de production d'eau potable sont exposées sur le tableau 1.

Tableau 1: Résumé des phases de prétraitement et post-traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement [10] (Mickley et al, 1993).

Phase de prétraitement	Objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des produits
Ajustement du pH à 7	Diminue la concentration de carbonate (et la précipitation de carbonate).Protège la membrane contre l'hydrolyse		Modifie le p H de l'eau produite et de la saumure concentrée, le sulfate set retenu dans la saumure concentrée
Antitartre	Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents chélateur et dispersants	Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée
Coagulation -Filtration	Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants -floculants	Les agents floculants formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration
Désinfection	Prévient l'encrassement biologique et élimine les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes	Chlore (ou biocide)	Chlore également réparti dans le perméat et la saumure concentrée
Déchloration	Protège les membranes sensibles au chlore	Bisulfate de sodium charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui est retenus dans la saumure concentrée
Elimination des gaz dissous	Elimine les gaz nauséabonds, C, le radon et Hs	Aération, Dégazage	Oxyde H _s et nH ₄ dans l'eau produite et dans la saumure concentrée

Phase de post- traitement	Objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des produits
Ajustement du PH à 7	Prévient la corrosion de la conduite du système de distribution, protège la flore et la faune aquatiques en cas de rejet en surface	Noah, carbonate de sodium anhydre, chaux	Accroît le niveau de sodium dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Désinfection	Prévient la prolifération bactérienne dans le système de distribution, protège la flore et la faune aquatique si nécessaire	Chlore	Le chlore est retenu dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Réduction du niveau de chlore	Elimine le chlore et d'autre oxydants	Bisulfite de sodium ou CAGE	Accroît les niveaux de sulfate et de chlorure dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Oxygénation	Accroît l'oxygène dissous à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique		Accroît l'oxygène dissous dans la saumure concentrée
Elimination d'autres formes chimiques	Diminue tous les polluants susceptibles d'être présents dans l'eau produite et dans la saumure concentrée	formes chimiques	

a) Produit de la corrosion

Les usines de dessalement à procédé thermique rejettent du cuivre, du nickel, du fer, du zinc et d'autres métaux lourds en fonction des alliages présents dans la filière de production, comme par ex. le titane [14]. En termes de concentrations, celles du cuivre et du fer sont les plus élevées [8].

b) Agents antitartre

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement. La présence de tartre entraîne immanquablement des difficultés d'exploitation et/ou de perte de rendement. Les additifs antitartre le plus largement utilisés semblent être des polymères de l'acide maléique [16]. Ces polymères empêchent les matières dissoutes de précipiter, décanter et former une croûte sur les surfaces.

c) Agents antisalissures

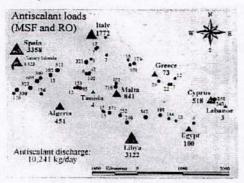
Les salissures constituent un processus à phase multiples dans lequel interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elles commencent par l'adsorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries.

Depuis longtemps, les composés de chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer et l'usine située en amont, afin de prévenir les salissures.

d) Agents antimousses

La mousse produite par l'eau de mer aux étages du procédé de distillation multiflash est imprévisible mais a tendance à poser un problème plus grave quand les séparateurs sont proches de la surface du courant de saumure, ce qui ne permet de séparer qu'un volume réduit en phase aqueuse et la phase vapeur.

Les agents antimousses sont habituellement des polyglycols alkyles, des acides gras et des esters d'acides gras. Les agents sont tension- actifs à l'interface eau- vapeur et empêchent la formation de mousse. La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques.



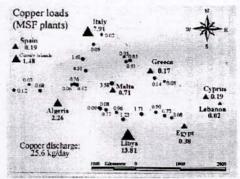


Figure 1 : Estimation des rejets des agents Antitartre dans la méditerranée (en kg/jour).

Figure 2 : Estimation des rejets de cuivre Dans la méditerranée (en kg/jour)

*Les points indiquent les charges de rejet par site, et les triangles, les charges nationales totales [17].

e) La saumure concentrée

Avec le procédé MSF, un taux de récupération habituel sur la base de l'eau d'alimentation est de 10% et la salinité de la saumure concentrée est donc 1,1 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Le concentré est généralement d'lué par deux avec l'eau de refroidissement avant d'être rejeté, et par conséquent le facteur de concentration est de 1,05, ce qui réduit les impacts sur l'environnement.

Avec le procédé OI, le facteur de conversion varie de 30 à 70%. Dans ce cas la salinité du concentré est de 1,3 à 1,7 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Si l'on admet une salinité type de 39 ‰ pour la Méditerranée oriental, cela signifie que la saumure ssue des usines OI varie en moyenne d'environ 51 à 66 ‰.

La composition chimique de la saumure rejetée par rapport à celle de l'eau de mer d'alimentation dans le cas des unités de dessalement OI des îles Canaries est reproduite sur le tableau n°2 [20]. La salinité totale de la saumure est de 63,8, contre 38,95 pour l'eau d'alimentation, soit un rapport saumure/eau d'alimentation de 1,64.

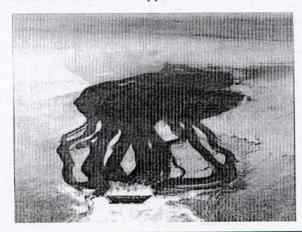


Figure 3: Rejet de l'usine de dessalement d'eau de mer d'Al-Doha, Koweit.

Après le traitement , la saumure concentrée est rejetée en mer où, dessinant l'image d'un monstre tentaculaire [7].

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

Tableau 2: Composition chimique de la saumure concentrée par rapport à celle de l'eau de mer (Données analysées dans des échantillons provenant d'usines OI des iles Canaries)

[20](D'après Zimmerman, 1999).

Analyse	Eau d'alimentation (mg/l)	Saumure (mg/l)	Rapport Saumure/ Eau d'alim-
Ca ++	962	1.583	1,64
Mg ++	1,021	1,09	1,87
Na +	11,781	19,346	1,64
K +	514	830	1,61
NH ₄ +	0,004	0,005	1,25
HCO ₃ ·	195	256	1,31
CO ₃ -	1	1	1
SO ₄ ·	3,162	5,548	1,75
CI -	21,312	43,362	2,03
F-	1,5	1,9	1,26
NO ₃ -	2,6	4	1,54
PO ₄	0,08	0,4	5
NO ₂	0,03	0,05	1,67
Dureté totale en CaCO	6,600	11,800	1,78
Salinité totale (TSD)	38,951	63,840	1,64
Fe***	0,04	0,05	1,25
Al +++	0,001	0,007	7
PH	6,33	6,26	NA
Conductivité	46,200	75,300	NA

f) Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI

Dans les usines OI, le nettoyage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent etre nettoyées à des intervalles de trois à six mois en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les formulation utilisées pour le nettoyage de membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses. Ces produits chimiques sont normalement épurés avant leur rejet dans la mer [6].

2.2. Impacts sur l'environnement

Un grille présentant les impacts néfastes sur l'environnement assocés aux procédés de dessalement est donné sur le tableau 3 . Selon ce tableau, les impacts les plus prononcés sont dus aux produits chimiques qui favorisent les phénomènes d'eutrophisation dans les eaux réceptrices.

La réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices par suite du rejet de saumure chaude et les effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels sont caractérisés comme étant des impacts de degré moyen. La turbidité accure et la limitation de la photosynthèse par suit de la perturbation des sables due aux activités d'excavation et de dragage sont caractérisées comme des impacts de degrés moyen. La la toxicité due aux produits chimiques est

<u>Congrès international</u> : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger caractérisée comme étant un impact de degré faible.

Tableau 3: Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement[2](D'après Abu Odais,1999)

Impact	Degré d'impact	Origine de l'impact	
Pollution thermique: Réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes	M M	Saumure chaude	
Salinité accrue : Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels	М	Saumure concentrée	
Désinfectants	Е	Chlore et ses composés Réaction du chlore avec des composés organiques- hydrocarbures principalement	
Métaux lourds : Toxicité	M	Corrosion du materièl de l'usine	
Produits chimiques : Eutrophisation des eaux receptrices Toxicité Hausse de PH	E F F	Adjonction d'agent anticorrosion et antitartre	
Pollution atmosphérique : Plus acide Effet de serre Poussières	F M M	Utilisation de combustibles et activités d'élimination	
Sédiments : Turbidité et limitation dela photosynthèse Difficultés de respiration chez les animaux aquatiques	M M	Perturbation des sables par des activités d'excavation et de dragage	
Bruit	F	Activités de construction. Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine	

E- Impact de degré élevé, M- de degré moyen, F- de degré faible.

2.2.1. Effets dus aux produits de la corrosion

Les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le chrome et zinc dans le milieu marin.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspensions et déposent en s'accumulant dans les sédiments. Comme, dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concentration effective du métal mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut pas atténuer les effets endilluant le rejet [17].

2.2.2. Effets dus aux additifs antitartre

Les produits utilisés contre l'entartage sont les phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer méditerranée, le rejet de ces produits peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc. Ces dernières anneés, les agents antitartre les plus utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empecher l'apparition d'effets eutrophisants.

2.2.3. Effets des additifs antisalissures

Si le chlore est un agent antisalissures à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur

le milieu marinquand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer [8].

2.2.4. Effets des additifs antimousse

Les agents antimousse sont des détergents. Les détergents ont des effet nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire.

2.2.5. Effets du concentré (saumure)

La saumure exerce le plus fort impact sur le milieu marin. Le volume total de saumure libéré dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire. A part le volume proprement dit, les modalités et l'emplacement du rejet sont essentiels pour les impacts qui peuvent en resulter. La longueur de l'émissaire, sa disatnce au rivege, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existance ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau et les caractéristiques hydrodynamiques (courants, vagues,...) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dillution au point de erjet et, par voie de conséquence, l'impact potentiel sur l'environnement.

Par exemple, à l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), qui a une capacité de production de 40 000 m³/jour, la saumure, d'une salinité d'environ 72 ‰, est rejetée dans la mer par un émissaire doté à son extrémité d'un multidiffuseur, à une profondeur d'environ 5 m et une à distance de 250 m du rivage; il en resulte un accroissement de la salinité dans un rayon de 200 m à partir du rejrt. De fait, la plus forte salinité (≈ 54 ‰) a toujours été décelée au point de rejet et était possible de relever une salinité supérieure à celle de l'eau de mer (≈ 39 ‰) jusqu'à 200 m du rejet. La zone d'impact présentant une forte salinité varie selon la saisaon, l'impact le plus marqué se produisant durant les mois d'été [4].

3. CONCLUSION

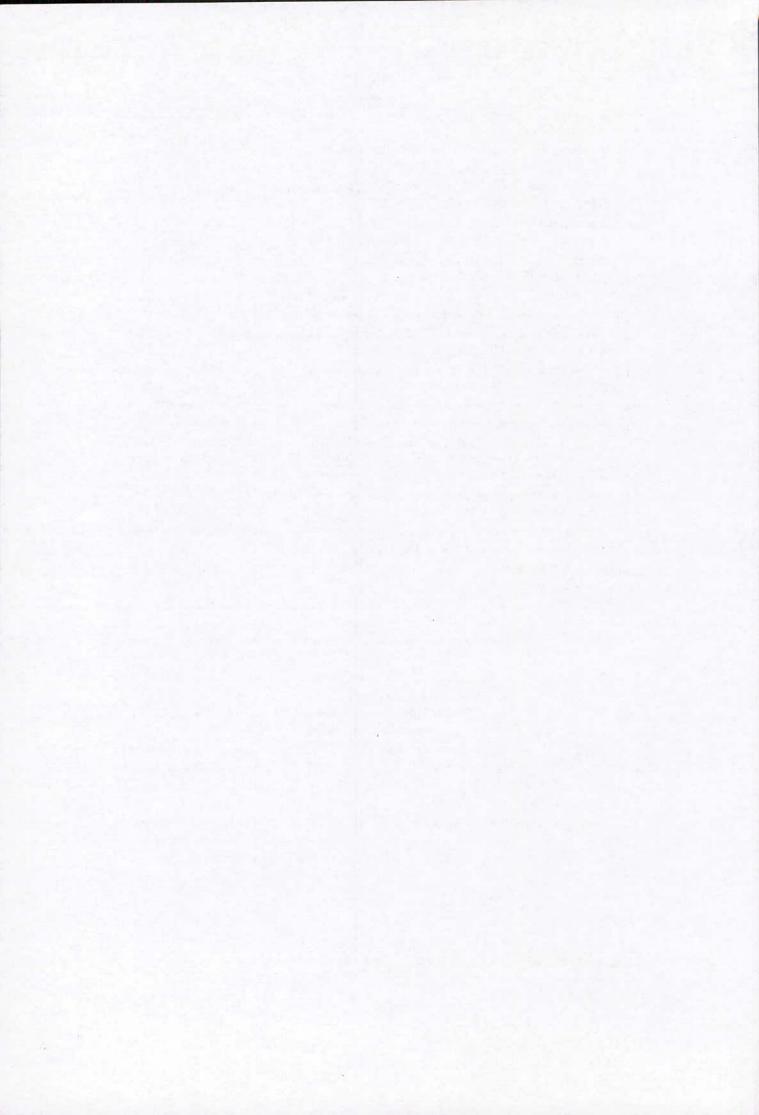
Bien que le dessalement de l'eau de mer soit une industrie en développement dans de nombreux pays du monde, on ne dispose que d'un très petit nombre d'études sur les impacts que cette activité exerce sur le milieu marin. Ces impacts vont du changement de l'occupation du sol, les nuisances sonores aux rejets dans l'eau, émissions dans l'atmosphère et dommages potentiels pour le milieu récepteur. Les principaux procédés de dessalement de l'eau de mer, MSF et OI, diffèrent par le type de leurs impacts. Dans le cas du procédé MSF, les principaux impacts sont la chaleur, les effluents thermiques et le rejet de métaux comme Cu, et Zn, alors qu'avec OI c'est la salinité élevée de la saumure concentrée (1,2 à 3 fois supérieure à la salinité de l'eau d'alimentation).

Un procédé de dessalement nécessite un apport d'énergie thermique ou mécanique, laquelle, à son tour, se traduit par une élévation de la température des effluents de saumure concentrée. Au cours du pré-traitement et du post-traitement qui interviennent lors du processus de dessalement, sont ajoutés un certain nombre de produits chimiques tels qu'agents antitartre, désinfectants, agents anticorrosion et antimousse. Une partie de ces produit ou de leurs dérivés peuvent être rejetés dans la concentré de saumure. Leur ajoit doit être soumis à des conditions bien définies afin d'éviter leurs impacts sur le milieu marin.

L'une des rares études menées à cet égard en Méditerranée a concerné les effets de l'usine de Dhekelia (Chypre) sur la macrobenthos des eaux cotières attenantes. Il en ressort que la saumure , d'une salinité de 72 ‰, entrainait une augmentation de la salinité dans un rayon de 200 m du point de rejet. Des modification notables du macrobenthos ont été relevées à proximité du rejet de la saumure. A proximité de l'usine OI , TIGNE de Malte, des effets ont également été observés sur la croissance des algues.

4. REFERENCES

- [1] Abdul Azis, P.K. et al. (2003), Chlorophyll and plankton of the gulf coastal water of Saudi Arabia bordering a desalination plant. Desalination, Vol 154, pp. 291-302
- [2] Abu Qdais Hani, A (1999), Environmental impacts of desalination plants on the Arabian Gulf San Diego Proceeding, Vol. Lll, pp.249-260
- [3] Anton Purnama. et al. (2003), Modeling dispersion of brine waste discharges from a coastal desalination plants. Dessalination, Vol 155, pp. 41-47
- [4] Argyrou, M. (2000), Impact of desalination plant on marine macrobenthos in the coastal water of Dehkelia bay, Cyprus. Internal Report
- [5] Baba El-Yakubu, J. Ahmed Aidid, I. (2001), Chemical conversions of salt concentrates from desalination plants. Desalination, Vol 139, pp. 287-295
- [6] California Coastal Commission. (1991), Seawater desalination in California Chap. Three: Potential Environmental Impact. Technical Reports
- [7] Eric Guilyardi. (2001), Quand le sel de l'océan pimente le climat. La Météologie Nº 33-Mai 2001
- [8] Hoepner, H. (1999), A procedure for environmental impact assessments (EIA) for seawater desalination plants. Technical Raport
- [9] Margat, J. Vllée, D. (2000), Mediterranean vision on water, population and the environment for the 21st century. Blue Plan for the Global Water Partnership/Medtac in the programme of the world water vision of the world water council
- [10] Mickley, A et al. (1993), Membrane concentrate disposal, AWWA Research Fondation and American Water Works Association
- [11] Morton, M.J. et al. (1996), Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes. Dessalination, Vol 108, pp. 1-10
- [12] Nicos X. Tsiuortis. (2001), Desalination and the environment. Dessalination, Vol 141, pp.223-236
- [13] Rachel, E. et al. (2002), The footprint of the desalination processes on the environment. Dessalination, Vol 152, pp. 141-154
- [14] Schipper, J. (2000), Environmental impact from desalination plants-Pollution of the sea. WHO cours Desalination March 2000
- [15] Thomas, H. Jens, W. (1996), Element of environmental impact studies on coastal desalination plants. Desalination, Vol 104, pp. 11-18
- [16] Thomas, H. Sabine, L. (2002), Chimical impacts from seawater desalination plants- a case study of the northern Red Sea. Dessalination, Vol 152, pp. 133-140
- [17] UNEP / MAP. (2003), Sea water desalination in the mediterranean assessment and guidelines. Technical Reports Series, N^0 139
- [18] Venhems, C. (1992), Critical review of dessalination concentrate disposal to surface water. Repport U.S.A
- [19] Zimmerman, R. (1996), Dhekelia desalination plant. Environmental impact. Assessment Report
- [20] Zimmerman, R. (1999), The Larnaca seawater desalination plant. Environmental impact. Assessment Report.



UN SCHEMA EXPLICIT DE RICHTMYER POUR LE CALCUL DES ECOULEMENTS BIDIMENSIONNELS A SURFACE LIBRE DANS DES CANAUX DE FAIBLE ET DE FORTE PENTE

AN EXPLCIT SCHEME OF RICHTMYER FOR THE CALCULATION OF BIDIMENTIONAL FREE FLOWS SURFACE IN CHANNELS OF WEAK AND STRANG SLOPE.

Ikni Tahar 1, Berreksi Ali 2,3, Benmamar Saadia 3 & Kettab Ahmed 3

¹ Uuniversité de M'Sila (département hydraulique), ² Uuniversité de Bejaia (Algérie) Laboratoire de Recherches (Hydraulique Appliquée et Environnement) (U. Bejaia) ³Laboratoire de Recherches des Sciences de l'Eau -LRS-EAU Ecole Nationale Polytechnique, 10, Av. Hacène Badi, BP 182, El-barrach, Alger

Ikni_Tahar@yahoo.fr, Ali_Berreksi@yahoo.fr, Benmamar@yahoo.fr, Kettab@yahoo.fr

RESUME

L'étude des écoulements à surface libre dans des canaux de faible et de forte pente a été faite à partir des équations de Saint-Venant à deux dimensions. Ces équations sont moyennées sur la profondeur, en régime non permanent dans un système de coordonnées transformées. Les équations de Saint-Venant dans ce système sont résolues numériquement par un schéma explicite de Richtmyer. Ce schéma au second ordre en espace et en temps est composé de deux étapes de calculs prédiction et correction. Le modèle en régime non permanent est utilisé pour obtenir des solutions en régime établi en traitant la variable temps comme paramètre d'itération et en laissant la solution converge vers un état permanent. Trois applications numériques sont faites avec ce modèle pour analyser l'écoulement subcritique et supercritique dans un canal prismatique de faible et de forte pente, et l'écoulement mixte dans un convergent rectiligne. Les résultats obtenus montrent une bonne concordance avec les résultats d'autres chercheurs.

<u>Mots clés</u>: Écoulement turbulent - Écoulement laminaire - Saint - Venant équations Écoulement à surface libre - Écoulement sur fond ondulé.

ABSTRACT

The study of free flows surface in the channels of weak and strong slope has been done from the equations of Saint_Venant to two dimensions. These equations are realized on the depth in non permanent mode in a system of transformed coordinates. These equations of Saint_Venant in this system are solved numerically by an scheme explicit of Richtmyer. This scheme in second order in space and time is composed of two stages of calculation prediction and correction. The model in nonpermanent mode is used to obtain solutions in established mode by treating the variabe time as parameter of iteration and by letting the solution converges towards a permanent state. Three numerical applications are done with this model for analysing the subcritical and supercritical flow in prismatic canal of weak and strong slope and the mixed flow in a converge rectilinear. The obtained results show a good concordance with the results of other researchers.

Key words: Flow turbulent - Laminar flow-Equation of Saint_Venant -Free flow surface - Flow on corrugated bottom

1. INTRODUCTION

L'écoulement de l'eau libre est un phénomène beaucoup plus compliqué que l'écoulement en charge, parce que la présence d'une surface libre entraîne les variations des sections liquides

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger suivant la longueur du courant même en cas d'obstacle insignifiants. Il exige l'étude des processus de formation des ondes stationnaires. Les courants à surface libre peuvent être permanents, non permanents, uniformes ou non uniformes.

Dans cette étude nous nous proposons de caractériser les phénomènes d'instabilités apparaissant à la surface libre d'écoulements dans des canaux non prismatiques. Les canaux non prismatiques sont souvent appelés les transitions du fait qu'ils sont généralement utilisés sur des courtes distances.

Généralement les transitions dans les canaux à surface libres sont utilisées dans les applications hydrauliques, notamment dans les coursiers d'évacuateurs de crue, dans la réduction des pertes d'énergie et dans certains bassins d'amortissement.

Le passage d'un écoulement supercritique dans des canaux non prismatique entraîne des ondes qui se propagent le long du canal, il devient donc indispensable de connaître le réseau d'ondes de choc qui se forme, et par suite la hauteur maximale de l'onde, pour pouvoir dimensionner correctement les parois latérales des transitions afin d'éviter le débordement de l'eau : C'est l'intérêt pratique de notre étude. Parmi les études qui sont faites, on peut citer:

Bagge, G. et Herbich, J. (1967) [1] ont constaté que la majorité des travaux effectués sur les écoulements supercritique dans des canaux à ciel ouvert, sont seulement des travaux sur des canaux horizontaux, où à la limite à très faible pente. Ils ont fait intervenir ainsi l'effet de la pente, en utilisant un modèle mathématique basé sur les équations de continuité et de l'équation de l'énergie.

Suivie d'une étude expérimentale faite en (1972) par Herbich, j. et Walsh, p. [6] afin de faire une comparaison entre les résultats obtenus par expérimentation et ceux obtenus théoriquement.

Beam, R. M. and Warming, R. F., (1976) [2] ont utilisé un schémas aux différences finies implicites pour intégrer les équations de Saint venant.

Jiminez, O. F. et Chaudhry, M. H. (1989) [8] ont intégré les équations de Saint Venant par deux schémas de Mac Cormack et Gabutti. S. M. Bhallamudi et Chaudhry, M. H. en 1992 [4] ont intégré les équations de Saint Venant dans un système de coordonnées transformées simple avec un schéma de Mac Cormack. Fennema, R. J. et Chaudhry, M. H. (1994) [5] ont utilisé des schémas aux différences finies implicites pour intégrer les équations de Saint venant. Younus, M. et Chaudhry, M. H. (1994) [10] ont résolu les équations de Saint venant bidirectionnelles par un schéma implicite dans un système de coordonnées curviligne. Klonidis, A. J. et Soulis, J. V. (2001) [9] ont résolu les équations de Saint venant bidirectionnelles par un schéma implicite dans un système de coordonnées non orthogonales.

2. MODELISATION MATHEMATIQUE [3, 5,8 et 9]

Le modèle mathématique englobant les équations bidimensionnelles graduellement variées en régime non permanent a été élaboré. Le système d'équations obtenu par application des deux principes de conservation de la masse et de la quantité de mouvement est le suivant :

Équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial \mathbf{h}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} (\mathbf{u}\mathbf{h}) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}} (\mathbf{v}\mathbf{h}) = 0 \tag{1}$$

Équation de quantité de mouvement suivant l'axe

$$\frac{\partial}{\partial t} (uh) + \frac{\partial}{\partial x} \left(u^2 h + g \frac{h^2}{2} \cos(\alpha)_{\dot{x}} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (uvh) = gh(S_{ox} - S_{fx})$$
 (2)

Équation de quantité de mouvement suivant l'axe y

$$\frac{\partial}{\partial t}(vh) + \frac{\partial}{\partial x}(uvh) + \frac{\partial}{\partial y}(v^2h + g\frac{h^2}{2}\cos(\alpha)_x) = gh(S_{oy} - S_{fy})$$
(3)

$$S_{fx} = \frac{n^2}{h} \left(\frac{b+h}{bh}\right)^{1/3} u \sqrt{u^2 + v^2}, S_{fy} = \frac{n^2}{h} \left(\frac{b+h}{bh}\right)^{1/3} v \sqrt{u^2 + v^2}$$
 deux pentes de flottements suivant x et y

L'objectif principal de notre travail est la détermination de l'allure de la surface libre de l'eau dans les canaux prismatiques et non prismatiques.

3. APPLICATION DE LA TRANSFORMATION GEOMETRIQUE

Le passage du domaine physique (figure 1-a) vers un domaine de calcul (figure 1-b) est obtenu en utilisant la transformation de coordonnées suivantes :

$$\xi = x \text{ suivant l'axe } x \text{ et } \eta = \frac{y}{b(x)} \text{ suivant l'axe } y$$
 (4)

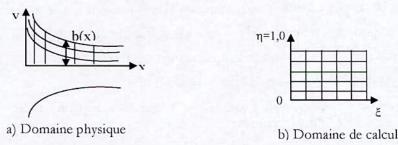


Figure1: Transformation du domaine physique au domaine de calcul

Après application de la transformation géométrique (4) au système d'équations du mouvement (1), (2) et (3), le système d'équations obtenu est:

$$U_{t} + E_{\xi} - \frac{n}{b(\xi)}b'(\xi)E_{\eta} + \frac{1}{b(\xi)}F_{\eta} + T = 0$$
 (5)

Où, $U_t = (h, u, v)^t$ est le vecteur de l'écoulement

avec,
$$E_{\xi} = \begin{bmatrix} uh \\ \frac{u^2}{2} + gh\cos(\alpha)_{\xi} \\ uv \end{bmatrix} F_{\eta} = \begin{bmatrix} vh \\ uv \\ \frac{v^2}{2} + gh\cos(\alpha)_{\xi} \end{bmatrix} \text{ et } T = \begin{bmatrix} 0 \\ -g(S_{o\xi} - S_{f\xi}) \\ -g(S_{o\eta} - S_{f\eta}) \end{bmatrix}$$
 (6)

4. METHODE NUMERIQUE

Plusieurs problèmes en hydraulique exigent, par manque de solution analytique, une solution numérique des équations aux dérivées partielles et l'une des méthodes pour approcher cette solution est la méthode des différences finies.

L'avantage fondamental de cette méthode est l'approximation des équations différentielles par les équations algébriques. En effet, on procède au remplacement d'une équation différentielle continue, dont l'espace solution est généralement infini, par un ensemble d'équations algébriques dont l'espace solution est de dimension finie.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Le système d'équations différentielles qui gouvernent l'écoulement à surface libre (5) sera résolu par un schéma explicite de Richtmyer. Ce schéma est composé de deux étapes qui sont:

Etape de prédiction :

$$U_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = U_{i,j}^{n} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(E_{i+1,j}^{n} - E_{i,j}^{n} \right) + \frac{\Delta t}{\Delta y} \frac{n}{b(\xi)} b(\xi) \left(E_{i,j+1}^{n} - E_{i,j}^{n} \right) - \frac{\Delta t}{\Delta y} \frac{1}{b(\xi)} \left(F_{i,j+1}^{n} - F_{i,j}^{n} \right) - \Delta t T_{i,j}^{n}$$
(7)

Etape de correction:

$$U_{i,j}^{n+1} = U_{i,j}^{n} \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(E_{i+\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} - E_{i-\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{\Delta t}{\Delta y} \frac{n}{b(\xi)} b(\xi) \left(E_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} - E_{i,j-\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} \right) \frac{\Delta t}{\Delta y} \frac{1}{b(\xi)} \left(F_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} - F_{i,j-\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} \right) - \Delta t T^{n+\frac{1}{2}}$$

$$\text{avec, } E_{i+\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \left(E_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + E_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} \right), E_{i-\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \left(E_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + E_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} \right)$$

$$(8)$$

5. ETUDE D'UN ECOULEMENT DANS LE MODELE REDUIT D'UN COURSIER D'EVACUATEURS DE CRUES

5.1. Première application

Dans cette application nous avons un canal dont la pente du radier est d'environ s_0 = 0.000095 sur une longueur de 30.5 m et possédant une section rectangulaire de largeur est de 9.15 m.

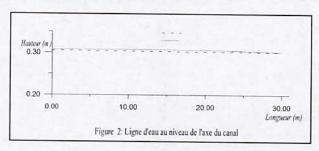
Par simulation numérique, on va déterminer l'allure de la ligne d'eau au niveau de l'axe du canal.

Les conditions de l'écoulement dans le coursier sont résumées comme suit :

Tirant d'eau à l'amont est de 0.305 (m), Vitesse Absolue est 1.52 (m/s).

La figure 2 représente les profils de la ligne d'eau déterminés expérimentalement et numériquement avec le schéma explicite Richtmyer.

• On remarque figure 2, presque sur tout le canal la ligne d'eau calculée avec le schéma numérique explicite de Richtmyer est légèrement au-dessus de la ligne expérimentale mais à l'extrémité aval les résultats sonconfondus.



• Les résultats obtenus avec le schéma utilisé sont proches des mesures expérimentales. Ceci valide le modèle mathématique et numérique utilisés car ici dans cette application les hypothèses supposées lors de l'élaboration des équations de Saint-Venant dans cette application sont respectées.

5. 2. Deuxième application

La partie du modèle qui nous intéresse, c'est ''le coursier'', qui est un canal dont la pente du radier est d'environ 28⁰ sur une longueur de 0.74 m et possédant une section rectangulaire

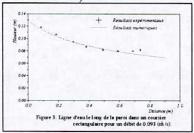
symétrique de 0.41 m.

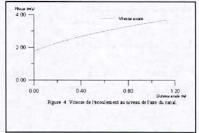
L'étude expérimentale a été faite avec un débit de 0.093 m³/s (débit réel:2700m³/s).

Par simulation numérique, on va déterminer l'allure de la ligne d'eau au niveau de la paroi latérale pour le débit précédent.

La figure 3 représente les profils de la ligne d'eau déterminés expérimentalement et numériquement avec le schéma explicite de Richtmyer.

La figure 5 représente l'écoulement à trois dimensions pour le débit Q= 0.093 m³/s (canal à géométrie uniforme)





- Pour ce débit qui est de 0.093 m ³/s, on remarque sur la figure 3 que les résultats calculés concordent bien avec les résultas expérimentaux sur toute la longueur de la transition. Ces bons résultats peuvent être expliqués par l'absence des ondes de chocs dans le canal.
- Nous remarquons aussi que l'écoulement supercritique dans un canal prismatique à forte pente entraîne une diminution de la hauteur d'eau au niveau de la paroi latérale et au niveau de l'axe du canal (figure 3, figure 5). Ce rabaissement est dû principalement à l'augmentation de la vitesse d'écoulement suivant la longueur du canal (figure 4).

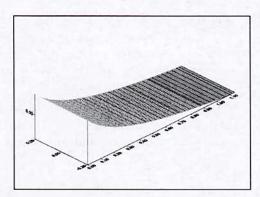


Figure 5: Représentation de l'écoulement à trois dimensions pour le débit Q= 0.093 m³/s (canal à géométrie uniforme)

Les résultats que nous avons obtenus nous permettent de dire que le schéma utilisé dans cette application est bien adapté pour la simulation de l'écoulement. Ce schéma peut être utilisé dans le dimensionnement de ce type de canaux cité ci-dessus.

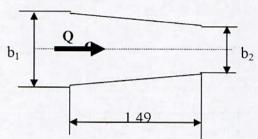
6. ETUDE D'UN RETRECISSEMENT RECTILIGNE A PENTE NULLE

6. 1. Application

L'écoulement mixte (subcritique à l'entrée du canal et supercritique à la sortie du canal) traversant un rétrécissement rectiligne à pente nulle, et à section transversale rectangulaire a

été traité expérimentalement par Coles et Shintakus (1943) [9] le long de l'axe du convergent.

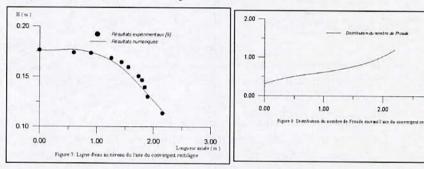
Les dimensions de rétrécissement sont :



b₁ =0.629 m, largeur amont.
b₂ =0.314 m, largeur à l'aval.
L=1.49m, longueur de la transition.
Les pentes de frottements sont supposées nulles
Le débit qui traverse le canal est de 0.045m³/s
La hauteur d'eau à l'amont est de 0.1762m
La hauteur d'eau à l'aval est de 0.1132m

Figure 6 : Rétrécissement rectiligne symétrique à pente nulle

La figure7 représente le profil de la surface libre calculé expérimentalement [9] et numériquement avec le schéma implicite utilisé dans ce travail.



La figure 8 représente la distribution du nombre de Froude le long de l'axe de l'écoulement.

D'après la figure 8, on constate que la distribution du nombre de Froude le long de l'axe du canal est inférieur à un dans la plus grande partie du canal, ce qui explique que l'écoulement est laminaire (subcritique) et il est supercritique juste à l'extrémité du canal c'est pourquoi la ligne d'eau est presque horizontale là ou le nombre de Froude est inférieur à un puis la ligne d'eau diminue quant le nombre de Froude est supérieur à un.

On constate que les résultats numériques obtenus s'approchent bien des mesures expérimentales. Cette concordance des résultats est fort appréciable. On peut dire par la suite, que le modèle élaboré peut être utilisé pour simuler les écoulements dans des canaux à ciel ouverts.

7. CONCLUSION

L'objectif de ce travail présenté, est la modélisation mathématique puis numérique des écoulements bidimensionnels, non permanents dans des canaux à ciel ouvert de faible pente, de forte pente et à géométrie variable (cas du convergent rectiligne).

Le modèle mathématique qui décrit l'écoulement n'est autre que les équations bidimensionnelles de Saint Venant graduellement variées en régime non permanent a été élaboré. Le système d'équations obtenu par application des deux principes de conservation de la masse et de la quantité de mouvement.

La généralisation en question des équations de Saint Venant bidimensionnelles pour la deuxième application dont l'effet d'une pente de fond est considérable a donné de bon résultats car les équations de Saint Venant ont été élaborés en supposant que la pente du

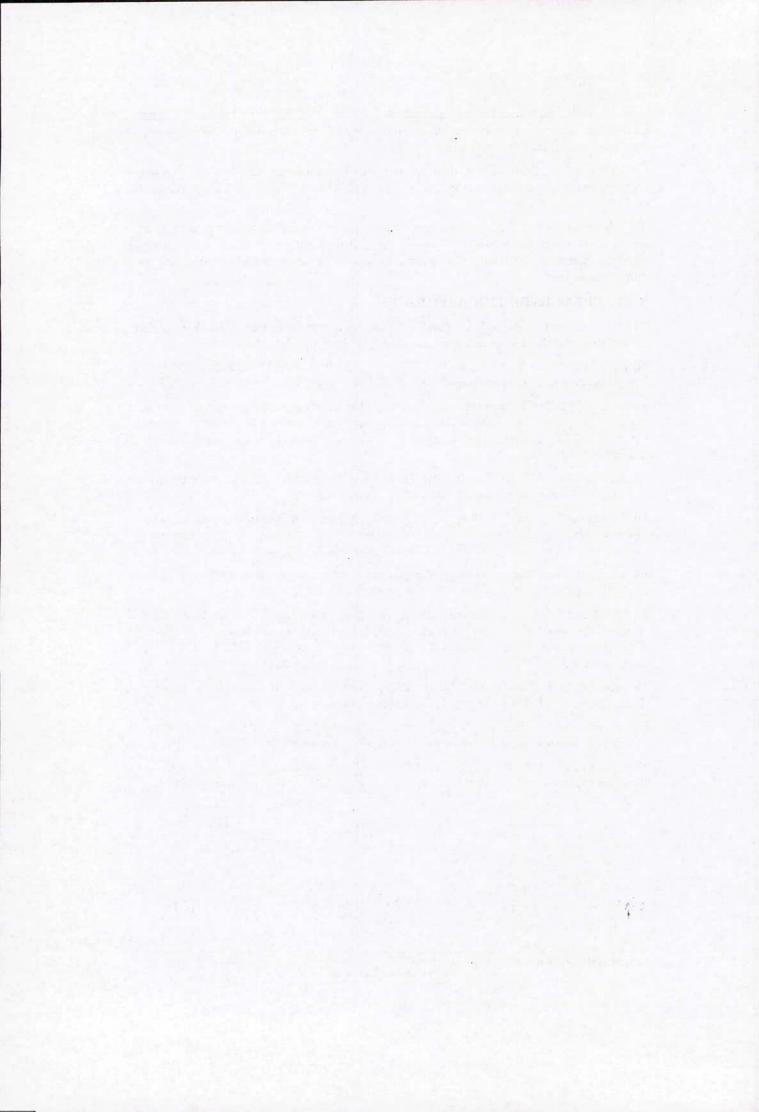
coursier est faible, ce qui ne coïncide pas avec la réalité car les coursiers d'évacuateur s de crue sont généralement à forte pente.

Les équations de Saint-Venant dans ce système de transformé simple sont résolues numériquement par un schéma explicit de type "prédicteur— correcteur" à savoir le schéma de Richtmyer.

Sur la base des résultats obtenus, nous concluons que le modèle mathématique régissant les écoulements à surface libre donne des résultats satisfaisant dans les zones où les chocs ne sont pas fortement dominants. Ceci permet de valider les deux modèles mathématique et numérique utilisés.

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bagge, G. and Herbich, J. B., (1967)., "Transitions in supercritical open-channel flow" Journal of Hydraulic Division ASCE, volume 93, N° Hy5, pp.23-41, September.
- [2] Beam, R. M. and Warming, R. F., (1976), "An Implicit Finite-Difference Algorithm for hyperbolic system in Conservation-Low Form", Jour. Comp. Phys., Volume 22, pp 87-110.
- [3] Berreksi, A. Ikni, T. Benmamar, S. Kettab, A. "Modélisation mathématique et numérique des écoulements bidimensionnels non permanent dans des canaux à forte pente". Séminaire International "eau et risque dans le contexte saharien", Université de Laghouat du 19 au 23 novembre 2004.
- [4] Bhallamudi, S. M. and Chaudhry, M. H., (1992), "Computation of flow in open-channel transitions", Journal of Hydraulic Research, volume 30, N°1, pp. 77-93.
- [5] Fennema, R., J. et Chaudhry, M. H., (1994), "Implicit methods for two-dimensional unsteady free-surface flows", Revision received January 1989.open for discussion till December 1989, Journal of Hydraulic Research. Volume 27, N°3.
- [6] Herbich J. et Walsh, P. (1972) " supercritical flow in nrectangular expansions", jour of Hydr. Div ASCE, Vol, 98, No9, pp 1691-1700 septembre
- [7] Ikni T., Berreksi A., Benmamar S., Kettab A. "Simulation numérique des écoulements à surface libre dans des canaux à géométrie variable en utilisant le schéma de Beam et Warming" Séminaire sur les technologies mécanique avancées « STEMA'033 » 07-08 décembre 2003.
- [8] Jimenez, O. F. et Chaudrhy, M. H. (1989), "Computation of supercritical free-surface flow". Journal of Hydraulic Engrg, ASCE, volume 114, N°4, pp. 377-395.
- [9] Klonidis, A. J. et Soulis, J. V., (2001), "An implicit scheme for steady two-dimensional free-surface flow calculation", Journal of Hydraulic Research, volume 39, N°4.
- [10] Younus, M. et Chaudhry, M. H., (1994), "A depth-averaged k-e turbulence model for the computation of free-surface flow" Journal of Hydraulic Research, volume. 32, 1994, N°3.



EFFET DE LA NON LINEARITE GEOMETRIQUE SUR LE COMPORTEMENT DES BARRAGES

EFFET OF GEOMETRIC LINEARITY ONE THE BEHAVIOUR OF DAMS

Kadri Mohammed

dzkad@yahoo.fr

* Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée et environnement -LRHAE-UMA de Bejaia

RESUME

A l'état naturel, un massif en terre est en équilibre sous l'effet des contraintes en place, et la moindre perturbation de cet état naturel donne naissance à un nouvel état de déformations-contraintes. Ces perturbations peuvent être d'origine naturelle, les séismes par exemple, comme elles peuvent être dues à l'activité de l'homme; exploitation des carrières ou par exemple élévation d'une structure de retenue pour palier aux problèmes de d'envasement et d'inondations de régions.

Le calcul sismique de barrages était toujours jusqu'à 1989 fait par des méthodes pseudo statiques avec des accélérations horizontales du sol égales à 0.1g, alors qu'aujourd'hui tout le monde s'accorde à dire que les tremblements de terres peuvent induire des accélérations beaucoup plus élevées que cette valeur et dans les deux sens, et que les méthodes à utiliser doivent effectivement reproduire le comportement réelle des ouvrage, pour pouvoir bien se prononcer sur la sécurité sismique des ouvrages.

Cependant la sécurité en matière de ressources hydriques est liée directement à la capacité de mobilisation de ces dernières, ceci nous amène à construire des barrages dans des zones avec une sismicité élevée. Dans ce cas une analyse sismique minutieuse s'impose pour parer à toute rupture éventuelle du barrage pendant le séisme.

Dans ce travail le comportement sismique d'un barrage en terre a été investi en tenant compte de la non linéarité géométrique, la réponse de la structure a été analysée.

ABSTRACT

In the natural state, a ground solid mass is in balance under the effect of the constraints in place, and the least disturbance of this natural state gives rise to a new state of deformation-constraints. These disturbances can be of natural origin, the seisms for example, as they can be due to the activity of the man, exploitation of the careers or for example rise in a structure of reserve for stage to the problems of silting and floods of areas.

The seismic calculation of dams was always up to 1989 fact by pseudo static methods with horizontal accelerations of the ground equal to 0.1g, whereas today everyone agrees to saying that the earthquakes can induce accelerations much higher than this value and in the two directions, and than the methods to be used must reproduce the real behaviour of the dams, to be able to make a conclusion about the seismic safety of the dams.

However safety as regards hydrous resources is related directly to the capacity of mobilization of these last, this leads us to build dams in zones with a high seismicity. In this case a meticulous seismic analysis is essential to counter any possible rupture of the dams during the seism.

In this work the seismic behaviour of an earth dam was invested by taking account of the geometrical non linearity, the response of the structure was analyzed.

Mots clés: Eau - Securite - Barrage - Comportement - Non Linearite Geometrique - Sismique.

Keywords: Water – Safety – Dam – Behaviour - Not Geometrical – Seismic - Geometric Non Linearity.

1. INTRODUCTION

A l'état naturel un massif en terre est en équilibre sous l'effet des contraintes en place, et la moindre perturbation de cet état naturel donne naissance à un nouvel état de déformations-contraintes. Ces perturbations peuvent être d'origine naturelle, les séismes par exemple, comme elles peuvent être dues à l'activité de l'homme; exploitation des carrières ou par exemple élévation d'une structure de retenue pour palier aux problèmes de l'envasement de ces retenues et des inondations de régions.

Quelques 245 barrages en remblai – principalement de petit s barrages étaient endommagés suite au séisme de Bhuj d'une magnitude de 7.7 le 26 janvier 2001 à Gujarât en Inde. D'autres barrages ont reçu de sérieuses détériorations pendant les séismes de Kolinski le 17 août 1999 en Turquie et de Chi Chi à Taiwan.

Ces évènements récents ont montré que les tremblements de terre présentent toujours des dangers pour les barrages que les ingénieurs doivent bien prendre en charge pendant l'analyse de la sécurité sismique de ces ouvrages. La stabilité sismique était déjà évoquée en 1955 au 5^{ième} congrès du comité international des grands barrages – ICOLD à Paris. Désormais dans le monde, il n'y a pas de zones qu'on peut considérer comme non sismiques [1].

Le calcul sismique de barrages était toujours jusqu'à 1989 fait par des méthodes pseudo statiques avec des accélérations horizontales du sol égales à 0.1g, alors qu'aujourd'hui tout le monde s'accorde à dire que les tremblements de terres peuvent induire des accélérations beaucoup plus élevées que cette valeur et dans les deux sens, et que les méthodes à utiliser doivent effectivement reproduire le comportement réelle des ouvrages, pour pouvoir bien se prononcer sur la sécurité sismique des derniers.

Avec l'avènement de la micro informatique et la mise au point des méthodes numériques performantes, un développement considérable a été enregistré dans le domaine de l'analyse dynamique dans le cas élastique linéaire, mais dans le domaine non linéaire les recherches sont toujours en cours pour mettre en place des outils et des modèles permettent à l'ingénier de mieux décrire le comportement sismique et prendre les solutions qui s'imposent.

La sécurité sismique des barrages dépend principalement de la sécurité structurale qui, à son tour dépend du choix du site, du choix du type de barrage, de sa forme ainsi que des matériaux utilisés et de leurs qualités.

Cependant la sécurité en matière de ressources hydriques et directement liée à la capacité de mobilisation de ces dernières, ceci nous amène souvent à construire des barrages dans des zones avec une forte sismicité, d'ou la nécessité de faire une analyse sismique minutieuse pour parer à toute rupture en endommagement éventuel du barrage pendant les séismes.

Dans ce travail le comportement sismique d'un barrage en terre a été investi en tenant compte de la non linéarité géométrique, la réponse de la structure a été analysée.

2. FORMULATION MATHEMATIQUE DU PROBLEME

L'étude de l'état de contraintes-déformations dans un massif en terre en utilisant la méthode des éléments finis conduit à l'écriture du principe des travaux virtuels pour le massif considéré. Ce principe stipule que quel que soit le champ de déplacements virtuels, le champ des contraintes vérifie l'équation suivante [2]: $\delta A_{\sigma} + \delta A_{\rho} + \delta A_{\rho} + 0 \tag{1}$

Les conditions aux limites cinématique :
$$y = 0: \vec{u}(\vec{x}, t) = \vec{\psi}_1(\vec{x}, t)$$
; (2)

Et les conditions initiales :
$$\vec{u}(\vec{x},0) = \vec{\psi}_2(\vec{x},0)$$
 (3)

$$\vec{u}(\vec{x},t) = \vec{\psi}_3(\vec{x},0) \tag{4}$$

avec - δA_{σ} travail des forces élastiques

 δAp - travail des forces extérieures

 $\delta A \rho$ - travail des forces d'inertie

Les contraintes σ_{ij} sont déterminées à l'aide de relation suivante : $\sigma_{ij} = \lambda e \delta_{ij} + 2\mu \epsilon_{ij}$ (5)

e- étant le premier invariant du tenseur des déformations,

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{ij} + u_{ji} + u_{ki} * u_{kj}) \tag{6}$$

La non linéarité est prise en compte dans le tenseur de déformation par les termes $u_{ki}^*u_{kj}$ [3]. Le report des relation 5 et 6 dans le principe des travaux virtuels 1 en tenant compte des conditions aux limites, et après traitement par éléments finis permet l'écriture d'un système d'équations algébrique non linéaires équivalents aux système d'équations différentielles du départ de la forme:

$$[K^*(u)]\{u\} + [C]\{\dot{u}\} + [M]\{\ddot{u}\} = \{p(t)\}$$
(7)

avec, les conditions initiales :
$$\{\mathbf{u}(0)\} = \{0\}$$
, et $\{\dot{\mathbf{u}}(0)\} = \{\dot{\mathbf{u}}_0\}$ (8)

En décomposant la matrice K' en une matrice linéaire et une autre non linéaire, le système (8) peut s'écrire suivante [4] : $[M]\{ii\} + [C]\{ii\} + [K]\{U\} = \{p(t) - [K(u)]\}$ (9)

où l'inconnu est le champ de déplacements réel u_i , et la matrice de rigidité est composée de deux matrices, la première est élastique linéaire $[K_e]$ et la deuxième est élastique non linéaire $[K_{Ne}]$, cette dernière dépend du vecteur déplacement i.e. il faut la recalculer à chaque pas d'intégration. La résolution se fait par la méthode θ de Wilson et le système (9) se présentera comme suit :

$$[M]\{\ddot{\mathbf{u}}(t+\theta\Delta t)+[C]\{\dot{\mathbf{u}}(t+\theta\Delta t)+[K]\{\mathbf{u}(t+\theta\Delta t)\}=\{\mathbf{R}_{t+\theta\Delta t}\}$$
(10)

et
$$\{R_{t+\theta\Delta t}\}=\{p(t)+\theta[p(t+\Delta t]-p(t)\}-[K(u(t))],\{u(t)\}$$
 (11)

où, la solution élastique linéaire est prise comme estimation initiale :
$$[K]\{u_0\} = \{p\}$$
 (12)

La solution approchée se calcule par les formules :

$$[K]\{u_{s+1}\} = \{p\} - [K_{Ne}(u_s)]\{u_s\}$$
(13)

$$\left\|u_{s+1} - u_s\right\| \le \varepsilon \tag{14}$$

Cette méthode présente l'avantage d'une convergence rapide et d'une stabilité pour les grands systèmes [2].

3. MODELISATION DU BARRAGE

Dans ce travail nous avons étudié deux barrages du même type avec des hauteurs différentes. Le premier d'une hauteur de 34.74 m, un largeur de crête de 10 m et de pentes m_1 =1 :2 et m_2 =1 :1.5 amont et avale respectivement. Ce barrage est réalisé en Algérie et il est constitué de trois matériaux différents :

- un noyau central en argile $E=6x10^5$ t $/m^2$, $\rho=2.8$ t $/m^3$, v=0.36;
- une zone de transition (filtre) $E=6x10^5$ t $/m^2$, $\rho=2.13$ t $/m^3$, v=0.36;
- les chargement amont et aval E= $3.07x10^5$ t /m², ρ =1.98 t /m³, v=0.36.

Le deuxième est parmi les grands barrages en terre, il s'agit du barrage Nurek construit en ex. URSS. Il a une hauteur de 296 m avec des pentes m₁=1 :2.25 et m₂=1 :2.2, les paramètres physico mécaniques sont les mêmes que ceux du premier barrage. Le choix de ces deux barrages avec les mêmes paramètres physico mécaniques est motivé par le souci de pouvoir comparer les résultats obtenus en fonction de la hauteur.

La discrétisation spatiale du barrage est effectuée à l'aide d'éléments de forme triangulaires à 3 et à 6 nœuds. Pour tenir compte des différentes zones constituantes du barrage nous avions utilisé des macroéléments pour chaque zone, ensuite chaque macroélément est subdivisé en éléments finis.

Le choix du nombre d'éléments est fait sur la base de la comparaison des résultats pour les différents nombres à savoir 288, 576 et 864 éléments. L'analyse de ces résultats montre que une discrétisation avec un nombre de 576 éléments donne des résultats assez fiables, et cela nous permet d'éviter une discrétisation plus fine, qui peut engendrer des matrices très larges, donc des calcul en plus et des fois des phénomènes d'instabilité. Les résultats sont représentés dans le tableau 1 pour deux points situés à des cotes différentes.

Tableau 1:Résultats	des calculs pour	diffèrent type et	nombre d'éléments

		Eléments	triangulaires	à 3 nœuds	Eléments	triangulaires	à 6 nœuds
		288 Elts.	576 Elts.	864 Elts.	288 Elts.	576 Elts.	864 Elts.
Point 1	U _y (m)	0.00223	0.0023	0.00023	0.0023	0.0023	0.0023
X=92.275	$\sigma_y(t/m^2)$	37.888	37,654	37.669	37.743	37.628	37.700
Y=4.3425	$\sigma_{\rm x}(t/{\rm m}^2)$	19.887	20.619	20.621	20.543	20.661	50.597
Point 2	U _y (m)	0.0016	0.0012	0.0012	0.0011	0.0012	0.0012
X=63.375	$\sigma_y(t/m^2)$	9.893	10.069	10.056	10.096	10.043	10.011
Y=26.055	$\sigma_x(t/m^2)$	6.876	7.231	7.198	7.523	7.554	7.554

4. DISTRIBUTION DES CONTRAINTES STATIQUES

Pour illustrer l'influence de la non linéarité géométrique sur l'état de contraintes dans le corps du barrage, nous avons estimé ces dernières pour les deux cas. L'analyse des résultats obtenus pour les deux approches, linéaire et non linéaire montre que la prise en compte dans les calcul de contraintes de la non linéarité géométrique, provoque une augmentation de ces dernières de 5-10% pour le barrage algérien et de 7-13% pour le barrage Nurek. A titre d'exemple les lignes d'égales contraintes normales σ_y sont montrées dans la figure 1.

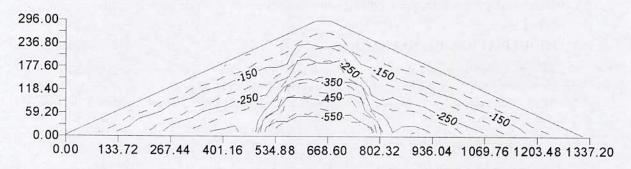


Figure 1 : Lignes d'égales contraintes normales σ_y

Congrès International : De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen Alger Hôtel Hilton - 21-22 mai 2005

5. REPONSE SISMIQUE DU BARRAGE

Pour étudier le comportement sismique des différentes parties du barrage, nous avons analysé la réponse de deux barrages à une sollicitation sismique. Le choix de cette sollicitation est fait sur la base de la comparaison des fréquences propres des deux barrage et celle de séisme pour simuler le cas le plus défavorable – cas d'une résonance. L'accélération du sol du tremblement de terre est représentée dans la figure 2.

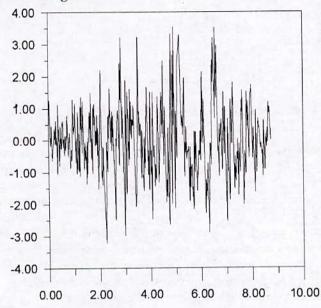


Figure 2 : Accélération du sol dans le séisme de Gazli

6. ANALYSE DES RESULTATS

La figure 2. Représente les déplacements de la partie supérieure du barrage de Nurek.

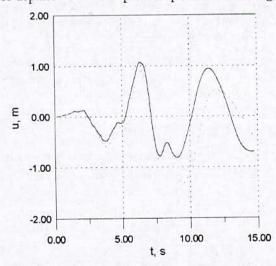


Figure 2 : Déplacement des parties supérieures du barrage

Les contraintes sont calculées dans différents points du barrage, la figure 3 représente l'intensité des contraintes au milieu du barrage pour le cas linéaire et non linéaire.

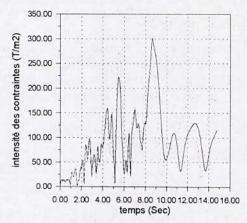


Figure 3: Intensité de contrainte au milieu du barrage

Les résultats obtenus montrent bien l'influence de la prise en compte de la non linéarité géométrique sur le comportement sismique des barrages en remblai. Cette influence est directement liée au type, aux dimensions du barrage et aux caractéristiques du chargement sismique. Cet impact apparaît après un certain temps du début de la sollicitation en maintenant l'amplitude à un niveau assez élevé, i.e. que la dissipation dans joue un rôle important. Les fréquences des vibrations propres, quand elles sont proches des fréquences du séisme induisent une augmentation considérable des contraintes dans les parties supérieures du barrage. Cette augmentation peut provoquer une évolution des micro fissures à des valeurs intolérables, ou bien la naissance de nouvelles fissures importantes, qui peuvent sérieusement fragiliser le barrage. Dans cette optique l'analyse de l'apparition des fissures dan le barrage par le critère proposé par Biarez I. [5], ou le suivi de leur évolution en calculons leurs longueur.

7. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons étudié le comportement sismique des barrages en terre pour essayer de souligner la vulnérabilité sismique de ces ouvrages.

En effet la sécurité sismique dépend de plusieurs facteurs, le plus important parmi ces facteurs reste la sécurité structurale. Dans cette optique nous avons analysé l'influence de la non linéarité géométrique sur la réponse des barrages en terre.

Les résultats obtenus montrent la prises en compte de cette non linéarité induit une augmentation et une redistribution des contrainte surtout dans les parties supérieures de barrages. Ces parties, du point du vie stabilité sont les plus exposées à des glissements, donc l'estimation exacte des contraintes dans ces région est d'une grande importance du point du vue sécurité.

8. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Lane, R., 5^{ième} congrès du comité international des grands barrages ICOLD, Paris. France 1955
- [2] Bathe K.l., Wilson E.L., Numerical methods in finite element analysis. Printice Hall 1976, 448pp
- [3] Kadri M., Salamova K., Sur la résolution des problèmes dynamiques et statiques de barrages en terre. Actes de la conférence internationale « Questions problématiques de mécaniques » Tachkent 25-27 mai 1993.
- [4] Kadri M., Rumi D., Display of geometric nonlinear effect in ground dams. 2nd international conference of jointed and faulted rocks MJFR II. Austria 1995.
- [5] Biarez I., Bordes I.L., Londe P. la fissuration des barrages en alluvions. 10th int. Congres des grands barrages. Montréal 1970. Vol. 1, Q-36. p. 31-39

Congrès International : De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen

RESOLITION DES EQUATIONS DE NAVIER STOCKES PAR LA METHODE DES VOLUMES FINIS

K. Kherbache & * S. Benmamar & * A. Bilek & S. Benziada

* Laboratoire de Recherches des Sciences de l'Eau "LRS-EA / Ecole Nationale Polytechnique d'Alger Benmamar(W Yahoo, fr,

RESUME

La simulation numérique des écoulements à surface libre est d'une extrême importance en hydraulique fluviale ou maritime. Le modèle hydrodynamique de Saint Venant 2D permet de simuler les écoulements à surface libre peu profonds. Ce modèle découle des équations fondamentales de la mécanique des fluides de Navier Stokes tridimensionnel intégré sur la profondeur de l'écoulement. La complexité de ce modèle mathématique ne permet pas de les résoudre analytiquement, donc on est amené à la résolution numérique.

Une simulation numérique basée sur l'algorithme SIMPLE modifié, proposé par Patankar et Spalding a été faite pour la résolution numérique des équations de Saint Venant.

La méthode numérique utilisée est la méthode des volumes finis. Pour la discrétisation spatiale, le schéma hybride a été utilisé. En ce qui concerne la discrétisation temporelle, le choix s'est porté sur le schéma totalement implicite.

Mots clés: Ecoulement à surface libre- modèle réduit de Saint Venant- méthode des volumes finis- algorithme Simple.

1. INTRODUCTION

De nos jours, de nombreuses méthodes numériques utilisant différents schémas de discrétisation ont été développées pour l'étude hydrodynamique des écoulements à surface libre. Dans ce travail, la méthode des volumes finis a été utilisée pour étudier les écoulements à surface libre pour une géométrie bidimensionnelle.

Une simulation numérique bidimensionnelle basée sur l'algorithme SIMPLE a été faite pour la résolution des équations de Saint Venant.

2. MODELE MATHEMATIQUE DE SAINT VENANT 2D

Le modèle mathématique de Saint Venant 2.5D, découle de l'intégration des équations fondamentales de la mécanique des fluides de Navier Stokes tridimensionnel sur la profondeur de l'écoulement en tenant compte des hypothèses de simplificatrice.

Les équations intégrées sur la profondeur de l'écoulement sont :

Equation de continuité

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial HU}{\partial x} + \frac{\partial HV}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

Equation de quantité de mouvement

$$\frac{\partial \overset{\longrightarrow}{H \overset{\longrightarrow}{U}}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \Biggl(\overset{\longrightarrow}{H \overset{\longrightarrow}{U} U} - v_T H \frac{\partial \overset{\longrightarrow}{U}}{\partial x} \Biggr) + \frac{\partial}{\partial y} \Biggl(\overset{\longrightarrow}{H \overset{\longrightarrow}{U} V} - v_T H \frac{\partial \overset{\longrightarrow}{U}}{\partial y} \Biggr) = + g \sin \alpha \Bigl(z_s - z_f \Bigr) - Hg \cos \alpha \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$+\frac{g}{C^2}\overline{U}(\overline{U^2}+\overline{V^2})^{\frac{1}{2}}$$

(2)

$$\frac{\partial \overrightarrow{H} \overrightarrow{V}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\overrightarrow{H} \overline{\overrightarrow{U} \overrightarrow{V}} - \overrightarrow{v_T} \overrightarrow{H} \frac{\partial \overrightarrow{V}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\overrightarrow{H} \overline{\overrightarrow{V} \overrightarrow{V}} - \overrightarrow{v_T} \overrightarrow{H} \frac{\partial \overrightarrow{V}}{\partial y} \right) = - \operatorname{Hg} \cos \alpha \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial y} + \frac{g}{C^2} \overrightarrow{V} \left(\overrightarrow{U}^2 + \overrightarrow{V}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$
(3)

Ce modèle mathématique régit les écoulements à surface libre, il est appelé « modèle mathématique de Saint Venant ». Ce modèle représente des termes aux dérivées partielles.

La résolution analytique de ce type d'équations est limitée pour des géométries très simples. Donc, on doit passer par la résolution numérique.

3. MODELISATION NUMERIQUE

Dans notre étude, nous avons opté pour la procédure des volumes finis développée par Patankar et Spalding.

L'objectif de la méthode numérique est de calculer les valeurs des variables dépendantes en un système d'équations choisi.

Les équations discrétisées pour ces valeurs sont obtenues par intégration des équations différentielles gouvernant l'écoulement de fluide sur un volume de contrôle bien défini.

La discrétisation est divisée en deux parties :

a. La discrétisation spatiale

Deux schémas de discrétisation spatial ont été utilisés : Le schéma hybride et le schéma de la loi de puissance. Une comparaison des résultats obtenus avec les deux schémas est faite.

b. La discrétisation temporelle

Pour la discrétisation temporelle, le schéma totalement implicite a été utilisé.

Le système d'équations discrétisée par la méthode des volumes finis est :

· L'équation de continuité

$$\frac{\left(h_P - h_P^0\right)}{\Delta t} \Delta x \Delta y \phi_P + f_e \phi_P - f_o \phi_P + f_n \phi_P - f_s \phi_P = 0 \tag{4}$$

L'équation de quantité de mouvement suivant la direction x

$$a_{Px}\phi_{P} = a_{E}\phi_{E} + a_{O}\phi_{O} + a_{N}\phi_{N} + a_{S}\phi_{S} + b_{x} + gH_{P}\cos\alpha(h_{o} - h_{e})$$
(5)

L'équation de quantité de mouvement suivant la direction y

$$a_{Py}\phi_P = a_E\phi_E + a_O\phi_O + a_N\phi_N + a_S\phi_S + b_v + gH_P\cos\alpha(h_s - h_n)$$
(6)

avec,
$$a_P^0 = \frac{H_P^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t}$$
, $a_{Px} = a_E + a_N + a_S + a_O + S_{Px} - a_P^0$, $a_{Py} = a_E + a_N + a_S + a_O + S_{Py} - a_P^0$, $b_x = -(a_P^0 \phi_P^0 + S_{cx} \Delta x \Delta y)$ et $b_y = -(a_P^0 \phi_P^0 + S_{cy} \Delta x \Delta y)$

Les coefficients des équations (5), (6) sont exprimés à partir du schéma hybride sous la forme :

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

$$\begin{aligned} a_{\mathrm{O}} &= \max \left[F_{\mathrm{o}}, \left(D_{\mathrm{o}} + \frac{F_{\mathrm{o}}}{2} \right), 0 \right], a_{\mathrm{E}} &= \max \left[-F_{\mathrm{e}}, \left(D_{\mathrm{e}} - \frac{F_{\mathrm{e}}}{2} \right), 0 \right], \quad a_{\mathrm{N}} &= \max \left[-F_{\mathrm{n}}, \left(D_{\mathrm{n}} - \frac{F_{\mathrm{n}}}{2} \right), 0 \right] \end{aligned} \right] \quad \text{et} \quad a_{\mathrm{S}} &= \max \left[F_{\mathrm{s}}, \left(D_{\mathrm{s}} + \frac{F_{\mathrm{s}}}{2} \right), 0 \right] \end{aligned}$$

et à partir du schéma de la loi de puissance sous la forme :

$$a_{O} = D_{o} \max(0,(0.1|Pe_{o}|)^{5}) + \max(F_{o},0), a_{E} = D_{e} \max(0,(0.1|Pe_{e}|)^{5}) + \max(-F_{e},0),$$

$$a_N = D_n \max(0,(0.1|Pe_n|)^5) + \max(-F_n,0), a_S = D_s \max(0,(0.1|Pe_s|)^5) + \max(F_s,0)$$

Les flux massique par unité de surface sur les interfaces des volumes de contrôles sont définis comme suit : $F_e = H_e \, \overline{U} \Delta y$; $F_o = H_o \, \overline{U} \Delta y$; $F_n = H_n \, \overline{V} \Delta x$ et $F_s = H_s \, \overline{V} \Delta x$

La conductance de la diffusion sur les interfaces des volumes de contrôles est définie :

$$D_e = \frac{v_e H_e \Delta y}{\Delta x} ; D_o = \frac{v_o H_o \Delta y}{\Delta x} ; D_n = \frac{v_n H_n \Delta x}{\Delta y} \text{ et } D_s = \frac{v_s H_s \Delta x}{\Delta y}$$

4. ALGORITHMES DE RESOLUTION

Plusieurs algorithmes de résolutions ont été établis pour résoudre le système d'équations algébriques. Parmi ces algorithmes, on cite : l'algorithme Simple et ces variantes (Simpler, Simplec et Piso, Simplest.), qui sont les plus largement employées et utilisés. Ces algorithmes permettent d'apporter des corrections au champ de vitesse et à la côte de la surface libre.

Dans le cas de cette étude, l'algorithme SIMPLE a été utilisé. Cet algorithme a été mis au point par Patankar et Spalding (1972).

Le principe est de partir d'une profondeur constante h', qui par le biais des équations de conservation de la quantité de mouvement, conduit à un champ de vitesse approchée $(\overline{U}^*, \overline{V}^*)$. Des corrections successives sont ensuite apportées à l'une et à l'autre

de façon à se rapprocher petit à petit d'une solution qui satisfasse de mieux en mieux l'équation de continuité. Les différentes étapes sont répétées jusqu'à ce que l'erreur sur chaque équation de conservation, sur chaque volume de contrôle, soit inférieure à une valeur définie au préalable.

5. APPLICATION

L'exemple de simulation que nous présentons est celui d'un écoulement non permanent dans un canal rectangulaire.

La largeur du canal est égale à 4 m. La longueur est de 7.25m.

Les données sont :

- Le pas d'espace suivant x est égal à : Δx = 0,25m.
- Le pas d'espace suivant y est égal à : Δy = 0,1m.
- Le pas de temps est de 5s.

Les conditions initiales sont : $U_0 = 0.428 \text{m/s}$; $h_0 = 0.171 \text{m et } V_0 = 0.\text{m/s}$

La figure 1 représente la variation de la cote de la surface libre le long du canal à y = 2m et à T = 1000s, avec le schéma hybride et le schéma de la loi de puissance.

Les deux figures 2 et 3 donnent le profil de la vitesse U sur la largeur du canal à x = 1.25m, x = 3.25m, x = 6.25m et à T = 1000s, avec le schéma de la loi de puissance et le schéma hybride.

Figure 1 : Variation du la cote de la surface libre le long du canal à y = 2m et T = 1000s

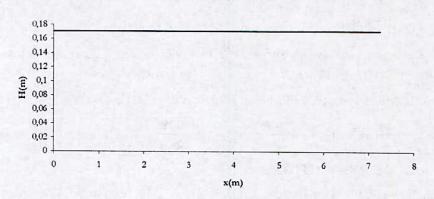
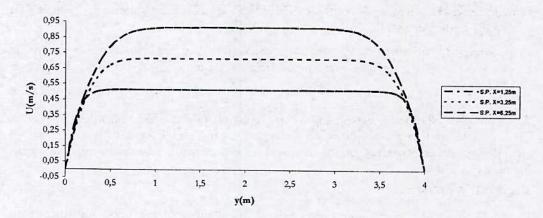


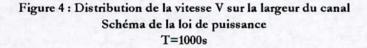
Figure 2: Profils de la vitesse U avec le schéma de puissance T=1000s

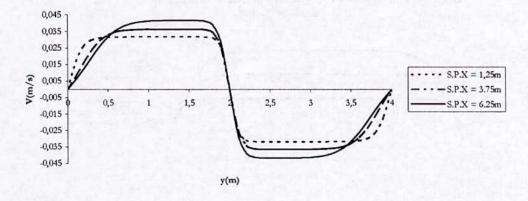


0,95 0,85 0,75 0,65 0,55 - - SH X=1,25m 0,45 - - - SH X=3,25m -- - SH X=6,25m 0,35 0,25 0,15 0,05 -0,05 1,5 2 2,5 0 0,5 3 3,5 y(m)

Figure 3: Profils de la vitesse U avec le schéma hybrisde T=1000s

Les deux figures 4 et 5 donnent le profil de la vitesse V sur la largeur du canal à x=1.25m, x=3.25m, x=6.25m et à T=1000s, avec le schéma de la loi de puissance et le schéma hybride.





-S, H, X = 1,25m 0,045 S, H, X = 3,75m 0,035 S, H, X = 6,25m0,025 0,015 0,005 -0,005 0,5 1,5 2,5 3 3,5 -0,015 -0,025 -0,035 -0,045 y(m)

Figure 5 : Distribution de la vitesse V sur la largeur du canal en utilisant le schéma hybride à T=1000s

5.1. Comparaison entre le schéma hybride et le schéma de la loi de puissance

Les deux figures 6 et 7 représentent le profil des vitesses U et V sur la largeur du canal à x = 1.25m, x = 3.25m, x = 6.25m et à T = 1000s, avec le schéma de la loi de puissance et le schéma hybride.

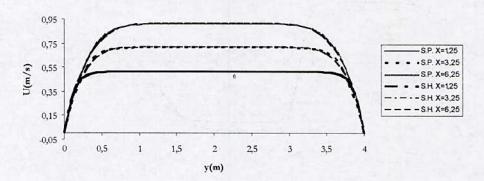


Figure 6: Profil du vitesse U avec le schéma hybride et le schéma de la loide puissance T=1000s

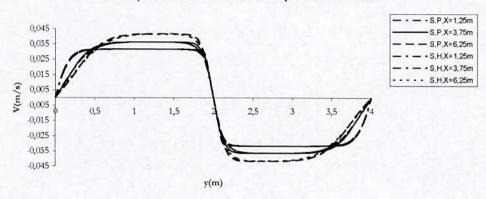


Figure 7 : Distribution de la vitesse V sur la largeur du canal en utilisant le schéma hybride et le schéma de la loi de puissance à T=1000s

6. INTERPRETATION DES RESULTATS

A travers ces résultats nous pouvons dire que l'écoulement correspond bien à celui que nous nous attendions à obtenir :

- Dans les figures 2, 3, 4 et 5, nous constatons qu'il y a présence d'une bonne symétrie par rapport à l'axe longitudinal;
- Les vitesses diminuent au niveau des rives le long du canal.
- A partir des deux schémas 6 et 7, nous pouvons dire que le schéma de la loi de puissance nous permet de donner des résultats plus précis par rapport au schéma hybride.

Suite à cela le code sera appliqué ultérieurement sur un cas réel à savoir sur un oued Algérien.

7. CONCLUSION

L'objectif de ce travail a été de développer un outil de simulation numérique d'écoulement à surface libre.

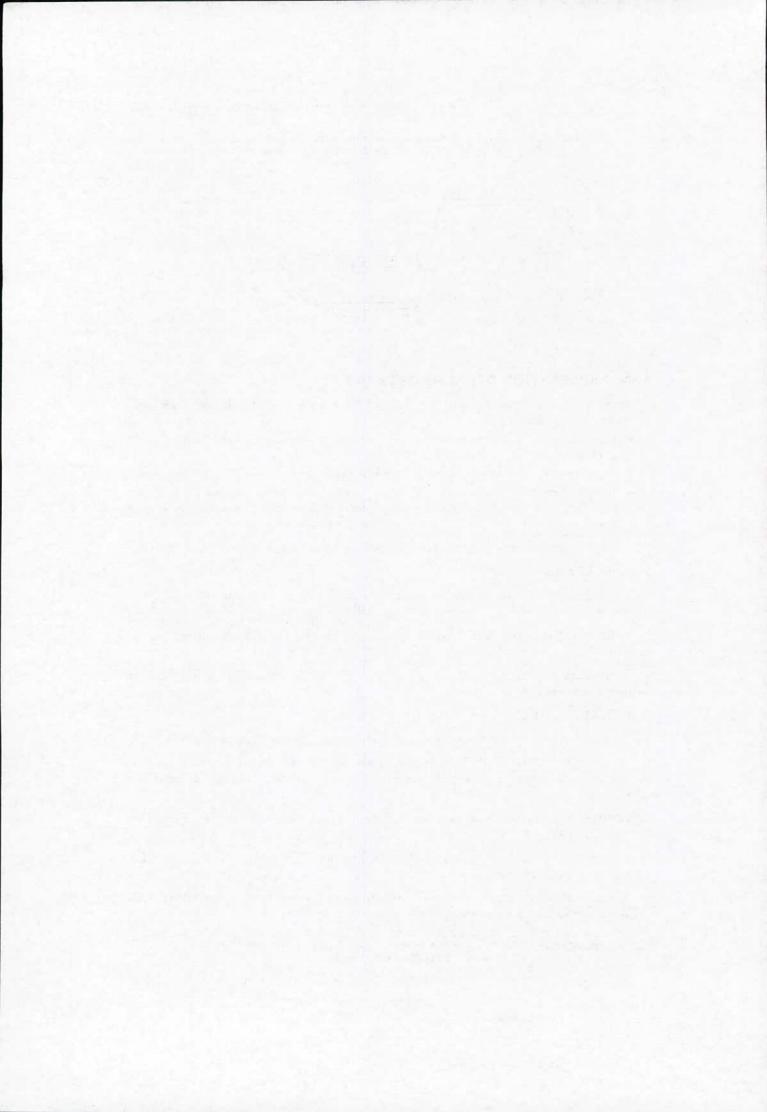
Le modèle mathématique utilisé est celui de Saint Venant. La méthode numérique de résolution est la méthode des volumes finis.

Un programme de calcul a été élaboré pour la résolution des équations algébriques de Saint Venant. Il a donné de bons résultats.

8. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Carlier, M. (1986), « Hydraulique générale et appliquée ». Edition Eyrolles.
- [2] Chassaing, P. (2000). «Turbulence en mécanique des fluides : Analyse du phénomène en vue de sa modélisation à l'usage de l'ingénieur». Collection Polytechnic, CEPADUES-Edition.
- [3] Patankar, S.V. (1980). «Numerical heat transfer and fluid flow». Hemisphere Publishing Corporation, 196p.
- [4] Tingsanchali, T. (1987). «Stability analysis of two dimensional depth average model ». Journal of hydraulic engineering, volume 115, N°9.
- [5] Versteec, H. K. & Mala Lasekera, W. (1995). An introduction to computational fluid dynamics, the finite volume methode.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger



RECHARGE ARTIFICIELLE DES BASALTES DU GOLFE ET AU MAROC SOUS CLIMAT ARIDE A SEMI-ARIDE

Lahlou Abdelhadi

lahlouhadi2004@Yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Les méthodes non-conventionnelles prendront de plus en plus d'importance particulièrement dans les pays Arabo-Musulmans se trouvant dans un étage bioclimatique aride à semi-aride, vu la réduction croissante des sites de construction de barrages et d'implantation de forages d'eau. Les ressources en eau (aussi bien superficielles que souterraines) s'amenuisent graduellement, vue la poussée démographique sans cesse croissante, les besoins agricoles exponentiels, l'augmentation des allocations d'eau potable et industrielle. Une stratégie stricte et multicritère de l'eau, en vu de garantir la pérennité des ressources en eau, et utilisant de nouvelles méthodes et orientations, est à entreprendre de prime abord, d'autant plus que des pénuries d'eau sont prévues à moyen terme dans la plupart de ces pays

D'autres part on a observé au cours des trente dernières années une recrudescence des sécheresses dont la durée et la fréquences sont plus élevées que par le passé et qui est accentuée par des phénomènes nouveaux tels le Global Warm (généré par les actions anthropiques et l'émission de gaz à effet de serre) et par l'El-Nino Southern Oscillation..

L'adoption d'une stratégie stricte et imminente de mobilisation et de gestion des ressources en eau, au vu du déséquilibre chronique et graduel du bilan ressources-besoins, s'instaure : à titre indicatif un déficit chronique est déjà observé à Djibouti, et il en sera de même dans dixhuit ans au Maroc.

Dans la communication, seront présentées et détaillées deux exemples d'études et d'application de la recharge artificielle des nappes souterraines : le premier est celui de Djibouti (objet de l'expertise effectuée en 1995 et intitulée : « Propositions techniques pour la recharge artificielle des basaltes du Golfe. Alimentation en eau potable de la ville de Djibouti », Projet Dji/90/001, consultation au nom de l'U.N.O.P.S.: United Nation Office Of Project Service, New York), et le second est celui de Charf Al Akab et du N'Fis au Maroc.

Dans toute analyse de recharge artificielle deux études principales ont été entreprises à savoir l'étude hydrologique (et l'étude sédimentologie d'importance capitale dans le colmatage et le coût de la recharge) et celle hydrogéologique. Par ailleurs, dans les deux cas de figures, l'étude économique et l'impact des injections proposées ou effectuées, a été effectuée.

La recharge artificielle constitue un aménagement hydraulique à part entière à même d'optimiser et de mieux régulariser aussi bien les eaux de surface que souterraines et de rétablir la balance ressources en eau-demande.

2. ETUDE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE DES BASALTES DU GOLFE A DJIBOUTI

2.1. Etude hydrologique

L'étude hydrologique a porté principalement sur les oueds Deydey Weyn, Douda Weyn, Damerdjog, et Ambouli, la détermination des apports mensuels, annuels et interannuels, leur distribution fréquentielle par les divers modèles statistiques tels Pearson III, Hazen, Foster, T incomplète, Log normale, ...Il faut remarquer que le nombre de stations hydrologiques et

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger pluviométriques, dont réduits à leur plus simple expression ; il en est de même des mesures de débits et des données climatologiques.

Ayant réalisé pour le compte de l'O.A.D.A. (Organisation Arabe Pour le Développement de l'Agriculture, siège : Khartoum, Soudan), une consultation intitulée : « Etude intégrée de la Province de Hajjah », portant sur l'hydrologie et l'hydrogéologie de onze bassins hydrographiques, du Yémen du nord (Bawhal, Bani Nashir, Bani Hassan, Qur, Harad, Wadi Maur,... j'ai effectué des corrélations des précipitations des pluies-débits, des crues et des apports solides... entre les deux contextes yéménite et djiboutien, lesquels ont abouti à faire d'excellentes corrélations, les conditions climatiques étant pseudo-similaires.

Sur la base de diverses études hydrologiques et de quelques mesures observées, j'ai pu obtenir les apports moyens annuels des principaux oueds analysés :

Tableau 1: Apports moyens annuels des principaux oueds de Djibouti

Bassin versant	Superficie (km²).	Apport moyen annuel (Mm³/an)
Ambouli	588	6,90
Deydey Weyn	320	3,75
Douda Weyn	80	0,94
Damerdjog	60	0,70

<u>Source</u>: LAHLOU Abdelhadi, 1995, dans Rapport de consultation de l'U.N.O.P.S. « Propositions techniques pour la recharge artificielle de Djibouti »

Tableau 2: Apports maxima de crues (maxima instantanés) des principaux oueds de Dibouti, déterminés par la méthode de Gumbel

Bassin Versant	Superficie Km²	4000	ma instantanés de c our diverses période	
		10 ans	100 ans	1000 ans
Ambouli	588	28,5 (G)	57,8	85,6
Deydey Weyn	320	15,5	31,5	46,6
Douda Weyn	80	3,9	7,8	11,7
Damerdjog	60	2,9	5,9	8,7

Source: LAHLOU Abdelhadi, 1995, dans Rapport de consultation de l'U.N.O.P.S. « Propositions techniques pour la recharge artificielle de Djibouti »

2.2. Etude de sédimentation

En recharge artificielle, l'analyse des sédiments en suspension qu'en charriage est l'élément déterminant dans la rapidité de colmatage, le dimensionnement de l'aménagement de recharge et finalement dans le coût. Comme il n'existe pas de données en la matière, j'ai été assujetti à utiliser des modèles connus tels ceux de Meyer Peter, Schoklish, Kalinske, Einstein, Brown, ... (pour le charriage) et Vanoni (pour la suspension) ainsi que mon expérience. C'est ainsi j'ai trouvé comme dégradation spécifique moyenne annuelle 700 >D>100 T/km²/an. Vu l'espace réservé, cette étude sera largement détaillée lors de la présentation de la communication.

2.3. Etude hydrogéologique

Actuellement l'exploitation de la nappe de Djibouti s'effectue par le biais de 30 forages dont la profondeur varie entre 20 et 100 m. Le débit moyen journalier est de l'ordre de 30.000m³/j. L'évaluation des besoins futurs de la ville de Djibouti a été entreprise par l'ONED en 1993. En l'an 2000 les besoins étaient estimés à 13,2 Mm³/an; en 2010 ils atteindront 17,8 Mm³/an, et 20,4 Mm³/an en 2015.

En plus de la salinisation et de la dégradation progressive de la qualité des eaux dans la zone littorale de la Mer Rouge (où se trouve le maximum de forages d'eau), l'extension massive du pompage de la nappe littorale présente des impacts additionnels qu'il y a lieu de prendre en considération ; alors qu'en 1984 la conductivité était de 2250 μS/cm et la minéralisation totale de l'eau de 1650 mg/l, ces deux paramètres ont atteint successivement 2850 μS/cm et 1850mg/l en 1994.

Parmi les tâches réalisées dans le cadre de la consultation précitée, on peut signaler, en plus de l'hydrologie :

- la géologie et l'examen approfondi des prospections géologiques, le rôle de la fracturation et de l'altération des basaltes du Golfe,
- les propriétés hydrodynamiques (transmissivité, coefficient d'emmagasinement, gradient hydraulique...),
- les résultats des travaux et études d'infiltration naturelles et provoquées (la mesure des taux d'infiltration dans les sites potentiels retenus, la mesure de la perméabilité,
- l'essai de la recharge artificielle de la nappe de Djibouti d'après le modèle mathématique développé par l'I.S.E.R.S.T. (Institut Supérieur d'Etudes et de Recherches Scientifiques et Techniques),
- l'exploitation de la nappe et les besoins futurs, la collecte et l'analyse des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe,
- les travaux cartographiques de surface et particulièrement la détermination des zones favorables à la recharge artificielle,...

Le profil géologique de la basse vallée d'Ambouli se présente comme suit, de haut en bas :

- Alluvions récentes
- Alluvions halocènes : argiles brunes du Pléistocène supérieur
- · Argiles fluvio-marins (argiles, sables,...), s'interstratifiant dans la madrépore,
- Conglomérats du Pléistocène ancien (gradient hydraulique à gradient hydraulique : i = 1,5 °/₀₀
- Basaltes de couverture du Plio-Pléistocène (i = 1 °/₀₀)
- Basaltes du Pléistocène : i = 8 º/oo
- Madrépore calcaire (Pléistocène moyen actuel.

Les analyses géologiques ont porté sur la géodynamique et la séismicité ainsi que sur les formations volcaniques et sédimentaires lesquelles se présentent comme suit: les basaltes anciens (âge 26 à 3,6 Ma: Millions d'années); Rlnjolits de Mabla; les basaltes de Dalha (9 à 3,6Ma); les Rhyolits de Ribta (3,5 Ma); les basaltes de Somalie (7,1 à 3 Ma), les basaltes Stratoïd (3,6 à1 Ma) et, finalement les basaltes du Golfe.

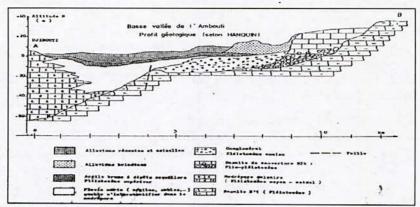


Figure 1: Coupe géologique da la vallée d'Ambouli

<u>Source</u>: Hanquin J.P., 1978, La nappe côtière de la région de Djibouti, hydrologie et hydrogéologie, Thèse 3^{ième} cycle, Université de Bordeaux-Valence, p.200

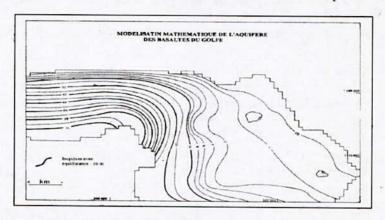


Figure 2 : Modélisation de l'aquifère des basaltes du Golfe de Djibouti

<u>Source</u>: Coopération Hydrogéologique Djinouti-Allemande, 1993, Modélisation par simulation numérique de l'écoulement des eaux souterraines dans la nappe de Djibouti,

Dans le domaine hydrogéologique, on a constaté une grande hétérogénéité du milieu basaltique où l'on a reconnu des discontinuités horizontales et verticales. A ce titre, j'ai préconisé de revoir le modèle mathématique de la nappe de Djibouti établi par l'I.S.E.R.S.T.,

Les transmissivités varient dans la nappe de Djibouti varient suivant les zones :

- 10⁻⁴ à 10⁻³ m²/s au N-E de la nappe
- 10⁻³ m²/s à 5 10⁻³ m²/s au Centre
- $^{\bullet}~5~10^{\text{-3}}~\text{m}^{2}/\text{s}$ à $10^{\text{-2}}~\text{m}^{2}/\text{s}$ au Sud
- $^{\bullet}~10^{-2}~\text{m}^2/\text{s}$ à $510^{-2}~\text{m}^2/\text{s}$ au N-E, parallèle à la zone côtière
- 510⁻² m²/s à 10⁻¹ m²/s au N-O
- $^{\bullet}~10^{\text{-1}}~\text{m}^2/\text{s}$ à $510^{\text{-1}}~\text{m}^2/\text{s}$ au S-E, parallèle à la zone côtière

2.4. Bilan de la nappe de Djibouti

Le bilan hydrogéologique de la nappe de Djibouti a été calculé dans le cadre de la consultation de 1995, où plusieurs hypothèses ont été considérées à cause du manque de données à plusieurs niveaux :

- absence de forages sur toute la zone ouest de la nappe à l'exception du captage de PK 20 : niveau piézométrique, gradient hydraulique, paramètres hydrodynamiques,...
- forages inexistants dans les basaltes du Dalha à proximité amont de la zone des basaltes du Golfe à l'ouest : difficulté particulière pour définir le gradient hydraulique de cette zone qui joue un rôle important dans le bilan.

Compte tenu du contexte hydrogéologique, plusieurs caractéristiques ont donc été prises en compte. Le bilan ainsi calculé indique que la variation de la réserve totale de la nappe, entrée du système hydrogéologique moins la sortie, est négative. On trouve –2 et –14 Mm³ pour le minimum et le maximum de déficit.

Tableau 3 : Apport estimé d'après le modèle hydrodynamique

T m ² /s	i	L	Q	Volume annuel m ³
0,0035	0,00667	12000	0,28	
0,003375	0n01	3000	0,101	
0 ,000174	0,005	3000	0,00261	
0,000125	0,004	11500	0,00575	
0,000287	0,0008	6500	0,00149	AT RESUME T
0,00848	0,0005	8000	0,03392	
			0,42502	13.403.507 m ³

T: Transmissivité; i: gradient hydraulique; L: Longueur; Q: débit

Source: LAHLOU Abdelhadi, 1995, dans Rapport de consultation de l'U.N.O.P.S. « Propositions techniques pour la recharge artificielle de Djibouti »

L'apport ainsi estimé d'après le modèle mathématique de la nappe de Djibouti est de 13,4 Mm³

Tableau 4: Bilan hydrogéologique de la nappe de Djibouti

		0 1	And a supplied to the supplied of the supplied		
ENTREE	1	2	SORTIE	1	2
Infiltration	15	15	Pompage	13	13
Apport	7	13	Ecoulement nappe	17	23
Total	22	28	Total	30	36

Source: LAHLOU Abdelhadi, 1995, dans Rapport de consultation de l'U.N.O.P.S. « Propositions techniques pour la recharge artificielle de Djibouti »

 $\Delta V \text{ minimum} = 28-30 = -2 \text{ Mm}3$

 $\Delta V \text{ maximum} = 22-36 = -14 \text{ Mm}3$

L'équation du bilan hydrique s'écrit pour l'ensemble des bassins versants (superficie totale 1048 km²) :

$$P + Qa1 + Qu = ETR + Q + Qex + Qp + Qmer$$

201,9 6,6 0 167,5 11,7 11,4 14,3 16,5

ou 208,5 < 221,4 : le bilan hydrogéologique se ferme à 6 %

En 1982 le bilan était fermé à 3 %.

2.5. Essais de recharge artificielle à Djibouti

Les essais d'injection concomitantes à Ambouli et Attar d'une part, et ensuite à Ambouli, Attar, Damerdjog et Douda, donnent des résultats remarquables : les isopiézomètres 1,5 m et 2 m passent respectivement en aval du champ de captage de Nagad. Dans les deux cas respectivement, les rabattements à Nagad et à Attar sont supérieurs à 1,5 m : ceci représente un très bon résultat pour résoudre le problème du biseau salé et abaisser la salinité des eaux de pompage dans les zones lottorales à pompage élevé.

Il faudrait retenir plusieurs éléments de ces tests de simulation des recharges dans l'aquifère des basaltes alimentant la ville de Djibouti :

- L'hétérogénéité du milieu basaltique conditionne fortement l'effet de la recharge artificielle comme c'est le cas à Attar. Il est bien entendu très difficile, dans un modèle, de définir aussi précisément les différentes discontinuités dans le milieu, en particulier ces zones de faibles transmissivités dues au dykes,
- Les paramètres hydrodynamiques devraient être connus aussi précisément que possible et sur le maximum de forages. Il faudrait réaliser de nouveaux pompages pour déterminer de nouvelles valeurs de transmissivité. On pourra aussi mieux contrôler l'effet de diffusion de la recharge de la nappe
- C'est à partir de 0,4 Mm³ que l'effet de la recharge paraît sensible sur la piézométrie d'après les tests effectués sur le site de Damerdjog,
- La recharge artificielle, mis à part son but pour l'alimentation en eau potable, permettra certainement de résoudre le problème de salinité de l'eau de pompage par l'augmentation de la piézométrie qui a pour effet de repousser l'interface eau douceeau salée,

Il apparaît qu'une meilleure distribution des forages (entre Nagad et Attar), n'entraîne pas une dépression locale de la nappe et si les profondeurs des forages sont respectées, le problème de l salinité ne se pose pas. Les forages de Nagad et Attar devraient donc être mieux répartis dans l'espace.

Tableau 5 : Volumes à injecter dans la nappe de Djibouti, suite à l'expertise

Position de l'injection	Volumes à injecter m3
Ambouli	100000
Ambouli	250000
Attar	250000
Douda	400000
Damerdjog	100000
Damerdjog	120000
Damerdjog	200000
Damerdjog	400000
Ambouli et Attar	500000
Ambouli, Attar, Douda et Damerdjog	5800000 m3

Source: LAHLOU Abdelhadi, 1995, dans Rapport de consultation de l'U.N.O.P.S. « Propositions techniques pour la recharge artificielle de Djibouti et, 1-4 juillet 2003, dans Proceedings de la Deuxième Conférence Internationale sur l'Hydrologie des Wadis, Amman, Jordanie

2.6. Etude économique

Dans cette étude, l'identification et les quantifications des coûts des diverses variantes ont été analysés :

- · Coûts des investissements (ouvrages hydrauliques nécessaires,
- Coûts annuels (charges fixes, coûts de pompage : les dépenses liées aux investissements (sans tenir compte des aspects financiers) et les coûts annuels, sont introduits (en fin de l'année concernée), dans les cash-flows selon l'échelonnement des ouvrages et le rythme de mise en valeur. ...
- Identification et quantification des recettes
- Les taux de rentabilité internes des diverses variantes ainsi que les valeurs ajoutées nettes
- Taux d'actualisation: de 10 % utilisé dans les comptes de la Nation; et 12% utilisé
 pour les cash flows est égal au coût d'opportunité du capital et présente aussi l'avantage
 d'être conforme aux taux d'emprunt à moyen terme de la Banque Mondiale.

Le coût total de tout le projet pilote est 560.000 US\$ (1 US \$= 178 FD, ou 2700000 FF (1FF= 37 FD)

3. ETUDE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE AU MAROC

3.1. Etude de la recharge artificielle de Charf Al Akab

Le but de la recharge artificielle est d'assurer une réserve interannuelle pour l'alimentation en eau potable de la ville Tanger au nord du Maroc. Cette recharge permet aussi de pousser le biseau salé.

La structure principale de la nappe est composée de calcaires et de grès sableux du Pliocène. Au centre de la structure, la nappe présente une profondeur maximale de 300 m.

L'eau est injectée artificiellement dans un bassin situé dans une zone très fracturée des calcaires. Les ressources en eau superficielles proviennent :

- D'abord du barrage Ibn Batouta, mis en service en 1978 sur l'oued Mharhar, lequel régularise un volume annuel de 26 Mm³: on rejette dans la nappe, 80000 m³/j à partir des lâchers traités.
- Puis de la station de traitement sur l'oued Hachef (provenant du barrage du même nom) mise en service en 1989, dimensionnée pour traiter 120000 m³/j.

La nappe de Charf Al Akab, de superficie de 17 km², se présente comme une cuvette complètement fermée.

Les formations géologiques sont constituées, de bas en haut, par :

- une formation inférieure constituée de biocalcarénites,
- une formation intermédiaire formée de marnes et de sables marneux,
- une formation supérieure constituée de sables et de grès fins.

Sur le plan hydrogéologique, le bassin de Charf Al Akab, la nappe supérieure (superficie 10,5 km²), contient une eau fortement minéralisée : l'alimentation de cette nappe est pluviale. Vu les faibles caractéristiques hydrodynamiques, cette nappe n'est l'objet de prélèvements faibles. Par contre la nappe inférieure circule dans des formations biocalcarénites fissurées et karstifées reposant sur un substratum imperméable. La transmissivité de cette nappe est : T =

 $5~10^{-3}~\text{m}^2/\text{s}$ et le coefficient d'emmagasinement ; S= $3~10^{-2}$ en zone semi-captive et 15~% en zone libre. La réserve totale estimée à $100~\text{Mm}^3$ est l'objet de recharge artificielle

Tableau 6 : Historique de la recharge artificielle de Char Al Akab, au nord du Maroc

Dates	Caractéristiques de la recharge artificielle
1949	Prélèvements : 1,7 Mm ³
1953	Prélèvements : 3,2 Mm³
1955	Premiers essais à partir des eaux traitées des Dayas, réalisés dans la Source Tarfania et le forage 30/, non satisfaits ;absorption : 43 m³/h pour la source et 60 m³/h au niveau du forage
1958	Poursuite des expérimentations à partir des fosses d'infiltration satisfaisants : fosses 1 à 8 : 280 m³/h ; fosse 9 : 350 m3/h ; fosse 10 : 370 m³/h
1964	Remontée puis descente du niveau piézométrique
1975	Doublement du volume d'eau traitée par la station de Boujdour (porté à 40000 m³/jour Le maximum d'eau prélevée à partir de la nappe était de 7 Mm³
1978	Construction du barrage Ibn Batouta
1981	Période de sécheresse : le débit injecté était le minimum de la série : 0,02 Mm ³
1982	Doublement du volume traité par la station de Boujdour à 80000 m³/j; on a alors observé une remontée importante jamais observée depuis 1964
1984	L'injection de 38400 m³/j à partir de la faille no 12 et des fosses 1 à 9, ont donné naissance à une source de 14 l/s
	Le maximum injecté était de 4,3 Mm ³
1989	Après la réalisation de la station de traitement de Hachef et du barrage portant le même nom, la quantité totale d'exhaure fut importante.
	Le maximum d'eau prélevée à partir de la nappe était de 7 Mm ³
1990	Les essais prometteurs ont été effectués à partir de nouvelles fosses (no 47 et 52).

En vue d'assurer actuellement l'eau potable à la ville de Tanger, on doit passer de l'exhaure de 40000 m³/j actuels à 60000 m³/j et même plus et ceci par la réalisation de nouveaux forages additionnels.

Nous faisons remarquer, par ailleurs, que les deux stations de traitement des eaux de Boujdour et de Hachef, avaient fait l'objet d'arrêt partiel quand le taux des charges en sédiments était élevé, en pleine période de sécheresse.

3.2. Etude de la recharge artificielle du N'Fis

Les principes de l'applicabilité de la recharge artificielle sont :

- En terrain granulaire, l'infiltration est préférable à l'injection,
- L'infiltration optimale nécessite la conservation d'une tranche non saturée sous le dispositif,
- Le système de prétraitement doit se limiter au décanteur principal...

Dans la nappe de l'aquifère, de l'argile, des grès et des conglomérats se sont accumulés sue les formations primaires schisteuses et, sa limite inférieure comporte un réservoir constitué par des formations permo-triassiques avec une matrice argileuse. On observe une hétérogénéité élevée (verticale et horizontale), et la puissance de la nappe s'étale entre 50 m et 120 m. Les caractéristiques hydrodynamiques principales se présentent comme suit : 10^4

 $m^2/s>T>4x10^2$ m^2/s et 1%<8%, où T est la transmissivité et S le coefficient d'enmagasinement. L'étude du bilan hydraulique et la simulation, montrent qu'un débit de 10 m^3/s , est échangeable avec l'aquifère.

Le niveau piézométrique de la nappe a baissé fortement (-25 m à Souihla), vu les sécheresses répétées et le pompage intensif dans le Haouz.

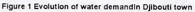
Los caractéristiques des bassins de recharge artificielle du N'Fis sont les suivantes : zone non saturée (30 m), le terrain d'injection est granulaire, le prétraitement a consisté à la décantation dans le premier bassin ; la profondeur d'encaissement varie de 2 à 3 m : la vitesse de Hazen Vd= Q/S= rapport du débit du premier bassin de décantation : Vd= 3,4 m/j; surface du bassin de décantation : 7550 m²; surfaces des 3 bassins d'infiltration successifs : 7100 m², 5425 m² et 6275 m²; diguettes transversales et longitudinales avec déversoir en béton armé calibré au débit d'entrée par la formule du déversoir : Q= mlh (2gh)½, où m est le coefficient de débit (de l'ordre de 0,4), l = longueur du déversoir et h est la charge au-dessus du déversoir.

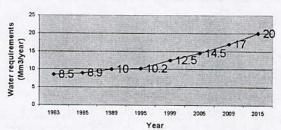
Des formules ont été utilisées pour le dimensionnement du bassin de décantation et des autres trois bassins d'infiltration :

- $1^{\text{ère}}$ équation :Q = (NS s) Vi, (1), où Q est le débit rentrant dans le premier bassin de décantation (m^3/j), T est la durée d'infiltration, S est la surface du bassin d'infiltration, s est la surface du bassin de décantation. Le débit de la recharge artificielle du N'Fis était de 300 l/s,
- 2^{ième} équation Q K T = n.v. 10³ d (2), où K est la teneur en matières en suspension (kg/m.³), d= poids spécifique des sédiments sous l'eau : au N'Fis, vu qu'on fait infiltrer des eaux provenant du barrage amont de Lalla Takerkoust, la concentration en matières en suspension est relativement faible : 100mg/l observée alors qu'on a estimé, au départ une valeur beaucoup plus élevée, de l'ordre de 3 g/l.

Auparavant avant la recharge, le test effectué sur une parcelle de 50 m², sous une charge de $0.3 \, \text{m}$, au bout de 3 h avait fourni les résultats suivants : Vitesse d'infiltration : $4.5 \, \text{cm/h}$; $T = 2.4 \, 10^2 \, \text{m}^2/\text{s}$; S = 2%; Gradient hydraulique : $1.2 \, 10^3$

La recharge artificielle a été mise en service le 26 mars 1984 où 1,3 Mm3 d'eau ont été injectés par bassins avec un débit instantané de 300 à 320 l/s. L'effet piézométrique local de la recharge a été de 20 m au droit du dispositif expérimental, respectivement de 18 m et 12 m à 50 m et à 400 m à l'aval. L'effet lointain s'était fait ressentir jusqu'à plus de 6000 m à l'aval. (exemple le piézomètre no 1 sous le bassin de colmatage a enregistré :; de même les piézomètres F1, F2 situés successivement à 10m, 20 m et 50 m en aval, on monté de 17 à 18 m et le piézomètre F4 situé à 400 m à l'aval a vu son niveau augmenter de 2 m.; il restait après recharge 10 m de terrain non saturé sous le bassin ; une analyse détaillée par traçage isotopique a été effectuée pour tout ce qui est relatif aux sédiments (colmatage) au droit des déversoirs : la distribution des sédiments dans les bassins ainsi que le temps de séjour des sédiments dans les bassins. Par ailleurs la protection contre les crues du dispositif de recharge artificielle. Durant les premiers jours la vitesse d'infiltration croît puis elle tend à se situer dans un palier de 1,7 m/j, pour décroître rapidement et se stabiliser à nouveau lorsque le colmatage s'est installé. Une deuxième mise en eau a eu lieu du 7 mars au 31 mars 1982 : son but était de vérifier les résultats acquis et d'étudier pat les techniques isotopiques, la distribution du temps de séjour des sédiments dans chacun des bassins et leur répartition à la surface et en profondeur du terrain.





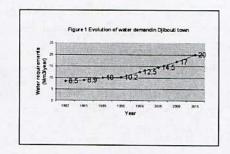


Figure 3 : Graphique Evolution de 1983 à 2015 de la demande en eau de la ville de Djibouti

Figure 4 : Graphique oncentration en Cl-

Source: LAHLOU Abdelhadi, 1-4 juillet 2003, Pub. Dans Proceedings de la 2^{jème} Conference internationale Wadis Hydrology, Amman et dans Rapport UNOPS (Projet Dji/001).

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1. Commission Nationale des Ressources en eau, 1994 ; Programme pour l'Alimentation en Eau Potable de la ville de Djibouti,
- 2. Coopération Hydrogéologique Djinouti-Allemande, 1993, Modélisation par simulation numérique de l'écoulement des eaux souterraines dans la nappe de Djibouti,
- 3. Hanquin J.P., 1978, La nappe côtière de la région de Djibouti, hydrologie et hydrogéologie, Thèse 3^{ième} cycle, Université de Bordeaux-Yalence, p.200
- 4. ISERST, 1989, et BCOM, 1981, Etude des possibilités d'aménagement de l'Oued Ambouli. Préparation d'un Plan Directeur d'aménagement
- 5. Jaludin M., 1993, Analysis of pumping tests in fractured Dalha and strattoïd basalts with regards to tectonics, hydrothermalisms and weathering. Republic of Djibouti. Journal of Hydrology
- 6. Lahlou Abdelhadi, 1994, Envasement des barrages au Maroc. Edition Wallada, Casablanca, Maroc,
- 7. Lahlou Abdelhadi, La dégradation spécifique moyenne annuelle des bassins versants et son impact sur l'envasement des barrages, Recent Developments in the explanation and prediction of erosion and sediments yield, 1^{ère} Conférence internationale de l'Association Internationale des Sciences Hydrologiques (AISH), Proceedings of the Exeter Symposium, July 1982, IAHS pub.no 137
- 8. Lahlou Abdelhadi, 1984, Expertise : « Potentialités hydriques (de surface et souterraines), et Propositions hydroagricoles de la Province de Hajjah dans le Yémen du Nord. Rapport rédigé en Français et traduit en Anglais et en Arabe et déposé à l'OADA (Organisation de Développement Agricole, à Khartoum (Soudan)
- 9. Lahlou Abdelhadi, mai 1987, Expertise avec PNUD, Projet RAB/80/011, intitulée : « Ressources en eau dans les pays d'Afrique du Nord », Publication dans le Rapport de synthèse du PNUD, de la liste de mes études sur : « l'érosion et le traitement anri-érosif des bassins versants situés à l'amont de barrages »,
- 10. Lahlou Abdelhadi, 1991, Expertise pour l'OMM, Août 1991, intitulée : « Information needs for water quality assessement and management » pour la préparation de la Conférence de Dublin Bratislava, Ex-Tchékoslovaquie.

LES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES EN ALGERIE THE HYDROELECTRIC PLANNING IN ALGERIA

W. Mokrane^{1,2} et A. Kettab¹

¹Laboratoire de recherche des sciences de l'eau(LRS-eau) Ecole Nationale Polytechnique d'Alger. Lrs-eau@netcourrier.com ²département spécialités,Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique,Bisda Email :Mokranewah@yahoo.fr

RESUME

L'utilisation de l'eau pour la production de l'énergie électrique reste limitée en Algérie vu sa richesse actuelle en hydrocarbure. Parmi les vingt trois centrales hydroélectriques qu'elle possède, certaines ont été déclassées d'autres arrêtées en plus de celles qui nécessitent un renouvellement de matériel. Le seul aménagement qui fonctionne de façon continue et régulière est celui de Darguina .

ABSTRACT

The using of water for the production of electric energy remains limited in Algeria, for its fortune of hydrocarbon beetween the twenty three Algerian hydroelectic stations, somones are relgated, others are stopped and someones necessitates the renovation of their material. Derguina is the only hydroelectric station which works regularly.

Mots clés

Aménagement - Centrale- Turbine - Chute - Puissance - Hydroélectricité.

1. INTRODUCTION

L'Algérie, comme tous les autres pays de la méditerranée possède des usines hydroélectriques dont la majorité date de la période coloniale.

Dans cet article nous avons essayé de recenser ce type d'usines en Algérie, en donnant les caractéristiques techniques de quelques unes et l'état actuel de fonctionnement de ces aménagements hydroélectriques.

2. METHODOLOGIE

Dans un aménagement hydroélectrique, l'eau est dérivée à partir d'un réservoir au moyen d'un canal d'amenée elle est conduite sous pression vers l'usine ou a lieu la transformation de l'énergie hydraulique en énergie électrique grâce à une turbine accouplée à un alternateur et par un canal, dit de fuite, elle est restituée dans le cours naturel de la rivière. Pour examiner l'état actuel de ce type d'aménagement en Algérie, nous avons recensé les usines hydroélectriques en donnant leurs caractéristiques techniques et leurs état de fonctionnement.

3. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES D'UN AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE

Ces caractéristiques regroupent les paramètres suivants :

a. La capacité d'accumulation d'un réservoir

C'est l'énergie potentielle emmagasinée par un réservoir, elle est donnée par (Ginocchio, 1970) : E=V_uH_t/500.

b. La hauteur de chute

C'est la hauteur de chute géométrique ou brute, définie comme la différence entre les niveaux des plans d'eau là où l'écoulement a lieu en charge, diminuée des pertes de charge le long de cet écoulement, c'est donc, (Ginocchio,1970) : $H = H_b - J$

c. Le débit aménagé

C'est le débit maximal, absorbé par les différents ouvrages de l'aménagement, (Degove, 1939).

d. La galerie d'amenée

Elle peut être soit à ciel ouvert soit soit sous pression.elle est caractérisée par son diamètre et sa longueur.

e. La conduite forcée

Elle doit être en charge.elle est caractérisée par sa longueur et son diamètre.

f. L'usine hydroélectrique

C'est là où se fait la production de l'énergie électrique. L'usine est équipée d'un matériel hydromécanique (turbine, pivots, paliers...) et d'un matériel électrique (alternateurs, transformateurs, travées de départ). Les caractéristiques données sont :

· La puissance disponible

C'est la puissance disponible sur l'arbre de l'alternateur. Elle est donnée par, (Ginocchio, 1970) : P = nwQH.

La puissance apparente

C'est la puissance des groupes turboalternateurs.

4. LES CENTRALES HYDROELECTRIQUES EN ALGERIE

Vingt trois stations hydroélectriques ont été recensées, (Sonalgaz, 2002), en plus de celle de Beni Haroun qui a été récemment projetée. Le tableau n°1 ci après donne la région et l'année de mise en service de chacune d'elle.

Tableau n°1:centrales recensés en Algérie

Nom de la centrale	La région	Année de mise enservice
Ighzer N'chebec	Tizi Ouzou	1934
Tizi Medden	Tizi Ouzou	1948
Illiten	Tizi Ouzou	1927
Souk el Djemaa	Tizi Ouzou	1949
Hamiz	BOUMERDESS	1946
Ggouriet	Tizi Ouzou	1949
Ponteba	Oran	1940
Ghrib	Ain Defla	1942
Tessala	Ain Temanchat	1952
Bakhadda	Relizane	1948
La mina	Relizane	1933

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

Perregaux(Mohamadia)	Mascara	1947
Ain Fekan	Mascara	1933
Benibehdel	Telemcen	1948
Négrier	Tebessa	1920
Irilemda	Bejaia	1953
Foum El Gherza	Biskra	1953
Rhumel	Constantine	1910
Agrioun	Bejaia	1951
Ighzerouftis	Bejaia	1950
Oued Fodda	Chlef	
Bouhanifia	Mascara	1949
Mansouria(Erraguene)	Jijel	

Les caractéristiques techniques de trois aménagements hydroélectriques sont représentées dans les tableaux $n^{\circ}2$, 3, 4 respectivement :

ouriages ny maninques	capacite a accommutation		11000111		
	hauteur de chute		327m		
	débit aménagé		38m ³ /s		
	galerie d'amenée	100	L=5146m,D=2m		
	conduite forcée		L=900m,D=0,9m		
groupe		N°1		N°2	N°3
équipement hydromécanique	constructeur		MORGAN SMITH	ALSTHOM CHARMILLES	ALSTHOM CHARMILLES
	type		787FT	PELTON HORIZONTAL	PELTON HORIZONTAL
	année de mise en service	ce	1948	1948	1949
	débit		38m3/s	38m ³ /s	38m ³ /s
	puissance		4000CV	3830CV	3830CV
	vitesse		750tr/min	750tr/min	750tr/min
équipement électrique	alternateur	constructeur	ACG	ALSTHOM	ALSTHOM
		type	ATI	PV 180/79	R 180/79
		tension nominale	5750V	5750V	5750V
		courant nominal	351A	352A	352A
		vitesse	750tr/min	750tr/min	750tr/min
		puissance apparente	3300KVA	3300KVA	3300KVA
	postes électriques	poste 60KV(extérieur)			

Congrès international : «De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

	poste 30KV(intérieur)	
	poste 5,5KV (intérieur)	
production	puissance disponible des 3 groupes	9000KW
	production movenne annuelle	22.10°KWh

Tableau 3 : Caractéristiques techniques de la centrale de Beni Behdel

ouvrage hydraulique		capacité d'accumulation		61millions m ³	
		hauteur de chute		38,5m	
		Débit aménagé		12m ³ /s	
		conduite forcée		L=170m	D=1,7m
groupe		n°1		n°2	
équipement	constructeur	NEYRPIC Francis à axe vertical		NEYRPIC	
hydro	type			Francis à axe vertical	
mécanique	année	1948		1948	
	débit	12m ³ /s		12m ³ /s	
	puissance	2230CV		2230CV	
	vitesse	500tr/min		500tr/min	
	alternateur	constructeur:	SHNEIDER	SHNEIDE	CR CR
équipement		vitesse	500tr/min	500tr/min	
electrique		PAPP	2,5MVA	2,5MVA	
	postes	30kV			
	électriques	10KV			
production		puissance disponible		3300kw	
		production moyenne annuelle		5.10 ⁶ kwh	

Tableau 4: Caractéristiques générales de l'aménagement de Darguina

	AGRIOUN	IGHZEROUFTIS	IRILEMDA	
galerie	D=300mm	fer àcheval 2.10		
d'amenée	L=8370m	1956m		
conduite	tôle d'acier	acier	acier	
orcée	D=2.1,65m	1,2m	2,8	
	L=466m	237m	255m	
	$H_b = 377 m$	171m	96m	
	$Q_a=21,5m^3/s$	3,8m³/s	30m ³ /s	
	n°turbines:2 PELTON	1 FRANCIS	2	
isine	P=33MW	5,2MW	FRANCIS 12MW	
	N=375tr/min	750tr/min	500tr/min	
	R _{tr} =12,5/220	5,5/5,5	10,0/60,0	
	KV	KV	KV	
anal de fuite	D=3,4m	3,4m	3,5m	

NB : l'aménagement de Darguina représente le plus important et il est composé de trois stations hydroélectriques.

4.1. Etat des centrales recensées

Certaines centrales ont été déclarées comme déclassées, Sonelgaz, 2002, et ce sont : Foum El Gherza, Negrider, Ain Fakan, Perregoux, La Mina, Bakhadda, Ponteba, Hamize et Rhummel. D'autres centrales sont à l'arrêt, pour différentes causes comme le montre le tableau suivant :

Nom de la centrale	Année de l'arrêt	La cause
Bouhanifia	1978	Manque d'eau. Tableau de commande détruit
Tessala	1988	Le canal d'évacuation est obturé
Beni Behdel	1991	Manque d'eau
Oued El Fodda	1987	Envasement du barrage

D'autre part les centrales de Souk El Djemaa et de Ghrib sont disponibles en service. L'aménagement de Darguina représente le plus grand en service fonctionnant d'une manière continue et régulière.

Les centrales de Gouriet, Illiten, Ighrzer N'Chebel et Tizi Medden ont nécessité certaines réparations ou un renouvellement de matériel tel que le cas de Ighrzer N'Chebel,où un nouveau transformateur a été placé.

4.2. La centrale hydroélectrique de Beni Haroun

Une station de pompage est prévue pour refouler du réservoir de Beni Haroun un débit maximal de 23m³/s vers un réservoir de capacité utile moindre et de 57 Millions m³, situé à une cote plus élevée qui peut servir d'une source de dérivation d'eau pour la production de l'énergie hydroélectrique.

La durée de pompage pour l'accumulation est de 16heures/jour et la durée du turbinage est de 4heures/jour, pour toute l'année.

4. CONCLUSION

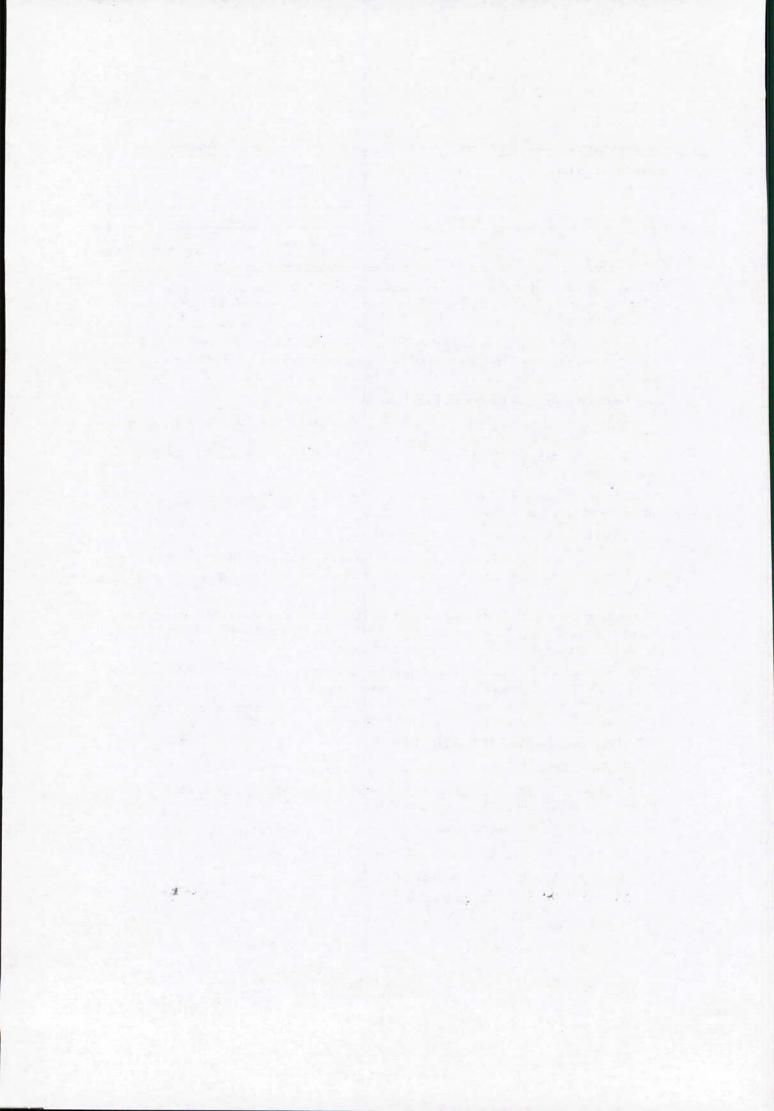
La synthèse des données précédentes, ainsi que la visite de certains lieux (Bettahar) ont montré que certaines centrales ont été déclasses, d'autres ont été arrêtées et celles qui sont disponibles nécessitent un suivi.

L'ancienneté, le manque d'entretien, l'envasement des barrages et la richesse du de l'Algérie en ressource thermique d'hydrocarbures ont tous contribué d'une façon directe ou indirecte à l'état actuel des aménagements hydroélectriques en Algérie.

Enfin, l'hydroélectricité, comme source d'énergie renouvelable qui ne dégage aucun gaz toxique, Delande, 1998, reste dépendante de l'effet aléatoire des apports naturels et de l'intérêt destiné à ce type de production mais faut-t-il penser à la développer en projetant d'autres usines, en réhabilitant celles qui existent ou bien se contenter des centrales thermiques ?

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1. Delande, A., 1998. : Tout savoir (ou presque) sur l'énergie, Collection campus.
- 2. Bettahar, K., 2002. « Contribution à une étude théorique des aménagements Hydroelectriques ». Mémoire de fin d'études, Blida.
- 3. Degove, M. 1939. : Utilisation des forces hydrauliques, 5eme édition Eyrolles.
- 4. Ginocchio, R., 1970. : Aménagements hydroélectriques, Edition Eyrolles
- 5. Sonelgaz : Archives de la société nationale de l'électricité et du gaz, Alger



MODELISATION DE LA BIODEGRADATION DANS LES COURS D'EAU EN ZONES SEMI-ARIDES

BIODEGRADATION MODELING IN NATURAL STREAM

IN SEMI ARID ZONE

Mokadem Maamar* et Dr. Achour Djillali**

*Département d'Hydraulique,Faculté d'Architecture & Génie Civil
Université des Sciences et Technologies d'Oran - mokadem m2000@yahoo.fr

**Faculté de Sciences agronomiques et des Sciences Biologiques
Université Hassiba Ben Bouali, Chlef - diilaliachour@yahoo.fr

RESUME

Le but de notre travail consiste à élaborer un modèle qui simule le phénomène de la biodégradation dans un cours d'eau en région semi-aride (cas de Oued Chellif). On a modifié le modèle de Streeter-Phelps en tenant en compte le phénomène de l'évaporation qui est l'une des principales caractéristiques de notre région (estimée à 1720 mm/an). Notre modèle est basé essentiellement, d'une part, sur la relation entre la désoxygénation et la diminution de la Demande Biologique en Oxygène (DBO), et d'autre part, sur l'influence de l'évaporation sur la concentration des polluants dans l'eau et sur les différents coefficients tout en tenant compte des rejets éventuels d'où la non-linéarité de notre modèle. Pour contribuer à cette dépollution on a simulé l'effet d'une aération artificielle sur l'évolution de l'Oxygène dissous (OD) et sur la biodégradation des matières organiques (MO) et estimer le coût de cette opération.

Mots clés: Biodégradation- modélisation- Streeter-Phelps- semi-aride- pollution.

Key words: Biodegradation - Modelisation - Streeter-Phelps - semi arid - pollution

1. INTRODUCTION

Oued Cheliff, le plus important oued de l'Algérie (750 km), est un exemple concret de l'ampleur d'une pollution de toute ordre à savoir physique, chimique et biologique suite aux rejets excessifs d'origine urbains et/ou industriels qu'il reçoit annuellement sans traitement préalable.

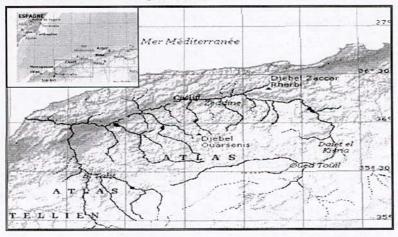


Figure 1: Bassin versant de oued Cheliff

Tableau 1 : Qualité des eaux de Oued Cheliff (A.N.R.H)

Station	de mesu	re : Sidi B		. Année : 1					
Débit	Temp.	Acidité	Saturation en oxygène	DBO	DCO	NO ₃	NH ₄ +	PO ₄ 3-	
m³/s	°C	рН	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
35,5	20,12	7,99	90,27	28,44	93,2	15,3	0,435	0,129	

2. MATERIEL ET METHODES

Pour mieux simuler le phénomène de la biodégradation dans un cours d'eau :

- On a subdivisé l'oued en question en tronçons équidistants de 2 Km de long comme des bassin en séries parfaitement mélangés avec une vitesse d'écoulement moyenne ν , dont on a négligé le phénomène de dispersion de la DBO et la réaération du à la photosynthèse;
- Par la suite, on a calculé la DBO et l'oxygène dissous (OD) pour chaque tronçon par rapport au tronçon précédent en utilisant la méthode des différences finies;
- On trace l'évolution de ces deux paramètres en fonction de la distance (ou du temps ; car ce dernier est relié à la distance par la vitesse d'écoulement de l'eau dans le cours d'eau);
- On a étudié l'influence de l'évaporation sur le processus de la biodégradation (k₂ variable) d'où la non linéarité de notre modèle; ainsi que l'influence des rejets (urbains ou naturels comme les effluents) sur ce phénomène;
- Enfin on a traité l'influence d'une aération artificielle sur l'amélioration de la qualité des eaux du cours d'eau et son coût d'exploitation pour une optimisation éventuelle.

Le modèle de Streeter – Phelps décrit l'évolution de la concentration en oxygène et de la DBO dans une rivière à l'aval d'un rejet, à l'aide d'une équation différentielle composée d'un terme de désoxygénation (k₁) et d'un terme d'échange gazeux avec l'atmosphère (k₂). On peut noter que le coefficient k1 dépend fortement de la température tandis que k₂ dépend principalement de la hauteur d'eau.

$$\begin{cases}
\frac{\partial b}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial b}{\partial l} = -k_1 \cdot b \\
\frac{\partial c}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial c}{\partial l} = -k_1 \cdot b + k_2 \cdot (c_s - c)
\end{cases}$$

Conditions initiales: $b(1,0) = b_i(1)$ et $c(1,0) = c_i(1)$

Conditions aux limites : $b(0,t) = b_0(t)$ et $c(0,t) = c_0(t)$

avec, b : Demande biologique en Oxygène (DBO) en mg/l; c : Concentration en Oxygène en mg/l;

 c_s : Concentration de saturation en Oxygène mg/l; k_1 : coefficient de désoxygénation ou de dégradation de la matière organique (MO); k_2 : coefficient de réaération; v: vitesse d'écoulement dans le cours d'eau en m/s; l: distance en m; t: temps en s.

Si on suppose que la DBO ne varie pas rapidement entre deux positions distantes de Δx ; on peut passer des $\frac{\partial}{\partial t}$ aux $\frac{d}{dt}$ et la solution est :

$$\begin{cases} b(\tau) = b(0).e^{-k_1 \cdot \tau} \\ c(\tau) = c_s - (c_s - c(0)) \cdot e^{-k_2 \cdot \tau} + \frac{k_1 \cdot b(0)}{k_1 - k_2} \left(e^{-k_1 \cdot \tau} - e^{-k_2 \cdot \tau} \right) \\ \tau = t - t_0 \end{cases}$$

Mais puisque l'évaporation influe directement sur k₂, ce dernier est calculé pour chaque tronçon tout en le corrigeant en fonction de la température donnée.

De même pour le coefficient de désoxygénation k_1 qui n'est pas constant : juste après le rejet, k_1 prend une valeur élevée à cause de la forte consommation d'oxygène par adaptation et croissance de la biomasse puis commence à diminuer lentement à cause de la respiration endogène.

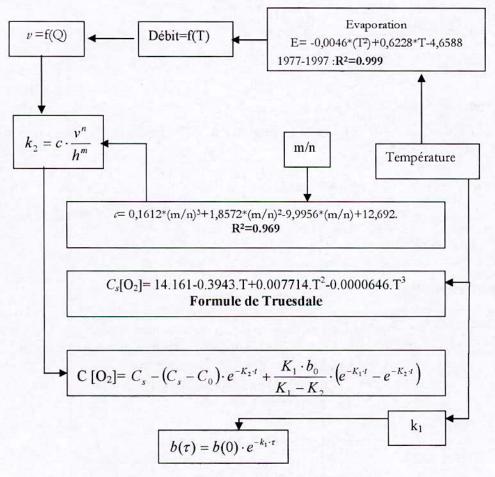


Figure 2: Organigramme

3. RESULTATS

3.1. Cas normal

- Température : 30°C;
- $k_1 = f(T^\circ, temps)$; $k_2 = f(T^\circ, caractéristiques du cours d'eau)$.
- Largeur de l'oued=50 m; Longueur d'un tronçon= 2.0 Km;
- hauteur d'eau initiale =0.5 m;
- Débit moyen = 3 m³/s; DBO initiale = 250mg/l
- n=0.5; m=1.5; c=3.772;
- Concentration de saturation en Oxygène : 7.53 mg/l.
- Evaporation: 9.89 mm/jour.
- Volume évaporé : 988.52 m³/jour.

Erreur! Liaison incorrecte.

Figure 3 : Variation de l'oxygène dissous en fonction de la distance vers l'aval

Erreur! Liaison incorrecte.

Figure 4: Variation de la DBO en fonction de la distance vers l'aval

3.2. Cas d'un rejet

Au Kilomètre 28; un débit de 0.5 m³/s avec une DBO de 180 mg/l et une concentration en oxygène nulle est rejeté dans l'oued.

Erreur! Liaison incorrecte.

Figure 5 : Variation de l'oxygène dissous en fonction de la distance vers l'aval. Cas d'un rejet

Erreur! Liaison incorrecte.

Figure 6 : Variation de la DBO en fonction de la distance vers l'aval. Cas d'un rejet

3.3. Cas d'une aération artificielle

Une aération artificielle est appliquée au Kilomètre 4 (après le rejet) avec un apport en Oxygène dissous de 0.3 mg/l qui nécessite 28 aérateurs de 75 KW, fournissant chacun $150 \text{ Kg d'O}_2/\text{h}$ et qui consomment 2087.9 kWh autrement dit 150.327,95 DA/jours comme frais d'énergie électrique.

Erreur! Liaison incorrecte.

Figure 7: Variation de la DBO en fonction de la distance. Cas d'une aération artificielle

Erreur! Liaison incorrecte.

Figure 8 : Variation de l'oxygène dissous en fonction de la distance. Cas d'une aération artificielle

3.4. Cas de Oued Chlef (Tronçon O. Fodda - Boukadir)

Distance Km	1,5	9	19,5	25,5	37,5	49,5
Localité	O. FODDA	O. ABBES	O. DROU	CHLEF	O. SLY	BOUKADIR
Débit de eaux usées m3/j	3463	986	2140	21918	6838	8548
Nombre d'habitant	17383	4440	6920	125878	6838	17477
DBO mesurée*	14		-	22	a.	12
O.D mesuré*	13	_		6.9	=	8.3

Les mesures de la DBO et de la demande chimique en oxygène (DCO) sont ceux de la compagne d'analyse faite par « National Eau et Environnement » (NEE), Alger, au profit de l'Agence du Bassin Hydrographique Chlef-Zahrez (ABH-CZ), Chlef, Février 2000. Température moyenne 22°C.

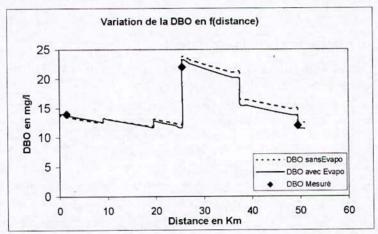


Figure 9: Variation de la DBO en fonction de la distance. Cas de Oued Cheliff (Fév.2000)

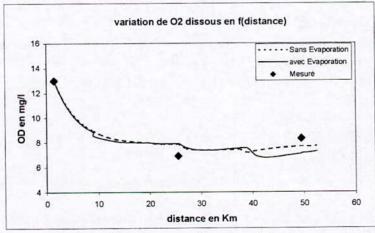


Figure 10 : Variation de l'oxygène dissous en fonction de la distance. cas de Oued Cheliff (Fév.2000)

4. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les modèles de biodégradation ont pour objectif la prévision des effets d'un rejet de matières organiques (M.O.) sur la teneur en O_2 du milieu récepteur, en tenant compte de ses caractéristiques et de celles du rejet. Au fur et à mesure des progrès de la recherche scientifique, les modèles se sont compliqués avec intégration d'un nombre croissant de facteurs comme la dilution, la dispersion longitudinale, la sédimentation, l'adsorption. etc. Du coup, l'utilisation et l'application pratique de ces modèles sont devenues de plus en plus difficile :

- ✓ pour certains à cause des difficultés de calage des nombreux paramètres
- ✓ et pour d'autre du fait de la nécessité de connaître avec précision la composition des rejets.

Ceci explique notre choix d'utiliser comme base le modèle de Streeter et Phelps et même le choix de l'Excel comme outil de travail pour faciliter l'utilisation sans recourir à l'installation d'un langage spécifié.

4.1. Influence de l'évaporation sur la biodégradation

Pour une même concentration initiale de DBO (200 mg/) et un même débit et au même point ; on constate, au Km 80 après le rejet, que :

1. Pour une température de 35°C :

- La DBO calculée en tenant compte de l'évaporation était de 19.69 mg/l et celle calculée sans en tenir compte était 35.98 mg/l, (un écart de 82.73%); cette différence est d'autant plus grande qu'on s'éloigne du rejet;
- l'oxygène dissous était de 6.99 mg/l pour le premier cas (avec évaporation) et de 5.51 mg/l pour le deuxième cas (sans évaporation); un écart donc de 26.86%;
- le coefficient de réaération k₂ passe de 6.89 à 119.09 à cause de l'abattement du plan d'eau et la diminution de la vitesse de l'écoulement sous l'influence de l'évaporation.
- Distance nécessaire pour une autoépuration dans le cas « avec évaporation » est de 24 Km;
 celle du cas « sans évaporation » elle est de 34 Km.

2. Pour une température de 20°C:

- La DBO calculée en tenant compte de l'évaporation était de 107.77 mg/l et celle calculée sans en tenir en compte était 112.01 mg/l, (un écart de 3.93% seulement);
- l'oxygène dissous pour le premier cas était de 7.70 mg/l et pour le deuxième cas était de 6.08 mg/l (un écart de 26.64 %);
- le coefficient de ré aération k₂ dans ce cas ne varie pas beaucoup, il passe de 6.89 à 15.08 et tout cela à cause de la faible évaporation à une température pareille.

4.2. Pour le cas d'Oued Cheliff

En se servant des résultats d'analyse disponible (Février 2000), et en introduisant au programme les données suivantes:

- Les débits des rejets urbains qui sont estimés en fonction du nombre d'habitants et la dotation en eau potable [8] et leurs coordonnées;
- La concentration initiale de la DBO,qui est estimé sur la base d'une concentration journalière moyenne de 54 g/ habitant, l'Oxygène dissous et la température;
- Caractéristiques du cours d'eau : pente, largeur, hauteur d'eau.

Le programme a donné des résultats qui sont en bonne concordance bien avec les points mesurés et ce, avec une légère différence qui peut être due aux données des rejets des eaux usées qui sont, généralement, différents de ceux réellement rejetés et /ou à la qualité biologique de ces eaux qui est très variable en fonction du temps et qui nécessite une modélisation.

4.3 Conclusion

Dans une région semi – aride on ne peut négliger un paramètre comme la température qui influe sur le coefficient de réaération par le biais de l'évaporation surtout si la distance par rapport au rejet augmente et au même temps, mais avec un degré moins, influe aussi sur l'activité biologique dans le cours d'eau c'est-à-dire sur k₁ qui dépend surtout de la concentration et la nature des matières organiques.

Pour un bon calage et une révision de notre modèle, on recommande vivement la mise en œuvre d'un programme de suivi de la qualité des eaux d'Oued Cheliff et même d'autres oueds ainsi une quantification précise des rejets et de leurs qualités.

Notre modèle peut servir comme un outil:

- d'aide à la décision pour la gestion des ressources en eaux superficielles;
- pour désigner les zones de prise d'eau pour l'irrigation ;
- pour connaître la qualité des eaux de l'oued en chaque point du tronçon sans recourir à chaque fois à des analyses onéreuses et coûteuses.

5. REFERENCES

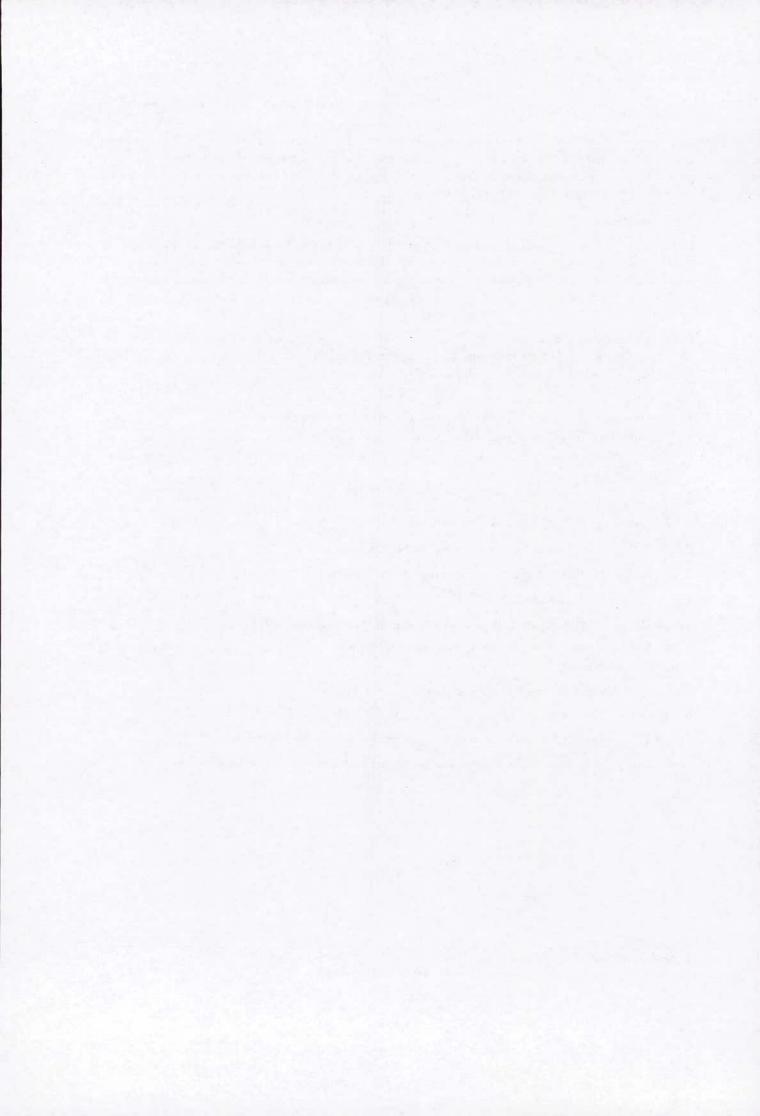
- 1. B. Chocat, 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, Lavoisier.
- 2. B. Walisser, 1977. Systèmes et modèles, Du Seuil.
- 3. C. Le Coz, 1998. La matière organique dans les milieux naturels,

Presses de Ponts et Chaussées.

- 4. K. Biswas, 1981. Models for Water Quality Management, McGraw-Hill.
- 5. P. Namour, 1999. Auto-Epuration des rejets organiques domestiques Nature de la demande de la matière organique et son effet en rivière.

Thèse de doctorat, Université de Claude Bernard, Lyon, France.

- 6. S. Rinaldi, 1979. Modeling and Control of River Quality, McGraw-Hill.
- 7. W. Eckenfelder, 1982. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, Lavoisier.
- 8. Anonyme, 2000. Atlas Cheliff Zahrez 2.1, Agence de Bassin Hydrographique Chellif Zahrez.



EFFICACITE DE LA PRECIPITATION CHIMIQUE A LA CHAUX SUR L'ELIMINATION DU CADMIUM DANS DIFFERENTES EAUX

EFFICIENCY OF CHEMICAL PRECIPITATION BY LIME ON CADMIUM REMOVAL IN VARIOUS WATERS

Ouanoughi Samira, Achour samia

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS)

Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur

Département de l'hydraulique - Université de Biskra

samia.achoun@larhyss.net

RESUME

Depuis quelques années, la pollution par les métaux lourds est devenue un problème important pour la protection de l'environnement. Même à des teneurs très faibles, ces métaux peuvent entraîner des nuisances et leur élimination s'avère nécessaire. Concernant l'élimination du cadmium, il existe plusieurs techniques d'abattement qui garantissent une teneur résiduelle conforme aux normes. Parmi ces méthodes, la précipitation chimique permet de réduire les teneurs en cadmium en affectant sa solubilité dans l'eau. Cependant, la composition physico-chimique complexe d'une eau peut influencer l'efficacité du procédé ainsi que les mécanismes des réactions.

L'objectif de notre étude est de tester l'effet de la précipitation chimique à la chaux sur l'élimination du cadmium dans l'eau distillée ainsi que dans des milieux de dilution plus complexes (eaux souterraines, eaux de surface et eaux usées industrielles). Nos essais ont eu pour but de tester l'influence de la teneur initiale en cadmium sur l'efficacité du procédé. Afin d'apprécier l'effet de la minéralisation, nous avons évalué les rendements d'élimination du cadmium dissous dans des eaux de qualité physico-chimique variable.

Les résultats obtenus ont montré que la précipitation chimique à la chaux aboutissait à un abattement très appréciable. En outre, la teneur initiale en cadmium ainsi qu'une minéralisation croissante du milieu influent sur les rendements d'élimination.

ABSTRACT

Since many years, heavy metals become an important problem for environment protection due to the nuisance they induce. Even if heavy metals are present in low levels, their removal is necessary. Concerning cadmium, there are many processes leading to a standard residual concentration. Among these, chemical precipitation by lime reduces cadmium levels by decreasing its solubility in water. However, complex physico-chemical composition of a given water has an influence either on the efficiency of this method or mechanisms of the reactions.

The aim of our study is to test effect of chemical precipitation by lime on cadmium removal in various waters (distilled water, groundwaters, surface and industrial waters). In distilled water, the objective of our experiments was to test effect of initial concentration of cadmium on the process efficiency. In order to evaluate effect of water mineralisation, we have determined efficiency of cadmium process removal using variable water qualities as dilution media. The obtained results have shown that chemical precipitation by lime led to a very appreciable cadmium reduction. Moreover, removal efficiency is influenced by both initial concentration of cadmium and increasing mineralisation of the dilution media.

1. INTRODUCTION

Depuis quelques années, la pollution par les métaux lourds est devenue un problème important pour la protection de l'environnement. Même à des teneurs très faibles, ces métaux peuvent entraîner des nuisances et leur élimination s'avère nécessaire.

Le cadmium fait partie de ces métaux, il est en réalité un sous produit du traitement métallurgique de zinc. Il est doté de certaines propriétés susceptibles des s'incorporer à la biomasse dont il perturbe le système enzymatique (Duchaufour, 1995).

Vu sa haute toxicité, la législation impose des teneurs limites en ce métal dans les eaux potables, les rejets industriels, les boues d'épuration ainsi que dans les sols cultivés (Robert, 1996). Cependant, le teneur maximale admissible dans les eaux destinées à la consommation est fixée à 5 μg/l aussi bien selon les normes européennes, américaines ou de l'organisation mondiale de la santé (Masschelin, 1996). Afin de satisfaire à ces différentes normes, plusieurs techniques de dépollution sont développées au cours de ces dernières années. Les procédés habituels tels que l'osmose inverse, l'échangeur d'ion et le procédé à membrane n'offrent pas un moyen économique pour l'abattement du cadmium sauf s'il s'agit de la précipitation chimique ou la coagulation floculation (Rodier, 1984).

Notre étude est une contribution expérimentale dont l'objectif est d'examiner l'efficacité de la précipitation chimique à la chaux sur l'élimination du cadmium dans l'eau distillée ainsi que dans des milieux de dilution plus complexes (eaux souterraines, eaux de surface et eaux usées). Nous avons entrepris tout d'abord de tester l'influence de la teneur initiale en cadmium sur l'efficacité du procédé. Puis, nous avons évalué les rendements d'abattement du cadmium dans les eaux de qualité physico-chimique variable.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Réactifs et milieux de dilution

Les réactifs utilisés pour la précipitation chimique sont :

- Chlorure du cadmium a été préparé en faisant dissoudre 1,63 g de CdCl₂ dans litre d'eau distillée ou d'eau minéralisée.
- La chaux est employée sous forme de lait de chaux à raison de 10 g/l.

Les milieux de dilution du cadmium sur lesquelles nous avons réalisé nos essais sont l'eau distillée, des eaux de forages et des eaux de surface de la région de Biskra ainsi qu'une eau usée industrielle. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux utilisées sont regroupées dans le tableau1.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux utilisées (Ouanoughi, 2004).

	pН	Conductivité (ms/cm)	TH (°F)	aromaticité λ = 254 nm	Cd ²⁺ (μg/l)
Eau de fontaine des gazelles	7,7	0,725	50		<1
Eau de Sidi Khelil	7,65	1,33	86		<1
Eau d'El-Alia	7,3	4,91	208		
Eau de barrage de Foum El-Gherza	7,25	1,168	112	0,057	19
Eau de barrage de Fontaines des gazelles	7,62	1,157	88	0,084	4
Eau usée industrielle	2,15	70,5	1360		15,8.103

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

2.2. Méthodes de dosage

Le cadmium en solution a été dosé par une méthode potentiométrique en utilisant une électrode spécifique aux ions du cadmium. L'ajustement des points expérimentaux par la méthode des moindres carrés aboutit à la relation E(mV) = f[log(c)], où c représente la concentration du cadmium en mg/l.

Les paramètres de qualité des solutions aqueuses employées sont déterminés par les méthodes standard d'analyse décrites par Rodier (1984).

2.3. Description des essais

Durant notre étude expérimentale, nous avons utilisé un floculateur de six agitateurs qui tournent de 0 à 200 tr/min et permet de réaliser simultanément sis essais dans des béchers en plastique de 500 ml. Les conditions optimales de Jar test suivies sont (Ouanoughi, 2004):

- Une agitation rapide de 200 tr/min durant 3 minutes.
- Une agitation lente pendant 17 minutes.Un temps de décantation fixé à 30 minutes.

La chaux est introduite à des doses croissantes variant de 10 à 800 mg/l. La teneur initiale en cadmium varie de 5 à 50 mg/l.

L'efficacité du procédé employé est déterminée par l'évaluation du rendement d'abattement du composé suivant la relation :

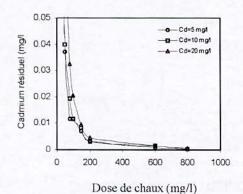
$$R(\%) = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100$$

C_o et C_f représentent respectivement la concentration initiale et finale en cadmium en mg/l.

3. RESULTATS

3.1. Elimination du cadmium par la précipitation chimique à la chaux en eau distillée

Au vu des résultats présentés sur la figure 1, nous remarquons que le traitement passe par deux étapes une étape brusque et l'autre moins prononcée. Nous pouvons également constater qu'une dose optimale de chaux de 200 mg/l permet d'atteindre des teneurs résiduelles en cadmium de moins de 5µg/l lorsque les teneurs initiales en cadmium varient entre 5 et 20 mg/l. Pour des concentrations en cadmium supérieures à 20 mg/l, cette dose de chaux devient plus importante et se situe entre 200 et 600 mg/l.



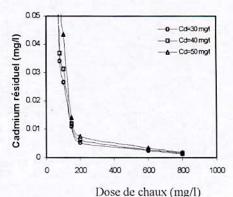


Figure 1 : Variation du cadmium résiduel en fonction de la dose de chaux pour différentes concentrations en cadmium en eau distillée.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

3.2. Abattement du cadmium par la chaux en eaux minéralisées

Le suivi du cadmium résiduel en fonction de la dose de chaux a aboutit aux résultats présentés sur les figures 2 et 3.

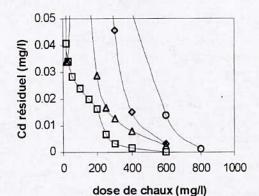


Figure 2 : Variation du cadmium résiduel en fonction de la dose de chaux des eaux souterraines, $[Cd_0^{2+}] = 20 \text{ mg/l.}$ (\Diamond) Eau Ifri, (Δ) Eau Sidi-Khelil, (\Box) Eau Fontaine de Gazelles, (\Diamond) Eau El-Alia

La figure 2 concerne les résultats d'abattement du cadmium en eaux souterraines et montre que la précipitation chimique à la chaux semble un procédé très efficace pour l'élimination du cadmium en atteignant des rendements importants et des teneurs résiduelles inférieures aux normes. Nous remarquons aussi que la dose optimale de chaux correspondante à la meilleure réduction s'accroît avec l'augmentation de la minéralisation totale comme le montre le tableau 2.

Tableau2: Variation de la dose optimale de chaux en fonction de la conductivité des eaux souterraines

Eau souterraine	Conductivité (µs/cm)	Dose optimale de chaux (mg/l) 200 mg/l < C < 250 mg/l		
Eau Fontaine des Gazelles	725			
Eau Sidi Khelil	1330	400 mg/l < C < 600 mg/l		
Eau d'El-Alia	4910	600 mg/1 < C < 800 mg/1		

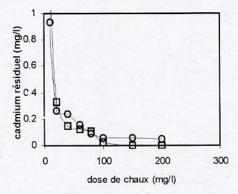


Figure 3 : Variation du cadmium résiduel en fonction de la dose de chaux des eaux de surface, $[Cd_0^{2+}] = 20 \text{ mg/l}.$

(Eau de Barrage Foum El Gharza, (o) Eau de barrage Fontaine des Gazelles

La figure 3 représente les résultats des nos essais en eaux de surface. Nous constatons que la précipitation chimique à la chaux donne de bons rendements et ne nécessite pas des doses importantes de chaux.

3.3. Elimination du cadmium par la chaux en eau usée industrielle

L'évolution du cadmium résiduel en fonction des doses croissantes de chaux en eau usée industrielle apparaît sur la figure 4 et montre que le traitement par la chaux donne des rendements satisfaisants même pour un rejet industriel qui peut contenir toutes sortes d'éléments. Nous remarquons que la teneur recommandée par l'OMS n'est pas atteinte ce qui implique que le traitement d'élimination exige une dose de chaux supérieure à 300 mg/l pour permettre d'aboutir à la teneur voulue.

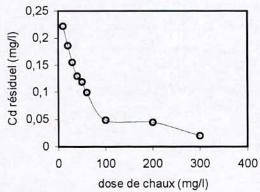


Figure 4 : Variation du cadmium résiduel en fonction de la dose de chaux d'une eau usée industrielle

4. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'examen des résultats obtenus en eau distillée permet de déduire que l'ajout de chaux conduit à la précipitation de l'hydroxyde du cadmium suivant la réaction (Kemmer, 1984; Juste, 1995):

$$CdCl_2 + Ca(OH)_2 \hookrightarrow Cd(OH)_2 + CaCl_2$$

En plus de la précipitation de l'hydroxyde du cadmium, les rendements d'abattement obtenus pourraient s'expliquer par l'intervention d'autres phénomènes tels que l'adsorption du cadmium sur les carbonates de calcium (Semerjian et al, 2002).

Dans les eaux souterraines, l'augmentation de la dose de chaux en fonction de la minéralisation totale de ces eaux peut s'expliquer par la présence de plusieurs phénomènes qui entrent en compétition avec l'abattement du cadmium tels que la précipitation de calcium sous formes de carbonate ou de sulfate ou la précipitation de l'hydroxyde de magnésium. Les ions de OH libérés par l'ajout de chaux peuvent ainsi réagir avec d'autres ions que Cd²+. Cependant, les précipités formés peuvent contribuer à la diminution du cadmium. Dans le cas des eaux de surface, l'amélioration du rendement apportée par ce traitement est dûe probablement d'une part à la complexation du cadmium avec les matières organiques en particulier les substances humiques de ces eaux sous formes de complexes stables (Juste, 1995). Par ailleurs, le cadmium peut aussi être fixé par les matières en suspension (Blifert, 2001). Il peut aussi être retenu par les oxydes de fer formés lors de ce traitement.

Au cours de notre étude, nous avons tenté de montrer l'efficacité de la précipitation chimique à la chaux sur l'élimination du cadmium dans différentes eaux. Les résultats obtenus ont indiqué que l'élimination du cadmium par la chaux semble un procédé très efficace et donne

des teneurs résiduelles en cadmium conformes aux normes. Pour des milieux de dilution plus complexes (eaux souterraines, eaux de surface et eau usée industrielle), le procédé demeure efficace et présente des rendements d'abattements très importants. Cependant, pour les eaux souterraines, les doses de chaux nécessaires à l'élimination voulue sont étroitement liées à la minéralisation totale de ces eaux.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1. BLIEFERT, C. PERRAND, R. 2001. Chimie de l'environnement. Air, Eau, Sols, Déchets, Ed. De Boeck. S.a, Paris.
- 2. DUCHAUFOUR, P. 1995. Pédologie ;sol, végétation, environnement . 4ème Ed, Masson, Paris.
- 3. JUSTE, C. 1995. Les micropolluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines, Guides et Cahiers techniques, INRA, France.
- 4. KEMMER, F.N. 1984. Manuel de l'eau. Ed. Technique et documentation, Lavoisier, Paris.
- MASSCHELEIN, W.J. 1996. Processus unitaires du traitement de l'eau potable, Ed. Cebedoc, Liège, Belgique.
- 6. OUANOUGHI. S. 2004. Possibilités d'élimination du cadmium par précipitation chimique à la chaux at au sulfate d'aluminium. Mémoire de Magistère en sciences hydrauliques, Université de Biskra.
- 7. ROBERT, M. 1996. Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Ed. Masson, Paris.
- 8. RODIER, J. 1984. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7ème édition, Ed. Dunod, Paris.

DETERMINATION DU NIVEAU MOYEN ALTIMETRIQUE DE LA MEDITERRANEE OCCIDENTALE A PARTIR DES DONNEES DU SATELLITE JASON-1

DETERMINATION OF THE ALTIMETRIC MEAN LEVEL OF THE WESTERN MEDITERRANEAN FROM THE JASON-1 DATA

Ali Rami_(1), Salem Kahlouche (1), Mahdi. Haddad (2)

(*) Centre National des Techniques Spatiales, BP 13 Arzen-Oran.
(*) Institut National de Cartographie et de Télédétection, BP 430, Hussein-Dey 16400 - Alger E-mail: ramia@cnts.dz, rami_alidz@yahoo.fr

ABSTRACT

Water is an experience and yet a rare natural resource, for this it would be better to find solutions to preserve it and overcome short ages.

Algeria is adopting a new policy in this field which is based on extracting salt from sea water; this can be only achieved through the knowledge of the sea properties and the comprehension of the oceanographic and geophysics phenomena.

The sea properties can be determined using space altimetry, the knowledge and the comprehension of the oceanographic and geophysics phenomena which result present nowadays a challenge which comprehension necessitates the planning of successive missions.

The satellite space mission Jason-1 requests the search of a large precision of different parameters allowing access to the determination of the sea height over the ellipsoid reference.

In this article, we explain how altimetric data from Jason-1 can be exploited to achieve a precise altimetric geoïd on the Mediterranean basin.

The adopted model takes into account the propagation and the geophysics corrections.

The comparison of the resulting surface with the global geoïd model (EGM96) has given decimetric difference which allow to validate the methodological approach developed.

RESUME

L'eau est une ressource naturelle très chère et très rare, pour cela il faut trouver des solutions pour la préserver et chercher d'autres moyens voire techniques pour affronter les pénuries d'eau. L'Algérie a adopté une nouvelle politique dans ce domaine cette politique repose sur le dessalement des eaux de mer, cela nécessite la connaissance de la forme de la mer et la compréhension des phénomènes océanographiques et géophysiques.

La forme de la mer peut être déterminée par altimétrie spatiale, la mise en évidence et la compréhension des phénomènes océanographiques et géophysiques qui en découlent représentent aujourd'hui un défi dont la compréhension nécessite la programmation de nombreuses missions successives.

La mission spatiale Jason-1 est prévue pour répondre à ces attentes. L'analyse et le traitement des mesures altimétriques du satellite Jason-1 requiert la recherche d'une très grande exactitude dans la détermination des différents paramètres permettant d'accéder au calcul de la hauteur de la mer au-dessus d'un ellipsoïde de référence.

Dans cet article, nous expliquerons comment les données altimétriques Jason-1 ont été exploitées pour aboutir au calcul d'un géoïde altimétrique précis sur le bassin Méditerranéen.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Le modèle de calcul adapté tient en considération les corrections de propagation et les corrections géophysiques.

La comparaison de la surface obtenue avec le modèle de géoïde global l'EGM96 a fournit des écarts décimétriques qui permettent de valider l'approche méthodologique développée.

Mots clés

Altimétrie spatiale, Géoïde, Jason-1, niveau moyen altimétrique, ellipsoïde.

1. INTRODUCTION

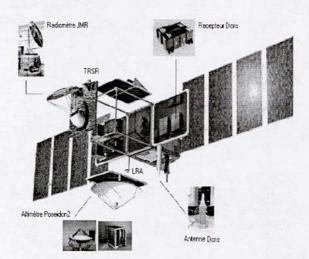
Le dessalement des eaux de mer nécessite la connaissance de la forme de la mer et la compréhension des phénomènes océanographiques et géophysiques.

Le présent article propose une méthodologie de traitement des données altimétriques du satellite Jason-1 dans le souci de déterminer un géoïde altimétrique en Méditerranée Occidentale.

Les résultats des hauteurs du géoïde sont comparés par rapport au modèle de géoïde global l'EGM96.

2. LA MISSION JASON-1

JASON-1, qui pèse 500kg, a été lancé le 7 décembre 2001 par une fusée Delta II, depuis la base de Vandenberg, en Californie (États-Unis), basé sur la plateforme Proteus, le satellite JASON-1 embarque cinq instruments (un altimètre, un radiomètre, et trois systèmes de localisations). Il a été lancé à 1300 km de la surface, sur une orbite répétitive à 10 jours.



Caractéristiques pri	ncipales
Demi-grand axe	7 714.4278 km
Excentricité	0.000095
Inclinaison	66.039°
Données auxiliaires	
Altitude	1 336 km
Répétitivité	9.9156 jours
Nombre de passages	254
Vitesse orbitale	7.2 km/s

Figure 1: Le satellite JASON-1

3. PRINCIPE DE L'ALTIMETRIQUE

Le radar envoie des impulsions rectangulaires à une fréquence élevée. L'impulsion retour est reçue dans une fenêtre d'écoute proportionnée par une boucle de poursuite grâce aux mesures antérieures.

Comme chaque impulsion est trop bruitée, on n'analyse que la moyenne de 10 impulsions par seconde.

Le principe de la mesure repose sur le temps de retour de ces impulsions, et le rayon de la tache de réflexion au niveau de la surface de la mer.

JASON-1 effectue les mesures dans les bandes Ku et C.

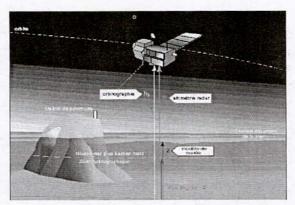


Figure 2: Principe Géométrique satellite JASON-1

4. BIAIS D'ERREURS

Le niveau des mers n'est obtenu qu'après correction des mesures altimétriques des erreurs instrumentales, de propagation (Ionosphérique et Troposphérique) et géophysiques (marée, baromètre inverse,...)

4.1. Erreurs Instrumentales

Les erreurs d'origines instrumentales sont dues essentiellement aux effets liés à la géométrie du satellite, aux erreurs d'orbite du satellite et au délai de transmission dans les circuits électroniques.

L'effet de l'erreur orbitale est directement visible au niveau des recoupements entre traces de mesures ascendantes et descendantes (points de croisement).

Il est à noter que les données altimétriques Jason-1 fournies par « GDR-M science data record » sont corrigées de toutes erreurs instrumentales, sauf de l'effet du déplacement du centre de gravité qui est une conséquence du mouvement solaire (Aviso, 2001).

4.2. Erreurs de propagation

Les mesures d'altimétrie radar nécessitent de tenir compte avec soin des effets atmosphériques, qu'ils soient dus à la Troposphère (0 à 50 Km d'altitude) ou à l'Ionosphère (50 à 1000 Km d'altitude).

La vapeur d'eau absorbe en effet les rayonnements micro-ondes et retarde les impulsions radar. Jason-1 possède donc un radiomètre micro-onde qui effectue des mesures simultanées des concentrations en vapeur d'eau de l'atmosphère. Leur effet peut ainsi être calculé et retranché des données.

De même, les électrons libérés par l'ionisation des gaz de la haute atmosphère, sous l'effet du rayonnement solaire, produisent un retard sur le temps de trajet des micro-ondes.

Ce délai ionosphérique dépend de la fréquence des micro-ondes utilisées. Il peut être corrigé par l'utilisation d'un radar à deux fréquences, ou par un modèle issu de mesures bi-fréquences, grâce au système d'orbitographie Doris.

La correction troposphérique est donnée comme suit (Rummel, 1993) :

Composante sèche: Dry Corr = 2.227 10⁵ (1+0.0026 $cos(2\varphi)$) P_s

Composante humide :
$$Wet_{Corr} = 2.227 \cdot 10^{5} \left(\frac{1255}{T_{*}} + 0.05 \right) E_{s}$$

Où : φ est la latitude, P_s est la pression au niveau de la mer en Pascal, E_s est la pression partielle de la vapeur d'eau et T_s est la température en °Kelvin.

La correction ionosphérique pour un altimètre bi-fréquence est donnée comme suit (Rummel, 1993) :

$$Iono_Corr = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{40.2 E}{f_1^2} - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{40.2 E}{f_2^2}$$

Où: E représente le contenu total en électron, f_1 et f_2 les fréquences.

4.3. Erreurs Géophysiques

a. Vitesse du vent

La vitesse du vent est déduite de l'intensité de l'impulsion réfléchie par la surface de l'océan. Le vent agit sur les mini-vagues superficielles. Plus le vent est fort et plus l'énergie sera dispersée dans toutes les directions lors de la réflexion, l'écho sera donc plus faible. La mesure de l'énergie de l'écho donne accès à la vitesse du vent (mais pas à sa direction).

Le modèle fonctionnel de calcul de la vitesse du vent est donné par (Stewart, 1985) :

$$U = \sum_{n=0}^{4} a_n \left(\sigma_{ob}\right)^n$$

Où : U est la vitesse du vent en m/s, σ_{ob} est le coefficient de dispersion biaisé (biased backscatter coefficient) :

$$\sigma_{ob} = \sigma_o + d\sigma$$
 en décibels

Tel que σ_o est le coefficient de dispersion (backscatter coefficient) et $d\sigma$ est le biais qui est ajouté pour adapter les données Geosat : $d\sigma = 0.63dB$

Les coefficients polynomiaux a_0 ; a_1 ; a_2 ; a_3 ; a_4 sont définis d'après le tableau suivant (Aviso, 2001):

Tableau 1 : Coefficients polynomiaux pour le calcul de la vitesse

	U>7.30	$0.01 \le U \le 7.30$	U = 0.0	
σ _{ob} limites	σ _a < 10.8	$10.8 \le \sigma_{_{\mathrm{el}}} \le 19.6$	19.6 < σ,	
$a_{_{\mathbf{i}}}$	51.045307042	317.474299469	0.0	
a _i	-10.982804379	-73.507895088	0.0	
a,	1.895708416	6.411978035	0.0	
a,	-0.174827728	-0.248668296	0.0	
a,	0.005438225	0.003607894	0.0	

b. Biais de l'état de la mer

La hauteur des vagues influe sur la forme de l'impulsion réfléchie vers l'altimètre. Une mer calme avec des petites vagues renvoi une impulsion "concentrée", alors qu'une mer agitée par de hautes vagues retourne un signal plus élargi.

Cet effet dépendant de l'état de la mer appelé «biais de l'état de la mer», peut être estimé en fonction de la fréquence du radar à l'aide de la hauteur significative des vagues et de la vitesse du vent.

L'estimation de ce biais dans la bande Ku est donnée comme suit (Rami, 2002) :

$$\begin{split} SSB_{[\mathit{Kir}]} = -SWH_{[\mathit{Kir}]} \begin{pmatrix} a_{\mathit{Kir}} + b_{\mathit{Kir}}SWH_{[\mathit{Kir}]} + c_{\mathit{Kir}}U_{[\mathit{Kir}]} \\ + d_{\mathit{Kir}} \left(r \frac{U_{[\mathit{Kir}]}^2}{SWH_{[\mathit{Kir}]}} \right)^{0.5} \\ + e_{\mathit{Kir}}SWH_{[\mathit{Kir}]}^2 + f_{\mathit{Kir}}U_{[\mathit{Kir}]}^2 \end{pmatrix} \end{split}$$

Pour la bande C: 5.3 GHz

$$SSB_{[c]} = -SWH_{[c]} \begin{pmatrix} a_c + b_c \ SWH_{[c]} + c_c \ U_{[c]} \\ + d_c \left(r \frac{U_{[c]}^2}{SWH_{[c]}} \right)^{0.5} \\ + e_c \ SWH_{[c]}^2 + f_c \ U_{[c]}^2 \end{pmatrix}$$

Tel que: SSB est le biais de l'état de la mer en mètres (Bande Ku et C), SWH est la hauteur significative des vagues en mètres (Bande Ku et C), U est la vitesse du vent en m/s (Bande Ku et C) et r est proportionnellement constant (r = 0.026).

 rU^2 représente le SWH que la vitesse du vent génère (Aviso, 2001).

 $a_{[Ku]}, b_{[Ku]}, c_{[Ku]}, d_{[Ku]}, e_{[Ku]}, f_{[Ku]}$ sont les constantes de calibration pour la bande Ku ;

 $a_{[C]}, b_{[C]}, c_{[C]}, d_{[C]}, e_{[C]}, f_{[C]}$ sont les constantes de calibration pour la bande C (Aviso,2001) :

Tableau 2: Constantes de calibration des bandes Ku et C

	а	b	c	d	е	f
Ku	0.0029	0.0	0.0038	0.0	0.0	- 0.00015
С	0.0038	0.0	0.0038	0.0	0.0	- 0.00013

c. Effet barométrique inverse

La surface de la mer tend à répondre hydrostatiquement aux variations de la pression atmosphérique.

Cette correction instantanée est calculée à partir de la pression au niveau de la mer qui est obtenue indirectement via la correction Troposphérique sèche (Aviso, 2001) :

$$P_atom = \frac{Dry_Corr}{\left[(-2.277) \left(1 + \left(0.0026 \cos \left(2 Lat_Tra 1.10^4 \pi / 1800 \right) \right) \right) \right]}$$

Où: P_atm est la pression au niveau de la mer en mbar, Dry_Corr est la correction Troposphérique sèche en mm et Lat_Tra représente la latitude géodésique.

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

La correction barométrique inverse est alors :

 $Inv_Bar = -9.948(P_atm - 1013.3)$ en mm.

d. Marée Océanique

Elle représente la réponse de l'océan aux mouvements de la lune, du soleil et des autres planètes. Elle se traduit par un transport des masses d'eau.

Cette correction est calculée à partir de modèles globaux de marée : GOT99.2 de l'Université de Texas, USA et le modèle FES 99 de l'Université de Grenoble, France. (Aviso, 2001).

e. Marée terrestre

La Terre solide répond aux forces de gravitation externes de la même façon que les océans. La Terre répond assez vite et peut être considérée en équilibre avec la marée générée par les forces externes. Alors, la surface est parallèle avec la surface équipotentielle et la hauteur de marée est proportionnelle au potentiel. La proportionnalité est caractérisée par un coefficient appelé nombre de Love.

Cet effet est calculé en utilisant les tables de Cartwright et Taylor (Aviso, 2001).

f. Marée polaire

L'axe de rotation de la terre oscille autour de sa direction nominale avec une période apparente de 12 à 14 mois. Ceci crée une force centrifuge additionnelle qui déplace la surface. Cet effet est indiscernable des marées.

L'effet de marée polaire est calculé facilement en connaissant la position du pôle (Aviso, 2001) :

 $H _Pole = -69.435 \sin(2Lat _Tra) \times$

$$\begin{pmatrix} \left(x_{_{Pole}}-x_{_{Pole-arg}}\right)\cos Lon_Tra \\ +\left(y_{_{Pole}}-y_{_{Pole-arg}}\right)\sin Lon_Tra \end{pmatrix}$$

Où: H_Pol est la marée polaire en mm, (Lon_Tra, Lat_Tra) sont la longitude et la latitude géodésiques du point de mesure, (xpôle, ypôle) est la position du pôle.

xpôle_avg = 0.042 arc sec, ypôle_avg = 0.293 arc sec.

5. TRAITEMENT DES DONNEES ALTIMETRIQUES

5.1. Données utilisées

Les données utilisées sont celles fournies par Aviso sur CD: «Jason-1 and TOPEX/POSEIDON GDR products», Numéro du volume : «GDR_JA1_TP_a_010_2» (4 Juillet – 2 Septembre 2003). Les cycles Jason-1 sont : 055, 056, 057, 058, 059 et 060.

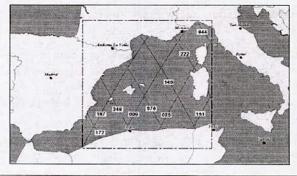


Figure 3: Traces du satellite Jason-1 couvrant la zone de calcul

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

5.2. Correction des écarts aux points de croisement

Le point de croisement est l'intersection de deux arcs : un ascendant et l'autre descendant. A ces points de croisement coïncident donc deux mesures différentes du niveau de la mer. L'écart entre ces deux mesures doit être corrigé et réparti sur l'ensemble des mesures des deux profils.

La méthode utilisée pour la réparation de cet écart sur les profils altimétriques est la méthode d'interpolation polynomiale, dont le principe est le suivant (Haddad, 2004):

Soient N points de croisement d'un même profil altimétrique $y_i = f(x_i)$, $y_2 = f(x_2)$, ..., $y_N = f(x_N)$ ou les y_i représentent les corrections à apporter aux points de croisement et les x_i les longitudes des points de croisement. La correction orbitale pour un point du profil de longitude x sera alors exprimée par la formule classique de Lagrange comme suit :

$$y = \frac{(x-x_2)(x-x_3)...(x-x_N)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)...(x_1-x_N)} y_1 + \frac{(x-x_1)(x-x_3)...(x-x_N)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)...(x_2-x_N)} y_2 + ... + \frac{(x-x_1)(x-x_2)...(x-x_{N-1})}{(x_N-x_1)(x_N-x_2)...(x_N-x_{N-1})} y_N$$

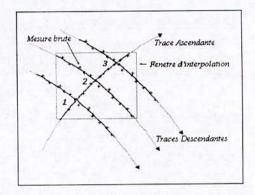


Figure 4: Points de croisement entre arc ascendant et arcs descendants

5.3. Modèle de calcul de la surface altimétrique

La formulation du modèle de calcule des hauteurs (H) de la surface altimétrique est donnée comme suit :

$$h = Hp$$
 Sat $- (H _Alt + \Sigma)$

Tel que:

Hp_Sat: Altitude CNES du satellite par rapport à l'ellipsoïde de référence GRS80;

H_Alt: Altitude du satellite par rapport à la surface de la mer;

 Σ : ensemble des corrections à apporter sur la mesure altimétrique :

 $\Sigma = CG$ Range Corr + Dry Corr +

Wet Corr + Iono Corr kl + INV Bar +

 $H _Eot _FES + H _Set + H _Pol$

Où:

CG_Range_Corr: Correction de l'effet de déplacement du centre de gravité;

Dry_Corr: Correction Troposphérique sèche

Wet Corr : Correction Troposphérique humide ;

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Iono_Cor: Correction Ionosphérique;

SSB_Corr_k1: Biais de l'état de la mer dans la Bande Ku;

INV Bar: Effet barométrique inverse;

H_Eot_FES: Marée océanique calculée d'après le modèle FES 95.2;

H_Set: Marée terrestre;

H_Pol: Marée polaire.

6. RESULTATS

La validation des mesures géoïdales altimétriques obtenues s'est effectuée en les comparant aux valeurs calculées à partir du modèle géopotentiel global l'EGM96. Le nombre de points retenus par cycle est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Nombre de points retenus par cycle

Cycle	Nombre de Point total	Nombre de points retenus	Taux de rejet		
055	877	866	1.25		
056	876	862	1.60		
057	878	867	1.25		
058	822	808	1.70		
059 878		873	0.57		
060	909	894	1.65		

Le nappage des profils moyens corrigés de l'erreur d'orbite par une grille régulière de 0.25° × 0.25° (en longitude et en latitude) permet d'avoir une surface moyenne.

La méthode utilisée est l'interpolation linéaire (triangulation de DELAUNAY) ; qui a été utilisée pour exclure les régions qui n'ont pas été observées par altimétrie.

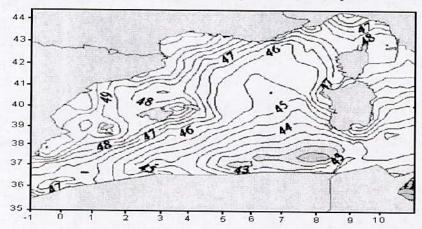


Figure 5 : Surface altimétrique déterminée par Jason-1

7. COMPARAISON ET ANALYSE

Tableau 5	· Statistiques	de l	a comparaison	nar rannort	à l'EGM96
Labicau	· statistiques	uci	a Comparaison	Dallappoli	allowing

Cycle	Diff. Max (m)	Diff. Min (m)	Moyenne (m)	STD (m)	
055	0.59	-0.93	-0.05	0.26	
056	0.69	-0.99	-0.03	0.25	
057	0.66	-0.90	-0.04	0.25	
058	0.79	-0.99	0.00	0.25	
059 0.61		-0.99	-0.01	0.26	
060	0.59	-0.96	0.00	0.25	

D'après les résultats obtenus, on constate que la surface altimétrique obtenue à partir des données Jason-1 représente des écarts assez similaires par rapport au modèle de géoïde global l'EGM96. on peut donc considérer que la précision des résultas est satisfaisante : une différence par rapport à l'EGM96 comprise entre 0.7 et -0.997 m et un écart type de 0.25 m.

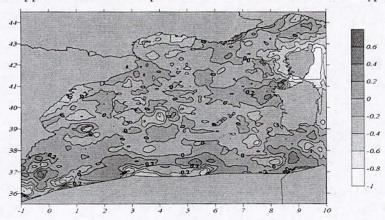


Figure 6 : Ecart entre le géoïde altimétrique obtenu à partir des données Jason-1 et l'EGM96. Equidistance de 0.2 m

8. CONCLUSION

La mission Jason-1 a permis un progrès historique dans l'amélioration de la précision et de l'exactitude tant du point de vue de l'orbitographie que du point de vue de la détermination de la surface topographique de la mer. Dans le domaine de la géodésie spatiale et de ces applications, il s'agit d'un événement majeur.

L'utilisation des données altimétrique de Jason-1, contrôlés par rapport au géoïde global l'EGM96 nous a permis de déterminer une surface altimétrique moyenne sur la Méditerranée Occidentale, dont la résolution spatiale entre profils altimétriques est de l'ordre de 119 Km.

Bien que les données utilisées ne représentent que 6 cycles Jason-1 la solution obtenue est satisfaisante vu que sa comparaison par rapport à l'EGM96 présente des écarts assez faibles (un écart type de 0.267 m).

Dans une version ultérieure du géoïde altimétrique et dans le souci d'améliorer la précision de la solution, on intégrera certainement d'autres cycles jason-1. De plus, l'utilisation de données de la mission altimétrique Envisat permettra certainement d'accroître la précision de la détermination du géoïde altimétrique.

9. REMERCIMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le CLS/CNES – France, pour leurs avoir fournis les CD de données : « Jason-1 and TOPEX/POSEIDON GDR products ».

10. REFERENCES

- AVISO and PODAAC User Handbook, 2003. IGDR and GDR Jason Products SMM-MU-M5-OP-13184-CN (AVISO), JPL D-21352 (PODAAC)
- Bonnefond, P., 1994. Méthode Géométrique de Trajectographie par Arcs Courts.
 Application à l'Analyse des Mesures Altimétriques des Satellites Topex/Poseidon et ERS1 en Méditerranée

Thèse de Doctorat, Observatoire de Paris

- Botton, S., 2001. Introduction à la Géodésie. Ecole National des Sciences Géographiques, 2001
- Chouteau, M., Géophysique appliquée I Gravimétrie. Ecole Polytechnique Montréal
- Haddad, M., 2004. Détermination du Géoïde par Intégration des Données Gravimétriques et Altimétriques

Mémoire de Magistère, Centre National des Techniques Spatiales

 Rami, A., 2002. Détermination précise du géoïde marin à partir des données TOPEX/POSEIDON et comparaison avec un géoïde local gravimétrique

Mémoire de Magistère, Centre National des Techniques Spatiales

- Rummel R., 1993. Satellite altimetry in geodesy and oceanography, Lecture Notes in Earth Sciences, 50, Springer-Verlag, 453-466, 1993.
- Stewart Robert H., 1985. Methods of satellite oceanography, University of California Press-ISBN 0-520-04226-3
- Numerical Recipes, Cambridge University Press, ISBN 0 521 43719 9.

ELIMINATION D'ACIDES ORGANIQUES AROMATIQUES PAR COAGULATION-FLOCULATION AU SULFATE D'ALIMINUIM. EFFET DE LA MINERALISATION

Rezeg Assia, Achour Samia

Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface - LARHYSS Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur
Département d'hydraulique - université de Biskra B.P. 145, R.P, 07000, Algérie
info@larhys.net , samia. achour@larhyss.net

RESUME

Le but de cette étude est d'examiner l'efficacité de la coagulation-floculation par le sulfate d'aluminium sur deux molécules de type acide aromatique hydroxylé et carboxylé (acide pyroméllitique et pyrogallol). Les essais ont été réalisés sur des solutions synthétiques de chacun des composés organiques dissous soit dans l'eau distillée soit dans des eaux souterraines minéralisées. Les résultats obtenus ont permis de souligner l'importance des fonctions acides sur les mécanismes d'élimination des molécules organiques. Pour le pyrogallol, le mécanisme prédominant serait une réaction à la surface des hydroxydes aluminiques. Par contre, l'acide pyroméllitique réagit avec les espèces solubles cationiques de l'aluminium. L'effet de la minéralisation des eaux est variable selon la structure du composé.

ABSTRACT

Coagulation-flocculation efficiency is examined on two aromatic organic molecules namely, pyromellitic acid and pyrogallol, by adding aluminum sulfate. Trials were conducted on synthetic solutions diluting each considered molecules either in distilled water or mineralized groundwaters. The obtained results have confirmed that acid functions play a prominent part in mechanisms of organic molecules removal. The main mechanism should be a reaction at the surface of aluminum hydroxide when pyrogallol is used. On the other hand, pyromellitic acid reacts on the aluminum cationic soluble species. Moreover, effect of the water mineralisation varies with the compound chemical structure.

1. INTRODUCTION

La matière organique dans les eaux de surface est constituée en majorité par les substances humiques (Thurman et Malcom, 1983). Ces dernières, dégradent la qualité organoleptique des eaux et engendrent la formation, au cours de la désinfection des eaux, de composés organohalogénés potentiellement toxiques (Le Curieux et al., 1996; Achour et Moussaoui, 1993). Une diminution notable des substances humiques a été observée par optimisation de l'étape classique de traitement d'eaux potables qu'est la coagulation-floculation (Guesbaya, 1998; Lefebvre, 1990). L'ensemble des études révèle que le meilleur rendement est obtenu entre pH 4 et 5 pour le fer et entre 5 et 6 pour l'aluminium. Une relation stœchiométrique entre ces composés organiques et la dose optimale de coagulant est généralement établie.

Au cours de cette étude, nous avons entrepris d'évaluer l'efficacité de la coagulation-floculation par le sulfate d'aluminium sur deux molécules organiques simples de type acide aromatique hydroxylé (le pyrogallol) et carboxylé (l'acide pyroméllitique). Ces molécules sont susceptibles d'être des monomères dans la structure des substances humiques et ce, selon les modèles structuraux proposés (Christman et Ghassemi, 1966; Schnitzer et Khan, 1972). L'utilisation de ces molécules offre l'avantage de mieux souligner le rôle des groupements fonctionnels acides dans les mécanismes d'élimination de la matière organique par coagulation-floculation. Nos essais ont été conduits en eau distillée puis dans des eaux souterraines naturellement minéralisées afin d'apprécier l'effet de la minéralisation des eaux.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation des solutions de composés organiques

Les composés organiques que nous avons utilisés pour les besoins de notre étude sont des produits commercialisés par Aldrich. Le tableau 1 précise leurs structures chimiques.

Tableau 1: Symbolisation des composés organiques étudiés

Pyrogallol	Acide pyroméllitique
ОН ОН ОН	COOH COOH

Pour chaque milieu de dilution, nous avons préparé une solution mère de 100 mg/l de chacun des composés organiques testés. Celle ci a servi d'une part, dans la préparation des solutions étalons et d'autre part lors des essais en solutions synthétiques.

Les milieux de dilution utilisés sont :

a) Eau distillée

L'eau distillée que nous avons utilisée, durant la période de nos essais, possède une conductivité voisine de 5 µs/cm et un pH variant entre 6,12 et 6,7.

b) Eaux minéralisées

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines que nous avons utilisées sont déterminées en laboratoire et récapitulées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de dilution des composés organiques

Caractéristiques Eaux de dilution	pН	TAC (°F)	TH (°F)	Ca ²⁺ (mg/ l)	Mg ²⁺ (mg/ l)	Cl· (mg/ l)	SO ₄ ² - (mg/l		Conductivit é (ms/cm)
Eau d'Ifri	7,34	24	48	144	29	70	42	6.64	0,64
Eau de Djamorah	7,51	24	102	184	134	240	400	1.32	1,61
Eau de Biskra (El Allia)	7,98	22	208	400	259	730	890	19	4,75

2.2. Présentation coagulant

Une solution mère de 10 g/l est préparée périodiquement par dissolution du sulfate d'aluminium (Al₂(SO₄)₃, 18H₂O) dans de l'eau distillée.

2.3. Méthode de dosage des composés organiques

Le pourcentage d'abattement des composés organiques est évalué par la mesure de la densité optique (DO) ou de l'absorbance (A). Ces mesures sont réalisées sur un appareil UV-visible WPA LIGHT WAVE.

Pour déterminer les concentrations des composés organiques, nous traçons les courbes d'étalonnage: absorbance = f (concentration des composés).

2.4. Des description des essais de floculation

Nos essais se sont déroulés selon la technique de jar-test sur un floculateur qui est constitué de six agitateurs. Les conditions hydrodynamiques adoptées, au cours de nos manipulations, sont respectivement (Rezeg, 2004):

- 3 minutes d'agitation rapide de 200tr/min.
- 30 minutes d'agitation lente de 60tr/min.
- Une demi-heure de décantation.

Le surnageant est par la suite récupéré pour être filtré sur membrane OSMONIC de 0.45 µm. Le filtrat est ensuite dosé par analyse au spectrophotomètre qui donne les lectures en absorbance. Le pourcentage d'abattement des composés organiques, lors des essais en solutions synthétiques, est évalué par le rendement qui est équivalent :

$$R(\%) = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100$$

 C_o et C_f représentent respectivement les concentrations initiales et finales des composés organiques exprimés en mg/l.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Effet du PH de coagulation

Chacun des deux composés organiques a été dissous à raison de 5 mg/l en eau distillée. L'ajustement du pH a été réalisé durant la phase rapide de l'agitation. La figure1 représente l'évolution des rendements d'élimination de chaque composé organique en fonction du pH initial des solutions.

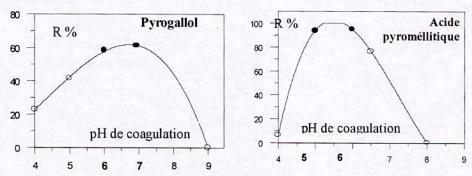


Figure 1: Influence du pH de coagulation d'acides organiques (5mg/l).

Le pyrogallol semble mieux éliminé entre pH 6 et 7 alors que pour l'acide pyroméllitique, nous pouvons observer que les rendements d'élimination sont spectaculaires lorsque son pH de coagulation est compris entre 5 et 6. En conséquence, nous adopterons pour les essais ultérieurs relatifs à ce composé un ajustement systématique du pH à une valeur de 5,5.

3.2. Influence de la teneur initiale des acides organiques

Différents essais ont été conduits sur des solutions synthétiques des acides organiques dissous à différentes concentrations en eau distillée et coagulées par des doses croissantes de coagulant. Les résultats obtenus sont représentés ci-dessous sur les figures 2 et 3.

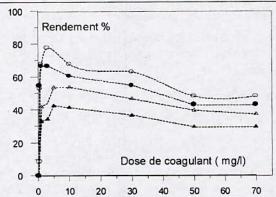


Figure 2: Elimination du pyrogallol pour les différentes concentrations.

(○) 0.5mg/l; (•) 2mg/l; (△) 5mg/l; (▲) 10mg/l

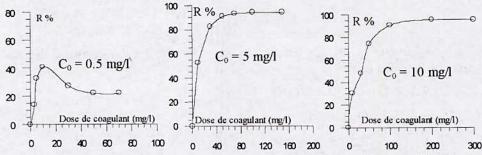


Figure 3 : Influence de la dose du coagulant sur l'élimination de l'acide pyroméllitique à différentes concentrations ; pH = 5.5

a)Pyrogallol

Le pyrogallol est de mieux en mieux éliminé au fur et à mesure que ses concentrations initiales diminuent. Dans nos conditions expérimentales, aucune stœchiométrie n'a pu être mise en évidence entre la concentration initiale de ce composé et la dose du coagulant appliquée. D'autre part, les meilleurs rendements d'élimination du pyrogallol sont obtenus entre pH 6 et 7 (figure 1). De ce fait, le mécanisme le plus vraisemblable serait une réaction de ce composé à la surface des oxo-hydroxydes métalliques solides. L'adsorption peut être ainsi purement physique (cas où les groupements acides ne sont pas dissociés).

Une complexation ou un échange de ligand avec les groupements hydroxyles à la surface du floc, est un autre mécanisme de surface qui peut être proposé (Wais Mossa et Mazet ,1990).

b) Acide pyroméllitique

Comme il est représenté sur la figure 3, l'augmentation de la concentration initiale de l'acide pyroméllitique aboutit à une amélioration au niveau des rendements d'élimination et de plus une demande plus importante de coagulant. Une relation stœchiométrique de 20 mg de sulfate d'aluminium par mg d'acide pyroméllitique a été mise en évidence (figure 4).

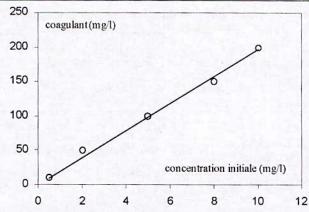


Figure 4: Relation entre la dose optimale de sulfate d'aluminium et la concentration initiale en acide pyroméllitique. Coagulant(mg/l) = 20 Concentration initiale (mg/l).

Au cours de nos essais, l'acide pyroméllitique a présenté des propriétés très proches de celles des substances humiques vis à vis de la coagulation-floculation aussi bien par des sels ferriques ou d'aluminium. En effet, le pH optimal se situe entre 5 et 6, les réactions sont stœchiométriques entre la teneur du composé organique et le taux de coagulant et les rendements d'élimination augmentent en même temps que la concentration initiale du composé. Compte tenu de ces aspects, l'élimination de l'acide pyroméllitique à pH= 5,5 par coagulation-floculation au sulfate d'aluminium peut s'effectuer, tout comme pour les substances humiques, principalement par un mécanisme qui suppose la formation d'un sel insoluble entre les monomères ou les polymères métalliques solubles cationiques et la matière organique.

3.3. Effet de la minéralisation

Les composés organiques ont été dissous à raison de 5 mg/l dans les différentes eaux minéralisées. Ainsi constituées, les solutions obtenues sont coagulées par introduction de doses croissantes de sulfate d'aluminium. La figure 5 représente l'évolution des rendements d'élimination, dans des eaux de minéralisation variable, de chacun des acides organiques testés.

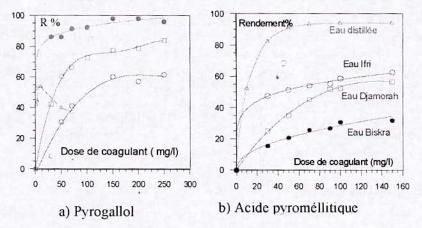


Figure 5 : Elimination des acides organiques (5mg/l) • dans les eaux minéralisées ét distillée. a) Pyrogallol , b) Acide pyroméllitique. (Δ)Eau distillée, (ο)Eau Ifri, (□) Eau de Djamorah , (•) Eau de Biskra.

Il y'a lieu d'observer que l'effet des sels minéraux présents apparaît comme bénéfique au cours de l'élimination du pyrogallol. Par contre, dans le cas de l'acide pyroméllitique, la

minéralisation de l'eau semble plutôt réduire les rendements d'élimination de ce composé par floculation par rapport à l'eau distillée. Le tableau 3 récapitule les valeurs optimales des rendements d'élimination et les doses de coagulant correspondant et permet d'apprécier l'effet d'une minéralisation croissante sur l'efficacité du procédé.

Tableau 3 : Récapitulatif des valeurs optimales de coagulant et des rendements d'élimination

des acides organiques

	Eau distillée	Eau Ifri Cond.=0.64ms/cm PH=7.34	Eau Djamorah Cond.=1.61ms/cm pH=7.51	Eau Biskra Cond.=4.75ms/cm pH=7.98
Pyrogallol Rendement optimal % Dose de coagulant (mg/l)	53,58	61,79	83.39	98.02
	5	250	250	200
Acide Pyroméllitique Rendement optimal % Dose de coagulant (mg/l)	94,08	65,71	51,06	31,71
	100	150	150	150

A partir des résultats de la figure 5 ainsi que ceux résumés dans le tableau 3 quelques aspects fondamentaux peuvent être déduits.

Le pyrogallol voit ses rendements d'élimination s'améliorer au fur et à mesure que la minéralisation de son milieu de dilution s'accroît.

L'acide pyroméllitique se comporte différemment du pyrogallol. Il y a lieu de noter que la présence de sels minéraux diminue les rendements d'élimination de ce composé. La figure 5 montre une diminution nette des rendements d'élimination en passant de l'eau distillée à l'eau la plus minéralisée (eau Biskra). Notons que l'acide pyroméllitique comporte plusieurs fonctions carboxyles et aucune fonction hydroxyle dans sa structure.

La présence d'une minéralisation spécifique dans les eaux pourrait donc contribuer à l'amélioration de l'élimination des composés comportant de groupements hydroxylés (pyrogallol). Les mécanismes prédominants d'élimination de ces structures seraient une adsorption à la surface des Al(OH)₃. Par contre, l'existence de fonctions carboxyles dans la structure du composé organique pourrait avoir un effet inhibiteur de la coagulation-floculation en eaux minéralisées; c'est le cas de l'acide pyroméllitique dont le principal mécanisme d'élimination en eau distillée était une complexation entre les COOH et les formes solubles cationiques de l'aluminium. En eaux minéralisées, certains anions minéraux tels que les sulfates, les phosphates ou les chlorures peuvent en effet entrer en compétition avec les COOH des composés organiques et complexer l'aluminium.

4. CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette étude expérimentale indiquent que le comportement des composés aromatiques en eau distillée est fonction du pH et de leur concentration initiale. L'acide pyroméllitique est particulièrement bien éliminé à pH = 5,5 grâce à la présence de deux fois deux groupements acides contigus sur ce composé qui lui confèrent un comportement semblable à celui des substances humiques.

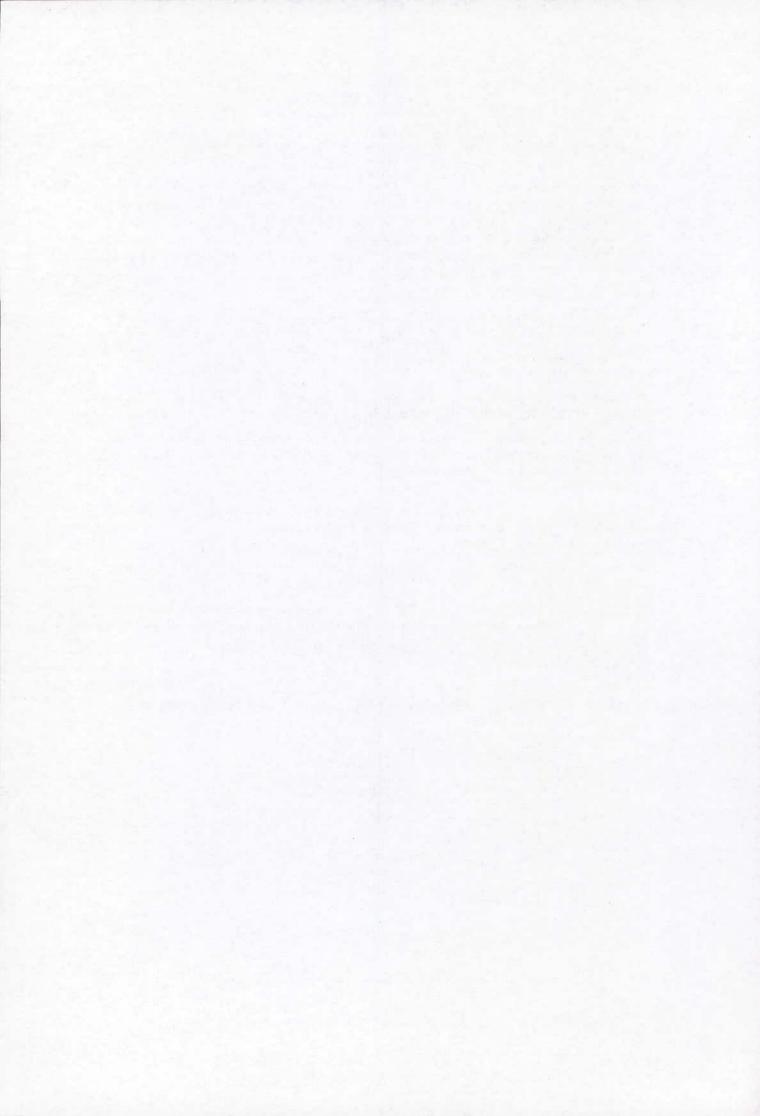
Les mécanismes mis en jeu doivent être principalement de deux types. Le premier concernerait essentiellement le pyrogallol et correspond à une adsorption sur les flocs

d'hydroxydes d'aluminium. Un second mécanisme proposé dans le cas de l'acide pyroméllitique, envisage des interactions entre les composés organiques et les espèces solubles cationiques de l'aluminium.

La composition minérale des eaux de dilution a une influence évidente sur l'efficacité de l'élimination des composés organiques et sur les mécanismes de coagulation-floculation. Une minéralisation croissante des eaux aboutit à un effet promoteur de la coagulation-floculation de composés hydroxylés (pyrogallol). La présence d'un nombre important de fonctions carboxyles dans la structure des composés organiques pourrait avoir un effet inhibiteur sur la coagulation-floculation de ces composés en eaux minéralisées.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1. Achour, S. et Moussaoui, K., 1993. Effet de la chloration sur quelques types d'eaux en Algérie, Tribune de l'Eau, 564, 31-34.
- 2. Christman, R.F. et Ghassemi, M., 1966. Chemical nature of organic colors in water, J. Am. Water. Wks. ass., 59, 6, 723-741.
- 3. Guesbaya, N., 1998. Elimination des composés organiques par le procédé de coagulationfloculation, Thèse de Magister en hydraulique, Université de Biskra.
- 4. Le Curieux, F., Marzin, D. et Brice A., 1996. Utilisation de trois tests de génotoxicité pour l'étude de l'activité génotoxique de composés organohalogénés, d'acides fulviques chlorés et d'échantillons d'eaux en cours de traitement de potabilisation, Rv. Sci. Eau, 9, 1, 75-95.
- 5. Lefebvre, E. 1990. Coagulation des substances humiques aquatiques par le fer ferrique en milieu aqueux. Effet de la préoxydation, Thèse de doctorat, Université de Poitiers.
- 6. Thurman, E.M. et Malcolm, R.L. 1983. Structural study of humic substances: New approaches and methods, In "Aquatic and terrestrial humic materials"- Ed. by CHRISTMAN R.F. and GJESSING E.T. Ann Arbor Science Publishers, chap. 1, 1-23.
- 7. Rezeg, A., 2004. Elimination d'acides organiques hydroxylés et carboxylés par coagulation-flocualtion au sulfate d'aluminium, Mémoire de Magister en hydraulique, Université de Biskra.
- 8. Schnitzer, M. et Khan, S.U. 1972. Humic substances in the environment, Marcel DEKKER Inc., NewYork.
- 9. Wais Mossa M.T. et Mazet, M. (1990), Adsorption d'acides humiques sur flocs d'hydroxydes d'aluminium: Influence de la taille des flocs et du sel d'aluminium, Envir. Technology, 12, 51-58.



CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES FUITES D'EAU À TRAVERS LES RIVES DU BARRAGE DE FOUM-EL-GHERZA, BISKRA, ALGÉRIE

CONTRIBUTION OF STUDY THE WATER LEAKS THROUGH THE BANKS OF FOUM-EL-GHERZA DAM, BISKRA, ALGERIA

* Toumi Abdelouaheb et ** Remini Boualem

* Département de génie civil et de l'hydraulique; Université de Guelma, Algérie; Courriel: toumiouaheb@yahoo.fr ** Uuniversité de Blida, Algérie

RESUME

En plus de la sécheresse qui a affecté le pays depuis une vingtaine d'années, nos barrages se trouvent confrontés à trois problèmes hydrauliques majeurs qui sont l'envasement accéléré, l'évaporation intense et les fuites d'eau (Toumi A., 2004).

Les fuites d'eau dans les retenues de barrages traduisent de façon visible les imperfections qui existent au niveau de leurs appuis et fondations. Le traitement efficace de ce problème réside dans la détermination avec précision des endroits de circulation d'eau.

Le barrage de FOUM-EL-Gherza est l'un des barrages les plus menacés par ce phénomène. En effet, dès sa première mise en eau en 1950, il a subi des fortes pertes d'eau par fuites surtout à travers ses appuis. Ces pertes ont conduit les services de l'hydraulique à réaliser un écran d'étanchéité durant la période allant de 1952 à 1957(S.E.G.G.T.H « monographie des barrages »). Toutefois, le problème n'a pas été résolu et le débit de fuites s'est amplifié davantage.

En raison de l'étendu du voile d'étanchéité, les frais de réalisation au hasard de nouvelles injections pour réduire les fuites et assurer la sécurité de l'ouvrage, seront très élevés. A cet effet, nous essayons par le biais de cette étude de localiser les endroits défectueux de ce voile.

Mots clés

Barrages - Algérie - Foum-El-Gherza - Appuis - Fuites - eau

1. INTRODUCTION

En plus de la sécheresse qui a affecté le pays depuis une vingtaine d'années, nos barrages se trouvent confrontés à trois problèmes hydrauliques majeurs qui sont l'envasement accéléré, l'évaporation intense et les fuites d'eau (Toumi A., 2004).

Le barrage de Foum-el-Gherza est l'un des barrages algériens les plus menacés par ces problèmes. Cet ouvrage est situé dans une zone aride qui se caractérise par un climat sec, de plus il a été implanté dans un site défavorable au stockage et favorable aux fuites.

Les appuis de ce barrage sont composés du calcaire cristallin du maëstrichtien qui présente des fissures sur toute son épaisseur et est par conséquent perméable (Nicolas G., 1952). L'écran d'étanchéité réalisé a perdu son efficacité et des fuites considérables ont été remarquées.

2. PROBLEMATIQUE

Le barrage de Foum-el-Gherza est un ouvrage d'art qui a une très grande importance économique dans la région du fait qu'il a permis l'extension des palmeraies de la région de Sidi Okba (Biskra). Cependant, cet ouvrage se trouve menacé par le problème de fuites d'eau,

<u>Congrès international</u> : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger qui présente des menaces sur la stabilité de l'ouvrage, pouvant rendre illusoire l'étanchéité de cette infrastructure.

La réalisation d'un écran d'étanchéité durant la période allant de 1950 à 1957 n'a pas résolu le problème et on assiste a un accroissement du débit de fuites au cours du temps et pour la même cote du lac.

Sur la figure 1, nous représentons la variation du débit de fuites en fonction de la cote du lac pour l'année hydrologique 1997-1998.

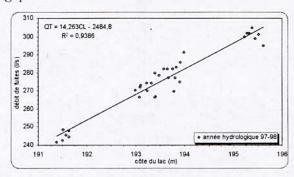


Figure 1 : Variation du débit de fuites en fonction de la cote du lac (Toumi.A et Remini.B, 2003)

3. MOYENS ET METHODES

Durant la période allant du premier février à la fin du mars, nous avons effectué des séries de mesures des différents paramètres physiques à savoir la cote du lac, les cotes d'eau dans les piézomètres, les débits de fuites ... A cet effet, nous avons utilisé le matériel suivant :

3.1. Barrage

Les gorges de Foum-el-Gherza où le barrage en cours d'étude est implanté au sud Est de l'Algérie et précisément à 20 Km à l'Est de la ville de Biskra (Remini.B, 2001). Sur la figure 2, nous donnons la situation géographique de cette infrastructure hydraulique.

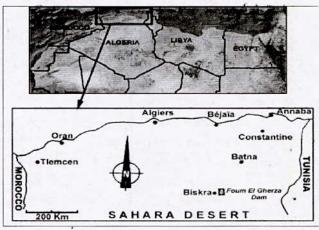


Figure 2 : Situation géographique du barrage de Foum-El-Gherza (Toumi A., 2004).

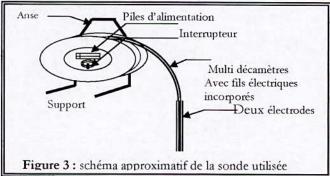
Il est de type mixte, une voûte de 126m attachée en rive gauche à une culée de 60m de longueur. Son altitude maximale est de l'ordre de 198,90 NGA et la cote des plus hautes eaux se trouve à 203,25 NGA (S.E.G.G.T.H « monographie des barrages »).

Cet ouvrage a une capacité initiale de 47 millions de mètres cubes. Il est destiné d'une part à l'irrigation des palmeraies de la région de Sidi Okba Biskra et d'autre part à protéger la population se trouvant en aval contre les inondations (S.E.G.G.T.H « monographie des barrages »).

3.2. Une sonde à signal sonore

Cet appareil est utilisé pour la mesure du niveau d'eau dans les piézomètres. Il possède deux électrodes reliées à un multidécamètre (J.Maurice et al., 1999). Lorsque ces électrodes touchent le niveau d'eau dans le piézomètre, le circuit électrique s'établit et l'appareil émet un signal sonore. Nous lisons sur le multidécamètre la valeur de la profondeur à laquelle se trouve le toit de la colonne d'eau.

La représentation mentionnée sur la figure 3, donne un schéma approximatif de la sonde utilisée.



3.3. Voile d'étanchéité

La figure 4, représente le voile d'étanchéité réalisé durant la période 1952-1957 avec la disposition des différents piézomètres.

Ce voile doit être logiquement conçu en amont du barrage pour affaiblir les sous pressions sous le corps du barrage, puisque plus le voile est en amont plus le gradient hydraulique s'affaiblit. Mais malheureusement ce n'est pas le cas pour le barrage de Foum-El-Gherza.

Une échelle limnimétrique est installée sur la partie voûte du barrage, elle sert à lire la cote du lac. Pour effectuer les prélèvements en fonction de la profondeur du lac et à divers endroits, nous avons utilisé une embarcation.

Les prélèvements des quantités d'eau au niveau du lac et des piézomètres se font par un dispositif d'échantillonnage que nous avons proposé et réalisé (Toumi A., 2004).

Un bécher sert à recueillir la quantité d'eau échantillonnée.

L'Analyseur multiparamètre « universel », pécialement conçu pour mesurer in- situ les six (6) paramètres les plus importants de l'eau : Ph, Oxygène dissous ; Conductivité électrique ; Température ; Turbidité et Salinité. Nous utilisons ce matériel pour mesurer ces paramètres au niveau du lac, des piézomètres, des résurgences et des drains.

Un bassin équipé d'un seuil triangulaire sert à mesurer la hauteur du seuil et par conséquent le débit.

Un récipient de 10 litres est utilisé pour mesurer les volumes par empotement. Un chronomètre à mesurer le temps de remplissage du récipient.

Un Appareil photographique est utilisé pour prendre certaines photos représentatives et indicatrices sur des phénomènes réels dans la région en cours d'étude.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Les pertes de charges

Les pertes de charges indiquent l'état de la zone où les piézomètres ont été réalisés. Les faibles valeurs des pertes de charges indiquent que la zone est perméable, par contre, celles élevées indiquent l'inverse.

Au regard des piézomètres du voile d'étanchéité représenté sur la fig.2, les valeurs de la perte de charge entre ces piézomètres et le réservoir donnent un aperçu sur l'état de la zone traversée par ces piézomètres.

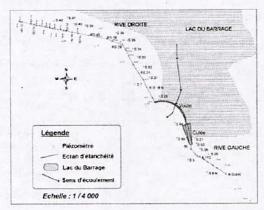


Figure 4: Voile d'étanchéité réalisé (Toumi A., 2004).

Dans les tableaux 1 et 2 nous représentons quelques résultats de nos mesures.

Tableau 1: Pertes de charge entre le lac et les piézomètres du voile d'étanchéité; série de mesures au 01/02/2003 (cote du lac =197,60m).

Nom du piézomètre	Cote de l'orifice	Niveau d'eau (m)	Profondeur d'eau (m)	Cote d'eau (m)	Perte de charge (m)
RD18	221,1	30,03	69,97	191,07	6,53
RD21	226,83	43,26	16,74	183,57	14,03
RD38	225,32	38,40	22,26	186,92	10,68
IN	204,15	30,12	19,88	174,03	23,57
RD45	226,32	43,40	22,60	182,64	14,96

Tableau 2: Pertes de charge entre le lac et les piézomètres du voile d'étanchéité; série de mesures au 29/03/2003 (cote du lac =197,45m).

Nom du piézomètre	Cote de l'orifice	Niveau d'eau (m)	Profondeur d'eau (m)	Cote d'eau (m)	Perte de charge (m)
RD18	221,1	31,27	68,73	189,83	7,62
RD21	226,83	44,28	15,72	182,55	14,9
IN	204,15	30,60	19,4	173,55	23,9
RD45	226,32	44,00	22,00	182,32	15,13

De ces tableaux, nous constatons que les fortes valeurs des pertes de charges entre les piézomètres et le lac indiquent que la zone des piézomètres est exempte de toutes fuites.

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

4.2. Fluctuations des pertes de charges

Afin de savoir la sensibilité des piézomètres du voile d'étanchéité aux fluctuations du lac, nous calculons la fluctuation de la perte de charge en fonction de celle du lac. Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau n°3.

Tableau 3 : fluctuation de la perte de charge en fonction de la fluctuation de la cote du lac pour les piézomètres du voile d'étanchéité

Cote du lac	197,60 m	197,45 m	Fluctuation de la cote du lac= 0,15m
Nom du piézomètre	Pertes de ch	arges (m)	fluctuation de la perte de charge (m)
RD18 •	6,53	7,62	-1,09
RD21	14,03	14,9	-0,87
IN	23,57	23,9	-0,33
RD45	14,96	15,13	-0,17

De ce tableau, nous constatons que plus la fluctuation de la perte de charges et proche de zéro plus le piézomètre suit la fluctuation du lac, c'est-à-dire fluctue avec la même amplitude que le lac. Par ailleurs, les fortes fluctuations des pertes de charges montrent que les piézomètres concernés sont très sensibles aux fluctuations du lac.

4.3. Lignes piézométriques

Dans ce contexte nous traçons la ligne piézométrique reliant le niveau d'eau des différents piézomètres du voile d'étanchéité pour différentes cotes du lac.

Cette représentation nous permet de voir avec plus de précision les zones défectueuses de celles en bon état. En effet, les zones des piézomètres RD21, RG45, RD 70 et RD72 sont moins perméables que celles traversées par les autres piézomètres.

La question qui se pose dans ce cas est : quels sont le type et la quantité de matériau à injecter dans chaque endroit ainsi que l'influence de la charge crée par le réservoir sur le débit de fuites.

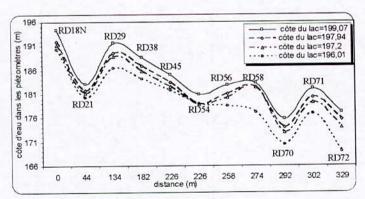


Figure 5 : Lignes piézométriques du voile d'étanchéité pour différentes cotes du lac (Toumi.A, 2004)

4.4. Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac

L'étude de la variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac nous renseigne d'une manière claire sur le comportement des différents piézomètres. En effet, le colmatage ou la détérioration du massif rocheux au niveau du voile d'étanchéité ne sera confirmé que par les pentes des droites de régression.

Congrès international : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger Les représentations mentionnées sur les figures 6, 7, 8, 9, 10, 11,12 et 13 donnent la variation de la cote piézométrique en fonction de la côte du lac au niveau des piézomètres situés sur le voile d'étanchéité.

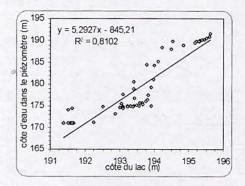


Figure 6 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac

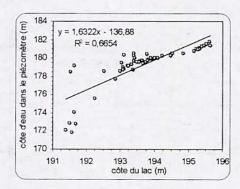


Figure 7 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac RD21

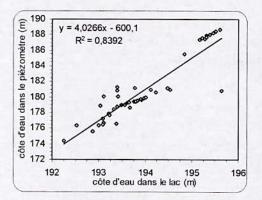


Figure 8 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac RD29

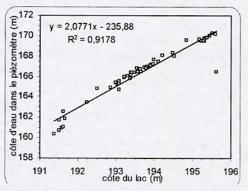


Figure 9 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac

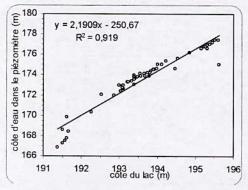


Figure 10 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac RD71

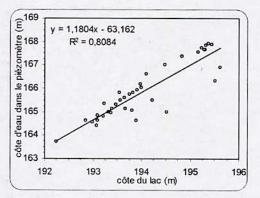


Figure 11 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac RD72

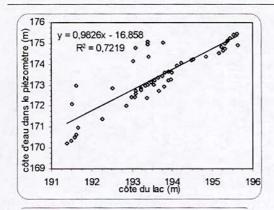


Figure 12 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac IN

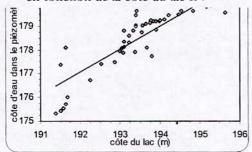


Figure 13: Variation de la cote piézométrique en fonction de la

Dans le tableau n° 4 nous résumons les pentes des droites de régression obtenus pour les piézomètres étudies.

Ce tableau nous permet de distinguer les zones où les piézomètres présentent des indications sur le colmatage et la détérioration du voile d'étanchéité. Les fortes pentes indiquent la détérioration, par contre les faibles (<1) indiquent le colmatage des couloirs de circulation d'eau qui existent entre le lac et le voile d'étanchéité.

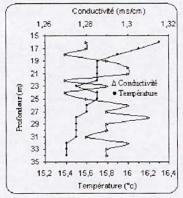
Tableau 4: Pentes des droites de régression

Nom du piézomètre	The Charles of the Control of the Co	RD21	RD29	RD38	RD45	RD70	RD71	RD72	IN	A113
Pente de la droite	5,29	1,63	4,03	1,54	1,63	2,08	2,19	1,18	0,98	0 ,961

4.5. Variation des paramètres physico-chimiques des masses prélevées

Ces mesures nous permettent d'établir la relation entre les différentes masses d'eau. En effet, l'existence, par exemple, d'une stratification thermique au niveau du lac permet, après la mesure des températures de résurgences, de remonter au niveau du lac auquel s'effectue l'écoulement.

Les figures 14 et 15 montrent les profils de la conductivité combinés à ceux de la température au niveau des piézomètres S25 et S36.



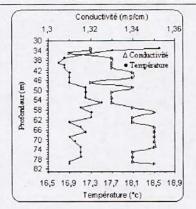


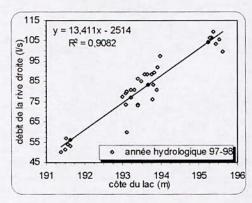
Figure 14: Piézomètre S25 (Toumi A., 2004)

Figure15: Piézomètre S36 (Toumi A., 2004)

Les profils de la conductivité combinés à ceux de la température nous permettent de localiser les niveaux où un écoulement horizontal provenant de la retenue (fraction des profils de basses conductivité et de température homogène) s'effectue et où un écoulement vertical descendant (profils constants de la conductivité et de la température) fait circuler l'eau à travers des couches profondes.

4.6. Variation du débit de fuites en fonction de la fluctuation du lac

Le fait de tracer les courbes caractéristiques représentant la variation du débit de fuites en fonction de la cote du lac est de chercher s'il y a une corrélation entre ces deux paramètres (R. Thérond., 1973).



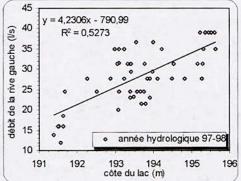


Figure16 : Variation du débit de fuites en fonction de la cote du lac au niveau des deux rives du barrage de Foum-El-Gherza Algérie (Toumi.A, 2004)

De ces représentations graphiques nous pouvons tirer les observations suivantes :

- a) Du fait que la rive gauche est une zone privilégiée de dépôt de la vase entraînée par le courant de densité lors de la survenue des crues, les couloirs de circulation d'eau au niveau de cette rive se trouvent colmatés par la vase entraînée par les eaux de percolations. Ceci a minimisé le débit de fuites à travers cette rive.
- b) Le débit de fuites à travers la rive droite s'amplifie graduellement jusqu'à la cote du lac 194m. Au-delà de cette cote, on assiste à un accroissement rapide du débit de fuites.

Ce phénomène est dû aux régimes d'écoulements à travers le massif rocheux, lorsque la cote du lac est inférieure à 194m le régime est laminaire (l'écoulement est régi par la loi de Darcy), au-delà de cette cote le régime est turbulent s'ajoute à celui- ci l'écoulement à travers les

cannelures. En effet, sous la forte charge crée par le réservoir, les matériaux de remplissage des fissures sont chassés vers l'aval et offrent de nouveaux couloirs privilégiant la circulation d'eau.

c) Le débit de fuites à travers la rive droite est nettement supérieur à celui de la rive gauche.

5. CONCLUSION

Les premiers résultats obtenus montrent que l'état général du barrage de Foum-El-Gherza est inquiétant du fait que le débit de fuites augmente au cours du temps à cause de la détérioration de certaines zones du voile d'étanchéité. Cette dernière a été causée soit par l'érosion hydraulique soit par la corrosion chimique. Par le biais de cette étude nous avons pu déterminer les endroits les plus défectueux du voile d'étanchéité. En effet, le traitement efficace ne se fera qu'au niveau de ces endroits afin de réduire le débit de fuites, assurer la sécurité de l'ouvrage tout en diminuant au maximum les frais d'intervention

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A.N.B Alger, Algérie, "Bilan annuel des ressources en eau des barrages en exploitation".

Jean-Maurice Durand, Paul Royet et Patrice Mériaux (1999). "Techniques des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale" Editions Cemagref Paris avril 1999.

Nicolas GOUSKOV (1952). Eléments de technogéologie des Barrages Algériens et de Quelques ouvrages annexes. « Le barrage de Foum-el-Gherza », Alger 1952.

Remini .B (2001). Les fuites d'eau dans le barrage de Foum-el-Gherza (Algérie) « E.I.N international - l'eau, l'industrie, les nuisances n°6, 2001, PP 55-59.

R. Thérond. (1973) "Recherche sur l'étanchéité des lacs de barrages en pays karstique" Edition Eyrolles Paris 1973.

S.E.G.G.T.H 'Monographie des Grands barrages « Barrage de Foum-el-Gherza ».

Toumi.A, (2004) "Contribution à l'étude des fuites d'eau dans les barrages" « cas du barrage de Foum-El-Gherza, Biskra, Algérie ». Mémoire de Magister, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (E.N.S.H), Février 2004,120 pages.

Toumi. A, Remini B. (2003) "Les fuites à travers les rives du barrage de Foum-El-Gherza, Biskra, Algérie" vecteur environnement, la revue québécoise des sciences et techniques de l'environnement, volume 36, numéro 6, novembre 2003, PP 67-72.

LES FUITES D'EAU AU NIVEAU DES BARRAGES QUELQUES EXEMPLES ALGÉRIENS

* Toumi Abdelouaheb & ** Remini Boualem

* Université de Biskra, Algérie; courriel : toumiouabeb@yaboo.fr

** Professeur, université de Blida, Algérie; courriel : reminib@yaboo.fr

RESUME

Le problème des fuites d'eau au niveau des barrages est l'une des conséquences de la diminution du volume utile s'ajoute à cette diminution les menaces qui peuvent engendrer au cours du temps sur la stabilité de l'ouvrage. Par le biais de la présente communication, nous avons traité certains barrages algériens afin de mettre en évidence à cet épineux problème pour porter des remèdes pointés et même d'ouvrir certains axes de recherche dans ce domaine.

Mots clés: Barrages – Algérie – Fuites – Eau – Pertes – Menaces - Stabilité.

1. INTRODUCTION

Depuis l'antiquité, l'eau considérée comme étant le catalyseur de tout développement et élément de survie de la race humaine, d'où sa mobilisation est plus que nécessaire voire même indispensable et par conséquent des ouvrages hydrauliques ont été construits, il s'est avéré par la suite que ces ouvrages sont exposés aux problèmes hydrauliques tel que l'envasement, l'évaporation et les fuites d'eau qui peuvent porter des préjudices sur la quantité d'eau emmagasinée voire même la stabilité de ces ouvrages. L'Algérie est l'un des pays qui en souffre des répercussions néfastes de ces phénomènes.

Le problème des fuites d'eau au niveau des barrages, en plus des pertes en eau précieuse et rare, surtout dans les zones arides et semi arides, peut avoir des risques sur la stabilité des ouvrages hydrauliques. Hélas les barrages algériens sont exposés à cet épineux problème à causes des pertes d'eau importantes qui s'effectuées à travers leurs rives et fondation vu le manque des sites appropries (favorables au stockage et défavorables aux fuites d'eau).

Donc, l'étude de ce phénomène au niveau de ces barrages s'avère d'une très grande utilité afin de porter des remèdes adéquats et efficaces là où il le faut pour assurer leur stabilité, prolonger leur durée de vie, et par conséquent protéger les biens et la population se trouvant à l'aval de ces ouvrages.

Dans l'objectif de maîtriser et mettre en évidence ce phénomène au niveau des barrages, nous traiterons dans la présente communication quelques exemples algériens.

2. AMPLEURS DES FUITES D'EAU AU NIVEAU DES BARRAGES ALGERIENS

Le barrage de Foum El-Gherza est situé au sud de l'Atlas Saharien à 18 km de l'est de la ville de Biskra (Algérie) et à 12 km au nord de la ville de Sidi Okba (figure 1). Il a été réalisé entre 1947 et 1950 et mis en exploitation durant l'année 1950. C'est un barrage de type voûte de 126 m de longueur auquel se rattache en rive gauche un barrage poids de 60 m de largeur. Il a une hauteur de 73m et une capacité initiale de 47 Mm³ (photo 1) [1].

Cet ouvrage a une grande importance économique dans la région, puisqu'il permet de régulariser le régime de l'oued *El-Abiod* dont les crues violentes allaient se perdre dans le Chott *Melghir* et d'irriguer plus de 300000 palmiers dattiers des palmeraies de *Sidi Okha*, *Seriana*, *Garta* et *Thouda* en Algérie [1].

Malgré cela, cet ouvrage est sujet au phénomène de fuites d'eau à travers le système (rives et fondation) dès sa première mise en exploitation à nos jours. La cause principale est due au site défavorable au stockage et favorable aux fuites où il est implanté vu l'indisponibilité d'un site approprié dans la région [2]. Cette situation a conduit les services concernés à réaliser durant la période 1952/1957 un voile d'étanchéité, mais malheureusement le problème persiste et nous avons évalué un volume moyen de 5 Mm³ d'eau perdu chaque année [3].

Cet échec est dû à la méconnaissance des zones potentielles d'infiltration et des chemins préférentiels de l'écoulement souterrain; ces derniers doivent être déterminer avec précision afin de réduire les coûts des travaux de réparation.

Afin de cerner ce problème, l'utilisation de la méthode piézométrique et celle de l'hydrochimie et des traceurs s'avèrent nécessaire. En effet, et en règle générale, d'une part les eaux de surface et celles souterraines exhibent des signatures isotopiques facilement différenciables, ce qui est le cas dans notre barrage où des procédés évaporatifs intenses ont lieu, enrichissant les eaux de surfaces en isotopes lourds (tritium, deutérium et l'oxygène-18) et d'autre part l'empreinte chimique de l'eau de surface se caractérise par une minéralisation très peu élevée, alors que celle souterraine augmente selon le train traversé et la distance parcourue [4].



Photo 1 : barrage de Foum-El-Gherza Algérie [4]

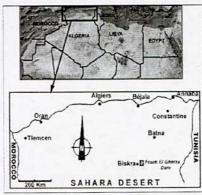


Figure 1: Localisation du site de barrage

Pour mettre en évidence le problème des fuites d'eau au niveau de ce barrage, les photos 2, et 3 sont deux cas réels, où les fuites sortent à la surface du sol. Ces photos représentent successivement le canal d'amenée des débits de drains ancrés dans la rive droite et la résurgence n°14.



Photo 2 : Canal d'amenée des débits de fuites Équipé d'un seuil triangulaire Q_f=140 l/s



Photo 3 : Fuites d'eau au niveau de la résurgence n°14 avec un Q_i=10 l/s

Le barrage de Hammam Grouz a été réalisé durant la période allant de 1981 à 1987sur Oued Rumel, il a une capacité initiale de 45 millions de m³et une hauteur de 49,5m [5]. C'est un barrage de type gréager : une digue en béton et du béton projeté au niveau des deux rives, effectivement un tapis argileux au niveau de la cuvette a été réalisé sur une longueur de 180m [4]. Le niveau minimum du barrage se trouve à la cote 691,00NGA, alors que celui du tapis d'argile se trouve à 705,00NGA [5]. Cet ouvrage a deux évacuateurs de crue, le premier en milieu de la digue et qui ne représente en fait qu'un évacuateur principal. En effet, sa cote se trouve à 727,00NGA, alors que le second évacuateur se subdivise en deux qui ont les mêmes dimensions l'un au niveau de la rive droite et l'autre au niveau de la rive gauche et ils se trouvent à la cote 728,50NGA. Par contre, la cote des plus hautes eaux se trouve à 736,50NGA [5].

Pour mettre en évidence le problème des fuites d'eau au niveau du barrage de Hmmam-Grouz, les photos 4 et 5 sont aussi deux cas réels, où les fuites sortent à la surface du sol. Ces photos représentent successivement les eaux qui sortent de la galerie inférieure où les drains fonctionnent comme des jets d'eau et la résurgence n°2.



Photo 4 : Evacuation des eaux qui s'enfuient dans la galerie inférieure

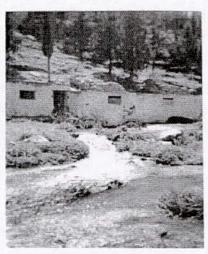


Photo 5 : Résurgence n°2 où on remarque le brassage des eaux des sources thermales avec les eaux des fuites

Pour mettre en exergue la relation qui existe entre la cote d'eau dans le lac du barrage et le volume perdu par les fuites, depuis l'apparition du phénomène, nous représentons sur la figure n°2 la variation du couple, la cote et le volume d'eau dans le la du barrage en fonction du temps.

Cette représentation graphique nous permet de distinguer que le phénomène des fuites d'eau au niveau du barrage de Hammam-Grouz a commencé après un temps assez suffisant de mise en sous-pressions de la rive droite pour être détériorée par l'écoulement souterrain. En effet, durant cette période l'eau qui s'enfuait à travers cette rive a une couleur rougeâtre, qui ne représente en fait, qu'une quantité d'argile dissoute dans l'eau.

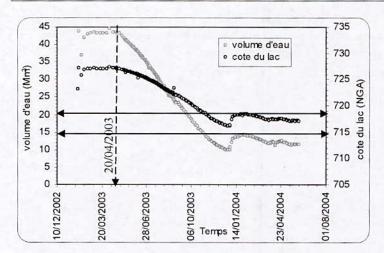
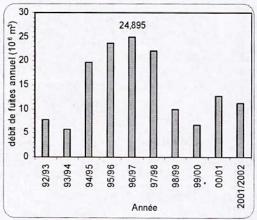


Figure 2 : Variation du couple cote et volume d'eau dans le lac en fonction du temps, barrage de Hammamm-Grouz-Milla-Agérie [6]

Nous constatons aussi que la cote du lac est toujours inférieure à 719NGA, ce qui l'équivalent d'un volume qui n'excède pas les 15 millions de mètres cubes, ce qui nous permet de dire que d'environ 30 millions de mètres cubes d'eau du volume total du barrage ont été perdus par le problème des fuites d'eau.

Les barrages de Ouizert situé au frontière des wilayets Saida et Mascara et de Djorf Torba sis dans la wilaya de Béchar sont aussi des barrages fortement exposés au problème des fuites d'eau, sur les figure 3 et 4, nous représentons la variation des débits perdus au cours de la décennie 1992-2002.



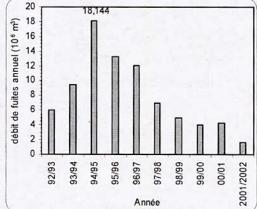


Figure 3: Barrage de Ouizert [3]

Figure 4 : Barrage de Djorf Torba [3]

Sans oublier le barrage de K'sob situé dans la wilaya de M'sila et celui Beni Haroun sis dans la wilaya de Milla, ce dernier ne représente en fait que le plus grand barrage en Algérie, le problème des fuites d'eau au niveau des barrages a toujours des effets néfastes sur la quantité emmagasinée dans lesquelles et surtout sur la stabilité des ouvrages.

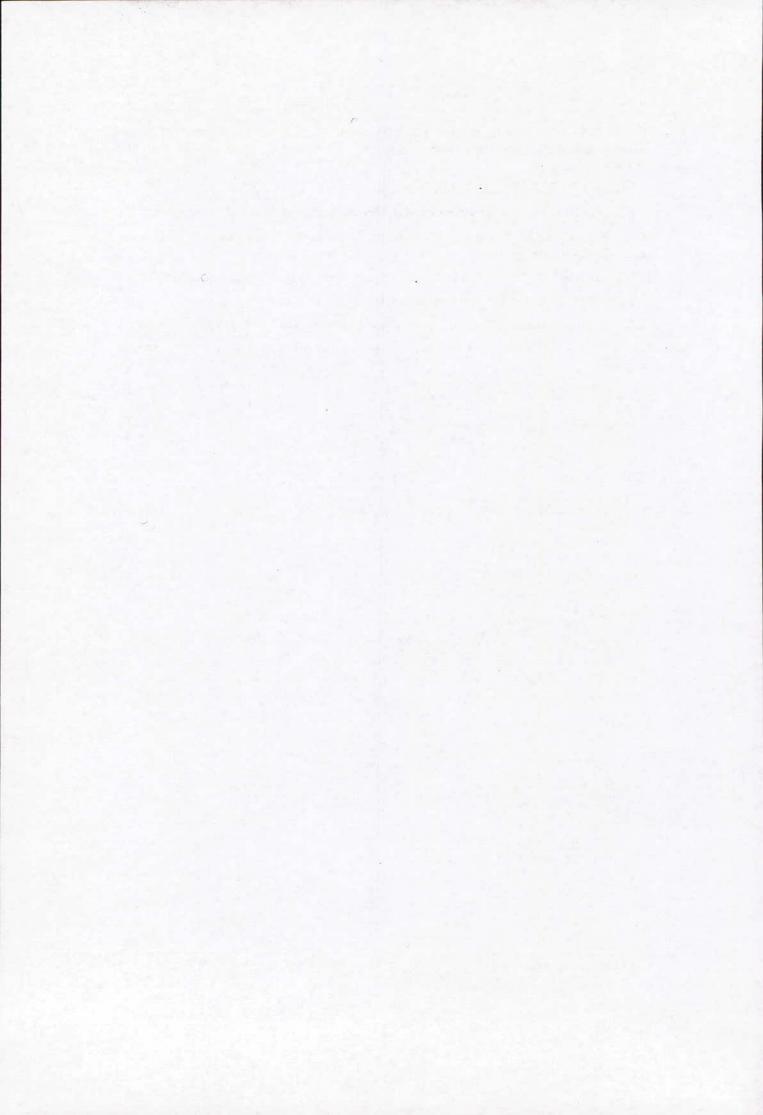
3. CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent que ce phénomène s'amplifie graduellement avec l'augmentation de la cote du lac et au cours du temps. Ce phénomène s'amplifiera davantage si aucune intervention de protection n'est prise rapidement. Donc l'étude au cas par cas des

<u>Congrès international</u>: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger barrages algériens fortement exposés à ce phénomène est plus que nécessaire voire même indispensable pour minimiser surtout les risques que les fuites d'eau peuvent avoir sur la stabilité.

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] S.E.G.G.T.H 'Monographie des Grands barrages « Barrage de Foum-el-Gherza ».
- [2] Nicolas GOUSKOV (Alger 1952). Eléments de technogéologie des Barrages Algériens et de Quelques ouvrages annexes. « Le barrage de Foum-el-Gherza ».
- [3] A.N.B Alger, Algérie, "Bilan annuel des ressources en eau des barrages en exploitation".
- [4] A.N.B Alger, Algérie. Détection des fuites dans les retenues de barrages.
- [5] A.N.B Alger, Algérie 'Monographie des Grands barrages « Barrage de Hammam-Grouz ».
- [6] A.N.B Alger, Algérie «Données piézométriques et Hydrauliques du barrage de Hammam-Grouz»



ANALYSE DES RESIDUS D'UN INSECTICIDE (DIMILIN®) DANS L'EAU ET LES DIFFERENTS COMPARTIMENTS D'UN POISSON NON CIBLE

RESIDUE ANALYSIS OF AN INSECTICIDE (DIMILIN®) IN WATER AND DIFFERENT COMPARTMENTS OF A NONTARGET FISH

Nedjoua Zaidi1, Jean-Pierre Farine2 & Noureddine Soltani1*

Taboratoire de Biologie Animale Appliquée

Département de Biologie, Faculté des sciences, Université d'Annaba 23000- Annaba, Algérie

2UMR-CNRS 5548 Développement ⇔ Communication Chimique

Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel21100-Dijon, France

nsolt(@yahoo.fr

RESUME

Le milieu aquatique, représente la destination privilégiée de la plupart des polluants émis par l'activité humaine. Les risques pour les écosystèmes récepteurs sont mal connus. Le dimilin (25 % poudre mouillable) est une formulation commerciale du diflubenzuron, un insecticide dérivé de la benzoylphenylurée. Il est très efficace contre les moustiques. Cette étude vise à détecter et à suivre le devenir de cet insecticide dans l'eau douce, à la surface et à l'intérieur du corps entier d'un poisson larvivore, *Gambusia affinis*, très utilisé dans la lutte biologique contre les moustiques. Le produit a été additionné dans l'eau d'élevage des poissons à une concentration finale de 0,312 mg/L. Les résidus de l'insecticide sont extrait à différent temps d'exposition (0, 7, 14, 21 et 28 jours) et analysés par chromatographie liquide haute performance (CLHP). L'analyse des résidus par CLHP révèle que plus de 40 % de la dose initiale est dégradée au bout de 28 jours.

Mots clés

Insecticide, Dimilin, Eau, CLHP, Résidus

ABSTRACT

The aquatic environment, represents the privileged destination of the majority of the pollutants emitted by the human activity. The risks for receiving ecosystems are little known. Dimilin (25% Wettable Powder) is a trade formulation of diflubenzuron, an insecticide belonging to the benzoylphenylurea group. It is effective against the mosquitos. This study aims the determination of changes of residue amounts as function the exposure times in fresh water, on the surface and the whole body of a larvivorus fish, *Gambusia affinis*, widely used in the biological control of mosquitos. The compound was added in rearing water of fish at a final concentration of 0,312 mg/L. The residues of insecticide are extracted at various times (0, 7, 14, 21 and 28 days) and analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC). The analysis of residues by HPLC reveals that more than 40 % of the initial concentration is degraded after 28 days of exposure.

Key words

Insecticide, Dimilin, Water, CLHP, Residues

1. INTRODUCTION

Le diflubenzuron est le premier représentant d'une nouvelle classe d'insecticides interférant avec la synthèse de la chitine, les dérivés de la benzoylphenylurée (BPU). Ces dérivés en raison de leurs mode d'action spécifique (Casida et Quistad, 1998) et de leurs faible incidence sur l'environnement (Paoletti et Pimentel, 2000), sont de plus en plus intégrés dans les

<u>Congrès international</u> : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger programmes de lutte chimique contre les différents ravageurs et vecteurs en général (Casida et Quistad, 1998). La quantification par chromatographie liquide haute performance (CLHP) du diflubenzuron ou de ses analogues a été effectuée dans les plantes (Abdel Monem et Mumma, 1981), dans les insectes (Spates et Wright, 1980; Soltani et al., 1983; Soltani et Soltani-Mazouni, 1992; Khebbeb et al., 1997) et dans l'eau de mer (Soltani et Morsli, 2003). L'objet de cette étude est de présenter une méthode simple d'analyse des résidus des pesticides par CLHP et de l'appliquer à la détection et au suivi des résidus du dimilin dans l'eau douce, à la surface et à l'intérieur du corps d'un poisson très utilisé dans la lutte biologique contre les moustiques, Gambusia affinis.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

L'eau d'élevage présente, durant l'expérimentation, les caractéristiques moyennes suivantes: température 21,03 \pm 0,31 °C; oxygène dissous 2,88 \pm 0,12 mg/L; salinité 242,00 \pm 33,57 mg/L; pH 8,07 \pm 0,09.

2.2. Matériel biologique

Des adultes femelles de *Gambusia affinis* (poids moyen: 512 mg; taille moyenne: 35 mm) pêchés dans l'oued Kherraza (40° 04' N, 04° 02'E) situé à l'ouest de la ville de Annaba. L'élevage est réalisé dans des aquariums (50 litres) à une température de 21,03 \pm 0,31 C° et une photopériode de 14 de lumière.

2.3. Traitement insecticide

L'insecticide utilisé est une formulation commerciale du diflubenzuron (dimilin 25% poudre mouillable) aimablement fournie par le Dr. A. C. Grosscurt (Solvay Duphar, Hollande). L'insecticide a été additionné dans l'eau à une concentration finale de 0,312 mg de matière active/L.

2.4. Extraction des résidus

Les résidus du dimilin sont extraits de l'eau douce, de l'eau de rinçage et de l'homogénat du corps entier du poisson et analysé par CLHP selon la technique récemment décrite (Soltani et Morsli, 2003). Les échantillons d'eau douce, d'eau de rinçage et du corps entier sont prélevés à différents moment durant l'expérience (0, 7, 14, 21 et 28 jours). Chaque échantillon est évaporé dans un speed vac et l'extrait sec est repris dans 200 µl du mélange acétonitrile-eau (50-50). Le standard utilisé est la matière active du dimilin (diflubenzuron). Différentes fractions aliquotes (10-50 µl) du standard ont été injectées pour tester la réponse du détecteur UV et chaque extrait est analysés individuellement en double.

2.5. Equipment et conditions HPLC

L'analyse est réalisée avec un chromatographe Waters 600E équipé d'un détecteur UV à barrette de diode (Waters 996), d'un injecteur automatique (Waters 717). L'enregistrement et l'intégration sont effectués par un ordinateur Nec Power Mate 433 à l'aide du logiciel Waters Millenium. Une colonne Merck RP 18 (4 x 125 mm), pourvue de particules ayant un diamètre de 5 µm, a été utilisée. L'élution est assurée par un gradient croissant linéaire d'acétonitrile dans l'eau partant d'un mélange d'acetonitrile-eau (50/50; V/V) pour atteindre 100 % en 25 min. la quantification du produit est effectuée par intégration et comparaison des aires des pics obtenus par rapport au standard.

3. RESULTATS

Dans nos conditions expérimentales, le standard à un temps de rétention de 8,30 min. On note l'absence d'interférence d'un quelconque pic à ce temps de rétention dans les extraits d'eau témoin. Par contre, on détecte la présence du produit dans les extraits d'eau douce traitée, d'eau de rinçage et du corps entier. Les résultats de l'analyse par CLHP révèlent une dégradation progressive du produit au cours du temps. Au bout de 28 jours d'exposition, les taux de résidus détectés sont : dans l'eau douce $187 \pm 8 \,\mu\text{g/L}$, à la surface du corps 0,078 \pm 0,008 $\mu\text{g/individu}$ et à l'intérieur du corps entier 0,160 \pm 0,01 $\mu\text{g/individu}$ (Tableau 1). Il en ressort une dégradation du produit dans l'eau douce de l'ordre de 40 % au bout de 28 jours.

Tableau 1: Evolution du taux de résidu détecté par CLHP dans l'eau douce, à la surface et à l'intérieur du corps des poissons au cours du temps d'exposition à l'insecticide ($m \pm s$, n=3).

Temps (jours)	Dans l'eau douce (µg/L)	A la surface du corps (μg/ind.)	A l'intérieur du corps (μg/ind.)
0	312 ± 0	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000
7	297 ± 9	0,156 ± 0,045	0,054 ± 0,004
14	259 ± 11	0,162 ± 0,014	0,101 ± 0,003
21	215 ± 8	0,120 ± 0,022	0,132 ± 0,014
28	187 ± 8	0,078 ± 0,008	$0,160 \pm 0,011$

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le mécanisme d'action des dérives de la benzoylphenylurée ont fait l'objet de nombreuses recherches (Casida et Quistad, 1998; Soltani et al., 1994; Khebbeb et al., 1997; Bendjedou et al., 1998). Les taux des résidus des représentants de cette classe de régulateurs de croissance ont été déterminés dans divers compartiments chez plusieurs espèces animales ou végétales: dans le corps entier des insectes (Spates et Wrigt, 1980; Soltani et al., 1983; Soltani et al., 1994), au niveau des ovaires (Soltani et Soltani Mazouni, 1992) et le tissu adipeux (Khebbeb et al., 1997) ou dans les plantes (Abdel Monem et Mumma, 1981) et dans les sols des forêts (Sundaram et North, 1989). Plus récemment, la dégradation de cette molécule dans l'eau de mer à été étudiée par Soltani et Morsli (2003). Les résultats obtenus montrent que plus de 40 % de la concentration de départ est dégradées dans l'eau au bout de 28 jours. Enfin, le dimilin est relativement plus stable dans l'eau douce que dans l'eau de mer. En effet, dans l'eau de mer on enregistre un taux de dégradation de 40 % au bout de 14 jours seulement (Soltani et Morsli, 2003).

5. REMERCIMENT

Ce travail à été réalisé dans le cadre du projet ANDRS n° 01/07/08/00/002 et l'accord-programme $02\,\mathrm{MDU}$ 562 (Pr. N. Soltani).

6. ANNEXE

Tableau 2: Evolution du taux (%) de dégradation de résidus dans l'eau douce au cours du temps.

Temps (jours)	Dans l'eau douce
0	0,0
7	4,8
14	16,8
21	31,1

<u>Congrès international</u> : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger

28	40.0
1,000,000	

7. REFERENCES

- 1. Abdel Monem, A.H. et Mumma, R.O., 1981. Development of analytical procedure for an insect growth regulator (EL-494) employing high-pressure liquide chromatography and its application on residues. Agric. Food Chem., 2:75-78.
- 2. Bendjedou, F., Bouslama, Z., Chebira, S. et Soltani, N., 1998. Effects of flucycloxuron, a benzoylphenylurea derivative, on grwth, development and cuticule secretion in *Ephestia Kuehniella*. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent, 63: 575-580.
- 3. Casida, J.E. et Quistad, G.B., 1998. Golden age of insecticide research: past, present, or futur? Ann. Rev. Entomol., 43:1-16.
- 4. Fischer, S.A. Hall, L.W., 1992. Environnmental concentrations and aquatic toxicity data on diflubenzuron (dimilin). Crit. Rev. Toxicol., 22 (1):45-79.
- 5. Khebbeb, M.E.H., Delachambre, J. et Soltani, N., 1997. Ingested diflubenzuron disturbed the lipide methabolism during the sexual maturation of mealworms. Pest. Biochem. Physiol., 58:209-217.
- 6. Paoletti, M.G. et Pimentel, D., 2000. Environnemental risks of pesticides versus genetic engineering for agricultural pest control. Agric. Environ. Ethics, 12 (3): 279-303
- 7. Spates, G.E. et Wright, J.E., 1980. Residues of diflubenzuron applied topically to adult stable flies. J. Entomol., 73:595-598.
- 8. Soltani, N. et Soltani-Mazouni, N., 1992. Diflubenzuron and Oogenesis in the codling Moth, Cydia pomonella (L.). Pest. Sci., 34 (3):257-261.
- 9. Soltani, N. Delbecque, J.P. et Delachambre, J., 1983. Penetration and insecticidal activity of diflubenzuron in *Tenebrio molitor* pupae. Pestic. Sci., 14:615-622.
- 10. Soltani, N. Pitoizet, N. Soltani-Mazouni, N. et Delbecque, J.P., 1994. Quantification par chromatographie liquide haute performance du diflubenzuron et du flucycloxuron chez *Tenebrio molitor* et *Thaumetopoea pytiocampa*. Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent, 59/2a:481-486.
- 11. Soltani, N. et Morsli, M.S., 2003. Quantification du dimilin par chromatographie liquide haute performance: Etude de sa dégradation dans l'eau de mer. Journal de Recherche Océanographique, Vol 28:118-120.
- 12. Sundram, K.M.S. et North, R.,1989. Higt performance liquide chromatographic methode for the determination of diflubenzuron from forestry subtrates. Journal of Liquide Chromatography,12:2333-2343.

APPROCHE CARTOGRAPHIQUE DE L'EROSION HYDRIQUE CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED ISSER

Zeggane .H * & B.TOUAÏBIA*

Zeggane_r@yahoo.fr & Touaibia@yahoo.fr *Laboratoire d'hydrologie. Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique BP.31 Blida

RESUME

Actuellement, l'érosion hydrique constitue une vraie problématique et interpelle nombre de chercheurs de la part dans le monde à s'y intéresser. C'est un problème naturel qui devient dangereux lorsque le seuil tolérable est dépassé. Ses effets sont conséquents : pertes en sols, dégradation de la qualité des eaux diminution de la capacité de stockage des ouvrages de mobilisation....

En Algérie septentrionale, ce phénomène est crucial et pose de graves problèmes. Des recherches ont été menées pour traiter ce problème que ce soit dans l'aspect quantification que celui de la lutte antiérosive.

Aussi bien limitant que favorisant, les paramètres qui rentrent en jeu sont nombreux et difficile à maîtriser qu'il convient d'identifier pour freiner ce phénomène. C'est dans cette optique que notre travail s'inscrit dont l'objectif principal est l'élaboration d'une carte d'érosion identifiant les zones productrices de sédiments. Ceci reste un outil incontournable pour une aide à la décision dans le traitement du bassin versant.

Le bassin versant de l'Oued Isser a fait l'objet de cette étude. Ce choix est dicté par l'importance que revête la région par rapport à ses terres arables qui se dégradent et à son alimentation en eau potable de la capitale.

Mots clés

Erosion, cartographique. Bassin de l'Oued Isser.

1. INTRODUCTION

L'érosion hydrique constitue une menace pour la ressource hydrique et les terres arables. Le bassin versant de l'Oued Isser reçoit de plein fouet les répercussions néfastes qu'occasionne ce phénomène Une bonne connaissance de l'érosion au niveau de ce bassin est une condition sine qua non pour y remédier; c'est dans cette optique qu'une approche méthodologique de connaissance et de quantification du transport est développée. Celle ci consiste en la recherche de modèles régressifs pouvant expliquer aussi bien la relation débit liquide - débit solide au droit des stations hydrométriques que la relation variable à expliquer qu'est l'érosion spécifique et les autres variables explicatives. Une régression multiple est définie, servant à l'extension des points d'observation théoriques pour une meilleure représentativité de la variable étudiée sur l'ensemble de la zone.

2. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

Le bassin versant de l'Oued Isser est situé à environs 70 Km au Sud Est d'Alger et chevauche sur plusieurs wilayas : Médéa, Bouira , Tizi ouzou, et Boumérdes, Il draine une superficie de 4126 km². Il présente une forme allongée sur l'axe Sud-Ouest (Ain Boucif, Beni Slimane) au Nord-Est (Mer Méditerranée). Il est constitué de l'Atlas Tellien Algérois au Nord qui culmine à 1130 m au djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dira; les deux chaînes étant séparées par la plaine des Aribs, avec une altitude de 550 m (A.N.R.H, 2002).

D'après Sogetha-Sogreah (1962), la région de l'Oued Isser est soumise au climat de l'atlas tellien, présentant des degrés de continentalité qui croit très rapidement en s'éloignant de la mer. Quand à la couverture végétale, sur le haut Isser, l'absence d'une végétation arbustive est observée. Les collines marneuses sont couvertes de cultures céréalières. Sur le moyen Isser un manque du couvert végétal dense est observé, seuls subsistent les forêts au Sud du bassin, mais souvent dégradées. Le même problème de végétation arbustive se retrouve dans le bas Isser. Les cultures annuelles (l'arboriculture fruitière, les cultures fourragères et la céréaliculture) dominent la partie basse du bassin.

3. CONSTITUTION DE LA BANQUE DE DONNEES

L'approche consiste en une quantification l'érosion spécifique pour cinq sous bassins contrôlés par des stations hydrométriques à partir des données brutes de (A.N.R.H ,2002). Les résultats concernant cinq micro- bassins en différents points d'observations du réseau d'écoulement ainsi que les données concernant des retenues collinaires existants niveau du bassin versant de l'oued Isser sont exploités.

Les données des couples « débits liquides-débits solides » ont été traités sur différentes échelles : intrannuelle, interannuelle, saisonnière, saison sèche et saison humide.

L'établissement des modèles de régression s'est avéré nécessaire pour la suite du travail. Les modèles ressortis sont les modèles puissance et parabolique. Au vu du coefficient de détermination R² (Daguellie, 1992), le modèle puissance est retenu.

4. INTERPRETATION DES RESULTATS

Une fois les modèles de régression dégagés, l'essentiel du travail consiste en la détermination des apports solides et de l'érosion spécifique pour différents sites à différentes échelles temporelles; les résultats de l'échelle mensuelle sont pris en considération pour le calcul de Es (Tableau 1).

Tableau 1: Transport solide en suspension et Erosion spécifique

5. ANALYSE MULTIVARIEE

Bassins Versants	Transport solide en suspension (Tonne)	Transport solide Total (Tonne)	Erosion spécifique
Lakhdaria	600810	720972	1,99
La Traille	582269	698723	2,72
Mezahim	148933	178719	2,69
Dechmiya	47809	57371	7,86
Beni Slimane	99117	118941	4,36

Dans ce volet, l'analyse en composantes principales est utilisée afin de voir le comportement des différents paramètres au niveau de la région d'étude (Tableau 2). Deux axes principaux sont retenus.

Les deux axes (C1,C2) axes expliquent à seuls plus de 66%. Pour le premier axe, la valeur propre est de 3.09 et explique 34.42% de l'inertie quant au deuxième axe il explique 31.16 de l'inertie. Cependant quatre variables explicatives se sont dégagées à savoir la pente moyenne (Im), la couverture végétale (Cv), densité de drainage(Dd) et le coefficient d'écoulement(Ce).

Tableau 2 : Variables de L'A.C.P

Individus	Es T/Ha	S Km²	Kc	Im %	Dd Km/Km²	Po mm	Lo mm	Ce %	Cv %
Sb1 (Lakhdaria)	1,99	3615,00	1,26	48,50	3,60	513,88	90,69	18,00	60
Sb2 (La Traille)	2,72	2570,00	1,16	51,00	3,20	597,10	58,30	9,80	45
Sb3 (Beni Slimane)	4,36	273,00	1,20	53,00	2,40	468,48	40,15	8,60	20
Sb4 (Mezahim)	2,69	665,00	1,19	54,00	3,03	352,26	26,07	7,40	35
Sb5 (Dechmiya)	7,86	73,00	1,10	60,00	2,40	407,68	103,96	26,00	20
MB (Beni slimane)	23,80	1,69	1,22	5,25	4,08	365,00	20,81	5,70	1
MB (Souagui)	29,20	0,27	1,88	11,00	5,74	353,00	19,06	5,40	1
MB (Bad land)	45,50	0,08	1,14	25,05	12,50	479,00	147,53	30,80	1
RC1 (Bs21)	4,70	3,33	1,31	45,00	4,41	420,00	55,95	13,30	10
RC2 (Bs12)	4,50	2,88	1,26	40,20	4,33	400,00	46,28	11,60	10
Rc3 (Bs25)	5,00	10,00	1,32	47,85	4,80	400,00	45,77	11,40	10
RC4 (Eo23)	4,50	3,77	1,17	61,60	3,20	520,00	78,07	15,00	5
RC5 (Eo18)	6,00	3,58	1,20	68,30	3,43	400,00	46,21	11,60	10
RC6 (Bouchiouane)	8,00	0,70	1,23	38,35	6,03	540,00	84,90	19,00	15
RC7 (Djelada)	9,00	1,40	1,18	27,50	3,70	580,00	97,69	19,00	1
RC8 (El -Gueria)	8,00	3,69	1,13	39,90	2,42	408,00	48,07	12,00	1
RC9 (El Mardja)	16,00	4,80	1,14	75,50	4,95	408,00	47,97	15,00	1
B-Ladrat	20,00	73,50	1,28	46,50	4,80	550,00	82,93	15,10	1

Les résultats de l'ACP sont donnés par les tableaux 3 et 4

Tableau 3: Matrice de coefficients de corrélation

Paramètre	Es (T/Ha)	S Km2	Kc	Im %	Dd (Km/Km2)	P0 (mm)	L0 (mm)	Ce %	Cv %
Es	1,00								Į.
S	-0,32	1,00				3.5			
Kc	0,28	-0,07	1,00						
Im	-0,57	0,13	-0,48	1,00					
Dd	0,81	-0,19	0,14	-0,38	1,00				
P0	-0,13	0,39	-0,30	0,09	0,06	1,00			
L0	0,30	0,10	-0,40	0,04	0,52	0,59	1,00		
Ce	0,31	-0,02	-0,43	0,12	0,52	0,38	0,96	1,00	
Cv	-0,53	0,90	-0,15	0,30	-0,32	0,24	0,03	-0,04	1,00

Tableau 4 : Corrélation entre les axes et les variables

Paramètre	AXE1	AXE2
Es	0,90	-0,13
S	-0,52	0,47
Kc	0,16	-0,64
Im	-0,53	0,38
Dd	0,86	0,17
P0	-0,01	0,72
L0	0,50	0,84
Се	0,53	0,77
Cv	-0,67	0,44

6. RECHERCHE D'UNE RELATION EROSION SPECIFIQUE-VARIABLE EXPLICATIVES

Les études réalisées (Touaibia et als, 2003), ont montré une non linéarité de la relation fonctionnelle entre Es et les autres paramètres ; cette non linéarité a été trouvée pour le bassin versant de l'Oued Isser. Pour mieux cerner la variable spatiale de l'érosion l'analyse multivariée (régression pas à pas) est utilisé prenant en considération la statistique de F de Fischer Snedecor pour une erreur de première espèce égale à 5% (Dagrellie,1992).

Les modèles retenus sont résumés dans le tableau 5

Tableau 5 : Modèles régressifs

N°	R multiple	Modèle obtenu
1	0,92	Es = 11, 22.Im ^{-0.292} .Dd ^{0,599} .Ce ^{0,184} .Cv ^{-0,362}
2	0,92	Es = 11, 74.Im ^{-0.207} .Dd ^{0,694} .Cv ^{-0,370}
3	0,91	$Es = 5,48.Dd^{0,746}.Cv^{-0,409}$

7. APPROCHE CARTOGRAPHIQUE DE L'EROSION SPECIFIQUE

Dans le souci d'avoir une meilleure représentativité de l'érosion spécifique sur le bassin versant de l'Oued Isser, l'ajout d'autres exutoires s'avère nécessaire.

Ainsi, chaque exutoire est géoréférencié sur une carte d'Etat Major en coordonnées Lambert Nord Algérie et son bassin versant délimité.

Le modèle **Es** = 5,48.**Dd**^{0,746}.**Cv**^{-0,409} est retenu pour le calcul de l'érosion spécifique au niveau de ces nouveaux sites. A cet effet, 35 exutoires supplémentaires de cours d'eau sont pris en considération.

Les valeurs de l'érosion spécifique fluctuent entre 1.98 et 45.5 T/ha.an avec un coefficient de variation de 0.82, pour ce nouvel échantillon de 54 valeurs.

La technique du Krigeage est utilisée. L'étude du variogramme (Fig 1) a permis de déterminer ses caractéristiques pour différents modèles (Tableau 6).

Tableau 6 : Paramètre du variogramme

Type de modèle	Portée	Palier	Pépite	Erreur Type
Linéaire	612,08	70,8310	0	108,65
Sphérique	612,08	70,8310	0	165,08
Exponentiel	612,08	70,8310	0	186,8
Gaussien	612,08	70,8310	0	123,79

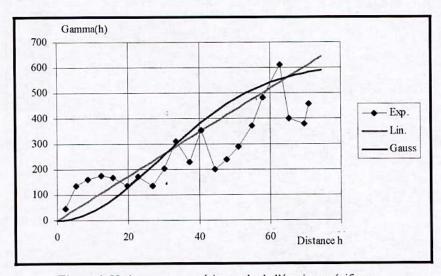
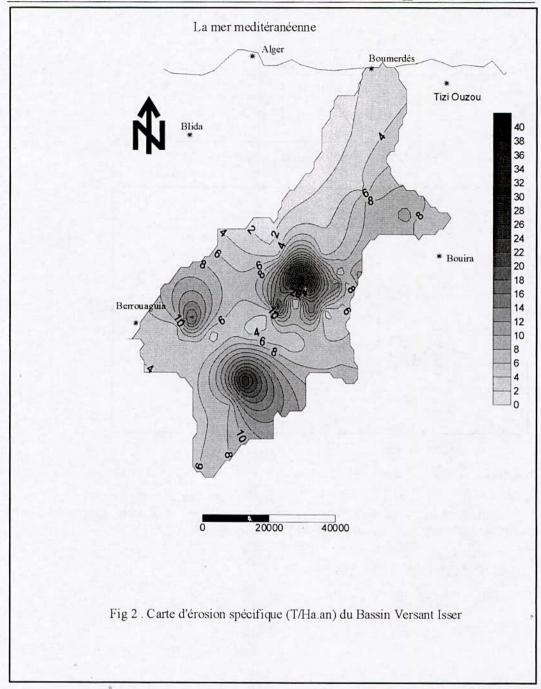


Figure 1: Variogramme expérimentale de l'érosion spécifique

Au vu de la valeur de l'écart type (Tableau 6), le modèle linéaire semble le mieux adapté.

L'érosion spécifique étant calculée, au droit des sites (54), les courbes d'isovaleurs d'érosion spécifique sont tracées, ainsi la carte de l'érosion spécifique est élaborée, pouvant servir de support à toute prise de décision pour un aménagement anti-érosif (Fig. 2)



8. CONCLUSION GENERAL

Le souci de l'élaboration d'un outil d'aide à la décision est le couronnement de cette modeste étude qui consiste en l'établissement d'une carte d'érosion spécifique pour toute la région d'étude.

Afin de quantifier le transport solide au droit des stations hydrométriques et de mettre ainsi en relief les principaux facteurs, limitant ou favorisant, une approche statistique a été utilisée, en combinant l'analyse en composantes principales et la régression multiple. Ces techniques nous ont permis de trouver les relations fonctionnelles très significatives entre l'érosion,

<u>Congrès international</u> : « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen » Le 21 - 22 Mai 2005 à Alger comme variable à expliquer et les autres variables explicatives. Le modèle régressif puissance est retenu entre la variable expliquée (érosion spécifique) et les deux variables explicatives (densité de drainage et couverture végétale), pour estimer l'érosion au droit des 35 sites supplémentaires géoréferenciés, ainsi une carte de sensibilité de l'érosion est établie.

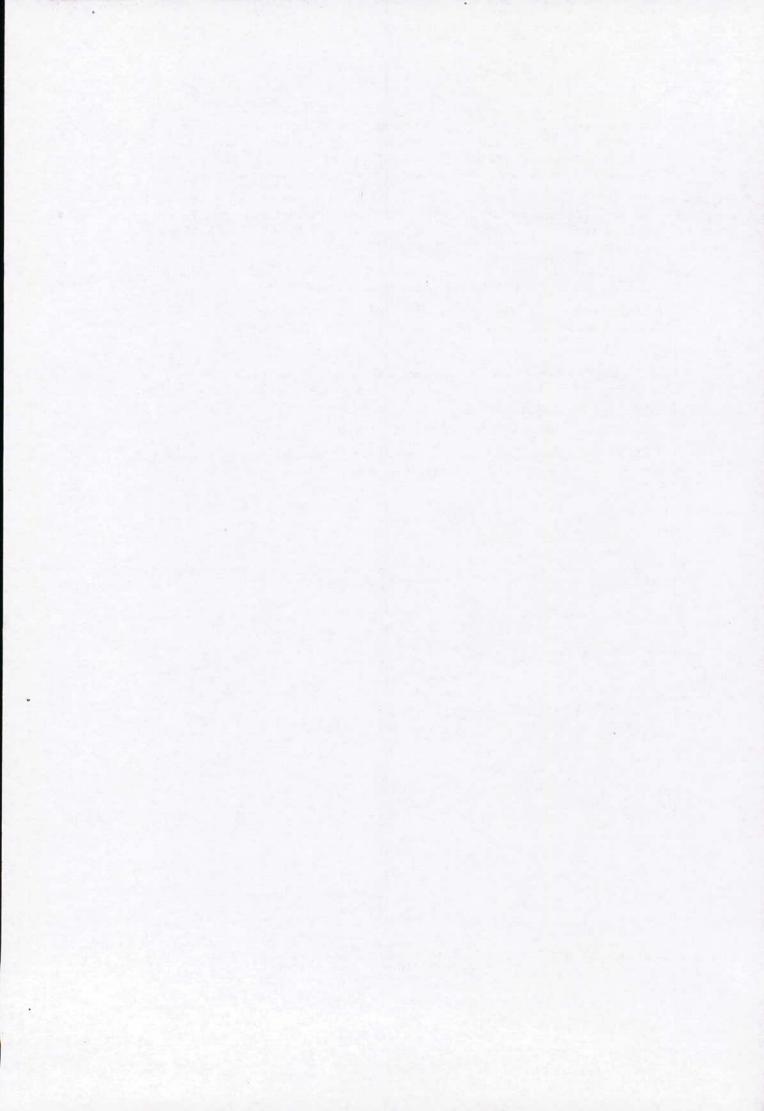
L'approche cartographique reste un outil puissant et indispensable pour la connaissance de l'érosion. Elle a permis de déterminer trois zones distinctes dans le bassin versant de l'Oued Isser: le Haut Isser qui présente une sensibilité très élevée à l'érosion, suivi du Moyen et, enfin du Bas Isser.

Notons aussi qu'au niveau de Dechmia (Haut Isser), là où les Bad Land sont dominants, le taux de l'érosion dépasse 40 T/Ha c'est à dire largement le seuil tolérable.

Au terme de ce travail, nous pouvons enfin conclure que la couverture végétale reste un moyen efficace pour lutter contre l'érosion au niveau de toute la région étudiée.

9. REFERENCES

- 1. Touaïbia.B, Achite. M, 2003. Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. Journal des sciences hydrologiques pp. 235-242.
- 2. A.N.R.H, 2002. Rapport Interne de L'A.N.R.H, Alger.
- 3. Dagnellie. D (1992). Théorie et méthodes statistiques. Vol 2. Application agronomique. Presses agronomiques de Gembloux, Belgique.



L'EFFECTIVITE DU DROIT D'ACCES A L'EAU : CONDITION NECESSAIRE AU DEVELOPPEMENT DURABLE

Naoual Bennaçar(1); Ahmed Kettab (2); Robert Chavin (1)

(1) Docteur de l'Université de Nice-Sophia Antipolis - France Institut du Droit de la Paix et du Développement Centre d'Étude et de recherches sur le Droit des Activités Maritimes et de l'Environnement

naoual.bennacar@n:anadoo.fr
(2) Membre du conseil Mondial de l'eau;
Directeur Laboratoire de la recherche scientifique de l'eau (LRS – EAU/ENP)
Ecole Nationale Polytechnique (E.N.P) – Alger

La concentration accrue des capitaux¹ découlant de la logique des avantages comparatifs et la libéralisation continue des services de distribution d'eau (à l'encontre de l'avis d'une grande partie de l'humanité), menaçant ainsi les politiques publiques existantes ou potentielles qui peuvent garantir un accès universel à l'eau, montrent dans les faits que l'ordre juridique du marché et celui des droits de l'homme se construisent en opposition². Les violations dues à des activités commerciales se multiplient dans certaines parties du monde ; à ce constat, il convient d'ajouter les décisions des organes de règlement des différends qui ont des effets négatifs sur les mesures liées à la protection des droits humains.

Les règles régissant l'investissement et le droit du commerce international font l'objet de discussions et/ou de négociations dans le cadre d'un grand nombre d'initiatives bilatérales³. Dans la plupart des traités bilatéraux d'investissement, les droits humains n'ont pas été pris en compte lors des discussions sur les dimensions économiques et juridiques des ententes. De plus, l'IDE – qui implique la présence d'un investissement sur le territoire de l'État-hôte et l'utilisation de ses ressources, de sa main-d'œuvre et de ses lois – a un impact potentiel et non négligeable sur les droits humains. Les PAS, les règles de commerce international et le droit de l'investissement, imposés pour la plupart aux pays du Sud, ont fait en sorte que ceux-ci perdent une grande partie de leur souveraineté dans la réglementation de l'économie.

¹ En 2001, le montant net d'investissement direct étranger (IDE) dans les pays en voie de développement était de 205 milliards de dollars sur 735 milliards des flux mondiaux d'IDE, CNUCED, Rapport sur l'investissement dans le monde 2000, *Vue d'ensemble*, Nations Unies, New York, 2000, p. 9. Alors que l'APD (aide publique au développement) était de 53,7 milliards de dollars. J. RANDEL, T. GERMAN and D. EWING (dir.) *The Reality of Aid 2002*, Manille, Ibon Foundation, 2002. Voir également R. CHARVIN, *L'Investissement et le droit au développement*, L'Harmattan, 2002.

² Mireille DELMAS-MARTY, *Droit et mondialisation*, Université de tous les savoirs, 6 nov. 2000, 15 pages, p. 6 et

³ Telles que le Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique (NEPAD), la future zone de libre échange en les États-Unis et le Maroc, la Zone de libre échange des Amériques et l'OMC, Voir Robert HOUSE et M. MATUA, «Protection des droits humains et mondialisation de l'économie: un défi pour l'OMC »; Diana BRONSON et Lucie LAMARCHE, «Un cadre de référence des droits humains pour le commerce dans les services », Lauren POSNER, «Récoltes inégales: le commerce international et le droit à l'alimentation vu par les agriculteurs »; Caroline DOMMEN «Raising Human Rights in the World Trade Organization: Actors, Processes and Possible Stratégies », Human Rights Quarterly, Montréal, 2001; European Journal of International Law, n° 13, 2002, sur le commerce et les droits humains; Alison BRYSK (dir.) Globalization and Human Rights, Berkley, University of California Press, 2002; Scott SINCLAIR, «GATS: How the World Trade Organization's New Services Negociations Threaten Democracy », ainsi que d'autres publications connexes. Le Bureau du Haut Commissariat aux droits de l'homme et aussi trois documents importants Libéralisation du commerce des services et droits de l'homme (E/CN.4/Sub.3/2002/9; L'impact sur les droits de l'homme de l'Accord sur les aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au commerce, (E/CN.4/Sub.2/2001/13); La mondialisation et ses effets sur la pleine jouissance de tous les droits de l'homme (qui porte particulièrement sur l'agriculture) (E/CN.4/2002/54).

Cette pratique a eu pour conséquences principales de limiter l'investissement de fonds publics dans le développement et de restreindre la capacité des États⁴ à remplir leurs obligations internationales en matière de droits économiques et sociaux. La question fondamentale est la suivante : après avoir mis en évidence que les États étaient responsables de la mise en œuvre des droits économiques et sociaux et donc du droit d'accès à l'eau (I), comment ces mêmes entités peuvent-elles concilier leurs obligations de protéger les investissements étrangers et leurs obligations de respecter et de mettre en œuvre leurs engagements internationaux en matière de droits humains⁵?

I. LES OBLIGATIONS DES ÉTATS EN MATIERE DE DROITS ECONOMIQUES, SOCIAUX ET CULTURELS

La Charte des Nations Unies impose aux États, en vertu des traités internationaux, de promouvoir le respect effectif des droits et des libertés de l'être humain. De plus, la Déclaration universelle des droits de l'homme affirme en son article 28 que toute personne a droit à ce que règne, sur le plan social et sur le plan international, un ordre tel que les droits et libertés énoncés dans cette Déclaration puissent y trouver leur plein effet. Ces dispositions comportent également une obligation des États pour le droit d'accès à l'eau, le droit à un niveau de vie suffisant pour assurer sa santé, son bien-être et celui de sa famille (art. 25). Les obligations des États telles qu'exprimées dans la Déclaration universelle ont, par la suite, été confirmées par le biais de deux traités majeurs en droit international public des droits humains : le Pacte international relatif aux droits civils et politiques (PIDCP) et le Pacte international relatif aux droits économiques, sociaux et culturels (PIDESC), ainsi que par la Charte des droits et des devoirs économiques des États.

Des Conventions régionales consacrent également des droits en fonction d'une adhésion à une organisation interétatique liée à une région du monde. Tous ces traités, en vertu du principe pacta sunt servanda, ont force obligatoire pour les États qui les ont ratifiés. En plus des règles de droits humains institués dans de nombreux traités, la déclaration de Vienne relative aux droits de l'homme, adoptée en 1993 à l'issue du Sommet mondial organisé par les Nations Unies, précise solennellement que les droits économiques, sociaux et culturels sont indissociables des droits civils et politiques. Affirmer cette indivisibilité doit conduire à

⁴ Par exemple en 2001, 208 changements ont été apportés par 71 pays aux lois sur l'IDE, et 194 de ces changements ont rendu ces lois plus favorables à l'IDE, CNUCED, Rapport sur l'investissement dans le monde 2000, vue d'ensemble, Nations Unies, New York, 2000, p. 9.

⁵ Implicitement consacré dans la Chartre des Nations Unies, en son article 73 : « Les membres des Nations Unies [...], reconnaissent le principe de la primauté des intérêts des habitants [...] a) D'assurer [...] leur progrès politique, économique et social [...]. » L'article 55 stipule que le maintien de la paix est conditionné par « a) Le relèvement des niveaux de vie, le plein emploi et des conditions de progrès et développement dans l'ordre économique et social; b) La solution des problèmes internationaux dans les domaines économique, social, de la santé publique et autres problèmes connexes [...]; c) Le respect universel et effectif des droits de l'homme et des libertés fondamentales pour tous, sans distinction de race, de sexe, de langue ou de religion. »

⁶ Pacte international relatif aux droits civils et politiques, A.G. rés. 217A (III), U.N. Doc A/810, 71 (1948), article 2.

⁷ Pacte international relatif aux droits économiques, sociaux et culturels, A.G. rés. 2200 (A) (XXI), N.U. A/6316 (1976), 993 RTNU 3 (entrée en vigueur: 3 janvier 1976). Pour le Statut des ratifications des principaux traités internationaux sur les droits de l'homme, Bureau du Haut Commissaire aux droits de l'homme, Nations Unies, 2 mai 2003.

⁸ Résolution 3281 (XXIX° adoptée par l'Assemblée Générale des Nations Unies le 12 décembre 1974, texte dans Robert CHARVIN, Les Relations internationales. Recueil de textes et documents, 1º éd. L'Hermès, 2002, p. 106.

la mise en place de mécanismes de contrôle pour les droits économiques, sociaux et culturels9.

L'article 28 de la Déclaration universelle (dont le contenu constitue également un des éléments centraux 10 de la Déclaration sur le droit au développement 11) revêt une importance non négligeable puisqu'il appelle les États à créer et à garantir les conditions nationales et internationales permettant la réalisation des libertés et des droits fondamentaux. Les États ont en effet la responsabilité première de faire en sorte que soient respectés, protégés et que se réalisent les droits humains, ce qui ne soustrait pas pour autant les individus et les entreprises privées 12 à l'obligation de respecter ces droits et de coopérer avec les États afin de les mettre en œuvre.

Dans le cadre du PIDESC, les États se sont engagés à garantir l'exercice des droits ¹³ sans discrimination et à prendre des mesures pour « assurer la mise en œuvre et l'exercice des droits », notamment par l'adoption de mesures législatives. Les États doivent donc mettre en place des lois, des politiques et des mécanismes favorisant notamment l'amélioration progressive de la jouissance du droit à la santé, à une alimentation saine et suffisante, à des conditions de travail ¹⁴ justes, permettant un niveau de vie adéquat.

⁹ La Cour européenne des droits de l'homme a reconnu sa compétence en matière de droits économiques, sociaux et culturels, elle précise en effet qu'il ne peut y avoir de frontière étanche entre les droits politiques et civils et les droits économiques et sociaux, (arrêt Aircy / Irlande du Nord, 9 octobre 1979)

L'article 17 de la Déclaration universelle déclare que « toute personne, aussi bien seule qu'en collectivité, a droit à la propriété ». Ce droit a été réitéré à plusieurs reprises, par exemple à l'article 21 de la Convention américaine relatif aux droits de l'homme : « Toute personne a droit à l'usage de ses biens et personne ne peut subordonner cet usage et cette jouissance à l'intérêt social ». Or, concernant l'arrêt Awas Tingni v. Nicaragua, la Cour inter-américaine a statué que cet article protège également les droits des membres des communautés autochtones à bénéficier du cadre de la propriété communale, sans que la possession de titres de propriété formelle octroyés par l'État soit un pré-requis. La Communauté Awas Tingni avait engagé une plainte devant la Cour pour la coupe illégale pratiquée par des compagnies étrangères sur son territoire ancestral.

¹¹ Déclaration sur le droit au développement : Rés. Assemblée générale des Nations Unies. 41/181 (1986).

¹² Notons que dans le droit de l'investissement totalement fondé sur un droit contractuel, les investissements se sont d'abord exprimés par l'acquisition à l'étranger, dans les années 80 et au début des années 90, d'entreprises publics par voie de privatisations. Dans la majorité des cas, une fois la transaction effectuée, les nouveaux propriétaires, nonobstant une hypothétique augmentation de la productivité de ces entreprises, ont éliminé les emplois jugés improductifs. Ainsi, « la Banque mondiale se félicite de ce que l'attribution d'une indemnité de départ ait rendu les compressions d'effectifs plus faciles dans les chemins de fer argentins et qu'ainsi 60 000 personnes aient quitté la compagnie en l'espace de deux ans », se retrouvant sans emploi, à qui il est toujours demandé de payer l'eau sur la base d'un recouvrement total des prix. « Rapport sur le développement dans le monde, 1994. Une infrastructure pour le développement, Banque mondiale, Washington, 1994, p. 45. », cité par Monique CHEMILLIER-GENDREAU, Humanité et souverainetés. Essai sur la fonction du droit international, éd. La Découverte, 1995, 377 p., p. 291. Pour avoir un aperçu des droits de la personne et des peuples, de leur mise en œuvre et de leur relation avec la conjoncture économique actuelle, voir, L. LAMARCHE, « Les droits de la personne à l'heure de la mondialisation » dans C. DEBLOCK (dir.), L'Organisation mondiale du commerce. Où s'en va la mondialisation ?, Montréal, 2002, p. 181.

¹³ « La privatisation fait souvent passer les entreprises d'État des pertes au profit par une réduction massive du personnel [...]. Le chômage s'accompagne de coûts sociaux que les firmes ne prennent absolument pas en compte. Étant donné que la protection de l'emploi est minimale, les employeurs peuvent licencier les salariés à peu de frais ou sans frais du tout [...]. Si la privatisation a été tant critiquée, c'est parce que, à la différence de ce que l'on appelle les investissements "sur terrain nu" – ceux qui fondent de nouvelles firmes, non ceux qui financent la reprise de firmes existantes par des investissements privés, elle détruit souvent des emplois au lieu d'en créer de nouveaux. », Joseph E. STIGLITZ, La Grande Désillusion, Fayard, 2002, p. 89.

¹⁴ Par la suite les fusions et acquisitions furent légions. Elles représenteraient 60 % des investissements directs à l'étranger en l'an 2000 et plus de 50 % en 2001, et ce, en dépit du fait que la plupart des transactions aient chuté de plus de la moitié. Même si la majorité de ces opérations a lieu dans les pays postindustriels, la tendance, toutes proportions gardées, semble être la même dans les pays en voie de développement. Ce mode d'investissement n'est également pas la panacée en faveur de création d'emplois. Comme le souligne la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED), les acquisitions soulèvent

Cependant, la mise en pratique des droits humains est grandement compromise par les problèmes de justiciabilité, d'effectivité et par la faiblesse d'application et de mise en œuvre de sanctions. Il faut d'abord rappeler qu'un nombre relativement restreint de traités permettent des recours individuels et il faut noter les limites générales que constitue la règle de l'épuisement des recours internes et le peu de volonté politique des États pour la mise en œuvre effective de corps d'organes compétents, qu'il s'agisse du Comité des droits de l'homme de l'ONU, de la Commission interaméricaine des droits de l'homme ou de la Commission africaine des droits de l'homme et des peuples. A titre d'exemple, entre 1991 et 1999, le Comité des droits de l'homme rapportait qu'il ne constatait que dans de rares cas¹⁵ la volonté des États de mettre en œuvre les mesures réparatrices, compensatoires ou de redressement.

L'impunité en matière de violation des droits économiques et sociaux ne suscite que peu d'interrogations¹⁶, alors que la situation des droits économiques, sociaux et culturels, en matière d'effectivité, est déplorable. Malgré l'observation générale du Comité sur les droits économiques, sociaux et culturels affirmant qu'un État partie qui cherche à se justifier du fait qu'il n'offre aucun recours interne contre des violations des droits économiques, sociaux et culturels doit montrer que de tels « recours ne constituent pas des moyens appropriés au sens du paragraphe 1 de l'article 2 du PIDESC, qu'ils sont, compte tenu des autres moyens utilisés, superflus¹⁷ ». Le manque chronique de protection de ces droits dans les systèmes juridiques nationaux et dans le droit international est constamment relevé.

Il est difficile d'évaluer l'apport des rapports quinquennaux que doivent fournir obligatoirement les États parties au PIDESC concernant la mise en œuvre de ces droits. De plus, les discussions relatives à l'adoption d'un Protocole facultatif n'ont toujours pas dépassé la rédaction d'un texte préliminaire par le Comité, de même que la formation, en 2003, d'un groupe de travail au sein de la Commission des droits de l'homme est en retard – retard qui s'explique par l'opposition féroce des États-Unis (pourtant non partie au PIDESC), de l'Australie et maintenant du Canada. Ces atermoiements compromettent considérablement l'évolution de la jurisprudence en ce qui a trait au PIDESC et prive de

plutôt l'inquiétude de nombreux représentants des pays d'accueil, « les acquisitions étrangères ne renforcent pas la capacité de production mais consiste simplement à transférer la propriété et le contrôle d'entreprises locales à des investisseurs extérieurs. Ce transfert s'accompagne souvent de licenciements et de la fermeture de certaines unités de production ou fonction (recherche-développement, par exemple) », CNUCED, Rapport sur l'investissement dans le monde, 2000, Vue d'ensemble, Nations Unies, Genève, p. 32. De plus, il a été relevé par l'Organisation internationale du travail (OIT) que certains investisseurs étrangers font pression sur les gouvernements pour réprimer les libertés syndicales ; voir l'entretien avèc Abdulaye Séne sur la privatisation de l'électricité au Sénégal, Éric TOUSSAINT, Arnaud ZACHARIE, Sortir de l'impasse. Dette et ajustement, CADTM/Syllepse, 2002, p. 123 à 132. Voir entre autres Bureau international du travail, Emploi et politique sociale dans les zones franches d'exportation, Genève, 2003, p. 2. Gloria Tello SANCHEZ, « Human and Labour Rights of Women Maquiladora Workers Coahuila, Mexico », dans Droits et démocraties sur www.ichrdd.ca et Alianza Civica, Self-Made Citizens : Building democracy Through Human Rights in Mexico, Montréal et Mexico, janvier 2003.

¹⁵ À l'ONU: le Protocole optionnel relatif à la Convention sur la discrimination à l'égard des femmes, les mécanismes tripartites de l'OIT permettent aux organisations syndicales qui y sont représentées de formuler des plaintes; dans le système interaméricain, Protocole additionnel à la Convention interaméricaine relative aux droits de l'homme traitant des droits économiques, sociaux et culturels, droits syndicaux, droit à l'éducation. En Afrique, la Charte africaine des droits de l'homme et des peuples.

¹⁶ Robert CHARVIN, L'Investissement et le droit au développement, L'Harmattan, 2002, p. 187.

¹⁷ Comité sur les droits économiques, sociaux et culturels, Application du Pacte au niveau national. Observation générale n° 9. Doc. N.U., E/C.12/1998/24.

recours effectif les millions de personnes souffrant de maladies hydriques liées à l'accès à une eau non potable ou privées de droit d'accès à l'eau potable 18.

En résumé, il existe un corpus important de droits positifs en matière de droits humains, codifiés, notamment par des traités internationaux. Ensuite, en vertu du principe pacta sunt servanda, les États sont tenus, par leur ratification, au respect de leurs engagements. Enfin, malgré le contenu positif de ces droits et du devoir des États de respecter leurs obligations découlant de ceux-ci, la mise en œuvre de ces devoirs est pour le moins inconstante et ineffective dans un grand nombre d'États, du fait des lacunes des mécanismes d'application et de sanction, et ce tant au niveau national qu'international.

II. LES OBSTACLES A L'EFFECTIVITE DU DROIT D'ACCES A L'EAU POTABLE

Il existe trois niveaux d'intégration économique: soit le bilatéralisme, le régionalisme et le multilatéralisme. Des accords cherchant à offrir une protection renforcée des investissements afin de les promouvoir existent déjà ou sont en cours de négociation à chacun des niveaux¹⁹. L'impact de ces accords sur la mise en œuvre des traités internationaux en matière de droits humains ne sont pas pris en compte dans le cadre du droit à l'investissement et du droit du commerce international. C'est dans ce contexte – et toujours dans le cadre d'un droit effectif de l'accès à l'eau – que nous proposons ici quelques réflexions à ce sujet.

Ces accords ont largement été développés²⁰ et, comme nous l'avons déjà remarqué, intègrent deux principes internationaux fondamentaux, à savoir le traitement national²¹ et celui de la nation la plus favorisée, tout en avantageant les transferts de capitaux, l'interdiction d'obligation de résultat pour les investisseurs et la mise en place de mécanisme de règlement des différends permettant aux investisseurs de recourir au droit international. Les investissements étant en général définis de manière très large²².

La majorité des accords bilatéraux ou régionaux ne permettent pas aux États d'imposer des obligations de résultat aux investisseurs étrangers. Cette interdiction pour les États d'imposer une production qui répondrait à certains caractères sociaux doit être analysée sous

¹⁸ Voir à cet égard Bruce PORTER, *The Justiability of Economic, Social and Cultural Rights*, A Review of the Position Taken by Canada in International and Domestic Fora (document préliminaire non publié, 2002).

¹⁹ La CNUCED a répertorié, dans son dernier rapport annuel sur les investissements, 2000 traités bilatéraux d'investissements en vigueur à la fin de l'année 2001, CNUCED, Rapport sur l'investissement dans le monde, Nations Unies, New York, Genève, 2002, p. 8.

²⁰ G. SACERDOTI, Bilateral Treaties and Multilateral Instrument on Investissement Protection, 1997, 269 pages, sur l'historique des traités bilatéraux d'investissements et des droits des investisseurs en général, voir D.R. ADAIR, Investor's Rights: The Evolutionnary Process of Investistment Treaties, 1996-6 Tulsa J. Comp. & Int. law. Pour une vision libérale des effets économiques de ceux-ci, voir les travaux de Kenneth VANDEVELDE, par exemple: «Investment Liberalization and Economic Development: The Role of Bilateral Investement Treaties », 1998-36, Columbia, Jl. Of. Transnal L., p. 501.

²¹ Le traitement national implique que chacune des Parties accordera aux investisseurs d'une autre Partie un traitement non moins favorable que celui qu'elle accorde, dans des circonstances analogues, à ses propres investisseurs, en ce qui concerne l'établissement, l'acquisition, l'expansion, la gestion, la direction, l'exploitation, la vente ou autre manifestation d'investissements. La clause de la nation la plus favorisée signifie que chacune des Parties accordera aux investisseurs d'une autre Partie un traitement non moins favorable que celui qu'elle accorde, dans des circonstances similaires aux investisseurs de toute autre Partie ou d'un pays tiers, en ce qui concerne l'établissement, l'acquisition, l'expansion, la gestion, la direction, l'exploitaion et la vente ou autre aliénation d'investissement.

²² Plusieurs accords de libre échange impliquant divers pays contiennent de telles règles. L'exemple le plus connu est sûrement le chapitre 11 sur l'investissement de l'ALENA: Accord de libre échange nord-américain, 17 décembre 1992, R.T. Can. 1994, n°2, entrée en vigueur en 1994.

l'angle du droit d'accès à l'eau. En leur empêchant d'imposer aux investisseurs d'atteindre un certain niveau de contenu social, les États se voient dépourvus d'un outil important pour faire en sorte que les activités économiques du secteur privé aient un impact sur le développement social et sur la réalisation progressive des droits humains. De la même façon, en empêchant un État d'exiger un transfert de technologie lors de l'établissement d'un investissement, ce dernier est privé du levier nécessaire pour forcer les sociétés transnationales à contribuer à la mise en œuvre de l'effectivité du PIDESC, qui reconnaît en son alinéa b que chacun a le droit « de bénéficier dn progrès scientifique et de ses applications²³ ».

Ces accords obligent aussi les États à permettre que soient effectués librement et sans contrôle tous les transferts de capitaux se rapportant à un investissement effectué sur son territoire par un investisseur d'une autre Partie. Les impacts des investissements de portefeuille²⁴ sont autant d'obstacles à la réalisation de la justiciabilité du droit d'accès à l'eau. Ajouter à cela les zones grises existant en matière d'expropriation²⁵, qui peut être interprétée de manière illimitée. D'autre part, tous ces mécanismes forment une arme des plus efficaces pour les investisseurs voulant faire pression sur les États, lorsqu'ils considèrent que leurs intérêts sont en danger. La seule menace de recourir aux mécanismes de règlement des différends suffit en général à faire plier les États²⁶. Même sans l'utilisation des organes de règlement des différends, le droit d'accès à l'eau potable peut être remis en cause.

La mise en place de mécanismes efficaces pour régler les différends commerciaux entre les Parties aux divers traités prennent deux formes : État-État et investisseur-État.

Dans le cadre de l'ALENA et donc des TIB qui sont à peu près équivalents dans les normes qu'ils mettent en place, un panel arbitral pourrait avoir à se prononcer sur une éventuelle incompatibilité entre le chapitre 11 et une obligation de droit d'accès à l'eau. L'article 1131 stipule qu'un tribunal institué selon le chapitre 11 devrait prendre sa décision « conformément au présent accord et aux règles applicables du droit international », cependant, les articles 103²⁷ et 104 stipulent qu'en cas d'incompatibilité avec d'autres accords l'ALENA prévaut, sauf dans le cas de certains accords bien particuliers déterminés par l'article 104²⁸. Toutefois, afin de

²³ Voir aussi La Déclaration et programme d'action de Vienne,, § 11.

²⁴ Les investissements de portefeuille se caractérisent par une grande volatilité. Les détenteurs de ce capital financier n'ont pas à déplacer d'infrastructures productives. De fait ces transactions se réalisent quotidiennement sur la base d'informations recueillies par les investisseurs à la recherche de profits rapides, plus particulièrement en se fiant à la spéculation sur l'appréciation de la valeur de la devise du pays d'accueil. La possibilité pour les investisseurs de retirer rapidement les capitaux du pays d'accueil peut créer des vagues de retraits massifs susceptibles de déstabiliser en un rien de temps les systèmes financiers de ceux-ci. Au Mexique en janvier 1994, la valeur de la bourse de Mexico était de 3 173 milliards de dollars et ne valait plus que 187,3 millions de dollars en 1995. Ces retraits de capitaux se produisent dans bien des cas suite à une information circulant sur la situation économique du pays et les investisseurs se pressent alors de transférer leurs investissements sous des cieux plus cléments ou du moins plus stables. En résumé, « on peut faire aujourd'hui le tableau d'une énorme masse monétaire dite apatride, qui circule à travers les changes et les frontières, échappant au contrôle des États, formant une organisation œuménique multinationale constituant une puissance supranationale de fait, insensible aux décisions des gouvernements », Gilles Deleuze, Felix Guatari, cité par Monique CHEMILLIER-GENDREAU, Humanité et souverainetés. Essai sur la fonction du droit international, éd. La Découverte, 1995, 377 p., p. 274. Voir également R. CHARVIN, L'Investissement et le droit au développement, L'Harmattan, 2002, p. 93.

²⁵ Voir Robert CHARVIN, L'Investissement et le droit au développement, L'Harmattan, 2002, p. 97.

²⁶ Voir V.L. BEEN et J. C. BEAUVAIS, « The Global Fifth Amendment: NAFTA's Investment Protections and the Misguided Quest for an International 'Regulatory Takings' Doctrine » (2003) 78: 1 NYU L. Rev.

²⁷ ALENA, article 1131.

²⁸ Ces accords sont la Convention sur le commerce international des espèces de faune et flore sauvage en voie d'extinction, le Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone et la Convention de Bâle sur le contrôle de déchets et de leur élimination. Toutefois, nous avons déjà remarqué que

Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

respecter ces accords, la Partie au traité devra choisir parmi les moyens également accessibles qui s'offrent à elle celui qui soit le moins « incompatible avec les autres dispositions du présent accord⁵⁹ ». Ainsi, les Parties ont la possibilité de donner préséance à un nombre restreint d'accords déjà existant en 1994, avant l'entrée en vigueur de l'ALENA. Pour ce faire, ils devront néanmoins apporter la preuve qu'ils ont fait tout ce qui leur était possible pour éviter une violation excessive de l'Accord de commerce. Pour ce qui est des accords conclus après 1994, ou encore sur d'autres sujets tels que le droit à l'eau, l'ALENA prévaudra.

Pourtant le droit international établit le principe de non-hiérarchie des sources. Or les articles 103 et 104 ne font mention de la primauté de l'ALENA que sur les autres traités et ne mentionnent pas le droit coutumier. Ainsi, si l'ALENA a prééminence sur les normes issues d'autres traités, cette supériorité ne devrait pas s'appliquer en ce qui concerne les règles coutumières internationales et le tribunal arbitral aurait donc l'obligation de prendre celles-ci en considération en cas d'antagonisme entre l'ALENA et une règle coutumière.

Si une telle situation devait prendre forme devant un tribunal, celui-ci postulerait a priori sur la compatibilité des sources. Ainsi, l'État ayant violé les dispositions de l'Accord commercial aurait au moins deux démonstrations à faire.

Premièrement, que la mesure prise visait à se conformer à son obligation préexistante en vertu du droit coutumier. Autrement dit, l'État en question devra démontrer, par exemple, que le droit à la vie ou le droit à la santé, qui ne peuvent être séparés du droit d'accès à l'eau³⁰, sont bel et bien des exigences du droit coutumier.

Deuxièmement, l'État devra convaincre le tribunal qu'il existe bien une incompatibilité entre les deux sources, c'est-à-dire que seule ladite mesure violant l'Accord pouvait lui permettre de mettre en œuvre ses obligations résultant du droit coutumier. Une fois l'impossibilité de respecter les règles de l'Accord selon ces sources simultanément prouvée et établie, le tribunal aurait à décider de l'ordre de priorité à donner à ces sources en utilisant les règles d'interprétation traditionnelles.

Néanmoins, le résultat reste difficile à évaluer dans l'abstrait. Ainsi, à titre d'exemple, il n'est pas impossible que le signataire d'un traité bilatéral d'investissement³¹ puisse convaincre un tribunal qu'il a, dans une période d'épidémie de choléra, violé ses obligations sur la propriété des investisseurs pour se conformer à certaines obligations de droit coutumier concernant la santé³² et le droit à la vie et donc, le droit d'accès à une eau saine, pour répondre à la sécurité

même en faisant partie des accords qui peuvent déroger au chapitre 11 de l'ALENA, le tribunal peut en détourner l'application.

Congrès international: « De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

²⁹ Article 104.1.

³⁰ Selon l'OMS, « environ 80 % de toutes les maladies et plus d'un tiers des décès dans les pays en développement sont dus à la consommation d'eau contaminée et les maladies liées à l'eau empêchent en moyenne chaque individu de travailler pendant un dixième de sa vie », in *L'eau et la santé dans les quartiers urbains défavorisés*, éd. Du GRET, Programme Solidarité Eau, Sophia Antipolis, 1994 (Compte rendu de la Table Ronde sur l'eau et la santé dans les quartiers défavorisés réunissant les experts de 40 pays et organisée à l'initiative de la France à la suite de la CNUCED), p. 21.

³¹ Qui sont à peu près construits sur la même structure que l'ALENA.

En ce qui se rapporte aux dispositions de la Charte des Nations Unies [en ce qui concerne notre sujet, art. 73 et 55] qui sont devenues des normes coutumières, et certains préconisent d'ailleurs qu'elles sont devenus obligatoires même pour les États non membres, voir NGUYEN QUOC Dinh, Patrick DAILLIER et Alain PELLET, Droit international public, 5° éd., p. 245. La Cour internationale de justice a déjà statué que « De nombreuses raisons conduisant à considérer que, même si des normes provenant de deux sources de droit international [un traité et la coutume] apparaissent identiques dans leur contenu, et même si les États considérés sont liés par les règles en question sur les deux plans conventionnel et coutumier, ces normes conservent une existence distinctes », Affaire des activités militaires et paramilitaires au Nicaragua, C.I.J. Recueil 1986, 14, au § 178. Ainsi le droit à la santé et à la vie (et donc le droit à l'eau) bien que considérés comme des traités, pourrait être de source coutumière. Sur les droits humains en tant

des personnes ; ou suite à une crise financière, obliger le distributeur d'eau à ne plus recourir au recouvrement total des coûts. Ces manquements pourraient être justifiés considérant les conséquences dramatiques qu'une crise financière pourrait avoir sur la capacité de l'État à respecter, protéger, promouvoir et mettre en œuvre ses obligations en matière de droits humains. Toutefois, le droit de l'arbitrage international s'est constitué en ordre public transnational émanant des commerçants internationaux, qui est la traduction juridique des préoccupations surtout économiques³³. Il manque à construire un ordre public réellement international.

En ce qui concerne l'OMC³⁴, le Mémorandum d'Accord sur les règles et procédures régissant le règlement des différends³⁵, contrairement aux mécanismes des traités d'investissements bilatéraux et à l'ALENA, ne peut être utilisé que par les Membres³⁶. Le mandat des Groupes spéciaux se limite aux accords de l'Organisation³⁷, ils excluent donc les accords extérieurs au système³⁸.

Dans le cadre d'une plainte formulée concernant une violation d'un des accords de l'OMC, un groupe spécial ou l'Organe d'appel pourraient-ils utiliser des règles de droit non issues du système de l'OMC, en l'occurrence des règles de droits humains et plus spécialement le droit d'accès à l'eau?

À ce sujet, Marceau explique que le droit issu de l'OMC est une lex specialis et qu'à ce titre il déroge au général et donc ne peut être surclassé (overruled) par un autre droit 39.

« Les accords couverts sont explicitement répertoriés et il ne peut être présumé que si des Membres voulaient utiliser le système prévu à l'OMC pour faire appliquer d'autres obligations que celles dûment répertoriées dans les traités de l'OMC. Le mécanisme des différends ne peut donner directement effet aux droits humains de manière à pouvoir mettre de côté ou amender une disposition de l'OMC. S'il existait une possibilité de permettre à une disposition concernant les droits humains externes aux cadre de l'OMC de supplanter une

que source coutumière, voir T. MERON, The Pull of the Mainstream and Humanitarian Normes Customary Law, Oxford, Claredon Press, 1989. Cité par Rémi BACHAND, Concilier investissement direct à l'étranger et droits humains, Rapport du groupe de réflexion de Droits et Démocratie, Ottawa, le 11 juin 2003,

http://www.ichrdd.ca/français/commdoc/publications/mondialisation/Reflexion/rapport

³³ C'est surtout un ordre public impliquant un recul de l'État faisant prévaloir la morale des pays occidentaux sur le développement économique et qui ne tient compte ni des disparités culturelles ni des disparités des forces contractuelles en présence. Voir P. LALIVE, « Ordre public transnational (ou réellement international) et arbitrage international », Revue arbitrage 1986, p. 329. Mohamed SALAH, « Mondialisation et souveraineté de l'État », JDI, p. 612 à 662. Et M. A. DELPLANQUE, Les Procédures générales de règlement des différends dans les Organisations Internationales Economiques : l'exemple de l'OMC et de l'ALENA, Mémoire de DEA, Nice 1995.

³⁴ Article 103,

³⁵ Mémorandum d'Accord sur les règles et procédures régissant le règlement des différends, 1994.

³⁶ L'ORD établit des groupes spéciaux et adopte les rapports de ces demiers et de l'organe d'appel permanent (établi par l'art. IV, par. 3 de l'Accord instituant l'OMC). Dans un premier temps, la phase institutionnelle des règlements des différends commence par la formation d'un Groupe spécial qui formulera une recommandation. Dans un deuxième temps, les parties peuvent faire appel à l'Organe d'appel permanent qui soulèvera les questions de droit et les interprétations données par le Groupe spécial.

³⁷ Article 7, par. 1.

³⁸ Article 19, par. 1.

³⁹ G. MARCEAU, « WTO Dispute Settlement and Human Rights », European Journal of International Law, 2002, 13: 4, p. 767.

disposition de l'OMC et ainsi de donner un fondement légal, il accroîtrait ou diminuerait les droits et obligations des Membres (ou amenderait ceux-ci)⁴⁰. »

Pauwelyn adopte une vision légèrement différente : selon lui, de nouvelles conventions négociées à l'extérieur de l'OMC, pourraient être considérées comme modifiant la vision des Parties et être prises en considération lors des décisions de l'ORD. Sa réflexion est fondée sur l'expérience de la Cour internationale de justice qui utilise dans ses jugements des sources qui ne sont pas citées dans son article 38, ainsi que le principe de la non-hiérarchie des normes. Il montre plutôt que l'ORD peut exploiter d'autres sources que ses seuls traités, à condition que celles-ci soient acceptées par les Parties au différend et que ces sources puissent être invoquées comme étant supérieures aux traités faisant l'objet du différend et selon les règles d'incompatibilité habituelles. Ainsi, une Partie pourrait justifier le nonrespect d'une disposition d'un des traités de l'OMC par une obligation extérieure à l'OMC⁴¹. Le débat à savoir si une Partie peut justifier une violation à un accord de l'OMC en respect d'autres obligations de droit international n'est pas encore résolu. En revanche, l'article 3, paragraphe 242 prévoit que le système de règlement des différends doit préserver les droits et obligations des membres des accords visés suivant les règles coutumières d'interprétation du droit international public. Le groupe spécial appelé à statuer dans l'affaire Corée - mesures affectant les marchés publics sur l'interprétation à donner à l'article 3 paragraphe 2 se prononce ainsi:

«Le droit international coutumier s'applique d'une façon générale aux relations économiques entre les Membres de l'OMC. Il s'applique dans la mesure où les traités de l'OMC ne contiennent pas de clauses qui les excluent de son champ d'application, en d'autres termes, dans la mesure où il n'y a pas de conflit ni d'incompatibilité d'expression dans un accord visé de l'OMC donnant à entendre qu'il en va autrement, nous estimons que les règles coutumières du droit international s'appliquent à l'OMC et au processus d'élaboration des traités à l'OMC¹³.»

L'ORD n'utiliserait le droit coutumier que lorsque celui-ci n'entre pas en conflit avec les accords de l'OMC, c'est-à-dire lorsque l'OMC présente des lacunes pour aider à l'interprétation des dispositions de l'ORD, ou lorsque il y a des vides dans les traités. Toutefois, une question reste ouverte : peut-on opposer un droit d'accès à l'eau aux investisseurs sans contrevenir aux multiples règles les protégeant dans le cadre des traités bilatéraux d'investissements et dans le cadre de l'ORD?

www.ichrdd.ca/français/commdoc/publications/mondialisation/Reflexion/rapport,

L'investissement international et les droits humains : Enjeux politiques et juridiques.

Traduction libre, G. MARCEAU, op. cit., p. 778. Cette interprétation rejoint le principe énoncé par la déclaration ministérielle de 1982 (adopté le 29 novembre 1982 (IBDD) 29S/9.), suivant lequel les décisions adoptées au cours des procédures de règlement des différends ne peuvent élargir ou réduire les droits et obligations prévus à l'Accord général reste applicable dans l'OMC. Toutefois selon Yves RENOUF, « Le rappel de ce principe semble destiné à empécher les groupes spéciaux et (l'Organe d'appel permanent) de modifier la teneur des accords. Il ne laisse a priori pas de place à une évolution de type common law. Cela étant, cette pétition de principe a été impuissante à empécher le développement d'une certaine forme de jurisprudence par les panels du GATT, au moyen de références de moins en moins déguisées aux déterminations des groupes spéciaux précédents. La pratique des parties devant les procédures a conforté cette attitude. »

⁴¹ J. PAUWELYN, « The Role of Public International Law in the WTO: How Far Can We Go? », Chi J. Int'l L, 2001-95, p. 490. Cité par Rémi BACHAND et Stéphanie ROUSSEAU, Concilier investissement direct à l'étranger et droits humains, Rapport du groupe de réflexion de Droits et Démocratie, Ottawa, le 11 juin 2003,

⁴² Il est acquis que le droit international peut être utilisé pour *interpréter* les accords de l'OMC, l'article 3 par.2 affirme que le système de règlement des différends a pour objet « de préserver les droits et les obligations résultant pour les Membres des accords visés et de clarifier les dispositions existantes de ces accords conformément aux règles contumières d'interprétation du droit international public » [nos italiques].

⁴³ Rapport du Groupe spécial : Corée-mesures affectant les marchés publics (WT/DS163/R).

III. LA CONSOLIDATION DES DROITS DES INVESTISSEURS FACE AUX DROITS HUMAINS FONDAMENTAUX

Le droit de chaque individu à participer à la conduite des affaires publiques est un droit reconnu par la Déclaration universelle des droits de l'homme, dont l'article 21 (3) reconnaît explicitement que la volonté du peuple est le fondement de l'autorité des pouvoirs publics. La Déclaration de Vienne⁴⁴ s'est fondée sur la volonté, librement exprimée, du peuple qui détermine le système politique, économique et culturel qui sera le sien. C'est aussi en ce sens que le droit des peuples à disposer d'eux-mêmes et à déterminer librement leur développement économique, politique et social doit être interprété. L'article 1^{er} des deux Pactes internationaux (PIDESC et PIDCP) consacre le droit des peuples et des individus à choisir leur système économique et, par là même, à intervenir sur la façon dont la richesse sera produite et distribuée. De plus, les États ayant une souveraineté permanente sur leurs ressources naturelles, les peuples peuvent donc décider de la façon dont l'eau sera distribuée.

Ainsi, pour un respect effectif des droits fondamentaux, dont le droit à l'eau, il est primordial que les modalités de gestion/distribution soient conçues de telle sorte qu'elles ne provoquent aucun « apartheid hydrique » et que, par ailleurs, les États ne puissent exclure aucune catégorie d'individus, sous couvert d'une souveraineté nationale qui est d'ailleurs largement érodée. En effet, les composantes du droit économique international - fondé sur le droit de l'individu - renforcent le droit de propriété privée au détriment des organes publics et donc des États, empêchant ceux-ci d'intervenir pour s'assurer que la production et la redistribution de richesses soient conformes à l'intérêt général. À travers tous les instruments que nous avons étudiés, il ressort que leurs règles ont principalement une double signification : d'une part, une consolidation par un renforcement de l'imperium des investisseurs à l'égard de la production et de la distribution des richesses, et conséquemment, la réduction de la marge de manœuvre des peuples et des gouvernements quant aux décisions visant ces activités économiques. Ce phénomène, lié à l'érosion des pouvoirs étatiques au niveau international, est selon nous à assimiler à une diminution du droit des êtres humains de jouir pleinement de leurs droits politiques et économiques, comme nous l'avons démontré dans l'affaire Metalclad et Cochabamba.

Cette analyse sommaire a permis d'établir l'existence d'un droit d'accès à l'eau positif, bien que n'ayant pas encore reçu sa consécration internationale et étant à maintes reprises bafoué par des investisseurs sur la seule base de la protection de leurs investissements.

Les États ont obligation de respecter en toute bonne foi les obligations tirées du droit positif tout autant qu'ils leurs aient donné leur consentement (à l'exception des règles de jus cogens pour lesquelles le consentement de l'État n'est pas nécessairement obligatoire). Donc, ces règles ne correspondraient pas à une souveraineté de l'État, mais à l'exercice de celle-ci. En revanche, l'exercice de la souveraineté s'est traduit de manière différente dans l'application concrète de ces engagements, car, lors de la mise en place des mécanismes visant à sanctionner les manquements aux obligations des États, s'est révélée une mise en œuvre inégale entre droits d'accès à l'eau et droits à l'investissement. Les accords en matière d'investissement permettent aux investisseurs de poursuivre les États qui compromettraient la jouissance maximale de leurs propriétés, sans que l'on sache où s'arrête celle-ci par rapport au devoir de l'État d'exercer son pouvoir de régulation dans l'intérêt public. En même temps, les mécanismes permettant aux individus ou aux communautés d'utiliser les règles de droit international en matière de droits économiques et sociaux sont d'une faible efficacité ou carrément inexistants.

⁴⁴ Déclaration et programme d'action de Vienne.

Dans ce contexte, nous pouvons nous demander quel est le législateur international en matière d'eau, et donc qui sont ceux qui ont les clés d'une réelle effectivité en matière de droits économiques, sociaux et culturels – puisque c'est dans cette partie des droits de l'homme que le droit d'accès à l'eau a été intégré. En sachant, comme nous l'avons rappelé précédemment, que les géants de l'eau sont en majorité européens, il semble alors que ce domaine des droits humains qui est le moins contraignant soit l'œuvre de la grande Europe, ce qui peut nous amener peut-être à parler, dans ce qui touche la gestion de l'eau, d'une gouvernance mondiale européenne. (Toutefois, en engendrant des obligations de respect des droits des investisseurs, les géants de l'eau ne rechignent pas non plus à prendre le contrôle de l'électricité, comme au Sénégal⁴⁵ par exemple.)

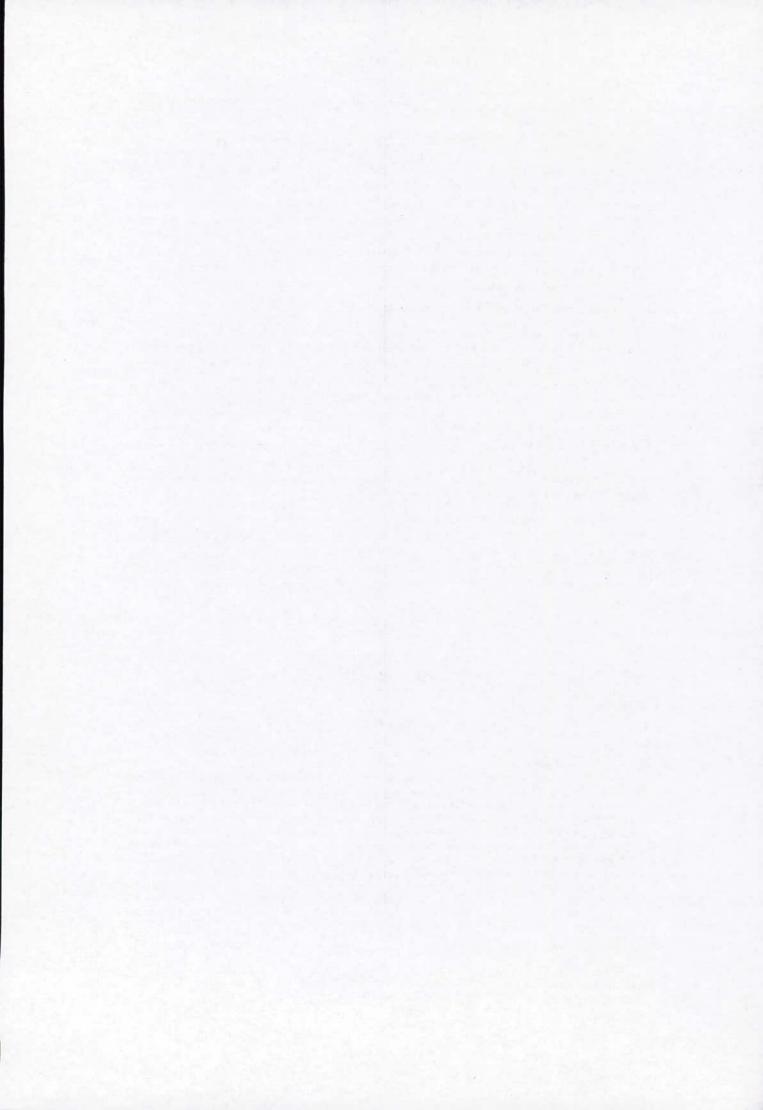
Donc, nous ne pouvons conclure qu'en ces termes :

« Reconnaître le droit au développement comme droit humain signifie que ce droit devient universellement applicable et inviolable. Cette reconnaissance établit la norme d'action pour la personne, l'institution ou l'État et la communauté internationale qui sont ainsi interpellés. La mise en œuvre de ce droit acquiert un caractère prioritaire dans l'utilisation des ressources et des capacités nationales et internationales, et de plus, l'État et la communauté internationale, ainsi que les autres acteurs de la société, y compris les individus, ont alors l'obligation d'appliquer ce droit. La Déclaration de Vienne a non seulement réaffirmé que la promotion et la protection d'un tel droit "incombent au premier chef aux gouvernements" mais a aussi réitéré l'engagements pris à l'article 56 de la Charte des Nations Unies d'agir tant conjointement que séparément, en déclarant spécifiquement : "les États devraient coopérer pour assurer le développement et éliminer les obstacles qui s'y opposent". La communauté internationale devrait promouvoir une coopération internationale efficace pour éliminer ces obstacles et réaliser le droit au développement."

Les nombreuses tares du droit international que nous avons relevées, tout au long de cette étude, à travers l'eau, élément vital et dont nul ne peut se passer, prouvent à quel point il est urgent de créer des moyens innovants de garantir à tous, sans condition de ressources, de races ou d'espace, le droit d'accès à l'eau et faire en sorte que le droit international de l'investissement ne compromette pas le respect des États en matière de droits humains fondamentaux.

⁴⁵ Il nous faut relever que « l'appel d'offre au Sénégal concernant la privatisation de l'électricité a permis au groupe Hydro-Quebec/Elyo de devenir le partenaire stratégique avec 34 % des actions ...mais aussi et surtout le gestionnaire délégué, avec sept sièges au conseil d'administration contre cinq à l'État (possédant 66 % des parts restantes », toutefois, en décembre 2000, le processus de privatisation a officiellement été révisé et le consortium Hydro-Quebec/Elyo s'est retiré « à l'amiable » . « En réalité, ce retrait a eu pour cause le non respect par le consortium de ses engagements en matière d'investissement, ce qui a coûté à l'État la bagatelle de 40 milliards de franc CFA (61 millions d'euros). L'unique objectif pour le consortium a été d'engranger rapidement des dividendes et de dépenser le moins possible en investissement réel. Mais l'État du Sénégal, étranglé par le joug de sa dette extérieure, n'a d'autre choix que celui de chercher un autre repreneur étranger-c'est finalement Vivendi qui a été sélectionné à l'issue de l'appel d'offre » Abdulaye SÉNE, « La privatisation de l'électricité au Sénégal », dans, Éric TOUSSAINT et Amaud ZACHARIE, Sortir de l'impasse. Dette et ajustement, éd. CADTM/Syllepse, 2002., pp. 128 à 130.

⁴⁶ Arjun SENGUPTA, « On the Theory and the Practice of the Right to Development », Human Rights Quartely, 2002, p. 845-846, traduction libre.



SHARED WATER IN THE MIDDLE EAST AS A SOURCE OF CONFLICTS AND PEACE OPPORTUNITIES

Dr. Kamel, K. Al-Zboon

Environmental Engineering Department, Al-Husn University College, Al-Balqa App lied University, Irbid-Jordan

Sustainable development depends mainly on water, therefore sufficient and healthy water are a prerequisite to economical and social development.

Most countries in the Middle East are suffering a severe shortage of water, other countries have excess amount.

Shared water is considered a flash point of disputes, so it is a main issue in the political relations between these countries.

In the present paper, the available water resources in the riparian countries (Jordan, Syria, Lebanon, Turkey, Iraq) are evaluated. The present and future needs for all purposes have also been discussed.

The data indicates that the controlling of water resources by upstream countries, in addition to the shortage of water in the downstream countries will cause additional conflicts for the area.

On the other hand, water could be considered as a peace bridge between the riparian countries. This could be accomplished by constructing shared projects, just agreements concerning water rights, the establishment of programs for interchanging information regarding water resources, management, Consumption, conservation, and reuse.

Key words: Water resources - peace line - water conflict - peace and Water -water in the middle east.

PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE : NECESSITE D'UNE GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU DANS LA PERSPECTIVE D'UN DEVELOPPEMENT DURABLE

* L. Benayada & ** A. Kettab

* Laboratoire de Rhéologie transport et traitement des Fluides Complexes L.R.T.T.F.C.

** Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau LRS-EAU

RESUME

Beaucoup d'exemples montrent que l'approche économique dans la gestion de l'eau s'accompagne d'une perte de qualité environnementale ou d'injustice socioéconomique. C'est l'une des raisons qui à conduit, dans les années 70, l'intégration des objectifs économiques, sociaux et environnementaux dans la prise de décision lorsqu'il s'agit de gestion de l'eau. Actuellement l'Algérie fait des efforts considérables et des transformations institutionnelles visant à une meilleure gestion de l'eau. Pour notre part, il est primordial d'actionner sur divers facteurs afin de développer une gestion optimale de la ressource. Cela ne peut se faire qu'à partir d'une gestion intégrée de cette ressource dans un cadre multisectoriel afin d'assurer un développement durable.

Mots clé : Gestion Intégrée - Développement Durable - Approche Multisectoriel - Santé Public - Pollution De L'environnen ent

L'OUTIL MATHEMATIQUE POUR LA GESTION DES RESSOURCES EN EAUX AU NIVEAU DE LA PLAINE DE MEJJATE ET SA BORDURE OCCIDENTALE

(HAOUZ OCCIDENTAL, MAROC) K. Boukhari¹, S. Er-Rouane², A. Gouzrou³

(I), (2) Laboratoire d'Hydrogéologie, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Avenue Moulay Abdellah, Marrakech 40000, Maroc. Fax: 0021244437411 (I) k.boukhari@ucam.ac.ma (2) errouane@ucam.ac.ma

(3) Chef de service de l'eau, Direction Provinciale de l'Équipement de la Wilaya de Marrakech, Place du 16 novembre, Guéliz, Marrakech 40000, Maroc. Tél: 0021244431428 (3) agouzrou@yahoo.fr

RESUME

La plaine de Mejjate appartient au domaine du Haouz, elle s'étende sur 2800 km² de superficie, situé à 70 Km au Sud Ouest de Marrakech, il est délimité au Nord par les chaînons des Jbilet, au Sud par le Haut Atlas Occidental, à l'Est par l'oued N'Fis et à l'Ouest par le grand bassin d'Essaouira - Meskala.

Avec le développement démographique et agricole et face aux années successives de sécheresses connues sur la plaine comme sur tout le Maroc, une surexploitation des ressources en eaux a été constatée, les prélèvements et les apports ont été évolués d'une façon notable, ainsi la nappe de recouvrement présente un déficit du bilan général de l'ordre de 340 l/s (ENANAÂ, 2000).

Face à cette situation, une demande en eau qui augmente et une diminution importante des réserves d'eau plio-quaternaires, les exploitations s'orientent plus sur la nappe profonde : Eocrétacée, cette nappe revêt donc une grande importance socio-économique pour la zone d'étude, ceci se concrétise dans les différents aspects, l'alimentation en eau potable du milieu urbain et rural, le débit total actuellement exploité dépasse 400 l/s et est appelé à augmenter dans l'avenir, l'irrigation de plusieurs parcelles, le débit total actuellement exploité dépasse 300 l/s, la sollicitation est de plus en plus forte et plusieurs demandes de prises d'eau sont formulées.

Dans ce contexte, la nappe profonde fera l'objet d'un modèle de gestion de l'écoulement, ce dernier constituera un moyen de suivi qui permet de comprendre le comportement réel du système et prévoir son évolution dans le futur. Le modèle sera construit par la méthode de résolution numérique en éléments finis (Logiciel ModFlow). Ceci nécessite d'élaborer au préalable un schéma conceptuel de la zone qui peut mettre en évidence la structure géologique de la nappe profonde, sa géométrie, sa piézomètrie, son exploitation ; et permet de décrire les différentes relations hydrauliques existantes entres les niveaux et principalement les niveaux aquifères à savoir : les abouchements, les drainances.

Mots-clès: Mejjate- Nappe Phréatique- Nappe Eo-Crétacée- Modèle- Modflow.

ENVELOPE CURVES FOR MAXIMUM FLOODS IN TURKEY BY

M. Bayazit & B. Onoz

ABSTRACT

Envelope curves obtained by plotting the largest flood peaks versus the drainage area, can be used in estimating flood discharges, together with the methods of flood frequency analysis and probable maximum flood. Envelope curves for the river basins in Turkey are obtained using the results of a study by DSI (State Hydraulic Work) with the data compiled until 1990. A curve for Turkey is developed using the recent data as well, and compared with the curves for the world.

Développement de technologies innovatrices pour une gestion intégrée de l'eau en Méditerranée : le projet MEDITATE¹

Madjid Bouzit*, Nathalie Dörfliger*

Le projet européen MEDITATE (*MEditerranean Development of Innovative Technologies for integrAted waTer managEment*) a été lancé en 2004. Il a pour objectif de développer des outils d'aide à la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du basin versant en Méditerranée, en intégrant des ressources en eaux alternatives en particulier les sources d'eau douce karstiques sous-marines.

Il s'agit d'évaluer la ressource en eau les systèmes karstiques côtiers, de localiser les sources sous-marines, d'analyser leur débit et de comprendre le fonctionnement hydrogéologique des aquifères avant d'établir une modélisation. L'innovation technologique consiste en la mise au point d'un prototype de captage sous-marin qui sera connecté à une petite unité de désalinisation. Cette solution technologique sera confrontée et comparée à d'autres alternatives en termes économiques et d'acceptabilité par la population ciblée (par ex. réutilisation des eaux usées, désalinisation d'eau de mer, etc).

MEDITATE est fondé sur une approche pluridisciplinaire intégrant à la fois des composantes: (i) hydrogéologique (caractérisation des systèmes karstiques côtiers et modélisation hydrogéologique des bassins d'alimentation / aquifère); (ii) socio-économique (enquête sociale sur les comportements de consommation d'eau, élaboration de scénarios-eau-2025, analyse coût-efficacité des scénarios); (iii) technologique (prototype de véhicule sous-marin autonome, recherche et captage d'eau douce sous-marine) et (iv) d'aide à la décision (développement d'outils d'aide à la gestion intégré des ressources en eau).

Ce projet est réalisé sur quatre sites pilotes, en étroite collaboration avec des partenaires de l'Est de la Méditerranée (*Liban*, *Jordanie*, *Turquie* et *Syrie*), dans un souci de transfert scientifique, technologique, d'enrichissement méthodologique et de développement durable.

.

¹ Projet coordonné par le BRGM et cofinancé par la Commission Européenne dans le cadre du programme FP6-2002-INCO-MPC-1 (2004-2007).

^{*} BRGM/EAU/RMD 1039, rue de Pinville – 34000 Montpellier, France

CAPACITY BUILDING AND CASE STUDIES

Professor Hani Nigim

Faculty of Engineering, Birzeit University, Birzeit, West Bank, Palestine. Tel: +972 2 2982002. Fax: + 972 2 29822984. E-mail:hnigim@birzeit.edu

ABSTRACT

For hundreds of years, the Mediterranean people have been forced to manage the scarcity and irregularity of their water resources. However, they are surprised by the speed with which modern water shortage came about. Moreover, the gap is widening between the two shores of the Mediterranean, as regards future water demands and their consequences. Thus, Mediterranean countries must develop their efforts far more than over the previous decades in order to control water problems.

In fact, some countries, particularly in the south and east of the Mediterranean basin, are far behind in water management. This is due, first, to the institutional structure of the sector and, second, to human resources constraints. To satisfy these needs, *capacity building and training programmes* should be developed as early as possible. At present there are no significant education and training capacity available. Although, Euro-Mediterranean cooperation, which is now taking shape, is the first foundation stone of this process.

The capacity building activities can be shaped through; implementing public awareness programmes, knowledge and expertise exchange, development of curricula; conceptual thinking of planners; complex real-life case studies, training of the trainers, and research training. The collaboration with universities can provide the ideal context for promoting, boosting and implementing scientific research and technological development projects related to the conservation and protection of all aspects of water sectors.

Training is necessary at most levels and positions in every country. Although, some of this training can be provided in house, a core of trainers at a central institution may be a more cost effective solution, particularly for some of the skill positions. The qualifications of the personnel in charge of operating and managing the new water systems must be excellent to ensure a service that is beyond criticism and thus help the costumers to accept such new systems and adopt them. The training programmes should also focus on technical aspects, in addition to health and environmental aspects.

From 1994 onwards a multilateral capacity building projects have been performed between Birzeit University in Palestine and institutes and NGO's in The Netherlands, Italy, France, Jordan, and Egypt that aims to develop such integrated approach. In the proposed paper case studies from such cooperation programmes will be presented and conclusions will be drawn.

Key words: Knowledge and expertise exchange- Case studies- Technical support activities

L'AVENIR DE L'EAU EN MEDITERRANEE, PROBLEMES ET SOLUTIONS : NOUVELLE PROSPECTIVE 2025 DU PLAN BLEU

Jean Margat

Plan Bleu pour le développement et l'environnement en Méditerranée

RESUME

A partir des situations actualisées à l'aube du XXI^è, une nouvelle prospective de l'eau – demandes et solutions d'approvisionnement– dans les pays méditerranéens jusqu'à l'horizon 2025 a été axée par le Plan Bleu suivant deux scénarios :

- Projections tendancielles accordées aux plans nationaux, impliquant une croissance globale des utilisations d'une quarantaine de km³/an, située au Sud et au Proche-Orient essentiellement, et la prédominance maintenue de l'approche par l'offre traditionnelle (ressources conventionnelles ou non conventionnelles);
- Projections plus volontaristes associant davantage à l'approche par l'offre une gestion des demandes maximisant les économies d'eau et les efficiences d'utilisation.

Un tableau des modes d'approvisionnement des pays méditerranéens en 2025, suivant les deux scénarios, est présenté.

GENERAL ASSESSMENT OF THE TURKEY'S HARMONIZATION EFFORTS ON THE EU- WATER FRAMEWORK DIRECTIVE IN THE CONTEXT OF EU'S MEDITERRANEAN WATER POLICY: WEIGHING GEOPOLITICS & LEADING TRENDS

Onur ÖKTEM

International Relations Specialist, MSc Student (Hydro politics) Hacettepe University (Ankara/TURKEY) - Department of International Relations.

Postal Address: K. Subayevleri Üç yıldız Cad. 70/3 Keçi ören / Ankara / Turkey, Telephones: +90 0312 317 86 76 – Mobile: +90 0546 245 75 82. E-mail: onuroktem@isnet.net.tr and kronkintoxicland@hotmail.com

Water Framework Directive obliges water authorities of European countries to comprehend and apply the principles: fair pricing of water, sustainable use of water, a brand new solidarity between stakeholders of European waters. Because one must understand that water is fragile and can be easily fragmented by the pieces of political interests. Directive mainly shows that it is compulsory to accept integrated river basin management in order to implement its fundamentals for EU Member and Candidate States. But the main challenge is obvious, water is traveling around hydrological - geographical boundaries and could not design proper administrative and political frameworks while its management is tried to be accomplish by simply technical considerations. Despite all these, WFD represents a unique field of vision in terms of water legislation both EU Member & Candidate countries but also regions of the World which appear to have discernible critical water shortages and scarcities like Eastern Mediterranean, geopolitically important and at the same time a sensitive water area in terms of its water resources.

This paper will look into hydro political highlights of the Turkish water policies especially those are in the agenda nowadays – foreign trade of Manavgat water- through the analysis of its accession and harmonization processes to the European Union. After a brief definition of the physical characteristics of Eastern Mediterranean basin in terms of hydrological features affecting basic strategies & policies of the related basin countries, the paper will set on to European water situation and Turkish water situation by giving specific references. Equal attention will be paid to the non-European Union countries of Mediterranean which are noteworthy for the Union's water vision and perspectives also very important for the Turkish water politics. Analyses will be supported with detailed explanation of the recent initiatives - Euro-Mediterranean Partnership- of the concerned parties in the EU.

The author observed that environmental security instincts of EU and non-EU countries in the Mediterranean region reflect sensitive hydro political relationships especially between the Eastern parties of the basin (Turkey, Israel, Palestine, Egypt, Cyprus, Syria, and Lebanon) which are at the same time countries of the Middle East. The paper will argue that international relations and security concerns can trigger a common attitude related to water management & planning and can stimulate sound water relations. Hence, in the last section the paper will offers to tackle with problems in the context of the water policy applications and practices of Turkey. Turkish water sector currently tries to harmonize Acquis Communautaire and adopt Union's legislature. The Community also tries to adopt herself to the circumstances of new borders and new environmental engagements on the shores of the Black Sea and the Mediterranean as a conclusion of enlargement. But water dispute in Eastern Mediterranean (Middle East also) will change the form of water policy arrangements.

EAU ET ENERGIES RENOUVELABLES EN MEDITERRANEE – EXEMPLES DE PROGRAMMES DE BAILLEURS DE FONDS ET DE FINANCEMENTS POTENTIELS

Stephane POUFFARY

stephane.pouffary@ademe.fr

RESUME

L'accès à l'eau est au cœur des préoccupations des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée. Qu'il s'agisse des zones urbaines ou rurales les besoins attendus sur les prochaines années vont être encore plus importants! En zone rurale ou péri-urbaine l'utilisation des énergies renouvelables pour l'approvisionnement en eau constitue une approche complémentaire et respectueuse de l'environnement.

Ces préoccupations s'inscrivent tout naturellement dans les priorités affichées par les bailleurs de fonds internationaux. Sans être exhaustif, nous présenterons quelques sources de financements potentiels telles que les initiatives proposées par la Commission européenne au travers des programmes MEDA et du PCRD (Programme Cadre pour la Recherche et le Développement), des initiatives proposées par le Fonds mondial pour l'environnement ou encore des possibilités proposées par la BEI.

EAU, INCERTITUDES, CONNAISSANCES STRATEGIQUES ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Jean-Louis Sasseville, professeur, INRS-ETE Bernard Bobéee, professeur, INRS-ETE

RESUME

La consommation pérenne de l'eau sur un bassin, c'est-à-dire l'eau pouvant être extraite de manière définitive d'un bassin par les activités humaines, obéit à des règles simples $[\Sigma]$ Apports (naturels, anthropiques) = Σ Consommations anthropiques + Σ Consommations naturelles + Σ Conservations (nature, systèmes, réserves)] auxquelles doivent s'astreindre les consommateurs de la ressource.

Il existe plusieurs sources d'incertitudes plus ou moins importantes dans l'équation qui régit la consommation durable de la ressource eau sur un bassin versant.

De manière générale, on retrouve des incertitudes (actuelles et prévisionnelles) sur les apports pluviométriques, l'évapo - transpiration, les écoulements vers la nappe ou les aquifères, les prélèvements domestiques, industriels et agricoles ainsi que la quantité et la qualité de leurs rejets. À ceci, s'ajoutent les incertitudes sur les comportements institutionnels, la demande future en eau, les obligations de produire des débits minimaux et de constituer des réserves pour protéger les usages de l'eau et éviter une hausse des prix ayant des effets pervers sur l'économie.

Comment se structurent ces incertitudes ? Quels sont leurs effets sur les décisions économiques, politiques et institutionnelles qui interviennent sur le système de consommation et de conservation de l'eau ?

On reconnaît par ailleurs que certaines connaissances scientifiques, voire empiriques, lorsque leur développement est bien ciblé, peuvent réduire les incertitudes de manière suffisante pour améliorer significativement les choix en matière de développement durable. Comment identifier ces connaissances à caractères stratégiques ? Quelles sont les questions charnières auxquelles il serait important de s'adresser pour donner une portée politique, sociale et économique aux travaux des chercheurs en ces matières ?

Cette conférence traite de la contribution à l'avenir collectif de ce que certains appellent les « sciences du développement durable », ces nouvelles sciences qui, de manière multidisciplinaire, étudient le devenir des relations entre la société et la nature. Plus particulièrement, on y met en évidence les sources d'incertitude dans les choix publics et privés et en donnant, sur cette base, quelques exemples de questions charnières auxquelles les chercheurs voulant s'inscrire dans ce domaine de connaissance pourraient s'attaquer. Un premier ensemble de questions charnières, par exemple, porte sur l'exploitation durable de la ressource - eau. Un mode d'exploitation durable de la ressource sera issu d'un processus social complexe (politique, institutionnel, économique, scientifique et technique) qui encadrera l'ensemble des activités humaines qui agissent sur la consommation et la conservation de la ressource : comment distinguer si un tel processus est en voie de se mettre en place ? Quels en sont les indicateurs de performance ? Quelles incertitudes (par exemple, le niveau de la demande en eau en relation avec la capacité de payer) en ralentissent l'établissement et en réduisent l'efficacité ? Comment réduire l'effet de ces incertitudes sur la dynamique du développement durable ?

LE DROIT A L'EAU POTABLE DANS LA PRATIQUE EUROPÉENNE ET AFRICAINE

Henri Smets

Académie de l'eau, Paris

Le droit à l'eau potable concerne l'accès à l'eau potable et à l'assainissement. Pour la plupart des États, il s'agit d'un droit fondamental, d'un droit individuel et pas seulement d'une aspiration ou grand des luci de luci le luci de luc

d'un besoin. Aussi faut-il définir ce droit individuel de manière précise car il s'agit d'un droit véritablement opposable et pas d'un slogan politique sans portée juridique. Les composants du droit à l'eau varient d'un État à l'autre en fonction de l'étendue des droits de l'homme en vigueur. Ce droit individuel porte sur la ressource elle-même et sur les services associés. Il est associé à des obligations individuelles et collectives de protection de l'environnement et de paiement des coûts des services reçus. Les pouvoirs publics ont un rôle important à jouer pour faciliter l'exercice de ce droit voire même pour en garantir le libre exercice. De ce fait, ils peuvent aussi exiger le respect de certains comportements. La reconnaissance du droit à l'eau ne peut signifier que les pouvoirs publics doivent remplir des tâches pour lesquelles le financement manque (obligation de résultat). En contrepartie, l'insuffisance de financement n'exonère pas les pouvoirs publics de toute obligation (obligation de moyens, exercice effectif des compétences).ont analysé le contenu de ce droit au regard de la pratique des États pour établir concrètement ce qu'il implique.

- a) existence d'un droit fondamental non spécifié (d'origine constitutionnelle
- b) obligation de faciliter l'accès à l'eau potable
- c) obligation de distribuer de l'eau dans les villes, des zones habitées. Obligations
- d) interdiction de distribuer une eau non potable
- e) droit individuel au branchement au voisinage
- f) obligation de fournir un service de qualité (à tous, de façon continue, etc.)
- g) prix abordable (tarification, redevances, prix social, attribution d'un quota à
- h) couverture des impayés d'eau
- i) limites imposées aux coupures d'eau de distribution aux abonnés avec impayés
- j) alimentation gratuite d'eau (bornes fontaines, etc.)
- k) obligation de réaliser un plan d'équipement (distribution, assainissement)
- l) création d'une ou plusieurs autorités de surveillance, respect des obligations de service public
- m) création de comités d'usagers, droit à l'information
- n) obligation de protection de l'environnement, obligation d'assainissement individuel
- o) voies de recours administratifs et judiciaires dans les textes en vigueur.

Les critères du développement durable Les difficultés de la mise en œuvre.

Patrick PHILIP Docteur-ès-sciences Chargé de mission pour le Développement Durable Commissariat à l'Energie Atomique France

Es 2000 bi este distribuis cosa da 180 NEDE sociolida inscrissa de principal de la la constante de la la constante de la la constante de la co

Chacun sait que le développement durable est un objectif qui vise à modifier les comportements des citoyens des consommateurs et des agents économiques pour économiser les ressources (notamment les ressources non renouvelables), mieux gérer les patrimoines naturel et aménagé par l'homme, protéger la biodiversité, lutter contre les pollutions et nuisances et d'une façon générale contre tous les facteurs de risque susceptibles d'avoir des conséquences graves et irréversibles pour l'homme et la biosphère.

Agir pour le développement durable est une démarche de progrès continue qui se concrétise par l'application de 4 principes : og eb use b anottelletani seb pileoripaio nu sies aug-

- Le principe de prévention et de correction, la senso se la grand de la la la se la Cierba, Tozaur, Mahdia, Monastir) a été nealisé. L'objet de cette pré-
- Le principe de précaution,
- Le principe pollueur payeur,
- Le principe de participation,

La question des critères et des paramètres permettant de quantifier les objectifs et d'évaluer les performances est centrale. Sans cela, le développement durable reste un discours sympathique, un alibi.

Depuis une dizaine d'années, un grand nombre d'experts et d'institutions produisent des référentiels et des normes pour répondre aux impératifs de la mise en œuvre de programmes et d'actions concrètes (Global compact, GRI, ISO...).

Nous passerons en revue les acquis, les progrès et les difficultés qui demeurent encore et notamment celle qui consiste à rendre compte continûment et régulièrement à travers ce que l'on appelle « les rapports Développement Durable ».

L'EAU ET LE DEVELOPPEMENT DURABLE (DD)

Dr. Ahmed KETTAB

Membre du Conseil Mondial de l'Eau (CME)
Membre de l'Académie Française de l'Eau.
Coordonnateur d'un groupe d'action Méditerranéen sur l'Eau – RMEI – France
Membre Fondateur du Conseil Arabe de l'Eau
Membre de l'Institut Méditerranéen de l'Eau (IME)
Directeur Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau - LRS-EAU/ENP
Professeur/Directeur de Recherches
Expert – Consultant International
Membre de comités scientifiques de plusieurs revues internationales

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE (E.N.P)- Alger 10, Av. Hacène-Badi BP182 El-harrach 16200 ALGER.

E – Mail:

KETTAB@yahoo.fr LRS-EAU@netcourrier.com

RESUME:

Cette première réflexion rapide a pour but de donner un certain nombre d'idées, de concepts, non encore structurés, et permettant d'amorcer une discussion, un débat novateur dans le domaine du développement durable à travers un facteur clé et déterminant à savoir l'eau et ses différentes implications et conséquences sur (sécheresse, inondations, zones arides, irrigation, assainissement, pollution, santé, sensibilisation) en particulier en zone aride.

Le développement socio-économique d'un pays, d'une région, est un objectif principal de tout gouvernant, mais hélas cela affecte inévitablement les ressources d'eau tant sur la qualité du fait de la pollution domestique et industrielle que sur la quantité puisque la consommation va augmenter d'une facon vertigineuse

Ce développement durable doit être revu, et je pense que pour certains pays, il faut d'abord parler de développement tout court avant de parler de développement durable : c'est à dire atteindre des objectifs de bien-être plus modestes par une gestion et une répartition rationnelle, parcimonieuse des ressources naturelles sans excès, ni gaspillage, pour ne pas compromettre et laisser intactes les chances de développement des générations futures.

Le problème de l'eau se pose de plus en plus avec acuité au niveau mondial, particulièrement dans le Maghreb et surtout pour l'Algérie.

L'évaluation des ressources en eau est d'une importance capitale dans l'économie d'un pays. Elle lui donne les moyens de faire une organisation, une planification, une gestion, une prévision, et par conséquent le développement de ses activités socio-économiques afin d'avoir un développement durable. L'évaluation des ressources en eau est assez complexe, difficile, mais elle permet de définir une stratégie, une politique, une vision.

Le 3^{ième} millénaire connaîtra certainement des crises plus graves liées à des conflits géopolitiques et commerciaux, dus à une ressource indispensable à savoir l'eau et seuls une coopération internationale, un transfert de technologie, de nouvelles techniques économiques de dessalement et moins de pollution pourraient alléger un tant soit peu les souffrances de certaines populations.

L'eau douce est un élément très variable dans le temps et l'espace. Sa quantité, sa qualité, sa gestion et sa distribution par secteur doivent être contrôlées et gérées de façon cohérente et continue. La collecte d'informations hydrologiques, météorologiques, hydrogéologiques, écologiques et socioéconomiques à des fins d'évaluation et de contrôle des ressources en eau est essentielle pour une prise de décisions en connaissance de cause. Les technologies de l'information et de la communication sont essentielles pour la diffusion de connaissances scientifiques et technologiques. Les systèmes d'information géographique (SIG), les bases de données informatisées sur les ressources en eau, les informations socioéconomiques connexes permettent d'améliorer nettement l'organisation de la recherche et de la diffusion d'informations.

Au cours des 20 prochaines années, on estime que la consommation d'eau par les êtres humains augmentera de 40 %, et qu'il faudra 17 % de plus d'eau pour la production vivrière des populations de plus en plus nombreuses des pays en développement. Il est à noter que plus d'un tiers des pays situés dans des régions arides connaîtront de graves pénuries d'eau quand ce n'est pas déjà le cas.

En 2025, les pays manquant d'eau auront environ 6,5 fois plus d'habitants qu'en 2000, soit 3,5 milliards au total. L'augmentation de la pollution et l'épuisement des ressources en eau de surface et souterraines aggravent encore la situation. Par ailleurs II est à noter également qu'il est nécessaire d'affecter suffisamment de ressources en eau pour maintenir les fonctions et systèmes écologiques.

D'après certaines études, on estime qu'il y a théoriquement, de l'eau douce suffisante pour alimenter quelques 20 milliards d'habitants mais, malheureusement cette eau n'est pas répartie dans le temps et l'espace de façon égale, comme en témoignent les vastes régions arides et semi-arides existantes.

Les pays du pourtour méditerranéen, considérés comme semi-arides seront de plus en plus confrontés à des pénuries d'eau, tant les pressions de l'agriculture et des populations y sont fortes et croissantes. Dans ce contexte, l'eau a une valeur socio-économique et géopolitique particulière. Les solutions techniques et financières impliquent de fait une solidarité entre régions et entre états.

Le développement durable est entre autre de mettre au point des systèmes d'informations, de gestion des risques et de prévision des catastrophes naturelles (inondations, sécheresses, tremblements de terre, ...) et de mettre en place des systèmes de détection précoce et de contrôle, ainsi que des plans d'intervention en cas d'urgence dans les zones prédéterminées aux catastrophes naturelles.

Il est désormais largement admis que la mise en place d'un développement durable exige de mettre en équation des préoccupations sociales et économiques aux préoccupations environnementales en tenant compte du facteur essentiel et limite à savoir l'eau. L'aménagement du territoire et la protection de l'environnement doit faire l'objet d'un rang de priorité élevé dans la répartition des ressources en eau, tant en amont qu'en aval particulièrement lors de la construction de barrages et de réservoirs d'eau qui ont souvent des utilisations multiples comme la production d'énergie, la lutte contre les inondations, l'irrigation, l'eau potable, les loisirs et la navigation.

A ce problème crucial de pénurie d'eau, s'additionnent les problèmes des catastrophes naturelles (séisme, inondations, sécheresse, pollutions, épidémies liés à l'eau,...), et une bonne gouvernance, un bon développement durable, c'est de modéliser tous ces paramètres.

Le rapport de la commission mondiale sur l'environnement et le développement, définissait le développement durable comme "un développement permettant de satisfaire les

besoins de toute la population actuelle sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins'

Il est a noter que la déclaration universelle des Droits de l'Homme des Nations Unies (1948) proclame ''que toute personne a droit à un niveau de vie suffisant pour assurer sa santé, son bien-être et ceux de sa famille, notamment pour l'alimentation, l'habillement, le logement, les soins médicaux ainsi que les services sociaux nécessaires''

Dans la déclaration ministérielle de la conférence internationale eau et développement durable ⁽¹⁾, les ministres et les chefs de délégations énoncent: ''qu'ils sont convaincus que l'eau a des valeurs sociales, économiques et environnementales interconnectées et qu'elle est essentielle au développement durable''.

(1) Sustainable Developments (volume 13, N° 4 ; 23 Mars 1998) est une publication de l'Institut International du Développement Durable (IIDD) info@iisd.ca , diffuseur du Bulletin des Négociations de la Terre ©. Cette parution a été rédigée et éditée par Angela Churie CHURIE@ce.kth.se , Peter Doran pfdoran@ecology.u-net.com , Tiffany Prather tprather@iisd.org et Kira Schmidt kiras@iisd.org Rédactrice en Chef: Kira Schmidt kiras@iisd.org . Directeur de la Publication: Langston James "Kimo" Goree VI kimo@iisd.org .

Dans cette réflexion d'une quarantaine de pages sont développés en trois parties les points suivants :

PARTIE I

- I- INTRODUCTION
- II- DEVELLOPEMENT DURABLE DANS LE MONDE
- III- PROBLEMATIQUE
- IV- CONSTATS
- V- ACTIONS À ENTREPRENDRE
- VI- FINANCEMENT ET PROGRAMMES INTERNATIONAUX
- VII- STRATEGIE ET VISION
- VIII- CONCLUSIONS

PARTIE II

IX-RECOMMANDATIONS POUR UN DD

X- BIBLIOGRAPHIE

PARTIE III

XI- ANNEXES

Annexe 1: Conventions, accords bilatéraux, multilatéraux et internationaux ?

Annexe 2 : Extrait d'une Conférence portant sur 'les ressources en eau : enjeu du 21ème siècle et défi pour l'humanité'

Titre : COMMENT ASSURER UNE BONNE GOUVERNANCE MONDIALE DE LA REPARTITION DE L'EAU ? Conseil de la Nation (SENAT) Algérie - 16 Juin 2003 faite par le Prof. A. KETTAB •

Annexe 3 : Quelques coordonnées de revues dans le domaine de l'eau et le DD

MOYENS ET SYSTEME D'AMENAGEMENT D'UNE UNITE DE DISTILLATION

KETTAB Ahmed * KHODJET-KESBA Omar **

* Expert International, Membre du Conseil Mondial de l'Eau Membre de l'Académie Française de l'Eau; Membre fondateur du Conseil Arabe de l'Eau Coordonnateur d'un groupe méditérranéen sur l'eau-RMEI Directeur Labo de Recherches Sciences de l'eau. . Tél.: 213 61 52 95 24; 213 71 44 04 05 Kettab@yahoo.fr

> ** Laboratoire d'hydraulique, ENP - EL HARRACH – AlGERIE) LRS-EAU @ netcourrier.com okhodjet@yahoo.fr

Résumé:

Comme vous savez en Algérie, le problème d'eau se pose toujours : les ressources naturelles deviennent de plus en plus rares, malgré le développement des industries, des stations de pompage, alimentation en eau potable, irrigation, construction des barrages, etc...

En effet, d'un jour à l'autre les nappes souterraines, les oueds, deviennent sec, aussi faut-il prévoir un système d'aménagement d'une installation, d'une unité de distillation, et seci grâce à d'autres sources d'énergie comme le gaz naturel qui est bien répandu en Algérie.

Mots clés :

Epuration - Dessalement - Energie solaire - Gaz naturel - Distillation - Eau salée .

Abstract :

As you know in Algeria, water problem is always posed: the natural ressources are becoming more and rare in spite of the development of industries, pumping stations, drinking water alimentation, irrigation, construction of dams ect...

In fact, from day to another , the underground water-level and the Wadis are becoming dry. That is why we have to provide a development system of a ressource as the natural gas that is spread enough in Algeria .

Contribution à l'étude de l'érosion abrasive d'une pompe (cas d'une station de pompage) O. KHODJET-KESBA

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau - LRS-EAU/ ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE (E.N.P)- Alger okhodjet@yahoo.fr

A. KETTAB

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau - LRS-EAU/ ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE (E.N.P)- Alger LRS-EAU@netcourrier.com

Résumé

Nous examinons dans cet article, l'érosion abrasive d'une pompe utilisée dans le Sud Algérien pour l'alimentation en eau potable. Un banc d'essai est conçu au laboratoire, permettant d'identifier l'évolution du phénomène en visualisant l'usure par abrasion de l'organe. L'eau potable est utilisée, contenant du sable fin de diamètre de 0,6 à 1,4 mm dont la nature minéralogique est « silice + quartz » caractéristique fréquente des eaux de cette région.

Les résultats sont indiscutables, après un temps de fonctionnement de 60 heures. L'usure se fait sentir par une perte de masse de l'organe principal de la pompe qu'est la roue, confirmant les travaux réalisés de part le monde dans ce domaine.

Dans cette étude, nous nous intéressons à l'effet mécanique de l'eau sableuse sur l'organe le plus exposé. Nous supposons également que l'usure prématurée se fait hors point de barbotage et que l'influence des singularités sur les écoulements internes n'est pas prise en compte, de manière à obtenir le maximum d'information sur les conditions réelles d'usure de cette pompe hydraulique modèle.

MOTS CLES: Cavitation, usure, érosion, abrasion, performances.

Abstract

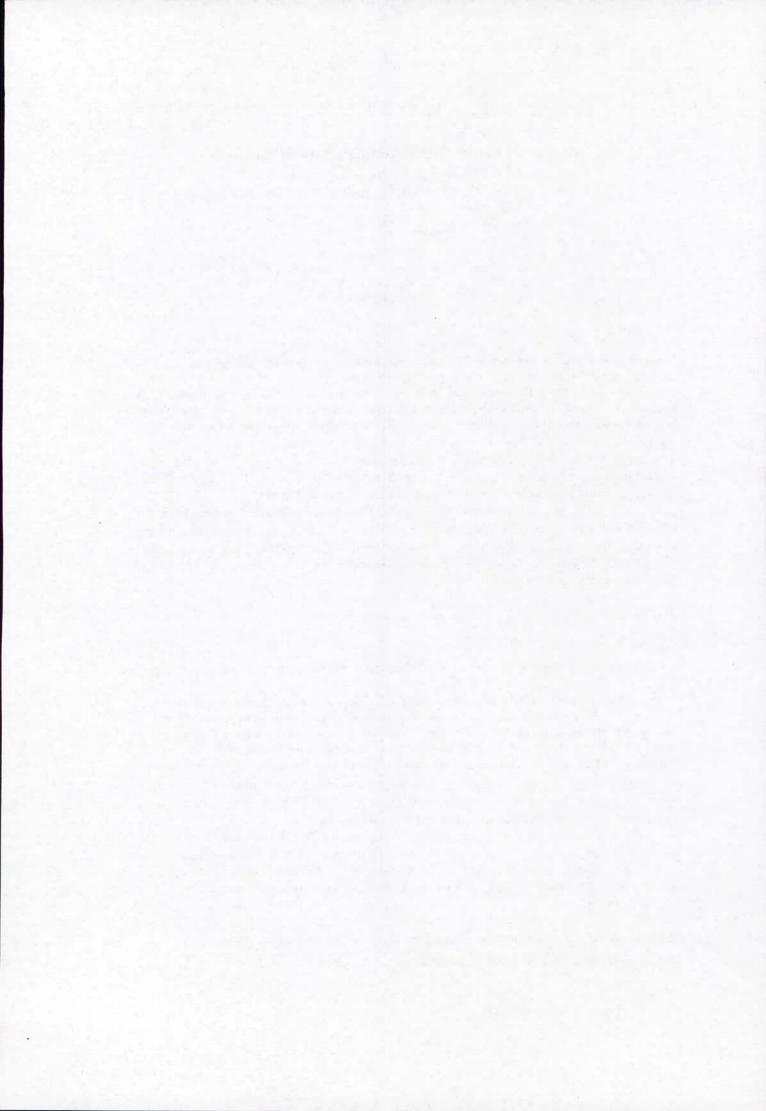
Contribution to the survey of the abrasive erosion of a pump

We examine in this article, the abrasive erosion of a pump used in the South of Algerian for drinking water supply. A test bed is conceived at the laboratory, permitting to identify the evolution of the phenomenon while visualizing wear by abrasion of the organ. The drinking water is used, containing a thin sand from 0,6 to 1,4 mm diameter, whose mineralogical nature is « silice + quartz », characteristic which is frequent of the waters of this region.

The results are indisputable ,after a time of working of 60 hours. Wear makes itself feel by a loss of mass of the main organ of the pump which is the wheel, confirming works achieved around the world in this domain.

In this survey, we are interested in the mechanical effect of the sandy water on the organ the more exposed . We also suppose that the premature wear makes itself out point of barbotage and that the influence of the oddness on the internal flows is not taken in account, in order to get the maximum of information on the real conditions of wear of this hydraulic pump models.

KEY WORDS: Cavitation, wear, erosion, abrasion, performances.



أزمة المياه في المنطقة العربية، تجاوز الأزمة، القضايا، الأفاق

الدكتورصاعد عبد الأمير حمودي أستاذ التعليم العالي قسم الري، كلية العلوم الهندسية، جامعة حسيبة بن بوعلي ص ب 151 فاكس: 94 17 72 720

Email: Hamoudisaaed@yahoo.fr

ملخدس:

لا يختلفُ المعنيون بقضايا العرب المعاصرة فأنما ترتبط ارتباطا وثيقا بحياة الإنسان العربي ووجوده من ناحية وتؤثر تأثيرا مباشرا على مستقبله الحضاري من ناحية أخرى. إنه التحدي الذي أن قضية المياه تعد من أهمها وأكثرها خطورة، لا سيما ي تمثله مشكلة المياه بالنسبة للعرب وهم في بدايات القرن الحادي والعشرون ورصد أشكال الاستحابة التي ظهرت هنا وهناك لمواجهة هذا التحدي. والسؤال المطروح هو هل ستقوم الحرب في المستقبل في الشرق الأوسط بسبب الرّاع على المياه العذبة وهل سيصبخ الماء العذب أهم من النفط وهل يضع العرب الأمن المائي ضمن اهتماماتهم الاستراتيجية. وبإلقاء نظرة على الخريطة المائية في المشرق العربي بأبعادها السياسية والاقتصادية تكشف أن قضية المياه تكمن في أن دولا تستهلك المياه ودولا تملك منابع هذه المياه وبسبب عدم وجود الاتفاق الكامل بين هذه الدول حول قضية المياه والتي ستزداد خطورة في ظل النمو السكاني والسعى الحثيث لرفع مستوى المعيشة والندرة النسبية للمياه هذا من جهة ومن جهة أخرى هي مطامع إسرائيل بالمياه العربية لتحقيق حلمها التاريخي بدولة إسرائيل من الفرات إلى النيل و لم يواجه العرب إسرائيل بخطة استراتيجية بالنسبة لمشكلة المياه. لذلك ظهر التنسيق بين إسرائيل وتركيا اللتان لهما مشكلات تاريخية مع العرب تتعلق بالأرض والمصالح والمياه. فإنّ الاستراتيجية السياسية لتركيا تستهدف مقايضة مياه دجلة والفرات بالنفط لذلك قامت باستغلال مياه نمر الفرات حيث بدأت في عام 1981 في مشروع جنوب شرق الأناضول الكبير (GAP) والمقدرة تكلفته بــ 31 مليار دولار وهو يضم 13 مشروعا لأغراض الري وتوليد الطاقة الكهربائية (طاقة كهربائية 27.4 مليار كيلووات/ساعة و إرواء 1.7 مليون هكتار) دون الاهتمام بما سيلحقه هذا المشروع من أضرار بسوريا والعراق. وحسب قرار لجنة القانون الدولي لعام 1976 والذي ينص على أنه يحق لتركيا السيطرة على مياه نمر الفرات في أراضيها شرط عدم الإضرار بمصالح الأطراف الأخرى المشتركة بالحوض مثل سوريا والعراق. إنَّ موضوع المياه واسع ومعقد وأطراف الصراع فيه كثيرة ومتشابكة المصالح والأهواء ومن الصعوبة على أي دراسة أن تحيط إحاطة كاملة بجوانبه كافة الاقتصادية منها والسياسية والجغرافية والقانونية والاحتماعية.

مفتاح الكلمات : مشكلة المياه - منطقة الشرق الأوسط - العلاقات ودول الجوار.

مقدمة:

تعاني أغلب مناطق الوطن العربي من ندرة المياه لوقوعها في المنطقة الجافة وشبه الجافة من الكرة الأرضية ، ومع نمو السكان فإن مشكلة الندرة تتفاقم كنتيجة منطقية لتزايد الطلب على المياه لتلبية الاحتياجات المتزلية والصناعية والزراعية بالإضافة إلى تدني نوعية المياه وتحويلها إلى مياه غير صالحة للاستخدام لأسباب متعددة بالإضافة إلى مشكلة كون الأنحار العربية الكبرى مثل النيل ودجلة والفرات تنبع من دول غير عربية (دول الجوار الجغرافي) وتجري وتصب في بلدان عربية مما جعل لدول المنبع ميزة حيوبوليتكية استراتيجية في مواجهة البلدان العربية ، كما يتطلب الاستغلال الأمثل للمياه الجوفية ومياه الأمطار استثمارات ضخمة لإقامة التجهيزات والمشروعات اللازمة لهذا الاستغلال. كما أن مشروعات تحلية المياه تحتاج إلى تكنولوجيا متقدمة بالإضافة إلى الاستثمارات الضخمة وهكذا تصبح المشكلة المائية مشكلة متعددة الجوانب أو الأبعاد وتحتاج للتعامل الناضج معها إلى آليات مؤسسية متقدمة قد لا تكون متوفرة لحد الآن.

إنَّ معنى الأزمة هو ذلك الطابع التركيبي المتعدد الأبعاد والمستويات لمشكلة المياه في المنطقة فضلا عن ندرة ومحدودية الموارد المائية وتدني نوعية المياه في الوطن العربي، فإن الفجوة بين الموارد والاحتياجات في بعض دول الجوار الجغرافي والطموح الإقليمي لدى البعض الآخر عبر استخدام المشتركات المائية وغيرها من العوامل تتظافر وتتشابك وتتقاطع خالقة جملة من المعضلات والمشكلات والاختناقات الممتدة من الماضي مرورًا بالحاضر والتي يتوقع استمرارها مستقبلا، فنهر النيل ينبع من هضبة البحيرات ومرتفعات أثيوبيا كما ينبع نهرا دجلة والفرات من تركيا فضلا عن أن لنهر دجلة منابع بجبال زاجوروس بإيران.

كما أنَّ وجود إسرائيل في قلب المنطقة العربية واشتراكها في نهر الأردن مع دول عربية أخرى أدى إلى ضرورة تناول أزمة المياه في الشرق الأوسط وانعكاسات تلك الأزمة على علاقاتها بدول الجوار الجغرافي وانعكاسات طموحات وأطماع تلك الدول على الأزمة العربية.

الموارد المائية في منطقة الشرق الأوسط:

وتشمل مياه الأمطار التي تبلغ حوالي 17.4 مليار متر مكعب أي بنسبة 7.8% من الهطول الكلي في المنطقة العربية مع نسبة قليلة من المياه الجوفية ، أما الموارد المائية السطحية فبالإضافة إلى نهر النيل الذي يبلغ طوله 6825 كيلومتر ومساحة حوضه حوالي ثلاثة ملايين كيلومتر مربع ولهر الفرات الذي ينبع من تركيا مرورًا بسوريا فالعراق ويبلغ طوله 2940 كيلومتر ومساحة حوضه 388 ألف كيلومتر مربع حيث يبلغ المتوسط السنوي لإيراد النهر عند الحدود العراقية حوالي 30 مليار متر مكعب ، 65 % منها تحدث خلال فترة الفيضان ولهر دجلة الذي ينبع من هضبة الأناضول جنوب شرق تركيا وجبال زاجوروس في إيران ويدخل العراق بعد مرور مسافة قصيرة في سوريا حيث تصل إيرادات النهر إلى 37 مليار متر مكعب توجه لأغراض الري والملاحة ، ولهر الأردن الذي ينبع من أسفل حبل الشيخ ويفيض في فصل الربيع عند ذوبان الثلوج في جبل (حرمون) وتصل إيرادات النهر من مجمل فروعه داخل سوريا ولبنان والأردن حوالي 1.975 مليار متر مكعب ، ولهر العاصي ينبع من لبنان ويسير في سوريا ويصب في سوريا ولبنان والمناد خوله إلى وادي الاسكندرونة ويقدر الإيراد السنوي لنهر العاصي عليار متر مكعب .

القانون الدولي ونظم المياه الدولية:

يعني مصطلح (نظام المياه الدولية) الذي حل محل وصف (النهر الدولي) تلك المياه التي تتصل بينهما في حوض طبيعي حتى امتداد أي جزء من هذه المياه داخل دولتين أو أكثر ويشمل (نظام المياه الدولية) المجرى الرئيسي للنهر وروافده سواء الإنمائية (المنابع) أو التوزيعية (المصبات)، والمقصود بحوض النهر هو الوحدة الجغرافية والطبيعية التي تكون مجرى المياه وتحدد كم ونوع المياه ، حيث يعتبر مبدأ هارمون والذي يقضي بالسيادة الكاملة والمطلقة للدولة على الجزء الذي يمر في إقليمها من النهر الدولي بحيث يمكنها أن تستغله كما تشاء دون الالتفات إلى مصالح الآخرين ولكن هذا الرأي قد لاقى بعض الانتقادات من جهات وهيئات دولية ، وقد أكّدت جمعية القانون الدولي خلال دورتما الثامنة والأربعون التي عقدت في نيويورك عام 1958 أربعة مبادئ هي :

1/كل نظام للأنمار والبحيرات ينتمي لحوض صرف واحد يجب معاملته كوحدة متكاملة وليس كأجزاء منفصلة .

2/ إنّ كل دولة مطلة على النظام المائي لها الحق في نصيب معقول ومتساو في الاستخدامات المفيدة لمياه صرف الحوض .

3/ على الدول المشاركة في حوض النهر احترام الحقوق القانونية للدول الأخرى المشاركة فيه .

4/ التزام الدول المشاركة في الحوض احترام حقوق شريكاتها .

القواعد المنظمة لاستغلال الأنظمة المائية الدولية هي :

1/ حماية الحقوق المكتسبة أي الاستغلال المتواتر لفترة طويلة دون اعتراض باقي دول النظام المائي الدولي حيث يشكل حقــًا مكتسبًا واجب الحماية أن يكون نافعًا ومفيدًا ومعقولاً .

2/ الالتزام بالتشاور عند تنفيذ مشروعات خاصة بالنظام المائي الدولي بحيث يصبح على كل دولة لدى استغلالها للجزء الواقع داخل حدودها وتتأثر به الدول الأخرى المتشاطئة أن تتشاور معها.

3/ عدم السماح لأي دولة أن تمارس حقوق استغلال النظام المائي إلا إذا تراضت دول النظام على ذلك .

4/ منع الاستغلال الضار فليس لأي دولة من دول النظام المائي أن تنفرد باستغلال الجزء الواقع داخل حدودها بشكل يؤدي إلى إصابة الآخرين بالضرر وذلك تطبيقا لمبدأ عدم التعسف في استعمال الحق.

وقد فصلت قواعد هلسنكي (1966) في مادتيها الرابعة والخامسة ماهية النصيب العادل والمعقول لكل دولة في الاستخدامات المفيدة لمياه النظام المائي الدولي وعلى النحو التالي: " إن النصيب العادل لا يعني النصيب المتساوي بل احتياجات كل دولة من دول الحوض للمياه على المستوى الاقتصادي والاجتماعي" هي القاعدة التي تحدد بمقتضياتما نصيب كل الدول. كما يقصد بتعبير الاستخدامات المفيدة تلك الاستخدامات التي يجب أن تحقق فوائد اقتصادية أو اجتماعية للدولة المستخدمة ويتم تحديد النصيب المعقول أو العادل في ضوء العناصر ذات الصلة في كل حالة على

حدا مثل جغرافية وهيدرولوجية الحوض داخل كل دولة وكذلك حالة الطقس المؤثرة في الحوض واستخدامات مياه الحوض وتعداد السكان الذين يعتمدون على مياه الحوض ومدى توافر مصادر بديلة للمياه وتفادي حدوث مفقودات غير ضرورية للمياه مع إمكانية تعويض واحدة أو أكثر من دول الحوض لضبط التراعات بين مستخدمي المياه ودون إحداث ضرر كبير للدول الأخرى .

الأوضاع الحالية والمستقبلية لموارد المياه في منطقة الشرق الأوسط والاحتياجات المائية لها:

إنّ الغرض من دراسة الاحتياجات المائية هو تعيين كميات المياه الداخلة والخارجة لأي نظام مائي بغرض تحديد التوازن وما إذا كانت هناك فجوة مائية من عدمه حيث يتم تحديد وضع الاستقرار المائي كوضع معياري لأغراض المقارنة ضمن مؤشرات فجوة الموارد المائية حيث حدّد العالم السويدي فوكتمارك الاستقرار المائي بــ 1000 متر مكعب سنويا / فرد بالنسبة للمناطق شبه القاحلة مثل منطقة الشرق الأوسط مع تحديد برنامج الأمم المتحدة للبيئة بــ 1000 متر مكعب سنويا للفرد كحدّ أدنى مقبول . إنّ فجوة الموارد المائية تظهر وفقاً لمستويين :

الأول: المستوى الفصلي

الثابي : مستوى افتراضي مرتبط بفكرة الاستقرار المائي وذلك في الأجلين القصير والمتوسط مثلا (2000 -2010) والأجل الطويل (2010-2035) إلى الخط النهائي المرتبط بفكرة الثبات الافتراضي لعدد السكان .

والجداول (1، 2، 3، 4، 5) تبين الأوضاع الحالية والمستقبلية لموارد المياه والاحتياحات المائية لدول المشرق العربي (لبنان، سوريا، العراق، الأردن وإسرائيل) والأشكال (1، 2، 3، 4).

علمًا بأنّ التقرير الاقتصادي العربي الموحد لعام 1993 قد أقرّ بأنّ نصيب الفرد العربي من الموارد المتحددة يبلغ 1262 متر مكعب سنويًا.

العلاقات الدولية من منظور مائى:

تسهم مجموعة من الاعتبارات النابعة من الحقائق الجغرافية والتاريخية والاقتصادية والسياسية في صياغة المشهد المائي في منطقة الشرق الأوسط بين الدول العربية وحوارها الجغرافي وتتضافر تلك الاعتبارات لتشكل آليات وأنماط التفاعل في إطار المشهد وتتمثل هذه الاعتبارات في ما يلي :

الاعتبار الأول :

وهو نابع من ذلك التناقض القائم بين الحدود السياسية للدول واتجاهات تدفق الموارد المائية سواء السطحية (الأنهار) أو الجوفية (Anderson. Etal, 1988) ويتجلى هذا الاعتبار بشكل خاص في المنطقة العربية حيث أنّ أغلب أنهارها ذات طبيعة دولية مثل نهر النيل ودجلة والفرات ونهر الأردن وهذه الأنهار مثل النيل ودجلة والفرات تنبع من دول غير عربية (دول الجوار الجغرافي) وتجري وتصب في دول عربية لذا فإنّ لدول المنبع ميزة استراتيجية في مواجهة دول

المحرى والمصب حيث تبلغ نسبة تحكم دول غير عربية في شرايين المياه العربية بــ 88%. لقد دارت في أروقة الأمم المتحدة في بداية عام 1991 مناقشات حول إمكانية استحدام السدود التركية بمنع المياه عن العراق لدفعه للانسحاب من الكويت ولكن تركيا غارضت هذه الفكرة .

الاعتبار الثابي :

إنَّ الأقطاب الفاعلة في النظام الدولي كان لها دور مهم في الجال المائي وذلك في إطار حث مصالحها على سبيل المثال نتائج مؤتمر سان ريــو المنعقد في أفريل 1920 والاتفاقية البريطانية الفرنسية في 1920/12/23 كان لها الأثر في صياغة الأوضاع المائية للأردن والليطاني والحصباني .

الاعتبار الثالث :

وجود إسرائيل في قلب الوطن العربي وحاسية هذا الوجود من تحركات دبلوماسية وعمليات عسكرية صهيونية ممهدة إذ تضمن المشروع الصهيوني ودولته باستمرار هاجسًا مائيًا يرتبط بالتوسع الاستيطاني من جهة والرغبة في الهيمنة من جهة أخرى .

الاعتبار الرابع:

وهـو اعتبار افتراضي ولكنه قائم ويتمثل في إمكانية تدمير المشروعات المائية في أوقات الحروب (Anderson. Etal) على سبيل المثال المشروع الذي أعده يوري ديفيد بعنوان (سياسة إسرائيل المائية) إلى أنه "إذا أخذنا بعين الاعتبار منحى السياسة الإسرائيلية فإنه لا يبدو غريبًا أن تجد بعض الظروف التي تقرر فيها حكومة إسرائيل بأن تدمير سد حصين سيكون أقل تكلفة وأكثر فعالية في حل مجموعة المشاكل الناجمة عن وجود هذا السد " كما قد دمرت أغلب المنشآت المائية العراقية خلال حرب الخليج الثانية بفعل قصف القوات المتحالفة حيث تم تدمير سدّان بنسبة 75% ودمـر سدّان آخران تـمامًا بينما بقي سد واحد على نمر دجلة بنسبة تدمير 50% (Beschorner. Etal 1992)

الاعتبار الخاص :

تحتاج المشروعات المائية إلى استثمارات ضخمة وإمكانيات تكنولوجية عالية ثمّا يدفع أغلب الدول الراغبة بالاستثمار الأمثل للمياه المتاحة لديها إلى طلب الدعم المالي والتكنولوجي من المؤسسات الدولية مثل البنك الدولي لذا يجب أن تتكيف مع القيود التي تضعها هذه المؤسسات .

العلاقات الدولية في حوض دجلة والفرات:

لقد مرت العلاقات الثلاثية التركية - العراقية - السورية بمراحل متعددة فعندما شرعت تركيا في إنشاء سد كيبان عام 1964 أقنعت تركيا العراق بأنَّ السد سوف ينظم حريان نهر الفرات ويدرأ الفيضان وينظم تصريف النهر مع النفي باستخدام السد للأغراض الزراعية في حوض الفرات وتعهدت تركيا بضمان تصريف قدره 350 متر

Congrès international:

مكعب/ثانية أثناء فترة امتلاء الخزان ولكن العراق أصر على تصريف قدره 800 متر مكعب/ثانية كحق مكتسب للعراق في مياه نهر الفرات (د. أجيه يونان) ومن جهة أخرى بدأت سوريا في بناء سد الفرات (الطبقة ، الثورة) وتم الانتهاء من تنفيذه عام 1976 بدعم مالي سوفياتي (فليب روبنسون وآخرون 1992) مما أدّى إلى ظهور أزمة بين العراق وسوريا حيث انخفض تدفق الفرات بنحو 25% من التدفق المعتاد مما أدّى إلى تمديد العراق بضرب سد الثورة بالقنابل وحشد القوات العراقية على طول الحدود مع سوريا حيث تضرر من هذا الإجراء حوالي ثلاثة ملايين مزارع عراقي (أحمد عباس عبد البديع، 1991) مما حدا بسوريا بإطلاق كميات إضافية من المياه لتحنب الأزمة مع العراق. وفي عام 1980 بدأت تركيا في وضع مخطط عام وشامل يربط عدد من المشروعات المائية على نمر الفرات وذلك مقدمة لمشروعها الأساسي مشروع جنوب شرق الأناضول الكبير وإن لم تعلن عنه آنذاك (فليب روبنسن، 1992) حيث تبلغ تكاليف هذا المشروع (3 مليار دولار وهو يظم 13 مشروعًا لأغراض الري وتوليد الطاقة الكهربائية (طاقة كهربائية 17.2 مليار كيلووات/ساعة وإرواء 1.7 مليار هكتار) (طارق المجذوب، 1994) حيث يهدف لنفسها موقعًا إقليميا مؤثرًا (سلامي الحسيني، 1990)، (عرفان نظام الدين، 1991) .

وبالنظر إلى حجم الاستثمارات التركية في مشروع الجاب فإنه من غير المتوقع عدولها عنه على الرغم من الاحتجاجات العراقية السورية (أندرومانجو، 1991) وفي 1990/01/13 منعت تركيا مياه نمر الفرات عن سوريا والعراق بحجة تخزين المياه خلف سد أتاتورك وذلك لمدة شهر واحد حيث أثار ممثل تركيا لحاجة سد أتاتورك لهذه المياه استنادًا إلى المواصفات الهندسية ومراعاة تركيا لاحتياجات سوريا والعراق من جهة أخرى (نجاتي أوتكان، 1990) حيث أدى إلى هبوط مستوى النهر في سوريا حوالي 3 متر وهبوط التصريف إلى 45 متر مكعب/ثانية مما يسؤثر على الزراعة المروية التي تعتمد على النهر وكذلك الاستعمالات المنازلية نتيجة للتلوث الكثيف (زهير فرج أبو داود، 1990).

وقد كان الرد التركي على الاحتجاجات السورية العراقية كالآتي :

1/ إن المياه تتدفق إلى المجرى الرئيسي للفرات بعد فترة الحبس وحتى الآن بمعدل 600 متر مكعب/ثانية (الباحث العربي، 1990) .

2/ إن 59 متر مكعب/ثانية ولفترة اضطرارية مواقتة يفي بحاجات سوريا والعراق .

أمَّا الموقف السوري بهذا الشأن يتضمن ما يلي :

1/ إن سوريا تتمسك بنص البروتوكول الموقع في يوليو 1987 والذي ينص على أنّ (الجانب التركي يتعهد بإمداد النهر عبر الحدود السورية التركية بأكثر من 500 متر مكعب/ثانية كمعدل سنوي وفي حالة انخفاض معدل الإمداد الشهري عن 500 متر مكعب/ثانية فإنّ تركيا توافق على زيادة المعدل خلال الشهر التالي).

2/ إن معدل تدفق النهر خلال فترة الإغلاق تتراوح بين 45 - 50 متر مكعب/ثانية وليس 59 متر مكعب/ثانية .
 أمًا الموقف العراقي فكان كالآتي :

1/ إنَّ الحقوق المكتسبة تاريخيًا لسوريا وبالتالي العراق تبلغ 28 مليار متر مكعب سنويًا أي بمعدل تدفق يبلغ 800 متر مكعب/ثانية عند الحدود السورية التركية وبناء على ذلك فإنَّ الــ 500 متر مكعب/ثانية التزام التزام التزام تركي كحد أدنى خلال فترة إنشاء السد (أتاتورك) ويستمر التدفق إلى سوريا بعده معدلا يتراوح بين 600 - 700 متر مكعب/ثانية وذلك لحين توصل الأطراف إلى اتفاق بشأن النهر .

2/ إن انخفاض التدفق خلال فترة الإغلاق أدى إلى ظهور الملوحة في المياه لدى العراق كما وصلت نسبة مكونات الأجسام الصلبة إلى 67% مما يؤثر على صلاحية المياه .

3/ إنَّ العراق قد تضرر من البروتوكول السوري - التركي لعام 1987 حيث لم تتجاوز حصته 9 مليارات متر مكعب سنويًا وهو نصف الاحتياجات المائية العراقية مما يترتب عليه عدم صلاحية 165 ألف هكتار، كذلك أدى ذلك إلى توقف سد القادسية العراقي عن العمل خلال شتاء 1991 (وسام الزهادي، 1990).

العلاقات الدولية في إطار حوض نهر الأردن:

يظم حوض نهر الأردن دول الأردن وسوريا ولبنان وإسرائيل ويقع الحوض في إحدى البؤر المشتعلة للصراع العربي الإسرائيلي وحيث أدركت الحركة الصهيونية مبكرًا أهمية الزراعة في خلق الفلاح اليهودي المرتبط بالأرض لذا كان الاهتمام بمصادر المياه نجاح الزراعة ومن ثم الاستيطان وهذا ما أكده دان سلازفسكي مفوض المياه في إسرائيل وأحد أعضاء الوفد الإسرائيلي في المحادثات متعددة الأطراف بشأن المياه (جولة فينا 1992) بقوله " إن البعض يرى عناية إسرائيل أكثر للصناعة غير أن الكثير من الإسرائيليين لا يحبذون هذا الرأي على أساس أنه من المهم التمسك بالأرض الاقتصاد الإسرائيلي كان بالإمكان أن يحصل على فوائد أكبر لو أنه تخلى عن الزراعة المكلفة ذات الدعم العالي بدلا من الاستيلاء على مزيد من المياه العربية يوسع بما من إنتاجه الزراعي الذي يفتقر إلى الكفاءة ، حيث استرفت إسرائيل المصادر المائية الواقعة تحت سيطرقما في إطار سياستها للاستثمار الزراعي الاستيطاني وفي ذلك يقول ديفيد بأن التخطيط المائي في إسرائيل إما أنه يستند إلى أوهام ومبالغات مآلها إلى التحطم على صخرة الواقع وإما أن الإسرائيليين لا يثقون حقيقة بديمومة إسرائيل كدولة يهودية .

أزمة تحويل مياه نهر الأردن:

شرعت إسرائيل في تحويل نهر الأردن عام 1959 وقد طالب بعض العرب بمنع إسرائيل بالقوة المسلحة من تنفيذ خطتها (محمد حسنين هيكل، سنوات الغليان) بينما ذهب رأي آخر إلى ضرورة البدء في مشروعات على نهر الأردن قبل وصول مياهه إلى إسرائيل وذلك لإلغاء أي قيمة للتحويل الإسرائيلي للنهر، وقد عقد مؤتمر القمة العربي في يناير 1969 لبحث الموضوع وقرر أن يتم تحويل نهر الأردن داخل البلاد العربية دون التعرض للمشروع الإسرائيلي حتى

لا تتذرع إسرائيل بالدفاع عن النفس ، فردت إسرائيل على لسان رئيس وزرائها " بأنَّ حجز المياه سوف يتم وأن إسرائيل ستتخذ إجراءاتها إذا ما حاول العرب تحويل منابع الأردن" (جالبينا نيكيتا) ولكن وفي النهاية أصبحت مياه نحر الأردن وروافده بيد إسرائيل و لم توضع المشروعات العربية موضع التنفيذ (هيثم كيلاني، 1993) .

تشير الحقائق بأن استهلاك إسرائيل من مياه الضفة الغربية يبلغ 87.5% بينما لا يتجاوز نصيب العرب سوى 12.5% أي أن معدل استهلاك الفرد الإسرائيلي يبلغ ستة أضعاف الفرد العربي الفلسطيني، كما يدفع الفلسطينيون في الضفة الغربية ستة أضعاف ما يدفعه المستوطنون اليهود في مقابل الانتفاع بالماء (Abdullah Arar, 1992). حيث يبلغ سعر المتر المكعب من المياه للفلسطينيين في الضفة الغربية 1.3 دولار أمريكي بينما للمستوطنين أيلغود فيبلغ 0.6 دولار / متر مكعب (ميخائيل سليم، 1995) أما في قطاع غزة فيستهلك المستوطنون ثلاثون ضعفاً مما يستهلكه المواطنون العرب.

المياه ضمن سيناريوهات التسوية (المسارات المائية المستقبلية - الصراع / التعاون) :

هناك ثلاثة مسارات مائية مستقبلية والتي تتشكل من ثلاثة مشروعات :

1/ المشروع العربي

2/ المشروع التركي

3/ المشروع الإسرائيلي

وتتوقف درجة الهيمنة لأي مشروع من المشروعات على نوع ودرجة التفاعل في إطار الجدلية العربية / الشرق أوسطية. فكلما زاد ثقل النظام العربي في مواجهة النظام الشرق أوسطي زادت أهمية المشروع العربي بينما في حالة ثقل النظام الشرق أوسطي في مواجهة المشروع العربي فإن المشروعين التركي والإسرائيلي تزداد درجة أهميتها.

المشروع المائي العربي :

يهدف المشروع المائي العربي إلى تحقيق الأمن المائي العربي الحالي والمستقبلي على المستوى القطري و المستوى العربي الشامل عبر خلق ودعم آليات ملائمة لتحقيق هذا الهدف الشامل والذي يصب في مجرى تحقيق الطموحات العربية في محالات التنمية والسياسة والاستراتيجية . وترتكز الاستراتيجية المطلوبة في هذا الصدد على دعامتين رئيسيتين :

الأولى : التمسك بالحقوق المائية العربية في مواجهة أي طرف ينتقص في هذه الحقوق.

الثانية : تنمية الموارد المتاحة على المستويين القطري والشامل إلى حدها الأقصى مع تدبير موارد جديدة كلما كان ذلك ممكناً . لذلك يجب إنشاء شبكة إقليمية تظم الأقطار العربية والمنظمات الإقليمية والصناديق العربية مع إقامة المناخ الملائم للمشاركة الفعالة من قبل المنظمات الدولية المتخصصة على أن تعمل هذه الشبكة تحت مظلة الجامعة العربية ومنظماتما ومراكزها المتخصصة .

المشروع المائي التركي :

ويلقى هذا المشروع قبولا لدى الأطراف الفاعلة في البيئة الإقليمية والدولية كما أكد الرئيس الأمريكي الأسبق ريتشارد نيكسون " علينا أن نشجع تركيا لاستغلال مميزاتها التاريخية والحضارية لكي تلعب دورًا أكبر سياسيًا واقتصاديًا في الشرق الأوسط ، وإذا أمكن حل مشكلة الصراع العربي الإسرائيلي فإن مشكلة المياه سوف تكون أهم مشكلة في المنطقة ، ونظرًا لأن تركيا دولة لديها مصادر غنية بالمياه فإنه يمكنها الإسهام في حل مشكلة المياه عن طريق إمداد إسرائيل وسوريا والدول الأخرى المحتاجة إلى المياه في المنطقة بمصادر مياه عن طريق أنابيب ضخمة وتساعدها الولايات المتحدة الأمريكية بهذا الشأن) وكما ذكر شمعون بيرز وزير خارجية إسرائيل عام 1991 ما نصه (أن المعادلة التي سوف تحكم الشرق الأوسط الجديد سوف تكون عناصرها كما يلي " النفط السعودي + الأيدي العاملة المصرية + المياه التركية + المياه الإسرائيلية ")

ينطوي المشروع التركي الشامل على مشروعين رئيسيين :

الأول : مشروع حنوب شرق الأناضول الكبير (GAP)

الثاني : مشروع أنابيب السلام التركية ، وهو مشروع المستقبل لتركيا بوجه خاص وللنظام الاقتصادي الشرق أوسطى تحت التشكيل بشكل عام .

حيث تتمثل الفكرة في استخدام فائض مياه نهري سيحان وجيحان اللذان ينبعان ويصبان بالكامل داخل الأراضي التركية بضخه إلى بلدان الشرق الأوسط الفقيرة مائيا ، حيث يبلغ متوسط التصريف اليومي للنهرين 17 ، 39 مليون متر مكعب من المياه ، تستخدم تركيا منها 7 ، 23 مليون متر مكعب والباقي قدره 10 ، 16 مليون متر مكعب تذهب إلى البحر الأبيض المتوسط (1992 ,

التي أعدها بيت الخبرة الأمريكي (Brown and Root International) إلى اتجاهات توزيع هذا الفائض وذلك عبر مسارين وكما يلي :

توزيع الأنبوب الغربي توزيع الأنبوب الخليجي الموقع المستفيد م⁸/يوم الموقع المستفيد م⁸/يوم

سوريا	1100	الكويت	600
الأردن	600	السعودية	800
السعودية	1500	البحرين	200
تركيا	300	قطر	100
	3500	الإمارات	600
		عمان	200
			2500

تؤيد الولايات المتحدة الأمريكية هذا المشروع وذلك:

1/ كبح حساح العراق وإيران عن طريق تقوية موقف تركيا في الترتيبات الشرق أوسطية.

2/ إتاحة الفرصة للشركات الأمريكية للاضطلاع بدور أساسي في كل المراحل الإنشائية للمشروع.

المشروع المائي الإسرائيلي :

تتمثل أركان المشروع الإسرائيلي في الآتي :

1/ تزويد الضفة الغربية وقطاع غزة بالمياه من مصادر خارجية (النيل، اليرموك، الليطاني) وذلك لتوافر الإمكانات التقنية والضرورات السياسية لتجاوز الصراع المائي المرتقب في المنطقة والذي يشكل خطرًا على السلام .

2/ نقل مياه النيل إلى شمال النقب (حوالي 0.5% من الاستهلاك المصري للماء والموازاة مع مشروع إمداد سيناء بالمياه المصرية .

3/ مشروع أردني – إسرائيلي مشترك لاستقلال مياه نمر اليرموك وذلك بتخزين مياه السيول الشتوية لنهر اليرموك في بحيرة طبرية الواقعة داخل حدود إسرائيل .

4/ مشروعات من لبنان تتضمن الاستغلال الكهربائي لنهر الحصباني ونقل مياه الليطاني إلى إسرائيل واستغلاله كهربائيـــًا .

المزاعم الكاذبة في المشروع الإسرائيلي:

1/ تلقي إسرائيل بالمشكلة المائية للضفة الغربية وقطاع غزة على الدول العربية الجحاورة متغاضية عن الاستتراف المستمر لمياه الضفة الغربية من قبلها . 2/ تزعم إسرائيل بأن مصر لديها فائض مائي تطرحه إلى البحر المتوسط وهذا الإحراء تقوم به مصر لثلاثة أسباب :

أ – الحاجة إلى التوازن الملحي في الدلتا والمحافظة عليه وذلك بالتخلص من الأملاح في شكل ملح مذاب في المياه .

ب- إن هناك اتصالا بين مياه البحر المالحة والمياه الجوفية الموجودة تحت الدلتا بحيث تقوم مياه الخزان الجوفي بالاتجاه شمالا لإعاقة مياه البحر المالحة (نحو 0.5 مليار متر مكعب سنويًا).

ج- لو لم يترك حزء من مياه فرع رشيد ليذهب إلى البحر فهذا من شأنه أن يدفعها للارتداد إلى الدلتا وإحداث آثار تدميرية .

المشاهد الاحتمالية لمستقبل المياه في الشرق الأوسط:

يستند بناء المشاهد الاحتمالية لمستقبل المياه إلى تلك المتغيرات المتعلقة بالنظام الدولي والنظام الإقليمي الفرعي بالإضافة إلى الأوضاع المائية الحالية والمستقبلية . والإطار الذي تجري بداخله عملية التفاعل في صفتها المبدئية يتمثل في الثنائية (صراع / تعاون) المنبثقة من الثنائية (حرب / سلام) ، وبين قطبي الثنائيتين ثمة مدى واسع تتحرك فيه عناصر الثنائيتين متداخلة ومتشابكة . إنّ عناصر المشكلة المائية في الشرق الأوسط تكمن في قلة الأمطار وانتشار الصحراء والنمو السكاني وازدياد الحاجة إلى المياه بالإضافة إلى أن عددًا من الأنحار الرئيسية في البلاد العربية تنبع من خارج الوطن العربي لذلك فإن المشاكل المائية ستكون المحور الرئيسي للصراع في القرن الواحد والعشرون و تلك القائمة بين العرب وإسرائيل . ونستخلص من هذه الدراسة إلى نتيجة مفادها أنّ التحدي الذي يواجه العرب كبير وخطير ولكن استجابتهم لا تزال حتى الآن ضعيفة وضئيلة وهنا تكمن المفارقة ، لأن الاستجابة المبدعة والخلاقة كما يقول الفيلسوف تويني _ يجب أن تفوق التحدي .

المصادر:

- 1/ Abdullah. Arar; (Note on water Issues in the west bank and Gaza). The national seminar on water, the society of Egyption Engineers, Cairo, Feb. 1992, P.2.
- 2/ Anderson. Ewanw; Water the next strategic resourced.
- 3/ Beschorner; (Water and instability in the Middle East) international institute for strategic studies, London, 1992, P.36).
- 4/ Klaus Wangnick, (1992 IDA world wide desalination inventory, wang nick consulting, Rept.12 April, 1992, P.21).
- 5/ Pstel, Sandra; Op. Cit, P.12, P.14).

Congrès international:

- 6/ Starr, Joyce R. and stoll, Daniel C. (eds); (The politics of scarcity water in the Middel East West view press Boulder and London, 1988 P.2).
- 1/ د. أجية يونان (دراسة مقارنة بين السد العالي وسد الفرات) معهد البحوث والدراسات العربية ، سلسلة الدراسات الخاصة رقم (5) القاهرة ، 1977، ص25-31.

- 2/ د. أحمد عباس عبد البديع (أزمة المياه من النيل إلى الفرات) السياسة الدولية ، العدد 104، أفريل 1991، ص 147.
- 3/ الباحث العربي (الحلقة النقاشية حول قضية نمر الفرات) الباحث العربي العدد 24، يوليو/سبتمبر 1990، ص 36.
- 4/ الأمانة العامة لجامعة الدول العربية ، الصندوق العربي للأتحاد الاقتصادي والاجتماعي، صندوق النقد الدولي، منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (التقرير الاقتصادي العربي الموحد ، ص 33).
 - 5/ الاتفاقية الفرنسية البريطانية في 1920/12/23 مؤتمر سان ريمو ، أفريل 1920.
 - 6/ أندرو مانحو (تركيا والعرب بعد حرب الخليج) الباحث العربي ، العدد 27 يوليو/سبتمبر 1991 ، ص 22.
- 7/ بيرد فيزيلارد (المياه من الشرق الأوسط مصدر للحروب المقبلة .م فرصة للتعاون الإقليمي) هنا لندن العدد 6533 مارس 1993 ، ص 10.
 - 8/ حالبينا نيكيتا (دولة إسرائيل) دار الهلال ، القاهرة دون تاريخ ، ص 151.
- 9/ د. هيثم كيلاني (المياه العربية والصراع الإقليمي دراسة مستقبلية) سلسلة كراسات استراتيجية ، رقم 17، مركز الدراسات السياسية والاستراتيجية ، مؤسسة الأهرام، القاهرة ، سبتمبر 1993، ص 15-18.
 - 10/ وسام الزهاوي (كلمة الوفد العراقي) الباحث العربي ، العدد 23، أفريل/يونيو 1990، ص 21.
- 11/ زهير فرج أبو داود (كلمة الوفد العربي السوري) الباحث العربي ، العدد 23، أفريل/يونيو 1990، ص 18-
- 12/حسن عامر (مشروع إعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الري ، الوضع الحالي واستراتيجية استخدامه في المستقبل) المؤتمر القومي للمياه ، جمعية المهندسين المصرية ، القاهرة ، فبراير 1992، ص 5.
- 13/ طارق المجذوب (التعاون العربي التركي في مشاريع البنية التحتية والمياه والطاقة الكهرومائية) المستقبل العربي العدد 188 ، أكتوبر 1994 ، ص95.
- 14/ د. يوري ديفيد (مصادر المياه وسياسات إسرائيل المائية) الباحث العربي، العدد 29، مارس/يونيو 1992، ص 49.
- 15/ د. كمال حمدان (الموارد المائية العربية والتغيرات الدولية) الطريق 1954 ، العدد 1 يناير/فبراير 1995، ص
 - 16/ مجلس الشوري المصري (الموارد المائية واستخداماتما) ص 44-44.

- 17/ ميخائيل سيلع (قضية المياه) مترجم إلى اللغة العربية والأصل منشور في دافار الإسرائيلية في 1995 مختارات إسرائيلية ، مركز الدراسات السياسية ، مايو 1995 ، ص 23.
 - 18/ د. محمد راغب الزناتي (استخدام مياه الصرف في الزراعة المصرية) ص 5.
 - 19/ محمد العباسي (تركيا تنازل سوريا بسلاح المياه) العالم العربي 20 يناير 1990، ص 10.
 - 20/ محمد حسنين هيكل (سنوات الغليان) ص 558.
- 21/ نجاتي أوتكان (كلمة الوفد التركي المذكرة التفصيلية عن عملية بدء تجميع مياه حزان أتاتورك) الباحث العربي، العدد 23 أفريل/يونيو 1990 ص 12.
- 22/ عرفان نظام الدين (تركيا والعرب خليط الماء والزيت والتاريخ والجغرافيا والعداوات والمصالح الدائمة) الباحث العربي ، العدد 27 يوليو/سبتمبر 1991، ص 15-16.
- 23/ فليب روبنسن (تركيا والشرق الأوسط ، ترجمة ميخائيل نجم خوري، مكتب مديولي ، دار قرطبة للنشر والأبحاث ، القاهرة 1992 ، ص 109.
 - 24/ سلامي الحسيني (الصراع على المياه في الشرق الأوسط) الدستور ، العدد 645 (لندن)، 9 يوليو 1990
- 25/ عبد اللطيف المقرن (استراتيجية تنمية مصادر المياه والمحافظة عليها بدون مجلس التعاون لدول الخليج العربي) مؤتمر الخليج الأول للمياه ، دبي ، أكتوبر 1992 ، ص 18.









« De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen »

Ecole Nationale Polytechnique

Laboratoire de Recherches des Sciences de l'eau

Alger, le 21-22-23 Mai 2005



Ministère des Ressources en Eau; SYLAFEN; SGP-COJUB, SGP-ERGTHY, ENAJUC, Hydro-Canal, ERENAV; Vecteur Environnement, AISH; DMS; Aldal; ADE;

