



Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Génie Civil  
Laboratoire de Génie Sismique  
et Dynamique des Structures



# SUR LA FIABILITE DES STRUCTURES

Conférence invitée : Pr B. TILIOUINE

En hommage à notre très cher et regretté Pr A. OUABDESSELAM

1<sup>er</sup> Recteur de l'Université d'Alger

1<sup>er</sup> Directeur de l' Ecole Nationale Polytechnique

Cérémonie de remise des diplômes ENP 2017  
Organisée par l' ENP et l' AD-ENP



# SOMMAIRE

- ❑ INTRODUCTION
- ❑ PERSPECTIVE HISTORIQUE
- ❑ FIABILITE DES STRUCTURES
- ❑ EXEMPLES D'APPLICATION
- ❑ CONCLUSION GENERALE

# □ INTRODUCTION

**Fiabilité:** - cruciale pour enjeux sécurité / performance des structures.  
- utilisée notamment dans les divers domaines de l'Ingénierie.

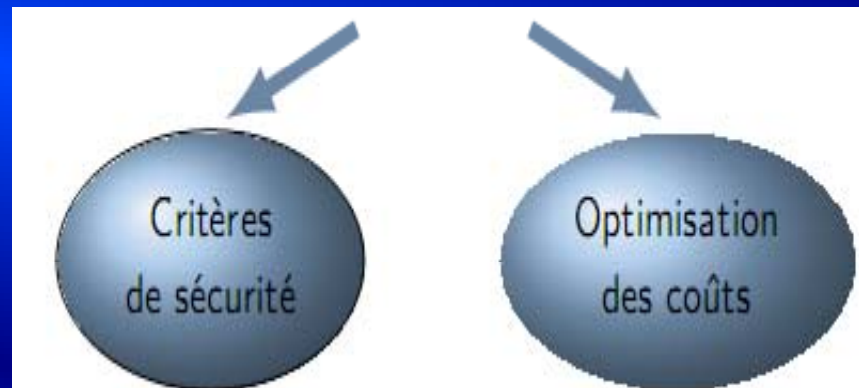


Les structures de G. C. sont omniprésentes dans les sociétés modernes pour couvrir leurs besoins en :

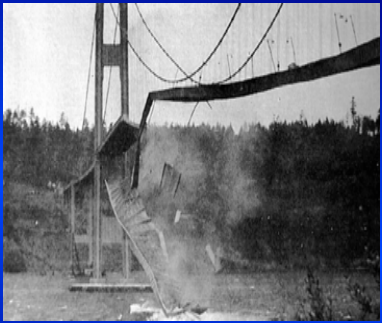
- **Production d'énergie** : barrages, NPP, éoliennes ...
- **Transport** : ponts, voies ferrées, tunnels, ...
- **Bâtiments** : habitation, bureaux, hôpitaux, écoles ...

Cahier de charge garantissant :

- **La sécurité des personnes**
- **Une exploitation optimale des ressources disponibles**



# Des accidents très rares mais spectaculaires (le risque zero n'existe pas !)



## ▪ Avec fort impact



- Pertes financières (directes / indirectes) (ex. séisme de Kobe Japon 1995 >100 Billions US \$, ...)

- Pertes humaines (ex. séisme de
  - Haïti 2010: 326 000 victimes,
  - Aceh Indonésie 2004: 226 000 morts...)



- Dégradation de l'environnement (ex. Tsunami de Fukushima 2011: 20 000 morts + catastrophe nucléaire, ...)



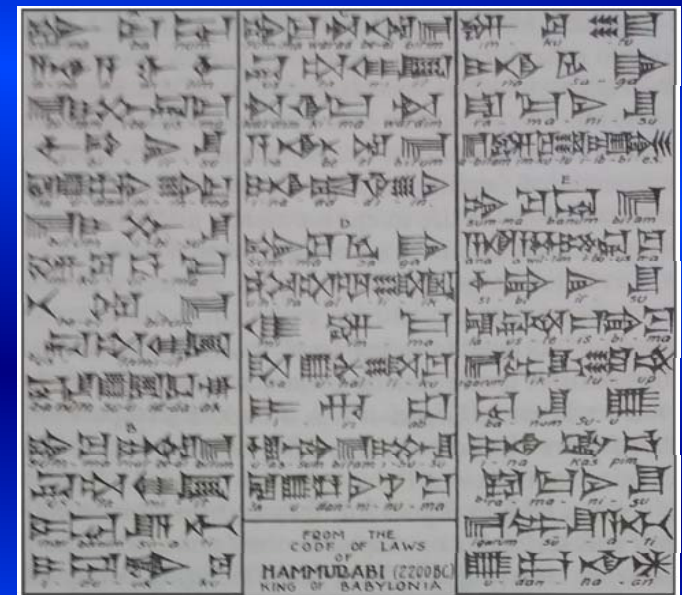
Comment se prémunir contre la défaillance (endommagement partiel, effondrement) et concevoir des structures plus fiables ?

- **Sciences fondamentales (mathématiques, statistiques, informatique, ...)**
- **Sciences de l'ingénieur (génie civil, génie mécanique, ...)**
- **Instauration d'un cadre légal (normes et codes de construction, Contrôle Qualité et Assurance Qualité, ....)**

# □ PERSPECTIVE HISTORIQUE

## 1- UN PEU D'HISTOIRE : LE CODE D'HAMMURABI

- Premier texte juridique connu, régissant la vie en société, gravé en écriture cunéiforme sur une stèle découverte en 1901 en Iran



Code Hammurabi (~ 1792-1750 Av. J.C.)  
Source: John Wiley & Sons, ©1981

### Principes du code :

- Responsabilité individuelle,
- Sanction proportionnée au délit (Loi du Talion),
- Pas de notion d'assurance / de garantie de l'Etat
- Aucun garde-fou sur la qualification du constructeur
- Pas de prescription sur le "savoir-faire"



Source: Musée du Louvre

Pyramides de Kheops  
à Gizeh



Kheops-2573 Av. J.C.

## 2- SAVOIR-FAIRE : "TRIAL AND ERROR"

Epoques: pharaonique (XXXI<sup>e</sup> – I<sup>er</sup> Av. J.C.)  
romaine (I<sup>er</sup> Av. – V<sup>e</sup> Ap. J.C.)  
Musulmane (VII<sup>e</sup> – XIII<sup>e</sup> Ap. J.C.)

- Savoir-faire empirique accumulé à partir de principes constructifs simples (voûtes, dômes, ogives)
- Constructions robustes de par les matériaux (pierre, granit...) sans égard au coût (voire aux vies humaines)

Colisée de Rome  
Colosseo



Vespasien – ≈70 Av J.C.

Djamaa Al-Aqsa



O. Ibn al-Khattâb-637

Koubat  
Al-Sakhra



A.-M. Ibn Marwan-691

Djamaa Al-Kabir



Y. Ibn Tachfin-1097

L'Alhambra ("la Rouge"  
de Grenade-Andalousie)



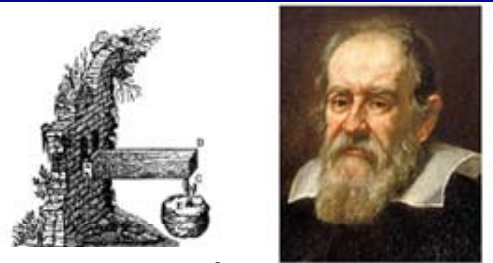
M. Ibn Nazar-1238

# 3- LA SCIENCE MODERNE DANS LA CONSTRUCTION

## Evolution des modèles

A partir du XVIIème siècle à ce jour, les connaissances en physique progressent et permettent de mieux comprendre comment les structures résistent :

- Résistance des matériaux
- Mécanique des structures



Poutre de Galilée  
1638

Galilée  
(1564-1642)



L. Euler  
(1707-1783)



D. Bernoulli  
(1700 -1782)



*S. Timoshenko*  
S. Timoshenko(1878 -1972)



O. C. Zienkiewicz (1921 -2009)

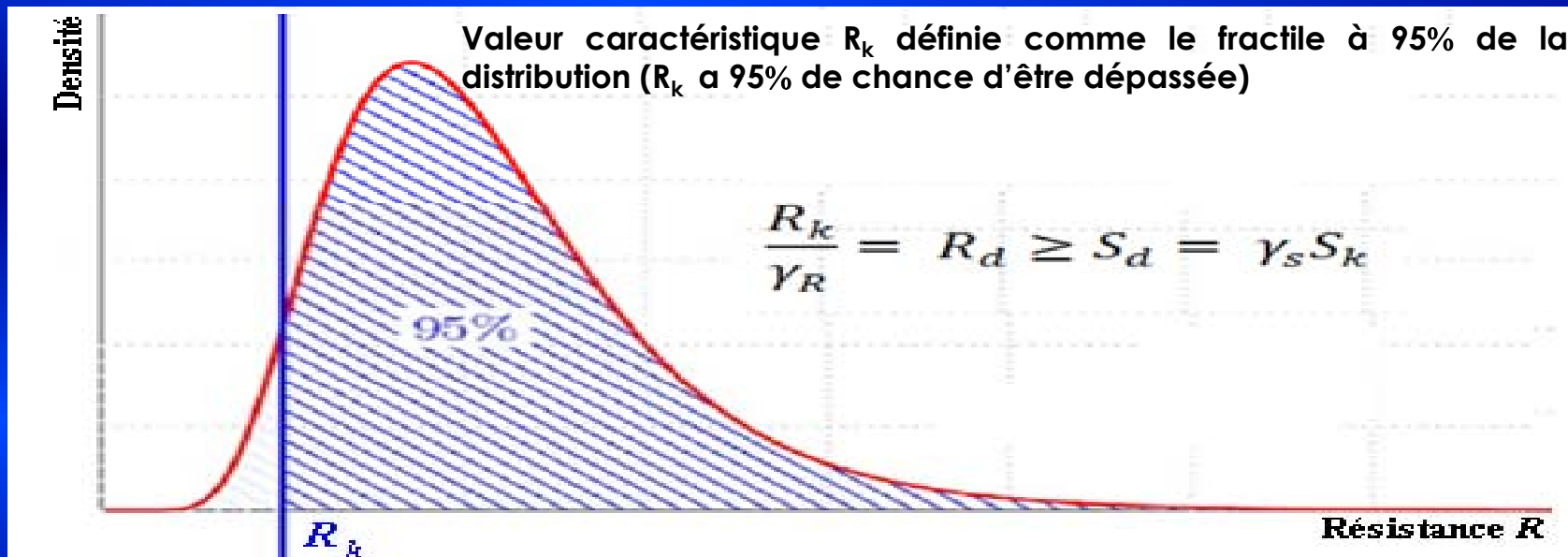


# ❑ FIABILITE DES STRUCTURES

## 1- APPROCHES D'EVALUATION DE LA SECURITE STRUCTURALE

— Approche déterministe ( $\sigma_{adm} = \sigma_{rupt} / K$ , coeff. global "facteur d'ignorance", calcul déterministe)

— Approche semi-probabiliste ( fractile, coeff. partiel, calcul déterministe )

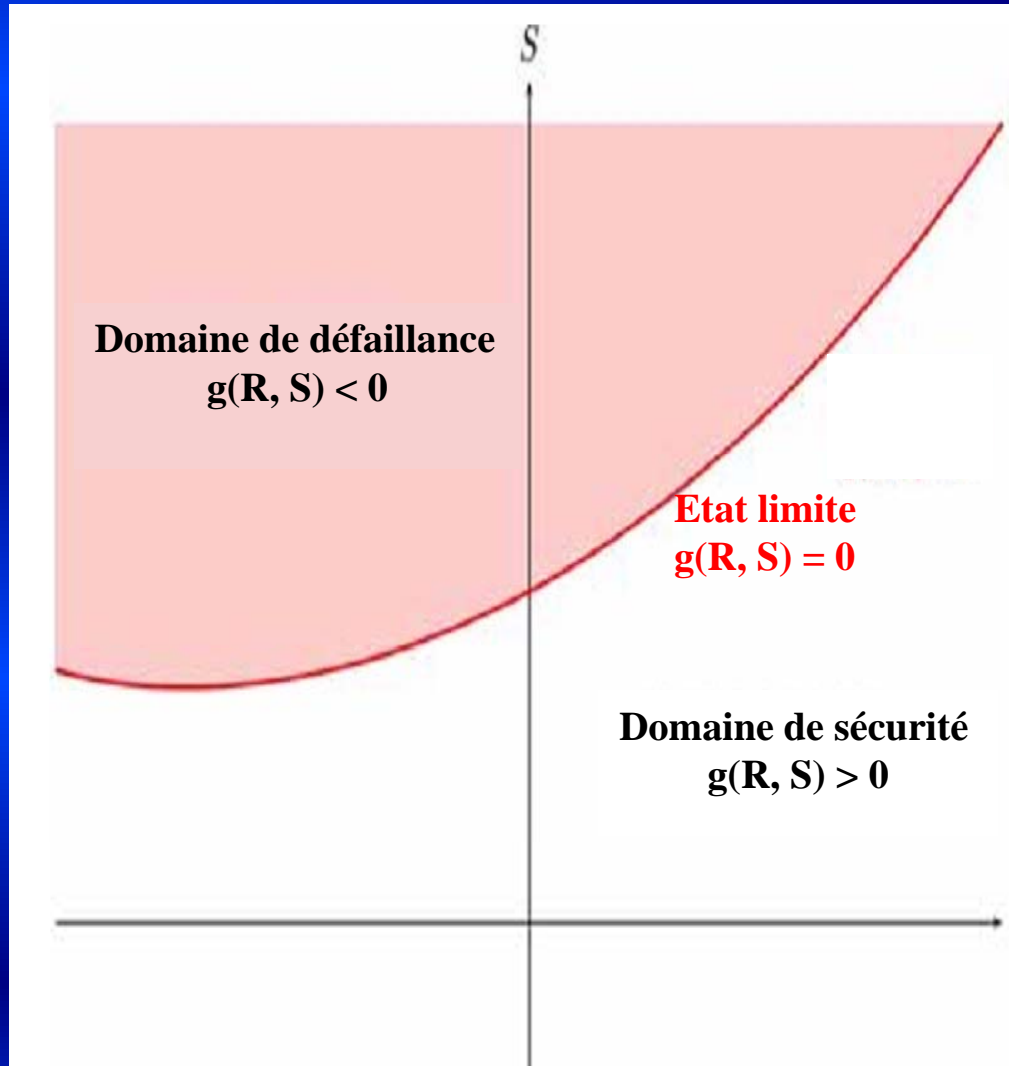


— Approche probabiliste ( $g(R, S)$ , loi de probabilité, théorie de la fiabilité pour évaluer  $P_f$  ou  $\beta$ )

$$P_f = P(R < S) \leq P_{f0} \quad \text{ou} \quad \beta \geq \beta_0$$

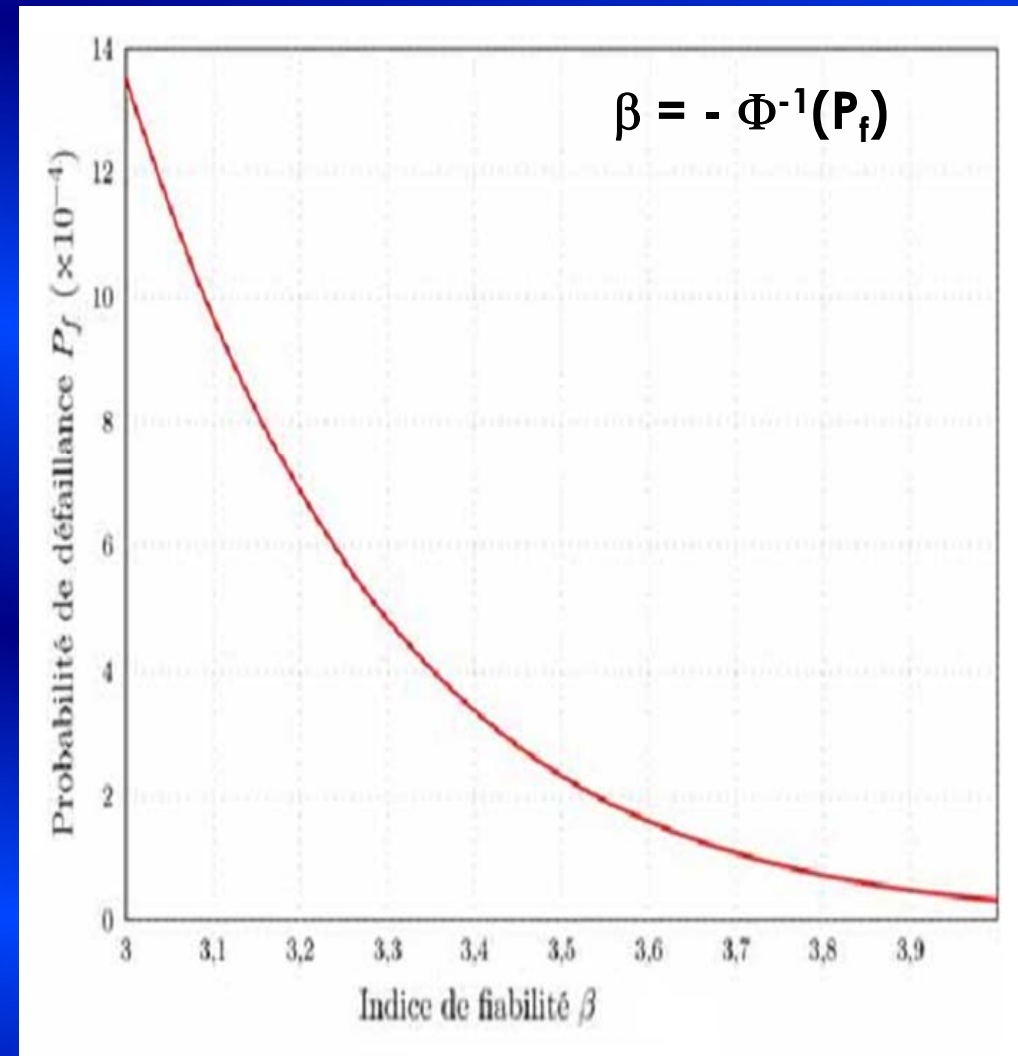
## 2- PRINCIPES DE LA THEORIE DE LA FIABILITE

- Mode de défaillance et fonction d'état limite (ou marge de sécurité)



Domaine de défaillance, état limite et domaine de sécurité.

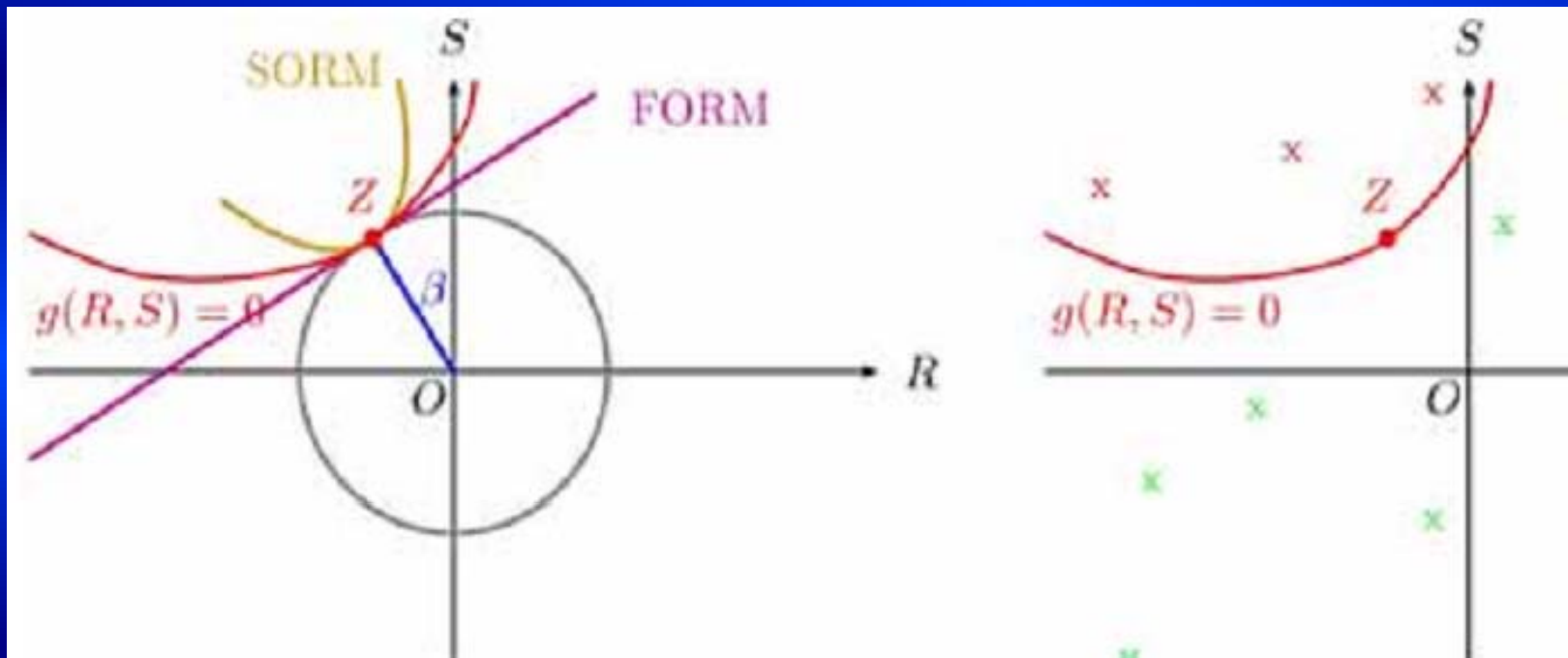
- Probabilité de défaillance et indice de fiabilité



Courbe de la probabilité  $P_f$  en fonction de l'indice de fiabilité  $\beta$  )

### 3- METHODES AVANCEES DE CALCUL

- **Méthodes de niveau II (probabilistes approchées)**
  - Hyperplan dans le cas de la méthode FORM
  - Hyper parabololoide dans le cas de la méthode SORM
- **Méthodes de niveau III (purement probabilistes : tirage aléatoire de V.A., R et S)**
- **Méthodes de niveau IV (probabilistes : Théorie de la décision , Optimisation stochastique)**



Méthodes d'estimation de prob. de défaillance  $P_f$ : niveau II (à gauche) et niveau III (à droite)

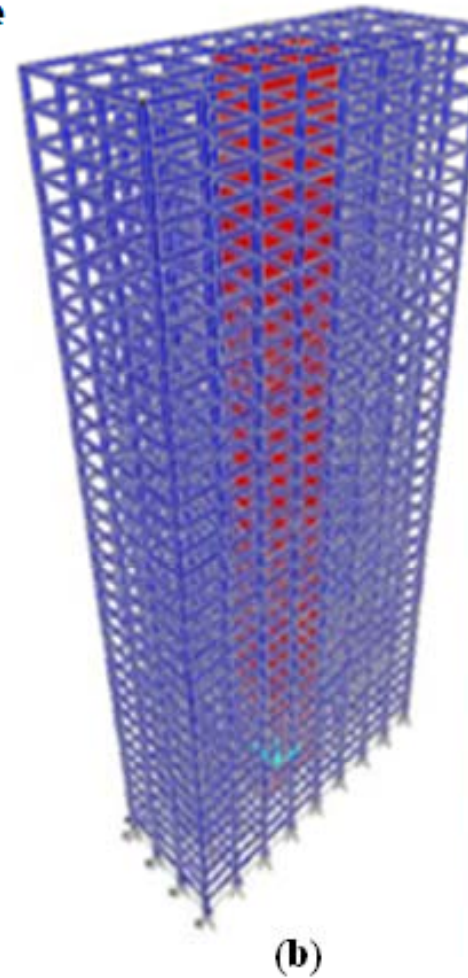
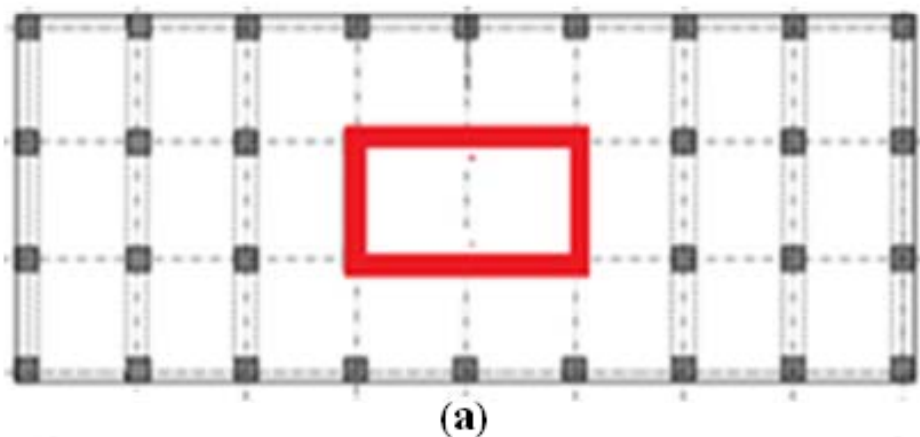
# □ EXEMPLES D'APPLICATION

## EXAMPLE 1: RELIABILITY ANALYSIS OF TALL BUILDING STRUCTURES WITH UNCERTAIN PARAMETERS

(24<sup>th</sup> Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, SMiRT24, Seoul, Korea, 2017)

Statistical data for 35 story tall building example

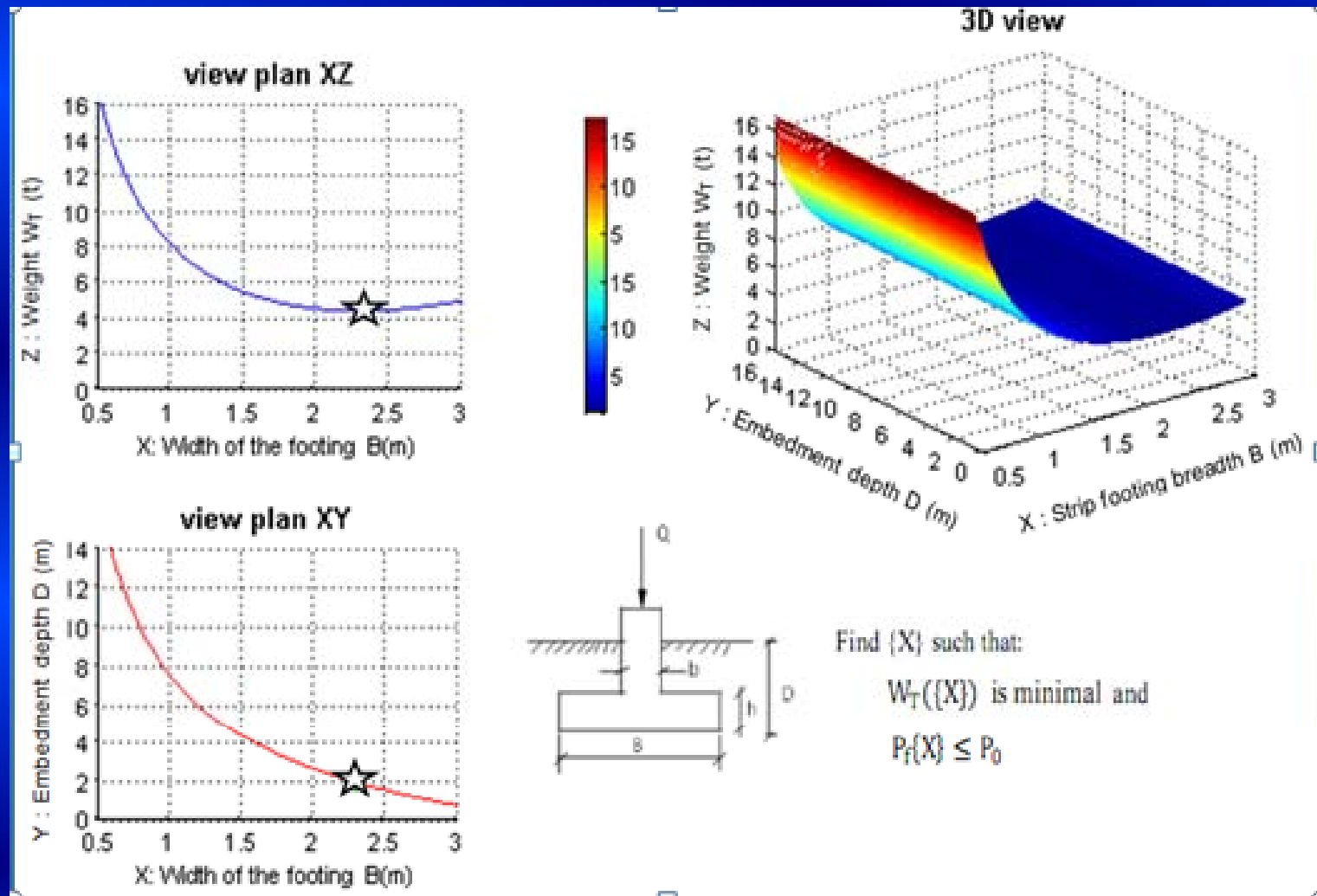
Stochastic variable	Symbol	Mean, $\mu$	Cov	Distribution	
Core	Inertia	$I_{cor}$	$313 \text{ m}^4$	0.05	N
Frame 1	Interior column	$I_{ic1}$	$0.083 \text{ m}^4$	0.05	N
	Exterior column	$I_{ec1}$	$0.050 \text{ m}^4$	0.05	N
	Girder	$I_{g1}$	$0.011 \text{ m}^4$	0.05	N
Frame 2	Interior column	$I_{ic2}$	$0.050 \text{ m}^4$	0.05	N
	Exterior column	$I_{ec2}$	$0.034 \text{ m}^4$	0.05	N
	Girder	$I_{g2}$	$0.005 \text{ m}^4$	0.05	N
Concrete elastic modulus	E	$2 \times 10^7 \text{ KN/m}^2$	0.15	LN	
Wind pressure	w	$1.17 \text{ KN/m}^2$	0.37	LN	



Plan view (a) and 3-D view (b) of 35-story wall-frame

# EXAMPLE 2: RELIABILITY BASED-OPTIMIZATION OF SHALLOW STRIP FOUNDATIONS AGAINST BEARING CAPACITY FAILURE

(Journal of Engineering Research, 2017)



Typical 3D view of variation of effective weight  $W_T$  versus fully correlated design variables  $B$  and  $D$  computed for  $P_f = 10^{-5}$ . Symbol  $\star$  corresponds to optimum values  $B_{opt}$ ,  $D_{opt}$  and  $W_{T, opt}$ .

## □ CONCLUSION GENERALE

- ✓ L'approche probabiliste est séduisante car elle permet de prendre en compte un très large spectre d'incertitudes bien que limitée par le manque d'informations statistiques précises sur les actions et les caractéristiques structurales et la complexité des calculs.
- ✓ La fiabilité est affectée par la variabilité de tous les paramètres incertains et de manière plus importante par le caractère aléatoire du chargement. Les effets sur la fiabilité se sont révélés plus prononcés pour une plus grande variabilité des variables stochastiques.
- ✓ La théorie fiabiliste aide à mieux comprendre le concept de sécurité et le problème de dimensionnement optimal des structures et fait apparaître la dépendance de la solution vis-à-vis de paramètres qui ne peuvent être considérés dans le cadre de l'approche déterministe.  
( $P_f$  cible, incertitudes des résistances et des sollicitations, ainsi que les corrélations entre les V. A. d'entrée).

**"Il faut placer le concept de sécurité dans le royaume de la réalité physique où il n'y a pas d'absolu et où la connaissance est incertaine" (H. Freundenthal 1905-1990)**



شكرا لكم على اهتمامكم

**Tanemirth Ghaf Thusgha Nwen**

**Merci pour votre aimable attention**

**Thank you for your kind attention**