

II - 1

Sécurité structurale

Philippe.Bouillard@ulb.ac.be
version 15 juillet 2011



Sécurité structurale

- approche déterministe
- approche semi-probabiliste
- exemples
 - [Frey, 2000, Vol. 2, Chap. 3]
 - [Massonet, 1992, Chap. 4]

Notion de sécurité structurale

■ Définition

toute structure doit être conçue
de manière à éviter sa mise hors service,
avec une marge appropriée,
pour l'ensemble des sollicitations prévues durant les
périodes de montage et d'exploitation
pendant la durée de vie d'un ouvrage

Sécurité structurale : incertitudes (1)

■ sollicitations en service

<< sollicitations de ruine

■ coeff. de sécurité = réserve + incertitudes

- actions : intensité, durée, statique-dynamique, point d'application, ...
- dispersion des propriétés mécaniques : défauts, contraintes internes, ...
- modification des propriétés mécaniques avec le temps : vieillissement, corrosion, ...

Sécurité structurale : incertitudes (2)

- imprécisions sur les dimensions :
tolérances de mise en œuvre, ...
- incertitudes sur la modélisation :
hypothèses simplificatrices, calculs approchés, ...
- malfaçons diverses

- pour connaître le degré réel de sécurité ...
expériences grandeur réelle

Ce que pense le papa de Calvin ...

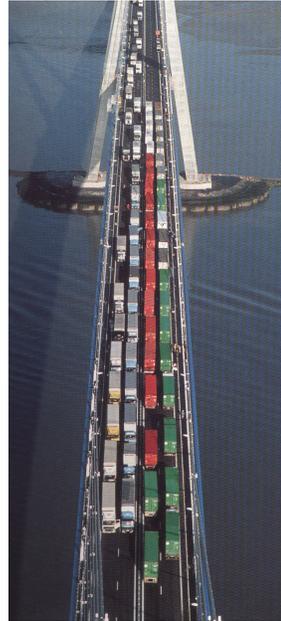
© Calvin and Hobbes



essai de chargement
avant mise en service

(80 camions
= 130 kN !)

Pont de Normandie, 1995
[Picon, 1997]



Conception déterministe de la sécurité

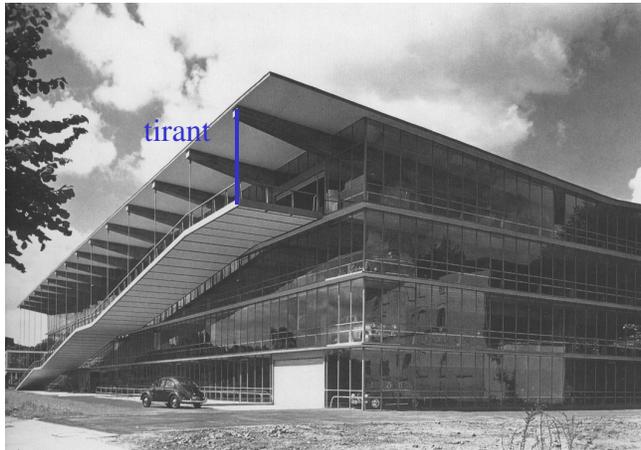
- Coefficient de sécurité global
 - $S(\gamma Q_{\max} \text{ en service}) \leq \text{charge de ruine}$
- Méthode des contraintes admissibles
 - hypothèse de linéarisation
(géométrique et matérielle)

$$\gamma \sigma_{\max} \text{ en service} \leq \sigma_{\text{ruine}}$$

- le critère de dimensionnement devient

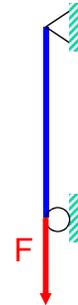
$$\sigma_{\max} \text{ en service} \leq \sigma_{\text{adm}} (= \sigma_{\text{ruine}} / \gamma) \quad ***$$

Conception déterministe : exemple

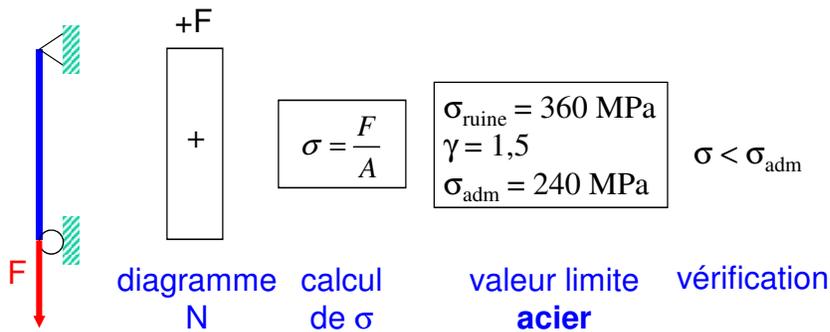


Haniel-Garage, Düsseldorf, 1950 [Gössel, 1991]

Schéma statique



Conception déterministe : exemple



Conception semi-probabiliste

- Notion probabiliste de la sécurité
 - historique : CEB 1953, CECM 1978, aujourd'hui Eurocodes tous matériaux
 - vise à une sécurité mieux définie
 - la vérification des contraintes admissibles ne suffit pas
 - tenir compte des incertitudes de manière probabiliste

États limites

- Définition
 - état dans lequel une structure n'est plus apte à remplir la fonction à laquelle elle est destinée
- États limites ultimes (ou de ruine) - ELU
 - ruine, effondrement, structure hors d'usage
- États limites de service (d'utilisation) - ELS
 - structure inutilisable, dangereuse mais récupérable

États limites ultimes (ELU)

- rupture
 - contrainte excessive, matériau déficient, boulons
- perte d'équilibre global
 - glissement, renversement
- instabilités
- rupture par fatigue
- rupture fragile de matériaux ductiles
- déplacements excessifs

Rupture



[Picon, 1997]



Instabilité (cloquage)



Northridge Earthquake, 1994 California

[\[http://www.schulich.ucalgary.ca/CSCE-Students/structural_earthquakes3.htm\]](http://www.schulich.ucalgary.ca/CSCE-Students/structural_earthquakes3.htm)

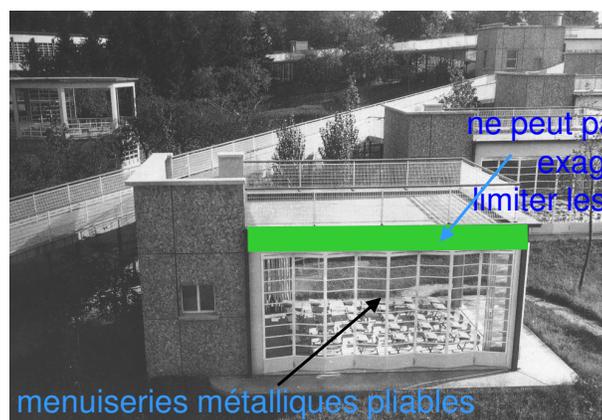
Etudes de cas

- Aéroport Charles De Gaulle (accident 23 mai 2004)
 - (Structurae, 2006),
 - Ministère du Transport, de l'équipement, ... (2006)
http://www.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=710
- Tours WTC New York (attentat 11 septembre 2001)
 - 9-11 Research site (2006) : <http://911research.wtc7.net/index.html>
- Accident du Titanic (15 avril 1912)
 - (2006) <http://perso.orange.fr/titanic/> (... 'les causes du naufrage')
- Accident Navette Columbia (1^{er} février 2003)
 - NASA rapport d'enquête (2006) <http://caib.nasa.gov/>
- Accident Concorde (25 juillet 2000)
 - Rapport (2006)
<http://www.concordesst.com/accident/accidentindex.html>
- Fracture de contrainte des os
 - <http://www.santetropicale.com/resume/8702.pdf>

États limites de service (ELS)

- structure trop déformable
 - perte de précision, blocage de mécanismes
- déplacements localement excessifs
 - tassement, instabilités
- vibrations exagérées
- fissuration excessive
- dégradations
 - corrosion, détérioration

Structure trop déformable



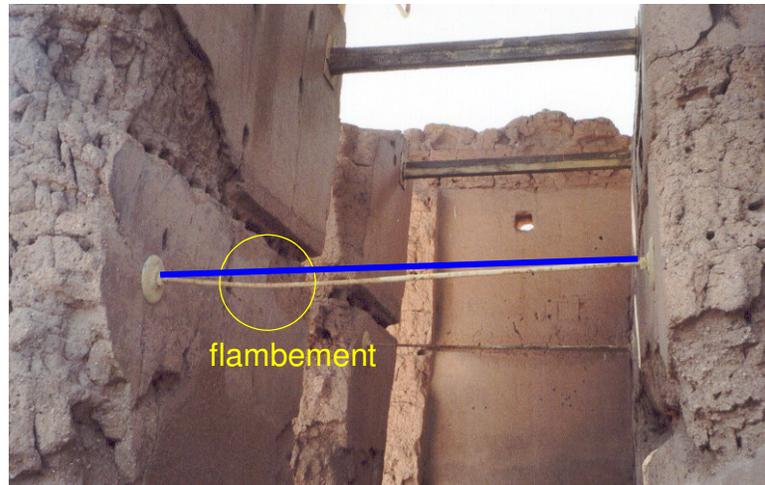
E. Beaudoin & M. Lods, Ecole en pleine air à Suresnes, 1935
[Gössel, 1991]

Instabilités ELS : flambement



Casa Grande Ruins, Hohokam village, Arizona, USA, 12ème siècle
[credits: PhB, 2001]

Instabilités ELS : flambement



Casa Grande Ruins, détail

Calculs aux états limites

- but : maintenir la probabilité d'atteindre un état limite inférieure à une certaine valeur

état limite	en service	en montage
ELU	10^{-5}	$4 \cdot 10^{-4}$
ELS	$5 \cdot 10^{-2}$	-

- approche semi-probabiliste

ELx : valeurs caractéristiques

- Notations : indice k
- les résistances caractéristiques (propriétés mécaniques au sens large)
- les actions caractéristiques
- la valeur caractéristique a une probabilité fixée pour que les valeurs effectives soient
 - inférieures pour les résistances
 - supérieures pour les actions

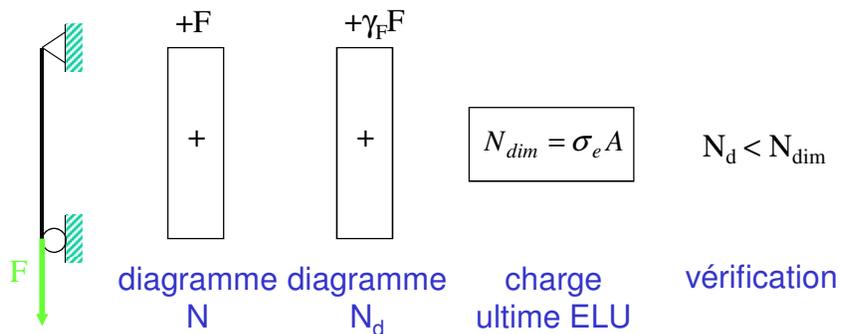
ELx : valeurs de calcul

- Notations : indice *dim* ou *d*
- autres facteurs d'incertitude : coefficients de pondération
 - facteurs de résistance (≤ 1)
 - facteurs de charge (≥ 1 si défavorable, ≤ 1 si favorable)

- condition de sécurité :

$$S_d \leq R_{dim}$$

Conception à l'ELU



Comparaison des 2 approches

- Contraintes admissibles
 - Déterministe
 - Critères de résistance
 - Coeff sécurité global
 - Linéarité géométrique
 - Linéarité matérielle
- Etats limites
 - Semi-probabiliste
 - Critères d'aptitude au service
 - Coeff partiels de sécurité
 - parfois
 - (-)

En pratique

- Aux séances d'exercices de ce cours
 - Formalisme états limites
 - Technicité EL hors propos pour le tronc commun
 - Critères choisis
 - Ex. limiter la contrainte à une valeur limite
- MAIS
 - Les étudiants CC+ARCH veilleront à transférer le formalisme EL pour tous les autres cours !!!