

PHIMECA

Evaluation fiabiliste et approche réglementaire

T. Yalamas⁽¹⁾, S. Moine⁽¹⁾, P. Lussou⁽³⁾, B.Sudret^(1,2)

⁽¹⁾Phimeca Engineering, Centre d'Affaires du Zénith, 34 rue de Sarliève,
F-63800 Couron d'Auvergne

⁽²⁾Clermont Université, IFMA, EA 3867, Laboratoire de Mécanique et Ingénieries,
BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand

⁽³⁾ Lafarge Centre de Recherche, 95 rue du Montmurier, 38070 St Quentin Fallavier Cedex



Sommaire

- ☐ Contexte / enjeux
- ☐ Principe de l'étude
- ☐ L'Eurocode et ses interprétations
- ☐ Quelques résultats
- ☐ Conclusions / Perspectives

Confidentiel

© Phimeca Engineering



Confidentiel

© Phimeca Engineering



JNFiab 2010

T. Yalamas, P. Lussou - 24 Mars 2010



Contexte

Contexte et enjeux

- ☐ Contexte réglementaire établi pour des bétons « standards » (ACI 318, EUROCODE 2) caractérisé par sa résistance en compression (les autres propriétés sont déduites par des règles empiriques)
=> potentiellement pénalisant pour des bétons innovants
- ☐ Eurocode 0 : indication d'indices de fiabilité cibles
=> idée : se placer dans un cadre probabiliste en adéquation avec la norme
- ☐ Difficulté : comment passer des coefficients partiels / valeurs caractéristiques à un modèle mécano-probabiliste



Principe de l'étude

Méthodologie

☐ Eurocodes

- Incertitudes liées aux variabilités des matériaux, des action, et aux erreurs de modèles de calcul
=> couvertes par l'utilisation de combinaisons coefficients partiels / valeurs caractéristiques

C'est un code de calcul semi-probabiliste

- Annexe 0 : ouvre la voie à l'utilisation d'approches probabilistes avec des valeurs cibles de l'indice de fiabilité

Etat limite	Valeur cible de l'indice annuel		Valeur cible de l'indice en 50 ans	
	Indice β	Probabilité de défaillance	Indice β	Probabilité de défaillance
Ultime	4,7	$1,3 \cdot 10^{-6}$	3,8	$7,2 \cdot 10^{-5}$
Fatigue	-	-	1,5 à 3,8	$7,0 \cdot 10^{-2}$ à $7,2 \cdot 10^{-5}$
Service	3,0	$1,35 \cdot 10^{-3}$	1,5	$7,0 \cdot 10^{-2}$

Valeurs cible de l'indice de fiabilité β dans l'annexe C de l'Eurocode 0 pour des éléments structuraux de type RC2 (CC2)

Démarche retenue

☐ Principales étapes

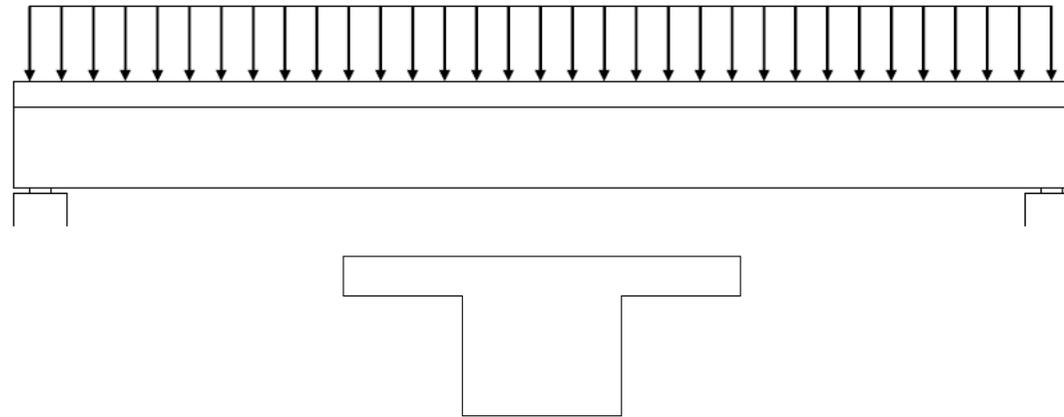
1. Dimensionnement déterministe
2. Construction d'un modèle mécano-probabiliste cohérent avec le dimensionnement déterministe
3. Evaluation mécano-probabiliste du niveau de fiabilité obtenu (avec le dimensionnement déterministe)

Confidentiel

© Phimeca Engineering



Exemple retenu : poutre en T



- Poutre béton armé à section en T
- Placée sur 2 appuis
- Chargement uniformément réparti
- Environnement XC3, structure prévue pour une durée d'utilisation de 50 ans (classe structurale S3)
- Béton de classe C35, armatures hautes adhérences de classe B

	Acier	Béton
Module d'Young	200 000 MPa	34 077 MPa
Résistance caractéristique	500 MPa	35 MPa

L'Eurocode et son interprétation

Basé sur : Saint Martin, Calgaro, 2005,
Les Eurocodes – Conception des bâtiments et
des ouvrages de Génie Civil,
Editions Le Moniteur.



Résistance / Module d'Young du béton

- ☐ Lien résistance / module d'Young - déterministe

$$E_C = 22 \times \left(\frac{f_{C \text{ comp}}}{10} \right)^{0,3} \quad [\text{en GPa}]$$

$$f_{C \text{ comp}} = f_{C \text{ comp } k} + 8 \quad [\text{en MPa}]$$

- ☐ Lien résistance / module d'Young - probabiliste

- Variables aléatoires corrélées
- Valeurs caractéristiques conservées

Coefficients partiels pour l'acier

☐ Coefficients partiels pour l'acier : déterministe

- Pour les ELS : $\gamma_{SELS} = 1$
- Pour les ELU : $\gamma_{SELU} = 1,15$

☐ Coefficients partiels pour l'acier : probabiliste

- Pour les ELS : $\gamma_{SELS} = 1$
- Pour les ELU : $\gamma_{SELU} = 1,1$

$$\gamma_{SELU} = \gamma_{S1} * \gamma_{S2} * \gamma_{RD}$$

γ_{S1} Transformation du fractile caractéristique à 0,05 en un fractile à 0,005 pour un COV de 0,005

γ_{S2} Perte de section par corrosion à long terme

γ_{RD} Incertitude sur la position des armatures

Coefficients partiels pour le béton

☐ Coefficients partiels pour le béton : déterministe

- Pour les ELS : $\gamma_{CELS} = 1$
- Pour les ELU : $\gamma_{CELU} = 1,5$

☐ Coefficients partiels pour le béton : probabiliste

- Pour les ELS : $\gamma_{SELS} = 1$
- Pour les ELU : $\gamma_{CELU} = 1,21$

$$\gamma_{CELU} = \gamma_{C1} * \gamma_{C2} * \gamma_{RD}$$

γ_{C1} 1,24 : transformation du fractile caractéristique à 0,05 en un fractile à 0,005 pour un COV de 0,005 si la dispersion est lognormale

γ_{C2} Facteur de conversion de la résistance standardisée à celle d'une éprouvette prélevée par carottage (maturité)

γ_{RD} Incertitudes de modèle de résistance et imprécisions d'exécution de la structure



Quelques résultats

Calcul déterministe

Vérification déterministe de la poutre : OK EC2

Etat limite Matériau Chargement	ELU béton	ELU acier	ELS béton caractéristique	ELS acier caractéristique	ELS béton quasi permanent
Contraintes [MPa]	23,3	446	12,8	324	9,3
Limite admissible [MPa]	23,3	470	21,0	400	16,0
Taux de saturation du critère	100 %	95 %	61 %	81 %	58 %
Validation	OK	OK	OK	OK	OK

Confidentiel

© Phimeca Engineering



Calcul probabiliste

Modèle probabiliste

Variables	Distribution	Moyenne [MPa]	Coefficient de variation [-]
E_c	Lognormale	36 113	0,2
f_c	Lognormale	52,2	0,23
E_s	Lognormale	200 000	0,02
f_s	Lognormale	544	0,05

+ coefficient de corrélation linéaire = 0,9 entre E_c et f_c

Algorithme utilisé : méthode FORM

Résultats

Critères	Probabilité de défaillance (indice de fiabilité)
ELU - béton	$4,78 \cdot 10^{-3}$ (2,59)
ELU - acier	$2,02 \cdot 10^{-3}$ (3,54)

Calcul probabiliste

Résultats fiabilistes – ELU Béton

Variables	U*	X*	Facteurs d'importance	Gamma
E_c	-2,34	21032 MPa	81%	0,0
f_c	-1,12	28,2 MPa	19%	1,0
E_s	0,0	199960 MPa	0%	0,0
f_s	0,0	543 MPa	0%	0,0

Résultats fiabilistes – ELU Acier

Variables	U*	X*	Facteurs d'importance	Gamma
E_c	0,0	33414 MPa	0%	0,0
f_c	0,0	50,9 MPa	0%	0,0
E_s	0,0	199963 MPa	0%	0,0
f_s	-3,54	455 MPa	100%	1,0

Calcul probabiliste

Résultats fiabilistes – ELU Béton

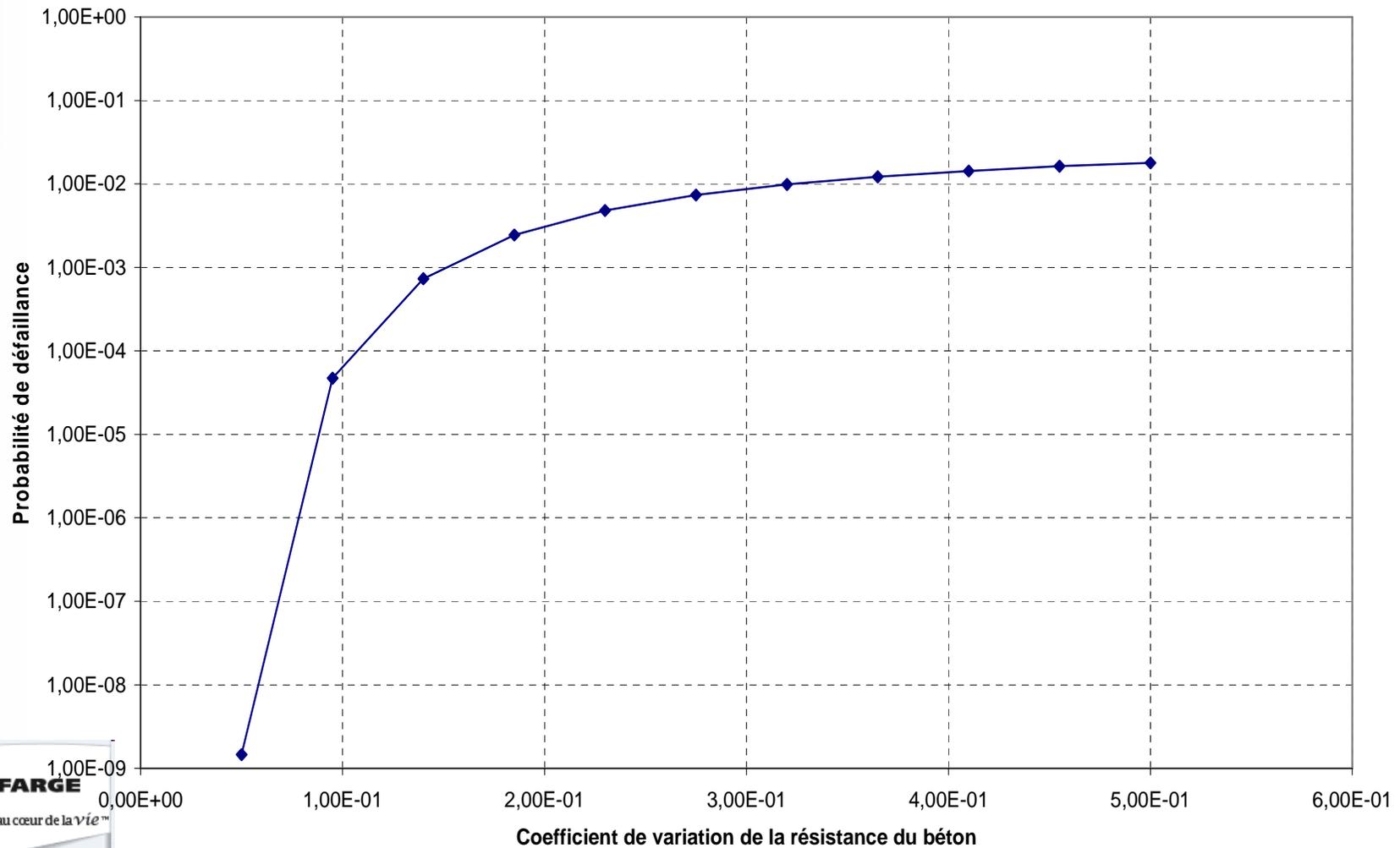
Variables	U*	X*	Facteurs d'importance	Gamma
E_c	-2,34	21032 MPa	81%	0,0
f_c	-1,12	28,2 MPa	19%	1,0
E_s	0,0	199960 MPa	0%	0,0
f_s	0,0	543 MPa	0%	0,0

Résultats fiabilistes – ELU Acier

Variables	U*	X*	Facteurs d'importance	Gamma
E_c	0,0	33414 MPa	0%	0,0
f_c	0,0	50,9 MPa	0%	0,0
E_s	0,0	199963 MPa	0%	0,0
f_s	-3,54	455 MPa	100%	1,0

Calcul probabiliste – Analyse paramétrique

ELU - Contrainte dans le béton





Conclusions / Perspectives

Conclusions / Perspectives

- ☐ Recherche d'un cadre d'application d'utilisation des approches probabilistes reconnu de tous
 - Pas encore simple avec l'Eurocode : le passage déterministe / probabiliste suppose une interprétation des Eurocodes
- ☐ Attention à l'interprétation des indices cible : fiabilité d'un élément / fiabilité du système
- ☐ Faut-il chercher une stricte équivalence entre approche déterministe et approche probabiliste ?

Confidentiel

© Phimeca Engineering

