

Journées Techniques Ouvrages d'Art 2014



Étude de l'actualisation des coefficients partiels pour l'évaluation de familles d'ouvrages existants

Jérôme Michel, Claire Marcotte, Christian Crémona, Raphaëlle Sadone, Bruno Vion, Benoît Poulin CEREMA

André Orcesi, Anne-Sophie Colas IFSTTAR

Problèmes posés par les règlements et les normes

Coefficients partiels couvrant un large ensemble d'incertitudes

- structures existantes ?
- nouveaux matériaux...?
- matériaux anciens ou vieillissants ?
- mesures in situ ?

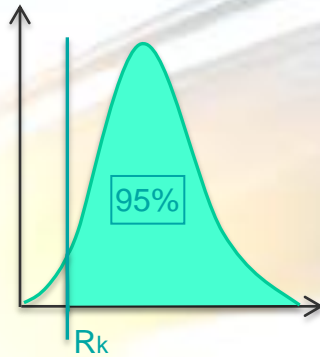
Démarche de l'évaluation structurale

Niveau	Résistance / Modèles de charges	Calculs	Analyse
1	Résistance et charges du règlement pour ouvrages neufs	Simples	Semi-probabiliste avec coefficients du règlement
2			
3			
4	Introduction des mesures in situ	Complexes	Semi-probabiliste avec coefficients modifiés
5	Lois de probabilité		Probabiliste

Méthodes de calcul

Méthode semi-probabiliste

- État limite
 $R \geq S$
- Valeurs caractéristiques et coefficients partiels



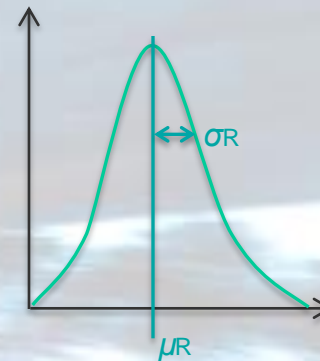
$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

$$S_d = \gamma_S \cdot S_k$$

- Calcul déterministe
 $R_d \geq S_d$

Méthode probabiliste

- État limite
 $R \geq S$
- Variables aléatoires



$$R \sim \text{Loi}(\mu_R; \sigma_R)$$

$$S \sim \text{Loi}(\mu_S; \sigma_S)$$

- Calcul probabiliste
 $P(R < S) \leq P_{f0}$

Besoins

Cas hors « norme »

- Etre capable de faire un calcul en « probabilité »
- Etre capable de ré-ajuster les coefficients partiels
 - dans des cas simples
 - en présence de données spécifiques (inspections)

Actualisation des coefficients partiels de sécurité

Méthodologie

- Choix d'un état limite ELU selon les Eurocodes (ex : $M_{\text{résistant}} \geq M_{\text{sollicitant}}$)
- Choix des variables aléatoires (VA) (ex : $\rho_c, A_s \dots$)
 - Variables mesurables lors d'investigations
 - Coefficients partiels de l'ELU
 - Variables influentes dans le calcul probabiliste
- Calcul de la probabilité de défaillance acceptable P_{f0}
- Actualisation des coefficients partiels afin d'atteindre la probabilité de défaillance acceptable P_{f0}

Exemple de coefficients partiels actualisés

Poids volumique ρ_c du béton pour les PSIDA

Coefficient γ_G Pour le poids volumique du béton		Coefficient de variation (CdV)			
		2%	5%	7%	10%
Biais (v)	0,90	1,35	1,37	1,43	1,58
	1,00	1,33	1,35	1,43	1,59
	1,10	1,31	1,35	1,44	1,60

$v = (\text{valeur mesurée}) / (\text{valeur caractéristique})$

$CdV = (\text{écart type}) / (\text{valeur moyenne})$

Familles d'ouvrages étudiés

PSIDA (DTER Ouest)

PICF (DTER Centre Est)

PSIDP (DTER Méditerranée)

VIPP (DTER Nord Picardie)

Famille d'ouvrages : VIPP

Viaduc à travées Indépendantes à Poutres
Préfabriquées précontraintes par post-tension

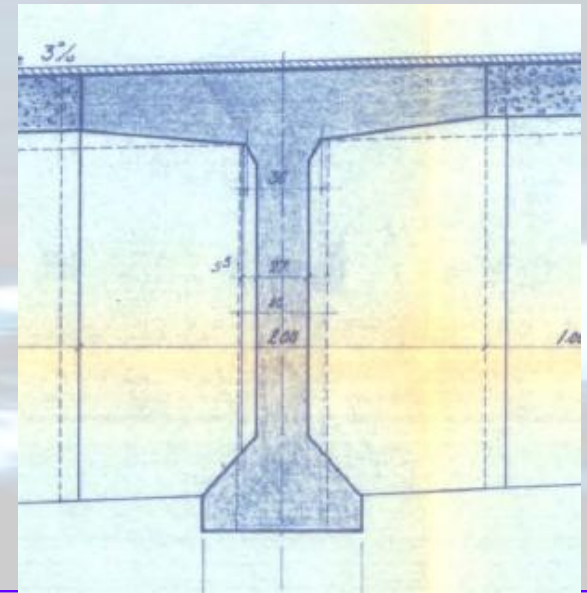
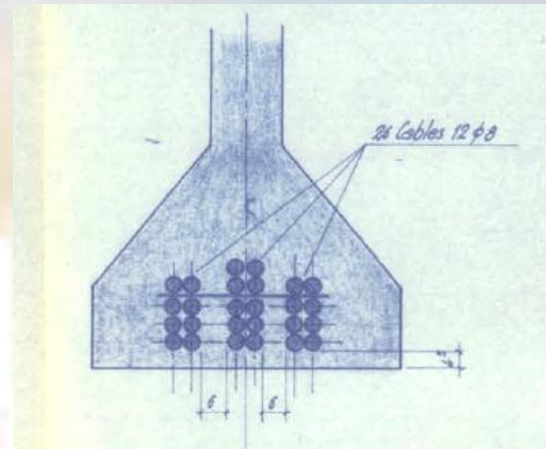


Application de la méthodologie d'actualisation à
12 ouvrages de la Dir Nord

Famille d'ouvrages : VIPP

État limite considéré (ELU)

- Flexion d'une poutre en section médiane
- Vérification du non dépassement du moment résistant ultime



Famille d'ouvrages : VIPP

Actualisation des coefficients partiels de sécurité de 4 variables

Variables aléatoires	Coefficients partiels ELU γ – Eurocodes
Limite élastique conventionnelle à 0,1 % des câbles de précontrainte ($f_{p0,1}$)	$\gamma_p = 1,15$
Section des câbles de précontrainte (A_p)	$\gamma_A = 1$
Moment des superstructures (M_s)	$\gamma_S = 1,35$
Poids volumique du béton (ρ_c)	$\gamma_G \times 1,03$ avec $\gamma_G = 1,35$

Famille d'ouvrages : VIPP

Coefficients partiels actualisés pour les 12 OA
et pour les 4 variables

$f_{p0,1}$, A_p , M_s , ρ_c

Coefficient γ_s Pour M_s		Coefficient de variation (CdV)		
		10%	15%	20%
Biais (v)	0,80			
	1,00			1,35
	1,20			

Famille d'ouvrages : VIPP

Détermination des coefficients partiels actualisés

« famille VIPP »
pour les 4 variables

$f_{p0,1}$, A_p , M_s , ρ_c

Moment des superstructures Ms					Fractile à 95 %		
Coefficient γ_s	N° OA	Coefficient de variation			Coefficient de variation		
		10%	15%	20%	10%	15%	20%
0.80	0	0.876	1.023	1.212			
	1	1.066	1.168	1.304			
	2	1.076	1.173	1.302			
	3	0.966	1.087	1.245			
	4	0.925	1.059	1.234			
	5	1.106	1.190	1.303			
	6	0.921	1.059	1.235			
	7	0.985	1.101	1.253	1.11	1.19	1.31
	8	0.964	1.086	1.247			
	9	0.996	1.108	1.256			
	10	1.019	1.124	1.265			
1.00	0	0.968	1.138	1.350			
	1	1.070	1.192	1.350			
	2	1.082	1.198	1.350			
	3	1.025	1.167	1.350			
	4	0.995	1.152	1.350			
	5	1.114	1.215	1.350			
	6	0.991	1.151	1.350			
	7	1.036	1.173	1.350	1.11	1.21	1.35
	8	1.020	1.164	1.350			
	9	1.044	1.177	1.350			
	10	1.058	1.185	1.350			
1.20	0	1.035	1.223	1.453			
	1	1.078	1.217	1.393			
	2	1.091	1.224	1.392			
	3	1.070	1.230	1.432			
	4	1.047	1.221	1.439			
	5	1.124	1.240	1.395			
	6	1.044	1.221	1.438			
	7	1.075	1.230	1.428	1.12	1.24	1.45
	8	1.063	1.226	1.431			
	9	1.081	1.232	1.426			
	10	1.090	1.234	1.420			
11	1.097	1.235	1.414				

Biais (v)

Famille d'ouvrages : VIPP

Grilles des coefficients partiels actualisés
« famille VIPP »

Limite d'élasticité des câbles de précontrainte $f_{p0.1k}$					
Coefficient γ_p		Coefficient de variation			
		4%	7%	10%	
Biais (v)	0.80	1.15	1.44	1.86	
	0.90	1.15	1.44	1.86	
	1.00	1.15	1.44	1.86	
	1.10	1.15	1.44	1.86	
	1.20	1.15	1.44	1.86	
Section des câbles de précontrainte A_p					
Coefficient γ_A		Coefficient de variation			
		2%	3%	6%	
Biais (v)	0.80	1.00	1.05	1.47	
	0.90	1.00	1.05	1.47	
	1.00	1.00	-	-	
Moments des superstructures M_s					
Coefficient γ_s		Coefficient de variation			
		10%	15%	20%	
Biais (v)	0.80	1.11	1.19	1.31	
	1.00	1.11	1.21	1.35	
	1.20	1.12	1.24	1.45	
Poids volumique du béton ρ_c					
Coefficient γ_G		Coefficient de variation			
		2%	5%	7%	10%
Biais (v)	0.90	1.36	1.41	1.49	1.66
	1.00	1.34	1.39	1.49	1.67
	1.10	1.32	1.39	1.49	1.68

Famille d'ouvrages : VIPP

Utilisation pratique des grilles de coefficients partiels actualisés

- Investigation sur les superstructures (épaisseur de chaussée)

Situation	Moment de superstructures	Coefficients partiels ELU
Initiale	$M_{s.1}$	$\gamma_{s.1} = 1,35$
De recalcul	$M_{s.2}$	$\gamma_{s.2} = ?$

Famille d'ouvrages : VIPP

Utilisation pratique des grilles de coefficients partiels actualisés

- Investigation sur les superstructures

$$v = (\text{valeur mesurée}) / (\text{valeur caractéristique}) = M_{s.2} / M_{s.1}$$

$$CdV = (\text{écart type}) / (\text{valeur moyenne}) \Rightarrow \gamma_{S.2} = 1,19$$

Coefficient γ_S		Coefficient de variation (CdV)		
		10%	15%	20%
Biais (v)	0,80	1,11	1,19	1,31
	1,00	1,11	1,21	1,35
	1,20	1,11	1,24	1,45

Famille d'ouvrages : VIPP

Cas d'investigations/mesures sur plusieurs variables

- Possibilité d'utiliser plusieurs coefficients partiels actualisés « famille VIPP » donnés par les grilles

Nota : Vérification des probabilités de défaillance

Conclusions et perspectives

Grilles de coefficients partiels actualisés disponibles

- Par famille d'ouvrages (PSIDA, PICF, PSIDP, VIPP)
- Pour un état limite donné (ELU)

Perspectives

- Généraliser la démarche à d'autres EL et familles d'ouvrages
- Préciser les incertitudes de mesure
- Élargir l'éventail des méthodes d'investigation

Pour aller plus loin

- *Théorie de la fiabilité – Application à l'évaluation structurale des ouvrages d'art.* Rapport d'études Sétra, février 2012
- *Évaluation structurale des ouvrages existants par approche fiabiliste.* Bulletin Ouvrages d'Art n°67, mai 2012.
- *Calibration of partial safety factors for the assessment of existing bridges.* IABSE Symposium, Rotterdam, Pays-Bas, mai 2013

Merci de votre participation



Jérôme Michel
Cerema - DTITM

Claire Marcotte
Cerema – DTer NP