

Journées Techniques Ouvrages d'Art 2014



Évaluation de l'impact
de la nouvelle législation
sismique sur la performance
et le coût des ouvrages

Denis Davi

Bruno Vion

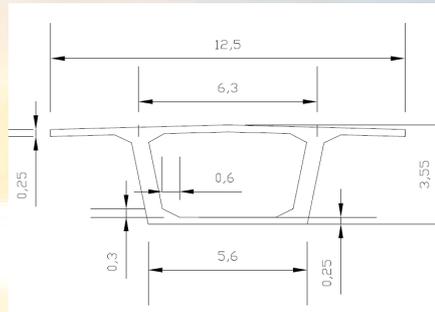
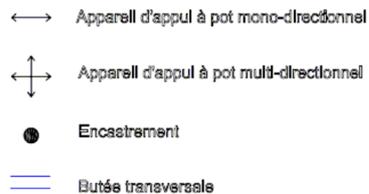
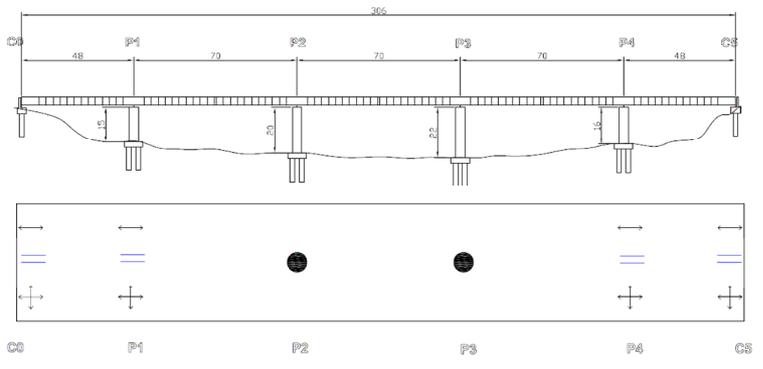
Plan de l'exposé



- Résultats de précédentes études
- Présentation des ouvrages testés
- Démarche adoptée et objectifs
- Principaux résultats et enseignements

Résultats de précédentes études

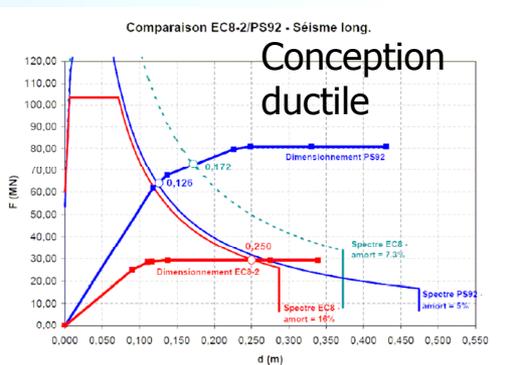
Présentation succincte (cf. JOA 2012 et 2013)



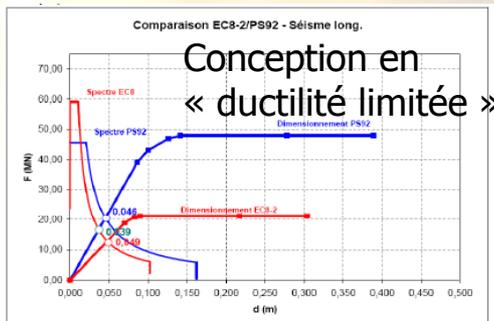
- Ouvrage théorique de grandes dimensions en béton précontraint
- Différents contextes et choix de conception :
 - Zone 5 (Antilles) et cat. IV
➔ Conception ductile
 - Zone 4 (Métropole) et cat. III
➔ Conception ductilité limitée

Résultats de précédentes études

Principales conclusions (cf. JOA 2012 et 2013)



- La meilleure prise en compte de l'endommagement structural dans l'EC8-2 (*hypothèse inertie fissurée en ductile et $q=1,5$ en ductilité limitée*) conduit à :



- Une optimisation des efforts de dimensionnement (réduction sensible de la densité d'armatures dans les appuis)
- Une augmentation du même ordre des déplacements estimés (facteur 1,5 à 2)

Résultats de précédentes études

Principales conclusions *(cf. JOA 2012 et 2013)*

- Comparaisons PS92 / EC8-2 à poursuivre et tendances à confirmer sur des cas d'ouvrages réels :
 - Ouvrages de différentes typologies (notamment OA courants) préalablement conçus et dimensionnés aux PS92
 - Différentes situations et contextes sismiques

Présentation des ouvrages testés

Le pont de St-André de la Roche (06)



– Portique droit BA, ouverture 21,54 m

– Hyp. PS92 :

- Zone II, classe B, sol S1
- Conception élastique ($q=1$)

EC8 et nouvelle législation sismique nationale :

- Zone 4 (moyenne), cat. II, sol B
- $q=1$ (portique enterré à + de 80%)

Présentation des ouvrages testés

L'OA19 de la LEO en Avignon (84)



- PSDP sur AA élastomère fretté, mono-travée 20,80 m
- Hyp. PS92 :
 - Zone Ia, classe C, sol S2
 - Conception élastique ($q=1$) : AA + butées transversales

EC8 et nouvelle législation sismique nationale :

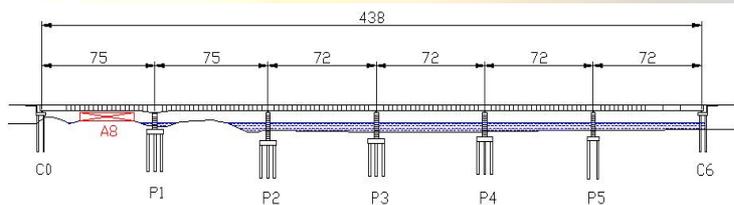
- Zone 3 (modérée), cat. III, sol B
- $q=1$ (isolation sismique) selon dir. Long. ; $q=1,5$ (murs) selon dir. Trans.

Présentation des ouvrages testés

Le pont sur le Var à St-Isidore (06)



- Pont caisson BP courbe (438 m – 6 travées)
- Hyp. PS92 :
 - Zone II, classe D, sol S1
 - Conception ductile ($q=3$) + amortisseurs longitudinaux



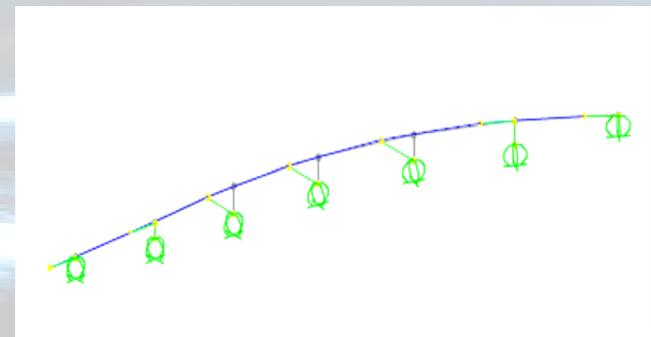
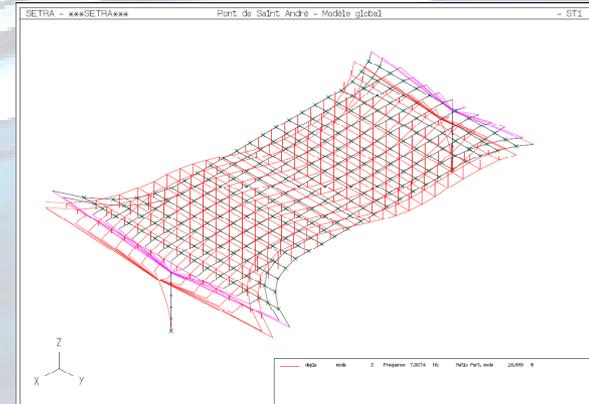
EC8 et nouvelle législation sismique nationale :

- Zone 4 (moyenne), cat. IV, sol C
- Conception ductile + amortisseurs (a priori)

Démarche adoptée et objectifs

Principes

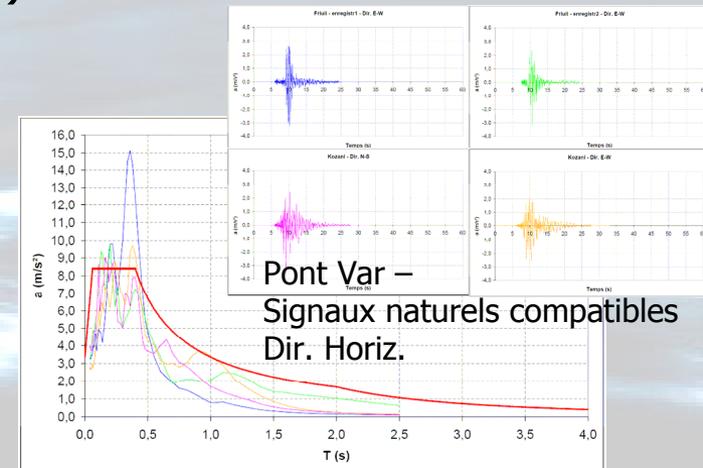
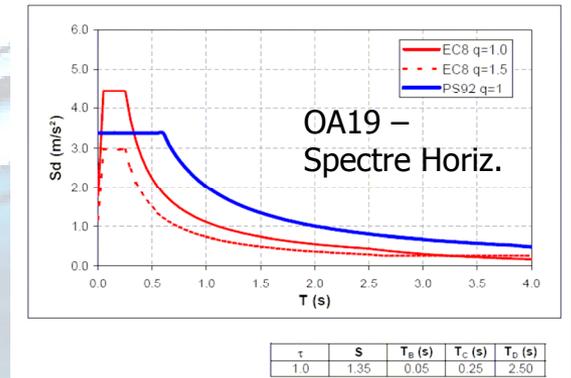
- Approche strictement réglementaire (**redimensionnement**)
- Mêmes choix de conception initiaux
- Mêmes méthodes d'analyse (*si compatible avec nouvelle norme*)
- Mêmes modèles de calcul (*si disponibles*)



Démarche adoptée et objectifs

Principes

- Mise à jour paramètres de calcul « structuraux » :
 - Caractéristiques matériaux (BAEL → EC2)
 - Coefficients de comportement
 - Inertie équivalente fissurée (conception ductile)
- Mise à jour paramètres sismiques :
 - Accélérations de calcul
 - Spectres (ou accélérogrammes)



Démarche adoptée et objectifs

Principes

- Évaluation des sollicitations sismiques induites :
 - Efforts et déplacements inertiels
 - Poussée dynamique des terres
- Évaluation des sollicitations de dimensionnement et règles de justification :
Coeff. de sécurité, règles de cumul, semelles superficielles, AA, souffles joints de chaussée, butées parasismiques...
- Éléments de chiffrage
Y compris impact dispositions constructives forfaitaires

Démarche adoptée et objectifs

Objectifs

- Caractérisation de l'impact respectif de chaque étape ou paramètre de calcul
 - Depuis la définition de l'aléa de calcul réglementaire...
... jusqu'aux critères de justification locaux
- Évaluation de l'impact financier global
- Identification des points de divergence les plus critiques

Principaux résultats et enseignements

	Pont de St-André la Roche (Ouvrage de type portique - 06)	OA19 de la LEO en Avignon (Ouvrage de type DP sur appareils d'appui élastomère - 84)	Pont sur le Var à St-Isidore (Pont caisson en béton précontraint - 06)
Accélération de calcul (horizontale/verticale) au rocher	-36%	-12% / +13%	-36% / -18%
Coeff. sismiques / Réponse spectrale (intégrant amplification dynamique et effets de site) aux périodes propres de l'ouvrage (dir. horizontale hors coefficient de comportement)	-14%	-46% à +32%	-27 à -63%
Sollicitations sismiques principales (de calcul) :			
- d_{long}	X	-39%	+33%
- $M_{solicitant_pieds\ de\ pile / piédroit}$	-5%	+19%	-50 à -6%
- Efforts sismiques verticaux <small>tablier</small>		+80%	
Eléments de dimensionnement :			
- $M_{résistant_pieds\ de\ pile / piédroits}$		+20%	-54 à -15%
- $T_{dimensionnement_fûts\ de\ pile / piédroits}$		+24%	-54 à -15%
- $M_{dimensionnement\ fondations}$		+4%	-60 à -4%
- Ferrailage long maxi rotules / zones critiques	idem		-53%
- Confinement (armatures trans) rotules / zones critiques	-66%	idem	idem
- Ratio d'acier moyen appuis	-25%	idem	-31%
- Souffle jdc / garde-grève	X	+24% à +63%	+33%
- Résistance nominale butées	X	+1% à +18%	-62 à -7%

Sismicité augmentée d'un niveau dans le nouveau zonage

Majoration calcul incrément dynamique poussée des terres (Mononobe-Okabe)

Prise en compte séisme « de service » pour joints de chaussée « fusibles »

Remultiplication par q des efforts tranchants + coef. sécurité

Principaux résultats et enseignements

	Pont de St-André la Roche (Ouvrage de type portique - 06)	OA19 de la LEO en Avignon (Ouvrage de type DP sur appareils d'appui élastomère - 84)	Pont sur le Var à St-Isidore (Pont caisson en béton précontraint - 06)
Accélération de calcul (horizontale/verticale) au rocher	-36%	-12% / +13%	-36% / -18%
Coeff. sismiques / Réponse spectrale (intégrant amplification dynamique et effets de site) aux périodes propres de l'ouvrage (dir. horizontale hors coefficient de comportement)	-14%	-46% à +32%	-27 à -63%
Sollicitations sismiques principales (de calcul) :			
- d_{long}	X	-39%	+33%
- $M_{solicitant_pieds\ de\ pile / piédroit}$	-5%	+19%	-50 à -6%
- Efforts sismiques verticaux <small>tablier</small>		+80%	
Eléments de dimensionnement :			
- $M_{résistant_pieds\ de\ pile / piédroits}$			-54 à -15%
- $T_{dimensionnement_fûts\ de\ pile / piédroits}$		+20%	-54 à -15%
- $M_{dimensionnement\ fondations}$		+24%	-60 à -4%
- Ferrailage long maxi rotules / zones critiques	idem	+4%	-53%
- Confinement (armatures trans) rotules / zones critiques	-66%	idem	idem
- Ratio d'acier moyen appuis	-25%	idem	-31%
- Souffle jdc / garde-grève	X	+24% à + 63%	+33%
- Résistance nominale butées	X	+1% à +18%	-62 à -7%

Effet prise en compte
inertie fissurée

Principaux résultats et enseignements

	Pont de St-André la Roche (Ouvrage de type portique - 06)	OA19 de la LEO en Avignon (Ouvrage de type DP sur appareils d'appui élastomère - 84)	Pont sur le Var à St-Isidore (Pont caisson en béton précontraint - 06)
Accélération de calcul (horizontale/verticale) au rocher	-36%	-12% / +13%	-36% / -18%
Coeff. sismiques / Réponse spectrale (intégrant amplification dynamique et effets de site) aux périodes propres de l'ouvrage (dir. horizontale hors coefficient de comportement)	-14%	-46% à +32%	-27 à -63%
Sollicitations sismiques principales (de calcul) :			
- d_{long}	X	-39%	+33%
- $M_{solicitant_pieds}$ de pile / piédroit	-5%	+19%	-50 à -6%
- Efforts sismiques verticaux <small>tablier</small>		+80%	
Eléments de dimensionnement :			
- $M_{résistant_pieds}$ de pile / piédroits			-54 à -15%
- $T_{dimensionnement_fûts}$ de pile / piédroits		+20%	-54 à -15%
- $M_{dimensionnement}$ fondations		+24%	-60 à -4%
- Ferrailage long maxi rotules / zones critiques	idem	+4%	-53%
- Confinement (armatures trans) rotules / zones critiques	-66%	idem	idem
- Ratio d'acier moyen appuis	-25%	idem	-31%
- Souffle jdc / garde-grève	X	+24% à + 63%	+33%
- Résistance nominale butées	X	+1% à +18%	-62 à -7%

Dispositions constructives
moins contraignantes et/ou
plus localisées

Principaux résultats et enseignements

	Pont de St-André la Roche (Ouvrage de type portique - 06)	OA19 de la LEO en Avignon (Ouvrage de type DP sur appareils d'appui élastomère - 84)	Pont sur le Var à St-Isidore (Pont caisson en béton précontraint - 06)
Conception parasismique générale	Inchangée	Inchangée	Quasi-inchangée
Géométrie, matériaux, fondations...	Remise en cause ou adaptation fondations superficielles (glissement)	Remise en cause fondations superficielles (glissement + portance !)	Quasi-inchangée
Comportement « pressenti » sous séisme de calcul	Idem	Acceptation d'un niveau de plastification un peu plus élevé dans les piédroits (ductilité limitée selon direction transversale)	Diminution du degré de plastification des piles
Coût global	-2,8%	X	-6%

Conception « ductilité limitée » suffisante (diminution acc de calcul + inertie fissurée)
Remplacement amortisseurs par connecteurs dynamiques

Principaux résultats et enseignements



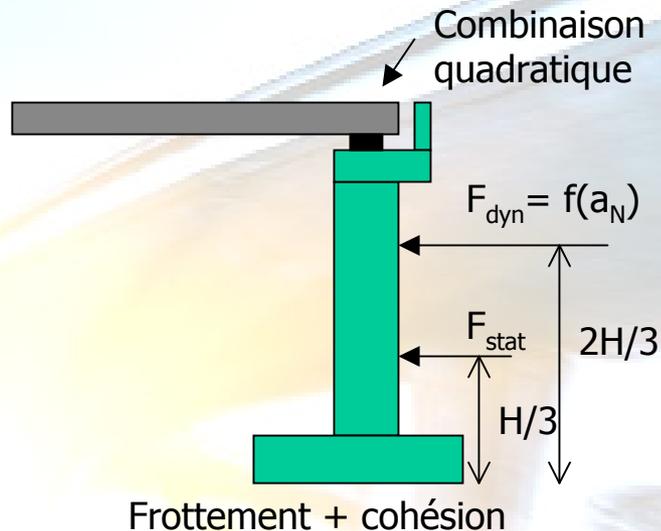
➔ Résultats assez variables d'un type de structure à l'autre, mais quelques tendances générales :

- EC8-2 globalement + favorable (- conservatif) pour le dimensionnement des sections des appuis et les dispositions constructives
- Augmentation des déplacements sismiques (souffles, sauf cas isolation AA) et des sollicitations verticales (tabliers précontraints)
- **Remise en cause des solutions de fondation sur semelles superficielles (notamment murs de soutènement)**

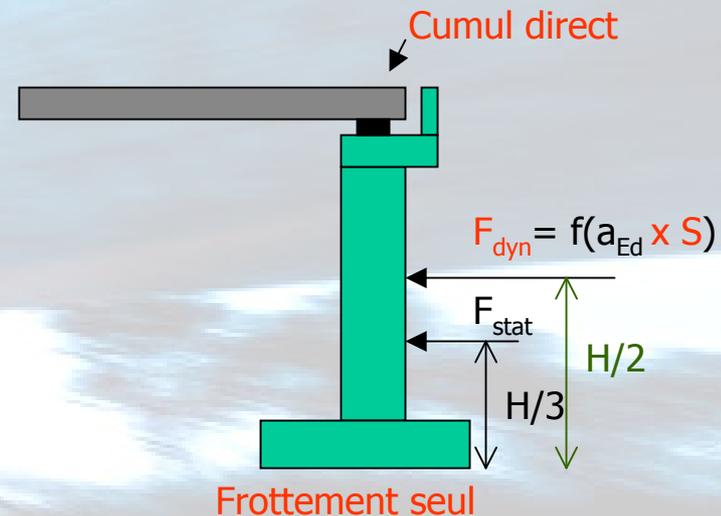
Principaux résultats et enseignements

Problématique particulière des murs fondés sur semelles superficielles
(constatation récurrente)

Anciennes règles PS92



Nouvelle norme EC8-5



Principaux résultats et enseignements

Problématique particulière des murs fondés sur semelles superficielles
(constatation récurrente)

- ➔ ● Rédaction prévue d'une note d'information spécifique
- Quelques pistes envisagées :
 - Ré-introduire la cohésion du sol dans l'analyse
 - Autoriser une augmentation « artificielle » du coefficient de frottement par des dispositions techniques ou constructives (*bêches, scellements d'armatures, traitement de surface, indentations...*)
 - Définir un niveau de glissement « acceptable » par l'ouvrage

Merci de votre participation



Cerema / DTerMed

PCI « Vulnérabilité des ouvrages
de Génie Civil aux aléas
sismiques et hydrauliques »

Denis DAVI

Adjoint au responsable du pôle /

Référent risque sismique et infrastructures

Tel : 04 42 24 76 81 (ou 04 72 14 32 25)

denis.davi@cerema.fr