

LES PLÉNIÈRES 2010 DU LCPC ET DU Sétra

Sciences et techniques
du **Génie Civil**

**JOURNÉES
OUVRAGES D'ART**
LILLE - 16 ET 17 JUIN 2010

PRESENTATION DES GUIDES SEISME (EC8-2 + OA Existants) en cours de finalisation

P. Charles

D. Davi

A. Vivier

J.-P. Deveaud

D. Criado

A.-M. Duval

- EdF (ex-Sétra)

- **CETE Méd. / DOA**

- Systra (ex-Sétra)

- **Sétra**

- CETE Méd. / LRPC Aix

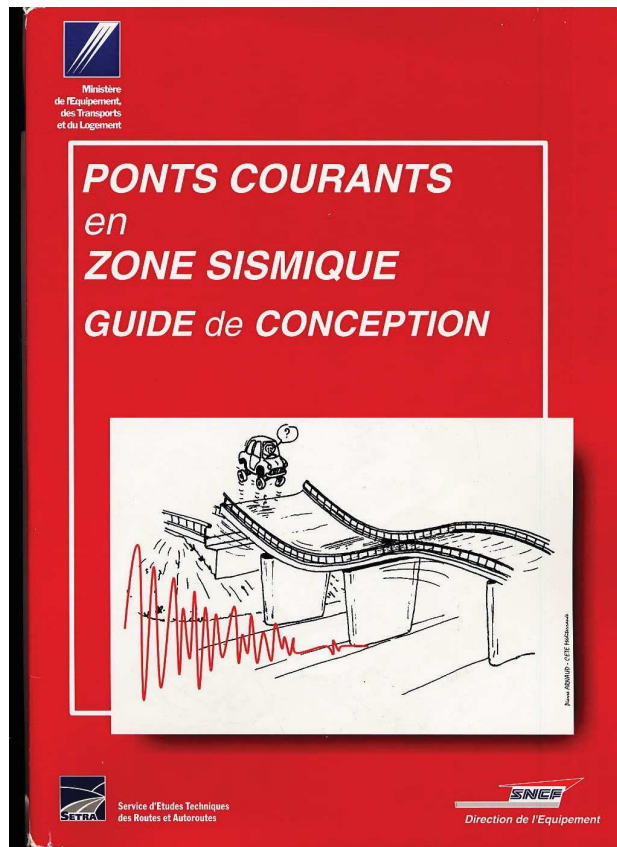
- CETE Méd. / LRPC Nice

SOMMAIRE

- Refonte du guide de conception « Ponts en zone sismique » pour les OA neufs
- Guide méthodologique « Diagnostic et renforcement sismique des ponts existants »

(Problématiques et enjeux, sommaire, contenu succinct et spécificités, état d'avancement...)

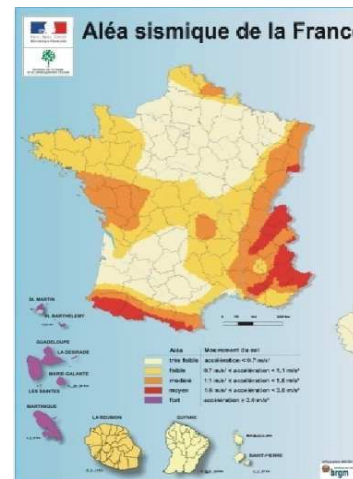
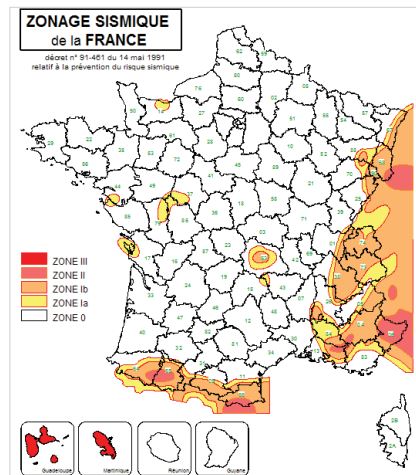
Refonte du guide de conception des OA neufs : « Ponts en zone sismique »



Refonte du guide de conception des OA neufs : « Ponts en zone sismique »

• Problématique et enjeux

- Nouveau référentiel normatif (l'EC8 remplace les règles PS92)
- Nouveau zonage national (décret d'application toujours pas publié!)



- Élargissement du champ d'application aux OA non-courants

Refonte du guide de conception des OA neufs : « Ponts en zone sismique »

• Refonte du sommaire

Auteurs	4	4	Analyse sismique	73
PREAMBULE	8		4.1 Préambule : Choix d'une stratégie de conception parasismique et méthodes d'analyse associées	73
<u>1 Introduction</u>	10		4.2 Détermination des actions sismiques	78
1.1 Finalité du guide	10		4.3 Combinaisons d'action	94
1.2 Textes concernant la protection parasismique des ponts	10		4.4 Construction du modèle de calcul	98
1.3 Responsabilités particulières du maître d'ouvrage	15		4.5 Méthodes d'analyse simplifiées	121
<u>2 Généralités sur les phénomènes sismiques</u>	18		4.6 Méthodes d'analyse sophistiquées	143
2.1 Action sismique	18		<u>5 Dimensionnement et vérifications de résistance</u>	180
2.2 Principes de base du calcul dynamique des structures	30		5.1 Calculs justificatifs de l'ouvrage	180
<u>3 Conception des ponts en zone sismique</u>	51		5.2 Organes d'appui des tabliers	201
3.1 Généralités sur le comportement sismique des ponts	51		5.3 Dispositions constructives	213
3.2 Définition du niveau de protection – Exigences de bases fixées par l'Eurocode 8-2	53		5.4 Equipements	235
3.3 Différentes stratégies de conception parasismique des ponts	53		<u>6 Ponts-cadres et portiques</u>	244
3.4 Principes généraux de conception	56		6.1 Introduction	244
3.5 Choix de structure	61		6.2 Détermination des paramètres	244
3.6 Choix du système d'appui de l'ouvrage	62		6.3 Combinaisons et vérifications	244
3.7 Conception des piles, des culées et des fondations	68		6.4 Sollicitations dues au séisme	245
3.8 Dispositions constructives	70		6.5 Conclusion	250

Refonte du guide de conception des OA neufs : « Ponts en zone sismique »

• Refonte du sommaire

7	Annexes	252
7.1	Annexe 1: Exemple de dimensionnement d'un pont dalle en zone sismique (JPD) 252	
7.2	Annexe 2 : Exemple de dimensionnement d'un pont mixte sur néoprènes en zone sismique (AH).....	252
7.3	Annexe 3 : Exemple de dimensionnement d'un pont caisson BP en zone sismique (DD) 252	
7.4	Annexe 4 : Approches, méthodes de calcul et technologies introduites ou normalisées pour la 1 ^{ère} fois dans le cadre de l'Eurocode 8	253
7.5	Annexe 5 : Exemples de définitions de "spectres enveloppes".....	254

Refonte du guide de conception des OA neufs : « Ponts en zone sismique »

- **Spécificités et principales modifications apportées par l'EC8 (et le projet de futur arrêté)**
 - **Représentation de l'aléa sismique**
 - **Nouveau zonage**
 - **Caractéristiques spectrales**
 - **Spectres prédivisés par q**
 - **Catégories et coefficients de sol**
(règnent sur tous le spectre)
 - **Possibilité de prendre en compte le séisme en phase de construction**



Auteur : Sétra

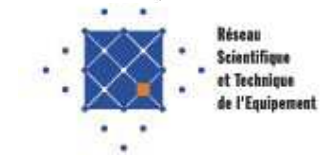
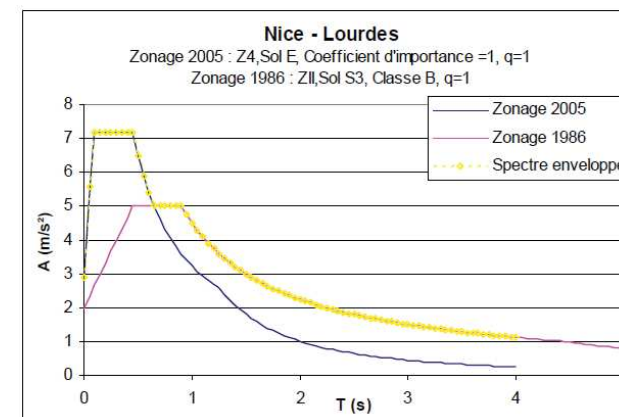
février 2010



Ouvrages d'art

32

2010 - Application des Eurocodes
Recommandations pour l'Eurocode 8 "Calculs des structures pour leur résistance aux séismes"



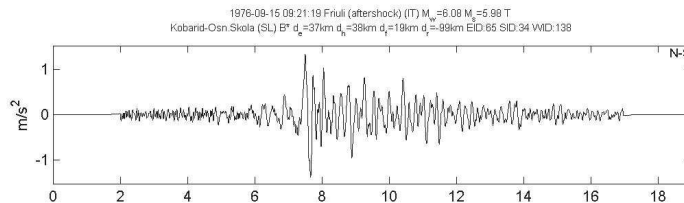
Refonte du guide de conception des OA neufs : « Ponts en zone sismique »

- **Spécificités et principales modifications apportées par l'EC8 (et le projet de futur arrêté)**
 - **Modifications pour les conceptions et calculs « classiques »**
 - Valeurs de q
 - Notion de « ductilité limitée »
 - Calculs en inerties fissurées
 - Prises en compte forfaitaire du biais et des effets du 2nd ordre
 - Dispositions constructives
 - Disparition du principe de butées « de sécurité »
 - Remplacement de la vérification du critère de cohérence par la notion de « dimensionnement en capacité »
 - ...

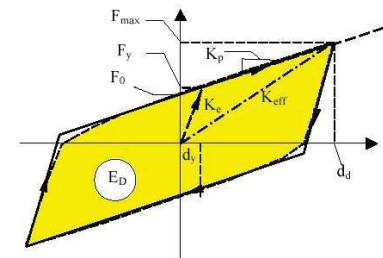
Refonte du guide de conception des OA neufs : « Ponts en zone sismique »

- **Spécificités et principales modifications apportées par l'EC8 (et le projet de futur arrêté)**
 - **Prise en compte des dernières avancées scientifiques et technologiques**
 - **Méthodes de calculs sophistiquées (Push-over, analyses dynamique temporelles à partir d'accélérogrammes...)**
 - **Modélisation des dispositifs amortisseurs**
 - **Variabilité spatiale de l'action sismique**

...



Source : Vinci



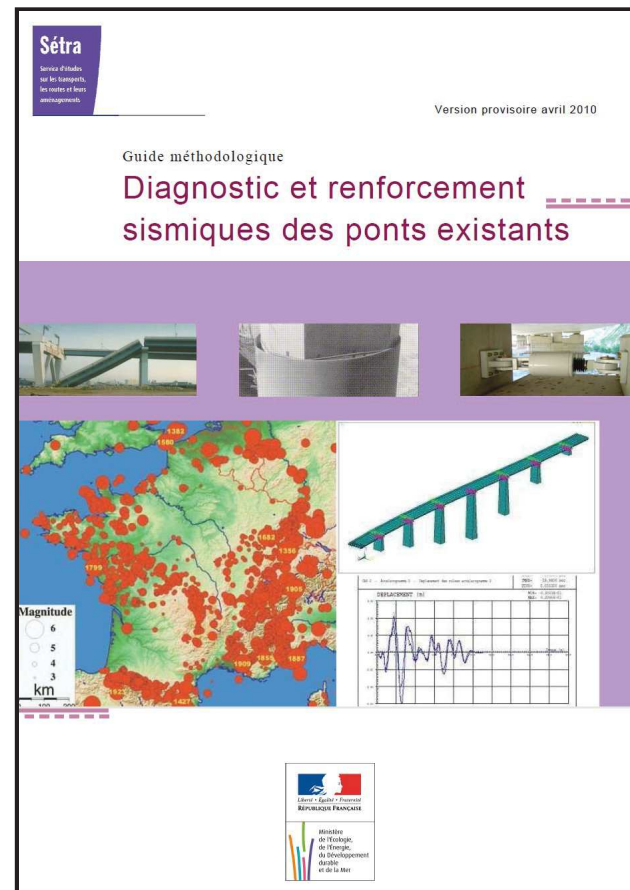
Refonte du guide de conception des OA neufs : « Ponts en zone sismique »

- **État d'avancement**

Dernières phases d'intégration des remarques issues de la relecture externe

(GT initié en juin 2007)

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »



Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

• Problématique et enjeux

PS92 : 1^{ères} règles de conception parasismique « modernes » en France

➔ **Vulnérabilité potentielle des constructions conçues avant 1995**

« La circulaire du 26 avril 2002 relative à la prévention du risque sismique encourage les propriétaires publics ou privés de bâtiments, équipements et installations de classe C ou D à procéder à une démarche de diagnostic et éventuellement de renforcement de leurs ouvrages existants vis-à-vis de l'aléa sismique. »

Manques méthodologiques et réglementaires concernant cette problématique :

- Quels ouvrages traiter en priorité ?
- Quelles méthodes d'analyses pour les diagnostiquer ?
- Quel niveau de performance à atteindre par leur renforcement ?
- A quel coût ?

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

• Problématique et enjeux

S'inscrit dans la continuité des approches mises au point pour l'évaluation du risque sismique à l'échelle des itinéraires (approches Sismoa et Sisroute) :

1^{ère} phase : Identification rapide des ouvrages les plus exposés et sensibles

2^{ème} phase : Diagnostic détaillé des ouvrages jugés prioritaires et projet de renforcement le cas échéant

Cible préférentiellement le renforcement des ouvrages situés dans des zones de sismicité forte ou modérée et présentant un fort enjeu socio-économique (itinéraires structurants ou desserte d'équipements stratégiques) en vue d'une réduction sensible et économiquement pertinente de leur niveau de vulnérabilité.

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

• Sommaire

1 - Retours d'expérience et état de l'art	12	5 - Méthodes d'analyse pour le diagnostic sismique des ponts existants	130
1.1 - Introduction	12	5.1 - Introduction	130
1.2 - Généralités sur le comportement sismique des ponts	12	5.2 - Inventaire des méthodes, limites et domaines d'emploi	131
1.3 - État de l'art des pratiques dans le monde	35	5.3 - Hypothèses de calcul et principes de modélisation	133
2 - Méthodologie générale et aspects décisionnels	45	5.4 - Critères d'endommagement associés aux différents états-limites	158
2.1 - Introduction	45	5.5 - Méthodes d'analyse en force	171
2.2 - Identification des ouvrages prioritaires	46	5.6 - Méthodes d'analyse en déplacement : analyse en poussée progressive (Push-Over)	175
2.3 - Méthodologie générale des études de diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants	63	5.7 - Analyses dynamiques temporelles	197
2.4 - États-limites et niveaux sismiques de référence	65	5.8 - Murs de culées et ouvrages de soutènement	202
2.5 - Bilan du diagnostic sismique : définition des indices de performance (ou vulnérabilité sismique calculée)	68	5.9 - Cas particulier des ponts en maçonnerie	205
2.6 - Décision de renforcement et niveau de performance à atteindre	68	6 - Stratégies et techniques de renforcement parasismique	211
3 - Caractérisation et représentation des aléas sismiques	76	6.1 - Introduction	211
3.1 - Introduction	76	6.2 - Différentes stratégies de renforcement envisageables	211
3.2 - Aléa vibratoire	76	6.3 - Techniques de renforcement : descriptions, domaines d'emploi et éléments de dimensionnement	215
3.3 - Effets induits – Description et caractérisation des phénomènes	101	6.4 - Comparaison technico-économique des différentes stratégies et techniques de renforcement	236
4 - Recueil de données, investigations sur site et coefficients de sécurité associés aux niveaux de connaissance des ouvrages	115		
4.1 - Introduction	115		
4.2 - Données d'entrées nécessaires à l'analyse sismique des ouvrages	116		
4.3 - Investigations et auscultations des ouvrages	117		
4.4 - Coefficients de sécurité associés aux niveaux de connaissance des ouvrages	125		

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

• Sommaire

Annexe 1.1 : Méthodologie Sismoa pour l'évaluation préliminaire de la vulnérabilité aux séismes des ouvrages d'art existants.....	240
Annexe 1.2 : Méthodologie Sisroute pour l'évaluation préliminaire du risque sismique sur les itinéraires routiers.....	261
Annexe 2 : Base de donnée accélérométrique pour l'analyse sismique des ouvrages.....	274
Annexe 3 : Caractéristiques mécaniques probables des matériaux en fonction des périodes de construction.....	288
Annexe 4.1 : Exemple d'application de la méthode de hiérarchisation des ouvrages à un tronçon d'itinéraire autoroutier.....	300
Annexe 4.2 : Exemple de diagnostic et avant-projet de renforcement sismique d'un ouvrage autoroutier non courant.....	315
Annexe 4.3 : Exemple d'instrumentation dynamique d'un ouvrage (le viaduc de Brassilly sur le Fier).....	340
Annexe 4.4 : Exemple d'application de la méthode Push-Over dans le cadre du diagnostic sismique d'un ouvrage (Warth Bridge).....	346

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

- Présentation succincte du contenu
- Choix des ouvrages à diagnostiquer

Indice d'importance et classification

$$I_1 = I_{itin 1} + I_{OA 1} = \dots / 100$$

(court terme, gestion crise)

$$I_2 = I_{itin 2} + I_{OA 2} = \dots / 50$$

(long terme, reprise activité socio-éco.)

$$I = I_1 + I_2 = \dots / 150$$

(0 < I < 50 : Importance socio-économique faible)

(50 < I < 100 : Importance socio-économique moyenne)

(100 < I < 150 : Importance socio-économique élevée)

➔ Catégorie I

➔ Catégorie II

➔ Catégorie III

Ouvrages devant faire l'objet d'une analyse détaillé :

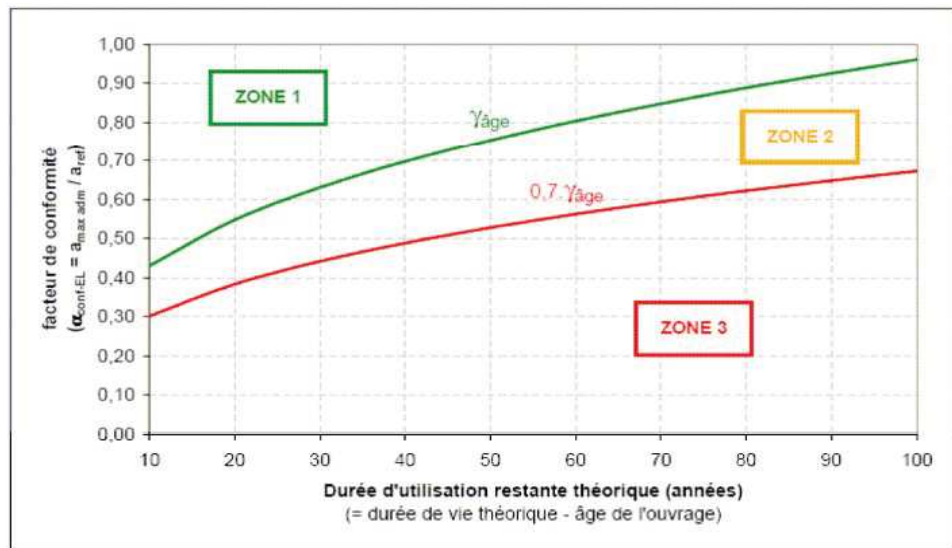
Ouvrages tels que : $R \times I_{ouvr} > 50$

(Exclut de fait la catégorie I)

I Ouvrage	Victimes directes			I _{Vit,OA} = ...		
	Trafic sur l'ouvrage (en véh/j)	<1000 : 1	1k<.<10k : 2		>10 000 : 3	
	Surface de tablier (m ²)	< 200 : 1	200< <4000 : 2		> 4000 : 3	
	Fréq embouteillage sur ouvrage	nulle : 0	moyenne : 1,5	élevée : 3		
	Voie franchie :					
	Type de voie	RD, frêt Snctf : 1	RN, TER : 2	Autoroute, TGV : 4		
	Trafic sous l'ouvrage (en véh/j)	<1000 : 1	1k<.<10k : 2	>10 000 : 4		
	Fréq embouteillages sous ouvrage	nulle : 0	2	élevée : 4		
	Réseaux vitaux franchis	oui : 2 non : 0				
	Organisation des secours			I _{Sec,OA} = ...		
Franchissement d'un itinéraire vital au sens des PIS	oui : 4 non : 0					
Desserte immédiate de centre vital (caserne pompier, hôpital, base militaire, préfecture...)	oui : 4 non : 0					
Possibilités de rétablissement à court terme pour véhicules de secours			I _{Restab,OA} = ...			
Réparabilité (pont courant à typologie peu vulnérable)	oui : - 2 non : 3					
Possib. de point de secours (brèche<40 m)	oui : - 3 non : 3					
Possib. de déviation locale (échangeur, nœud urbain)	oui : - 3 non : 3					
I _{OA 1} = ...						
(= I _{Vit,OA} + I _{Sec,OA} + I _{Restab,OA})						
I _{OA 2} (long terme)	Rôle socio-économique voie franchie			I _{Sec,OA} = ...		
	Type voie	VC : 0	RD : 1		RN, frêt, TER : 2	Autoroute, TGV : 3
	Nb voies	1 voie : 0	2 voies : 0,5		3 ou 4 voies : 1	>= 5 voies : 2
	Trafic (en véh/j)	<1000 : 0	1k<.<10k : 0,5	>10 000 : 1		
	Trafic PL	faible : 0 normal : 0,5 élevé : 1				
	Rôle de desserte	village : 0	aggl. pôle d'act. : 0,5	régional : 1	national : 2	
	Réseaux franchis	oui : 1 non : 0				
	Possibilités de reconstruction de l'ouvrage			I _{Rec,OA} = ...		
	Durée de reconstruction	< 6 mois : -1	6 < < 24mois : 2		> 2ans : 4	
	Valeur intrinsèque de l'ouvrage			I _{Val,OA} = ...		
Coût	< 1 M € : 0,5	1 < < 15 M € : 1	15 < < 60 M € : 2		> 60 : 4	
Valeur patrimoniale historique (ouvrage classé)	oui : 2 non : 0					
I _{OA 2} = ...						
(= I _{Rec,OA} + I _{Val,OA} + I _{Sec,OA})						

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

- Présentation succincte du contenu
 - Définition du niveau de performance optimal

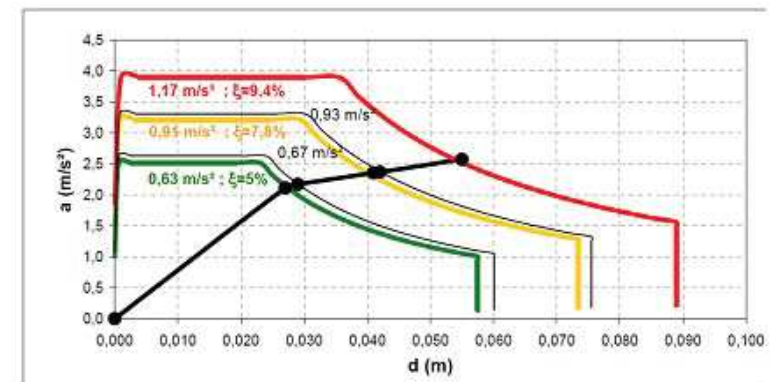
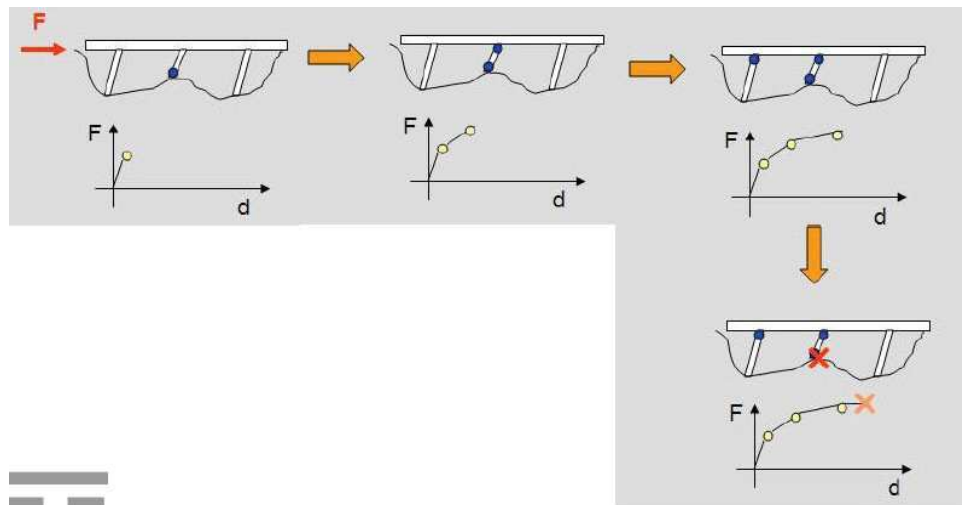


- Zone 1 : niveau de performance acceptable
=> aucun renforcement préconisé
- Zone 3 : niveau de performance insuffisant
=> renforcement nécessaire ou déclassement de l'ouvrage
- Zone 2 : renforcement à envisager sur la base du meilleur optimum « performance/coût/enjeux »

Indice de performance ou « de conformité » : $\alpha_{\text{conf-EL}} = \frac{a_{\text{max adm-EL}}}{a_{\text{ref-EL}}}$

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

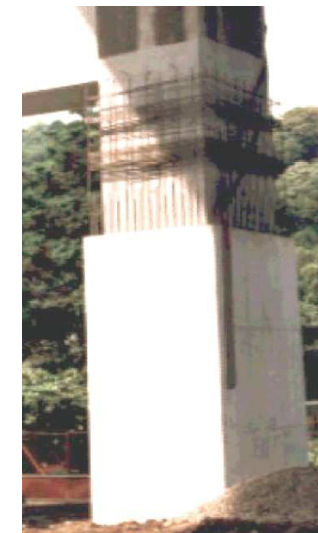
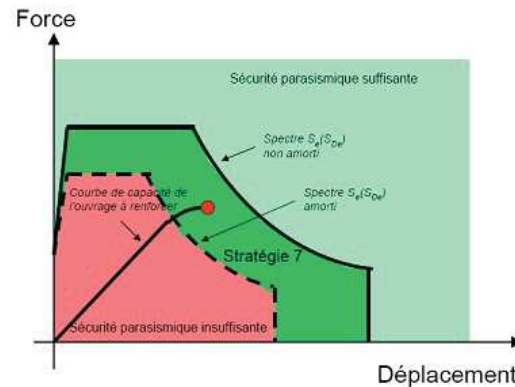
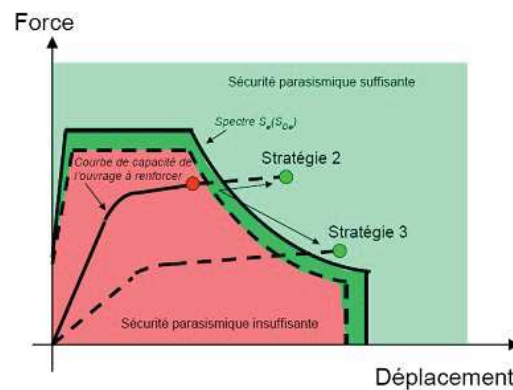
- Présentation succincte du contenu
 - Méthodes d'analyses spécifiques visant à évaluer au plus près le comportement réel de la structure



a) Intersection de la courbe de capacité par les spectres de réponse $A(d)$

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

- Présentation succincte du contenu
 - Stratégies et techniques de renforcement



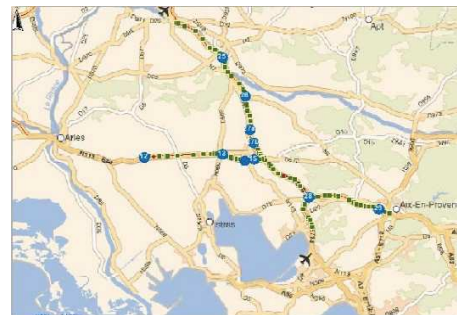
- 1 : Augmentation résistance (**attention**)
- 2 : Augmentation ductilité - chemisage
- 3 : Augmentation ductilité - suppression élé. fragile
- 4 : Assouplissement - modif. AA

- 5 : Rigidification (**déconseillé**)
- 6 : Rigidification struct. souples – ponts suspendus
- 7 : Augmentation amortissement (disp. spéciaux)

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

- Présentation succincte du contenu
 - Exemples d'application

Calibrage de la méthode sur le triangle autoroutier A7/A8/A54
(Ouvrages de typologie courante et répétitive)



=> 63 OA dont 5 cat.III (principalement PI et échangeurs), 39 cat.II, 19 cat. I selon matrice importance

=> 4 OA à diagnostiquer selon le schéma de priorisation sommaire $R \times I \geq 50$

- => pour ces 4 OA :
- Indice de conformité $\cong 0,40$ (mise en service $\cong 1970$)
 - Réduction sensible de la vulnérabilité ($\alpha_{conf} > 0,60$) pour un coût $< 5\%$ du coût de remplacement (modif. AA, attelages, butées, renforts locaux piles...)

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

- Présentation succincte du contenu
 - Exemples d'application

Diagnostic et projet de renforcement de 6 OAs non-courants
(Autoroute A9 – Section Le Boulou / Frontière Espagnole – AMO ASF)



- Diagnostic/renforcement dans le cadre d'un élargissement à 2x3 voies
 - OAs construits entre 1970 et 1976
 - Risques identifiés : souffles longitudinaux insuffisants, risques d'échappements d'appui, faiblesse de certains appuis
- => renforcements sismiques préconisés :
- Clouages culées
 - Remplacement AA
 - Attelages travées
 - Amortisseurs au niveau des culées

Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

- Présentation succincte du contenu
- Exemples d'application

Diagnostic et projet de renforcement de 6 OAs non-courants
(Autoroute A9 – Section Le Boulou / Frontière Espagnole – AMO ASF)



=> permet d'atteindre 100% a_{ref} pour un coût compris entre 2 et 13% du coût de remplacement

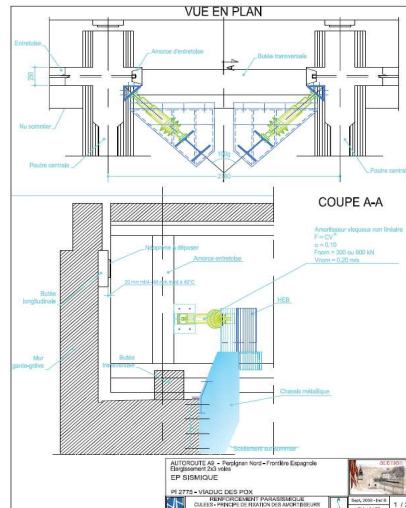
HYPOTHESE 2 (souffle maxi)	-	Famille 0	Famille A	Famille B	Famille Adr	Famille 0'	-
	Borne inf.						Borne sup.
Période longitudinale (s)	1.81/1.53	1.66	1.89	1.47	1.89	1.66	
Période transversale (s)	1.21/0.92	1.14	1.32	1.08	1.32	1.32	
Accélération max admissible (m/s ²)	0,13 m/s ²	0.91 m/s ²	0.95 m/s ²	0.86 m/s ²	0.99 m/s ²	> 1.32 m/s ²	1.32 m/s ²
A _{adm} /A _{ref} (%)	0,10 %	69 %	72 %	65 %	75 %	>100 %	100 %
Partie défaillante	Mur culée	Poinçonnement sol sous fondations piles	Renversement fondation pile	Souffle	Poinçonnement sol sous fondations piles	ND	ND
Prix (k€HT) Valeur janv 2006	0 k€	718 k€	718 k€	718 k€	1091 k€	828 k€	33 400 k€
Avantages	Coût	Coût	Coût / performance par rapport à 0 mais peu d'intérêt.	Aucun par rapport à 0 pour le même coût	Coût	. Pas de gêne Tvx . Coût /performance	OA neuf
Inconvénients	Très faible résistance parasismique	Performance	-	-	. Gêne Tvx . Performance	Aucun	Gêne Tvx.
Classement	Solution écartée	2	Solution écartée	Solution écartée	3	1	4

Légende :
- ND= non déterminé

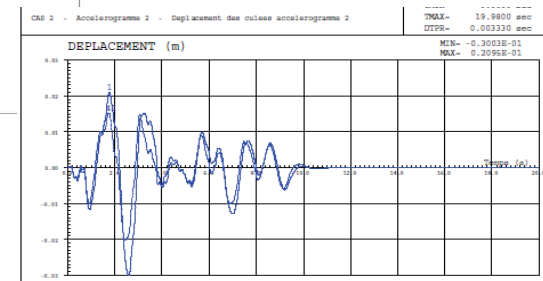
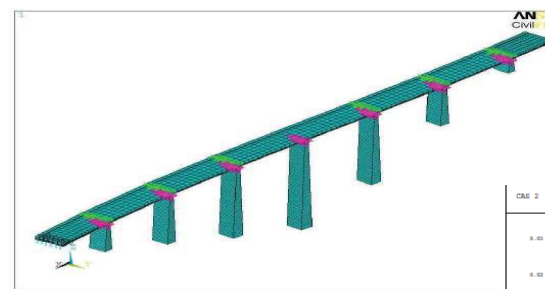
Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

- Présentation succincte du contenu
- Exemples d'application

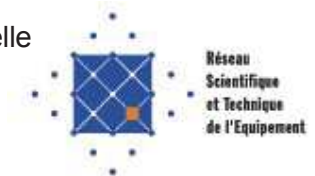
Diagnostic et projet de renforcement de 6 OAs non-courants
(Autoroute A9 – Section Le Boulou / Frontière Espagnole – AMO ASF)



Implantation des amortisseurs
(Source : ASF/Setec TPI)



Modèle de calcul et résultats de l'analyse dynamique temporelle
(Source : ASF/Setec TPI)



Guide « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »

- **État d'avancement**

Envoyé en relecture externe début mai

(GT initié en fév. 2006)