

**Journée technique AFPS  
« Renforcement au séisme des constructions existantes »**

29 septembre 2017 – Arette/Lourdes

Guides et outils méthodologiques disponibles dans le domaine  
du renforcement sismique des constructions existantes

**Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants :  
Présentation du guide Cerema et exemples d'applications opérationnelles**

Denis DAVI – Cerema Méditerranée

# Plan de l'exposé

- Contexte général et obligations réglementaires
- 1<sup>ère</sup> phase : identification rapide des ouvrages les plus sensibles et exposés
- 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)
- Exemples d'application

# Contexte général et obligations réglementaires

## PS92 : 1<sup>ères</sup> règles de conception parasismique « modernes » en France

- ➔ **Vulnérabilité potentielle des constructions conçues avant 1995**
- ➔ **Question des ouvrages situés dans des zones considérées « non sismiques » dans l'ancien zonage, et qui le deviennent dans le nouveau**

## Quelques documents officiels font référence (de manière assez vague) à cette problématique spécifique :

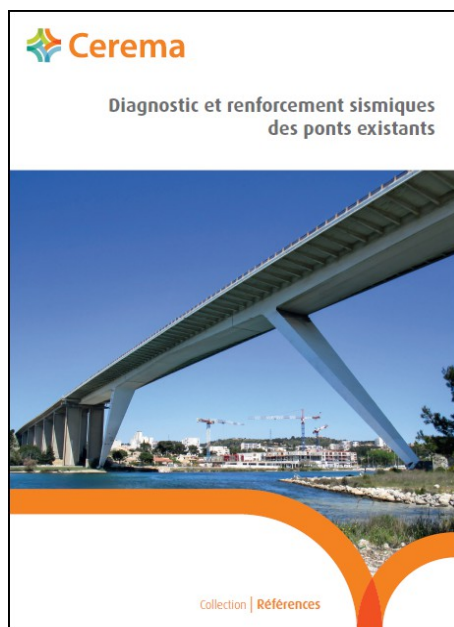
- « La circulaire du 26 avril 2002 relative à la prévention du risque sismique encourage les propriétaires publics ou privés de bâtiments, équipements et installations de classe C ou D à procéder à une démarche de diagnostic et éventuellement de renforcement de leurs ouvrages existants vis-à-vis de l'aléa sismique. »
- Certains PPRS fixent également des règles de principe pour les ponts existants à fort enjeu : prescription de renforcer à une échéance donnée pour un niveau correspondant à un coût de travaux forfaitairement fixé à 10% de la valeur de l'ouvrage...

**mais peu voire jamais appliqué dans les faits...**

# Contexte général et obligations réglementaires

**Aspect non-couvert par la réglementation nationale (arrêté « ponts »)**  
(mais qui n'interdit pas de s'en préoccuper !!)

➔ Rédaction d'un guide dédié spécifiquement à cette problématique  
(disponible sur demande en version provisoire)



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



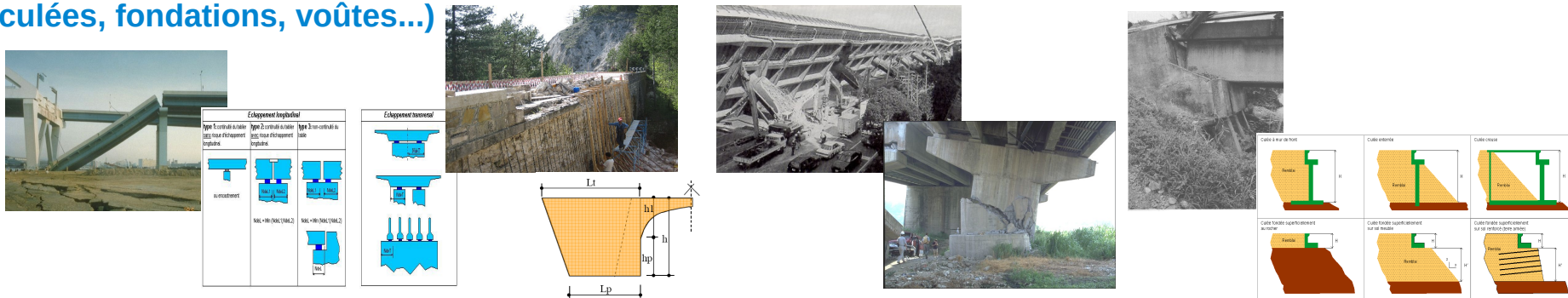
# 1<sup>ère</sup> phase : identification rapide des ouvrages les plus sensibles et exposés

- Évaluation sommaire de la vulnérabilité des ouvrages (méthode Sismoa validée et publiée sur le site internet du Cerema)

- Approche sommaire qualitative basée sur des critères typologiques et géométriques, reposant sur l'analyse des dégâts subis par les ponts lors des séismes passés (*modes de ruine les + fréquents*) :

*Forme et régularité des hauteurs d'appui, masse du tablier, conditions d'appui, nombre de travées, courbure, biais, âge et état de la construction, nature et profondeur des fondations, redondance structurale, présence de protections extérieures contre chutes de blocs (écrans, filets, merlons, fosses...) ...*

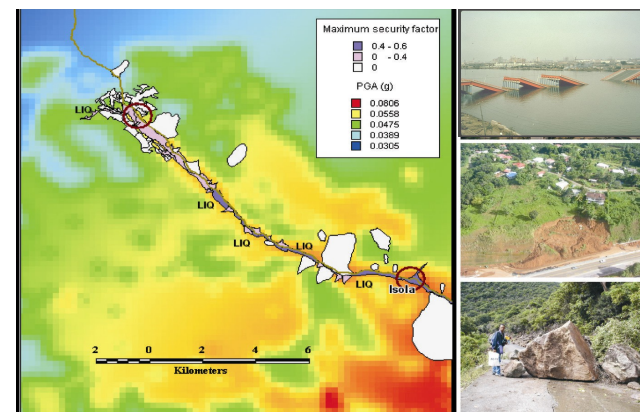
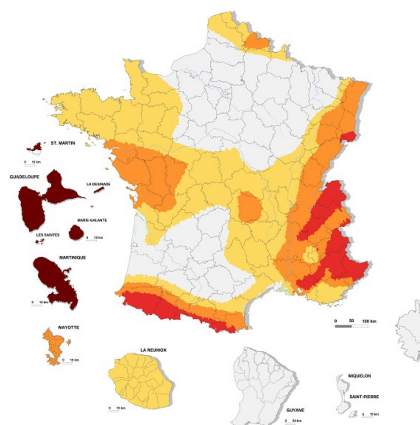
- Présomption de vulnérabilités intrinsèques des différents éléments de la structure (tablier, piles, culées, fondations, voûtes...)





# 1<sup>ère</sup> phase : identification rapide des ouvrages les plus sensibles et exposés

- Évaluation du niveau d'exposition aux aléas sismiques
  - Basé sur le nouveau zonage sismique national
  - Intégrant la prise en compte
    - Des éventuels effets de site géologiques ou topographiques
    - Des éventuels effets induits (liquéfaction des sols et instabilités de versants)



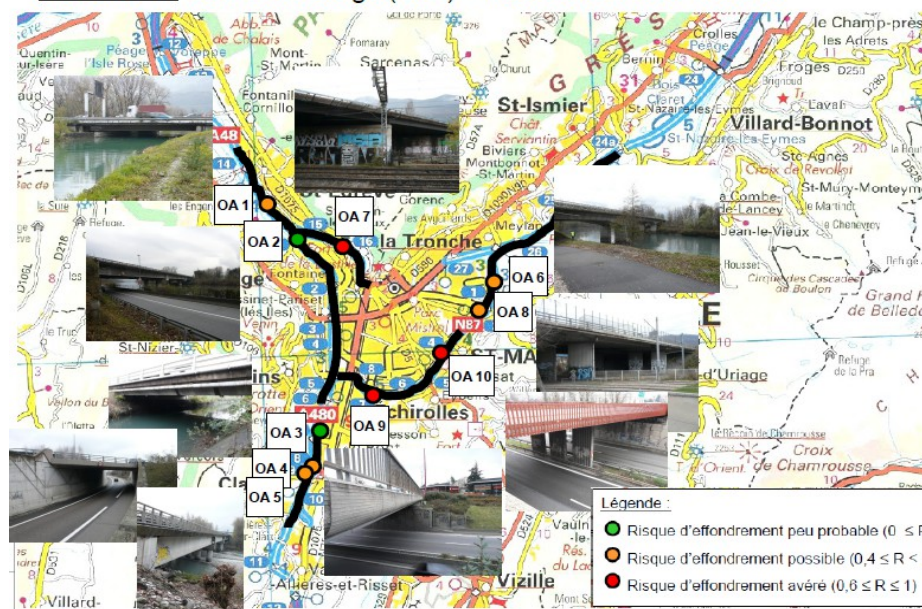
# 1<sup>ère</sup> phase : identification rapide des ouvrages les plus sensibles et exposés

- Calcul des indices de risque de coupure de l'itinéraire par combinaison des indices d'aléas et de vulnérabilité

$$R = f (A;V)$$

0 ≤ R < 0,4	Présomption de risque faible
0,4 ≤ R < 0,6	Présomption de risque moyenne
0,6 ≤ R ≤ 1	Présomption de risque élevée

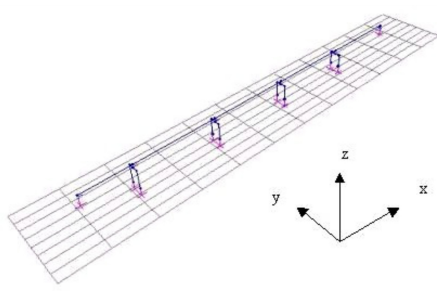
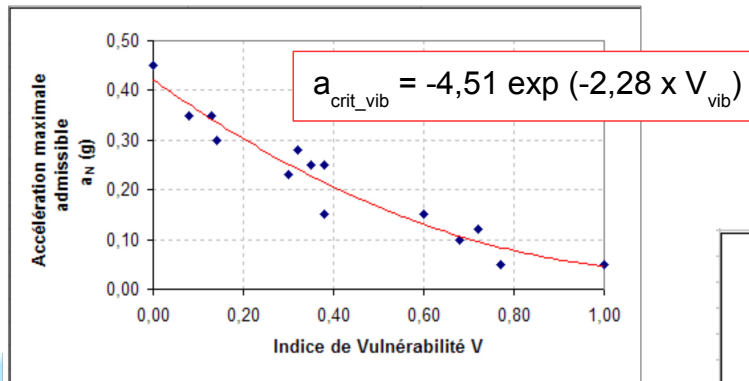
Scénario 1 : Nouveau zonage (EC8) – Période de retour 475 ans



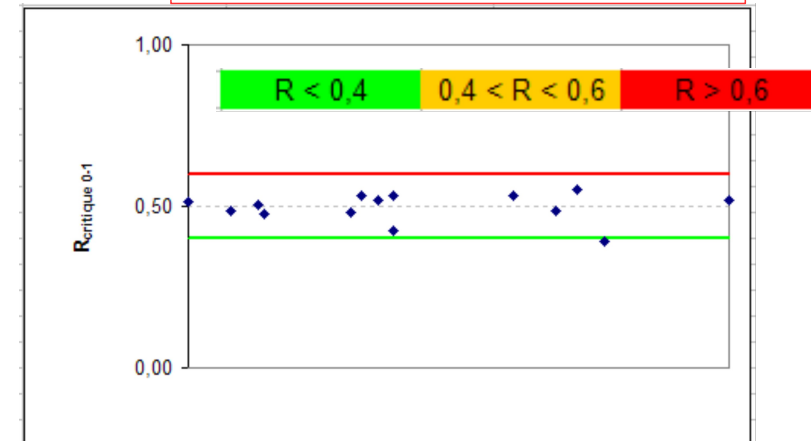


# 1<sup>ère</sup> phase : identification rapide des ouvrages les plus sensibles et exposés

- Calibrage de la méthode / validation des indices de risque



$$R_{vib} = 0,703 \ln(a_{vib} / a_{crit\_vib}) + 0,5057 \leq 1$$



# 1<sup>ère</sup> phase : identification rapide des ouvrages les plus sensibles et exposés

- Calibrage de la méthode / validation des indices de risque

Confrontation des résultats de la méthode SISMOA aux conséquences d'un séisme réel de forte intensité : **le séisme de l'Aquila (Italie, avril 2009)**

**Magnitude** : 5,8 (Richter) ; **Prof.** : 8,8 km

**Acc. max. au rocher** : 0,67g (environ 2x règlement!)

**Intensités EMS98** : VII < I<sub>EMS98</sub> < IX (destruction généralisée)

**Durée** : 80s

+ de 10 000 répliques la 1<sup>ère</sup> semaine (dont 2 M<sub>w</sub> > 5)



Pont 1 : Pont caisson béton	Pont 3 : Pont caisson béton	Pont 4 : Pont caisson béton	Pont 5 : Pont VIPP	Pont 7 : Pont VIPP
Eclatement en pied de piles	Aucun dommage	Décalage transversal ?	Aucun dommage	Aucun dommage
Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse 0,75 0,70 0,65 1,00 0,75	Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse 0,70 1,00 0,75 0,35 0,70	Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse 0,60 1,00 0,19 0,30 0,60		

Pont 2 : Pont béton	Pont d'Omnia : Pont à nervures	Pont d'Aquila centre : Pont à nervures béton	SS80 km 55	SS17 pont 9	SS80 km 40
Aucun dommage	Fissures de cisaillement sur piles Éclatement du béton sur piles Fissures sur le tablier Basement culées	Décalage transversal ? Chocs tablier/culées	Fissures tympan Chutes de blocs	Aucun dommage	Fissures Chutes d
Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse 0,40 0,18 0,19 0,35 0,14	Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse 0,25 1,00 0,81 0,60 0,55	Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse Vitesse 0,50 1,00 0,19 1,00 0,55			

- ➔ Test globalement concluant
- ➔ Résultats (très) conservatifs, à associer aux spécificités très particulières du séisme (*directivité, contenu fréquentiel...*)

# 1<sup>ère</sup> phase : identification rapide des ouvrages les plus sensibles et exposés

## ● Évaluation des enjeux

### Schéma de priorisation

- Indice d'importance et classification

$$I_1 = I_{itin 1} + I_{OA 1} = \dots / 100 \quad (\text{court terme, gestion crise})$$

$$I_2 = I_{itin 2} + I_{OA 2} = \dots / 50 \quad (\text{long terme, reprise activité socio-éco.})$$

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

- (  $0 < I < 50$  : Importance socio-économique faible) → **Catégorie ≤ II**
- (  $50 < I < 100$  : Importance socio-économique moyenne) → **Catégorie III**
- (  $100 < I < 150$  : Importance socio-économique élevée) → **Catégorie IV**

$$R \times I \geq 50$$

Calibrage conduisant à : - Exclure les OA de catégories équivalentes ≤ II,  
- Préconiser un diagnostic détaillé systématique pour les OA de cat. eq. IV :

- \* en Z5 et Z4-sol E, à partir d'un indice de vulnérabilité  $V=0,2/1$
- \* en Z5-sol B et +, à partir d'un indice de vulnérabilité  $V=0,1/1$  (indice Sismoa mini pour un pont à 2 travées conçu avant PS92)

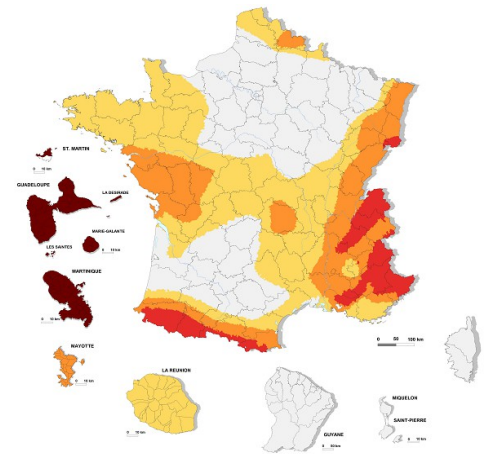
Ouvrage	I <sub>OA 1</sub> (court terme)	<b>Victimes directes</b>				I <sub>vul_OA</sub> = ...	
		Trafic sur l'ouvrage (en véh/j)	<1000 : 1	1k<.<10k : 2	>10 000 : 3		...
		Surface de tablier (m <sup>2</sup> )	< 200 : 1	200< <4000 : 2	> 4000 : 3		...
		Fréq embouteillage sur ouvrage	nulle : 0	moyenne : 1,5	élevée : 3		...
		<b>Voie franchie :</b>					
		Type de voirie	RD, frêt Sncf : 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		...
		<b>Organisation des secours</b>					
Franchissement d'un itinéraire vital au sens des PIS					I <sub>sec_OA</sub> = ...		
Desserte immédiate de centre vital (caserne pompier, hôpital, base militaire, préfecture...)							
<b>Possibilités de rétablissement à court terme pour véhicules de secours</b>					I <sub>rést_OA</sub> = ...		
Réparabilité (pont courant à typologie peu vulnérable)							
Possib. de pont de secours (brèche<40 m)							
Possib. de déviation locale (échangeur, nœud urbain)					oui : - 3 non : 3		
					oui : - 3 non : 3		
					oui : - 3 non : 3		
					I <sub>OA 1</sub> = ... (= I <sub>vul_OA</sub> + I <sub>sec_OA</sub> + I <sub>rést_OA</sub> )		
Ouvrage	I <sub>OA 2</sub> (long terme)	<b>Rôle socio-économique voie franchie</b>				I <sub>sec_OA</sub> = ...	
		Type voirie	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	aggl. pôle d'act.	régional		national
			0	0,5	1		2
		Réseaux franchis			oui : 1		non : 0
		<b>Possibilités de reconstruction de l'ouvrage</b>					
		Durée de reconstruction					I <sub>rec_OA</sub> = ...
< 6 mois : -1					0< < 24mois : 2		
> 2ans : 4					...		
<b>Valeur intrinsèque de l'ouvrage</b>					I <sub>vul_OA</sub> = ...		
Valeur patrimoniale historique (ouvrage classé)							
oui : 2 non : 0							

**Matrices d'importance :**  
- échelles OA/itinéraire  
- court terme/long terme



# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de diagnostic
  - Niveaux d'accélération de référence  
 Basés sur le nouveau zonage sismique national



- Indice de performance ou « de conformité » :

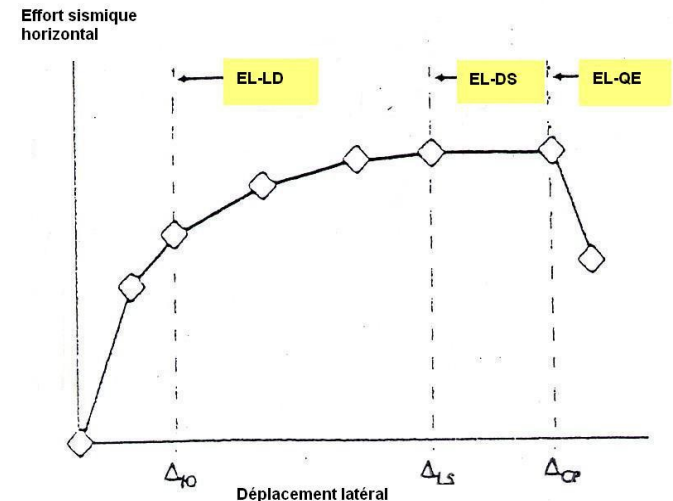
$$\alpha_{\text{conf-EL}} = \frac{a_{\text{max adm-EL}}}{a_{\text{ref-EL}}}$$

# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de diagnostic
  - États-limites pour le diagnostic sismique

Basés sur les spécifications de l'Eurocode 8-3 pour « l'évaluation et le renforcement sismique des bâtiments existants »

- État-limite de « Limitation des Dommages » (EL-LD)
- **État-limite de « Dommages Significatifs » (EL-DS)**
  - *Dommages plus ou moins étendus*
  - *Usage limité aux secours*
  - *Capacité à supporter des répliques modérées*
  - *Déformations résiduelles et réparations nécessaires*
- État-limite de « Quasi-Effondrement » (EL-QE)



## 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

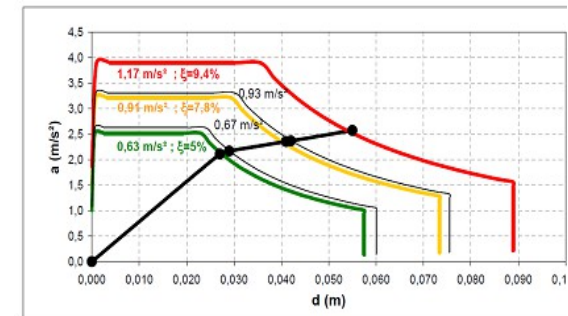
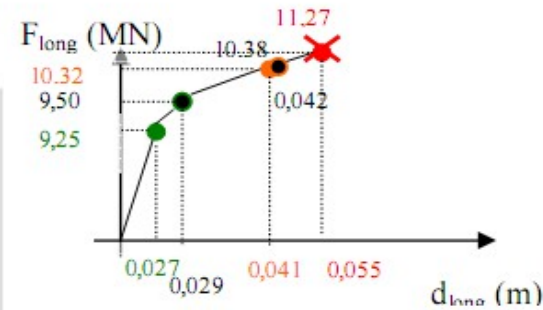
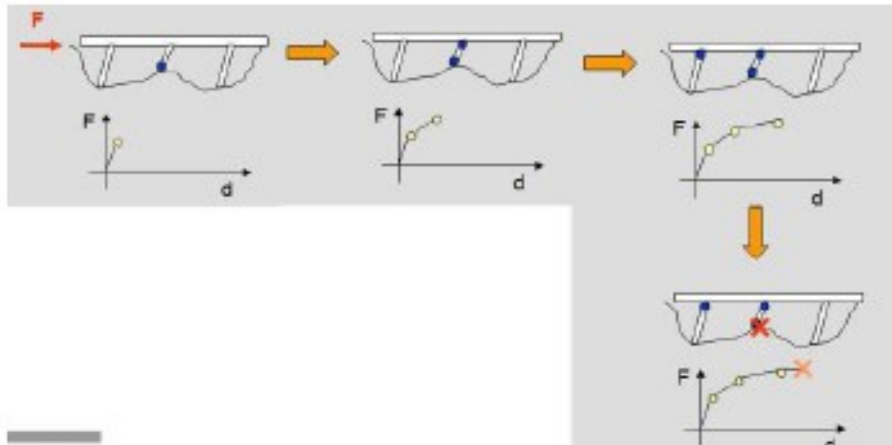
- Méthodes de diagnostic
  - Quelques recommandations générales

### Les études et modèles de diagnostic sismique doivent :

- **Caractériser correctement les aléas sismiques au droit de l'ouvrage**  
*Sismicité locale, amplifications liées aux effets de site, effets induits...*
- **Être cohérents avec le niveau de connaissance de l'ouvrage et les données disponibles**  
*Plans, notes de calculs, investigations in-situ...*
- **Être adaptés à la typologie de l'ouvrage et « points faibles sismiques » associés**
- **Intégrer les éventuelles défaillances de dispositions constructives**
- **Évaluer au plus juste le niveau de résistance réel de la structure et les conséquences de telle ou telle défaillance**  
*Abaissement de certains coefficients de sécurité, prise en compte des possibles redistributions d'efforts internes...*

# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de diagnostic
  - Approche privilégiée



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

**Méthodes incrémentales « en poussée progressive » ou « push-over »**

# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de renforcement
  - Stratégies et techniques à adapter aux typologies et contexte français de sismicité « modérée »

Du plus simple au plus complexe et coûteux...

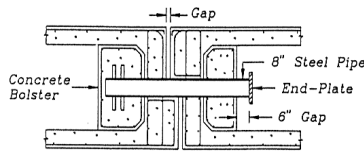
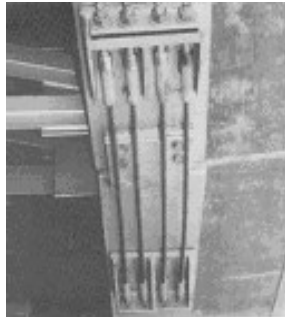
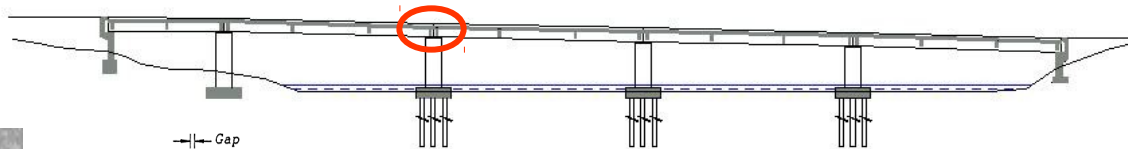
- **Remplacement des appareils d'appui**  
*Assouplissement global, harmonisation des contributions des appuis*
- **Ajouts de butées parasismiques et attelages de travées**  
*Contre les chutes de tabliers...*
- **Installation de dispositifs amortisseurs**  
*Réduction efficace et simultanée des efforts et des déplacements*
- **Renforts de piles (ductilité et éventuellement résistance)**  
*Fibres composites, chemisage béton...*
- **Renforts des fondations**  
*Traitement de sol, élargissements de semelles, ajouts de pieux...*



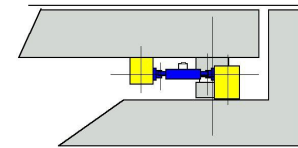


# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

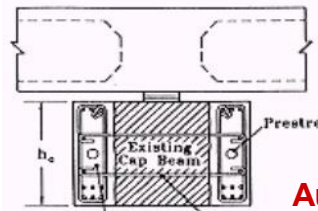
- Études de renforcement
  - Stratégies et techniques à adapter aux typologies et contexte français de sismicité « modérée »



**Attelage des travées**



**Installation d'amortisseurs**

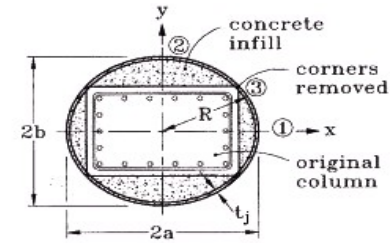
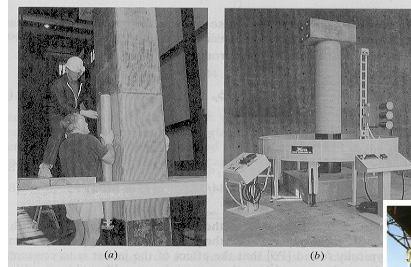
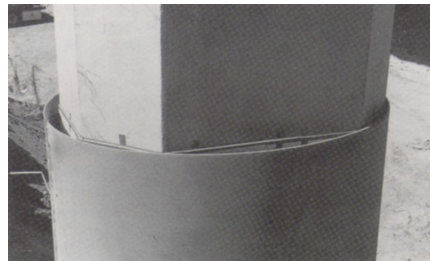
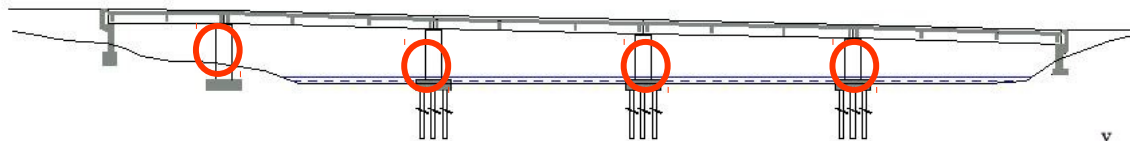


**Augmentation des repos d'appui**



# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de renforcement
  - Stratégies et techniques à adapter aux typologies et contexte français de sismicité « modérée »

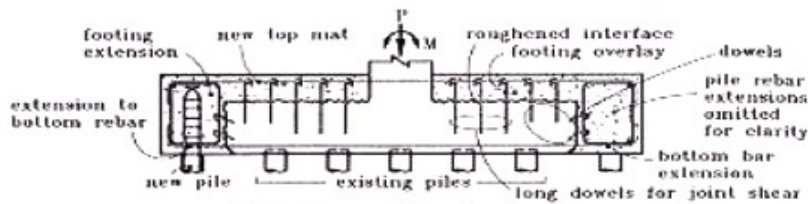
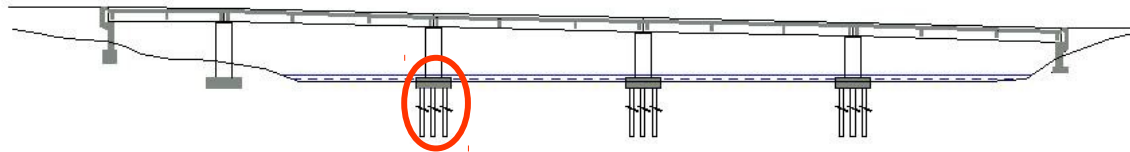


**Chemisage des piles**



# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de renforcement
  - Stratégies et techniques à adapter aux typologies et contexte français de sismicité « modérée »



**Renforcement des fondations**



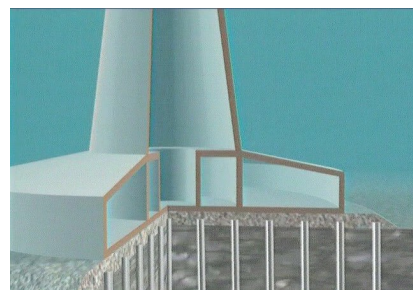
# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de renforcement
  - Stratégies et techniques à adapter aux typologies et contexte français de sismicité « modérée »

## Vis-à-vis des effets induits

### ▪ Liquéfaction

- Compactages
- Colonnes ballastées
- Injections/traitements de sol



### ▪ Chutes de blocs

- Filets
- Clouages
- Purges
- Merlon / Fosses
- Ecrans

### ▪ Glissements de terrain

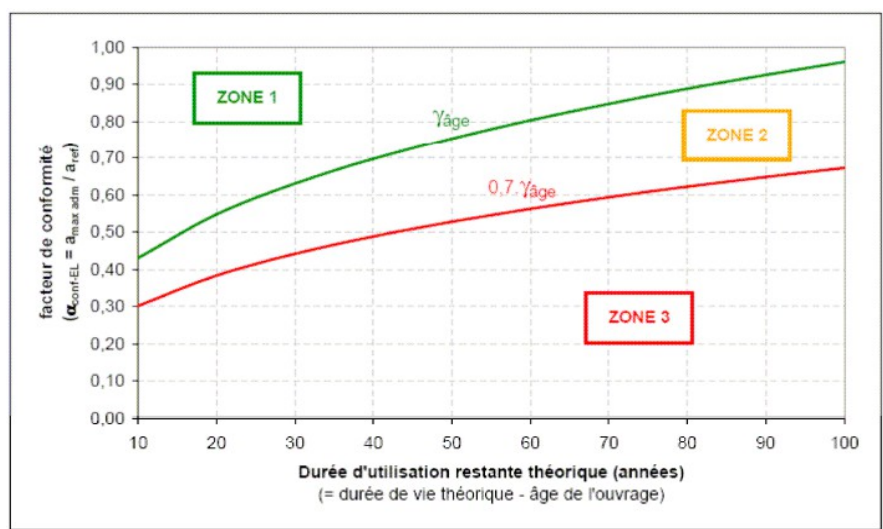
- Clouages
- Purges



# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de renforcement
  - Définition du niveau de renforcement optimal ou performance visée

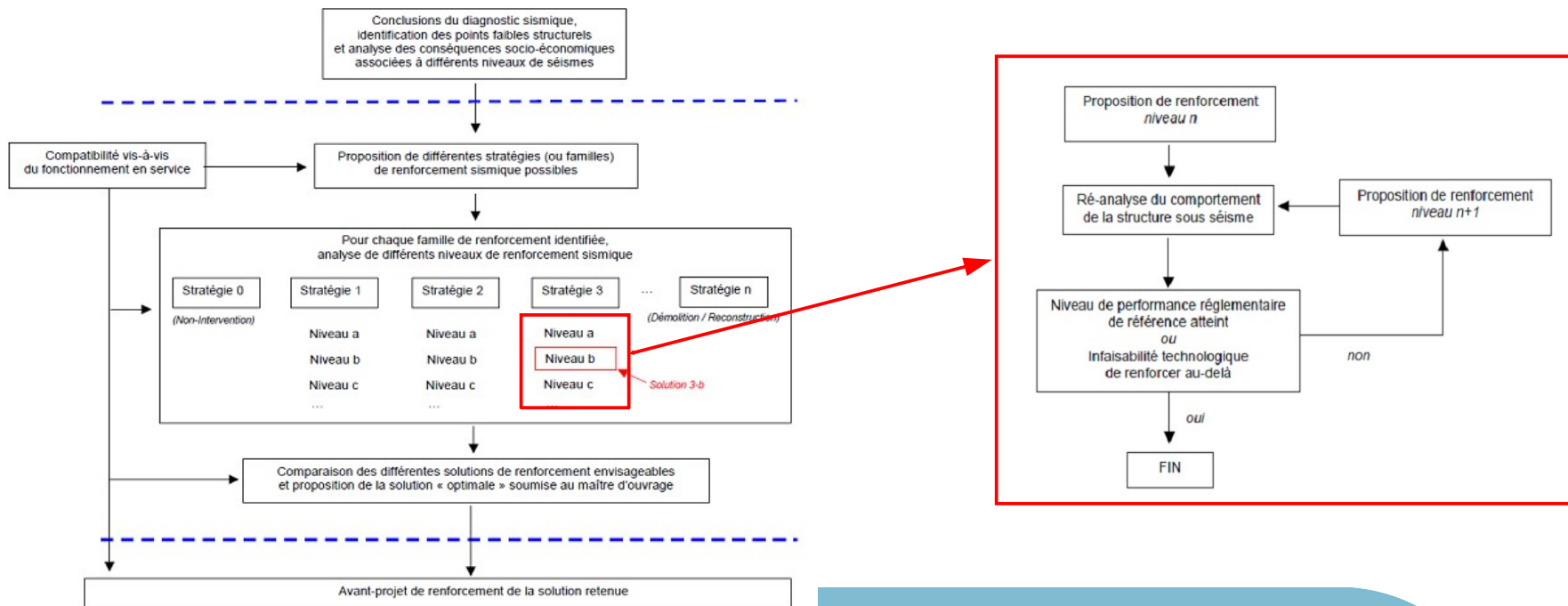
Inspirée des approches Suisse (SIA 2018) et américaine (ATC 40)



- 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 »

# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de renforcement
  - Format général des études préliminaires de renforcement sismique





# 2<sup>ème</sup> phase : diagnostic détaillé des OA prioritaires et projet de renforcement (le cas échéant)

- Études de renforcement
  - Format général des études préliminaires de renforcement sismique

Solutions	0 (non-intervention)	1-a	1-b	2-b	2-c	2-d	3-e	...	n (démolition/reconstruction)
Accélération admissible $a_{max adm EL}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Indice de conformité $\gamma_{conf}$	...	...	...	...	...	...	...	...	100 %
Coût	0 € (sauf déclassement associé à un renforcement ou création d'une infra. parallèle)	...	...	...	...	...	...	...	...
Faisabilité technique	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Niveau de confiance	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Compatibilité fonctionnement service	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Entretien éventuel	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Réparations post-sismiques prévisibles	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Conséquences en cas de dépassement de séisme (intégrité struct., étendue et type de dommages, sécurité usagers, durée d'interruption de trafic)	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Indice de rentabilité R	0	...	...	...	...	...	...	...	0
...									
Bilan des avantages	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Bilan des inconvénients	...	...	...	...	...	...	...	...	...

$$R = \gamma_{enjeu} \cdot \frac{\Delta a_{renf}}{\gamma_{\text{âge}} \cdot a_{ref} - a_{max adm}} - \frac{C_{renf}}{C_{rempl}}$$

# Exemples d'applications opérationnelles

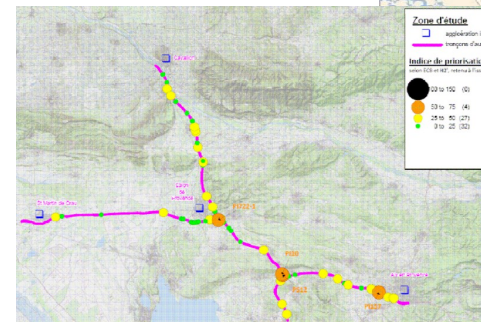
- Analyse du risque sismique sur les OA courants du triangle autoroutier A7-A8-A54 en Provence

- Collaboration ASF / CETE Méditerranée / Sétra
- Étude test à vocation méthodologique
- 1 stagiaire (TFE élève ingénieur) pendant 3 mois



## Principaux résultats :

- 4 OA prioritaires à diagnostiquer sur 63
- Performance sismique passée de 40 à 60%  $a_g$  pour un coût < 5% du coût de remplacement
- Techniques possibles : butées parasismiques, remplacements AA, renforts locaux de piles...



# Exemples d'applications opérationnelles

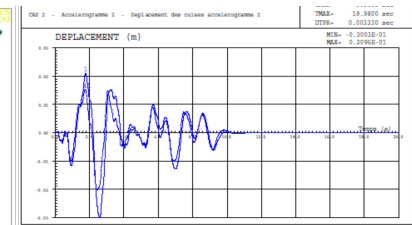
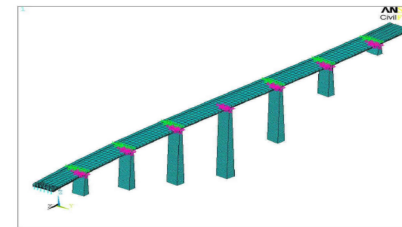
## • Renforcement sismique des viaducs de l'A9 entre Perpignan et l'Espagne

- OAs construits entre 1970 et 1976
- Risques identifiés :
  - \* souffles longitudinaux insuffisants
  - \* risques d'échappements d'appui
  - \* faiblesse de certains appuis (culées + certaines piles)
- Mise à profit de travaux d'élargissement
- Demande de prise en compte par la DGITM (concedant) validée par Décision Ministérielle
- Collaboration ASF / Sétra / CETE Méditerranée



### ➔ Principaux résultats :

- Atteinte de 100% de ag
- Coût compris entre 2 et 13% du coût de remplacement
- Techniques prévues : butées parasismiques, amortisseurs, remplacements AA, renforts de piles, clouages culées, renforts de certaines fondations...



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



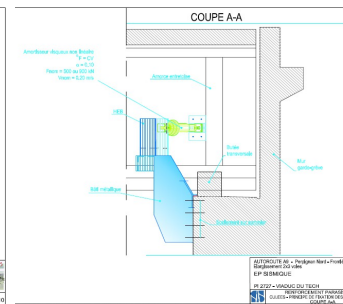
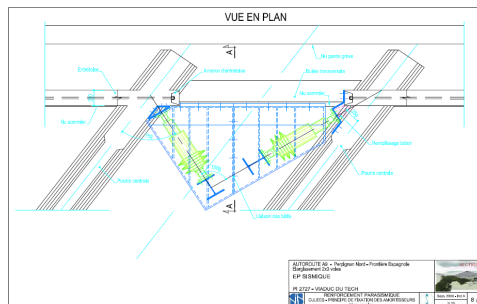
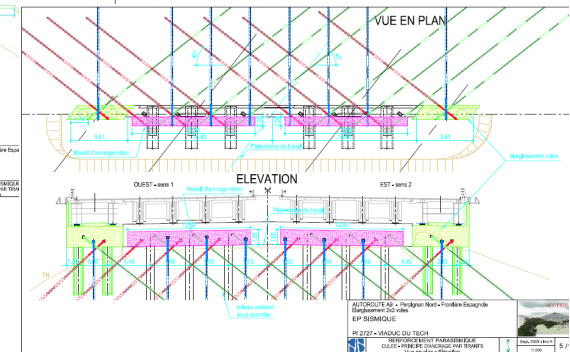
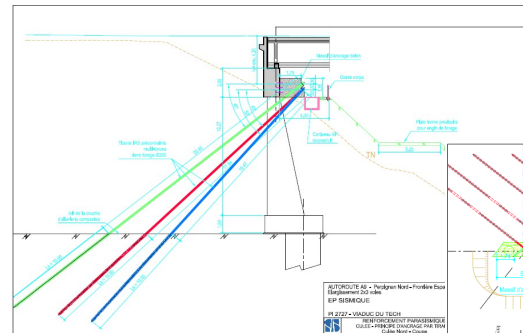
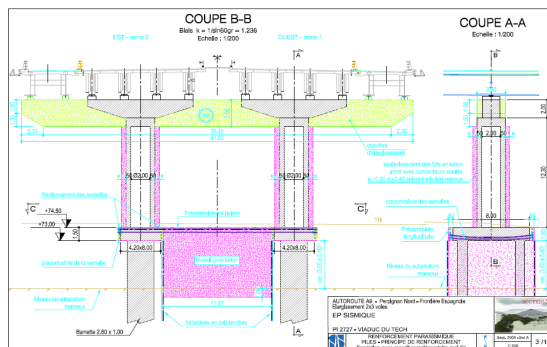
# Exemples d'applications opérationnelles

- Renforcement sismique des viaducs de l'A9 entre Perpignan et l'Espagne
  - Synthèse des principaux résultats :

OA	Zone sismicité	Amplif. Sol+topo	Cat. Imp.	$A_{réf}$ (m/s <sup>2</sup> )	$\alpha_{conf}$ avant	$\alpha_{conf}$ après	Technique renforc.	Coût	% coût reconstr.
Agly	Modérée ( $A_{Ek} = 1,1 \text{ m/s}^2$ )	S = 1,8 $\tau = 1,0$	II ( $\gamma_I = 1,2$ )	2,38 m/s <sup>2</sup>	42%	100%	<u>amortisseurs</u>	0,7 M € HT	8%
Têt	Modérée ( $A_{Ek} = 1,1 \text{ m/s}^2$ )	S = 1,35 $\tau = 1,0$	II ( $\gamma_I = 1,2$ )	1,49 m/s <sup>2</sup>	49%	100%	Remplacement AA <u>Amortisseurs</u>	1,4 M € HT	8%
Tech	Modérée ( $A_{Ek} = 1,1 \text{ m/s}^2$ )	S = 1,6 $\tau = 1,0$	II ( $\gamma_I = 1,2$ )	2,11 m/s <sup>2</sup>	24%	≈ 100%	Augm. souffl jdc, renforts piles + culées, <u>amortisseurs</u>	3,2 M € HT	13%
Pox	Modérée ( $A_{Ek} = 1,1 \text{ m/s}^2$ )	S = 1,35 $\tau = 1,2$	II ( $\gamma_I = 1,2$ )	2,14 m/s <sup>2</sup>	10%	100%	renforts culées, Attelage tablier, <u>amortisseurs</u>	2,0 M € HT	5%
Calcine	Modérée ( $A_{Ek} = 1,1 \text{ m/s}^2$ )	S = 1,35 $\tau = 1,15$	II ( $\gamma_I = 1,2$ )	2,05 m/s <sup>2</sup>	14%	100%	renforts culées, Attelage tablier, <u>amortisseurs</u>	2,3 M € HT	5%
Rome	Modérée ( $A_{Ek} = 1,1 \text{ m/s}^2$ )	S = 1,35 $\tau = 1,3$	II ( $\gamma_I = 1,2$ )	2,32 m/s <sup>2</sup>	10%	100%	renforts culées, Attelage tablier, <u>amortisseurs</u>	2,0 M € HT	6%

# Exemples d'applications opérationnelles

- Renforcement sismique des viaducs de l'A9 entre Perpignan et l'Espagne
  - Exemple du viaduc du Tech :



$\alpha$ conf avant	$\alpha$ conf après	Technique renforç.	Coût	% coût reconstr.
24%	≈ 100%	Augm. souffl. jdc, renforts piles + culées, amortisseurs	3,2 M € HT	13%

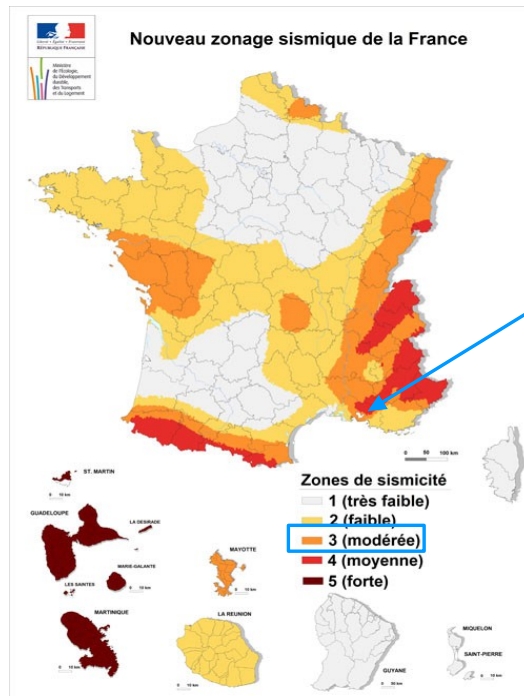
# Exemples d'applications opérationnelles

- Diagnostic et renforcement du viaduc de Martigues (A55)
- Ouvrage principal de traverse de la ville de Martigues par l'A55
- Pont à béquilles (300m)
- 4 viaducs d'accès en béton précontraint (259,5m et 314,5m)



# Exemples d'applications opérationnelles

- Diagnostic et renforcement du viaduc de Martigues (A55)
- Éléments de contexte





# Exemples d'applications opérationnelles

- Diagnostic et renforcement du viaduc de Martigues (A55)

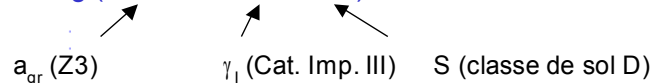
- **Éléments de contexte**

- Ouvrage souffrant de pathologie sévère
- Construit entre 1969 et 1972, selon les prescriptions des anciennes règles parasismiques PS69 (*1<sup>ères</sup> règles parasismiques françaises*)

⇒ Prise en compte d'une accélération statique forfaitaire de 0,1g

Pour comparaison, la nouvelle législation parasismique imposerait :

- 0,21g (1,1 m/s<sup>2</sup> x 1,2 x 1,6) au niveau du sol de fondation



Cf. Décret n°2010-1255 (nouveau zonage)

Cf. Arrêté du 26 octobre 2011 : classification et règles de construction parasismique applicables aux ponts

- jusqu'à 0.53g au niveau de la structure

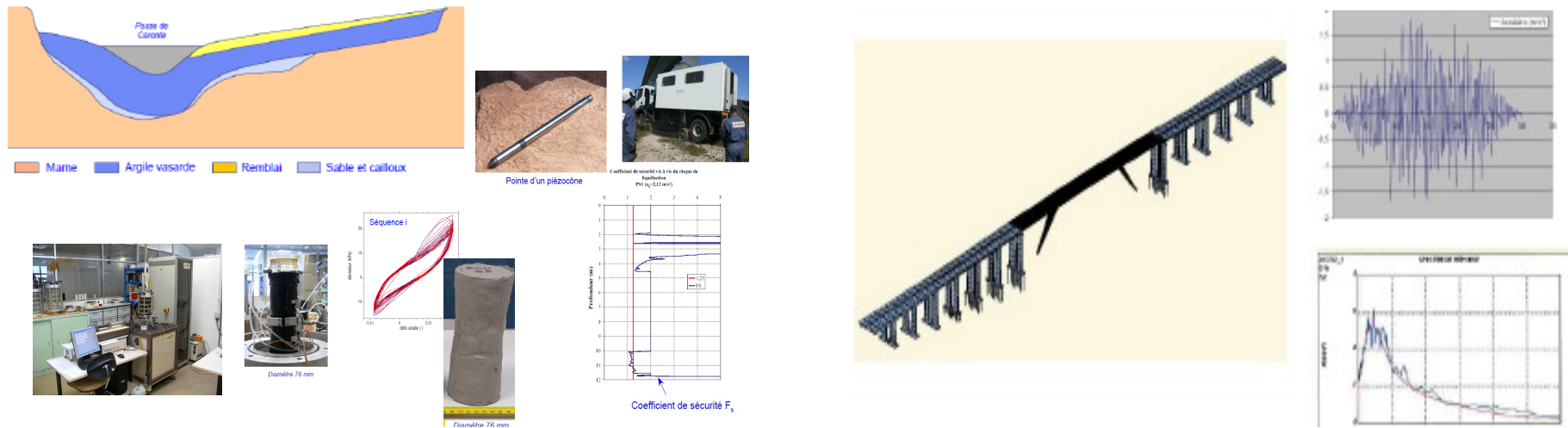
amplification dynamique (ou réponse spectrale) variable selon les périodes propres de vibration de l'ouvrage

Cf. Arrêté du 26 octobre 2011 et Eurocode 8-2



# Exemples d'applications opérationnelles

- Diagnostic et renforcement du viaduc de Martigues (A55)
  - Collaboration DIR Méditerranée / Cerema
  - Mise à profit des travaux de renforcement structural
  - Analyse du risque de liquéfaction et du comportement dynamique de la structure :
    - Essais spécifiques sur site (piézocône) et en laboratoire (tri-axial cyclique)
    - Modélisation 3D de la structure pour calcul dynamique



# Exemples d'applications opérationnelles

- Diagnostic et renforcement du viaduc de Martigues (A55)

➔ Risque de liquéfaction écarté dans les conditions sismiques du site

➔ Renforcement sismique mis en œuvre :

- *Rajout de butées parasismiques*
- *Remplacement des appareils d'appui*
- *Emploi de dispositifs amortisseurs précontraints*



➔ Permet d'atteindre 70 à 100%  $a_g$  selon accélérogramme utilisé pour un coût évalué à environ 15 % du montant de l'opération de renforcement





# Exemples d'applications opérationnelles

- Principaux enseignements
  - Plusieurs exemples de renforcement sismique de ponts existants sur le territoire national : *niveau croissant de prise en compte de cette problématique* (souvent dans le cadre de mises à profit d'opérations d'élargissement ou de réparation)
  - Études basées sur le nouveau corpus réglementaire national et les normes européennes relatives à la prise en compte du risque sismique sur les ponts (Décret « zonage », Arrêté « Ponts », Eurocodes 8-2 et 8-5, norme NF EN 15129...) et sur les développements méthodologiques spécifiques à la problématique des ponts existants
    - Guide Cerema sur le diagnostic/renforcement sismiques des ponts existants
    - Cahier technique AFPS/Cerema sur les dispositifs parasismiques pour les ponts
  - Approche « innovante » basée sur des objectifs calibrés (recherche du meilleur optimum performance/coûts/enjeux)

# Exemples d'applications opérationnelles

- Principaux enseignements
- Nécessite généralement la mobilisation de compétences complémentaires :
  - Évaluation des enjeux et intégration de la philosophie de la démarche
  - Calcul dynamique des structures
  - Géotechnique sismique (notamment liquéfaction des sols)
  - Procédure de qualification et appui à la réception des dispositifs
- La démarche a démontré son efficacité pour réduire sensiblement la vulnérabilité sismique des ouvrages à des coûts raisonnables
- L'emploi de dispositifs amortisseurs (*cumulée à d'autres techniques*) est apparu comme la technique la plus appropriée pour les grands ouvrages :
  - Réduction simultanée des efforts et des déplacements
  - Impact limité sur la structure et sur l'exploitation

# Merci de votre attention

**Denis DAVI**

Cerema Méditerranée

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

04 42 24 76 81 ou 04 67 20 95 83

denis.davi@cerema.fr