

Journées techniques
organisées avec l'appui du Sétra
et sous l'égide de la CoTITA

PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

Mardi 27 mars 2012
Lundi 2 et mardi 3 avril 2012

CETE Méditerranée, Aix-en-Provence



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

Journées techniques organisées avec l'appui du Sétra et sous l'égide de la CoTITA

PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

Ouvrages d'Art

Denis DAVI, Jean-Christophe CARLES
CETE Méditerranée



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Plan de l'exposé

- Retours d'expérience des séismes passés
- Les principes de conception parasismique des ponts
- La problématique des ouvrages existants
- Le rôle de la maîtrise d'ouvrage
- Référentiel normatif et technique

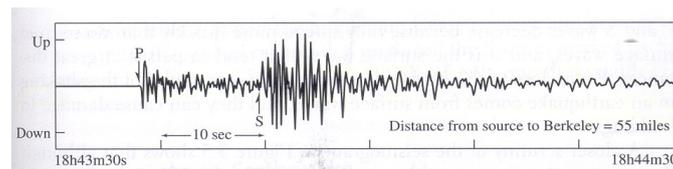
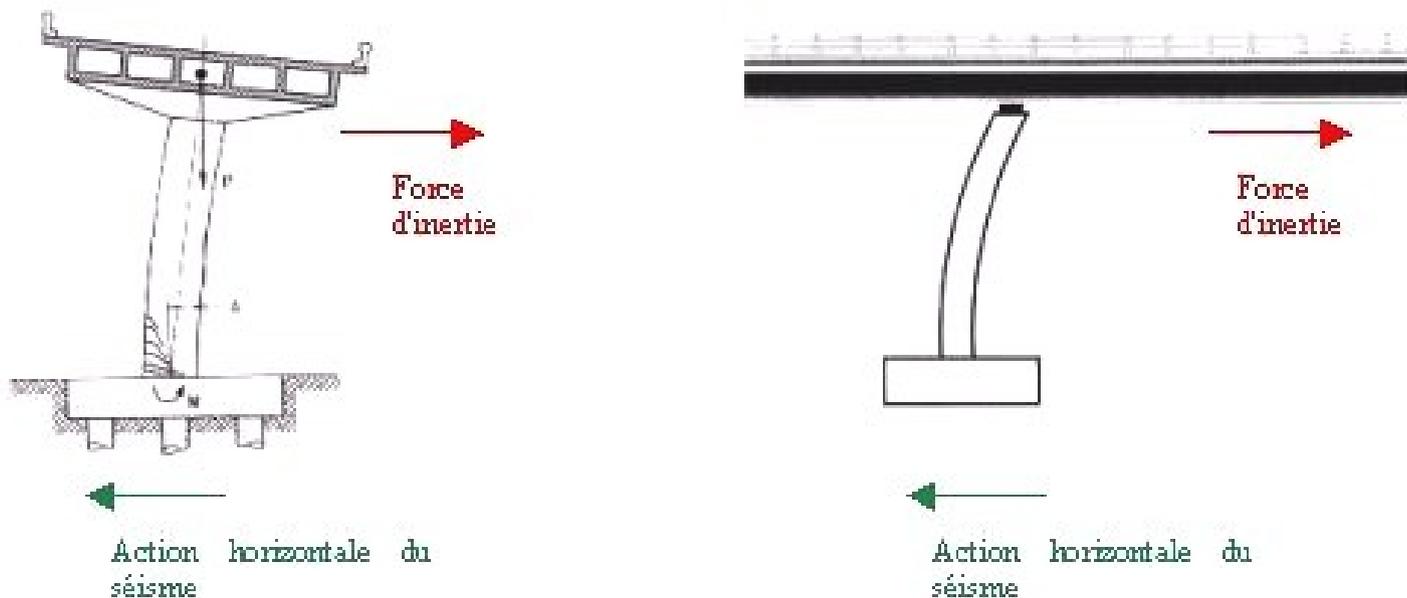


La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Nature des sollicitations sismiques

Effort sismique = Force d'inertie = Masse x Accélération



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

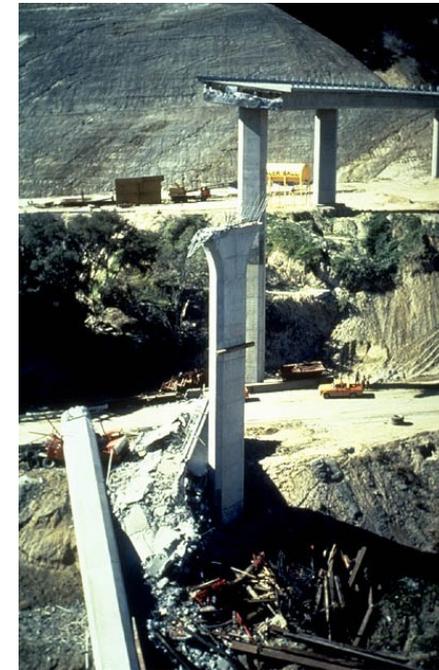
- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

Echappements d'appui

Causes multiples : entrechoquements, déplacements différentiels entre appuis, tassements des fondations...



Kobé (Japon, 1995)



San Fernando (USA, 1971)

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

Echappements d'appui



Conception (Chili, 2010)

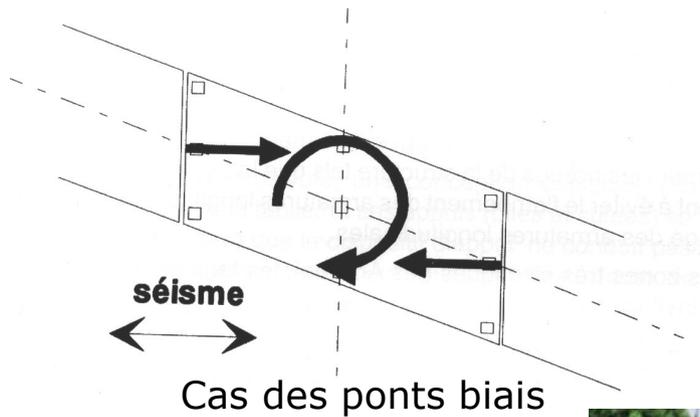


La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

Echappements d'appui



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

Ruptures par cisaillement des piles



Kobé (Japon, 1995)



Chi-Chi (Taiwan, 1999)

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

Endommagement des piles sous l'effet des efforts de flexion



Northridge (USA, 1994)

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

Poinçonnement du tablier sous l'effet de la composante verticale



Loma Prieta (USA, 1989)

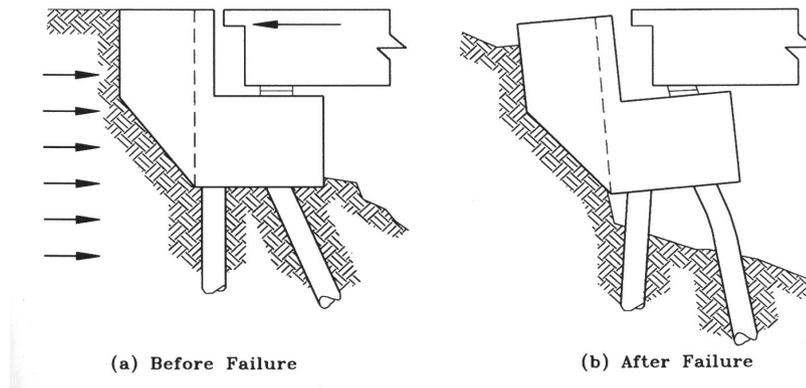


La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

Endommagement des culées



Costa Rica (1990)

Tassement ou rupture des remblais d'accès



Aquila (Italie, 2009)

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

Vulnérabilité des voûtes en maçonnerie généralement limitée aux tympan, sauf cas exceptionnel...



Aquila (Italie, 2009)
M=6,3



Conception (Chili, 2010)
M=8,8

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Causes récurrentes d'effondrement des ponts

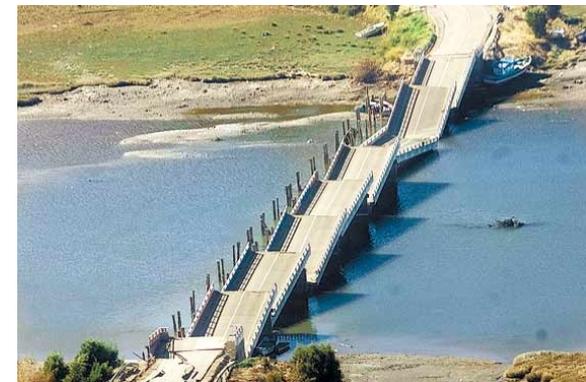
Effondrement lié à la liquéfaction du sol porteur



Costa Rica (1990)



Niigata (Japon, 1964)

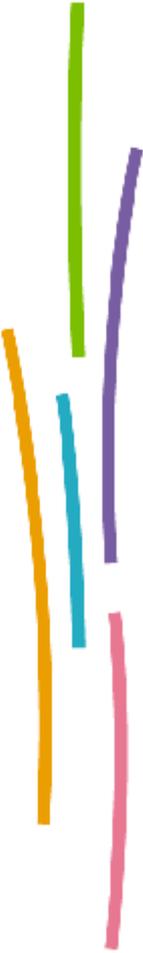


Conception (Chili, 2010)

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Retours d'expérience des séismes passés

- Principaux enseignements
 - **Importance du choix et de l'analyse du site d'implantation de l'ouvrage**
(effets de site, risques de liquéfaction, chutes de blocs, glissements de terrain, présence de failles actives...)
 - **Sollicitations sismiques = efforts et/ou déplacements proportionnels à la masse du tablier et principalement horizontaux**
 - **Certains ouvrages relativement peu sensibles :**
 - Voûtes maçonnées de hauteurs modestes (< 5m)
 - Ouvrages monolithiques de type cadres ou portiques
 - Ponts très souples (ponts suspendus et à haubans) non fondés sur sols mous
 - **Certains ouvrages particulièrement sensibles :**
 - Ponts à travées indépendantes
 - Ponts présentant un biais et/ou une courbure importants



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Les principes de conception parasismique des ponts

- Les exigences de performances réglementaires

EC8-2 §2.1(1) : « La démarche de dimensionnement est basée, en ce qui concerne la résistance sismique des ponts, sur l'exigence générale d'après laquelle les communications d'urgences doivent être maintenues, avec une fiabilité appropriée, après l'événement sismique de calcul. »

§2.2.2 : Exigence de non-effondrement, de fonctionnalité d'urgence et de réparabilité sous séisme ultime.

§2.2.3 : Exigence de minimisation des dommages sous séisme de service (implicite).



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Les principes de conception parasismique des ponts

- Les exigences de performances réglementaires

		Niveau de performance sismique			
		Dégâts minimes / Ouvrage quasi-intact	Fonctionnalité d'urgence / Réparabilité	Non-effondrement / Protection des usagers	Etat proche de la ruine
Niveau de séisme considéré	Occasionnel (92 ans)		INACCEPTABLE	INACCEPTABLE	INACCEPTABLE
	Rare (475 ans)			INACCEPTABLE	INACCEPTABLE
	Très rare (800 ans)				INACCEPTABLE
	Exceptionnel (1250 ans)				

Catégorie II

Catégorie III

Catégorie IV

$$A_{Ed} = \gamma_i A_{Ek} \text{ avec}$$

EC8-2 §2.1(6)
et Arrêté « Ponts »

$\gamma_i = 1,00$ pour la catégorie II

$\gamma_i = 1,20$ pour la catégorie III

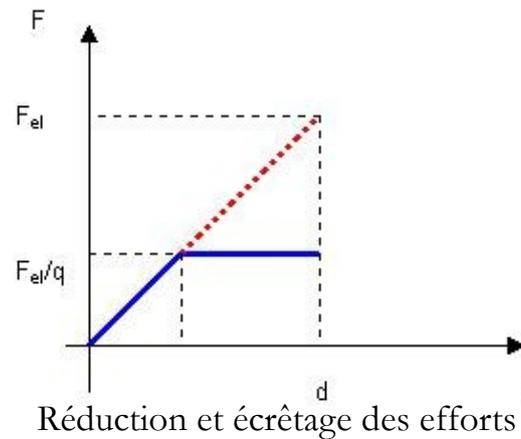
$\gamma_i = 1,40$ pour la catégorie IV

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Les principes de conception parasismique des ponts

- Les stratégies de conception

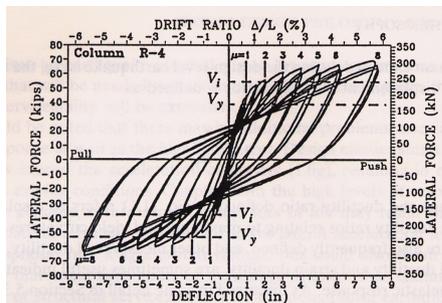
Robustesse (ductilité) des appuis



Pour faire en sorte que les piles plient...



...mais ne cassent pas



Dissipation d'énergie par hystérésis

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

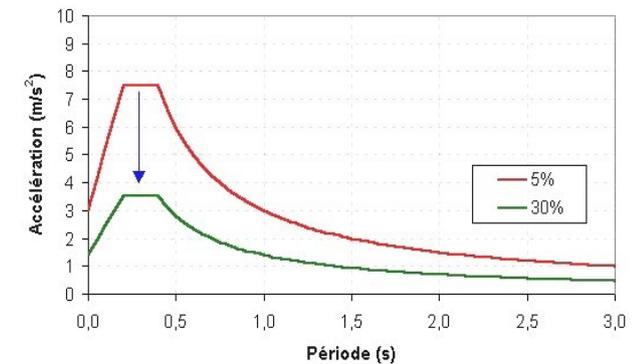
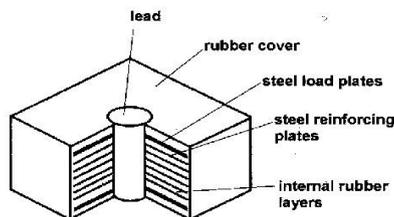
Les principes de conception parasismique des ponts

- Les stratégies de conception

Réduction des efforts transmis par le tablier
(isolation sismique, dispositifs amortisseurs)



EC8-2 §7
et Annexes J, JJ et K
NF EN 15129



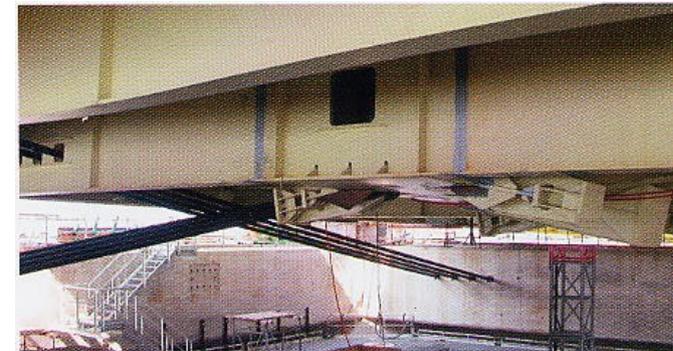
La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Les principes de conception parasismique des ponts

- Prise en compte du séisme en phase de construction



EC8-2 - Annexe A



Pour une durée de construction de 2 ans :

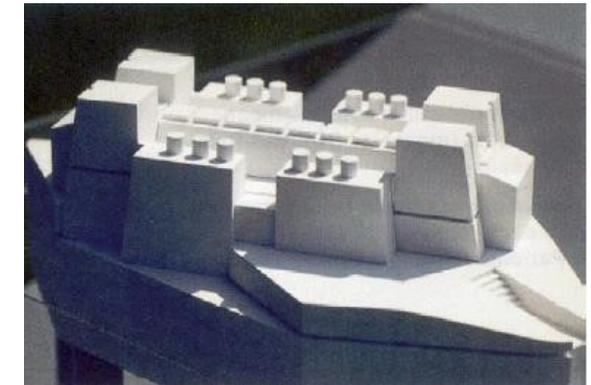
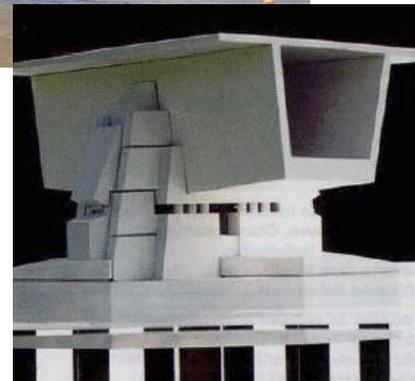
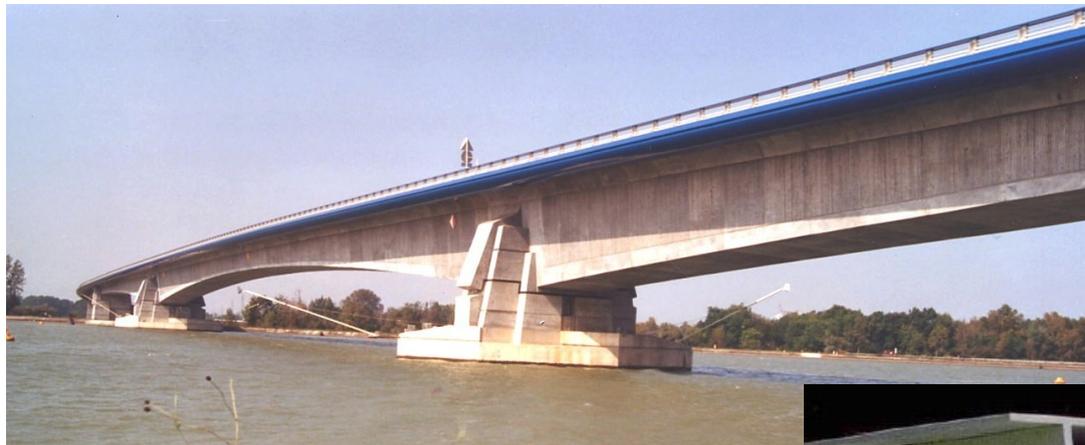
$$a_{gr, constr} = 0,26 a_{gr}$$

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Les principes de conception parasismique des ponts

- Quelques exemples de ponts parasismiques en France...
(conçus selon les anciennes règles AFPS92)

Le pont sur le Rhin (Strasbourg)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Les principes de conception parasismique des ponts

- Quelques exemples de ponts parasismiques en France...
(conçus selon les anciennes règles AFPS92)

Le viaduc de Saint-André (Vallée de la Maurienne)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Les principes de conception parasismique des ponts

- Quelques exemples de ponts parasismiques en France...
(conçus selon les anciennes règles AFPS92)

Le pont sur le Var à Saint-Isidore (proximité de Nice)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Les principes de conception parasismique des ponts

- Quelques exemples de ponts parasismiques en France...
(conçus selon les anciennes règles AFPS92)

Les ouvrages du TGV Méditerranée



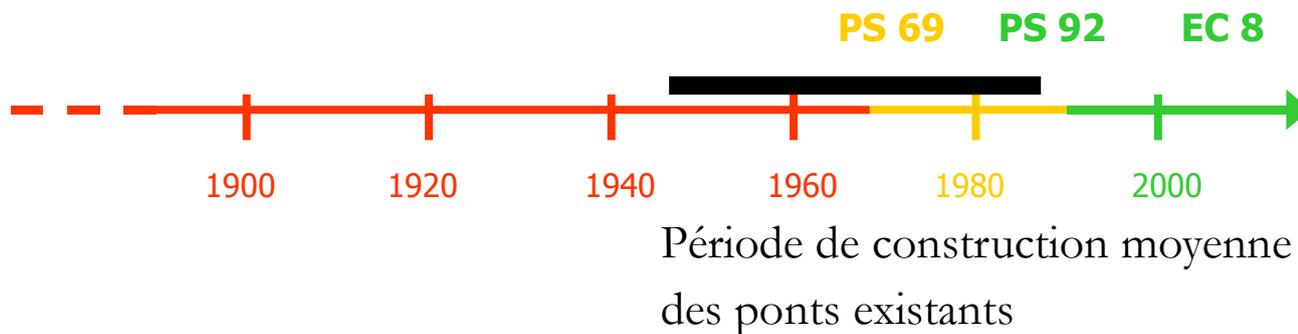
L'ensemble de la ligne du TGV Méditerranée est équipé de capteurs permettant de couper instantanément la circulation des trains en cas de secousse sismique.

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

- Une problématique particulière...

Bon nombre de ponts existants ont été construits avant l'apparition des premières normes parasismiques...



PS92 : 1^{ères} 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**

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

- Une problématique particulière...

On ne peut pas pour autant renforcer tous les ouvrages...

- Financièrement impossible
- Non souhaitable d'un point de vue stratégique :
 - Certains ouvrages sont résistants
 - Problème de « rentabilité » du renforcement



Nécessité d'établir des priorités



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

- Une problématique particulière...

Aspect non traité dans l'arrêté « Ponts »

Questions stratégiques et méthodologiques 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?



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

- Méthodologie développée par le RST
(GT piloté par le Sétra et le CETE Méditerranée)

Schéma de priorisation des ouvrages, établi par croisement de :

- La vulnérabilité pressentie de l'ouvrage aux séismes
(indices de vulnérabilité sommaire calculés à partir de critères qualitatif, typologiques et géométriques : **méthode Sismoa**)
- La sismicité du site d'implantation de l'ouvrage
(accélérations de référence réglementaires + effets induits)
- L'importance stratégique de l'ouvrage dans l'organisation des secours et la reprise de l'activité socio-économique
(matrice d'importance couvrant différentes échelles : Itinéraire/OA + Long terme/Court terme)



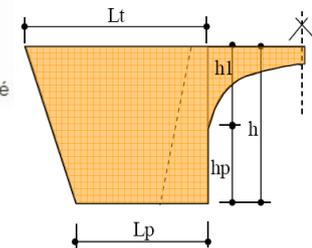
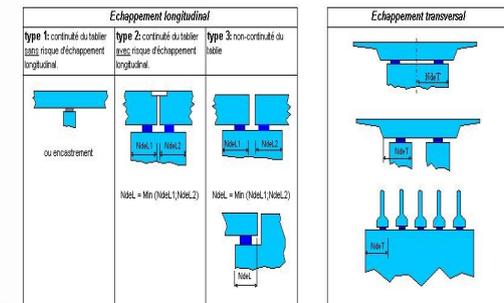
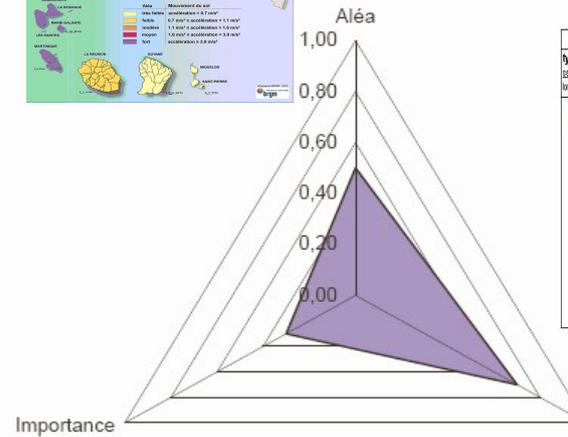
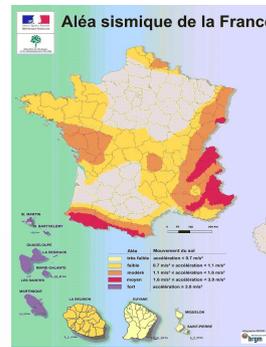
La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

- Méthodologie développée par le RST
(GT piloté par le Sétra et le CETE Méditerranée)

Schéma de priorisation des ouvrages :

Ouvrage	I _{OA1} (court terme)			I _{Sec_OA} = ...
	Victimes directes	Voie franchie	Organisation des secours	
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 voirie	RD, frêt Snct : 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				
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				
Réparabilité (pont courant à typologie peu vulnérable)		oui : 2	non : 3	...
Possib. de pont de secours (trèche<40 m)		oui : 3	non : 3	...
Possib. de déviation locale (échangeur, nousid urbain)		oui : 3	non : 3	...
I _{OA1} = ... (= I _{Vict_OA} + I _{Sec_OA} + I _{Rest_OA})				
Rôle socio-économique voie franchie				
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	normal : 0,5	élevé : 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				
Durée de reconstruction	< 6 mois : -1	6<< 24 mois : 2	> 2 ans : 4	...
Valeur intrinsèque de l'ouvrage				
Valeur intrinsèque de l'ouvrage	< 1 M € : 0,5	1 << 15 M € : 1	15 << 60 M € : 2	> 60 : 4
Coût			oui : 2	non : 0
Valeur patrimoniale historique (ouvrage classé)			oui : 2	non : 0
I _{OA2} = ... (= I _{Sec_OA} + I _{Reco_OA} + I _{Val_OA})				



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

- Méthodologie développée par le RST
(GT piloté par le Sétra et le CETE Méditerranée)

2ème phase : Diagnostic et projet de renforcement

(Uniquement pour les ouvrages sélectionnés lors de la phase précédente)

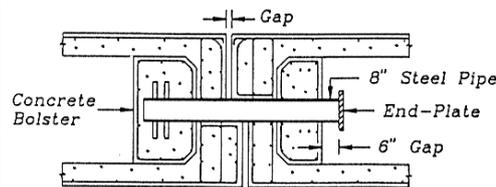
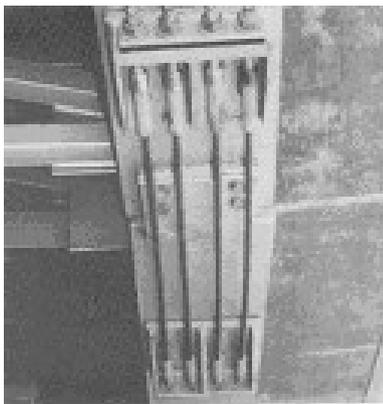
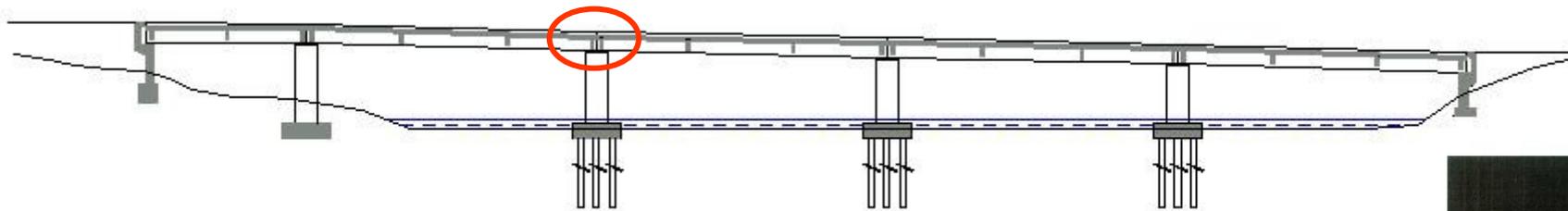
- Diagnostic sismique basé sur des méthodes d'analyse spécifiques
(*approches incrémentales visant à évaluer de manière la + réaliste possible le niveau de résistance des structures*)
- Etablissement d'objectifs de performance optimisés, réalistes et accessibles
(*étude préliminaire de renforcement sismique visant à définir le **meilleur optimum performance/enjeux/coûts***)
- Techniques de renforcement adaptées au contexte français
(*typologies d'ouvrage + sismicité « modérée »*)



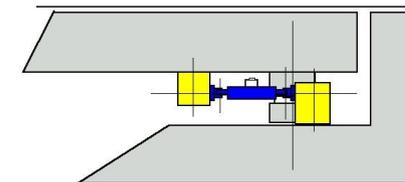
La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

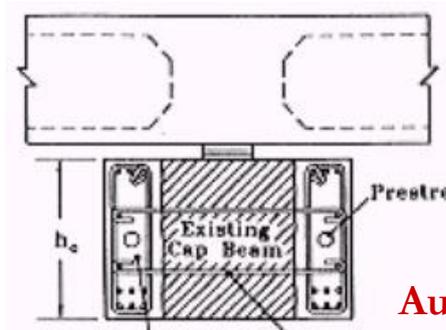
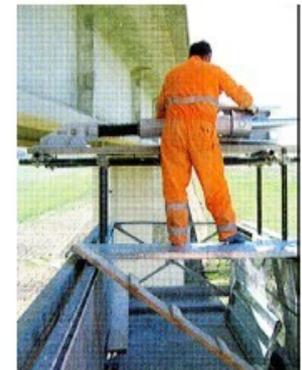
- Stratégies de renforcement



Attelage des travées



Installation d'amortisseurs



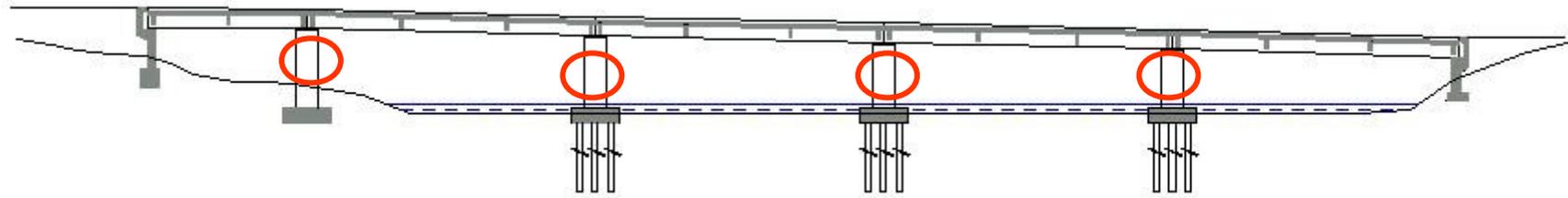
Augmentation des repos d'appui



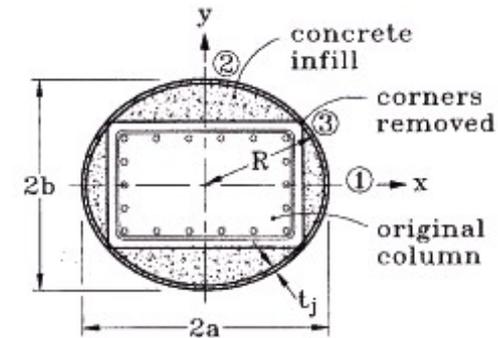
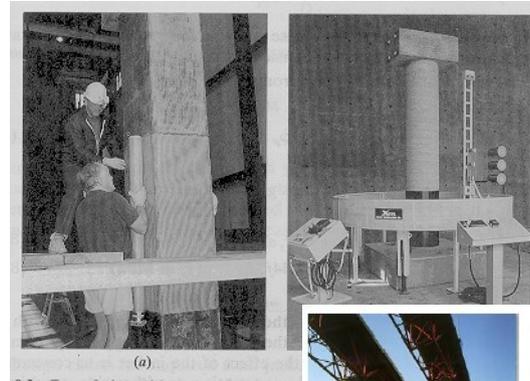
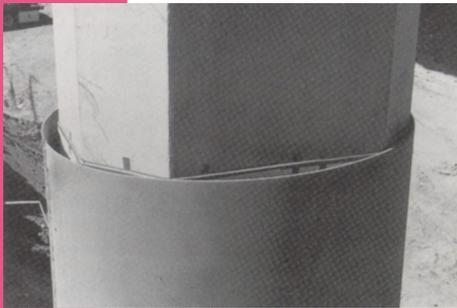
La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

- Stratégies de renforcement



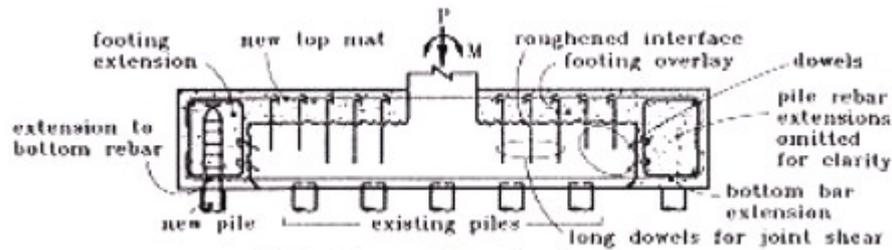
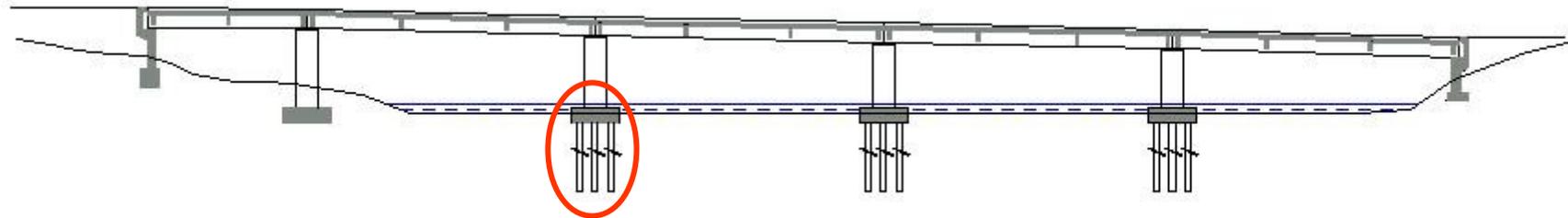
Chemisage des piles



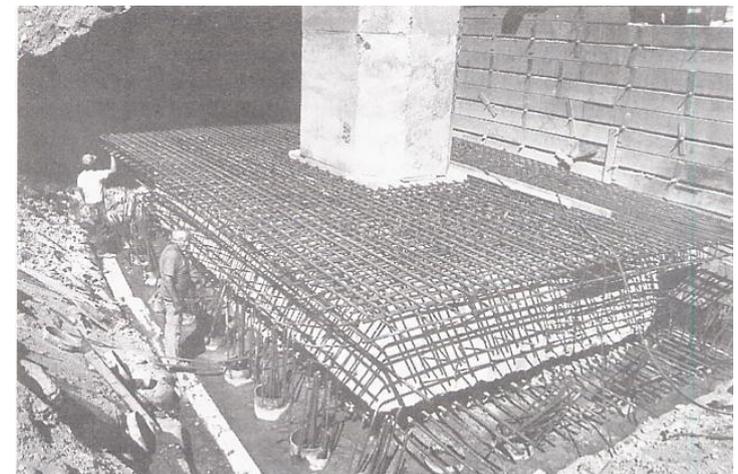
La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

La problématique des ouvrages existants

- Stratégies de renforcement



Renforcement des fondations



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

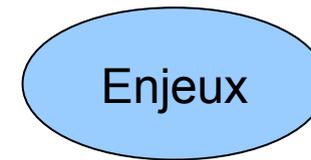
La prise en compte du séisme repose sur l'analyse de 3 paramètres :



- Sismicité nationale (zonage réglementaire)
- Sismicité régionale ou locale (micro-zonage, failles actives, effets de site...)
- Effets induits
 - * liquéfaction
 - * glissements de terrain
 - * chutes de blocs



- Choix géométriques (nbre et implantation des appuis, régularité structurelle)
- Choix de conception
 - * choix des matériaux
 - * dispositions anti-sismiques
 - * niveau de ductilité...



- Catégorie d'importance de l'ouvrage
- Durée de service prévue
- Niveaux de performances attendus...



Le Maître d'Ouvrage intervient dans la prise en compte de chacun de ces 3 paramètres.

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La caractérisation de l'aléa (ou des aléas...)

Le Maître d'Ouvrage doit faire réaliser les investigations sismologiques, géologiques et géotechniques, pour définir les aléas sismiques :

- Caractérisation des sols de fondation et détermination des coefficients d'amplification associés aux effets de site (*géologiques et topographiques*)
- Caractérisation des risques de liquéfaction et autres effets induits (*chutes de blocs, glissements de terrain*) qui peuvent influencer le choix d'implantation de l'ouvrage
- Détection des zones de faille
- Le cas échéant, réalisation d'un microzonage et caractérisation plus précise de la sismicité locale (*spectres et/ou accélérogrammes locaux*)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La caractérisation de l'aléa (ou des aléas...)

- Caractérisation des sols de fondation et définition des classes de sol

Niveau à calibrer selon :

- Niveau d'étude (*faisabilité, avant-projet, projet...*)
- Niveau d'aléa (*zone de sismicité et type de sol*)
- Enjeux (*ou catégorie d'importance*)

Catégorie d'importance	Zone de sismicité			
	Faible	Modérée	Moyenne	Forte
II	A	B	B	C
III	A	B	C	C ³
IV	B	C	C	C ³

Tableau 3 : Choix du niveau de reconnaissance en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance de l'ouvrage

Extrait du projet de guide Sétra « Ponts en zone sismique – Conception et dimensionnement selon l'EC8 »

Permet de définir :

- La classe de sol (*coefficient S d'amplification d'effet de site géologique*)
- Les paramètres qui permettront de déterminer la raideur des fondations sous sollicitations dynamiques sismiques

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

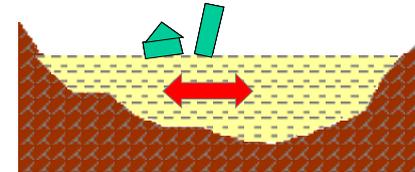
- Cas des ouvrages neufs

La caractérisation de l'aléa (ou des aléas...)

- Caractérisation des effets de site

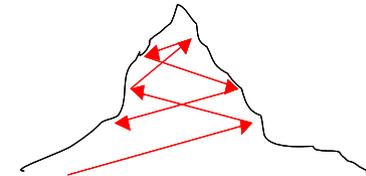
Effet de site géologique

- Application forfaitaire du coefficient d'amplification S
(valeurs comprises entre 1,0 et 1,8 selon classe de sol et zone de sismicité)
- ou
- Analyses locales (microzonage)
(cas de conditions de sites très spécifiques)



Effet de site topographique

- Application forfaitaire du coefficient d'amplification τ (cf. EC8-5 Annexe A)
(valeurs comprises entre 1,0 et 1,68 selon relief et sol de surface)
- ou
- Analyses locales (microzonage)
(cas de conditions de sites très spécifiques)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La caractérisation de l'aléa (ou des aléas...)

- Caractérisation des effets induits

Liquéfaction des sols

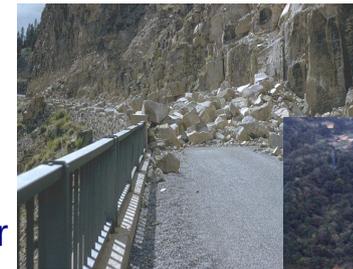


- Analyse requise uniquement si zone de sismicité ≥ 3
- Si susceptibilité avérée (densité + granulo + niveau de nappe), nécessité de reconnaissance spécifiques :
 - *SPT/CPT*
 - *essais d'identification (notamment teneur en fines)*
 - *les cas échéant, essais de liquéfaction en laboratoire (unités triaxiales cycliques)*

Peut remettre en cause la faisabilité technique et l'implantation de l'ouvrage en cas de risque avéré sur des couches étendues de sol (ou renfort de sol)

Chutes de blocs et glissements de terrain

- Phénomènes accentués par les séismes
- Etudes spécifiques à prévoir dans les zones à risque
- Le cas échéant, systèmes de protection étendus à prévoir



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La caractérisation de l'aléa (ou des aléas...)

- Détection des zones de failles

Proximité d'une faille sismotectonique active au sens de la NF EN 1998-2
(uniquement Antilles) – **Nécessité de :**

- Une étude sismologique spécifique
- Une modélisation plus précise de la réponse structurelle
- Une majoration forfaitaire de certains effets (déplacements différentiels entre appuis)

Proximité d'une faille sismotectonique reconnue, mais non active au sens de la NF EN 1998-2 (Antilles + métropole) – **Recommandation de :**

- Une représentation de l'aléa basée sur les spectres réglementaires
- Une modélisation plus précise de la réponse structurelle
- Une majoration forfaitaire de certains effets (déplacements différentiels entre appuis)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La définition des enjeux

- La catégorie d'importance
 - 4 catégories (I à IV) pour la classe dite « à risque normal »
 - La catégorie IV relève en principe d'une décision du préfet
 - La catégorie I n'est pas soumise à l'application des règles parasismiques
 - Des coefficients d'importance γ_1 (1,0 à 1,4) pondèrent l'accélération de référence (*modulation des périodes de retour associées*)

En catégorie d'importance I : les ponts qui n'appartiennent pas au domaine public et ne desservant pas d'établissement recevant du public et ne sont rangés ni en catégorie d'importance III ni en catégorie d'importance IV.

En catégorie d'importance II : les ponts qui n'appartiennent pas au domaine public mais qui desservent un établissement recevant du public, ainsi que les ponts qui appartiennent au domaine public et ne sont rangés ni en catégorie d'importance III ni en catégorie d'importance IV.

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La définition des enjeux

- La catégorie d'importance

En catégorie d'importance III :

- les ponts qui appartiennent au domaine public et qui portent, franchissent ou longent au moins une des voies terrestres ci-après :

- autoroutes mentionnées à l'article L. 122-1 du code de la voirie routière ;

- routes express mentionnées à l'article L. 151-1 du code de la voirie routière ;

- voies à grande circulation définies à l'article L.110-3 du code de la route ;

- liaisons ferroviaires à grande vitesse mentionnées au décret du 1er avril 1992 susvisé ;

- les pont-canaux qui n'appartiendraient pas à la classe à risque spécial ;

- les ponts situés dans les emprises des ports maritimes et fluviaux, à l'exclusion des ports de plaisance ;

- les ponts des pistes d'aérodrome et les ponts de voies de circulation d'aéronefs situés aux abords des pistes d'aérodrome qui ne sont pas rangés en catégorie d'importance IV.



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La définition des enjeux

- La catégorie d'importance

En catégorie d'importance IV :

- les ponts des pistes d'aérodrome ayant un code lettre C, D, E ou F au sens de l'arrêté du 10 juillet 2006 relatif aux caractéristiques techniques de certains aérodromes terrestres utilisés par les aéronefs à voilure fixe ;
- les ponts des voies de circulation d'aéronefs et situés aux abords d'une piste, ayant un code lettre C, D, E ou F au sens de l'arrêté du 10 juillet 2006 cité ci-dessus ;
- les ponts dont l'utilisation est primordiale pour les besoins de la sécurité civile, de la défense nationale ainsi que pour le maintien de l'ordre public. Le classement en catégorie d'importance IV est prononcé par le préfet chaque fois que l'ouvrage constitue un point essentiel pour l'organisation des secours.

Tout pont nouveau définitif de catégorie d'importance II ou III dont l'endommagement pourrait provoquer des dommages à un bâtiment, un équipement ou une installation de catégorie d'importance IV reçoit le classement de pont de catégorie d'importance IV.

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La définition des enjeux

- La durée de vie théorique de l'ouvrage

- Permet d'ajuster la valeur de l'accélération de référence pour des durées de vie théoriques différentes de 100 ans
- Exemples :
 - 120 ans : $a_{g\ 120ans} = 1,06 a_{gr}$
 - 50 ans : $a_{g\ 50ans} = 0,79 a_{gr}$

- Le trafic supporté

- Impose ou non de combiner le séisme avec une partie des charges de trafic
- Limité aux ponts ferroviaires et ponts routiers urbains à trafic intense (1ère classe de la NF EN 1991-2)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La définition des enjeux

Le Maître d'Ouvrage peut également se prononcer sur :

- La prise en compte ou non du séisme (niveau réduit) en phase de construction
 - Selon l'Annexe A informative de l'Eurocode 8-2
 - A limiter en pratique à des cas exceptionnels :
 - *Durée de chantier ≥ 2 ans*
 - *Sismicité moyenne à forte et/ou ouvrage très important (Millau?)*
- La prise en compte d'un séisme dit « de service »
 - Vérification du critère de minimisation de dommage non imposée par la réglementation
 - Supposé implicitement couverte par le critère de non effondrement sous séisme « ultime »
 - Peut se justifier pour des cas très particuliers :
 - *Ferroviaire*
 - *Volonté de maintenir un niveau de fonctionnalité immédiat (ouvrage particulièrement circulé, catégorie IV ou zone de sismicité forte...)*

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La réduction de la vulnérabilité (ou du niveau d'exposition à l'aléa)

En collaboration avec la Maîtrise d'œuvre et son assistant à Maîtrise d'ouvrage... :

- Choix de la géométrie
 - Nombre et implantation des appuis, redondance
 - Régularité structurelle
 - Légèreté
 - Choix des matériaux constitutifs
- Choix de la stratégie de conception parasismique
 - Ductilité limitée (ou essentiellement élastique)
 - Ductile
 - Basée sur les principes d'isolation sismique et d'amortissement
 - *Appareils d'appui en élastomère fretté classiques*
 - *Dispositifs spéciaux de type amortisseurs*



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

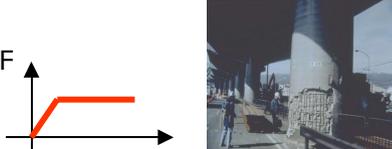
Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La réduction de la vulnérabilité (ou du niveau d'exposition à l'aléa)

- Choix de la stratégie de conception parasismique



	DUCTILITE LIMITEE (ou essentiellement élastique)	DUCTILE (ductilité structurelle)	ISOLATION SISMIQUE	
			Isolateurs, AA élastomère classiques	Amortisseurs, systèmes ductiles
				
Comportement sous séisme "de calcul"	Ouvrage intact ou très faiblement endommagé	Ouvrage moyennement à fortement endommagé	Ouvrage intact	Ouvrage intact
Dispositions constructives	Classiques, sauf en zones dites "critiques"	Très contraignant dans les zones les zones de rotules plastiques potentielles (+ classe d'acier ductile)	Classiques, sauf en zones dites "critiques"	Classiques, sauf en zones dites "critiques"
Calculs et dimensionnement	Relativement aisés	+ ou - complexes selon degré de régularité structurelle	Relativement aisés	Complexes
Conditions de maintenance	Aucune particulière	Aucune particulière	Très variable selon technologie employée	
Domaines d'application	Sismicité faible à modérée Ouvrages courants ou à fort enjeu	Sismicité moyenne ou forte Ouvrages non-courants	Sismicité faible à moyenne Ouvrages courants et non-courants	Sismicité forte Ouvrages non-courants Ouvrages à fort enjeu

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

La réduction de la vulnérabilité (ou du niveau d'exposition à l'aléa)

- Vis-à-vis des effets induits

Réduction de l'exposition à l'aléa

- Choix de l'implantation de l'ouvrage et de ses appuis
- Traitements de sol vis-à-vis de l'aléa liquéfaction
- Protections vis-à-vis des chutes de blocs et glissements de terrains
 - *stabilisations de versants (clouages, filets...)*
 - *protections extérieures : écrans pare-blocs, merlons, fosses...*

Conception adaptative :

- Nature et profondeur des fondations
- Dimensions des appuis
- Coques en épaisseur sacrificielle de béton...



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages neufs

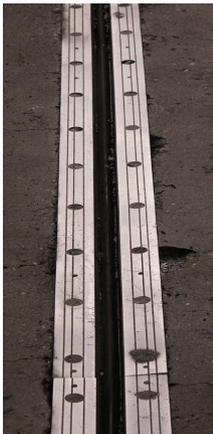
La réduction de la vulnérabilité (ou du niveau d'exposition à l'aléa)

Le Maître d'Ouvrage peut également se prononcer sur :

- Dimensionnement de certains équipements et éléments secondaires non-critiques

Joint de chaussée, murs garde-grève, éléments structuraux non-critiques (murs en retour de culées...)

- Réputés fusibles sous séisme
- Réglementairement à dimensionner pour 40% de l'action sismique de calcul
- Un dimensionnement à 100% peut se justifier dans certains cas :
 - *Ferroviaire*
 - *Volonté de maintenir un niveau de fonctionnalité immédiat (ouvrage particulièrement circulé, catégorie IV ou zone de sismicité forte...)*
 - *Majorations sismiques faibles par rapport aux autres actions (notamment thermiques)*



Éléments non structuraux (murs caches des culées...)

Dimensionnement sismique non requis



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages existants

Aspect non-couvert par la législation actuelle

(mais qui n'interdit pas de s'en préoccuper !!)

Exemples de prise en compte et d'actions « volontaristes »

- Mise en conformité sismique du viaduc de Caronte (Martigues, A55)

- Collaboration DIR Méditerranée / Sétra / CETE Méditerranée
- Mise à profit des travaux de renforcement structurel
- Analyse du risque de liquéfaction + renforcement sismique :
 - *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



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages existants

Aspect non-couvert par la législation actuelle

(mais qui n'interdit pas de s'en préoccuper !!)

Exemples de prise en compte et d'actions « volontaristes »

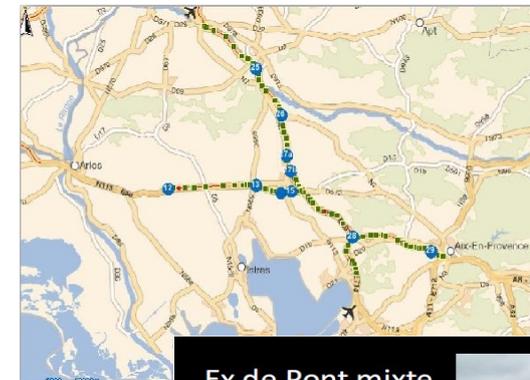
- Analyse de la vulnérabilité sismique des OA courants du triangle autoroutier A7-A8-A54

- Collaboration ASF / CETE Méditerranée / Sétra
- Etude test à vocation méthodologique
- 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...



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

- Cas des ouvrages existants

Aspect non-couvert par la législation actuelle

(mais qui n'interdit pas de s'en préoccuper !!)

Exemples de prise en compte et d'actions « volontaristes »

- **Diagnostic et renforcement sismiques de 5 viaducs de l'A9 entre Perpignan et l'Espagne**
 - Mise à profit de travaux d'élargissement
 - Demande explicite de prise en compte par la DGITM (concedant) validée par Décision Ministérielle
 - Collaboration ASF / Sétra / CETE Méditerranée
- Principaux résultats :
 - *Atteinte de 100% de a_g*
 - *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...*



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

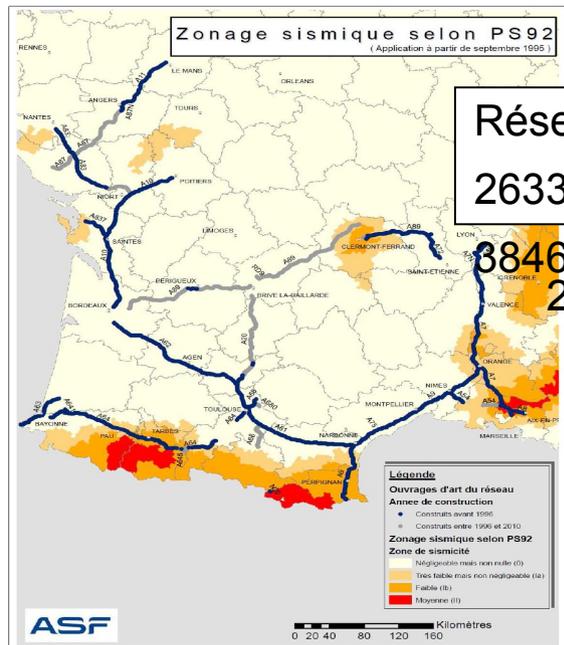
- Cas des ouvrages existants

Aspect non-couvert par la législation actuelle

(mais qui n'interdit pas de s'en préoccuper !!)

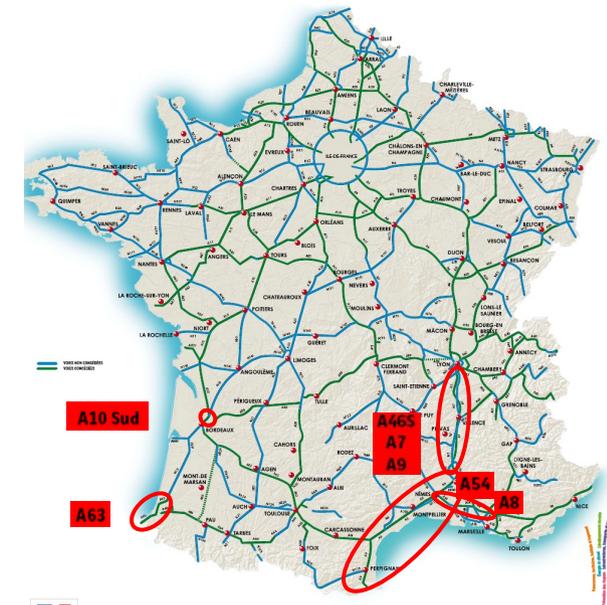
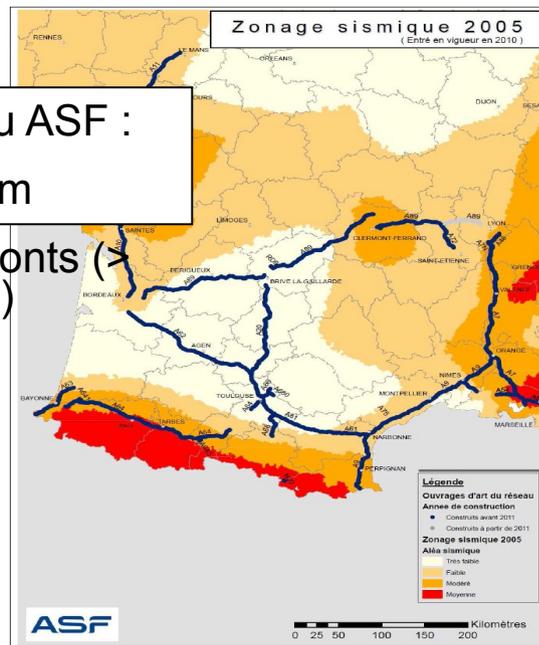
Exemples de prise en compte et d'actions « volontaristes »

- Analyse des enjeux liés à la modification du zonage sismique et identification des itinéraires autoroutiers prioritaires (ASF + DGITM/APRR)



Réseau ASF :
2633 km

3846 ponts (>
2m)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Référentiel normatif et technique

- Références normatives

Législation nationale

- Décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique
- Décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français
- Arrêté du 26 octobre 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la catégorie dites "à risque normal"

Normes de calcul européennes et leurs Annexes Nationales

- NF EN1998-1 et NF EN1998-1/NA - Eurocode 8 : Calcul des structure pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments
- NF EN1998-2 et NF EN1998-2/NA - Eurocode 8 : Calcul des structure pour leur résistance aux séismes – Partie 2 : Ponts
- NF EN1998-5 et NF EN1998-5/NA - Eurocode 8 : Calcul des structure pour leur résistance aux séismes – Partie 5 : Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques

Normes « produits » européennes

NF EN 15129 : Dispositifs antisismiques

La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

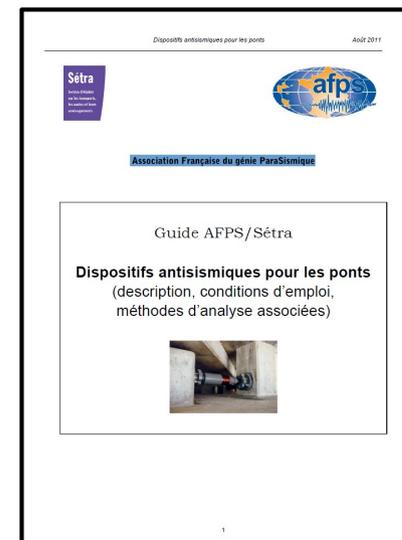
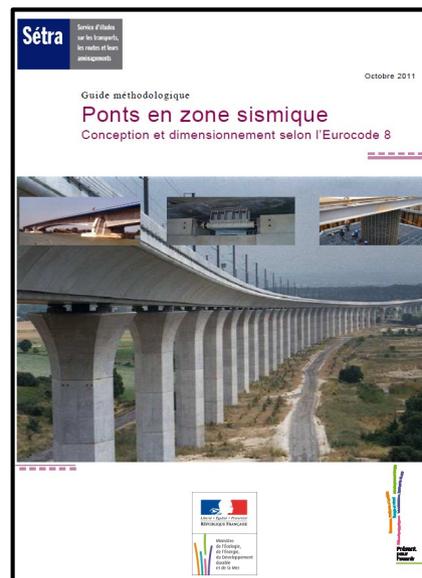
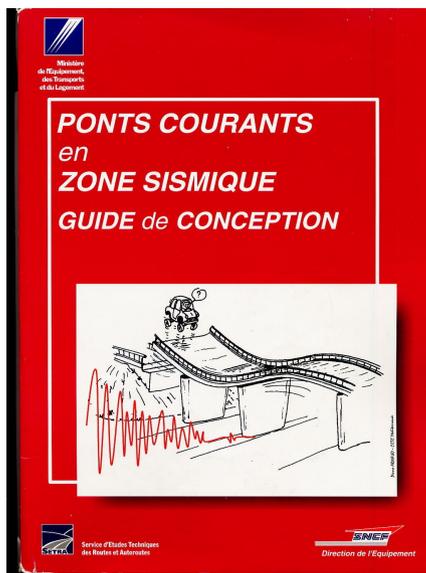
Référentiel normatif et technique

- Documentation technique

Concernant les ouvrages neufs

A paraître :

- Guide Sétra « Ponts en zone sismique – Conception et dimensionnement selon l'EC8 »
(Refonte de l'actuel guide de conception Sétra/Sncf « Ponts courants en zone sismique »)
- Guide AFPS/Sétra « Dispositifs parasismiques pour les ponts »



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

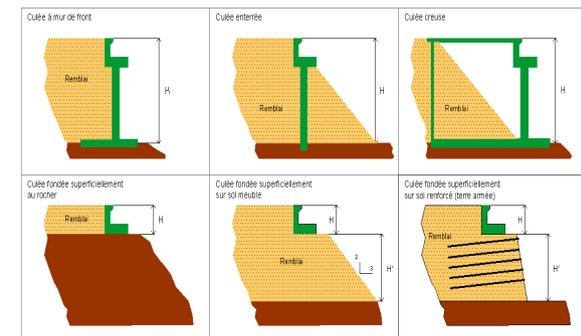
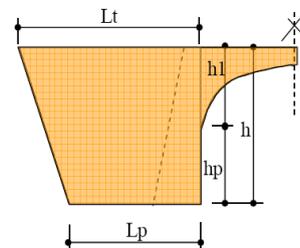
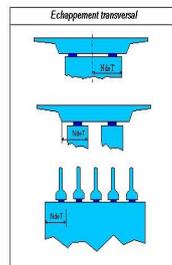
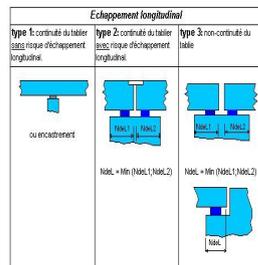
Référentiel normatif et technique

- Documentation technique

Concernant les ouvrages existants

Méthode Sismoa

- Evaluation préliminaire du risque sismique sur les OA existants
- Approche sommaire qualitative basée sur des critères typologiques et géométriques
- Reposant sur l'analyse des dégâts subis par les ponts lors des séismes passés
- Méthode validée, téléchargeable sur le site internet du Sétra
(Compléments Sisroute et Sismur en phase de développement)



La prise en compte du risque sismique sur les Ouvrages d'Art

Référentiel normatif et technique

- Documentation technique

Concernant les ouvrages existants

A paraître :

- Guide Sétra « Diagnostic et renforcement sismiques des ponts existants »



+ Réflexions en cours sur les problématiques d'élargissement et de remplacement de tabliers...

Merci pour votre attention !

