

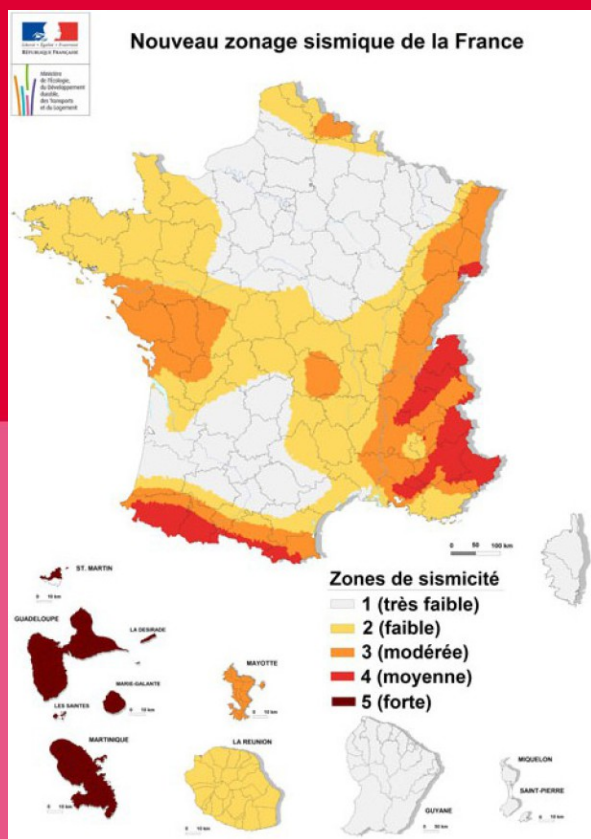
Journée technique

PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

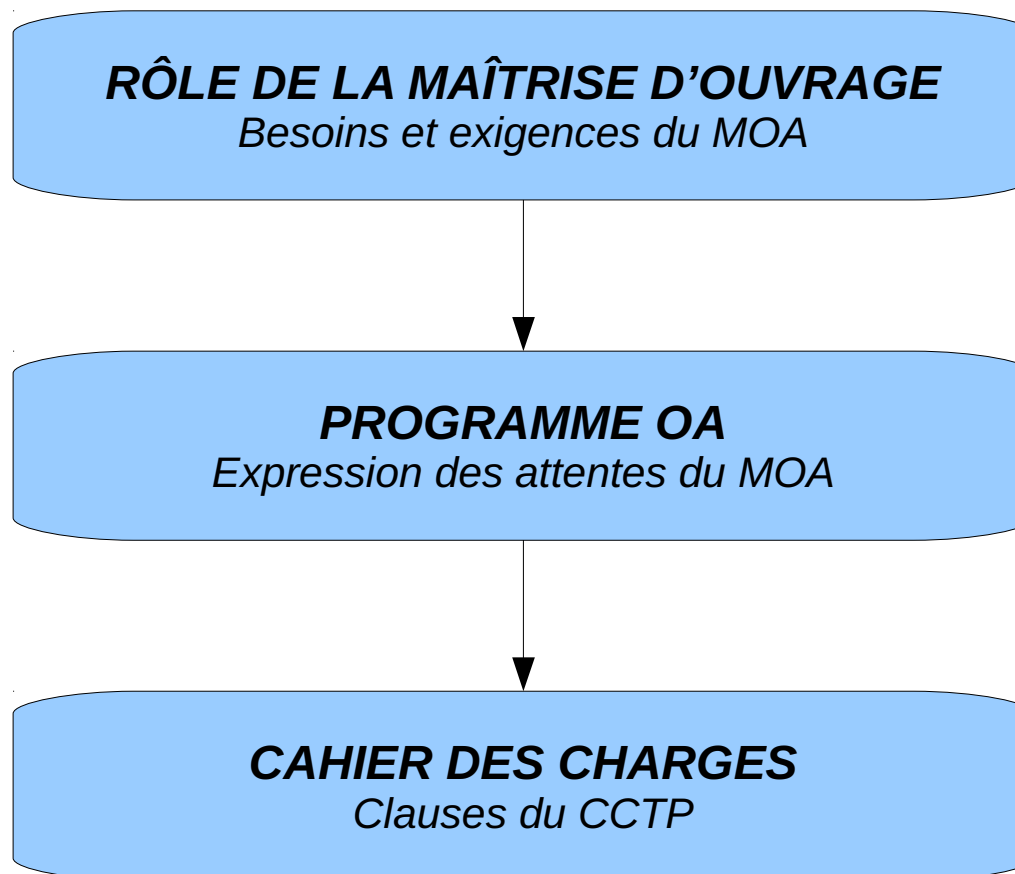
Synthèse des hypothèses à caler

*Exemple de fiche programme OA
et clauses type CCTP*

Benoît POULIN
CETE Ouest



Synthèse des hypothèses à caler



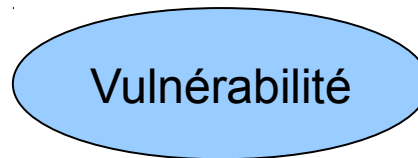
Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

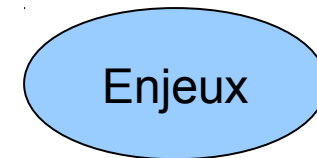
La prise en compte du séisme repose sur l'analyse de 3 paramètres :



- 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 structurale)
- 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.



Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- Programme d'Ouvrage d'Art =
Expression des attentes du Maître d'Ouvrage
- 1- données qui s'imposent
 - 2- exigences pour la conception et la construction
- rédaction conjointe M0a / M0e
 - évolution au cours des phases d'études



Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- Sommaire type :

- Les données

- données fonctionnelles
- données de site

- ...

- données sismiques

- ...

- Exigences de base en terme de conception et de calcul

- exigences en situation durable
- exigences et contraintes en cours de construction
- exigences en situation accidentelle
- **exigences en situation sismique**
- exigences vis-à-vis des évènements climatiques exceptionnels

- Exigences vis-à-vis du développement durable

OPERATION :

OUVRAGE :

PHASE D'ETUDE :

MAITRE D'OUVRAGE :

PROGRAMME D'OUVRAGE D'ART

Respecter, améliorer et valoriser
l'environnement durable
Prévenir les risques : sismiques, climatiques, technologiques

Présent
pour
l'avenir



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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*)



Synthèse des hypothèses à caler

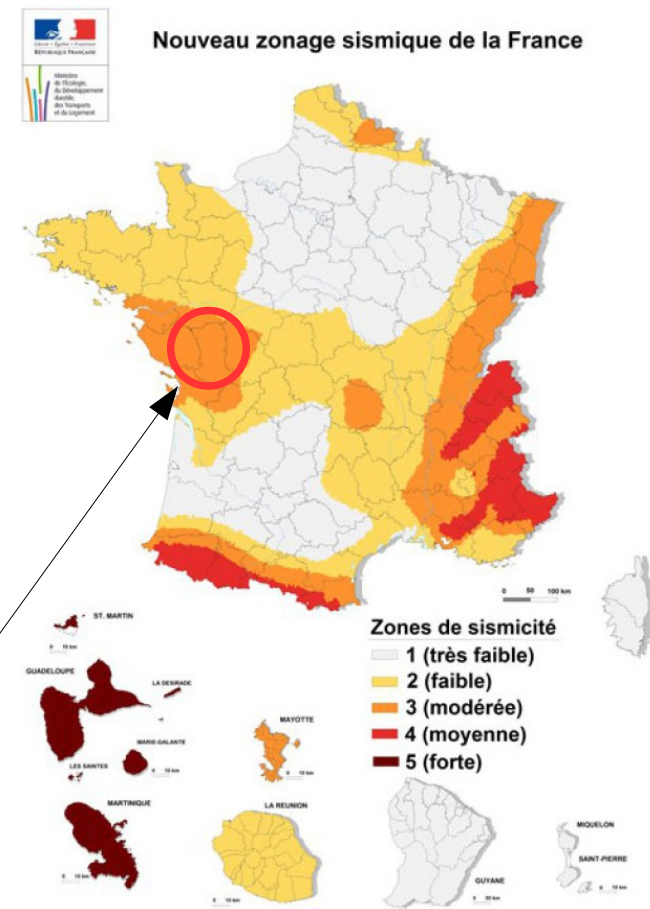
Exemple de fiche programme OA

- DONNEES SISMIQUES :**

1- Zonage sismique :

(décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010)
(arrêté du 26 octobre 2011)

	Zone de sismicité	Accélération horizontale de référence au niveau d'un sol de type rocheux a_{gr} (m/s ²)
<input type="checkbox"/>	1 (très faible)	--
<input type="checkbox"/>	2 (faible)	0,7
<input checked="" type="checkbox"/>	3 (modérée)	1,1
<input type="checkbox"/>	4 (moyenne)	1,6
<input type="checkbox"/>	5 (forte)	3,0



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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 de la version provisoire de février 2012 du document intitulé « Guide méthodologique – Ponts en zone sismique – Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8 »

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

Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- **DONNEES SISMIQUES :**

Lien avec les données géotechniques :

- **niveau A** : basé sur une simple interprétation des essais (pressiométriques par exemple : p_1 , E_m).
- **niveau B** : nécessite une interprétation affinée des essais par un géotechnicien.
- **niveau C** : nécessite d'inclure dans le programme de reconnaissances, des méthodes de mesure de v_s .

(Pour plus de détails, se reporter à la version provisoire de février 2012 du document intitulé "Guide méthodologique – Ponts en zone sismique – Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8 »)

→ indication dans le programme...

Programme de reconnaissances :

Au regard de la sismicité :

- Aucune reconnaissance particulière n'est à envisager
- Un niveau A de reconnaissance est retenue
- Un niveau B de reconnaissance est retenue
- Un niveau C de reconnaissance est retenue



Synthèse des hypothèses à caler

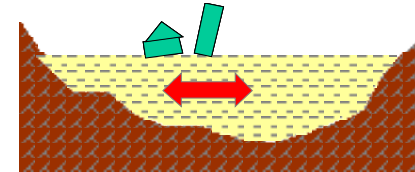
Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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

- Caractérisation des effets de site

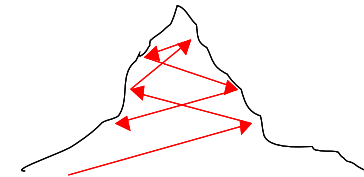
Effet de site géologique

- 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)



Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- DONNEES SISMIQUES :**

3- Classe de sol :

	Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètre de sol S (pour les zones de sismicité 2 à 4)	Paramètre de sol S (pour la zone de sismicité 5)
<input type="checkbox"/>	A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.	1,00	1,00
<input type="checkbox"/>	B	Dépôts raides de sables, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des caractéristiques mécaniques avec la profondeur.	1,35	1,20
<input type="checkbox"/>	C	Dépôts profonds de sables de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres.	1,50	1,15
<input type="checkbox"/>	D	Dépôts de sols sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant en majorité des sols cohérents mous à fermes.	1,60	1,35
<input type="checkbox"/>	E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $v_s > 800$ m/s.	1,80	1,40



Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- DONNEES SISMIQUES :**

3- Classe de sol (suite) :

	Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètre de sol S (pour les zones de sismicité 2 à 4)	Paramètre de sol S (pour la zone de sismicité 5)
<input type="checkbox"/>	S₁	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (IP>40) et une teneur en eau importante.		
<input type="checkbox"/>	S₂	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S ₁ .		



→ **lien entre données sismiques et données géotechniques**

Synthèse des hypothèses à caler

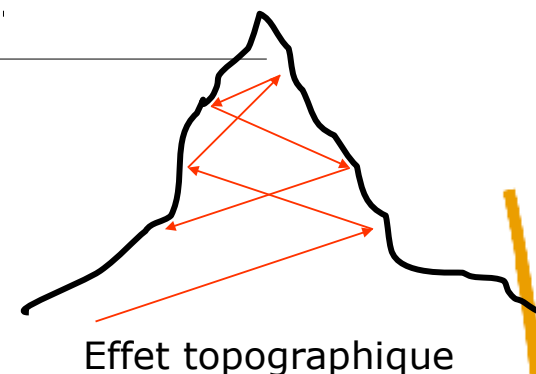
Exemple de fiche programme OA

- DONNEES SISMIQUES :**

4- Nature du relief :

Le coefficient d'amplification topographique S_T est le suivant :

- L'ouvrage ne se situe pas sur ou à proximité de pentes (buttes ou versants longs), de hauteur supérieure à 30 m et d'inclinaison supérieure à 15° , donc $S_T=1,0$
- L'ouvrage se situe sur ou à proximité de pentes (buttes ou versants longs), de hauteur supérieure à 30 m et d'inclinaison supérieure à 15° . On retient ainsi :



	Coefficient d'amplification topographique S_T	Description du site
<input type="checkbox"/>	1,0	- autres cas que ceux énoncés ci-après
<input type="checkbox"/>	1,2	- <i>versants et pentes isolés</i> : sites situés à proximité de la crête - <i>buttes dont la largeur de la crête est notablement inférieure à la largeur de la base</i> : proximité de la crête des pentes dont l'angle d'inclinaison moyen est inférieur à 30°
<input type="checkbox"/>	1,4	- <i>buttes dont la largeur de la crête est notablement inférieure à la largeur de la base</i> : proximité de la crête des pentes dont l'angle d'inclinaison moyen est supérieur à 30°
<input type="checkbox"/>	1,44 (1,2x1,2)	- sites retenant un coefficient $S_T = 1,2$ <u>et</u> présentant une couche lâche en surface
<input type="checkbox"/>	1,68 (1,4x1,2)	- sites retenant un coefficient $S_T = 1,4$ <u>et</u> présentant une couche lâche en surface

Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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

- Caractérisation des effets induits

Liquéfaction des sols

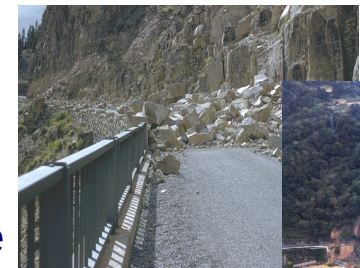


- Analyse requise uniquement si zone de sismicité ≥ 3
- Si susceptibilité avérée (densité + granulo + niveau de nappe), nécessité de reconnaissance spécifiques :
 - *SPT/CPT*
 - *essais d'identification (notamment teneur en fines)*
 - *les cas échéant, essais de liquéfaction en laboratoire (unités triaxiales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



Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- DONNEES SISMIQUES :**

5- Effets induits :

Liquéfaction :

Analyse de la liquéfaction :

- Non requise : zones de sismicité 1 et 2
- Requisite : zones de sismicité 3 à 5



→ Si l'analyse est requise, le programme permet ainsi d'identifier le besoin d'études complémentaires

Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- DONNEES SISMIQUES :**

5- Effets induits :

Chutes de blocs :

Risque de chutes de blocs sur l'ouvrage :

- oui
 non



Glissement de terrain :

Risque de glissement de terrain :

- oui
 non



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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)



Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- **DONNEES SISMIQUES :**

6- Faille :

Le site d'implantation de l'ouvrage :

- ne se situe pas à proximité d'une faille sismotectonique
- se situe à proximité d'une faille sismotectonique

→ **Faille active au sens de l'EC8**

→ **Hypothèses intermédiaires à proposer au M0a**



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

→ **Nouvelles clauses « séisme » intégrées au logiciel PETRA 3.0 (Sétra)**



Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions)

Généralités

- coefficient de sol $S = []$ associé à une classe de sol : []
- coefficient topographique $S_T = []$



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions) - Généralités

Clauses en option :

1- lien avec la géotechnique

- couches de sols potentiellement liquéfiables

L'attention du titulaire est attirée sur la présence de couches de sol potentiellement liquéfiables dont il y a lieu de tenir compte dans le dimensionnement des fondations de l'ouvrage.

- classe de sol et raideurs dynamiques du sol évalués à partir de V_s → lien avec les niveaux de reconnaissance A, B ou C

La classe de sol et les raideurs dynamiques du sol de fondation sous sollicitations sismiques sont définies à partir des éléments du mémoire géotechnique de synthèse joint au présent CCTP. Elles sont déterminées sur la base des valeurs des vitesses de propagation des ondes de cisaillement dans le sol, conformément au § 4.4.3.3 de la version provisoire de février 2012 du document intitulé « Guide méthodologique – Ponts en zone sismique – Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8 »



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions) - Généralités

Clauses en option :

2- Proximité d'une faille sismotectonique reconnue (zones 2 à 4)

Le site d'implantation de l'ouvrage se situe à proximité d'une faille sismotectonique reconnue. Néanmoins, aucune faille active (au sens de la norme NF EN 1998-2 3.2.2.3) n'étant clairement identifiée sur le territoire Français métropolitain, la prise en compte de la proximité de cette faille reposera sur les hypothèses ci-dessous, compromis acceptable et sécuritaire entre ce qu'il conviendrait de faire dans le cas d'une faille active avérée et les pratiques courantes vis-à-vis du risque sismique en France métropolitaine :

- application du spectre réglementaire,
- analyse dynamique de l'ouvrage a minima selon la méthode spectrale multimodale,
- prise en compte des effets de la composante sismique verticale sur les piles si l'ouvrage est situé à une distance de la faille inférieure à 5 km,
- doublement de la valeur théorique du déplacement dû à la variabilité spatiale de l'action sismique si l'ouvrage est situé à une distance de la faille inférieure à 5 km



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions) - Généralités

Clauses en option :

3- Proximité d'une faille sismotectonique active au sens de la NF EN 1998-2 [3.2.2.3] (zone de sismicité 5)

Hypothèses identiques au 2- sauf pour le spectre réglementaire :

Le site d'implantation de l'ouvrage se situe à proximité d'une faille sismotectonique active au sens de la norme NF EN 1998-2 3.2.2.3. La prise en compte de la proximité de cette faille reposera sur les hypothèses ci-dessous :

- application du spectre de calcul spécifique tel que défini par l'étude sismologique jointe au présent CCTP

- ...



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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_i (1,0 à 1,4) pondèrent l'accélération de référence
(*modulation des périodes de retour associées*)



Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- **DONNEES SISMIQUES :**

0- Classe de l'ouvrage :

(décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010)

La classe de l'ouvrage est dite « **à risque normal** ». Cette classe comprend les bâtiments, équipements et installations pour lesquels les conséquences d'un séisme demeurent circonscrites à leurs occupants et à leur voisinage immédiat.

→ *la quasi-totalité des OA*



Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- **DONNEES SISMIQUES :**

2- Catégorie d'importance :

(arrêté du 26 octobre 2011)

	Catégorie d'importance	Domaine	Coefficient d'importance associé γ_1
<input type="checkbox"/>	I	Ponts qui n'appartiennent pas au domaine public et ne desservant pas d'établissement recevant du public et qui ne sont rangés ni en catégorie d'importance III, ni en catégorie d'importance IV.	--
<input type="checkbox"/>	II	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.	1,0



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie

Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- DONNEES SISMIQUES :**

2- Catégorie d'importance (suite) :

Catégorie d'importance	Domaine	Coefficient d'importance associé γ_1
III	<ul style="list-style-type: none"> - ponts qui appartiennent au domaine public et qui portent, franchissent ou longent au moins une des voies terrestres ci-après : <ul style="list-style-type: none"> - 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. 	1,2

Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- DONNEES SISMIQUES :**

2- Catégorie d'importance (suite) :

Catégorie d'importance	Domaine	Coefficient d'importance associé γ_1
<input type="checkbox"/> IV	<ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>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.</p>	1,4

Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 1 : dispositions générales

Contexte sismique

- OA en **zone de sismicité 1** et/ou en **catégorie d'importance I**

Aucune disposition parasismique à prévoir

- Dans les autres cas :

*L'ouvrage est classé en **catégorie d'importance []** de la classe dite « à risque normal » et se situe dans une **zone de sismicité []**, conformément au décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français et à l'arrêté du 26 octobre 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite "à risque normal". Dans ce contexte, des dispositions parasismiques particulières sont à prévoir.*

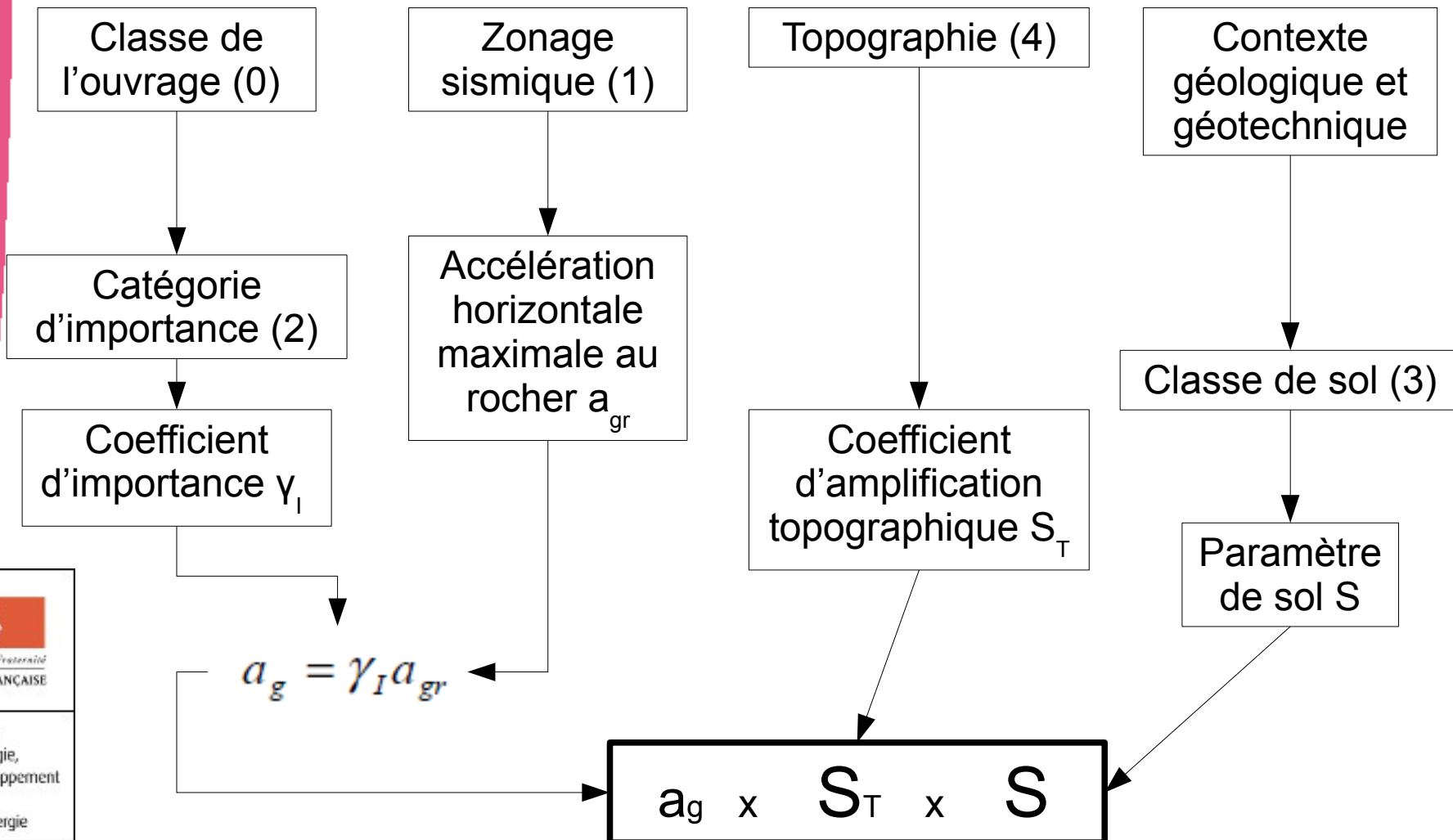


Synthèse des hypothèses à caler

Accélération de calcul

Aléas

enjeux



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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)



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions)

Généralités

Les calculs sismiques sont conduits selon la version provisoire de février 2012 du document intitulé "Guide méthodologique - Ponts en zone sismique - Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8" téléchargeable sur le site web Piles du Sétra, avec les paramètres suivants :

- accélération de référence : $a_{gr} = [] \text{ m/s}^2$, associé à la zone de sismicité [] et une durée de vie théorique de l'ouvrage de [] ans
- coefficient d'importance $\gamma_i = []$ associé à une catégorie d'importance []
- soit une accélération horizontale de calcul : $a_g = \gamma_i \cdot a_{gr} = [] \text{ m/s}^2$ et une accélération verticale de calcul : $a_{vg} = 0,9 a_g$ (si zone 1 à 4) ou $0,8 a_g$ (si zone 5)



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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*
- 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...)*



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Actions en cours d'exécution

Choix du MOA de prendre en compte ou non le séisme en phase de construction

- *L'action du séisme est à prendre en compte pendant les phases de construction, à partir d'une valeur d'accélération de référence réduite, conformément aux recommandations de l'annexe A de la norme NF EN 1998-2 et du §4.2.1 de la version provisoire de février 2012 du document intitulé « Guide méthodologique – Ponts en zone sismique – Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8 » téléchargeable sur le site web Piles du Sétra.*

OU

- *L'action du séisme n'est pas à prendre en compte pendant les phases de construction de l'ouvrage*



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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*







Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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 structurale)	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, cf. EC2 sauf en zones dites "critiques"	Très contraignant dans les zones de rotules plastiques potentielles (+ classe d'acier ductile)	Classiques, cf. EC2 sauf en zones dites "critiques"	Classiques, cf. EC2 sauf en zones dites "critiques"
Calculs et dimensionnement	Relativement aisés	+ ou - complexes selon degré de régularité structurale	Relativement aisés	Complexes
Méthodes d'analyse	Statique équivalent Analyse mono ou multi-modale	Analyse mono ou multi-modale Push-Over Dynamique temporelle non-linéaire	Analyse mono ou multi-modale	Dynamique temporelle non-linéaire (le plus souvent)
Coeff. de comportement	$q \leq 1,5$	$1,5 < q \leq 3,5$	$q = 1$, en général	
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

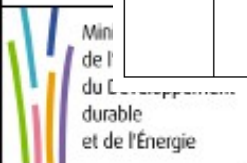
Synthèse des hypothèses à caler

Exemple de fiche programme OA

- EXIGENCES EN SITUATIONS SISMIQUES :**

→ **Conception parasismique**

	Type de conception	Description de la méthode
<input checked="" type="checkbox"/>	Elastique/Ductilité limitée	Dimensionnement de la structure de telle façon que les matériaux constitutifs restent dans leur domaine élastique de comportement ou proches de ce domaine. Dans le cas d'une conception élastique, aucune réparation post-sismique n'est en principe à prévoir.
<input type="checkbox"/>	Ductile	Inursions autorisées dans le domaine plastique des matériaux dans certaines parties de l'ouvrage (piles essentiellement) afin de dissiper de l'énergie et diminuer les niveaux d'efforts transmis au reste de la structure. Avec cette conception, un certain niveau d'endommagement est accepté qui peut conduire à des travaux de réparation non négligeables suite à un aléa sismique. Dans tous les cas le tablier reste élastique.
<input type="checkbox"/>	Isolation sismique	Principe d'isolation sismique par l'utilisation de dispositifs amortisseurs et de dispositifs fusibles : la quasi-totalité de l'énergie du tremblement de terre est absorbée dans les appareils mécaniques externes à la structure tandis que les éléments structurels de l'ouvrage ne subissent en théorie aucun dégât et les matériaux restent dans leur domaine élastique de comportement.



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions)

Hypothèses applicables aux ouvrages de type cadres et portiques

→ renvoie au guide méthodologique EC8 (méthode statique équivalente simplifiée)

Hypothèses applicables aux ouvrages autres que cadres ou portiques

→ possibilité d'intégrer des hypothèses de conception parasismique différentes pour le sens longitudinal et pour le sens transversal

Séisme horizontal (mêmes hypothèses)

OU

Séisme horizontal longitudinal puis **Séisme horizontal transversal**
(hypothèses différentes)



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions)

Hypothèses applicables aux ouvrages autres que cadres ou portiques

→ exemples de clauses types indiquant le choix de la conception parasismique :

- *La conception parasismique de l'ouvrage selon cette direction est basée sur le principe d'isolation sismique (elastomères frettés classiques ($q=1$))*
- *La conception parasismique de l'ouvrage selon cette direction est basée sur le principe d'isolation sismique et l'utilisation de dispositifs amortisseurs ($q=1$)*
- *L'ouvrage est dimensionné selon cette direction dans l'hypothèse d'un comportement essentiellement élastique des matériaux constitutifs de ses appuis (conception en ductilité limitée, $q \leq 1,5$).*
- *L'ouvrage est dimensionné selon cette direction en tirant parti de la ductilité des matériaux constitutifs de ses appuis (conception ductile, $q > 1,5$).*



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions)

Hypothèses applicables aux ouvrages autres que cadres ou portiques

→ Prise en compte de la régularité de l'ouvrage :

Toutefois, l'ouvrage satisfaisant aux critères de régularité définis au 4.2.2 de la norme NF EN 1998-2 (voir aussi 4.5.3.1 de la version provisoire de février 2012 du document intitulé "Guide méthodologique - Ponts en zone sismique - Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8" téléchargeable sur le site web Piles du Sétra), il est possible d'appliquer une méthode spectrale simplifiée, basée sur la considération du seul mode fondamental dans chaque direction de calcul, en reportant la totalité de la masse vibrante sur ces modes fondamentaux, toujours conformément au 4.2.2 de la norme NF EN 1998-2 (et 4.5.3.2 et 4.5.3.3 du document cité ci-dessus).



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Séisme (actions)

Hypothèses applicables aux ouvrages autres que cadres ou portiques

→ Combinaisons sismiques :

La combinaison des sollicitations provoquées par les différentes composantes du séisme est effectuée selon les indications du 4.3.2 de la version provisoire de février 2012 du document intitulé "Guide méthodologique - Ponts en zone sismique - Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8" téléchargeable sur le site web Piles du Sétra et en particulier selon la relation $E = +/-E1 +/- 0,3 E2 +/- 0,3 E3$ dans laquelle $E1$ est successivement la composante longitudinale, transversale puis verticale du séisme.

Conformément aux recommandations de ce guide, la combinaison telle que $E1$ représente la composante verticale de l'action sismique n'est en pratique à considérer que pour la justification des appareils d'appui et des tabliers précontraints le cas échéant. Il convient également de la prendre en compte le cas échéant pour la justification des piles inclinées en zones de sismicité moyenne ou forte, ou pour les piles de ponts situés à proximité de failles sismotectoniques.



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Justifications des appuis et fondations

Effets du séisme – calculs justificatifs de l'ouvrage

La justification des appuis de l'ouvrage (piles, culées, fondations,...) est réalisée conformément aux prescriptions du 5.1 de la version provisoire de février 2012 du document intitulé "Guide méthodologique - Ponts en zone sismique - Conception et dimensionnement selon l'Eurocode 8" téléchargeable sur le site web Piles du Sétra. Il est notamment tenu compte, pour la vérification de la résistance des sections, des coefficients de surcapacité et de sécurité vis-à-vis des ruptures fragiles définis au 5.1.1 de ce document. La prise en compte de l'action dynamique des terres sur les murs de culées est également réalisée par application de la méthode de Mononobe-Okabe décrite au 4.5.7 de ce même document.

Les éléments structuraux non critiques (tels que les murs en retour des culées) sont supposés pouvoir être endommagés du fait de l'action sismique de calcul et avoir un mode de détérioration prévisible, ainsi que la possibilité de réparations permanentes. Ils sont dimensionnés pour résister à un niveau de séisme réduit, soit 40% de l'action sismique de calcul, conformément aux recommandations du §2.3.6.3(5) de l'EC8-2.

Ou au choix :

Les éléments structuraux non critiques (tels que les murs en retour des culées) sont également dimensionnés pour résister à 100% de l'action sismique de calcul.



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 3 : provenance, qualité et préparation des matériaux

Aciers pour béton armé

→ cohérence entre choix de conception et nature des aciers pour B.A

- *Le pont étant situé en zone sismique et conçu selon l'hypothèse de ductilité limitée, les armatures doivent être constituées d'acier de classe de ductilité B a minima.*
- *Le pont étant situé en zone sismique et conçu selon l'hypothèse d'un comportement ductile, les armatures doivent être constituées d'acier de classe de ductilité C dans les zones dites « de rotules plastiques potentielles », et d'acier de classe de ductilité B a minima dans les autres zones.*
- *Le pont étant situé en zone sismique et conçu sur la base d'un principe d'isolation sismique, les armatures doivent être constituées d'acier de classe de ductilité B a minima.*



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 3 : provenance, qualité et préparation des matériaux

Dispositifs anti-sismiques amortisseurs

Les dispositifs antisismiques doivent être conformes à la norme NF-EN15129 qui normalise désormais les procédés de fabrication et fournit les exigences de fonctionnement, de dimensionnement, ainsi que les caractéristiques des matériaux, de fabrication et d'essais de qualification à mettre en œuvre et à justifier dans le cadre de l'utilisation de tels dispositifs.

A défaut de procédure de qualification à jour de ses dispositifs par rapport à cette norme récente, l'entrepreneur fournira un dossier de références détaillé et étayé d'exemples de mises en œuvre sur des ouvrages comparables, soumis à l'acceptation du Maître d'œuvre, ainsi qu'une note visant à évaluer les performances de ses dispositifs au regard des principes et exigences de la-dite norme.



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 4 : Exécution des travaux

Dispositifs anti-sismique amortisseur

L'installation des dispositifs antisismiques devra être conforme aux exigences de la norme NF-EN15129 et du §7.7.3 de la norme NF EN 1998-2.

Annexe normative

Normes visées au CCTP : EC8 + NF EN 15129

Documents contractualisés : décrets + arrêté + version provisoire du guide EC8 (Sétra)



Synthèse des hypothèses à caler

Clauses type de CCTP

Chapitre 2 : préparation et organisation du chantier

Textes réglementaires

- les normes NF EN 1998-1, NF EN 1998-2, NF EN 1998-5 et leurs annexes nationales, les normes NF EN 1998-1/NA, NF EN 1998-2/NA, NF EN 1998-5/NA,
- le décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique,
- le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français
- l'arrêté du 26 octobre 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite « à risque normal ».



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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...



Synthèse des hypothèses à caler

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage

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

