

Conférence sismique

18 octobre 2016 - Paris

Pierre-Olivier Martin





CTICM

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique

Construire en métal, un art, notre métier

**CONCEPTION, RÉNOVATION ET ÉVALUATION
DES RISQUES EN ZONE SISMIQUE**

**CONCEPTION PARASISMIQUE DES ENS ET ÉQUIPEMENTS
JUSQU'À L'ANCRAGE**

Pierre-Olivier MARTIN

Séminaire HILTI – PARIS – Octobre 2016

Sommaire

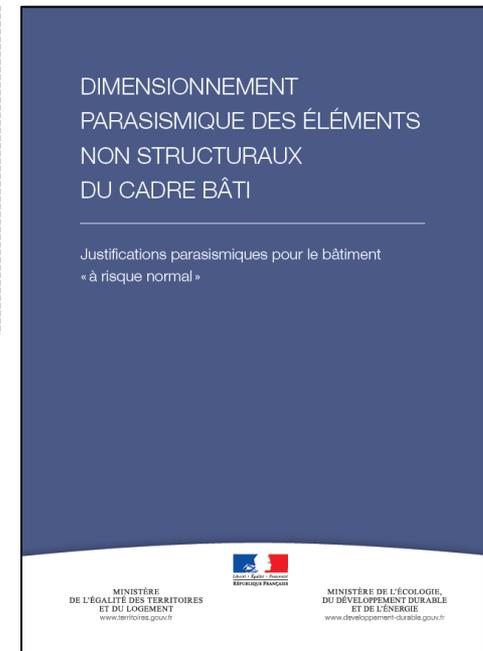
- ◆ Obligations réglementaires
- ◆ Retour d'expérience
- ◆ Sollicitations pour le calculs de l'élément
- ◆ Dimensionnement des ancrages

Réglementation (bâtiments à risque normal)

➔ Arrêté **modifié** du 22 octobre 2010 (modificatif 25/09/14)

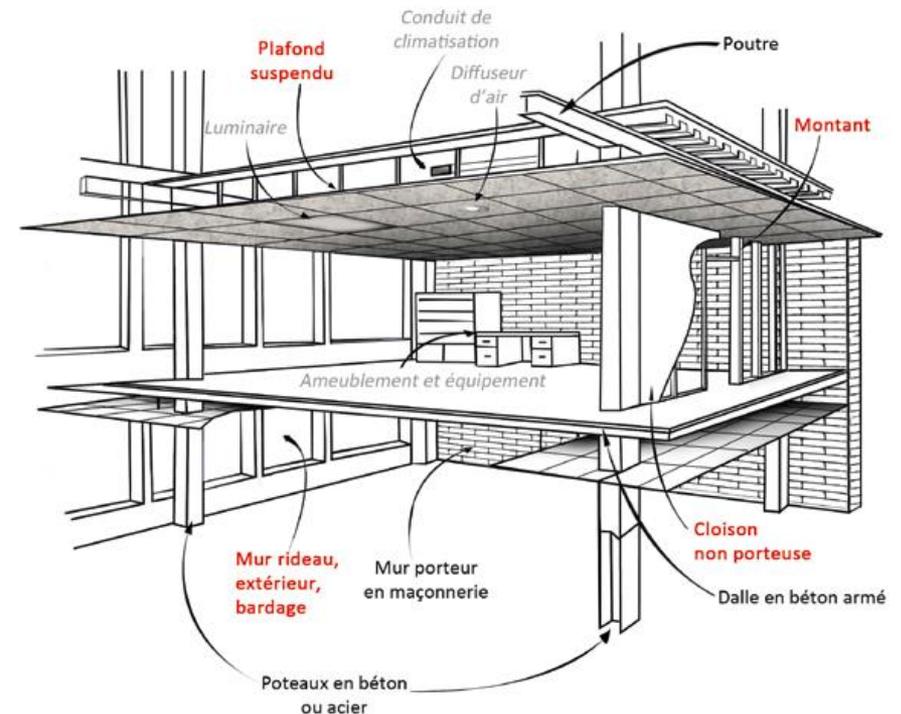
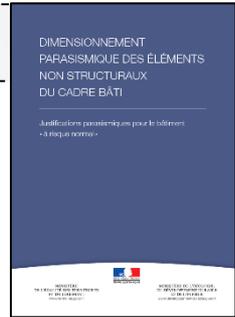
➔ Définition du domaine réglementaire pour les éléments non structuraux (ENS), par renvoi au guide « Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti – Justification parasismiques pour le bâtiment « à risque normal », publié par l'Administration.

- ◆ Dans l'existant, il n'y a plus d'obligation quand les travaux consistent uniquement au remplacement d'ENS



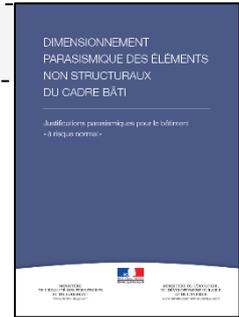
Éléments non structuraux visés par la réglementation parasismique

- ◆ Éléments de façade.
- ◆ Menuiseries extérieures
- ◆ Éléments de couverture.
- ◆ Cloisons et doublages.
- ◆ Plafond suspendus et planchers surélevés
- ◆ Éléments rapportés type auvents
- ◆ Acrotères, balustres et garde-corps maçonnés
- ◆ Souches de cheminées maçonnées



Éléments non structuraux visés par la réglementation parasismique

- ◆ Il est possible d'exclure de l'analyse sismique les éléments pour lequel le risque associé est très faible, sur la base de critères fournis par le guide de l'Administration
- ◆ Pour les éléments de façade fixés: hauteur de référence $< 3,5$ m et masse surfacique < 25 kg/m²
- ◆ Pour les cloisons et doublages: hauteur de référence $< 3,5$ m et masse surfacique < 25 kg/m²
- ◆ Plafond suspendus par ossature : hauteur de chute $< 3,5$ m et masse surfacique < 25 kg/m²
- ◆ Éléments rapportés : porte à faux $< 1,5$ m et masse surfacique < 25 kg/m²
- ◆ Planchers surélevés: hauteur < 1 m.



Réglementation (bâtiments à risque normal)

- ◇ Les éléments qui ne sont pas mentionnés par le guide réglementaire ne sont pas visés par la réglementation parasismique (clim, machinerie ascenseur, etc)
- ◇ Cela concerne en particulier tous les équipements techniques (quand ils n'assurent pas de fonction de clos/couvert : par ex. panneau photovoltaïque).
-  ◇ En catégorie d'importance IV (hôpitaux, pompiers, etc), l'exigence de continuité de fonctionnement peut imposer une conception parasismique pour certains équipements techniques.
- ◇ Un Maître d'Ouvrage peut toujours à titre volontaire étendre les exigences parasismiques aux équipements (par ex. équipements lourds, protection de l'investissement ...)

Réglementation (bâtiments à risque normal)

➔ Périmètre d'application pour les éléments non structuraux

Zone de sismicité	Catégorie d'importance			
	I	II	III	IV
1	Application des règles parasismiques			
2				
3				
4				
5				

Bâtiments neufs

Zone de sismicité	Catégorie d'importance			
	I	II	III	IV
1	Application des règles parasismiques en cas de travaux lourds			
2				
3				
4				
5				

Bâtiments existants

Dimensionnement avec une accélération réduite à 60% de celle d'un bâtiment neuf

Retour d'expérience



*Japon – Séisme M 7.2 - 16 Août 2005
Chute du faux plafond dans une piscine à Sendai*

Conception parasismique des ENS et équipements



*Séisme Emilie Romagne M 6.0 mai 2012
Chutes de panneaux de façade
(Mission AFPS)*

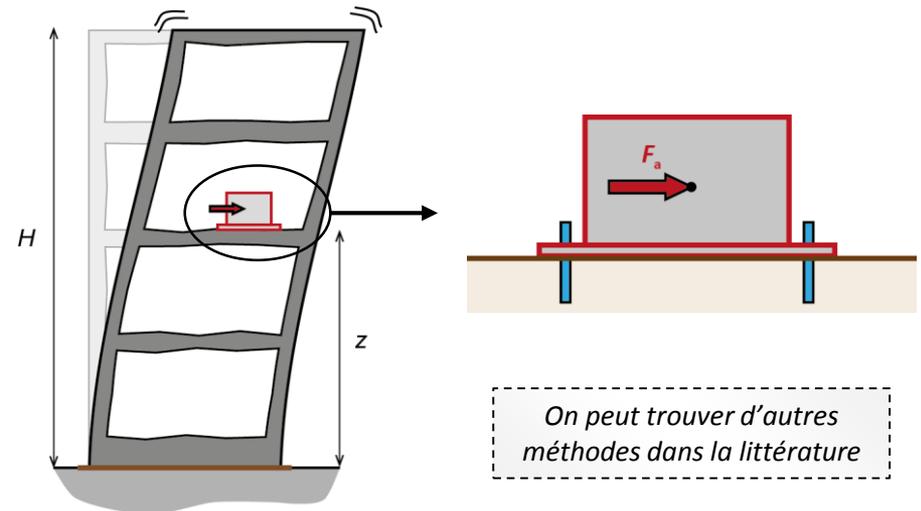


Calcul des actions sur l'élément – Effets inertiels

➔ Les effets inertiels sur l'élément peuvent être obtenus par :

- ◆ Une analyse temporelle sur un modèle bâtiment + élément
- ◆ Un transfert de spectre sur la base des propriétés modales du bâtiment suivi d'une analyse modale-spectrale de l'élément à partir du spectre transféré (conditions de découplage à respecter).
- ◆ Pour les éléments non structuraux mono-support du bâti courant à risque normal, la formule analytique simplifiée de l'Eurocode 8 pour les directions horizontales est généralement suffisante :

$$F_a = S_a W_a \gamma_a / q_a$$
$$S_a = \alpha S \left(\frac{3 \left(1 + \frac{z}{H} \right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1} \right)^2} - 0,5 \right)$$
$$\alpha = a_g / g$$



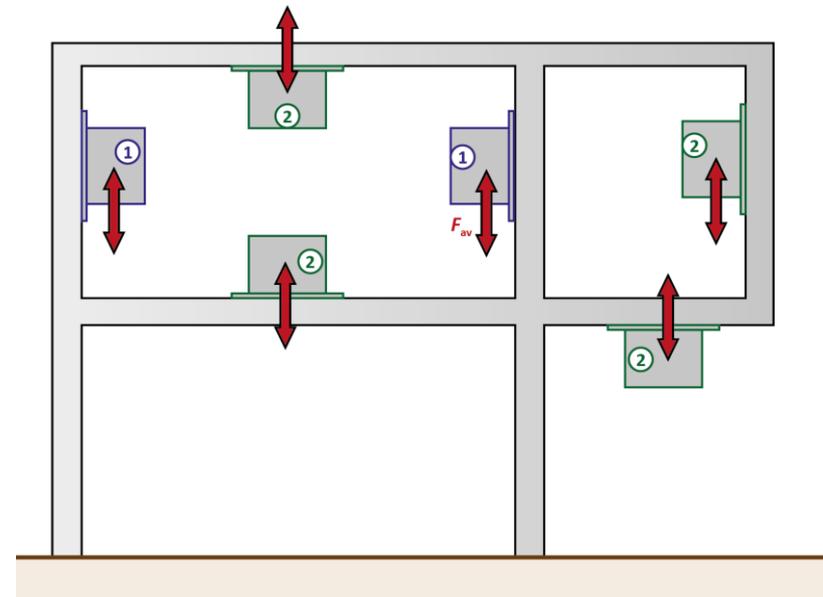
q_a : coefficient de comportement de l'élément

Calcul des actions sur l'élément – Effets inertiels

- ◆ Pour la direction verticale, l'Eurocode 8 ne donne pas de formules. On peut adopter les formules suivantes :

$$S_{av} = \frac{a_{vg}}{g} \quad \text{pour un élément fixé sur un élément vertical de contreventement continu jusqu'aux fondations}$$

$$S_{av} = 2 \frac{a_{vg}}{g} \quad \text{dans les autres cas}$$



- ① éléments fixés sur un élément vertical de contreventement continu jusqu'aux fondations
② éléments fixés sur d'autres supports, horizontaux ou verticaux

Calcul des actions sur l'élément – Effets inertiels

- ◇ Calcul de l'élément pour toutes les directions du séisme concernées

Par défaut, 2 directions horizontales et 1 direction verticale.

Dans la plupart des cas, la direction verticale peut être négligée (critère EC8 $a_{vg} \leq 0,25 g$).

- ◇ Combinaisons de Newmark

$$E = \pm E_x \quad \pm 0,3 E_y \quad \pm 0,3 E_z$$

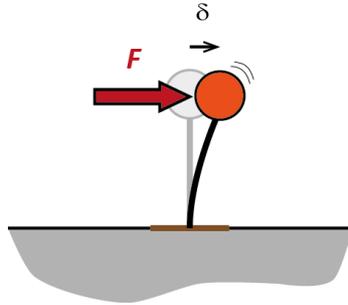
$$E = \pm 0,3 E_x \quad \pm E_y \quad \pm 0,3 E_z$$

$$E = \pm 0,3 E_x \quad \pm 0,3 E_y \quad \pm E_z$$

- ◇ Combinaison quadratique

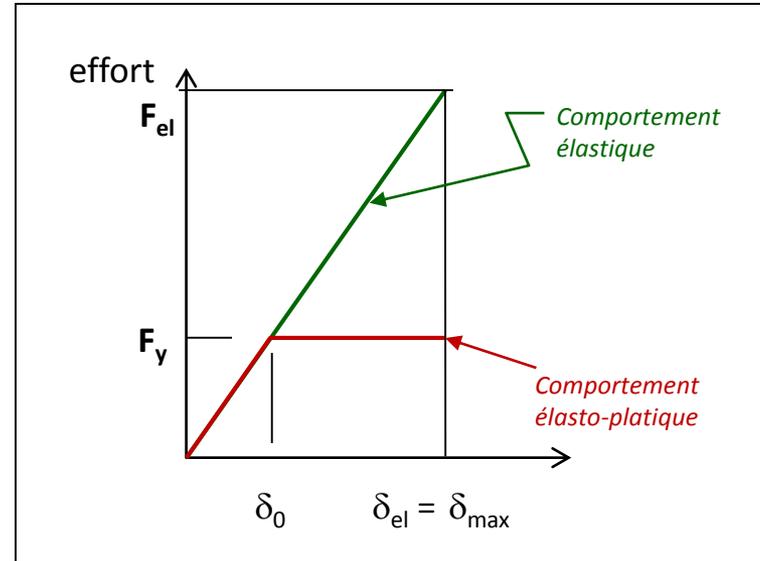
$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

Comportement ductile de l'élément

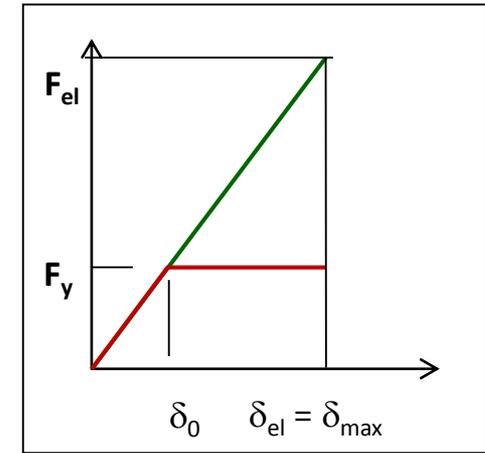
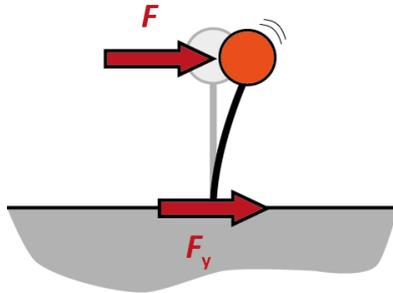


$$q_a = \frac{\delta_{el}}{\delta_0} = \frac{F_{el}}{F_y}$$

- ◆ Le coefficient de comportement traduit la capacité de déformation au-delà du domaine élastique et par conséquent la capacité d'absorption d'énergie
- ◆ Pour les ENS, q_a peut prendre une valeur de 1 (pas de ductilité) ou 2 (élément ductile direction horizontale) 1,5 (élément ductile direction verticale)
- ◆ Pour $q_a = 2$, on admet un endommagement de l'ENS sous séisme



Dimensionnement en capacité des éléments ductiles



- ◇ Quand on a fait l'hypothèse d'un comportement ductile (coefficient de comportement $q_a = 2$), l'ancrage doit être dimensionné pour reprendre l'effort F_y (dimensionnement en capacité)

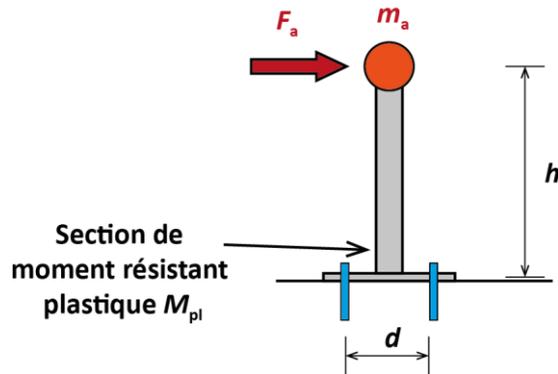
$$F_{\text{ancrage}} = \gamma_{Rd} F_y$$

γ_{Rd} coefficient de sur-résistance = 1,2

- ◇ Cette valeur ne peut pas dépasser l'effort développé si la ductilité n'est pas utilisée, c'est-à-dire :

$$F_{\text{ancrage}} \leq \gamma_{Rd} q_a F$$

Exemple



Elément assimilable à une masse m_a à l'extrémité d'un poteau métallique dont le moment résistant plastique vaut M_{pl}

- ◆ Si comportement ductile ($q_a = 2$): le poteau est susceptible de développer un rotule plastique M_{pl} au niveau de la platine.

$$M_{\text{ancrage}} = 1,2 M_{pl}$$

Moment à considérer pour dimensionner l'ancrage: ou

$$M_{\text{ancrage}} = 1,2 q_a F_a h$$

Dimensionnement des ancrages

➔ En fonction du type de comportement de l'élément assemblé

◆ Élément **ductile** (option a1 - $q_a = 2$)

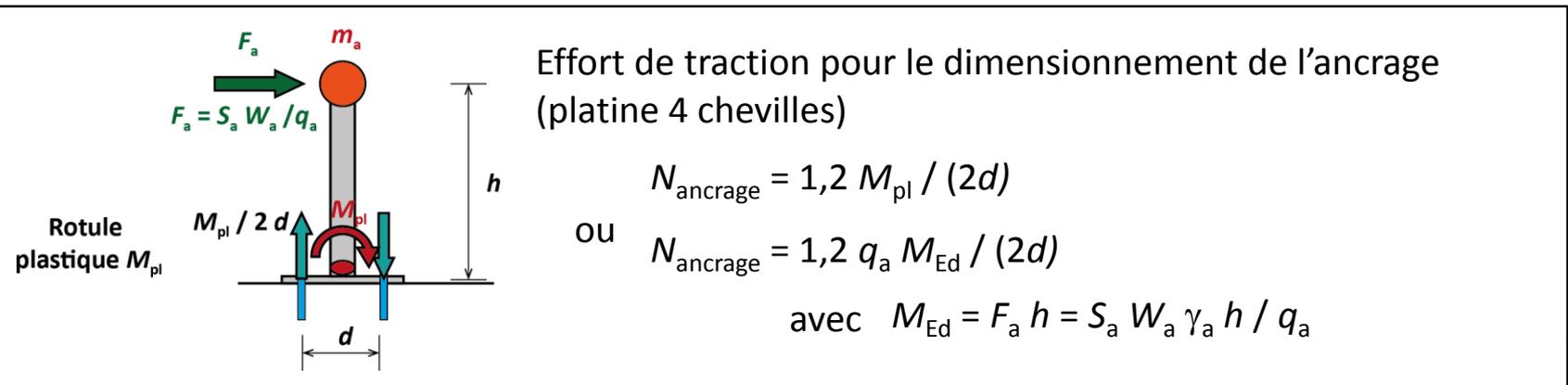
$$F_a = S_a W_a \gamma_a / q_a$$

- Dimensionnement en capacité (reprise de $F_{\text{ancrage}} = 1,2 F_{\text{pl}}$)

$$F_{\text{ancrage}} = 1,2 F_{\text{pl}}$$

- ou de manière conservative, reprise de l'effort sismique élastique (non divisé par q)
soit $F_{\text{ancrage}} = 1,2 q F_{\text{calcul}} = 1,2 S_a W_a \gamma_a$

$$F_{\text{ancrage}} = 1,2 S_a W_a \gamma_a$$



Dimensionnement des ancrages

◆ Élément **non ductile** (option a2 - $q_a = 1$)

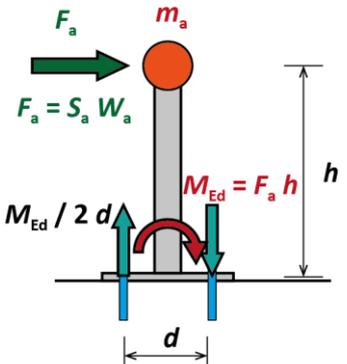
$$F_a = S_a W_a \gamma_a$$

- Dimensionnement avec un coefficient de majoration pour éviter l'effet de falaise

$$F_{\text{ancrage}} = 1,2 S_a W_a \gamma_a$$

$$F_{\text{ancrage}} = 1,5 S_a W_a \gamma_a$$

- coefficient de majoration égal à 1,2 si fixations redondantes ou 1,5 sinon



Effort de traction pour le dimensionnement de l'ancrage (platine 4 chevilles = 1 point d'ancrage => non redondant)

$$N_{\text{ancrage}} = 1,5 M_{\text{Ed}} / (2d)$$

avec $M_{\text{Ed}} = F_a h = S_a W_a \gamma_a h$

Dimensionnement des ancrages

- ◇ Dans tous les cas (élément **ductile** ou **non**), il est possible de dimensionner les ancrages à partir d'une formulation simple de type élastique :

$$F_{\text{ancrage}} = 1,2 S_a W_a \gamma_a$$

$$F_{\text{ancrage}} = 1,5 S_a W_a \gamma_a$$

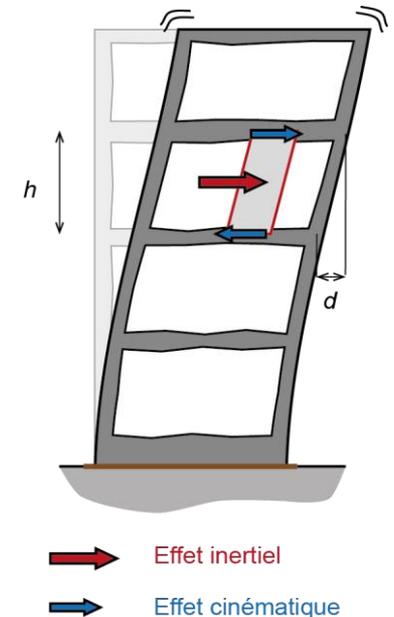
- coefficient de majoration égal 1,5 pour élément non ductile et fixation non redondante, 1,2 dans les autres cas.

Calcul des actions sur l'élément – Effets cinématiques (déplacements différentiels)

- ◆ Pour les bâtiments courants, les effets cinématiques se rencontrent essentiellement pour les parois verticales fixées sur deux niveaux différents. Pour la catégorie d'importance IV, on peut aussi avoir les systèmes multi-support type tuyauterie.
- ◆ L'Eurocode 8 fixe des valeurs limites pour le déplacement inter-étage (état limite d'endommagement), correspondant aux critères suivants :

- cas a/ matériaux ENS fragiles: $d_{\max} = h/80$
- cas b/ matériaux ENS ductiles: $d_{\max} = h/53$

Bâtiment neuf	déplacement inter-étage sous séisme de référence (cm)	
	cas a)	cas b)
h (m)		
3,0	3,75	5,63
4,0	5,00	7,50
5,0	6,25	9,38
6,0	7,50	11,25



Calcul des actions sur l'élément – Effets cinématiques

- ◆ Si l'ENS est capable de se déformer sans rompre pour le niveau de déplacement max de l'Eurocode 8, il est compatible avec tous les bâtiments en zone sismique (pas d'autres justifications)
- ◆ Si l'ENS ruine avant d'atteindre le niveau de déformation max de l'Eurocode 8, il faut s'assurer de sa compatibilité avec le bâtiment support. Les déplacements du bâtiment support doivent alors être limités avec un niveau plus sévère.
- ◆ Les effets cinématiques produisent des sollicitations supplémentaires dans les ancrages dont il faut tenir compte. Cumul quadratique avec les effets inertiels.

Bibliographie sur les ancrages en zone sismique

- ◆ Un groupe de travail de la CN/PS a préparé un guide pour la conception et le calcul des ancrages en zone sismique
- ◆ Publication prochaine par l'AFNOR (Fascicule de Documentation)

Merci pour votre attention

Conférence sismique

18 octobre 2016 - Paris

Pierre-Olivier Martin

