

LES EUROCODES TRANSVERSAUX

Eurocode 8 :

Calcul des structures
pour leur résistance aux séismes

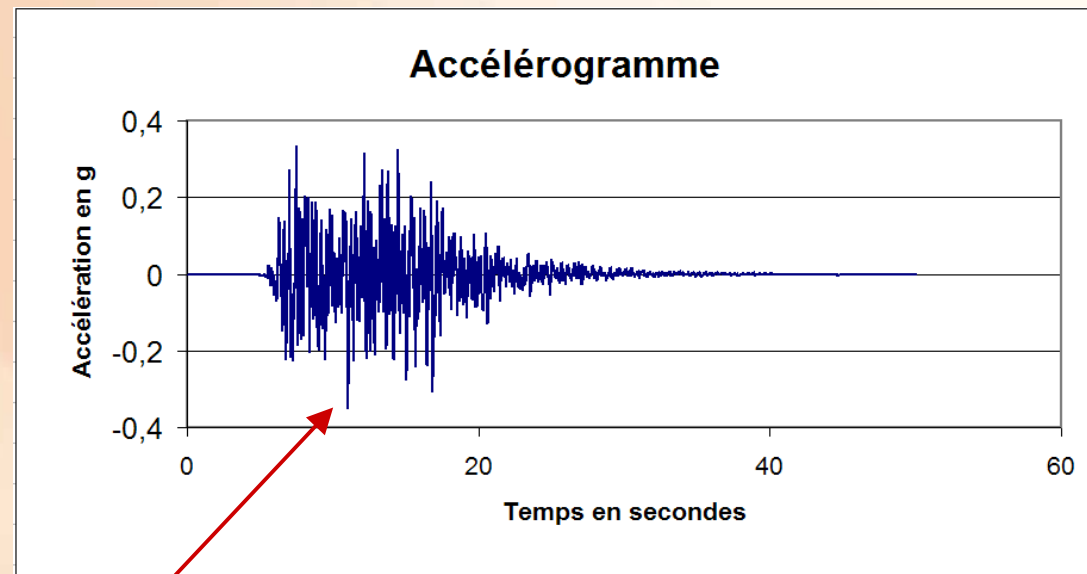
D. Davi - SETRA

Plan de l'exposé

- **Nature de l'action sismique**
- **Exigences de performances réglementaires et choix de conception**
- **Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement**
- **Isolation sismique**
- **Récapitulatif et conclusion**

Nature de l'action sismique

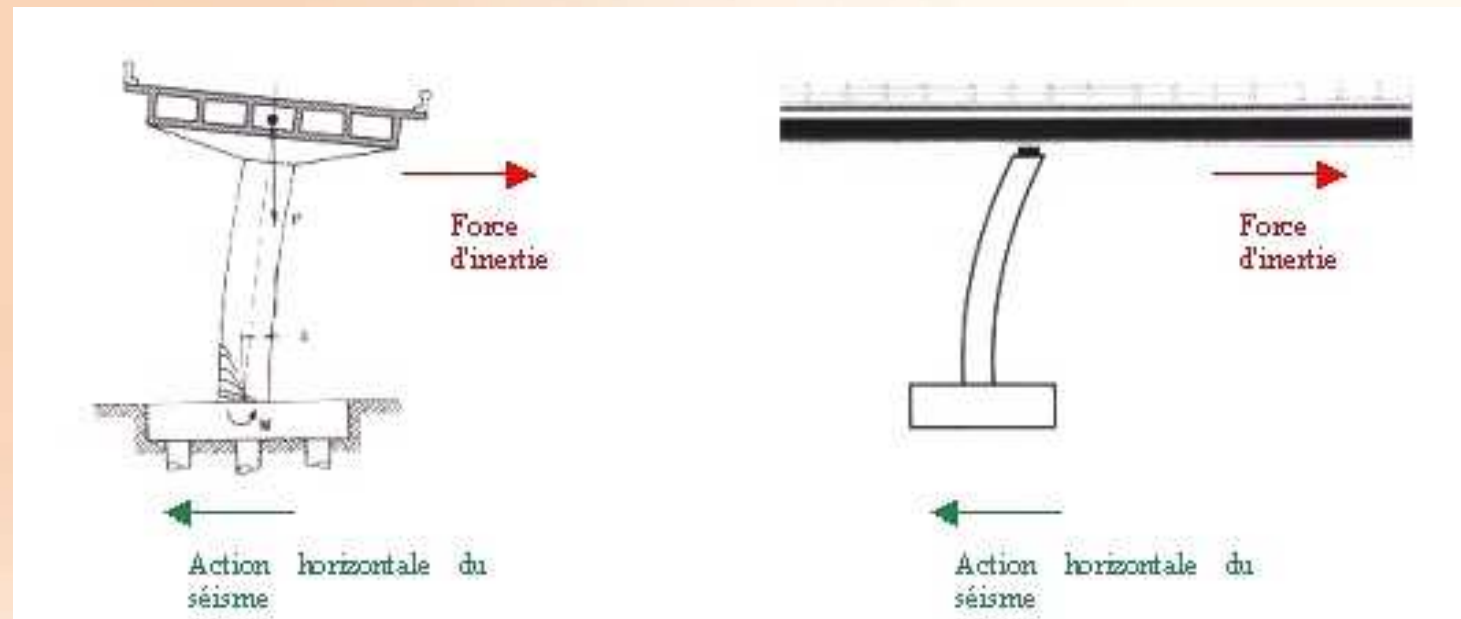
(EC8-1 §3, EC8-2 §2.1 et §3)



A_{EK} : accélération maximale enregistrée au rocher, éventuellement amplifiée par des effets de sites locaux (géologiques ou topographiques)

Nature de l'action sismique

Les sollicitations sismiques sur les ponts ...



Nature de l'action sismique

Les sollicitations sismiques sur les ponts ...

Echappements d'appuis



Kobé (Japon, 1995)



San Fernando (USA, 1971)

Nature de l'action sismique

Les sollicitations sismiques sur les ponts ...

Ruptures par cisaillement des piles



Kobé (Japon, 1995)



Chi-Chi (Taiwan, 1999)

Endommagement des piles sous l'effet des efforts de flexion



Northridge (USA, 1994)

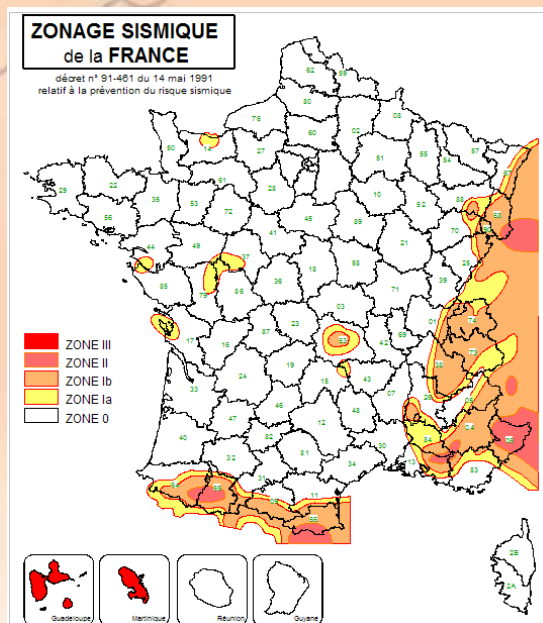
Nature de l'action sismique

La sismicité de la France

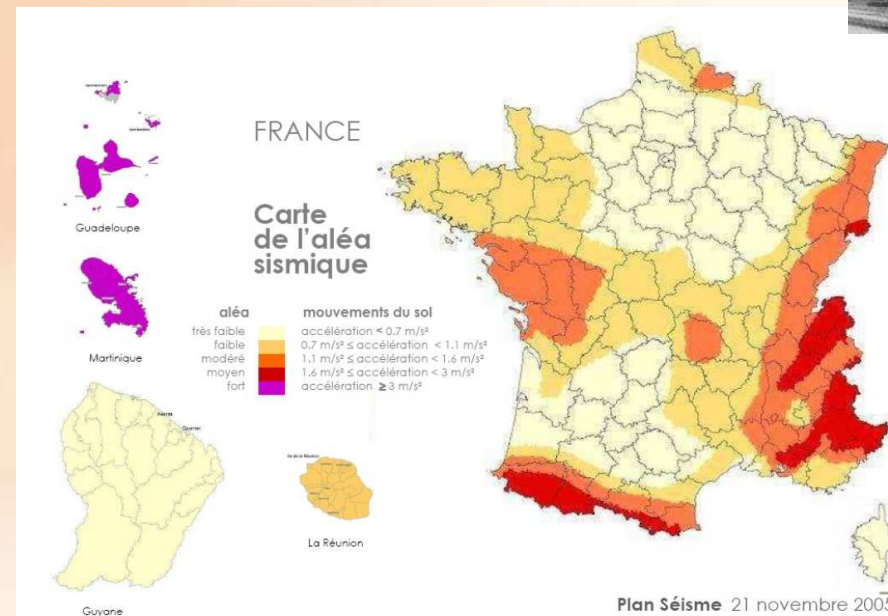
- environ 20 séismes $M > 3,5$ par an
- 3000 morts à Pointe-à-Pitre en 1843
- 50 morts à Lambesc en 1909



Lambesc (1909)



Zonage actuel PS 92



Nouvelle carte d'aléa présentée en Nov. 2005
Nouveau zonage réglementaire prévu pour fin 2006

- Nature de l'action sismique
- **Exigences de performances réglementaires et choix de conception**
- Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement
- Isolation sismique
- Récapitulatif et conclusion

Exigences de performances réglementaires et choix de conception

		Niveau de performance sismique			
		Dégats minimes / Ouvrage quasi-intact	Fonctionnalité d'urgence / Réparabilité	Non-effondrement / Protection des usagers	Etat proche de la ruine
Niveau de séisme considéré	Fréquent (43 ans)		INACCEPTABLE	INACCEPTABLE	INACCEPTABLE
	Occasionnel (72 ans)		Ouvrages peu importants	INACCEPTABLE	INACCEPTABLE
	Rare (475 ans)		Ouvrages normaux		INACCEPTABLE
	Exceptionnel (970 ans)		Ouvrages stratégiques		

$$A_{Ed} = \gamma_1 A_{Ek} \text{ avec}$$

EC8-2 §2.1(6)

$\gamma_1 = 0,85$ pour les ouvrages peu importants,

$\gamma_1 = 1,00$ pour les ouvrages normaux,

$\gamma_1 = 1,30$ pour les ouvrages stratégiques.

Exigences de performances réglementaires et choix de conception

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).

Exigences de performances réglementaires et choix de conception

Choix entre :

EC8-2 §2.3.1, §2.3.2, §2.4

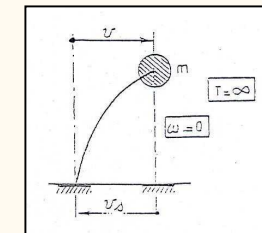
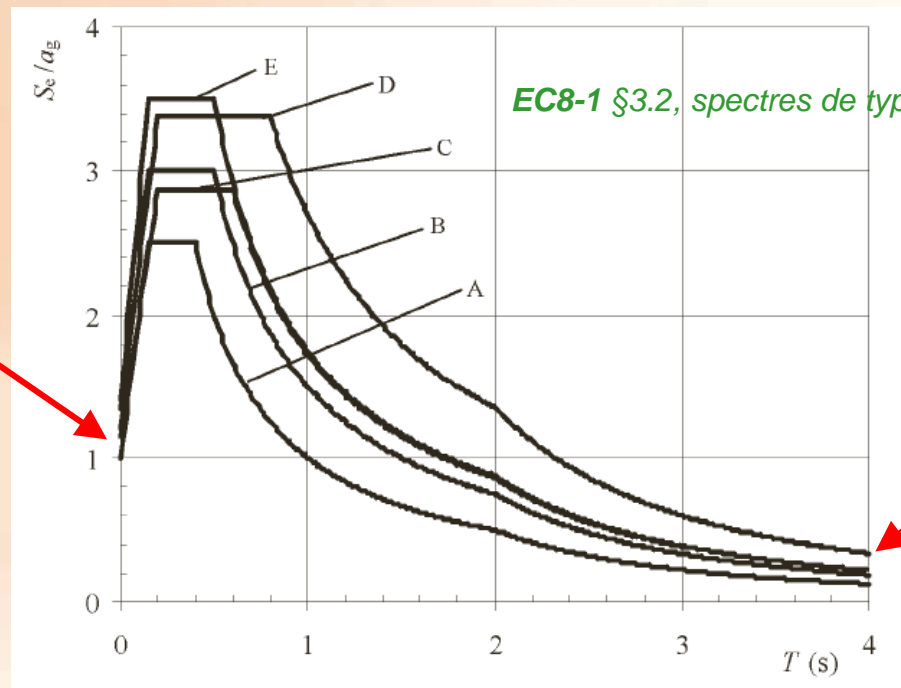
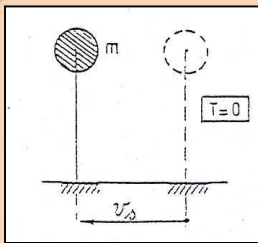
- une conception élastique (ou à ductilité limitée)
- une conception ductile
- une conception basée sur l'isolation sismique
et l'emploi d'appareils amortisseurs

**Impactant directement le coût de l'ouvrage et sa performance,
ce choix est de la responsabilité du maître d'ouvrage !!**

- Nature de l'action sismique
- Exigences de performances réglementaires et choix de conception
- **Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement**
- Isolation sismique
- Récapitulatif et conclusion

Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

L'analyse spectrale



Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

L'analyse spectrale



Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

L'analyse spectrale

- Combinaison quadratique des réponses modales

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots}$$

EC8-2 §4.2.1

- Combinaison spatiale des sollicitations :

$$E_1 = E_{\text{long}} \pm 0,3 E_{\text{trans}} \pm 0,3 E_{\text{vert}}$$

$$E_2 = E_{\text{trans}} \pm 0,3 E_{\text{long}} \pm 0,3 E_{\text{vert}}$$

$$E_3 = E_{\text{vert}} \pm 0,3 E_{\text{long}} \pm 0,3 E_{\text{trans}}$$

- Combinaison de calcul : $G + P + E + \Psi_{21} Q_{1k} + \Psi_2 T$

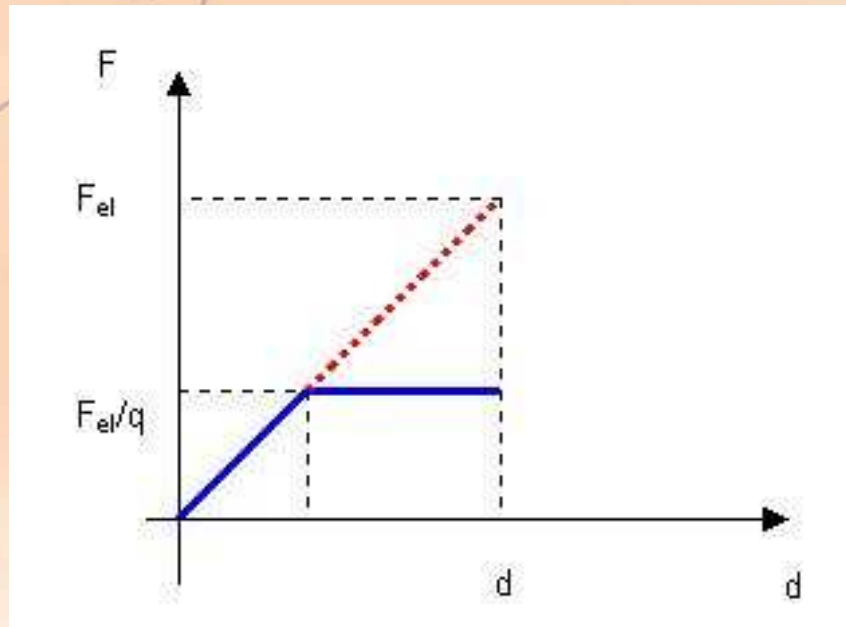
EC8-2 §5.5

Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

Notion de ductilité et dispositions constructives

Principe du coefficient de comportement

EC8-2 §2.3.5 et §6



SOLLICITATION = DEFORMATION

- Réduction et écrêtage des efforts et des coûts
- Dissipation d'énergie par hystérésis

Capacité de déformation plastique à garantir

= DUCTILITE

Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

Notion de ductilité et dispositions constructives

Principe du coefficient de comportement

EC8-2 §2.3.5 et §6

Type d'éléments ductiles	Comportement sismique	
	Ductile limité	Ductile
Piles en béton armé :		
Piles verticales en flexion	1,5	3,5 $\lambda(\alpha_s)$
Béquilles inclinées fléchies	1,2	2,1 $\lambda(\alpha_s)$
Piles en acier :		
Piles verticales en flexion	1,5	3,5
Béquilles inclinées fléchies	1,2	2,0
Piles avec contreventement normal	1,5	2,5
Piles avec contreventement excentré	-	3,5
Assemblage rigide des culées au tablier :		
En générale	1,5	1,5
Structures bloquées (voir 4.1.6(9), (10))	1,0	1,0
Arcs	1,2	2,0

* $\alpha_s = L_s/h$ est le rapport de portée d'effort tranchant de la pile, où L_s est la distance entre la rotule plastique et le point de moment nul et h est la hauteur de la section transversale dans la direction de flexion de la rotule plastique.

Pour $\alpha_s \geq 3$ $\lambda(\alpha_s) = 1,0$

$3 > \alpha_s \geq 1,0$ $\lambda(\alpha_s) = \sqrt{\frac{\alpha_s}{3}}$

Applicable uniquement à condition de mettre en œuvre des dispositions particulières ...

EC8-2 tableau 4.1

Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

Notion de ductilité et dispositions constructives

Des dispositions particulières destinées à :

EC8-2 §2.3.5 et §6

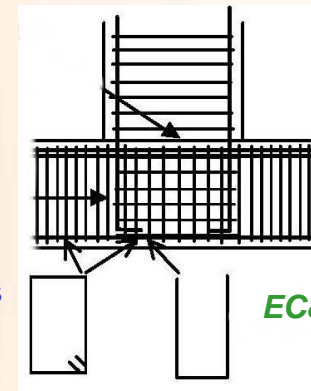
- supprimer tout risque de rupture fragile



Recouvrements interdits dans les zones de rotules plastiques



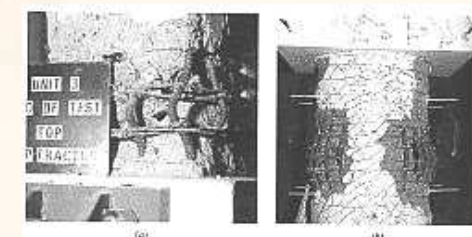
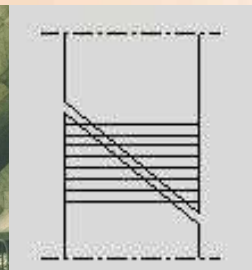
Dispositions d'ancrage des armatures longitudinales



EC8-2 fig. 5.3



Densité importante d'armatures d'efforts tranchants



Dispositions anti-flambement

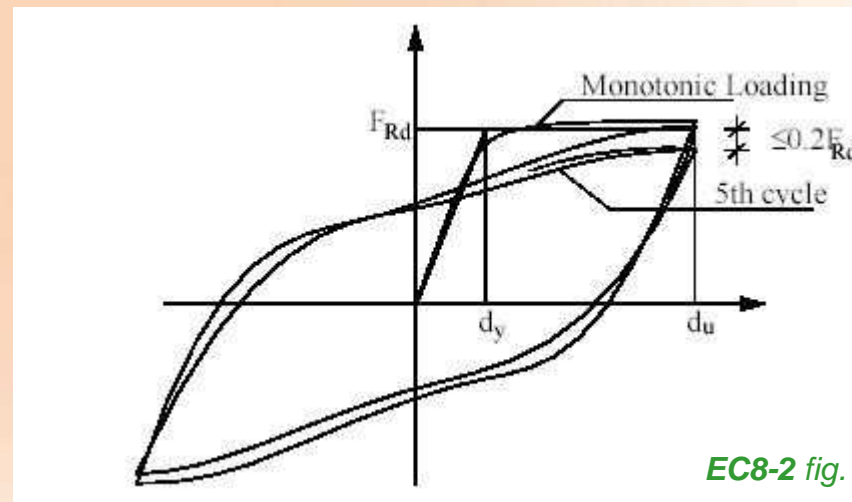
Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

Notion de ductilité et dispositions constructives

Des dispositions particulières destinées à :

EC8-2 §2.3.5 et §6

- conférer une ductilité d'ensemble à la structure



Ductilité structurelle au cours de cycles de chargement alternés

Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

Notion de ductilité et dispositions constructives

Des dispositions particulières destinées à :

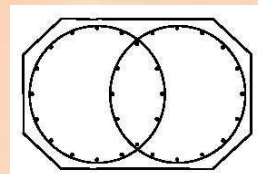
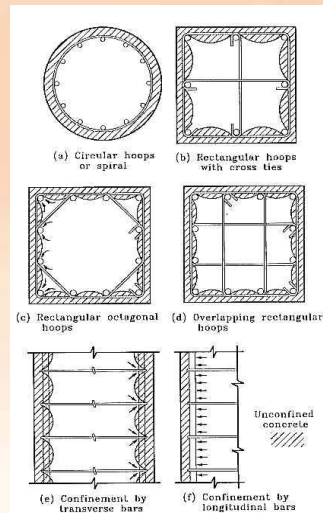
EC8-2 §2.3.5 et §6

- conférer une ductilité d'ensemble à la structure

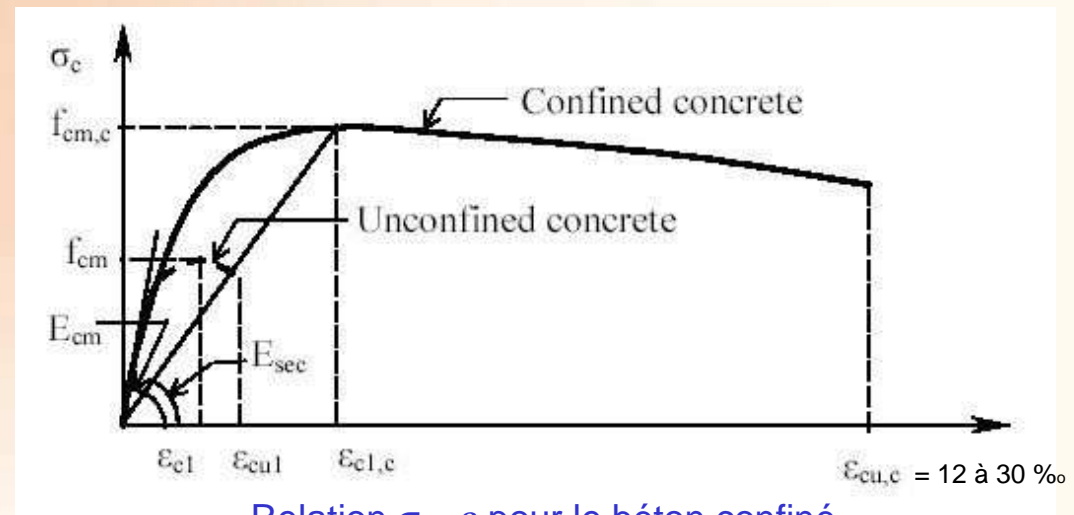
- Utilisation d'acier de classe **C** ($\epsilon_{su} = 75 \text{ ‰}$) dans les zones potentielles de rotules plastiques (de classe B ailleurs)

EC8-2 §5.2.1

- Confinement du béton



EC8-2 fig. 6.1



Relation $\sigma - \epsilon$ pour le béton confiné

EC8-2 Annexe E

Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

Vérification de la résistance / principe du dimensionnement en capacité

EC8-2 §2.3.4 et §5

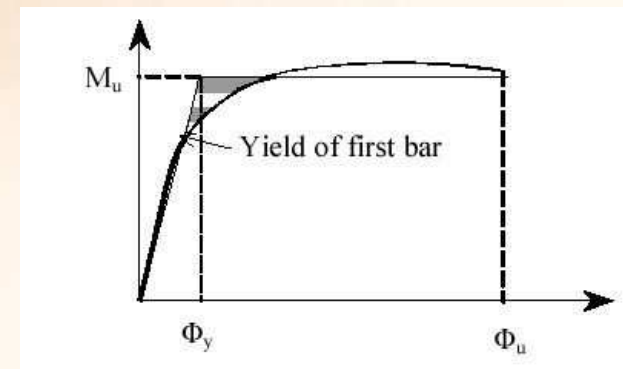
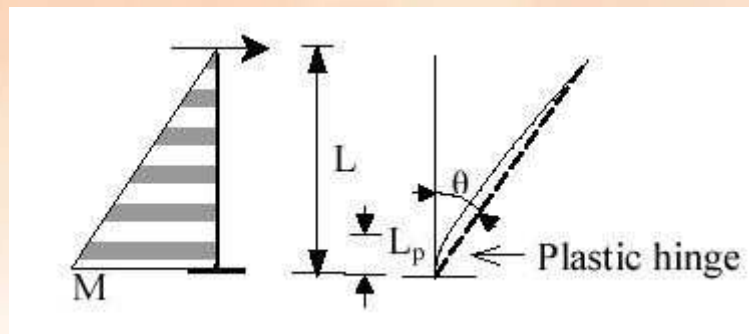
- Dans les zones de rotules plastiques

- si méthode du coefficient de comportement

⇒ dispositions constructives forfaitaires (*EC8-2 § 6.2*)

- si push-over ou analyse dynamique non-linéaire (ponts irréguliers)

⇒ vérification des niveaux de déformation (*EC8-2 § 4.2.4.4 et Annexe E*)



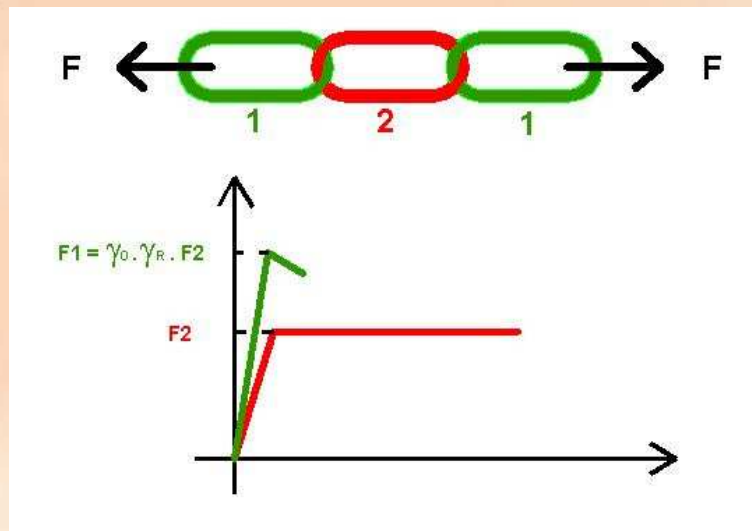
Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

Vérification de la résistance / principe du dimensionnement en capacité

EC8-2 §2.3.4 et §5

- En dehors des zones de rotules plastiques

⇒ Dimensionnement en capacité



γ_0 : coeff. de surcapacité (=1,35 pour BA)

γ_{Bd} : coeff. de sécurité supplémentaire contre les risques de rupture fragile (=1,25)

- Efforts écrêtés quelque soit le niveau de séisme considéré

- Endommagement contrôlé

- localisation
- type (flexion privilégiée)

Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement

Vérification de la résistance / principe du dimensionnement en capacité

EC8-2 §2.3.4 et §5

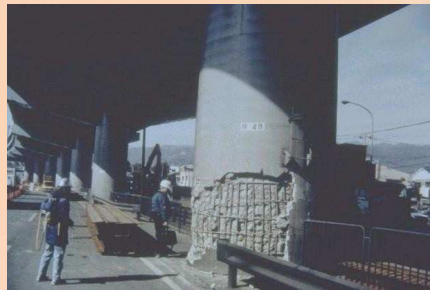
- En dehors des zones de rotules plastiques

⇒ Dimensionnement en capacité



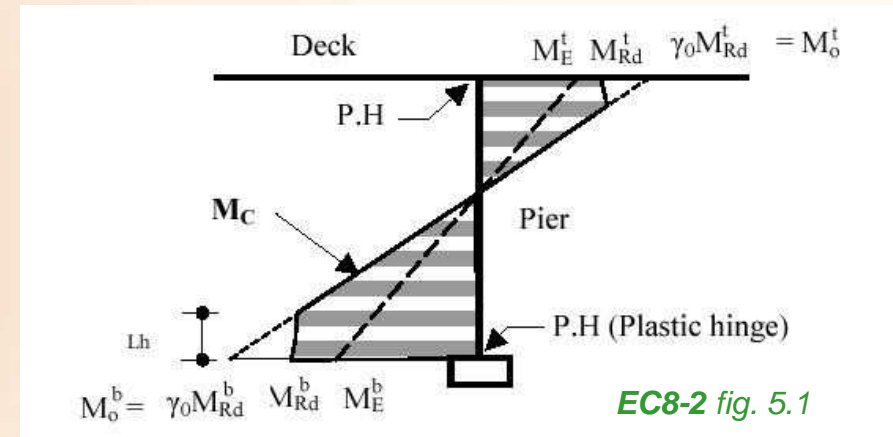
Cas des piles de ponts

EC8-2 §2.3.2



Cas des éléments métalliques

EC8-2 §5.7



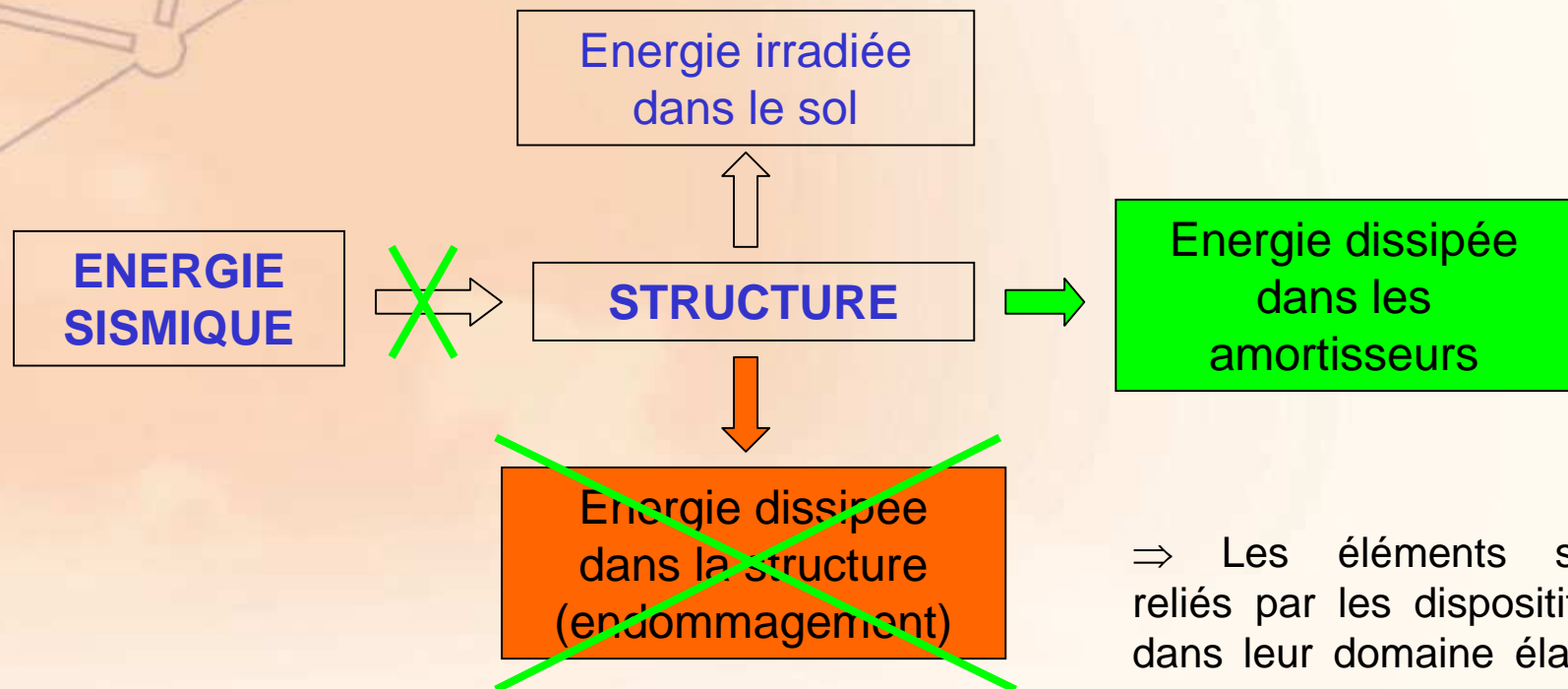
EC8-2 fig. 5.1

- Nature de l'action sismique
- Exigences de performances réglementaires et choix de conception
- Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement
- **Isolation sismique**
- Récapitulatif et conclusion

Isolation sismique

Concepts d'isolation sismique et d'amortissement

EC8-2 §7

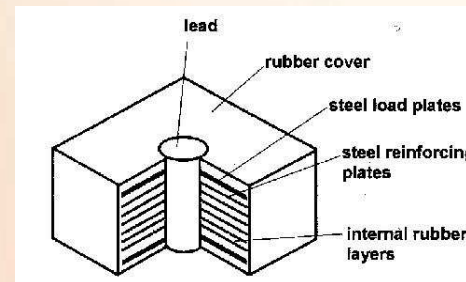
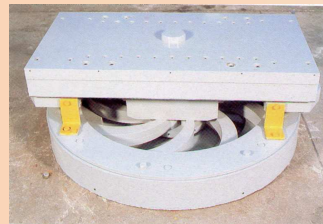
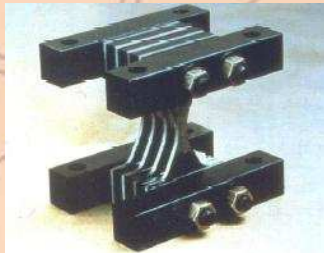


⇒ Les éléments structurels reliés par les dispositifs restent dans leur domaine élastique de comportement

Isolation sismique

Quelques exemples de technologies :

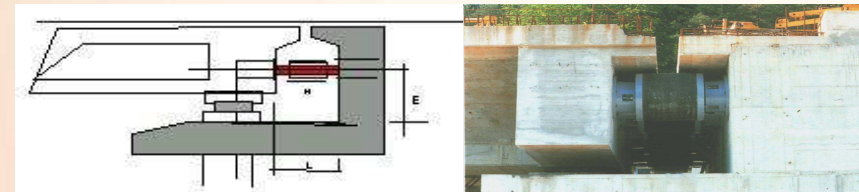
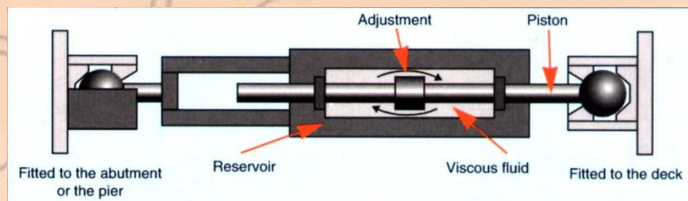
EC8-2 §7



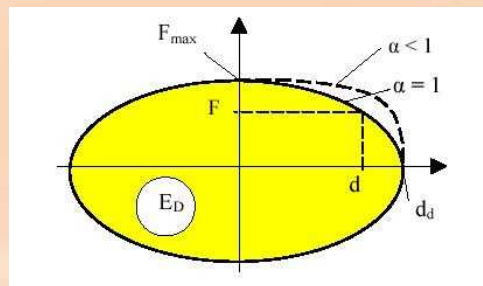
Isolation sismique

Principe de fonctionnement et utilisation

EC8-2 §7

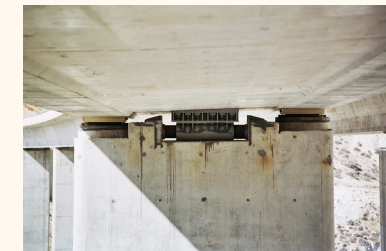
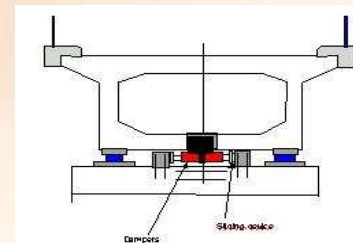


Viaduc de Fella, Italie



Amortisseur pur

$$F = C.V^\alpha$$

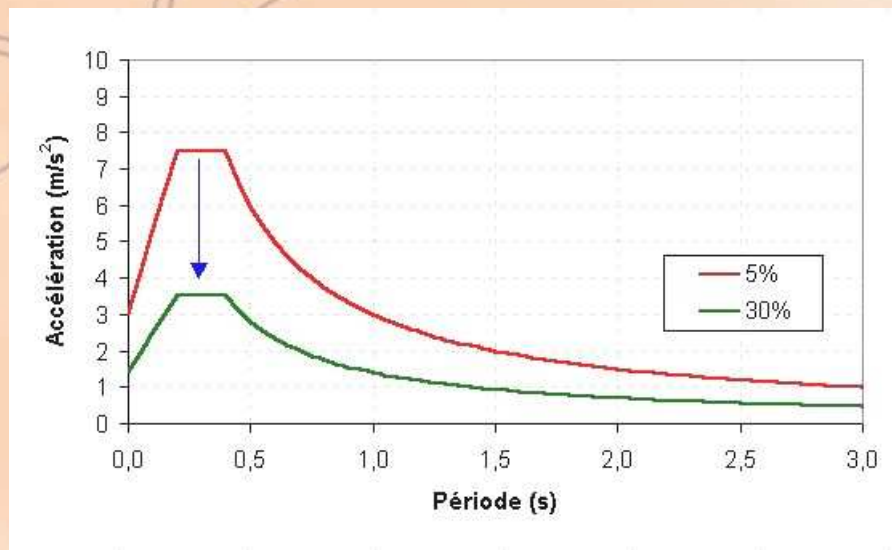


Pont à Petra Tou Roumiou, Chypre

Isolation sismique

Principe de fonctionnement et utilisation

EC8-2 §7




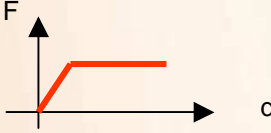
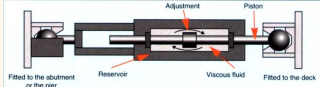
Précautions d'emploi :

- Coûts importants
- Calculs complexes
- Bonne installation essentielle
- Inspection et maintenance
- Garanties de pérennité *EC8-2 Annexe J*
- Validation des propriétés mécaniques
(tests en laboratoire) *EC8-2 Annexe K*
prEN15129

- Nature de l'action sismique
- Exigences de performances réglementaires et choix de conception
- Méthodes d'analyse et principes de dimensionnement
- Isolation sismique
- **Récapitulatif et conclusion**

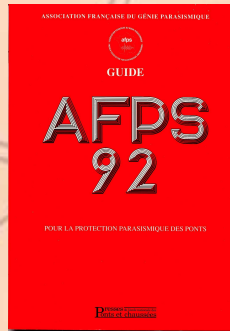
Récapitulatif et conclusion

Trois conceptions possibles :

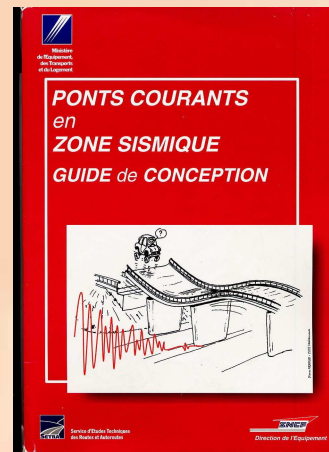
	ELASTIQUE (faiblement ductile)	DUCTILE	AMORTISSEURS
			
Méthodes d'analyse	Calcul modal puis analyse classique	Coeff. de comportement q Push-Over Dynamique non-linéaire	Dynamique non linéaire (le plus souvent)
Dispositions constructives	EC2, EC3 + qq spécificités	Très contraignant EC8-2 § 6 ou guide AFPS92	EC2, EC3 + qq spécificités
Domaines d'application	Sismicité faible Ouvrages à risque spécial (nucléaire, barrages...)	Sismicité moyenne ou forte Ouvrages courants	Sismicité élevée Ouvrages à risque spécial (nucléaire, hôpitaux...)

Récapitulatif et conclusion

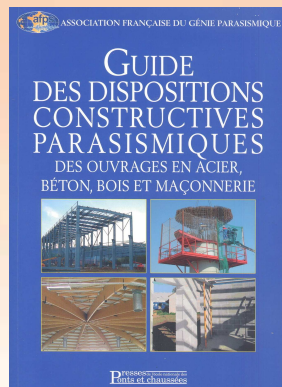
Documents de références complémentaires à l'EC8-2 :



Le « guide AFPS 92 pour la protection parasismique des ponts »



Le guide de conception Sétra / SNCF « Ponts courants en zone sismique »



Le guide AFPS des dispositions constructives parasismiques

Les changements apportés par l'EC8 :

- Nouveau zonage
- Allure des spectres
- Prise en compte du séisme en construction
- Modélisation des dispositifs amortisseurs
- Méthodes de calculs sophistiquées
(Push-over, analyse dynamique temporelle non-linéaire...)

Récapitulatif et conclusion

L'action sismique résulte essentiellement d'un phénomène vibratoire, mais pas uniquement cela...

⇒ **Attention aux effets induits**



Liquéfaction du sol porteur



Chutes de blocs



Glissements de terrain



Ruptures de failles



Tsunamis...