

UE : Ouvrages Sous Sollicitations Dynamiques et Environnementales

Module : Actions de Neige et Vent

Module : Dynamique des structures

Module : Parasismique

Rénovation parasismique

Module : Interaction Sol structure –Ouvrages souterrains et Fondations

Prof. Dashnor HOXHA
dashnor.hoxha@univ-orleans.fr

COD 2020-2021

Rénovation parasismique (Seismic retrofitting)

- Vérifier l'état d'une structure déjà en service vis-à-vis des exigences réglementaires sismiques 
- Proposer des solutions techniques pour qu'un bâtiment qualifié comme non conforme en devient
- Evaluer l'impact d'une solution technique proposée sur la réponse sismique de la structure

References and illustrations

- **NF EN 1998-3** : Eurocode 8 : Design of structures for earthquake resistance Part 3: Assessment and retrofitting of buildings
- P. Lestuzzi : Retrofitting methods
- M. Fardis : Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings (2009)

Rénovation parasismique (Seismic retrofitting)

Norme applicable :, **EN 1998-3**

**Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes —
Partie 3 : Évaluation et renforcement des bâtiments**

(1) Afin de choisir le type d'analyse admissible et les valeurs appropriées des coefficients de confiance, les trois niveaux de connaissance suivants sont définis :

KL1 : Connaissance limitée

→ CF

KL2 : Connaissance normale

KL3 : Connaissance intégrale

Niveau de connaissance	Géométrie	Dispositions constructives	Matériaux	Analyse	CF
KL1		Dimensionnement simulé conformément à la pratique d'origine <i>et</i> à partir d'une inspection <i>in-situ</i> limitée	Valeurs par défaut conformément aux normes en vigueur à la période de construction <i>et</i> à partir d'essais <i>in situ</i> limités	LF- MRS Coefficient γ	CF_{KL1}
KL2	À partir des plans d'ensemble avec examen visuel d'un échantillon <i>ou</i> à partir d'un examen intégral	À partir de plans de construction détaillés d'origine incomplets avec une inspection <i>in-situ</i> limitée <i>ou</i> à partir d'une inspection <i>in-situ</i> étendue	À partir des spécifications de conception d'origine avec essais <i>in-situ</i> limités <i>ou</i> à partir d'essais <i>in-situ</i> étendus	Toutes analyses	CF_{KL2}
KL3		À partir des plans de construction détaillés d'origine avec une inspection <i>in-situ</i> limitée <i>ou</i> à partir d'une inspection <i>in-situ</i> complète	À partir des rapports d'essai d'origine avec essais <i>in-situ</i> limités <i>ou</i> à partir d'essais <i>in-situ</i> complets	Toutes analyses	CF_{KL3}

Tableau 3.1 — Niveaux de connaissance et méthodes d'analyse correspondantes
(LF : Méthode des forces latérales, MRS : Analyse modale avec réponse spectrale)

CF coefficients de confiance : valeurs recommandées : $CF_{KL1} = 1,35$, $CF_{KL2} = 1,20$, $CF_{KL3} = 1,00$.

Coefficients de confiance

(1)P Afin de déterminer les propriétés des matériaux existants à utiliser pour le calcul de la capacité, lorsque cette dernière doit être comparée à la demande dans les vérifications de sécurité, les valeurs moyennes obtenues à partir des essais *in-situ* et des sources d'information supplémentaires doivent être divisées par le coefficient de confiance, **CF**, donné dans le Tableau 3.1 pour le niveau de connaissance approprié

(2)P Afin de déterminer les propriétés à utiliser pour le calcul de la capacité en termes de force (résistance) des éléments ductiles déterminant les effets des actions sur les éléments/mécanismes fragiles,.... , la valeur moyenne des propriétés des matériaux existants obtenue à partir des essais *in-situ* et des sources d'information supplémentaires **doit être multipliée par le coefficient de confiance, CF**, donné dans le Tableau 3.1 pour le niveau de connaissance approprié

Extrait de **EN 1998-3**

Ou prend en compte h en i $\frac{E \cdot A}{I}$
n gradité $\frac{E \cdot I}{h}$

Lorsqu'on utilise pour les calculs la méthode de la force latérale Il convient d'appliquer au moins deux distributions verticales de charges latérales :

- un schéma «uniforme», fondé sur des forces latérales proportionnelles à la masse quelle que soit la hauteur (accélération uniforme) ;
- un schéma «modal», proportionnel aux forces latérales correspondant à la distribution des forces latérales, dans la direction considérée, déterminée dans l'analyse élastique

(2)P Les charges latérales doivent être appliquées à l'emplacement des masses dans le modèle. L'excentricité accidentelle doit être prise en compte

(1)P Si une analyse linéaire est effectuée, les déplacements produits par l'action sismique de calcul doivent être calculés à l'aide de l'expression simplifiée suivante :

$$d_s = q_d d_e$$

- d_s déplacement d'un point du système structural dû à l'action sismique de calcul ;
- q_d coefficient de comportement, supposé égal à q , sauf indication contraire ;
- d_e déplacement du même point du système structural calculé sur la base du spectre de calcul ;

Extrait de EN 1998-3

Il n'est pas nécessaire de prendre en compte les effets du second ordre (effets P- Δ) lorsque la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_r}{V_{\text{tot}} \cdot h} \leq 0,10$$

θ coefficient de sensibilité au déplacement relatif entre étages ;

P_{tot} charge gravitaire totale due à tous les étages situés au dessus de l'étage considéré, y compris celui-ci, dans la situation sismique de calcul ;

d_r déplacement relatif de calcul entre étages, pris comme la différence de déplacement latéral moyen entre le haut et le bas du niveau considéré, calculés conformément à 4.3.4 ;

V_{tot} effort tranchant sismique total au niveau considéré ;

h hauteur du niveau, entre étages.

(3) Dans les cas où $0,1 < \theta \leq 0,2$, les effets du second ordre peuvent être pris en compte approximativement en majorant les effets de l'action sismique par un facteur égal à $1/(1 - \theta)$.

(4)P La valeur du coefficient θ ne doit pas dépasser 0,3.

^ Pour les systèmes poteaux-poutres il faut s'assurer que pour chaque nœud

$$\sum M_{Rc} \geq 1,3 \sum M_{Rb}$$

$\sum M_{Rc}$ somme des résistances à la flexion des poteaux connectés au nœud.

$\sum M_{Rb}$ somme des valeurs des résistances à la flexion des poutres connectées au nœud

Extrait de EN 1998-3

$$d_r \cdot \nu \leq \alpha \cdot h$$

4.4.3.2 Limitation des déplacements entre étages

(1) Sauf spécification contraire dans les Articles 5 à 9, les limites suivantes doivent être respectées :

a) pour les bâtiments ayant des éléments non structuraux composés de matériaux fragiles fixés à la structure :

$$d_r \nu \leq 0,005 h \quad \dots (4.31)$$

b) pour les bâtiments ayant des éléments non structuraux ductiles :

$$d_r \nu \leq 0,0075 h \quad \dots (4.32)$$

c) pour les bâtiments ayant des éléments non structuraux fixés de manière à ne pas interférer avec les déformations de la structure ou n'ayant pas d'éléments non structuraux :

$$d_r \nu \leq 0,010 h \quad \dots (4.33)$$

avec :

d_r déplacement de calcul entre étages défini en 4.4.2.2(2) ;

h hauteur entre étages ;

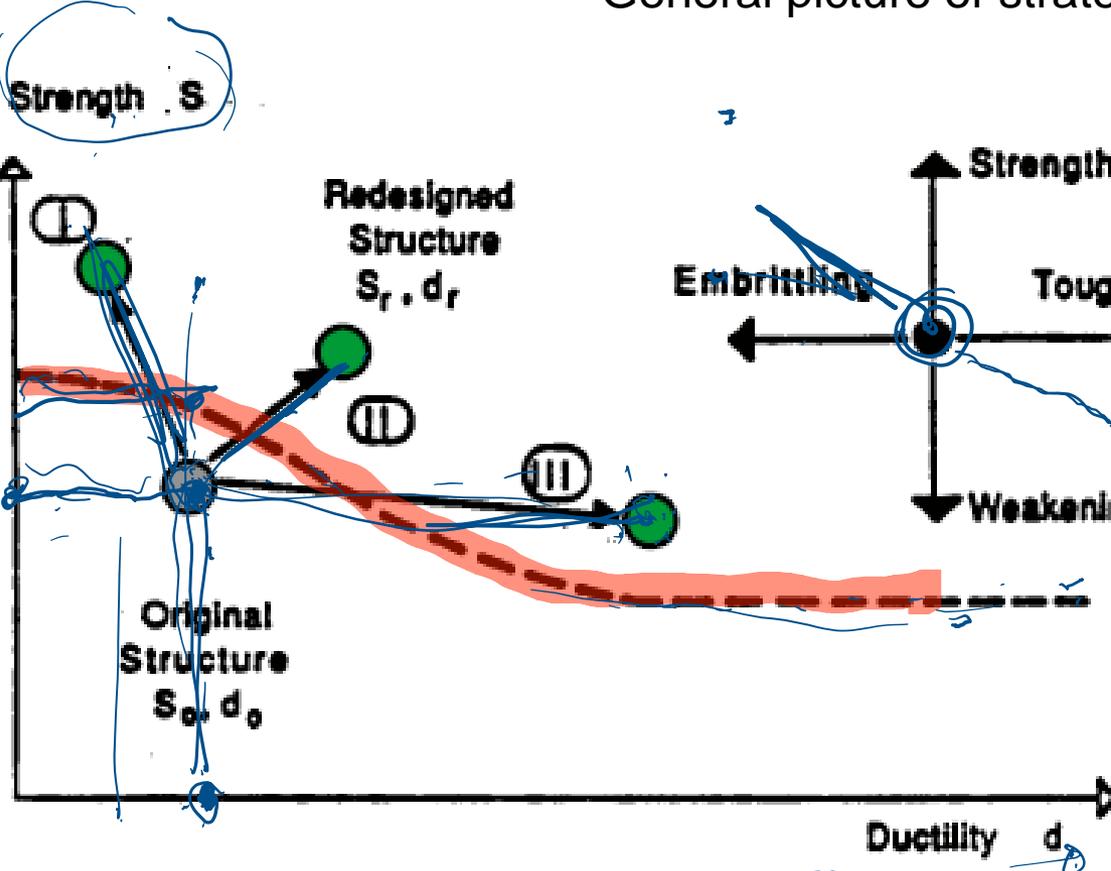
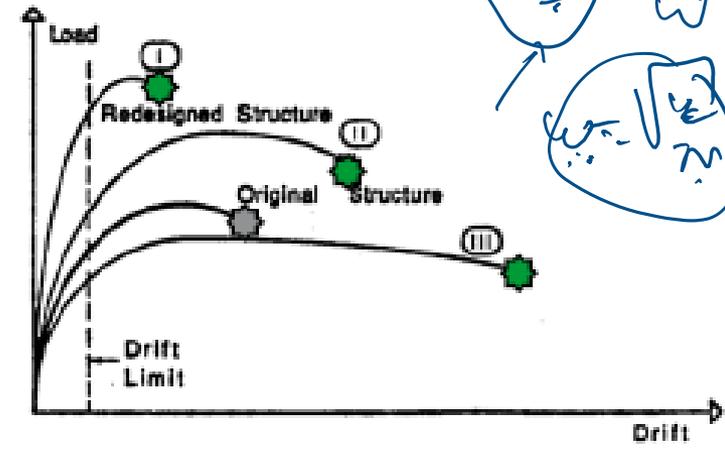
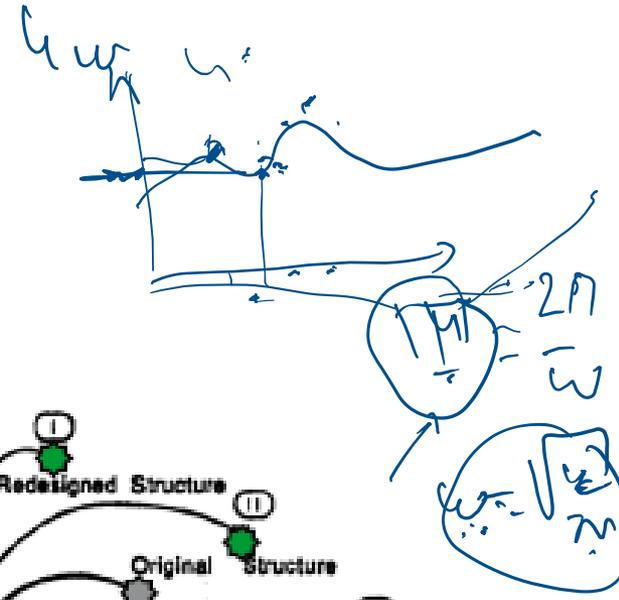
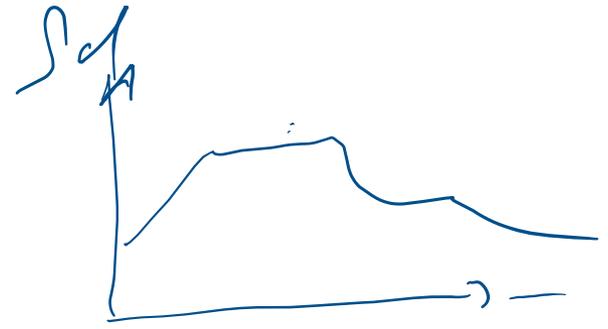
ν coefficient de réduction pour prendre en compte une plus petite période de retour de l'action sismique associée à l'exigence de limitation des dommages.

Les valeurs recommandées sont $\nu = 0,4$ pour les catégories d'importance III et IV et $\nu = 0,5$ pour les catégories d'importance I et II.

Retrofitting methods

- Strategies
- Weakening 
- Steel bracing
- Reinforced concrete shear walls
- Jacketing
- Masonry reinforced by composites

General picture of strategies



$$F \approx k \cdot u_{max}$$

$$= m \cdot \omega^2 \cdot u$$

Handwritten notes: S_d , f_{max}

Retrofitting techniques

Passive

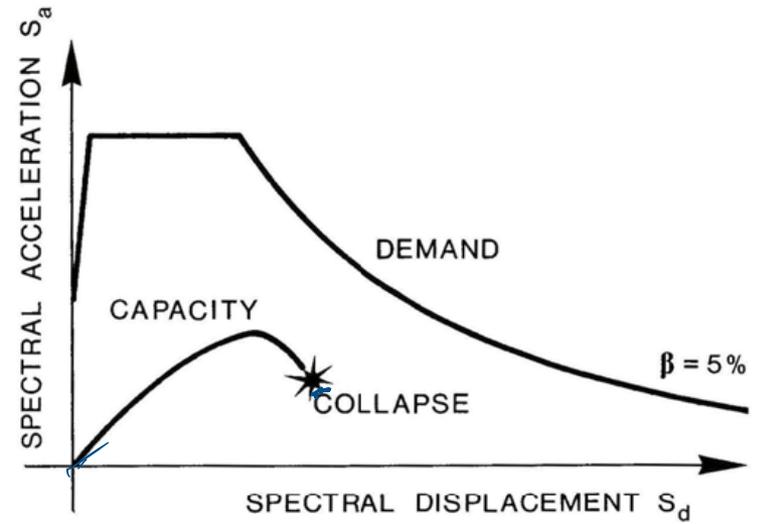
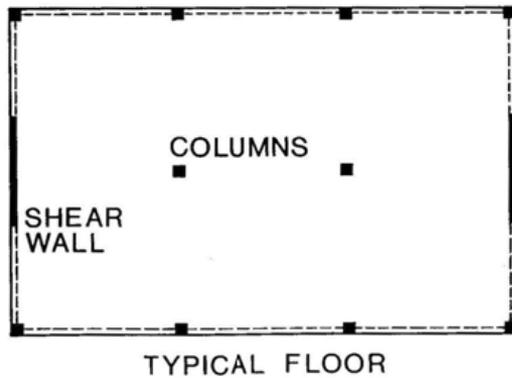
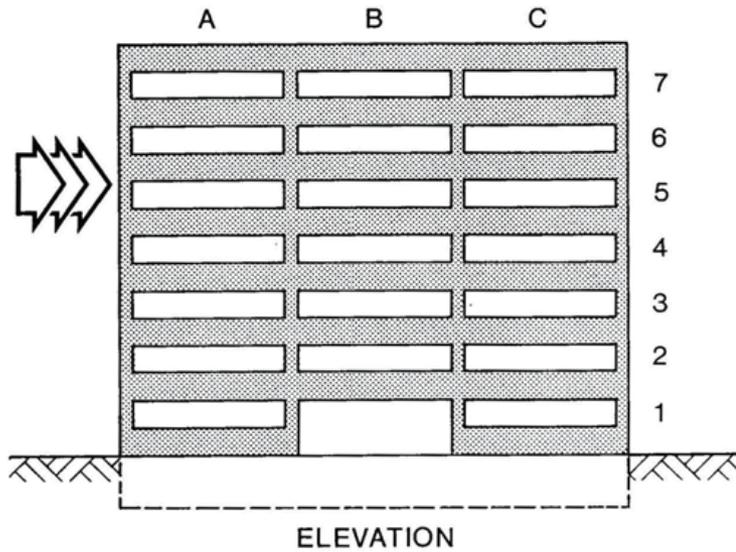
- Additional new lateral bracing system
 - Reinforced concrete shear walls
 - Steel bracing

- Seismic improvement of elements (columns or shear walls) of the existing structure
 - By jacketing (concrete, steel, composites ...)
 - By composite strips
 - By additional post-tensioning

Semi-active

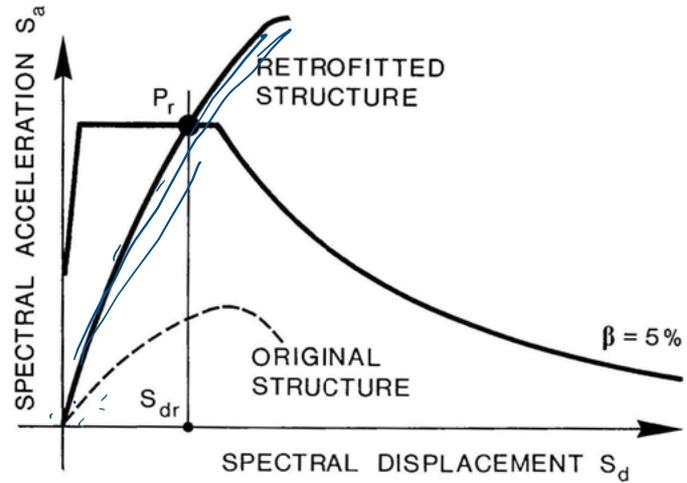
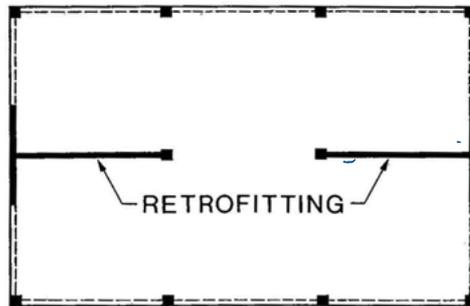
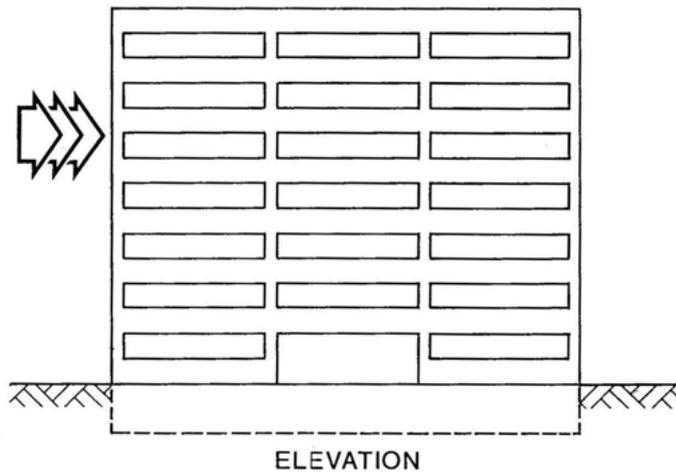
- Seismic isolation
- Additional energy dissipation devices
 - By friction
 - By liquid mass

Example : initial situation



1st option: additional RC shear walls

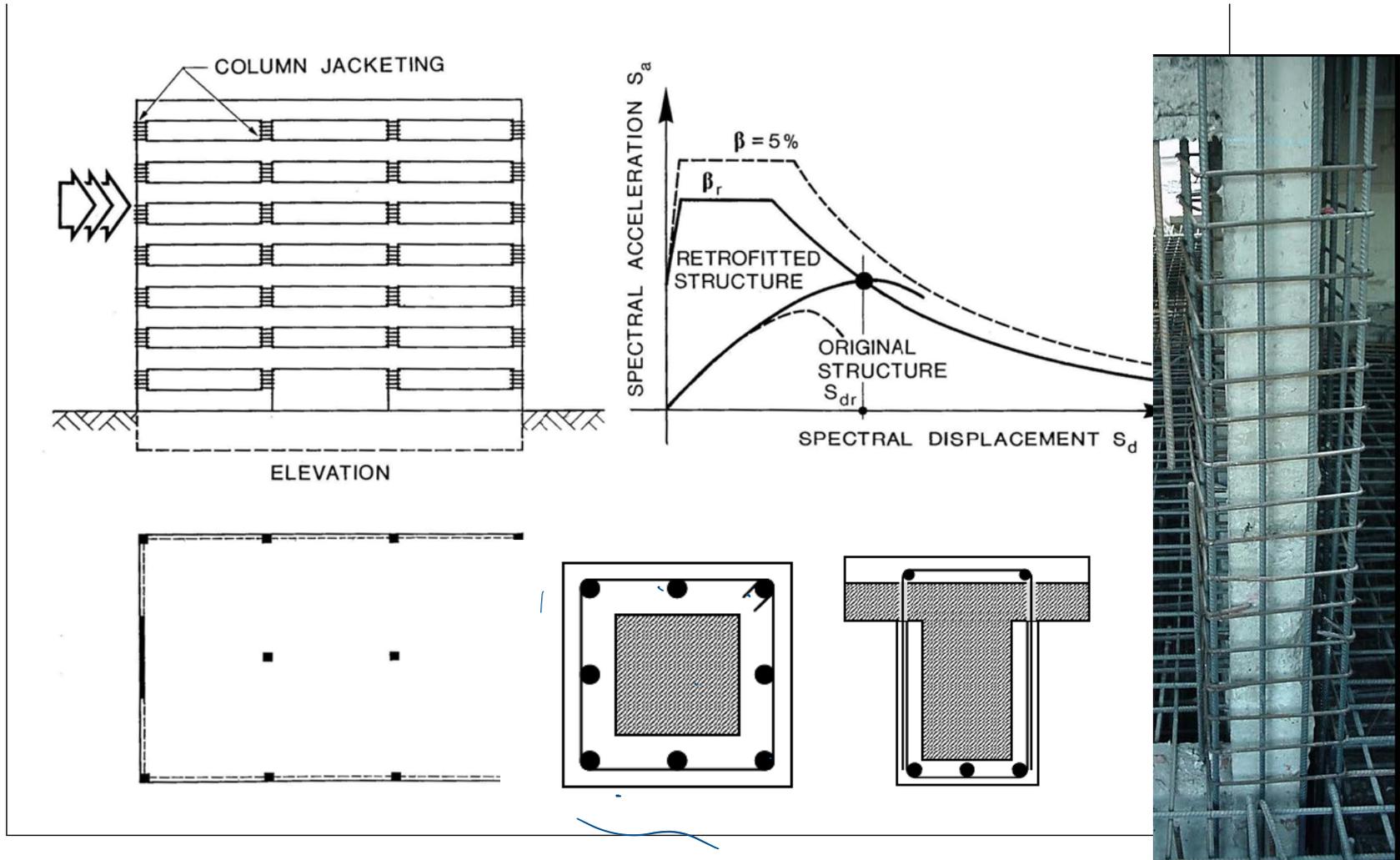
Increase in strength
Increase of seismic forces and
decrease of deformations

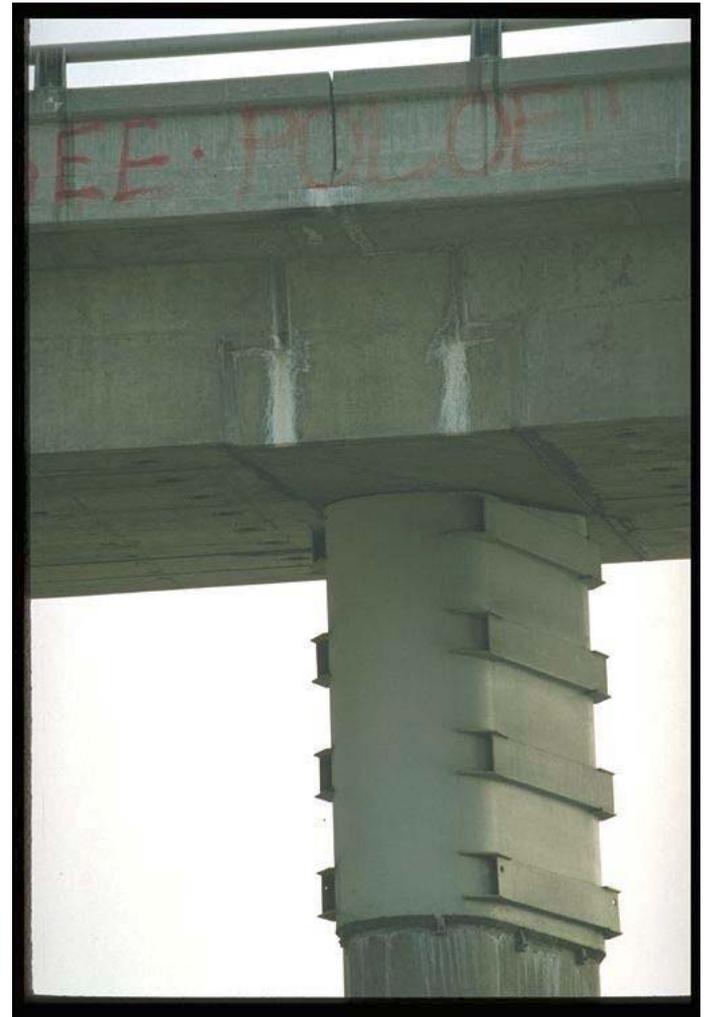
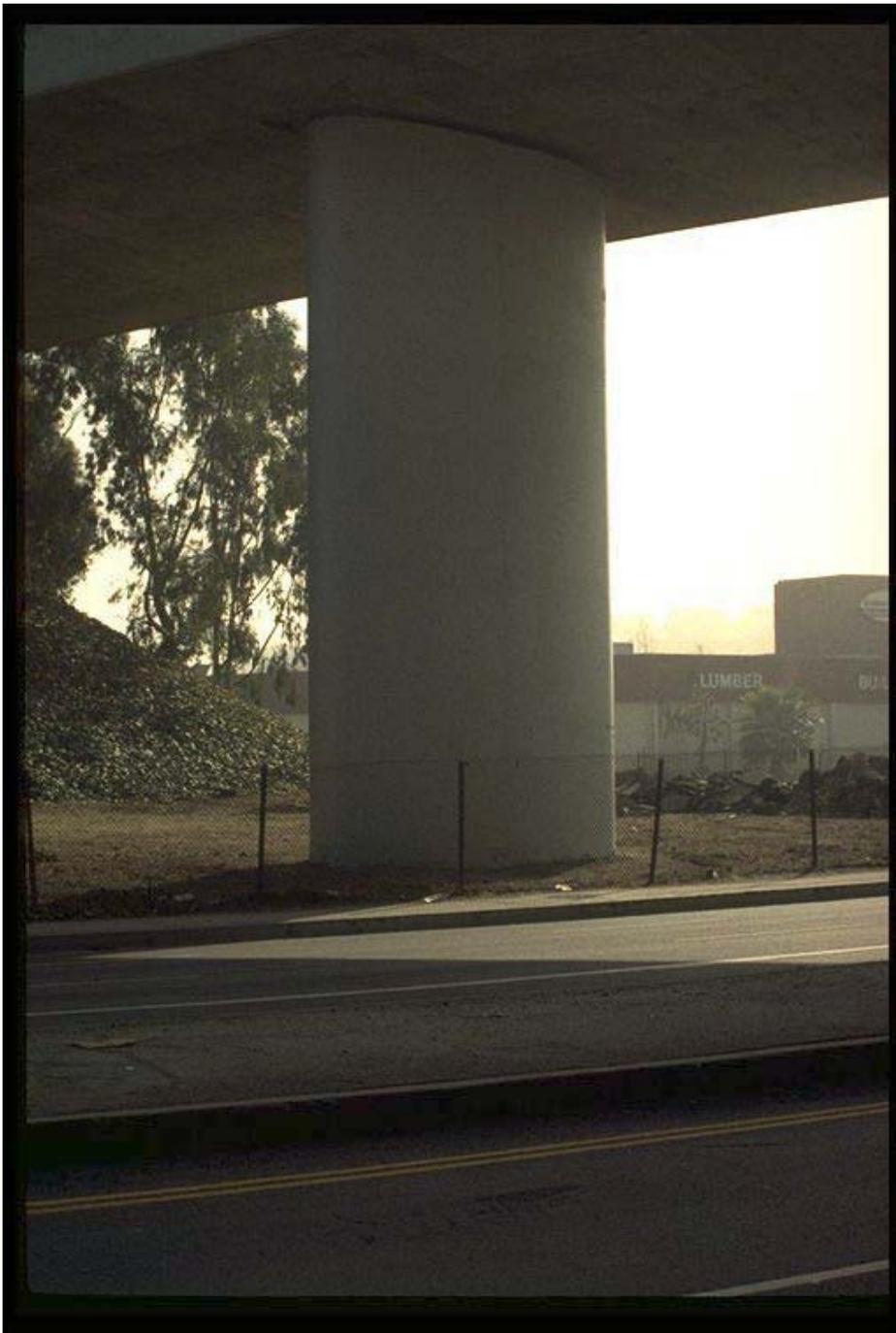




2nd option: columns jacketing

Increase in ductility and strength
Increase of damping and displacements

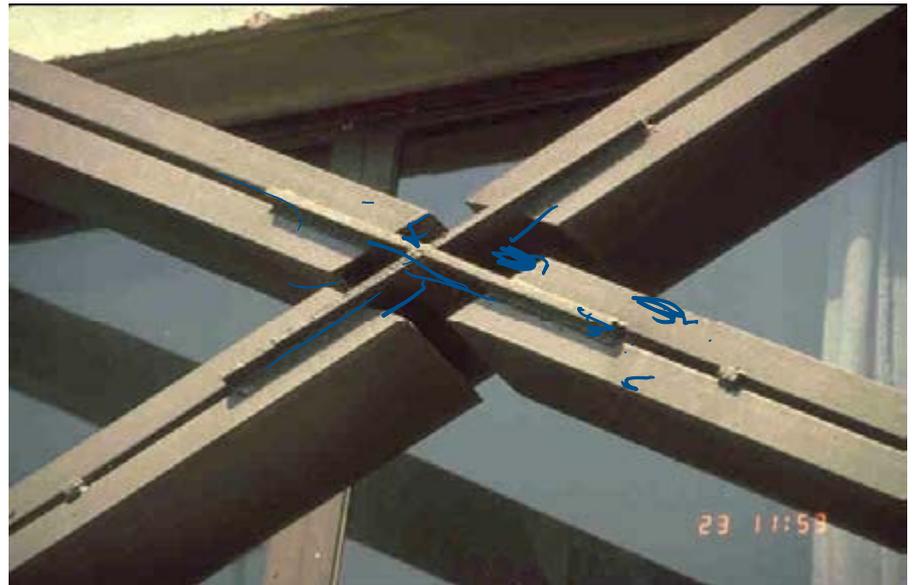


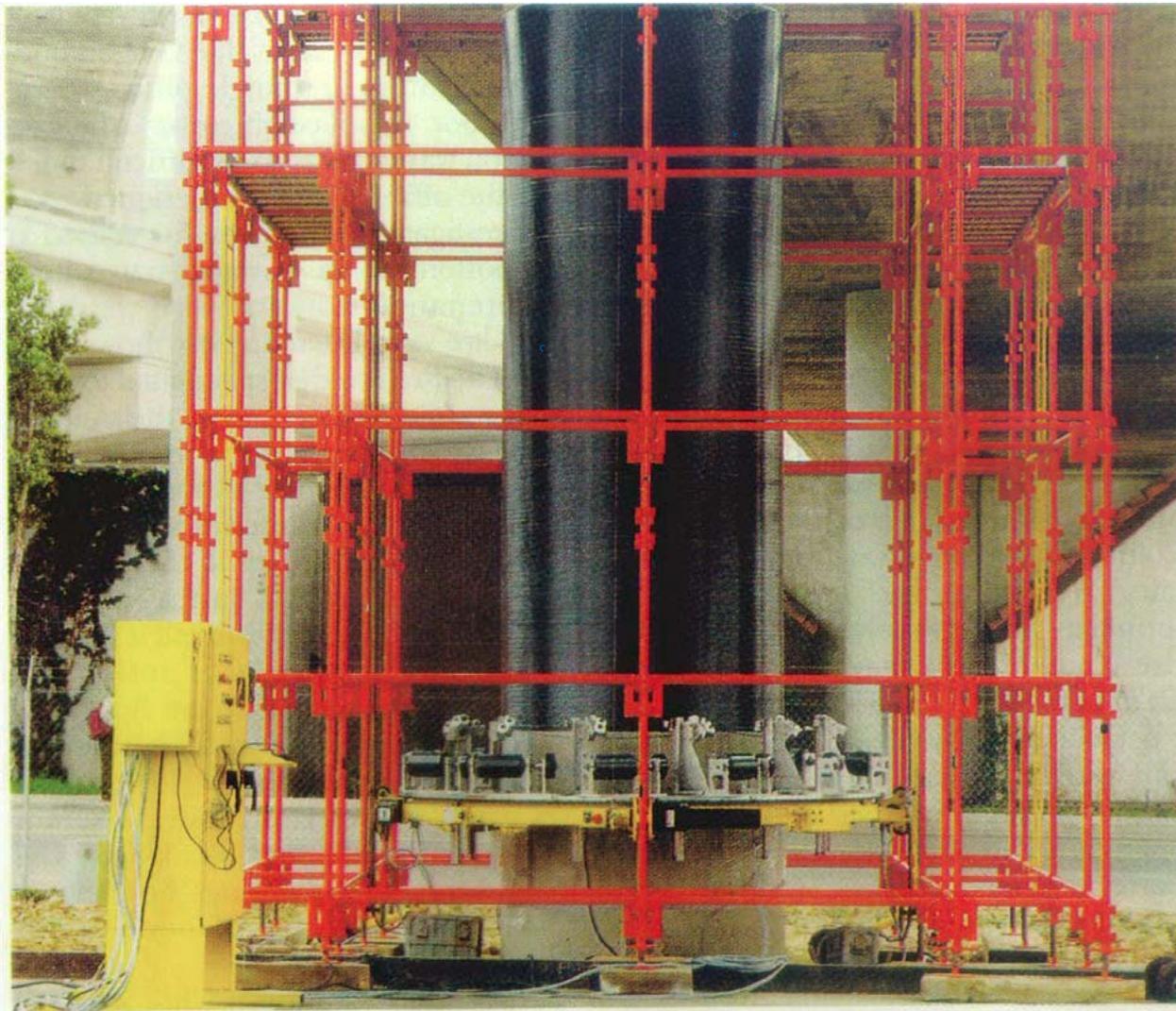


3d option:



External steel bracing

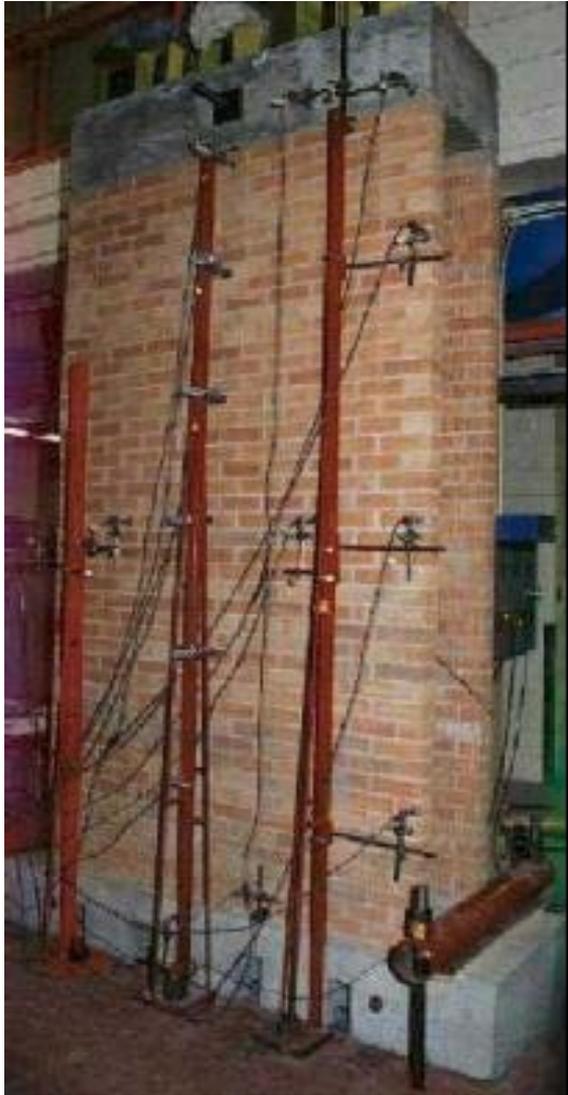




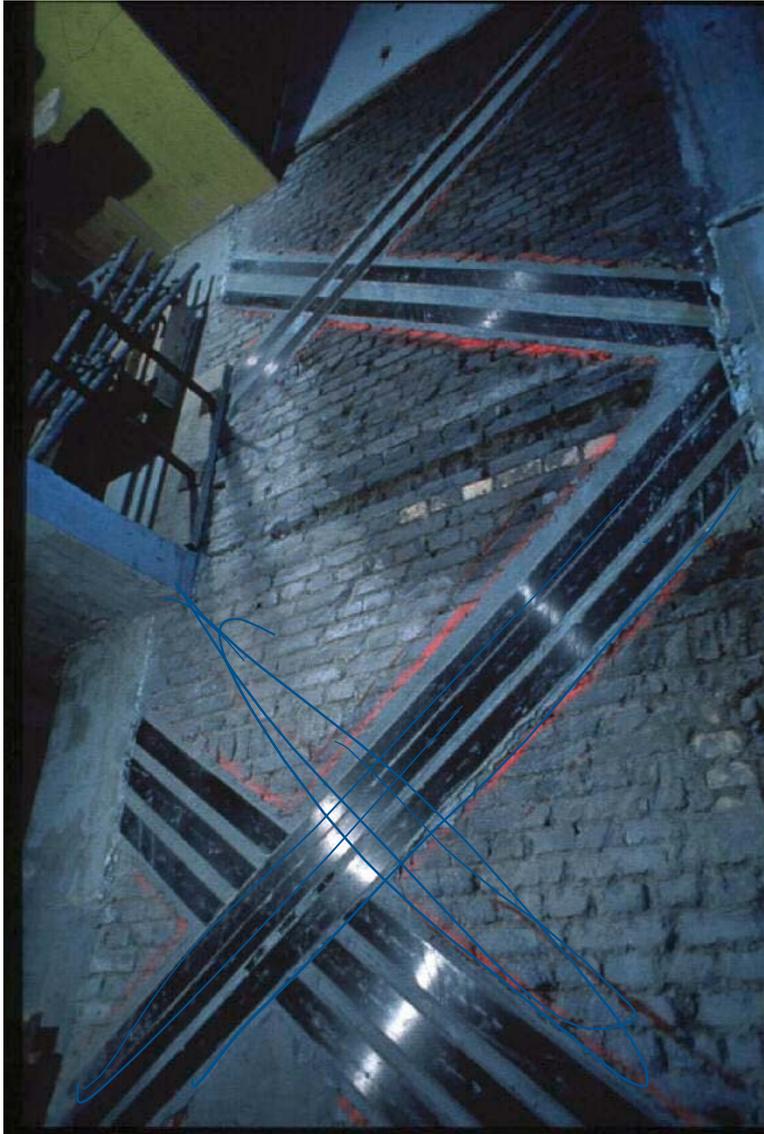
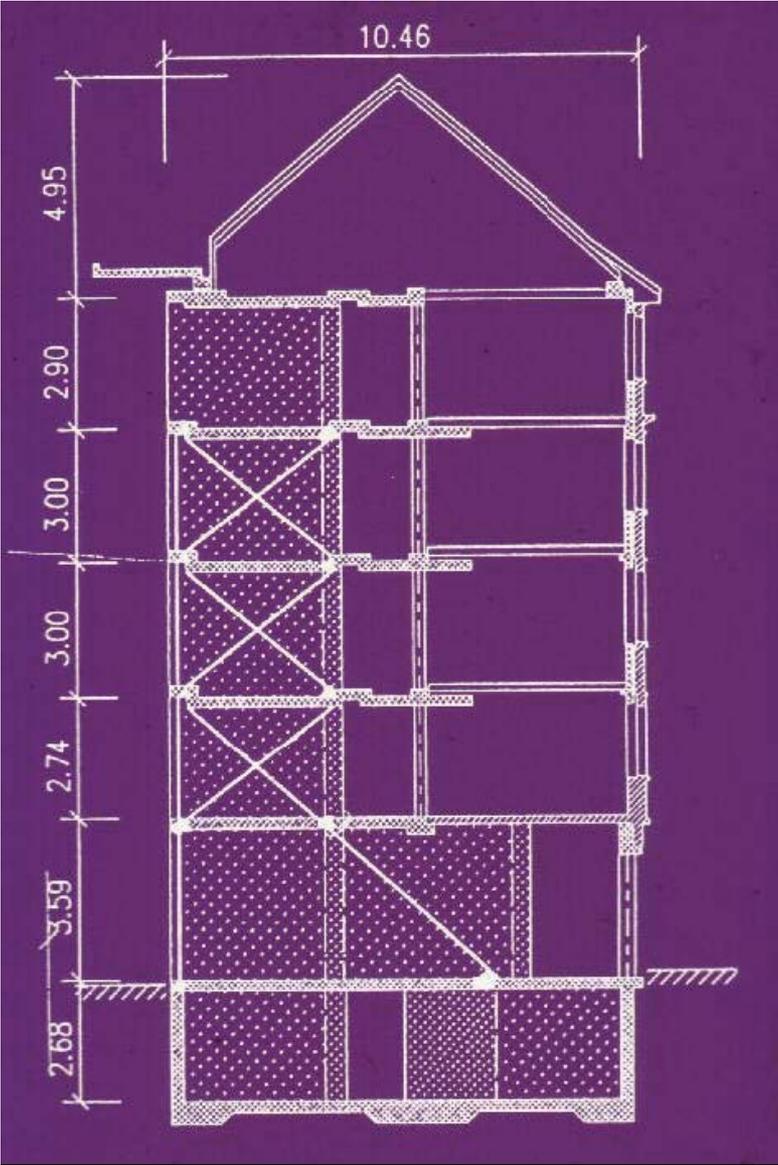
JACKET Computer-controlled robot wraps concrete columns with carbon fiber.

External or internal post-tensioning

Shotcrete



Composites: carbon fiber



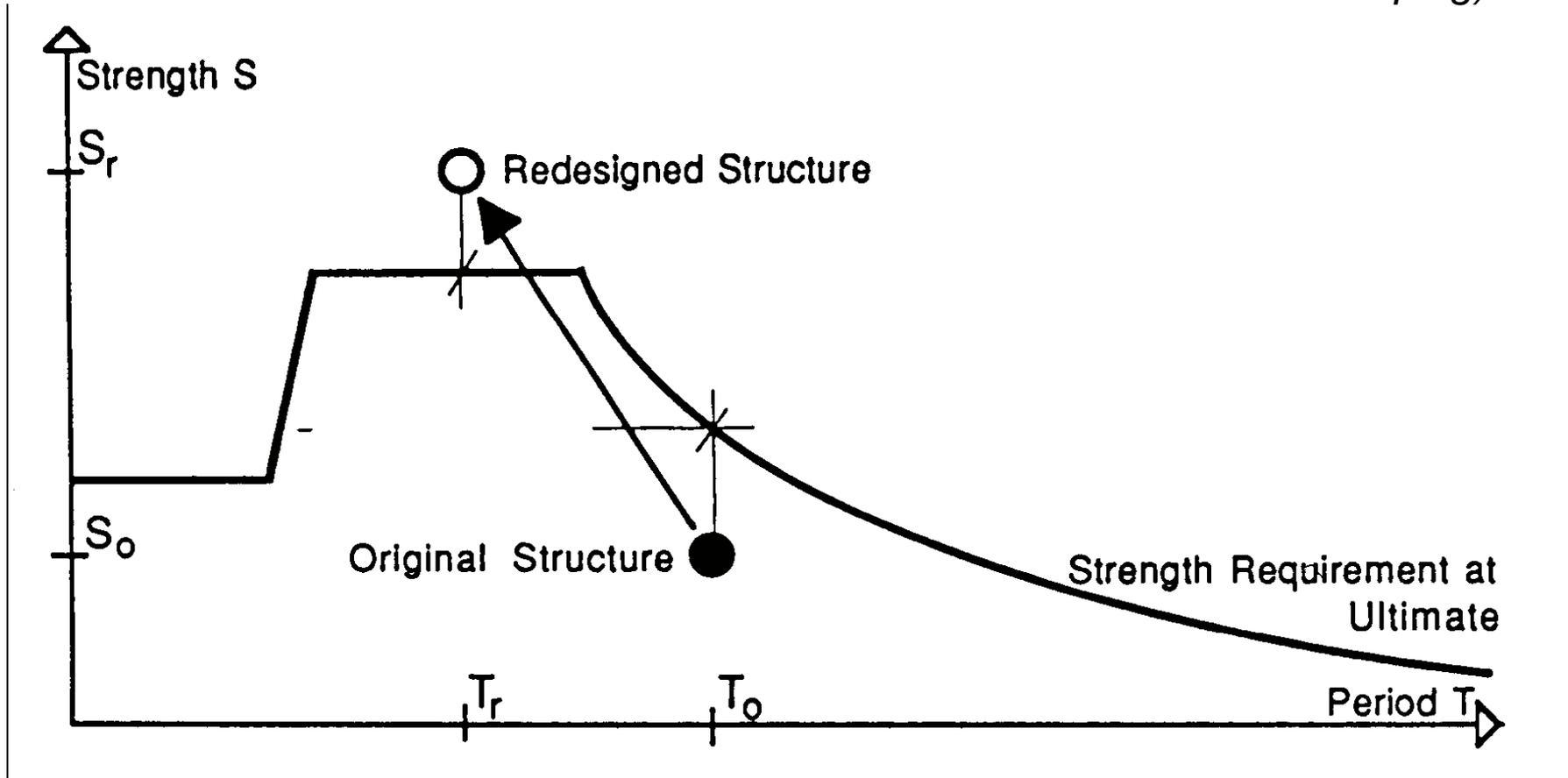


External/internal steel bracing

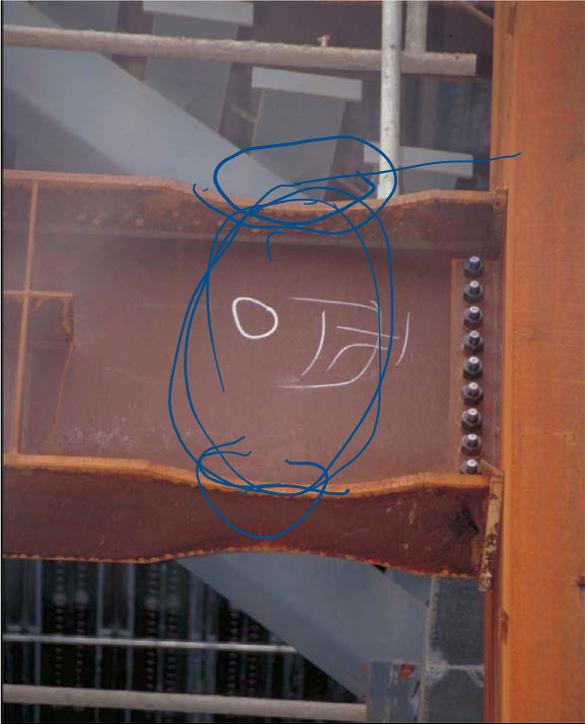
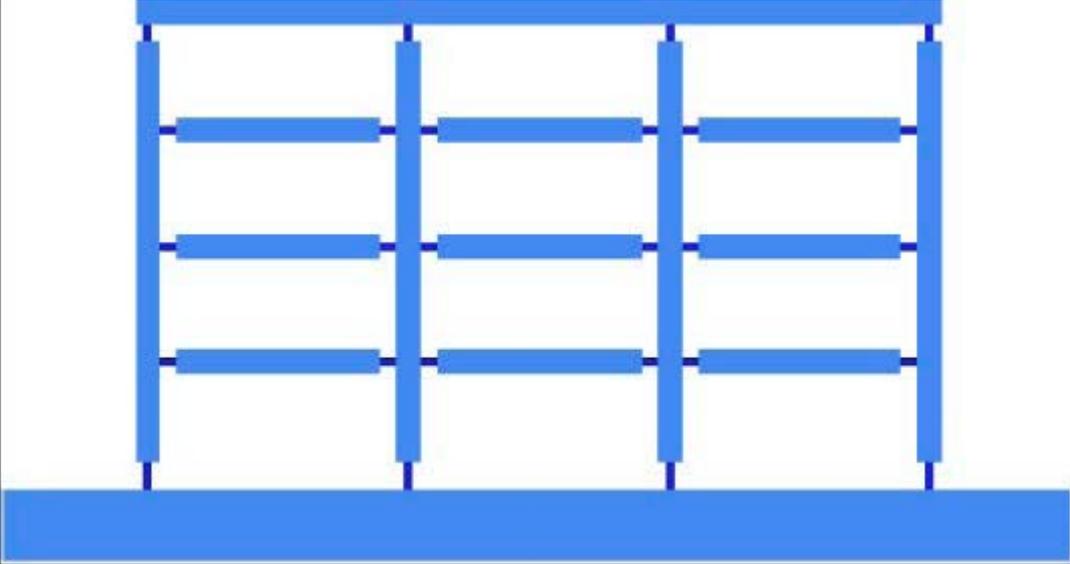


Reinforcement not always optimal

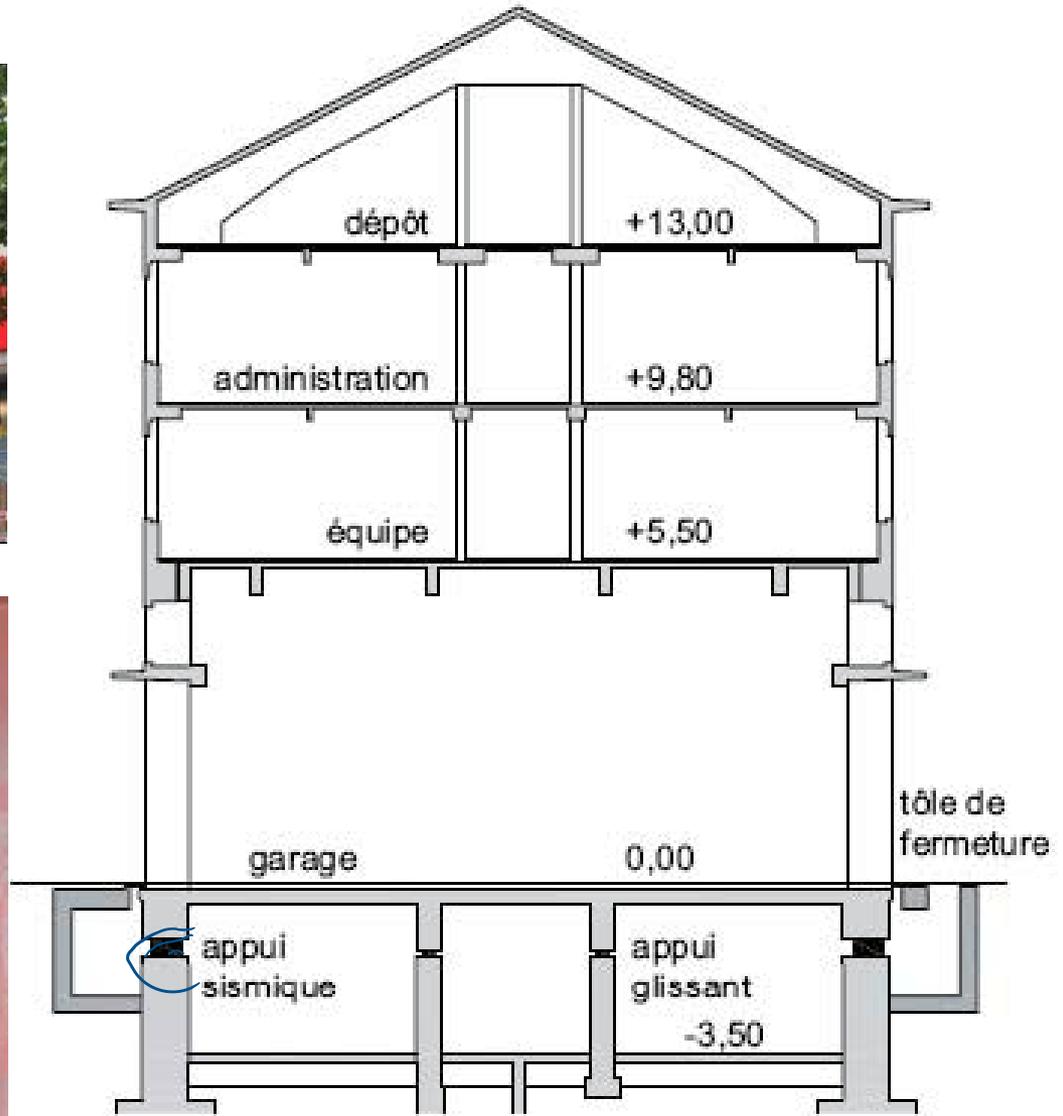
*Increase of seismic demand
(for constant ductility and
damping)*



Beam weakening (dog bone)



Seismic isolation



Reinforcement not always optimal

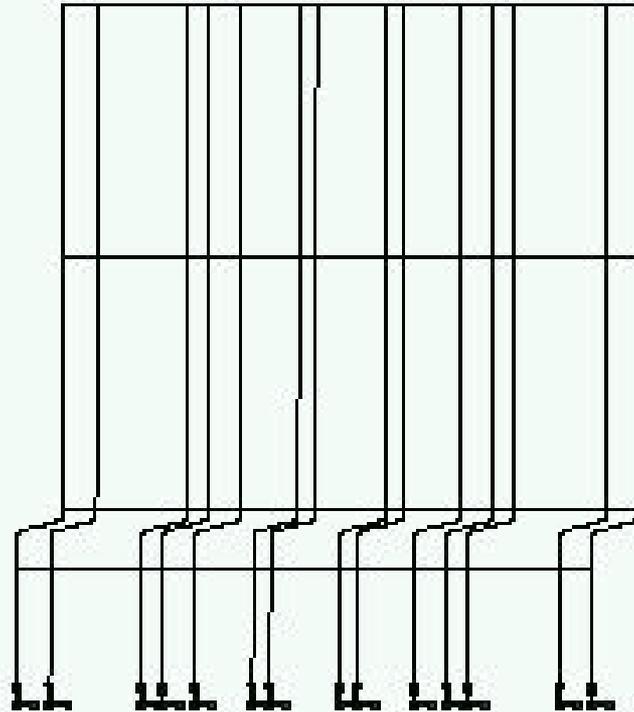
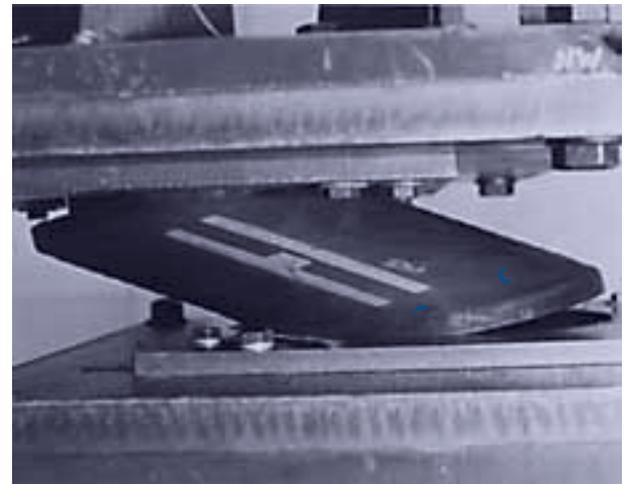
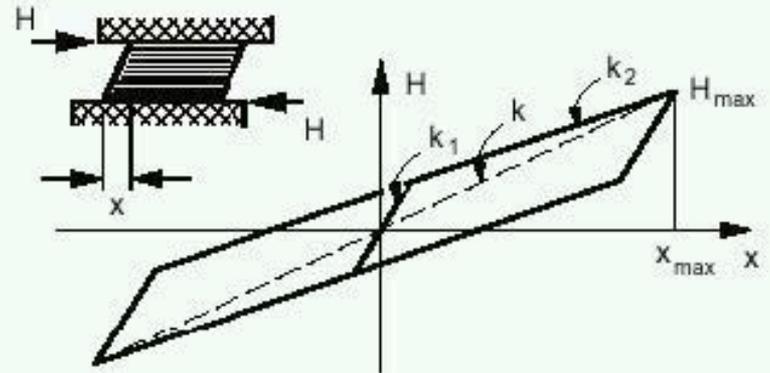
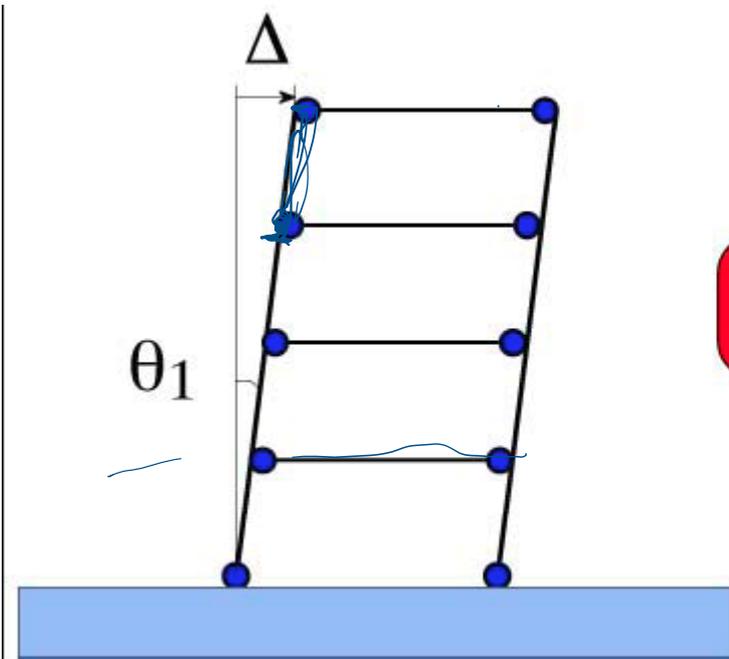
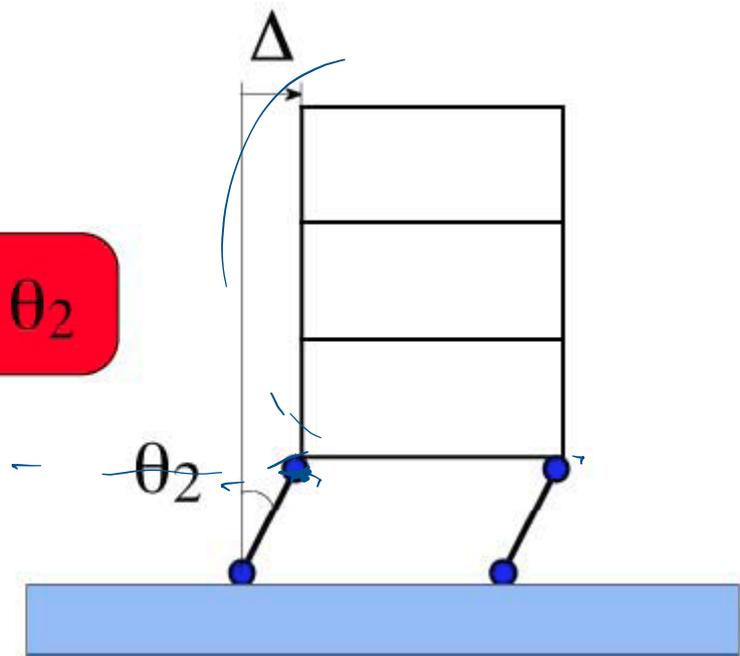


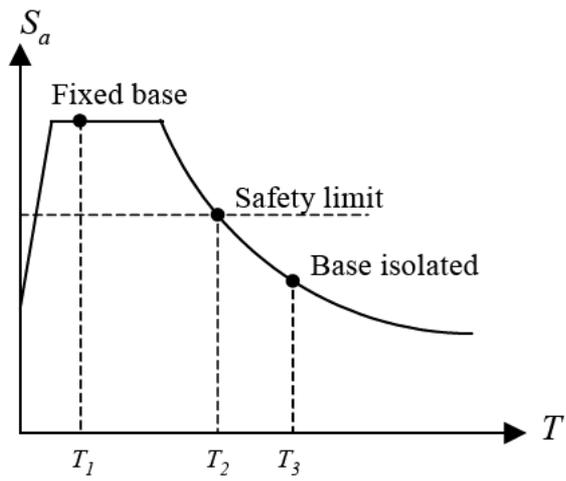
Fig. 6 - *Fundamental mode shape of rehabilitated liquid gas tank with eigenfrequency 0.5 Hz*



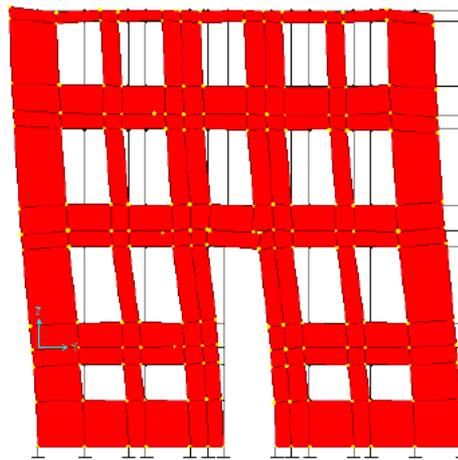


$\theta_1 \ll \theta_2$

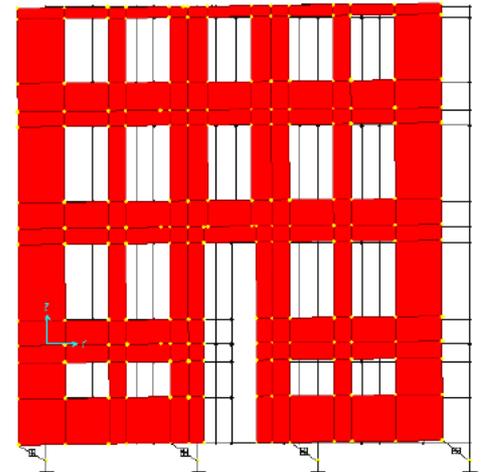




(a) Design of base isolation

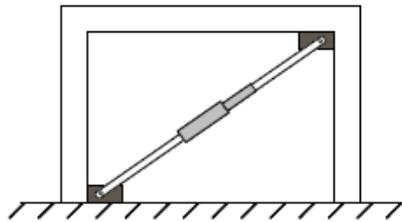


(b) Deformations before base isolation

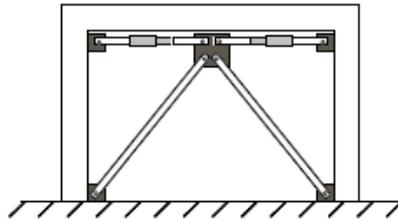


(c) After base isolation

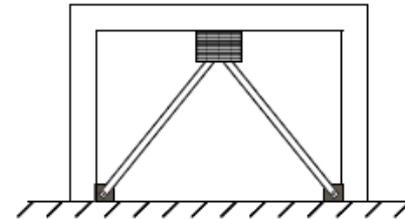
Supplemental Energy Dissipation and Structural Control



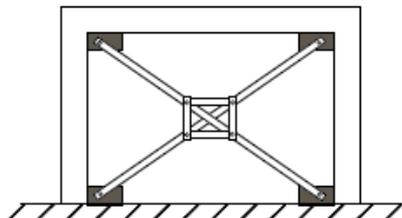
Diagonal brace with viscous or viscoelastic damper



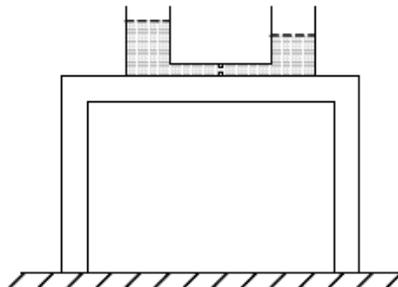
Chevron brace with viscous dampers



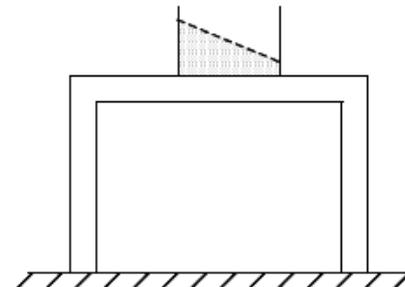
Chevron brace with viscoelastic damper



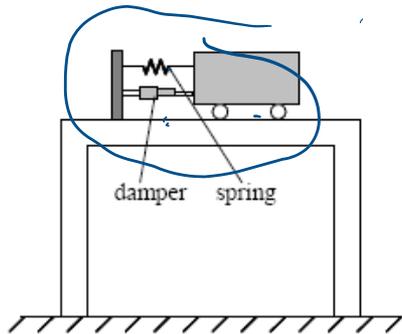
Pall friction damper



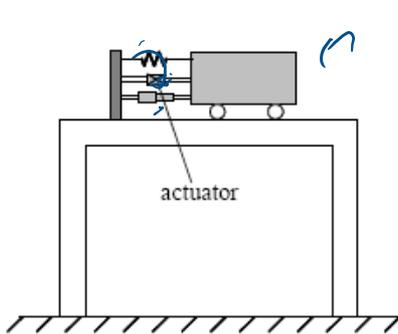
Tuned liquid column damper



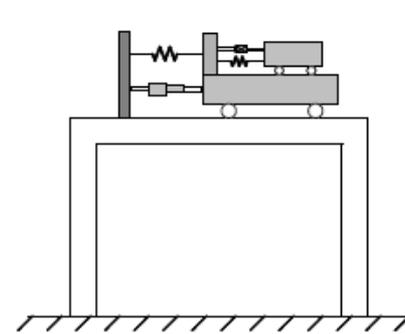
Tuned liquid damper



Tuned mass damper



Active mass damper



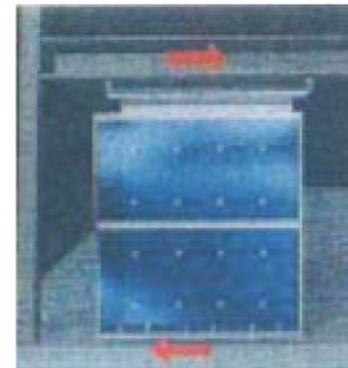
Hybrid mass damper

Système d'amortisseurs visqueux

L'amortissement peut aussi être produit par des murs composés de matériaux visqueux qui présentent une résistance aux mouvements horizontaux.

Le TV Shisuoka Media City Building a été de cette façon équipé de 170 murs amortisseurs sur l'ensemble de ses 14 étages.

Les tours B et C des résidences de Roppongi Hills sont protégées par le même système.



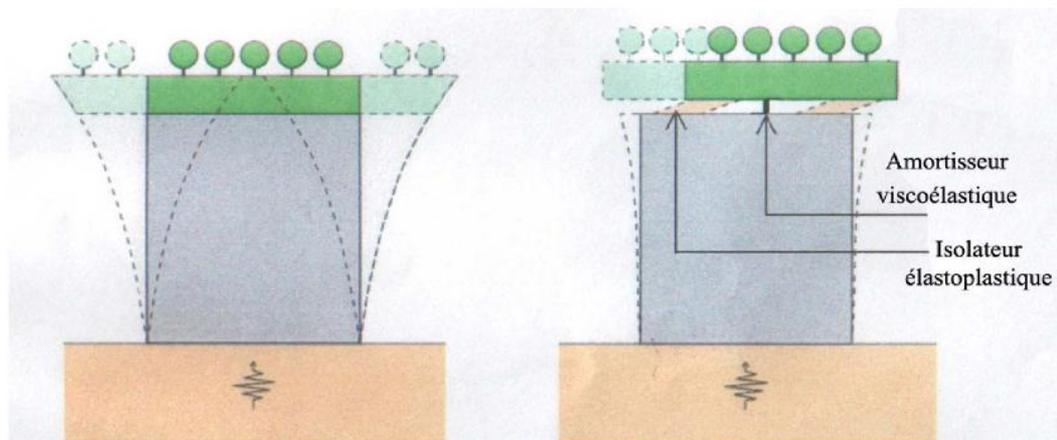
Un amortisseur à masse (TMD, Tuned Mass Damper) consiste en une masse située à l'un des étages les plus élevés du bâtiment qu'il équipe et liée à celui-ci via un ressort et un mécanisme d'amortissement (visqueux ou viscoélastique).

L'inertie créée par le mouvement de cette masse va se transmettre au bâtiment et réduire les vibrations induites par le séisme.

Le mouvement de la masse s'effectue dans le sens opposé à celui de l'immeuble et avec la même fréquence.

L'efficacité du système dépend de la valeur de la masse ajoutée (entre $1/300$ et $1/100$ de la masse du bâtiment, la réduction des oscillations est de $1/3$), de la possibilité de déplacement du solide, du type de ressort employé et de la configuration du mécanisme amortisseur qui soutient la masse.

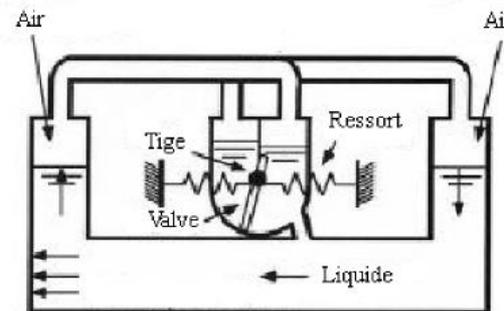
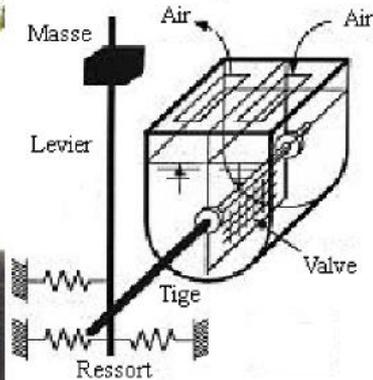
L'emploi d'un hélicoptère ou d'un jardin comme masse secondaire permet de pallier le problème d'ajout de masse et de rendre le système plus attractif commercialement. **Mori Building a réalisé un jardin de 3650 t situé sur le toit pour protéger le Keyakizaka de Roppongi Hills.**



Les amortisseurs inertiels à masse

Les amortisseurs liquides (Tuned Liquid Damper)

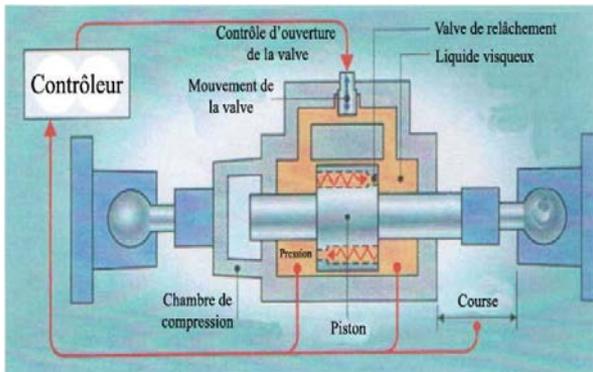
Le mouvement d'un liquide atténue les oscillations du bâtiment. Comme le mouvement pendulaire créé par le mouvement d'un solide, les déformations sont atténuées par un mouvement opposé de même période. **Le système peut réduire la réponse de la structure de 1/2 à 1/3 suivant la masse de liquide employée.**

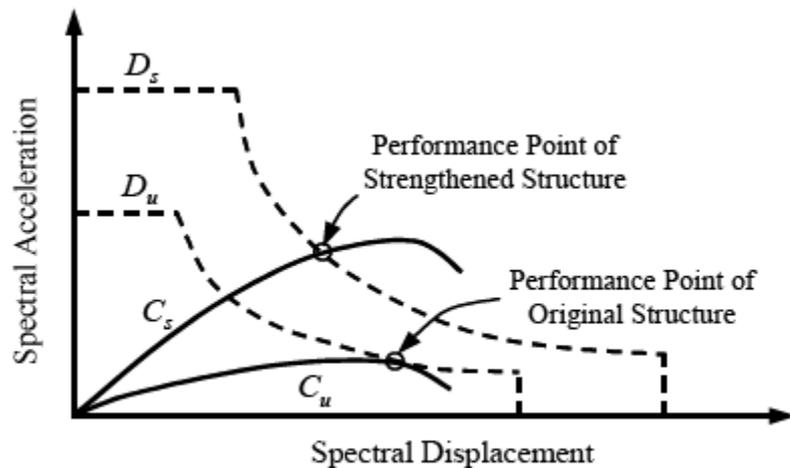


En haut de l'hôtel Sofitel de Tokyo ont été installés des TLD à période ajustable. Le fonctionnement de l'amortisseur se base sur l'oscillation d'une valve actionnée par les mouvements du liquide, lui-même contraint aux vibrations de son environnement. Les oscillations se transmettent à un pendule à période variable.

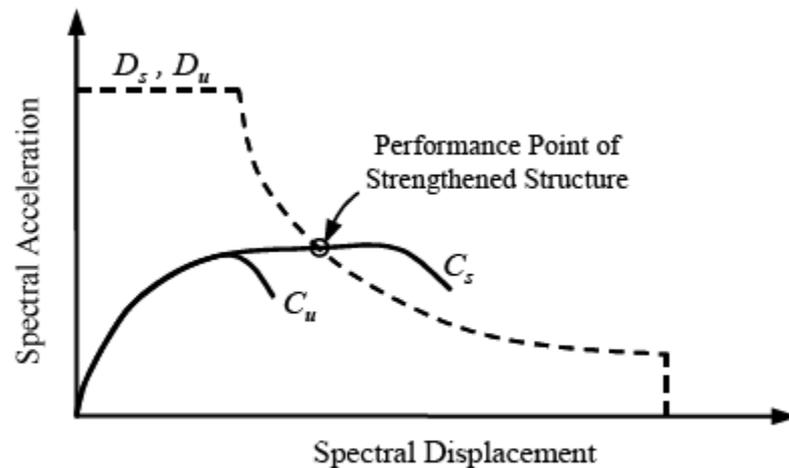
Les systèmes semi-actifs

La tour Mori, point culminant du complexe de Roppongi Hills, est équipée de 356 amortisseurs semi-actifs visqueux. Les mouvements des renforts diagonaux sont amortis par le liquide, contrôlé par courant électrique.

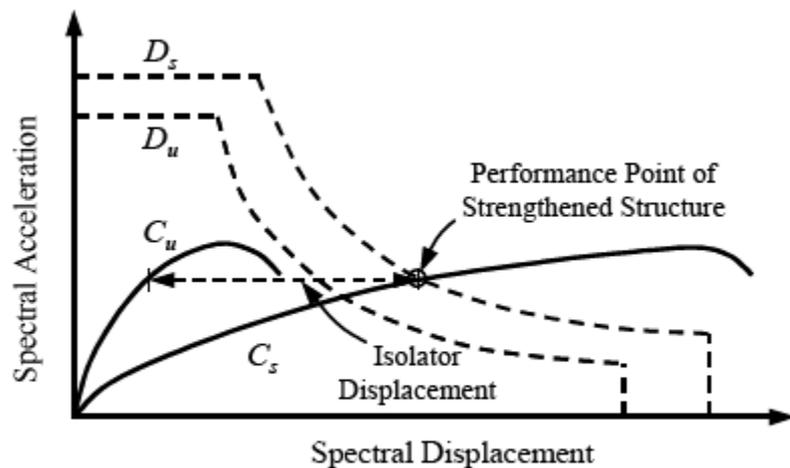




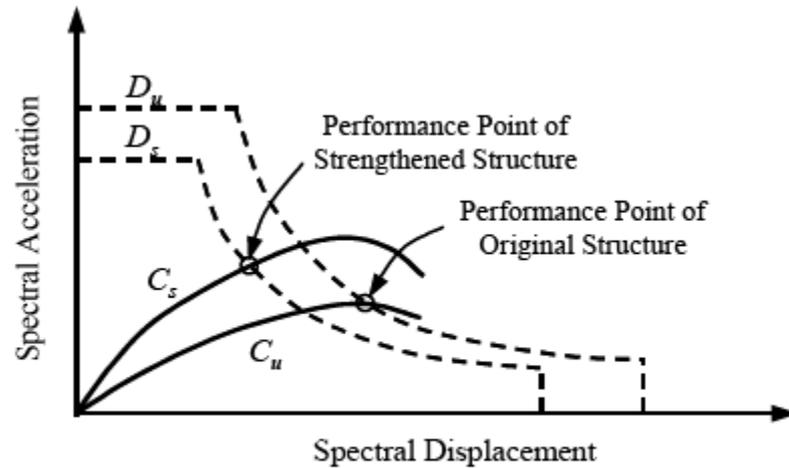
(a) Effect of structural strengthening



(b) Effect of deformation enhancement



(c) Effect of base isolation



(d) Effect of enhanced energy dissipation