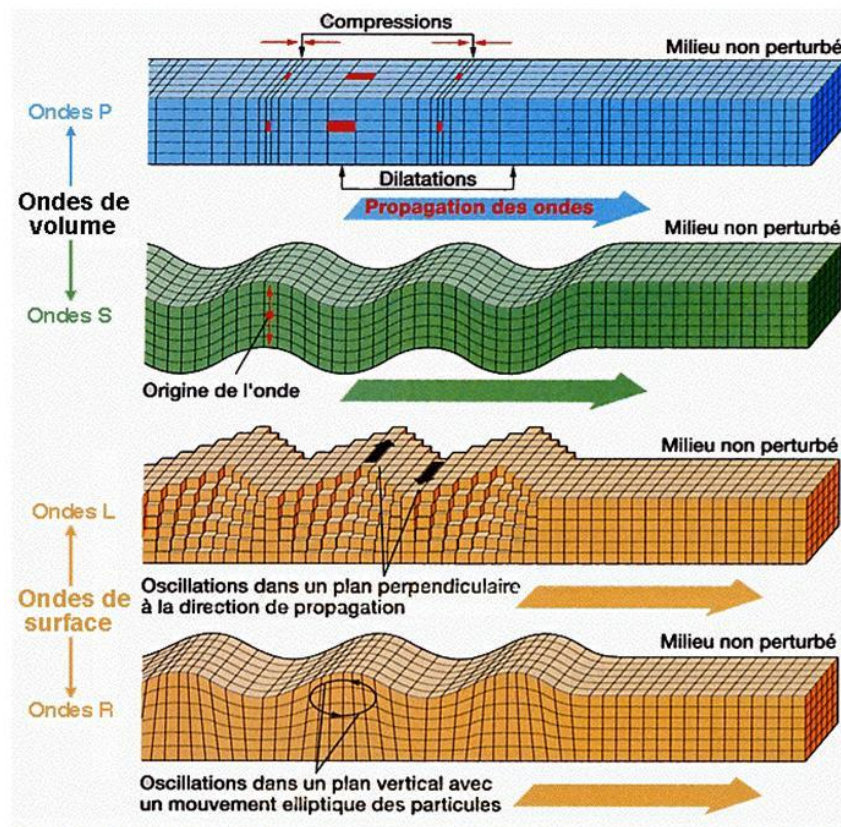


ETUDE DES STRUCTURES

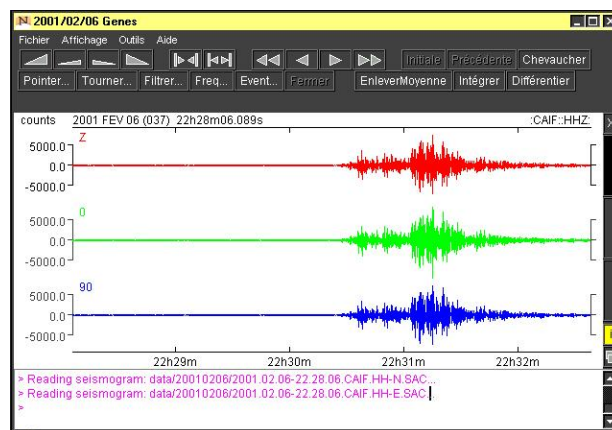
DYNAMIQUE DES STRUCTURES

1- Ondes sismique

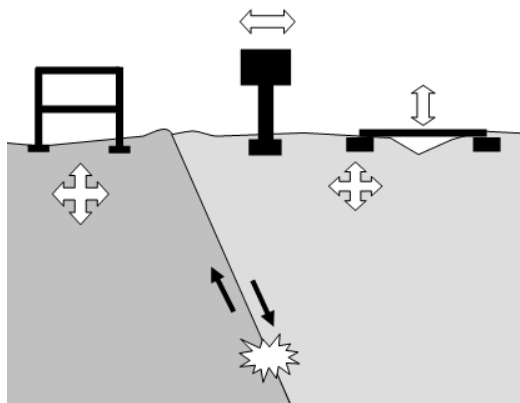
Au court d'un séisme, différentes ondes se propagent dans le sol.



Pour enregistrer les ondes, on utilise un sismographe. Celui-ci enregistre l'accélération du sol, dans une direction. Ainsi, il faut enregistrer 3 courbes pour avoir la représentation spatiale de l'onde.

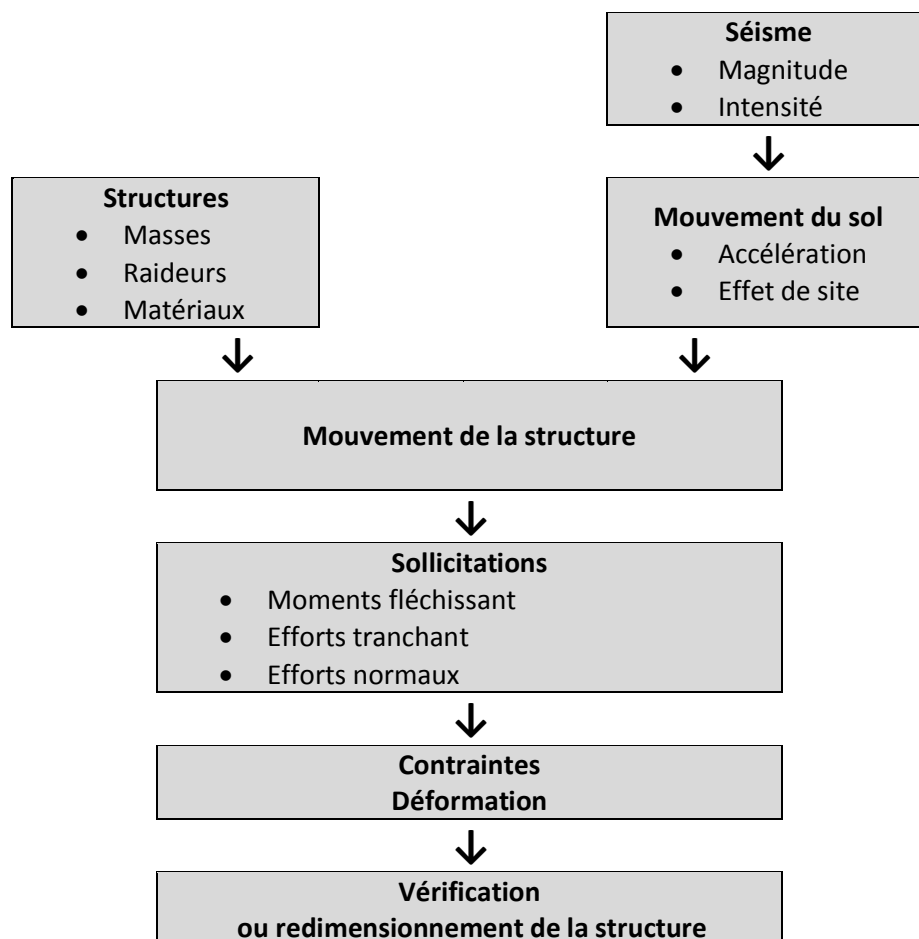


2- Comportement dynamique des structures en zone sismique



En fonction de la structure, on peut dans une première approche n'utiliser que l'enregistrement des mouvements verticaux ou que l'enregistrement des mouvements horizontaux.

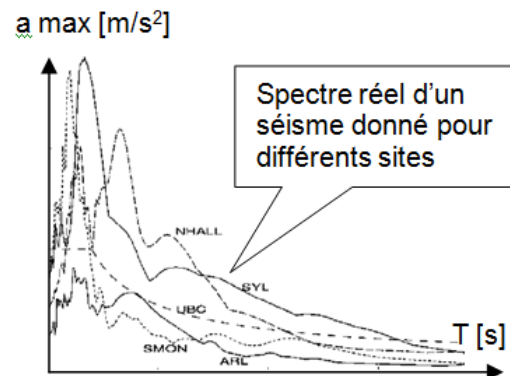
Cependant, la démarche reste toujours la même



3- Ondes spectrales du sol.

L'étude des structures utilise l'onde spectrale définie par le sismographe

D'un point de vue pratique, seules les valeurs maximum du spectre nous intéressent, c'est pourquoi, on définit une onde spectrale réglementaire.



Le spectre de dimensionnement en accélération dépend réglementairement de :

- la zone de sismicité du lieu à bâtir.
- de la classe de risque de l'ouvrage.
- du coefficient d'amortissement de la structure.
- de la topographie du terrain.
- du sol.
- de la capacité du matériau à supporter des déformations plastiques : coefficient de comportement

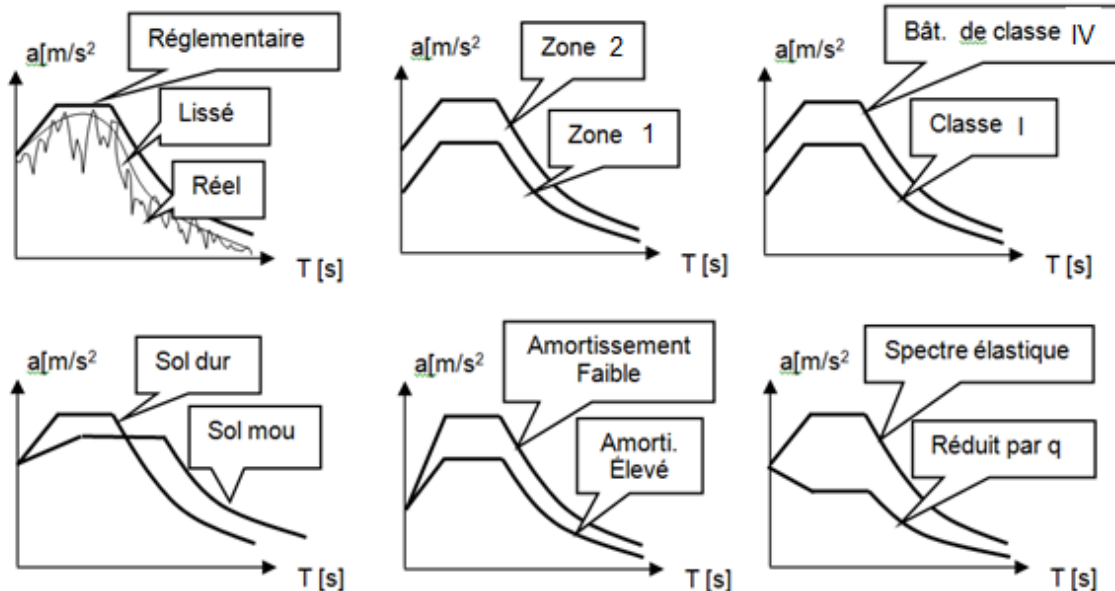
Zones 1,2,3,4 et 5

I, II, III, IV

Coefficient ζ

Coefficient τ

A, B, C, D et E

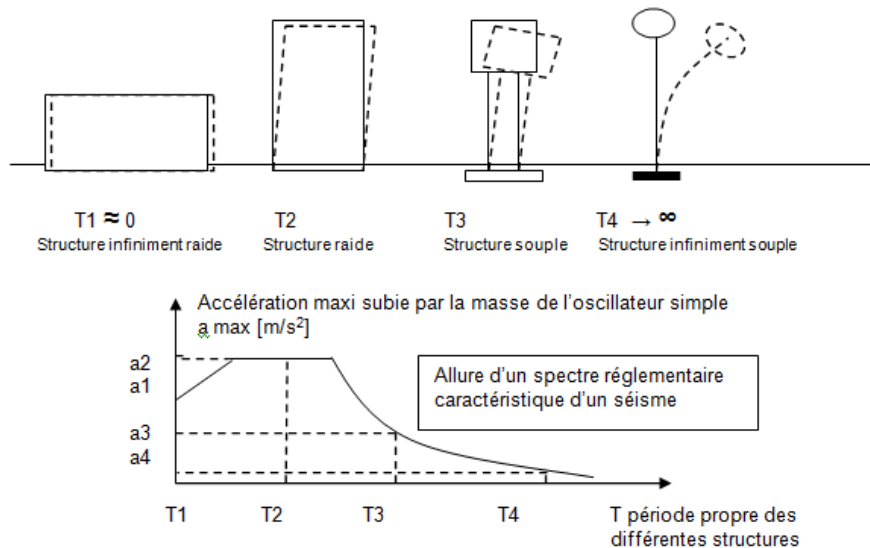


4- Utilisation du spectre.

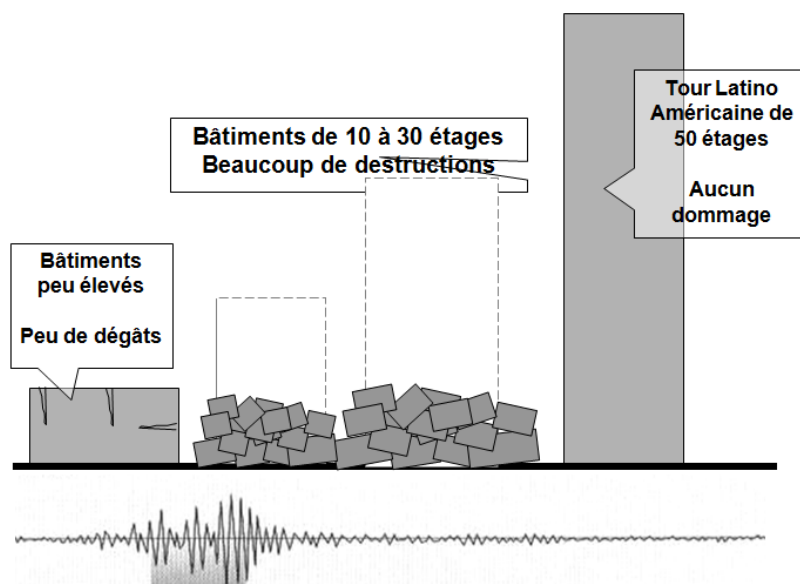
Chaque séisme est caractérisé par un spectre de réponse en accélération et chaque structure est caractérisée par une période propre T et un facteur d'amortissement ζ

En fonction de son mode de vibration une structure sera soumise à une accélération maximale a_{\max} .

Pour un même séisme et donc pour un même spectre réglementaire, chaque structure subie une accélération maximale fonction de sa période propre

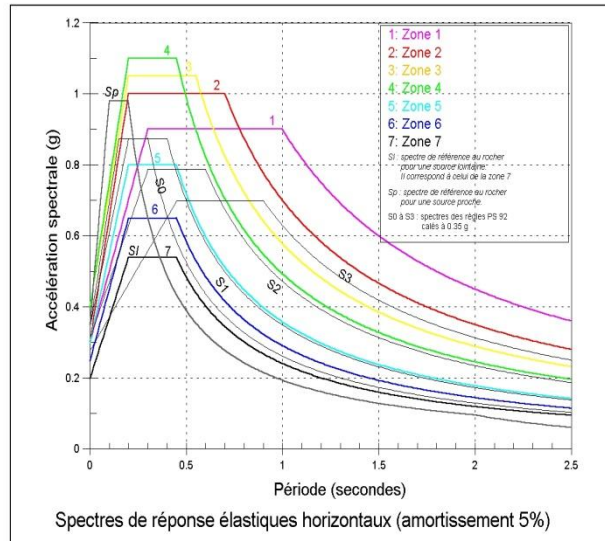
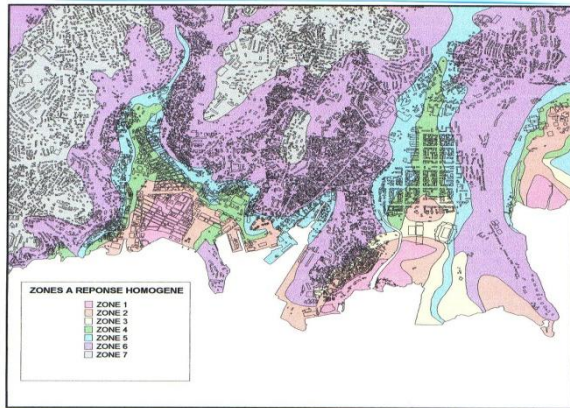


C'est pourquoi, en 1985 à Mexico, c'est principalement les bâtiments de 10 à 30 étages ont connus d'important dégâts



5- Le Microzonage

Pour déterminer le spectre réglementaire dans les régions fortement sismiques, on ne peut se contenter de prendre le spectre qui donne l'accélération maximale la plus importante, car il n'est pas évident qu'il corresponde au risque sur principale sur la structure.



Exemple : Microzonage de Fort de France en Martinique

6- Structure

6-1- Raideur d'une structure.

On définit la raideur comme étant le rapport entre la force appliquée et le déplacement

$$F = k \cdot X \Leftrightarrow k = \frac{F}{X}$$

F [N] Force
X [m] déplacement
k [N/m] raideur

Pour une poutre en console :

On sait que sous une force F, le déplacement en L est :

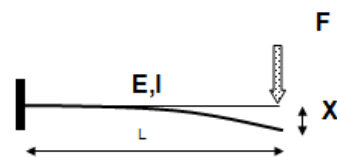
$$X = \frac{FL^3}{3EI}$$

Ainsi, on peut écrire

$$F = \left[\frac{3EI}{L^3} \right] \cdot X$$

On en déduit la raideur K

$$k = \frac{3EI}{L^3}$$



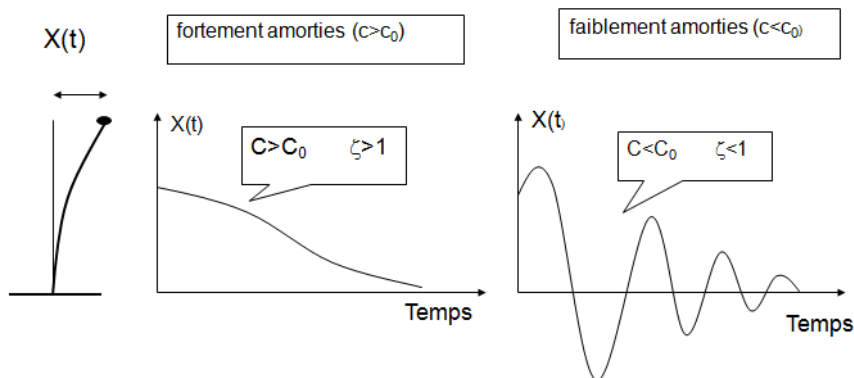
Plus généralement, on peut définir les paramètres influençant la raideur qui sont fonction du type de sollicitation.

Les paramètres de la raideur due au moment fléchissant			
Moment quadratique ou inertie des sections $I [m^4]$	Matériaux module de déformation $E [MPa]$	Longueur des éléments porteurs $L [m]$	Nature des liaisons (rotule, encastrement...) $n [N]$

6-2- Amortissement de la structure

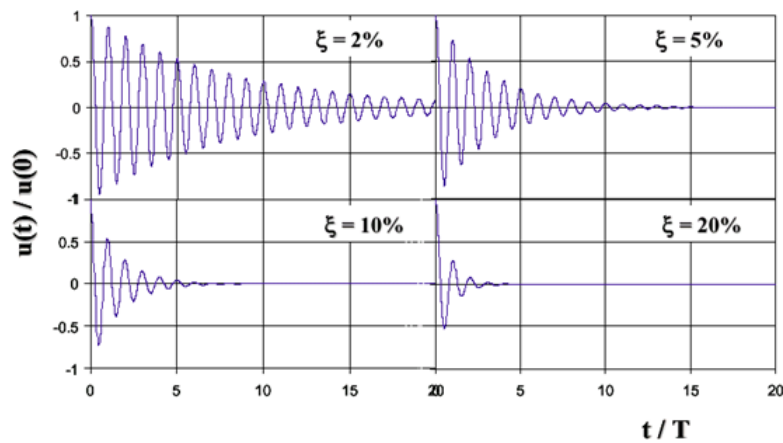
L'amortissement d'une structure, caractérise son aptitude à revenir à sa position initiale après un déplacement. Il caractérise aussi la structure à « dissiper » l'énergie sismique.

L'amortissement est principalement fonction de la forme de la structure, de la nature des matériaux employés. Le facteur d'amortissement ζ permet d'évaluer l'évolution de l'oscillation dans le temps.



Exemple de facteur d'amortissement en fonction du matériau

Matériaux	ζ
Maçonnerie	0.05
Béton non armé	0.03
Béton armé	0.04
Béton précontraint	0.02
Bois cloué	0.05
Bois boulonné	0.04
Bois lamellé collé	0.04
Acier soudé	0.02
Acier boulonné	0.04



On observe que plus le taux d'amortissement est élevé, plus la durée d'oscillation est courte

6-3- La période

Une oscillation libre, peut se caractériser par sa période T fonction du mode propre de vibration

On peut définir pour chaque structure. Voici quelques exemples

Transamerica pyramide– San Francisco

$T = 2,9 \text{ s}$ axe E-O et N-S



Golden Gate Bridge – San Francisco

$T = 18.2 \text{ s}$ transversalement

$T = 10.9 \text{ s}$ verticalement

$T = 3.81 \text{ s}$ horizontalement

$T = 4.43 \text{ s}$ torsion /axe de pont



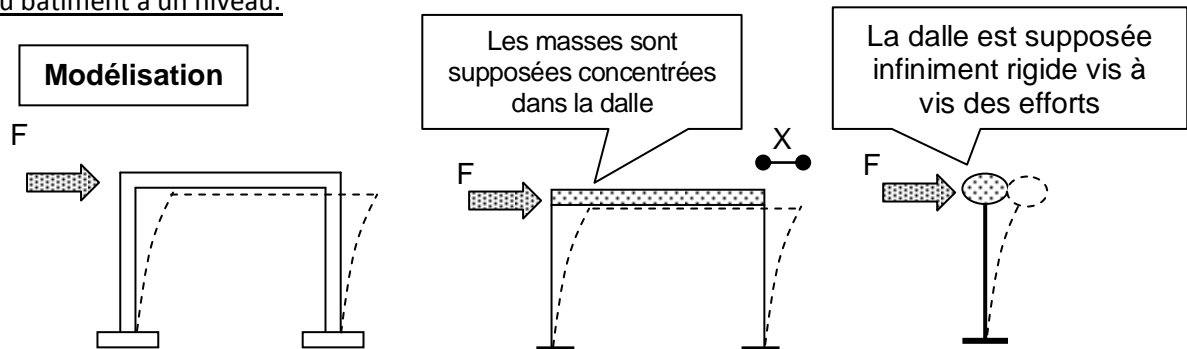
7- Analyse modale

La réponse de la structure à un séisme dépend de ses modes propres de vibration. Ces modes propres de vibrations ne dépendent pas du séisme et peuvent être visualisées lorsque la structure est en oscillations libres

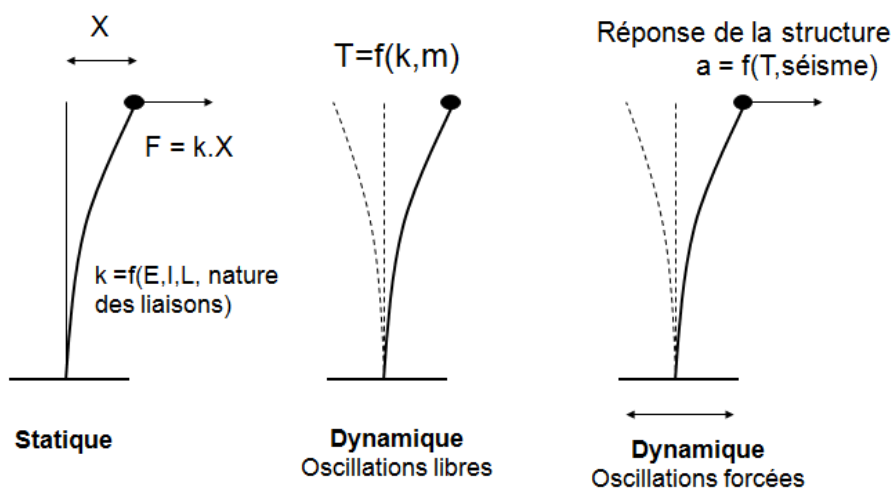
Dans une première approximation, on suppose :

- un problème plan de structure symétrique du point de vue des masses et des raideurs.
- le plancher indéformable dans son plan.
- les masses concentrées dans les planchers.

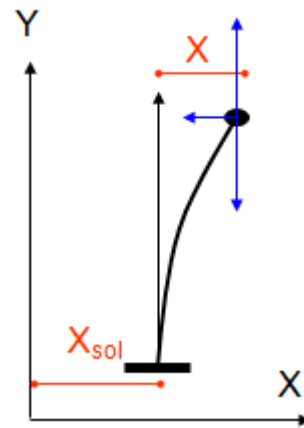
Cas du bâtiment à un niveau.



Cet oscillateur simple, oscillateur linéaire à un seul degré de liberté, est soumis à un mouvement sismique, suivant x , appliqué à sa base. La masse m est soumise en cas d'oscillations à une force de rappel du ressort F_r et à une force d'amortissement F_a



Pour déterminer les sollicitations qui s'appliquent à la structure on applique le principe fondamental de la dynamique pour une oscillation forcée (séisme) amortie



On obtient une équation différentielle

$$F(\text{inertie}) + F(\text{rappel}) + F(\text{amortissement}) = F(\text{séisme})$$

$$\Leftrightarrow$$

$$m \cdot x'' + kx + cx' = -m x''_{\text{sol}}$$



Dans le cadre d'un dimensionnement parasismique, on peut, dans un premier temps, éviter de résoudre l'équation car on sait que les valeurs qui nous « intéressent » se trouvent sur le spectre. On effectue donc une analyse modale (recherche du mode propre de vibration (T, f, ω)) qu'on applique sur le spectre réglementaire.

8- Application : Etude du château d'eau de Moyenvic en Lorraine (54).

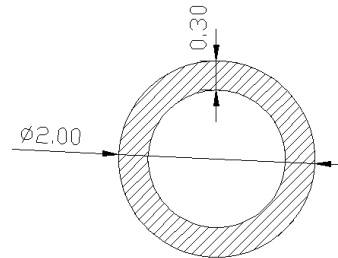


Le château d'eau de Moyenvic, à un réservoir de 150 m³ à 20 mètres de hauteur.

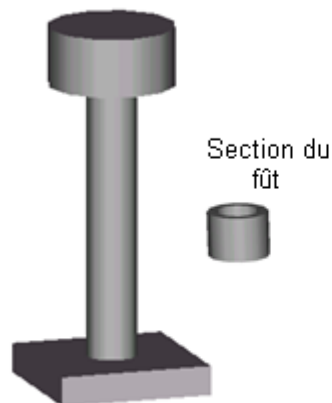
Il repose sur un fût qu'on peut considérer cylindrique en béton armé **C30/35** de diamètre extérieur 2,00m et d'épaisseur 30cm soumis à un séisme horizontal.

Il se situe dans une **zone 3** (risque sismique modéré) et est de **catégorie d'importance IV**.

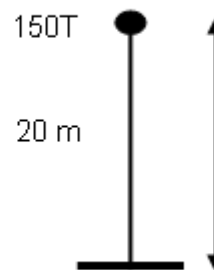
Il est sur un sol de **classe A** (rocheux).



8-1 Modélisation

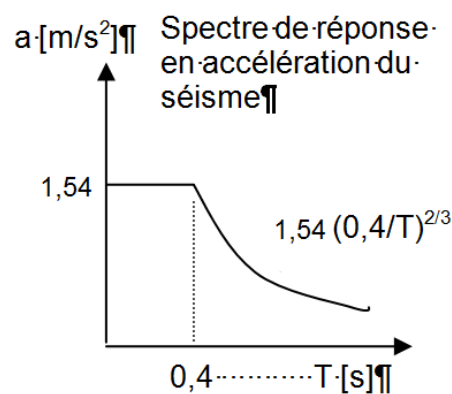


Modélisation



8-2 Spectre de réponse réglementaire

Spectre en zone 3, sol classe A et est de catégorie d'importance IV



8-3 Calcul de la raideur

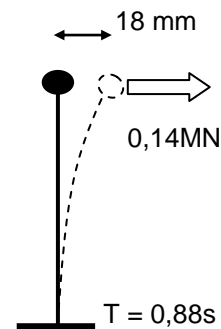
Le château d'eau est assimilable à une poutre en console de raideur $k = 3EI/L^3$ avec $k = \frac{3EI}{H^3}$
 $E = 11000 \times 30^{1/3} = 34180 \text{ Mpa}$
 $L = 20,00 \text{ m}$
 $I = \pi \times (D^4 - d^4)/64 = \pi \times (2^4 - 1,4^4)/64 = 0,597 \text{ m}^4$ soit $k = 7,65 \text{ MN/m}$

8-4 Calcul de la période d'oscillation et de la fréquence

Le château d'eau est assimilable à un oscillateur simple de période $T = 2 \cdot \pi \cdot (M/k)^{1/2}$
 Avec $M = 150\,000 \text{ kg}$
 $k = 7,65 \cdot 10^6 \text{ N/m}$ soit $T = 0,88 \text{ s}$
 fréquence = $1/0,88 \text{ s} = 1,137 \text{ Hz}$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}}$$

$$f = \frac{1}{T}$$



8-5 Détermination de l'accélération maximum

$T > 0,4 \text{ s}$ d'où $a_{\max} = 1,54 \cdot (0,4/0,88)^{2/3} = 0,91 \text{ m/s}^2$

$$a_{\max} = 0,154 \times \left(\frac{0,4}{T}\right)^{2/3}$$

8-6 Force sismique maximale

$F = M \cdot a_{\max} = 0,15 \times 0,91 = 0,14 \text{ MN}$

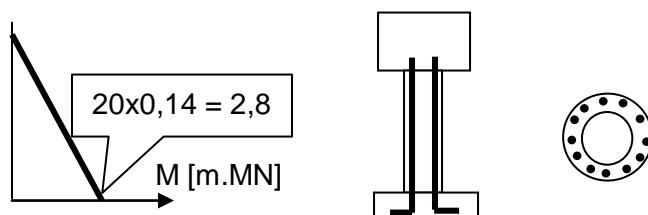
8-7 Déplacement maximum

Méthode 1 $a_{\max} = \omega^2 \cdot x_{\max}$ avec $\omega^2 = k/m$ d'où $x_{\max} = 0,91/(7,65/0,15) = 0,018 \text{ m}$

Méthode 2 $F = k \cdot x$ d'où $x_{\max} = 0,14/7,65 = 0,018 \text{ m}$.

Cette deuxième méthode s'applique difficilement aux oscillateurs multiples car la relation est alors matricielle.

8-8 Moment fléchissant et principe de ferrailage



9- Documentation :

CERPET ; Gérald Hivin (Gérald.Hivin@ujf_grenoble.fr)