

2024

Dynamique des structures

NEW !!!

Abdellatif MEGNOUNIF

e-mail: abdellatif_megnounif@yahoo.fr

Chap. 18G

RPA 2024
Isolation sismique à la base

COURS 32 Mardi 21.01.2025

© *Abdellatif MEGNOUNIF FT-Tlemcen*

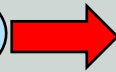
1. Introduction

i. Domaine d'application

- ✓ Structures neuves isolées à la base (équipée d'un système mécanique) pour réduire la réponse sismique).
- ✓ On augmente la période fondamentale avec ou sans ajout d'amortissement.

- ✓ DTR : Dimensionnement des structures sur appuis parasismiques.
- ✓ Système d'isolation posé au dessous de la masse principale
- ✓ Système d'isolation = Ressorts et/ou amortisseurs linéaires ou non linéaires

Réduire la réponse
sismique du
système de
contreventement



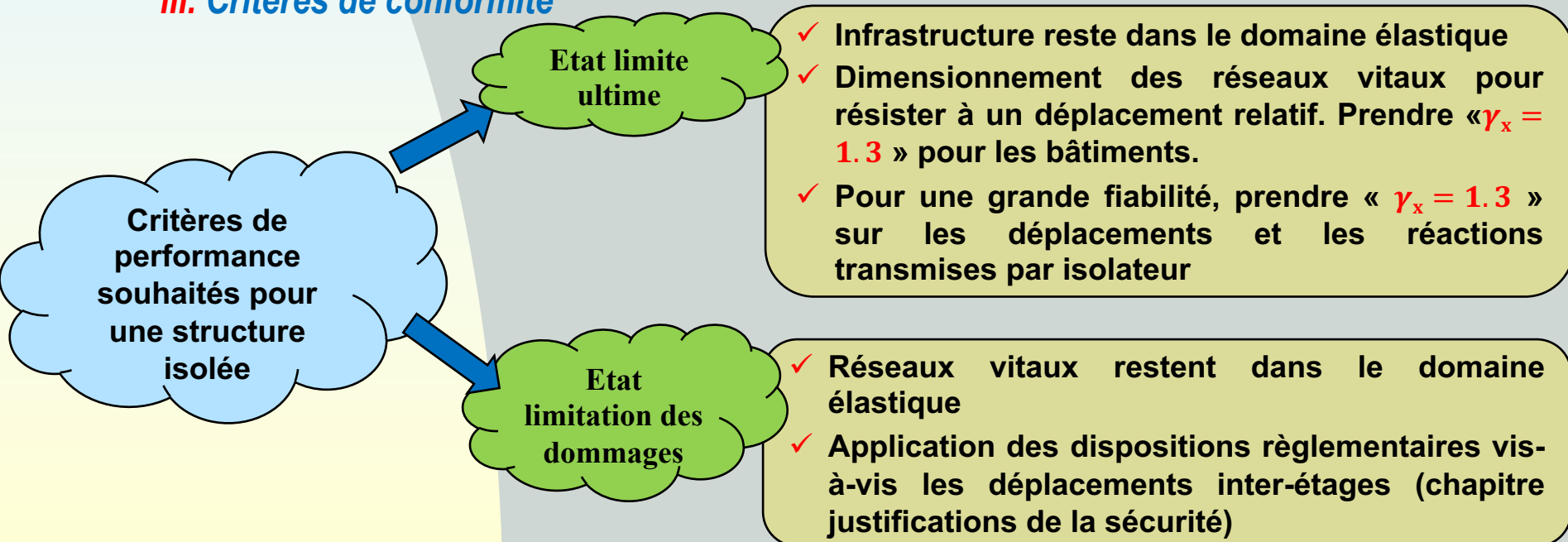
- ✓ En augmentant la période fondamentale,
- ✓ Ou bien, en modifiant la forme du mode fondamental
- ✓ Ou bien, en augmentant l'amortissement,
- ✓ Ou bien par combinaison de ces effets.

1. Introduction

ii. Exigences fondamentales

- ✓ Action sismique définie pour les 02 niveaux d'aléa sismique (Non effondrement et limitation des dommages)
- ✓ Pour une protection accrue et compte tenu de la nature et de la destination de l'ouvrage, les niveaux sismiques peuvent être modifiés par le maître d'ouvrage.
- ✓ Nécessité d'une grande fiabilité pour les dispositifs d'isolation et leurs ancrage.
- ✓ Appliquer un coefficient de majoration « γ_x »

iii. Critères de conformité



2. Dispositions générales de dimensionnement

Conception
des bâtiments

- ✓ Simplicité de la structure
- ✓ Régularité en plan et en élévation
- ✓ Résistance et rigidité dans les 02 directions
- ✓ Résistance et rigidité à la torsion
- ✓ Action des diaphragmes au niveau des planchers.

Dispositifs
d'isolation

- ✓ Prévoir un espace suffisant entre la superstructure et l'infrastructure (inspection entretien et remplacement)
- ✓ Protection des dispositifs contre les incendies, les attaques chimiques ou biologiques
- ✓ Matériaux utilisés conformes aux normes en vigueur

Déplacements
?

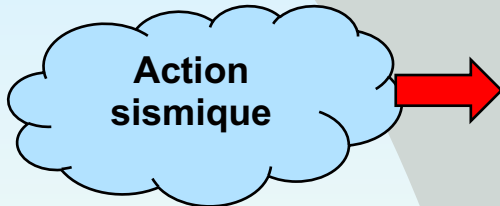
- ✓ Prévoir un espace suffisant entre la superstructure et le sol pour faciliter le déplacement dans toutes les directions

Surveillance et
inspection
structures
isolées

- ✓ Programme d'inspection, surveillance et maintenance des dispositifs d'isolation
- ✓ Programme d'instrumentation pour le suivi

3. Règles de calcul

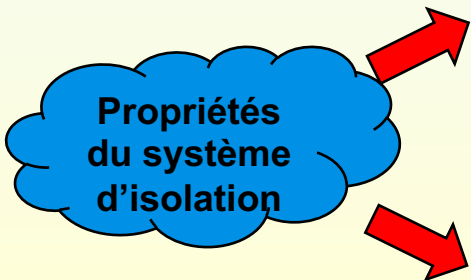
- ✓ Commencer par la MSE, pour avoir un niveau minimal de conception (forces et déplacements)
- ✓ Recommandée dans la conception préliminaire si l'analyse dynamique est requise



- ✓ Les 02 composantes horizontales et la composante verticale (A_v) si elle est $> 0,25 g$.
- ✓ Utiliser les spectres élastiques horizontale et vertical (RPA2024).
- ✓ Pour bâtiments Gr 1A et autres bâtiments se trouvant à une distance < 15 Km de la faille, prévoir des spectres spécifiques au site en prenant en compte les effets proches de la source



- Valeurs plus défavorables atteintes et doivent refléter l'influence
- ✓ De la vitesse de chargement
 - ✓ De l'amplitude de la charge verticale simultanée
 - ✓ De l'amplitude de la charge horizontale dans le direction transversale
 - ✓ De la température
 - ✓ De l'évolution des propriétés dans le temps



- ✓ Valeur maximale de rigidité et valeur minimale d'amortissement et de frottement pour évaluer **les accélérations et les forces d'inertie** dues au séisme
- ✓ Valeur minimale de rigidité et d'amortissement et de frottement pour évaluer **les déplacements**

3. Règles de calcul

Modélisation 3D structure et isolateur

- ✓ Analyse en termes d'accélération de forces d'inertie et de déplacements.
- ✓ Effet de torsion et des excentricités accidentelles (RPA) à considérer
- ✓ Modélisation en 3D (Structure et isolateurs).
- ✓ Calcul des déplacements, accélérations et forces de la superstructure (3D)
- ✓ Calcul des déformations et sollicitations ultimes induites dans les isolateurs (3D)

Méthodes d'analyse

- ✓ Méthode statique linéaire équivalente
- ✓ Méthode statique équivalente dite simplifiée
- ✓ Méthode modale simplifiée
- ✓ Méthode dynamique temporelle par accélérogrammes

3. Règles de calcul

Méthode statique linéaire équivalente (MSE)

MSE

- ✓ Comportement viscoélastique de l'isolateur (sauf exception, voir ci dessous)
- ✓ En cas de modèle linéaire équivalent, utiliser une rigidité effective (la valeur tangente au déplacement), « K_{eff} », du système d'isolation.
- ✓ En cas de modèle linéaire équivalent, utiliser un amortissement visqueux équivalent (effectif) « ξ_{eff} », du système d'isolation.
- ✓ En cas de dépendance de K_{eff} et ξ_{eff} du déplacement de calcul « d_{dc} » faire des itérations (à 5% des déplacements).

Isolateur linéaire équivalent

- ✓ $K_{eff} \geq K_{eff, 0.2d_{dc}}$
- ✓ $\xi_{eff} \leq 30\%$
- ✓ Caractéristiques force/déplacement de l'isolateur ne varient pas de plus de 10% en fonction de la vitesse de chargement ou des charges verticales

Conception isolateur ?

- ✓ $K_{eff, max}$ et $K_{eff, min}$ pour la conception des isolateurs (les limites)
- ✓ $F_R(d = d_{dc}) \geq 0.025 Wg + FR(d = 0.5 d_{dc})$

$F_R(d=d_{dc})$: Force de recentrage à $d=d_{dc}$
 W_g : Charges gravitationnelle
 $F_R(d=0.5d_{dc})$: Force de rappel à 50% du déplacement maximal

3. Règles de calcul

Méthode statique équivalente simplifiée (MSES)



MSES

- ✓ 02 translations dynamiques horizontales et superpose les effets statiques de la torsion.
- ✓ Superstructure = Solide rigide en translation au dessus de l'isolateur, avec une période de translation effective:

$$T_{eff} = 2. \pi \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}}$$

Condition pour appliquer MSES: Pour une excentricité $\leq 7.5\%$ de la longueur de la superstructure, négliger la torsion dans le calcul de « K_{eff} » (rigidité horizontale).

3. Règles de calcul

MSES à
isolateur linéaire
équivalent
amorti

Méthode statique équivalente simplifiée (MSES)

Isolateur

- ✓ Distance entre site et faille active ($M_w \geq 6.5$) ≥ 15 Km
- ✓ Longueur de la superstructure en plan ≤ 50 m
- ✓ Infrastructure rigide pour réduire les effets des déplacements différentiels du sol
- ✓ Placer les isolateurs directement sous les supports des charges verticales
- ✓ $3.T_f \leq T_{eff} \leq 3s$. « T_f » période de la superstructure fixée à la base

Batiment

- ✓ Système de contreventement de la superstructure régulièrement et symétriquement disposé dans les 02 directions
- ✓ Négliger la rotation de balancement à la base de l'infrastructure
- ✓ $\frac{K_v}{K_{eff}} \geq 1.5$ (vertical/horizontal du système d'isolation)
- ✓ $T_v = 2. \pi \sqrt{\frac{M}{K_v}} \leq 0.1$ s (direction verticale)

Il faut

MSES

- ✓ Calcul du déplacement du centre de rigidité, dans chaque direction, horizontale

$$d_{dc} = \frac{M \cdot Se(Te_{ff}, \xi_{eff})}{K_{eff,min}}$$

$$\text{Avec } \xi_{eff} = \frac{1}{4\pi} \frac{Air_{eHysteresis}}{Air_{eElastique}}$$

- ✓ Calcul des forces horizontales à chaque niveau, dans chaque direction horizontale $f_j = m_j \cdot Se(Te_{ff}, \xi_{eff})$, qui induisent des effets de torsion dus à la combinaison des excentricités naturelles et accidentelles
- ✓ Cas où le mouvement de torsion est négligé, les effets de torsion peuvent être considérés dans les isolateurs en amplifiant, dans chaque direction, par « δ_i », les valeurs de « d_{dc} » et « f_j ». Avec

$$\delta_i = 1 + \frac{e_{tot,y}}{r_y^2} \cdot y_i$$

$$\text{Avec } r_y^2 = \frac{\sum (x_i^2 \cdot k_{yi} + y_i^2 \cdot k_{xi})}{\sum k_{xi}}$$

y : direction horizontale transversalement à la direction « x » considérée.

$(x_i \ y_i)$: Coordonnées de l'unité d'isolation « i » par rapport au centre de rigidité effectif

$e_{tot,y}$: Excentricité totale suivant « y »

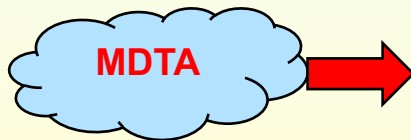
r_y : rayon de torsion de l'isolateur suivant « y »

k_{xi}, k_{yi} : rigidités effectives de l'isolateur « i » dans les directions « x » et « y »



- ✓ Faire une analyse modale si les conditions des méthodes simplifiées ne sont pas remplies.
- ✓ Sinon, on peut utiliser la méthode modale simplifiée sous certaines conditions.
- ✓ Prise en compte des déplacements horizontaux et du mouvement de torsion et en supposant que les infrastructures et les superstructures ont un comportement rigide.
- ✓ Prendre dans ce cas, l'excentricité totale de la masse de la superstructure.
- ✓ Il faut donc, calculer les déplacements à chaque point de la structure en combinant les déplacements de translation et de rotation.
- ✓ Valable aussi pour le calcul de K_{eff} de chaque isolateur
- ✓ Pour la vérification des isolateurs et des infrastructures et superstructures, prendre en compte les forces d'inertie et les moments

Méthode dynamique temporelle par accélérogrammes (MDTA)



- ✓ MDTA: la seule appliquée pour les structures isolées par des dissipateurs visqueux.
- ✓ Analyse pas-à-pas en utilisant des accélérogrammes, reflétant les conditions du site et calés à l'accélération maximale probable.
- ✓ Analyse temporelle non linéaire : En cas de non utilisation du modèle linéaire équivalent. Modélisation non linéaire des isolateurs.
- ✓ Appliquer la MDTA quand le taux d'amortissement relatif à la dissipation est $>$ à 15%

4. Vérification de la sécurité à l'état ultime

Vérification

- ✓ L'infrastructure sous l'effet des forces d'inertie, ainsi qu'aux forces et moments transmises par l'isolateur.
- ✓ Utiliser les coefficients partiels de sécurité pour l'état ultime de l'infrastructure et de la superstructure.
- ✓ Respecter les justifications de la sécurité de l'équilibre et résistance (Chapitre 5) de l'infrastructure et la superstructure.
- ✓ Evaluer la résistance de l'isolateur à l'état limite ultime, en termes de :
 - ❑ Forces, (horizontales et verticales) maximales possibles, y compris les effets de renversement
 - ❑ Déplacement relatif horizontal total (inclus la distorsion, le retrait, le fluage et de température)

Merci. Fin du chapitre 18G