

Evaluation of the seismic effect on the stability of the structure taking into account soil structure Interaction

Evaluation de l'effet sismique sur la stabilité de la structure en tenant compte de l'Interaction sol structure

Taoufik TBATOU¹, Mohamed ROUGUI², Choukri CHERRADI²

¹Université MOHAMMED V-Agdal, Ecole Supérieure de Technologie, Salé, CED de l'EMI, Rabat-Agdal, Maroc

²Université MOHAMMED V- Agdal, Ecole Supérieure de Technologie, Salé, Maroc

Abstract. Nowadays, in the field of construction, taking into account the dynamic problems is required to secure the reliability of the structures in the different applications, particularly in the case of structures subjected to seismic loads. The objective of this study is the evaluation of seismic risk on the stability of the structure in the presence of soil-structure interaction. Indeed, this work provides the factors and the effect of the seismic vulnerability on the stability of structures of reinforced concrete building types, by determining the maximum displacements of the building, according to the damage indices and nonlinear dynamic case, while considering the various mechanical parameters of the soil and the studied structure.

Résumé. Aujourd'hui, dans le domaine de la construction, la prise en compte des problèmes dynamiques est nécessaire pour garantir la fiabilité des structures dans les différentes applications, notamment dans le cas des structures soumises aux sollicitations sismiques. L'objectif de la présente étude est l'évaluation du risque sismique sur la stabilité de la structure en présence de l'interaction sol-structure. En effet, ce travail prévoit les facteurs et l'effet de la vulnérabilité sismique sur la stabilité de la structure de type bâtiment en béton armé, par la détermination des déplacements maximaux du bâtiment, en fonction des indices d'endommagement en cas dynamique et non linéaire, tout en tenant compte des différents paramètres mécaniques du sol et de la structure étudiée.

1 Introduction

La compréhension du principe de l'effet sismique sur la stabilité des structures en béton armé à nos jours est l'une des pratiques courantes pour l'évaluation des éventuels dégâts et d'estimation de la perte d'une structure soumise à un séisme. Bien qu'il existe plusieurs outils numériques pour la prise en compte des divers phénomènes liés à la réponse de la structure.

Ce travail prend en compte de la dynamique du sol-structure (Interaction sol-structure) et du comportement non linéaire de la structure.

Pour mieux décrire la conséquence du phénomène sismique et d'évaluer la fragilité de la structure d'un bâtiment de classe III selon RPS Marocain (catégorie des bâtiments ordinaires) [1], ce travail comportera :

- D'abord, une modélisation par éléments finis en deux dimensions de la réponse du système sol-structure. Cette

modélisation prend en compte les effets du comportement dynamique non-linéaire de la structure et du sol.

- Ensuite, on présentera une étude d'évaluation de la vulnérabilité sismique moyennant des indices d'endommagement et de déplacement maximal du toit supérieur du bâtiment. Pour se faire des calculs ont été développés pour deux forts chargements vibratoires à la intervient au zonage sismique « zone 4 selon [1]»

- Finalement, nous déterminerons la fragilité de la structure par la méthode de dimensionnement en déplacements (MEF [2]) du bâtiment en tenant compte de l'effet de l'interaction sol-structure selon la méthode développée en [3].

2 Description du cas étudié

2.1. Détermination de la structure : Bâtiment en béton armé

On considère un bâtiment d'habitation de sept étages sur un réez de chaussé en béton armé (figure 1).

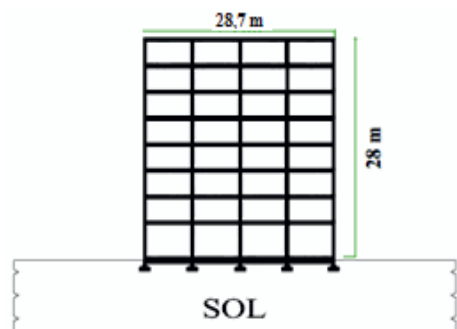


Fig. 1. Bâtiment en béton armé de sept étages sur réez de chaussé en 2D.

Le comportement des planchers est supposé élastique ainsi que les poteaux qui sont représentés par des éléments poutres d'Euler. Les non-linéarités sont portées par des éléments discrets de type rotule situés aux extrémités des poteaux et poutres que l'on modélise par deux éléments en parallèles :

Un linéaire et l'autre élasto-plastique parfait (Figure 2). On forme ainsi une rotule plastique parfaite sur le composant élasto-plastique (le modèle de deux composantes de Giberson (1969) avec les modifications proposées par Prakash [4].

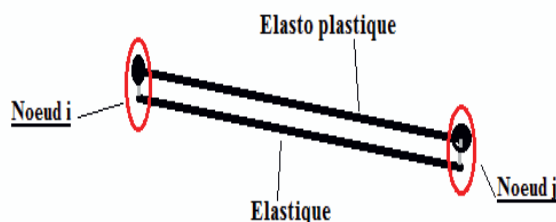


Fig.2. composants de Giberson de poutre-poteau.

Propriété des matériaux :

Le béton :

- Contrainte de compression..... $\sigma_c = 25$ MPa
- Module d'élasticité..... $E = 32164$ MPa

L'acier :

- La limite élastique $f_y = 413$ MPa.
- Module d'élasticité..... $E_s = 248211.28$ MPa

2.2. Sol

La structure étudiée est fondée sur un sol sableux dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Constitution du profil du sol.

Paramètre		0-12 (m)	12-30 (m)	Unité
$E_{ref(oe)}$	Raideur tangente pour le chargement d'œdomètre primaire	20000	30000	KN/m ²
$E_{ref(ur)}$	Déchargement - Rechargement rigidité	94840	110800	KN/m ²
ϕ'	angle de frottement)	31	33	°
G°_{ref}	module de cisaillement à petites déformations	270000	100000	KN/m ²
ν	coefficient de Poisson	0,2	0,2	

2.3. Signaux sismiques

Afin d'étudier l'effet des différents paramètres caractéristiques du mouvement sur la stabilité de la structure et la réponse du bâtiment, nous avons choisi deux accélérogrammes naturels «A» (correspond au séisme de Aegion (Grèce, 1995), et «B» (correspond au séisme de Friuli (Italie, 1976)) qui sont appropriés pour le contexte sismique étudié.

Les deux signaux sont caractérisés par leurs fréquences moyenne $F_{m,out}$ (Rathje et al., 1998) [5]. L'amplitude de chaque signal est modifiée pour avoir des valeurs d'accélération maximale.

Séisme	$f_{m,out}$ (Hz)	Echelle de Richter	Instabilité structurelle
A	1.78	6.1	Forte
B	2.17	6.5	Forte

3 Analyse dynamique de la structure avec interaction sol structure

3.1. Modélisation

On discrétise le milieu continue des éléments finis qui est composé du sol et de la structure y compris sa fondation du bâtiment en poutres et colonnes en béton armé, subi des chargements vibratoires du séisme fort, et puisque la modélisation est en 2D, on a assimilé la masse des planchers aux charges permanentes, et que le bâtiment est supposé être construit sur une fondation superficielle porteuse et homogène.

Le champ d'ondes incidentes est introduit à la frontière verticale du maillage du sol après déconvolution., Les frontières latérales sont supposées être assez éloignées de façon à satisfaire des conditions de périodicité. [6]

3.2. Interprétation

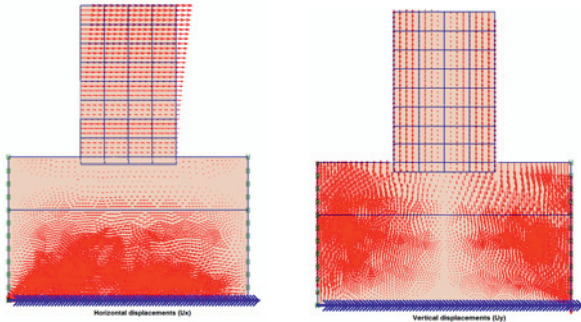


Fig. 3. Champ de déplacement suivant la direction horizontale (à gauche) et verticale (à droite)

La combinaison des déplacements du bâtiment suivant les axes horizontal et vertical nous a démontré que les déplacements de la structure sont presque suivant la direction horizontale (puisque $U_y \ll U_x \approx U$), ce qui prouve que les endommagements sont suivant l'axe de coordonnée horizontale.

Nous remarquons aussi que la valeur de l'intensité de vibration est reliée directement à l'énergie du mouvement, cette valeur est en général corrélée à l'endommagement ainsi qu'à la vulnérabilité des bâtiments.

4 Evaluation de la vulnérabilité sismique de la structure

L'état d'endommagement de la structure du bâtiment peut être quantifié de plusieurs façons, dont on présente la méthode des indices d'endommagement proposée par Park et Ang (Park et al. 1985) [7].

4.1. L'indice d'endommagement

- L'indice global de la structure :

$$DI_{ov} = \sum \lambda_i DI_{loc,i} \quad (1)$$

- L'indice local sur chaque élément de la structure (Poteau et poutre) :

$$DI_{loc,i} = \theta_{m,i} / \theta_u + \beta / (\theta_u M_y) \int dE_i \quad (2)$$

- Le coefficient de pondération liée à la portion d'énergie dissipé sur chaque rotule par rapport à la dissipation total pendant le séisme :

$$\lambda_i = E_i / \sum E_i \quad (3)$$

Avec :

$\theta_{m,i}$: La rotation plastique maximale obtenue pendant le séisme dans la rotule i,

θ_u : La rotation maximale atteinte de la rotule,

M_y : Le moment de limite d'élasticité, dépend de l'acier

de renforcement de la section (diagramme d'interaction)

E_i : L'énergie dissipée dans la rotule i (Aire enfermée par la boucle hystérésis de M- θ).
 β : Un paramètre du modèle, égale à 0.1 pour le béton armé.

4.2. La vulnérabilité sismique de la structure

Nous avons projeté dans le plan, le résultat des calculs des indices d'endommagement, en fonction des déplacements au sommet maximal du bâtiment, représentée par notre calcul, utilisant la méthode de dimensionnement en déplacement [3].

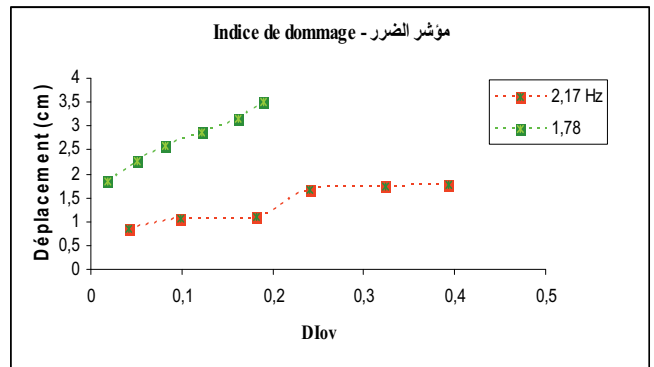


Fig.4. Indices d'endommagement global en fonction des déplacements du toit supérieur du bâtiment.

On ne trouve aucun endommagement pour les déplacements inférieurs à 8,6 mm pour le séisme « B » et 18,4 mm pour le séisme « A ».

Pour des valeurs entre 8,6 mm et 10,5 mm le niveau d'endommagement augmente proportionnellement avec le déplacement. Au-delà, les valeurs sont plutôt dispersées, tel que l'évolution de l'indice d'endommagement de la structure issu de forte vibration est directement liée au deux facteurs :

-L'intensité du séisme,

-Le jeu de la fréquence entre du sol et de la réponse structurelle (ISS), on trouve que pour le séisme « B » de fréquence moyenne (2,17 Hz) sensiblement différente de la fréquence fondamentale du sol ($F_{sol} \approx 1,7$ Hz) [5] , la réponse sismique est inférieure par rapport au niveau d'endommagement élevé, tel qu'on trouve le déplacement du bâtiment issu du séisme « A » est élevé que « B ».

4.3. Résultats

D'après la figure 3, on peut conclure que la stabilité de la structure soumise à la vibration sismique engendre trois catégories de stabilité :

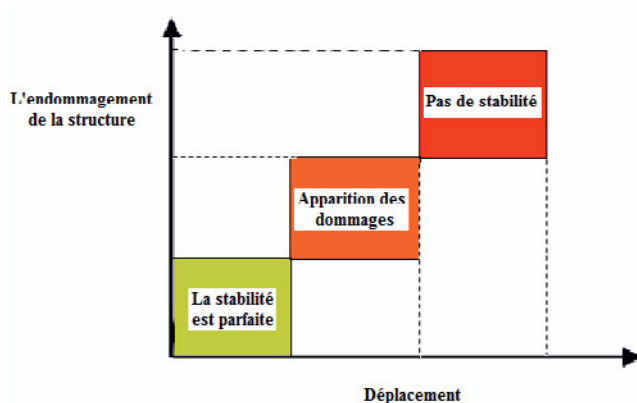
a- La stabilité de la structure est performante : l'indice d'endommagement inférieur à 0.15 correspond au comportement élastique de la structure et représente le niveau de conception parasismique habituel. Il indique par conséquent un état d'endommagement superficiel (ou bien de non endommagement).

b- La stabilité de la structure n'est pas en danger : l'indice d'endommagement est entre 0.15 et 0.6 tel que les dégâts sont moyens (réparables), l'endommagement correspond à un niveau de dommage contrôlé, mais toutefois un endommagement mineur est susceptible de se développer.

c- La stabilité de la structure en danger (Fatale): l'indice d'endommagement supérieur à 0,6 représente un état d'endommagement avancé. Au-delà de ce niveau, la structure est susceptible à l'effondrement, ne présentant aucune capacité de résistance.

5 Conclusion

L'endommagement de la structure en béton armé sous les chargements vibratoires (sismique) augmente suivant l'amplitude des déplacements du bâtiment, qui dépend du concept de dimensionnement de l'intensité d'alia sismique et aussi de l'effet de l'interaction sol structure.



La représentation de la sévérité sismique avec le déplacement maximal du bâtiment de la réponse permet de mettre clairement en évidence, l'effet du contenu fréquentiel du signal sur la réponse sismique, mais ne semble pas être le meilleur indicateur pour une étude de vulnérabilité sismique dans ce cas. Une étude statistique plus complète basée sur des résultats numériques et expérimentales, en utilisant une base de données sismique plus étendue, sera conduite afin d'identifier l'ensemble des paramètres le plus adapté à l'étude de vulnérabilité sismique pour ce cas.

Références

1. Règlement parasismique Marocain, Ministère de l'habitat et l'aménagement de l'espace, Maroc (2000-dite version 2011)
2. Les éléments finis (de la théorie à la pratique), André Fortin et André Garon, (1997-2011)
3. Arézou Modaressi Farahmand-Razavi, Esteban Saez, Fernando Lopez-Caballero, Mohammad Seyedi, Pierre Gehl, John Douglas, Florent De Martin, Hormoz Modaressi, Stéphane Moulin, François Voldoire, Luc Davenne, Shahrokh Ghavamian, Nader Mezher. 7^{ème} colloque national AFPS, Ecole central paris (2007)
4. Prakash V., Powel G., Campbell S., DRAIN 2D-X Base program description and user Guide, Report UCB, Department of Civil Engineering, University of California Berkeley (1993)
5. Rathje E., «Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions », Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, n° 2, p. 150-159, **124** (1998)
6. Esteban Sáez.Fernando Lopez-Caballero , Arézou Modaressi-Farahmand-Razavi Structural Safety, 51–63, **33** (2011)
7. Park Y., Ang A., «Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete», Journal of Structural Engineering, ASCEE, n° 4, p. 722-739, **111** (1985)