

CHAPITRE 4

SIMULATION NUMÉRIQUE D'UNE STRUCTURE COMPLEXE

4.1 Introduction

Ce chapitre complète deux thèmes abordés dans les deux articles précédents : la contribution de la dissipation d'énergie des AMF et l'effet de la prédéformation des contreventements. La structure présentée dans ce chapitre représente mieux les conditions réelles d'utilisation. De plus, bien que l'évolution du système dans le temps soit prise en compte dans beaucoup d'analyses, certains résultats présentés dans les articles le sont de façon très condensée et se limitent souvent à la valeur de déformation maximale. Cette section reprend donc certains concepts déjà traités avec une structure plus réelle et présente l'historique complet des solutions.

4.2 Structure utilisée

La structure étudiée est une maison familiale conçue par un architecte. Elle respecte les caractéristiques techniques en vigueur dans la région de Barcelone (Espagne). La maison est composée d'une première partie à deux étages et d'un jardin à un seul étage. Le lien qui unit les deux divisions peut être considéré comme flexible, ce qui permet leur étude indépendante. Pour ce travail, nous étudierons uniquement la partie du bâtiment à un seul étage sur lequel repose un jardin.

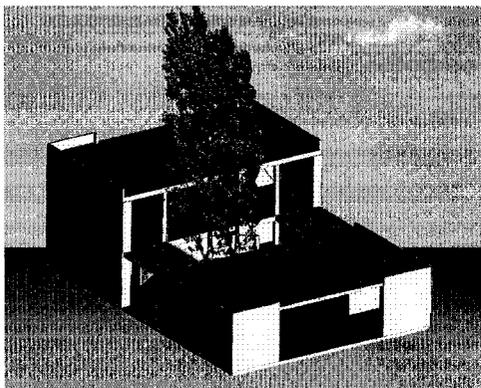


Figure 54 Maison familiale étudiée

La figure 55 montre le modèle d'EF de la structure du jardin, composé d'éléments poutres pour les membrures d'acier (poutres et colonnes), de tiges pour les contreventements et de plaques pour les dalles de béton du plancher. Les amortisseurs d'AMF sont faits de tige de CuAlBe de 3.4 mm de diamètre. La figure 56 montre la position des amortisseurs. Dans la direction NS (ou 'z'), les amortisseurs sont installés dans les baies des cadres extérieurs, et sont composés de 37 câbles de 1.2 m de longueur. Dans la direction EW (ou 'x'), il s'agit de 20 câbles de 0.5 m de longueur installés dans les baies extérieurs des trois cadres. La procédure de design des amortisseurs n'est pas expliquée en détail dans ce travail. Essentiellement, les dimensions ont été choisies selon deux critères : subir une déformation suffisante sous l'effet des séismes, de sorte que la quantité d'énergie dissipée soit maximale; et affecter la rigidité de la structure de façon limitée. Tous les résultats présentés dans ce chapitre utilisent une loi de matériaux UPF d'Ansys développée par l'équipe du professeur Torra [75]. La figure 57 compare cette loi de matériaux à celle développée dans ce travail (annexe 1). Les deux lois mènent à un comportement sismique de la structure très similaire.

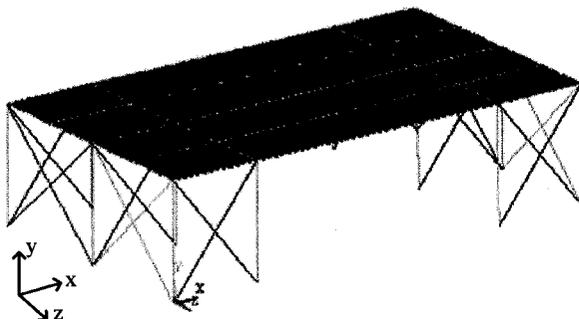


Figure 55 Modèle d'EF de la structure du jardin

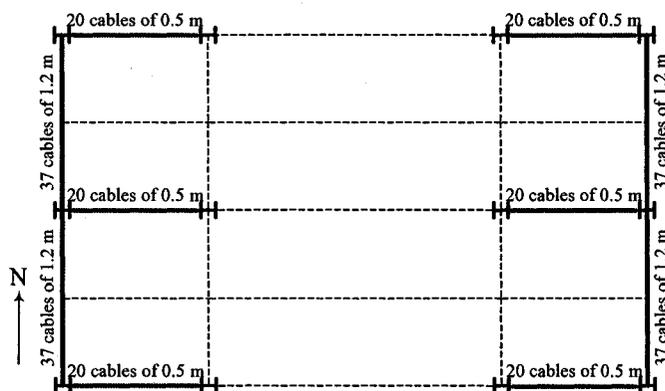


Figure 56 Positionnement et descriptions des amortisseurs

4.3 Contribution de l'énergie dissipée par les AMF

L'article 1 (chapitre 2) étudie, entre autres, la contribution de la dissipation d'énergie des AMF. Une structure simple excitée harmoniquement à sa fréquence naturelle a été utilisée à cette fin. Une étude numérique utilisant un matériau sans dissipation d'énergie a montré que la réduction des déplacements résulte d'une interaction entre la dissipation d'énergie et la variation de la rigidité. L'article 2 (chapitre 3) s'est penché indirectement sur la question de la contribution de l'énergie dissipée, cette fois en utilisant la

prédéformation pour faire varier la quantité d'énergie dissipée. On y conclut que l'apport énergétique des AMF n'est pas suffisant pour réduire considérablement les déplacements et contrer l'effet de la réduction de la rigidité.

L'article 1 impose à la structure une excitation harmonique forcée autour de sa fréquence naturelle. Or, on sait qu'un tremblement de terre est une interaction complexe de vibrations libres et forcées à différentes fréquences. L'article 2 s'intéresse seulement aux déplacements maximaux de la structure et ne tient pas en compte l'historique complet des déplacements. Pour pallier à ces lacunes, cette section étudie la réponse complète d'une structure soumise à une excitation sismique. Les simulations utilisent les lois de comportement AMF et ZED pour mettre en évidence la contribution de l'énergie dissipée, tel que présenté dans l'article 1. Seulement un cadre à trois baies du jardin (suivant la direction EW) est utilisé.

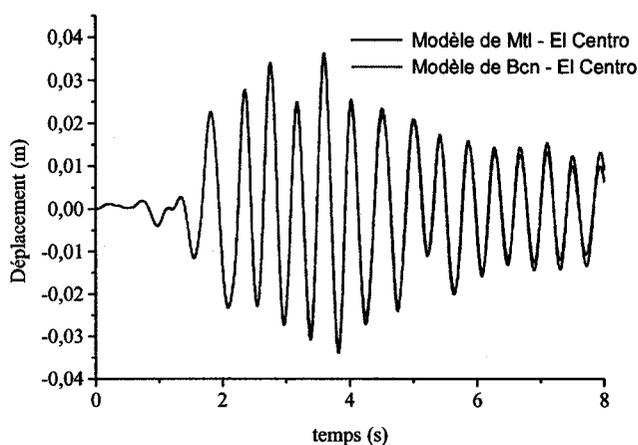


Figure 57 Réponse du modèle du jardin suite au séisme d'El Centro pour la UPF du professeur Torra (Modèle de Bcn) et celle de l'auteur (Modèle de Mtl)

4.3.1 Résultats et discussion

La figure 58 montre les déplacements de la structure suite au séisme d'El Centro dans la direction EW. Encore une fois ici (voir article 2), la dissipation d'énergie des AMF ne semble pas efficace pour réduire le déplacement maximal de la structure. Par rapport à la structure sans contreventement (absente du graphique), le modèle AMF réduit le déplacement maximal de 56 %, alors que le modèle ZED le réduit de 51 %, ce qui correspond à une différence de seulement 4 % entre les deux modèles. Par contre, lorsqu'on observe l'allure générale des déplacements, on remarque que certains instants du séisme bénéficient plus de la contribution énergétique des AMF. En effet, entre la 10^{ième} et la 12^{ième} seconde, des différences de l'ordre de 40 % sont observées entre les modèles AMF et ZED.

À certains instants, les vibrations sismiques excitent moins la structure et elle se trouve donc dans une situation similaire à la vibration libre. Comme on le sait, l'amortissement est surtout bénéfique si la structure vibre à son mode naturel, de façon libre ou forcée (voir la figure 3). La figure 58 démontre donc que la dissipation d'énergie des AMF peut avoir un impact bénéfique sur la réduction des déplacements si on considère l'historique complet du séisme. Pour bien apprécier cet effet, on soumet la structure aux quatre premières secondes du même tremblement de terre, et on laisse la structure en vibration libre pour quatre autres secondes (figure 59). La structure munie d'amortisseurs AMF montre un décrétement plus rapide que celle utilisant le modèle ZED ($\zeta_{eq} = 2\%$ contre $\zeta_{eq} = 1\%$). Bien que l'objectif premier soit de réduire le déplacement maximal de la structure, cet aspect peut être bénéfique pour réduire les effets négatifs de la fatigue dans les membrures d'acier.

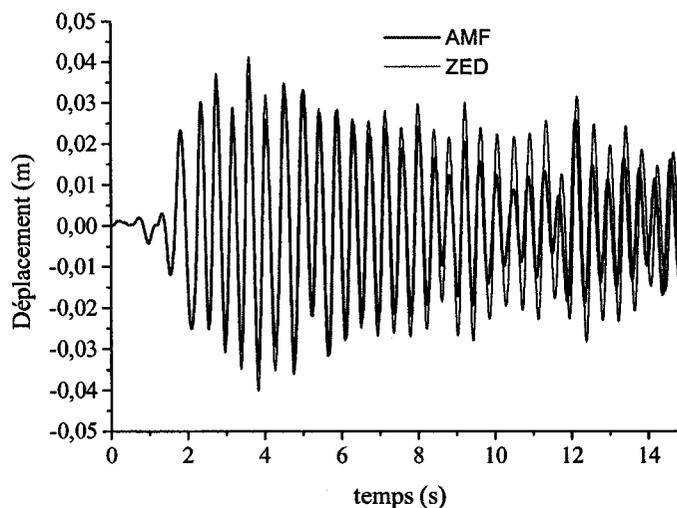


Figure 58 Déplacement du cadre à trois fenêtres soumis au séisme d'El Centro pour les modèles de matériaux AMF et ZED. Le déplacement maximal de la structure sans contreventements (non illustré) est de 0.0835 m.

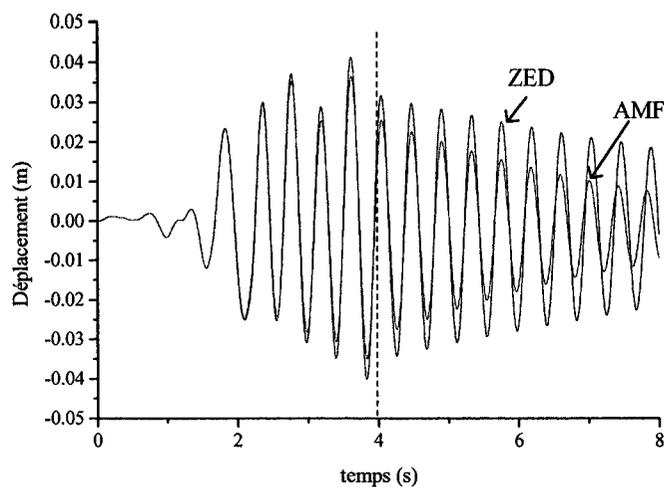


Figure 59 Déplacement du cadre à trois fenêtres soumis au séisme d'El Centro pour les quatre premières secondes, suivi d'un décrétement libre de quatre secondes. Les modèles de matériaux AMF et ZED sont montrés.

4.4 Effets de la prédéformation

L'article 2 a démontré que la prédéformation peut être bénéfique pour réduire les déplacements d'une structure. La présente section analyse aussi les effets de la prédéformation, avec cette fois une structure plus réelle et en utilisant l'historique complet des déplacements.

La figure 60 et la figure 61 rapportent les déplacements subis par le jardin dans la direction EW suite aux séismes d'El Centro (Imperial Valley, Etats-Unis, PGA = 0.313 g) et d'un tremblement de terre Japonais (KSG005, Miyanojoh, Japon, PGA = 0.902 g). Les valeurs de prédéformation (2% pour El Centro et 1% pour KGS005) ont été choisies de façon à maximiser la dissipation d'énergie tout en ne dépassant pas la limite de déformation des tiges de CuAlBe fixée à 4% [75]. La figure 62 montre les diagrammes contrainte-déformation des amortisseurs pour le séisme d'El Centro, avec et sans prédéformation.

4.4.1 Résultats et discussion

Pour El Centro, la prédéformation emmène une réduction du déplacement maximum de 10 %. Encore une fois ici, l'historique des résultats permet d'apprécier les bénéfices de la dissipation d'énergie sur l'ensemble du séisme (67 % de réduction à certains endroits).

Pour le tremblement de terre KGS005, aucune réduction du déplacement maximum n'est observée suite à l'application de la prédéformation. Une légère détérioration est même observée par endroits. Tel que discuté dans l'article 2, la prédéformation peut avoir des effets indésirables dus au changement de rigidité du matériau. Cette simulation montre qu'il faut considérer cette technique avec prudence et réserve.

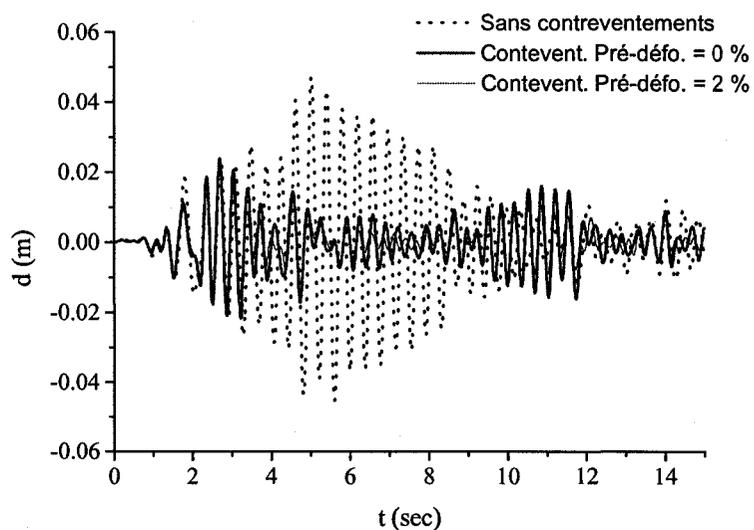


Figure 60 Déplacement de la structure complète soumise au séisme d'El Centro pour des valeurs de prédéformations de 0 et 2 %. Les déplacements de la structure sans contreventements sont illustrés.

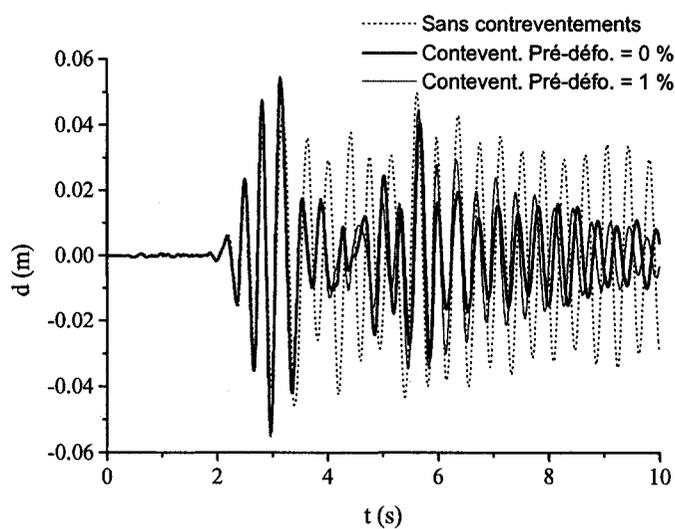


Figure 61 Déplacement de la structure complète soumise au séisme KGS005 pour des valeurs de prédéformations de 0 et 1 %. Les déplacements de la structure sans contreventements sont illustrés.

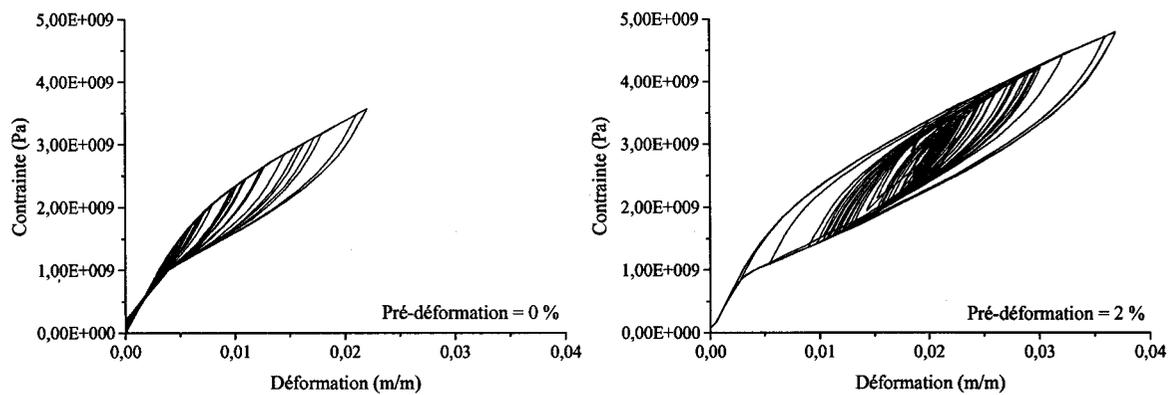


Figure 62 Diagrammes contrainte-déformation des amortisseurs pour des prédéformations de 0 (à gauche) et 2 % (à droite)