

## Al Hoceima un an après le tremblement de terre

Pour la reconstruction de la zone, les objectifs étaient un haut niveau de qualité des travaux et une divulgation efficace des principes de résistance sismique.

Patrick Murphy, Xavier Goula, Teresa Susagna

Le premier anniversaire du tremblement de terre d'une magnitude 6,5 survenu dans la région d'Al Hoceima le 24 février 2004, a été l'occasion d'un colloque international sur le « Tremblement de terre d'Al Hoceima : bilan et perspectives », organisé par l'université Mohammed Ier d'Oujda (24 au 26 février 2005). Ces journées ont permis une meilleure connaissance du mouvement sismique, ainsi qu'un contact direct avec la réalité de la région, et en particulier avec les travaux de reconstruction – surtout à Imzouren, qui a été l'une des villes les plus touchées. Les auteurs s'étaient rendus dans la zone quelques jours après le tremblement de terre pour enregistrer les répliques du séisme et dresser un bilan des dommages.

L'épicentre du tremblement de terre se trouvait près de la baie d'Al Hoceima, d'une magnitude de 6,5, selon les agences nationales et internationales. Le foyer d'après les agences marocaines, se situait à faible profondeur, environ 10 kilomètres.

Le séisme s'est produit à la limite des plaques ibérique et africaine, dans la partie centrale. Cette zone est caractérisée par une sismicité plus diffuse que ses deux zones voisines, à savoir le golfe de Cadix à l'Ouest et celui d'Algérie à l'Est. Des études récentes ont mis en évidence un déficit de sismicité, au cours du XXe siècle, par rapport aux deux zones voisines, qui pourrait être interprété comme une période anormale de quiétude sismique. Pendant le XIXe, deux tremblements de terre d'une magnitude 6, avec des effets destructeurs, se sont produits dans le sud de l'Espagne (1829 et 1884). En 1994, dans la région d'Al Hoceima, s'est produit un séisme d'une magnitude proche de 6, mais les dommages furent inférieurs à ceux de 2004.

Le mécanisme focal obtenu par différents centres représente un mouvement de coulissage horizontal senestre sur une faille de direction entre sub-méridienne et N 20° E, qui correspond approximativement aux directions des principaux accidents reconnus dans cette partie du Rif.

La carte géologique régionale reporte les positions des différents emplacements de l'épicentre du tremblement de terre principal, selon les données fournies par différents organismes nationaux et internationaux. La longueur de la rupture sismique, selon les relations empiri-

ques acceptées pour un séisme de Mw6,5, est de l'ordre de 20-30 kilomètres, et le saut horizontal de faille est d'environ un mètre. Les observations de terrain ne mettent pas en évidence l'existence d'une rupture superficielle de telles dimensions. Elles ont cependant permis de détecter l'existence d'une grande quantité de petites fissures d'ordre centimétrique, qui peuvent être suivies sur le terrain sur plusieurs centaines de mètres en différents endroits de la zone. La figure 1 indique la position de certaines de ces fissures, sur la plage du Club Méditerranée (figures 2 et 3) et dans la région de Ifassayenne. Il est probable que ces fissures soient des effets secondaires de la rupture sismique, qui n'est pas parvenue à se déclarer complètement en surface. Les directions des fissures ne correspondent pas exactement à la direction de la rupture.

### Brève description des dommages

Le tremblement de terre a entraîné d'importants dommages dans une vaste région comprenant trois agglomérations urbaines et 14 localités rurales. Le bilan s'élevait à plus de 600 morts, et de l'ordre de 1 100 blessés soignés à l'hôpital Mohammed V. Un total de 17 000 logements furent endommagés, dont 12 000 ont été considérés inhabitables. Le nombre de personnes directement ou indirectement touchées était estimé à 30 000.

#### ■ Le parc immobilier d'Al Hoceima

Ces dernières décennies, la zone a connu une rapide expansion qui s'est traduite par le passage d'un habitat rural à un type de construction urbaine en hauteur, avec une structure en béton armé. A proximité de la côte, plusieurs agglomérations urbaines comme la capitale régionale Al Hoceima (70 000 habitants) semblent avoir échappé aux effets les plus destructeurs du séisme, grâce à leur implantation sur de la roche ferme. A quelques 30 kilomètres au Sud, se trouve Imzouren, de récente urbanisation en raison des apports de la population émigrée. Ces deux villes sont caractérisées par des structures en béton armé répondant à une typologie très commune en Espagne : local commercial au niveau de la rue, et quatre ou cinq étages de logements en hauteur.

■ La demeure rurale rifaine

La demeure traditionnelle rifaine, à l'instar d'autres typologies du bassin méditerranéen, s'organise autour d'une cour centrale sur laquelle débouche l'entrée et les autres pièces de la maison, avec des espaces publics dits masculins et d'autres privés, ou féminins. Pour cette raison, une seule pièce possède un accès direct depuis l'extérieur, celle où sont reçus les invités et les visites. Les constructions rurales sont en maçonnerie de pierre, et possèdent généralement un ou deux étages, avec une couverture plate. Les planchers entre étages ou de couverture sont réalisés avec des poutres de bois préparées et faiblement assemblées avec les autres éléments de construction. Ce sont des constructions très vulnérables.

Comme il fallait s'y attendre, le comportement de ces structures a été peu satisfaisant. Certains villages et hameaux de la région d'Aït Hamra ont été totalement ravagés ; dans certains cas, il est même impossible de deviner le tracé original des chemins et des rues ou la distribution d'origine des maisons au milieu des décombres.

■ L'immeuble de logements moderne

Il s'agit d'une construction en béton armé, comprenant de trois à cinq étages, à usage mixte, avec des garages, ateliers ou locaux commerciaux au rez-de-chaussée et des logements aux étages supérieurs : une typologie connue et étendue en Espagne. Le mur extérieur est creux, c'est-à-dire constitué de deux parois de maçonnerie de mêmes dimensions, avec un vide central, unies entre elles par des briques disposées en boutisse, et confinées entre les planchers des étages. La paroi extérieure est revêtue d'un enduit de mortier d'épaisseur variable, faisant des dessins sur la façade et assurant une liaison verticale avec les baies et les fenêtres au niveau des soffites et des reliefs. Il ne fait aucun doute que cette solution constructive apporte une grande rigidité à l'ensemble des étages de logements, accrue par le revêtement de mortier et la faible dimension des baies pratiquées à l'extérieur.

■ Dommages sur les constructions modernes

Les efforts horizontaux du séisme provoquent la déformation du portique en béton par le déplacement horizontal des étages du bâtiment. Si la déformation est importante, elle déporte la charge sur les murs en maçonnerie, ce qui provoque des dommages par cisaillement en forme de x : une typologie de dommage très fréquente dans la région d'Al Hoceima, qui indique généralement un manque de rigidité de la structure principale.

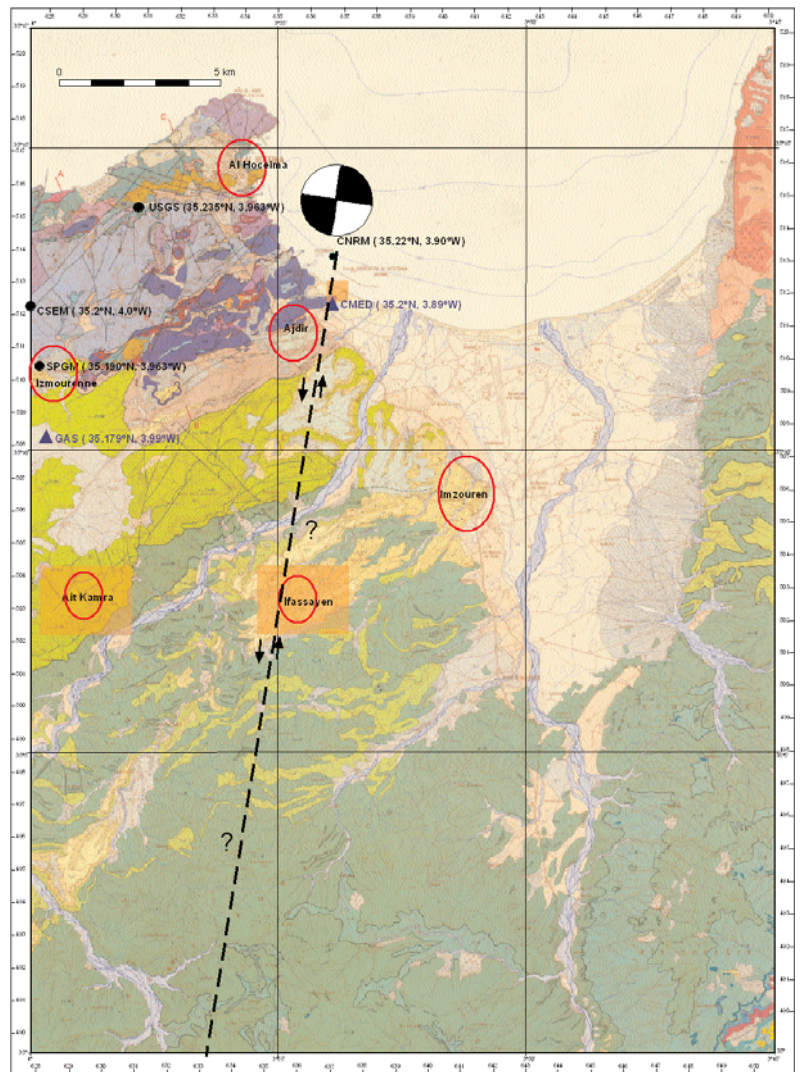


Figure 1 : Carte géologique (1/50 000e). Les points noirs représentent les localisations du séisme données par différents centres sismologiques. Les triangles bleus correspondent aux emplacements des accélérographes déployés lors de l'intervention après le tremblement de terre. Les cercles rouges indiquent les zones où des dommages ont été observés, et les coloriées en orange, les fissures dans le sol. La ligne pointillée indique le tracé possible de la faille, dont la rupture n'a pas été directement observée en surface. / MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. MAROC

Si les déplacements sont plus importants, il peut se produire la formation de rotules plastiques au niveau des nœuds de la structure, avec des déformations permanentes. Ce type de dommage se concentre généralement aux jonctions entre les piliers et le plancher du rez-de-chaussée, puisque c'est là que se concentrent généralement les efforts sismiques à cause des charges majorées qui s'appliquent à ce niveau.

C'est un cas tellement commun qu'il a donné son nom à une typologie de dommage, dénommée « rez-de-chaussée diaphane » en raison de la moindre rigidité de celui-ci par rapport aux étages supérieurs, du



Figures 2 et 3. Fissures observées près de la plage du Club Méditerranée. Situation à la figure 1. / PATRICK MURPHY

fait de son utilisation comme garage ou local commercial sans cloisons de séparation, avec de grandes portées vers l'extérieur et une plus grande hauteur de plafond.

Les dommages caractéristiques d'un rez-de-chaussée diaphane sont de grandes fissures de cisaillement en forme de x sur les murs externes, qui indiquent un grand déplacement de la structure. Dans les cas les plus graves, il se forme des rotules plastiques aux jonctions entre les piliers et le plancher, qui peuvent rapidement provoquer la défaillance de cet étage et l'é-

croulement des étages supérieurs sur le rez-de-chaussée, ce qui fut le cas de plusieurs bâtiments à Imzouren.

■ Interaction entre le mur externe et la structure

Quelquefois, pendant un tremblement de terre, la structure ne se comporte pas comme prévu en raison de l'entrée en jeu d'éléments non structurels qui modifient la géométrie d'origine du pilier. La forme la plus commune survient lorsqu'un pilier est confiné par une cloison aux deux extrémités, mais libéré au centre : il se produit alors une réduction de sa lon-



Figure 4. Construction à Ajdir, réparée avec de nouveaux piliers plus épais. / PATRICK MURPHY



**Figures 5 et 6. Construction montrant des piliers endommagés, réparée avec un mur en béton qui enveloppe tout le rez-de-chaussée.** /PATRICK MURPHY

gueur, que l'on connaît sous le nom de « pilier raccourci ».

## Réparations

Les réparations doivent prendre en compte les coûts globaux d'une intervention structurelle par rapport à ceux de reconstruction ; pour cette raison, les bâtiments à plusieurs étages qui ont subi des dommages structurels comme des rotules plastiques de petite ou moyenne envergure ont été réparés et renforcés à travers plusieurs interventions que nous documentons ci-après.

La carapace en béton apporte une grande rigidité et résistance dans son plan, et son utilisation est observée dans plusieurs exemples de nouvelles constructions à Imzouren, comme c'est le cas du centre civique sur la place principale de la ville. Pour les réparations, on utilise des carapaces en béton selon plusieurs modalités, en fonction du type de dommage. Dans le cas des constructions en hauteur présentant des dommages au rez-de-chaussée, des carapaces ont été placées sur les portées du portique afin d'assurer leur résistance et d'apporter une grande rigidité à l'ensemble. Dans d'autres exemples, on a observé l'utilisation d'une carapace comme une grande enveloppe recouvrant les piliers endommagés.

L'impact des travaux de renforcement doit être évalué sur la totalité de la structure ; en ce sens, il faut veiller à ce qu'un rez-de-chaussée excessivement rigide, avec des carapaces, ne transfère pas l'effet de rez-de-chaussée diaphane à un étage supérieur. Ce risque se voit augmenté par la facilité d'intervention au niveau du rez-de-chaussée, celui-ci étant réservé à un usage de garage ou de local commercial, et non pas de logement comme dans les étages supérieurs.

Une autre technique de renforcement observée consiste à entourer ou à encastrier l'élément endommagé, généralement un pilier, dans un autre de plus grandes dimensions. Le membre augmente sa rigidité, on peut donc affirmer que sa résistance au séisme s'en voit améliorée. Il faut vérifier la résistance de tout l'ensemble de la même manière que les interventions précédentes, afin de ne pas compromettre la résistance de la totalité de l'ensemble.

L'une des tendances observées, qui consiste à renforcer pour renforcer, découle de l'alarme sociale générée à la suite du séisme et de la perte de confiance dans les structures – même celles qui sont restées indemnes ou n'ont subi que de légers dommages. Les réparations de ce type, réalisées par les propriétaires pour leur propre compte, peuvent se révéler inutiles si elles ne s'accompagnent pas d'une analyse de l'effet des interventions sur la totalité des structures, voire même dangereuses si la distribution des rigidités s'en voit significativement modifiée.

## Considérations finales

Après un séisme, il se produit une période au cours de laquelle les qualités de construction s'améliorent et les normes de résistance aux séismes sont révisées et – dans certains cas, pour la première fois – appliquées. Compte tenu que la seule défense face au séisme sont les bonnes pratiques de construction, l'objectif à viser est un haut niveau de qualité d'ouvrage et une divulgation efficace des principes de résistance aux séismes dans le bâtiment, afin d'éviter que des catastrophes de ce genre ne se reproduisent à l'avenir.

Les auteurs remercient l'Institut Cartogràfic de Catalunya des moyens mis à sa disposition pour réaliser la campagne de saisie de données et pour visiter la zone. ■