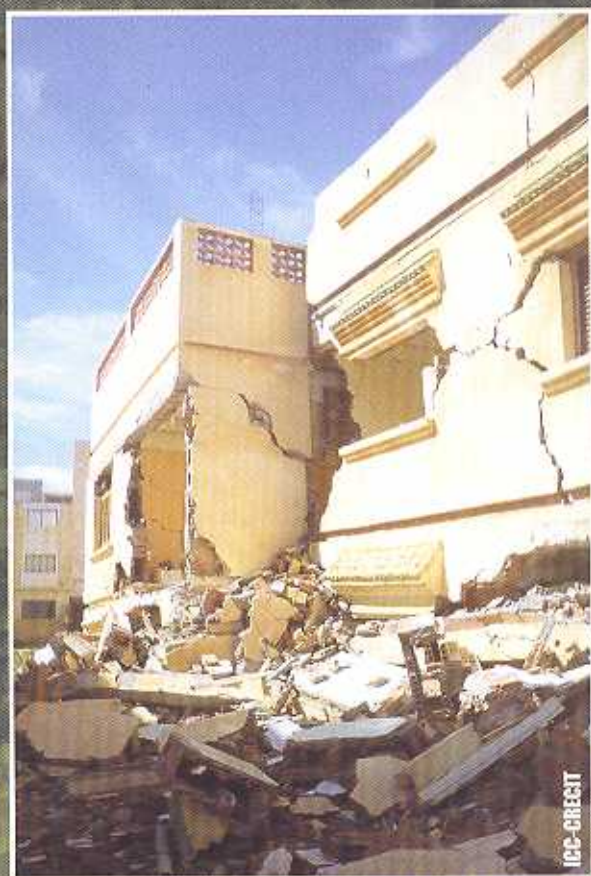


Terratrèmol d'Al Hoceima

**Resultats preliminars
de la visita tècnica
a la zona danyada
pel terratrèmol d'Al
Hoceima (Marroc),
del 24 de febrer
de 2004**

*Xavier Goula,
Marta González,
Asbai El Hassan
i Teresa Susagna*

Danys als edificis a Imzourene.





Després del terratrèmol que va tenir lloc el 24 de febrer de 2004 prop de la ciutat d'Al Hoceima, al Nord del Marroc, es va realitzar una visita tècnica organitzada per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), amb l'objectiu d'enregistrar rèpliques de forta magnitud, observar i analitzar els danys més significatius als edificis, investigar l'existència de ruptures de superfície i realitzar mesures de soroll sísmic per a caracteritzar sòls i relacions amb els danys observats als edificis. Es presenten els primers resultats de les observacions i mesures realitzades.

Introducció

El terratrèmol va tenir lloc a la costa Nord del Marroc, prop de la ciutat d'Al Hoceima el dia 24 de febrer a les 02:27 (T.U, Temps Universal), amb coordenades de 35.2°N de latitud i 4.0°W de longitud i una magnitud Mw de 6.5, segons el Centro Sismológico Euro-Mediterráneo (CSEM), i una profunditat de menys de 10 km, segons els organismes marro-

quins SPGN (Centre de Physique du Globe, Rabat Agdal, Marroc) i CNRM (Centre National de la Recherche Scientifique et Technique, Rabat, Marroc).

El terratrèmol causà danys a la zona epicentral amb intensitat VIII o IX a les poblacions d'Imzourene, Ajdir, Ait Kamra, etc. També es va percebre a Melilla amb intensitat V i a altres poblacions de la península ibèrica com: Algeciras, Màlaga, Alicante, Almeria, Córdoba, Granada, Huelva, Jaén, Madrid amb intensitats III i II (IGN, <http://www.geo.ign.es>).

Segons la xarxa sísmica de l'IGN (Instituto Geográfico Nacional, de Madrid), durant els dos mesos següents al sisme principal, s'han enregistrat més de 700 rèpliques de magnitud superior a 3.0 i 8 amb magnitud igual o superior a 5.0. A la data de la publicació d'aquesta nota, continua l'activitat sísmica a la zona.

Segons fons marroquines, hi han hagut més de 600 víctimes mortals i segons una estimació del USGS (National Earthquake Information Center, de USA), s'han comptabilitzat més de 926 ferits, més de 2.530 cases destruïdes i més de 15.000 persones sense llar.

Dels dies 4 a 9 de març es va realitzar una visita tècnica a la zona danyada pel terratrèmol amb els següents objectius:

- Enregistrar rèpliques de forta magnitud amb dos accelerògrafs.
- Realitzar mesures de soroll sísmic (amb un sismògraf portàtil) per caracteritzar sòls i possibles relacions amb els danys observats als edificis.
- Observar i analitzar els danys més significatius als edificis.
- Investigar l'existència de ruptures de superfície.

Context sismotectònic

La regió on va ocórrer el terratrèmol del passat 24 de febrer està situada en la interacció entre la placa Ibèrica i l'Africana, a l'oest del límit de les plaques Euroasiàtica - Africana.

Aquesta regió correspon a una transició entre un límit oceànic, ben delimitat entre les illes Açores i Gibraltar, i un límit continental a l'est de Gibraltar, on la Península Ibèrica i el continent Africà col·lisionen,

amb un límit més difós, caracteritzat per una àmplia zona de deformació entre les Bètiques i el Rif. La complexitat de la regió es reflecteix en la seva batimetria, sismicitat, règim d'esforços i tectònica.

En el continent, els principals trets geològics són les Bètiques, la serralada del Rif i les muntanyes Tell, formades bàsicament en l'episodi Alpi com a conseqüència de la col·lisió entre la placa Euroasiàtica i l'Africana.

Els models de les velocitats de placa per a la regió han estimat velocitats de convergència de 4 mm/any entre el Banc de Gorringe i Gibraltar, 6 mm/any a la regió d'Algèria i 7.6 mm/any al nord-oest d'Algèria (Bufo et al., 2004).

Des de l'oest a l'est, al llarg del límit de plaques entre Euràsia i Àfrica, els esforços són compressius a l'oest, igual que a l'est de la regió (Algèria). I en la part central, el règim d'esforços és transcorrent amb component compressiva en la península Ibèrica i distensiva en el nord del Marroc, sempre amb una component direcció de l'eix de compressió de N-S a NW-SE (Bufo et al., 2004).

El terratrèmol se situa al límit de les plaques Ibèrica - Àfrica, en la seva part central. Aquesta zona està caracteritzada per una sismicitat més difosa que les dues zones veïnes del Golf de Cádiz a l'oest i d'Algèria a l'est. Estudis recents (Bufo et al., 2004) han posat en evidència un dèficit de sismicitat durant el segle XX, respecte a les dues zones veïnes, que podria interpretar-se com un període anormal de quietud sísmica durant tot el segle XX. Anteriorment, durant el segle XIX, dos terratrèmols van tenir lloc al sud d'Espanya de magnitud superior a 6.0 (1829 i 1884), d'efectes destructors.

A la mateixa zona, l'any 1994 (Bezzegoud and Bufo, 1999), es va produir un terratrèmol de magnitud propera a 6, amb menys danys que els produïts per l'actual del mes de febrer de 2004.

A escala regional les formacions plioquaternàries es localitzen a la perifèria del Rif, en particular a la costa, on les deformacions tectòniques han estat més estudiades (J. L. Morel (1984, 1988, 1989) et L. Ait Brahim (1990, 1991)).

Els tipus d'estructures associades a les deformacions més remarcables són:

- Les grans falles en direcció (veure secció infantil d'aquest número) senestres i inverses NE-SW (Al Hoceima, Nekor, Saïss, Melilla).

- Els encavalcaments, corresponents a rampes emergents (Rif intern/extern, encavalcament frontal dels mantells del pre-Rif), limitats o tallats per les falles en direcció anteriors.

- Els plects de gran radi (Ketama, regió de Tanger).

- Un sistema de falles normals neofor-mades, delimitant zones d'enfonsament de rebliment quaternari (graben d'Al Hoceima, amb espessors dels dipòsits de fins a 400 m).

Les falles principals semblen organitzades en funció de les grans falles en direcció i afecten probablement tota l'escorça, com les de Jebha i les del sistema Al Hoceima/Nekor/Saïss/Melilla en un camp d'esforços compressiu N-S a NW/SE.

A grans trets (figura 1), a la zona epicentral hi ha dos rius: l'Oued Nekor i l'Oued Rhis. Respecte als materials geològics de la zona, en colors clars tenim materials al·luvials; en colors crema materials quaternaris; en color groc quaternaris més antics formats per conglomerats, gresos, i dipòsits de l'Oued Rhis i Izouren; en colors verds domini dels flysch i en colors lilosos domini de les calcàries (Saadi S.E. M. et al. (1984) Carte Géologique du Rif Echelle 1:50.000. Feuille NI-30-XXI-1a.).

Ruptura sísmica

El mecanisme focal obtingut per diferents centres representa un moviment de cisalla horitzontal senestre en una falla en direcció entre submeridiana i N20°E, que correspon a les direccions dels principals accidents reconeguts en aquesta part del Rif.

La longitud de la ruptura, segons les relacions empíriques acceptades, per a un sisme de magnitud 6.5 correspon a uns 20-30 km i el salt horitzontal de falla és d'aproximadament 1 metre.

Les observacions de terreny realitzades per nosaltres i per diferents equips (comunicació personal de Ben Brahim, després de visita sobre el terreny i un vol en helicòpter) no han permès posar de manifest l'existència de ruptures de superfície.

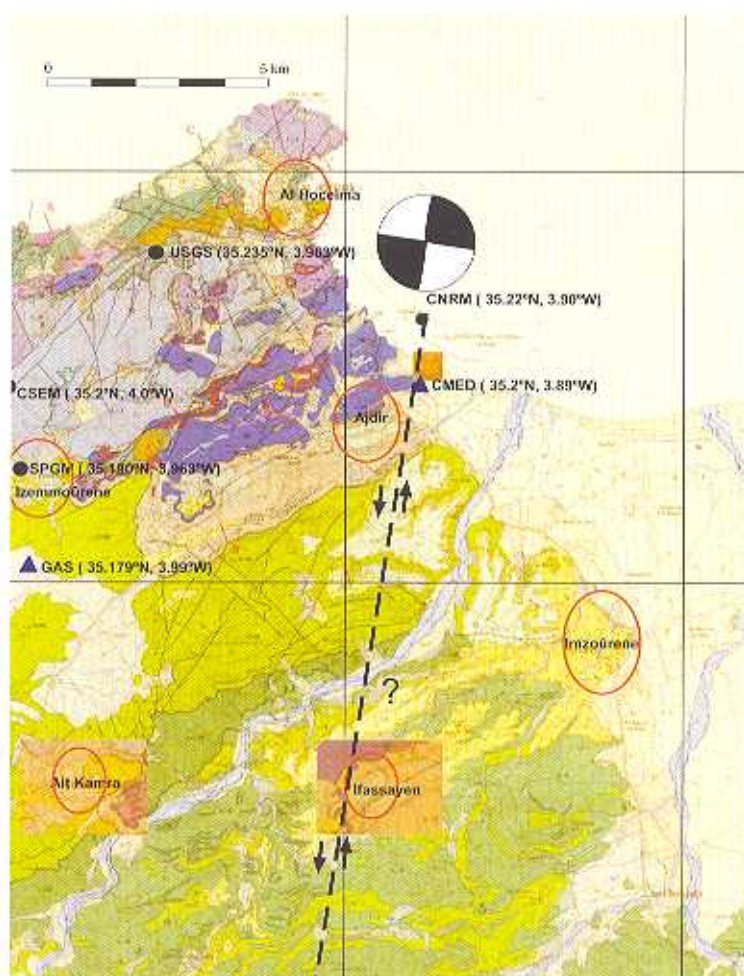


Figura 1. Mapa geològic (1:50.000). Els punts negres representen les posicions de les diferents localitzacions del terratrèmol principal donades per diferents centres. En triangles blaus tenim els emplaçaments dels accelerògrafs, en cercles vermells les zones on s'han fet observacions als edificis i en quadres taronges les zones on s'han fet observacions de camp. En ratlla discontinua negra s'ha dibuixat el possible traçat de la falla. El mecanisme focal donat per diferents organismes internacionals representa un moviment de cisalla horitzontal senestre en una falla en direcció entre submeridiana i N20°E, que es correspon amb les direccions dels principals accidents reconeguts en aquesta part del Rif.

En canvi, hem pogut posar de relleu l'existència de petites fissures d'ordre centimètric que se segueixen sobre el terreny durant centenars de metres en diferents indrets. En el mapa de la figura 1 hem indicat les nostres observacions prop de la platja del Club Méditerranée (CMED) i a la regió d'Ifassayene. Molt possiblement aquestes fissures s'han produït a sobre de la ruptura sísmica, ja que segueixen direccions properes a la direcció de la falla donada pel mecanisme focal, és a dir, aproximadament entre N-S i N20°E.

Enregistrament de fortes rèpliques

Des del dia 4 de març a les 20h fins al dia 9 a les 10h, van estar en funcionament 2 accelerògrafs K2 (figura 1): al Club Méditerranée (CMED), prop de la platja i a la planta GPL d'Izmourene (GAS).

Durant aquest període es van enregistrar un centenar de rèpliques, la majoria de magnitud superior a 3 i una de magnitud 5.0 el dia 7 a les 6:38, de la qual es presenten els enregistraments i els espectres de resposta (vegeu la pàgina 32). L'epicentre d'aquesta rèplica es va situar a prop de l'epicentre del sisme principal, segons les diferències de temps de les ones S-P observades en els accelerogrames. Cal assenyalar que el moviment més

intens es va enregistrar en l'accelerògraf més llunyà de l'epicentre, prop de Izmourene (GAS), situat sobre sediments quaternaris, amb un pic d'acceleració superior a 0,1 g. L'accelerògraf CMED estava situat sobre un aflorament calcari.

Els temps d'arribada d'aquests enregistraments seran útils per a les localitzacions precises de les rèpliques, conjuntament amb dades d'altres institucions

Visita a les zones danyades

La visita es va centrar per una part en grans poblacions com: Al Hoceima, Imzourene, Ajdir, Izemourene i Beni Bouayach, i per altra part en nuclis rurals, on les construccions estaven molt disseminades, com a Issafayenne, Ait Kamra i Aitdaoud entre altres.

A la vegada que es feien les observacions dels danys que havien patit els edificis i de l'existència de ruptures en superfície, s'anaven fent mesures de soroll sísmic per a la caracterització sísmica del sòl, és a dir, veure si hi havia amplificacions del sòl o no (vegeu la pàgina 32).

Al Hoceima

És una ciutat amb moltes construccions de l'època colonial espanyola, amb una població urbana d'uns 70.000 habitants. La ciutat està assentada sobre roca i malgrat estar situada a menys de 10 km de l'epicentre del sisme principal (figura 1), els danys van ser lleugers; no hi va haver col·lapses, ni danys greus. Nogensmenys, hi havia molts edificis de bona qualitat (tipus C) amb esquerdes i danys de grau 2. Possiblement la intensitat EMS hagi estat de VI o VII.

La multiplicitat de rèpliques feia que la població no s'acabés de sentir segura a les cases i dormís en tendes, fins i tot instal·lades a la plaça Major de la ciutat.

Imzourene

Es tracta d'una ciutat quasi tan important com Al Hoceima, però de característiques constructives i d'assentament molt diferents. La ciutat ocupa una zona de 3 km del marge esquerra de l'Oued Nekkour i ocupa part de la plana al·luvial recent i terrasses més antigues (d'orografia suau)

Imzourene. Edifici col·lapsat on es va efectuar una mesura de soroll sísmic (grau de dany 5). A sota, edifici col·lapsat (grau de dany 4-5).



de l'Oued Nekkour i de l'Oued Rhis, formades per conglomerats, gresos i llims d'edat Pliocena.

És una ciutat on, recentment, els diners de l'emigració a Europa han estat invertits en múltiples edificis de planta baixa (PB) + 2, 3 o 4 nivells. Són edificis de pilar i jàssera de formigó amb tancaments d'obra de fàbrica, com també es troben en moltes zones d'Espanya.

Les infraestructures són rudimentàries. Per exemple, la majoria de carrers estan sense asfaltar, no hi ha clavegueram, les construccions a l'extraradi no segueixen cap ordenament apropant-se cap a les zones rurals, etc. S'observen edificis molt danyats (una trentena han col·lapsat) i d'altres en bon estat.

És molt difícil d'establir un valor d'intensitat a la ciutat, ja que la dispersió observada és molt forta: danys 5 a edificis tipus B o fins i tot C, i danys 0 a molts edificis de tipus C (o B). Possiblement la presència de sòls no molt consolidats i algunes pràctiques constructives juguen un paper important en aquesta distribució.

Per a contribuir a donar alguna explicació a la distribució dels danys, s'ha realitzat durant la visita l'enregistrament de microtremors en uns 10 punts de la ciutat, caracteritzats per l'existència de danys de diferent grau de 0 a 5 i en barris diferents de la ciutat.

S'ensenya una figura (vegeu pàgina 32) amb una mesura feta davant d'un edifici amb danys. La tendència de les relacions espectrals (mètode de Nakamura) no sembla molt reveladora de grans amplificacions, a tenor dels primers resultats obtinguts.

Ajdır

És una aglomeració urbana més petita i dispersa que l'anterior, també situada a les terrasses dels Oueds mencionats i més a prop de l'epicentre i de la probable falla originària de la crisi sísmica. Els danys semblen importants i més uniformes. S'han visitat molts edificis molt danyats (graus 3 o 4) i de qualitat aparent bona (C), i s'han realitzat mesures de microtremors davant diferents edificis. Les relacions espectrals indiquen amplificacions importants entorn de 3 Hz. La intensitat sembla ser superior al grau VIII.

Izemmoûrene

És una aglomeració mig urbana, mig rural, situada en alçada, fora de la plana dels Oueds, sobre terrenys formats per gresos dels mantells de "flysch" i en presència de cons de dejecció importants. Els danys hi semblen també importants. S'han fet mesures de microtremors davant alguns edificis.

Zones rurals (Ait Kamra i Ifassayen)

Són dos zones caracteritzades per una gran superfície de terreny situada a prop de la ruptura sísmica, on s'hi han observat fissures que poden indicar l'existència propera de la ruptura. En aquestes zones s'hi han observat molts col·lapses de cases d'una sola planta, de construcció tradicional en pedra i fang. Els assentaments són

Adjir. Edifici amb pilar aixafat. Detall dels danys. A sota, zones rurals d'Ait Kamra i d'Ifassayen. Exemple de danys de grau 5 en construccions de tipus A.



molt dispersos, no hi ha pròpiament nuclis urbans i és en aquestes zones on hi ha hagut més víctimes causades per l'enfonsament dels sostres pesats. S'han observat molts danys de grau 5 en construccions de tipus A.

Presa de Mohamed Abde El Karim El Khatabi

Es tracta d'una presa de terra situada sobre el Oued Nekkour a uns 20-30 km de l'epicentre. Segons el responsable de la Oficina d'Hidràulica de Al Hoceima, la presa no va patir desperfectes. L'accelerògraf de la presa va enregistrar el sisme principal amb una acceleració propera a 0,20 g.

Instal·lació de liquació de gas GPL a Izemmoûrene

Es tracta d'una planta de liquació de gas per a la càrrega de bombones d'ús domèstic. Va ser l'emplaçament de l'accelerògraf GAS (figura 1).

Existeix un dipòsit de 2000 m³ que està suportat per 8 pilars d'1 m de diàmetre i enfonsats 8 m sota terra. El dipòsit va resistir bé a la batzegada, segons el responsable de la planta, Sr. Temsmani Mohammed. Malgrat la pèrdua de fluid elèctric durant més de 36 h, les feines de manteniment de la planta van fer-se manual-

ment. Hi havia certa inquietud sobre l'estat d'alguns edificis de maquinària que, al pas de les diferents rèpliques, s'anaven degradant.

Anàlisi preliminar de les observacions realitzades

En relació a la ruptura sísmica

La ruptura sembla haver-se iniciat a pocs quilòmetres de la costa, a prop del "Peñón de Alhucemas". Aquestes indicacions són corroborades per l'epicentre determinat pel CNRM, que és l'únic amb dades d'estacions molt properes. La ruptura sembla haver-se propagat al llarg de 20-30 km en una direcció SSW, sense haver-se posat de manifest ruptures de superfície, però sí diverses fissures trobades prop de la platja del Club Méditerranée i a molts indrets, com a Ifassayen.

En relació a l'enregistrament de fortes rèpliques

S'ha pogut enregistrar més d'un centenar de rèpliques en 2 accelerògrafs situats a prop de la ruptura sísmica, algunes d'elles de forta magnitud. L'anàlisi preliminar dels enregistraments d'una rèplica

Consulta a la població sobre els efectes del terratrèmol.



Zones rurals d'Ait Kamra i d'Ifassayen. Exemple de danys de grau 5 en construccions de tipus A.



de magnitud 5.0 mostra una forta ampliació a la zona de muntanya d'Izemoûrene, a causa de la presència de sediments quaternaris.

Aquests enregistraments seran també útils per a determinar amb precisió la localització de les rèpliques, conjuntament amb les dades d'altres estacions, i per a la determinació precisa de la geometria de la ruptura.

En relació a l'enregistrament de microtremors

Segons els primers resultats obtinguts, les relacions espectrals entre components horitzontals i verticals dels enregistraments de microtremors (mètode de Nakamura) semblen indicar fortes amplificacions a les zones d'Ajdir i d'Izemoûrene. Els primers resultats de les mesures fetes a Imzoûrene no mostren variacions que puguin explicar les diferències de danys observades en diferents indrets.

En relació a les anomalies constructives

L'observació dels danys i les diferents reunions realitzades amb els equips d'arquitectes de l'Agència Regional d'Urbanisme d'Al Hoceima i d'Architectes de l'Urgence condueixen a les següents reflexions:

- L'autoconstrucció sembla ser el principal problema que cal esmentar en els

danys observats, en particular a la ciutat d'Imzoûrene. Malgrat l'existència de Normes Sismoresistents, molts edificis han estat fets per constructors locals, sense intervenció d'arquitecte ni càlcul fet per enginyers. En molts casos, fins i tot el propietari viu a l'estranger i els intermediaris no tenen gaire cura de la qualitat de les construccions. És un problema difícil d'eliminar de manera radical, segons l'opinió de l'Agència.

- La qualitat dels materials de construcció utilitzats no és suficient: qualitat del formigó, qualitat i quantitat de les ferramentes que lliguen el formigó, separació massa gran entre reforços horitzontals, pilars de secció massa prims, etc.

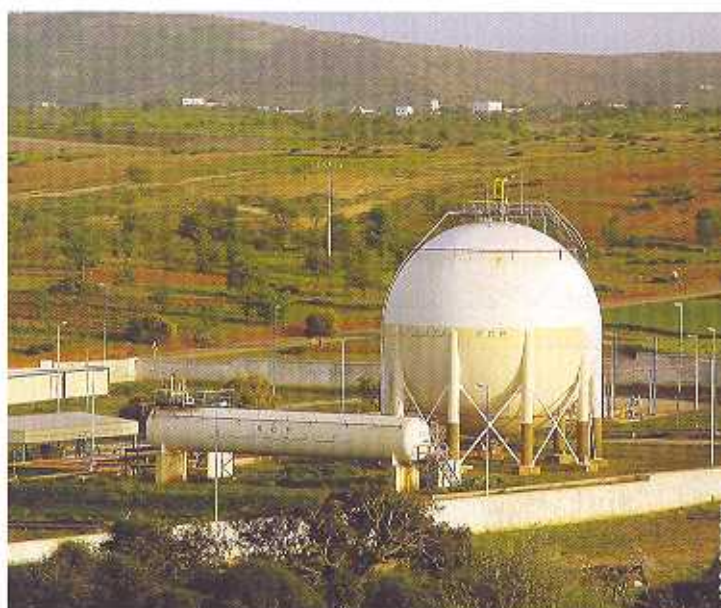
- El tipus d'edificis predominants en les ciutats són els edificis de formigó armat de 2 a 4 pisos. Predominen els edificis formats per pisos tous (soft-story), i això provoca que l'edifici es trenqui per les plantes baixes. S'ha detectat també una unió dolenta entre els elements estructurals. Molts edificis presentaven un disseny amb planta irregular. S'ha observat que pilars de 20x20 cm es trencaven i pilars de 35x40 cm resistien.

- El tipus d'edificis en les poblacions de l'interior són cases tradicionals, fetes amb pedra i totxos d'argila (vulnerabilitat A, les més vulnerables). El seu mal com-

Danys a la mesquita d'Izemoûrene.



Emplaçament de l'accelerògraf GAS a la planta GPL d'Izemoûrene.

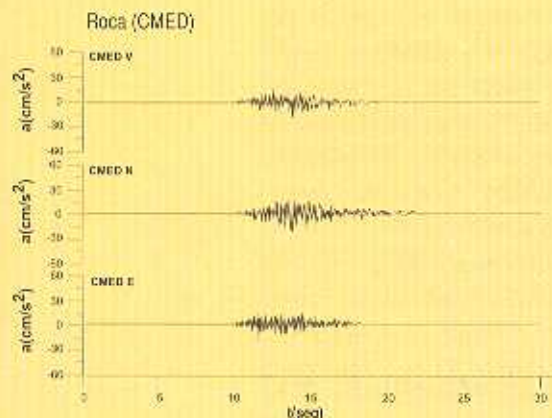
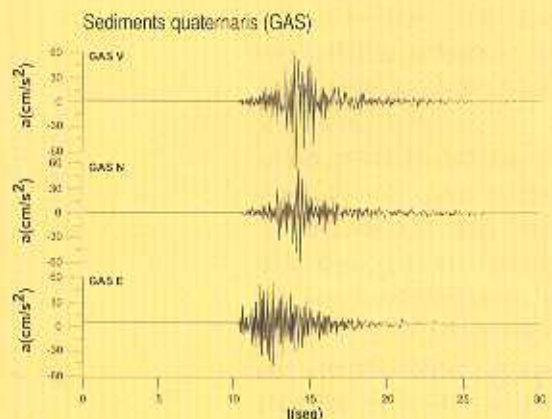


Efectes de sòl

Moltes vegades, els danys provocats sobre les construccions, vies de comunicació, instal·lacions de gas, d'aigua etc., són més grans que els que s'esperen en una zona determinada, a causa de la influència dels efectes de sòl. L'efecte de sòl és un factor que s'ha de tenir en compte en el càlcul de la perillositat sísmica, ja que si existeix en una zona augmenta la perillositat.

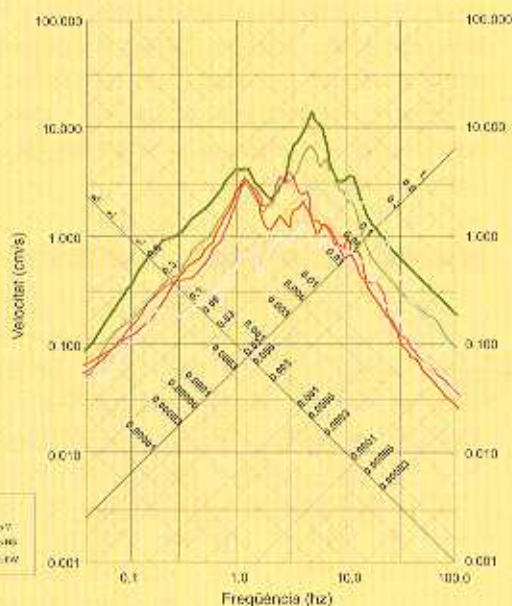
El concepte d'efecte de sòl és difícil d'entendre. Es defineix com la variació del senyal sísmic entre dos punts pròxims a causa de la configuració geològica, la geometria, les propietats dinàmiques de la formació superficial (com la densitat, velocitat de les ones P, etc.) i la topografia.

Per entendre què és un efecte de sòl, podem observar els senyals del sísmes enregistrat en els nostres accelerògrafs (GAS i CMED) el dia 7-03-2004 a les 6:38, de magnitud 5.0.



El terratrèmol s'ha produït més a prop de l'accelerògraf CMED que del GAS. Què observem? El senyal enregistrat a l'emplaçament GAS és més gran que el de l'emplaçament CMED. L'emplaçament CMED està sobre roca i l'emplaçament GAS sobre sediments quaternaris.

La diferència de mida i les característiques del senyal comporta que les persones que viuen a la ciutat sobre sediments quaternaris han percebut el terratrèmol amb més intensitat que els de la ciutat sobre roca. Els nivells de dany també són més grans a la ciutat sobre sediments quaternaris que a la de sobre roca. Això ens està indicant que els terrenys de l'emplaçament GAS han amplificat el senyal.

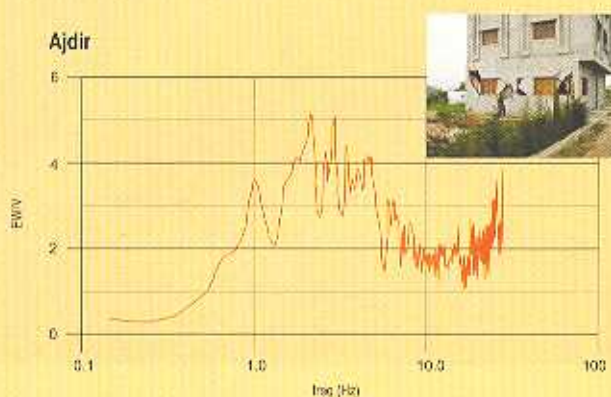
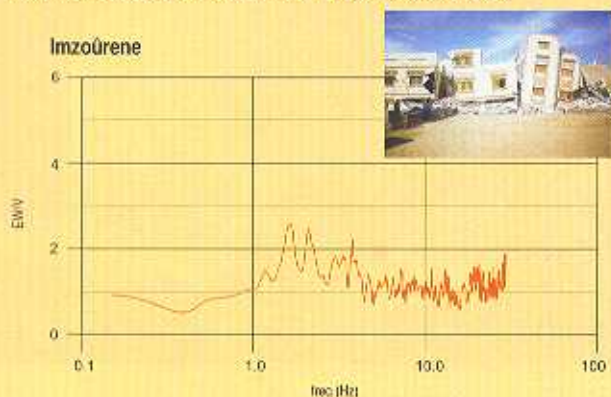


Enregistrament del terratrèmol del 7/03/2004 de magnitud 5 en les estacions GAS i CMED.

Espectres de resposta del terratrèmol del 7/03/2004.

Mesures de soroll sísmic

Les mesures de soroll serveixen per veure si hi havia amplificacions del sòl o no. A grans trets, a Imzourene el senyal és gairebé pla i a Ajdir hi ha uns pics que ens estan indicant les amplificacions del sòl entorn de 3 Hz (gràfic de la dreta).



Exemple de les mesures d'Ajdir i Imzourene.

Vulnerabilitat

Es defineix com la capacitat d'una estructura a patir danys en cas de ser sotmesa a l'acció d'un terratrèmol d'una intensitat determinada. Generalment, quan es parla de vulnerabilitat es fa referència a les estructures, ja que aquestes transmeten els efectes del sisme a altres elements com són les persones. La vulnerabilitat és pròpia de cada estructura i és independent de la perillositat del lloc. Això significa que una estructura pot ser vulnerable i no tenir risc perquè està ubicada en una zona sense perillositat sísmica. La vulnerabilitat dels edificis depèn de les característiques del disseny, de la qualitat dels materials, de la construcció, de l'edat, etc.

Actualment l'escala macrosísmica (que mesura la intensitat d'un sisme) més utilitzada és l'EMS-98. L'escala defineix les classes de vulnerabilitat de les construccions i els graus de dany que aquestes poden patir, i en base a aquestes definicions descriu els graus d'intensitat que provoca un sisme.

Classificació de les edificacions en classes de vulnerabilitat

L'escala defineix 6 classes de vulnerabilitat: A, B, C, D, E i F. Les més vulnerables són les de tipus A i les menys vulnerables les de tipus E i F (aquestes utilitzen els dissenys sísmoresistents).

Per classificar els edificis en classes de vulnerabilitat es miren els tipus d'estructura, si són de mamposteria, formigó armat, fusta o acer, i dins de cada grup hi ha altres subdivisions que ens definiran la seva classe. Per exemple, dins l'estructura d'obra de fàbrica es mirarà si aquesta és de blocs de pedra, sillera, maó, etc.

A la taula es presenten les classes de vulnerabilitat que assigna l'escala EMS-98

Exemple de graus de danys i de classes de vulnerabilitat a la zona

TIPUS D'ESTRUCTURES		CLASSES DE VULNERABILITAT					
		A	B	C	D	E	F
Fàbrica	Castells o pedra	○					
	Tova	○	+				
	D'obra de fàbrica	+	○				
	Sillera		+	○	+		
	Sense armar, de maó (rotos o blocs)		+	○	+		
	Sense armar, amb forjats de HA			○	+		
Formigó Armat (HA)	Armat o confinat				○	+	
	Estructura sense disseny sísmoresistent (DSR)		+	○	+		
	Estructura amb nivell mitjà de DSR			+	○	+	
	Estructura amb nivell alt de DSR					○	+
	Murs sense DSR		+	○	+		
	Murs amb nivell mitjà de DSR			+	○	+	
Fusta	Murs amb alt nivell de DSR					○	+
	Estructures d'acer				+	○	+
Fusta	Estructures de fusta		+	○	+		

○ Classe de vulnerabilitat més probable — Rang probable --- Rang menys probable

Descripció dels graus de dany

L'escala defineix 5 graus de danys:

Grau 1: Dany d'insignificant a lleuger (sense cap dany estructural).

Grau 2: Dany moderat (dany estructural lleuger, dany no estructural moderat).

Grau 3: Dany de considerable a sever (dany estructural moderat, fort dany no estructural).

Grau 4: Dany molt sever (dany estructural seriós, dany no estructural molt seriós).

Grau 5: Destrucció (dany estructural molt seriós).

Caiguda de la part exterior del mur de maçoneria de la mesquita a Izemurenne (Grau de dany 3. Vulnerabilitat A)



Col·lapse de les cantonades i caiguda de les parets laterals en una casa rural (Grau de dany 4. Vulnerabilitat A)



Edificació de maçoneria. Habitatge totalment destruït (Grau de dany 5. Vulnerabilitat A)



Edificació d'estructura de formigó. Planta baixa diàfana, danys als tancaments (Grau de dany 3. Vulnerabilitat C)

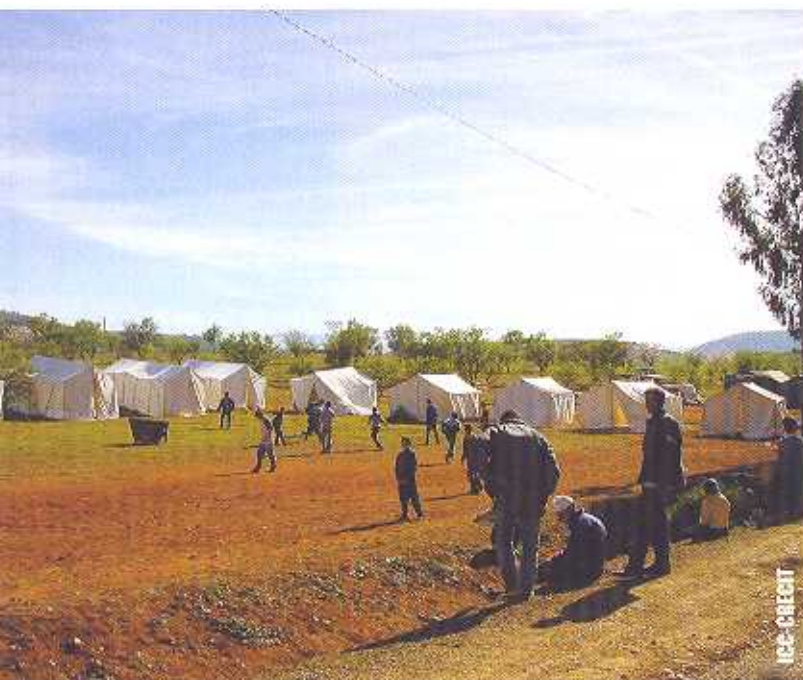


Col·lapse de la planta baixa i primera planta (Grau de dany 5. Vulnerabilitat C)



Porxada esportiva. Pòrtics de formigó armat (Grau de dany 4. Vulnerabilitat C)





A dalt, observacions de les fissures al terreny, a la regió d'Ifassayen. A sota, campaments a les zones rurals.

portament sísmic és degut a la carència de ductilitat i a la pèrdua de connexió entre els elements estructurals. El col·lapse d'aquestes cases no deixa forats per on la gent pugui sobreviure. El 90% de les cases tradicionals van col·lapsar.

- Hi ha una absència de reglamentació respecte al control de qualitat. Cal assenyal·lar, per exemple, que existeix un únic laboratori d'anàlisi del formigó a la regió.

Estudis en curs

En col·laboració amb els organismes de recerca marroquins, Inst. Scientifique i Centre de Recherches i també amb la Universitat Complutense de Madrid, s'estan interpretant aquestes dades i d'altres referents al sísmic principal. Es realitza en particular:

- Estudi de les localitzacions precises de les rèpliques, que ha de permetre de determinar millor la geometria de la ruptura.
- Estudi dels mecanismes focals, per a conèixer la distribució dels esforços.
- Modelització de la ruptura a partir dels enregistraments existents.
- Estudi dels moviments intensos enregistrats, per a augmentar la base de dades de moviments forts d'una regió de característiques semblants a la nostra.
- Estudi de les deformacions observades en superfície en relació a la ruptura.

L'observació de danys reals en una zona de construcció típicament "mediterrània" no gaire diferent a la nostra permetrà ajudar a calibrar les corbes que s'utilitzen per fer la simulació de danys en cas de terratrèmol a Catalunya, Espanya i Andorra (emmarcat dins del projecte de risc sísmic, Informació Sísmica Automàtica Regional de Danys (ISARD), en què hi participen diferents organismes catalans, andorrans i francesos (ISARD, 2004)).

Consideracions finals

De la visita tècnica a la zona danyada pel terratrèmol d'Al Hoceima hem pogut extreure algunes consideracions, la majoria ja conegudes, però sovint oblidades:

1. L'aplicació correcta de les normes de construcció sismoresistents és de vital importància, i més en països de sismicitat moderada, en els quals no hi ha una cultura sísmica desenvolupada ni a les administracions ni entre la població. L'ordenament del territori és primordial per a prevenir aquests desastres. Coneguts els llocs en els quals es troben les fonts sísmiques, cal evitar el desenvolupament de les poblacions al seu voltant i si es fan, cal respectar les normatives constructives.

2. És de vital importància fer uns bons dissenys estructurals de les edificacions i

Abstract

After the earthquake that took place on 24th February 2004, near the city of Al Hoceima in Northern Morocco, a technical visit, organized by l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), took place with the following aims: recording after-shocks of strong magnitude in the zone near the event, observing and analysing the most significant damages, investigating the existence of surface ruptures, making measurements of noise to characterize the fundamental period of the soils and analyse its possible relation with the observed damages. We present the first results of the observations and measurements carried out.

utilitzar materials de bona qualitat en l'execució de l'obra. Esdevé molt important l'establiment d'òrgans de control dels processos constructius.

3. Els estudis geotècnics són una eina fonamental per a arquitectes i enginyers, ja que donen un coneixement acurat de les característiques del subsòl i del seu comportament, que juga en molts casos desfavorablement i amplifica el moviment sísmic.

4. Queda palès que hi ha poc coneixement del fenomen sísmic per part dels tècnics encarregats del disseny dels edificis, i de l'avaluació del seu estat després del terratrèmol.

5. És necessària la creació de grups multidisciplinars que ajudin en el camp de l'enginyeria sísmica a la prevenció de les catàstrofes. És necessària la interacció entre científics, coneixedors del fenomen, i els diferents sectors relacionats amb la prevenció.

6. En zones de sismicitat moderada existeixen eines com les simulacions d'escenaris de danys que ens poden ajudar en la preparació de l'emergència. També en



A dalt, equip tècnic desplaçat a la zona. A sota, campament a Imzoûrene.

aquestes zones seria necessari tenir preparats uns formularis per a poder elaborar ràpidament una enquesta sobre els edificis malmesos, per tal de poder decidir sobre la seva habitabilitat, així com per millorar la mitigació dels danys en futurs sismes.

7. És necessària la creació d'equips pluridisciplinars amb experiència en el camp de la sismologia, de l'enginyeria sísmica i de l'emergència, per a realitzar

actuacions ràpides amb els seus equips en moment de crisi.

Aquests equips els podrien formar especialistes de diferents països i de diferents institucions per a poder actuar amb rapidesa en el moment de l'emergència.

8. Igualment caldria disposar d'una bona xarxa d'instruments sísmics (tant d'accelerògrafs, com de sismògrafs), de titularitat compartida, per a la bona caracterització de la ruptura sísmica i dels moviments engendrats.

9. Hi ha un problema molt greu amb el trasllat de material científic de rescat a les duanes de les fronteres. Seria necessari que hi hagués un organisme internacional encarregat de gestionar tots els papers de duanes en moments de crisi.

Agraïments

La visita ha estat finançada per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) de la

Generalitat de Catalunya. L'equip tècnic estava format per científics de l'ICC, del Centre de Recerca en Ciències de la Terra (CRECIT) de l'Institut d'Estudis Andorrans (IEA), de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i de RSE Aplicaciones Territoriales S.A. També ha comptat amb el suport i la col·laboració de l'Institut Europeu de la Mediterrània, del Departament de Physique du Globe de la Universitat Mohammed V de Rabat, de les representacions diplomàtiques espanyoles al Marroc i marroquines a Espanya i de l'Ambaixada d'Andorra a Madrid.

■ **Xavier Goula, Teresa Susagna.** Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).

■ **Marta González.** Centre de Recerca en Ciències de la Terra (CRECIT).

■ **Asbai El Hassan.** Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Bibliografia

- AIT BRAHIM L., CHOTIN P., TADILI B.A., RANDANI M. (1990). Failles actives dans le Rif central et oriental (Maroc). C.R. Acad. Sci. Paris, T. 310, Série II, p. 1123-1129.
- AIT BRAHIM L., TADILI B., RANDANI M. (1990). The Targuist sismogene zone, and its relation with the thrust front of the external domain on the foreland (Rif, Morocco). ESC, Barcelone, WS4, p. 131.
- AIT BRAHIM L. (1991). Tectoniques cassantes et états de contraintes récents au Nord du Maroc. Thèse d'Etat, Université Mohammed V, Faculté de Science, Rabat.
- BEZZEGHOUD, M., BUFORN, E. (1999). Source parameters of the 1992 Melilla (Spain, Mw=4.8), 1994 Al Hoceima (Morocco, Mw=5.8) and 1994 Mascara (Algeria, Mw= 5.7) earthquakes and seismotectonic implications. BSSA, 89,2, pp. 359-372.
- BUFORN, E., BEZZEGHOUD, M., UDIAS, A., PRO, C. (2004). Seismic sources on the Iberia-African Plate Boundary and their tectonic Implications. Pure applied. Geophysics. Vol 161, 2004.
- CRECIT. <http://www.iea.ad/crecit/Marruecos/indexmarroc.htm>
- Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC). <http://www.icc.es>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). <http://www.geo.ign.es>
- EUROPEAN MACROSEISMIC SCALE 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de sismologie. Ed. Grünthal, 6. Vol. 15. Luxembourg 1998.
- MOREL, J.L. (1984). La néotectonique du Maroc. Résultats et méthodes. Bulletin du Département des Sciences de la Terre, Ecole Normale Supérieure de Souissi-Rabat, Séance Spéciale du 20 avril 1984, p. 1-17 + figs.
- MOREL, J.L. (1988). Evolution récente de l'orogène rifain et de son avant-pays depuis la fin de la mise en place des nappes (Rif-Maroc). Thèse Doctorat d'Etat, Centre d'Orsay, Université Paris-Sud, Mém. Géodiffusion, n° 4, 584 p., 226 fig, 5 pl. h.t.
- MOREL, J.L. (1989). Etats de contrainte et cinématique de la chaîne rifaine (Maroc) du Tortonien à l'actuel. Geodinamica Acta, Vol. 3, n° 4, p. 283-294.
- MOREL, J.L. (1989). Evolution paléogéographique et tectonique du Rif (Maroc) du Tortonien à l'actuel. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 309, Série II, p. 2053-2059.
- SAADI, S.E.M., BENSAD M.M., DAHMANI, M.M. (1984). Carte Géologique du Rif (Al Hoceima). Ministère de l'énergie et des mines Direction de la géologie. Echelle 1:50.000. Feuille NI-30-XXI-1a.