



Generalitat de Catalunya
Institut Cartogràfic de Catalunya

**Visita tècnica a la zona danyada pel terratrèmol
d'Al-hoceima del 24 de febrer de 2004**

X. Goula i M. González

Març 2004

Informe núm.: GS-192/2004

VISITA TÈCNICA A LA ZONA DANYADA PEL TERRATRÈMOL DE AL-HOCEIMA DEL 24 DE FEBRER DE 2004.

PRESENTACIÓ

Els dies 4 a 9 de març s'ha realitzat una visita tècnica a la zona danyada pel terratrèmol de 24 de febrer de $M_w=6.5$ amb la finalitat de:

- enregistrar rèpliques de forta magnitud en zona propera,
- realitzar mesures de soroll per caracteritzar el període fonamental dels sols i la possible relació amb els danys observats,
- observar i analitzar els danys mes significatius,
- investigar l'existència de ruptures de superfície.

La visita ha estat finançada per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (Generalitat de Catalunya) i ha comptat amb el suport i col·laboració de l'Institut Europeu de la Mediterrània, del CRECIT d'Andorra, de la UPC, del Service de Physique du Globe de Rabat i de les representacions diplomàtiques espanyoles al Marroc, i marroquines i andorranes a Espanya.

Les persones que han fet part de la missió han estat:

- Xavier Goula: doctor en físiques i responsable de sismologia a l'ICC.
- Marta González: geòloga, cap de projectes al CRECIT, Institut d'Estudis Andorrans.
- Antoni Marcé: tècnic electrònic de RSE, Aplicaciones Territoriales, S.A.
- Asbai El Hassan: estudiant de doctorat a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).



CONTEXT SISMOTECTÒNIC REGIONAL

El terratrèmol ha tingut lloc a la costa Nord del Marroc, prop de la ciutat de Al.Hoceima, de Mw=6.5 segons el CSEM i a una profunditat superficial de menys de 10 km segons les agències marroquines: SPGM i CNRM.

El terratrèmol se situa en el límit de plaques Ibèria – Àfrica, en la seva part Central (Figura 1). Aquesta zona està caracteritzada per una sismicitat més difosa que les dues zones veïnes del Golf de Cadis a l'Oest i d'Algèria a l'Est. Estudis recents (Bufoer et al., 2004) han posat en evidència un dèficit de sismicitat durant el segle XX, respecte les dues zones veïnes, que podria interpretar-se com un període anòmal de quietud sísmica. Anteriorment, durant el segle XIX dos terratrèmols van tenir lloc al Sud d'Espanya de M>6 (1829 i 1884), d'efectes destructors.

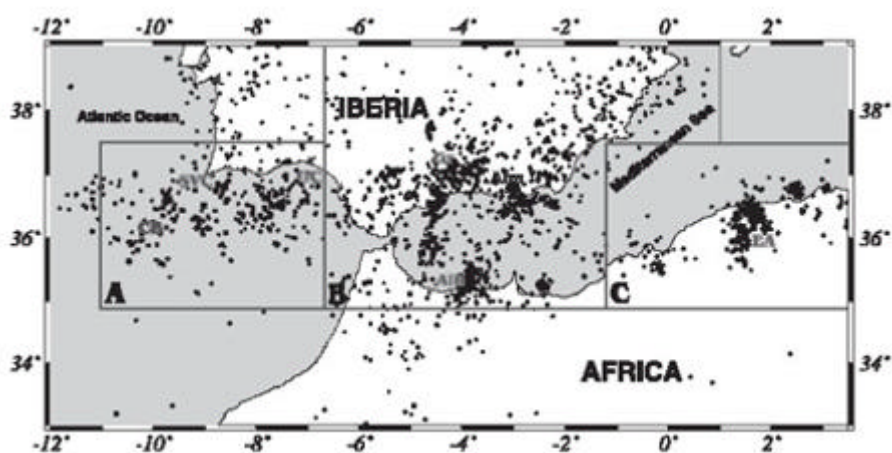


Figura 1. Límit de plaques Iberia- Àfrica, en la seva part Central (Bufoer et al., 2004)

A la mateixa zona, l'any 1994 (Bezzegoud and Bufoer, 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 plio-quaternàries es localitzen a la perifèria del Rif, en particular a la costa, on les deformacions tectòniques han estat més estudiades per J.L. Morel (1988, 1994) et L. Ait Brahim (1990, 1991, 1997).

Els tipus d'estructures associades a les deformacions més remarcables (Figura 2) són:

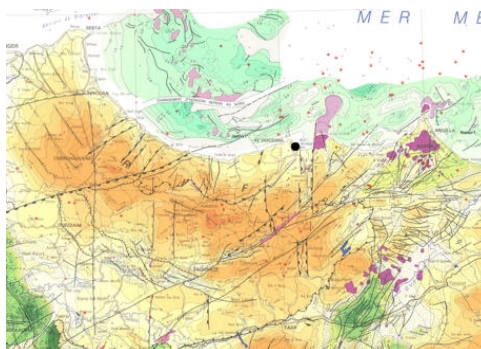


Figura 2. Esquema de la tectònica del Rif, amb la situació de l'epicentre.

- les grans falles en direcció 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 de corbatura (Ketama, regió de Tanger),
- un sistema de falles normals neoformades, 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 afectant probablement a 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.

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 es correspon amb les direccions dels principals accidents reconeguts en aquesta part del Rif (Figura 2).

Sobre el mapa geològic regional a escala 1:50000 (Figura 3), s'han representat les posicions de les diferents localitzacions del terratrèmol principal donades per diferents centres:

CSEM: 35.2° N 4.0° W
USGS: 35.235° N 3.963° W
IGN: 35.142° N 3.997° W
SPGM: 35,190° N -3,996° W
CNRN: 35,22° N - 3.90° W

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

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.

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 3 hem indicat les nostres observacions prop de la platja del Club Méditerranée i a la regió d'Ifassayenne (Fotos 1 a 4). 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, es a dir aproximadament entre N-S i N20° E.

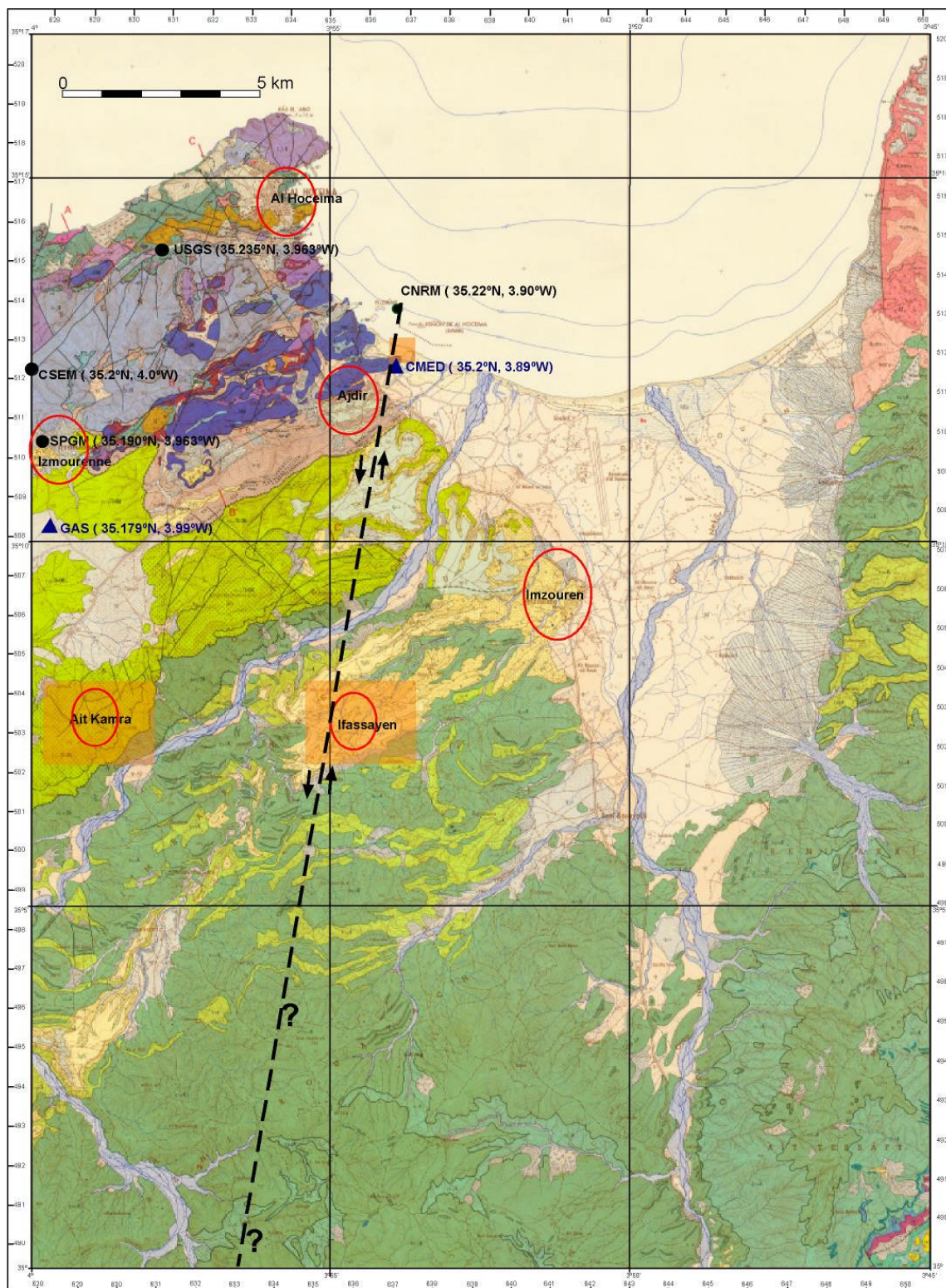


Figura 3. Mapa geològic (1:50.000). Els punts negres representen les posicions de les diferents localitzacions del terratrèmol principal donades per diferents centres. En triangles blaus els emplaçaments dels accelerògrafs. En cercles vermells les zones on s'han fet observacions als edificis i en quadres taronges les zones on s'han fet observacions de camp. En ratlla discontinua negra s'ha dibuixat el possible traçat de la falla.



Fotos 1 i 2. Observacions de les fissures prop de la platja del Club Mediterrani. Situació en la figura 3.



Fotos 3 i 4. Observacions de les fissures a la regió d'Ifassayenne. Situació en la figura 3.

ENREGISTREMENT DE FORTES RÈPLIQUES

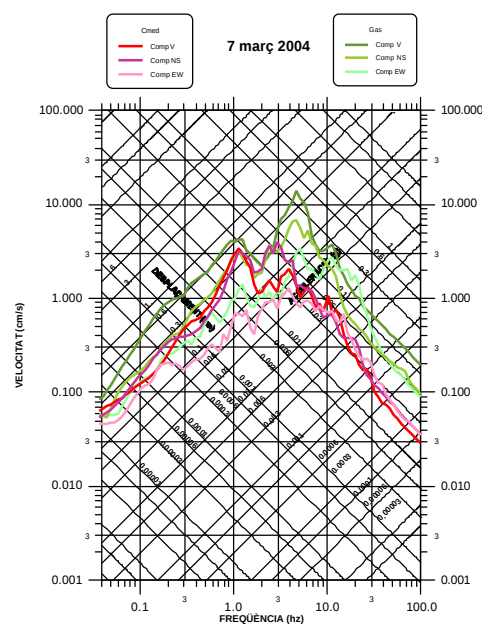
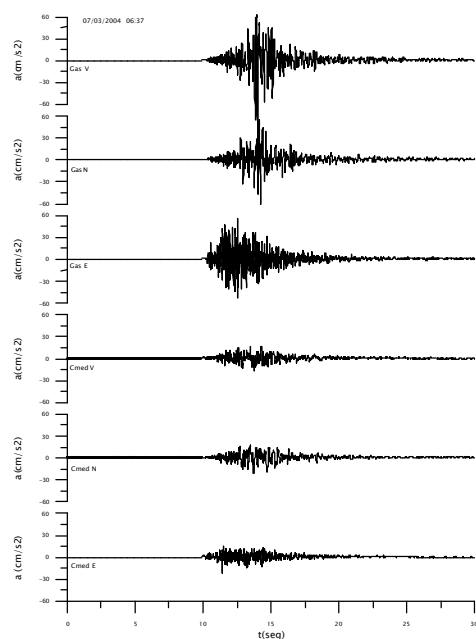
Des del dia 4 a les 20h fins el dia 9 a les 10 h van estar en funcionament 2 accelerògrafs K2: al Club Méditerranée (CMED), prop de la platja i a la planta GPL d'Izmourenne (GAS) (Figura 3 i fotos 5 i 6).



Fotos 5 i 6. Emplaçaments dels accelerògrafs GAS a la planta GPL d'Izmourenne i CMED al Club Méditerranée.

Durant aquest període s'han enregistrat un centenar de rèpliques, la majoria de $M > 3$ i una de $M = 5$ el dia 7 a les 6:38 de la qual es presenten els enregistraments i els espectres de resposta (Figures 4 i 5). L'epicentre d'aquesta rèplica es va situar prop de l'epicentre del sisme principal (A5.0 de la figura 3) segons les diferències de temps S-P observades en els accelerogrames. Cal assenyalar que el moviment més intens es va registrar en l'accelerògraf més llunyà de l'epicentre, prop de Izmouren (GAS), situat sobre sediments quaternaris, amb un pic d'acceleració superior a 0,1g. L'accelerògraf CMED estava situat sobre un aflorament calcari.

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



Figures 4 i 5. Enregistraments i espectres de resposta corresponents al terratrèmol del 7/03/2004, de M=5 en les estacions GAS i CMED.

VISITA A LES ZONES DANYADES

S'han pogut visitar els nuclis urbans més importants de la regió afectada pel terratrèmol i diferents zones rurals (veure mapa de la figura 3):

- **Al Hoceima**, ciutat amb moltes construccions de l'època colonial espanyola, amb una població urbana d'uns 70.000 habitants. La ciutat està assentada sobre aflorament rocós i malgrat està situada a menys de 10 km de l'epicentre del sisme principal, els danys són lleugers; no hi ha hagut col·lapses, ni danys greus. Nogensmenys hi ha molts edificis de bona qualitat (tipus C) amb esquerdes y danys de grau 2. Possiblement la intensitat EMS, hagi estat de VI o VII. Com a cas particular citem l'Hotel Mohammed V, construït durant els anys de presència espanyola que no revela cap desperfecte major. La multiplicitat de rèpliques fa que la població no s'ha senti segura a les cases i dormi en tendes, fins i tot instal·lades a la plaça Major de la ciutat (Foto 7).

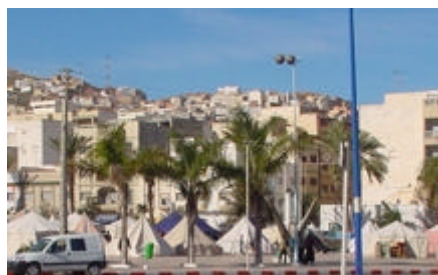


Foto 7. Campament a plaça Major d'Al Hoceima.

- **Imzouren**, ciutat quasi tant important com Al Hoceima, però de característiques constructives i d'assentament molt diferents. La ciutat s'exten al llarg 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) de l'Oued Nekkour i de l'Oued Rij (veure figura 3), formades per conglomerats, gresos i llims d'edat Pliocé.

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

Les infraestructures són rudimentàries, per exemple la majoria de carrers són sense asfaltar, no hi ha clavegueram, les construccions al extra-radi 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.

L'Agència Regional d'Urbanisme amb el suport de l'ONG francesa, *Architectes d'Urgence*, estaven duent a terme el cens dels edificis danyats, i vàrem tenir l'oportunitat de fer diverses trobades i reunions amb ells, de les quals donarem compte en el paràgraf següent.

Molt difícil d'establir un valor de 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. Caldrà esperar el resultat del treball efectuat per l'Agència Regional per tenir la distribució total dels danys.

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 des danys s'ha realitzat durant la visita l'enregistrament de microtremors a 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'ensenyen tres figures amb mesures efectuades davant d e 2 edificis col·lapsats i d'un edifici sense danys aparents (Fotos 8, 9, 10 i Figura 4). La tendència de les relacions espectrals (mètode de Nakamura) no sembla molt reveladora de grans amplificacions, a tenor dels primers resultats obtinguts.



Fotos 8 i 9. Dues vistes d'un edifici col·lapsat on es va efectuar una mesura de soroll sísmic (grau de dany 4-5).

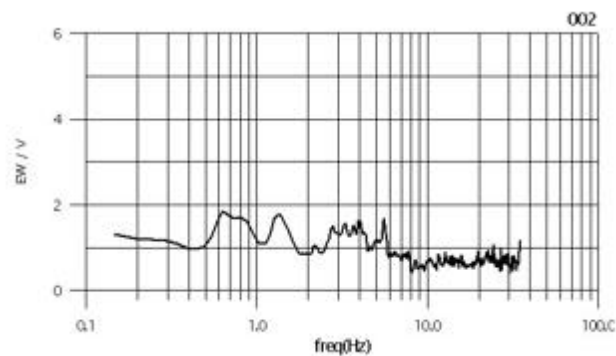


Figura 4. Gràfica de relació espectral de la mesura presa en el punt de les fotos 8 i 9.



Fotos 10 i 11. Dues vistes d'un edifici col·lapsat on es va efectuar una mesura de soroll sísmic (grau de dany 4-5).

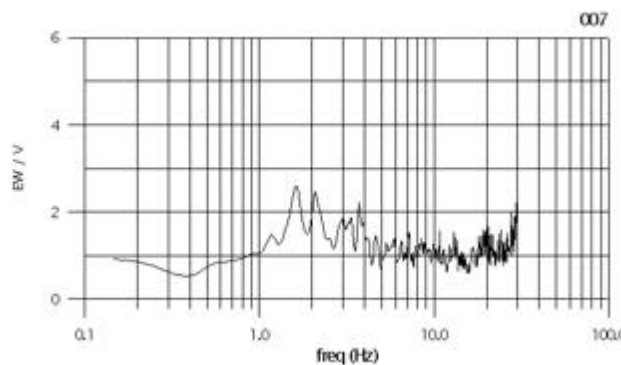


Figura 5. Gràfica de la relació espectral de la mesura presa en el punt de les fotos 10 i 11.



Fotos 12 i 13. Proves de soroll sísmic en un carrer adjacent a l'emplaçament de les fotos anteriors. Els edificis estaven en bon estat.

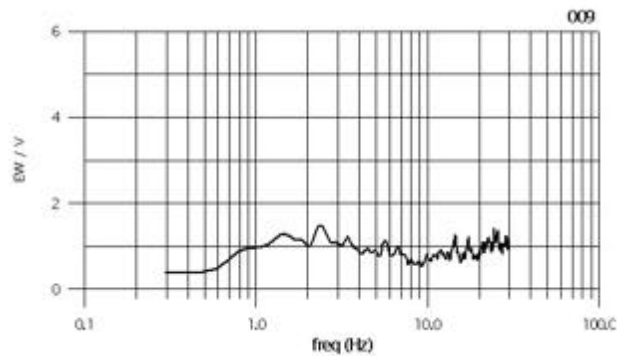


Figura 6. Gràfica de la relació espectral de la mesura presa en el punt de les fotos 12 i 13.

- **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 (Fotos 14, 15 i 16 i Figura 7). La intensitat sembla ser superior al grau VIII.



Fotos 14 i 15. Edifici amb pilar xafat. Detall dels danys.
La intensitat sembla ser superior al grau VIII.



Foto 16. Detall dels danys d'un pilar.

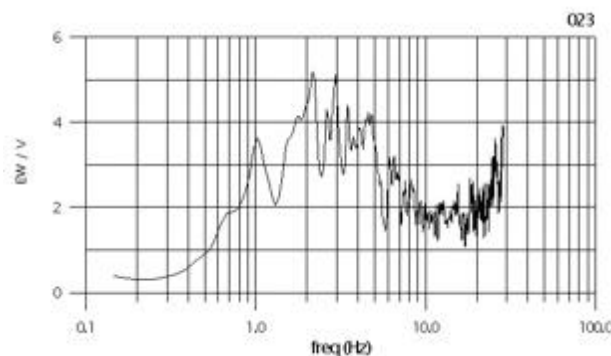


Figura 7. Gràfica de la relació espectral de la mesura presa en el punt de les fotos 14, 15 i 16.

- **Izmourenne**, és una aglomeració mig urbana, mig rural, situada en altura, fòra 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 (Fotos 17 i 18, Figura 8).



Fotos 17 i 18. Danys a la mezquita d'Izmourenne.

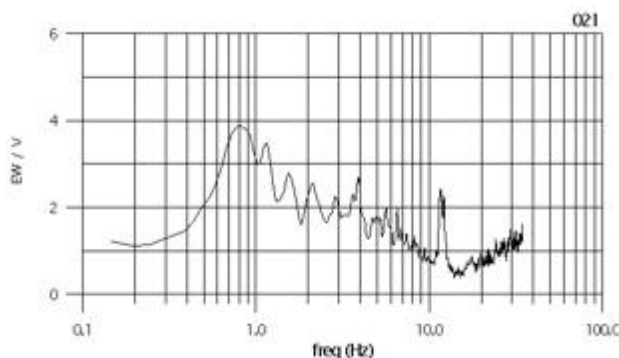


Figura 8. Gràfica de la relació espectral de la mesura presa en el punt de les fotos 17 i 18.

- **Zones rurals de AitKamra i d'Ifassayenne.** Són dos zones característiques d'una gran superfície situada a prop de la ruptura sísmica, on s'hi ha observat fissures en el terreny que poden indicar l'existència propera de la ruptura. En aquestes zones s'hi ha observat molts col·lapses de cases d'una sola planta, de construcció tradicional en pedra i en fang. Els assentaments són 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 massius i pesats. (molts danys de grau 5 en construccions de tipus A) (Fotos 19 i 20).



Fotos 19 i 20. Exemple de 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 0,20g.

- *Instal·lació de liquació de gas GPL a Izmourenne.* Es tracta d'una planta de liquació de gas per la càrrega de bombones per l'ús domèstic. Va ser l'emplaçament de l'accelerògraf (GAS). 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 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 van fer-se manualment. Hi havia certa inquietud en l'estat d'alguns edificis de maquinària, que al pas de les diferents rèpliques s'anava degradant.

ANÀLISI PRELIMINAR DE LES OBSERVACIONS REALITZADES

- Relatiu 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 fins ara ruptures de superfície, però sí, diverses fissures trobades prop de la platja del Club Méditerranée i a alguns indrets, com a Ifassayenne.

- Relatiu a l'enregistrament de fortes rèpliques:

S'han 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 de M=5.0, mostren una forta amplificació a la zona de muntanya de Izmourenne, degut a la presència de sediments quaternaris. Aquests enregistraments seran també útils per determinar amb precisió la localització de les rèpliques, conjuntament amb les dades d'altres estacions i per tant la determinació precisa de la geometria de la ruptura.

- Relatiu 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'Izmourenne. Els primers resultats de les mesures fetes a Imzouren, no mostren variacions que puguin explicar les diferències de danys observades en diferents indrets.

- *Relatiu a les anomalies constructives:*

La observació dels danys i diferents reunions realitzades amb els equips d'arquitectes de l'Agència Regional d'Urbanisme i *Architectes d'Urgence* ens porta a comentar els següents aspectes:

- l'autoconstrucció sembla ser el principal problema que cal esmentar en els danys observats, en particular, a la ciutat d'Imzouren. 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 massa cura de la qualitat de les construccions. És un problema difícil d'eliminar de manera brutal, segons la 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 prima fins i tot de 0.20 m.
- absència de reglamentació concernint el control de qualitat. Cal assenyalar per exemple, que existeix un sol laboratori d'anàlisi del formigó en la regió.
- les responsabilitats queden diluïdes en els textos legals.

CONSIDERACIONS FINALS

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

1. L'aplicació correcta de les Normes de construcció sismorresistents 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'ordenació del territori és primordial per prevenir aquests desastres. Coneguts el 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 utilitzar materials de bona qualitat en l'execució de l'obra. És 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, amplificant el moviment sísmic.
4. Queda palès que hi ha un desconeixement del fenomen sísmic per part dels arquitectes i enginyers 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 forta 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 aquestes zones, seria necessari tenir preparats els formularis per poder ràpidament elaborar una enquesta dels edificis malmesos, tant per la decisió sobre la seva habitabilitat, 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, podrien estar compostats per especialistes de diferents països i de diferents institucions per poder actuar amb rapidesa en moments de crisi.
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 i material de rescat en 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

Els autors d'aquesta nota, Xavier Goula i Marta González, volem agrair, a més de les persones i institucions que han contribuït a la realització de la visita, també a totes les persones que han ajudat a la seva realització i de manera personalitzada a:

- Sr. Jaume Miranda, Director del Institut Cartogràfic de Catalunya, per totes les facilitats ofertes per a la realització de la visita.
- Dr. Taj-Eddine CHERKAOU, del SPGM per el suport donat en el treball de camp i en particular per els mapes topogràfic i geològic 1:50000,
- Sr. Haddour HORACHE, responsable de l'Agència Regional Urbana de Taza-Al Hoceima, per les reunions de treball amb els arquitectes, sobre els treballs de camp realitzats per ells i la ONG *Architectes d'Urgence*,
- Sr. Mohammed TEMSAMANI de l'empresa Salam Gaz, i al responsable del Club Méditerranée d'Ajdir per les facilitats donades per al bon funcionament dels accelerògrafs a les seves instal·lacions,
- Drs. Stéphane Baize i Marc Cushing de l'IRSN (França), al Dr. Philippe Combes de GEOTER i Dr. Jean Luc Morel, per les informacions sobre la geologia i tectònica del Rif.
- Dr. Omar Ben Brahim del CNRM, per les informacions sobre l'epicentre i les observacions de camp,
- Dr. A. Roca, cap de la unitat de Geologia de l'ICC i Dra. M. Masses, cap del CRECIT, per el suport donat per a la realització de la visita.
- Dra. Teresa Susagna de l'ICC, per el suport i ràpid procés dels enregistraments obtinguts,
- Sr. Jorge Fleta, per l'ajut a la realització de la web i traducció del text en castellà,
- Sr. Vicens Palà, per les facilitats en l'obtenció de les imatges satèl·lit,
- Sra. Janira Irizarry, per la revisió i traducció del text en anglès.
- Sra. Natàlia Gallego per la versió del text en francès.