

Avaluació de la potencialitat sísmica del Pirineu oriental

Primers resultats de les campanyes GPS PotSis'92 i PotSis'94

Xavier Goula i Suriñach¹
Julià Talaya i López¹
Assumpció Térmens i Perarnau¹
Ismael Colomina i Fosch¹
Jorge Fleta Pastor¹
Bertrand Grellet²
Thérèse Granier³

1 Institut Cartogràfic de Catalunya

2 GEOTER

3 Institut de Protection et de Sûreté
Nucléaire/CEA

Introducció

Tot i que la sismicitat actual del Pirineu oriental és moderada, una crisi sísmica destructora va tenir lloc a l'edat mitjana (anys 1427-1428), que sembla indicar que períodes d'activitat sísmica baixa són interromputs per terratrèmols destructors, amb períodes de retorn probablement llargs. De fet, la informació històrica no és suficient per donar una estimació de la durada d'aquest període, i cal recórrer a d'altres estudis per determinar la distribució i la importància de les deformacions tectòniques actuals que són l'origen dels terratrèmols. Per dur a terme aquests estudis es va crear el grup de treball interdisciplinari PotSis¹. En aquest article es fa un repàs dels resultats més importants obtinguts fins ara i presentats en diferents fòrums [1-8]. En particular, es presenten els primers resultats de les mesures de la xarxa de 24 punts fixos (pilars) construïts del costat francès i espanyol, que cobreixen una superfície d'uns 5 000 km². Les primeres mesures, amb receptors GPS (*Global Positioning System*) d'alta precisió, han estat realitzades els anys 1992 i 1994 per tenir una base de referència i poder comparar amb mesures futures que, probablement, per tal de tenir resultats significatius, caldrà repetir periòdicament en un termini de deu a vint anys.

Deformacions tectòniques actuals

L'estudi de la repartició de les deformacions tectòniques actuals, originades pel camp regional d'esforços, és molt important per investigar quines són les zones més probables de futurs terratrèmols destructors i quins són els seus períodes de retorn. L'anàlisi de les dades de sismicitat

històrica i instrumental, juntament amb l'estudi de les deformacions (plecs i falles) que hagin afectat formacions geològiques recents (plioquaternàries), permeten fer una primera aproximació qualitativa de la repartició de les deformacions tectòniques recents.

Sismicitat històrica

Les dades de sismicitat històrica són fonamentals per a l'estudi de la potencialitat sísmica, ja que informen de l'existència de terratrèmols importants i de les zones més afectades que estan en relació amb la zona epicentral dels terratrèmols. Una limitació important d'aquestes dades és causada pel fet que el període d'informació, en el millor dels casos de l'ordre de mil anys, és insuficient per a l'estudi de terratrèmols amb períodes de retorn més llargs. L'estimació de la freqüència d'ocurrència de terratrèmols importants, únicament a partir de l'extrapolació de dades històriques, és molt imprecisa. La regió del Pirineu oriental és un bon exemple d'aquest problema. En efecte, un gran nombre de documents medievals han permès conèixer amb gran precisió la crisi destructora dels anys 1427-1428 [9]. Investigacions recents [1] han permès separar els efectes produïts pels diferents sismes de la crisi: hi hagué dos terratrèmols que van causar danys l'any 1427, un el 15 de març i un altre el 15 de maig. La zona de màxims danys es va situar a l'eix Amer-Olot (*figura 1*). Un altre sisme, el més important, va tenir lloc el 2 de febrer de 1428 i va ser percebut en una àmplia regió, des del Pirineu fins a Barcelona. La *figura 1* mostra la zona de danys màxims segons l'estudi de FONTSERÈ I IGLÉSIES (1971) [9].

Nota:

1. El grup de treball PotSis es va constituir l'any 1991, sota l'impuls del Servei Geològic de Catalunya, per a l'avaluació de la potencialitat sísmica del Pirineu oriental a partir d'estudis interdisciplinaris de sismicitat, neotectònica i mesures geodèsiques. És integrat pels membres i entitats següents: X. Goula (coordinador), J. Fleta, C. Olivera, T. Susagna, A. Roca i J. Escuer (Servei Geològic de Catalunya, ICC); B. Grellet i D. Carbon (Societat GEOTER, Montpellier); I. Colomina, A. Térmens, J. Talaya, M. À. Ortiz i M. Soro (Servei de Geodèsia, ICC); C. Michel i E. Doerflinger (Societat GEOID, Montpellier); M. Cushing i Th. Granier (Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, París); K. Feigl, A. Souriau i L. Martel (Observatoire Midi-Pyrénées, Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale, Tolosa); H. Philip (Université Scientifique et Technique du Languedoc, Montpellier), i E. Suriñach (Universitat de Barcelona).

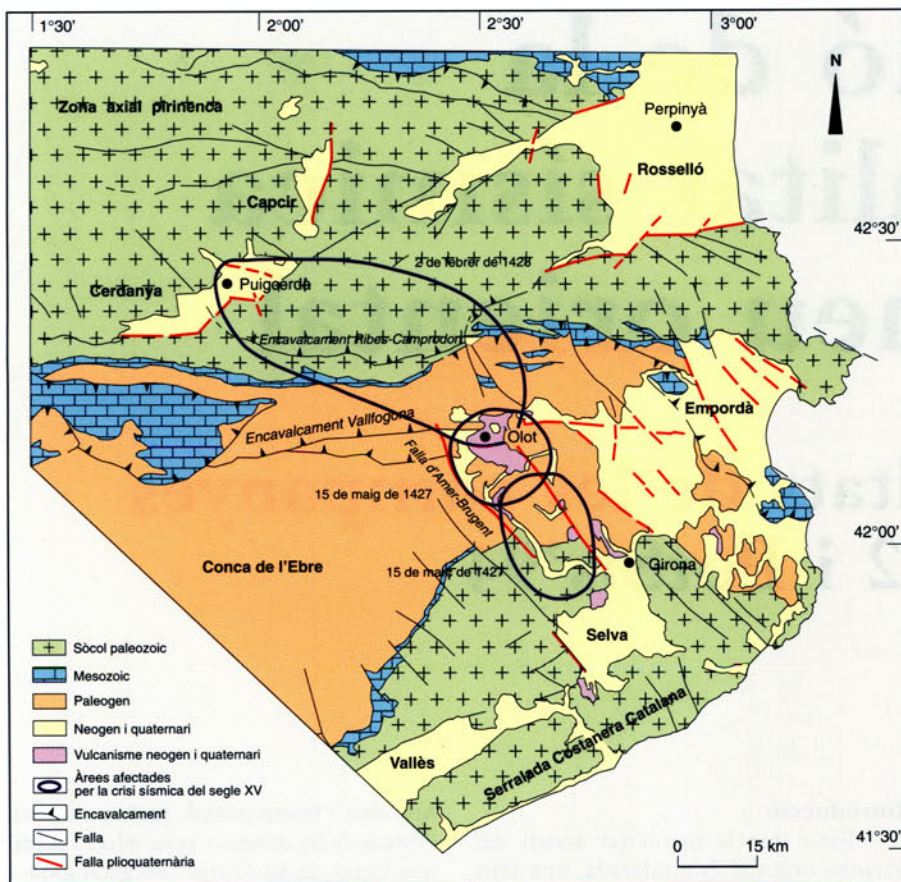


Figura 1. Zones de màxims danys corresponents a la crisi sísmica de 1427-1428, sobreimposades a un esquema geològic del Pirineu oriental

(Font: Servei Geològic de Catalunya, 1992)

Els resultats de la investigació actual permetran obtenir una definició més precisa de l'àrea epicentral. Posteriorment a aquesta crisi, la zona no ha patit cap altre terratrèmol destructor. No es té, tampoc, cap

informació de possibles terratrèmols anteriors. A partir d'aquestes dades no és possible determinar el període de retorn de sísmes destructors.

Sismicitat instrumental

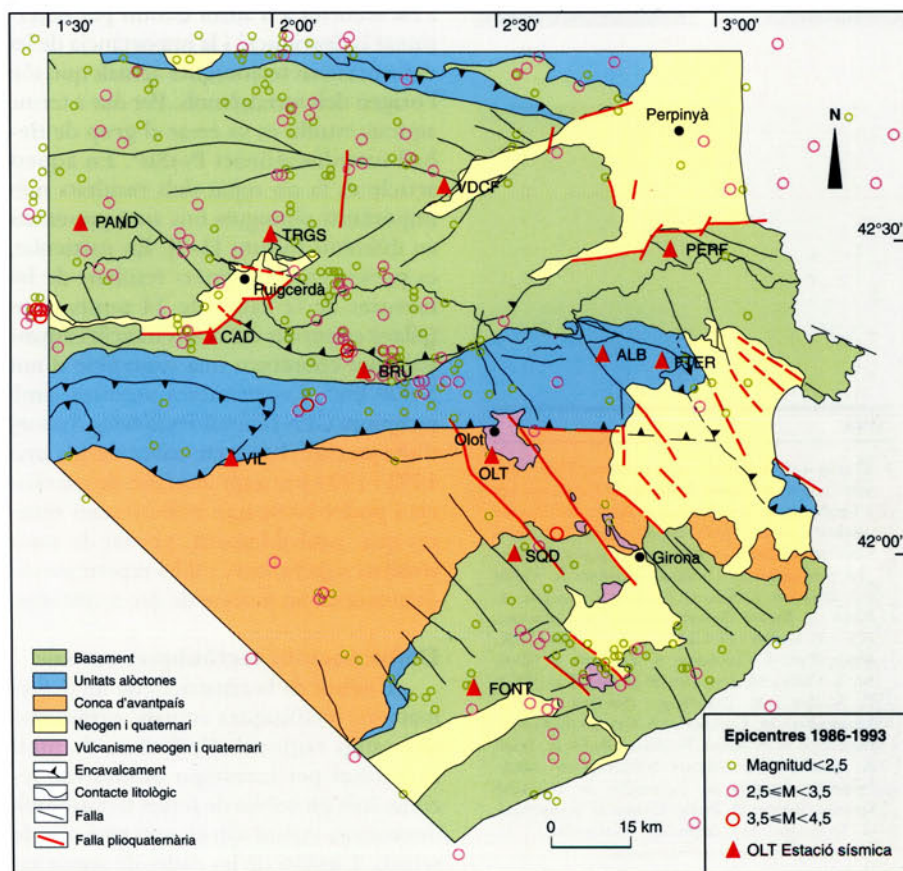
Es disposa d'informació sísmica basada en enregistraments de sismògrafs des del començament del segle i, en el Pirineu oriental, de manera molt imprecisa, fins als anys setanta. El desenvolupament recent de la xarxa sísmica de Catalunya, dut a terme pel Servei Geològic de Catalunya, i en particular de la xarxa sísmica del Pirineu oriental, en col·laboració amb l'Observatoire Midi-Pyrénées de Tolosa, ha permès detectar i localitzar sísmes², fins i tot de petita magnitud, que defineixen amb precisió les zones de fragilitat actual. La repartició d'epicentres corresponents al període 1986-1993 (figura 2) mostra una concentració més important d'esdeveniments sísmics de petita magnitud a les dues extremitats del sistema de falles de direcció NO-SE —sistema en el qual es concentren les zones de danys dels dos sísmes de 1427— i molt escassa activitat en aquestes falles. A partir d'aquestes observacions, veiem que és molt difícil, fins i tot si es disposa de dades molt fiables de sismicitat instrumental, diferenciar les zones potencialment sísmiques de les que no ho són, ja que zones que han patit terratrèmols destructors en el passat poden mostrar acti-

Nota:

2. Les localitzacions dels sísmes es publiquen anualment des de 1984 per la Generalitat de Catalunya al *Butlletí Sismològic* anual. La sismicitat del Pirineu apareix a més publicada anualment des de 1989 en un butlletí fet conjuntament pel Servei Geològic de Catalunya i l'Observatoire Midi-Pyrénées de Tolosa: *Seismic Activity in the Pyrenees*.

Figura 2. Sismicitat instrumental (1986-1993)

(Font: Servei Geològic de Catalunya, 1992)



vitat molt feble temporalment; i, viceversa, no es pot excloure que sismes de forta magnitud puguin tenir lloc en zones de feble activitat actual.

Deformacions en sediments d'edat plioquaternària

Estudis de camp realitzats recentment [2, 3, 7] han permès analitzar nombrosos indicis de deformació recent (que afecten formacions d'edat postmiocènica), d'una part i de l'altra de l'eix de la serralada (figura 3). Totes aquestes observacions suggereixen la presència de falles amb activitat recent, susceptibles de poder concentrar actualment les deformacions tectòniques regionals. Resumim a continuació el conjunt d'aquestes observacions.

– Al vessant sud del Pirineu:

- Al llarg del riu Fluvià al límit occidental de l'Empordà (cubeta neògena Tortellà-Besalú), sector caracteritzat per la presència d'un vulcanisme alcalí quaternari, amb les darreres manifestacions que daten de menys de deu mil anys, i per la presència de l'encavalcament de Vallfogona, que és el més extern del Pirineu, s'han estudiat tres indicis (1, 2 i 3 a la figura 3). L'anàlisi d'aquestes deformacions indica l'existència de diferents falles inverses plioquaternàries de direcció N090 a N130, amb eixos de compressió màxima de direcció N-S a NE-SO. Recentment, s'ha trobat restes d'un vertebrat fallats del plistocè inferior, que indica una deformació destra, compatible amb el règim de compressió esmentat (foto 1). Cal assenyal·lar que els dos indicis al nord de l'encavalcament de Vallfogona estan situats sobre sèries potents de guixos d'edat eocena. La seva presència pot engendrar deformacions en les sèries superiors, que fa difícil saber quina part de les deformacions observades és causada per la tectònica.
- A la fossa de l'Empordà, individualitzada durant el miocè amb el joc de

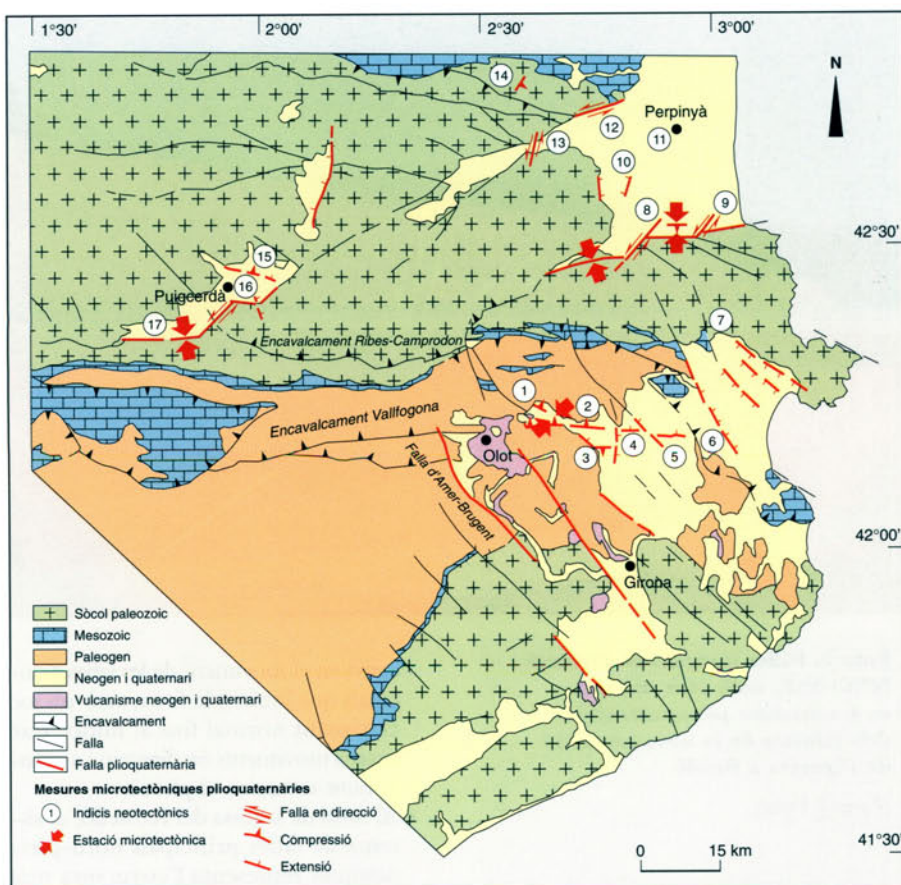


Figura 3. Principals indicis de deformació plioquaternària

(Font: Servei Geològic de Catalunya i GEOTER, 1992)

les grans falles NO-SE de Figueres i Roses, nombrosos indicis mostren que l'activitat va continuar en el pliocè i quaternari inferior. L'anàlisi de quatre indicis (4, 5, 6 i 7 a la figura 3) mostra la presència de falles normals de direcció aproximada NO-SE amb salts de falla mètrics en formacions plioquaternàries, que indiquen moviments distensius en la direcció ortogonal (foto 2).

– Al vessant nord del Pirineu:

- A la fossa del Rosselló, limitada al nord i al sud per dos sistemes importants de falles, s'han analitzat sis indicis (8-13 a la figura 3) que mostren la presència de petites falles normals de direcció aproximada N-S, així com també un



Foto 1. Falla destra de direcció N-S que afecta les restes d'un vertebrat del pliocè superior-plistocè mitjà. Aquestes restes corresponen a un fòssil d'estephanorhinus eustrucius trobat en les excavacions d'Incarcal dins de la cubeta lacustre de Banyoles-Besalú dirigides per X. Ros i A. Galobart de l'Institut Paleontològic, de Sabadell

(Font: J. Fleta)



Foto 2. Falles normals de direcció NNO-SSE, amb salts mètrics, en formacions plioquaternàries dels talussos de la nova carretera de Figueres a Besalú

(Font: J. Fleta)

canvi en el moviment de les falles principals que limiten la fossa, amb un joc clarament normal fins al miocè que passa a moviments en direcció i a component invers en el pliocè.

- Al nord de la fossa del Rosselló, el sistema de falles principals nord-pirinenques representa l'estructura més important del vessant nord. En el massís de l'Agly s'ha posat en evidència una falla inversa que fa encavalcar roques metamòrfiques del sòcol hercinià sobre col·luvions quaternaris amb diferents nivells de paleosòls i bretxes (indici 14 a la figura 3, mostrat a la foto 3).

- A la Cerdanya s'han analitzat tres indicis de moviments recents (15-17 a la figura 3). En el límit sud de la fossa, al llarg de la falla E-O, amb una morfologia clara de falla normal, causada per la distensió durant el miocè, s'han trobat còdols estriats i trencats en el pla de falla que indiquen una remobilització en el pliocè amb moviment invers (foto 4). L'anàlisi de les microestructures indica una represa en compressió d'aquests accidents posteriorment al rebliment neogen de la fossa.

Totes aquestes observacions realitzades en formacions d'edat postmiocènica són compatibles amb un règim d'esforços regional caracteritzat per una compressió de direcció aproximada N-S, que donaria lloc a les múltiples observacions de moviments compressius, acompanyada d'una extensió de direcció E-O, responsable de les estructures distensives.

Utilització de mesures GPS per a l'estudi de moviments de l'escorça

La velocitat mitjana de convergència entre les plaques d'Europa i d'Àfrica és, aproximadament, d'1 cm/any a la part occidental de la Mediterrània [10]. Una part d'aquesta deformació correspon al moviment entre els blocs europeu i ibèric a nivell del Pirineu. Aquest valor, de l'ordre d'uns mil·límetres per any, pot distribuir-se de manera més o menys uni-



Foto 3. Falla inversa d'edat plioquaternària que posa en contacte gneis paleozoics i dipòsits quaternaris en el massís de l'Agly, a França

(Font: B. Grellet)

forme en els 100 km d'amplada de la serralada de nord a sud. Això equival, en mitjana, a un moviment de l'ordre d'unes dècimes de mil·límetre per any entre dos punts separats per 10 km de distància. Ara bé, tant la sismicitat com les dades de neotectònica indiquen que la deformació no es reparteix de manera uniforme i que existeixen zones on es concentra de tal manera que es pot esperar trobar valors més elevats, de l'ordre d'1 mm/any/10 km. Aquestes zones corresponen als sistemes de falles, susceptibles de ser reactivades sota l'estat d'esforços actual. La deformació s'està concentrant entorn de les zones de ruptura probable, on l'energia es dispararà en forma de terratrèmols futurs.

El coneixement de les deformacions actuals, com hem vist, és incomplet, i cal tenir en compte, a més, que la sismicitat és la manifestació només d'una part de les deformacions tectòniques. Per poder quantificar la distribució de les deformacions actuals és necessari l'ús de tècniques geodèsiques. La mesura de moviments corticals en regions de molta activitat tectònica es realitza de manera creixent amb tècniques de posicionament molt precises, com són les proporcionades pels satèl·lits GPS³. Per a regions amb deformacions moderades, cal extremar la cura en tots els processos que intervenen en les mesures, des de la construcció dels punts fixos de mesura fins a les mateixes mesures. Cal, a més, reiterar les mesures durant el període de temps necessari per tal que les deformacions de la xarxa siguin significatives respecte als errors intrínsecs de mesura.

Pel que fa a les deformacions verticals, les tècniques convencionals, tals com l'anivellament de precisió, poden ser més precises, en particular per a estudis a escala regional o local⁴.

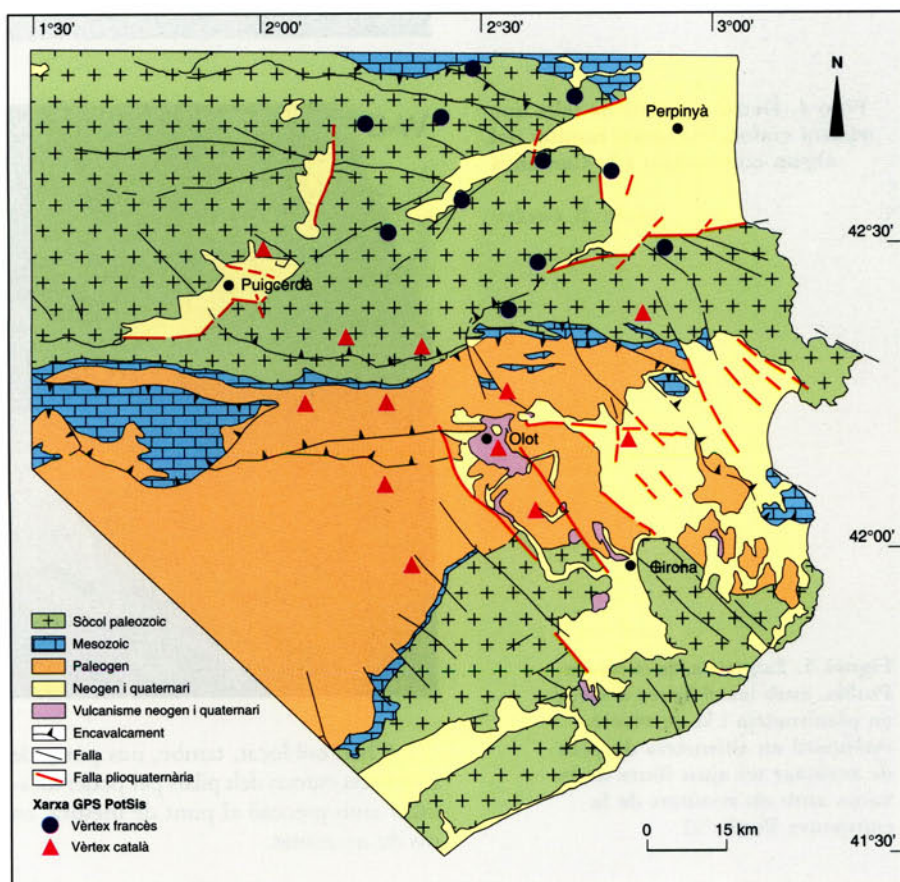
Xarxa GPS del Pirineu oriental

Per tal de mesurar les deformacions horitzontals actuals en el Pirineu oriental, s'ha establert una xarxa de 24 punts fixos, materialitzats per pilars de ciment armat, que cobreix una superfície de 80 km x 100 km dels dos costats de la frontera francoespanyola (figura 4). La distància mitjana entre dos punts contigus és de 17 km i la diferència màxima d'altitud entre dos punts veïns és de 850 m. La diferència màxima d'altitud és de 1 280 m.

Selecció d'emplaçaments

La situació dels emplaçaments, indicada a la figura 4, ha estat escollida entre tots els membres del grup PotSis^{1,5}, seguint els criteris següents:

- tectònics: els punts se situen al voltant de les falles que presenten indicis d'activitat recent,



- geodèsics: un cop seleccionades les zones amb el criteri anterior, es va tenir en compte la millor geometria de xarxa i així tenir la millor precisió i fiabilitat en l'anàlisi de les dades,
- geologia de l'assentament: tots els punts estan situats sobre substracte rocós dur i estable,
- accessibilitat fàcil amb automòbil,
- condicions d'observació GPS: bona visibilitat 15° per sobre de l'horitzó, en totes direccions, i
- aspectes de seguretat: els habitants i les administracions locals, informats del projecte, l'han acollit amb interès.

Concepció dels pilars

S'ha tingut gran cura en el disseny i construcció dels pilars, ja que han de permetre la instal·lació ràpida i amb gran precisió de l'antena GPS en el moment de la mesura, i, sobretot, una gran estabilitat al llarg del temps, si es té en compte que les mesures han de ser reiterades al llarg d'un període de deu a vint anys. Per això, els pilars s'han fet de formigó amb armadures de ferro ancorat sobre substracte rocós. Tenen 1,60 m d'alçada, per tal d'assegurar al màxim la visibilitat. A la foto 5 es presenta un exemple del seu procés de construcció.

Per a la fixació de les antenes receptors, en els pilars francesos se'ls adapta una base estàndard d'alumini, amb tres ranures i un forat. Els pilars catalans porten encastrats un cargol anivellat en el qual s'adapta l'antena, gràcies a una peça metàl·lica ben calibrada.

Figura 4. Emplaçaments de la xarxa de mesures GPS, projecte PotSis

(Font: Grup de treball PotSis, 1992)

Notes:

- Una síntesi de l'ús de tècniques geodèsiques per a l'estudi de les deformacions corticals es pot trobar a LISOWSKI, M. 1991. "Recent plate motions and crustal deformation", a US National Report 1987-1990. XX General Assembly of the IUGG. Viena.
- Un exemple d'utilització de mesures d'anivellament de precisió per a l'estudi de moviments verticals es presenta en aquest número de la revista TERRA.
- Una descripció detallada dels emplaçaments dels punts de mesura dels dos costats de la frontera es pot trobar en els dos documents següents: FLETA, J. i SORO, M. 1992. Descripció dels emplaçaments per a observacions GPS del Pirineu Oriental. Informe del Servei Geològic de Catalunya, núm. GS02492, 29 pàg. i GRELLET, B. i MICHEL, C. 1992. "Définition d'un réseau de référence pour les mesures GPS a travers les Pyrénées Orientales: carte des sites de monumentation", a Rapport GEOTER-GEOD, 43 pàg.

Foto 4. Detall d'un pla de falla que mostra còdols fracturats resultat del règim compressiu a la Cerdanya

(Font: B. Grellet)

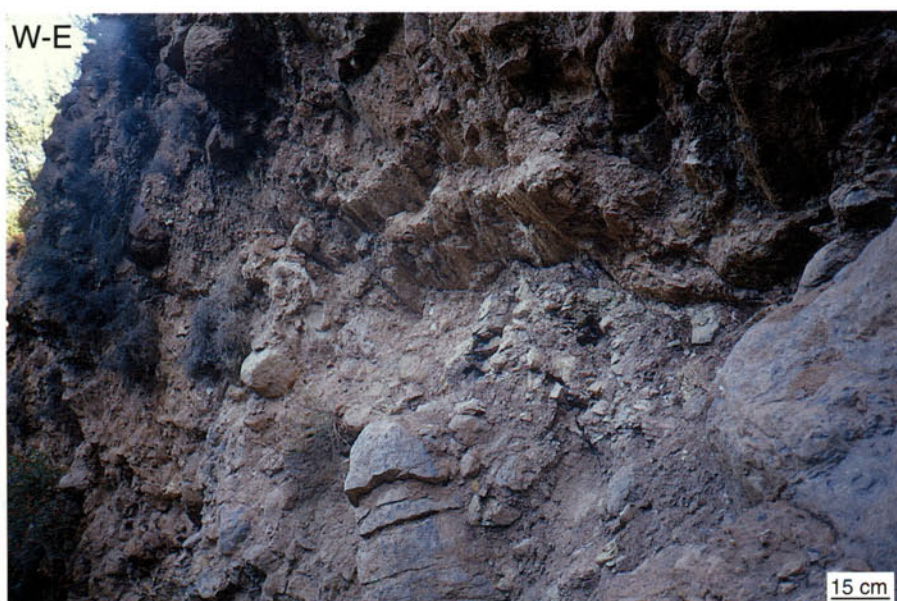
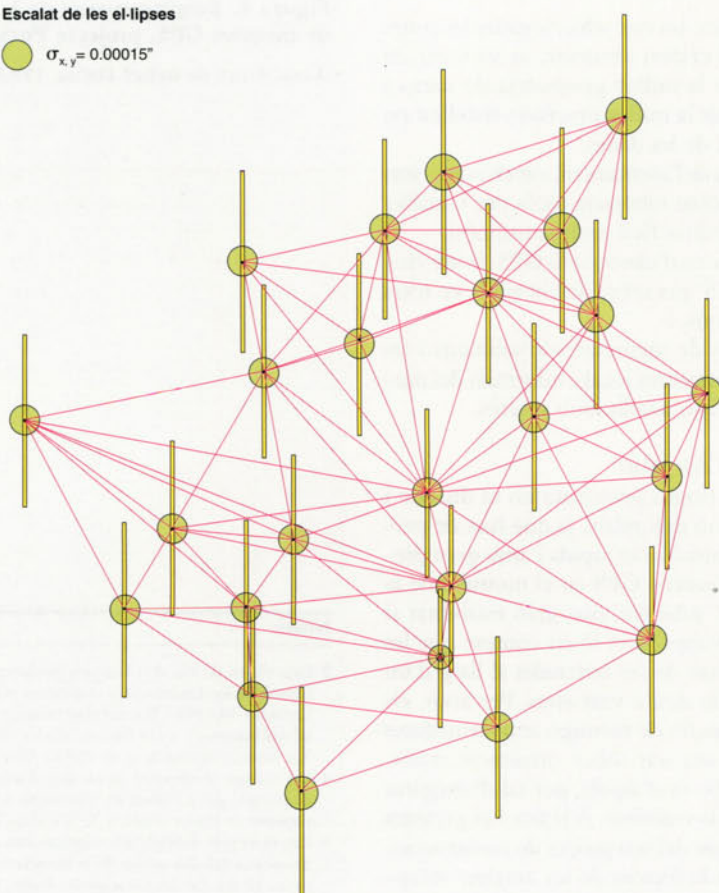


Figura 5. Esquema de la xarxa PotSis, amb les el·lipses d'error en planimetria i la desviació estàndard en altimetria després de realitzar un ajust lliure de la xarxa amb els resultats de la campanya PotSis'92

Escalat de les el·lipses

$\sigma_{x,y} = 0.00015''$



Paràmetres	#	Escala (e)
punt (l, p, h)	24	0.450E+06

Observacions	#	Escala (v)
Diferència de coordenada	105	15 000.0
Dàtum (control) punt	1	15 000.0

Network & Epoch
PotSis'92-1
Institut Cartogràfic de Catalunya
Servei de Geodèsia
d = 5 740,5 m
0 1 2 3 d

S'han col·locat, també, uns punts de referència entorn dels pilars per poder localitzar amb precisió el punt de mesura, en cas de necessitat.

Campanyes de mesures GPS: PotSis'92 i PotSis'94

La tercera setmana de juliol de 1992 es va dur a terme la campanya d'observacions GPS PotSis'92, al mateix temps que tenia lloc un experiment mundial per a la determinació d'òrbites de precisió de l'Associació Internacional de Geodèsia. En la campanya es van utilitzar deu receptors GPS de doble freqüència, pertanyents a diferents centres:

- quatre Trimble Geodesist P, amb còdi P (Institut Cartogràfic de Catalunya -ICC-),
- tres Ashtech P-12, amb còdi P (Électricité de France), i
- tres Ashtech (Institut National des Sciences de l'Univers).

Les mesures van ser realitzades per deu equips durant cinc sessions de 17,5 hores cada una, de manera que es van obtenir observacions GPS dels 24 vèrtexs de la xarxa. En total es van generar cinquanta fitxers traduïts a RINEX, emmagatzemats i distribuïts per l'ICC juntament amb els quaderns de camp dels equips d'operadors.

El procés de les dades GPS es va realitzar en paral·lel per diferents organismes. Els resultats obtinguts pel Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale [11], amb el càlcul global (GAMIT) de les deu estacions mesurades diàriament, mostren una repetibilitat de les bases mesurades diverses vegades amb la precisió següent:

$$\begin{aligned} \text{RMS}_N &= 6 \text{ mm}; \text{RMS}_E = 10 \text{ mm}; \\ \text{RMS}_Z &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

La societat GEOÏD va realitzar càlculs parcials de la xarxa. El Servei de Geodèsia de Catalunya de l'ICC, en col·laboració amb l'Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen de la Universitat



de Stuttgart, va realitzar la reducció de dades en dues etapes. En la primera es van processar les observacions GPS de les quals es van obtenir línies de base entre els diferents vèrtexs de la xarxa; i en la segona etapa es va ajustar la xarxa a partir de les línies de base calculades en l'etapa anterior. Les dades obtingudes amb els receptors Trimble es van processar de manera independent de les procedents de receptors Ashtech, per tal de facilitar la cancel·lació de petits errors sistemàtics dels equips (per exemple, l'*offset* o desviació entre el centre de fase i el centre físic de l'antena). En el càlcul es van utilitzar òrbites de precisió subministrades per l'International GPS Geodynamics Service [IGS] de l'Associació Internacional de Geodèsia. Es van utilitzar les dues freqüències per compensar els retards ionosfèrics a partir de l'estimació dels coeficients d'una sèrie de Taylor de la densitat d'electrons d'un model de capa única. Els retards troposfèrics han estat estimats usant el model de Saastamoinen, amb estimació de retards de zenit per a cada estació. També s'han utilitzat en el càlcul els paràmetres de rotació de la Terra calculats per l'IGS. En la majoria dels casos el nombre sencer d'ambigüetats de cicles es pot determinar correctament.

Un cop processades les observacions GPS, es van obtenir 105 línies de base entre vèrtexs de la xarxa. A partir d'aquestes dades es va fer un ajust per mínims quadrats de tota la xarxa PotSis utilitzant el programari GeoTeX [12]. A la figura 5 es presenta un esquema de la xarxa amb les el·lipses d'error—en planimetria—i les desviacions estàndard—en altimetria—després d'haver realitzat un ajust lliure de la xarxa. Les el·lipses d'error donen valors similars —5 mm de valor mitjà de desviació estàndard—, i, per la vertical, 29 mm, de mitjana (figura 5). Es pot concloure que tant el disseny de la xarxa com la planificació de les observacions han estat correctes.



Foto 5. Procés de construcció dels pilars de formigó. Exemple del senyal de Gombren, Ripollès

- i) Col·locació de l'encofrat envoltant la superfície neta de la roca estable amb cinc forats amb doble barra de ferro de 90 cm de fondària.
- ii) Superposició de barres entrecruades i formigó, amb l'últim nivell agafant la base de la torreta.
- iii) Col·locació del cilindre de formigó prefabricat dins la torreta i posterior farciment de l'interior. Col·locació d'un tub al zenit del pilar per a la fixació d'una rosca de centratge. Allisament i aplanament del formigó del senyal.
- iv) Col·locació dels senyals de suport amb resina "epoxi" per a la possible reconstrucció del senyal. Fixeu-vos en la rosca de centratge localitzada a la part superior del pilar que facilitarà el posicionament de l'antena.

(Font: J. Fleta)

Pel que fa a la campanya PotSis'94, les observacions durant l'estiu de 1994 es van dur a terme de manera anàloga a la campanya de 1992, amb cinc sessions de 17,5 hores cada una. Es van utilitzar quatre Trimble SSE, tres Ashtech Z-12 i tres Ashtech L-XII.

El procés de les dades s'està duent a terme per diverses institucions amb diferents programaris.

Conclusions

S'ha presentat una síntesi dels resultats més importants obtinguts pel grup de treball PotSis' per tal de determinar la repartició de les deformacions tectòniques actuals en el Pirineu oriental, les quals són l'origen dels terratrèmols. Hem vist com els estudis de la sismicitat, tant històrica com recent, posen de manifest l'existència en el passat de sismes destructors i un període actual caracteritzat per una sismicitat moderada o feble. Per tal de conèixer el lloc de futurs terratrèmols i el seu període de recurrència, cal determinar les zones on es concentren les deformacions i a quin ritme. Els estudis de camp d'indicis de deformacions en terrenys d'edat geològica recent han

permès reconèixer quines són les zones amb activitat tectònica més acusada en les èpoques geològiques més recents, i per tant, els llocs de possibles futurs terratrèmols. Per determinar, però, de manera quantitativa, el ritme de la deformació actual, només l'ús de tècniques geodèsiques en pot permetre fer una aproximació. És per això que s'ha construït, d'una part i de l'altra del Pirineu oriental, una xarxa de punts fixos, materialitzada amb uns pilars de formigó, la qual ha estat mesurada en sengles campanyes els anys 1992 i 1994 amb receptors GPS de precisió. Els primers resultats d'aquestes mesures són esperançadors, en el sentit que l'ajust de la xarxa ha permès obtenir les coordenades dels vèrtexs, amb una precisió mitjana de 5 mm en planimetria, resultats molt semblants als obtinguts per un altre mètode de càlcul [11]. Aquestes precisions s'aproximen als valors esperats per a aquests tipus de xarxes, i, per tant, podem esperar que les mesures repetides en el futur permetin detectar les deformacions tectòniques horitzontals actuals i, en conseqüència, el període de retorn de possibles terratrèmols destructors en el Pirineu oriental.

Bibliografia

- [1] OLIVERA, C., RIERA, A., MARTÍNEZ, B. i ROCA, A. 1994. "Revision of the 1427 earthquakes in the Eastern Pyrenees: Delimitation of the epicentral area and intensity assessment for the March, 15 and May, 15 events", a STUCCCHI, M. (ed.): "Historical investigation of European Earthquakes. Materials of the ECE project", a *Review of historical seismicity in Europe (RHISE)*, volum 2, pàg. 169-180. CNR. Milà.
- [2] FLETA, J. i ESCUER, J. 1991. *Estudi de les deformacions tectòniques recents a Catalunya per a l'avaluació de la perillositat sísmica. Primers resultats*. Informe del Servei Geològic de Catalunya, núm. GS01691, 53 pàg. Barcelona.
- [3] PHILIP, H., BOUSQUET, J. C., ESCUER, J., FLETA, J., GOULA, X. i GRELLET, B. 1992. "Présence de failles inverses d'âge quaternaire dans l'Est des Pyrénées: implications sismotectoniques", a *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, tom 314, II, pàg. 1239-1245. París.
- [4] GOULA, X., COLOMINA, I., FLETA, J., GRELLET, B., MICHEL, C., PHILIP, H., SOURAU, A. i GRANIER, TH. 1992. *Project of a GPS network for the evaluation of seismic potentiality in the Eastern Pyrenees*, pàg. 95-104. Jornada tècnica: Desarrollo y aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global GPS. Sociedad Española de Cartografía, Fotogrametría y Teledetección. Barcelona, 5 de juny de 1992.
- [5] GOULA, X. i ROCA, A. 1992. "Evaluación del riesgo sísmico en Cataluña: Actividades del Servei Geològic", a *I Congreso iberoamericano sobre técnicas aplicadas a la gestión de emergencias para la reducción de desastres naturales*, pàg. 291-302. València, desembre de 1992.
- [6] GRELLET, B., MIO, O., CARBON, D., COLOMINA, I., CUSHING, M., FLETA, J., GOULA, X., GRANIER, TH., MICHEL, C. i SOURIAU, A. 1993. "Étude des déformations actuelles en relation avec l'activité sismique des failles- Réseau GPS (Global Positioning System) dans l'Est des Pyrénées", a 3ème. *Colloque National de Génie Parasismique*, pàg. ST1-ST10.
- [7] GRELLET, B., PHILIP, H., BOUSQUET, J.C., FLETA, J., ESCUER, J., GOULA, X. i GRANIER TH. 1994. "Inversion de régime tectonique dans les Pyrénées Orientales depuis le Pliocène", a *Colloque Geoprospective*, pàg. 99-100. UNESCO. París.
- [8] GOULA, X., TALAYA, J., TÉRMENS, A., COLOMINA, I., FLETA, J. i SALER, H. 1995. "Evaluación de la potencialidad sísmica del Pirineo oriental. Estudios de Sismicidad, Neotectónica y Geodesia: Primeros resultados de las campañas GPS PotSis'92 y PotSis'94", a *II Semana Geomática de Barcelona. Jornadas de Topografía, Fotogrametría, Geodesia y Cartografía*, pàg. 138-145.
- [9] FONTSERÈ, E. i IGLÉSIES, J. 1971. *Recopilació de dades sísmiques de les terres catalanes entre 1100 i 1906*, 546 pàg. Fundació Vives i Casajuana. Barcelona.
- [10] DE METS, C., GORDON, R.G., ARGUS, D.F. i STEIN, S. 1990. "Current plate motion", a *Geophysical Journal Earth Interior*, volum 101, pàg. 425-478.
- [11] OBERLÉ, N. 1993. *Analyse des données GPS pour l'estimation des déformations tectoniques actuelles dans l'Est des Pyrénées: étude de faisabilité*, 68 pàg. Diploma d'enginyer de l'École de Physique du Globe, Université Louis Pasteur. Strasbourg.
- [12] COLOMINA, I., NAVARRO, J. i TÉRMENS, A. 1992. "GeoTeX: a general point determination system", a *International Archives of Photogrammetry*, volum 29, com. III, pàg. 656-664.