

Programme opérationnel Interreg IVA France-Espagne-Andorre 2007 – 2013



SISPYR

Sistema de Información Sísmica del Pirineo Système d'Information Sismique des Pyrénées Sistema d'Informació Sísmica dels Pirineus

Enrichissement du réseau d'observation sismique des Pyrénées en temps-réel

Action 1.1

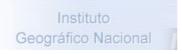














Contributeur principal : OMP 2013-04-15





Auteurs : Matthieu Sylvander (2), Agathe Roullé (5), Carme Olivera (1), Emilio Carreño (4).

Mots-clés:

Station sismologique, réseau d'observation, partage de données, transmission tempsréel, accéléromètre, vélocimètre, Pyrénées, France, Espagne, Andorre, SISPyr

- 1. IGC, Intitut Geològic de Catalunya
- 2. OMP, Université Paul Sabatier, Observatoire Midi-Pyrénées
- 3. UPC, Universitat Politècnica de Catalunya
- 4. IGN, Instituto Geografico Nacional
- 5. BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières
- 6. GEOCAT
- 7. CSIC-IJA, Consejo Superior de Investigaciones Científicas Institut de Ciènces de la Terra Jaume Almera
- © 2013 SISPYR project





Table des matières

<u>Introduction</u>	p.4
I Historique de la surveillance sismique des Pyrénées	p.6
I.1 Avant 1985	p. 6
I.2 De 1985 à 1996	p. 8
I.3 De 1997 à 2008	p. 10
I.3.1 Réseaux vélocimétriques	p. 10
I.3.2 Réseaux accélérométriques	p. 12
1.3.3 Bilan avant SISPyr	p. 12
II Enrichissement du réseau vélocimétrique large-bande	p. 14
II.1 Espagne	p. 14
II.1.1 Stations installées par l'IGC	p. 14
II.1.2 Stations installées par l'IGN	p. 15
II.2 France	p. 16
III Mise à niveau du réseau accélerométrique	p. 18
II.1 Espagne	p. 18
II.2 France	p. 18
III Conclusions : état du réseau d'observation sismique temps-réel au terme du	projet p. 20
<u>Références</u>	p. 22
<u>Liste des figures</u>	p. 23
<u>Annexes</u>	p. 24





Introduction

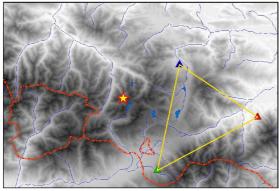
Un millier de séismes sont enregistrés et localisés dans les Pyrénées chaque année, dont 90% se produisent à moins de 50 km de la frontière franco-espagnole. Les effets d'un fort séisme se feront par conséquent sentir des deux côtés de la frontière, comme ce fut par exemple le cas en 1428 (Camprodon, Ripollès) ou 1923 (Val d'Aran/Luchonnais). La surveillance sismique opérationnelle des Pyrénées nécessite donc une collaboration efficace entre les opérateurs nationaux et régionaux.

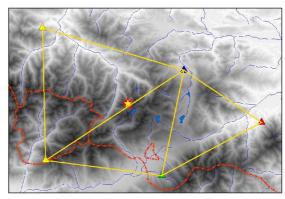
Cependant, avant l'avènement du projet SISPyr, la répartition des stations d'observation sismologique avait été menée sans concertation véritable entre ces acteurs institutionnels, et la couverture géographique des réseaux d'observation était très inadaptée à la surveillance transfrontalière. Par ailleurs, les partages de données entre organismes existaient, mais se faisaient majoritairement de façon artisanale, sur la base d'échanges sporadiques de bulletins. Le partage temps-réel avait été initié à l'échelle de la Catalogne et des Pyrénées-Orientales dans le cadre du projet Interreg III ISARD (http://isard.brgm.fr), mais seule la faisabilité sur une zone restreinte avait été démontrée.

Il a donc été décidé, comme pierre angulaire du projet SISPyr, de densifier et d'homogénéiser le réseau de stations sur lequel doit se fonder l'ensemble des actions entreprises, et en particulier la production en régime opérationnel de cartes des mouvements du sol consécutifs à un séisme pyrénéen.

Quels sont les intérêts d'un réseau dense ?

- d'une part, plus un réseau est dense, plus le nombre des stations à proximité de l'épicentre d'un séisme sera important. Or la précision de localisation d'un séisme par un réseau est directement liée à la présence de stations proches. La densification du réseau permet donc le passage d'une précision de localisation plurikilométrique à une précision kilométrique (Figure 1). On conçoit l'intérêt d'une telle amélioration dans le cadre de l'organisation des moyens de secours. Une localisation précise permet l'envoi des secours au plus près de la zone réellement en besoin d'une intervention.





Précision inférieure

Précision supérieure

Figure 1 : illustration de l'intérêt de la densité d'un réseau pour la précision de localisation





- d'autre part, un réseau dense permet un calcul plus robuste du mécanisme au foyer et de la magnitude d'un séisme, paramètres indispensables dans le cadre de la modélisation fine de la source du séisme.
- enfin, un réseau dense permet l'assimilation d'une masse de données plus importante dans les shake-maps, cartes de mouvement du sol construites automatiquement immédiatement après un séisme susceptible d'avoir été ressenti (action 4).

Ce réseau dense a pour vocation d'enrichir aussi vite que possible une base de données commune (action 2) à partir de laquelle les shake-maps seront construites. Il doit donc communiquer en permanence avec un serveur dédié. Les stations qui le constituent doivent donc être équipées de capacités de communication en temps-réel ; on verra dans la suite qu'à l'aube du projet SISPyr, c'est essentiellement cette question des capacités temps-réel qui pose problème, la densité des réseaux existants étant acceptable.

Ce réseau dense doit être autant que possible constitué de deux types de capteurs : les accéléromètres et les vélocimètres, qui ont des caractéristiques techniques différentes et complémentaires (voir II.3.2).

A partir des axes techniques définis par les quelques remarques précédentes, le travail de modernisation du dispositif de surveillance a suivi deux voies principales :

- installation de nouvelles stations sismologiques équipées de vélocimètres à large bande passante, et de technologies de transmission en temps-réel
- mise à niveau du système de transmission de stations accélerométriques existantes vers une technologie temps-réel également.

En effet, les spécificités et la complémentarité des deux types de capteurs (vélocimètres large-bande et accéléromètres) rendent particulièrement intéressant le traitement conjoint des deux réseaux. L'installation de quelques stations multiparamétriques, abritant les deux sortes de capteurs, apporte un plus indéniable à l'opération de modernisation.

Le présent rapport s'articule donc en trois parties :

- un rappel historique sur la surveillance instrumentale de la sismicité des Pyrénées
- la description du volet "enrichissement du réseau large-bande"
- la description du volet "mise à niveau du réseau accélérométrique"





I Historique de la surveillance sismique des Pyrénées

I.1 Avant 1985

Les débuts de la sismologie instrumentale remontent à la fin du XIXème siècle, avec la mise au point des premiers sismomètres. A proximité des Pyrénées, deux stations voient le jour au tout début du XXème siècle, à Tortosa, non loin du delta de l'Ebre (Observatori Ebro, 1905) et à Barcelone (Observatori Fabra, Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, 1907). Conçues pour l'observation sismologique globale, ces deux stations ne seront pas d'une grande utilité pour la surveillance sismique des Pyrénées.

La surveillance sismique opérationnelle des Pyrénées ne voit le jour qu'à partir de la seconde moitié du XXème siècle, avec le déploiement par le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) d'un réseau de stations sismologiques sur le territoire français. Seule une station est installée véritablement dans le domaine pyrénéen (Esparros, Hautes-Pyrénées, 1977), mais la présence de plusieurs stations dans le bassin aquitain dès les années 1960 permet de localiser avec une précision d'une vingtaine de kilomètres les séismes les plus forts. Parallèlement, l'Observatoire du Pic du Midi et de Toulouse (OPMT) installe une station à Bagnères de Bigorre (Hautes-Pyrénées, 1960), et l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) une autre à Moulis (Ariège, 1963).

Du côté espagnol, l'Instituto Geografico Nacional (IGN) est chargé de la surveillance sismique au niveau fédéral, et installe une demi-douzaine de stations sur son territoire, dont une non loin des Pyrénées (Logroño, 1963).

A la fin des années 1970, l'IPGP met en place un réseau très localisé sur le Béarn, autour de la région d'Arette, siège d'un séisme destructeur en 1967. 9 stations à enregistrement continu et transmissions radio centralisées voient ainsi le jour entre 1978 et 1984 (figure 2).



Figure 2 : stations et schéma de transmission radio du réseau d'Arette (IPGP)





Ce réseau restera sous la responsabilité de l'IPGP, avant de passer sous celle de l'OMP en 1992, puis d'être progressivement démantelé lors de la remise à plat du réseau de l'OMP à la fin des années 1990 (voir plus bas). Le réseau d'Arette fournira des enregistrements de grande qualité durant toute sa période de fonctionnement, enregistrant en particulier la crise sismique d'Arudy (février 1980). Plusieurs études scientifiques sont basées sur ces enregistrements (Gagnepain et al., 1980 ; Gagnepain-Beyneix, 1985, 1987 ; Gagnepain-Beyneix et al., 1982).

Entre 1976 et 1983, un réseau de 7 stations localisées sur le champ de gaz de Lacq a fonctionné pour contrôler la sismicité induite (Grasso et Wittlinger, 1990). Certaines de ses données, déclassifiées, ont pu être incluses dans des études de sismicité ultérieures (Pauchet, 1998; Souriau et Pauchet, 1998).

En 1991, un travail collaboratif réalisé par une équipe internationale sur les Pyrénées en tant qu'objet géologique (Synthèse des Pyrénées) a permis de produire les premières cartes homogènes de la sismicité des Pyrénées, à partir des enregistrements réalisés par ces différentes stations (figures 3 et 4). Sur la période 1962-1976, ce sont 367 événements (moins de 25 par an en moyenne) qui sont enregistrés, puis 1478 (165 par an) sur la période 1977-1985 (presque deux fois plus longue). Ces chiffres illustrent l'importance de la densité et de l'homogénéité des réseaux de surveillance sismique. Aujourd'hui, le nombre de séismes enregistrés par an en moyenne se monte à près d'un millier.

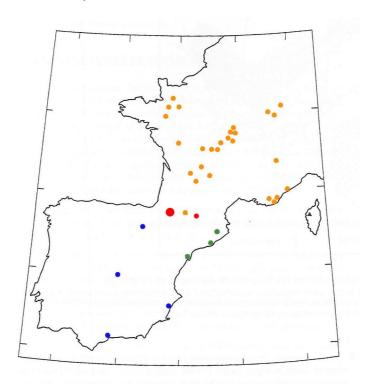
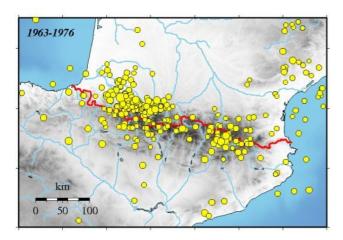


Figure 3 : stations utilisées pour la sismicité 1976-1985. Bleu : IGN. Vert : divers Catalogne. Rouge : IPGP. Orange : CEA. D'après Gagnepain-Beyneix et al. (2000)







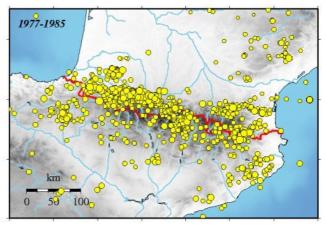


Figure 4 : sismicité des Pyrénées (Synthèse Géologique des Pyrénées). Gauche : 1963-1976. Droite : 1977-1985. Noter la densification des observations sur la carte de droite.

I.2 De 1985 à 1996

A partir de la seconde moitié de la décennie 1980, avec les progrès des technologies d'enregistrement numérique, les déploiements de réseaux s'accélèrent :

- en Catalogne, le Servei Geologic de Catalunya (SGC, service de l'Institut Cartografic de Catalunya, devenu depuis l'Institut Geologic de Catalunya, ou IGC) déploie entre 1985 et 1995 un réseau de 11 stations; la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona installe une station, et l'Institut d'Estudis Catalans trois (1984-1992);
- en Espagne, l'IGN densifie son réseau fédéral, avec 6 stations supplémentaires dans le domaine pyrénéen entre 1986 et 1992;
- en France, le CEA installe trois nouvelles stations dans les Pyrénées en 1996;
- dans la moitié orientale des Pyrénées françaises, l'Observatoire Midi-Pyrénées déploie un réseau de 10 stations, dont une en principauté d'Andorre, entre 1988 et 1991. Ces stations sont affiliées au Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS) français, basé à Strasbourg. L'OMP récupère également la responsabilité du réseau d'Arette, qu'il maintiendra jusqu'en 1997/1998.

Une partie des stations de l'IGC et de l'OMP utilise alors une technologie commune de transmissions de données via le satellite Météosat. C'est la première ébauche de partage transfrontalier de données sismologiques numériques, en temps légèrement différé, qui durera jusqu'à la nouvelle génération de matériels (fin des années 1990). Des échanges de données paramétriques (localisations, magnitudes, pointés de temps d'arrivée d'ondes sismiques) commencent également à voir le jour entre le SGC et l'OMP. Un bulletin commun de sismicité est ainsi mis en place pendant quelques années, sur la partie orientale des Pyrénées. Ce bulletin commun s'interrompra lorsque l'OMP se verra confiée, à la fin des années 1990, la surveillance de l'ensemble des Pyrénées françaises.

Rassemblant l'ensemble des données mises à disposition par les différents organismes opérateurs de réseaux (essentiellement IGN, SGC, IPGP, CEA, OMP), une nouvelle synthèse de sismicité est proposée en 1998 sur la période 1989-1996 (Souriau et Pauchet, 1998). Ce catalogue compte 3137 événements, soit une moyenne de près de 400 par an (figure 5).





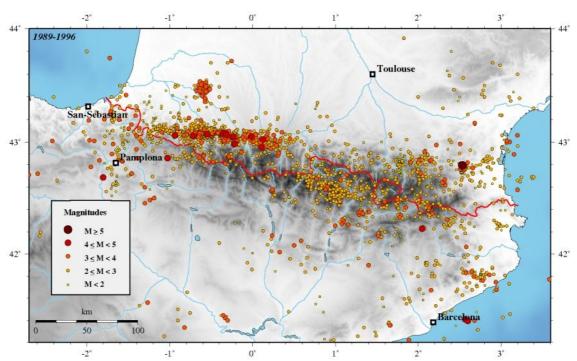


Figure 5 : sismicité des Pyrénées pour la période 1989-1996 (Souriau et Pauchet, 1998)

En 1996, une cinquantaine de stations sont ainsi déployées dans les Pyrénées et avants-pays (figure 6). Cependant, nombreuses sont celles qui ne fonctionnent qu'en mode déclenché (stockage de petits tronçons de signal sur mémoire informatique), et très rares celles qui disposent de capacités de transmission en temps réel. La quasitotalité des stations est équipée de capteurs vélocimétriques à courte-période, pour la plupart à une seule composante. Ces capteurs sont adaptés à la surveillance des petits séismes locaux.

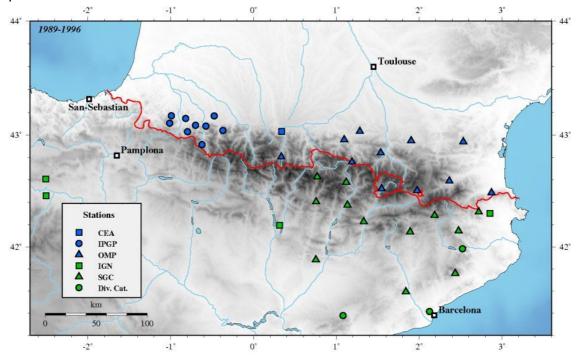


Figure 6 : stations sismologiques courte-période opérationnelles en 1996





I.3 De 1997 à 2008

1.3.1 Réseaux vélocimétriques

Du côté français, les réseaux pilotés par l'OMP/RéNaSS dans les Pyrénées arrivent à obsolescence. Il est donc décidé de redéployer l'ensemble des stations pour consitutuer un réseau à maille homogène sur l'ensemble du versant français de la chaîne. Ce sera fait entre 1997 et 2002, avec un réseau final de 20 stations, dont une en principauté d'Andorre. Ces stations fonctionnent toujours en mode déclenché, stockant les enregistrements des séismes sur mémoires, et transmettant leurs données par téléphone à Toulouse. Elles sont équipées de capteurs vélocimétriques courte-période à trois composantes. Le réseau ainsi constitué est baptisé Réseau de Surveillance Sismique des Pyrénées (RSSP), et est toujours affilié au RéNaSS.

Une nouvelle évolution débute à partir de 2006, dans le cadre de la mise en place à l'échelle nationale française du Réseau Large-Bande permanent (RLBP), réseau dont les stations sont équipées de capteurs vélocimétriques à large bande passante, enregistrent en continu, et transmettent leur données en temps-réel. Deux stations du RSSP se voient ainsi mises à niveau en 2006 et 2007. Cette évolution préfigure une généralisation sur le territoire français dans le cadre de l'Infrastructure de Recherche RESIF (Réseau Sismologique et géodésique Français, www.resif.fr), décidée en 2012, et dont la construction s'étalera sur la période 2014-2018.

Du côté catalan, la jouvence est faite entre 1999 et 2007, aboutissant à un réseau très dense et moderne de 20 stations, toutes équipées de capteurs vélocimétriques à large bande passante. Ces stations enregistrent en continu, et transmettent leurs données en temps-réel au site central de l'IGC (Barcelone) par une liaison satellitaire VSAT dédiée. Un véritable décalage technologique existe alors entre l'OMP et l'IGC, tant du point de vue des capteurs que du mode d'enregistrement et des techniques de transmission. Le réseau catalan est alors l'un des plus modernes et performants d'Europe.

Les stations du CEA et de l'IGN suivent un chemin similaire à celles de l'IGC, avec le passage de la majorité d'entre elles en enregistrement continu/transmission temps-réel satellitaires, au début des années 2000. La densité de stations reste cependant faible sur le massif pyrénéen.

La figure 7 montre la répartition des stations sismologiques en 2008, avant le lancement du projet SISPyr.

Les échanges ponctuels de données paramétriques permettent toujours l'incrémentation régulière d'un catalogue homogène de séismes pyrénéens (figure 8). La densification et l'homogénéisation de la couverture des réseaux, ainsi que les échanges de données paramétriques, permettent une réelle amélioration de la connaissance de la sismicité. Cependant, si des partages de données en temps-réel sont amorcés entre l'IGN et l'IGC, ce ne sont que quelques stations qui sont concernées, et il est impossible avant le coup d'envoi de SISPyr de se baser sur les stations en place pour construire une surveillance sismique temps-réel homogène sur l'ensemble de la chaîne, objectif premier du projet SISPyr.





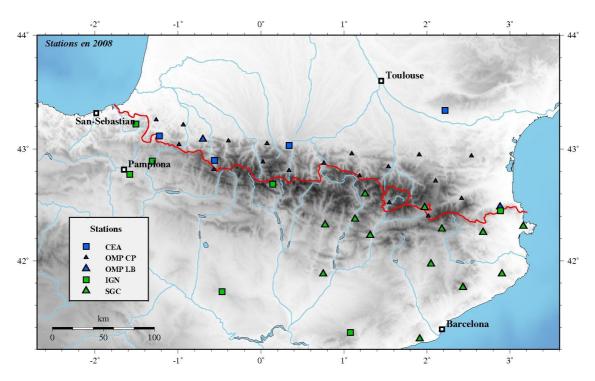


Figure 7: stations sismologiques (vélocimétriques) opérationnelles en 2008 dans les Pyrénées. Tous les capteurs sont à large-bande passante, sauf ceux du RSSP (OMP CP, à courte-période)

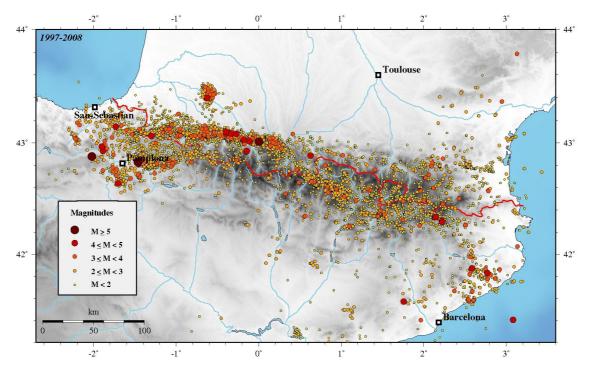


Figure 8 : sismicité des Pyrénées pour la période 1997-2008 (Bulletins OMP : http://w3.dtp.obs-mip.fr/RSSP)





1.3.2 Réseaux accélérométriques

conception différente des capteurs vélocimétriques, D'une capteurs accélerométriques sont destinés à l'étude des mouvements dus à de forts séismes. En effet, en cas de mouvement fort, les vélocimètres ne sont pas capables de restituer la pleine échelle du signal : ils "saturent". Au contraire, les accéléromètres ne saturent jamais – en revanche, ils sont beaucoup moins sensibles que les vélocimètres, et sont de peu d'utilité sur les mouvements plus faibles, comme par exemple ceux qui sont enregistrés à grande distance d'un foyer sismique. Il s'agit donc d'instruments complémentaires, à la vocation distincte. Dans le cadre d'une surveillance sismique temps-réel, et en particulier dans l'optique de la construction de cartes de mouvements du sol, les deux types ont leur utilité.

A partir du début des années 2000, un réseau de stations accélérométriques se met progressivement en place sur l'ensemble des zones sismiques du territoire français : le Réseau Accélérométrique Permanent (RAP), destiné à enregistrer sans saturer les forts séismes susceptibles de se produire dans ces régions les plus exposées. Dans les Pyrénées, une vingtaine de stations sont installées, pour moitié confiées au BRGM, et pour moitié à l'OMP. Ces stations fonctionnent comme celles du RSSP en mode déclenché, avec des transmissions téléphoniques.

Parallèlement au déploiement du RAP, des stations accélerométriques sont également installées en Espagne, sous l'impulsion de l'IGN et de l'IGC. En tout, une quinzaine de stations voient le jour entre 1995 et 2008, toutes en Catalogne hormis celles de Pampelune et d'Itoiz (IGN). Trois de ces stations transmettent leurs enregistrements en temps-réel par Internet à l'IGC.

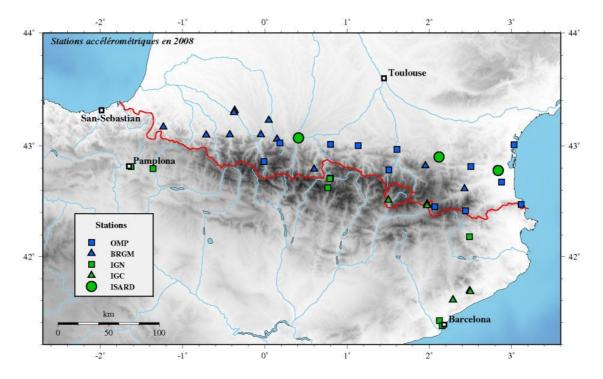


Figure 9 : stations accélerométriques opérationnelles en 2008 dans les Pyrénées.

1.3.3 Bilan avant SISPyr

Si la densité de stations est intéressante, sauf dans la partie occidentale des Pyrénées





espagnoles, les capacités de transmission en temps-réel sont nettement insuffisantes sur l'ensemble de la chaîne, hormis en Catalogne. Le versant français est particulièrement démuni, avec 2 stations vélocimétriques et 3 accélérométriques (projet ISARD). On n'a pas considéré les stations du CEA, dont les données ne sont pas accessibles en temps-réel à d'autres organismes.

Dans l'optique d'une surveillance sismique en continu et temps-réel, la figure 10 montre donc que beaucoup reste à faire en 2008.

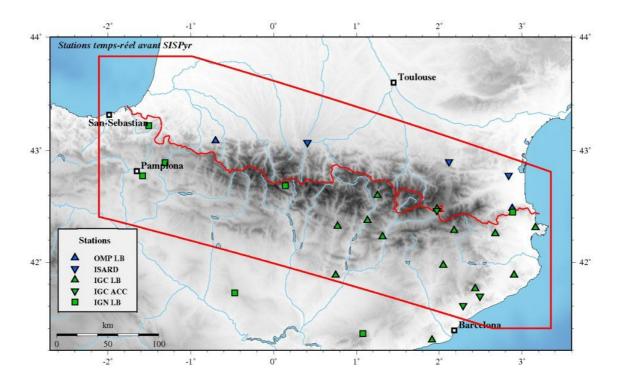


Figure 10 : stations temps-réel opérationnelles en 2008 dans les Pyrénées.LB = vélocimètres large-bande. ACC = accéléromètres. Les stations du CEA ne sont pas représentées, car le CEA ne fait pas partie du consortium SISPyr. Cadre rouge : délimitation de la zone de travail SISPyr.





Il Enrichissement du réseau vélocimétrique large-bande

II.1 Espagne

II.1.a Stations installées par l'IGC

Malgré l'excellente couverture du territoire Catalan en stations vélocimétriques tempsréel, l'IGC a installé durant la période SISPyr (2009-2012) deux nouvelles stations, de façon à combler deux vides sur le nord de la Généralité :

- ARBS (20/10/2009) installée sur le territoire andorran pour le compte de l'Institut d'Estudis Andorrans (IEA)
- CARA (11/2009) installée dans le val d'Aran, zone où les tremblements de terre sont fréquents (v. figure 8) et où il manquait une station à capacités temps-réel

Ces deux stations sont équipées de capteurs vélocimétiques large-bande de forage (CMG3TB) et de communications satellitaires.

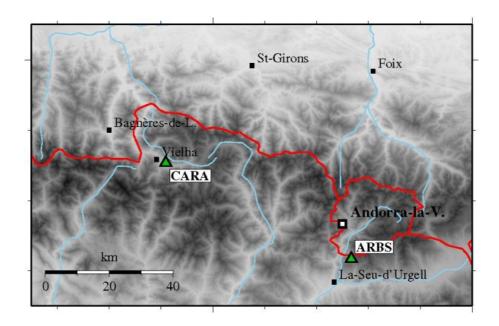


Figure 11: situation des deux nouvelles stations vélocimétriques installées par l'IGC





Figure 12 : stations vélocimétriques CARA (gauche) et ARBS (droite)





II.1.a Stations installées par l'IGN

Le principal défaut de couverture en termes de stations vélocimétriques temps-réel sur le versant espagnol es Pyrénées concernait la moitié occidentale. Dansle cadre de la surveillance des barrages d'Itoiz et de Yesa, l'IGN a installé quelques stations, dont deux ont intégré le dispositif de surveillance SISPyr :

- YARA (Arangoiti, 12/11/2009)
- YSOS (Sos del Rey Catolico, 28/05/2010)

Par ailleurs, la station de Bielsa (EBIE) ayant été plusieurs fois endommagée par des éboulements de rochers, il a été décidé par l'IGN de la déplacer. Un nouveau site a été trouvé à Chisaguës (ECHI), et mis en service en janvier 2012.

Ces deux stations sont équipées de capteurs vélocimétriques large-bande et de communications hertziennes à haut débit (GPRS/UMTS).

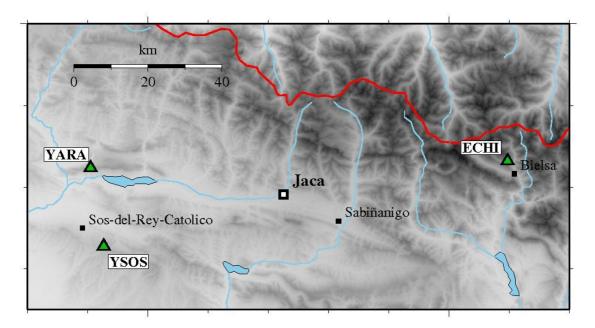


Figure 13 : situation des trois nouvelles stations vélocimétriques installées par l'IGN





Figure 14: stations vélocimétriques YARA (gauche) et YSOS (droite)





II.2 France

Le territoire français étant très sous-équipé en stations large-bande temps-réel (voir figure 10), l'Observatoire Midi-Pyrénées a installé 7 nouvelles stations entre mars 2010 et octobre 2012. L'achat du matériel d'acquisition et les travaux d'infrastructure ont été réalisés intégralement dans le cadre du projet SISPyr, avec le financement du FEDER.

Sur les 7 nouvelles stations, une se situe hors domaine SISPyr (Montcuq, Lot) ; sa position géographique excentrée permet un meilleur contrôle des localisations de séismes en bordure nord du domaine SISPyr, et apportera aussi des informations intéressantes sur l'atténuation des vibrations sismiques dans le bassin aquitain.

Deux stations, Lourdes (Hautes-Pyrénées) et Nébias (Aude), sont équipées de capteurs vélocimétriques large-bande et de capteurs accélérométriques, ce qui en fait des stations multi-paramètres.

Dans le détail, les nouvelles stations sont :

- PYLO (Lourdes, 31/03/2010) installée dans les souterrains du château de Lourdes, initialement station accélérométrique RAP
- MLS (Moulis, 22/05/2010) installée dans la grotte CNRS de Moulis, Ariège. Ce site à très bas bruit est instrumenté depuis les années 1960
- FNEB (Nébias, 19/10/2010) utilise l'installation de la station accélérométrique ISARD
- MONQ (Montcuq, 23/09/2011) installée dans une grotte des causses du Lot
- URDF (Urdès, 10/07/2012) ancien site instrumenté pour la surveillance sismique du champ gazier de Lacq (sismicité induite par l'exploitation)
- TERF (Tercis-les-Bains, 03/09/2012) site des carrières de Tercis
- FILF (25/10/2012) ancienne station courte-période du RSSP

Ces stations sont toutes équipées de capteurs vélocimétriques large-bande (Trillium T120 et T240), et transmettent leurs enregistrements via Internet par ADSL.

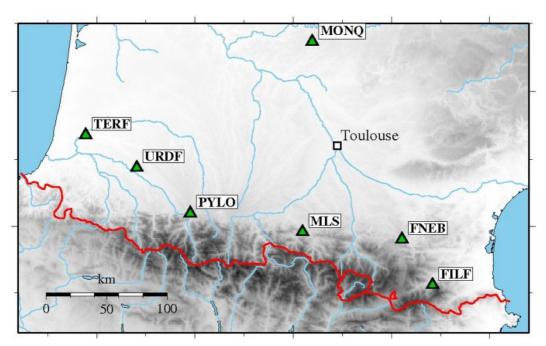


Figure 15 : situation des sept nouvelles stations vélocimétriques installées par l'OMP













Figure 16 : vues des nouvelles stations vélocimétriques FNEB (haut, gauche), MONQ (haut, droite), PYLO (bas, gauche), MLS (bas, droite)

Au terme du projet, 7 nouvelles stations vélocimétriques sont donc opérationnelles. Des travaux préparatoires (recherches de sites, raccordements électriques provisoires) ont été menés pour 4 autres installations potentielles. En effet, la majorité des stations courte-périodes déclenchées du RSSP seront transformées en stations large-bande continu/temps-réel d'ici à 2018 dans le cadre du grand projet français RESIF (www.resif.fr). L'ensemble de ces nouvelles stations temps-réel sur le versant français des Pyrénées sera voué à intégrer à terme le dispositif SISPyr.





Il Mise à niveau du réseau accélérométrique

II.1 Espagne

Aucune nouvelle installation n'a été réalisée dans le cadre du projet SISPyr. En revanche, 5 stations existantes ont été dotées de systèmes de transmission en continu et temps-réel, par Internet. Ces stations se situent toutes sur le territoire de la Généralité de Catalogne. Certaines d'entre elles sont exploitées à la fois par l'IGC et par l'IGN :

- GIRR (Girona, mars 2010) station au rocher, IGC
- GIRS (Girona, février 2011) station sur les sédiments, IGC
- VIES (Vielha, mai 2010) IGC/IGN
- OLOS (Olot, juin 2010) IGC/IGN
- AVIN (Avinyó, novembre 2010) IGC

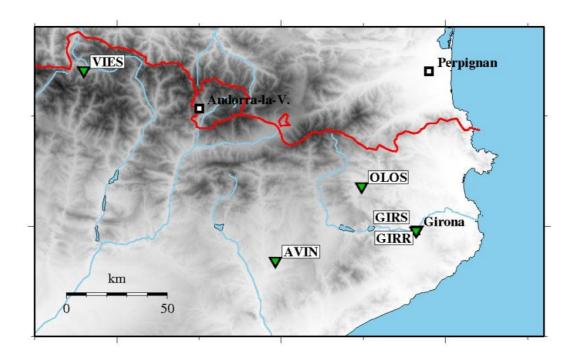


Figure 17 : situation des 5 nouvelles stations accélérométriques espagnoles

II.2 France

L'ensemble des stations accélerométriques concernées fait partie du Réseau Accélérométrique Permanent. 12 stations existantes ont été mises à niveau (enregistrement continu et transmissions temps-réel par Internet/ADSL), pour moitié par le BRGM et pour moitié par l'OMP, et une créée par l'OMP (PYHE, Hendaye). Les stations concernées sont les suivantes :

- PYBB (Bagnères de Bigorre, décembre 2009) OMP
- PYLO (Lourdes, janvier 2010) OMP, station multiparamétrique
- PYPD (Prades, février 2010) OMP





- PYLU (Bagnères de Luchon, janvier 2011) OMP
- PYAD (Arudy, avril 2011) OMP
- PYAS (Aspet, juillet 2010) BRGM
- PYBA (Banyuls sur Mer, janvier 2012) BRGM
- PYFO (Foix, juin 2011) BRGM
- PYLI (St Lizier, juin 2011) BRGM
- PYLS (Luz St Sauveur, juin 2011) BRGM
- PYPM (Prats de Mollo, juin 2011) BRGM
- PYPP (St Jean Pied de Port, janvier 2012) OMP
- PYHE (Hendaye, mars 2012) OMP

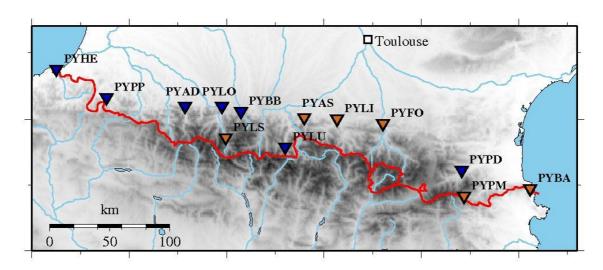


Figure 18 : situation des 13 nouvelles stations accélérométriques françaises





Figure 19 : vues de la nouvelle station accélerométrique PYHE (Château d'Abbadia, Hendaye)





III Conclusions : état du réseau d'observation sismique tempsréel au terme du projet

La carte finale des stations temps-réel SISPyr (figure 20) montre l'amélioration très nette de la couverture en stations sismologiques à capacités temps-réel au terme du projet SISPyr. Ce sont au final 52 stations (22 accélerométriques, 28 vélocimétriques, 2 multicapteurs) qui sont intégrées au dispositif de surveillance. Parmi ces stations, 2 sont multi-paramétriques (Lourdes et Nébias). 2 autres sites (Vielha et Llivia) ont des capteurs accélérométriques et vélocimétriques à quelques centaines de mètres de distance.

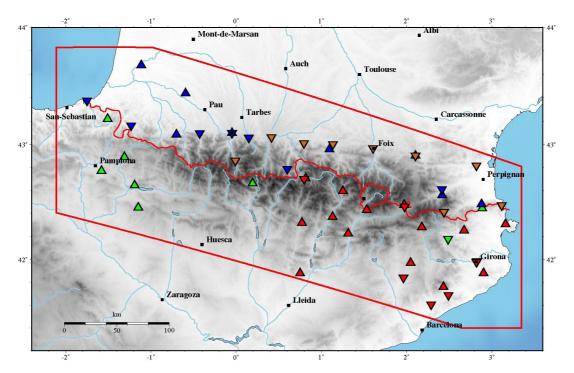


Figure 20 : stations sismologiques temps-réel du dispositif SISPyr final (seules les stations de la zone SISPyr sont représentées pour plus de clarté). Triangles : vélocimètres large-bande. Triangles inversés : accéléromètres. Vert = IGN, Rouge = IGC, marron = BRGM, bleu = OMP.

Les capacités opérationnelles du nouveau réseau peuvent être appréhendées à la lumière de la figure 21 : on constate que le maillage réalisé par ce réseau permet de circonscrire la sismicité de l'ensemble de la chaîne de façon efficace. A noter que la partie la plus occidentale de la chaîne, côté espagnol, reste bien couverte par les stations de l'IGN hors zone SISpyr.





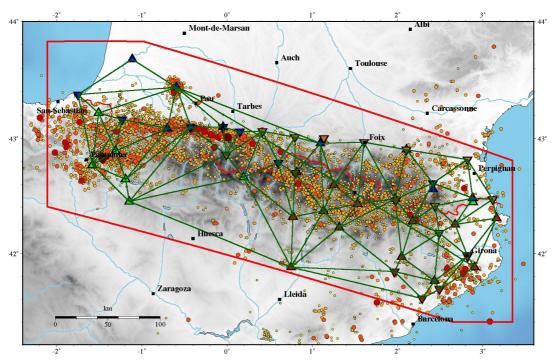


Figure 21 : grille opérationnelle du dispositif, superposée à la sismicité des Pyrénées.





Références bibliographiques

- Gagnepain-Beyneix, J., 1985. Variation of source parameters of small western Pyrenean earthquakes and their relation to main shock occurrence, *Ann. Geoph.* 3, 381-894.
- Gagnepain-Beyneix, J., 1987. Etude expérimentale des tremblements de terre. Exemple de la région d'Arette (France), phD thesis, Université Paris 6, France.
- Gagnepain-Beyneix, J., Haessler, H. & Modiano, T., 1982. The pyrenean earthquake of February 29, 1980: an example of complex faulting, *Tectonophysics*, 85, 273-290.
- Gagnepain-Beynex, J., Olivera, C & Massinon, B, Sismicité instrumentale, In: Synthèse Géologique des Pyrénées Vol. 1, Pub. BRGM-ITGE, 64-66 & Gph. 2, 1996.
- Pauchet, H., 1998. Sismicité de la chaîne pyrénéenne : Image générale et analyse de la crise sismique de Saint-Paul de Fenouillet (Février 1996) Implications tectoniques Thèse, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Souriau, A. & Pauchet, H., 1998. A new synthesis of Pyrenean seismicity and its tectonic implications, *Tectonophysics*, 290, 221-244.





Liste des figures

- Figure 1 : intérêt de la densité d'un réseau pour la précision de localisation
- Figure 2 : stations et schéma de transmission radio du réseau d'Arette (IPGP)
- Figure 3 : stations utilisées pour la sismicité 1976-1985
- Figure 4 : sismicité des Pyrénées (1963-1985)
- Figure 5 : sismicité des Pyrénées pour la période 1989-1996
- Figure 6 : stations sismologiques courte-période opérationnelles en 1996
- Figure 7: stations vélocimétriques opérationnelles en 2008 dans les Pyrénées
- Figure 8 : sismicité des Pyrénées pour la période 1997-2008
- Figure 9 : stations accélerométriques opérationnelles en 2008 dans les Pyrénées
- Figure 10 : stations temps-réel opérationnelles en 2008 dans les Pyrénées
- Figure 11: situation des deux nouvelles stations vélocimétriques installées par l'IGC
- Figure 12 : vues des stations vélocimétriques CARA et ARBS
- Figure 13 : situation des trois nouvelles stations vélocimétriques installées par l'IGN
- Figure 14 : vues des stations vélocimétriques YARA et YSOS
- Figure 15 : situation des sept nouvelles stations vélocimétriques installées par l'OMP
- Figure 16 : vues des nouvelles stations vélocimétriques FNEB, MONQ, PYLO, et MLS
- Figure 17 : situation des 5 nouvelles stations accélérométriques espagnoles
- Figure 18 : situation des 13 nouvelles stations accélérométriques françaises
- Figure 19 : vues de la nouvelle station accélerométrique PYHE
- Figure 20 : stations sismologiques temps-réel du dispositif SISPyr final
- Figure 21 : grille opérationnelle du dispositif, superposée à la sismicité des Pyrénées





Tableau des stations du dispositif SISPyr temps réel final (31/12/2012)

Code	Nom	Organisme	Type (V/A)	Latitude	Longitude
ARBS	La Rabassa	IEA/IGC	V	42.434553	1.533475
ATE	Arette	OMP	V	43.0858	-0.7003
AVIN	Avinyó	IGC	А	41.84381	1.96546
CARA	Val d'Aran	IGC	V	42.707643	0.818132
CAVN	Les Avellanes	IGC	V	41.8826	0.7516
CBEU	Beuda	IGC	V	42.2567	2.6769
CBRU	Bruguera	IGC	V	42.2855	2.1803
CCAS	Cassà de la Selva	IGC	V	41.8840	2.9053
CELS	Sant Celoni	IGC	А	41.6896	2.4923
CEST	Esterri de Cardós	IGC	V	42.5998	1.2553
CFON	Fontmartina	IGC	V	41.7623	2.4356
CLLI	Llivia	IGC	V	42.4792	1.9742
CORG	Organyà	IGC	V	42.2303	1.3176
CORI	Oristà	IGC	V	41.9735	2.0499
CPAL	Palau Saverdera	IGC	V	42.3116	3.1636
CSOR	Soriguera	IGC	V	42.3756	1.1339
CTRE	Tremp	IGC	V	42.3242	0.7736
EALK	Alkurruntz	IGN	V	43.2197	-1.5071
EARA	Aranguren	IGN	V	42.7727	-1.5797
ECHI	Chisagües	IGN	V	42.664600	0.194600
EJON	La Jonquera	IGN	V	42.4487	2.8886
EORO	Oroz Betelu	IGN	V	42.8926	-1.3095
FESP	Espira de l'Agly	BRGM	Α	42.8186	2.8207
FILF	Fillols	OMP	V	42.5604	2.4182
FMON	Montoussé	BRGM	Α	43.0623	0.4151
FNEB	Nébias	BRGM/OMP	A/V	42.9030	2.1064
GIRR	Girona	IGC	Α	41.9860	2.8278
GIRS	Girona	IGC	Α	41.9809	2.8216
GRAM	Granollers	IGC	А	41.6072	2.2886
LLIS	Llivia	IGC	А	42.4647	1.9733
MLS	Moulis	OMP	V	42.957800	1.094700
MONQ	Montcuq	OMP	V	44.3676	1.1953
OLOS	Olot	IGC/IGN	А	42.1828	2.4906
PYAD	Arudy	OMP	А	43.0975	-0.4258





PYAS	Aspet	BRGM	Α	43.0119	0.7973
PYBA	Banyuls sur Mer	BRGM	Α	42.4743	3.1171
PYBB	Bagnères de Bigorre	OMP	Α	43.0586	0.1489
PYFO	Foix	BRGM	Α	42.9680	1.6070
PYHE	Hendaye	OMP	Α	43.377	-1.749
PYLI	St-Lizier	BRGM	Α	43.0016	1.1361
PYLO	Lourdes	OMP	A/V	43.0982	-0.0478
PYLS	Luz St-Sauveur	BRGM	Α	42.8600	-0.0090
PYLU	Luchon	OMP	Α	42.7906	0.6014
PYPD	Prades	OMP	Α	42.6137	2.4294
PYPM	Prats de Mollo	BRGM	Α	42.416	2.439
PYPP	St-Jean Pied de Port	OMP	Α	43.1632	-1.2325
SJAF	St-Jean l'Albère	OMP	V	42.4845	2.8822
TERF	Tercis les Bains	OMP	V	43.6788	-1.1133
URDF	Urdès	OMP	V	43.4383	-0.5931
VIES	Vielha	IGC/IGN	Α	42.7027	0.7981
YARA	Arangoiti	IGN	V	42.6477	-1.1902
YSOS	Sos del Rey Católico	IGN	V	42.4554	-1.147