

De l'opportunité de doter les Pyrénées d'un système d'alerte sismique précoce

Samuel Auclair, Xavier Goula, Jose-Antonio Jara, Yolanda Colom, Bastien Colas

▶ **To cite this version:**

Samuel Auclair, Xavier Goula, Jose-Antonio Jara, Yolanda Colom, Bastien Colas. De l'opportunité de doter les Pyrénées d'un système d'alerte sismique précoce. 8ème Colloque AFPS, Vers une maitrise durable du risque sismique, Sep 2011, Champs-sur-Marne, France. 7 p. hal-00613213

HAL Id: hal-00613213
https://brgm.hal.science/hal-00613213

Submitted on 3 Aug 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



De l'opportunité de doter les Pyrénées d'un système d'alerte sismique précoce

Auteurs: Samuel AUCLAIR*, Xavier GOULA, Jose-Antonio JARA***, Yolanda COLOM**, Bastien COLAS***

** Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)*

3 avenue C. Guillemin, BP 36009, 45060 ORLEANS Cedex 2

s.auclair@brgm.fr, a.lemoine@brgm.fr

*** Institut Geològic de Catalunya (IGC)*

c. Balmes, 209-211, 08006 Barcelona – Espagne

xgoula@igc.cat, tsusagna@igc.cat

**** GEOCAT - Gestió de Projectes. S.A.*

Av. Josep Tarradelles 34-36, 3a, 08006 Barcelona – Espagne

RÉSUMÉ. *Dans le cadre d'un module du projet de recherche SISPyr consacré à la faisabilité d'un système d'alerte sismique précoce (EEW – Earthquake Early Warning system) transfrontalier à l'échelle des Pyrénées, des travaux ont été entrepris afin d'évaluer l'opportunité de doter la région d'un tel système. Dans un premier temps, une analyse du réseau temps-réel existant a permis d'évaluer dans quelle mesure celui-ci pourrait servir de base à un EEW, par une estimation théorique de l'extension des « zones d'ombre » en fonction de la localisation des épicentres. Il apparait ainsi qu'une configuration de système d'alerte reposant sur l'utilisation d'un nombre très restreint de stations semble, en cas de fort séisme, pouvoir permettre d'alerter certaines zones avant que celles-ci ne subissent des dommages. Fort de ces premiers éléments de réponse quant à l'opportunité de doter les Pyrénées d'un EEW, une enquête auprès de potentiels utilisateurs d'un tel système a également été lancée. Celle-ci vise à évaluer dans quelle mesure les industriels présents dans la région seraient susceptibles de mettre à profit une alerte précoce de quelques secondes pour réduire l'impact des séismes sur leurs installations.*

ABSTRACT. *In the frame of a work-package of the SISPyr research project, dedicated to the feasibility of a Pyrenean cross-border Earthquake Early Warning system (EEW), a study has been performed in order to assess the opportunity to equip Pyrenees with such a tool. In a first time, an analysis of the current real-time network has allowed us to assess in which extend this network could be the basis of an EEW, estimating theoretical "blind zones" extension in function of epicenters location. It appears that an EEW based on a very limited number of seismic stations seems – in cases of strong earthquakes – to be able to alert some areas before they undergo any damages. Boosted by these first answer-elements about the opportunity to develop a Pyrenean EEW, an enquiry dedicated to potential end-users of such a system has been launched. It*

aims at assessing in which extend industrials established in French Pyrenees would be susceptible to take advantage of an early warning of few seconds to reduce impacts of the earthquake on their facilities.

In a first time, the main issue has been to test different real-time magnitude assessment methodologies in order 1) to check their adaptability to the Pyrenean context and its moderate seismicity, and 2) to try to establish reference empirical relations that could be used in Pyrenees. To that end, a waveform catalog had been first constituted, gathering more than 4.000 records from around 200 Pyrenean earthquakes. The analysis of these records has allowed us to highlight clear empirical correlations between reference magnitude of considered seismic events and four ground motion indicators calculated from first seconds of the P-wave. These first results reinforce that the principle of earthquake early warning is applicable to Pyrenees.

MOTS-CLÉS : *alerte sismique précoce, Pyrénées, sismologie temps-réel, magnitude.*

KEYWORDS: *earthquake early warning, Pyrenees, real-time seismology, magnitude.*

1. Introduction

Le massif des Pyrénées, qui résulte du mouvement compressif entre les plaques tectoniques Ibérique et Eurasienne et qui marque la frontière naturelle entre la France et l'Espagne, présente une sismicité qualifiée de modérée responsable de nombreux séismes destructeurs au cours de l'histoire, dont la magnitude maximale M_w peut vraisemblablement atteindre des valeurs de 6.0-6.5. De fait, les Pyrénées constituent l'une des régions de France métropolitaine et d'Espagne où l'aléa sismique est le plus important, ce qui a motivé le développement progressif de réseaux de surveillance sismologique du massif. Dans ce contexte, le projet Interreg *SISPyr* (www.sispyr.eu) a pour principal objectif de permettre la mise en commun des données sismologiques au niveau des Pyrénées et d'améliorer la couverture du massif par les différents réseaux en favorisant un passage progressif des stations à une transmission en temps-réel. Afin de tirer profit au maximum des avantages offerts par la sismologie temps-réel, le projet *SISPyr* vise également à évaluer la faisabilité d'un EEW pyrénéen.

Cette évaluation de faisabilité s'oriente selon deux grands axes relatifs à 1) la faisabilité technique d'un EEW pyrénéen, et 2) à l'opportunité de doter les Pyrénées d'un tel outil. Concernant l'évaluation de l'opportunité de la mise en place du système dans la région, les travaux entrepris se sont orientés selon deux directions. Dans un premier temps, une analyse des performances théoriques d'un tel outil a été menée afin d'identifier dans quelle mesure les réseaux sismologiques temps-réel pyrénéens sont adaptés à la mise en œuvre d'un tel outil. Cet exercice est également un moyen efficace d'évaluation de premier ordre des diverses utilisations envisageables pour une alerte sismique précoce émise suite à un séisme pyrénéen, lesquelles sont dépendantes du temps séparant l'arrivée de l'alerte de celle des ondes sismiques destructrices.

Cependant, l'alerte précoce ne doit pas être considérée comme une fin en soi, et son utilité ne peut être jugée qu'au regard de l'utilisation effective qui peut en être faite. Ainsi, aussi fiable et précoce que soit l'alerte, si celle-ci n'est pas relayée de manière satisfaisante ou si les destinataires ne prennent pas de mesures adaptées en réponse à sa réception, un EEW pourra à raison être qualifié d'inefficace. Très souvent, l'aspect utilisateur est cependant négligé lors de la conception et la mise en place d'EEW, l'ensemble des efforts étant concentrés sur les questions techniques permettant d'emmètre une alerte. Dès lors, il est indispensable non seulement d'identifier les utilisateurs potentiels d'un EEW pyrénéen, mais également d'évaluer leur perception du système, leurs attentes ainsi que les actions envisagées en réponse à une alerte précoce. Ainsi, une enquête est actuellement en cours auprès d'industriels identifiés comme « utilisateurs potentiels » de l'alerte précoce sismique.

Loin d'être déconnectée de la phase plus technique d'analyse de la donnée, cette réflexion est nécessaire à la conception même du système, depuis le choix des méthodes retenues pour le traitement des données, jusqu'à la définition du/des type(s) d'alertes et de leur mode de diffusion.

2. Sismicité récente et historique des Pyrénées

Les Pyrénées représentent une zone montagneuse de 400 km de long marquant la frontière naturelle entre la France et l'Espagne. Avec plus de 400 séismes par an de magnitude supérieure à 2.0 - dont une dizaine peut être localement ressentie -, elles constituent l'une des régions métropolitaines françaises et espagnoles les plus sismiques.

En dépit de son activité sismique relativement modérée au regard d'autres pays européens tels que la Roumanie ou l'Italie, les Pyrénées ont enregistré par le passé de nombreux séismes destructeurs (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), parmi lesquels les événements de 1660, 1750 et 1967 qui ont atteint des intensités épicentrales supérieures ou égales à VIII (MSK). La partie Ouest du massif est caractérisée par une activité sismique plus marquée concentrée le long de la faille Nord-Pyrénéenne, alors que la partie Est présente une sismicité plus diffuse (Souriau et al., 2005). L'existence de nombreux séismes ayant causé des intensités supérieures à VII (MSK) souligne la nécessité de prêter une attention particulière à cette région en termes de risque sismique (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

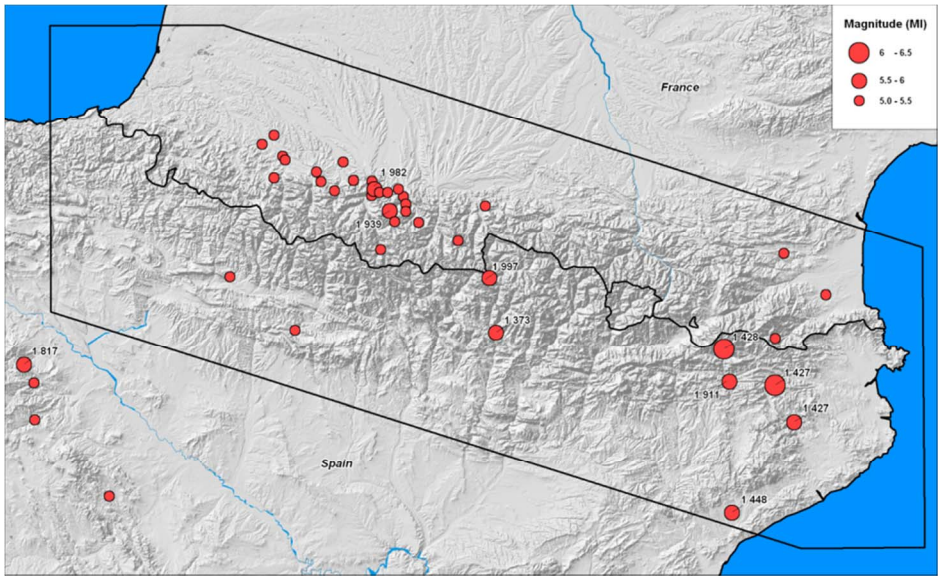


Figure 1 – Sismicité historique des Pyrénées. La zone du projet *SISPyr* est indiquée en trait noir.

Localisation de l'épicentre	Date	Intensité épicentrale (MSK)
Pyrénées centrales, Bigorre	21/06/1660	VIII-IX
Pyrénées centrales, Juncalas	24/05/1750	VIII
Pyrénées occidentales, vallée d'Ossau	22/05/1814	VII
Pyrénées centrales, Argelès Gazost	20/07/1854	VII-VIII
Pyrénées occidentales, vallée d'Ossau	22/02/1924	VII
Pyrénées occidentales, Arette	13/08/1967	VIII
Pyrénées occidentales, Ossau-Arudy	29/02/1980	VII-VIII
Pyrénées occidentales, Pays Basque	06/01/1982	VI-VII
Pyrénées centrales, Bigorre	04/10/1999	VI
Pyrénées centrales, Bigorre	17/11/2006	VI

Tableau 1 – Principaux séismes historiques pyrénéens (source : base de données SisFrance – www.sisfrance.net : BRGM/EDF/IRSN 2009).

3. De l'utilisation du réseau sismologique SISPyr pour l'alerte sismique précoce

Cinq organismes en charge de la gestion de stations sismiques dans les Pyrénées prennent part au projet *SISPyr* (IGC, IGN, BRGM, OMP and IEA). Dans ce chapitre, le « réseau *SISPyr* » - défini comme le résultat de la coopération entre les partenaires du projet - est décrit afin d'évaluer son adaptabilité à des fins d'alerte sismique précoce.

Description

Les Pyrénées sont couvertes par plusieurs réseaux de surveillance sismique des deux côtés de la frontière franco-espagnole. Cinq principaux organismes sont ainsi en charge des stations sismologiques situées dans le massif : le Laboratoire de Détection Géophysique du CEA (CEA/LDG), l'Observatoire Midi-Pyrénées et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) pour la partie française, les services géologiques espagnol et catalan (respectivement IGN et IGC) pour la partie espagnole. A cela s'ajoute également une station large-bande gérées par l'Institut d'Etudes Andorran (IEA). Au total, les Pyrénées sont ainsi couvertes par environ 80 stations sismologiques (stations large-bande, courtes-périodes et accéléromètriques confondues). Le projet *SISPyr* vise notamment à définir des procédures de partage des données sismologiques enregistrées par ces différents réseaux[1], et d'améliorer la couverture de la chaine. Ainsi, le déploiement de 15 nouvelles stations est prévu dans le cadre du projet (2009-2011).

En termes de couverture géographique des Pyrénées par des stations disposant de transmission en temps-réel des données, celle-ci est encore relativement limitée et hétérogène. Ainsi, si la Catalogne dispose déjà de nombreuses « stations temps-réel », cela n'est pas le cas du reste du territoire pyrénéen. Afin de résoudre ce problème du côté français, de nombreuses stations du Réseau Accélérométrique Permanent (RAP) sont progressivement amenées à évoluer vers une transmission en temps-réel. Par ailleurs, le projet *SISPyr* prévoit le passage de plusieurs autres stations à une transmission temps-réel.

Adaptabilité du réseau à des fins d'alerte sismique précoce

Parmi l'ensemble des stations associées au projet *SISPyr*, seule une partie pourrait aujourd'hui servir de base à un EEW. Nous avons ainsi considéré trois raisons de ne pas retenir une station : 1) station située en dehors de la zone du projet et relativement éloignée, 2) station située en zone urbanisée car risque important de fort niveau de bruit, ou 3) station ne disposant pas d'une transmission en temps-réel des données. Les 29 stations restantes constituent ce que nous appellerons par la suite le « réseau temps-réel *SISPyr* ». Ces stations sont représentées sur la Figure 2.

Performances théoriques

En croisant les caractéristiques du réseau temps-réel *SISPyr* (localisation des stations, temps de latence moyen pour le transfert des données pour chacune d'entre elles, etc.) avec les premiers résultats issus de travaux sur la détermination rapide de la magnitude dans les Pyrénées, il est possible d'évaluer les performances théoriques d'un EEW pyrénéen virtuel en se basant sur certaines hypothèses quant à son mode de fonctionnement. Parmi ces hypothèses, la plus importante réside dans le nombre de stations minimal nécessaire pour mener une analyse automatique en temps-réel (incluant les processus de détection/localisation/détermination de la magnitude/etc.) : nous avons à ce sujet considéré plusieurs configurations en faisant varier ce nombre d'une unique station (i.e. EEW dit « onsite ») à 4 stations. Ce travail a été mené dans le but d'obtenir de premiers éléments d'aide à la décision concernant l'opportunité de doter les

[1] A l'exception de celui du CEA/LDG.

Pyrénées d'un tel système. Les résultats ainsi obtenus peuvent dans un premier temps être représentés sous la forme de cartes figurant l'extension de la zone d'ombre[2] en fonction de la localisation de l'épicentre.

Il est également possible de confronter les résultats ainsi obtenus avec la localisation des principaux séismes historiques pyrénéens. Il apparait qu'un EEW utilisant un minimum de deux stations de l'actuel réseau temps-réel *SISPyr* donnerait lieu à des zones d'ombres présentant un rayon inférieur ou égal à 41 km pour 50% des séismes considérés, et de 47 km pour 80% des cas (cf. Figure 2).

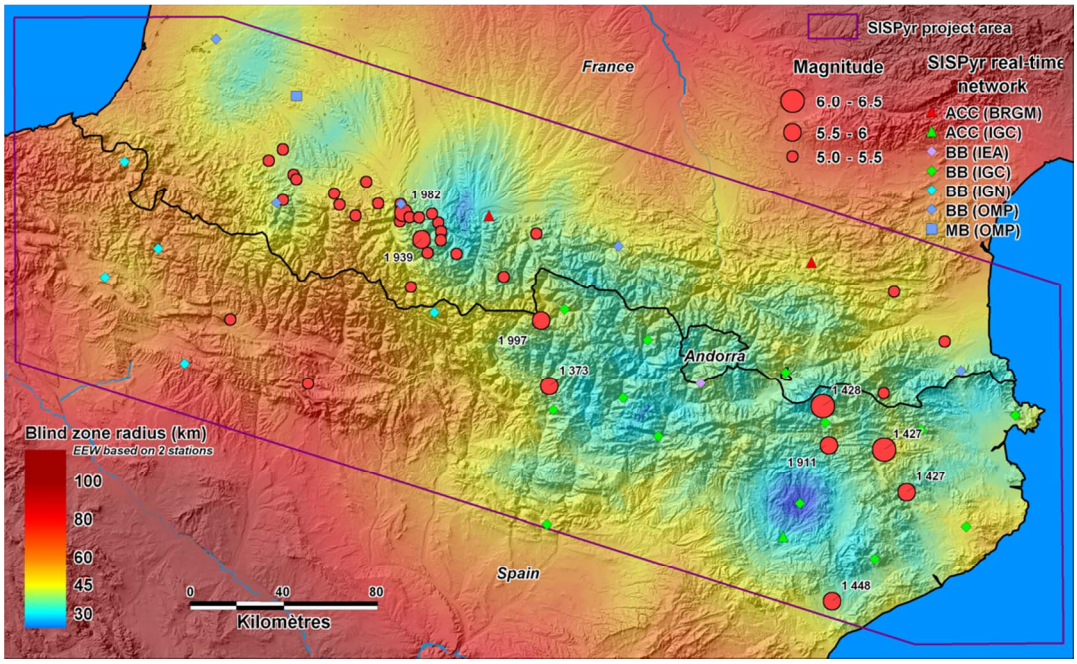


Figure 2 – Extension de la zone d'ombre en fonction de la localisation de l'épicentre, pour un EEW utilisant le réseau *SISPyr* temps-réel sur la base de 2 stations au minimum. Sont également représentées les stations temps-réel *SISPyr* ainsi que les principaux séismes historiques de la région pyrénéenne.

[2] Zone d'ombre : zone dans laquelle l'alerte précoce est inefficace du fait que celle-ci y parvient après l'arrivée des ondes S

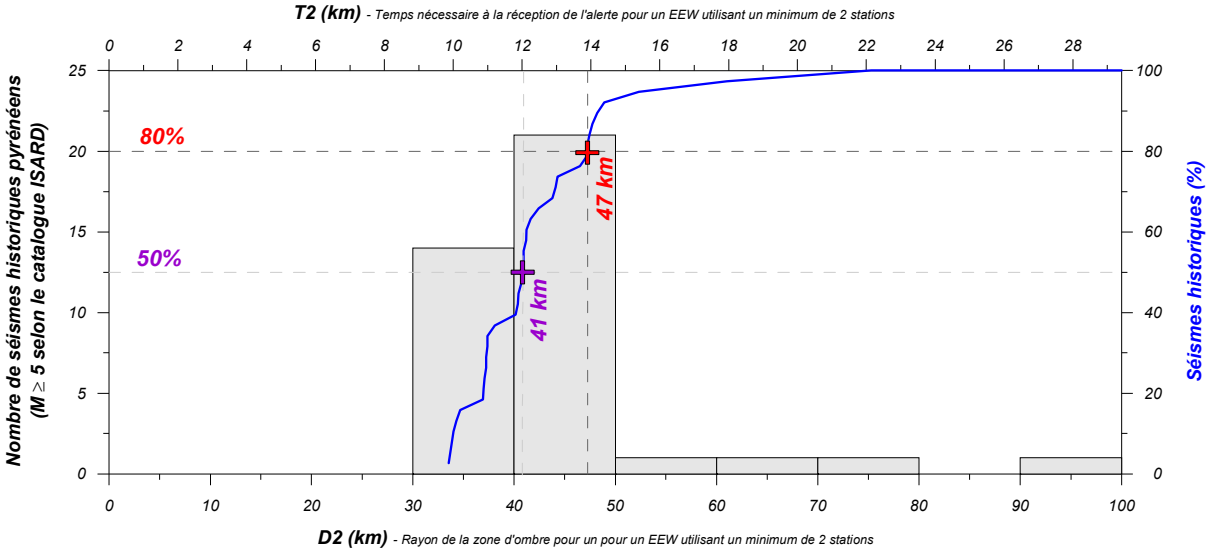


Figure 3 – Epicentres des principaux séismes Pyrénéens (M ≥ 5 sur la période 580 – 2003 / Source : catalogue ISARD) et extension de la zone d'ombre associée.

Afin de pouvoir tirer des premières conclusions quant à l'efficacité potentielle d'un EEW pyrénéen, il est nécessaire d'évaluer dans quelle mesure les zones subissant des dommages (i.e. intensité ≥ VI) pourraient disposer d'une alerte précoce quelques secondes avant l'arrivée des ondes destructrices. Pour ce faire, et considérant que la localisation des séismes historiques peut être considérée comme représentative de la sismicité régionale, nous avons utilisé la relation de prédiction de l'intensité de Bakun et Scotti (2006) dans le but de confronter l'extension de la zone d'ombre à celle de l'isoséiste correspondant à l'intensité VI. Il ressort de cette analyse qu'à moins de faire face à un séisme majeur caractérisé par une étendue très importante de la zone sinistrée, un EEW basé sur le réseau *SISPyr* devrait pour être efficace être en mesure d'émettre des alertes à partir d'une analyse sur un nombre de stations très limité (une à deux) – cf. Tableau 2.

Néanmoins, les cartographies telles que celle présentée sur la Figure 2 illustrent clairement que les performances d'un EEW basé sur le réseau *SISPyr* ne seraient pas homogène à l'échelle de l'ensemble des Pyrénées du fait la couverture inégale offerte par ce réseau. De ce fait, à ce jour un tel système d'alerte serait beaucoup plus efficace pour les séismes survenant dans la partie Est du massif pyrénéen (cf. scénario d'alerte précoce présenté sur la Figure 4).

Mag.	Nb. of stations			
	1	2	3	4
5.0	✗	✗	✗	✗
5.5	!	✗	✗	✗
6.0	✓	!	✗	✗
6.5	✓	✓	✓	✓

Tableau 2 – Intérêt d'un EEW pyrénéen basé sur le réseau temps-réel SISPyr issu de la confrontation de la sismicité historique avec l'extension théorique des zones d'ombres. Les configurations pour lesquelles 50%-80%

des épidentres historiques conduisent à des zones d'ombre moins étendues que l'isoséiste I=VI sont respectivement indiquées par les symboles "!" et "√".

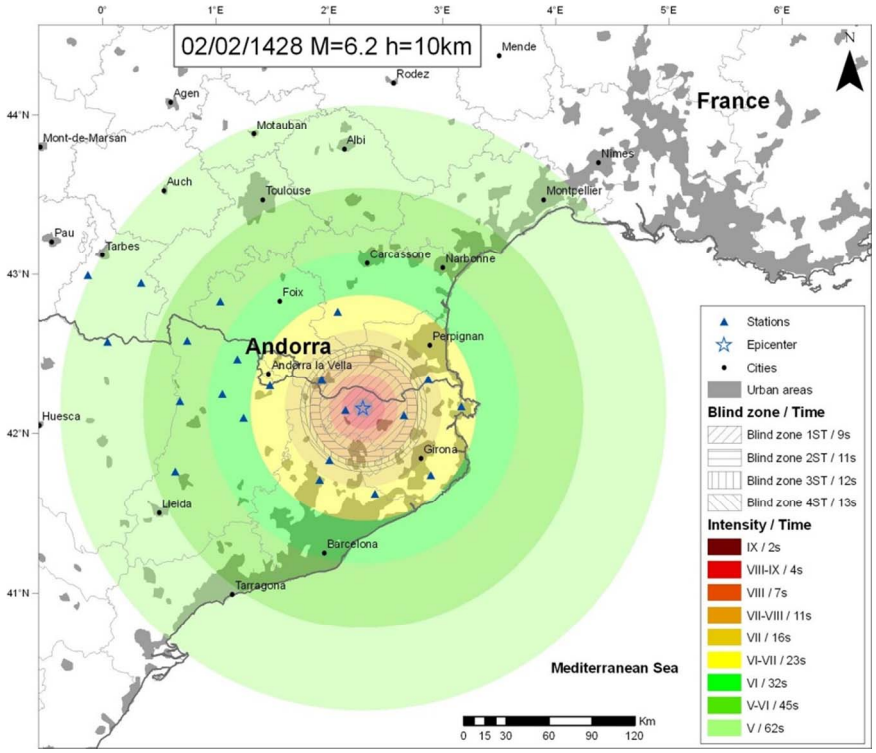


Figure 4 – Comparaison entre l'extension de la zone d'ombre et celle des différentes courbes isoséistes pour le séisme destructeur de 1428 au Nord-est de la Catalogne.

4. Du besoin d'un système d'alerte sismique précoce

Problématique

Les EEW ont vocation à réduire les impacts des séismes par la mise à disposition d'une alerte de quelques secondes, afin que des mesures puissent être prises avant l'arrivée des ondes destructrices. N'étant qu'un outil dans la prise en compte du risque sismique, il n'a donc d'utilité qu'employé par des utilisateurs. Dans sa conception, il est donc impératif qu'un EEW puisse répondre aux exigences de ces utilisateurs afin de s'adapter à leurs besoins, et non l'inverse comme cela est souvent le cas. En effet, de nombreux systèmes d'alerte précoce (sismique ou non) ont étés élaborés en totale déconnection avec cette notion de « besoin », obligeant les utilisateurs finaux à s'adapter au système.

Dès lors, une démarche active de consultation des potentiels utilisateurs est nécessaire afin de comprendre leurs problématiques propres, leur attentes (ou au contraire leur absence d'attentes), ainsi que leurs besoins. Pour ce faire, il a été décidé dans le cadre du projet *SISPyr* de réaliser une enquête transfrontalière menée dans un premier temps du côté français de la frontière. L'objectif final de cette enquête est de receuillir des éléments propres à orienter la conception d'un potentiel EEW pyrénéen basé sur le réseau *SISPyr*, afin de proposer un système répondant au mieux aux besoins et attentes des utilisateurs.

Les informations reccueillies dans le cadre de cette enquête doivent notamment apporter des éléments de réponse à la question *« Existe-t-il un besoin de disposer d'un système d'alerte sismique précoce pyrénéen ? »*. Selon les réponses apportées à cette question, il conviendra ensuite dans l'affirmative d'expliciter ce besoin et de le confronter à l'étude de faisabilité technique, et dans la négative d'identifier les éventuels besoins avérés pour d'autres outils de gestion du risque sismique (systèmes automatiques d'arrêts de systèmes basés sur le dépassement de valeurs seuil, systèmes de réponse rapide tels les scénarios automatiques de dommages ISARD, etc.).

Cible de l'enquête

En fonction des conditions spécifiques à chaque situation (caractéristiques du séisme, mouvements du sol attendus, délais d'alerte, fiabilité de l'EEW, sensibilisation des différents acteurs au risque sismique, etc.), le nombre et la nature des utilisateurs possibles pour un EEW peuvent varier du tout au tout. Aussi, la question des destinataires de l'enquête désignés sous la dénomination générale « d'utilisateurs » a été abordée avec le plus grand soin sur la base d'un recensement des potentiels utilisateurs d'un EEW pyrénéen.

Du fait que de toute évidence, le contexte pyrénéen ne permette pas d'obtenir des délais d'alerte suffisamment important pour envisager des alertes publiques étendues (lesquelles nécessitent à minima de disposer de plusieurs dizaines de secondes), il est apparu plus pertinent de ne viser que des utilisateurs en mesure de mettre à profit une alerte sismique précoce par la mise en œuvre de procédure de sécurisation automatiques. C'est donc vers le monde industriel, déjà rompu à la gestion de crise et à la prise de mesures préventives automatiques, que l'enquête a été ciblée, ainsi que vers des gestionnaires de réseaux sensibles (énergie, transports) et de barrages – nombreux dans les Pyrénées –.

Avec le soutien des différentes Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) du massif Pyrénéen, une liste de plus d'une centaine de destinataires a ainsi pu être constituée. Actuellement en cours de réalisation, cette enquête devrait permettre d'ici quelques mois de pouvoir dresser un premier bilan des besoins existant en matière d'alerte sismique précoce dans les Pyrénées.

5. Conclusions et perspectives

Grâce aux avancées réalisées dans le cadre du projet *SISPyr* dans la surveillance sismique à l'échelle des Pyrénées et notamment au partage en temps-réel de données, il est désormais possible de tester la faisabilité d'un EEW couvrant l'ensemble du massif pyrénéen. Un tel système viserait à émettre des alertes précoces de quelques secondes avant l'arrivée des ondes sismiques destructrices dans le cas de forts séismes, à l'image du séisme d'Arette de 1967.

Bien que les EEW régionaux soient généralement basés sur des réseaux de surveillance sismique consacrés, une analyse du réseau temps-réel *SISPyr* montre que les stations en présence pourraient être utilisées à des fins d'alerte sismique précoce. Cependant, la déclinaison opérationnelle d'un tel outil dans les Pyrénées fait face à des obstacles importants. Le premier de ces obstacles réside dans la sismicité modérée de la région associée à des périodes de retour relativement importantes des séismes destructeurs et à une forte atténuation du pouvoir destructeur des ondes sismiques avec la distance. D'autre part, la couverture aujourd'hui encore limitée du réseau temps-réel ainsi que le temps de latence important de certaines stations constituent un second obstacle - obstacle au demeurant facilement remédiable.

Pour faire face au contexte particulier des Pyrénées, une approche possible semble par conséquent de considérer un système « hybride » capable de réaliser une première analyse « onsite » (à partir d'une station unique) afin de pouvoir alerter extrêmement rapidement les systèmes les plus critiques, puis de raffiner progressivement la fiabilité de l'alerte en intégrant à l'analyse chaque nouvelle station détectant le séisme.

Si cette configuration de système proposée précédemment semble en mesure de pouvoir fournir des alertes précoces, il convient encore à ce jour d'évaluer dans quelle mesure ces alertes pourraient permettre de minimiser

l'impact des séismes survenant dans les Pyrénées. Cela devrait être rendu possible dans les prochains mois avec les résultats attendus de l'enquête en cours tentant de répondre à la question de l'existence ou non d'un besoin en termes d'alerte sismique précoce de la part des industriels français implantés dans les Pyrénées.

6. Remerciements

Ce travail a été en grande partie financé par le programme POCTEFA, projet EFA73/08-SISPYR 2009-2011. Les auteurs tiennent par ailleurs à remercier vivement les DREAL des régions Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon pour leur aide précieuse et leur soutien pour la préparation et la réalisation de l'enquête auprès des utilisateurs menée sur leurs territoires respectifs.

7. Bibliographie

Bakun W.H., Scotti O. (2006). "Regional intensity attenuation models for France and the estimation of magnitude and location of historical earthquakes." *Geophys. J. Int.* 164, 596-610.

Souriau A., A. Rigo, N. Dubos, M. Sylvander C. Ponsolles (2005). "Analysis of the seismicity in the central part of the Pyrennes (France) and tectonic implications." *Journal of Seismology*, 9, 211-222.