
Etablissement d'une base de données des intensités historiques extrapolées pour toutes les communes françaises.

Development of a macroseismic intensity database for all French communities.

Julien Rey*, Samuel Auclair*, Daniel Monfort*, John Douglas**

* BRGM, 3 avenue C. Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2

j.rey@brgm.fr

** University of Strathclyde, Department of Civil and Environmental Engineering, 75 Montrose Street, Glasgow, G1 1XJ, Ecosse, Royaume-Uni

RÉSUMÉ.

L'information des citoyens sur les risques majeurs est un droit et il est ainsi important de mettre à disposition des données sur l'exposition d'un territoire vis-à-vis du risque sismique, notamment sur la sismicité historique. Le BRGM a ainsi mis en place une base de données permettant de faire état de niveaux d'intensités présumés qui seraient occasionnés par des séismes historiques, pour les communes qui sont actuellement insuffisamment documentées dans SisFrance (www.sisfrance.net, BRGM/IRSN/EDF). A chaque commune du territoire des événements sismiques historiques sont associés avec un niveau d'intensité ressenti (SisFrance) ou présumé (interpolation). Cette étude a consisté à étudier la faisabilité d'une telle base de données, à valider l'utilisation d'un code de calcul réalisant des interpolations des intensités observées à l'aide d'une technique de krigeage. Ensuite des développements méthodologiques ont été apportés et la procédure de calcul a été automatisée et appliquée pour tous les séismes de la base de données SisFrance (métropole et DROM-COM). Des cartes ont été automatiquement générées pour quelques événements sélectionnés et permettent de valider la procédure et les outils mis en place. Enfin une base de données communale des intensités extrapolées est structurée et un outil est développé pour faciliter la mise à disposition des résultats obtenus via un serveur cartographique sur un site internet.

ABSTRACT. Public information on major risks is a civil right in France. It is, therefore, important to provide data on the exposure of the citizen to seismic risk, notably by providing information on historical seismicity. BRGM is, therefore, developing a database providing the macroseismic intensities that are estimated to have occurred in every French community during historical earthquakes but for which insufficient documentary proof is currently available within SisFrance (www.sisfrance.net, BRGM/IRSN/EDF). A macroseismic intensity is assessed for every community either based on documentary information for that location (SisFrance) or via spatial interpolation. This development firstly consisted of a feasibility study for the creation of such a database by using the statistical technique known as kriging. Following this, methodological improvements were made and the procedure was automated and applied to all of the earthquakes in SisFrance (both for mainland and overseas communities). Maps generated for some events are shown here as a validation of the procedure and the developed tools. Finally, the database of communal intensities has been structured and a tool created to facilitate the publication of these results via a cartographic server on a website.

MOTS-CLÉS : Intensité macrosismique, sismicité historique, risque sismique, SisFrance, krigeage, interpolation, métropole, Antilles françaises, Guyane, Mayotte, Réunion, Nouvelle-Calédonie.

KEYWORDS: macroseismic intensity, interpolation, historical seismicity, seismic risk, SisFrance, kriging, French Antilles, French Guiana, Mayotte, Réunion, New Caledonia

1. Introduction

L'information des citoyens sur les risques majeurs est un droit inscrit dans la loi française. Des informations sur les caractéristiques des risques et les mesures de prévention et de sauvegarde sont ainsi diffusées dans un dossier départemental sur les risques majeurs (DDRM) établi par le préfet, ainsi que dans un document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) établi par le maire.

En vue de cette information préventive relative au risque sismique, il est en particulier important de mettre à disposition des données scientifiques accessibles sur l'exposition d'un territoire vis-à-vis des séismes. La connaissance des séismes historiques, outre leur intérêt pour la compréhension du phénomène sismique et l'évaluation de l'aléa sismique, contribue à entretenir la mémoire des séismes passés et à transmettre la culture du risque. La base de données sur la macrosismicité historique SisFrance (www.sisfrance.net, BRGM/IRSN/EDF) permet notamment de connaître, par commune, l'intensité macrosismique des séismes historiques, dès lors que ces événements ont donné lieu à une description des effets sur la commune visée. Ainsi cet outil est, entre autres, déjà fréquemment utilisé à l'échelle locale à des fins de communication et de développement d'une culture du risque sismique des citoyens.

Cependant cette base de données ne recense pas toutes les communes du territoire ayant subi un tremblement de terre au cours des temps. Ainsi, il peut être utile d'offrir des informations complémentaires à celles contenues dans la base SisFrance, en particulier pour les communes peu renseignées historiquement, qui peuvent (faussement) paraître des localités à l'abri des séismes.

Pour fournir cette information complémentaire, il apparaît donc utile de mettre en place une base de données faisant état d'un niveau d'intensité présumée occasionnée lors de séismes historiques insuffisamment documentés. Chaque commune du territoire français serait ainsi mieux informée sur son exposition au risque sismique.

Le BRGM a mené en 2012-2013, avec le soutien de la DGPR, une étude visant à établir dans un premier temps la faisabilité d'une telle base de données et à valider l'utilisation d'un code de calcul (Rey, 2013). La seconde phase de l'étude, réalisée dans le cadre du programme de travail du BRGM, en appui à la DGPR, relatif à l'acquisition et à la diffusion de la connaissance sur les risques naturels pour l'année 2014, a consisté à automatiser la procédure retenue et à traiter tous les séismes de la base de données en métropole et dans les DOM-COM (Rey, 2014). Enfin la dernière phase de l'étude réalisée dans le cadre du programme de travail pour l'année 2015 a porté sur la mise à disposition et à la valorisation des résultats obtenus.

2. Données utilisées et zones d'étude

L'intensité macrosismique est la quantification des effets d'un séisme en un point particulier de la surface du sol à partir d'une estimation statistique des effets engendrés en ce lieu sur les personnes, les constructions et l'environnement. L'intensité ressentie en un lieu suite à un séisme reflète ainsi l'ampleur des mouvements du sol qui sont eux-mêmes liés à la propagation des ondes sismiques. Ces mouvements sismiques sont différents selon la distance du lieu d'observation mais peuvent également être amplifiés (ou atténués) localement en raison d'effets locaux spécifiques, on parle alors « d'effets de site ». L'intensité devant être attribuée sur la base « d'échantillons ayant une valeur statistique sans être affectés outre mesure par des spécificités locales à petite échelle » (EMS-98), celle-ci est généralement évaluée à l'échelle communale. Les données d'intensités utilisées dans le cadre de cette étude sont celles recensées dans les bases de données de sismicité historique SisFrance (EDF/IRSN/BRGM). La base de données couvrant le territoire métropolitain a été utilisée mais également les autres bases de données dédiées aux territoires d'outre-mer en zone sismique : respectivement les bases de données dédiées aux zones Antilles, océan Indien et Pacifique. Ces bases de données couvrent les territoires des Antilles françaises (Guadeloupe, Martinique, St-Martin, St-Barthélemy), la Guyane, la Réunion, Mayotte, La Nouvelle-Calédonie et Wallis et Futuna. Les valeurs d'intensité issues des bases de données SisFrance étant

associées à des coordonnées géographiques ponctuelles correspondant au centroïde de la commune ou du lieu-dit considéré, elles seront par la suite considérées comme des valeurs ponctuelles.

3. Méthodes testées et procédure retenue

L'absence, pour une localité et un séisme donnés, d'une valeur d'intensité ne signifie pas que le séisme n'a pas été ressenti sur ladite localité, mais seulement que ses éventuels effets n'y ont pas été consignés dans des documents identifiés à ce jour. Dès lors, les intensités affectées aux localités voisines peuvent être utilisées pour déduire un niveau d'intensité présumé. Cela peut être fait « à dire d'expert » par l'analyse conjointe des données disponibles, ou de manière plus reproductible par le recours à des techniques de géostatistique ou des modèles d'atténuation de l'intensité avec la distance.

3.1. Etablissement manuel des cartes d'isoséistes

Dans le cadre des travaux du consortium SisFrance des cartes d'isoséistes ont été déterminées manuellement pour l'ensemble des séismes les plus importants survenus sur le territoire métropolitain au cours des siècles (Lambert, 2004). Dans le cas de séismes anciens pour lesquels on ne dispose pas de beaucoup de données, de telles courbes apportent une information importante pour un grand nombre de localités. Ces courbes sont ainsi établies « à dire d'expert » et la pondération des différentes observations est implicitement prise en compte dans le travail. Les indices de qualité associés à chaque valeur d'intensité sont ainsi pris en considération : lorsqu'une observation semble douteuse et que son indice de fiabilité est incertain il est souvent tout simplement ignoré. Au contraire, si l'indice est bon les courbes sont dans la mesure du possible ajustées pour tenir compte de cette donnée. Cependant les choix ayant conduit à établir ces cartes ne sont pas toujours référencés. Cela représenterait en effet un travail considérable de justifier et annexer à la carte en elle-même tous les choix de l'expert pour le tracé de chaque ligne d'isoséistes. De plus chaque expert peut tracer des isoséistes différentes selon sa connaissance des données et son expérience. Les cartes ainsi produites sont par nature subjectives, ce qui en constitue la principale limite. Enfin, une autre limite importante des évaluations manuelles des cartes d'isoséistes est que ce travail est très consommateur en temps et ne peut être généralisé facilement à un grand nombre de séismes.

3.2. Interpolations automatiques

En analyse numérique, l'interpolation est une opération mathématique permettant de construire une courbe à partir de la donnée d'un nombre fini de points, ou une fonction à partir de la donnée d'un nombre fini de valeurs. La solution du problème d'interpolation passe par les points prescrits, et, suivant le type d'interpolation, il lui est demandé de vérifier des propriétés supplémentaires. Il existe des méthodes d'interpolation classiques et des méthodes plus élaborées comme celle utilisant des triangles de Delaunay qui a été testée sur un exemple.

Il ressort du test réalisé que cette méthode permet une bonne prise en compte des modifications locales du mouvement sismique (effets de site, directivité, ...) et donc des intensités observées. En effet, l'échelle de travail est fonction de la distance entre les points d'observation et est en général plus fine et donc plus proche de la réalité que les courbes dessinées manuellement, en particulier en champ proche (zone épiscopale), où un grand nombre de données d'intensités observées fiables sont disponibles.

Cependant la principale limite de cette méthode est qu'elle est adaptée quand il y a beaucoup de points mais est difficilement utilisable quand on dispose de peu de données. Ainsi cette méthode d'interpolation fournit des valeurs d'intensité théoriques uniquement pour les zones situées à l'intérieur d'un triangle formé par trois points d'observation. Il reste de nombreuses « zones blanches » non couvertes où des intensités notables sont pourtant attendues.

3.3. Interpolation avec utilisation de relations d'atténuation

Afin de s'affranchir de ce problème, ces approches d'interpolations automatiques peuvent être couplées à des relations d'atténuation de l'intensité (les IPE – *Intensity Prediction Equation*) afin de respecter les observations là où l'on en dispose, tout en procédant à des extrapolations là où les observations font défaut. Développée par l'USGS à des fins de cartographie rapide et automatique de l'intensité des mouvements sismiques, la méthode *ShakeMaps* (Wald *et al.*, 1999) permet notamment de produire des cartes d'intensités en intégrant à la fois des observations macrosismiques et différents modèles d'atténuation (avec la distance) et d'amplification (liée aux effets de site). En France, cette approche est notamment implémentée ou en cours d'implémentation, dans les Pyrénées (Bertil *et al.*, 2012) et dans le Sud-Est de la France.

Bien que très performante, la méthode de croisement de *ShakeMap* entre observations et modèles est difficilement paramétrable, et à certains égards difficilement personnalisable. En particulier, la volonté de pouvoir prendre en compte le code de fiabilité associé dans la base de données SisFrance à chaque évaluation d'intensité nous a conduit à avoir recours à une méthodologie propre, assez proche d'un point de vue théorique.

3.4. Procédure retenue : interpolation par krigeage

Le code de calcul retenu effectue les interpolations selon la méthode géostatistique de krigeage, qui permet une estimation linéaire avec une variance minimum. Le krigeage réalise l'interpolation spatiale d'une variable régionalisée par calcul de l'espérance mathématique d'une variable aléatoire, utilisant l'interprétation et la modélisation du variogramme expérimental. C'est le meilleur estimateur linéaire non-biaisé; il se fonde sur une méthode objective. Il tient compte non seulement de la distance entre les données et le point d'estimation, mais également des distances entre les données deux-à-deux. Cette méthode est ainsi particulièrement adaptée pour les interpolations de paramètres dont la valeur dépend directement de la distance entre les points. C'est le cas pour les courbes d'isoséistes : les valeurs des intensités décroissent en général linéairement avec le logarithme de la distance. Ceci est dû au mode de propagation des ondes sismiques dont l'amplitude est modélisée généralement comme étant linéairement décroissante selon le logarithme de la distance (atténuation constante).

Un code informatique adaptant cette méthode statistique a été développé par Ambraseys et Douglas (2004). Quand des données sont disponibles, le code estime en chaque point les intensités permettant de respecter exactement ces observations. Quand peu de données sont disponibles, le code simule des courbes d'isoséistes sous forme de cercles concentriques en estimant leurs diamètres à partir d'au moins une donnée observée, respectivement pour chaque classe d'intensités (par exemple II, II-III, III, III-IV et IV).

4. Améliorations du code, automatisation de la procédure et tests de sensibilité

Le code de calcul d'Ambraseys et Douglas (2004) a été amélioré, notamment pour permettre :

- La production de fichiers de sortie des résultats pour représentation graphique ;
- La prise en compte des observations faisant état de secousses « non-ressenties » (intensité I) ;
- L'utilisation de grilles de calcul imbriquées (limitation du temps de calcul).

D'autre part, des tests de sensibilités ont été réalisés portant sur :

- Le choix du pas d'interpolation ;
- L'influence de la profondeur du foyer ;
- La qualité et la quantité des données d'entrée utilisées.

Par ailleurs, la chaîne de traitement a été entièrement automatisée afin de pouvoir traiter l'ensemble des séismes de la base de données. Pour cela une extraction automatique de la base de données SisFrance a été

réalisée ainsi qu'une génération automatique des fichiers d'entrée du programme. Le programme de calcul en lui-même a été modifié afin de traiter « à la chaîne » l'ensemble des séismes, puis de produire automatiquement des cartes d'isoséistes utilisant une mise en forme standardisée (cf. figure 2).

5. Génération de cartes automatiques d'isoséistes interpolées

5.1. Comparaison avec les isoséistes établies manuellement

Des comparaisons entre les cartes d'isoséistes établies à l'aide de cette méthodologie avec les cartes d'isoséistes de référence établies manuellement ont été réalisées pour huit séismes représentatifs des différentes zones du territoire métropolitain. D'une façon générale, les cartes réalisées de façon automatique sont très cohérentes avec les cartes manuelles. Les rayons moyens des différentes isoséistes sont par exemple comparables. Dans le cas des cartes manuelles, les isoséistes relatives aux faibles intensités (II à IV) sont en général plus étendues et représentées sous formes de cercles ou d'ellipses alors que les cartes automatiques, qui tiennent compte de toutes les données, sont de formes moins homogènes. Les différences entre les deux méthodes ont été quantifiées sur certains séismes, comme on peut le voir sur la Figure 1 pour l'exemple du séisme de Bigorre du 21 juin 1660. L'ensemble des résultats obtenus pour les huit séismes est présenté dans le Tableau 1.

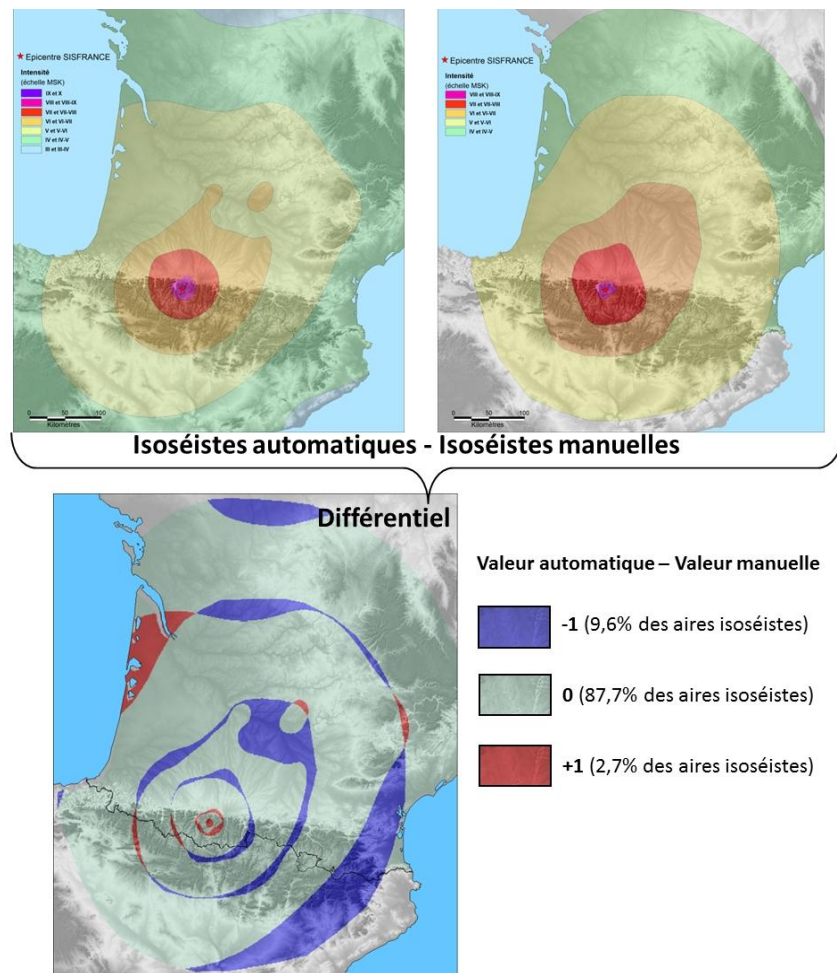


Figure 1. Carte des différences entre les classes d'intensité établies de façon automatique et manuelle pour le séisme de Bigorre du 21/06/1660.

| Séisme (date et appellation) | | ΔI (%) | | | | |
|------------------------------|----------------------|----------------|------|------|------|-----|
| | | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 |
| 21/06/1660 | Bigorre | - | 9,6 | 87,7 | 2,7 | - |
| 12/05/1682 | Remiremont | - | 8,0 | 68,4 | 22,5 | 1,1 |
| 06/10/1711 | Poitou (Loudun) | - | 19,8 | 77,6 | 2,6 | - |
| 19/02/1822 | Bugey (Belley) | - | 8,1 | 78,9 | 13 | - |
| 28/09/1935 | Angoumois (Rouillac) | - | 9,2 | 71,4 | 23,9 | - |
| 29/02/1980 | Arudy | 0,1 | 10,6 | 64,7 | 24,3 | 0,3 |
| 15/07/1996 | Annecy | - | 4,7 | 69,4 | 25,9 | - |
| 22/02/2003 | Rambervillers | - | 17,1 | 75,8 | 7,1 | - |

Tableau 1. Différences de classes d'intensités établies de façon automatique et manuelle pour les 8 séismes traités (pourcentage en fonction du nombre de points total de la grille).

5.2. Quantification de l'incertitude sur les résultats

5.2.1 Calcul automatique de l'incertitude

Le calcul d'une intensité interpolée donne une information importante, cependant qu'en un point donné, l'incertitude associée à ce calcul puisse être très variable selon qu'on se situe à proximité immédiate de points d'observation ou non. Un calcul automatique des incertitudes a ainsi été intégré à la chaîne de calcul. Pour chaque point de la grille de calcul, l'algorithme délivre une valeur d'intensité estimée mais peut également fournir l'écart-type associé à ce calcul. Lorsqu'un point de calcul correspond avec l'observation d'une intensité quantifiée, le code de calcul retourne comme intensité interpolée la valeur observée, et l'écart-type est alors nul car il n'y a pas de distribution des résultats obtenus. De même plus le point considéré est proche de valeurs imposées et moins l'incertitude est importante et plus l'écart-type est proche d'une valeur nulle. En revanche plus le point de calcul est éloigné de points d'observations, plus il est difficile de contraindre le calcul de l'intensité résultante et plus l'écart-type associé au calcul est important.

5.2.2 Prise en compte des indices de fiabilité

Des indices de fiabilité sont associés à chacune des observations répertoriées dans la base de données SisFrance (A = très sûr, B = assez sûr, C = incertain) et servent à traduire le niveau de certitude ou d'incertitude de l'évaluation de l'intensité. Cette information a été utilisée afin d'estimer un indice de fiabilité agrégé pour chaque point de calcul. Ainsi en chaque point où une intensité est interpolée par le code de calcul, les indices de fiabilité des points d'observation de la base de données sont répertoriés et pondérés selon la distance de ces observations au point de calcul. Un indice moyen est ensuite calculé en fonction des indices relatifs à l'ensemble des points d'observation utilisé pour le calcul et pondérés par les distances au site. Ainsi, le code de fiabilité attribué dans SisFrance à une valeur d'intensité « observée » donnée aura une influence d'autant plus importante sur le calcul de l'indice de fiabilité, que cette observation sera proche du point de calcul.

Au final, en chacun des points de la grille de calcul, le code retourne 1) une valeur d'intensité interpolée mais également 2) l'incertitude estimée de ce calcul ainsi que 3) la fiabilité moyenne des informations utilisées pour ce calcul.

6. Etablissement de la base de données des intensités interpolées à l'échelle communale

6.1. Application de la méthodologie à l'ensemble des données disponibles

Les tests menés sur quelques séismes représentatifs ayant montré que la méthodologie retenue était robuste, la chaîne de traitement a été appliquée à l'ensemble des données des bases de données SisFrance. La quantité des

informations disponibles dans ces bases de données est cependant assez hétérogène selon les zones géographiques considérées (cf. tableau 2). Bien que l’algorithme utilisé nécessite un minimum de deux données d’intensités quantifiées en entrée (voir Rey, 2013), il a finalement été décidé de ne traiter que les séismes pour lesquels au moins trois intensités quantifiées étaient disponibles. A noter que pour une minorité de séismes sélectionnés, l’intensité épiscopale n’était pas disponible dans la base de données. Cependant, cela ne pose pas de problème pour le calcul en lui-même car l’intensité épiscopale n’est pas utilisée pour le calcul (l’intensité épiscopale n’est pas une observation), et seule la localisation de l’épicentre est prise en compte. Cependant cela peut rendre difficile l’évaluation des résultats et dénote une médiocre connaissance de l’événement considéré.

Le tableau 2 met en évidence que pour une grande partie des séismes des bases de données, aucune intensité épiscopale n’est disponible et/ou moins de trois observations quantifiées sont disponibles. La plupart de ces séismes sont en fait des précurseurs ou des répliques de séismes plus importants qui seront traités par ailleurs. Cependant il est également possible que certains séismes importants ne soient pas traités du fait du manque de données quantifiées pouvant les caractériser. C’est une limite importante de l’étude qu’il convient de garder en mémoire. En particulier on remarque qu’aux Antilles, pour une très grande majorité des séismes de la base de données, peu d’intensités observées quantifiées sont disponibles. Alors que le taux est d’un séisme pouvant être traité sur trois en métropole, ce taux chute à un sur dix environ aux Antilles. Ceci reflète la connaissance très partielle de la sismicité historique dans cette partie du territoire national. Par ailleurs les séismes étant globalement de magnitudes plus importantes dans cette partie du globe qu’en métropole, il est normal qu’un plus grand nombre de répliques soient référencées après un séisme majeur. Ces répliques sont cependant en général mal identifiées en termes de sismicité historique.

| | Nombre total de séismes | Nombre de séismes avec une intensité épiscopale | Nombre de séismes ayant au moins trois observations quantifiées | Nombre de séismes ayant au moins trois observations quantifiées ET une intensité épiscopale |
|-------------------|-------------------------|---|---|---|
| Métropole | 5739 | 3114 (54%) | 1648 (29%) | 1623 (28%) |
| Antilles + Guyane | 2722 | 1914 (70%) | 210 (8%) | 193 (7%) |
| Océan Indien | 61 | 51 (84%) | 22 (36%) | 22 (36%) |
| Océan Pacifique | 92 | 59 (64%) | 11 (12%) | 10 (11%) |

Tableau 2. Nombre de séismes à traiter dans les différentes bases de données SisFrance.

6.2. Estimation des intensités communales

Un autre type de restitution consiste en la mise en place d’une base de données des intensités observées et interpolées à l’échelle communale. Pour cela le code de calcul a été modifié pour évaluer directement en un point donné (par exemple le centre-ville de la commune représentée par l’église ou la mairie) l’intensité extrapolée. Pour chaque séisme les intensités ont ainsi été extrapolées au centroïde administratif de chaque commune française (coordonnées fournies par l’IGN, en général correspondant à la localisation de la mairie). De plus, pour chaque séisme, les intensités ont été extrapolées pour chaque localité où il était indiqué dans SisFrance que le séisme avait été ressenti mais où l’intensité n’avait pas été quantifiée. Cela pourrait permettre de réaliser par la suite des statistiques au sujet de ces intensités ressenties mais non quantifiées.

Au final des intensités sont estimées pour l’ensemble des séismes de la base de données pour lesquels trois observations sont disponibles et pour toutes les communes du territoire métropolitain, des Antilles, de Guyane, de la Réunion, de Mayotte, de Nouvelle-Calédonie et de Wallis et Futuna.

7. Mise à disposition des résultats

7.1 Cartes d'isoseistes

Un premier mode de restitution des résultats consiste en la production automatique de cartes d'isoseistes pour tous les séismes de la base de données utilisés. Un exemple est donné sur la Figure 2 ci-dessous pour le séisme du Bugey du 19 février 1822.

INTENSITE_SEISME_10007

BUGEY (BELLEY) 19-2-1822

Carte des isoseistes estimées par interpolation selon une méthode de krigeage

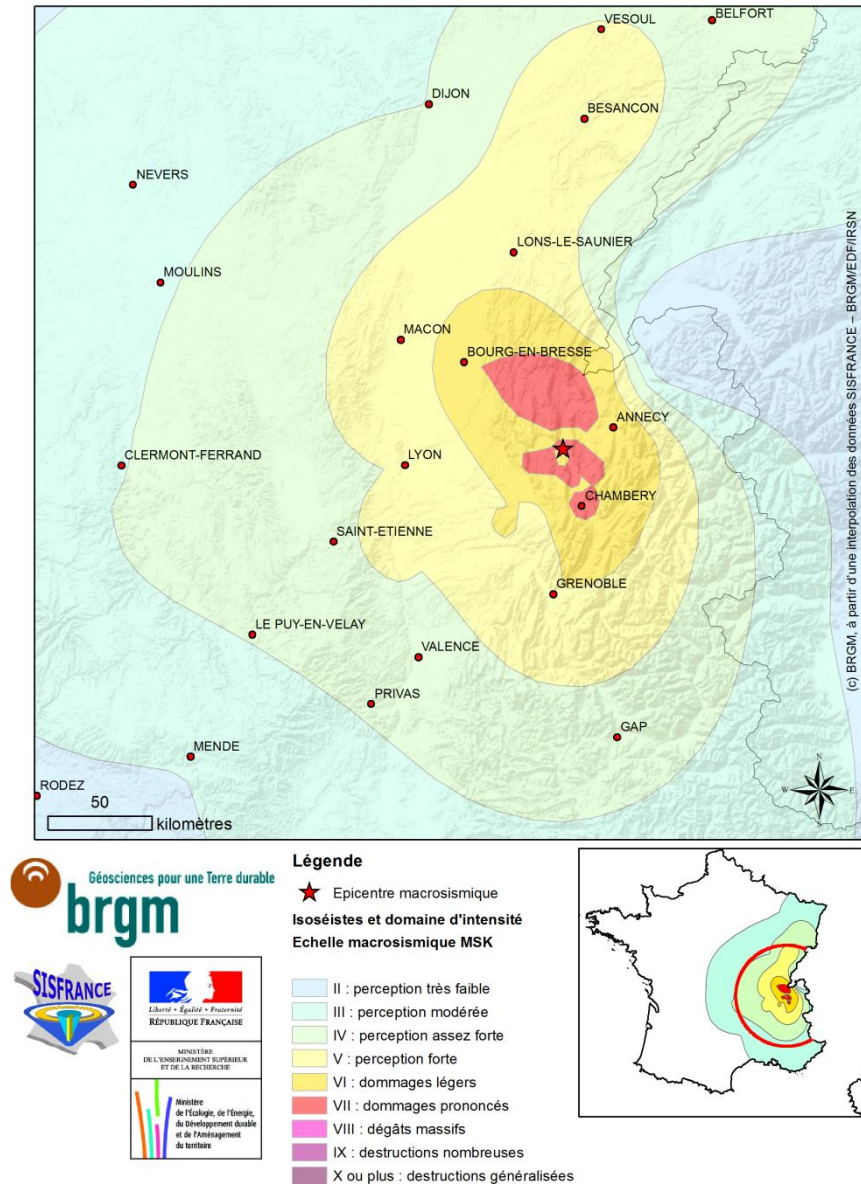


Figure 2. Exemple de carte d'isoseistes réalisée automatiquement à partir des intensités interpolées pour le séisme du Bugey du 19 février 1822 (cercle rouge : rayon de 200 km autour de l'épicentre)

7.2 Base de données des intensités communales

A partir des intensités estimées pour chaque commune du territoire français (voir §6.2) une base de données des intensités observées et interpolées est constituée. L'ensemble des données disponibles est extrait dans une base de données Access. Cela représente au total une masse de données considérable constituée d'environ 60 millions d'enregistrements (soit les intensités interpolées pour les quelques 1 900 séismes traités au droit des 36 000 communes françaises, les séismes métropolitains n'étant bien entendu pas considérés dans les DROM-COM et réciproquement).

Ces enregistrements sont ensuite filtrés de manière à prendre en compte uniquement les intensités supérieures à une intensité minimale de seuil tel que $I_{min}=III$ et à ne pas considérer les interpolations trop incertaines (écart-type supérieur à 2). Une clé unique (le code INSEE) permet ensuite de répertorier toutes les intensités interpolées pour une commune donnée. L'écart-type permet en outre de distinguer les intensités directement extraites de la base de données SisFrance (écart-type nul ou très faible, car en un point d'observation la simulation retourne la valeur d'entrée) des données interpolées.

Des classes d'incertitudes sont proposées en fonction de l'écart-type σ (voir §5.2.1) : $\sigma < 0.05$ (interpolation très fiable), $0.05 \leq \sigma \leq 0.5$ (interpolation fiable), $0.5 < \sigma$ (interpolation peu fiable). De même des classes prenant en compte la fiabilité des données utilisées (voir §5.2.2) sont proposées selon les codes de fiabilité répertoriés dans SisFrance : données utilisées très fiables (équivalent au code 'A' dans SisFrance), données utilisées assez fiables (code 'B') et données utilisées peu fiables (code 'C').

Ainsi une base de données des intensités observées et interpolées est constituée. Cependant, comme il est parfois difficile d'utiliser de telles bases de données, il a été décidé de les présenter à l'aide d'un serveur cartographique.

7.3 Outil cartographique en ligne

Un serveur cartographique a été développé de façon à représenter de façon didactique les résultats obtenus. Ce serveur se présente sous la forme d'une cartographie du territoire français (métropole et outre-mer). L'utilisateur choisit une commune du territoire et le serveur retourne alors toutes les intensités interpolées et observées pour la commune choisie, en précisant un indice de fiabilité et une incertitude pour chacune des données. Un texte d'explication informe l'utilisateur des résultats présentés et des principales limites de l'outil. En particulier l'utilisateur est alerté sur le fait que les intensités sont pour la plupart interpolées et donc par nature incertaines car issue d'un calcul et non d'une observation, elle-même parfois imprécise. De plus certaines données manquent du fait que de nombreux séismes pas ou peu renseignés n'ont pas été traité dans l'analyse. Il est prévu une mise en ligne de cet outil courant 2015 sur les sites internet Géorisques (www.georisques.gouv.fr) et www.planseisme.fr.

8. Conclusions et perspectives

La DGPR et le BRGM ont envisagé la constitution d'une base de données des intensités macrosismiques potentiellement ressenties en France, en extrapolant les données archivées dans la base de données SisFrance (BRGM/IRSN/EDF).

Dans un premier temps, plusieurs méthodologies d'interpolation des intensités macrosismiques ont été identifiées. Les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles ont été listés. Au final, la méthode de calcul automatique des cartes d'isoséistes selon une méthodologie de type krigeage est retenue à l'issue d'une phase de tests de sensibilité. Le code de calcul utilisé permet ainsi de générer des cartes d'isoséistes de façon automatique et ces cartes sont assez comparables avec les cartes établies manuellement. Ceci a été vérifié de façon qualitative puis quantitative pour huit séismes représentatifs du territoire métropolitain, anciens ou récents.

Ensuite, au cours d'une seconde phase du projet, une procédure a été testée. Elle consiste à générer automatiquement des fichiers d'entrée des intensités observées puis de faire un calcul d'interpolation selon une méthode de krigeage et enfin de représenter automatiquement les résultats obtenus sous forme de cartes d'isoséistes. Cette chaîne de traitement a ensuite été appliquée pour l'ensemble des séismes de la base de données SisFrance pour lesquels au moins trois points d'intensité macrosismique exploitables étaient disponibles (en métropole et outre-mer), soit au final 1 891 séismes sur les 8 498 séismes présents dans les bases de données SisFrance. Ceci met en lumière le fait que pour une grande proportion de séismes pas ou peu de points d'intensité quantifiée sont disponibles et ces événements ne sont donc pas exploitables dans le cadre de ce travail. Des cartes dites d'isoséistes sont automatiquement générées pour quelques événements sélectionnés et permettent de valider la procédure et les outils mis en place pour des événements situés en métropole mais également en outre-mer.

Enfin, dans une dernière phase, une quantification des incertitudes et la prise en compte de la fiabilité des données sont intégrées au code de calcul. Une base de données des intensités communales observées ou interpolées est constituée et cette base de données est mise à disposition à l'aide d'un serveur cartographique en ligne.

A l'issue de ce travail plusieurs améliorations sont envisageables concernant par exemple la sélection des données tel l'utilisation des intensités épacentrales, l'utilisation des données ressenties mais non quantifiées, ou l'introduction artificielle de données de faibles valeurs d'intensité à grande distance afin de mieux contraindre la décroissance. D'autres améliorations possibles portent sur le mode de mise à disposition des résultats obtenus. Les résultats peuvent en effet être présentés sous forme de cartes d'isoséistes mais également sous la forme de catalogue des intensités potentiellement ressenties en un lieu donné. Une réflexion sur des formats de mise à disposition différenciés selon le type d'utilisateurs (scientifiques, professionnels, administrations et collectivités, grand public, ...) pourrait être engagée. En particulier une base de données des intensités à destination des scientifiques est envisageable, mais pour le grand public une restitution sous forme d'un outil en ligne sur un site internet semblait dans un premier temps plus pertinente. Le but de ces outils est de permettre une meilleure appréhension locale du risque sismique par tous les acteurs concernés.

9. Bibliographie

- Ambraseys N. N. et Douglas J. « Magnitude calibration of north Indian earthquake s ». *Geophysical Journal International*, 159, 165–206, 2004.
- Bertil D., Roviro J., Jara J.A., Susagna T., Nus E., Goula X., Colas B., Dumont G., Cabanas L., Anton R., Calvet M., « ShakeMap implementation for Pyrenees in France-Spain border: regional adaptation and earthquake rapid response process », Proc. of the 15th WCEE, 2011, paper n° 2078.
- BRGM, EDF, IRSN, « Base de données SISFRANCE – www.sisfrance.net », dernier accès juin 2014.
- Lambert J. « Base de données SisFrance et SisFrance-Antilles, Sites internet, année 2004 ». Rapport final. Rapport BRGM/RP-53333-FR, 33 p., 2004.
- Rey J., avec la collaboration de S. Auclair, J. Douglas et J. Lambert. « Faisabilité et test d'une base de données des intensités macrosismiques historiques extrapolées pour les communes métropolitaines (phase 1) ». Rapport final. BRGM/RP-62941-FR, 75 p., 40 fig., 2 tabl., 1 annexe, 2013.
- Rey J., avec la collaboration de S. Auclair et D. Monfort Climent. « Etablissement d'une base de données des intensités historiques extrapolées pour toutes les communes françaises (phase 2) ». Rapport final. BRGM/RP-64384-FR, 52 p., 11 fig., 4 tabl., 2 annexes., 2014.
- Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.H., Kanamori H., Scrivner C.W., Worden B.C., « TriNet "ShakeMaps": Rapid generation of peak ground-motion and intensity maps for earthquakes in southern California », *Earthquake Spectra*, vol. 15, n°3, 1999, p. 537-556.