

LE TREMBLEMENT DE TERRE DE LIÈGE DU 8 NOVEMBRE 1983

Thierry Camelbeek¹, André Plumier² et David Garcia-Moreno¹
¹ Observatoire Royal de Belgique ² Université de Liège

Introduction

Le 8 novembre 1983 à 1h49m du matin (heure locale), l'agglomération liégeoise a été fortement secouée par un tremblement de terre. Cet événement sismique de magnitude modérée ($M_L = 5.0$ et $M_W = 4.6$) a provoqué d'innombrables dégâts aux habitations, causant de nombreux problèmes d'évacuation et de secours. Parmi les 16.000 habitations endommagées, plus d'une centaine ont été déclarées inhabitables par les autorités, avec pour conséquence plus d'un millier de sans-abris qu'il a fallu reloger dans l'urgence. Dans cet article, nous revenons sur les explications scientifiques de ce phénomène qui à l'époque paraissait totalement inhabituel dans nos régions, même si notre pays avait déjà été affecté dans les années soixante par quelques séismes, dont la région lié-

geoise le 21 décembre 1965, et sur les caractéristiques et les raisons de l'importance des dégâts observés.

La source du tremblement de terre de Liège du 8 novembre 1983

A l'époque du séisme, quatre stations sismiques seulement couvraient le territoire de la Belgique [Un historique des stations sismiques en Belgique est donné par Van Camp et Camelbeek, *Ciel et Terre* n° 6, 2004]. Les paramètres de la source du tremblement de terre n'ont donc pu être déterminés qu'avec l'aide des stations étrangères voisines de notre pays, particulièrement celles implantées par l'Université de Cologne en Allemagne. L'épicentre est localisé à $50,638^\circ$ de latitude nord et $5,515^\circ$ de lon-

gitude est avec une incertitude de l'ordre de 1 km, tandis que la profondeur était estimée à $5,8 \pm 1,2$ km (Camelbeek, 1993). Cette localisation ainsi que celle de tous les tremblements de terre enregistrés dans la région liégeoise de novembre 1983 à septembre 2013 sont reportés sur la figure 1.

Une coupe Nord-Ouest Sud-Est en fonction de la profondeur (figure 1b) suggère que, excepté les événements superficiels localisés dans le compartiment du Houiller au nord de la faille Saint-Gilles, les tremblements de terre localisés au nord de la faille Eifelienne et associés au séisme du 8 novembre 1983 dessinent un rectangle d'une longueur d'environ 6 km et d'une largeur d'environ 2 km orienté Nord-Est Sud-Ouest proche de l'orienta-

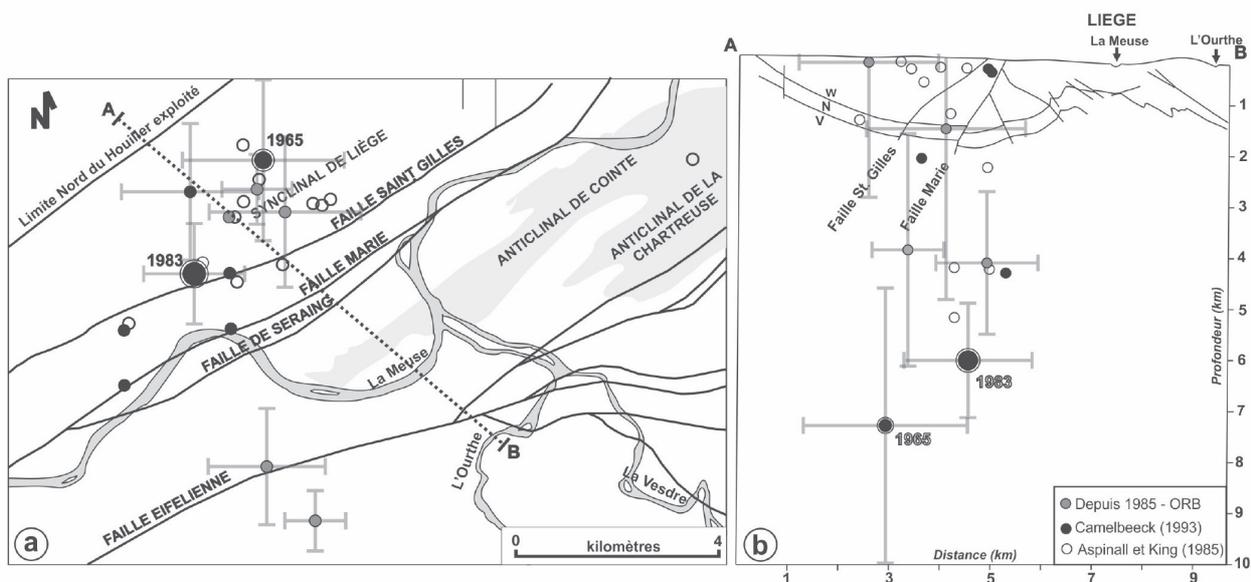


Figure 1 : Activité sismique dans la région liégeoise. Localisation des épicentres des tremblements de terre de 1965 à 2013 et carte structurale schématique du bassin de Liège (d'après Monjoie, 1985). Répartition de l'activité sismique en fonction de la profondeur suivant la coupe A-B indiquée en (a).

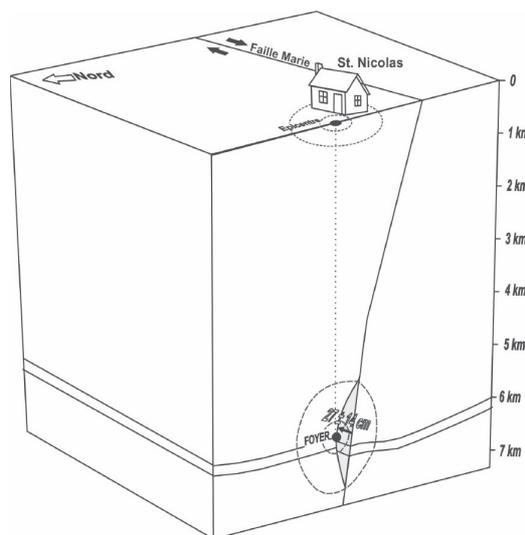


Figure 2 : Mécanisme au foyer du tremblement de terre du 8 novembre 1983. Le diagramme montre la géométrie de la faille responsable du séisme, ainsi que la direction et la grandeur du glissement moyen dans le plan de faille.

tion générale des failles de décrochement qui recoupent la région liégeoise: failles de Seraing, Marie et Saint-Gilles (Figure 1a). Un des plans nodaux du mécanisme au foyer (Figure 2) correspond à une faille d'orientation semblable à ces failles et indique un mouvement de décrochement dextre avec une légère composante inverse. La faille a un pendage nord et vaut 76° . En tenant compte de l'incertitude sur la localisation et en supposant que le pendage de la faille Marie augmente avec la profondeur, il paraît raisonnable d'attribuer la source des séismes de 1965 et 1983 à un glissement le long de la prolongation en profondeur de la faille Marie.

A partir des enregistrements numériques des stations sismiques de l'Université de Cologne, Ahorner et Pelzing (1985) ont évalué un rayon de la source du séisme d'un peu moins de 1 km avec un glissement moyen de l'ordre de 30 cm. La fréquence à laquelle le maximum de l'énergie sismique a été libérée a été mesurée à $1,6 \pm 0,4$ Hz, ce qui

signifie que la densité spectrale en accélération est constante de cette fréquence jusqu'à des fréquences supérieures à 10 Hz, ce qui inclut les modes fondamentaux de vibration d'un grand nombre de constructions et explique donc l'impact direct du séisme sur celles-ci.

Les causes possibles du tremblement de terre de Liège

La source du tremblement de terre ainsi décrite, la question se pose de comprendre la ou les causes à l'origine de ce mouvement de faille.

Dans nos régions, les modèles classiques attribuent les tremblements de terre à l'action des forces tectoniques compressives orientées Nord-Ouest Sud-Est qui sont créées par les mouvements en limite de la plaque Eurasienne, respectivement l'ouverture de l'Océan Atlantique à la ride médio-Atlantique et la collision entre les plaques Africaine et Eurasienne (Ahorner, 1975 ; Grunthal et Stromeyer, 1992). Ce modèle n'explique cependant que partiellement les observations des contraintes dans la lithosphère publiées par le projet international de la carte mondiale des contraintes [<http://www.world-stress-map.org>]. De la même manière, comment expliquer que les séismes à Liège en 1965 et 1983 montrent un mécanisme résultant d'une compression de la croûte terrestre, alors qu'à environ 20 km de distance, les tremblements de terre résultent de mécanismes extensifs dans les Hautes Fagnes ?

De telles variations locales ou régionales des mécanismes des tremblements de terre ne peuvent

s'expliquer que par des variations locales ou régionales des forces agissant dans la lithosphère et la croûte terrestre. Récemment, nous avons montré que l'on peut calculer les contraintes générées dans une colonne de lithosphère par les variations horizontales de l'énergie potentielle gravitationnelle associée à la topographie et à la densité dans la lithosphère (Camelbeeck et al., 2013). Cette composante de contrainte, calculée pour la région de Liège, montre un très bon accord avec les contraintes qui peuvent être déduites des mécanismes au foyer des séismes de 1965 et 1983 à Liège. Cette concordance, également observée pour les séismes récents dans les Pyrénées, suggère que ces tremblements de terre doivent donc résulter d'une diminution locale de la friction à leur foyer, favorisant l'action d'une contrainte existante locale telle celle résultant de l'énergie potentielle gravitationnelle. Nous pensons que cela pourrait être une explication de nombreux tremblements de terre à l'intérieur des plaques par un mécanisme différent du modèle classique d'accumulation des contraintes durant le cycle sismique des failles actives dit du rebond élastique, développé par l'étude des tremblements de terre en limite des plaques. La diminution de friction pourrait être expliquée par des variations temporelles de circulation des fluides dans la croûte terrestre, d'origines naturelles ou liées à l'activité humaine.

Les exemples nombreux de sismicité déclenchée par l'activité humaine tels le remplissage de lacs réservoirs d'eau, l'extraction d'hydrocarbonés ou les injections dans les forages profonds montrent que des perturbations locales des contraintes de peu d'ampleur peuvent induire des tremblements de terre et que la présence d'eau joue un rôle

significatif en générant une perturbation dans les contraintes locales ou en modifiant la friction dans les zones de faille. Ainsi, le récent séisme destructeur de Lorca en Espagne du 11 mai 2011 ($M_w=5.1$) a été expliqué par la rupture d'une aspérité peu profonde à cause du pompage d'eau dans un aquifère voisin (Gonzales et al. 2012). Dans le cas du tremblement de terre à Liège en 1983, même si une origine naturelle doit être envisagée, on peut aussi se poser la question du rôle qu'a pu jouer la fin de l'exploitation de la houille dans le Bassin de Liège durant les années septante et l'arrêt de l'exhaure à cette époque, qui a certainement modifié le contenu en eau dans la partie supérieure de la croûte terrestre. Malheureusement, aucune étude n'a jamais été entreprise pour vérifier cette hypothèse, ni pour évaluer la modification des contraintes liée au changement de charge sur la partie supérieure de la croûte terrestre impliquée dans l'exploitation de la houille qui pourrait être une autre explication possible.

La carte macroséismique du séisme

Pour tout tremblement de terre ressenti en Belgique depuis 1932, l'Observatoire Royal de Belgique envoie à toutes les administrations communales concernées un questionnaire dont les réponses permettent d'évaluer l'intensité du tremblement de terre dans les localités où il a été ressenti et/ou a provoqué des dégâts aux constructions. A l'époque du séisme de Liège, l'échelle d'intensité utilisée en Europe était l'échelle M.S.K. 64. Sur la carte de la figure 3, nous avons cependant reporté les intensités ressenties lors du séisme de Liège dans chaque commune en considérant l'échelle macroséismique européenne 98 (EMS-98), utilisée

depuis une quinzaine d'années en Europe. Il est expliqué ci-après à quoi correspondent les degrés d'intensité usuels associés à l'importance des dégâts observés lors de tremblements de terre dans nos régions. Pour une description complète des différents degrés d'intensité, voir Camelbeek et al., *Ciel et Terre*, n°1, 1999.

La plupart des constructions dans la région liégeoise étaient, et sont toujours comme dans beaucoup d'anciennes cités historiques d'Europe de l'ouest, des maisons à deux ou trois étages en maçonnerie non renforcée. Ce type de construction est représentatif du bâtiment défini comme classe de vulnérabilité B dans l'échelle macroséismique EMS-98 qui comporte six classes de vulnérabilité de A à E, des constructions les plus aux moins sismiquement vulnérables. La résistance aux séismes de ces constructions ordinaires en maçonnerie dépend de la qualité des matériaux utilisés, de la qualité de l'exécution des travaux et de l'état d'entretien. Les bâtiments de ce type en très mauvais état doivent être considérés comme étant de la classe A, celle des constructions les plus vulnérables du point de vue sismique.

Dans l'échelle d'intensité EMS-98, on définit 5 degrés de dégâts aux constructions. Le degré 1 correspond aux dégâts négligeables à léger [fissures capillaires dans très peu de murs, chute de débris de plâtre, ...]. Les dégâts modérés sont répertoriés en degré 2 [fissures dans de nombreux murs, effondrement partiel des cheminées, ...]. Le degré 3 reprend les dégâts sensibles à importants [fissures importantes dans la plupart des murs, les tuiles des toits se détachent, fracture des cheminées à la jonction avec le toit, défaillance de cloisons et murs pignons, ...]. Les dégâts structu-

raux importants et la destruction sont classés en degrés 4 et 5.

L'intensité en un endroit est définie par un degré représenté par un chiffre romain, à ne pas confondre avec le degré de dégâts d'une construction particulière défini au paragraphe précédent. Le degré d'intensité est d'autant plus élevé que les effets du tremblement de terre ont été plus importants. Les premiers dégâts, légers pour quelques bâtiments de classe A et B, apparaissent à l'intensité V. L'intensité VI dans l'échelle EMS-98 correspond à des dégâts de degré 2 dans quelques constructions de vulnérabilité A et B [jusqu'à 10%]. L'intensité VII est associée à des dégâts de degré 3 dans beaucoup [plus de 10%] de constructions de classe A et de degré 2 dans beaucoup de constructions de classe B. Quelques-uns des bâtiments de classe A peuvent souffrir de dégâts structuraux importants. Pour atteindre l'intensité VIII, beaucoup de bâtiments de ce type doivent subir des dégâts structuraux importants et certains d'entre eux peuvent même s'effondrer.

Le questionnaire de l'Observatoire Royal de Belgique adressé aux différentes communes de Belgique comporte une question demandant le nombre de cheminées endommagées et renversées dans la commune, ce qui permet d'évaluer la quantité de dégâts modérés à sensibles (degrés de dégâts 2 et 3) dans chaque commune où des dégâts ont été signalés et donc d'évaluer l'intensité atteinte dans chacune de ces communes.

L'importance des dégâts sera explicitée en détail dans la section suivante pour les communes les plus touchées de Liège et Saint-Nicolas, ainsi que pour Flémalle, des localités pour lesquelles

existent des informations plus précises que celles figurant dans l'enquête officielle de l'Observatoire. Dans ces localités, l'intensité a été évaluée à VII dans l'échelle EMS-98, comme dans les communes voisines d'Ans (25% d'habitations avec des dégâts modérés à sensibles), Grâce-Hollogne (20%), Loncin (21%), Tilleur (50%) et Ougrée (14%).

On remarque sur la figure 3 que le tremblement de terre a été ressenti sur une surface d'un rayon supérieur à 200 km. Des personnes l'ont mentionné à l'ouest jusqu'à la côte belge, au nord jusqu'à Amsterdam, à l'est plus loin que Francfort et au sud jusqu'à Metz. Les personnes intéressées par davantage de détails sur les effets du tremblement de terre peuvent consulter les rapports et descriptions publiés dans la presse, ainsi que les formulaires officiels de l'Observatoire Royal de Belgique remplis par les administrations communales via le lien : seismologie.be/1983-11-08

Le type et l'importance des dégâts dans l'agglomération liégeoise

Lors du séisme de Liège, le dégât le plus marquant a été la chute d'innombrables cheminées (Plumier, 1984). Les cheminées sont des solides élancés, peu résistants en flexion, d'autant plus que la corrosion du mortier n'assure plus de réelle liaison aux briques. D'autres parties de constructions peu stables ou mal arrimées, tels frontons en pierre de taille, couvertures de cheminées ou garnitures diverses, sont également tombées en grand nombre. Ces chutes ont provoqué d'innombrables dégâts aux toitures et aux voitures stationnées au pied des immeubles (figure 4). Deux personnes ont perdu la vie et quelques dizaines ont été blessées lors du séisme,

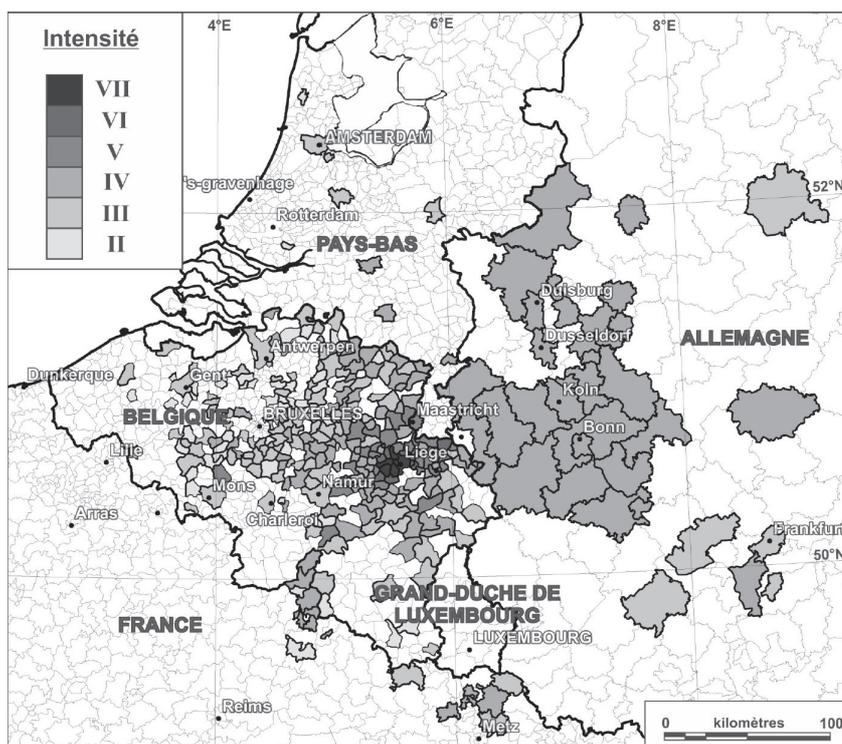


Figure 3 : Carte macroséismique du tremblement de terre de Liège du 8 novembre 1983

mais les conséquences auraient été bien plus funestes si ces chutes de solides divers s'étaient produites en pleine journée.

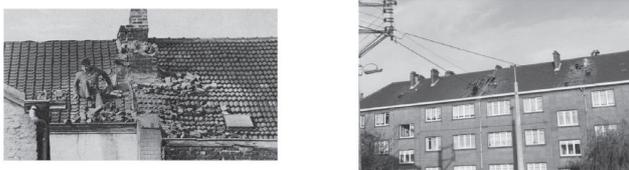
L'effet dommageable le plus important constaté, même s'il était souvent assez peu visible à l'extérieur du bâtiment, concerne des fissures verticales plus ou moins complètes entre façade et mur de refend. Cet effet est favorisé par deux causes : une liaison faible de la façade à un mur mitoyen construit antérieurement et l'entaille exigée par le règlement communal pour y insérer les descentes d'eau (Plumier, 1984). Cet effet a été amplifié lorsque ces fissures existaient avant le tremblement de terre, notamment à cause de tassements miniers, assez répandus dans la région. On a aussi observé des fissures inclinées à 45° environ dans de nombreux murs, partant des angles des ouvertures, portes ou fenêtres.

La figure 4 illustre ces différents types de dégâts et certaines de

leurs conséquences. Ils correspondent généralement à des dégâts définis comme sensibles et importants (degré de dégâts 3) dans l'échelle macroséismique EMS-98.

A partir d'une analyse des dossiers du Fonds des calamités, alors accessibles sous forme d'une base de données réalisée dans les années qui ont suivi le tremblement de terre, les ingénieurs de l'Université de Liège ont établi une géographie précise des dégâts et de leur importance. Ils ont pu définir l'importance des dégâts dans une grille formée de carrés de 200 m de côté en attribuant des indices de dégâts (Jongmans et Campillo, 1984; Jongmans, 1989; Jongmans et Plumier, 2000). Garcia Moreno et Camelbeek (2013) ont repris ces données ainsi que celles fournies par la commune de Flémalle à l'Observatoire Royal de Belgique à l'époque du tremblement de terre pour convertir cette infor-

Destruction partielle ou totale de cheminées



Chutes nombreuses de frontons et de cheminées sur la voie publique



Chute de murs pignons et de façades - effondrement partiel de maisons

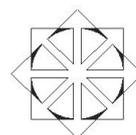


Figure 4 : Dégâts typiques observés lors du tremblement de terre de Liège du 8 novembre 1983

mation en statistiques des dégâts modérés et sensibles. Le résultat de cette analyse est repris sur la figure 5. On peut voir sur cette carte que dans les carrés les plus affectés de Saint-Nicolas, Liège et Flémalle, le pourcentage de bâtiments touchés par des dégâts

modérés et sensibles est respectivement de 78%, 100% et 75%, tandis que les valeurs médianes de ces dégâts pour l'ensemble complet des carrés dans chacune de ces communes sont respectivement de 32%, 25% et 4%. L'importance inhabituelle des

dégâts observés pour ce « petit » tremblement de terre de magnitude $M_w=4.6$ a été attribuée à la relativement faible profondeur du foyer, à l'amplification des mouvements forts du sol par la structure géologique locale et aux conséquences de l'activité minière passée sur la surface du sol qui avaient déjà affecté une partie des bâtiments (Jongmans et Campillo, 1984; Monjoie, 1985; Jongmans, 1989; Jongmans et Plumier, 2000). A grande échelle, Jongmans et Campillo (1984) ont montré le rôle d'amplificateur des ondes sismiques joué par le grand synclinal houiller sous la ville, ainsi que l'influence de cette structure géologique régionale et du mécanisme décrochant du séisme sur la localisation et la forme de la zone des dégâts. Cependant, ces auteurs montrent également que les principales concentrations de dégâts sont corrélées avec des structures géologiques locales comme des couches de dépôts meubles en pied de versant et des couches de sol recouvrant le socle rocheux houiller.



Références

- Ahorner L. (1975) *Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault zones in Central Europe*. Tectonophysics, v. 29, p. 233-249.
- Ahorner L. and Pelzing R. (1985) *The source characteristics of the Liège Earthquake on November 8, 1983, from digital recordings in West Germany*. In "Seismic activity in Western Europe", ed. by P. Melchior, D. Reidel Publishing Company, 263 – 289.
- Aspinall W. and King G. (1985) *A temporary array search for aftershocks of the 1983 November 8, Liège, Belgium, earthquake*. In "Seismic activity in Western Europe", ed. by P. Melchior, D. Reidel Publishing Company, 331 – 346.
- Camelbeeck T. (1993) *Mécanisme au foyer des tremblements de terre et contraintes tectoniques : le cas de la zone intraplaque belge*. PhD thesis, Université Catholique de Louvain.
- Camelbeeck T., Vanneste K. et Alexandre P. (1999) *L'Europe occidentale n'est pas à l'abri d'un grand tremblement de terre*. Ciel et Terre, 115, 13-23.
- Camelbeeck T., de Viron O., Van Camp M., Kusters D. (2013) *Local stress sources in Western Europe lithosphere from geoid anomalies*. Lithosphere, 5, 235-246.

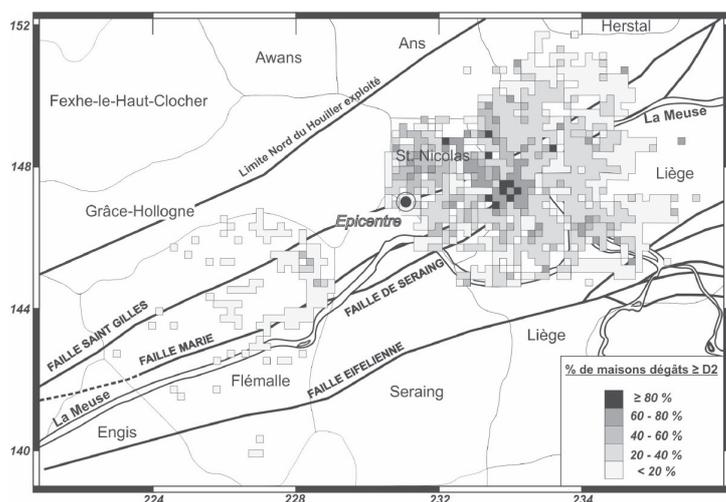
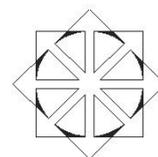


Figure 5 : Cartographie des dégâts à Liège, Saint-Nicolas et Flémalle. La carte indique le pourcentage de bâtiments affectés par des dégâts modérés à sensibles par carré de 200 m de côté localisés dans ces trois communes.



Conclusion

Dans cet article, les auteurs ont fait le point sur la connaissance actuelle au sujet de la source et des causes possibles de l'activité sismique dans la région liégeoise, particulièrement pour ce qui concernait le séisme du 8 novembre 1983. Ils ont indiqué que des recherches devraient être conduites pour évaluer dans

quelle mesure une modification temporaire des contraintes locales liées à l'activité minière ou à son arrêt dans les années 1970 aurait pu jouer un rôle dans son déclenchement. Ils ont également présenté une vue globale de l'impact en terme de dégâts ainsi que les résultats principaux des études menées pour comprendre leur ampleur. Concernant les dégâts, toutes les données collectées à

l'époque du séisme ont été synthétisées récemment et utilisées pour valider les études de risques sismiques dans nos régions. Ces mêmes données sont ainsi devenues une source d'information inestimable et unique dans cette partie de l'Europe en vue d'élaborer des mesures préventives visant à diminuer l'impact de futurs séismes destructeurs.

Garcia-Moreno D. and Camelbeek T. (2013) *Comparison of ground motions estimated from prediction equations and from observed damage during the M=4.6 1983 Liège earthquake (Belgium)*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 1983-1997, doi:10.5194/nhess-13-1983-2013.

Gonzalez P., Tiampo K., Palano M., Cannavo F. and Fernandez J. (2012) *The 2011 Lorca earthquake slip distribution controlled by groundwater crustal unloading*. Nature Geoscience, doi: 10.1038/NGEO1610.

Grünthal G. and Stromeyer D. (1992) *The recent crustal stress field in Central Europe: trajectories and finite element modelling*. J. Geophys. Res. 97(B8), 11,805-11,820. doi:10.1029/91JB01963.

Jongmans D. (1989) *Les Phénomènes d'amplification d'ondes sismiques dus à des structures géologiques*. Annales de la Société géologique de Belgique, 112, 369 – 379.

Jongmans D. et Campillo, M. (1984) *Répartition des dommages pendant le tremblement de terre de Liège du 8 Novembre 1983 : Effet de source et effet de site*. Colloque national de génie parasismique sur les mouvements sismiques pour l'ingénieur, St. Rémy-les-Chevreuses, 16 mars 1988: 2.23 – 2.33.

Jongmans D. et Plumier, A. (2000) *Etude pilote du risque sismique sur une partie de la ville de Liège (4 km²)*. Internal Report, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège.

Monjoie A. (1985) *La géologie de la région liégeoise et le tremblement de terre du 8.11.1983*. In Breesch, L., Camelbeek, T., De Becker, M., Gurpinar, A., Monjoie, A., Plumier, A. and Van Gils, J.M. (1985) *Le séisme de Liège et ses implications pratiques*. Annales des travaux publics de Belgique, n°4, 337-345.

Plumier A. (1985) *Les effets sur les constructions. Les réparations*. In Breesch, L., Camelbeek, T., De Becker, M., Gurpinar, A., Monjoie, A., Plumier, A. and Van Gils, J.M. (1985) *Le séisme de Liège et ses implications pratiques*. Annales des travaux publics de Belgique, n°4, 346-353.

Van Camp M. et Camelbeek T. (2004) *Histoire des stations sismiques belges : de la station « Solvay » au réseau national de surveillance sismique*. Ciel et Terre, 120 (6), pp 162-176.