

ANALYSE MACROSEISMIQUE DU TREMBLEMENT DE TERRE SURVENU A LIEGE LE 8 NOVEMBRE 1983¹

par

Michèle FRANÇOIS²⁻⁴, Albert PISSART² & Jean-Paul DONNAY³

(5 figures et 1 tableau)

RESUME.- Immédiatement après le séisme du 8 novembre 1983, nous avons réalisé une enquête macroséismique à travers la population liégeoise. Le traitement automatisé des données ainsi récoltées nous a permis d'obtenir plusieurs cartes macroséismiques à partir desquelles nous avons pu d'une part, avancer une hypothèse quant à la cause du séisme et d'autre part, étudier les effets de site sur l'intensité. Certaines de ces cartes montrent, en effet, à proximité de l'épicentre, une zone d'intensité maximale orientée NO-SE qui correspond à la direction des failles du graben du Rhin inférieur. En outre, nos cartes indiquent que le séisme a été amplifié dans le synclinal houiller de Liège, sans doute suite aux déhouillements.

ABSTRACT.- A macroseismic map compiled by computer after an earthquake of magnitude 4.9 (Liège, 8.11.83) shows that the shock was probably related to the Rhine graben and that coal mining amplified ground shakings.

INTRODUCTION

La nuit du 8 novembre 1983 à 0h50 min (UT), une violente secousse ébranlait la région liégeoise, entraînant des réactions de panique chez les uns, un simple réveil chez les autres et d'innombrables dégâts aux immeubles. Les communes les plus touchées furent Saint-Nicolas, Glain, Montegnée, Liège, Seraing, Ans et Grâce-Hollogne.

Ce séisme, de magnitude 4.9 sur l'échelle de Richter, dont l'intensité a atteint le degré VII, voire VIII, sur l'échelle de Mercalli modifiée et dont la profondeur du foyer était de l'ordre de quatre kilomètres (Camelbeeck & De Becker, 1984), n'est ni le premier, ni le dernier sans doute survenu dans la région liégeoise. En effet, d'après Van Gils *et al.* (1978), celle-ci a connu au XXe siècle huit séismes d'intensité supérieure au degré V. La proximité de l'épicentre du séisme du 21 décembre 1965 survenu à Ans-Vottem (intensité VII) avec celui du séisme du 8 novembre 1983 est remarquable et laisse supposer que la cause de ces deux tremblements de terre est identique. A ce propos, il est très intéressant de constater que

Liège est située à un point charnière en ce qui concerne la tectonique. La carte présentée à la figure 1 (d'après Ahorner, 1985) montre en effet que Liège n'est guère éloignée du graben du Rhin inférieur dont les mouvements provoquent de nombreux séismes et qu'elle se situe en outre dans le prolongement de la zone séismique du massif du Brabant.

Vu cette structure particulière, les causes d'un séisme survenant à Liège peuvent être très différentes. Pour comprendre ce qui s'est réellement produit le 8 novembre 1983, il est donc fondamental de recueillir un maximum d'informations. C'est la raison pour laquelle nous avons diffusé, quelques jours après le séisme, environ 2500 questionnaires macroséismiques à travers la population liégeoise. Cette enquête constitue la base de notre étude.

1. Communication présentée le 3 décembre 1985, manuscrit révisé reçu le 25 février 1986.

2. Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Place du XX Août, 7, B-4000 Liège (Belgique).

3. Séminaire de Géographie, Université de Liège, Place du XX Août, 7, B-4000 Liège (Belgique).

4. Boursière IRSIA.

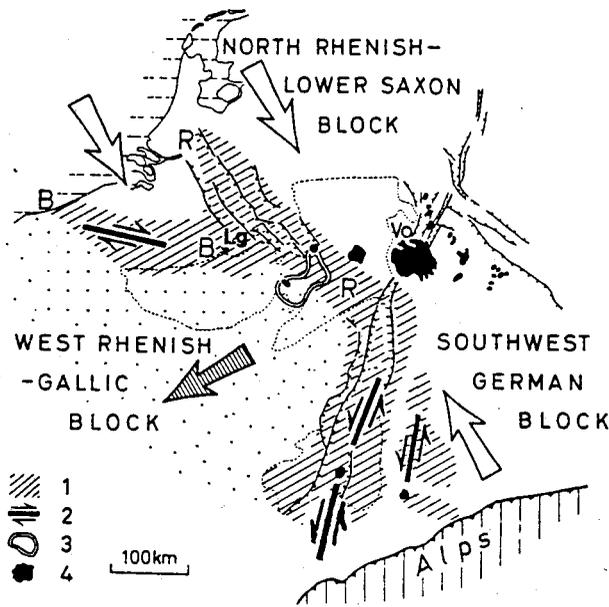


Fig. 1.- Modèle des déformations séismotectoniques, de la région s'étendant des Alpes aux Pays-Bas (d'après Ahorner, 1985).

1. Zones séismiques (R = Rhénane; B = Brabançonne); 2. Dislocation séismotectonique; 3. Région de volcanisme quaternaire; 4. Centres principaux de volcanisme tertiaire; Lg = Liège.

METHODE UTILISEE, REALISATION DES CARTES MACROSEISMQUES ET INTERET DE CELLES-CI

Une carte macroséismique a pour but de donner l'image de la répartition des différents degrés d'intensité; cette image se présente sous forme d'isoséistes qui sont des courbes, en général fermées, à l'intérieur desquelles une même intensité a été observée. L'unité de mesure est donc «l'intensité macroséismique», celle-ci étant déterminée en fonction des effets du séisme sur l'homme, son environnement naturel et les ouvrages qu'il a construits. Plusieurs échelles classent ces effets selon un ordre croissant. Nous avons choisi de travailler avec l'échelle de Mercalli modifiée (Bolt *et al.*, 1975).

Le questionnaire utilisé pour notre enquête a été établi en fonction des renseignements nécessaires à l'estimation de l'intensité selon les degrés de cette échelle. Nous donnons en annexe la liste des questions qui ont été posées et les indications précises sur la façon dont le dépouillement a été réalisé. En diffusant le questionnaire par l'intermédiaire de différentes écoles, nous avons pu joindre un maximum de personnes en un minimum de temps. Nous sommes conscients que, pour obtenir un échantillon idéal, il aurait fallu affecter le territoire étudié d'un quadrillage et considérer dans chaque maille le même nombre

de points. Une telle méthode n'a pu être utilisée, car il était fondamental que l'enquête soit réalisée immédiatement après le tremblement de terre.

Généralement, l'intensité macroséismique est estimée à partir des dégâts globaux observés dans un territoire donné (commune, quartier,...). La valeur ainsi choisie représente le mode, c'est-à-dire l'intensité obtenue pour le plus grand nombre d'immeubles, des intensités plus fortes et plus faibles s'étant aussi présentées. Cette façon de procéder donne une vue globale de la répartition des dégâts et ne permet pas une étude détaillée des effets locaux, appelés aussi effets de site, sur l'intensité.

L'originalité de notre méthode réside dans le fait que chaque questionnaire correspond à un point sur la carte et qu'à chaque point a été attribuée une intensité.

Les données ainsi récoltées ont été traitées au moyen des programmes G3 GRID et G. CONTOUR de la bibliothèque de programmes SAS/GRAPH. Nous avons pu obtenir ainsi plusieurs cartes macroséismiques. Certaines de ces images réalisées par ordinateur tiennent compte de diverses caractéristiques des bâtiments comme, par exemple, l'âge et le matériau de construction.

Soulignons le vif intérêt, aussi bien fondamental qu'appliqué, que présente l'établissement d'une carte macroséismique. D'une part, elle peut aider à identifier les causes d'un séisme. D'autre part, reconnaître les effets de site permet de mieux qualifier le risque séismique existant en chaque endroit et donc de tenter un microzonage grâce auquel on peut étudier une meilleure adaptation des mesures paraséismiques. Il est en effet bien connu que les effets de site provoquent localement une amplification importante des secousses. D'après Borchardt & Gibbs (1976), on peut attribuer aux seuls effets de site des écarts locaux d'intensité de deux ou trois degrés selon l'échelle de Mercalli modifiée.

Comme le signale Bard (1983), la compréhension et l'interprétation de ces effets de site restent très incertaines en raison de la triple complexité des facteurs qui interviennent, à savoir :

- la grande diversité des ondes séismiques;
- la rhéologie variée des matériaux traversés;
- la structure géomorphologique au voisinage du site considéré et l'arrangement géométrique des formations superficielles.

Etant donné cette complexité, la modélisation reste dans ce domaine peu avancée. Aussi, multiplier les observations après les séismes présente un très vif intérêt.

Dans ce but, nous avons réalisé une série de cartes macroséismiques : deux cartes sans

correction de l'intensité selon la vétusté et les caractéristiques des maisons considérées, une carte pour laquelle l'intensité a été corrigée en fonction de l'âge des bâtiments, quatre cartes respectivement pour les maisons construites après 1960, entre 1940 et 1960, entre 1914 et 1940, avant 1914 et enfin deux cartes pour les maisons construites en briques seulement (dont une avec correction selon la période de construction).

Pour chaque carte macroséismique, nous avons recherché l'influence des facteurs suivants sur l'allure des isoséistes : influence de la structure géologique et de la lithologie, influences minières et enfin, influence du relief.

La validité de nos cartes paraît confirmée par les résultats excellents fournis par l'analyse de celles-ci. En effet, malgré des images différentes d'une carte à l'autre, nous avons relevé de grandes constances.

LES RESULTATS

I.- LOCALISATION DE L'INTENSITE MAXIMUM : LE SEISME POURRAIT ETRE DU A UN MOUVEMENT DU GRABEN INFERIEUR

Les observations :

Pour la zone couverte par la carte de l'agglomération liégeoise que nous avons considérée, 1663 réponses à notre questionnaire ont été recueillies. La distribution de ces points d'observation est donnée sur la figure 2. Il est clair que, en raison de leur distribution irrégulière, la qualité des cartes obtenues est inégale d'un endroit à l'autre.

La carte présentée à la figure 3 est celle obtenue à partir de ces 1663 points pour lesquels l'intensité n'a été affectée d'aucune correction selon les caractéristiques des bâtiments.

C'est sur cette carte que les observations décrites ci-dessous apparaissent le plus nettement (1). Sur cette carte, l'ensemble des intensités fortes ($> VI$) forme un « bloc » légèrement décentré vers l'ouest. Une distance de deux kilomètres et demi environ sépare le centre de gravité de cette zone d'intensité VI (que nous appelons épicerne macroséismique) de l'épicentre microséismique tel que les calculs réalisés par les stations d'observation sismologiques l'ont défini (Camelbeeck & De Becker, 1984).

Cette plage délimitée par l'isoséiste VI a une allure tourmentée. Elle présente en effet de nombreux rentrants, ceux-ci étant parfois occupés par des intensités minimales, comme c'est le cas par exemple au centre-ville. Autour de cette zone

l'intensité diminue progressivement vers le nord et vers l'est, tandis qu'elle passe rapidement à des valeurs plus faibles (IV) vers le sud.

Le résultat le plus remarquable est sans aucun doute la présence, sur la grande majorité des cartes, d'un axe orienté NO-SE. Cet axe, qui n'a pu être rattaché à aucune faille ou linéament connu dans cette zone, est parallèle aux failles du graben du Rhin inférieur, dont la dernière est localisée à moins d'une vingtaine de kilomètres à l'est de Liège (fig. 1). Il semble donc que le séisme de Liège pourrait être directement lié au phénomène tectonique, encore actif, de l'élargissement du graben du Rhin inférieur.

Discussion :

La direction NO-SE que montre notre carte macroséismique n'a été, à ce jour, soulignée par aucun des auteurs qui ont recherché l'origine de ce séisme. Elle ne correspond en effet à aucun accident reconnu présentant cette orientation dans le sous-sol liégeois.

Il faut cependant remarquer que cette orientation est apparente sur les documents publiés par tous les chercheurs qui ont relevé les dégâts après la secousse. On la retrouve aussi bien sur la carte des dégâts majeurs donnée par Camelbeeck & De Becker (1984), que sur les cartes publiées par Aspinall & King (1985) et Phillips (1985).

Cette direction est d'autre part en accord avec les observations recueillies par Monsieur l'architecte Plumier (conférence présentée devant la Société Géographique de Liège, 1984) qui, en observant les dégâts, relève que la secousse avait une orientation méridienne.

D'autre part, cette orientation n'est nullement contredite par l'étude du mécanisme au foyer. En effet, les observations recueillies étaient insuffisantes, suite aux moyens réduits de l'Observatoire, et les reconstitutions du mécanisme au foyer données par les sismologues se sont révélées extrêmement diverses : 6 solutions différentes ont été proposées par Camelbeeck & De Becker (1985), Faber & Bonjer (1985), Ahorner & Pelzing (1985) et Haessler (1985). Parmi celles-ci, on constate que deux solutions sont parfaitement en

(1) Quelques courbes isoséismiques extrêmes ont été supprimées sur la carte d'origine que nous a fourni l'ordinateur; en effet, nous nous sommes aperçus que le programme SAS donne des maxima et des minima incontestablement exagérés en des endroits où il n'y a aucun point d'observation. Cela s'explique par le fait que le programme calcule la pente de la variation d'intensité en un point considéré et la prolonge dans les zones sans données. Comme le contenu du programme SAS est inaccessible, nous n'avons pu intervenir à ce niveau et nous avons dû nous contenter dans ce travail d'annuler les valeurs extrêmes apparues aux endroits où aucun point d'observation n'existe.

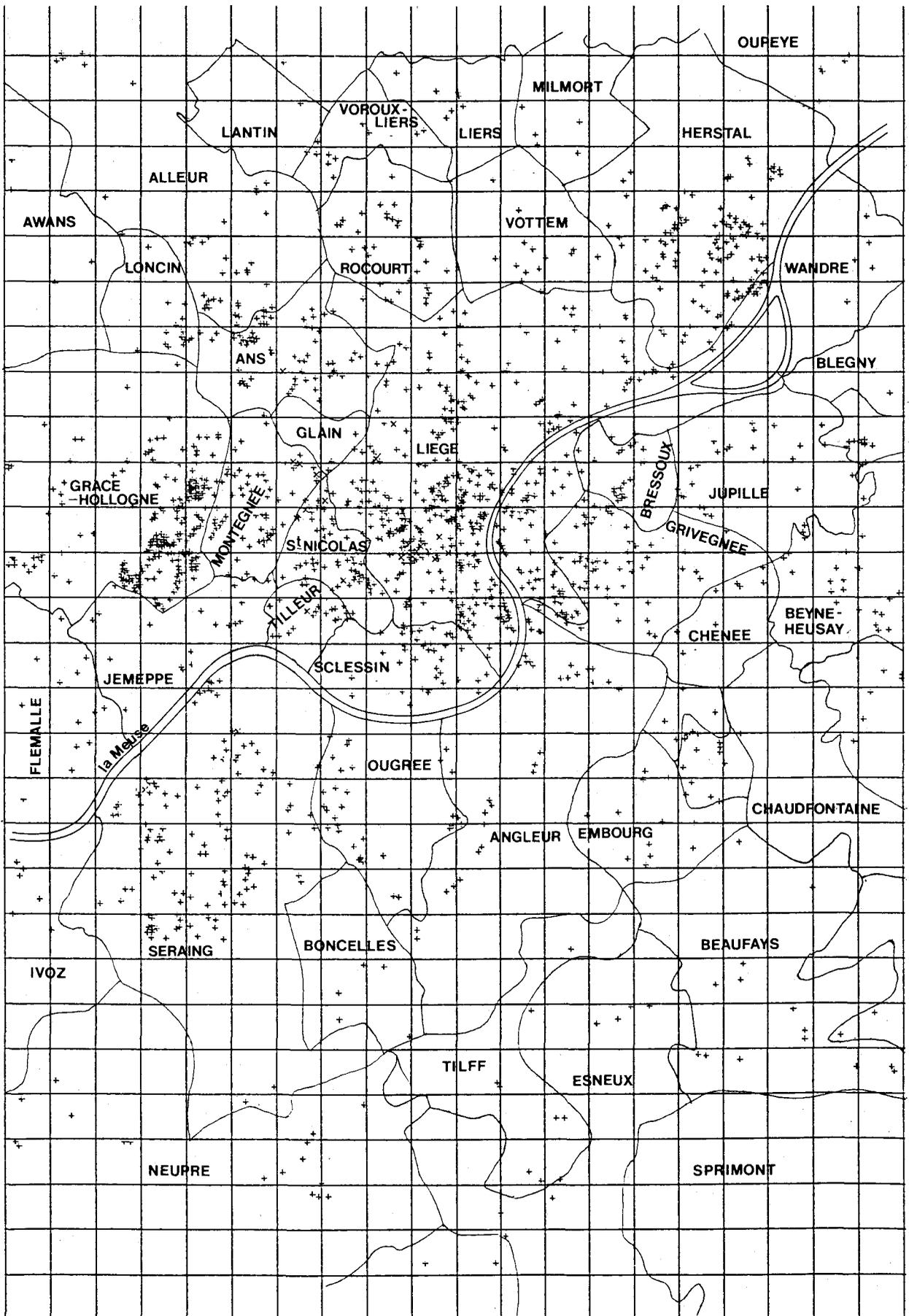


Fig. 2.- Localisation des points de l'enquête macroséismique qui ont servi à réaliser la carte donnée à la figure 3. Limite des communes.

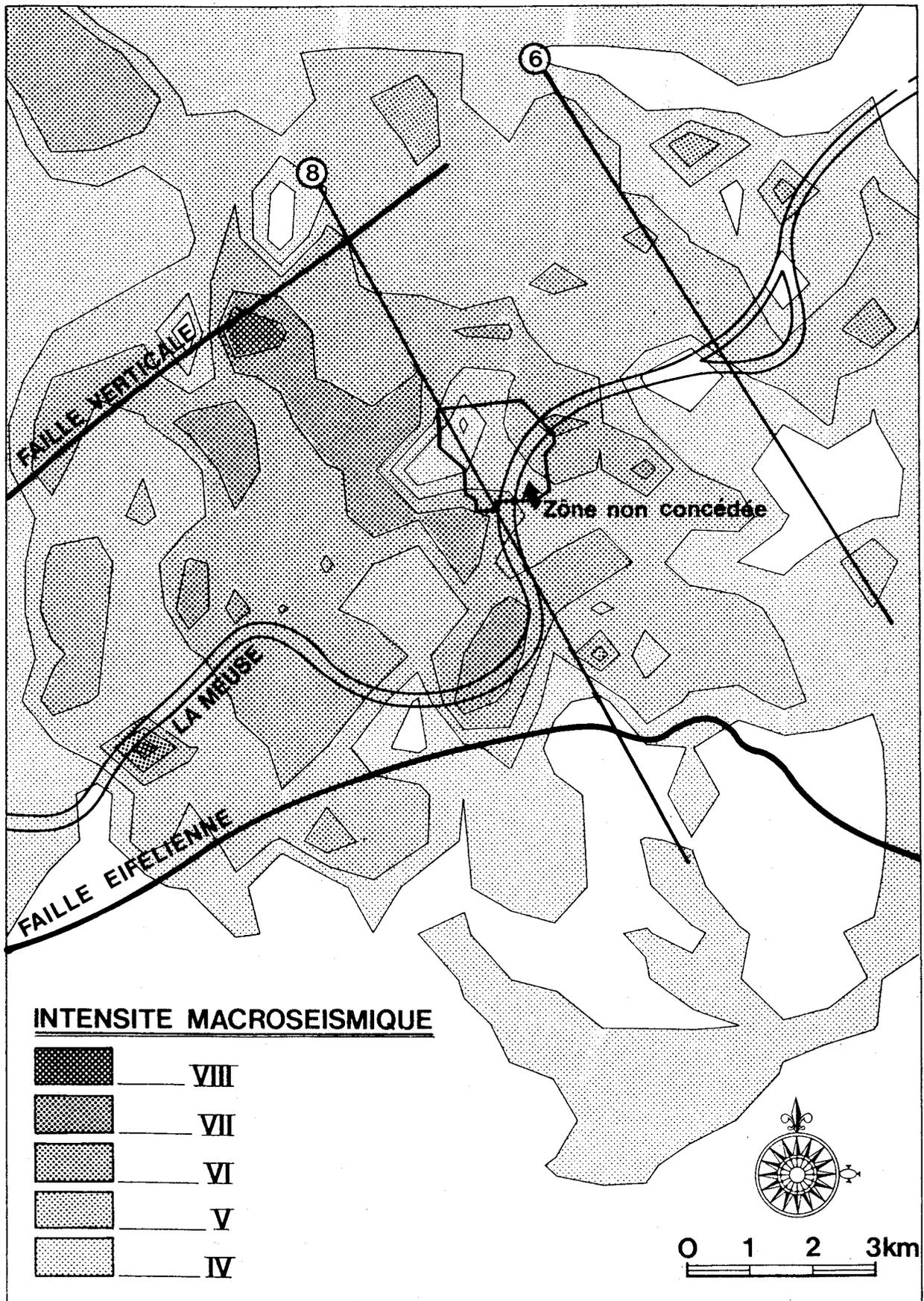


Fig. 3.- Carte macroséismique obtenue par ordinateur à partir des points d'enquête dont la distribution est donnée sur la figure 2. :
 Les trous des failles sont ceux donnés par Humblet (1941) pour la profondeur de 200 m; 6 et 8 = localisation des coupes géologiques de Humblet reprises
 à la figure 4.

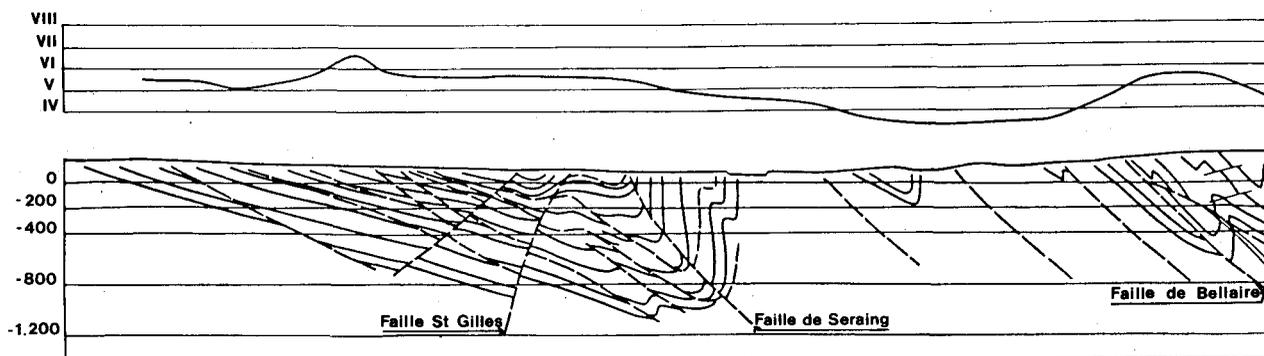


Fig.4A

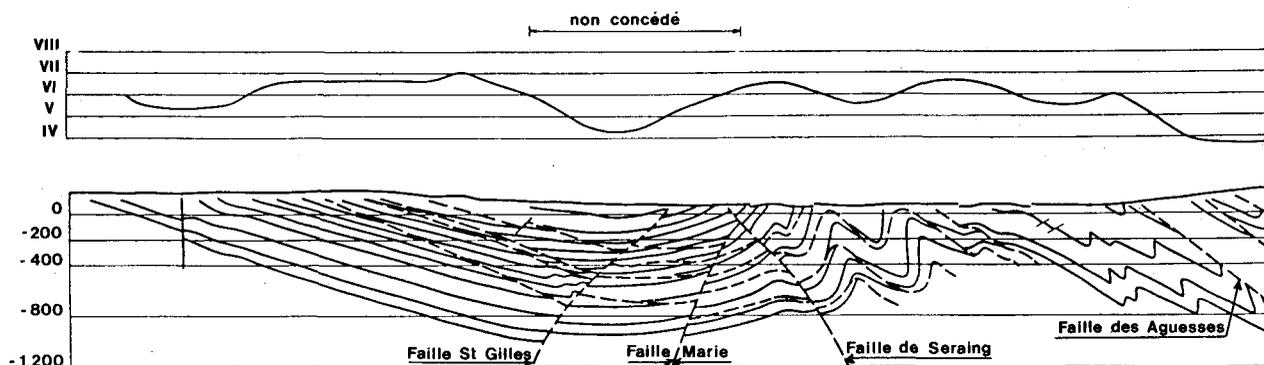


Fig.4B

Fig. 4.- Distribution de l'intensité macroséismique selon les profils 6 (fig. 4A) et 8 (fig. 4B) de Humblet (1941).
La localisation de ces profils est donnée sur la figure 3.

accord avec l'orientation que montre la carte macroséismique bien que, généralement, les sismologues, sans doute sous l'influence de ceux qui connaissent la géologie locale, aient choisi de retenir arbitrairement comme probable l'axe perpendiculaire à celui que nous avons retenu. De la même manière, si l'on observe les différences de position des épicentres d'après le travail de Camelbeeck & De Becker (1985) et de Ahorner & Pelzing (1985), il paraît délicat de baser une interprétation sur la localisation calculée du choc principal et des chocs secondaires.

Il convient aussi de souligner que cette orientation NO-SE a déjà été signalée à propos de tremblements de terre antérieurs survenus dans la région liégeoise. A titre d'exemple, cette orientation était trouvée pour les séismes du 14 janvier 1928 (Fourmarier & Somville, 1930), du 12 novembre 1908 (Lohest & de Rauw, 1908-1909), du 20 février 1921 (Lohest & Anten, 1920-21), du 23 février 1925 (Fourmarier & Legraye, 1926) et du 5 janvier 1926 (Fourmarier, 1926).

Demoulin (1984) a d'autre part étudié, dans sa thèse de doctorat, la néotectonique du plateau des Hautes Fagnes directement à l'est de Liège. Il a démontré que les surfaces d'érosion qui y sont

développées ont été déformées pendant le Néogène et le Quaternaire par des accidents NO-SE qui sont connectés avec l'ouverture du graben du Rhin inférieur. Des arguments morphologiques (Demoulin, 1984) indiquent l'existence d'une cassure récente développée à moins de vingt kilomètres de Liège, avec l'orientation que montre notre carte macroséismique. L'ensemble de ces observations apporte des arguments supplémentaires pour interpréter le tremblement de terre de Liège comme résultant d'un mouvement tectonique en relation avec le graben du Rhin inférieur.

II.- LES EFFETS DE SITE

a) Structure géologique et influences minières

La géologie de la région liégeoise est remarquablement bien connue suite aux très nombreux travaux souterrains qui ont été réalisés dans le synclinal houiller. Nous avons de ce fait une occasion exceptionnelle de comparer structure géologique et intensité macroséismique.

Comme le montre la figure 3, les maxima d'intensité paraissent être groupés dans le synclinal houiller alors que celle-ci diminue

fortement dès que l'on sort de celui-ci. Les observations locales indiquent que ce n'est pas le houiller lui-même qui a contrôlé l'intensité de la secousse, mais bien les travaux miniers qui ont déconsolidé les terrains exploités. Cette influence apparaît le mieux en étudiant les profils d'intensité réalisés le long des coupes géologiques de Humblet (1941) au travers du bassin liégeois. Le profil se rapportant à la coupe 6 de Humblet (fig. 4A) montre en effet une chute marquée de l'intensité à l'emplacement du double anticlinal de Cointe et de La Chartreuse qui, en l'absence de couches de charbon, n'ont pas été exploités. D'autre part, celui réalisé le long de la coupe 8 de Humblet (fig. 4B) montre un minimum d'intensité très localisé sous le centre de la ville c'est-à-dire sous une zone non concédée du sous-sol liégeois. Celle-ci n'a jamais, ou seulement très anciennement et superficiellement, été exploitée par les travaux miniers. Signalons que la zone ici décrite a été largement couverte par notre enquête et que le minimum d'intensité reconnu ne peut être attribué à un manque de données. En outre, la profondeur jusqu'à laquelle les veines ont été exploitées, ainsi que le nombre de veines considérées, peut avoir eu une influence sur l'allure des isoséistes. Une étude complémentaire, à partir de documents conservés au Corps des Mines, nous permettra de mieux préciser cette influence.

Certains penseront sans doute que l'augmentation de l'intensité macroséismique enregistrée dans le bassin houiller ne résulte pas directement des travaux miniers, mais bien du fait que les immeubles étaient déjà fragilisés par les mouvements du sol consécutifs à l'exploitation houillère.

Pour répondre à cette objection fondamentale, une carte macroséismique a été réalisée en utilisant uniquement les réponses données pour les bâtiments construits après 1960. Ces bâtiments, relativement récents, sont supposés avoir subi le moins de dégâts et ont, par conséquent, le moins biaisé l'intensité macroséismique. Le nombre d'observations est évidemment considérablement réduit et ne concerne plus que 657 données. Malgré cette diminution du nombre de données, cette carte présente de grandes similitudes avec celle présentée à la figure 3, principalement au niveau des influences minières. En effet, cette fois encore, la faille eifelienne isole bien vers le sud les intensités plus faibles, tandis que la faille verticale correspond remarquablement à la limite NO de l'isoséiste VI. L'influence de la zone non concédée du sous-sol liégeois n'est toutefois plus aussi nette. De même, l'axe NO-SE n'est plus aussi apparent (et est remplacé par un axe N-S).

b) Influence des failles connues, de la lithologie et du relief

Mise à part l'influence de la faille eifelienne dont nous avons déjà parlé, aucune des failles dessinées par Humblet dans le bassin houiller de Liège ne correspond, sur la grande majorité des cartes que nous avons obtenues, à une accentuation de l'intensité macroséismique. Il ne semble donc pas que l'on puisse invoquer un rejeu de l'un de ces accidents et notamment des failles de Seraing, Saint-Gilles ou Marie dans le déclenchement de la secousse.

D'autre part, il est possible que les craies secondaires (fig. 5) aient amplifié la secousse. Nous constatons en effet une superposition exacte des maxima (> VII) centrés sur Ans, Glain et Saint-Nicolas avec le substratum crayeux. D'après le professeur Ortolani (communication orale, Naples, 1984), si la craie est fracturée en petits morceaux permettant des mouvements indépendants les uns des autres, elle peut en effet amplifier localement l'intensité.

D'une manière semblable, la plaine alluviale peut aussi avoir déterminé localement des amplifications de la secousse comme, par exemple, entre Seraing et le pont de Fagnée où elle est occupée par des intensités supérieures au degré VI. Ceci peut être lié à la présence de phénomènes de liquéfaction. Toutefois, nos observations à ce propos sont insuffisantes et nous empêchent d'être catégoriques.

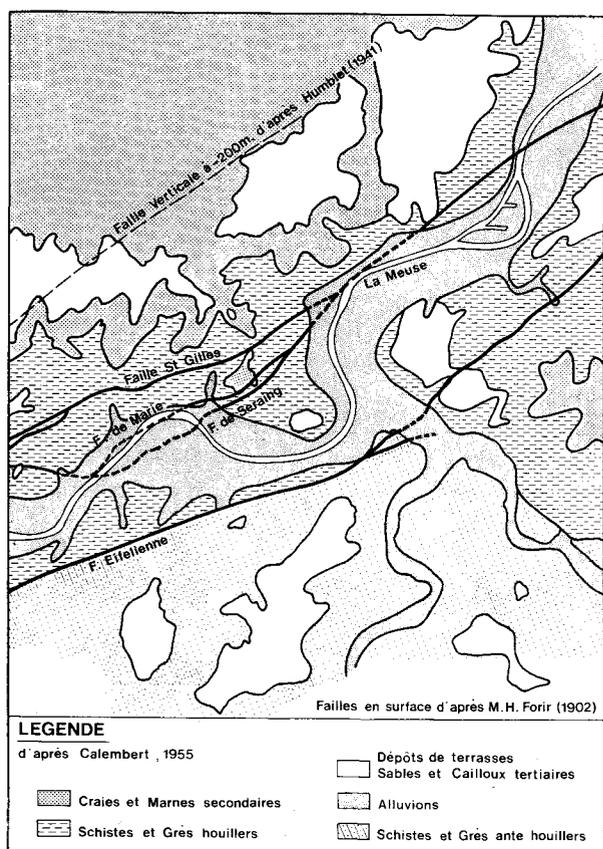


Fig. 5.- Lithologie de la région étudiée (d'après Calembert, 1955). Localisation des failles en surface.

Enfin, l'analyse des différentes cartes obtenues semble indiquer également que le relief, lui non plus, n'a eu aucune influence nette sur la valeur de l'intensité macroséismique.

CONCLUSION

Au terme de ce travail, l'intérêt de l'établissement de cartes macroséismiques s'avère plus qu'évident, tant au point de vue fondamental qu'appliqué. En effet, nous avons pu, grâce à la méthode que nous avons employée, avancer une hypothèse quant à la cause du séisme et mettre en évidence des effets de site sur l'intensité.

Des recherches sur ce tremblement de terre sont poursuivies, car nous n'avons pas utilisé toutes les données que nous avons récoltées. Nous comptons donc étendre la carte macroséismique en dehors du plan de Liège qui a servi de cadre à la présente étude, essayer de nouveaux traitements informatiques des données et comparer notre carte avec les données minières rassemblées au Corps des Mines.

La validité, au départ hypothétique, de nos cartes paraît confirmée par les résultats inattendus que leur analyse nous a fournis. De plus, de telles cartes permettent de mieux déterminer le risque séismique existant en chaque endroit et ainsi de rechercher, par microzonage, la meilleure adaptation des mesures paraséismiques.

L'enquête qui constitue le fondement de la présente recherche a permis de recueillir 305 témoignages rapportant des comportements anormaux des animaux avant le tremblement de terre. Le pourcentage de personnes (en considérant seulement les propriétaires d'animaux) qui ont observé de tels signes prémonitoires augmente lorsque l'on se rapproche de l'épicentre et que l'intensité de la secousse s'accroît. Il s'élève à 49 % dans la zone d'intensité VII et n'est que de 31 % pour les intensités IV et inférieures (sur le territoire de la carte de Liège, fig. 2). Des détails sur cet aspect de notre recherche sont donnés dans une autre publication (François, Pissart & Donnay, 1987).

Les témoignages de ce type sont généralement rejetés par le monde scientifique qui ne leur accorde aucun crédit comme le montre bien l'ouvrage de H. Tributsch (1983). Ce professeur de chimie physique à l'Université libre de Berlin a rassemblé dans ce livre des milliers de témoignages semblables. Ils lui permettent de défendre l'idée que les animaux sont sensibles à des signes précurseurs électrostatiques, probablement d'origine piézo-électrique. Nous y renvoyons le lecteur

REMERCIEMENTS

La présente étude a pu être réalisée grâce à la collaboration des professeurs de géographie de plusieurs écoles de l'enseignement secondaire de l'Etat, de la Province et de la Ville de Liège.

Nous les en remercions très vivement et nous exprimons particulièrement notre reconnaissance à Monsieur le Préfet A. Devillers, de l'Athénée de Liège I, pour l'aide matérielle qu'il nous a accordée à cette occasion.

BIBLIOGRAPHIE

- AHORNER, L., 1985.- The General Pattern of Seismotectonic Dislocations in Central Europe as the Background for the Liège Earthquake on November 8, 1983. *In* : Melchior (ed.), Seismic Activity in Western Europe, Reidel, Dordrecht : 41-56.
- AHORNER, L. & PELZING, R., 1985.- The Source Characteristics of the Liège Earthquake on November 8, 1983, from Digital Recordings in West Germany. *In* : Melchior (ed.), Seismic Activity in Western Europe, Reidel, Dordrecht : 263-290.
- ASPINAL, W.P. & KING, G.C.P., 1985.- A Temporary Array Search for Aftershocks of the 1983 November 8, Liège, Belgium, Earthquake. *In* : P. Melchior (ed.), Seismic Activity in Western Europe, Reidel, Dordrecht : 319-329.
- BARD, P.Y., 1983.- Les effets de site d'origine structurale en séismologie. Modélisation et interprétation. Application au risque séismique. Thèse de doctorat présentée à l'Université Scientifique et Médicale et à l'Institut National Polytechnique de Grenoble pour obtenir le grade de Docteur en Sciences, le 7.6.83, 99 p.
- BOLT, B.A., HORN, W.L., MAC DONALD, G.A. & SCOTT, R.F., 1975.- Geological Hazards, Earthquakes, Tsunamis, Volcanoes, Avalanches, Landslides, Floods. Springer Verlag, Berlin, 328 pp.
- BORCHERDT, R.D. & GIBBS, J.F., 1976.- Effects of Local Geological Conditions in the San Francisco Bay Region on Ground Motion and the Intensities of the 1906 Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66 : 467-500.
- CAMELBEECK, T. & DE BECKER, M., 1984.- Le séisme de Liège du 8 novembre 1983. Ciel et Terre, vol. 100, n° 1 (*Bull. Soc. Roy. belge d'Astronomie, de Météorologie et Physique du Globe*) : 13-20.
- CAMELBEECK, T. & DE BECKER, M., 1985.- The Earthquake of Liège of November 8, 1983, and December 21, 1965. *In* : P. Melchior (ed.), Seismic Activity in Western Europe, Reidel, Dordrecht : 249-262.
- DEMOULIN, A., 1984.- Sédimentologie des dépôts post-paléozoïques, surfaces d'érosion et tectonique cénozoïque des Hautes Fagnes et de l'Eifel Nord-Occidental. Thèse de Doctorat en Géographie, ULG, inédit : 530-611.
- FABER, S. & BONJER, K.P., 1985.- Phase Recognition and Interpretation at Regional Distances from the Liège Event of November 8, 1983. *In* : P. Melchior (ed.), Seismic Activity in Western Europe, Reidel, Dordrecht : 249-262.
- FOURMARIER, P. & LEGRAYE, M., 1924-25.- Le tremblement de terre du 23 février 1925 dans le Limbourg et la Province de Liège. *Ann. Soc. géol. Belg.*, XLVIII : M19-47.
- FOURMARIER, P., 1925-26.- Le tremblement de terre du 5 janvier 1926 dans l'Est de la Belgique. *Ann. Soc. géol. Belg.*, Liège, XLIX : B180-186.
- FOURMARIER, P. & SOMVILLE, O., 1930.- Le tremblement de terre du 14 janvier 1928. *Ann. Soc. géol. Belg.*, Liège, LIII : B1-8.
- FRANÇOIS, M., PISSART, A. & DONNAY, J.P., 1987.- Le tremblement de terre survenu à Liège le 8 novembre 1983. Etude macroséismique et signes prémonitoires des animaux. Ouvrage d'hommage au Professeur Sporck. Numéro hors série de la Société géographique de Liège. Séminaire de Géographie, Place du 20-Août, 7, Liège.

FRANÇOIS, M., 1985.- Analyse macroséismique du tremblement de terre survenu à Liège le 8 novembre 1983 et signes prémonitoires des animaux. Travail de fin d'études en Géographie, ULG, inédit, 141 p.

HAESSLER, H., 1985.- Le mécanisme au foyer du séisme de Liège du 8 novembre 1983. *In* : P. Melchior (ed.), Seismic Activity in Western Europe, Reidel, Dordrecht : 291-296.

HUMBLET, B., 1941.- Le bassin houiller de Liège. *Revue universelle des Mines*, 12 : 21 p.

LOHEST, M. & de RAUW, H., 1908-09.- Le tremblement de terre du 12 novembre 1908. *Ann. Soc. géol. Belg.*, Liège, XLIV : B146-150.

LOHEST, M. & ANTEN, J., 1920-21.- Le tremblement de terre du 20 février 1921. *Ann. Soc. géol. Belg.*, Liège, XLIV : B146-150.

PHILLIPS, D.W., 1985.- Macroseismic Effects of the Liège Earthquake with Particular Reference to Industrial Installations. *In* : P. Melchior (ed.), Seismic Activity in Western Europe, Reidel, Dordrecht : 369-384.

SAS Institute, 1981.- SAS/GRAPH User's Guide. U.S.A., 123 p.

TRIBUTSCH, H., 1983.- When the Snakes Awake. Animal and Earthquake Prediction. *The MIT Press*, Cambridge, Massachusetts, London, England : 248 p.

VAN GILS, J.M. & ZACZEK, Y., 1978.- La séismicité de la Belgique et son application en génie paraséismique. *Ann. Trav. Publ. de Belgique*, 6 : 38 p.

ANNEXE 1

QUESTIONNAIRE MACROSEISMIQUE UTILISE DANS LE CADRE DE NOTRE ETUDE DU TREMBLEMENT DE TERRE DU 8 NOVEMBRE 1983

Les questions posées étaient les suivantes :

1) Adresse du bâtiment : localité, rue, n°.

Le bâtiment a-t-il été construit avant 1914, entre 1914 et 1940, entre 1940 et 1960, après 1960 (éventuellement date plus précise).

A-t-il été construit en briques, pierres, béton coulé, autres (préciser) ?

3) Lors du tremblement de terre,

a) vous êtes-vous réveillé(e) ?

b) quelques personnes sont allées dans la rue

c) beaucoup de monde s'est précipité dans la rue.

4) De la vaisselle, des fenêtres, des bibelots ont-ils été cassés ?

5) a) Des meubles lourds se sont-ils déplacés ?
b) Des meubles lourds se sont-ils renversés ?

6) a) Des fissures sont-elles apparues ?
b) Si oui, sont-elles larges comme un cheveu, un doigt, 2 à 5 cm, plus de 5 cm ?
Ont-elles continué à s'élargir après le séisme ?

7) Des morceaux de mur, plafond ou toit se sont-ils effondrés ?

8) a) La cheminée s'est-elle fissurée ?

b) La cheminée s'est-elle écroulée ?

9) Votre horloge (à pendule) s'est-elle arrêtée à 1h50 ?

10) Si vous avez des animaux, de quel animal s'agit-il et a-t-il manifesté un comportement particulier AVANT le séisme ? (Avez-vous vu sortir des souris avant le séisme ?)

11) Avez-vous observé d'autres signes particuliers avant le séisme ? Si oui, dites-nous lesquels.

12) Avez-vous ressenti :

- la 2^o secousse

- la 3^o secousse.

ANNEXE 2

DEGRE D'INTENSITE SELON LES REPONSES FOURNIES AU QUESTIONNAIRE

Intensité Questions	IV				V				VI				VII				VIII										
	VIa	ou	IVb	IVc	IVd	Va	Vb	ou	Vc	ou	Vd	VIa	VIb	VIc	VIId	ou	ou	VIIa	ou	VIIb	ou	VIIc	VIIId	VIIIfa	VIIIb		
3 : a	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>																						
b	-	-	-	-	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>																
c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>oui</u>															
4	-	-	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	-	(oui)	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	(oui)	(oui)	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>
5 : a	-	-	-	-	-	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	-	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	-	(oui)	(oui)	(oui)	(oui)	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>
b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(oui)	(oui)	(oui)	(oui)	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>
6 : a	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	(oui)	(oui)	(oui)	<u>oui</u>	<u>oui</u>	(oui)	(oui)	(oui)	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>								
b : cheveux	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	(oui)	(oui)	(oui)	<u>oui</u>	-	(oui)	(oui)	(oui)	<u>oui</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	-	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-
doigt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>oui</u>	-	-	-	<u>oui</u>	(oui)	(oui)	-	-	-	(oui)	-	-	-	(oui)	-	<u>oui</u>	-
2 à 5 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>oui</u>	-	-	(oui)	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	(oui)
+ de 5 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	(oui)	-	<u>oui</u>	-	(oui)
7	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	-	-	<u>oui</u>	-	-	-	-	(oui)	<u>oui</u>	<u>oui</u>	(oui)	(oui)	(oui)	(oui)	(oui)
8 : a	-	-	-	-	<u>oui</u>	-	-	<u>oui</u>	-	-	<u>oui</u>	-	-	-	-	<u>oui</u>	-	-	-	-	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	(oui)	-	<u>oui</u>	-
b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>	-	<u>oui</u>

- le signe - représente une réponse négative.
- réponse entre parenthèse = réponse non déterminante.
- réponse soulignée = réponse déterminante.
- réponse non entre parenthèses et non soulignée = généralement positive au degré d'intensité envisagé.

Remarques :

- 1) quand aucune réponse n'était positive, nous avons affecté ce point de l'intensité III.
- 2) selon les réponses fournies, l'intensité ne correspond pas toujours à un degré précis de l'échelle de Mercalli modifiée. Dès lors, dans le but d'être plus nuancés et plus précis, nous avons établi notre propre échelle d'intensité, pour laquelle chaque degré de l'échelle de Mercalli modifiée a été subdivisé en quatre sous-degrés. Chaque degré a donc été affecté d'un indice a, b, c ou d qui, en valeur décimale, représentent respectivement 00, 25, 50 ou 75.