

SISMOLOGIE ET GÉOLOGIE

PAR

E. LAGRANGE (1)

Professeur à l'École militaire.

I

La sismologie, née d'hier, a pris aujourd'hui au soleil scientifique une place importante; le domaine qu'elle s'est créé se divise en deux parties très distinctes : le domaine purement physique d'une part, le domaine sismico-géologique de l'autre. Ils ont chacun leur importance particulière et l'on peut être porté plutôt vers l'un que vers l'autre par sa propre inclination et sa préparation scientifique; mais nous ne pensons pas qu'il faille, en les opposant l'un à l'autre, accorder en quelque sorte à l'un des deux une importance plus grande qu'à son voisin. Le domaine physique de la sismologie est celui qui la met en relation directe avec la géophysique; c'est celui qui, par l'étude minutieuse et suivie des microsismes, permettra à la science l'accès des masses internes du globe que tout autre procédé d'investigation lui a interdit jusqu'aujourd'hui; déjà, d'ailleurs, les voies semblent s'ouvrir dans cette direction, et les travaux récents de Oldham, un des travailleurs de la première heure, viennent de nous faire soupçonner l'existence d'un noyau terrestre très différent de la croûte qui l'entoure. D'ailleurs, ce n'est pas ici le lieu d'en parler, mais c'est du second domaine sismologique, qu'à l'occasion de deux publications récentes; nous voudrions dire quelques mots. Aussi bien, ce dernier domaine est-il, des deux, celui qui est en relation la plus étroite avec les études que poursuit la Société belge de Géologie.

(1) Mémoire présenté à la séance du 15 mai 1907.

L'occasion m'a semblé opportune, car les deux publications dont je parlais tout à l'heure, dues au même auteur, William Herbert Hobbs (1), sont, l'une consacrée à l'exposé de quelques principes de géologie sismique, et l'autre à l'étude de la tectonique sismologique de la Calabre et de la Sicile, à l'aide surtout des données fournies par les tremblements de terre récents. De plus, honorées de deux préfaces signées des noms de Suess et de Montessus de Ballore, les deux savants qui ont le plus contribué à réaliser l'union de la sismologie et de la géologie, elles doivent être considérées comme destinées à caractériser l'évolution qu'a subie la première de ces deux sciences.

Cette évolution peut d'ailleurs se caractériser en deux propositions :

1° La théorie centrale ou locale des tremblements de terre a fait place à la théorie des lignes sismogéniques;

2° Les lignes sismogéniques sont en relation intime avec la structure géologique de la région ébranlée et notamment avec les failles qui découpent la croûte superficielle en une complexe marqueterie, suivant l'expression de Lapparent.

II

Comme toutes les théories, celle-ci n'est pas l'œuvre d'un seul homme, ni d'un seul jour, mais elle s'est imposée peu à peu comme suite aux travaux et des géologues et des sismologues. Parmi ceux-ci, les plus marquants sont Suess et de Montessus de Ballore, et des études d'application comme celle de M. H. Hobbs mettent bien en évidence les principes de leurs théories nouvelles.

Il y a un quart de siècle peut-être, on n'eût point trouvé un géologue qui n'attribuât les tremblements de terre à une commotion interne due soit à une explosion de gaz dans un milieu fermé, soit à l'expansion subite du magma formant le noyau central en fusion de notre globe. De là l'idée du foyer, de l'hypocentre des macrosismes, dont l'origine est donc à rechercher dans la conception volcanique des tremblements de terre. Le tremblement de terre napolitain de 1857, étudié

(1) WILLIAM HERBERT HOBBS, *On some principles of seismic geology* (with plate II and 10 textfigures). With an Introduction by ÉDOUARD SUSS, *Beiträge zur Geophysik*, Bd VIII, 2. Heft, 1907.

WILLIAM HERBERT HOBBS, *The geotectonic and geodynamic aspects of Calabria and Northeastern Sicily. A study in orientation* (with plate III-XII and 3 figures in text). With an Introduction by the Count DE MONTESSUS DE BALLORE, *Ibidem*.

par Mallet (1), donna à cette théorie sa forme définitive. Pour déterminer le foyer d'ébranlement, Mallet étudiait les fractures produites dans les édifices, et de leur position et de leur forme concluait à la direction du choc et de celle-ci à celle de l'hypocentre. En fait, comme l'a montré le premier Neumayr (2), les résultats des relevés de Mallet ne conduisent nullement à l'existence d'un hypocentre défini.

D'après M. Hobbs, la théorie de Mallet a dû sa survie à la méthode nouvelle imaginée par Seebach pour représenter les effets des phénomènes, représentation qui ne met pas en évidence la non-existence du foyer. C'est celle des isoséismales ou courbes reliant les points de la surface où les chocs se sont fait sentir au même moment. Ces courbes forment d'habitude une série d'ellipses plus ou moins allongées dont le centre approximatif indique l'emplacement de l'épicentre. Hoernes a montré, ainsi que beaucoup d'autres, les défauts de cette méthode, notamment dans le cas où deux ou plusieurs chocs proviennent de régions différentes. Les résultats du tracé sont alors des plus diffus.

Le tremblement de terre du 16 novembre 1894 en Calabre et en Sicile mit, un des premiers, bien en évidence les erreurs auxquelles la théorie de Mallet ou celle des isoséismales peut conduire. Il résulte des travaux de Riccò (3) que la méthode de Mallet donnait un foyer situé dans la région d'ébranlement primitif et un autre situé en dehors, et cela en utilisant des deux parts l'étude du même nombre de fractures dans les édifices. Quant à la profondeur du foyer, on pouvait l'évaluer indifféremment à 150 kilomètres, comme à 21, 26, 47 ou 161. Par une méthode basée sur l'intensité des chocs que l'on suppose varier en raison inverse du carré des distances à l'épicentre hypothétique, on obtenait des profondeurs de 52, 54 et 50 kilomètres.

Enfin, pour chercher à expliquer les contradictions entre les faits et la théorie de Mallet, on en vint à parler de tremblements de terre polycentriques, comme Baratta, ou de « Schwarmbeben », comme certains sismologues allemands. Mais dans tout cela, il n'était nullement question de géologie, et la structure du sol était le moindre souci des sismologues. Ce fut Suess le premier qui, en 1873 (4), montra

(1) MALLET, *The neapolitan earthquake of 1857*. London, 1862.

(2) *Erdgeschichte*, vol. I, p. 303.

(3) A. RICCÒ, *Riassunto della sismografia del terremoto del 16 Nov. 1894 in Calabria e Sicilia*. (BOLL. DELLA SOC. SISMOL. ITALIANA, 1899, pp. 157-180.)

(4) ED. SUSS, *Die Erdbeben Nieder-Oesterreichs*. (AKAD. DER WISS. Z. WIEN, XXIII, 1873, pp. 1-38.)

que les phénomènes sismiques de la Basse-Autriche sont localisés le long de trois lignes de fracture : celles de la Kamp, de la Mürz et de Warm Spring. C'est à lui que l'on doit donc ce grand progrès d'avoir mis en relation la géographie sismique d'une région avec sa structure géologique, et ce grand progrès, c'est à un géologue pur qu'on le doit.

Mais l'idée nouvelle devait bientôt se modifier, et, en 1895, à l'occasion d'une étude sur le tremblement de terre de la Silésie, Leonhard et Volz montraient que l'on ne pouvait rendre compte des faits qu'en admettant comme cause les mouvements d'un complexe de blocs tout entiers distribués le long de lignes de fractures. En 1901, Thoroddsen pouvait mettre le même fait en évidence par l'étude des sismes islandais, avec cet avantage que dans la région les lignes de fracture elles-mêmes étaient visibles et que le parquetage terrestre était en quelque sorte visible à l'œil du géologue.

Telle est, en raccourci, la genèse des conceptions nouvelles, acceptées aujourd'hui par les sismologues et par les géologues, et que les travaux comme ceux de M. Hobbs tendent à préciser dans le détail, de manière à mettre en relief les processus mêmes des phénomènes. Les termes dans lesquels il rend compte des résultats de son enquête sur la distribution superficielle de l'intensité des actions sismiques lors des tremblements de terre de la Calabre, forment en quelque sorte un véritable exposé succinct des idées courantes actuelles. Nous ne pouvons mieux faire que de les citer ici :

1. *La distribution des localités atteintes ne fait ressortir aucune indication de relation entre l'activité sismique et la distance à un ou plusieurs points ;*
2. *Les localités atteintes sont distribuées sur des lignes droites (lignes sismo-tectoniques) ;*
3. *Ces lignes sismo-tectoniques sont en relation avec la constitution géologique, avec les lignes des côtes, la direction des masses montagneuses, etc. ;*
4. *Les localités les plus éprouvées se trouvent placées à l'intersection des lignes sismo-tectoniques ;*
5. *Ces dernières coupent souvent les lignes volcano-tectoniques à un évenement volcanique ;*
6. *Les lignes sismo-tectoniques ont une tendance à se présenter en séries parallèles (1).*

(1) *On some principles, etc., p. 224.*

Il résulte de là aussi que les effets destructeurs se concentrent le long des lignes de fractures et s'affaiblissent rapidement à mesure que l'on s'en écarte normalement de part et d'autre, et enfin que la détermination précise des lignes sismo-tectoniques, en faisant connaître les points dangereux d'une région sismique, permettra aussi, non pas de prévoir les phénomènes macrosismiques, mais tout au moins d'éviter à l'avenir, si on le veut, les conséquences funestes de ces phénomènes.

III

L'immense labeur accompli de 1890 à 1903 par le comte de Montessus de Ballore en relevant l'activité sismique de toutes les régions du globe (1) et en dressant ensuite sa mappemonde sismique, qui en est en quelque sorte l'expression, sert aujourd'hui de base au géologue qui recherche les lignes sismo-tectoniques d'une région, et lui donne un point de départ pour la localisation du système de dislocations qui la caractérise. La sismologie devient ici une science adjuvante de la géologie elle-même. M. Hobbs, appliquant cette conception à différentes régions, en montre la fécondité en faisant ressortir l'identification de grandes failles bien reconnues avec les lignes sismo-tectoniques qu'il relève. La carte qu'il nous présente de la Belgique et du Nord de la France attire particulièrement notre attention. C'est la reproduction de la carte purement sismique dressée par le comte de Montessus, mais avec le tracé des lignes sismo-tectoniques présumées. Le problème se présente comme fort délicat; si le seul guide que possède l'investigateur pour les fixer est celui de la ligne droite, il est conduit à un véritable jeu peu scientifique qui l'amène à tracer de nombreuses droites un peu au hasard, s'il ne s'y livre pas entièrement.

Il est évident qu'il est bien nécessaire que le sismologue devienne ici géologue. Lorsque la connaissance géologique d'une région se trouve suffisamment avancée, on peut affirmer, semble-t-il, que l'existence de certaines failles est impossible ou très peu probable. Dans mon ignorance personnelle de la géologie détaillée du bassin houiller franco-belge-westphalien, je pourrais surcharger la carte dressée par M. Hobbs de nombreuses lignes sismo-tectoniques nouvelles, cela n'est pas douteux; j'estime donc que si M. Hobbs s'est arrêté à celles qu'il nous indique, c'est qu'il a pour cela des raisons que je n'aurais pas pos-

(1) *Les tremblements de terre*. Paris, Colin, 1906.

sédées. Je pense aussi que la réflexion que je fais ici peut servir à montrer les dangers de la méthode elle-même.

Parmi les lignes sismo-tectoniques tracées par M. Hobbs, je relève la ligne Malines-Bruxelles-Havré et celle qui joint cette localité à l'épicentre très sismique de Douai. Disons cependant que de Montessus lui-même, dans le beau livre d'exposition générale que nous citons plus haut, appelle déjà l'attention, avec van den Broeck, sur la coexistence possible d'une faille de la vallée de la Senne avec la ligne sismique Bruxelles-Malines-Anvers.

Mais je n'ai aucune compétence pour aborder le détail de ces questions. Tout ce que j'en veux conclure, c'est que le rôle géologique de nos stations sismiques belges semble se préciser davantage à la suite des vues d'ensemble modernes que je viens de présenter ici.

Le bassin houiller belge, les plaines tertiaires du Nord, pas plus que le massif primaire du Sud de notre pays, ne constituent des régions de forte sismicité. Le « parquetage » de Lapparent est à peu près chez nous d'une stabilité parfaite. Les mouvements de déplacement que subit notre sol sont donc ou des mouvements très lents, ou des mouvements brusques, mais très faibles, que très probablement le mouvement général provoque et dont l'étude serait de nature à révéler celui-ci.

Si donc l'on ne considère nos stations sismiques qu'au point de vue géologique, il faudra y étudier surtout les *microsismes rapprochés*. C'est dire que les instruments doivent y être installés dans des conditions particulières. En général, en effet, les sismographes sont établis ou bien dans le but d'étudier les *macrosismes rapprochés* ou les *macrosismes éloignés*, et non les *microsismes rapprochés*. Les connaissances sismologiques déjà acquises permettent de dire que, à ce point de vue spécial, il sera avantageux d'utiliser des pendules verticaux ou horizontaux à période d'oscillation aussi longue que possible; l'attention de l'observateur devra aussi se porter surtout sur les indications de mouvements sismiques d'origine non identifiée par les indications des stations européennes voisines, et aussi sur toutes celles qui indiquent les mouvements rapprochés. Enfin, il serait aussi avantageux de pouvoir, au moins d'une manière temporaire, faire une campagne sismologique en certains points déterminés et particuliers, comme Havré par exemple, qui semble se trouver au croisement de deux ou plusieurs lignes sismo-tectoniques.

Les appareils à enregistrement mécanique se recommandent naturellement d'une manière spéciale pour de semblables recherches temporaires.

IV

Il est encore deux faces du problème sismico-géologique sur lesquelles, avant de terminer ce compte rendu, nous devons appeler l'attention, avec d'autant plus de soin que l'une d'entre elles a été signalée, il y a déjà longtemps, par notre collègue M. le géologue van den Broeck. Nous voulons parler du problème des *mistpoeffers*, et de celui plus récent relatif aux variations anormales de la pesanteur dans les régions sismiques.

Le professeur Cancani, de l'Office central de Météorologie et de Géodynamique, a été amené, par une étude complète et raisonnée de ces bruits mystérieux nommés *marina*, *boniti*, etc., en différentes régions de l'Italie centrale et méridionale, à leur donner une origine sismique. Il considère ces bruits comme tout à fait semblables à ceux que l'on perçoit immédiatement avant ou pendant les chocs macrosismiques, et les attribue à des déplacements relatifs sur une très grande surface de deux éléments du parquetage de la croûte superficielle. Il en est ainsi, d'après Cancani, pour les bruits entendus dans l'Ombrie, dans la région de Cosenza, dans le district du Latium et dans celui d'Isernia. Mais ces conclusions « logiques » auxquelles le regretté Cancani est arrivé par l'étude des faits, acquièrent aujourd'hui une tout autre importance à la suite des investigations sismico-géologiques de M. Hobbs. Déjà le professeur Tito Alippi (1), étudiant en 1901-1902 les *mistpoeffers* de la Calabre (il les nomme aujourd'hui *brontidi*), avait montré qu'il faut les attribuer aux déplacements relatifs des deux lèvres des deux grandes failles de dislocation de la vallée de Crati, découvertes par Cortèze.

Mais il résulte des travaux de M. Hobbs que la vallée de Crati n'est pas caractérisée par la présence de deux failles seules, mais par tout un réseau de lignes de fracture, et en fait, si l'on reporte sur la carte sismo-tectonique les lieux qu'indique Alippi comme ceux où les *brontidi* calabrais ont été entendus, on est très surpris de les voir se disposer sans exception sur les lignes sismiques du district de Croati. Il résulte des travaux d'Alippi lui-même que les *brontidi* sont toujours entendus dans une région voisine des montagnes ou de lignes de dislocation connues. Ainsi les bruits de la Romagne toscane

(1) TITO ALIPPI, *I mistpoeffers calabresi*. (BOLL. DELLA SOC. SISMOL. ITAL., vol. VII, 1901-1902, pp. 9-22.)

semblent provenir des Apennins ou du mont Falterona; ceux de l'Ombrie et de la Marche du mont Nerone; ceux du val d'Orcia du mont Amiata, etc.

Il semble donc bien que ces recherches récentes, accomplies en Italie, tendent à donner une base très sérieuse à une théorie qui permettrait de rattacher les « bruits mystérieux » de la mer du Nord à une cause microsismique. Aussi ai-je cru bien faire en rappelant dernièrement et brièvement dans *Ciel et Terre* (1) le problème des *mistpoeffers*. Je répète ici les appels que j'y ai faits à une investigation nouvelle, qui, comme je l'ai dit, me paraît très aisée à mener.

V

L'union nécessaire de tous les efforts et celle de toutes les sciences pour la solution d'un même problème n'a peut-être pas été mise mieux en évidence que par les résultats des études récentes faites sur les anomalies de la gravité et que je pourrais (comme on l'a fait à propos de la découverte de l'argon par Lord Rayleigh) appeler « le triomphe de la cinquième décimale ». C'est dire qu'il s'agit ici d'une œuvre de vrais physiciens, apportant leur concours aux géologues et aux sismologues.

A la grande surprise des géodésiens, les déterminations de la pesanteur faites au milieu de l'Océan, sur des îles (notamment à l'île Bonin, entre les Mariannes et le Japon par le Service géologique des Indes), celles faites au milieu des continents et même sur la chaîne de l'Himalaya, la plus élevée du globe, se sont montrées nettement opposées les unes aux autres, avec un déficit pour les continents et une anomalie positive pour les mers; le Congrès géodésique international de 1904 a même formulé ces résultats généraux en disant : « La pesanteur paraît en excès sensible sur les mers, tandis qu'elle est en déficit sur les continents. »

En réalité, il paraît bien avéré à l'heure actuelle que la distribution relative des terres et des mers n'est pour rien dans ce phénomène. Les travaux du professeur Riccò, en Sicile et en Italie, ceux de Hecker sur l'Atlantique, ceux de Burrard dans la plaine gangétique, enfin ceux du général Stebuitzki dans les plaines de la Russie méridionale, se soutenant et s'étayant les uns les autres, ont modifié entièrement l'aspect

(1) *La question des mistpoeffers*. (CIEL ET TERRE, 15 mars 1907.)

du problème et l'ont rapproché du problème sismologique. Dans le jeu relatif des compartiments disloqués de l'écorce, et si l'on considère deux d'entre eux, il peut se produire en même temps que l'affaissement avec compression de l'un d'eux, la surrection de l'autre, avec tendance à la dilatation, avec diminution de pression, ou avec conservation de l'état actuel. Le pendule, en franchissant la ligne ou surface de fracture qui les sépare, doit, si ses indications sont assez sensibles, indiquer les variations d'attraction qui doivent en résulter; c'est en fait ce que le beau travail du professeur Riccò a montré le premier d'une manière si nette, pour tout le pourtour des bassins d'affaissement de la mer Tyrrhénienne comme de la mer Ionienne. Au sommet de l'Etna, sur la chaîne des Apennins, l'anomalie de la pesanteur est insensible et augmente constamment à mesure que l'on se rapproche des rivages de la mer; il y a plus : ses variations sont les plus grandes sur les lignes sismo-tectoniques elles-mêmes et s'accusent beaucoup moins lorsque ces lignes ne se sont pas caractérisées elles-mêmes. Il semble donc que la vraie raison de ces phénomènes soit dans la constitution du sous-sol, et entièrement en dehors du fait de la présence des eaux, qui ne se trouvent présentes que parce qu'elles ont, sous l'action de la pesanteur elle-même, rempli les cavités qui leur étaient offertes.

Le voyage de M. Hecker, de Lisbonne à Bahia, pour l'étude des variations de la gravité par la méthode de comparaison préconisée par M. Guillaume, et effectué sous les auspices de l'Observatoire de Potsdam, a, grâce à l'esprit pénétrant de M. de Lapparent, fourni une vérification nouvelle de la thèse de M. Riccò, rapprochant les lignes de forte sismicité de celles des fortes anomalies.

Dans l'ensemble, les déterminations faites par M. Hecker ont prouvé que la pesanteur sur l'océan Atlantique même, entre Lisbonne et Bahia, possède sa valeur normale, c'est-à-dire celle qu'elle prend au niveau de la mer, en terre ferme, à latitude égale. Mais dans les détails, et grâce à la détermination certaine des unités du 5^e ordre, apparaît l'influence du tectonisme. Trois maxima, faibles il est vrai, jalonnent la route : le premier se trouve au passage brusque (1) du banc de Gettysburg aux grandes profondeurs qui précèdent les Canaries; le deuxième est entre Saint-Paul et l'équateur, et enfin le troisième signale le relèvement du cap Saint-Roch.

(1) DE LAPPARENT, *Sur la signification géologique des anomalies de la gravité*, COMPTES RENDUS, 1903, t. CXXXVII, p. 827.)

M. de Montessus a montré comment les anomalies observées en Russie et aux Indes peuvent s'expliquer par des conceptions très analogues, en imaginant l'existence sous les grandes couches d'alluvion de massifs formant les bases plus denses et affaissées d'anciennes chaînes surélevées, arasées ensuite. Dans la plaine centrale de l'Inde notamment, les anomalies de la gravité présentent une marche des plus singulières ; alors qu'aux abords de l'Himalaya (et malgré, remarquons-le aussi, qu'il y ait au pied des avant-monts une région sismique fort accusée, notamment du Salt Range au Bhotan) la gravité est normale, dans la plaine indo-gangétique, région peu élevée quoique sismique, le pendule, en franchissant une ligne tracée de Calcutta au Radjpoutana, indique une déviation dirigée vers l'aire dont cette ligne forme l'axe ; c'est dans les profondeurs de cette aire que se trouveraient les masses plus denses, à l'attraction desquelles il faudrait attribuer ces curieuses indications du pendule. Il est bien évident que la preuve certaine et directe de l'existence de ces masses apporterait un appui plus complet encore aux idées générales sismico-tectoniques et géodésiques qui tendent à relier les données de ces trois branches de la géophysique qui sont la géologie, la géodésie et la sismologie ; car l'induction comme la déduction sont des procédés scientifiques qui ne deviennent parfaits que par l'étude même des faits. Quoi qu'il en soit, on sait que, dans beaucoup de cas, car il ne faut pas trop généraliser, il y a une union étroite entre les lignes sismiques, les lignes jalonnant les grandes failles, et celles qui caractérisent aussi les anomalies de la gravité. Cette réunion de trois caractères si distincts dans un même « être géophysique » est de nature à venir en aide au géologue, au sismologue et au géodésien dans l'étude des problèmes respectifs qu'ils étudient.

De ces trois domaines, dans notre pays, c'est celui du géodésien qui a été encore le moins étudié ; et il semble fort désirable que des déterminations de la gravité dans les différentes régions de la Belgique soient poursuivies avec les appareils si perfectionnés du colonel Deforges ou Sterneek ; quand je dis poursuivies, il faut dire entreprises ; car nous ne possédons, je pense, dans ce domaine, qu'une détermination de l'accélération de la gravité faite à Bruxelles, à l'occasion du Congrès de Géodésie de 1888, par le colonel, alors commandant Deforges, et je ne sais même si l'expérience de détermination a été entièrement terminée et les calculs effectués.

On voit immédiatement par ce qui précède, et sans qu'il soit nécessaire d'y insister, à combien de problèmes d'ordre géologique cette méthode d'investigation physique de failles du sous-sol viendrait en

notre pays prêter ses ressources, et le travail d'exposition fort condensé que j'ai l'honneur de présenter a pour but, en rendant compte en même temps de deux mémoires géologico-sismiques, de montrer quels résultats féconds sont à attendre de la coopération de la géologie, de la sismologie et de la physique du globe, sous la forme spéciale de l'étude de la gravité.

