

LE PROGRÈS
DES
ÉTUDES SISMOLOGIQUES

PAR
A. DE LAPPARENT

Seismological investigations, in *British Association Annual Reports* 1881 à 1901. — OLDHAM, *The great indian Earthquake of 1897*, in *Memoirs of the Geological Survey of India*, t. XXIX (1899). — OLDHAM, *On the propagation of earthquake motion*, in *Philosophical Transactions*, vol. 194, p. 135. — J. MILNE, *Seismological observations and earth physics*, in *Geographical Journal*, XXI (1903), p. 1.

La sismologie, c'est-à-dire l'étude systématique des tremblements de terre, a fait dans ces derniers temps des progrès considérables. La coopération, nationale ou internationale, s'y est exercée avec le plus grand profit pour la science et, grâce à une vigoureuse impulsion, il a suffi d'un très petit nombre d'années pour que la méthode des observations coordonnées mit en lumière des résultats de la plus haute importance, dont quelques-uns même étaient, on peut le dire, absolument inattendus.

Malheureusement tout ce progrès s'est accompli en dehors de nos frontières et sans notre participation. Peu intéressée par elle-même, semblait-il, à un ordre de phénomènes dont elle a eu très rarement à souffrir, la France est restée à l'écart du concert auquel s'associaient les autres nations. Seules, quelques individualités distinguées ont continué, chez nous, à s'occuper isolément de la question, mais sans pouvoir bénéficier de l'organisation établie. Il est douloureux de penser

qu'à l'heure présente il n'existe sur notre territoire qu'un seul sismographe en fonctionnement régulier (1). Encore est-il loin d'offrir, par sa construction, les conditions requises pour devenir un rouage tout à fait utile dans le réseau des observatoires associés.

C'est donc aux publications étrangères que nous devons nous adresser pour être au courant des résultats acquis. Heureusement, dans les derniers temps, ces publications ont été nombreuses et de grand intérêt. En première ligne, il faut nommer les rapports annuels que fait paraître depuis 1881 le Comité spécial de l'*Association britannique pour l'avancement des sciences*, et où se déploie la féconde activité de M. John Milne, le véritable initiateur des études systématiques de sismologie. Ensuite doivent venir les notes insérées aux *Beiträge der Geophysik*, sous l'impulsion de M. le Prof^r Gerland, de Strasbourg, celui qui de nos jours a pris, sur le continent, la tête du mouvement; puis les publications des sociétés spéciales, anglaises ou italiennes, telles que les *Transactions* de la Société sismologique d'Angleterre. D'autre part, le tremblement de terre survenu dans l'Inde le 12 juin 1897, l'un des plus considérables que l'histoire ait enregistrés, a été, de la part de M. Oldham, l'objet d'une étude magistrale, dont les résultats sont en parfait accord avec ceux qu'a obtenus l'Association britannique.

Enfin, tout récemment, devant la Société de géographie de Londres, M. J. Milne a donné un résumé, aussi net que concis, des notions qui peuvent être considérées comme établies depuis que fonctionne la nouvelle organisation. Sans nous astreindre à une analyse séparée de ces divers documents, nous voudrions essayer d'en résumer ici les données principales.

C'est en Italie que l'intérêt des observations sismologiques a été le plus tôt apprécié. C'est là que les premiers appareils enregistreurs ont été inventés et mis en fonctionnement. Cependant, en dehors de la Calabre, les secousses importantes ne sont pas très fréquentes dans la péninsule, et, d'autre part, le voisinage de centres volcaniques très actifs, comme le Vésuve, l'Etna, le Stromboli, expose les observateurs, presque malgré eux, à établir une dépendance trop étroite entre les trépidations du sol et les manifestations d'une activité éruptive évidemment prépondérante.

Il en est autrement au Japon. C'est assurément le pays de la terre le

(1) C'est celui que M. Kilian, doyen de la Faculté des sciences de l'Université de Grenoble, a établi dans son laboratoire de géologie.

plus fortement secoué, au point que les habitudes journalières doivent être réglées en tenant compte de cet inévitable danger, en vue duquel s'impose un mode spécial de construction des demeures. Le nombre des secousses authentiquement enregistrées n'y est pas inférieur à mille par an. D'autre part, le Japon possède aussi des volcans très actifs ; mais le phénomène éruptif est secondaire relativement à la fréquence et à l'intensité des secousses sismiques. Nulle part donc une étude systématique ne peut disposer de plus d'éléments, ni obtenir plus facilement la coopération d'un grand nombre d'observateurs ; car personne, dans le pays, ne saurait se désintéresser d'un ordre de choses qui trop souvent s'impose à l'attention par de véritables catastrophes.

Ainsi s'explique le succès obtenu par M. Milne, lorsque, au début d'un séjour au Japon, qui devait durer sept années, il entreprit d'organiser, par le concours des bonnes volontés locales, un service régulier d'informations. En 1881, ce service comprenait plusieurs centaines de stations, dont plus de dix avaient été munies d'appareils enregistreurs, combinés de manière à faire connaître avec précision l'heure, l'amplitude et la direction des secousses.

Dès la première année, la discussion de tous les renseignements recueillis avait suffi pour mettre en évidence un résultat remarquable : c'est l'indépendance presque absolue qui existe, au Japon, entre les manifestations volcaniques proprement dites et les ébranlements sismiques, ou, pour parler le langage adopté, entre la *volcanicité* et la *sismicité*. Aucune des secousses principales, ressenties dans la contrée, ne coïncidait avec une éruption ; et, par contre, les paroxysmes volcaniques survenus pendant le même temps, même les plus violents, n'avaient produit que des ébranlements insignifiants, sans comparaison avec ceux qu'aucune éruption n'avait accompagnés.

Bientôt d'ailleurs se dégagait des observations un second résultat, encore plus significatif que le premier. Il est très rare qu'un tremblement de terre se fasse sentir juste au même instant sur toute l'étendue d'un district ébranlé. Le fléau chemine, à partir d'un centre, en se propageant (à la rapidité près, qui est considérable) à la manière d'une tache d'huile. On conçoit que, par des mesures précises, il devienne possible de tracer sur une carte la marche qu'il a suivie. Tous les points simultanément atteints par la première secousse sont alors distribués sur une même courbe, dite *isosismique*, et la comparaison des courbes successives est de nature à fournir une indication nette sur l'origine de l'ébranlement ; car, autour de cette origine, les

courbes isosismiques doivent dessiner des auréoles plus ou moins concentriques.

En appliquant au Japon ce procédé très simple, M. Milne reconnut que la plupart des ébranlements devaient avoir leur origine en pleine mer, à une distance du rivage ordinairement plus petite que 60 ou 80 kilomètres. Ainsi, non seulement la volcanicité n'intervenait pas dans leur production, mais la cause devait en être demandée aux profondeurs océaniques; et comme, justement, la côte du Japon est bordée, à très faible distance, par des abîmes extraordinaires, où la sonde descend à plus de 8000 mètres, il était clair qu'il devait y avoir un rapport intime entre la mobilité du terrain, attestée par la fréquence des secousses, et l'évidente dislocation que révèlent ces abîmes, si exceptionnels pour l'océan Pacifique, dont la profondeur moyenne ne dépasse certainement pas 4000 mètres.

Des conséquences aussi importantes demandaient à être vérifiées ailleurs qu'au Japon. Aussi, pendant que, dans ce pays, il présidait à la fondation d'une société sismologique, M. Milne se tournait-il vers l'Association britannique pour l'avancement des sciences, qui depuis longtemps excelle à former des comités et à recueillir des ressources en vue de l'étude en commun des questions d'intérêt général. En 1880, l'Association lui accorda une subvention et décida la formation d'un Comité pour l'étude des tremblements de terre au Japon. Depuis lors, chaque année, un rapport rédigé par M. Milne a été publié dans les comptes rendus annuels de l'Association, jusques et y compris l'année 1895, époque où le Comité en question s'est fondu avec un autre, institué depuis peu pour l'étude des *frémissements terrestres* (*earth tremors*). A partir de ce moment, c'est sous la rubrique *Seismological investigations* qu'ont paru, toujours sous la signature de M. Milne, les rapports annuels du Comité dont faisaient partie des hommes tels que Lord Kelvin, M. M. Darwin, M. Davison, M. Symons; et c'est la substance de ces rapports, si nourris de faits, que M. Milne a résumée dans l'article du *Geographical Journal* auquel nous avons déjà fait allusion.

Mais, pour apprécier à sa juste valeur le fruit des efforts dont l'Association britannique avait assuré la coordination, il convient de revenir un peu en arrière et de montrer comment l'ambition des sismologues a pu grandir peu à peu, jusqu'à se proposer l'enregistrement, en un lieu donné, de tous les tremblements de terre de quelque importance.

Tout d'abord, afin de ne pas encourir le reproche de manquer de

justice envers ceux qui avaient préparé la voie, nous rappellerons que l'Italie a été la première à organiser un réseau régulier d'observations sismiques. Longtemps Michel de Rossi s'est adonné à cette tâche, et l'effort a pris une forme définitive en 1887, le jour où le Gouvernement italien s'est résolu à créer, sous la direction de M. Tacchini, l'*Office central de météorologie et de géodynamique*. Cet office comprenait quinze observatoires de premier ordre, avec instruments enregistreurs, et cent cinquante stations où l'on s'était simplement assuré le concours de correspondants attentifs aux moindres manifestations de cette nature. Six cent cinquante autres correspondants, distribués dans toute l'Italie, avaient accepté l'obligation d'avertir télégraphiquement le bureau central de Rome de toute secousse perçue par eux, afin que, de son côté, le bureau pût immédiatement mettre en jeu l'activité de la station la plus voisine. Depuis 1895, tous les rapports sont publiés par le *Bulletin de la Société sismologique italienne* et les connaisseurs se plaisent à proclamer l'excellente organisation de ce service.

Toutefois, comme nous l'avons déjà dit, c'est surtout au point de vue du volcanisme que la section sismique est envisagée en Italie. Nous n'en voulons pour preuve que la multiplicité des stations sismiques en Sicile, où il n'en existe pas moins de trente-sept, dont dix sur le territoire immédiatement voisin de l'Etna. On n'en saurait faire un grief aux savants italiens. Il leur importe, en effet, d'être avertis au plus vite de toute recrudescence qui viendrait à se produire dans l'activité des volcans qui les entourent, et la catastrophe de Casamicciola, évidemment due à une tentative de réveil de l'Épomeo, justifie l'importance qu'ils attachent aux ébranlements d'origine volcanique.

Toutefois le grand progrès de la sismologie moderne résulte de ce qu'une direction tout à fait nouvelle a été imprimée aux recherches de cet ordre, et ce n'est pas de l'Italie que ce mouvement est sorti. La seule chose qu'on puisse dire, c'est que, d'une façon indirecte et par la bonne organisation de ses observatoires, ce pays a contribué à le faire naître; car c'est en étudiant les sismogrammes enregistrés par les stations italiennes, le jour du grand tremblement de terre de l'Assam en 1897, que M. Oldham a été conduit à une des plus importantes conclusions de son étude sur la propagation des ondes sismiques.

Pour provoquer la nouvelle orientation de la sismologie, il a fallu que le hasard vint en aide à la sagacité de certains observateurs, occupés à des ordres de recherches qui n'avaient absolument rien de commun avec la géodynamique et dans des pays où l'activité volcanique ne se fait jamais sentir.

A plusieurs reprises, des astronomes avaient eu l'occasion de constater que leurs observations étaient parfois troublées, d'une façon inopinée, par une vibration qui affectait les appareils et se prolongeait pendant une durée appréciable. Ces perturbations étaient d'autant plus singulières qu'aucune cause prochaine ne pouvait être invoquée pour les expliquer. Il ne s'était pas produit d'explosions ni d'éboulements dans la contrée environnante ; de lourdes charges n'avaient pas circulé à proximité de l'observatoire, et l'atmosphère était restée parfaitement calme. On eut alors l'idée de rechercher si ces troubles n'auraient pas coïncidé avec des ébranlements sismiques survenus à grande distance. La vérification fut très satisfaisante et dès lors on soupçonna qu'il y avait entre ces phénomènes une relation de cause à effet. Aussi, en 1883, dans un écrit faisant partie de l'*International scientific series*, M. Milne ne craignait-il pas d'émettre la proposition suivante : « Avec des appareils appropriés, il devrait être possible, sur n'importe quel point du globe, de noter tout tremblement de terre tant soit peu ample. » De fait, l'année suivante, le 25 mars 1884, il lui arrivait d'enregistrer au Japon, avec son sismographe, un ébranlement assez lointain pour que personne dans le pays ne l'eût senti (1).

Néanmoins, pour réaliser l'objectif ainsi entrevu, il fallait les « appareils appropriés ». C'est encore le hasard qui se chargea de les faire connaître. En 1889, un savant allemand, M. von Rebeur Paschwitz, poursuivait, sur les variations de la pesanteur à la surface de la Terre, des expériences où il employait un *pendule horizontal*, c'est-à-dire une tige équilibrée et suspendue de manière à pouvoir osciller librement dans un plan parallèle à l'horizon. Il s'aperçut qu'il y avait des moments où ce pendule se mettait à osciller sans cause apparente. En consultant les rapports de M. Milne sur les phénomènes sismiques au Japon, M. von Rebeur reconnut que les troubles enregistrés par lui en Allemagne coïncidaient justement avec des perturbations analogues mises en évidence par les appareils japonais. Aussi, en 1895 (2), se trouvait-il suffisamment autorisé pour affirmer qu'un pendule horizontal offrait un moyen de constater des vibrations infiniment petites du sol, résultant d'un ébranlement survenu même à une distance énorme du lieu de l'observation.

Depuis lors, on s'est attaché à perfectionner les appareils enregistreurs, de manière à ne laisser échapper aucun mouvement, quel qu'en soit la direction ou le caractère. On a été ainsi conduit à

(1) *Transactions of the Seismological Society*, vol. X, p. 6.

(2) *Beiträge zur Geophysik*, t. II (1895).

employer concurremment des pendules verticaux et des pendules horizontaux, chaque catégorie étant préférable pour une nature déterminée de vibrations. Dans le cas d'un pendule vertical lourd, la masse du pendule, grâce à son inertie, n'est pas entraînée par le petit mouvement qui survient. Mais ce mouvement affecte le support auquel l'appareil est suspendu. Si donc, entre le pendule et le bâti du support, on a ménagé un contact suffisamment sensible, ce mécanisme de contact se mettra à osciller; s'il s'agit d'un pendule horizontal léger, c'est le pendule lui-même qui, butant par un pivot d'agate contre une pointe métallique très fine, fixée à son support, entrera en oscillation quand la pointe, secouée avec le sol qui porte la suspension, éprouvera un léger déplacement.

De toutes manières, les mouvements qui surviennent peuvent être enregistrés automatiquement avec une précision extrême. Il suffit de s'arranger pour que, à l'aide d'une combinaison de miroirs, ces mouvements déplacent l'image d'une source lumineuse, envoyée par ces miroirs sur une bande de papier photographique, qui se déroule grâce à un mouvement d'horlogerie. Alors, sur cette bande, au lieu du trait continu et régulier qui correspond à l'absence de toute agitation, on observe des zigzags plus ou moins compliqués, selon l'importance et la nature des secousses. Enfin, comme la façon dont le pendule est monté lui interdit d'osciller suivant une certaine direction, de sorte que les secousses affectant cette direction ne seraient pas enregistrées, on a soin, dans les observatoires bien outillés, de juxtaposer deux et même trois pendules identiques, dont les orientations ont été conjuguées de façon à ne rien laisser échapper.

Les noms de MM. von Rebeur Paschwitz, Ehlert, Milne, Gray, Grabowitz, Vicentini, Agamennone, Darwin, etc., sont attachés à ces divers perfectionnements. Les rapports de l'Association britannique, ainsi que les *Beiträge zur Geophysik*, contiennent des notes pleines d'intérêt sur les précautions que réclame l'installation des appareils, ainsi que sur les dimensions qu'il faut leur donner pour que la période d'oscillation qui leur est propre diffère autant qu'il convient de celle des vibrations du sol à l'enregistrement desquelles ils sont destinés. Nous renverrons à ces publications ceux qui seraient curieux d'en connaître davantage, recommandant aussi, dans le même but, un travail de M. Albin Belar, directeur de la station sismologique de Laibach, en Carniole (1).

(1) *Ueber Erdbebenbeobachtung und die Erdbebenwarte in Laibach*. Laibach, 1898.

Pour nous, qui n'entendons pas ici traiter *ex professo* de la matière, ce qu'il nous importe surtout, c'est de faire apprécier l'importance des résultats si rapidement obtenus grâce à la coordination des méthodes, et c'est pourquoi nous voulons encore insister sur l'intervention de l'Association britannique.

C'est dans la réunion d'Ipswich, en 1895, qu'avait été décidée la fusion du Comité sismologique du Japon avec celui des *Earth tremors*.

Dès ce moment, M. Milne adressait à tous les sismologues une circulaire pour les inviter à centraliser les efforts sous les auspices de l'Association. Trois mois après, sur le continent, M. von Rebeur Paschwitz prenait une initiative analogue, mais en vue d'une solution plus large, à savoir la création d'un réseau *international* d'observatoires sismiques, et il rédigeait un appel dans ce but. Mais la mort étant venue le surprendre, la tâche a été reprise par M. le Prof^r Gerland, de Strasbourg, qui depuis lors n'a cessé de faire dans ce but une active propagande (1).

Seulement, tandis que des sismologues du continent cherchaient à s'organiser, surtout en Allemagne et en Autriche, où les tremblements de terre de la Carinthie et de la Carniole avaient fortement ému l'opinion, l'Association britannique se décidait à poursuivre, avec ses seules forces, l'œuvre dont elle avait assumé la direction. Entretemps, d'ailleurs, des observations décisives avaient été faites, qui étaient de nature à inspirer pleine confiance dans le succès. Nous voulons parler des expériences poursuivies, en 1893 et 1894, à l'observatoire de Nicolaïew en Russie, avec le pendule horizontal de von Rebeur. Non seulement l'instrument avait affirmé son aptitude à enregistrer même les ébranlements les plus lointains, mais en l'espace de trois mois, douze perturbations absolument concordantes avaient affecté simultanément l'appareil de Nicolaïew et celui de Strasbourg.

Aussi lorsque, en 1896, au Congrès de l'Association britannique réuni à Liverpool, M. Milne donna lecture du premier rapport au nom du Comité des « Investigations sismologiques », était-il pleinement autorisé à dire :

« A présent qu'il est démontré que tout ébranlement important peut

(1) Soumises au Congrès géographique de Berlin, en 1899, les propositions de M. Gerland ont déterminé la formation d'une Commission internationale de sismologie, qui s'est réunie pour la première fois à Strasbourg. Les délibérations de cette Commission sont, en ce moment même, renvoyées à l'examen de l'Association internationale des Académies.

être perçu dans toute l'étendue du globe, le Comité estime qu'il y aurait lieu de s'entendre pour l'enregistrement et l'étude de ces mouvements. L'intérêt des phénomènes sismiques ne semble pas devoir être inférieur à celui du magnétisme terrestre. Et puisqu'il existe des observatoires magnétiques dans les diverses parties du globe, ainsi l'opinion du Comité est qu'il devrait exister aussi un réseau d'observatoires sismologiques...

» En vue de cette organisation, le Comité propose d'installer d'abord, côte à côte, quatre bons types d'instruments, afin de procéder à l'étude et à la comparaison de leurs résultats... Nous sollicitons l'appui de l'Association à l'effet d'obtenir du Gouvernement l'installation en Grande-Bretagne, en Inde et aux colonies, d'un nombre limité d'instruments, de sensibilité identique, avec un bureau central qui serait chargé de la coordination et de la publication des observations. Les frais nécessaires pour chaque station, y compris ceux de l'enregistrement photographique, ne devraient pas dépasser 2,500 francs. »

Le rapporteur poursuivait en indiquant à quelles distances mutuelles il conviendrait que les stations fussent placées et quels endroits de la terre devraient être choisis de préférence pour l'installation des premiers observatoires. En particulier, il recommandait l'établissement de stations aux antipodes des régions le plus habituellement secouées, telles que le Japon et le littoral américain entre le Pérou et le Chili.

Pendant que les adhésions des spécialistes parvenaient à l'Association, celle-ci poursuivait l'étude des appareils les plus propres à répondre au but poursuivi, et, dans une circulaire datée de 1897, elle invitait les sismologues à lui faire savoir s'il leur convenait de recourir à elle pour la fourniture de sismographes identiques, d'un modèle bien éprouvé.

Ces efforts ont été couronnés de succès, et aujourd'hui le réseau de l'Association britannique comprend trente-six stations, échelonnées depuis Édimbourg jusqu'au cap de Bonne-Espérance, comme depuis Tokio et la Nouvelle-Zélande, d'un côté, jusqu'aux îles Sandwich, de l'autre. Les appareils employés, tous de même type, ont été comparés à l'avance, et par des instructions soignées on a veillé à ce que les mêmes précautions fussent partout prises pour l'installation. Inutile d'ajouter que tous ces observatoires sont en relation les uns avec les autres, que les rapports annuels de l'Association signalent les particularités dignes d'attention et qu'on y fait figurer les fragments les plus caractéristiques des *sismogrammes*, c'est-à-dire des dessins tracés par les appareils enregistreurs, dessins où un œil exercé n'a pas de peine à distinguer toutes les circonstances d'un mouvement sismique.

Si bien conçue que fût cette organisation, il aurait pu arriver qu'elle ne produisit pas d'emblée des fruits décisifs. Il n'en a rien été, et le rapprochement des observations, ainsi rendues comparables, a mis en lumière, dès les premières années, des résultats de la plus haute importance. Ce sont ces résultats que M. Milne s'est appliqué à faire connaître dans son article du *Geographical Journal*. Du reste, trois ans auparavant, quelques-uns d'entre eux, et non des moins significatifs, avaient été énoncés de la façon la plus nette par M. Oldham, directeur du Service géologique de l'Inde, dans la savante étude qu'à la suite de la catastrophe de 1897, il a consacrée au problème de la propagation des ébranlements sismiques à grande distance. Enfin, de leur côté, pour n'être pas tous d'accord avec les savants anglais sur la cause première du phénomène, les sismographes allemands, en particulier M. Belar, ne mettent pas en doute le fait capital révélé par les observations des cinq ou six dernières années, et qui peut être énoncé comme il suit :

Toutes les fois qu'il se produit un tremblement de terre de quelque importance, les observatoires voisins des antipodes du point ébranlé en sont avertis, environ vingt ou vingt-deux minutes après le commencement du phénomène, par de très petites oscillations, qu'on désigne sous le nom de *frissons préliminaires* (*preliminary tremors*).

Au bout d'un second intervalle de vingt minutes commence une seconde phase, caractérisée par des vibrations plus étendues. Enfin la phase principale, qui d'ordinaire commence une quarantaine de minutes après la première, se manifeste par des oscillations de grande amplitude, affectant surtout les pendules horizontaux.

En discutant les circonstances caractéristiques de ces trois phases, on est conduit à envisager les deux premières comme l'effet d'un mouvement qui s'est propagé *par l'intérieur du globe*, avec une vitesse vertigineuse de 9 à 10 kilomètres par seconde pour la première phase, d'environ 5 kilomètres pour la deuxième ; résultat d'ailleurs tout à fait conforme à ce qu'avait établi un savant mécanicien français, M. Wertheim (1), dans une étude sur la propagation du mouvement dans les corps solides. Car son analyse lui avait montré que cette propagation donnait lieu à deux sortes d'ondes élastiques, dont la seconde cheminaut deux fois moins vite que la première (2).

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XXXI, p. 697; *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. XXI, p. 49.

(2) La distinction des deux premières phases et leur assimilation aux deux espèces d'ondes vibratoires qui se propagent dans les corps élastiques, paraissent avoir été

De plus, cette vitesse de 9 à 10 kilomètres par seconde, qui fait que le diamètre terrestre est franchi en vingt-deux minutes, implique, pour l'intérieur de notre planète, une rigidité au moins double de celle de l'acier ; conséquence extrêmement curieuse, qui prouve à quel point la pression doit intervenir pour contrebalancer les effets de la haute température qui règne dans le noyau terrestre.

Quant à la troisième phase, elle correspond, selon toute vraisemblance, à des vibrations superficielles, espèces de vagues terrestres qui, à partir du point ébranlé, se propagent à *travers l'écorce*, avec une vitesse de 2 $\frac{1}{2}$ kilomètres à 3 kilomètres par seconde. C'est à ces vibrations que serait due, avec la mise en mouvement des pendules horizontaux, cette agitation de l'eau des lacs qu'on a parfois remarquée au moment d'un tremblement de terre lointain ; par exemple celle qui s'est produite en 1755 à la surface des lacs de l'Angleterre, de la Suède et de l'Amérique du Nord, au moment où avait lieu la catastrophe de Lisbonne.

Ces données une fois admises, la discussion des résultats numériques fait voir que, pour un ébranlement très lointain, l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'apparition des frissons préliminaires et le début de la troisième phase vibratoire fournit une mesure approchée de la distance à laquelle se trouve la station sismique relativement au point où s'est produit le tremblement de terre qui l'affecte. Par conséquent, si cet intervalle a pu être mesuré en deux ou trois stations distinctes, on pourra en conclure et marquer sur une carte la position de l'origine de l'ébranlement.

L'application de ce principe a permis à M. Milne de dresser, pour l'ensemble des années 1899, 1900 et 1901, une *carte sismique* du globe, qu'il a jointe à son article du *Geographical Journal*. Or, il se trouve que, loin d'être distribués au hasard sur toute la terre, les points de départ ou foyers des principaux ébranlements se groupent en séries, dessinant des surfaces privilégiées sous le rapport de la *sismicité*. Ces aires sismiques (1) occupent toutes une situation caractéristique : elles sont situées dans l'océan, non loin des rivages que dominant de hautes

formulées pour la première fois en 1899, par M. Oldham. L'idée lui en avait été suggérée par l'examen des sismogrammes enregistrés dans les observatoires italiens, le jour du tremblement de terre de l'Inde, en 1897.

(1) On entend habituellement sous ce nom les surfaces fréquemment secouées par des tremblements de terre. Ici l'expression désigne des régions où se concentrent de préférence les *foyers* ou origines des ébranlements.

chaînes de montagnes et au-dessus d'abîmes sous-marins où la sonde accuse des profondeurs exceptionnelles.

Et voilà comment un judicieux emploi d'une simple statistique graphique, appuyée sur de bonnes observations, permet de formuler une grande loi naturelle, à savoir que : *les tremblements de terre importants ont tous leur origine dans les parties de l'écorce terrestre où la pente moyenne des accidents du relief est considérable*. Pour rendre cette relation plus précise, en l'exprimant par un chiffre, il suffira de dire avec M. Milne qu'une pente moyenne de *trois pour cent*, depuis le rivage jusqu'à environ 200 kilomètres en mer, forme la limite au-dessus de laquelle toute région sous-marine devient abondante en foyers sismiques.

Hâtons-nous de reconnaître que ce résultat, si bien exprimé par la carte de M. Milne, avait été très nettement proclamé, dès 1895, par un observateur français, M. de Montessus de Ballore (1). Une statistique très consciencieuse de tous les tremblements de terre survenus depuis les temps historiques l'avait amené à reconnaître, entre la fréquence des ébranlements et l'allure de l'écorce, une relation qu'il exprimait par cette formule tout à fait saisissante : *La sismicité est partout proportionnelle à la raideur du relief*. La part de la France est assez petite, dans le progrès de la sismologie, pour que nous soyons d'autant plus empressés à faire ressortir la sagacité déployée à cette occasion par un de nos compatriotes.

Remarquons-le maintenant, la loi expérimentale qui vient d'être établie suffit à trancher la question, si longtemps débattue, de l'origine des tremblements de terre. En vain les sismologues italiens voudront rester fidèles à leurs vieilles traditions et persisteront à admettre l'étroite liaison de la sismicité avec le volcanisme; en vain d'autres spécialistes, à la suite de M. Gerland, chercheront à faire prévaloir l'idée de grands phénomènes explosifs, survenant dans les profondeurs du noyau, ou rattacheront les petits ébranlements à des phénomènes atmosphériques. La lumineuse coïncidence des aires sismiques avec les principales dislocations terrestres donne gain de cause à ceux qui, à l'exemple de MM. Suess, Heim et Robert Mallet, n'avaient pas attendu les décisives constatations de ces dernières années pour entrevoir dans les tremblements de terre l'effet des mouvements d'une écorce qui se déforme sans cesse.

C'est donc, en réalité, un des aspects du phénomène orogénique, et

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXX, p. 1183.

si l'on persistait encore à en douter ou, tout au moins, à en demander des preuves positives, il suffirait de rappeler, avec M. Milne, tant d'observations péremptoires, recueillies aussi bien dans les profondeurs maritimes (1) que sur la terre ferme. Nous voulons parler de ces failles de 50 à 100 kilomètres de long qui se sont ouvertes au Japon, lors des catastrophes de 1891 et de 1897, laissant voir, entre leurs lèvres, un déplacement relatif de plusieurs mètres; ou bien de ces ruptures de câbles sous-marins, si fréquentes après certains ébranlements sismiques, et à la suite desquelles la sonde a enregistré des approfondissements subits de plusieurs centaines de mètres; ou encore de ces mesures géodésiques, qui ont fait ressortir, dans la situation des points trigonométriques, en des pays récemment secoués, des altérations de beaucoup supérieures aux erreurs d'observation.

La conclusion qui se dégage du progrès des études de sismologie, tel qu'il vient de nous apparaître à la lumière des documents les plus récents, est que, loin de constituer un phénomène exceptionnel, la mobilité est, au contraire, *l'état normal de l'écorce terrestre*. Les statistiques de M. Milne évaluent à *trente mille par an* le nombre des secousses qui peuvent être ressenties sur le globe entier. Dans ce nombre, *trois cents*, c'est-à-dire *un pour cent*, sont d'assez grande importance pour être enregistrées par tous les appareils, et s'il y a des secousses à peine perceptibles, il y en a d'autres, comme celle de 1897, en Inde, qui ébranlent jusqu'à trois millions de kilomètres carrés, en causant, sur près de deux millions d'hectares, la ruine de toutes les habitations en pierre, sans parler de celles qui, prenant leur origine en pleine mer, engendrent des ras de marée sous l'effort desquels périrent trente mille victimes.

De là trois catégories aujourd'hui reconnues de mouvements : les *macrosismes*, aux effets si souvent destructeurs; les *microsismes*, perceptibles seulement aux instruments très délicats; enfin les *bradysismes*, caractérisés par leur extrême lenteur, et ne se révélant qu'à la longue, par le changement qu'ils apportent dans les contours réciproques de la terre ferme et de l'océan.

L'immense majorité de ces mouvements relève d'une cause unique : le *tassement* et la déformation d'une écorce partout crevassée, dont l'équilibre est mal assuré. De temps à autre, un des compartiments de cette écorce glisse contre un autre, le long d'une ligne de dislocation, dont les lèvres frémissent sous cette poussée, donnant naissance à ces

(1) J. MILNE, *Suboceanic changes*, in *Geographical Journal*, 1897.

bruits singuliers, si souvent comparés à celui que ferait une voiture lourdement chargée, passant sur une route pavée ou, mieux encore, une batterie d'artillerie défilant au galop sur un pont métallique. Et c'est ainsi que, côte à côte, on voit se déployer deux modes d'activité qui, pour dériver du même principe initial, n'en gardent pas moins une complète indépendance dans leurs manifestations : la *volcanicité*, intimement liée à l'existence des grandes dislocations, qui permettent l'arrivée au dehors des matières ignées du noyau ; et la *sismicité*, par où se trahit l'instabilité d'une croûte en voie de continuelle déformation ; la première, qui doit ses paroxysmes à un phénomène essentiellement physico-chimique, à savoir la tendance rythmée au départ des gaz et des vapeurs contenus dans la masse ignée ; la seconde, qui entre en jeu quand les compartiments mal assujettis retombent sous l'action de la pesanteur, ou cèdent aux gigantesques pressions latérales, dont les dislocations montagneuses nous attestent la réalité.

A. DE LAPPARENT.

