

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS  
*Cours annexe de Géographie physique.*

---

LES  
**TREMBLEMENTS DE TERRE**

LEURS EFFETS ET LEURS CAUSES

PAR

**Ch. VÉLAIN**

Chargé de Cours à la Sorbonne.

---

EXTRAIT DE LA *REVUE SCIENTIFIQUE*

---

PARIS  
BUREAU DES DEUX REVUES  
111, BOULEVARD SAINT-GERMAIN  
1887

LES

**TREMBLEMENTS DE TERRE**LEURS EFFETS ET LEURS CAUSES

---

L'écorce terrestre est loin d'avoir la fixité qu'on est, en général, tenté de lui attribuer. Le sol qui nous supporte peut, au contraire, être considéré comme étant dans un état perpétuel d'ébranlement sur un point ou sur un autre de sa surface. Tantôt ce sont de simples frémissements, très courts, à peine perceptibles qui agitent le sol et que des instruments délicats, les *Sismographes*, peuvent seuls enregistrer; tantôt elle est soumise à des ébranlements très courts, caractérisés par cet état particulier de trépidation du sol qui leur a valu le nom de *tremblement de terre*.

De tels mouvements, terribles dans leurs effets et mystérieux dans leurs causes, peuvent produire alors, dans les contrées qu'ils traversent, avec des

bouleversements effrayables, des modifications profondes dans le relief du sol, souvent durables. C'est par milliers aussi que se comptent les victimes dans ces catastrophes, qui frappent toujours par leur soudaineté.

En 526, sur le littoral de la Méditerranée, à Antioche et dans les villes voisines, une secousse formidable a suffi, à elle seule, pour occasionner la mort de 200,000 habitants. Les vibrations successives qui détruisirent les Calabres en 1783, en moins de deux minutes, firent 60,000 victimes. En 1753, le tremblement de terre qui renversa Lisbonne, coûta la vie à plus de 30,000 personnes. Plus récemment, dans l'île d'Ischia, le 28 juillet 1883, il a suffi d'une seule secousse pour détruire 1,200 maisons à Casamicciola; 2,300 victimes restèrent ensevelies sous ces débris.

On sait aussi qu'à la suite des tremblements de terre, pour ainsi dire incessants, qui ont agité l'Espagne du 25 décembre 1885 à la fin du mois de mars de l'année suivante, l'Andalousie, cruellement éprouvée, a perdu plus de 12,000 maisons; 6,000 sont restées fortement endommagées, et dans certains villages, comme Arenas-del-Rey, dont la population normale était de 1,500 habitants, on a compté 135 morts et 253 blessés.

Enfin, c'est encore maintenant, au nombre de ces tremblements de terre célèbres, qu'il faut compter celui qui, le 23 février dernier, vient d'ébranler une partie de la France méridionale et de l'Italie.

Mais l'Europe n'est pas seule à enregistrer de pareils cataclysmes. Certains pays ont le fâcheux privilège d'en subir souvent les effets désastreux ;

tels sont, sur les bords de la Méditerranée : l'Algérie, le Maroc, l'Asie Mineure, ainsi que les archipels qui bordent cette dernière région, dans la mer Égée. C'est ainsi que tout récemment, le 3 avril 1881, l'île de Khio (Chio), en pleine prospérité, a été bouleversée de fond en comble par une série successive de formidables secousses, qui chacune, au milieu d'immenses ruines, occasionnèrent la mort de plusieurs milliers de victimes (1).

En Amérique on sait aussi combien est grande leur violence, sur les côtes du Chili et du Pérou, dans toute l'étendue de la République de l'Équateur, du Mexique et de la Californie ; de même plus au nord, la péninsule d'Alaska et la rangée des îles Aléoutiennes qui lui font suite peuvent compter comme une zone sismique soumise à de fréquentes agitations. Celles, non moins fréquentes en Asie, du

---

(1) La première secousse qui, le 3 avril 1881, plongea dans la consternation cette riante contrée, se fit à 1 h. 55 de l'après-midi. Elle dura 50 secondes et sema partout des ruines dans la partie sud de l'île. Les maisons ébranlées et lézardées de la ville Chio et de nombreux villages se soutenaient à peine, quand survint, quelques minutes après, une seconde trépidation, aussi violente que la première, qui étendit l'œuvre de destruction. 5,000 victimes restèrent ensevelies sous ces ruines ; on n'entendait alors que le craquement sinistre des maisons qui croulaient, les cris désespérés des victimes ensevelies sous les décombres, les plaintes des survivants, frappés d'épouvante, aveuglés par les tourbillons de poussière des maisons en ruine et cherchant leur salut dans la fuite. La terreur, cette terreur que cause un danger contre lequel l'homme est impuissant à lutter, était peinte sur tous les visages, et la stupeur augmentait à la vue des blessés et des mourants qui parvenaient à se

Japon et des îles de la Sonde sont encore à citer. Enfin, il n'est pas jusqu'à l'Australie qui ne soit également souvent visitée par ces redoutables catastrophes. Celle qui vient, en 1885, de dévaster la région des Geysers est là pour le prouver.

Dans toutes les régions particulièrement troublées, comme l'Italie, la Suisse et le Japon, des observatoires sismologiques, maintenant installés et pourvus d'appareils enregistreurs perfectionnés, ont fait connaître ce fait curieux, que dans ces pays où les mouvements du sol sont si fréquents, plus les sismographes s'y perfectionnent, plus les catalogues de tremblements de terre inscrivent chaque année des nombres plus élevés.

En Suisse, par exemple, on a constaté, de novembre 1879 à la fin de décembre 1880, soixante-neuf tremblements de terre et cent soixante-six dans l'année qui a suivi. A la même date, en Italie,

---

dégager des décombres partout accumulés, quand survinrent de nouvelles secousses qui achevèrent l'œuvre de destruction. Il ne se passait pas un quart d'heure sans qu'une nouvelle trépidation du sol fit tomber quelque mur resté debout. C'est de la sorte qu'un grand nombre de blessés, après avoir pu se dégager au milieu des débris qui les avaient surpris d'abord, furent de nouveau et pour toujours ensevelis. La mort semblait ainsi poursuivre ses victimes avec acharnement, et leur nombre a été porté en moins d'une heure, alors que la destruction de Chio était achevée, à 11,000. Pendant un an, les agitations du sol continuèrent avec des interruptions de courte durée.

En 1883, alors que la majeure partie des maisons, des églises et mosquées étaient reconstruites, de nouvelles secousses, moins violentes que les précédentes, vinrent de nouveau jeter la terreur parmi les habitants.

le sol, à diverses reprises s'est montré agité pendant plusieurs mois. On peut donc dire, avec Humboldt, qu'il n'est pas un instant pendant lequel notre globe ne manifeste par quelque phénomène extérieur l'activité interne qui l'anime.

Mais je me bornerai à ces citations sommaires de quelques tremblements de terre récents, mon but n'étant pas de les décrire, mais bien de rechercher à quelles causes souterraines on peut attribuer ces agitations incessantes. Pour cela il est indispensable de dégager des milliers d'observations qui ont été faites sur ces phénomènes, les traits saillants qui servent à les caractériser.

Dans les tremblements de terre violents, l'arrivée de l'ébranlement à la surface du sol est, le plus souvent, précédé de très près par un bruit sourd, comparable, soit au grondement d'un tonnerre lointain, soit à celui, plus strident, de chaînes violemment trainées sur le sol, ou de voitures, fortement chargées roulant avec une allure vive sur le pavé; quelquefois à celui d'un chemin de fer lancé à toute vitesse, ou bien encore, quand il est plus précipité, à des décharges d'artillerie; enfin, il peut devenir très brusque et comparable à celui que peut produire le choc d'un corps lourd tombant sur le sol. De plus, on a observé que de pareils bruits pouvaient se produire sans qu'il en résultât de secousses appréciables. Ce bruit cesse quand les secousses se manifestent; d'autres fois, il persiste et les deux phénomènes empiètent l'un sur l'autre. Des microphones spéciaux, par une sorte d'auscultation, ont permis également de constater que de faibles bruits accompagnaient souvent ces frémissements du sol qu'en-

registrent seuls les sismographes. Quand à leur intensité, elle est très variable et sans relation avec celle de l'agitation. Il est des tremblements de terre, comme celui de Rio-Bamba, du 4 février 1797, qui se font en silence; d'autres, au contraire, sont accompagnés de bruits qui dépassent en intensité tous ceux connus.

Quant aux effets mécaniques produits par ces ébranlements du sol, ils consistent tout d'abord en *secousses trépidatoires*, dirigées dans le sens vertical, c'est-à-dire avec choc se produisant de bas en haut. Viennent ensuite des mouvements plus lents, *ondulatoires*, pendant lequel le sol oscille comme une mer houleuse.

Ces deux modes de mouvements (qui s'associent et sont intimement liés l'un à l'autre) varient beaucoup en intensité et en direction.

Les secousses verticales, dont les effets trépidatoires sont comparables à un coup de mine qui éclate, occupent toujours une étendue déterminée, localisée au centre de l'ébranlement et la délimitation de l'espace où elles ont été ressenties, qui prend nom d'*épicentre*, permet de déterminer l'aire du foyer du phénomène.

Leur amplitude à la surface du sol peut être considérable. C'est ainsi qu'en Calabre, en 1783, on vit des maisons sauter en l'air, alors qu'en d'autres points les sommets de hautes montagnes s'effondraient, et dans celui de Rio-Bamba, en Colombie (1797), les cadavres de plusieurs habitants furent lancés, après avoir franchi une rivière, sur une colline haute de plus de 100 mètres, qui s'est montrée en même temps recouverte par les débris

des habitations, violemment projetés dans les airs.

C'est dans de pareilles conditions qu'à Forio, dans l'île d'Ischia, en 1885, une jeune fille qui se tenait sur une terrasse, a été déposée, comme par une main invisible, sur un rocher situé à 20 mètres au-dessus du sol et cela à plus 100 mètres de distance, sans qu'elle ait ressenti aucun mal. Dans celui souvent cité des Calabres (1783), les pavés des rues, soulevés, ont fait office de projectiles.

Les points frappés par ces chocs verticaux se signalent, non seulement par la ruine des édifices et par la mortalité qui en a été la conséquence, mais encore par la disposition particulière qu'affectent les lézardes dans les murs restés debout : toutes se montrent, avec une grande régularité, disposées symétriquement par rapport à la verticale.

En Andalousie, toutes les localités (Periana, Alhama, Santa-Cruz, Arenas-del-Rey, Murchaz, etc.) situées dans cette zone particulièrement dangereuse, où les désastres sont toujours portés au maximum, ont offert des exemples bien nets de ces projections de tuiles sur les toitures, de dislocation de carrelages dans les planchers et de fentes symétriques sur les murailles lézardées.

En dehors de cette zone, les mouvements, devenus *ondulatoires*, se propagent horizontalement, à la manière des ondulations qu'on observe à la surface d'un liquide. La sensation qu'on éprouve est alors exactement celle occasionnée par le balancement d'un navire sur une mer houleuse, et cette image n'a rien d'exagéré, car ces ondulations peuvent devenir assez fortes et se prolonger assez pour causer ce malaise



particulier bien connu sous le nom de mal de mer. C'est aussi dans cette zone, qui peut devenir très étendue, qu'on voit souvent les arbres s'incliner jusqu'à toucher le sol avec leurs branches, puis se redresser sur le passage de l'onde, ou, d'autres fois, demeurer enchevêtrés les uns dans les autres.

Lors du dernier tremblement de terre d'Ischia, le campanile de la chapelle de Baveno s'est fortement incliné du nord au sud, marquant ainsi la direction de la propagation du mouvement, puis s'est redressé, et cela à plusieurs reprises différentes ; dans le même temps, les murs de la chapelle se sont fendus, puis refermés instantanément, après s'être montrés largement ouverts.

Dans ces mouvements ondulatoires, qui sont les plus fréquents et les plus prolongés, l'agitation des édifices est naturellement plus prononcée au sommet qu'à la base. C'est ainsi qu'on a vu tout dernièrement, à Menton, les étages supérieurs de certaines maisons démantelés, alors que la base de l'édifice n'éprouvait aucun dommage.

A Madrid, lors de la grande secousse du 25 décembre, la galerie supérieure du théâtre subissait un balancement sensible, alors que les spectateurs du parterre assistaient pour ainsi dire à ce nouveau spectacle sans s'en douter.

C'est pour la même raison que, dans l'intérieur des mines, ces mouvements sont incomparablement moins sensibles qu'à la surface du sol.

C'est ainsi que sur les côtes du Chili où les tremblements de terre sont non seulement violents, mais pour ainsi dire incessants, les ouvriers, employés dans le fond des profondes mines d'argent, n'inter-

rompent pas leur travail, alors que les maisons s'écroulent au-dessus de leur tête, sans qu'ils s'en doutent. De même en 1872, le district minier de Lone-Pine (Californie) ayant été agité par un violent tremblement de terre qui détruisit la plupart des maisons et pendant lequel on a compté plus de cent secousses, les ouvriers qui travaillaient à ce moment, dans les mines ne s'aperçurent de rien (1).

De plus, la rencontre des mouvements ondulatoires partis des centres différents peut donner lieu à des effets particulièrement désastreux qu'on a souvent faussement attribués à des *mouvements tourbillonnants*. Dans ce cas, le fait le plus caractéristique est fourni par des objets qui, après avoir été dérangés de leur position première, se montrent retournés, après avoir exécuté sur leur base une rotation plus ou moins complète. D'autres fois, comme à Quintero, dans le Chili, on voit des arbres restés enroulés les uns autour des autres, après avoir balayé chacun un petit espace autour de leurs tiges, comme s'il avaient été soumis à un mouvement de torsion.

Les exemples les plus souvent cités ces de effets singuliers, qui ne sauraient être attribués à un mouvement de giration du sol, sont, d'une part, le déplacement et le tournoiement subis par les pierres de deux obélisques du couvent de San-Bruno, près de San-Stefano, pendant le tremblement de terre des Calabres; de l'autre, la rotation exécutée par une statue

---

(1) K. Fuchs, *les Volcans et les Tremblements de terre*, Paris, 1878.

de Minerve devant l'École polytechnique d'Aix-la-Chapelle, en 1851. Ces faits, auxquels on peut ajouter maintenant le retournement sur sa base d'une statue de la Madone à Casamicciola, en 1883, trouvent leur explication naturelle dans ce fait qu'une secousse horizontale, s'adressant à un corps solide adhérent au sol, peut lui faire imprimer un pareil mouvement de rotation quand son point d'application ne coïncide pas avec la base de la verticale abaissée de son centre de gravité.

Indépendamment de ces mouvements, très accentués, auxquels est réservé le nom de tremblement de terre, il s'en produit d'autres, extrêmement faibles, qui ne deviennent perceptibles qu'à l'aide d'instruments spéciaux (tromomètres, trémitoscopes, microsismographes). C'est aussi l'observation attentive de niveaux à bulle d'air et de fils micrométriques se reflétant à la surface d'un bain de mercure qui a permis à M. d'Abadie, dès 1869, d'affirmer que la terre est dans un état de vibration constante. Ces frémissements si faibles, extrêmement dignes d'attention en raison de leur continuité et de leur généralité, puisqu'ils s'étendent, cette fois, au globe tout entier, sont l'objet, dans toute l'étendue de la péninsule italienne, d'une étude attentive et journalière. M. de Rossi, qui en centralise les résultats à l'observatoire géodynamique de Rome, en distingue deux sortes : les trépidations ou frémissements très rapides et prolongés (*tremiti*), et des ondulations caractérisées, au contraire, par une grande lenteur, nommées *microsismiques*. Tous ces mouvements sont presque incessants, ainsi qu'en témoignent les bulletins du vulcanisme italien, dans lesquels sont figurées, sur des

cartes d'Italie, toutes les observations journalières ; en même temps, des microphones spéciaux permettent de ressortir l'étroite parenté de certains bruits avec les tremblements de terre, qu'ils présagent ; ils peuvent parfois prévoir le lieu où se produira le maximum de l'ébranlement.

Ce sont ces frémissements du sol, trop faibles pour être perçus par l'homme, qui, parfaitement sentis par les animaux, leur communiquent ces paniques subites qui font que les troupeaux de chèvres ou de moutons s'enfuient précipitamment dans toutes les directions, alors que dans les écuries et les étables les chevaux et les bœufs rompent leurs amarres, sans qu'on en soupçonne la cause : ce fait est à ce point marqué que dans certaines régions, où les convulsions du sol sont fréquentes, les habitants ont l'habitude d'observer attentivement l'allure des animaux domestiques pour y surprendre le pressentiment des secousses et se prémunir contre le danger. Un exemple bien significatif de cette inquiétude témoignée par les animaux à l'approche du tremblement de terre s'est passé, en Andalousie, à San Pedro d'Alcantara, près de Manabella, un quart d'heure avant la grande secousse qui devait la dévaster presque en son entier. Tous les animaux de ferme du domaine du comte de Quadra, effarés et comme frappés d'épouvante, ont brisé leurs attaches et cherché à s'enfuir en poussant des mugissements d'effroi. Dans certaines habitations, les chiens gémissaient d'une façon plaintive comme pour implorer le secours de l'homme.

Quelle que soit d'ailleurs la nature du tremblement

de terre, un cataclysme sismique est très rarement composé d'une manifestation unique. Dans la plus grande majorité des cas, les secousses sont multiples et se succèdent à intervalles, très rapprochés. On sait aussi qu'elles se réitèrent pendant des mois et même des années en formant ainsi, depuis leur début jusqu'à leur extinction totale, une période qu'on peut qualifier de *sismique*.

Quelques exemples sont nécessaires pour donner une idée de cette réitération des secousses qui constituent un des traits les plus caractéristiques des tremblements de terre. La chaîne des Alpes en particulier, dont l'exhaussement principal est de date relativement récente, a enregistré, dans beaucoup de ses parties, plusieurs périodes sismiques de longue durée. Une des principales est celle qui a ébranlé le Piémont en 1808 ; du 2 avril au 17 mai, chaque jour a été marqué par une série de secousses occasionnant chacune l'ébranlement des édifices dans les environs de Pignerol ; puis survint un temps d'arrêt, et le 26 septembre les commotions reprirent avec une nouvelle intensité en se succédant, après des semaines entières et même des mois de repos, jusqu'au 26 juin de l'année suivante. En 1851, la secousse formidable qui transforma, le 18 août, la ville de Thèbes en un monceau de ruines, loin de se limiter à ce désastre, se prolongea ensuite par des commotions plus faibles, mais journalières, qui agitèrent la Béotie pendant onze mois consécutifs en se succédant parfois jusqu'à trois fois par vingt-quatre heures.

L'histoire des tremblements de terre a souvent enregistré des exemples multiples de périodes sismi-

ques souvent très prolongées. C'est maintenant au nombre de ces périodes d'agitation répétées qu'il faut rapporter, parmi les tremblements de terre les plus récents et les plus voisins de nous, celui qui en 1884, a bouleversé une des contrées les plus riantes de l'Europe, l'Andalousie. Déjà, le 22 décembre, une première secousse comme un avant-coureur de celle qui, trois jours plus tard, devait ébranler dans presque toute son étendue la péninsule Ibérique, s'était fait ressentir sur les côtes occidentales d'Espagne et de Portugal en se poursuivant jusqu'à Madère et aux Açores.

Le 25 décembre, vers neuf heures du soir, c'était, cette fois, la partie méridionale de l'Andalousie qui se présentait, dans ses provinces de Malaga et de Grenade, après un ébranlement dont la durée n'a pas dépassé dix secondes, couverte de ruines. Cinquante villes ou villages étaient ravagés et parmi ces localités si cruellement éprouvées, il en était, comme Arenas-del-Rey, dont l'emplacement n'était plus marqué que par quelques pans de murs encore debout. De la ville importante et naguère si animée d'Alhama, il ne restait pas une maison debout, et, sous un immense amas de pierres et de décombres, l'emplacement des rues était devenu le plus souvent méconnaissable. Dans tout le district éprouvé par les secousses, un relevé officiel a indiqué 1,200 maisons ruinées et 6,000 fortement endommagées. Cette terrible secousse fut loin d'être unique ; des agitations pour ainsi dire incessantes, et dont tout le monde a encore gardé le souvenir, troublèrent cette région presque journellement en accumulant de nouvelles ruines, et c'est seulement le 9 mars de l'année sui-

vante qu'elles prirent fin. Ces tremblements de terre de l'Andalousie n'ont d'ailleurs rien qui puisse nous surprendre, cette région étant celle de l'Espagne qui de tout temps a été la plus éprouvée par ces agitations souterraines. Depuis le commencement de ce siècle, elle a dû subir douze fois de violents cataclysmes de ce genre : 1802, du 17 janvier au 6 février 1804, du 13 janvier au 28 août : 1822, 15 mars ; 1823, 10 janvier (deux cents secousses en 24 heures) ; 1826, du 27 avril au 30 juillet ; 1828, du 13 au 15 septembre ; 1829, du 21 mars au 16 avril ; même succession d'ébranlements en 1836, 1841, 1845, 1863 et 1884.

L'île d'Ischia, si souvent éprouvée par ces catastrophes subites, offre à son tour un remarquable exemple d'un point spécial du globe destiné à être soumis à des ébranlements sans cesse renouvelés. Sans rappeler tous ceux déjà nombreux qu'ont enregistrés les statistiques depuis 1762 (22 août), je mentionnerai seulement ceux qui, depuis le commencement de ce siècle, sont toujours restés étroitement localisés à cet espace très circonscrit, où se trouve située Casamicciola, en se renouvelant d'une façon pour ainsi dire incessante et avec une intensité toujours croissante.

1805 (26 juillet). — Tremblement de terre désastreux ébranlant toute l'île.

1812 (15 septembre). — Violente secousse détruisant le temple de Naples.

1827 (11 avril). — Violente secousse ressentie surtout à Poriza, suivie de treize autres dans la région septentrionale.

1828 (2 février). — Tremblement de terre désastreux détruisant la partie ouest de Casamicciola, et ressenti à Lacco, Fontana et Ischia.



Fig. 13. — Carte d'Ischia présentant les aires successives des tremblements de terre depuis 1790 et la position de l'épicentre de la secousse du 28 juillet 1883, d'après M. Mercalli.



1834. — Violente secousse à Casamicciola.
- 1841 (6 mars). — Secousse d'une durée de dix secondes, détruisant en partie Casamicciola et ressentie moins violemment dans toute l'île.
- 1851 (14 août). — Tremblement de terre désastreux à Casamicciola.
- 1852 (7 juin). — Tremblement de terre désastreux à Casamicciola.
- 1863 (30 janvier). — Tremblement de terre désastreux à Casamicciola.
- 1863 (22 mars). — Tremblement de terre désastreux à Casamicciola.
- 1863 (29 avril). — Tremblement de terre désastreux à Casamicciola.
- 1864 (30 et 31 octobre). — Secousse faible à Forio.
- 1867 (15 et 16 août). — Fortes secousses à Casamicciola, ressenties jusqu'à Naples.
- 1874 (23 janvier). — Légères secousses nord-est sous Casamicciola.
- 1875 (13 juillet). — Secousses ondulatoires ressenties dans toute l'île.
- 1880 (24, 25, 26, 27 et 28 juillet). — Violentes secousses successives à Forio, Ponza, Casamicciola ; épicerie à Ventotene.
- 1881 (4 mars). — Tremblement de terre très violent à Casamicciola, Fango Lacco-Ameno.
- 1881 (18 juillet). — Violente secousse à Casamicciola et à Fango.
1882. — En janvier, retrait subit de la mer sur le littoral ; 4 mars, légère secousse.
- 1883 (28 juillet). — Tremblement de terre s'étendant à toute l'île. — Casamicciola, Lacco et Forio rasées au niveau du sol et détruites.

Enfin le tremblement de terre particulièrement désastreux qui vient d'ébranler, avec la Ligurie septentrionale, le littoral des Alpes-Maritimes, en pénétrant ensuite dans la vallée du Rhône et dans

toutes celles des Alpes-Maritimes, Cottiennes, Grées, Pennines et Lépointiennes, jusque dans les passages élevés, n'est que la suite de ceux qui, le 28 novembre 1884 et le 5 septembre 1886, avec une intensité beaucoup moindre, ont embrassé à peu près la même étendue.

Quant à la durée de chacune de ces secousses, on sait qu'elle est le plus souvent très faible. Celle des secousses verticales, en particulier, ne durent parfois qu'une fraction de seconde, et c'est quand elles se succèdent rapidement qu'elles peuvent produire les effets désastreux qu'on connaît.

A Casamicciola, le 28 juillet 1885, il a suffi de 16 secondes pour détruire 1.200 maisons et causer la mort de plus de 2.000 personnes.

Dans le Valais, en juillet 1855, c'est une seule secousse de 4 secondes, effroyable cette fois, qui, après avoir bouleversé de fond en comble toute la vallée de Viège, se fit sentir dans toute la Suisse et jusqu'à Paris.

Le 23 février dernier, dans tous les points de la Ligurie septentrionale et de notre littoral des Alpes-Maritimes, où le tremblement de terre a été le plus intense, les secousses principales, au nombre de trois, se sont succédé à des intervalles très rapprochés, avec une intensité décroissante. La première et la plus terrible, à 6 h. 22 du matin; la deuxième, à 6 h. 31 et la troisième, à 8 h. 53, temps moyen de Rome (1). Sans parler des désastres qui ont atteint

---

(1) F. Denza, *Tremblement de terre du 23 février en Italie* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CIV, p. 569).

certaines localités de la Ligurie, comme Diego-Marina et Diano-Castello, où il ne reste pas une maison debout, et de même Menton, qui a été si cruellement éprouvé sur notre sol français, on sait maintenant qu'il faut porter à 630 le nombre des victimes, morts et blessés, dans les deux seules localités que je viens d'indiquer. Aucune force destructive, naturelle ou artificielle, ne peut assurément, en un temps si court, briser autant d'existences.

Mais il importe de faire remarquer que ces grandes secousses ne sont pas instantanées, mais bien qu'elles constituent les termes extrêmes de mouvements ondulatoires ou trépidatoires, plus faibles, qui les précèdent à des intervalles plus ou moins rapprochés. Quand il s'en produit plusieurs consécutives, comme nous venons de le voir dans ce tremblement de terre d'Italie, elles sont inégales en intensité, l'une d'elles restant toujours prédominante. Tantôt la plus violente est celle la plus rapprochée du début ; il en a été ainsi en Andalousie où la grande secousse du 25 décembre est la seule dont les effets aient été vraiment destructeurs ; celles moins intenses qui lui ont succédé dans la nuit suivante et se sont poursuivies ensuite d'une façon presque journalière pendant le mois de décembre, tous les deux jours en janvier n'ont fait qu'achever la ruine des maisons ébranlées, sans produire par elles-mêmes de nouvelles ruines ; en février, en mars et en avril, elles sont devenues plus rares en diminuant toujours d'intensité et ne se sont plus traduites ensuite, à des intervalles très espacés, que par des mouvements peu étendus et à peine perceptibles. D'autres fois, c'est vers le milieu du phéno-

mène que se produisent les commotions les plus fortes. Il en est aussi, comme celui de la vallée de Viège dans le Valais (25 juillet 1855), qui ne se composent que d'une longue série de secousses faibles, très fréquentes et très rapprochées, séparées par des intervalles de repos très courts, sans présenter de maximum sensible. Ils rachètent alors en étendue et en durée ce qu'ils perdent en violence ; celui de la vallée de Viège, qui n'a pris fin qu'en 1857, s'est fait ressentir dans toute la Suisse et même jusqu'à Paris. Plus récemment, dans le grand-duché de Hesse (Allemagne occidentale), les tremblements de terre de Grossgau et de Darmstadt (1869 et 1871) ont simplement consisté en une suite de petits mouvements, plus précipités et plus nombreux à la fin qu'au commencement, comme dans celui précédemment cité du Valais.

L'étendue embrassée par ces redoutables cataclysmes est elle-même soumise à de grandes variations et n'a aucun rapport avec leur intensité.

Il en est, par exemple, comme celui d'*Ischia*, qui tirent leur violence extrême de ce fait qu'ils sont limités à un espace restreint.

En 1855, alors que cette île si souvent visitée par ces effroyables cataclysmes était cette fois ébranlée tout entière, à Procida (l'île voisine) qui n'est séparée que par un étroit bras de mer de deux kilomètres, une faible secousse ondulatoire a été le seul avertissement du phénomène.

Sur la côte napolitaine qui fait face à Pouzzoles, les cloches sonnèrent un glas funèbre ; au-delà, à *Naples* et à *Rome*, les sismographes enregistrèrent

seuls le phénomène par de faibles oscillations. De même en Norvège, les tremblements de terre de Nesne, des 29 janvier et 29 avril 1871 ont été tous étroitement localisés dans la même paroisse à un espace de sept à huit kilomètres carrés.

Plus récemment, la secousse qui, en mars 1879, jeta hors de leur lit les habitants de Linthal (Glaris), ne s'étendit guère vers l'est au-delà de la Reuss et ne dépassa pas, dans le sud, la vallée du Rhin, après s'être limitée dans le nord, à Glaris.

Par contre, il en est, comme celui de Lisbonne, dont les effets, en 1755, se sont fait sentir depuis le Maroc jusqu'en Norvège, sur une superficie de trois millions de kilomètres carrés, soit le treizième de la surface totale du globe terrestre. En 1856, tous les pays riverains de la Méditerranée ont été de même secoués, depuis la Syrie jusqu'à la Corse.

Le mode de propagation des secousses est loin d'être aussi partout le même. Il est bien certain que si le terrain était homogène, les lignes de propagation divergeant dans tous les sens autour du foyer, la zone ébranlée serait circulaire. Mais on sait que cette circonstance est bien rarement réalisée.

Aussi la forme des *hosmoséistes*, c'est-à-dire des courbes tracées suivant les points où les secousses, arrivant en même temps, produisent des effets mécaniques identiques, est-elle sinueuse et le plus souvent elliptique. La cause doit en être cherchée dans la nature et la structure des massifs de roches traversés, qui se prêtent plus ou moins bien à la propagation du mouvement, et surtout aussi dans ce fait que le foyer, au lieu d'être un point unique, est souvent linéaire et vient occuper une surface assez étendue

à laquelle on a donné le nom de *pléistoséiste*. De plus, on a pu faire encore cette remarque, que les foyers d'ébranlement étaient parfois multiples.

La répartition des ébranlements linéaires ou longitudinaux, qui se propagent ainsi suivant une direction unique en n'affectant, de part et d'autre, qu'une zone étroite, offre quelques particularités intéressantes qui méritent d'être signalées. On observe, en pareil cas, que les secousses longent le pied des chaînes de montagnes dans les contrées où ces accidents ont acquis, le plus récemment, leur principal relief, ou bien encore qu'elles suivent de près les côtes maritimes abruptes. Dans les Alpes, par exemple. dont l'exhaussement principal est de date relativement récente, les tremblements de terre se produisent dans les chaînes latérales, du nord et du sud. en épousant leur direction.

Il en est de même pour ceux qui, nombreux et très étendus, suivent dans les Indes le trajet de la grande chaîne de l'Himalaya, dont la structure offre avec celle des Alpes beaucoup d'analogie, et qui peut compter également parmi les chaînes les plus récentes. A ces exemples d'ébranlements linéaires parallèles aux accidents montagneux, que j'aurais pu multiplier, il faut ajouter celui du tremblement de terre de l'Andalousie, dont le grand axe, d'après les observations de M. Fouqué, est remarquablement parallèle aux crêtes montagneuses des sierras de Chorro, de Tejada et d'Almijara, en même temps qu'aux failles nombreuses qui les découpent.

La vitesse de propagation de ces ondes sismiques a pu être évaluée en calculant le temps qui s'écoule

entre les apparitions du phénomène en deux points dont la distance est connue. Voici les principaux résultats obtenus de cette manière, qui peut devenir suffisamment précise quand les horloges sont bien réglées (1).

	Vitesse par seconde — Mètres.
Tremblement de terre de Lisbonne (1755) . .	540
Tremblement de terre de l'Allemagne du Nord (1843) :	
1° Vers l'ouest . . . . .	590
2° Vers l'est. . . . .	885
Tremblement de terre des provinces rhénanes (1846). . . . .	434
Tremblement de terre de la Guadeloupe (1843)	185
Tremblement de terre de Viège (1855) :	
1° Au nord . . . . .	872
2° Au sud. . . . .	426
Tremblement de terre des Calabres (1857) .	226
Tremblement de terre du Pérou (1868). . .	131,50
Tremblement de terre de l'Allemagne centrale (1872) . . . . .	768
Tremblement de terre des bords du Rhin (1880) . . . . .	550

Le défaut de réglage des horloges, en Andalousie, rendant impossible la détermination de cette vitesse de propagation du mouvement qui a produit les dégâts constatés, M. Fouqué a dû imaginer, pour

(1) A ce sujet, il importe de signaler la précision que pourraient apporter à ces données horaires les horloges des chemins de fer, qui sont, comme on le sait, réglées, pour chaque pays, à une heure uniforme.

obtenir cette donnée importante, d'où on peut déduire, comme nous le verrons plus loin, la profondeur du foyer de l'ébranlement, une méthode nouvelle fondée sur l'observation du temps qui s'écoule, en un même point, entre le moment de l'arrivée du son et celui de la secousse consécutive (1).

Le mouvement vibratoire de la secousse principale du 25 décembre (9 h. 17 du soir, heure de Paris) s'étant traduit par des perturbations magnétiques observées aux observatoires de Greenwich, à 9 h. 24, et de Wilhemshagen, à 9 h. 28 m. 4 s., on a pu calculer que l'onde sismique avait mis sept minutes pour parcourir la première distance, soit 1,650 kilomètres, et onze minutes quatre secondes pour la seconde distance de 2,040 kilomètres, ce qui donne une vitesse de 1,600 mètres par seconde pour les vibrations longitudinales de ce tremblement de terre. De plus, on sait que chaque ébranlement souterrain, indépendamment de ces vibrations longitudinales, qui progressent rapidement et se transmettent à de grandes distances, en déterminant le commencement du son, produit toujours des vibrations transversales qui se propagent plus lentement et s'éteignent relativement très vite; ce sont celles

---

(1) Ce moyen fort simple mérite d'être recommandé à cause de sa simplicité et de la facilité de sa mise en œuvre. Une montre à secondes est, en effet, le seul instrument nécessaire à son application; de plus, l'opération a l'avantage de pouvoir être effectuée séance tenante par un seul observateur et d'être faite sur un point même de l'épicentre. (Fouqué, *Rapport de la mission d'Andalousie, Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. C, p. 1117, 1885.)



qui sont essentiellement la cause des destructions. Leur vitesse, pour cette même secousse du 25 décembre, a pu être évaluée à 923 mètres par seconde.

En moyenne, on peut estimer que cette vitesse est comparable à celle du son dans l'air (340 mètres); ce n'est qu'exceptionnellement qu'elle peut atteindre le chiffre de 1,600 mètres par seconde, obtenu pour celle des vibrations longitudinales de la grande secousse du tremblement de terre d'Andalousie.

Ces ondes sismiques se propagent au travers de l'écorce terrestre suivant les lois ordinaires de l'ébranlement des corps solides, il devient évident que les variations nombreuses qui s'introduisent dans leur vitesse, sont en fonction de la nature des terrains successivement affectés par la secousse. La diversité des chiffres obtenus s'explique ainsi naturellement, quand on réfléchit aux variations nombreuses qui s'introduisent dans la composition et la structure des matériaux constituants de l'écorce terrestre.

Dans les terrains meubles, par exemple, tels que les sables ou d'épaisses couches d'alluvions, qui se prêtent mal à la propagation du mouvement, cette vitesse tend à se dissiper en s'affaiblissant; par contre, les secousses devenant moins longues sont plus fortes et les effets mécaniques deviennent par suite plus considérables. C'est ainsi qu'à Ischia, Casamicciola et Forio, établies sur des tufs argileux sans consistance, furent entièrement détruites, alors que tout près de là, Focco-Ameno et Lacco, établies sur des coulées laves trachytiques compactes, ont incomparablement moins souffert. De même, partout

où des roches solides émergeaient au milieu de ces terrains meubles, elles ont été peu agitées. En 1783, les parties basses de Messine, établies sur des alluvions, furent beaucoup plus maltraitées que les parties hautes installées sur un massif granitique et les désastres ont été surtout considérables à la jonction de cette plaine alluviale avec le granite; c'est en effet, quand les vibrations, après avoir traversé des assises relativement meubles, viennent se heurter contre un massif compact de grande épaisseur que se trouve le principal danger. On peut citer encore, comme exemple bien significatif de cette influence exercée par la constitution du sol sur le mode de propagation du mouvement, ce fait qu'à Lisbonne en 1755, toutes les maisons bâties sur des roches calcaires et sur des coulées de basalte restèrent debout, alors qu'autour d'elles s'écroulaient toutes celles établies sur les terrains meubles, sableux et argileux, situés en contre-bas. C'est de la sorte qu'on voit souvent s'introduire au milieu des régions dévastées par ces commotions souterraines des *zones immobiles* qui n'éprouvent aucun dommage.

A la rencontre des fissures du sol, les vibrations se dissipent aussi en s'affaiblissant; ou, d'autres fois, ces fentes dévient les mouvements, en constituant des points de moindre résistance bien préparés pour conduire l'onde, plutôt que de la laisser passer en travers. Cette influence des fentes du sol sur le mode de propagation de l'ébranlement a été bien mis en évidence par les recherches de M. de Rossi, qui a fait une étude suivie et détaillée des soixante-dix tremblements de terre les plus considé-

rables survenus en Italie depuis 1873 (1). Après s'être assuré que dans chacun d'eux, les ondulations du sol avaient été successivement parallèles et perpendiculaires à l'axe de la fracture géologique la plus voisine, il a montré que la forme toujours remarquablement elliptique des homoséistes accuse la direction de la fente principale suivant laquelle l'ébranlement a agi. De plus, ce savant a reconnu que pendant le tremblement de terre du Latium, en 1873, les crevasses de l'appareil volcanique de la région avaient fonctionné comme *rayons sismiques*, si bien qu'en traçant la carte des crevasses, on traçait du même coup les axes de propagation du mouvement ondulatoire (2).

Les montagnes interviennent à leur tour pour absorber, en quelque sorte, le tremblement de terre en formant un obstacle bien marqué à la propagation du mouvement ondulatoire. C'est ce qu'ont bien mis en évidence les travaux des divers membres de la mission envoyée en Espagne par l'Académie des sciences, sous la haute direction de M. Fouqué, pour étudier le récent tremblement de terre de l'Andalousie. Les grands massifs montagneux situés en dehors de l'épicentre que nous avons vu plus haut, être nettement disposé, suivant l'axe de la sierra Tejada, ont arrêté brusquement les mouvements ondulatoires ou les ont déviés (3). De même, les

---

(1) De Rossi, *Nouvelles études sur les tremblements de terre*, Leyde, 1883, et *Météorologie endogène*.

(2) De Rossi, in de Lapparent, *Traité de géologie*, 2<sup>e</sup> édit., p. 537.

(3) Rapport de M. Fouqué *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CIV, p. 1113, 1885).

ondes vibratoires, arrivant obliquement à la sierra de Ronda, ont glissé à son pied le long de la côte, sans presque se faire sentir dans l'intérieur de la chaîne. La sierra Nevada, recevant ces secousses plus normalement, les a ensuite refoulées à son pied occidental en aggravant les effets destructeurs. A une plus grande distance, vers le nord, la sierra Morena, agissant aussi par sa masse, a produit un effet analogue, quoique moins accentué. Dans les terrains régulièrement stratifiés, les ébranlements ont manifesté une tendance marquée à suivre la direction des strates en conservant leur intensité, alors qu'ils s'affaiblissaient rapidement dans la direction opposée.

On sait aussi que la grande chaîne des Andes, dans l'Amérique du Sud, forme un barrage naturel que les ébranlements si fréquents et si étendus sur le littoral du Pacifique ne parviennent guère à franchir; si parfois quelques secousses se propagent au-delà, elles n'arrivent qu'extrêmement affaiblies. De même les Pyrénées, qui peuvent compter parmi les chaînes récentes du globe, ne constituent pas seulement entre la France et l'Espagne une frontière naturelle, elles protègent les plaines de la Garonne contre les tremblements de terre, qui sont fréquents sur le versant espagnol, plus fracturé que le versant français.

De tels faits ne peuvent nous surprendre, quand on sait que l'axe de ces grandes chaînes de montagnes est, le plus souvent, constitué par un massif de roches cristallines d'ancienne consolidation. C'est pour cette raison que nous avons vu des tremblements de terre, dans le puissant massif montagneux des Alpes, localisés dans les chaînes latérales du

nord et du sud, alors que la chaîne centrale, composée principalement de roches granitiques ou gneissiques, n'est pas ébranlée.

On voit ainsi que des causes multiples viennent souvent compliquer ce phénomène, puisque ces effets mécaniques dépendent nécessairement de la vitesse de propagation des ondes sismiques, et que le plus souvent pour les interpréter, il faut s'adresser à la constitution géologique de ce sol qui vibre sans cesse sous nos pas, ainsi que l'a rappelé avec tant d'autorité mon savant maître, M. Hébert, à l'occasion du récent tremblement de terre de l'Andalousie (1).

Le bassin des mers est aussi très souvent ébranlé au même titre que les masses continentales. Ce qui le démontre, ce sont ces chocs qu'éprouvent parfois les navires situés au large, par les temps calmes, alors que la mer n'éprouve aucune trace d'agitation préalable. Il semble alors que le navire touche sur un bas-fond ou même talonne, quand ces secousses se renouvellent nombreuses et précipitées.

Il n'est pour ainsi dire pas de traversée au long cours qui n'ait enregistré de pareils phénomènes, et souvent le livre de bord les a notés comme ayant produit des avaries dans la mâture ou les membrures du bâtiment. Une goëlette, par un temps calme et de belle apparence, vit un jour, en subissant un pareil choc, un mât, sorti de son emplanture, tomber sur le pont. Le plomb de sonde, filé immédiatement,

---

(1) Ed. Hébert, *Sur les tremblements de terre de l'Espagne* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. C, 5 janvier 1885).

ne rencontra le fond qu'à 120 brasses (198 mètres). D'autres fois, ce sont de véritables pyramides d'eau qui, grimpant le long du bord, tombent en avalanche sur le pont, puis s'écoulent en défonçant les sabords. Ces *tremblements de mer* viennent nous apprendre ce fait, fort intéressant, que les parties déprimées du sol peuvent être aussi soumises à des ébranlements au même titre que les masses continentales.

D'autres fois, ce sont des secousses qui, parties d'un épïcêtre continental, se propagent au loin dans la masse océanique. L'eau, en raison de sa mobilité, transmettant les ondulations à des distances considérables, c'est alors que se produisent ces vagues immenses dites de translation, qui se propagent parfois au travers de toute la masse d'un océan, mais avec une vitesse moindre que sur la terre ferme, la transmission des ébranlements se faisant mieux dans les solides que dans les liquides. Leur vitesse, variable avec la profondeur d'eau, oscille entre 150 et 300 mètres dans les grands océans comme le Pacifique. Elle se traduit au large, sur les navires qu'elle rencontre, par des secousses très sensibles, qui peuvent même occasionner leur naufrage, quand ils sont pris par le travers. Mais ces désastres, qui sont du reste fort heureusement exceptionnels, ne sont rien en comparaison des effets destructeurs que peuvent produire de pareilles ondes sur les rivages, surtout quand l'épïcêtre est voisin de la côte. Les mouvements du littoral se transmettant à la masse liquide, la mer commence d'abord à se retirer, laissant apparaître les bas-fonds sur une étendue qui peut atteindre plusieurs kilomètres, et met ainsi à sec les ports et les baies. Puis elle revient, et, fran-

chissant sa limite normale, elle se précipite avec fureur dans l'intérieur du pays, ravageant tout sur son passage, sous la forme d'une vague immense, qui peut atteindre 10, 20 et jusqu'à 30 mètres de hauteur. Son retour à la mer se fait ensuite avec une grande rapidité et avec une force suffisante pour entraîner au large tout ce qu'elle a arraché, renversé et détruit. Ce retour offensif de la mer peut se faire immédiatement ; d'autres fois, le recul se maintient pendant plusieurs heures, et cette terrible oscillation, qui n'est jamais unique, comme toutes les vibrations sismiques, se reproduit trois ou quatre fois à des intervalles très rapprochés, en diminuant d'intensité quand les mouvements du sol ne viennent pas raviver son action. Ces terribles *ras de marée*, bien connus sous le nom de *salida de la mar*, dans l'Amérique du Sud, où ces invasions de la mer, consécutives des tremblements de terre, sont fréquentes et redoutées, sont alors, de tous ces phénomènes occasionnés par les ébranlements du sol, ceux qui, de beaucoup, produisent les plus grands désastres, et cela non seulement en raison de leur violence, mais surtout de l'étendue sur laquelle ils peuvent exercer leur action destructive. Aussi, en les mentionnant, on ne peut enregistrer que des catastrophes.

C'est par une vague de ce genre, haute de 27 mètres, que le port de Callao, lors du tremblement de terre de Lima, au Pérou, a été entièrement détruit au XVIII<sup>e</sup> siècle (28 novembre 1746). La ville basse rasée, des navires ancrés en rade ou situés dans cette baie largement ouverte, jetés à la côte, une frégate échouée sur la place de l'Église ; le plus grand de ces navires lancé, en plein continent, sur la

route de Lima, jusqu'à près de 4 kilomètres du rivage, à une hauteur de 16 mètres, tels sont les résultats de cet événement, qui a marqué une date funeste dans le Pérou. Un ébranlement du sol amena, en 1820, un événement semblable à Acalpuco. C'est également une vague de translation, haute de 15 à 20 mètres, qui, lors du tremblement de terre de Lisbonne (1755), vint se précipiter à l'assaut des maisons après avoir dépassé le quai, où tant de personnes s'étaient réfugiées pour éviter la chute des décombres. Elles trouvèrent la mort à l'endroit même où elles espéraient l'éviter. On sait aussi qu'en 1783, à l'heure où la secousse des Calabres renversait les villes et les villages sur le continent, un terrible ras de marée, après avoir balayé d'un coup deux mille personnes réunies sur la plage de Scylla, s'engouffra dans le port de Messine, y coula tous les navires et démolit en partie la rangée de palais qui bordait le rivage.

Ces grandes vagues, trouvant un mode de propagation facile dans les océans largement ouverts, peuvent s'étendre à de grandes distances du centre d'ébranlement. Il devient alors intéressant de comparer leur vitesse avec celles que nous avons vu être si diverses au travers des massifs continentaux. Le 23 décembre 1854, il a suffi de douze heures (12 h. 28) aux vagues issues du tremblement de terre qui, à 9 h. 30 du matin, avait bouleversé la ville de Simoda, au Japon, pour franchir transversalement toute l'étendue du Pacifique et venir se précipiter sur les côtes de Californie. En même temps, dans ce long parcours de 4,527 milles marins, leur hauteur avait doublé; hautes de 10 mètres au début, elles attei-



gnaient la hauteur totale de 22 mètres quand elles vinrent se heurter contre la péninsule californienne, qui fut ébranlée presque en entier par le choc formidable d'une pareille masse d'eau, mise en mouvement avec une vitesse moyenne de 185 mètres à la seconde.

Cinq autres lames succédèrent à la première, et le calme ne fut rétabli qu'à 2 h. 30 de l'après-midi. Les courbes des marégraphes ont indiqué ensuite que cette oscillation, transmise par l'océan Pacifique, se prolongea pendant cinq heures sur la côte de l'Amérique. M. Bache, superintendant du Coast-Survey, qui s'est livré à ce sujet à des calculs très précis, a pu constater que la vitesse de propagation de cette lame dans la direction de l'Amérique avait été de 178 mètres par seconde. La mer, dans ces conditions, peut être agitée jusque dans ses abîmes, et la longueur d'onde devenir considérable ; celle dont nous venons de rappeler les effets, mesurée de crête à crête, atteignait 213 milles (1).

Plus récemment, en 1868, un tremblement de terre particulièrement violent s'étant fait sentir, en août, à Arica, sur la côte du Pérou, les secousses, qui se succédèrent à de courts intervalles, devinrent chacune l'occasion d'un ébranlement considérable de la masse océanique voisine. La plus violente, placée au début, le 13 août, vers six heures du soir, fut ressentie, après la destruction d'Arica, dans le nord jusqu'à Callao, distant de 4,875 kilomètres,

---

(1) Bouquet de la Grye, *les Mouvements de la mer* (*Association scientifique*, 2<sup>e</sup> série, t. IX, p. 122).

dans le sud jusqu'à Cabijia, qui, située à 2,100 kilomètres du point d'origine de cet ébranlement linéaire, éprouva encore quelque dommage. Comme d'habitude, dans toute cette étendue de la côte, la mer se retira à des distances variables, suivant l'inclinaison du fond. Bientôt elle revint, sous la forme d'une vague immense dont la hauteur a pu être évaluée, de part et d'autre d'Arica, à Islay et à Inique, à 18 mètres de haut; soit à un véritable rempart d'eau qui vint déferler dans l'intérieur des terres, où les dégâts furent immenses.

L'onde de translation qui a suivi, lors de son mouvement de retraite, parcourant toute la largeur du Pacifique, atteignit en deux jours la côte d'Australie et se fit sentir dans le sud jusqu'au Japon. On peut dire, sans exagération, qu'elle s'est étendue à tout l'océan, en affectant des vitesses variables qui se sont trouvées en proportion de la profondeur de la nappe d'eau parcourue, circonstance qui s'explique par ce fait que l'agitation, cette fois, n'est pas seulement concentrée à la surface ou à une faible épaisseur d'eau, comme dans les ouragans, mais qu'elle s'étend à toute la masse. Le maximum correspond, ainsi que l'exprime le tableau très instructif suivant, à la partie de l'Océan la plus profonde (1). D'après une formule donnée par Lagrange, la vitesse d'une onde d'ébranlement transmise par l'eau est, en effet, proportionnelle à la racine carrée de la profondeur de la nappe ébranlée.

---

(1) Hochstetter, *K. K. Akadém. der Wissenschaften*, Vienne, août 1868.

ROUTE  SUIVIE PAR LE FLOT	DISTANCE	DURÉE	VITESSE
	en MILLES marins	du PARCOURS	de LA VAGUE par heure exprimée en milles marins.
D'Arica à Coquimbo (Amérique centrale).....	720	2h "m	360
— à Coral.....	1421	7 "	203
— aux îles Samos.....	7390	16 02	319
— aux îles Chatam.....	5520	15 19	360
— à l'île Oparo (144° 17 long. ouest, 27° 40 lat. sud)...	4057	11 11	362
— à Honolulu (îles Sandwich).	5580	12 37	442
Jusqu'à la Nouvelle-Galles du Sud (Australie.....	7380	12 30	611

De plus, on a pu faire, en notant ainsi avec beaucoup de soin les heures d'arrivée de cette vague, dans les différents points du Pacifique, cette remarque intéressante, que la vitesse de propagation de l'onde sismique est exactement la même que celle de l'onde marée, produite, comme on sait, par l'action combinée du soleil et de la lune. Ainsi le flot lunaire met 13 heures pour arriver d'Arica aux îles Sandwich, et nous venons de voir que la vague de translation de 1868 a employé 12 h. 37 pour le même trajet. De même, elle a franchi en 16 h. 2 la distance qui sépare Arica des îles Samoa, alors que le flot lunaire y parvient en 16 heures.

Des résultats identiques ont été obtenus, depuis, pour le tremblement de terre qui, dans cette même région de l'Amérique du Sud, fit, le 9 mai 1877, de la ville d'Iquique un monceau de ruines. La vague

qui partit de ce point pour s'étendre de nouveau sur tout l'Acéan s'est fait sentir dans le sud jusqu'au cap Horn.

Mais c'est surtout lors des secousses qui ont suivi l'explosion de Krakatoa, en août 1883, dans le détroit de la Sonde, qu'on a pu voir, réalisée au maximum, l'ampleur que peuvent atteindre de pareilles ondes sismiques. Rien n'égale, en effet, l'étonnante propagation de l'onde marine qui, à cette date funèbre du 27 août (10 h. 5 du matin), alors que se produisait l'effondrement du pic, est partie de Krakatoa pour s'étaler ensuite sur toutes les mers. Dans toute l'étendue du détroit de la Sonde, sur les rivages escarpés, cette grande vague est montée très haut et a pu pénétrer jusqu'à plus de 3 kilomètres dans l'intérieur des terres, dévastant la côte de Sumatra, détruisant tout sur celle de Java, en anéantissant trois villes peuplées et faisant périr près de 40,000 habitants. A Sumatra, Telok-Beloeng a été rasée, et la vague s'est élevée jusqu'à 22 mètres contre la maison du résident. C'est près de cette ville que la mission française d'exploration, sous la direction de M. René Bréon, a rencontré, en pleine forêt à 3 kilomètres dans l'intérieur des terres, un grand vapeur à roues, *le Barrow*, que cette vague avait jeté en travers d'une rivière, où maintenant ce navire fait office de pont. Dans le Pacifique tout entier elle a été ressentie, notamment au Japon, à Maurice et à Madagascar. Contournant le cap, elle a remonté ensuite l'Atlantique, est venue se manifester par des courbes inusitées au marégraphe de la Rochelle, dénotant une forte oscillation de la mer et des distances de crêtes très écartées. Il en a été de même à Colon, c'est-à-dire sur la côte atlanti-

que de l'isthme de Panama, où les courbes du marégraphe de la Compagnie du canal inter-océanique ont dénoté des ondes dont l'intervalle de crête en crête était de 600 milles. Ces oscillations à grande courbure ont duré 19 heures ; la mer, en effet, dans ces conditions, reste souvent longtemps agitée ; elle a été si bien secouée, jusque dans ses profondeurs, que les oscillations persistent parfois plusieurs jours, en constituant de *vieilles lames*, si redoutées des marins ; ces longues lames de fond, où la distance d'une crête à l'autre peut devenir telle que la mer semble tout à fait plate sur une grande étendue, disposent d'une force vive considérable qui vient se dépenser en efforts verticaux au moment où le fond diminue. Si l'obstacle est un rocher ou une côte escarpée, les effets peuvent être prodigieux. Il suffit d'ailleurs, pour s'en faire une idée, de calculer la quantité de mouvement contenue dans une lame de 10 mètres de hauteur, de 200 mètres de longueur, avec une durée de dix-huit secondes ; on trouve qu'elle possède une puissance effective de 1,350 chevaux par mètre carré transversal. Une telle force ne s'exerce pas sur un navire qui s'élève avec la houle, et on conçoit, de même, qu'une pareille lame puisse se propager indéfiniment ; mais il est tout autrement quand elle rencontre la terre ferme ; on a vu, par exemple, une portion de la digue du Socoa, pesant 1,200 tonnes, se détacher de son amorce à terre et reculer de 1 m. 50, dans un pareil coup de mer. C'est aussi la force de projection dont disposent de pareille masses d'eau qui leur permettent comme nous l'avons vu précédemment, de lancer au loin, dans l'intérieur des terres, des navires de fort tonnage.

La vitesse de propagation de l'onde marine issue de Krakatoa a été, comme d'habitude, très diverse et toujours en fonction de la profondeur de la mer : on a pu en juger en dressant la liste des heures de son arrivée dans les différents points mentionnés plus haut. Voici quelques chiffres obtenus par M. Bouquet de la Grye, en notant les heures où la courbe des marégraphes a présenté des points d'inflexion anormaux, ainsi que des distances de crêtes, régulières et très écartées (1) :

	DISTANCE en MILLES marins.	VITESSE en MÈTRES par heure	LONGUEUR de L'ONDE.	DURÉE du TRANSPORT de l'onde en heures.
Négapatam.....	1944	119	•	8h 24m
Port-de-Galle.....	1705	123	•	7 29
Aden.....	3800	141	•	13 54
Ile de France (Maurice)...	2950	162	•	9 54
Port-Élisabeth (cap Horn)..	4730	146	•	13 45
Baie Orange (cap Horn)..	7700	200	•	10 "
Socoa.....	11700	215	614 milles	27 55
Colon (isthme de Panama).	11790	294	600 —	20 50

Cette propagation d'une commotion souterraine transmise par l'eau des mers, la plus lointaine que la science ait notée, s'est faite ainsi sur un trajet de 11.890 milles, c'est-à-dire égal à plus de la moitié de

(1) Bouquet de la Grye, *les mouvement de la mer* (Assoc. scientifique, 2<sup>e</sup> série, t. IX, p. 123 ; 1884).

la circonférence du globe, en vingt heures cinquante minutes. Sur notre littoral, c'est également le lendemain que cette oscillation, partie de nos antipodes, nous est parvenue par l'entremise de l'Océan, alors que nous n'étions pas encore prévenus de la catastrophe qui avait frappé l'autre hémisphère.

Les bassins lacustres, au plein cœur des continents, n'échappent pas à ces ébranlements. Lors du tremblement de Lisbonne, que nous savons avoir affecté une surface quatre fois aussi grande que l'Europe, la plupart des grands lacs de la Suisse ont été mis en mouvement et leurs eaux ont subi des fluctuations rapides comme celles qu'on imprime à l'eau d'un bassin fortement secoué.

Tous ces mouvements subis par l'écorce terrestre ne peuvent assurément se produire sans qu'en certains points elle se brise, et cela surtout dans ses parties superficielles, où elle est soumise, lors des ébranlements, à des efforts de tension qui ne peuvent manquer de provoquer de temps à autre des ruptures d'équilibre. Les dislocations du sol qui en résultent ont pour effet de changer pendant un temps plus ou moins long le régime des eaux, d'ouvrir des crevasse profondes ou d'élargir des fractures anciennes. Il arrive, en effet, qu'à la suite de violents tremblements de terre, on a constaté l'ouverture de fentes parallèles aux chaînes de montagnes. Les unes, restant béantes, introduisent ainsi dans le relief du sol des changements durables, tandis que les autres se referment immédiatement après avoir englouti tout ce qui se trouvait à la surface. Dans les Calabres, par exemple, en 1783, à Polistena et à

Catanzaro, on a vu s'ouvrir, à la base de la chaîne granitique de la péninsule, des crevasses nombreuses qui, par places, atteignaient plusieurs mètres de



Fig. 14. — Crevasses étoilées produites en Calabre lors des violentes secousses qui agitèrent la péninsule en 1783 (1).

largeur et cela sur une étendue de 30 kilomètres. Quelques-unes s'étant renfermées instantanément, des maisons, des arbres, des troupeaux entiers, fuyant pour échapper à ces désastres, sont restés engloutis dans ces profonds abîmes. Dans la plaine, aux environs de Jerocarno, les campagnes au sol uni se fendirent, dans tous les sens, par des lézardes rayonnantes en forme d'étoiles. A Ergulli, une de ces crevasses avait 2 kilomètres de long sur 10 mètres

---

(1) Cette figure et celles qui suivent, sont extraites soit du *Traité de géologie* de M. de Lapparent, soit du *Cours de géologie stratigraphique* de M. Velain. Nous en devons l'obligeante communication à l'éditeur, M. Savy.



de largeur, avec 40 mètres de profondeur. De plus, on a vu se produire entre les deux lèvres de plusieurs de ces fractures des déplacements verticaux notables, qui les transformaient en failles. Mais il est juste d'ajouter que ces fractures ne s'étendent jamais très profondément et que les déplacements verticaux ou horizontaux occasionnés à l'heure présente par les tremblements de terre sont cantonnés aux parties superficielles de l'écorce. Leurs effets mécaniques les plus intenses restent toujours étroitement limités aux constructions élevées de main d'homme qui ne peuvent résister à ces ébranlements. Bien des villes et des villages doivent alors d'être instantanément transformés en un monceau de ruines, non seulement à la nature géologique du sol sur lequel ils sont établis et qui se prête plus ou moins bien à la propagation des secousses, comme nous l'avons vu précédemment, mais surtout à la mauvaise construction des habitations. Il en a été ainsi en Andalousie, où l'étroitesse des rues dans les bourgades, la pente trop considérable du terrain et la mauvaise qualité des matériaux employés pour la construction des murs ont singulièrement facilité les effets destructeurs du tremblement de terre. C'est de même à la haute élévation et à la fragilité des voûtes des églises que sont dus ces effroyables écrasements de multitudes agenouillées, que la mort vient surprendre au milieu de leurs prières. L'ensevelissement des trois cents personnes sous les ruines de l'église de Bajardo, en Ligurie, le 23 février dernier, est là pour le prouver. Aussi, depuis longtemps, dans les contrées fréquemment visitées par ces redoutables cataclysmes, les maisons, toujours peu élevées,

construites en bois, sont agencées avec toutes les précautions que l'expérience a enseignées comme devant être celles qui offrent le plus de résistance contre un danger toujours imminent. Au Japon, dans les régions où ces agitations sont pour ainsi dire journalières, ce sont des pièces de bois reliées par des cloisons en bambou. A Ischia, un décret royal a prescrit, dans la semaine qui a suivi le désastre de 1883, que toutes les constructions seraient désormais faites avec enchevêtrement de bois et de fer sur les emplacements particulièrement dangereux où sont établis Casamicciola, Lago-Ameno et Forio.

C'est au nombre des effets désastreux des tremblements de terre qu'il faut compter aussi des glissements de terrains sur les flancs des vallées et dans les parties basses, des effondrements qui font naître, à la surface des gouffres inattendus. Dans ce cas, ces accidents ne sont, le plus souvent, que des conséquences sans relation immédiate avec la cause de l'ébranlement. Lorsque, dans un pays de montagnes, des roches solides fissurées reposent sur une nappe argileuse imperméable, l'eau des pluies, s'infiltrant dans toutes ces crevasses, vient se recueillir à la jonction de ces deux assises, et bientôt la partie supérieure de la nappe argileuse, se délayant, arrive à ne plus former qu'une boue liquide incapable de résister à la pression des assises qu'elle supporte; le moindre effort suffit alors pour les faire glisser. En 1783, lors des terribles secousses qui agitèrent les Calabres, ces phénomènes de glissements de terrain comptèrent parmi les faits les plus grandioses et les plus effrayants de la catastrophe. Des versants

entiers de montagne à Polistena, minés en dessous par les eaux d'infiltration pluviale, glissèrent en masse et descendirent vers les plaines environnantes avec les cultures qui les recouvraient. En même temps, des escarpements rocheux s'écroulèrent d'un bloc engloutissant les maisons situées en contre-bas. Dans ce cas, c'est l'état fissuré de ces roches escarpées qui a préparé l'action du tremblement de terre, et leur histoire a souvent enregistré un grand nombre d'éboulements de ce genre; le 2 avril 1868, notamment, alors que l'île Hawaï, dans l'archipel des Sandwich, était secouée par une de ces violentes secousses qui précèdent généralement l'émission des laves dans ses grands volcans, un pan tout entier d'une haute montagne, le Keaiva, s'abattit dans la plaine, formant un éboulis de 5 kilomètres de long sur 2 à 4 kilomètres de large. Ailleurs, à cette cause viennent s'ajouter la nature ébouleuse des assises et l'action des eaux d'infiltration pour déterminer, au moment des secousses, de pareils glissements de terrains qui se montrent après leur chute largement crevassés. Les fentes signalées, en Andalousie, près des villages de Guaro et de Guévejar, n'ont pas d'autre origine; il a été reconnu qu'elles résultaient du glissement, sous l'action des secousses, de nappes argileuses détrempées souterrainement par les eaux de source, sur les roches solides qui leur servaient de soubassement et ont fait office de plan incliné (1).

---

(1) Fouqué, *Rapport de la mission chargée de l'étude des tremblements de terre de l'Andalousie (Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. C, p. 1853; 1885).*

Ces faits nous montrent combien peut être grande la complexité des phénomènes naturels et que, dans l'explication de pareils faits, il est dangereux de ne recourir qu'à une seule catégorie d'agents dynamiques.

Mais l'action dynamique des tremblements de terre ne se limite pas seulement à ces crevasses et à ces éboulements de rochers, ils peuvent aussi apporter dans le relief du sol des changements de niveau permanents, se produisant par saccades et susceptibles d'atteindre une valeur notable.

Déjà nous avons vu, dans les Calabres, que de pareilles dislocations du sol pouvaient se résoudre en *failles* avec rejet sensible. Parmi les grandes commotions souterraines capables d'introduire ainsi dans la surface du globe des changements de niveau permanents, il faut citer celle qui, le 6 juin 1819, dans l'Inde occidentale, modifia la forme du golfe de Catch (Katch) sur une grande étendue. Tandis que le port de Sindree et la majeure partie de la grande lagune du Grand-Rann, située dans les plaines marécageuses du delta de l'Indus, s'enfonçait sous la mer sur une étendue de plusieurs milliers de kilomètres carrés, en donnant naissance à une large baie de 5 mètres de profondeur, une sorte de terrasse dite *Ullah-Bund* ou *Digue des Dieux*, haute de 3 mètres, sur 80 kilomètres de long avec 20 kilomètres de largeur, s'élevait au travers d'une ancienne bouche de l'Indus, marquant dans le sud le bord du district affaissé. En même temps, la digue de l'Indus a été brisée et la branche principale du fleuve s'est déplacée. Actuellement, ce golfe

peu profond occupe un espace de 5,000 kilomètres carrés (1).

Il convient d'ajouter que le tremblement de terre a rencontré, dans cet ancien estuaire de l'Indus, comblé par les alluvions, un terrain propice pour provoquer, par le tassement de matériaux meubles, un pareil effondrement, qui, malgré son étendue, n'est encore qu'un accident superficiel. Il en a été de même pour les grandes crevasses suivies d'effondrements qui occasionnèrent, le 20 mars 1861, dans la République de l'Équateur, la destruction complète d'une ville populeuse, Mendoza, établie sur une plaine alluviale, au pied des premiers contreforts de la grande chaîne des Andes. Toutes ces fissures et ces dislocations sont restées concentrées dans cette nappe de graviers et de limons, épaisse de 9 à 13 mètres, sans se poursuivre dans les roches solides sous-jacentes.

Par contre, il est des effondrements qui ne peuvent être attribués à la même cause et doivent provenir d'un affaissement subit du sol. Tels sont ceux qui, dans l'intérieur des continents, ont fait naître des cavités en forme de bassins et favorisé, par suite, l'établissement postérieur des grands lacs d'eau douce sur ces parties déprimées. Un fait semblable s'est produit en 1861 dans la région du lac Baïkal, qu'on sait être le principal centre de vibration de la Sibérie; c'est là, en effet, que les tremblements de terre, très fréquents, se font sentir

---

(1) Suess, *Antlitz der Erde* p. 62. — A. Heim, *les Tremblements de terre* (Assoc. scientifique, 2<sup>e</sup> série, t. 1<sup>er</sup>, p. 301,

avec le plus de violence. Sur le revers est du Baïkal, qui occupe lui-même une grande et profonde dépression produite par effondrement, un ébranlement considérable, qui s'est poursuivi pendant tous les mois d'hiver des années 1861 et 1862, a provoqué, dans le voisinage du point où la Selenga vient déboucher dans ce gouffre profond, un affaissement suffisamment étendu pour favoriser l'établissement d'un nouveau lac qui, maintenant, occupe un espace de 20 kilomètres de long sur 25 kilomètres de large (1). On peut encore signaler, au milieu de beaucoup d'autres, ce fait que le résultat principal du tremblement de terre qui, le 4 novembre 1871, bouleversa une grande étendue de pays dans l'Orange-County (Amérique du Nord), a été la réunion, en un seul, d'une série de petits lacs successifs étagés sur un espace de plusieurs lieues.

En d'autres points, des traces manifestes d'exhaussement du sol ont été observées, notamment sur les côtes, où cette constatation est facile, le niveau de la mer offrant un repère précieux pour estimer la valeur de ces brusques changements de niveau. Au Chili, par exemple, en 1837, des pholades et d'autres mollusques perforants encore vivants, des serpules adhérant aux rochers sur lesquels elles avaient vécu, ont apparu à une altitude où la marée ne pouvait plus les atteindre et ont pu servir de témoins irrécusables du changement de niveau qui venait de se produire soudainement (2).

---

(1) Nivolog, *Ausland*, 1862, n° 6.

(2) Daubrée, *les Tremblements de terre (Revue des Deux Mondes*, t. LXVIII, 1885).

Le 24 mai 1857, le port de la Conception, sur la même côte chilienne, fut mis à sec dans de pareilles conditions, et sur tout le littoral on trouvait, à 1 m. 20 au-dessus de la mer, des bancs d'huîtres et autres coquilles marines. A cet assèchement des ports et des baies occasionné par ces brusques mouvements d'exhaussement, sur les côtes de l'Amérique du Sud, il faut joindre celui de Népon, au Japon, qui fut soulevé, en 1855, au point de n'être plus utilisable (1). De pareils faits ont été observés, la même année, dans la Nouvelle-Zélande, qui fut, le 27 janvier, soumise pour ainsi dire à un mouvement de bascule, la côte de l'île septentrionale s'étant relevée de 3 mètres sur une étendue de 9 milles et demi, alors que la partie septentrionale de l'île du sud, plongeant sous la mer, subissait un affaissement de 1 m. 60. Ajoutons que tous ces mouvements brusques d'exhaussement et d'affaissement ne se produisent, en réalité, que dans les régions volcaniques, et que les secousses qui les provoquent sont en relation immédiate avec les paroxysmes des volcans actifs situés dans le voisinage.

Tout près de nous, le Vésuve a bien des fois présenté des faits de ce genre. Pour n'en citer qu'un exemple, je rappellerai qu'en 1861 les tremblements de terre qui ont précédé, comme d'habitude, l'émission des laves par les flancs entr'ouverts du volcan ont amené, après avoir causé de grands dommages à Torre-del-Greco, un exhaussement notable de la côte dans cette direction, exhaussement qui s'est

---

(1) Heim, *loc. cit.*, p. 101.

traduit, comme toujours, par l'apparition au-dessus du niveau des hautes marées d'amas d'huîtres ou de coquillages, soit des mollusques côtiers qui habitent le littoral. Je ne veux pas non plus passer sous silence ce fait bien connu, que les colonnes du temple de Sérapis, près de Pouzzoles, ont dû être

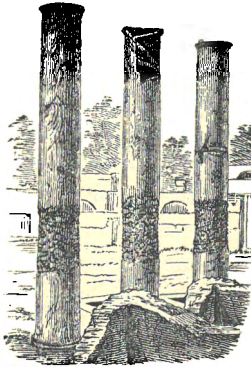


Fig. 15. — Colonnes perforées du temple de Sérapis.

immergées d'au moins 6 m. 50, ainsi qu'en témoigne la hauteur qu'atteignent au-dessus de leurs bases les trous nombreux de pholades et autres animaux perforants qu'on y observe. Ce temple, élevé par Marc-Aurèle, s'est affaissé en 1198, lors de l'éruption de la Solfatare et son émerision a vraisemblablement coïncidé avec l'éruption du Monte-Nuova, à l'autre extrémité du golfe de Bayes, en 1538. De la sorte, les mollusques lithophages auraient eu au moins 340 années pour marquer ces colonnes, sur trois mètres de hauteur, de leurs incisions caractéristiques (fig. 15). De tous les faits mentionnés jusqu'ici, celui offert par ces colonnes est le plus instructif, puisqu'il



nous montre que ces mouvements alternatifs d'exhaussement et d'affaissement peuvent se produire sur un même point.

Quant aux effets accessoires, c'est-à-dire aux phénomènes qui forment le cortège habituel des tremblements de terre, on sait qu'ils peuvent être aussi nombreux et variés. Indépendamment des bruits souterrains dont nous avons déjà parlé et de l'altération dans le régime des sources, qui peuvent tantôt s'arrêter, tantôt subir un accroissement de volume ou de température, quand il s'agit d'eaux thermales, les perturbations subies par les appareils magnétiques annoncent que ces mouvements de trépidation du sol sont toujours accompagnés d'un remarquable développement d'électricité. Si bien que certains auteurs, exagérant la portée de ce phénomène, ont cru devoir le considérer comme cause déterminante des secousses, en les attribuant à des orages électriques souterrains. Mais des expériences multiples, notamment celles de Becquerel, ont démontré que l'effort dépensé pour fracturer un solide détermine toujours une quantité d'électricité proportionnelle à la surface et au volume de la masse fracturée. D'autre part, le même résultat peut être obtenu non seulement par frottement, mais par simple compression de deux corps solides qu'on écarte ensuite rapidement. On connaît aussi l'expérience des deux plaques métalliques de Lides, expérience qu'on peut répéter avec des substances très clivables, comme le mica ; quand on en sépare rapidement les lamelles dans l'obscurité, on constate un développement notable d'électricité qui se traduit par une lueur

caractéristique. Or tous ces effets doivent nécessairement se produire dans les mouvements de dislocation du sol que nous venons d'analyser, avec cette différence que la masse des couches disjointes étant ici considérable, le développement d'électricité qui en résulte peut devenir assez intense pour donner lieu à des courants telluriques très étendus et capables de produire des perturbations dans les instruments magnétiques, à des distances considérables du centre d'ébranlement. C'est ce fait important qui vient d'être mis en évidence par les brusques agitations subies simultanément, le 23 février, à Lyon (5 h. 55) et à Perpignan (6 heures) par les balances magnétiques et les appareils de variations pour la déclinaison ; agitations en tous points comparables à celles qu'on observe sous l'action des courants momentanés utilisés pour produire les repères de l'heure, et qui ne pouvaient être attribuées à des vibrations du sol.

De tout temps aussi on a cherché à établir une relation entre les tremblements de terre et les phénomènes atmosphériques, en particulier avec l'état barométrique du globe. Mais cette croyance ancienne qu'un abaissement considérable de la colonne barométrique, coïncidant avec une violente tempête, favorise les ébranlements du sol et les annonce à l'avance, n'a jamais été confirmée. Quand cette circonstance s'est accidentellement réalisée comme en Suisse où le *Foehn* souffle parfois avec plus de violence quand le sol commence à vibrer, on constate que ce vent du sud-ouest, venu de l'Atlantique, suit toujours sa marche régulière et n'a d'autre effet

que de provoquer, à la rencontre du puissant condensateur montagneux des Alpes, cette fonte extrêmement rapide des neiges et des glaces qui lui a valu le nom bien significatif de *Gletscherfresser* ou *mangeur de glaciers*.

Quant au fait constaté par les statistiques de M. Mallet (1) que les minima sismiques semblent coïncider dans nos régions avec les minima barométriques, il provient simplement de ce que ces grandes dépressions barométriques des continents sont toutes concentrées dans notre hémisphère pendant la saison d'été, saison où les tremblements de terre sont moins fréquents qu'en hiver. Ce fait, d'abord révoqué en doute, a été depuis établi d'une manière indiscutable par les patientes recherches d'Alexis Perrey. Ainsi, sur les 656 secousses observées en France jusqu'en 1845, les trois cinquièmes se sont produites pendant le semestre de novembre à mai. Dans la région des Alpes, cet écart entre la proportion des ébranlements de l'hiver et ceux de l'été est encore plus grand. Dans la seule région du Valais, Otto Volger a reconnu que, sur 98 secousses, une seule avait eu lieu en été.

Les statistiques indiquent aussi que le nombre est également plus grand la nuit que le jour, et cela dans chaque saison de l'année; le maximum de fréquence a lieu entre 1 heure et 2 heures du matin, et le minimum un peu après midi. Il en est de même pour les bruits souterrains; au Japon, par exemple, la proportion des secousses nocturnes s'élève à 70 %

---

(1) R. Mallet, *Earthquake Catalogue*, 1848, p. 49.

et celle des bruits à 60. Mais ce résultat est peut-être dû, en partie, à ce fait que, pendant la journée, les trépidations faibles sont plus difficilement perçues : le silence relatif et l'immobilité plus grande de la nuit les rendent, au contraire, plus aisées à reconnaître.

En ce qui concerne la liaison de ces commotions souterraines avec certains phénomènes d'ordre cosmique, comme l'attraction du soleil ou de la lune, ou le passage d'essaim d'étoiles filantes, elle ne paraît reposer sur aucune donnée positive. Etant donnée l'influence prépondérante du soleil dans la régularisation des mouvements de notre planète, il était naturel de penser qu'on devait s'adresser tout d'abord à cet astre qui nous éclaire et devient, avec ses radiations, l'unique moteur de l'activité extérieure de notre globe pour chercher la part qui revenait à son influence dans ces mouvements de l'écorce terrestre. Aussi d'après un relevé de toutes les secousses ressenties en Suisse depuis l'an 1000 jusqu'à 1800, M. Wolff (de Zurich) avait cru pouvoir avancer que leur fréquence était en fonction de l'abondance des taches du soleil dont le nombre est soumis à des affaiblissements et à des recrudescences périodiques. Mais les recherches plus récentes de M. Poëy, étendues tout à la fois aux éruptions volcaniques de tout le globe, et aux tremblements de terre depuis 1634 jusqu'en 1861, ont démontré qu'aucune relation appréciable ne saurait exister entre le phénomène solaire et les périodes de convulsion intenses qu'il a qualifiées de *tempêtes sismiques*. C'est le sort qui a été réservé aux patientes recherches d'Alexis Perrey, qui, s'adressant cette

fois aux phases de la lune, avait cru trouver dans les oscillations du sol une allure rythmique en accord avec les phases lunaires, et ayant un maximum de fréquence aux syzygies qui sont, comme on sait, les époques où les marées océaniques acquièrent leur plus grande intensité. De la sorte, comme l'Océan, les masses fluides internes auraient eu des marées et ce serait alors ces oscillations profondes de la masse en fusion qui, à certains moments favorables, déterminant des chocs contre l'écorce terrestre, donneraient lieu aux tremblements de terre. Or ce fait dont l'importance aurait été capitale s'il avait été établi, ne ressort nullement de l'examen des statistiques énumérées par M. Perrey lui-même : sur 5,388 tremblements de terre étudiés, on en compte 2,761, soit 51 % aux syzygies, et 2,627, soit 49 % aux quadratures ; assurément la différence est trop peu importante pour qu'on puisse en tenir compte. De plus, étant donné ce fait que sur une masse aussi mobile que la nappe océanique, la marée ne produit, en pleine mer, qu'une dénivellation totale de 75 centimètres, on conçoit dès lors aisément qu'il est difficile d'admettre que des marées internes, s'adressant à des masses fluides très denses, puissent déterminer des trépidations semblables à celles des tremblements de terre. Enfin on sait aussi que la très faible profondeur que les observations assignent aux foyers d'ébranlement rend improbable une relation entre ces phénomènes, avec l'action d'une nappe liquide située sous l'écorce terrestre, et, par suite, à une très grande distance de la surface.

En résumé, parmi toutes les relations qu'on a

cherché à établir entre les tremblements de terre et les phénomènes cosmiques ou météoriques, il n'en est aucune qui présente un tel caractère de constance qu'on puisse lui attribuer un rôle décisif dans la production de ces mouvements du sol pour ainsi dire continuels et qu'on sait être de divers ordres. Il nous reste donc à rechercher à quelles causes profondes on peut attribuer ces agitations incessantes.

Quelques multipliées que soient les observations sur les tremblements de terre, elles ne peuvent concerner que les manifestations externes d'un phénomène, dont le foyer se dérobe complètement à notre regard, puisque nous en sommes séparés par un revêtement de roches considérable. Par conséquent, pour arriver à des conclusions sérieuses, relativement à cette recherche importante de la cause probable de ces agitations souterraines, il convient tout d'abord de déterminer le siège initial de l'ébranlement, soit la profondeur probable de son point de départ. Plusieurs méthodes ont été employées, dans ces dernières années, à la recherche de la position et de la profondeur de ce *foyer* du tremblement. L'une proposée par Hopkins, et perfectionnée par von Seebach, fondée sur des observations très précises, mais très délicates, et souvent difficiles à réaliser, est basée sur la détermination de la série des points dans lesquels les oscillations se font sentir au même instant. La seconde, plus ancienne, due au physicien anglais Mallet, a pour base l'étude de la direction des cassures qui se produisent dans le sol, et de celle des crevasses dans les murs lézardés, étude qui offre alors cet

avantage qu'elle peut être faite, avec tout le soin que comporte cette méthode, longtemps après la production du phénomène. Toutes ces cassures et ces crevasses, qui peuvent compter parmi les effets mécaniques les plus caractéristiques des tremblements de terre, sont, en chaque point, normales à la direction des ébranlements, et quand on les étudie avec soin, la direction de ces normales a une approximation suffisante pour permettre de fixer leurs points de convergence et, par suite, le point précis d'où part l'ébranlement (A. fig. 16.)

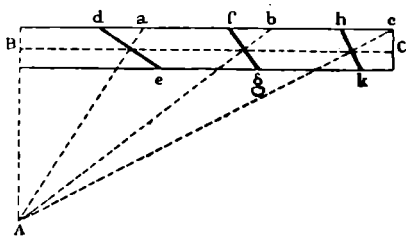


Fig. 16. — Détermination du foyer de l'ébranlement par la direction des crevasses.

En appliquant cette méthode à l'étude de, fg, h k, crevasses produites dans une portion de l'écorce terrestre BC; A a, A b, A c, direction des secousses; A, foyer de l'ébranlement du grand tremblement de terre qui bouleversa de nouveau les Calabres, en 1857, M. Mallet a obtenu, pour le foyer réel, une profondeur moyenne de 11 kilo- mètres (1).

(1) R. Mallet, *Geol. magaz.*, 1877, p. 179.

D'après M. Mercalli (1), c'est à une distance encore moindre de la surface que s'est produit le foyer du tremblement de terre d'Ischia ; le chiffre obtenu pour le lieu de rencontre des normales aux crevasses place, en effet, à 1,200 mètres de profondeur le centre de cet ébranlement.

Cette méthode présente souvent, dans son application, de sérieuses difficultés ; elle ne peut guère s'adresser utilement qu'aux lézardes des édifices, et mille causes locales accidentelles peuvent l'entacher d'erreur ; le sol, aussi bien que les murailles des édifices, se fendant suivant des directions qui dépendent beaucoup plus de leur constitution que de la nature et de l'orientation du choc qui les ébranle.

La méthode de von Seebach, qui a pour principe la constatation des points qui ont été atteints au même moment par l'onde sismique, est de beaucoup la meilleure, car elle revient à déterminer le tracé des courbes *isoséistes*, c'est-à-dire des courbes passant par les points dans lesquels les secousses sont arrivées simultanément ; avec de bonnes données horaires, elle conduit à des résultats presque certains et fournit des renseignements sur les circonstances les plus délicates du phénomène sismique. Malheureusement, en raison de la rapidité avec laquelle les secousses se propagent, non seulement il faut que leur arrivée soit notée avec soin par un observateur attentif, mais il importe que les horloges des diverses stations soient abso-

---

(1) Mercalli, *l'Isola d'Ischia et Terrem. del 28 Luglio 1883* ; Milan, 1884.



lument concordantes, circonstance qui est rarement réalisée.

Dans le récent tremblement de terre de l'Andalousie, l'incertitude de ces données horaires l'ayant rendu tout à fait inefficace, et de même les tentatives nombreuses faites pour utiliser la méthode de Mallet n'ayant donné aucun résultat, M. Fouqué a dû imaginer la nouvelle méthode dont nous avons déjà mentionné plus haut les bons effets pour la détermination de la vitesse de la propagation, méthode fondée, cette fois, sur la connaissance du temps qui s'écoule, en un même point, entre le moment de l'arrivée du son et celui de la secousse consécutive. C'est de la sorte que la profondeur du foyer de cet ébranlement a pu être évaluée à 11 kilomètres.

En appliquant sa méthode à l'étude du tremblement de terre de l'Allemagne centrale, survenu en 1872, von Seebach a trouvé pour le centre d'ébranlement une profondeur de 18 kilomètres. L'année suivante, von Lasaulx a pu reconnaître, par ce même procédé, que le foyer du tremblement de terre d'Herzogenvatz (22 octobre 1873) était encore plus rapproché de la surface. Par contre, d'après les calculs de M. Oldham (1), le siège du tremblement de terre de Cachar, en 1869, s'est trouvé situé à 48 kilomètres de la surface : c'est actuellement la plus grande profondeur reconnue pour un centre d'ébranlement.

A toutes ces méthodes on pourrait opposer cette

---

(1) R. Mallet, *Geol. magaz*, 1877, p. 179.

objection, qu'elles supposent l'existence d'un foyer unique, alors que souvent il occupe une surface plus étendue le long d'une faille, par exemple, où il peut, de plus être soumis à des déplacements. Quoi qu'il en soit, il n'en ressort pas moins de tous ces calculs ce fait important, qu'ils s'accordent pour placer le foyer d'ébranlement dans le voisinage de la surface, à une distance bien inférieure du point où il faudrait atteindre la nappe fluide interne. De plus, en étudiant, à l'aide d'appareils appropriés, le mécanisme des secousses et la nature des bruits souterrains qui les accompagnent, on a toujours été frappé de la très grande analogie de ces phénomènes avec ceux qui caractérisent les explosions.

Au premier abord, ce fait semble devoir être interprété en faveur d'une intime liaison entre ces vibrations du sol et les phénomènes volcaniques. Ces manifestations actuelles de l'activité interne sont, en effet, caractérisées par l'importance qu'y prennent les dégagements gazeux, en particulier celui de la vapeur d'eau, qui se traduit à chaque éruption, au sommet de la montagne, par le *panache de fumée* caractéristique des volcans actifs : cette colonne de vapeurs s'élançant verticalement, avec une grande vitesse, jusqu'à une hauteur capable de dépasser *onze mille mètres* (1). Ce sont ces dégagements gazeux qui poussent au dehors la lave contenue dans le foyer interne et provoquent son émission, soit par le cratère terminal, soit par une

---

(1) C'est la hauteur atteinte par le panache de fumée de Krakotoa lors de l'explosion de 1883.

fente ouverte au sein de la montagne, lors de la grande manifestation explosive du début, qui a provoqué la projection dans les airs des masses laviques solidifiées dans la cheminée du volcan. On se fera une idée de l'effort qui peut être mis ainsi en jeu en songeant qu'au Cotopaxi, par exemple, le sommet de la colonne de lave dépasse quelquefois de *six mille mètres* le niveau de la mer, et qu'à l'Etna, il y a plus de trois mille mètres entre l'orifice de la cheminée et le niveau de la Méditerranée. Aussi, la force des gaz contenus dans cette cheminée produisant, lors des paroxysmes, l'effet d'une puissante mine en charge continue, la montagne tout entière est ébranlée et les secousses qui en résultent peuvent s'étendre fort loin dans les régions environnantes. Les tremblements de terre, que nous avons vu être si fréquents et particulièrement violents sur les côtes du Chili et du Pérou, n'ont pas d'autre origine, la Cordillère supportant, dans toute cette étendue, plus de quarante volcans qui peuvent compter parmi les plus actifs de tous ceux qui entourent l'océan Pacifique d'un véritable anneau de feu. L'un d'eux, sur la côte péruvienne, le *Suhama*, dresse à 7,200 mètres son cône gigantesque, couvert de neiges et toujours menaçant, avec son panache de fumée noircie. Il en est de même pour tous les ébranlements qui se produisent dans le voisinage immédiat des volcans actifs.

Mais, à côté de ces tremblements de terre qu'on peut qualifier de *volcaniques*, il en est d'autres caractérisés par leur grande amplitude, comme celui de Lisbonne, en 1755, qui affectent des étendues de pays considérables, complètement dépourvus

d'appareils volcaniques. Leur mode de propagation est alors intimement lié aux accidents principaux du relief, tels que les montagnes et les lignes de dislocation, en particulier avec les chaînes montagneuses qui ont acquis le plus récemment leur principal relief, comme nous l'avons vu dans les Alpes, dans les Apennins, en Andalousie, où les tremblements de terre affectent une disposition linéaire très remarquable, épousant la direction de ces accidents. Aussi, bien des savants, notamment MM. Heim, Suess et J.-D. Dana, ont cru devoir considérer ces grands mouvements sismiques comme une *manifestation actuelle des agents qui ont présidé à la formation des montagnes*. Le mécanisme de cette formation est facile à comprendre; l'écorce solide, par suite du refroidissement lent, mais incessant du globe, est obligée, pour s'appliquer exactement sur son rapport, qui diminue de volume en perdant de sa chaleur, de racheter son excès d'ampleur par un *rempli*; en d'autres termes, de se  *rider*, en présentant un profil dissymétrique dont la forme la plus simple est celle qui résulte de la juxtaposition de deux rides, l'une saillante, l'autre rentrante. Le tout résultant de pressions latérales qui, la soumettant à des efforts de tension et de compression, ne peuvent manquer de provoquer de temps à autre des ruptures d'équilibre. Dans ces conditions, les tremblements de terre deviendraient les phénomènes précurseurs de ces puissants mouvements de refoulements latéraux qui sont destinés à se résoudre dans la formation de chaînes de montagnes. Jusqu'à présent aucun fait n'est venu justifier cette théorie. Les plissements profonds qu'elle suppose devraient

se traduire par des changements orographiques, et rien de semblable n'a été observé ; nulle part, à la suite d'un grand phénomène sismique on n'a constaté de modifications survenues dans l'attitude des divers points de la surface ébranlée. De même les déplacements de masses solides dans l'épaisseur de l'écorce terrestre, qui devraient se produire dans les points soumis à de pareils efforts de compression, ne se sont jamais manifestés à l'extérieur. Les crevasses observées n'entament jamais le sol bien profondément et de plus, nous avons vu que le foyer, c'est-à-dire, la profondeur à laquelle s'était produit l'ébranlement initial, se tenait à une distance moyenne de 15 à 20 kilomètres ; c'est exceptionnellement que le chiffre de 48 a été atteint.

Si maintenant nous examinons la répartition géographique des régions bien délimitées où se produisent ces grands tremblements de terre *endogènes*, nous verrons qu'ils sont étroitement limités aux parties bouleversées à l'écorce terrestre, c'est-à-dire dans les points où les assises sédimentaires marines ou lacustres primitivement horizontales, se montrent ployées, contournées dans tous les sens et parfois redressées jusqu'à la verticale ; de plus, qu'ils coïncident avec les lignes de dislocation, suivant lesquelles l'écorce terrestre soumise à de puissantes actions de refoulement, de pressions latérales ou horizontales, s'est montrée rompue, brisée par de nombreuses et importantes fractures, affectant des épaisseurs considérables de couches et descendant, cette fois, à des profondeurs où il n'est pas possible de pénétrer. Toutes ces fractures anciennes, qui constituent tout autant de points faibles dans l'écorce,

auraient dû rejouer et les compartiments intercalés subir des dénivellations sensibles si ces régions disloquées avaient été soumises à de nouveaux efforts de tension et de compression, comme l'admettent ceux qui, nombreux, attribuent les phénomènes sismiques à des mouvements *orogéniques*. Or, on sait qu'il n'en est rien, quand de pareils déplacements ont été constatés, ils ont toujours été occasionnés par des glissements de terrain superficiels.

C'est pourquoi, sans nier qu'il puisse se produire, à l'heure présente, des mouvements lents de l'écorce

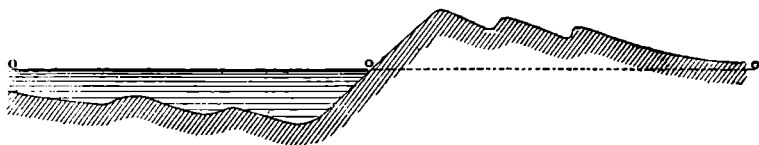


Fig. 17. — Allure générale des déformations de l'écorce, (o, niveau de la mer).

susceptibles de changer les conditions réciproques de la terre ferme et de l'Océan, nous croyons, partageant l'opinion émise par M. de Lapparent, qu'il serait difficile d'admettre que l'homme ait jamais été témoin d'un de ces mouvements accentués qui ont tant de fois modifié la géographie terrestre aux époques anciennes. « L'hypothèse qui maintenant concorde le mieux avec les faits observés, consiste à regarder les tremblements de terre comme des vibrations occasionnées dans l'écorce terrestre par des explosions intérieures » (1). Il est vraisemblable,

---

(1) De Lapparent, *Abrégé de Géologie*, (p. 115, 118).

en effet, d'admettre que dans les parties disloquées, mal équilibrées de l'écorce solide, où le tassement des parties profondes n'est pas encore acquis, il peut subsister des cavités, des fentes qui n'aboutissent pas à la surface et dans lesquelles les gaz et les vapeurs émanés des masses fluides internes peuvent parvenir et subsister jusqu'à ce qu'ils aient acquis une tension suffisante pour que leur force vive vienne se dépenser dans un violent effort contre les parties superficielles de l'écorce. Ainsi se justifierait, non seulement la localisation des tremblements de terre endogènes dans les régions plissées, mais ce fait important que, dans les ébranlements prolongés, le foyer d'impulsion se déplace progressivement, *en avançant suivant la ligne de dislocation* (1). Tantôt cette ligne est une direction de plissement, concordante avec une chaîne de montagnes ; alors la zone ébranlée longe la chaîne, les foyers successifs des secousses se déplacent, suivant sa direction, et le tremblement de terre devient *longitudinal*. Tantôt c'est une ligne de rupture recouvrant les chaînes de montagnes, suivant des directions le long desquelles les couches ont subi un déplacement horizontal ; dans ce cas, la bande sismique traverse la chaîne et l'ébranlement devient *transversal*. De plus, comme la distribution de ces gaz en profondeur, leur mode d'arrivée dans ces parties crevassées et leur tension ne peuvent être partout identiques, la diversité des effets observés se trouverait suffisamment justifiée.

---

(1) Heim, *loc. cit.*, p. 331.

On comprend de même très bien, de cette façon, pourquoi certaines régions privilégiées, comme les grandes plaines de la Russie et de l'Allemagne du Nord, les Pampas de l'Amérique du Sud et les grandes dépressions, comme le bassin de Paris, où toutes les assises sont restées horizontales, sans qu'aucun trouble ait été apporté dans les conditions originelles de leur dépôt, n'ont rien à craindre de ces effrayants phénomènes.

En résumé, si on ne tient aucun compte — dans les statistiques destinées à mettre en évidence les conditions propres aux tremblements de terre proprement dits, comme nous venons de le faire — des secousses locales déterminées par l'effondrement de cavités profondes, creusées par la seule action des eaux souterraines dans des assises contenant des matières solubles faciles à entraîner comme le sel gemme ou le gypse, et qui rentrent par suite dans le jeu de la dynamique externe, le phénomène sismique, qu'il soit ou non en dépendance immédiate des éruptions volcaniques, doit toujours être attribué à des causes profondes, très générales, se rattachant aux manifestations de l'activité interne, c'est-à-dire d'une activité qui ne sommeille jamais.

CH. VÉLAIN.



# REVUE POLITIQUE ET LITTÉRAIRE

(Revue bleue, 3<sup>e</sup> série)

Directeur : M. Eug. YUNG

---

# REVUE SCIENTIFIQUE

(Revue rose, 3<sup>e</sup> série)

Directeur : M. Ch. RICHEL

---

VINGT-QUATRIÈME ANNÉE — 1887

*Chaque livraison paraissant le samedi matin contient 64 colonnes de texte*

---

**TIRAGE : 14,000 EXEMPLAIRES**

---

Prix de la livraison : **60** centimes

*Prix d'abonnement :*

CHAQUE REVUE PRISE SÉPARÉMENT

	Six mois.	Un an.
Paris. . . . .	15 fr.	25 fr.
Départements .	18	30

LES DEUX REVUES ENSEMBLE

	Six mois.	Un an.
Paris. . . . .	25 fr.	45 fr.
Départements .	30	50

Les abonnements partent du 1<sup>er</sup> juillet, du 1<sup>er</sup> octobre, du 1<sup>er</sup> janvier et du 1<sup>er</sup> avril de chaque année

---

ADMINISTRATION ET RÉDACTION

**PARIS, 111, boulevard Saint-Germain**

---

Le Mans. — Imp. A. Drouin.