

L'eau que le soufre avait incorporée ne se sépare en effet que lentement de la masse, et pendant cette séparation elle entraîne des particules de soufre en fusion. Il se forme de cette façon des cônes qui s'agrandissent de plus en plus et sur lesquels il se produit un petit cratère. Les éruptions deviennent alors plus fortes, des courants de soufre s'échappent du cratère et des gouttelettes fondues sont projetées dans l'air comme des scories.

Lorsque le phénomène tire à sa fin, la lave de soufre contenue dans le cône se solidifie et forme un noyau solide qui est enveloppé, comme d'un manteau, des couches du soufre écoulé.

Mais on peut aussi interrompre le phénomène en perçant une ouverture à la partie inférieure du vase dans lequel se trouve le soufre et en laissant écouler la partie encore en fusion qui se trouve sous l'écorce solidifiée. Les éruptions cessent alors immédiatement et la lave de soufre qui remplit les cratères retombe. L'examen démontre alors que les cônes sont creux à l'intérieur parce que le soufre liquide fond, en s'élevant, une partie du soufre qui remplissait le cône, de sorte qu'il en résulte une cavité vide entourée d'un manteau relativement peu épais.

Ces cônes de soufre, produits par des phénomènes éruptifs tout à fait analogues à ceux des volcans, peuvent être considérés comme des modèles de montagnes volcaniques. Ils nous permettent de maintenir l'hypothèse que nous avons proposée pour remplir les lacunes qui existent encore dans la science.

Nous pouvons cependant espérer, en suivant la voie de l'examen qui nous a fait connaître dans ces derniers temps la structure véritable des montagnes volcaniques, les réactions chimiques qui accompagnent les phénomènes de l'action volcanique et enfin la nature véritable de la lave, nous pouvons espérer, dis-je, de remplacer, dans un temps très-prochain, ces hypothèses par des faits réellement scientifiques.

LIVRE DEUXIÈME

LES TREMBLEMENTS DE TERRE

On donne le nom de tremblements de terre à des ébranlements de la masse solide du globe, qui ont leur siège sous la surface terrestre et qui sont produits par une cause inconnue.

Cette expression a été admise instinctivement par toutes les nations, et l'on s'en sert involontairement dans les circonstances qui produisent des effets semblables à ceux des véritables tremblements de terre. De grandes explosions ou des chutes de grandes masses de rocs produisent des ébranlements analogues s'étendant de tous côtés et ayant les mêmes effets qu'un véritable tremblement de terre. On croit facilement qu'il y a eu un tremblement de terre dans les endroits où l'on a senti des commotions du sol, sans savoir qu'il y a eu explosion ou avalanche de rochers. Les journaux ont souvent mentionné des tremblements de terre de ce genre, mais dès que la cause en était connue, la dénomination de tremblement de terre disparaissait des récits. Il résulte de ces faits qu'on n'a pas désigné sous ce nom un mode particulier d'ébranlement, ni des effets spéciaux produits par lui, mais qu'on n'a voulu désigner que la cause : celle-ci est souterraine dans le véritable tremblement de terre, et n'est pas artificielle (comme lorsqu'on fait sauter les roches dans les mines).

Il est nécessaire de bien comprendre le sens que toutes les nations attachent à l'expression de tremblement de terre, car c'est par ce sens que la science reçoit une tâche précise, puisqu'elle doit porter ses recherches sur l'objet que l'on désigne généralement sous ce nom de tremblement de terre. La

géologie doit étudier la forme sous laquelle apparaissent ces tremblements et leurs effets, puis en rechercher la cause.

NATURE DES TREMBLEMENTS DE TERRE.

Les tremblements de terre se présentent parfois comme de légers ébranlements ou frémissements à peine perceptibles, qui parcourent la partie solide du globe et lui font subir comme de petits tressaillements : mais souvent ils se font sentir avec une violence si épouvantable, que l'homme reste confondu et impuissant devant cette force écrasante. Ils produisent alors à la surface de la terre des changements durables qui ont une très grande importance au point de vue de sa structure et de son relief.

En Europe, les tremblements de terre les plus renommés pour leur extraordinaire violence et pour les épouvantables destructions qu'ils ont produites sont, dans les temps anciens, celui qui eut lieu sous l'empereur Tibère, puis celui de 526, sous l'empereur Justin, qui coûta, dit-on, la vie à 120,000 personnes, enfin celui de 1693, en Sicile, qui fit périr plus de 60,000 hommes.

L'Europe a aussi éprouvé de violents tremblements de terre dans les temps modernes : en 1755 celui de Lisbonne, en 1783 celui de la Calabre, où il y eut de nouveaux et violents tremblements en 1854 et en 1870. Mais les tremblements de terre de l'Amérique méridionale surpassent de beaucoup en étendue et en violence ceux de l'Europe. Les plus renommés de ces tremblements sont ceux de Lima en 1746, de Riobamba (février 1797), de Caracas, en 1812, de Mendoza, en 1861, et celui du Pérou en 1868.

L'espèce de mouvement auquel la terre est soumise peut varier aussi bien dans les tremblements faibles que dans les tremblements violents.

L'espèce de mouvement est très-peu apparente dans ces frémissements et ces tressaillements terrestres que l'on a désignés dans les régions de l'Amérique méridionale sous le nom de *Tremblores*, pour les distinguer des tremblements de terre véritables appelés *Teremotes*. Ces *tremblores* sont si fréquents et si inoffensifs dans ces pays que la plupart du temps on n'y fait point attention. Ils n'excitent l'intérêt que dans les pays où les tremblements de terre sont des phénomènes rares, comme dans les pays du nord et du centre de l'Europe, et cependant

il arrive rarement que l'on puisse obtenir de divers observateurs, des observations concordantes sur l'espèce de mouvement imprimé à la terre.

On a distingué les mouvements de la terre, qui se font remarquer dans les tremblements plus forts, en :

1^o MOUVEMENTS DE SUCCUSSION, que l'on ressent comme un choc perpendiculaire donné de bas en haut. Lorsque ce mouvement est fort, on croit sentir d'abord un mouvement d'élévation puis un mouvement d'affaissement de la terre.

Le mouvement de succussion ne se produit qu'aux endroits qui sont le véritable siège du tremblement de terre : il passe graduellement au mouvement ondulatoire pour les endroits éloignés et même au point d'origine, lorsque l'effet de la secousse est passé. Les succussions peuvent cependant se répéter à différentes reprises, soit en se suivant coup sur coup, soit après de longs intervalles seulement. La première succussion est souvent la plus violente, mais d'autres fois c'est l'une des succussions suivantes : il n'y a point de règle à cet égard.

Les tremblements de terre à succussions sont les plus redoutés, et leurs effets, qui ressemblent souvent aux effets d'une explosion de mine, peuvent amener de terribles dévastations.

Des documents contemporains nous apprennent que pendant le grand tremblement de terre de la Calabre en 1783, les montagnes étaient si profondément ébranlées que leurs cimes semblaient sautiller en l'air. Certaines maisons furent soulevées avec une grande force et transportées en d'autres endroits sans qu'un certain nombre d'entre elles eussent éprouvé des dégâts sensibles ; d'autres maisons au contraire furent violemment projetées en l'air avec leurs fondations, et détruites complètement. — Le tremblement de terre de Riobamba, en 1797, montra une pareille force de projection, car un grand nombre de cadavres d'indigènes furent lancés sur une colline de plusieurs centaines de pieds de hauteur qui est située de l'autre côté de la rivière de Lican.

2^o MOUVEMENTS ONDULATOIRES. La surface de la terre semble s'élever et s'abaisser régulièrement pendant que le mouvement se propage dans une direction déterminée. Pendant les forts tremblements de cette catégorie, la terre semble avoir perdu sa solidité et ressemble à un liquide en mouvement. Le mouvement ondulatoire ne se fait alors pas seulement sentir, comme si l'on était sur un bateau vacillant,

mais on peut quelquefois véritablement voir les mouvements du sol.

Dans les tremblements de terre violents c'est la forme ondulatoire qui se fait sentir le plus souvent et qui s'étend le plus loin. Dans certains cas, ces mouvements s'étendent sur des surfaces qui comprennent plusieurs centaines de lieues carrées. Souvent le tremblement de terre ondulatoire n'est que la conséquence d'une succussion, lorsque le choc produit par celle-ci se propage loin du siège primitif. Mais souvent aucun endroit précis n'est désigné comme ayant éprouvé une succussion, et comme servant de point de départ au tremblement, en sorte que l'on ne peut juger de l'approche du point central que par les mouvements ondulatoires plus ou moins prononcés.

Les mouvements ondulatoires sont moins redoutables dans les forts tremblements de terre que les succussions. Ce n'est que quand ils atteignent un degré de violence extraordinaire que leurs effets sont quelquefois terribles.

Les tremblements successifs qu'éprouva l'Etna pendant une petite éruption, le 2 septembre 1852, firent naître sur le géologue Gemellaro et sur son guide, qui se trouvaient en ce moment dans le Val del Bove, tous les symptômes du mal de mer. — Lors du tremblement de terre d'Ardebil, au mois d'octobre 1848, le sol resta pendant une heure soumis à des mouvements ondulatoires, et lors du célèbre tremblement de Caracas, le 26 mars 1812, le mouvement ondulatoire était si marqué, que le sol ressemblait à un liquide en ébullition. Des observations tout à fait récentes prouvent que ces récits ne sont point exagérés et que des mouvements aussi violents ne sont pas très-rares, quoiqu'ils nous paraissent tout à fait incompatibles avec l'idée que nous nous faisons ordinairement de la solidité de la terre. En avril 1871, la terre de Batlang, en Chine, éprouva un violent tremblement de terre. A des succussions violentes qui se firent sentir de temps en temps pendant plusieurs jours, succédèrent des mouvements si considérables que le sol ressemblait à un vaisseau ballotté par les vagues. Pendant la même année il y eut à l'Albay une éruption qui fut accompagnée d'un tremblement de terre si violent, que le 2 décembre, à 6 heures du soir, le sol des environs de Cotto-Cato ondulait comme les vagues de la mer.

La transmission du mouvement ondulatoire se voit quelquefois très-bien aux arbres. Dolomieu rapporte que l'on vit, en 1783, pendant le tremblement de terre de la Calabre, des

arbres s'incliner si profondément, lorsqu'une ondulation passait, que leur sommet touchait le sol. On observa de même, pendant le tremblement de terre du Missouri, en 1811, que les arbres s'inclinaient d'abord, puis se redressaient à chaque passage d'une ondulation.

L'effet produit par les tremblements de terre ondulatoires sur les objets situés à la surface de la terre ne répond pas uniquement à la force des mouvements, mais aussi à la position qu'occupent ces objets relativement à la direction de ces mouvements. Lorsque l'objet se trouve dans la direction que suit le mouvement ondulatoire, il est soulevé d'abord par l'onde, puis abaissé lentement et également comme si c'était un corps flottant. Dans ces cas il arrive fréquemment que des tremblements de terre assez violents ne produisent que peu de dommages. Mais si la situation du corps ne correspond point à la marche du tremblement, alors ses diverses parties ne sont pas atteintes en même temps ni également par le mouvement, et il est alors facilement déchiré et brisé même par des tremblements de terre dont la force n'est pas extraordinaire.

Un fait, arrivé pendant le tremblement de terre de 1851, à l'arsenal de l'île Majorque, nous indique très-bien l'effet d'un mouvement ondulatoire sur des objets se trouvant dans des directions diverses relativement à la direction du mouvement. Il y avait dans cet arsenal des séries de fusils appuyés contre les murailles, et, au début du tremblement de terre, qui se dirigeait de l'ouest à l'est, les fusils appuyés contre la muraille est restèrent debout, tandis que ceux qui se trouvaient à l'ouest furent tous couchés très-régulièrement à terre, la bouche du canon tournée à l'est. Les fusils appuyés contre les murailles nord et sud furent aussi renversés mais irrégulièrement et s'entassèrent en s'entrecroisant dans tous les sens.

3° MOUVEMENTS ROTATOIRES. — Parmi les mouvements divers qui agitent le sol pendant les tremblements de terre on a parfois cité le *mouvement rotatoire*. On admet, par conséquent, que la surface de la terre est soumise dans ces cas à un mouvement circulaire. Mais on n'a jamais pu observer réellement des mouvements de ce genre et l'on ne s'est cru autorisé à les admettre que d'après les effets produits par certains tremblements de terre.

Ces effets indiquent une puissance de destruction considérable, et les objets renversés et détruits sont irrégulièrement dispersés et mélangés entre eux : ils semblent tous avoir été

projetés par un violent tourbillon. On avait encore d'autres motifs pour admettre le mouvement rotatoire dans certains tremblements, entre autres ce fait bien connu, qui s'est passé pendant le tremblement de terre de Cosenza.

Devant le couvent de Saint-Bruno, dans la ville de San-Stefano, se trouvaient deux obélisques quadrangulaires. Pendant le tremblement de terre de 1782, ces deux obélisques ne furent pas complètement brisés, mais les différentes parties qui les composaient furent déplacées de telle façon qu'elles paraissent

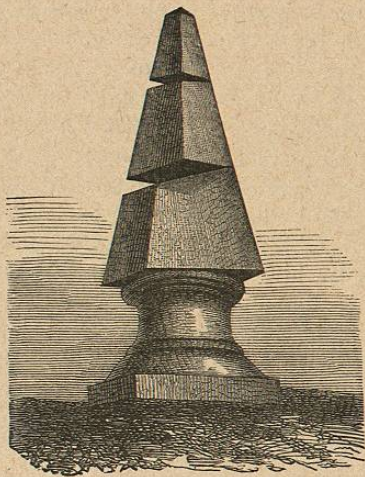


Fig. 28. — Obélisque de San-Stefano.

saient avoir tourné sur leurs axes; les arêtes et les angles de la partie supérieure proéminaient sur les faces de la partie inférieure. On dit aussi qu'après le tremblement de terre de Majorque, en 1851, la partie inférieure d'une tour s'était déplacée de 60 degrés dans le sens horizontal tandis que la partie supérieure avait conservé sa position primitive.

Mais ces effets ne nous obligent en aucune façon à admettre des tremblements de terre rotatoires tant qu'on n'aura pas pu les observer directement. Ils prouvent seulement que le sol a été soumis à des mouvements très-irréguliers. Lorsque plusieurs commotions puissantes et des mouvements ondulatoires se suivent rapidement sur le même point, ou lorsque des mouvements ondulatoires de directions différentes passent au même endroit, il est évident que les restes des objets détruits seront jetés pêle-mêle dans toutes les directions, comme ce serait le

cas pour les mouvements rotatoires. Des effets semblables à ceux qui se sont produits sur les obélisques de San-Stefano, ne peuvent même pas être attribués à des mouvements rotatoires, car ces mouvements les eussent détruits complètement, tandis qu'ils s'expliquent très-bien par des mouvements de succussion. On peut obtenir des effets tout à fait semblables, lorsque l'on place plusieurs pierres les unes sur les autres sans les relier intimement et qu'on ébranle alors cette pile par des chocs successifs appliqués à sa base.

Un fait très-remarquable et très-curieux, c'est que, dans certains tremblements de terre, l'on ne ressent les mouvements qu'à la surface du sol, tandis qu'à une profondeur médiocre on les ressent à peine ou pas du tout. Des tremblements de terre très-violents et qui avaient produit des dévastations formidables à la surface du sol, passèrent quelquefois inaperçus dans les mines situées au-dessous de la contrée ébranlée. Ces observations ne sont point isolées et on en a fait de semblables encore tout récemment.

Dans la partie sud-est de la Californie il y eut un violent tremblement de terre le 17 mars 1872. Il affecta surtout le district minier de Lone-Pine. La petite ville qui s'y trouvait fut totalement détruite, à l'exception des maisons en bois; le sol fut largement crevassé et l'écoulement des eaux fut entravé par les changements qu'éprouva le sol. Il y eut plus de cent secousses et les ouvriers qui travaillaient dans les mines n'en ressentirent pas même les plus violentes.

Les mouvements du sol ne se propagent donc pas toujours avec la même violence à de grandes profondeurs: ils se bornent à la surface, et souvent ils passent presque inaperçus, même à des profondeurs médiocres.

On a inventé divers instruments nommés seismographes, pour signaler les tremblements de terre faibles et pour reconnaître la direction et la propagation de leurs mouvements. Ces instruments peuvent être très-simples de forme, lorsqu'on veut se contenter d'observations superficielles. On prend une jarre pleine d'eau dont on saupoudre la surface avec du son: le plus léger mouvement fait vaciller l'eau, qui vient frapper les bords du vase où des particules de son se fixent et indiquent par conséquent la direction dans laquelle la surface de l'eau s'est inclinée, ou la direction dans laquelle l'ébranlement terrestre s'est propagé.

Un autre appareil tout aussi simple consiste en un long fil à plomb, dont le poids se termine en pointe effilée: cette

pointe touche une surface plane de sable fin, contenu dans un vase placé au-dessous du poids. Dès qu'un ébranlement se fait sentir, le fil à plomb se met en oscillation et sa pointe trace sur le sable un sillon qui indique la direction des oscillations, et par conséquent la direction dans laquelle les mouvements du sol se sont propagés.

On possède actuellement des instruments bien plus délicats et aussi plus compliqués, parmi lesquels on remarque surtout un instrument électro-magnétique employé à l'observation du Vésuve. Cet instrument indique les ébranlements les plus faibles, l'heure de leur apparition, la direction dans laquelle ils se propagent et même leur énergie. Jusqu'ici cependant les observations de ce genre restent isolées, d'abord parce que les tremblements de terre sont si rares dans nos contrées que les résultats obtenus ne seraient point en relation avec le prix d'instruments aussi chers, ensuite parce que les pays où les tremblements de terre sont fréquents, sont ordinairement très-éloignés de nous.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE ET EXTENSIONS DES TREMBLEMENTS DE TERRE.

L'expérience nous apprend que des tremblements de terre peuvent se faire sentir partout : aucune contrée n'en est complètement garantie et il n'existe point de terrain géologique qui les exclue tout à fait.

Faisons d'abord abstraction des volcans actifs et des contrées avoisinantes et nous verrons que ce ne sont point les terrains volcaniques ni les terrains cristallins massifs, comme le granite, le porphyre, etc., qui sont le plus fréquemment visités par les tremblements de terre ainsi qu'on le croyait autrefois ; ce sont, au contraire, le plus souvent, les terrains stratifiés ordinaires, les calcaires et les grès, ou des terrains meubles composés de gravier et d'éboulis.

En Allemagne ce ne sont pas les nombreux basaltes anciens ni les trachytes qui sont le plus fréquemment ébranlés, ni les contrées où l'on rencontre de véritables volcans éteints ; les tremblements de terre les plus violents et les plus durables ont au contraire remué plus fréquemment, dans les temps récents, les anciennes formations sédimentaires du Rhin inférieur, les couches de diluvium du Rhin moyen ainsi que celles de l'Odenwald qui en sont voisines, enfin et surtout les contrées alpines. De l'année 1865, à laquelle se rapporte le commencement de

mes notes statistiques, jusqu'à l'année 1873 inclusivement, il y eut 74 tremblements de terre dans les Alpes allemandes. La plupart d'entre eux se firent dans les chaînes latérales du nord et du sud, où l'on rencontre principalement du calcaire et d'autres couches sédimentaires. Pendant toute cette période, la chaîne principale et centrale, qui est composée de granite, de gneiss, ou de schiste micacé, ne subit aucune secousse ; quelquefois seulement des tremblements de terre dont l'origine était dans les montagnes calcaires ou même au delà des Alpes envoyaient, pour ainsi dire, leurs derniers et faibles tressaillements jusqu'aux Alpes centrales. Les vrais centres d'origine des tremblements de terre, d'où partaient de nombreuses secousses, étaient, pendant cette période : la rive méridionale du lac de Garde, où les chocs se succédèrent depuis le mois de mai 1866 jusqu'au mois de mars 1870 ; l'Innthal inférieur avec Kundl ; Landstrass en Krainé ; Bleiberg en Carinthie ; Glurns en Vintschgau ; Laibach et la contrée voisine de Belluno, où les tremblements de terre de 1873 produisirent des dévastations considérables dans toute la région des Alpes vénitiennes.

Les points d'où partent les tremblements de terre n'ont qu'une petite étendue ; mais, comme le mouvement commencé se propage à travers la masse solide du sol, les ébranlements s'étendent sur de grandes surfaces. L'extension du cercle d'ébranlement ne dépend pas seulement de la violence du mouvement primitif, car souvent des tremblements de terre assez violents sont bornés à un petit espace, tandis que des mouvements légers du sol s'étendent à de grandes surfaces ; cette extension dépend, au contraire, de la composition du sol de la contrée atteinte.

La nature des roches et la structure géologique d'un pays ont la plus grande influence sur ces phénomènes. Il est facile de comprendre que l'ébranlement s'étend de tous côtés et également, lorsque les roches sont denses et solides, et qu'il ne s'affaiblit que graduellement par la distance ; dans ces cas l'extension dépend évidemment de la force de l'ébranlement primitif. Dans les masses meubles au contraire, la force de l'ébranlement se perd très-rapidement.

Lorsqu'une contrée est composée de roches de dureté et de densité différentes, et diversement groupées entre elles, le mouvement s'affaiblira chaque fois qu'il passera d'une roche à l'autre et cet affaiblissement sera plus ou moins rapide selon la nature des roches. Ce mouvement pourra donc être ressenti avec plus ou moins d'intensité dans diverses directions et se