

LA CAUSE DES TREMBLEMENTS DE TERRE.

Par M. DAUBRÉE, Membre l'Institut de France.

Quelque 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, et dont nous sommes séparés par un revêtement de roches d'une épaisseur très considérable. Aussi, est-ce surtout à l'occasion de ce mode de réaction de l'intérieur du globe sur son écorce que l'on reconnaît combien l'esprit humain reste impuissant dans l'étude de la nature, lorsqu'il ne peut s'appuyer sur l'observation directe des faits.

Ainsi s'expliquent la diversité des hypothèses qui récemment encore ont été émises sur les tremblements de terre et la bizarrerie de quelques-unes d'entre elles. Ils ont été attribués, soit à des orages électriques souterrains, soit à l'influence du soleil qui gouvernerait le régime des parties internes des planètes aussi bien que les mouvements de leur atmosphère et le parcours de leur orbite : les ébranlements seraient dus à des poussées qu'exerceraient contre la croûte terrestre les masses liquides ou pâteuses qui la supportent. Ces réactions seraient du même genre et causées par les mêmes forces que celles qui produisent le flux et le reflux de la mer. On a cherché aussi la cause de ces sortes de marées intérieures dans l'influence d'avènements d'astéroïdes ou dans celle de conjonctions et d'oppositions de planètes, d'où résulterait, dans ce dernier cas, la prétention de prédire l'arrivée de ces actions intestines. On a tenté aussi de trouver un lien entre la production des secousses et des

baisses considérables et rapides du baromètre, qui provoqueraient l'expansion des gaz souterrains.

Des écroulemens de massifs de roches se produisant dans de vastes cavités intérieures, ont été considérés comme devant donner naissance à des secousses qui se propageraient jusqu'à la surface, à la manière des tremblemens de terre. Il n'est pas douteux que des effondremens ne puissent, en effet, causer l'ébranlement du sol. Le fait se manifeste clairement, lorsque les vides intérieurs laissés par l'exploitation des mines de houille provoquent des tassemens subits : mais ces explications, qui paraissent s'appliquer dans différens cas, ne peuvent certainement pas rendre compte des tremblemens de terre les plus habituels, les seuls dont il soit question ici, sans que nous prétendions assigner une origine unique à toutes les secousses du sol.

Des études nombreuses et exactes, en faisant clairement ressortir les relations des tremblemens de terre avec la structure intime des contrées qui les subissent, permettent de mieux en comprendre les causes organiques.

Un fait fondamental ressort de nombreuses et patientes statistiques ; c'est l'inégalité frappante que présente la distribution géographique des tremblemens de terre. Il y a de vastes régions qui n'en ressentent que très rarement et que très faiblement, tandis que d'autres éprouvent des agitations fréquentes et par fois très violentes. Un simple coup d'œil jeté sur une mappemonde où l'on a représenté, par des notations synoptiques, les résultats du dépouillement des observations, comme l'a fait Robert Mallet, met immédiatement en évidence, souvent dans des régions très voisines, des contrastes essentiellement caractéristiques.

La France, dans sa plus grande étendue, nous représente un type de ces contrées dont le sol est comparativement tranquille. C'est un privilège physique à ajouter à d'autres que valent à ce pays la configuration de son relief, le développement et le dessin du littoral des mers qui le baignent, et son

climat si heureusement tempéré. Toutefois les tremblemens de terre n'y sont pas rares, surtout dans les Pyrénées, dans la région des Alpes et une partie du bassin du Rhône. On en a compté, comme moyenne annuelle, six ou sept, chiffre qui est sans doute bien au-dessous de la réalité. Il est rare que, dans ces circonstances, des maisons s'écroulent ou soient même avariées. On observe seulement, ainsi qu'il est arrivé lors du tremblement de terre ressenti dans beaucoup de nos départemens, le 14 septembre 1866, un tintement de sonnettes, des pendules dont le mouvement s'arrête, des portes secouées comme par une main qui tenterait de les ouvrir, des meubles agités, des craquemens de cloisons légères, rarement des personnes renversées, enfin un bruit sourd comme un roulement; encore ces manifestations ne sont-elles pas perçues du plus grand nombre des habitans. La Belgique, la Hollande, le nord de l'Allemagne, la plus grande partie de la Russie, à part le Caucase, et la Sibérie, excepté la région du lac Baïkal, peuvent également être considérés comme se trouvant dans des conditions de calme relatif. Toutefois, même dans ces pays les plus tranquilles, il est peu de localités où l'on n'ait pas conservé le souvenir de quelques secousses souterraines.

Ce qu'il importe de signaler, ce n'est pas tant la disposition géographique des contrées le plus souvent secouées que la constitution même de l'écorce terrestre qui correspond à ces ébranlemens.

Pour beaucoup d'entre elles, une coïncidence significative apparaît, sans qu'il soit nécessaire d'une étude approfondie : c'est la présence de volcans actifs.

Dans l'Amérique méridionale, diverses parties de la bande relativement étroite qui est comprise entre les Andes et le Grand-Océan offrent un exemple frappant de cette association de volcans avec un sol fréquemment agité, particulièrement en Colombie, dans la république de l'Équateur et au Chili. Les conditions sont toutes différentes à l'est de la Cordillère où de vastes contrées, comme le Brésil, ne connaissent pas les

tremblements de terre. Plus au nord, dans l'isthme qui réunit les deux continens, il existe des pays où les secousses sont si fréquentes que l'un d'eux a reçu le nom de "Cuscutlan," que veux dire hamac ; le seul état de Nicaragua compte vingt-quatre volcans.

De l'autre côté du Grand-Océan, le long des côtes de l'Asie, se trouvent de nombreux pays très tourmentés, également en rapport avec des volcans. Ils s'alignent suivant une zone longue d'environ 14,000 kilomètres, c'est-à-dire égale à plus du tiers de la circonférence du globe terrestre. Cette zone commence dans la baie de Bengale à île Barren, traverse Sumatra, Java, les Moluques, les Philippines, se relie, par l'île de Formose et les petits archipels voisins, au Japon, puis aux Kouriles, au Kamtchatka et se termine dans le nord de l'Amérique aux îles Aléoutiennes. Or, dans toute cette série de grandes îles et de péninsules, les volcans sont extrêmement nombreux et fort actifs.

La connexion entre les crises de tremblemens de terre et les crises volcaniques se révèle encore par des rapports autres que celui de leur répartition géographique. Elle se montre aussi par l'alternance que présente leur fonctionnement. On sait, en effet, que toute éruption volcanique est annoncée par des tremblemens précurseurs, dont la violence se calme quand une bouche volcanique vient à s'ouvrir et donne naissance à des torrens de vapeur d'eau. C'est après quatre-vingt-dix jours de secousses et de tonnerres souterrains que, le 29 septembre 1759, surgit tout à coup au Mexique, au milieu d'une plaine, le volcan de Jorullo, jusqu'à la hauteur de 510 mètres. L'éruption de l'Ararat, du 20 juin 1840, fut accompagnée d'un des plus forts tremblemens de terre qu'ait éprouvés l'Arménie. D'après l'intrépide ascensioniste M. Whympfer, l'éruption du Cotopaxi, du 9 mai 1877, a coïncidé avec un tremblement de terre très violent. Or la vapeur d'eau est la cause reconnue des éruptions volcaniques ; elle en est l'émanation à la fois la plus abondante et la plus constante dans

toutes les parties du globe. C'est elle qui fait jaillir, des régions profondes vers la surface, les laves qui, malgré leur haute température, la tiennent incorporée dans leur pâte ; de même que l'acide carbonique, dissous dans une eau gazeuse, emporte impétueusement le liquide hors de la bouteille qui le contient. C'est elle aussi qui lance violemment dans l'atmosphère d'abondantes matières solides, blocs, lapilli et cendres. Il est bien naturel d'admettre que la vapeur d'eau est également la cause des agitations qui accompagnent les crises volcaniques. Conformément à cette idée, déjà Kircher et Humboldt ont considéré les volcans comme des soupapes de sûreté contre les tremblemens de terre.

Mais ce n'est pas seulement à proximité des bouches volcaniques que les tremblemens de terre sont fréquens et violens. certaines contrées, où il ne se montre aucun volcan, sont ébranlées avec non moins d'énergie et de fréquence, et même sur de plus grandes étendues. Telle est, non loin de nous, la partie septentrionale du bassin de la Méditerranée. La Syrie, y compris la Palestine, l'Asie-Mineure, la Turquie d'Europe, la Grèce, ainsi que les archipels qui bordent ces trois derniers pays, les Sporades, les Cyclades et les îles Ioniennes, l'Italie, la Sicile, la partie méridionale de la péninsule ibérique et une partie de sa côte occidentale, aux environs de Lisbonne, ont présenté depuis les temps historiques des preuves de cette triste prédisposition. Dans chacun de ces pays, beaucoup de noms de provinces ou de localités, tels que ceux de la Calabre, d'Alep, d'Antioche, et, bien d'autres, reportent la mémoire vers de nombreux et désastreux tremblemens de terre. Sur le versant méridional du même bassin, l'Algérie présente ces caractères, mais à un degré beaucoup moins aigu. Shaw, au siècle dernier, signalait déjà ce pays comme fréquemment secoué et, depuis l'occupation française, il a continué à éprouver d'assez nombreuses commotions, entre autres celles qui, du 21 août au 14 octobre 1856, ont agité la province de Constantine,

surtout entre Bougie et Philippeville, et sous la mer, à 27 kilomètres de Djidjeli.

Tout d'abord, faisons observer qu'un premier caractère essentiel est commun à toutes ces contrées dépourvues de volcan et fréquemment ébranlées. Ce caractère est une dislocation des couches constitutives du sol, qui est révélée, le plus souvent, par le relief montagneux du pays. Pour montrer quelle induction on peut tirer de cette fracture, quelques développemens sont nécessaires.

Dans des pays entiers, les couches qui forment une partie notable de l'épaisseur de l'écorce terrestre, anciens sédimens de la mer, sont restées tout à fait ou presque horizontales, ainsi qu'elles avaient été déposées. C'est ce qu'on observe dans le nord de la France, pour des couches qui sont superposées les unes aux autres sur plus de 1,000 mètres d'épaisseur. Il ne s'agit pas seulement ici des dépôts les plus récents, dits tertiaires, mais aussi des couches plus anciennes, nommées crétacées et jurassiques, qui les supportent. Dans d'autres pays, au contraire, et sur des étendues considérables, les couches correspondantes sont redressées, ployées et contournées de diverses manières; elles ont subi ces dislocations sur des épaisseurs énormes, atteignant souvent plusieurs milliers de mètres. A chaque pas, dans les Alpes, par exemple, lorsqu'on se trouve en présence de ces escarpemens où la roche se montre à vif, l'œil le moins observateur est rendu attentif par la hardiesse des inflexions des couches, et l'esprit se reporte avec stupéfaction vers la grandeur des forces qui ont produit de tels effets; car il est hors de doute que toutes ces couches, qui furent jadis horizontales, ont été plus ou moins fortement dérangées de leur position première. Formées par dépôt à un niveau inférieur à celui de la mer actuelle, elles ont été portées dans le majestueux massif de la Jungfrau, par exemple, au-delà de 3,000 mètres de hauteur, bien au-dessus de la limite des glaciers. De tels redressemens et ploiemens n'ont pu s'opérer dans des masses solides, sans être accompagnées de

nombreuses et importantes fractures. Les principales, que l'on nomme failles, sont à peu près verticales. Elles affleurent et coupent la surface du sol parfois sur des dizaines et des centaines de kilomètres et dans le sens de la profondeur, elles sont indéfinies, c'est-à-dire qu'elles descendent au-delà des parties où il nous est possible de pénétrer. Lorsque ces failles se sont produites, leurs deux parois se sont respectivement déplacées et ont frotté énergiquement l'une contre l'autre : de vastes surfaces rocheuses se sont ainsi burinées, striées et polies, d'où leur nom de *méroir* en langage de mineurs.

Ce n'est pas seulement dans les chaînes de montagnes que de tels faits se manifestent. Il est des contrées qui ne présentent aujourd'hui que d'assez faibles prééminences et qui ont cependant éprouvé les mêmes actions, dans toute l'épaisseur de leurs couches constitutives. Nulle part, ce singulier désaccord n'est mieux mis en évidence que par les travaux de mines exécutés dans la longue bande de terrain houiller, recouverte et cachée par des couches plus récentes, qui s'étend du nord de la France à travers la Belgique jusqu'en Westphalie. Sur plusieurs milliers de mètres, les couches de grès de qui accompagnent la houille et celles de calcaire qui les supportent ont été soumises à des plissemens multiples auxquels on se refuserait de croire si d'innombrables plans de mines ne les figuraient avec une exactitude géométrique.

Il est donc évident que l'enveloppe solide du globe a éprouvé des dislocations à bien des époques de son histoire. Ces manifestations de forces gigantesques, enregistrées ainsi de la manière la plus claire et la plus éloquente, sont les effets d'anciens refoulemens et de pressions latérales ou horizontales. On dirait que l'écorce terrestre devenue trop grande le noyau qui la supporte, a dû, pour y rester appliquée, se contracter et se plisser sur elle-même. Ce sont ces plissemens et ces fractures qui ont donné lieu aux chaînes de montagnes.

D'un autre côté l'étude des tremblemens de terre, au points de vue géologique, a fait reconnaître que leurs centres d'impulsion sont en rapport avec de grandes lignes de fractures et de dislocation. Les bandes secondées s'allongent souvent parallèlement aux chaînes. Aux exemples de disposition linéaire qui ont été cités plus haut on peut ajouter celui du dernier tremblement de terre de l'Andalousie, dont le grand axe, d'après M. Fouqué est parallèle aux crêtes montagneuses du pays, en même temps qu'aux failles nombreuses qui les découpent. Il y a encore un point important à signaler : c'est dans les contrées où les montagnes ont acquis le plus récemment leur dernier relief que ces agitations souterraines sont surtout fréquentes. Aussi est-ce à ces mêmes actions mécaniques ou orogéniques, qui continueraient à travailler, que des géologues très distingués, notamment MM. Dana, Suess et Heim, ont en ces dernières années attribué la cause des tremblemens de terre dans les contrées non volcaniques. Si, en effet, les pressions latérales, dont nous venons de reconnaître l'existence certaine, et qui ont causé les anciens contournemens des couches, continuent à agir, l'écorce terrestre est soumise à des effets de tension qui, de temps à autre, doivent provoquer des ruptures d'équilibre, et par suite, des plissemens, des fractures avec déplacements et des effondremens. On conçoit que de telles actions ne puissent se produire sans des ébranlemens, qui se trahissent à la surface par de violentes secousses. Il se passait quelque chose d'analogue dans les expériences que j'ai faites pour imiter les ploiemens des couches, lorsque des inflexions graduelles amenaient tout à coup une fracture et un rejet.

Des circonstances semblables, dislocations et âge récent, se retrouvent dans bien des pays également soumis à des perturbations souterraines. Elles se montrent notamment dans cette partie du bassin de la Méditerranée qui a été signalée plus haut comme étant particulièrement agitée, quoique éloignée des volcans, dans la chaîne des Apennins, dans celle de

Liban et dans les massifs montagneux de la Dalmatie et de la Croatie qui bordent l'Adriatique. La configuration des côtes septentrionales de cette mer, si exceptionnellement déchiquetées et découpées par des anfractuosités profondes, résulte de la complexité des cassures qui en ont dessiné les traits principaux. La chaîne de Alpes elle-même, où des secousses sont ressenties à peu près chaque année, n'a acquis son dernier relief qu'à une époque relativement récente. On conçoit que dans de telles conditions, les masses intérieures ne soient pas encore équilibrées, ni complètement tassées, et qu'elles présentent des vides spacieux, favorables à des effondrements.

D'après l'opinion qui paraît dominer aujourd'hui, il y aurait donc au moins deux espèces de tremblemens de terre : ceux qui sont dus à des actions volcaniques et qui auraient pour moteur la vapeur d'eau, et ceux qui ne seraient que l'effet de ruptures d'équilibre dans les masses solides, comme on vient de le voir.

Mais l'esprit admet avec peine deux causes aussi différentes pour des phénomènes qui, à part quelques traits, présentent tant de ressemblance. La démarcation qu'on a tentée est bien difficile à établir. Sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud et dans le Venezuela, les tremblemens de terre offrent les mêmes manifestations, dans les parties qui ont en face d'elles une rangée de volcans et dans celles qui en sont dépourvues. D'ailleurs, la supposition que les tremblemens de terre seraient dus à la réaction de parties solides entre elles rencontre une objection sérieuse dans les répétitions si étonnantes de secousses pour une même crise. En effet, l'une des circonstances les plus caractéristiques des tremblemens de terre, c'est précisément cette répétition de secousses qui se poursuivent par centaines et par milliers, pendant des semaines et des mois entiers.

En présence de ces périodes d'ébranlemens, il semble bien

que la cause, au lieu de s'épuiser en quelques chocs immédiats, comme il arriverait dans la supposition où l'action de masses solides en serait la cause première, se régénère, après s'être momentanément atténuée. C'est là un fait essentiel et auquel toute solution proposée doit satisfaire.

Remarquons d'abord que l'eau renfermée dans un espace bien clos qu'elle remplit, lorsqu'elle est portée à une température suffisamment élevée, arrive à posséder une force qu'on se figure difficilement. Il suffit qu'elle atteigne une température d'environ 500 degrés, bien inférieure à celle des laves, pour que sa vapeur acquière, si elle reste emprisonnée, une force explosive comparable à celle des corps les plus fulminans. Les plus terribles explosions de chaudières ne peuvent en donner une idée. Ainsi, les tubes en fer forgé d'excellente qualité dont je me suis servi pour étudier l'action de l'eau surchauffée dans la formation des silicates, avaient un diamètre intérieur de 21 millimètres et une épaisseur de 11 millimètres. Ils faisaient quelquefois explosion et étaient projetés en l'air avec un bruit comparable à celui d'un coup de canon. Avant d'éclater, les tubes se bombaient sous forme d'une ampoule, et c'est au milieu de cette ampoule que s'ouvrait une déchirure. Si le fer n'avait point de défauts et qu'on estimât qu'il conserve vers 450 degrés, température à laquelle il était porté, la même ténacité qu'à froid, de telles déchirures supposeraient certainement une pression intérieure de plusieurs milliers d'atmosphères. Quelques centimètres cubes d'eau avaient suffi pour produire un tel effet ; et, d'après la petitesse des dimensions intérieures du tube, comparée au volume de cette eau, la vapeur devait atteindre les conditions de densité et de pression dont je viens de parler.

Dans la nature, la tension de la vapeur d'eau de réservoirs volcaniques révèle à chaque instant son énergie ; car celle qui force la lave à monter au cratère de l'Etna, à plus de 3,000

mètres audessus de la mer, ne peut être inférieure à 1,000 atmosphères.

Or toutes les conditions nécessaires pour arriver à de telles tensions ne doivent manquer de se réaliser dans l'écorce terrestre, à une certaine profondeur, en dehors du domaine des volcans proprement dits, et principalement sous les chaînes de montagnes et les régions disloquées.

En effet, d'une part, quelle que soit la constitution du sol, la température s'y accroît à mesure qu'on descend plus bas. Ce fait indiscutable a été reconnu dans toutes les parties du globe, au moyen des travaux de mines ou de forages. C'est un reste de la chaleur que notre planète a originairement possédée, suivant la grande conception émanée du génie de Descartes. Le taux d'accroissement, qui est en moyenne de 1 degré par 30 mètres, est parfois plus rapide, même en dehors des contrées volcaniques, ainsi qu'on l'a reconnu, par exemple, à Monte Massi, en Toscane.

D'autre part, l'eau tend à descendre sans cesse, par les actions conjointes de la pesanteur et de la capillarité. Les volcans, en apportent la preuve irréfutable. En ce qui concerne l'intervention de la capillarité pour l'alimentation en eau des masses profondes, j'ai montré par une expérience qu'à travers les pores de certaines roches, sa simple action force l'eau à pénétrer, malgré les contre-pressions intérieures très fortes, des régions superficielles et froides du globe jusqu'aux régions profondes et chaudes, où, à raison de la température, elle devient capable de produire de grands effets mécaniques et chimiques.

En somme, il est difficile de douter que des eaux de la surface ne parviennent jusqu'aux régions internes et qu'ensuite elles ne nous fassent ressentir sur quelques points, par des ébranlemens et par des mugissemens, la puissance et la force explosive qu'elles y acquièrent.

La profondeur à laquelle doit se trouver le foyer d'origine des tremblemens de terre a été l'objet d'études attentives. D'après les résultats obtenus, il faut reconnaître que ce siège n'est pas situé dans les parties centrales du globe. C'est d'ailleurs à cette conclusion que l'on est tout d'abord conduit, quand il s'agit de tremblement violens comme ceux de la Calabre, qui n'occupent à la surface que des places très restreintes. Dans le domaine des volcans, comme à Ischia, cette profondeur a été estimée de 9 à 15 kilomètres. Pour les pays non volcaniques, tels que l'Allemagne, elle a été évaluée dans divers cas à 18, 27 et 38 kilomètres. Cette distance qui est faible, relativement à la grandeur du rayon terrestre, suffit cependant pour qu'en vertu de la loi d'accroissement normal d'environ 3 degrés par 100 mètres, la température du rouge y règne déjà.

Sous les régions disloquées et principalement sous les chaînes de montagnes d'un âge relativement récent, le tassement définitif des parties profondes peut n'être pas établi: il doit rester des interstices et des cavités intérieures à haute température, qui à la longue se sont remplies d'eau par l'action de la capillarité. Ainsi, dans la profondeur des régions disloquées, nous trouvons les trois conditions que nous venons de mentionner: des cavités, de l'eau et une haute température, et par suite, un agent capable, à un moment donné, de produire les effets dynamiques les plus considérables.

Supposons un baril de poudre faisant explosion dans une cavité située à une centaine de mètres sous terre. A la surface, en même temps qu'on entendra une sourde explosion, on ressentira dans une place limitée une secousse verticale, et autour, sur une plus grande étendue, une secousse ondulatoire; chacun comparera ces phénomènes à un tremblement de terre. Toutefois, et voilà pourquoi nous citons cet exemple, il lui manquera le caractère essentiel sur lequel nous avons particulièrement insisté: la répétition. Ici, en effet, tout est fini

dans une seule secousse. Or, dans la plupart des tremblements de terre les secousses se succèdent, comme si la cause se régénérait.

Comment ces énormes tensions peuvent-elles aboutir à des chocs réitérés? On peut le concevoir de plusieurs manières, suivant l'hypothèse où nous sommes placé. Ainsi, dans l'une de ces cavités dont nous venons de parler, l'eau étant arrivée, avec le temps, à une température explosive, elle déplace brusquement quelques parois de sa prison. De là, une première secousse, suivie d'une expansion dans des crevasses ou des cavités voisines, qui possèdent moins de température et de tension. Puis, cette diminution de pression dans le foyer primitif ayant eu lieu, les parois qui avaient cédé reviennent sur elles-mêmes et reprennent leur première position, pour céder encore, lorsque le réservoir primitif aura réparé la tension perdue. En d'autres termes, les communications entre les cavités se rebouchent et doivent être débouchées plus tard par un nouvel effort. Cet écoulement, de cavités en cavités, qui, au lieu d'être continu, se fait par ruptures et soubresauts, pourra se reproduire un certain nombre de fois et continuer ainsi, jusqu'à épuisement du réservoir principal. Toutefois le mécanisme n'est pas détruit. Après avoir ainsi fonctionné, donné lieu à une période seismique, il pourra, pendant la période calme qui suivra, se recharger, par le phénomène d'alimentation dont on a parlé plus haut. C'est quelque chose d'analogue qui se passe dans les éruptions volcaniques, que separe le laps de temps nécessaire pour qu'une alimentation lente recharge leur appareil. En outre, sous l'effet des contractions de l'écorce terrestre que nous avons signalées comme la continuation de celles qui ont formé les chaînes de montagnes, des réservoirs d'eau peuvent être brusquement déplacés et amenés ainsi en contact avec des masses à haute température.

Si l'on admet au-dessous de l'écorce terrestre l'existence

d'une mer de matières fondues, on aurait des effets analogues, quand des roches hydratées viendraient, par suite de ruptures du plafond, à tomber dans ces masses ignées.

Ce qui contribue encore à appuyer l'hypothèse du rôle de la vapeur d'eau qui vient d'être présentée, ce sont les mugissements et tonnerres souterrains, qui persistent des mois entiers et même des années, sans être accompagnés de secousses. Il est difficile de concevoir d'autres causes que des condensations subites de vapeur ou un écoulement, par un orifice étroit, de masses gazeuses à très haute tension, comme il arrivait dans le tir des anciennes fusées à la Congrève.

Quant à la vapeur qui s'est échappée de sa prison, elle doit le plus souvent reprendre très vite l'état liquide, en raison de l'énorme détente qu'elle subit, avant d'atteindre la surface du sol. Elle a d'ailleurs à traverser des kilomètres de roches relativement froides, plus ou moins aquifères et fracturées à l'infini. Elle peut aussi contribuer à la production de certaines sources thermales. Enfin, il n'est pas sans exemple que, dans un tremblement de terre, éloigné de tout point volcanique, on ait vu jaillir de certaines crevasses, nonseulement des eaux chaudes, mais aussi des matières gazeuses.

Les effets manifestes d'explosions internes, dues à la production ou à la mise en mouvement subite d'une grande quantité de vapeur à pression surélevée, se montrent à l'époque actuelle et sans que l'événement soit des plus rares. De telles explosions sont exceptionnellement formidables dans la région de Java, et l'esprit se reporte naturellement vers celle qui, le 27 août 1883, bouleversa la région comprise entre cette île et Sumatra, engloutissant une partie de l'île de Krakatau avec ses montagnes.

A une époque plus éloignée de nous, la force des vapeurs intérieures a donné lieu à des cavités circulaires très remarquables, que l'on a nommés cratères d'explosion et qui sont

bien connues, par exemple en Auvergne, au lac Pavin et au lac de Tazenat, et dans le pays de l'Eifel, où les couches stratifiées ont été coupées nettement comme à l'emporte-pièce.

Ce dont sont capables, comme puissance mécanique, des matières gazeuses ainsi mises en mouvement pouvait être à peine soupçonné jusqu' à ces derniers temps, où l'on a vu les effets des corps explosifs de la famille du fulmicoton et de la dynamite. Les effets de l'air comprimé dans les fusils à vent, ou celui des gaz de la poudre dans les armes à feu, ont été singulièrement dépassés, depuis que l'on mesure des pressions de 6,000 atmosphères et au-delà. Avec de pareilles pressions, il suffit d'une très petite quantité de matière explosive pour donner lieu à des résultats dynamiques qui semblent hors de toute proportion avec la cause. Dans les expériences où j'ai eu occasion d'étudier les gaz à très haute pression pour expliquer l'action qu'un bolide arrivant avec une vitesse planétaire subit de la part de l'atmosphère qu'il refoule, on est surpris de voir la grande énergie de ces masses gazeuses. Elles gravent elles-mêmes profondément leurs mouvemens gyrotoires, comme avec un burin, dans les pièces d'acier qui leur sont opposées, et elles réduisent les parties extérieures de ces pièces en une poussière impalpable, lancée dans l'atmosphère, à la manière des cendres volcaniques.

C'est ainsi que la puissance motrice des gaz, dont nous voyons les effets gigantesques dans les protubérances du soleil, paraît être assez considérable dans l'intérieur du globe terrestre, pour expliquer tous les effets des tremblemens de terre comme ceux des volcans.

La constitution géologique reconnue comme spécialement en rapport avec les tremblemens de terre aurait donc pour effet de favoriser l'alimentation en eau des régions profondes et chaudes, et en même temps, de faciliter, par l'indépendance des vousoirs que les failles ont découpés, le mouvement que tend à leur imprimer l'expansion des vapeurs. Dans les pays

voisins d'une bouche volcanique, ces vapeurs parviennent à trouver leur issue. Dans les régions éloignées des volcans, elles sont plus gênées pour s'échapper, et cela explique l'étendue considérable sur laquelle les commotions se propagent, leur plus grande violence, et les efforts souvent réitérés que la nature doit faire avant d'arriver au rétablissement du repos.

En résumé, les tremblemens de terre des régions dépourvues de volcans paraissent dus aux effets d'un sorte d'éruption volcanique qui ne peut aboutir jusqu'à la surface, et semblent dépendre, aussi bien que ceux des régions volcaniques, d'une cause unique : la vapeur d'eau, animée de la puissance énorme qu'elle acquiert dans les profondeurs de la croûte terrestre.

De là cette autre conclusion que le moteur de ces ébranlemens formidables est toujours actif sous les pieds des habitans de nombreuses régions : contre le danger permanent qui les menace, les hommes ont du moins l'heureux remède de l'oubli.
