

agglomérant les sables à oolithes, les transforme en *calcaires oolithiques*. Quant à la zone située au large des récifs, il s'y dépose une *vase calcaire* blanche à grain impalpable.

Épaisseur des récifs. — D'après ce qui a été dit précédemment, aucun récif corallien ne devrait avoir plus d'une quarantaine de mètres d'épaisseur. Cependant il arrive quelquefois que ce chiffre soit notablement dépassé. Voici comment on peut s'en rendre compte¹ :

La plupart des récifs polynésiens ont pour base des cônes volcaniques sous-marins, rasés par les vagues juste à la hauteur qui convient à l'établissement des espèces coralligènes, et qui est aussi celle où cesse la puissance mécanique des lames. Au pied du *bord vivant* du récif, qui souvent est vertical, la sonde rencontre un talus escarpé, formé par un entassement de blocs calcaires, que les vagues de tempêtes ont détachés du couronnement du récif et jetés sur la pente raide du cône sous-jacent. Ce talus, cimenté à la longue en une masse solide, grâce à la chute de menus fragments dans les intervalles des blocs, peut fournir par sa crête une nouvelle plate-forme, propre à servir d'assiette à des coraux. De cette manière, le récif avancerait vers la pleine mer, reposant alors sur un soubassement formé de ses propres débris et dont rien, *a priori*, ne limite la hauteur. D'ailleurs, la croissance du récif étant plus rapide du côté de la pleine mer, le bord extérieur d'une construction corallienne pourra s'élever plus vite et dépasser seul le niveau de l'eau. Ainsi une ancienne plate-forme se transformera naturellement, avec le temps, en un récif annulaire ou atoll.

D'autres fois, au lieu de s'élever directement sur une plate-forme, volcanique ou non, le récif se développera au-dessus d'un banc calcaire, préalablement édifié par des foraminifères ou autres animaux; et les deux masses, en devenant compactes avec le temps, paraîtront n'en plus former qu'une seule.

En dehors de ces possibilités, l'accroissement en hauteur d'un récif est forcément interrompu dès que son couronnement atteint le niveau des mers moyennes, à moins qu'un affaissement du sol ne permette une nouvelle reprise du travail des coraux.

1. Voir les observations faites par M. J. Murray dans la croisière du *Challenger*.

CHAPITRE III

DYNAMIQUE TERRESTRE INTERNE

§ 1

PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES

Principe de la dynamique interne. — Le caractère commun de tous les agents extérieurs, c'est d'abord que leur action se partage en périodes, relativement courtes, de grande activité, séparées par des intervalles de repos, absolu ou relatif. C'est ensuite que tous tendent naturellement vers un état d'équilibre, dont l'établissement définitif réduirait à néant leur rôle dynamique. Par suite, au bout d'un temps plus ou moins long, les forces naturelles arriveraient partout au repos, si quelque cause n'intervenait périodiquement pour troubler les états d'équilibre acquis.

Cette cause existe et elle a son siège dans les profondeurs du globe terrestre. Comme la dynamique externe consistait dans l'action des fluides extérieurs sur l'écorce, le principe nouveau dont l'analyse va nous occuper est l'effort que cette même écorce subit par suite de l'existence de fluides intérieurs, effort qui a pour résultat de modifier l'assiette et le relief de la terre ferme, ravivant sans cesse l'activité, prête à s'endormir, des puissances externes. Enfin, de même que le principe des phénomènes extérieurs est la chaleur solaire, de même la source d'où dérivent les actions internes est l'*énergie calorifique* propre au globe terrestre. La manifestation la mieux caractérisée de cette énergie s'offrant à nous sous la forme des *phénomènes volcaniques*, c'est par là que nous aborderons l'examen.

Volcans. Éruptions. — Un *volcan* est un appareil par lequel la surface du globe est mise en communication, d'une manière continue ou intermittente, avec les matières fluides situées au-dessous de l'écorce.

Les volcans peuvent offrir des formes très variées; mais leur type le plus normal comporte une *cheminée*, ou canal d'ascension, qui vient déboucher, par une ouverture en forme de coupe ou *cratère*, au sommet d'une montagne conique. L'existence du foyer interne se traduit au sommet de la montagne par un dégagement de gaz, formant le *panache de fumée*, caractéristique des volcans actifs.

En temps ordinaire, le dégagement des fumées n'est accompagné que par d'insignifiantes explosions. Mais de temps à autre surviennent des *éruptions* violentes ou *paroxysmes* volcaniques. Tout d'abord, après quelques grondements préliminaires du sol, une colonne de vapeur d'eau s'élance verticalement avec une grande vitesse, jusqu'à une hauteur capable de dépasser *onze mille* mètres, entraînant avec elle des pierres et des cendres, qui retombent à droite et à gauche. Cette colonne est formée d'une rapide succession de nuages blancs, qui montent l'un après l'autre vers le ciel et dont chacun est le produit d'une explosion interne. A la suite de cette grande manifestation explosive, un courant de *lave*, c'est-à-dire de pierre fondue, s'échappe, soit par-dessus le bord du cratère, soit par une *fente* qui s'est ouverte sur les flancs du cône. Dans ce dernier cas, il se forme sur la fente plusieurs centres secondaires d'éruption, dont chacun projette, pendant quelques heures ou quelques jours, des cendres et des scories. L'accumulation de ces débris édifie des *cônes adventifs*, pouvant atteindre jusqu'à 300 mètres de hauteur.

Émission des laves. — Le fait capital des éruptions volcaniques est la sortie des *laves*. On appelle ainsi des coulées de matières fondues, de composition très variable, mais qui toutes sont formées de *silicates*, c'est-à-dire de substances analogues à celles qui constituent les laitiers de hauts fourneaux et les scories de forge. Ces coulées, en se refroidissant, donnent naissance à des roches solides.

Il y a des laves légères, riches en silice, et des laves lourdes, chargées d'éléments ferrugineux; quelques-unes sont très fluides et d'autres seulement pâteuses. Tantôt le refroidissement donne une roche compacte (*laves lithoïdes*) ou une roche vitreuse (*laves vitreuses, obsidiennes*), tout à fait analogue au verre à bouteilles; tantôt la lave solide est entièrement cristallisée ou montre des

cristaux nets qui se détachent sur une pâte compacte. D'autres fois elle est parsemée de cavités dues à l'échappement des gaz (*laves scoriacées, laves celluleuses, laves amygdaloïdes*).

Les laves vitreuses se solidifient à la manière des laitiers de forge, en replis ondulés (*laves cordées*), comme le montre la figure 13 (qui représente aussi un cône creux de scories, formé

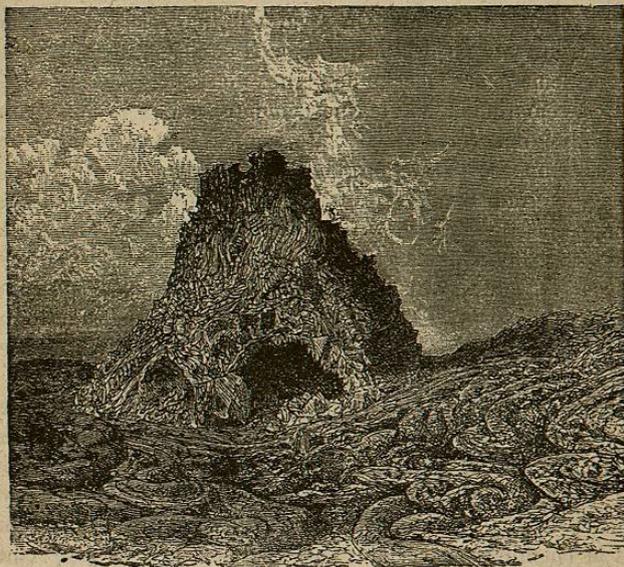


Fig. 13. — Laves cordées de l'île Bourbon, avec cône creux de scories.

par gonflement à la surface d'une coulée). Les laves peu fusibles se couvrent, dès leur arrivée à l'air, d'une croûte de scories incohérentes, qu'elles poussent devant elles en les heurtant les unes contre les autres, à mesure que le front de la coulée progresse, et qui donnent à la surface cet aspect raboteux et hérissé, si caractéristique des *cheires* d'Auvergne.

Vitesse, température et dimensions des coulées. — La vitesse de progression des coulées de lave est extrêmement variable. Tandis que les laves remarquablement fluides des îles Sandwich parcourent plusieurs mètres par seconde, la vitesse

des coulées du Vésuve varie ordinairement entre 2 mètres et 1 centimètre dans le même temps.

La température des laves liquides est considérable et dépasse certainement *mille degrés*. Cependant leur action calorifique ne s'étend pas au delà d'un rayon très restreint et il en est qui, débouchant dans un bois de sapins, se sont contentées de carboniser les troncs, en se moulant autour de l'écorce, dont elles conservaient l'empreinte. On a vu, à l'Etna, des laves couler, sans les fondre, par-dessus des champs de neige, dont les séparait seulement une couche de petites pierres et de cendres. Ce fait est remarquable et rien ne démontre mieux la faible conductibilité des roches que cette impuissance calorifique des laves, comparée à leur énorme température.

La plus grande coulée des temps modernes est celle qui s'est échappée en 1855 et 1856 du Mauna Loa aux îles Sandwich. Elle avait 100 kilomètres de long, 4800 mètres de largeur moyenne et, en certains points, jusqu'à 108 mètres d'épaisseur. Au Vésuve, la coulée de 1794 représentait plus de 23 millions de mètres cubes. A l'île Bourbon, on a observé des coulées de 68 et même de 86 millions de mètres cubes.

Relation des laves et des débris projetés. — Les pierres projetées par les volcans sont, ou bien des débris du cône terminal, plus ou moins démoli par chaque explosion partielle, ou des morceaux de la croûte de scories qui recouvrait la lave dans le cratère, ou des fragments de la lave visqueuse qui remplit la cheminée de certains volcans d'une sorte de pâte semi-fluide, ou enfin ce qu'on appelle improprement des *cendres*, qui ne sont autre chose que de la lave solidifiée dans un grand état de division. Dans ce dernier cas, c'est la vapeur d'eau qui, en faisant explosion à travers la masse fondue, la réduit en gouttelettes; celles-ci, rapidement solidifiées à l'air, prennent, si la lave est vitreuse, cet état particulier qui caractérise les gouttes de verre fondu, brusquement refroidies par immersion, et qui les prédispose à éclater en menus fragments esquilleux. Les dimensions minimales de ces fragments et la force prodigieuse avec laquelle ils sont projetés leur permettent d'arriver dans les hautes régions de l'atmosphère, où les courants les emportent et leur font parcourir des espaces considérables.

Avec les laves très chargées de silice, les explosions de vapeur donnent naissance à des projections de *Pierre ponce*, essentiellement poreuse et légère.

Formation des cratères. — Nous avons dit que la cheminée par laquelle ont lieu les projections principales et l'ascension des laves se termine ordinairement par un *cratère*. C'est une ouverture à peu près circulaire, qui, en général, tronque le cône de débris construit par le volcan lui-même à l'aide des matériaux rejetés. Ces matériaux, en effet, retombant autour de l'ouverture, y font naître une montagne conique,

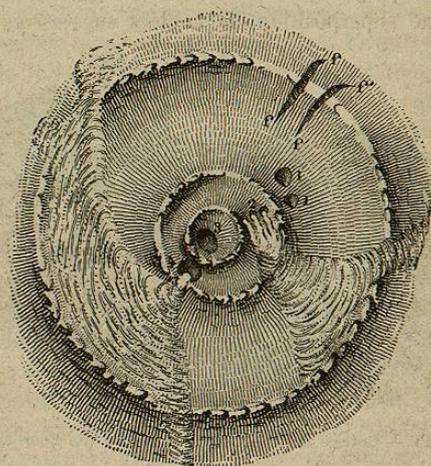


Fig. 14. — Le cratère du Vésuve en 1867. — *ff, ff*, grandes fissures; 1, 1, bouches inactives; 2, 3, 4, bouches en activité.

ordinairement très régulière, constituée de couches successives inclinées en moyenne de 35 à 45 degrés, et incessamment remaniée, au moins à son sommet, lors des paroxysmes. Ainsi le cône du Vésuve est tantôt terminé par un véritable abîme cratériforme, de 700 mètres de diamètre avec une centaine de mètres de profondeur, au fond duquel la croûte qui recouvre la lave laisse s'élever des cônes secondaires, tantôt rempli jusqu'au bord, comme en 1867 (fig. 14), par de la lave disparaissant sous une couche de scories, d'où s'échappent par plusieurs ouver-

tures des coulées débordant par-dessus le cratère. Parfois on vu le sommet de l'ancien cratère, absolument rempli, servir de base à un plus petit cône et même à deux cônes emboîtés l'un dans l'autre.

Le cratère terminal de l'Etna, également très variable, a été quelquefois entièrement démoli par une explosion, pour être reconstruit, tantôt simple, tantôt double, par les éruptions suivantes.

Quand le débordement des laves est le fait habituel, comme à l'île Bourbon, le cratère, au lieu de s'ouvrir au sommet d'un cône de débris projetés, est une ouverture qui s'est maintenue à travers une superposition de coulées successives (fig. 15),

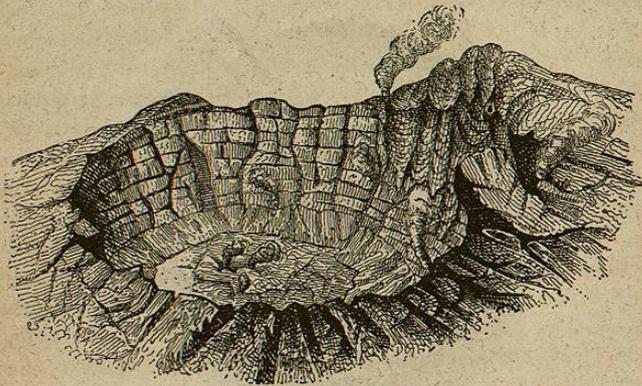


Fig. 15. — Cratère du Piton de la Fournaise (île Bourbon).

dont les tranches apparaissent sur les parois de la cavité. Au fond bouillonne la lave, qui peut s'élever en temps d'éruption jusque par-dessus les bords, et dont les coulées visqueuses retombent et se figent en partie sur les parois intérieures, en forme de stalactites simulant des draperies.

Certains volcans ne rejettent jamais que des laves et en construisent à la longue des montagnes de très grande hauteur, mais à faible pente, comme le Mauna Loa et le Mauna Kea des îles Sandwich, qui s'élèvent à plus de 4200 mètres.

Fragilité des cônes de débris. — Les cônes de débris, quand ils ne sont pas consolidés par l'injection ultérieure de laves,

restent dépourvus de cohésion et sont menacés de disparaître plus ou moins vite sous l'effort des agents atmosphériques, la pluie ayant beau jeu, malgré leur perméabilité, pour y creuser des rigoles dans tous les sens. Aussi dans les pays tropicaux, comme à Java, voit-on les cônes des volcans inactifs se ruiner peu à peu par ravinement. Cependant cette destruction ne marche pas en général avec une grande rapidité, comme en témoigne la fraîcheur de la plupart des cônes de la chaîne du Puy-de-Dôme, en Auvergne, dont la formation a précédé les temps historiques.

Mais s'il s'agit de volcans situés en mer, les vagues peuvent les disperser en quelques semaines. C'est ce qui est arrivé en 1831, à l'île Julia, qui avait pris naissance subitement, par projection de débris, au sein de la Méditerranée. Si l'île Saint-Paul, dans l'océan Indien, a mieux résisté, bien que la mer ait libre accès dans son cratère inactif, c'est que les laves ont pris une grande part à sa formation. Bon nombre de cônes de débris ont été ainsi rasés par les vagues dans l'océan Pacifique et se sont changés en plates-formes sous-marines, propres à servir d'assiette aux constructions coralliennes.

Formation des montagnes volcaniques. Tufs. — A force de se répandre autour de l'ouverture, les coulées successives, mêlées aux débris projetés par la cheminée centrale et par les cônes adventifs, exhaussent peu à peu le massif. Il en résulte à la longue des montagnes considérables, comme les volcans du Kamtschatka et du Japon, hauts de plus de 4000 mètres, ou comme l'Etna, qui dépasse 3300 mètres.

Cette dernière montagne offre une *gibbosité* principale, constituée par un enchevêtrement de laves et de débris en couches, que domine le cône terminal, haut d'environ 300 mètres.

Par suite de leur peu de consistance, les cônes de débris, ébranlés par les explosions, se fendent facilement sous l'effort de la lave en pression dans la cheminée et la matière fondue tend le plus souvent à s'échapper latéralement. C'est donc à la base du cône de débris que doit se former, par l'accumulation des coulées, un massif de moindre pente, tel que la gibbosité de l'Etna.

En outre, les pluies abondantes dont la chute accompagne

les éruptions entraînent, sous forme de *déluges de boue*, des cendres et des pierres, et le tout s'agglomère au pied de la montagne en donnant naissance à des *tufs volcaniques*. Ce sont des formations qui participent, à la fois, des roches éruptives par leur nature et des terrains sédimentaires par leur mode de dépôt. Des tufs se forment encore, et avec une stratification plus parfaite, quand les débris projetés sont venus tomber dans un lac ou dans la mer. Tel est le cas des *tufs sous-marins* avec coquilles des environs de Naples, de certains *tufs ponceux* et de beaucoup de *cinérites* ou amas stratifiés de cendres, grises ou blanches, avec ou sans empreintes végétales.

De cette manière, un volcan normal doit offrir : 1° au pied, une pente très faible, formée de tufs ; 2° au milieu, un bombement plus accentué, où dominent les laves ; 3° au sommet, la pente raide et régulière du cône terminal de débris.

Modes divers d'épanchement des laves. — Les laves offrent deux manières d'être distinctes : dans la première, elles ont coulé à l'air libre, soit par déversement, soit par une fente, et alors elles forment des *nappes* plus ou moins larges, d'une épaisseur assez uniforme, compactes à la base, celluluses ou scoriacées en haut. Ces coulées ont en général une inclinaison faible ; cependant on a vu des laves couler et se solidifier sans irrégularités sur des pentes supérieures à 30 degrés. Dans le second mode, les laves, après avoir commencé par s'élever dans la cheminée, ont fini par y acquérir une pression considérable, qui a suffi pour les *injecter* dans les fissures du cône ou même dans celles du terrain qui porte ce dernier. Ce cas est fréquent à l'Etna, où l'on voit des fentes remplies par de véritables *filons* de lave, souvent verticaux et qui demeurent en saillie sur les escarpements (c'est ce qu'on appelle des *dykes*), lorsque l'érosion a fait disparaître en partie les matériaux meubles au milieu desquels la lave s'était introduite. Mais les fentes d'injection ou d'*intrusion* ne sont pas nécessairement verticales et il peut très bien arriver que la cheminée centrale ayant été remplie par une haute colonne de lave, la matière liquide trouve à s'échapper *entre deux couches de débris*, en partageant leur inclinaison. Alors la lave injectée se consolide sous la forme d'une nappe, qui semble avoir coulé librement sur la pente

même du cône, mais qui reste compacte dans toute sa masse à cause de la pression sous laquelle s'est opérée sa solidification.

Enfin les volcans à débordement de lave dont le cône a une très forte pente, comme le Cotopaxi, donnent naissance à des coulées *discontinues*. La lave, descendant avec une trop grande vitesse pour pouvoir se concentrer en un courant défini, se solidifie par portions et on la retrouve, au pied du cône, à l'état de trainées de gros blocs.

Un mode particulier d'émission de laves est offert par certains volcans, tels que celui de Santorin, dans l'Archipel grec. Les explosions et les coulées, d'ailleurs très intermittentes, y ont toujours été précédées par une période d'*intumescence*, se traduisant par l'apparition, au milieu de la baie de Santorin, d'îlots formés par des blocs à demi incandescents d'une lave visqueuse, très siliceuse. On doit admettre que, vu la faible fusibilité de la lave, sa solidification se fait à moitié dans la cheminée, où elle forme une sorte de tampon de matière pâteuse. A chaque éruption, l'effort des gaz intérieurs doit soulever ce tampon comme une ampoule, avant de s'y ouvrir un chemin qui permette les projections violentes de scories et de cendres ainsi que les vraies coulées de lave.

Modes divers de l'activité volcanique. — L'activité des volcans comporte des manifestations très diverses. La plus habituelle consiste dans une succession irrégulière de paroxysmes, séparés par des périodes de repos, et d'autant plus violents, en général, que ces intervalles ont été plus longs. Ainsi les deux plus fortes éruptions du Vésuve furent celle de 79, où périt Pline et qui était la première révélation du volcan depuis les temps historiques ; ensuite celle de 1631, précédée par plusieurs siècles d'inaction.

Il y a aussi des volcans en éruption constante, comme le Stromboli, mais où les explosions et les épanchements de lave ne dépassent jamais un certain degré d'intensité, si bien que cet état d'activité modérée, mais permanente, a pu être qualifié de *mode strombolien*. Aux îles Sandwich, la lave ne cesse de bouillonner dans la chaudière de Kilauea, bien que celle-ci se vide parfois pour un moment et que son niveau

subisse de grandes oscillations. Mais les projections et les explosions font absolument défaut. Au contraire, à Java et dans les îles voisines, il n'y a pas d'émissions de lave liquide; mais les projections sont d'une extrême violence. L'explosion du Temboro, en 1825, a couvert, dans un rayon de 500 kilomètres, la région avoisinante d'une masse de débris évaluée à plusieurs centaines de kilomètres cubes. Celle de Krakatoa, survenue en 1883, a projeté en deux jours dix-huit kilomètres cubes, et l'effondrement qui en a été la conséquence a fait naître dans la mer une immense vague de 15 à 25 mètres de hauteur, pénétrant sur les côtes de Sumatra et de Java jusqu'à trois kilomètres dans l'intérieur des terres et causant la mort de trente à quarante mille habitants.

Cratères d'explosion et d'effondrement. — Ces explosions extraordinaires rendent facilement compte d'une structure propre à certains volcans et qui

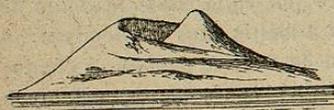


Fig. 16. — Le Vésuve et la Somma.

consiste dans l'existence d'une sorte de rempart circulaire plus ou moins complet, entourant à quelque distance le cône principal. Le type de ces remparts est réalisé, au Vésuve par la Somma (fig. 16), à l'île Bourbon par l'Enclos du Piton Bory (fig. 17), aux îles Canaries par la célèbre chaudière ou *Caldeira* de Palma.

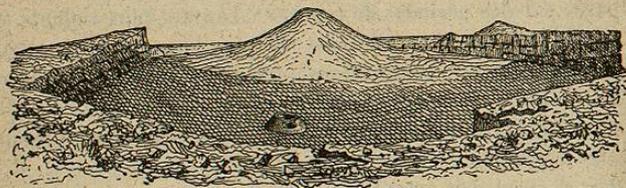


Fig. 17. — L'Enclos et le Piton Bory.

De telles ouvertures doivent être considérées comme le résultat d'explosions gigantesques, parfois accompagnées d'effondrements, ayant fait sauter comme à la mine le sommet d'un ancien volcan, plus grand que le cône actuel, lequel a été ulté-

rieurement édifié par les projections au milieu de l'ouverture béante. Cette explication pourrait convenir à la formation du grand cirque de Santorin. C'est aussi par explosion que paraissent avoir pris naissance les célèbres *cratères-lacs* ou *maare* de l'Eifel, la cavité du lac Pavin en Auvergne, peut-être enfin les lacs d'Albano et de Nemi, dans le Latium. Pour quelques-unes de ces cavités, le fait de l'explosion n'est pas douteux; car elles sont ouvertes au milieu de terrains qui n'ont rien de volcanique et l'on trouve disséminées sur leurs bords quelques scories, parfois des pierres vitrifiées provenant du terrain sous-jacent. Il est donc évident qu'elles ont pris naissance à la suite d'explosions et qu'on peut les regarder comme des volcans avortés, où la projection des gaz et des pierres n'a pas été suivie par l'émission de laves.

D'autres fois, des cavités arrondies se seront produites par simple effondrement, une coulée de lave s'étant solidifiée au-dessus d'un terrain peu cohérent, qui s'est écroulé plus tard; ou bien encore, comme aux îles Sandwich, une lave très chaude, injectée à travers les fentes d'une ancienne coulée, l'aura partiellement refondue, entraînant l'effondrement de la surface.

Fumerolles. — Pour terminer l'énumération des phénomènes qui sont sous la dépendance immédiate de l'activité volcanique, il reste à parler des *émanations gazeuses* tranquilles qui accompagnent et suivent la sortie des laves, faisant naître, sur les fentes, les dégagements de fumées auxquels on a donné le nom de *fumerolles*.

De la lave très chaude se dégagent d'abord, par simple évaporation sans bouillonnement, des fumerolles blanches et sèches, à très haute température, formées surtout de *sel marin* en vapeurs. Plus tard on voit apparaître, près des parois de la coulée, des émanations de vapeur d'eau à 300 ou 400 degrés, rendues acides par la présence des gaz chlorhydrique et sulfureux. Plus loin encore du foyer principal d'éruption, les fumerolles sont alcalines et chargées de sel ammoniac (sans que la vapeur d'eau cesse de prédominer de beaucoup), avant de devenir froides et de n'être plus guère composées que de vapeur d'eau au-dessous de cent degrés, mêlée à de l'hydrogène sulfuré. Enfin la série des émanations se termine par des *mofettes*, ou dégagements

d'*acide carbonique*, qui durent souvent des mois entiers après la fin des éruptions et même, dans certaines contrées autrefois volcaniques, survivent depuis de longs siècles à l'extinction des foyers éruptifs. L'*acide carbonique*, en raison de sa plus grande densité, s'accumule sur le sol, et c'est ainsi qu'à Naples, dans la célèbre *grotte du Chien*, les animaux de petite taille sont asphyxiés, tandis que la couche de gaz irrespirable n'est pas assez haute pour incommoder un homme.

Quand les fumerolles froides, au lieu de se dégager d'une fente à l'air libre, sont obligées de traverser d'abord une certaine épaisseur d'eau, on y constate la présence de l'*hydrogène* et celle des *hydrocarbures*, ou composés d'hydrogène et de carbone. Il est donc permis de penser que les gaz venant de l'intérieur du foyer incandescent s'oxydent dans les fissures, au contact de l'air, et que, dans leur état primitif, ce sont des vapeurs *combustibles*, se dégageant d'un milieu où domineraient les influences *réductrices*, c'est-à-dire contraires à l'oxydation.

Les substances *métalliques*, surtout le *fer* à l'état de chlorure, l'*acide borique*, les sulfures d'*arsenic*, doivent aussi être mentionnés parmi les produits gazeux des volcans.

Distribution des volcans. — Les volcans se rencontrent dans toutes les conditions possibles de longitude et de latitude. Il en existe près des pôles comme à l'équateur et on en peut trouver sous n'importe quel méridien.

Cependant la distribution n'en est aucunement arbitraire. En premier lieu, l'intérieur des continents *actuels* ne renferme aucun volcan actif. En revanche, les rivages de la mer sont souvent marqués par des lignes continues de bouches éruptives. On peut dire que l'océan Pacifique est entouré par un véritable *cercle de feu*. Ce cercle commence à la Nouvelle-Zélande et se poursuit, par les Nouvelles-Hébrides, les îles Salomon et les îles de la Sonde, jusqu'au Japon. De là, par les Kouriles il gagne le Kamtschatka, suit les Aléoutiennes, la côte occidentale de l'Amérique, le Mexique, le Guatemala, longe toute la chaîne des Andes et se referme par les îles Shetland et les cratères antarctiques Erebus et Terror. Le bord oriental de l'Atlantique est jalonné par le volcan de Jan Mayen, ceux de l'Islande, des

Açores, des Canaries, du Cap-Vert, d'Ascension, de Sainte-Hélène, de Tristan d'Acunha.

D'autre part, une ligne volcanique transversale se suit d'un bout à l'autre du globe, comprenant les Antilles, les Canaries, les volcans Méditerranéens, le Caucase, les cratères de l'océan Indien, ceux de la Polynésie, des îles Sandwich et des Galapagos. De plus, c'est un fait digne de remarque que l'activité volcanique est tout particulièrement énergique dans les régions centrales de l'Amérique et aux îles de la Sonde, c'est-à-dire aux points de rencontre de la ligne transversale avec le cercle de feu du Pacifique.

Coincidence des volcans avec les lignes de dislocation. — Si la situation littorale ou insulaire des volcans est incontestable, ce n'est pas cependant par elle-même et directement que la mer intervient dans le phénomène volcanique. En effet, il importe de ne pas oublier que les volcans font défaut sur toutes les côtes plates ainsi qu'au voisinage des mers sans profondeur. On en chercherait vainement sur la Baltique ou sur la mer du Nord. Ils sont absents de toute la côte atlantique des États-Unis, comme de celle des Guyanes et du Brésil, et il n'en existe pas davantage sur les rivages de la Sibérie ni sur ceux de l'Australie.

Les lignes de côtes ou d'îles jalonnées par les volcans sont celles qui bordent de hautes chaînes, formant, comme les Andes, une brusque saillie, ou celles qui marquent le contour rectiligne d'une dépression océanique au flanc abrupt. Telles sont la côte asiatique du nord-est, au large de laquelle la sonde enregistre, à peu de distance, les plus grandes profondeurs du Pacifique, et la ligne des Antilles, crête en partie émergée d'un bourrelet, au delà duquel le fond de l'Atlantique descend plus vite et plus bas que partout ailleurs. De même, la grande ligne volcanique transversale que nous avons mentionnée coïncide avec cette dépression méditerranéenne, qui nous a paru constituer l'un des traits fondamentaux de la géographie actuelle ¹.

On peut donc dire que *les volcans sont établis sur les grandes lignes de dislocation* de l'écorce terrestre, absolument comme

1. Voir, plus haut, page 6.

les cônes adventifs jalonnent le parcours des fentes à chaque éruption de l'Etna. Ils caractérisent les plus saillants parmi les bourrelets par lesquels sont limités les compartiments affaissés de la croûte solide, et il est naturel de penser que chaque bouche volcanique principale doit marquer un élargissement ou un croisement de fentes, ouvrant une voie plus facile à la sortie des fluides qui bouillonnent sous l'écorce.

Quant à la source de ces fluides et aux causes qui en déterminent la sortie, il convient d'attendre, pour émettre une hypothèse à cet égard, que nous ayons achevé la revue des manifestations de la Dynamique interne.

§ 2

PHÉNOMÈNES THERMAUX

Définition des phénomènes thermaux. — L'activité interne est loin d'avoir dit son dernier mot avec la projection des débris, la sortie des laves et l'émission des fumerolles. Longtemps après que tout paroxysme a cessé dans une contrée, il s'y produit en divers points des dégagements de vapeurs et de liquides à haute température, qu'on peut grouper sous la commune dénomination de *phénomènes thermaux*. Leur caractère essentiel est d'être localisés dans le voisinage immédiat des anciens centres volcaniques et de former la suite naturelle, sans cesse atténuée en intensité, des manifestations paroxysmales; absolument comme la succession ordonnée des fumerolles, depuis celles qui sont sèches et très chaudes jusqu'aux mofettes, marque la décroissance progressive de chaque éruption.

Solfatares. — De tous les phénomènes thermaux, ceux qui se rapprochent le plus de l'activité volcanique normale consistent en dégagements violents de vapeur d'eau, accompagnés de gaz dont l'odeur suffocante, jointe aux dépôts jaunâtres qui garnissent les orifices de sortie, trahit les composés du *soufre*. Aussi les désigne-t-on sous le nom générique de *solfatares* ou *soufrières*.

La solfatare la plus connue est celle de Pouzzoles, près de Naples, qui occupe un cratère dont la dernière éruption a eu

lieu en 1198. Les gaz sulfureux, se transformant en acide sulfurique par l'action de l'air et de l'eau, attaquent les roches, décomposent les silicates et font naître de l'*alunite*, ou pierre d'alun, ainsi que des efflorescences de sulfates divers. La décomposition de l'hydrogène sulfuré donne lieu aussi à des dépôts de *soufre natif*.

Les *soufflards* ou *soffioni* de la Toscane, qui forment des jets de 10 à 20 mètres de hauteur, alignés sur des fentes, et dont les bassins renferment de l'*acide borique*, sont aussi des solfatares. Il en est de même des jets de vapeur, dits *Steamboat Springs* ou *sources du bateau à vapeur*, de Californie. Seulement les gaz sulfurés y sont moins abondants que dans les solfatares typiques.

Un ancien volcan peut passer définitivement à l'état de solfatare, en attendant qu'une nouvelle diminution locale de l'activité interne le réduise à n'être plus qu'une mofette; mais il peut aussi, après s'être maintenu quelque temps dans cette condition, entrer de nouveau en éruption. Le *mode solfatarien* caractérise donc, dans le volcanisme, une phase de décroissance, mais qui n'exclut pas absolument tout retour au passé.

Geysers. — A la catégorie précédente se relie étroitement les *geysers*, si développés en Islande, en Nouvelle-Zélande et surtout dans le Parc National du Yellowstone en Amérique. Ce sont des dégagements intermittents, non plus de vapeur, mais d'eau chaude, projetée avec violence à des hauteurs qui peuvent dépasser 60 mètres (fig. 18) et donnant lieu, autour des orifices, à d'abondants dépôts concrétionnés de *silice hydratée*, dite aussi *opale commune* ou *geysérite*.

L'eau provient des infiltrations et sa température résulte de ce que cette eau est traversée par des émanations très chaudes, issues d'un foyer volcanique sous-jacent.

Les éruptions des geysers, toujours très courtes, sont intermittentes et se succèdent à des intervalles variables. Cette intermittence s'explique, d'abord par l'obligation de reconstituer à l'aide des infiltrations, après chaque paroxysme, le volume et la température de l'eau nécessaire à la formation de la gerbe; ensuite par l'échauffement très inégal des divers points de la cheminée d'ascension. En effet, certaines portions de celle-ci,