

LES VOLCANS,

CE QU'ILS SONT ET CE QU'ILS NOUS APPRENNENT,

PAR

M. CH. VÉLAIN,

DOCTEUR ÈS SCIENCES,

MAÎTRE DE CONFÉRENCES A LA SORBONNE.



*Volcan
VEL*

1884

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Augustins, 55.

1884

(Tous droits réservés.)

Conférence faite à l'Association scientifique de France et reproduite
d'après le *Bulletin de l'Association*.

LES VOLCANS.

DÉFINITION DES VOLCANS.

Mode de formation des cratères et des montagnes volcaniques.

Volcans sub-aériens. — Volcans marins.

Les volcans, comme tous les grands phénomènes naturels qui se présentent avec une imposante beauté et une puissance invincible, ont attiré de tous temps l'attention et agi puissamment sur l'imagination de l'homme. Aussi, dans l'antiquité, on les a bien vite introduits dans le cercle des traditions mythologiques; on contemplait à une distance respectueuse, avec une sorte de terreur superstitieuse, les phénomènes grandioses qui se passaient à la cime de l'Étna, le seul volcan que l'on connût alors, et dont le cratère semblait être la porte du monde souterrain, l'entrée du domaine de Pluton. N'est-ce pas là encore une conception ingénieuse, que celle de Vulcain, établissant son atelier au sein de la montagne et faisant jaillir autour de sa forge de brillantes étincelles, lorsqu'il travaillait aux foudres de Jupiter ?

En Géologie, on n'a pu, pendant bien longtemps, s'arracher aux seules impressions de l'imagination, et l'explication des volcans a suivi les variations de ces systèmes scientifiques qu'on décorait pompeusement du nom de *Théories de la Terre*, sans s'appuyer sur un ensemble de faits bien observés.

C'est de la sorte qu'on a considéré, tout d'abord, l'activité des volcans comme la conséquence d'un incendie grandiose, soit de bancs de houille, sorte de substances combustibles (lignite ou bitume) enfouies souterrainement. Cette explication ne pouvait évidemment convenir qu'à des géologues qui n'avaient jamais éprouvé les impressions puissantes d'une éruption vue de près, et qui ne connaissaient les volcans que par ouï-dire, sans les avoir observés dans leur période d'activité. D'autres sont venus, qui n'ont voulu voir dans ces appareils que des foyers chimiques isolés. Ces théories, qui ont

VÉLAIN. — *Les Volcans.*

eu cours jusqu'au commencement de ce siècle, ont passé par des phases diverses en progressant avec la Chimie.

La plus ancienne est celle de Lémery : elle repose sur une expérience ingénieuse qui lui donnait toutes les apparences de la réalité.

Si l'on place, en effet, un mélange de soufre en fleur et de limaille de fer, humecté légèrement, à une légère profondeur dans le sol, après l'avoir recouvert d'une petite couche de terre bien tassée, on remarque bientôt que le sol se boursoufle et se couvre de crevasses qui livrent passage à d'abondantes vapeurs et à des gaz sulfurés. Parfois la chaleur développée est assez grande pour amener l'incandescence du mélange qui se gonfle, se tuméfie et, faisant saillie à l'extérieur, donne l'image, en petit, d'une éruption. C'est la première application de la méthode expérimentale à la Géologie : l'essai n'était pas heureux.

Plus récemment, en 1828, la découverte du potassium et du sodium conduisit Humphry Davy à proposer une théorie plus séduisante.

En laissant tomber, goutte à goutte, de l'eau sur du potassium, il avait remarqué que cette eau était décomposée, que son oxygène se portait sur le métal, tandis que la haute température dégagée par la réaction enflammait l'hydrogène, mis en liberté. En même temps, le métal oxydé se relevait autour du point que venaient frapper les gouttelettes et se creusait d'un petit cratère, dans lequel se manifestait bientôt une vive déflagration. Enfin le monticule, qui se formait ainsi, prenait la forme d'une montagne ignivome et offrait, en miniature, l'image d'une éruption. Bien plus, cette expérience semblait ainsi expliquer l'origine des roches volcaniques, dans la composition desquelles il entre toujours de la potasse, de la soude ou de la chaux.

L'hypothèse de Davy fut d'abord acceptée sans réserve ; mais de graves objections lui furent bientôt opposées. Sans parler de la faible proportion d'hydrogène reconnue dans les émanations volcaniques, qui n'est nullement en rapport avec l'énorme quantité de ce gaz qu'exige cette théorie, on a calculé que, pour amener à l'état de fusion et pour élever dans la cheminée la moindre des coulées de l'Etna, il fallait admettre l'existence, sous la montagne, d'une masse de 7 millions de mètres cubes de ce métal alcalin. L'invraisemblance de cette hypothèse étant démontrée, le volcan en miniature de Davy est resté à l'état de curiosité scientifique, et avec lui sont tombés tous les essais tentés pour expliquer les phénomènes volcaniques à l'aide d'actions chimiques.

L'exploration réelle des volcans, et surtout l'application des procédés scientifiques à leur étude, est de date récente : c'est

à peine si l'on pourrait la faire remonter au delà des voyages de Breislak en Hongrie ou de Humboldt aux régions équinoxiales. Jusqu'alors on s'était contenté, en plus des explications hypothétiques que je viens d'exposer, de la description naturelle des volcans et de la narration des phénomènes étonnants produits. En somme, on ne les avait observés qu'avec inquiétude et de loin, en raison des difficultés et des dangers de leur approche. C'est seulement au commencement de ce siècle que des connaissances sérieuses ont été acquises, parce qu'on a appliqué à leur examen les ressources de la Physique et de la Chimie, qui étaient alors en pleine voie de progrès; les grands noms de Boussingault, d'Abich, de Bunsen, de Charles Sainte-Claire Deville sont alors attachés à ces belles études. Ce sont ces savants qui, les premiers, ont transporté les appareils du chimiste sur les sommets des principaux centres éruptifs. Plus récemment M. Fouqué, élève et successeur de Charles Sainte-Claire Deville dans la chaire du Collège de France, armé des mêmes moyens, s'est consacré à l'exploration des principaux massifs volcaniques actuels (l'Étna, le Vésuve, Santorin, les Açores), les attaquant avec une rare énergie, en pleine période d'activité, afin de surprendre leurs secrets et d'en tirer les lois qui régissent les éruptions.

Après de pareils travaux, où tant de savoir et de peines ont été dépensés, l'histoire des volcans est maintenant bien connue. Notre illustre et savant Doyen, qui préside avec tant de soin à l'organisation de ces réunions, a pensé que le moment était venu d'exposer devant vous le résultat de ces belles et savantes recherches. Il a bien voulu me confier cette mission; c'est une lourde tâche dont je sens tout le poids: je l'ai acceptée cependant sans réserve, parce que j'espère être soutenu, d'une part, par la grandeur du sujet et de l'autre par votre bienveillante attention.

§ I.

Un volcan, dans sa période d'activité, doit être considéré comme offrant tout le cortège des phénomènes qui signalent le déploiement des forces souterraines. Dans le cas ordinaire rien n'y manque, en effet, de ce qui caractérise ces sortes de manifestations. Des actions chimiques énergiques et variées, des effets mécaniques puissants s'y réunissent et semblent coopérer à l'envi pour produire un travail gigantesque qui est à la fois une œuvre de destruction et d'édification.

Au début des phénomènes, le sol tremble; des secousses, des bondissements du sol se succèdent à de courts intervalles et jettent la terreur dans le district menacé. Tout à coup une explosion formidable se produit; la montagne est ébranlée jusque dans ses fondements, et de son sommet entr'ouvert

s'échappent, avec fracas, des torrents de vapeurs et de scories incandescentes.

Ces projections se multiplient, et bientôt la fumée et les cendres forment, dans les airs, des nuages épais qui s'amoncellent au-dessus du cratère et plongent toute la région dans les ténèbres. Des traits de foudre les sillonnent, des roulements de tonnerre viennent se mêler aux mugissements du volcan dont les flancs, maintenant entr'ouverts, laissent échapper des jets brûlants de laves incandescentes, qui se précipitent en cascades sur les pentes et se déroulent, au pied de la montagne, en longs rubans de feu.

Telle est la description classique d'une éruption, tout le monde l'a reconnue pour l'avoir lue maintes fois, soit dans les ouvrages qui traitent de ces questions, soit dans les récits des voyageurs qui ont assisté à ces spectacles émouvants.

Mais il n'en est pas toujours ainsi : tous les volcans ne présentent pas, dans leur phase d'activité, ces phénomènes paroxysmaux ; ce fleuve de feu, par exemple, ces coulées de lave, si souvent décrites comme constituant le phénomène le plus constant et par conséquent le plus caractéristique de l'éruption, n'apparaissent que dans certaines conditions qui ne sont pas réalisées dans tous les volcans. Il en est qui n'ont jamais fourni de laves, d'autres point de projections. Cette montagne régulièrement conique, longtemps considérée comme la forme habituelle et typique des édifices volcaniques, manque elle-même souvent. Il est, par exemple, des volcans qui se présentent à ras du sol, sans qu'aucune dénivellation ne fasse pressentir leur approche.

Pris dans leur ensemble, les volcans doivent être considérés comme des appareils naturels mettant en communication directe, d'une façon temporaire ou permanente, les profondeurs du globe avec la surface. Ils sont caractérisés par les deux faits suivants :

1^o Par la production, sous l'influence d'actions mécaniques, que nous déterminerons plus loin, d'une fracture sensiblement rectiligne, traversant l'écorce terrestre et établissant la communication en question.

2^o Par l'arrivée au jour, au travers de cette fracture, des matières en fusion contenues souterrainement.

Ces matières se présentent ainsi sous les trois états, *solide*, *liquide* et *gazeux*. A l'état solide, ce sont les *projections* ; à l'état liquide, les *laves* ; à l'état gazeux, la vapeur d'eau et les *émanations volatiles* qui jouent un si grand rôle dans les éruptions.

Ces trois sortes de produits peuvent apparaître isolément. Le plus souvent ils s'associent et, suivant les conditions dans lesquelles ils se présentent aux orifices de sortie, suivant la

prédominance de l'un ou de l'autre, le mode éruptif varie, et les appareils volcaniques, c'est-à-dire les appareils construits sous leur action, sont très différents.

Plusieurs cas sont à considérer : les produits gazeux, par exemple, peuvent se manifester seuls. S'ils sont abondants, la fracture originelle ne suffit pas; en raison de la pression énorme exercée par ces gaz comprimés, elle s'étoile au point de concentration maximum de l'effort; il se produit alors, au centre de l'étoilement, un vaste orifice circulaire, un *cratère* pour employer l'expression consacrée, par suite de la projection des parties du sol entamé sous ce choc violent.

Cratères-lacs. — C'est là l'origine de ces cavités circulaires, maintenant occupées par des eaux douces, qui forment dans certaines régions ces lacs pittoresques connus sous le nom de *cratères-lacs*. Le célèbre lac Pavin (*fig. 1*), en Auvergne, le

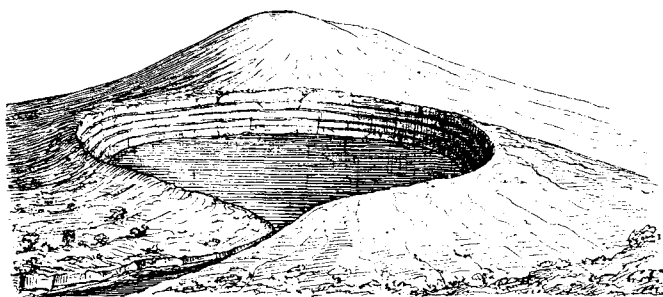


Fig. 1. — Le lac Pavin, au pied du mont Chalme, en Auvergne.

Gour de Tazenat, près de Manzat, entaillés l'un dans la lave basaltique, l'autre dans le granite, en sont de bons exemples. Ces gouffres lacustres sont surtout nombreux et célèbres dans l'Eifel (Prusse rhénane) où on leur a donné le nom, bien significatif, de *Maare* (gouffre d'eau). Ils sont là établis sur des schistes et des calcaires d'âge dévonien. Quelques-uns atteignent des dimensions considérables avec une profondeur de plus de 200^m : tels sont les lacs de Gillenferd (Pulvermaar) et de Laach, qui occupent chacun une surface de près de 9^{km}. A Nossi-bé, près de Madagascar, ces cratères-lacs (*fig. 2*), disposés par groupes autour des cônes volcaniques qui se dressent dans les parties centrales de l'île, se signalent par l'extrême régularité de leur forme circulaire. Les indigènes leur donnent le nom de *Tané-Lastak*, qui veut dire *montagne tombée dans un trou*. Occupés maintenant par des eaux limpides, d'un bleu d'azur, où s'agitent des milliers de poissons aux vives couleurs, ils constituent là de véritables aquariums naturels, qui peuvent compter comme une des merveilles de l'île.

L'origine volcanique de ces cavités singulières, entaillées ainsi, comme à l'emporte-pièce, dans un sol resté horizontal, a été longtemps méconnue; on les attribuait à des effondre-

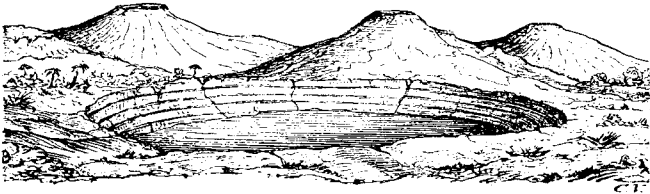


Fig. 2. — Le lac d'Ampombilava, à Nossi-bé (cratère-lac).

ments. On sait maintenant que ce sont là des *cratères d'explosion*, dont la formation, comparable à un coup de mine, doit être rapportée, comme nous venons de le dire, à l'expansion subite de masses gazeuses momentanément comprimées.

D'autres fois ces explosions, au lieu de préluder à l'activité volcanique, y ont en quelque sorte mis fin. C'est ainsi que des édifices volcaniques élevés, que des massifs montagneux entiers ont disparu, enlevés dans les airs par le fait d'une explosion et se sont trouvés remplacés par des gouffres profonds.

Les îles de la Sonde ont été souvent le théâtre de pareils faits. En 1815, à Sumatra, le Temboro (*fig. 3*), qui jusque-là se dres-

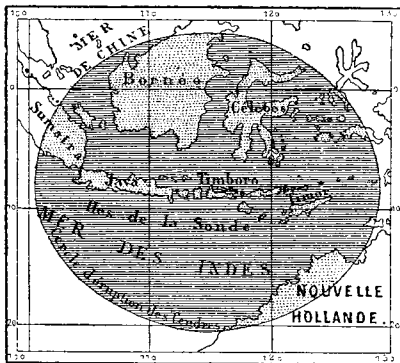


Fig. 3. — Cercle d'éruption de cendres du Temboro.

sait comme un phare, éclairant la mer sur une étendue considérable, a sauté en l'air, perdant d'un seul coup 1600^m de sa hauteur. Sous ces débris, dont la masse a été évaluée à 1400^{kmc}, soit trois fois le volume du mont Blanc, la ville de Temboro, située au pied du volcan, a été ensevelie et 12000 personnes ont péri. L'île de Bornéo, située à 140^{km} au nord du siège de l'éruption, fut entièrement couverte par les [cendres, qui

occasionnèrent un immense désastre. L'imagination populaire fut tellement frappée par ce grand cataclysme que maintenant on compte les années à dater de « la grande chute des cendres ».

Mais fort heureusement ces grandes explosions sont rares; le plus souvent c'est le sommet seul de l'édifice volcanique qui est emporté et la montagne reste tronquée. Ce fait s'est présenté à l'île Amsterdam, dans l'océan Indien; il a mis fin à une longue période d'activité qui avait fait surgir du sein d'un océan profond, à plus de 500 lieues de toute espèce de terre, un massif volcanique élevé.

Ce cratère d'explosion, auquel je suis heureux d'avoir pu laisser le nom de mon savant et vénéré maître M. Hébert, se signale par son étendue et sa profondeur énorme; il se présente tout d'un coup, au milieu d'un vaste plateau basaltique, à la manière d'un gouffre béant, dont on ne peut distinguer le fond.

Lacs de feu. — Les phénomènes ne se limitent pas toujours à cette seule explosion. Le plus souvent des laves, sollicitées par des actions que nous examinerons plus loin, apparaissent et viennent remplir la cavité.

Si ces laves sont très fluides et surtout si elles ne sont accompagnées que par de faibles dégagements de gaz, leur mouvement d'ascension est lent, elles atteignent dans le cratère un niveau plus ou moins élevé, où elles se maintiennent à l'état de fusion ignée. C'est de la sorte que s'établissent ces volcans en activité continue, ces *lacs de feu*, dont le Stromboli (*fig. 4*) est l'exemple le plus connu et le plus rapproché de nous.

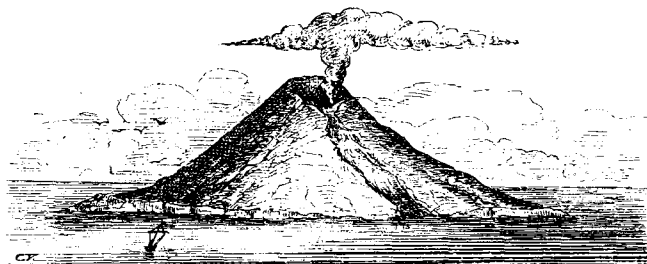


Fig. 4. — Le Stromboli. (Vue prise à bord de l'Amazone, en août 1874.)

Ce volcan remarquable, qui fait partie des îles Lipari dans la Méditerranée, possède un peu au-dessus de sa cime, qui se dresse à près de 1000^m de haut, un large cratère où, de mémoire d'homme, la lave n'a jamais cessé de bouillonner.

Des observateurs ont pu, dans des circonstances exceptionnellement favorables, s'approcher de cet abîme et con-

stater que cette lave, dont l'éclat, même en plein jour, approche celui de la chaleur blanche, est soumise à de lentes et périodiques oscillations qui parfois sont assez fortes pour l'amener à se déverser par-dessus les bords du cratère, en donnant lieu à de petites coulées, qui descendent jusqu'à la mer.

C'est là un mode d'activité tout à fait exceptionnel, qui exige une communication constante et bien ouverte entre le foyer intérieur et l'atmosphère.

Le Mauna-loa (*fig. 5*), dans l'île Havaï (archipel des Sand-

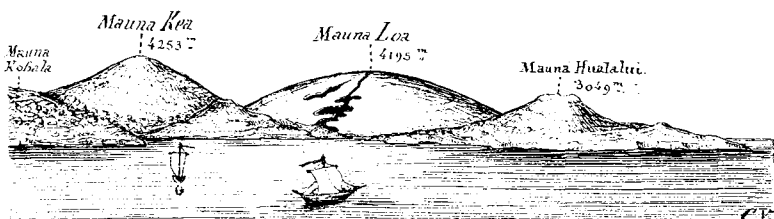


Fig. 5. — Côte ouest de l'île Havaï, vue par le travers de la baie Kawaihae.

wich), donne un exemple encore plus étonnant de ces lacs permanents de lave bouillante.

Sur les flancs de cette immense montagne, haute de 4200^m, qui se signale par sa forme en dôme aplati, résultant d'une longue et progressive accumulation de coulées de lave, issues de son cratère terminal, le Mokua-Weo-Weo, s'ouvre, à une hauteur de 1200^m au-dessus du niveau de la mer, un énorme cratère qui mesure 4900^m de grand axe et 12^{km} de tour.

On se fera une idée de la dimension de cet abîme effroyable en songeant qu'une grande ville comme New-York y tiendrait tout entière et qu'on l'apercevrait à peine, avec ses tours et ses cathédrales, dans le fond.

C'est là le plus considérable et le plus intéressant des volcans actuels. Pendant le jour, du sommet de cette immense chaudière, car c'est bien le nom qui convient à un pareil abîme, on distingue, dans le fond, une vive lueur, éclairant d'un reflet sinistre les roches noires calcinées qui l'entourent. La nuit, ce spectacle devient merveilleux : la lave incandescente illumine toute l'étendue du cratère et jette, sur le ciel, une lumière si vive qu'il paraît en feu.

Cumulo-volcans. — Mais les laves ne sont pas toujours aussi fluides : il en est de visqueuses, qui sont tenaces, plus résistantes et qui se refroidissent brusquement, aussitôt leur exposition à l'air. De pareilles laves ne se présentent plus, aux orifices de sortie, à l'état d'incandescence, comme celles du Kilauea : elles figurent un entassement de blocs éboulés,

et leur progression donne l'image d'une montagne de coke qui s'écoule. Les édifices construits de la sorte sont alors tout différents du précédent; plus d'indication de cratère, plus de cavité centrale, rien qu'une masse, en quelque sorte homogène, avec des pentes rapides, formée uniquement de blocs scoriacés, empilés en désordre les uns au-dessus des autres.

C'est de la sorte que s'est produit, en 1866, à Santorin, *le Giorgios* (fig. 6) (1); M. Fouqué, qui a pu assister à cette

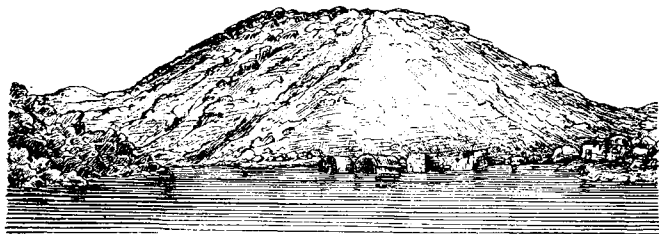


Fig. 6. — Le Giorgios (cumulo-volcan), vu sur son versant oriental, en septembre 1875 (d'après M. Fouqué).

éruption et en suivre toutes les phases, a donné le nom, bien significatif, de *cumulo-volcan* aux édifices, si particuliers, établis par ces laves visqueuses.

Peu d'éruptions ont été étudiées avec autant de soin; les débuts surtout ont été suivis avec la plus grande attention. Je vous demande donc de nous y arrêter un instant.

Le groupe des îles de Santorin, qui fait partie des Cyclades dans l'Archipel grec, se compose de deux îles d'inégale grandeur, *Théra* et *Thérasia*, et d'un îlot, *Aspronisi*, groupés circulairement autour d'une vaste baie. Trois îlots, les *Kaménis*, placés au centre de la baie, complètent cet ensemble.

Cet archipel est en majeure partie formé d'éléments volcaniques. Les îles en ceinture représentent un type de *cratère d'explosion*. Une explosion formidable, suivie d'un effondrement, puis de projections de ponces, a creusé la baie. Les éruptions qui se sont faites ensuite ont fait surgir les *Kaménis*.

Au commencement de février 1866, après des phénomènes précurseurs, secousses et trépidations du sol, mouvements tumultueux de la mer, on vit apparaître, au-dessus des eaux, dans le sud-ouest de *Nea-Kaméni*, un récif allongé, dont les dimensions croissaient à vue d'œil; il était formé de blocs de lave, noirs, incohérents, qui s'élevaient les uns au-dessus des autres, entraînant avec eux des débris de fond de mer, tels

(1) Le roi Georges était alors le nouveau souverain de la Grèce. On assure que le roi, peu content de ce choix, aurait dit alors que son rôle de roi constitutionnel lui interdisait d'être le parrain d'un volcan.

que des coquillages brisés, des galets, des parties de navires depuis longtemps submergés.

L'accroissement de l'îlot se fit ainsi sans secousses, sans projection, silencieusement, avec une telle rapidité qu'on l'a comparé au développement d'une bulle de savon ⁽¹⁾. Il s'opérait du dedans en dehors, comme par un mouvement d'expansion; les blocs semblaient partir du centre de la surface et progresser de là vers la périphérie; on avait peine à suivre du regard la marche de tous ces blocs pierreux et leurs déplacements incessants. On ne distinguait point de traces de feu, ni de flammes; de toute la surface s'élevait une épaisse vapeur blanche, qui n'était pas suffocante, même quand on la respirait de près. Les roches elles-mêmes n'étaient très chaudes que par place; aussi quelques-uns des Santoriniotes, que ce spectacle avait attirés, purent gravir à diverses reprises ce monticule mouvant. Ils constatèrent qu'il ne possédait aucun cratère; sur le sommet, se voyait un entassement confus de gros blocs grisâtres, et, en plein jour, aucun signe d'incandescence; mais la nuit ce sommet paraissait tout en feu et les vapeurs qui en émanaient étaient éclairées d'une vive lueur, par le reflet des roches portées à la chaleur rouge.

C'est encore dans cet état que M. Fouqué trouva le Giorgios quand il en fit l'ascension, au mois de mars de la même année. Le monticule avait alors 50^m de haut, sur 350^m de large.

C'est seulement en avril, après une période d'activité pendant laquelle l'accroissement du nouvel îlot se fit d'une façon lente et régulière, qu'un cratère s'établit au sommet, à la suite de violentes explosions et que des laves apparurent formant de grandes coulées qui se déversèrent dans le sud.

A partir de ce moment, le Giorgios entra dans une phase d'activité nouvelle et perdit son apparence rocheuse; les inégalités de sa surface disparurent sous un manteau de cendres et de scories, et l'îlot surélevé prit alors cette forme régulièrement conique, qui devient le trait caractéristique des *volcans à projections*.

C'est, en effet, quand des matériaux solides, quand des fragments de laves fluides sont projetés dans les airs par la violence des explosions, que s'établissent, autour de l'orifice de décharge, ces accumulations de débris qui donnent lieu aux *cônes volcaniques*.

Cônes de débris. — Les premières projections consistent presque entièrement en fragments de roches solides arrachés aux parois de la cheminée, qui se rompent sous la pression des gaz et volent en éclats avec les produits de l'éruption.

La dimension de ces blocs projetés est souvent considérable.

(1) FOUQUÉ, *Santorin et ses éruptions*, p. 42.

Ceux que rejette à chaque éruption le volcan, en activité continue, qui désole toute la partie sud-est de l'île de la Réunion, peuvent atteindre de 10^{me} à 12^{me}. On en connaît qui, pesant plus de 200 tonnes, ont été lancés en l'air à plusieurs centaines de mètres de haut par les grands volcans de la Cordillère occidentale. En 1533, le *Cotopaxi* des Andes de Quito, qui se signale entre tous par la violence de ses projections, a recouvert la

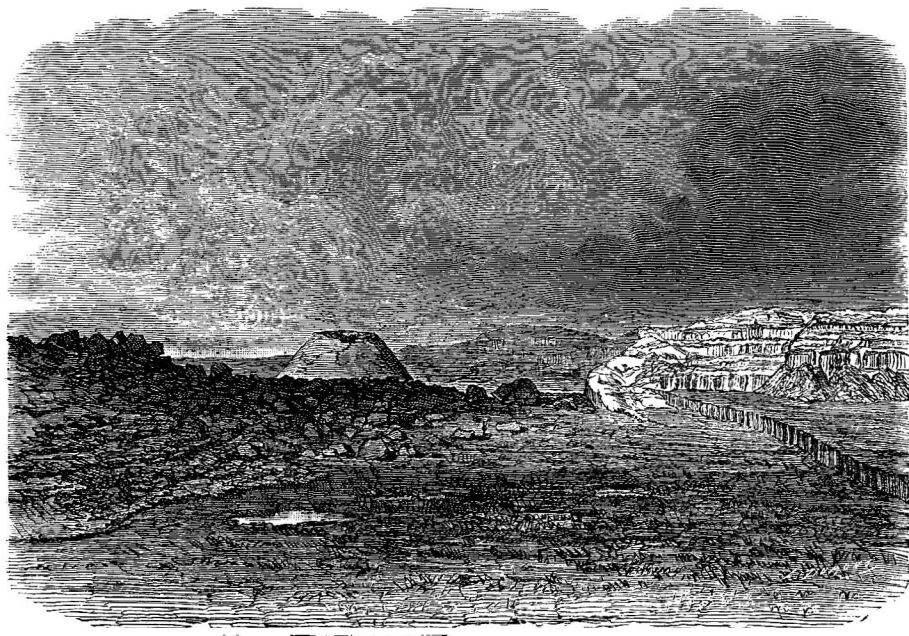


Fig. 7. — Blocs projetés sur les hauts-plateaux de l'île Amsterdam par l'explosion qui a présidé à la formation du grand cratère du sommet.

plaine environnante, dans un rayon de 25^{km}, par d'énormes fragments de rochers dont plusieurs avaient plus de 2^m de diamètre, provenant de la destruction partielle de la haute montagne sur laquelle il se dresse à plus de 6000^m.

Ces violentes projections, qui marquent ainsi le début de l'éruption, sont de courte durée; une fois la communication établie, lorsque la lave atteint dans la cheminée un niveau suffisamment élevé, les explosions, produites par l'expansion des gaz contenus dans la masse en fusion, projettent en l'air des jets de cette matière liquide et incandescente, avec les écumes scoriacées qui la recouvrent.

La cheminée du volcan peut alors être considérée comme une mine en charge continue. Ces jets de lave incandescente

et ces produits fragmentaires, lancés verticalement, s'élèvent à une grande hauteur. Rapidement solidifiés dans leur course aérienne, par suite de leur brusque refroidissement, ils retombent, en averse, autour de l'orifice de sortie, à des distances plus ou moins grandes, suivant leurs dimensions.

Les *cedres*, par exemple, qui représentent la lave dans son plus grand état de division, enlevées par les vents, sous la forme de longues traînées obscures ou de nuages épais, peuvent être transportées à des distances considérables. Celles du Vésuve et de l'Étna ont été portées ainsi, à diverses reprises, sur la côte africaine. En 1875, celles du *Skaptar-Jöckul*, en Islande, se sont étendues sur toute la Scandinavie, après avoir franchi une distance de 1900^{km}.

Lorsque les lambeaux de lave ainsi rejetés sont animés, dans leur course aérienne, d'un mouvement gyrotoire, ils prennent des formes globuleuses ou piriformes qu'ils conservent après leur chute et donnent naissance à ces *bombes volcaniques* qui portent encore, souvent, le nom symbolique de *larmes du volcan*.

Ces bombes sont, en effet, la marque caractéristique du volcan; à ce seul indice, alors que tout autre fait défaut, on peut reconnaître l'emplacement d'une éruption faite à une époque reculée. C'est ainsi qu'en Auvergne, où elles sont nombreuses dans la chaîne des Puys, ces projections témoignent de l'ancienne activité de tous ces cratères aujourd'hui éteints.

Leur volume varie, en moyenne, de celui d'une noisette à celui du poing. A Santorin, celles rejetées en 1866 par le *Giorgios*, pendant toute la durée des violentes explosions qui ont précédé l'établissement du grand cratère, d'où sont sorties les coulées d'avril et de mai, ont atteint plusieurs mètres cubes (1).

Dans ces mêmes conditions, sous l'influence des dégagements gazeux, les laves douées d'une grande fluidité s'élèvent en longs filaments déliés, soyeux et nacrés, offrant tout à fait l'aspect du verre filé, et si fins qu'ils flottent longtemps dans l'air avant leur chute. A l'île Hawaï, ces filaments, enlevés journellement, par les vents, de la surface du célèbre lac de feu du Kilauea, sont bien connus sous le nom de *Cheveux de Pélé*; Pélé étant, au dire des naturels, la déesse qui réside dans les profondeurs du volcan.

A la Réunion, il en est de même; les laves vitreuses, qui à chaque éruption viennent remplir le cratère brûlant, rejettent, par torrents, ce verre capillaire qu'on regardait autrefois comme spécial à ce volcan (2).

(1) FOUQUÉ, *Santorin et ses éruptions*, p. 80.

(2) FAUJAS DE SAINT-FOND, *Mémoire pour servir à l'histoire naturelle du globe*, t. II, p. 618.

En 1874, j'ai pu assister, sur le bord du cratère, à leur formation; une véritable pluie de ces légers filaments, qui avaient pris un lustre presque égal à celui de l'amiante, vint s'abattre dans la direction du sud-est, sur le rempart du Bois-Blanc, sur le Marocain et jusque sur le littoral près de Saint-Rose.

Mais, dans la plupart des éruptions, ces projections sont loin de constituer la majeure partie des masses rejetées hors de la montagne.

Dans le cas de laves visqueuses et tenaces, par exemple, les fragments projetés, violemment étirés, prennent des formes irrégulières, leur surface se couvre d'aspérités; en même temps les gaz qu'ils tiennent emprisonnés les boursoufflent et leur communiquent une structure celluleuse, en donnant lieu à ces *scories*, qui rendent si pénible l'ascension des *cônes volcaniques*.

C'est, en effet, par l'accumulation de ces débris que s'établissent, autour des édifices de sortie, ces édifices coniques qui deviennent le trait ordinaire et caractéristique des volcans à projections.

Il se fait ainsi, dans la formation de ces cônes, une sorte de division du travail; les cendres, qui ne sont autres que la lave finement pulvérisée, sont transportées au loin, tandis que les gros blocs avec les scories retombent, soit au bord du cratère, soit dans le gouffre même, pour y être relancés de nouveau. Ces matériaux, par suite de leur entassement sur le bord du cratère, donnent lieu à un talus annulaire, qui

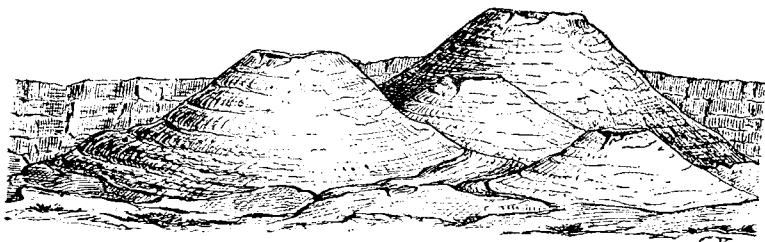


Fig. 8. — Cônes de débris, au pied du rempart du pas des Sables (île de la Réunion).

s'exhausse graduellement à mesure que l'éruption continue et finit par devenir une colline conique, tronquée au sommet par la large ouverture du cratère, indiquant l'orifice de l'éruption.

(1) CH. VÉLAIN, *Description géologique de l'île de la Réunion (Mémoires et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus, t. II, 2^e Partie, p. 171)*.

Après avoir été au niveau du sol, lors de la formation du volcan, l'orifice se prolonge alors en cheminée, au centre du cône de débris, et chaque éruption nouvelle contribue à son élévation. Les flancs de ces cônes de débris prennent une inclinaison de 35° et 40°, déterminée, comme la pente de tout talus d'éboulement, par la grosseur moyenne et la cohérence des éléments.

Ces édifices, érigés ainsi par l'entassement successif de matériaux meubles, rejetés du sein de la terre, conservent leur forme régulière longtemps après que tout travail d'éruption a cessé dans la cheminée. On a pu constater, de la sorte, qu'ils présentaient, dans leur intérieur, une sorte de stratification grossière, dont les diverses couches, composées d'éléments fragmentaires enchevêtrés, sont assez variées, suivant les diverses phases des éruptions qui ont présidé à leur formation. Les cendres, les lapilli, les scories, les blocs de roches plus anciennes, au travers desquelles l'éruption s'est fait jour, dominent dans certaines couches, ou même les composent entièrement.

De pareils cônes, dont les dimensions varient depuis celui d'une grande fourmière jusqu'à une colline de plusieurs centaines de mètres de haut, sur 3^{km} à 4^{km} de circonférence, peuvent se former avec une étonnante rapidité.

L'admirable cône de débris, qui s'éleva en 1538 sur la côte de Pouzzoles, dans l'espace de deux jours et de deux nuits et qui porte maintenant le nom de *Monte-Nuovo*, est un des meilleurs exemples qu'on puisse citer de cette formation rapide d'un édifice construit par l'accumulation des débris répétés par les explosions.

Son apparition, pour ainsi dire subite, dans la journée du 29 septembre 1538 sur un sol plat, resté horizontal, a longtemps servi de prétexte à cette théorie dite des *soulèvements* qui, pendant la première partie de ce siècle, a tenu une si grande place dans l'histoire des volcans.

Cette théorie, qui a eu pour défenseurs les savants les plus illustres, tels que Humboldt, Léopold de Buch, et après eux Élie de Beaumont, admettait que les édifices volcaniques étaient sortis tout formés de la terre, et qu'ils devaient leur architecture actuelle non plus, comme il était naturel de le penser pour tous ceux qui avaient pu assister à leur formation, à l'accumulation séculaire des produits rejetés par les explosions autour des orifices de sortie, mais bien à un redressement subit des couches terrestres, opéré sous l'action d'une poussée verticale, agissant sur un seul point. Dans ces conditions, « le sol devait se gonfler comme une vessie qui se crevait au sommet, pour se former un *cratère dit de soulèvement* ». Or on n'a point de témoignages authentiques sur lesquels on

puisse appuyer une pareille hypothèse d'un gonflement soudain du sol, en forme d'ampoule. Dans ce cas particulier du Monte-Nuovo, les témoins nombreux qui ont pu contempler ce spectacle émouvant de l'apparition soudaine d'une montagne nouvelle sont unanimes pour déclarer que la terre se fendit en donnant issue à des vapeurs, à des scories et à des laves, et que la colline s'éleva ainsi, peu à peu, d'une façon régulière par l'entassement des matériaux rejetés.

Un de ces témoins oculaires, très digne de foi, Pierre Jacob de Tolède, après avoir parlé des tremblements de terre qui eurent lieu en Campanie à cette époque, et après avoir cité de faibles changements de niveau des fissures et des sources chaudes qui en furent le résultat, raconte : « Vers 2^h de la nuit, la terre s'ouvrit près du lac et laissa voir une bouche formidable d'où s'échappaient avec fureur du feu, de la fumée, des pierres et des cendres. Un bruit semblable à celui du tonnerre le plus fort accompagnait ce déchirement du sol. Les pierres atteignaient une hauteur presque égale à une portée d'arbalète; puis elles retombaient soit sur le bord, soit dans l'intérieur même du soupirail; elles formèrent, en moins de douze heures, une montagne de mille pas de hauteur. »

Un fait qui aurait dû faire rejeter, de prime abord, tout ce qui a été dit au sujet de cette apparition d'une montagne nouvelle, c'est qu'au pied même du *Monte-Nuovo*, sur les bords du lac Averne, s'élèvent encore plusieurs hautes colonnes, restes d'un temple d'Apollon; il est certain que ces colonnes n'auraient pu conserver leur position verticale si le *Monte-Nuovo* avait été soulevé.

Il en est de même pour le non moins célèbre *Jorullo* du Mexique, qui prit subitement naissance, en 1759, au milieu d'une vaste plaine, *Las Playas de Jorullo*, jusqu'alors couverte des plus riches plantations.

C'est dans la nuit du 29 septembre 1759 que la terre s'est ouverte à l'endroit qu'occupe maintenant une montagne haute de 1343^m qui domine une plaine dite des *Malpays*, couverte par des milliers de petits cônes de 2^m à 3^m, les *Hornitos*, dont chacun représente l'ouverture d'une fumerolle.

Alexandre de Humboldt a eu raison de dire que cette grande catastrophe, pendant laquelle une région d'une étendue considérable a subitement changé de face, est un des événements les plus considérables que puisse présenter l'histoire volcanique de notre planète, mais il était dans une complète erreur quand il déclarait que cette plaine, s'étant brusquement gonflée *en forme de vessie*, la montagne avait surgi de terre soudainement et toute formée.

D'après les traditions des habitants du pays, et surtout d'après les observations de savants et habiles géologues, tels

que de Saussure et Schleiden, qui ont étudié le Jorullo avec soin, cet événement mémorable s'est passé dans des circonstances toutes naturelles et conformes aux phénomènes volcaniques ordinaires.

A la suite de tremblements de terre, accompagnés de mugissements épouvantables, qui, depuis quelques mois, désolaient la région, jetant la terreur parmi les habitants de la hacienda de San Pedro de Jorullo, une vive déflagration éclata dans le fond de la vallée et l'on vit s'établir, sur le trajet d'une grande crevasse, six cratères, qui vomirent des roches incandescentes à des hauteurs prodigieuses.

De grandes gerbes de cendres et de scories s'élançèrent ensuite de ces soupiraux, puis bientôt après, de puissantes coulées d'une lave visqueuse et tenace s'épanchèrent de tous ces orifices de décharge, en s'accumulant, sur leurs bords, en une masse épaisse et consistante à contours elliptiques. Ce fut ce cratère principal, qui porte maintenant le nom de Jorullo, qui fournit les dernières laves; elles étaient si peu fluides qu'elles se congelèrent en un puissant éperon, qui semble, maintenant, étayer les flancs de ce cône majestueux. C'est alors que, de la surface de cet énorme amas de roches fondues, crevassé dans tous les sens, surgirent des fumerolles aqueuses, véritables petits volcans de boue, qui édifièrent, sur les coulées, ces milliers de petits cônes, les *Hornitos*, aujourd'hui complètement éteints. Une explosion de cendres noires, lancées du Jorullo, qui vinrent couvrir les toits des maisons de la ville de Queretaro, située à plus de 40 lieues de distance, mit fin à tous ces phénomènes, qui rentrent bien dans la catégorie de ceux que nous avons décrits.

En résumé, le Jorullo, comme tous ses congénères, n'est autre qu'un cône volcanique érigé à la suite d'explosions d'une grande violence et faisant partie d'une série de cinq autres cônes de même nature, établis sur une grande fracture, traversant les *Malpays*. La terre se fendant, en effet, suivant des directions sensiblement rectilignes, lorsque les matières fluides contenues souterrainement cherchent une issue, les orifices volcaniques s'alignent sur la crevasse et les amas de projections s'y succèdent, par suite, en rangées.

La chaîne des Puys, près de Clermont en Auvergne, présente ainsi plus de soixante cônes volcaniques espacés régulièrement sur une ligne droite de 18^{km}, qui n'est autre que le trajet de la fissure souterraine sur laquelle ils se sont successivement établis.

Cônes adventifs. — Tous ces cônes parasites qui s'élèvent, par suite d'éruptions latérales, sur les flancs des montagnes volcaniques, portées à une grande hauteur, se disposent de même par files rayonnantes, qui convergent vers le sommet.

Le Vésuve (*fig. 9*), en 1794, lors de l'éruption mémorable qui a détruit Torre del Greco, a offert un bon exemple de cette for-

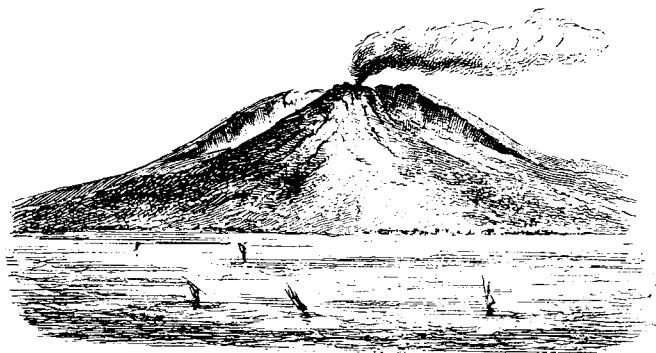


Fig. 9. — Vue du Vésuve, prise de Sorrente, montrant le cône moderne s'élevant du milieu de l'ancien cratère de la Somma. (D'après POULET-SCROPE.)

mation rapide de huit cônes très rapprochés, étagés sur une fissure longue de 1^{km}.

Ch. Sainte-Claire Deville, de regrettée mémoire, a depuis longtemps signalé l'importance que prennent, sur chaque volcan, ces fentes qui, une fois formées, tendent toujours à se rouvrir à chaque reprise nouvelle de l'activité volcanique, et les désignait sous le nom, qu'elles doivent conserver, de *plans éruptifs*.

Dès que la montagne ignivome a acquis ainsi une certaine altitude, ces fissures se forment sous la seule pression exercée par le poids de la colonne de lave quand elle s'élève dans la cheminée et qu'elle atteint le cratère du sommet. La cheminée, qui s'ouvre au sommet de l'Etna, atteint plus de 3000^m au-dessus du niveau de la Méditerranée; on conçoit aisément qu'une pareille masse de lave, puissamment aidée par la force expansive des gaz contenus dans la cheminée, puisse exercer un effort suffisant pour la faire éclater.

Quand de pareilles crevasses se déclarent, entr'ouvrant la montagne sur une grande étendue, de véritables jets de lave s'élancent avec une extrême violence jusqu'à ce que le niveau de la nappe liquide, contenue dans la cheminée, se soit suffisamment abaissé (1). La lave s'écoule ensuite sur les pentes du volcan, sous l'action de la pesanteur, comme le ferait un ruisseau de métal fondu ou de tout autre liquide imparfait, remplissant les dépressions qu'elle rencontre, inondant les

(1) En 1805, on l'a vu s'élanter ainsi des flancs du Vésuve avec une vitesse de 20^m par seconde.

surfaces planes, s'accumulant contre les obstacles pour déborder par-dessus, ou bien les contournant en se divisant en plusieurs bras, en un mot se comportant comme un véritable fleuve de feu.

L'éruption une fois terminée, les laves se coagulent rapidement dans ces fissures toujours étroites, leur largeur ne dépassant guère, en moyenne, 4 à 5^m; il se forme, ainsi, dans l'intérieur de la montagne un réseau de filons entrecroisés, qui enserre tous ces matériaux meubles et peu cohérents dont elle se compose, et lui communique, par suite, une solidité exceptionnelle.

Éruption de l'Etna en 1865; crevasse du Frumento. — La dernière grande éruption de l'Etna (janvier 1865) est un des exemples les plus remarquables qu'on puisse citer de ces coulées latérales, qui semblent former le jeu normal de l'activité de ce géant de la Sicile, que Pindare dénommait le grand « pilier du ciel ». Sur 80 éruptions, connues depuis la période historique, on en compte, en effet, plus de 60 qui se sont faites ainsi par des crevasses verticales, ouvertes sur les flancs du dôme qui sert de support au cône terminal, et dans le nombre il en est qui se sont étendues sur 20^{km} de long, en couvrant sur des espaces de plus de 100^{km²} des villes et des villages, entourés de grandes plantations et de belles cultures.

Les diverses phases de cette éruption mémorable ont été suivies avec soin et étudiées de la façon la plus précise et

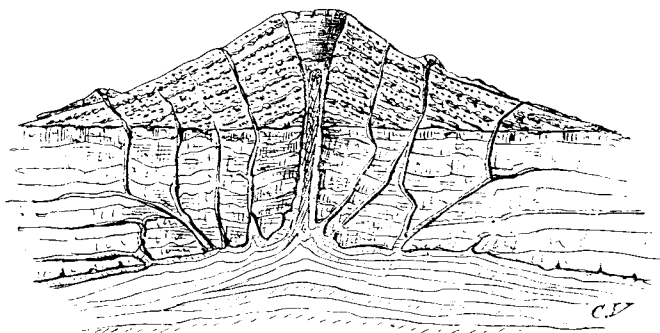


Fig. 10. — Coupe théorique montrant le mode de formation des cônes adventifs, sur le trajet des fissures, qui entament la montagne volcanique.

la plus complète par M. Fouqué; elle mérite donc d'être racontée en détail.

Dans la nuit du 30 au 31 janvier, une violente secousse se fit sentir sur le flanc nord-est de la montagne, avec une intensité telle que tous les habitants des villages avoisinants, saisis

de terreur, quittèrent en toute hâte leurs maisons, où ils ne devaient plus rentrer.

La paroi avait cédé sous l'effort des laves; on vit des gerbes de feu s'élançant de la base du Monte-Frumento (*fig. 11*)

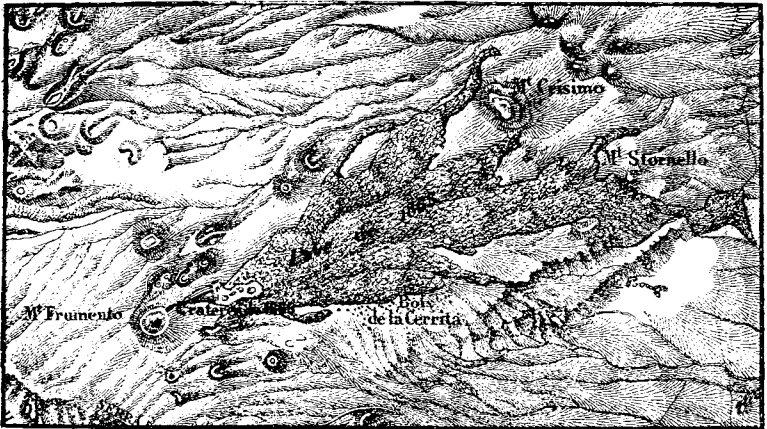


Fig. 11. — Coulée du Monte-Frumento (d'après M. Fouqué).

ancien cône de débris dressé sur le versant oriental de l'Etna, et la terre se fendit, dans la direction du cratère terminal, sur une longueur de 2^{km}, 5.

Le spectacle était effrayant; la lave comprimée jaillit sur les pentes du volcan, avec une vitesse prodigieuse de 6^m à la minute, détruisant tout sur son passage et ne laissant, çà et là, que quelques rares îlots de végétation entre ses coulées.

Le 2 février, le courant principal, large de 300^m à 500^m, atteignait, à 6^{km} de son point de départ, l'escarpement situé au sud du *Monte-Stornello*, d'où il se précipitait, d'une hauteur de 50^m, charriant à sa surface des blocs solidifiés qui tombaient, avec fracas, du haut de cette cascade de feu. Bientôt la vallée tout entière était comblée, et le courant continuant sa marche avec plus de lenteur, sur une longueur d'environ 3^{km}, finissait par s'arrêter sur l'emplacement d'une ancienne coulée nommée la *Sciarra de la Scorgia Vacca*, à une altitude de 800^m.

Ce fut un spectacle splendide, que la vue de cette cataracte de feu, entraînant dans sa chute des blocs de lave noircis et des amas de scories, qui s'entrechoquaient avec des bruits terribles, et rebondissaient dans le fond du ravin en gerbes étincelantes. Tandis que les villageois de l'Etna se lamentaient en voyant leurs cultures envahies et les forêts détruites, des

milliers de spectateurs, venus en toute hâte de Messine et de Catane, contemplaient la splendide horreur de cet incendie.

Mais ce phénomène fut de courte durée ; peu de temps après la sortie des laves, toute l'activité volcanique, concentrée au pied de la crevasse, donnait naissance à six cônes adventifs qui s'élevèrent rapidement à 100^m de hauteur. Les grands cratères, qui s'ouvraient à leur sommet en forme de boutonnières, vomissaient, sans trêve ni repos, dans toutes les directions, à de prodigieuses hauteurs, des pierres et des fragments de lave incandescents (1). Dès lors les phénomènes de l'éruption se distribuèrent, sur cette extrémité inférieure de la fracture, avec une grande régularité.

C'est ainsi que les deux cônes les plus rapprochés du Monte-Frumento, deux mois après l'explosion initiale qui avait fendu la montagne et donné lieu à la grande coulée de février, ne lançaient plus que par intermittence quelques blocs de lave solidifiée, des scories et des cendres avec de la vapeur d'eau, tandis que les deux derniers, situés à l'extrémité inférieure de la crevasse, vomissaient encore des jets de lave incandescents, au milieu de nuages épais et de violentes explosions. En dernier lieu, toute activité avait cessé dans les cratères supérieurs, quand le septième cône, situé sur la partie la plus basse de la crevasse, exhalait son dernier souffle, en lançant, de temps à autre, quelques projections qui ne le dépassaient guère de 100^m en altitude, alors qu'au début, d'après le témoignage de M. Fouqué, elles avaient atteint 1700^m et même 1800^m.

Tout s'est donc passé, dans cette éruption mémorable, suivant les lois fixes et bien déterminées que nous avons définies. Le volume de lave rejeté par cette fissure pendant les six premiers jours a pu être évalué à 90^{mc} par seconde.

Cette immense nappe de matière fondue s'écoulait ainsi, à la manière d'un torrent de feu, au travers d'un bois de haute futaie, celui de *la Cerrita*, où dominaient, au milieu de chênes et de bouleaux, des pins et les châtaigniers géants qui ont acquis sur l'Étna une si grande célébrité.

M. Fouqué a pu observer là un phénomène très remarquable. La nappe de feu avait baigné ces arbres jusqu'à une hauteur de 6^m à 7^m au-dessus du sol. Beaucoup avaient été arrachés ou brûlés, mais il en restait un grand nombre encore debout, garnis de tout leur feuillage, au-dessus de la coulée maintenant refroidie. Les arbres, ainsi conservés, étaient tous entourés d'une gaine de lave solidifiée, qui s'était moulée sur l'écorce et l'avait ainsi protégée contre l'action vive de la

(1) Au début, M. Fouqué a pu évaluer à 1800^m la hauteur qu'atteignaient ces projections.

haute température dégagée par la lave en fusion, qui les avait environnés.

Ce fait trouve son explication naturelle dans l'humidité de l'écorce, qui, subitement vaporisée, agit comme une espèce de fourreau protecteur, pendant ce court intervalle qui sépare l'immersion de l'arbre dans la lave et le refroidissement de la première enveloppe.

De pareils phénomènes sont fréquents, à la Réunion, sur les hauts plateaux qui s'étendent à la base des *Grandes Pentes*, dans le Grand-Brûlé, où se déversent, pour ainsi dire annuellement, les coulées du piton de la Fournaise. Sur l'emplacement de ces grandes et belles forêts de palmiers et de fougères arborescentes, aujourd'hui en partie détruites, qui s'étendaient autrefois du rempart du Tremble à celui du Bois-Blanc, on peut voir, çà et là, portant haut leur large bouquet de feuilles en éventail, des palmiers, encore debout, seuls témoins qui restent de cette scène de désolation, entourés ainsi jusqu'à mi-hauteur d'un étui de lave, qui s'est moulé avec une exactitude parfaite sur leur écorce et les a préservés ainsi de l'atteinte du feu.

Parfois, des explosions issues de la surface même des coulées, alors qu'elles sont recouvertes d'une première enveloppe scoriacée, projettent en l'air des fragments de la lave en fusion, qui circule sous cette *gaine de scories*. Ces fragments, retombant sur les arbres, s'accrochent aux branchages et y restent suspendus à la manière de ces glaçons formés par la gelée qui suit une neige abondante et un dégel. Les branches, ainsi enveloppées par la lave fluide, portent à peine des traces de feu. L'écorce même peut rester intacte.

Ces stalactites de lave sont fréquentes dans les grandes forêts qui, s'étendant, à Hawaï, sur les pentes du Mauna-Loa, sont souvent traversées par les grandes coulées qui descendent, avec une vitesse prodigieuse, de cet immense volcan.

Ces faits remarquables sont encore à rapprocher de ce qui se passe lorsqu'un courant de lave rencontre, dans son trajet, une surface plane d'une certaine étendue, tel qu'un mur de clôture lui barrant le passage perpendiculairement à sa direction. Dans ce cas la coulée s'arrête, comme par enchantement, à une très faible distance de l'obstacle; elle s'accumule au devant, en refluant en arrière, jusqu'à ce qu'elle ait atteint une hauteur suffisante pour le surmonter et rouler par-dessus en cascade de feu. Cette observation a pu être faite, sur le Vésuve, lors des grandes coulées qui, à diverses reprises, ont atteint les constructions et les villages établis sur les pentes. Il en a été de même, à l'Etna, quand la terrible coulée de 1669 atteignit les fortifications de Catane, après avoir détruit quatorze villes sur son passage; cette muraille ne fut pas

renversée; la lave, refluant devant elle, la surmonta ensuite en se recourbant comme une vague de feu.

Grande dimension des cônes de débris. — Les éruptions, qui se succèdent ainsi pendant le cours des siècles, sont pour résultat d'accroître graduellement les pentes du cône et de rompre leur uniformité. Les coulées s'ajoutant aux coulées, le volcan s'élargit ainsi et grandit tout à la fois par les explosions du sommet; il finit par atteindre et même dépasser la limite des neiges perpétuelles. Tel est le sublime Cotopaxi des Andes, qui se dresse à plus de 6000^m au-dessus de la Cordillère et qui doit son élévation et sa forme régulière à la durée ainsi qu'à la violence de ses éruptions.

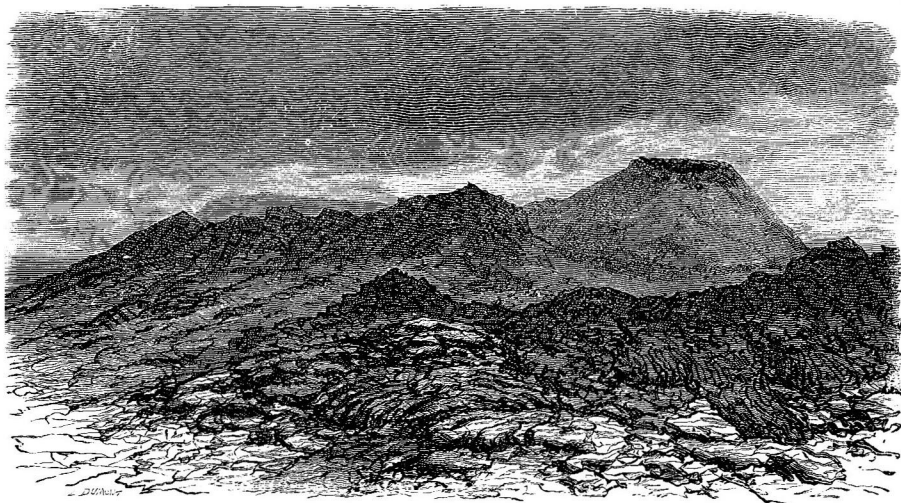


Fig. 12. — Cône de débris au sommet de l'île Amsterdam (océan Indien).

Coulées par déversement. — La sortie de la lave ne se fait pas seulement par des fentes ouvertes sur les flancs de la montagne volcanique; parfois, dans les grands paroxysmes, elle remplit complètement le cratère terminal et se déverse par-dessus ses bords, à la manière d'un trop-plein.

Ces coulées par déversement peuvent se produire sur les grands volcans; le Mauna-Loa, dont l'altitude atteint plus de 4000^m est un des meilleurs exemples qu'on puisse citer.

Au sommet de cette immense montagne, qui supporte sur ses flancs ce lac permanent de lave bouillante, le *Kilauea*, dont nous avons déjà parlé, s'ouvre un large cratère, le *Mokua-Weo-Weo*, de forme elliptique, qui s'étend en direction N.-S. sur une longueur de près de 5^{km}, sa plus grande largeur étant

de 2700^m (*fig. 12*). Ses parois verticales tombent à pic sur une hauteur de 50^m à 60^m; elles montrent, dans toute leur étendue, une longue succession de coulées de laves épaisses et compactes, qui se superposent avec une extrême régularité. Cette vaste enceinte circonscrit un premier fond, percé en son centre par une vaste dépression circulaire, entaillée comme à l'emporte-pièce et dont on ne voit pas le fond. C'est là le cratère principal; sa profondeur moyenne est de 250^m; il est

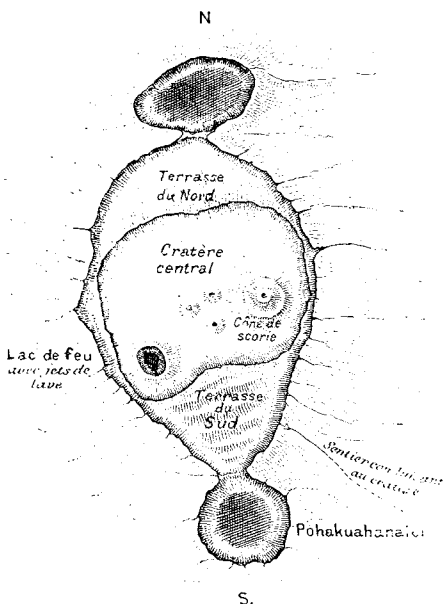


Fig. 13. — Le Mokua-Weo-Weo. — Cratère terminal du Mauna-Loa.
(D'après BIRCHAM.)

escorté par deux autres cratères, situés l'un au Nord, large et profond, l'autre au Sud, de moindre étendue, connu des indigènes sous le nom de *Poha-kua-hanaïa*. Un petit cratère secondaire se voit encore, plus au Sud, au travers d'un large courant de laves, à proximité d'une belle rangée de cônes de scories, qui se dressent dans cette direction.

Dans les grands paroxysmes, cette vaste chaudière peut se trouver remplie, tout entière, par la lave en fusion qui, débordant sans entamer le cratère, recouvre la montagne d'une immense nappe de feu. La nuit, ces laves incandescentes jettent, sur le ciel, une lumière si vive qu'il paraît en feu; ce spectacle est un des plus grandioses et des plus imposants qu'il soit donné à l'homme de contempler (*fig. 14*).

C'est dans cet état que M. Birgham (1) a trouvé le *Mokua Weo-Weo*, en 1875. Des jets de lave incandescente s'élevaient alors du cratère, sans discontinuité, à des hauteurs de 25^m à 30^m, avec des torrents de vapeurs, qui s'échappaient de la lave avec des sifflements aigus. Deux ans après, dans la nuit du 14 février 1877, pareil phénomène s'est produit et pendant tout un jour la lave s'est déversée par le sommet, débordant sur tout le pourtour du cratère, ainsi qu'en témoignent maintenant des nappes de lave solidifiée qui, avec ces reflets miroitants

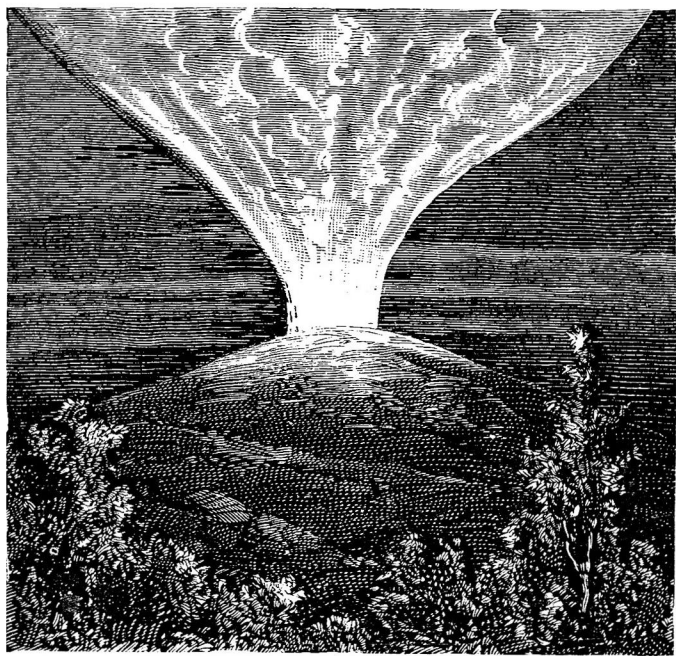


Fig. 14. — Éruption du Mauna-Loa (14 février 1877), vue de Hilo (d'après un croquis de M. Ballieu, consul de France à Honolulu).

satinés, trait saillant et caractéristique des laves vitreuses du Mauna-Loa (2), s'étendent en surplomb par-dessus les bords du cratère, formant un revêtement épais, qui figure d'immenses draperies retombant en longs festonnements.

C'est de la sorte que ces laves s'étirent et restent figées sur les bords de l'orifice, quand leur niveau s'abaisse, soit que

(1) *Peterman's Geograph. Mittheilungen*, Jahrgang 1876.

(2) Cet aspect satiné leur a valu, de la part des indigènes, le nom de *pahéhoë*, qui veut dire luisant comme du satin.

l'éruption cesse, soit qu'une fissure se déclare au sein de la montagne, sous l'énorme pression exercée par cette puissante masse de lave, élevée ainsi à plus de 4000^m au-dessus du niveau de la mer. Dans ce dernier cas, qui est encore fréquent au *Mauna-Loa*, les laves, douées d'une fluidité exceptionnelle, s'élancent dans les airs, par jets paraboliques, avec une vitesse prodigieuse. On en a vu qui, en 1852, s'élevaient ainsi à plus de 100^m de hauteur.

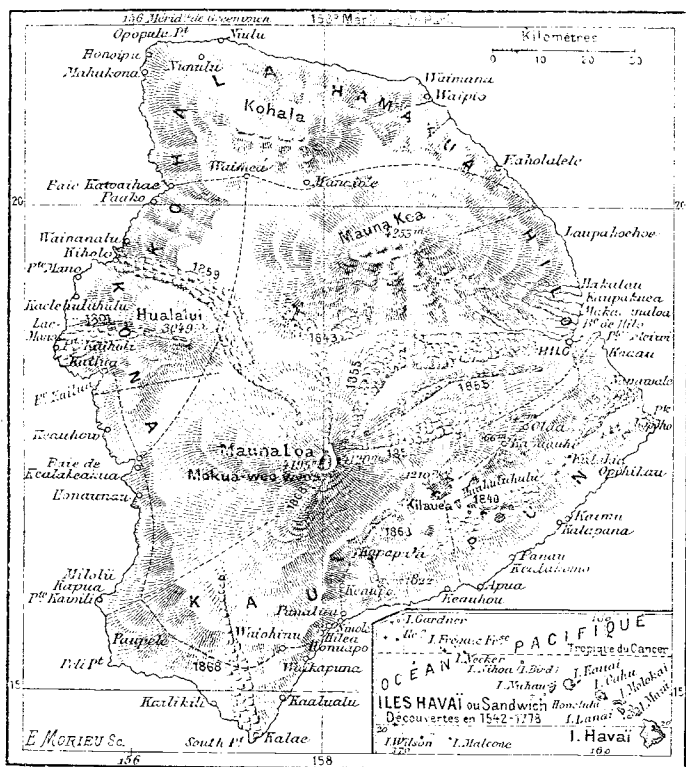


Fig. 15. — Carte de l'île Hawaï et de l'archipel des Sandwich (1).

L'éruption de 1843, qui a précédé, a été particulièrement terrible; elle a eu pour témoins MM. Andrews et Coan, mis-

(1) Les figures relatives à la description des volcans de l'île Hawaï, empruntées à *la Nature* (nos 432 à 485, Ch. VÉLAIN, *l'Archipel hawaïen et ses volcans*), ont été gracieusement communiquées par M. Masson, à qui j'adresse ici tous mes remerciements.

sionnaires anglais qui en ont donné, dans le *Missionary-Herald*, une relation très détaillée ⁽¹⁾.

« Dans la matinée du 10 janvier 1843, on vit de grandes flammes s'élever près du sommet du Mauna-Loa. On découvrit bientôt qu'un nouvel orifice volcanique s'était ouvert au flanc nord-est de la montagne, à une hauteur de 1300 pieds, et que des torrents de lave s'en échappaient. L'éruption augmenta rapidement en violence; la montagne tout entière parut couverte de feu, et pendant plusieurs jours de véritables jets de lave s'élançèrent de ses flancs, se répandant ensuite sur ses pentes à la manière de torrents de feu. Ces flots de lave vinrent se réunir dans la grande plaine qui sépare le Mauna-Loa du Mauna-Kea et, là, s'étendirent sur ce vaste espace, en donnant lieu à une véritable mer de feu, qui, la nuit, jetait sur le ciel une lumière, assez vive, pour éclairer toute l'île. Ce spectacle dura plusieurs jours; la grande élévation des jets de lave, leur rapide écoulement et l'inondation subite qui en était résultée tinrent tout le monde en éveil pendant plusieurs nuits. »

Six semaines durant, les laves s'écoulèrent avec une pareille intensité; à cette date, quelques points seulement de la fracture étaient encore actifs; les coulées s'avançaient lentement, on put juger de leur étendue. Une large coulée issue du sommet s'était dirigée à l'Ouest vers le district de Kona; une autre traînée beaucoup plus étendue, sortie d'un point plus bas, s'écoulant vers le Nord, était venue buter contre le massif du Mauna-Kea; là elle s'était étalée sur une grande surface, puis s'était divisée en deux branches, l'une dirigée, au Nord-Ouest, vers la plaine de Waimea, l'autre, à l'Est, sur Hilo. L'étendue de ce fleuve de lave est ainsi de 40 milles.

Au commencement du mois de mars, M. Coan entreprit l'exploration de ce massif et fit l'ascension du cratère, au prix des plus grandes fatigues et des plus grands dangers; le récit de ce voyage périlleux, exécuté en grande partie sur la coulée même, à peine refroidie, alors que la lave fluide circulait encore au-dessous d'une faible écorce, qui parfois était mouvante et semblait céder sous le pas, est rempli d'intérêt.

Dans sa partie basse, la coulée s'était répandue au milieu des forêts. Ces jungles impénétrables avaient été saccagées; des arbres énormes, violemment arrachés et longtemps charriés sur la lave, étaient venus s'accumuler sur son front, formant un barrage inextricable. Sur les côtés épaissis, ces troncs d'arbres, empâtés par moitié, formaient de véritables chevaux de frise, tandis que d'autres, dressés au milieu de la

(1) *Missionary-Herald*, t. XXXIX, p. 43 et 381; X, p. 44.

coulée, semblaient comme autant de pieux implantés au sein de la masse liquide par la main des géants. Dans la plaine, sous le Mauna-Loa, les laves refroidies donnaient l'image d'une mer consolidée à l'état de tempête; ce n'étaient que blocs heurtés, dressés les uns contre les autres. Au milieu de ces masses saillantes, noires et informes, violemment emboîtées, s'élevant jusqu'à 10^m au-dessus du niveau de la plaine, des traînées de scories se faisaient remarquer par leurs protubérances aiguës et anguleuses. Enfin, en d'autres points, la lave fluide présentait une surface unie et vitreuse, marquée seulement de replis concentriques et d'ondulations, ayant leur convexité tournée dans le sens de l'écoulement. Ces courants étaient alors divisés par de profondes crevasses, au fond desquelles on voyait encore le fleuve igné rouler ses ondes

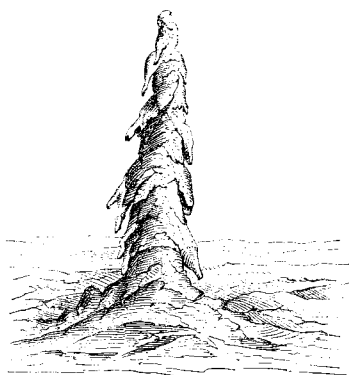


Fig. 16. — Jet de lave à la surface d'une coulée du Mokua-Weo-Weo.
(D'après DANA.)

avec une grande rapidité. Ces larges fissures laissaient échapper d'abondantes vapeurs, qui les signalaient de loin et permettaient de les éviter.

En cherchant à atteindre le sommet du volcan, après une ascension dont les difficultés s'accrurent à chaque pas, M. Coan et ses compagnons arrivèrent jusqu'au point d'émission de la première coulée. Ils se trouvèrent là, à une faible distance du plateau terminal, en présence de deux immenses cratères contigus et remplis presque jusqu'au bord par des laves incandescentes, en complète ébullition. Séjourner en un pareil lieu, sur un sol échauffé, à ce point qu'on ne pouvait tenir en place, et sous une pluie de projections brûlantes, était impossible. Leur exploration, déjà si aventureuse, dut s'arrêter là : ils ne purent gagner le sommet et furent obligés de revenir en toute hâte à leur dernier campement.

Les dates connues de ces grandes émissions de laves sont les suivantes : 1832, 1843, 1852, 1859, 1866, 1875.

Elles se renouvellent, par conséquent, avec une certaine régularité tous les dix ans. Dans les intervalles, le cratère terminal reste toujours en activité solfatarienne : ce n'est, en somme, que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles que les laves apparaissent dans le fond et s'y maintiennent à l'état de fusion pendant un certain temps, arrivant à se déverser par-dessus les bords de l'orifice, ainsi que l'ont observé M. Birgham en 1875 et M. Ballieu en 1877.

C'est l'émission, pour ainsi dire continue, et poursuivie pendant un long espace de temps, de laves très fluides par cet orifice central, qui a porté ainsi le Mauna-Loa à 4200^m, en lui donnant cette forme en dôme aplati, qui résulte de leur accumulation successive (*fig. 15*). Sur ses pentes, à une époque fort ancienne, qu'il est impossible de préciser, le Kilauea s'est établi et son activité ne paraît pas s'en être ressentie. Ces deux appareils, complètement indépendants, ont, en effet, fonctionné isolément en contribuant, chacun de leur côté, à l'accroissement régulier du massif qui les supporte.

C'est ainsi que, pendant les violentes éruptions du Mokuaweo-Weo, que nous avons signalées, le cratère ouvert du Kilauea demeure dans son état de tranquillité habituelle, sans paraître impressionné par l'énorme développement de forces qui se manifeste dans l'axe central du volcan, pour amener la lave en fusion jusqu'à son sommet. Une colonne de lave, se maintenant à une pareille hauteur, atteste la solidité de cette montagne, qui n'offre une telle résistance que parce que ses pentes sont très affaiblies (elles ne dépassent pas 8°); autrement, s'il existait une communication souterraine entre ces deux orifices, celui situé en contre-bas ferait office de siphon et les laves jaillissantes s'en échapperaient pour se mettre à niveau (*fig. 5*).

Ce défaut de correspondance, entre ces deux cratères, doit tenir à ce que tous deux ne sont pas, toujours, en communication directe avec la nappe souterraine qui fournit la matière aux éruptions.

On peut concevoir que, dans un pareil massif volcanique, un des conduits de décharge soit temporairement intercepté par suite de la consolidation des laves en son intérieur, en raison de conditions spéciales qui amènent leur refroidissement, tandis que le conduit voisin, situé en contre-bas, reste en communication constante avec les profondeurs et subit alors un accroissement graduel de température et de tension qui permet aux laves de se maintenir à l'état fluide.

Les éruptions du Mokuaweo-Weo doivent provenir, suivant toute apparence, d'un foyer, situé à une grande profondeur

sous la montagne, dont la température et la force expansive ne sont pas atténuées par un dégagement lent et continu comme celui du Kilauea. Aussi ces forces s'accroissent, et quand les conditions d'éruption se réalisent, ce qui ne se fait qu'à des intervalles très éloignés, elles se font violentes et sont relativement de courte durée. Elles se produisent, ainsi, quand les masses laviques, contenues dans l'intérieur, ont acquis graduellement, par l'accroissement de chaleur et la tension des gaz, ce degré qui leur permet d'atteindre une température telle qu'elles peuvent remettre en fusion les laves consolidées qui obturent la cheminée, et d'arriver à la surface, sans cataclysmes, sans détonations, sans ces boule-

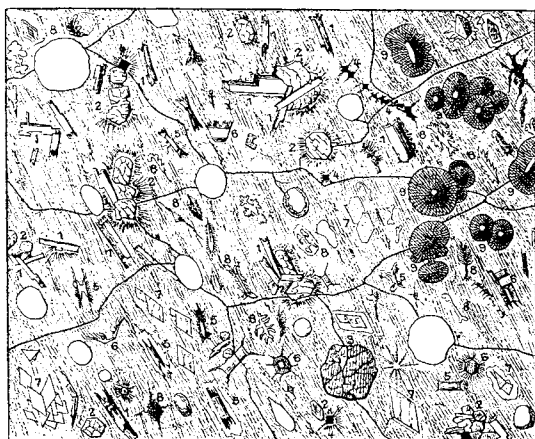


Fig. 17. — Lave du Kilauea (éruption de 1881) vue au microscope, en lumière naturelle, à un grossissement de 40 fois, montrant sa structure fluidale.

1, labrador. — 2, augite. — 3, périclote. — 4, magnétite. — 5, microlithes d'anorthite. — 6 et 7, cristallites d'augite. — 8 et 9, concrétions sphérolithiques.

versements du sol et ces explosions qui précèdent, en général, l'apparition des laves et forment le cortège habituel des éruptions dans les appareils volcaniques intermittents.

Mais les conditions de fluidité de la masse lavique, qui remplit la cheminée du Moku-Weo-Weo, ne sont que temporaires, et ce volcan est soumis à des alternatives d'activité et de calme qui se font, ainsi que nous l'avons vu, à des époques déterminées.

Ces effets de refusion, produits par des laves portées à une haute température, sont fréquents dans le lac de feu du Kilauea. La lave, exposée à l'air, se recouvre, en partie, d'une

croûte solide; grâce à sa fluidité exceptionnelle, sous cette enveloppe qui la protège contre le rayonnement, elle se maintient à l'état liquide et bientôt le bain redevient assez chaud pour refondre sa couverture. Il en résulte des alternatives de fusion et de solidification qui constituent le jeu normal du Kilauea.

Le caractère spécial des phénomènes volcaniques qui se passent dans le cratère, qu'on ne saurait attribuer, ainsi qu'on l'a fait bien souvent, à une soupape de sûreté ou à un regard, placé au centre du grand cercle volcanique qui entoure l'océan Pacifique, tient donc à l'extrême fluidité de cette lave, fluidité qui explique également la rapidité de son écoulement, quand elle s'échappe en jets brûlants au travers des fissures ouvertes sur les pentes basses de la montagne, et son maintien à l'état liquide dans l'intérieur des coulées, pendant de longs mois, après l'extinction des feux qui les ont animées. Longtemps après que la sortie des laves en fusion a cessé, quand toute trace d'incandescence a disparu à la surface, la lave reste encore à l'état liquide au-dessous de cette écorce consolidée; elle glisse lentement, sur les pentes, avec une consistance de miel épais, entraînant avec elle sa croûte scoriacée qui se disloque et se brise, en subissant des fusions partielles, quand elle arrive en contact avec le fleuve de feu qui l'emporte.

Cratères de laves. — Ces coulées de lave, par déversement hors du cratère, sont également fréquentes au *piton de la*

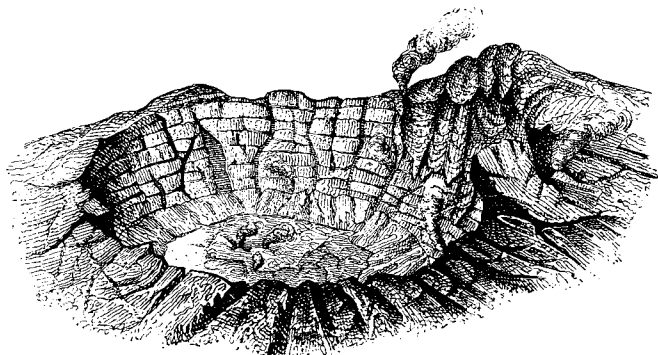


Fig. 18. — Cratère terminal du piton de la Fournaise (île de la Réunion).

Fournaise, à la Réunion, dont l'altitude relativement faible (2528^m) rend facile l'ascension des laves jusqu'au sommet. Elles constituent la règle habituelle des éruptions de ce volcan.

C'est ce qui ressort clairement de l'examen de son cratère

terminal (*Cratère Dolomieu*), qui doit ainsi son élévation et sa grande régularité à une longue série de coulées de lave superposées les unes aux autres.

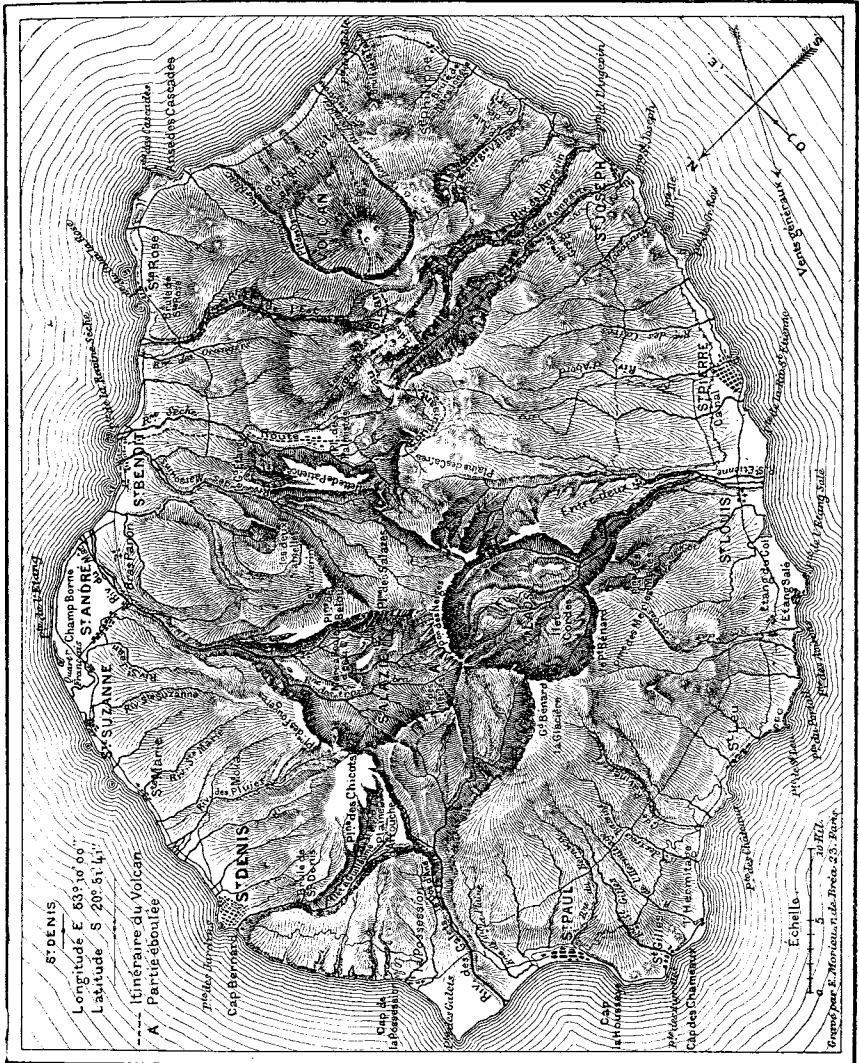


Fig. 19. — Ile de la Réunion.
(D'après la Carte dressée en 1852 par M. L. Maillard, ingénieur colonial.)

La forme générale de ce cratère est celle d'un vaste entonnoir; son diamètre, en 1874, au moment de notre ascen-

sion, atteignait 400^m et sa profondeur 150^m à 160^m. Ses parois intérieures, régulièrement inclinées, laissaient voir une longue succession de coulées noires à peu près horizontales, entremêlées de quelques lits de scories rouges, toujours minces et discontinus. Déjà cette absence de matériaux meubles, cendres, scories, rapilli, fournis par les projections, se faisait remarquer sur les pentes extérieures du cône, qui, faiblement inclinées (15° à 20°), se montrent recouvertes par des laves vitreuses, dont les coulées, tantôt largement étalées, peu épaisses et ruisselant sur le cône à la manière d'un vernis, tantôt divisées en une multitude de petites branches comme le chevelu d'une racine, viennent buter contre le rempart demi-circulaire qui entoure le volcan, dans le nord-ouest. L'une d'elles, toute récente (août 1874), s'échappait d'une grande fissure transversale, ouverte à l'ouest, et, prenant ce cône en écharpe, sur les deux tiers de sa hauteur, se déversait à l'ouest vers la plaine des Osmondes. En d'autres points et à diverses hauteurs, des coulées de même nature, mais de dimension plus réduite, serpentaient comme autant de courants sinueux, qui parfois s'arrêtaient à quelques mètres de leur point d'origine. La montagne, en un mot, semblait avoir de partout exsudé des laves.

On pouvait facilement se rendre compte du mode d'émission particulier de ces suintements de lave, en voyant, dans l'intérieur du cratère, les parois traversées, en tous sens, par des filons, qui parfois se projetaient en avant de la muraille en faisant une saillie de plusieurs mètres.

Ces filons, dirigés de bas en haut, représentent de grandes fentes verticales, remplies par la lave fondue, qui correspondent à chacune de ces petites coulées.

Les laves du fond, crevassées dans tous les sens, laissant échapper par bouffées, de place en place, des fumerolles, que le vent dissipait rapidement, formaient un plan horizontal, et sur le bord nord-est du cratère s'étendait en surplomb un revêtement de lave noire vitreuse, épais de plusieurs mètres, retombant dans l'intérieur du cratère en longues stalactites étirées à la base, comme celles qui demeurent suspendues aux chutes d'eau, par les fortes gelées d'hiver (*fig.* 18).

Cette lave, après s'être déversée lentement par le bord du cratère, s'était ensuite ainsi étirée, quand son niveau avait baissé.

Quelques heures, en effet, avant notre arrivée, les flancs de la montagne, cédant sous l'énorme pression de la gigantesque colonne de matières fondues qu'elle contenait, s'étaient entr'ouverts, et la lave soutirée par cette crevasse s'était échappée, avec violence, de la base du volcan.

Un fait digne de remarque, c'est que les laves, issues ainsi

des parties profondes de la montagne volcanique, sont plus denses et plus basiques, c'est-à-dire moins riches en silice que celles qui s'élèvent jusqu'au sommet du cratère et se déversent par-dessus ses bords.

Ces laves supérieures, vitreuses et plus riches en silice, avec un poids spécifique de 2,4, représentent en quelque sorte l'écume des coulées de la masse lavique. Dans leur émission, à la partie supérieure des cratères, les vapeurs et les émanations gazeuses doivent jouer un rôle considérable ; ce sont elles qui, portées à une tension considérable, tuméfient les matières fluides, les élèvent et les font surgir, au-dessus de l'orifice, à la manière du *champignon* qui se forme au-dessus du creuset, dans les laboratoires, quand on y dessèche certains sels. Leur extrême légèreté, leur structure boursouflée et jusqu'à l'aspect nacré des parois amincies de leurs vacuoles, semblent bien l'indiquer.

Tel était l'aspect des laves vitreuses émises par le cratère Dolomieu, en 1874, qui ne présentent, avec une teneur en silice relativement élevée (56, 20 pour 100) et par suite une faible densité (2,4), que des séparations cristallines, sous la forme de trichites et de microlithes de nature feldspathique ou augitique ; tandis que la lave des coulées latérales, qui s'étaient répandues vers le rempart du Tremblet, plus dense (2,97), en

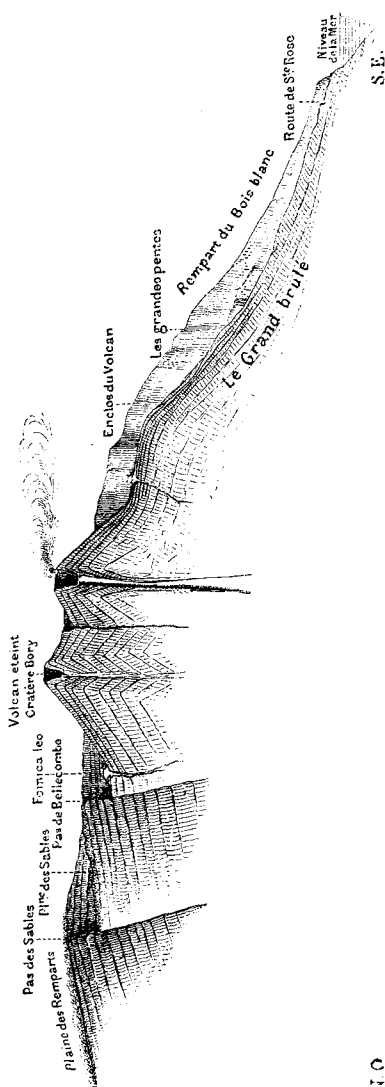


Fig. 20. — Ile de la Réunion; Coupe théorique du massif du volcan.

même temps plus basique (silice 48,90 pour 100) contient en abondance des minéraux ferrugineux, tels que le péridot, l'augite et le fer oxydulé, enclavés dans un magma confusément cristallin, comprenant à l'état microlithique ces mêmes éléments, avec un feldspath calcique, l'*anorthite*.

Ainsi, déversement d'une lave vitreuse, relativement riche en silice par-dessus les bords du cratère, puis soutirage par des crevasses latérales, ouvertes à niveau plus bas, d'une lave tout à la fois plus basique et plus dense, tels sont les deux phénomènes consécutifs présentés par l'éruption de 1874.

Ce fait peut se généraliser et doit être considéré comme représentant le jeu normal d'un grand nombre de volcans.

De ces deux sortes de coulées, les secondes sont de beaucoup les plus importantes, sous le rapport du volume des matières épanchées; ce sont elles qui, par suite de leur accumulation successive, contribuent pour beaucoup à accroître les talus du cône central et forment ainsi graduellement l'ossature de la montagne.

Les premières, beaucoup moins étendues, en se superposant régulièrement, n'ont pour effet que d'exhausser successivement le cône terminal, qui prend alors, avec des pentes plus adoucies, une stabilité que ne possèdent pas les cônes de débris.

Volcans marins : île Saint-Paul. — L'île Saint-Paul dans l'océan Indien, longtemps considérée, avec Barren-Island de la baie de Bengale et la Caldeira de Palma aux Canaries, comme un type de ces cratères imaginaires dits *de soulèvement*, qui aurait dû par suite, pour être en accord avec cette théorie, surgir, toute formée, du sein d'un océan profond, à 500 lieues de toute espèce de terre, peut être citée comme un des meilleurs exemples de la régularité et de la stabilité que peuvent prendre les édifices volcaniques, établis par la lente et progressive accumulation d'un grand nombre de coulées issues par déversement d'un large orifice central.

L'examen des parois abruptes de cratère, qui représente actuellement un vaste cirque, de 1600^m de diamètre, en grande partie immergé et devenu, par suite, un lac d'une profondeur moyenne de 60^m, montre, en effet, que l'île tout entière est formée par des couches de lave de nature diverse, disposées en bancs épais, régulièrement superposés, faiblement inclinés vers l'extérieur (20° à 30°) et recoupés, dans le sens vertical, par de nombreux filons de même nature.

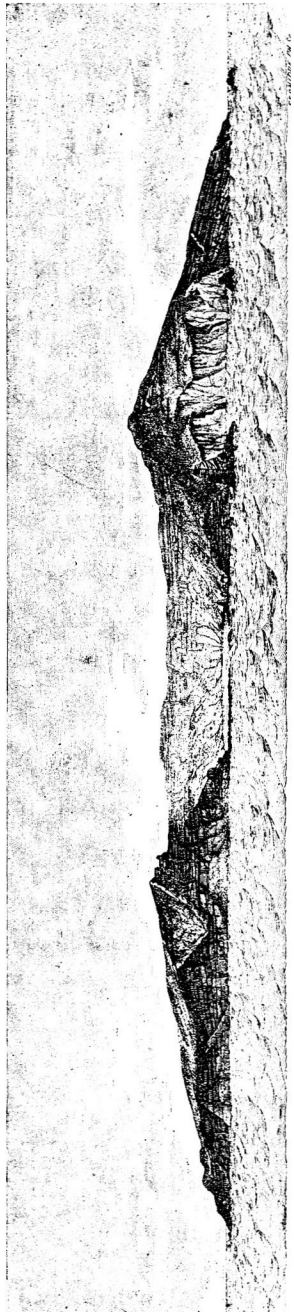
La disposition de ces dykes, qui, dans les falaises du nord, se présentent en saillie sous la forme de murs verticaux, est aussi en contradiction flagrante avec cette hypothèse. Une poussée violente, sur un espace aussi restreint que celui occupé par l'île Saint-Paul, comme le veut cette théorie, eût

nécessairement altéré la verticalité de ces dykes.

Ce volcan, dont la formation ne remonte guère au delà de la période actuelle, s'est édifié, à la suite de violentes explosions sous-marines, sur des amas de projections de nature ponceuse, qui forment maintenant, dans le nord-est, de hautes falaises dont les teintes vives et bariolées tranchent bien sur le ton sombre des laves noires, qui les traversent sous forme de dykes, et les enveloppent de toutes parts sous leurs puissantes coulées.

Ces projections, tumultueuses au début, ainsi qu'en témoigne la grande dimension des fragments de roche inclus dans ces conglomérats (*fig. 22*), sont devenues ensuite plus modérées et plus lentes : c'est alors que se sont formés les tufs ponceux qui leur succèdent immédiatement et se signalent par la régularité de leurs assises.

La force d'explosion étant affaiblie par la résistance de l'eau, ces débris projetés s'accumulaient sur place, en prenant la disposition stratiforme des roches de sédiment. Il s'est opéré là, en effet, une sorte de départ au milieu de ces produits volcaniques meubles, diversement modifiés par l'action de l'eau ; les plus lourds, tels que les fragments d'obsidienne et de rhyolithe, ont gagné le fond, tandis que les fragments de ponce, longtemps tenus en suspension par suite de leur extrême légèreté, ne se sont déposés que, plus tard, en s'étalant au-dessus des conglomérats en lits minces et très continus.



Ces projections, ainsi entassées, ne dépassaient pas encore le niveau de la mer, quand sont apparues des laves, visqueuses, riches en silice, et par conséquent peu fusibles, qui s'accumulèrent sur la bouche d'émission au lieu de s'étendre horizontalement comme les laves plus basiques. De nouveaux tufs (*tufs à palagonite*) qui se voient maintenant, dans les

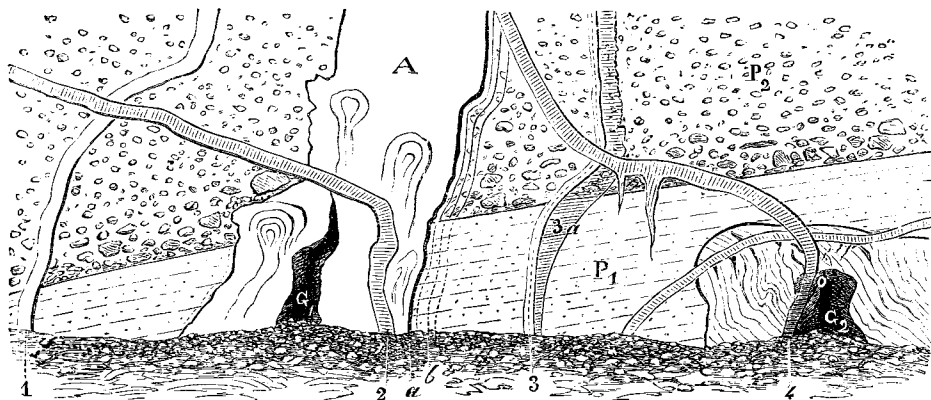


Fig. 22. — Détail de la base des falaises à l'extrémité nord-est de la baie des Manchots.

P₁, tufs ponceux ; P₂, conglomérats ponceux et rhyolithiques ; A, filon de dolérite ; 1, 2, 3, 4, filons basaltiques ; G₁, G₂, grottes naturelles.

falaises du nord, entremêlés avec les premières coulées de lave basaltique indiquent que ce cratère, d'abord incomplet et peu élevé, était encore, au début, envahi par les eaux marines. Il ne se compléta que plus tard, quand les masses en fusion devinrent assez abondantes pour remplir complètement le cratère et surtout assez fluides pour s'y maintenir à l'état permanent.

Les éruptions se firent alors tranquillement, sans secousses, sans projections violentes, les phénomènes éruptifs se limitant à de lentes oscillations qui exhaussaient le niveau de la lave et l'amenaient à se déverser par-dessus les bords du cratère. Ces coulées, recouvrant les pentes du volcan d'un manteau de feu pour ainsi dire continu, constituèrent de la sorte, par leur accumulation successive, ces superpositions régulières que nous avons signalées dans les parois du cratère, et qui ne sont pas moins nettes dans les falaises de la côte. Le cratère de l'île Saint-Paul, pendant cette période d'activité, devait être un immense lac de feu, en tous points comparable à ceux dont l'île Hawaï nous fournit encore des exemples.

Cette hypothèse explique seule la grande régularité de ses coulées et l'uniformité remarquable que chacune d'elles

présente, dans sa texture, et dans sa composition chimique, aussi bien dans les falaises intérieures que dans celles qui règnent au pourtour de l'île (*fig. 25*).

Ces éruptions de lave ont joué le rôle principal pendant

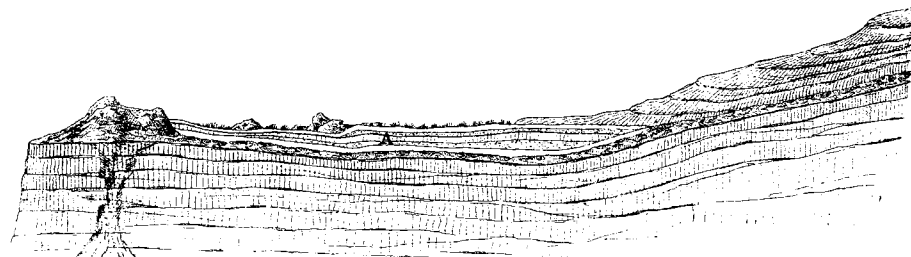


Fig. 25. — Coupe N.-O.—S.-E., au travers du plateau qui aboutit à la pointe nord.

toute cette longue période, ainsi que le prouvent la rareté des produits meubles, le peu d'épaisseur des couches de scories qui séparent chacune des coulées, et qui, loin d'être produites par des projections, ne sont souvent que de simples conglomerats de friction. Elles se firent d'abord d'une façon continue, car les alternatives d'activité et de calme ne s'observent que dans les parties élevées des falaises. En même temps, quelques foyers secondaires se firent jour, vers leurs extrémités, en des points assez éloignés du cratère principal, et donnèrent lieu à de petits monticules coniques formés de matériaux scoriacés (*fig. 23 et 24*).

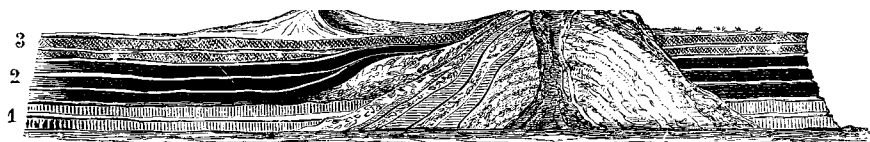


Fig. 24. — Cône adventif de débris de la pointe Schmitt.
1. Laves basaltiques à anorthite. — 2, 3. Laves basaltiques à labrador.

La génération de ces cônes de scories ne semble pas avoir interrompu l'activité du foyer central, qui continua à fonctionner longtemps après leur apparition, mais en se ralentissant graduellement, de telle sorte que les périodes de repos devinrent de plus en plus marquées, jusqu'à ce que toute manifestation franchement éruptive cessât dans le cratère central.

C'est à ces émissions de roches acides, les *rhyolithes*, que l'île doit sa première apparition au-dessus des flots; elle leur

doit également d'avoir vu son existence assurée. Un simple amoncellement de produits éruptifs incohérents, comme les tufs ponceux ou les trass, n'aurait pu offrir une résistance suffisante aux mouvements d'une mer si agitée, et son existence eût été de courte durée, comme celle de tous ces îlots historiques, qui n'ont été aperçus que pendant un temps très limité.

L'émission sous-marine des dépôts tufacés et des laves

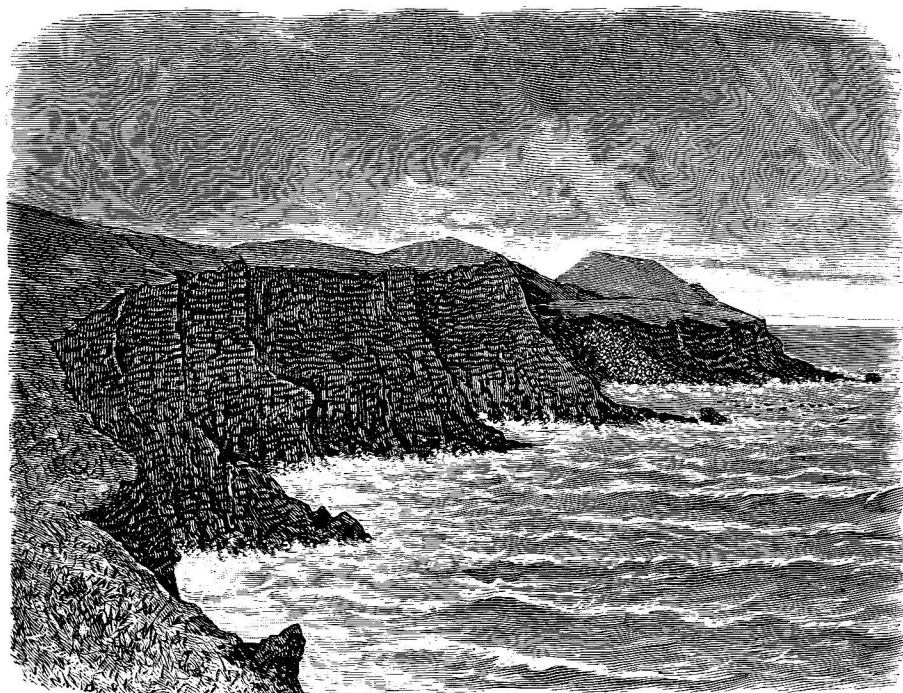


Fig. 25. — Falaises de l'île Saint-Paul (côte ouest) montrant les coulées de lave successives, directement superposées, sans intercalation de projections.

rhyolithiques qui ont suivi est encore attestée par la structure même et le mode particulier d'altération de ces roches. Leur état vitreux, la fréquence des fissures perlitiques, qui ne sont autres que des fentes de retrait, indiquent qu'elles ont été soumises à un refroidissement brusque, au contact des eaux marines.

La formation du cratère a été tardive et correspond à une nouvelle phase d'activité pendant laquelle les produits épanchés se sont trouvés très différents des anciens. Autour de l'îlot primitif, des projections subaériennes de cendres et de scories, provoquées par une production considérable de gaz

et de vapeurs, se sont faites alors, et, retombant autour de leur orifice de sortie, suivant des lois connues, elles ont édifié un cône volcanique d'où sont sorties à leur tour des coulées de laves. C'est à cet appareil subaérien que sont alors dues les nombreuses alternances de laves et de scories qui forment les falaises intérieures du cratère, ainsi que le versant extérieur de l'île, et la bouche d'émission, qui a produit toutes ces coulées, n'est autre que la baie, occupée aujourd'hui par la mer, agrandie sans doute, par suite, d'éboulements et d'explosions successives.

Actuellement, ce cratère ébréché dans l'est, par suite d'une fracture qui a provoqué l'affaissement de toute la pointe orientale de l'île, dont la forme était autrefois quadrangulaire, ne révèle plus sa vraie nature, que par sa forme, et par quelques sources thermales, accompagnées de fumerolles, autrefois très actives, qui ne rejettent plus, avec de l'air appauvri en oxygène, que de la vapeur d'eau.

Ces sources chaudes et ces émanations gazeuses sont la marque d'un foyer volcanique à son déclin; elles se substituent à l'émission des laves et représentent le dernier souffle d'un volcan qui s'éteint.

Telle est l'histoire, maintenant bien connue, de l'île Saint-Paul; c'est, en somme, celle de tous les volcans marins. Leur mode de formation comporte ainsi une explosion violente, suivie de projections sous-marines, auxquelles succèdent l'émission des laves, qui fait place, ensuite, aux dégagements ordonnés des fumerolles, dont les dernières consistent en vapeur d'eau presque pure.

Nous avons déjà vu que le célèbre groupe volcanique de Santorin n'a pas d'autre origine. Il en a été de même pour Barren-Island et Palma.

Apparition d'îles nouvelles: île Sabrina. — Il est de ces volcans marins dont l'apparition subite au-dessus des eaux a été suivie d'une destruction pour ainsi dire immédiate.

L'archipel des Açores a été souvent le théâtre de pareils faits. Les années 1658, 1691, 1720 ont vu surgir du sein des flots des cônes temporaires de scories, dont l'existence a été de courte durée.

En 1812, dans les mêmes parages, on vit s'élever une île nouvelle qui n'était autre que le sommet d'un grand cône de débris; pendant six jours, de son sommet, jaillirent des torrents de vapeur avec projections de cendres et de scories, et bientôt elle atteignit ainsi 90^m de hauteur. Son apparition et son accroissement furent observés avec beaucoup de soin par le capitaine Tillard, de la marine anglaise, qui prit possession de l'île au nom de l'Angleterre en lui donnant le nom de *Sabrina*. Aujourd'hui la place de Sabrina est marquée par une

mer profonde ; quelques semaines, en effet, après son apparition, l'îlot, balayé par les vagues, s'effondrait sous la mer et avec lui disparaissait la nouvelle possession anglaise.

On conçoit aisément l'instabilité d'un tel appareil, formé de matériaux meubles, au milieu d'une mer agitée ; démolie pierre à pierre, sous le choc répété des vagues, il est forcément condamné à disparaître. Ces débris étalés, au fond de l'Océan, vont former des *tufs volcaniques*, dont les éléments, empruntés ainsi à l'activité interne du globe, sont ensuite soumis au travail de sédimentation des eaux.

Ile Julia. — L'éruption sous-marine qui donna naissance à l'île *Julia*, dans la Méditerranée, en 1831, a été suivie avec beaucoup de soin par Constant Prévost, à qui nous devons une relation exacte des diverses phases par lesquelles elle a passé avant de disparaître complètement.

Elle aussi vit flotter le drapeau anglais sur ses pierres encore fumantes, alors que les navigateurs se disputaient le nom qu'il fallait lui donner. C'est ainsi que successivement, pendant sa période d'accroissement, elle a porté les noms de *Julia*, *Fernandinea*, *Nerita*, *Graham* et *Siacca*.

Son apparition, en juin 1831, eut pour prélude quelques secousses, ressenties par un capitaine anglais, qui crut toucher un banc de sable en un point, situé au sud des plages de Selinonte, en Sicile, où les cartes marines marquaient cent brasses d'eau.

Au commencement de juillet, des explosions amenèrent, au même endroit, la projection de gerbes d'eau qui, sur un diamètre de 800^m, s'élevaient à 25^m de hauteur. Dix jours après un amas de scories, creusé d'un cratère au sommet, affleuraît au-dessus de l'eau, lançant des torrents de fumée blanche et de cendres. Tout autour de l'îlot, la mer écumante était couverte de scories brunes et de poissons morts.

En août, son élévation était de 60^m sur 4800^m de tour. Puis l'éruption ayant pris fin, l'œuvre de démolition commença et, conformément à la prédiction de Constant Prévost, le talus de débris, sapé à la base par les vagues et les courants, disparut peu à peu. Le 29 du même mois, alors que le roi de Naples revendiquait sa possession, sa circonférence n'était plus que de 700^m. Le cratère avait complètement disparu et, vers la fin d'octobre, un monticule de scories et de cendres s'élevait seul au-dessus de l'eau, sur un emplacement où la sonde devait indiquer deux mois plus tard 220 mètres d'eau.

Ce que le feu a produit, l'eau s'acharne ainsi à le détruire, et dans cette lutte elle reste victorieuse, quand l'édifice volcanique, ainsi construit, ne résulte que de la seule accumulation des projections rejetées par l'explosion initiale et que l'éruption s'arrête avant l'arrivée des laves.

II.

LES ÉMANATIONS VOLATILES.

Fumerolles, Solfatares et Geysers, Salses et Mofettes.

Le tableau abrégé des manifestations volcaniques que nous venons de présenter montre combien ces phénomènes, malgré leur apparente complexité, sont réglés par des lois générales qui leur donnent un caractère de grande uniformité.

Chaque éruption comporte, en premier lieu, une explosion, accompagnée de projections, plus ou moins violentes, suivant l'intensité des dégagements gazeux. L'émission des laves ne se fait ensuite que tardivement, dans les conditions que nous avons définies, et longtemps après que leur sortie a cessé, et que toute trace d'incandescence a disparu de leur surface complètement refroidie, ces dégagements de gaz et de vapeurs se maintiennent jusqu'à l'épuisement complet du volcan.

Un grand nombre de volcans éteints présentent, ainsi, des restes d'activité, pendant de longues années, après l'extinction apparente des feux qui les avaient animés.

L'épanchement des laves, souvent considéré comme le fait capital de l'éruption volcanique, est donc loin d'en être le phénomène le plus constant et par suite le plus caractéristique; le dégagement des matières volatiles et principalement celui de la vapeur d'eau, dont le rôle est prépondérant dans toutes les phases diverses de l'éruption, depuis son commencement jusqu'à sa fin, est celui qui donne, à ces manifestations actuelles de l'activité interne du globe, son caractère le plus franc.

Émanations volatiles. — Ces émanations gazeuses qui s'échappent ainsi des cratères en activité, des coulées de laves incandescentes ou refroidies, et jusque des moindres crevasses du sol, aux abords des massifs volcaniques, constituant tous ces dégagements de gaz et de vapeurs connus sous les noms de *fumerolles, solfatares, salses et mofettes*, sont très complexes. Indépendamment d'une quantité énorme de vapeur d'eau ⁽¹⁾, elles comprennent, avec les acides chlorhydrique, sulfurique, sulfureux, sulhydrique, carbonique, de l'hydrogène et des hydrocarbures dont la présence, authentiquement constatée

(1) On a pu évaluer à 22000^{mc} la quantité d'eau vomie journellement à l'état de vapeur, par les cratères adventifs de l'Etna, en 1865 : ce qui équivaut à 2000000^{mc} d'eau pour les cent neuf jours qu'a duré cette éruption.

au Vésuve et dans plusieurs autres volcans actifs, rend bien compte de ces flammes volcaniques, qui ont été si longtemps contestées, malgré les observations de Humboldt et de Bous-singault sur les grands volcans des Andes, de Bory de Saint-Vincent, à la Réunion, et celles plus récentes de Verdet, au Vésuve (1856 et 1859).

A ces produits gazeux il convient d'ajouter un grand nombre de chlorures anhydres et de composés salins qui se dégagent encore à l'état volatil de la lave en fusion et présentent ce caractère important, d'être, pour la plupart, tenus en dissolution dans les eaux marines ⁽¹⁾.

Parmi ces substances, qui ont la propriété de se condenser sur les parois des fumerolles par voie de refroidissement, à l'état cristallin, et se présentent aussi souvent en amas dans les anfractuosités des coulées de lave, les chlorures de sodium et de potassium se signalent par leur abondance. Ils s'accompagnent constamment et ⁽²⁾ l'on a pu faire, à diverses reprises, cette remarque intéressante que ces deux sels se présentent, dans ces nouvelles conditions, en proportions sensiblement égales à celles qu'ils possèdent dans l'eau de mer. M. Scacchi a montré l'existence du fluor dans la lave du Vésuve en 1857; Ch. Sainte-Claire Deville, celle de l'iode, dans les émanations gazeuses des volcans; enfin les phosphates s'observent dans presque toutes les laves.

Un fait plus important, signalé pour la première fois par M. Fouqué, sur l'Etna, est l'existence du carbonate de soude dans les produits des fumerolles sèches. Les crevasses de la lave de 1669, en particulier, sont à ce point remplies par ces amas de carbonate de soude, qu'elles sont devenues l'objet d'une exploitation industrielle.

La présence de ce sel, au milieu des coulées, tient aux phénomènes de dissociation qui se produisent sous l'influence d'une haute température et d'une faible pression, au moment où la lave se répand à la surface du sol. On peut alors supposer que les sels de soude, transportés dans la lave fondue à l'état de silicates, se décomposent et donnent de la soude caustique, qui se transforme bientôt en carbonate, en présence de l'acide carbonique, qui dans le même temps se dégage par les ouvertures soit du cratère, soit de la montagne, dans le cas de coulées latérales.

Enfin, aux températures encore plus élevées, il se forme encore, tantôt par volatilisation, tantôt par une sorte de distil-

(1) A cette seule exception près des bromures qui n'ont jamais été signalés dans les émanations.

(2) Fouqué, *Rapport sur les phénomènes de l'éruption de l'Etna en 1865*, p. 56.

lation aqueuse, des chlorures de fer, de cuivre, de manganèse, avec d'autres substances métalliques, telles que le fer oligiste spéculaire et l'oxyde de cuivre, qui, très fréquents au Vésuve, se présentent là comme un produit de la décomposition des chlorures de fer et de cuivre par la vapeur d'eau.

Cette liste, déjà longue, des produits volatils reconnus dans les volcans s'accroît chaque jour par des découvertes nouvelles. Leur rôle dans l'appareil volcanique est considérable; ils précèdent, accompagnent et suivent toutes les éruptions. Ce sont eux qui, dans les grands paroxysmes, forment au-dessus des cratères brûlants ces nuages épais, ces colonnes de fumée étalées, au sommet, en un panache horizontal si souvent décrit ⁽¹⁾. Plus tard on les retrouve à l'état de fumées blanches, s'élançant par bouffées, avec des sifflements aigus, des crevasses, des moindres interstices de la lave, alors qu'elle est refroidie, donnant lieu alors aux *fumerolles*, qui s'échelonnent sur le trajet des crevasses et sur les pentes du volcan.

Toutes ces substances étant contenues dans la lave au moment de son émission, il est incontestable qu'il existe une liaison entre ces deux sortes de produits liquides et gazeux. Quelles sont ces relations? Quelle est surtout l'origine de ces substances qui, issues ainsi des profondeurs, viennent se condenser à la surface du sol? Quelles sont les variations qu'elles doivent présenter dans leur composition suivant les diverses phases d'activité auxquelles elles correspondent? Telles sont les questions importantes qui pouvaient encore se poser dans toute leur intégrité, à l'époque où Charles Sainte-Claire Deville gravissait les volcans.

Avant la publication de ses travaux importants, tout n'était pour ainsi dire que chaos et désordre dans les volcans. De quelques faits de détails considérés isolément, ses devanciers en avaient conclu hâtivement à la généralité, et prenant pour un état constant ce qui n'était que transitoire, ils considéraient ces appareils comme caractérisés par la production de certains mélanges gazeux, variant avec chacun d'eux et s'y produisant constamment sans changer de nature, ni même de composition avec le temps. C'est ainsi que le Vésuve devait rejeter constamment de l'acide chlorhydrique et des chlorures, tandis que le soufre et ses composés dominaient à l'Etna, l'acide carbonique dans les grands volcans à projections des Andes, etc.

Ces idées fausses avaient force de loi quand Charles Sainte-Claire Deville aborda l'étude des phénomènes volcaniques. Dès ses premiers voyages en Italie, en Sicile, il fit voir, non seulement que tous les produits volatils que nous avons

(1) Nubes oriebatur cujus formam non alia magis arbor quam pinus expresserit. PLINE LE JEUNE, *Epistol. VI*, p. 16.

définis pouvaient se rencontrer dans un même volcan, mais que chacun d'eux ne s'y manifestait qu'à certains moments déterminés, de telle sorte que la nature d'une même émanation variait d'une façon constante avec le degré d'activité du foyer éruptif qui l'émet.

On lui doit aussi d'avoir signalé et établi le premier les relations fixes qui existent, entre la température des fumerolles et la composition des matières qui s'y trouvent volatilisées. La découverte des lois qui régissent ainsi leur répartition dans le temps et dans l'espace est de beaucoup le plus grand progrès qui, dans ce siècle, ait été réalisé dans l'histoire des volcans.

C'est le Vésuve qui a été son premier champ d'études. L'éruption de 1855 lui fournissant des conditions éminemment favorables pour l'étude des gaz et des vapeurs qui se dégagent, soit des cratères actifs, soit des laves, aux différentes périodes de leur refroidissement, il transporta ses réactifs et ses délicats instruments de récolte et d'analyse des gaz, sur les fumerolles issues des points encore incandescents, établissant ainsi, sur les flancs du volcan, alors qu'il était en pleine activité, une série méthodique d'expériences qui le conduisirent, du premier coup, à formuler la loi de la variation des émanations volatiles, avec le temps écoulé depuis l'origine de l'éruption et avec la distance au centre éruptif.

Ses observations, sur la succession des phénomènes dont il fut alors témoin, sont consignées dans des lettres à M. Dumas, à M. Élie de Beaumont ou à son frère, M. Henri Sainte-Claire Deville, inscrites dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* ⁽¹⁾. Il commença par démontrer qu'un volcan ne peut se caractériser par un produit volatil particulier, mais que tous les mélanges gazeux, signalés dans les diverses émanations, se rencontrent autour du même foyer éruptif, dans des conditions qu'il s'appliqua dès lors à déterminer. Puis, l'éruption terminée, il étendit ce premier voyage à l'Etna et aux îles éoliennes pour compléter ses recherches, et surtout pour passer des manifestations d'un volcan actif dans son plus haut degré d'énergie, comme le Vésuve et l'Etna, à celles d'une bouche qui, comme le Stromboli, projette toutes les dix minutes des masses de matières gazeuses et des blocs incandescents, aux émanations des solfatares d'intensité décroissante (Vulcano, lac d'Agnano), et pour arriver enfin aux salses et mofettes, aux dégagements d'acide carbonique et d'hydrogène carboné de la Sicile, qui occupent un des derniers rangs dans l'échelle des phénomènes éruptifs.

Dans le Mémoire, qui résume tant de recherches expéri-

(1) *Comptes rendus*, t. XI, XII, XIII.

mentales et d'observations délicates, il établit l'ordre hiérarchique qui lie entre elles ces diverses manifestations de la même force et, après avoir montré la liaison intime qui existe entre les fumerolles et leur température, il classe les émanations volcaniques en six catégories, rangées d'après leur ordre d'apparition, comme par rapport à leur distance du foyer éruptif, ou ce qui revient au même, relativement au temps, à l'espace et à la température; ce sont :

1° Les *fumerolles sèches*, ou anhydres, presque uniquement formées de chlorures anhydres (chlorures de fer, de manganèse, de cuivre, etc.), parmi lesquels dominent les chlorures de sodium et de potassium; elles ne se dégagent que de la lave en fusion, à une température élevée (dépassant celle de la fusion de zinc, 500°) et ne contiennent jamais de vapeur d'eau.

2° *Fumerolles acides* : acides chlorhydrique et sulfureux, accompagnés de vapeur d'eau.

Situées, en général, sur la crête des moraines latérales des coulées, elles se font encore remarquer par leur haute température, inférieure à celle de la fusion du cuivre (300° à 400°). Elles donnent lieu à d'abondantes fumées blanches, consistant en un mélange d'acide chlorhydrique, d'acide sulfureux avec une grande proportion de vapeur d'eau. Ces fumerolles, toujours chargées de vapeur d'eau, rougissent le papier de tournesol; elles donnent un dépôt brillamment coloré de perchlorure de fer, qui au contact de l'humidité de l'air se transforme facilement en oxyde; le soufre, qui s'y dépose également, se présente sous la forme de petits amas mamelonnés ayant subi une fusion partielle. L'abondance des deux acides précités, dans les fumerolles de ce second groupe, fait qu'on les désigne généralement sous le nom de fumerolles *chlorhydro-sulfureuses*.

3° *Fumerolles alcalines* : les fumerolles d'ordre inférieur sont alcalines, et souvent dites *ammoniacales*, en raison de l'abondance du chlorhydrate d'ammoniaque qui remplace ici les chlorures précédents. Ce corps, décomposé par la volatilisation, dégage de l'ammoniaque.

La vapeur d'eau s'en dégage par quantités énormes; quand elle s'accompagne d'acide sulfhydrique, ce gaz, se décomposant au contact de l'air, donne lieu à des dépôts de soufre octaédrique. La température de ces fumerolles se tient en moyenne à 100°.

4° *Fumerolles froides* : ces fumerolles, à basse température (inférieure à 100°), ne donnent plus que la vapeur d'eau presque pure, accompagnée d'un peu d'acide carbonique et parfois d'hydrogène sulfuré, qui donne lieu alors aux *fumerolles sulfhydriques*.

5° *Mofettes* : ces émanations, qui marquent la fin de l'éruption, sont composées en majeure partie d'acide carbonique, associé à des proportions variables d'azote et d'oxygène qui représentent de l'air dépouillé d'une partie de son oxygène (les proportions habituelles sont 19,4 de ce gaz pour 80,6 d'azote). Elles se font à la température du sol où elles se dégagent, et sont, le plus souvent, accompagnées de vapeur d'eau, dont le dégagement se maintient seul, longtemps après, et représente ainsi le dernier acte de l'éruption.

Sur le trajet des coulées de lave, il est toujours facile de vérifier la relation qui existe entre la température des fumerolles et la composition des produits gazeux qu'elles rejettent. Les fumerolles sèches sont concentrées au point d'émission où se fait le maximum d'activité ; on rencontre ensuite, successivement, les diverses autres, dans l'ordre décroissant que nous avons indiqué.

La même succession s'observe dans le sens transversal des coulées ; M. Fouqué a pu reconnaître, de la sorte, en 1865, à l'Etna, sur la lave de Frumento, ces fumerolles sèches localisées au centre de la coulée, celles acides plus près du bord, et tout à fait, au bord, celles alcalines. Ces trois variétés de fumerolles se trouvaient ainsi sur une même section transversale de la coulée, à moins de 50^m de distance l'une de l'autre avec la température et la composition chimique que leur assignait leur situation (1). Un autre fait remarquable a été reconnu là par le savant observateur et vérifié plus tard à Santorin, pendant la formation du Giorgios en 1866.

C'est que tous les produits gazeux, qui s'échelonnent ainsi sur la montagne volcanique, suivant la décroissance de l'activité, peuvent se trouver dans les fumerolles de l'ordre le plus élevé. La localisation des éléments caractéristiques des fumerolles, telle qu'elle avait été établie par M. Ch. Sainte-Claire Deville, n'est donc pas absolue.

D'après ces données nouvelles, dans les émanations volcaniques diverses, il y aurait simplement disparition graduelle des éléments dans l'ordre inverse de leur volatilité, et non remplacement de certains éléments par d'autres. En d'autres termes, tous les produits volatils des éruptions volcaniques pourraient se rencontrer dans les fumerolles d'ordre supérieur et cesseraient de se montrer, dans celles d'ordre inférieur, à mesure que le degré de chaleur deviendrait insuffisant pour les volatiliser ou pour favoriser la réaction chimique qui leur donne naissance. C'est pour cette raison que les sels alcalins, qui sont presque fixes, cessent les premiers de figurer dans

(1) Fouqué, *Lettre à M. Ch. Sainte-Claire Deville* (*Comptes rendus*, t. LX, p. 552).

les fumerolles; le chlorure de fer, le chlorhydrate d'ammoniaque manquent ensuite. L'acide sulfureux ne se montre plus lorsque l'acide sulfhydrique, de la combustion duquel il provient, n'est plus assez chauffé pour être brûlé; l'acide chlorhydrique, lorsque le degré de chaleur est insuffisant pour amener la décomposition du chlorure de sodium en présence de la vapeur d'eau et des roches, enfin les gaz permanents et peu solubles dans l'eau restent les derniers. Tel élément, qui était relativement peu important dans les dépôts formés au début d'une éruption, devient plus tard prédominant uniquement parce que les matières volatiles ont peu à peu disparu des fumerolles, sans que cet élément lui-même se produise en plus grande abondance.

Cette hypothèse rend rationnelle la loi sur la distribution des émanations, que l'on doit à Charles Deville : elle rend bien compte de la liaison intime qui existe entre la température et la composition des fumerolles; enfin elle a l'avantage de pouvoir être expliquée à l'aide des lois connues de la Physique et de la Chimie, tandis qu'autrement on comprendrait difficilement comment un amas de lave fondue pourrait émettre des vapeurs de chlorures alcalins et conserver dans son sein de la vapeur d'eau et d'autres matières très volatiles, pour les abandonner ensuite à une température plus basse.

Phase solfatarienne du volcanisme. — Les fumerolles sulfhydriques et surtout celles à température plus basse, chargées de gaz carbonés, persistent longtemps. Un grand nombre de régions volcaniques, après l'extinction apparente des feux qui les ont animées, présentent ainsi des manifestations secondaires, caractérisées par le maintien des substances volatiles.

Tantôt ce sont des dégagements sulfureux qui, s'effectuant par toutes les fissures du sol, se décomposent lentement à l'air en déposant le soufre des *solfatares*. Ailleurs, c'est l'eau bouillante, qui jaillit en merveilleux *geysers*, ou qui s'échappe plus lentement sous la forme de sources thermales chargées de principes minéraux divers, empruntés au sol sous-jacent.

Enfin au dernier échelon des phénomènes volcaniques se trouvent ces dégagements d'acide carbonique et d'hydrocarbures, donnant lieu aux *salses* et aux *mofettes*, qui représentent le dernier acte d'une activité depuis longtemps affaiblie.

Solfatares. — Le type de ces émissions solfatarieuses ne saurait être mieux choisi qu'au *Vulcano*, dans les îles Lipari. La soufrière de *Vulcano* (*fig. 26*) n'est autre qu'un ancien cratère qui, depuis 1786, date de sa dernière éruption, est réduit à la condition de solfatare.

Les vapeurs qui s'en échappent par torrents, avec des sifflements aigus, consistent principalement en vapeur d'eau

mélangée d'hydrogène sulfuré. Aussitôt son arrivée à l'air, ce gaz se décompose; son hydrogène va former de l'eau avec l'oxygène de l'air, tandis qu'une partie du soufre se dépose. Les produits sulfureux qui résultent de cette décomposition, en s'oxydant à leur tour, attaquent vivement les parois du cratère, formées d'une lave poreuse de nature trachytique, en donnant lieu à des incrustations de gypse et d'alun. Au travers

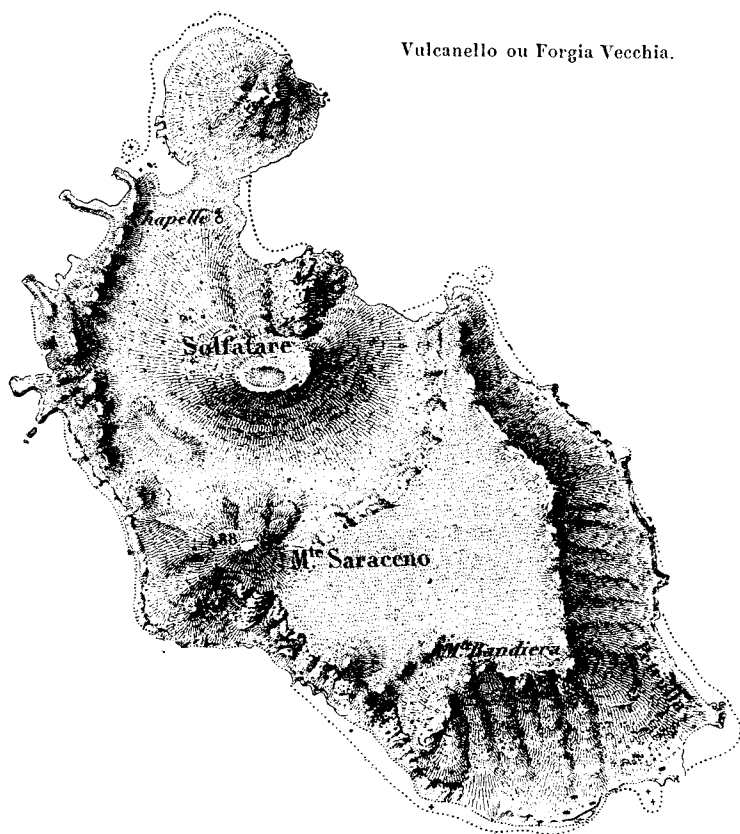


Fig. 26. — Vulcano et sa solfatare (iles Lipari).

des brouillards épais qui remplissent cette immense chaudière, on aperçoit ainsi les bords de l'orifice, vivement colorés en rouge et en jaune, rayés çà et là par de grandes traînées blanches, par toutes ces productions cristallines où dominent le soufre octaédrique, l'alun et l'acide borique en longues aiguilles fines, aussi blanches que le duvet du cygne. La chaudière, car c'est bien l'expression qui convient à ce vaste laboratoire na-

turel, où s'effectuent toutes ces opérations chimiques, n'a pas moins de 2^{km} de circonférence, avec 300^m de profondeur.

Parfois il se produit une certaine recrudescence d'activité dans ces fumerolles. En 1866, par exemple, alors que les flancs de l'Etna s'entr'ouvraient pour livrer passage à la coulée de Frumento, le Stromboli et surtout le Vulcano ont ressenti les effets de cette poussée volcanique. Dans l'intérieur du cratère de ce dernier volcan, M. Fouqué a pu constater que les fumerolles, portées à une température dépassant celle de la fusion du zinc, déposaient du chlorure de fer, du chlorhydrate d'ammoniaque. Des fumerolles chlorhydrosulfureuses, établies alors sur les pentes du volcan, dégageaient en même temps de l'acide carbonique dont la proportion croissait avec la diminution notable de la température des divers groupes de fumerolles.

Voici les nombres fournis par quelques-unes des analyses faites sur place par M. Fouqué :

	Fumerolle fortement acide avec dépôt de AsS_2 , de Fe^2Cl^3 et de AzH^4Cl . Température supérieure à 360°.	Fumerolle fortement acide avec dépôt de AsS_2 , de Fe^2Cl^3 et de AzH^4Cl . $t = 250°$.	Fumerolle fortement acide avec dépôt de AsS_2 , de Fe^2Cl^3 et de AzH^4Cl . $t = 150°$.
Acides chlorhydrique et sulfureux.....	73,80	66,00	27,19
Acide carbonique.....	23,40	22,00	59,62
Oxygène.....	0,52	2,40	2,20
Azote.....	2,28	9,60	10,99
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Les fumerolles à dépôt de soufre pur, avec acide borique, concentrées au voisinage de la mer, s'effectuant à une température de 100° ne contenaient plus, par places, que des traces d'acide chlorhydrique. Enfin dans les dégagements gazeux qui s'effectuaient, sous les eaux marines, portées sur toute la zone littorale à une température de 40° à 50°, l'acide sulfhydrique lui-même avait disparu pour faire place à l'acide carbonique, qui se dégagait seul avec de l'air désoxygéné, ainsi qu'en témoignent les analyses suivantes :

	Gaz de l' <i>Acqua bollente</i> .	Gaz recueilli sur le bord de la mer, près de l' <i>Acqua bollente</i> .	Gaz recueilli à 50°.	Gaz recueilli à 200°.	Gaz recueilli à 250°.
Acide sulfhydrique.	17,55	traces	traces	0,0	0,0
Acide carbonique..	77,02	97,12	86,76	72,34	38,79
Oxygène.....	0,70	0,48	1,89	2,13	3,79
Azote.....	4,73	2,40	11,35	25,53	57,42
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Ces observations intéressantes viennent apporter aux relations établies entre la température et la composition des

fumerolles, sur les coulées de lave, une éclatante confirmation.

Peu de temps après, la solfatare ayant repris le jeu normal de son activité, les ouvriers accoutumés à vivre dans le feu, comme les salamandres légendaires, purent de nouveau descendre dans le cratère pour recueillir le soufre et l'acide borique qui constituent là des richesses pour ainsi dire inépuisables, puisque la matière exploitée se renouvelle à mesure qu'on l'extrait.

La solfatare de Vulcano ne produit guère annuellement plus d'une dizaine de tonnes de soufre par an, mais celles célèbres de la Sicile, que l'on exploite depuis des siècles, n'en fournissent pas moins, chaque année, de 200000 tonnes au commerce ⁽¹⁾.

Après de Naples, au milieu des champs Phlégréens, la solfatare bien connue de Pouzzoles n'est autre également qu'un ancien volcan dont les phases paroxysmales ont cessé depuis 1198. Son activité, plus considérable que celle de Vulcano, est aussi en relation directe avec celle du Vésuve, situé dans le voisinage, sur la même ligne de fracture.

Un grand nombre de volcans semblent ainsi destinés à traverser cette phase solfatarienne avant d'arriver à leur épuisement complet, marqué par les dégagements d'acide carbonique.

Depuis sa terrible éruption de 1773, le Pepandajang de Java est devenu une immense solfatare, en constante activité. Le murmure des salses, l'explosion des fontaines gazeuses, le sifflement des fumerolles, produisent un fracas semblable à celui d'une usine en marche, d'où le nom de Pepandajang ou « Forge », qui lui a été appliqué ⁽²⁾.

Il en est de même pour le *Popocatepelt*, « la Montagne fumante », qui se dresse au milieu des cimes colossales de la Cordillère mexicaine, à 5230^m de haut. Son cratère, qui devait être un des plus actifs du groupe, si l'on en juge par la couche immense de cendres et de scories qui recouvre ses flancs et s'étend à 20 lieues à la ronde, en comblant des précipices sur une épaisseur de 50^m à 60^m ⁽³⁾, porté à une telle altitude, qu'on l'aperçoit de Mexico, éloigné de 20 lieues, est maintenant couvert de neiges. Sous ce manteau de glace, où règne un hiver éternel, le soufre brûle et vient se sublimer contre les parois.

C'est dans cette immense solfatare que Fernand Cortez, après la prise de Mexico, est venu chercher le soufre pour fabriquer la poudre qui lui manquait. Aujourd'hui encore cet

(1) ÉLISÉE RECLUS, *La Terre*, p. 672.

(2) DE LAPPARENT, *Traité de Géologie*, p. 475.

(3) Relation de M. TACQU, d'après Boscowitz, *Les volcans*, p. 371.

abîme, profond de 1000 pieds, est l'objet d'une exploitation active. Des ouvriers cramponnés à un gros câble, solidement attaché à quelque anfractuosité de rocher au bord du goufre, détachent ainsi des parois, à une profondeur de 80^m, de longues stalactites de soufre, qui sont ensuite ramenées, avec des treuils, à la surface du cratère.

Geysers. — Ces sources intermittentes, qui se rattachent intimement aux solfatares, doivent compter comme les phénomènes les plus importants parmi ceux qui sont, ainsi, le signal d'une activité volcanique à son déclin. On peut les considérer comme des volcans d'eau. Ce sont, en effet, des gerbes d'eau bouillante, qui s'élancent par jets intermittents, au-dessus de véritables orifices cratériformes, comparables aux bouches des volcans et construits, de même, par leurs produits.

Tous les geysers présentent un cône aplati, supportant un large bassin circulaire, au centre duquel vient déboucher un canal tubulaire qui sert à l'arrivée de l'eau.

Ce cône est entièrement formé par des concrétions siliceuses faites d'une variété particulière de silice hydratée que les minéralogistes ont dénommée *geysérite*, en raison de son origine. Les eaux des geysers contiennent en dissolution une grande proportion de cette silice, qui se dépose alors rapidement sur les bords du bassin et sur tout le parcours des rigoles, ruisselant autour de lui, quand les eaux débordent et font éruption.

Dans les périodes de calme, l'eau qui remplit ce bassin est ordinairement tranquille, d'une limpidité absolue, avec des teintes d'un bleu azuré; c'est à peine si quelques bulles, sortant de la bouche du geyser, qu'on aperçoit distinctement dans le fond, viennent, de temps en temps, troubler cette belle transparence, qu'aucun nuage ne ternit.

Rien ne signale, par conséquent, l'activité qui règne au-dessous, et qui de temps à autre se traduit par de violentes éruptions, ayant pour effet de projeter en l'air toute l'eau contenue dans ce bassin, sous forme d'une gerbe jaillissante, s'élevant parfois à de grandes hauteurs.

Variations dans l'activité geysérienne. — Ces éruptions sont le trait caractéristique du geyser; elles sont en général annoncées par des bruits souterrains, accompagnés d'ébranlement du sol. L'eau s'agite alors dans le bassin et tourbillonne en tous sens; d'énormes bulles de vapeur viennent éclater à sa surface; et tout à coup, une puissante colonne d'eau s'élançait verticalement à une grande hauteur et s'y maintient pendant quelques minutes, entourée d'un nuage de vapeurs; à peine retombée dans le bassin, un autre jet reparait, s'élève à une hauteur plus grande, et parfois de véritables fusées d'eau s'élancent, en gerbes, dans toutes les directions; puis le calme renaît,

le bassin vidé se remplit de nouveau, et l'eau, après avoir repris son ancien niveau, s'y maintient pendant un temps plus ou moins long.

La durée de ces éruptions varie, mais ne dépasse guère, dans les plus puissants de ces appareils, une dizaine de minutes. Elles se renouvellent à des intervalles plus ou moins rapprochés, et cela d'une façon souvent très irrégulière pour chacun.

Geysers islandais. — Les geysers les plus anciennement connus et les plus étudiés sont ceux d'Islande. C'est là qu'ils ont pris leur nom; *geyser*, dans la langue islandaise, veut dire *furieux*.

On les trouve réunis en nombre considérable au milieu d'une grande plaine, entourée de glaciers, dans la partie sud-ouest de l'île, qui depuis longtemps n'est plus soumise aux feux des volcans. Parmi ces sources, le *grand geyser* se signale par son importance. Son bassin, large de 18^m à 20^m avec une profondeur de 2^m,30 environ, s'élève de 5^m à 6^m seulement au-dessus du sol. La colonne d'eau, qui s'en échappe à des intervalles de vingt-quatre ou trente heures en moyenne, atteint souvent 50^m de haut. L'eau bouillante forme alors une gerbe évasée, couronnée de gros flocons blancs de vapeurs; elle retombe de tous côtés, par gouttelettes, en une pluie dense et serrée que les rayons du soleil croisent de divers arcs-en-ciel. Un deuxième, puis un troisième jet se succèdent rapidement; mais ce magnifique spectacle ne dure que quelques minutes.

Autrefois, ces éruptions se faisaient, au grand geyser, avec une certaine régularité; à l'heure présente il n'en est plus de même, on attend souvent des semaines entières avant qu'une explosion se produise.

Fort heureusement pour les visiteurs, il est, à côté de ce grand appareil, un petit geyser, le *Strokkur*, qui est plus complaisant. L'eau s'y maintient constamment en ébullition; en jetant des mottes de terre dans la cheminée, on peut, plusieurs fois par jour, provoquer des éruptions, qui se font parfois violentes et durent un quart d'heure, en se renouvelant 15 à 20 fois.

Geysers remarquables. — Parmi les régions volcaniques qui se signalent encore par leur activité geysérienne, il faut signaler la Nouvelle-Zélande, où, dans une seule vallée, sur un espace de 2^{km} tout au plus, on compte 76 de ces sources intermittentes qui occasionnent, par leurs jets presque continus, une véritable rivière d'eau bouillante, présentant des cascades qui, descendant de 25^m de haut sont formées d'une succession de terrasses siliceuses, du plus singulier effet, occasionnées par les dépôts de silice que ces eaux abandonnent en s'écoulant.

Geysers de la Nouvelle-Zélande. — Tel est, par exemple,

le célèbre *Te-ta-Rata* (fig. 27), source jaillissante qui, ruisselant de terrasse en terrasse jusqu'au lac de Rotorua, alimenté par ces eaux bouillonnantes, peut être considéré comme la plus grande merveille de ce merveilleux pays.

Sur la pente d'une colline couverte de fougères, à peu de distance d'un vaste cratère d'explosion, le *Rotomahana*, constamment rempli lui-même par des eaux thermales hautement minéralisées, se trouve le principal bassin de cette immense fontaine geysérienne, rempli jusqu'au bord par une eau claire et limpide, d'un bleu d'azur, portée à une température voisine

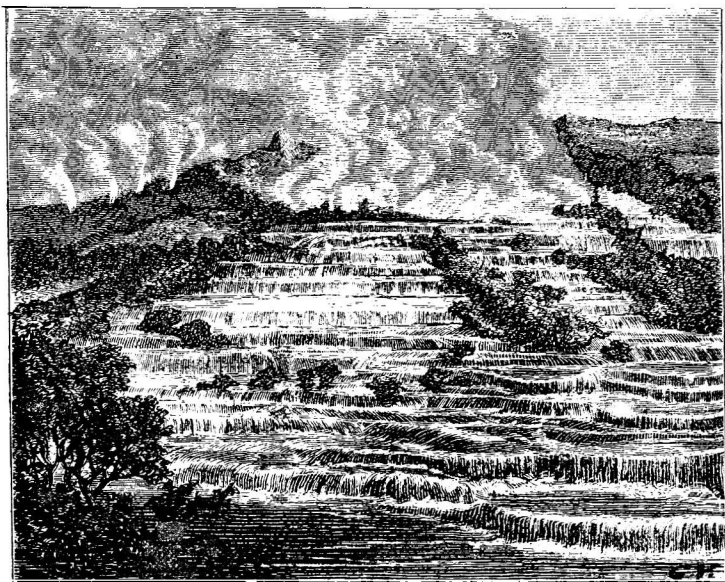


Fig. 27. — Le Te-ta-Rata (Nouvelle-Zélande, d'après M. de Hochstetter).

de 100°. D'immenses nuages de vapeur s'échappent par torrents de cette énorme chaudière, constamment en ébullition. A des intervalles très éloignés, cette grande masse d'eau, violemment projetée dans les airs, laisse voir pendant quelques instants le bassin complètement vide, qui se remplit ensuite très promptement et reprend sa tranquillité habituelle. La source du Te-ta-Rata est ainsi un geyser à longues intermitances, comme celles actuelles du grand geyser d'Islande, mais la masse d'eau projetée est beaucoup plus considérable.

Geysers du Yellowstone. — La région des sources chaudes, découverte récemment dans les montagnes Rocheuses, près des sources du Yellowstone et du Madison ou *Fire-hole*, tous deux tributaires du Missouri, érigée maintenant à l'état de

Parc national par les Américains, est plus remarquable encore. On n'y compte pas moins de dix mille bouches en activité continue, parmi lesquelles il en est dont les gerbes s'élèvent toutes les dix minutes à plus de 100^m de haut.

Dans la seule vallée du *Fire-Hole* (l'Abîme du feu), on en compte plus de quinze cents qui tous se signalent par un mode d'activité spéciale.

L'un d'eux, le *Vieux-Fidèle*, situé à l'entrée de la vallée, tire son nom de la régularité de ses éruptions.

La période d'action de ce geyser est de cinquante minutes. Chacune d'elles commence par la sortie bruyante d'une masse de vapeurs, suivie instantanément d'une colonne d'eau, qui, s'élevant par jets successifs, atteint la hauteur de 40^m, en poussant un violent sifflement, pendant que d'énormes nuages de vapeurs s'accumulent au-dessus du cratère jusqu'à une hauteur de 125^m. Des arcs-en-ciel se succèdent nombreux autour de cette fontaine jaillissante, dont les gerbes d'eau, retombant en pluie de diamants, s'écoulent ensuite sur les pentes de la montagne, en donnant lieu à toute une série de grandes cascades du plus pittoresque effet. Le jet s'abaisse ensuite, peu à peu, par saccades convulsives et disparaît enfin, pour faire place à des dégagements de vapeurs qui, pendant longtemps, rendent tumultueuses les eaux du cratère.

On se fera une idée de l'immense quantité d'eau projetée ainsi par le geyser, en songeant que ce jet, qui se renouvelle toutes les deux heures, sort par une ouverture large de près de 2^m.

En avançant plus loin dans la vallée, sur la rive d'un étang marécageux, s'élève à 10^m de haut un immense cratère, le *Château-Fort*, qui lance constamment des vapeurs avec des projections d'eau bouillante à 2^m et 3^m de hauteur. Dans le voisinage, sur le même tertre, on remarque une source tranquille, dont les eaux, maintenues seulement à une température de 27° à 30°, sont contenues dans un vaste bassin circulaire, aux bords dentelés, très profond et d'une régularité parfaite. Sur ses bords, d'abondants dépôts de limonite recouvrent le sol d'un glacis dont les colorations vives, jaune safran et brun rouge, contrastent singulièrement avec la blancheur de neige des dépôts siliceux issus des geysers.

Plus loin l'activité geysérienne se révèle de nouveau par une dizaine de cratères plus petits, hauts de 2^m à 3^m, constamment remplis par de l'eau portée à 94° (1), au milieu desquels se signale le *Geyser géant* (*fig. 28*), qui lance, à des intervalles fort heureusement très éloignés, pendant plus de trois heures,

(1) Le point d'ébullition de cette région, située à 2500^m d'altitude, est de 92° à 93°.

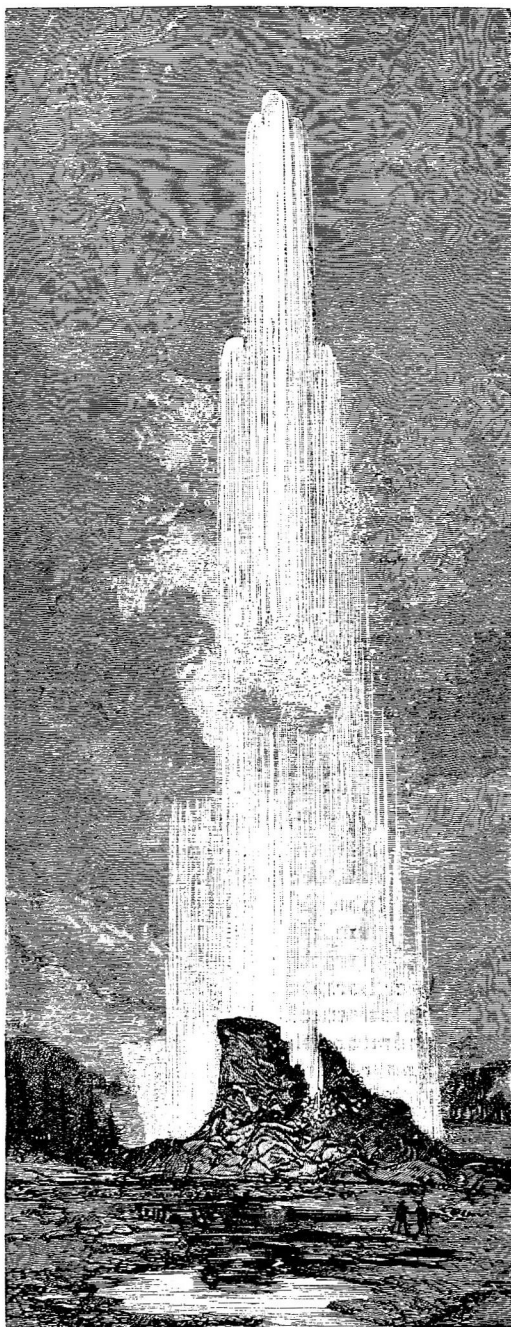


Fig. 28. — Le Geyser géant, d'après une photographie.

une colonne d'eau large de 2^m à 3^m, s'élevant à une hauteur de plus de 50^m.

Lorsque cet immense geyser entre ainsi en éruption, la Fire-Hole, doublant de volume, prend des allures torrentielles et son débit peut atteindre 250^m par seconde (1).

Explication du phénomène geyserien. — La thermalité des eaux geyseriennes, comme celle des sources minérales, s'explique par ce fait que dans les régions volcaniques, où le sol est très fissuré, les eaux d'infiltration provenant, soit de la pluie, soit de la fonte des neiges, peuvent pénétrer, dans les parties profondes du sol, échauffées par suite de leur voisinage avec les masses en fusion contenues souterrainement. Là elles sont portées à une température élevée et vaporisées en partie.

Dans le cas des sources thermales, c'est la pression seule exercée par ces vapeurs qui fait rejaillir les eaux par les fissures, et l'écoulement des eaux chaudes se fait à la surface du sol d'une façon continue. Mais, pour les geysers, l'ensemble du phénomène est plus complexe, puisqu'il comprend, en plus de l'arrivée des eaux, des projections intermittentes qui se font à des intervalles plus ou moins réguliers.

Bien des essais ont été tentés pour donner une explication rationnelle de la projection et surtout de l'intermittence de ces jets d'eau bouillante, qui constituent le jeu caractéristique du geyser. Une expérience ingénieuse du physicien anglais Tyndall, en reproduisant ce phénomène, peut servir de démonstration.

L'appareil disposé à cet effet consiste en un tube de fer assez long, fermé par un bout représentant la cheminée du geyser et couronné à sa partie supérieure par une petite cuve circulaire remplie d'eau, occupant la place du bassin terminal.

En chauffant ce tube, à sa base d'une part, et de l'autre dans sa partie moyenne à l'aide d'un second foyer, on voit, à des distances très rapprochées et bien rythmées, un jet d'eau bouillante s'élançer hors du bassin.

Dans l'espace ainsi surchauffé, au milieu du canal, l'eau portée à une température plus élevée se résout presque immédiatement en vapeur et acquiert bientôt une tension suffisante pour projeter, hors du bassin, toute l'eau qui se trouve au-dessus d'elle, dans l'intérieur du tube.

Or on a remarqué, en descendant des thermomètres dans la cheminée du grand geyser d'Islande, que la distribution de la température y était inégale et prenait un maximum à un certain niveau.

(1) *Le Parc national des Etats-Unis*, par MM. Hayden-Doane et Langfort (*Tour du Monde*, t. XXVIII, 722^e livraison et suiv.)

Dans l'expérience de Tyndall, les conditions du geyser se trouvent donc remplies et l'explication du phénomène physique en découle nécessairement. On peut concevoir, en effet, que sur le trajet de la cheminée du geyser, qu'on sait être profonde, verticale et non disposée en siphon comme le voulaient les théories précédemment admises, il puisse exister un point où la colonne d'eau subit une élévation locale de température par suite de fissures, dans la roche encaissante, qui facilitent l'accès des vapeurs chaudes issues de l'intérieur; des projections intermittentes en résultent, comme dans l'expérience de Tyndall. De plus, ces projections étant nécessairement en fonction de la température et la position de cet espace surchauffé et ces conditions pouvant différer même dans des appareils très voisins, on conçoit aisément comment peuvent se produire toutes ces variations dans l'activité geysérienne que nous venons de signaler.

Suffioni; sources thermales d'origine volcanique. — A la suite des geysers viennent se placer naturellement les *soufflards* ou *suffioni*, c'est-à-dire ces jets de vapeur d'eau surchauffée, qui s'alignent, par groupes, dans les régions volcaniques sur des lignes de fracture, évidemment dues aux grands mouvements de l'écorce terrestre. Les plus connus sont ceux de Toscane; ils comprennent sept groupes distincts, concentrés sur un petit espace, au sud-est de Volterra, près de Florence. La vapeur d'eau qui s'élance ainsi par jets à de grandes hauteurs, en donnant lieu, au-dessus des bouches d'émission, à des nuages blancs, floconneux, épais, bien caractéristiques, se trouve là, mélangée avec de l'acide carbonique. L'hydrogène sulfuré se présente aussi en proportions notables, avec de l'hydrogène libre, dans ces dégagements gazeux. Sa présence se traduit dans les eaux condensées, qui se recueillent dans de vastes bassins, les *lagonis*, par d'abondants dépôts de soufre et surtout de gypse. L'albâtre célèbre de Volterra n'a pas d'autre origine.

L'eau des *lagoni*, très minéralisée, contient, avec de la silice libre et différents sels alcalins, de l'acide boracique en proportions notables. On l'extrait, en utilisant pour l'évaporation de ces eaux boracifères la vapeur des *suffioni*. Cette industrie, maintenant très active, surtout depuis qu'à l'aide de forages on a considérablement accru le nombre des *suffioni* (*fig. 29*), a transformé toute cette partie, déserte et désolée de la Maremme toscane, en une des régions les plus prospères de l'Italie.

Parfois ces dégagements s'effectuent avec assez de violence pour amener la formation, autour de l'orifice de sortie, d'une vaste cavité, en forme d'entonnoir, qui sert alors de réceptacle à l'eau de condensation.

C'est le cas des « *soufflards mugissants* » qui se présentent nombreux à Java, au voisinage des grands volcans qui donnent à cette île une place exceptionnelle sur le trajet du grand anneau de feu qui entoure l'océan Pacifique.

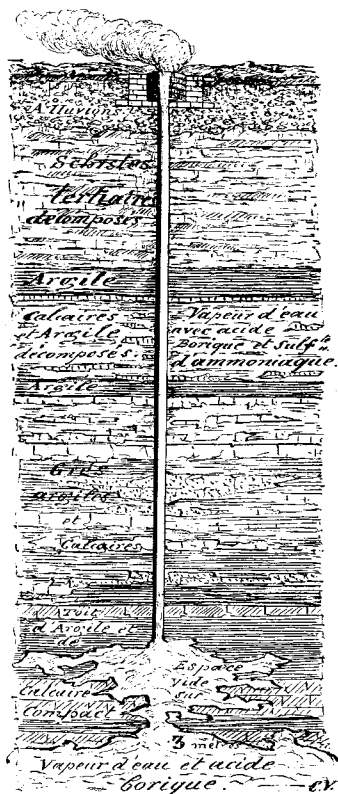


Fig. 29. — Coupe du forage exécuté à Travale (Toscane) sur le *Soffione Carlo*.

Le *Harapiti*, de la vallée d'Otumaheke, dans la Nouvelle-Zélande (fig. 30), peut compter comme l'une de ces sources de vapeurs la plus considérable qui soit au monde; le jet de vapeur qui s'élançe ainsi d'une vaste cavité cratériforme, parfaitement régulière, s'élève à une telle hauteur qu'on peut l'apercevoir à une distance de plus de 20^{km}, avant d'entendre ses sifflements aigus. Non loin de là, dans la vallée du Waikato, ce grand fleuve néo-zélandais, qui n'a d'égal en Europe que le Rhin ou le Danube, le sol imprégné d'eau bouillante et de vapeurs, sur une grande étendue, laisse échapper de partout des jets de vapeurs qui sont alors en relation

directe avec les geysers innombrables, étagés sur les flancs des collines avoisinantes ⁽¹⁾.

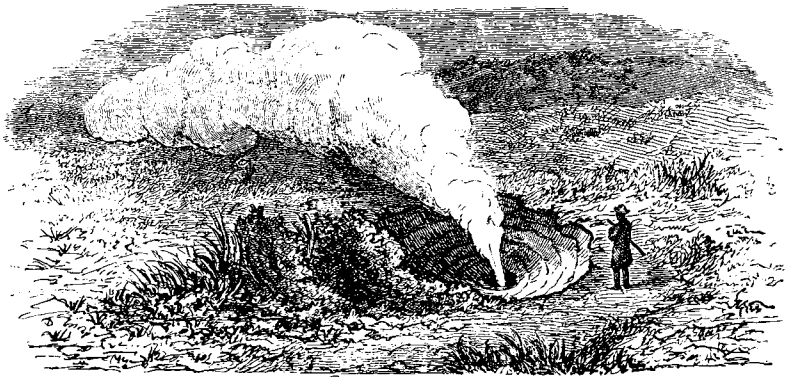


Fig. 30. — Le Harapiti de la Nouvelle-Zélande, d'après M. de Hochstetter.

Sources thermales d'origine volcanique. — Du même ordre sont encore ces sources chaudes, hautement minéralisées, qui empruntent leur température élevée et cette minéralisation qui leur donne un caractère spécial aux dégagements d'origine volcanique. Ces sources minérales, disposées par groupes comme les *suffioni*, ont été considérées par Elie de Beaumont « comme des volcans privés de la faculté d'émettre aucun autre produit que des émanations gazeuses qui, dans le plus grand nombre de cas, n'arrivent à la surface que condensées en eau thermale » ⁽²⁾; on ne saurait trouver une meilleure définition de ces sources jaillissantes, non plus à la manière des geysers, mais comme de véritables puits artésiens naturels.

Les sources sulfureuses célèbres de Wara din-Teplitz en Croatie, qui débitent par jour 77 000 tonnes d'eau portée à une température de 56°, sont imprégnées de soufre, de carbonate de soude, de potasse et de chaux, et d'alun dans des proportions telles qu'on évalue actuellement l'accumulation de toutes ces substances minérales, amenées ainsi des profondeurs à la surface, à un cube de 120^m de côté.

Les sources chaudes d'Hamman-Meskhoutin (les bains maudits), dans la province de Constantine (Algérie), sont encore plus remarquables. Elles doivent à leur température élevée (95°) et surtout à la forte proportion d'acide carbo-

⁽¹⁾ DE HOCHSTETTER, *Exploration de la Nouvelle-Zélande (Reise der Osterreichischen Fregate Novara um die Erde)*.

⁽²⁾ ELIE DE BEAUMONT, *Note sur les émanations volcaniques et métallifères (Bull. Soc. géol. de France, 2^e série, t. IV, 1847, p. 1249)*.

nique qu'elles contiennent, d'emprunter aux massifs calcaires sous-jacents une grande quantité de carbonate de chaux, qu'elles déposent ensuite, sous forme d'incrustations calcaires, très étendues et très pittoresques, dont la structure et l'architecture varient à mesure qu'on s'éloigne des griffons.

Au point d'émission, ce travertin, spongieux et vacuolaire, apparaît comme boursoufflé, il passe ensuite à des variétés concrétionnées à structure fibreuse (arragonite) qui plus bas, alors que les eaux déjà refroidies tombent en cascades, se transforment en calcaires compacts, blancs ou rosés.

Ces sources, au nombre d'une centaine, se font jour sur la rive droite d'une rivière très encaissée, l'oued Zenati, au milieu d'un vaste plateau entouré d'une ceinture de hautes montagnes (les djebel Taïa, Mermoura et Debar). Le sol de ce plateau, jonché de cheminées calcaires qui, hautes de 8 à 10^m, ressemblent, de loin, à tout autant de minarets, résonne sous les pas et l'on entend, dans le dessous, le bruit d'une forte ébullition; des torrents de vapeurs s'échappent de partout au travers de ce sol fissuré, tandis que s'échappent, du sommet des monticules coniques, des sources bouillonnantes qui vont mêler leurs eaux tumultueuses et brûlantes aux eaux plus calmes et froides de l'oued Chedraka; dans ce trajet, ces sources ont établi une suite de terrasses, tapissées de longues stalactites d'un blanc de neige, sur lesquelles les eaux se déversent, en formant toute une série de cascates du plus gracieux effet.

Les sources chaudes d'Hiéropolis (Ville sainte), près de Smyrne, sont encore plus remarquables. Les travertins déposés par ces eaux calcaires forment une cascade de plus de 100^m de haut sur 4^{km} de large, en figurant, par places, des colonnades de bas-reliefs d'une étrange beauté, au milieu desquels s'ouvrent une multitude de coupes et de vasques aux bords cannelés frangés de stalactites.

Le célèbre rocher des Célestins, à Vichy, encore parcouru par de nombreuses sources ascendantes, qui contribuent chaque jour à son accroissement, en déposant, feuillet par feuillet, les couches diverses de calcite et d'arragonite qui constituent ce puissant massif de travertin concrétionné, représente ainsi le travail séculaire de sources thermales bien connues, dont les plus chaudes sortent à une température de 35° à 45°; alignées par groupes sur des fissures nettement parallèles, qui ne sont autres que des réouvertures de celles qui ont livré passage aux grandes nappes basaltiques des environs de Vichy et du Roannais à l'époque miocène ⁽¹⁾, elles dérivent ainsi de l'activité interne du globe.

(1) VOISIN, *Annales des Mines*, 2^e série, t. XVI, p. 488.

Sondage de Montrond. — On peut, à l'aide de sondages, favoriser la sortie de ces sources ascendantes; on obtient alors, au début, de violentes projections d'eau, qui tiennent à l'expansion des gaz comprimés dans le dessous.

Un sondage entrepris récemment, en 1879, dans la plaine du Forez, aux environs de Montrond, dans l'espoir de retrouver là, sous les terrains tertiaires du Velay et de la Limagne, le prolongement du bassin houiller de Sainte-Foi-l'Argentière, vient d'en donner un exemple des plus remarquables.

A 500^m de profondeur, après avoir rencontré, à divers niveaux dans les couches tertiaires traversées, des sources bicarbonatées sodiques, semblables à celles de Vichy et surtout à celles de Saint-Galmier et de Salt-en-Donzy, situées, dans le voisinage, sur les bords de la plaine du Forez, tout d'un coup, des torrents d'acide carbonique, se précipitant hors du trou de sonde, firent jaillir avec violence, par jets intermittents qui se renouvelaient trois fois par vingt-quatre heures, des colonnes d'eau bouillante hautes de 18^m à 20^m.

Actuellement cette sortie des gaz et de l'eau minérale se fait avec moins de violence, et c'est ainsi une source thermique ascendante, très abondante, qu'on a rencontrée à Montrond, au lieu des réserves de houille qu'on s'attendait à trouver. Son débit se maintient, en effet, entre 350^{lit} et 400^{lit} à la minute.

L'existence de cette nappe d'eau bicarbonatée sodique chaude, sous la plaine du Forez, devait être prévue, puisqu'elle se traduit depuis longtemps, sur ces bords, par les sources minérales de Saint-Galmier et de Salt-en-Donzy à l'est, de Moing et de Montbrison à l'ouest.

L'origine de ces eaux thermales doit se rattacher, comme celles de Vichy, aux grandes coulées basaltiques qui sillonnent la plaine et le pied de la chaîne du Forez. La soude qu'elles contiennent en assez forte proportion (3^{gr} à 4^{gr} de carbonate de soude par litre) est empruntée à ces roches basaltiques, dont le feldspath est à base de soude.

Salses, salinelles et mofettes. — Au dernier échelon des manifestations volcaniques se trouvent des émanations gazeuses, dans lesquelles domine le carbone combiné soit à l'hydrogène, soit à l'oxygène, et qui s'effectuent généralement à la température de l'air ambiant.

Ces dégagements de carbures d'hydrogène et d'acide carbonique, nombreux en Sicile, principalement dans la région de l'Etna, ont de tout temps appelé l'attention des géologues et des chimistes qui ont fait des volcans l'objet principal de leurs recherches.

Des analyses très précises, effectuées d'abord sur place, contrôlées ensuite dans le laboratoire par MM. Félix Le Blanc et Ch. Sainte-Claire Deville, ont permis à ces savants obser-

vatours d'établir, dans ce groupe complexe d'émanations carbonées qui environnent l'Etna, une série décroissante dont les termes extrêmes sont formés par l'hydrogène protocarboné d'une part, et de l'autre par l'acide carbonique pur, ainsi que le démontre le Tableau suivant :

	MACALUBA			SALINELLE			SOURCE acidulée de Paterno.
	de Xirbi.	de Girgenti	de Terra- pilata.	de S. Biag- gio.	de Paterno.	du Lago di Naftia	
Hydrogène protocarboné	97,95	98 40	93,66	30,05	5,47	0,71	0,00
Azote.....	1,12	0,35	0,00		0,00	0,00	1,74
Acide carbonique.....	0,93	1,25	6,34	69,35	94,53	99,29	98,26
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Entre les suffioni, qui se rattachent intimement aux solfatares et aux geysers, comme nous venons de le voir, et ces émanations carbonées, dernier signe d'une activité volcanique depuis longtemps affaiblie, on peut observer une liaison étroite. Il se fait ainsi, dans la succession des phénomènes qui mettent fin aux manifestations volcaniques, une série continue d'étapes régulièrement décroissantes, dont les dégagements d'acide carbonique représentent le dernier acte.

Salses. — Les salses consistent en des émissions de boue plus ou moins salée, amenée au jour par des gaz souterrains qui s'échappent de petites collines coniques, tronquées au sommet par une ouverture cratériforme. Ce phénomène présente, en petit, tous les symptômes d'une crise volcanique véritable; l'éruption boueuse, précédée de secousses, s'annonce par une agitation tumultueuse de la masse vaseuse contenue dans le cratère, d'où s'échappent par quantités des bulles de gaz qui, venant crever à la surface, donnent naissance à de véritables projections. Les coulées boueuses s'effectuent ensuite, inondant souvent de vastes espaces et modifiant, par suite, l'aspect du sol où elles se manifestent. Leurs paroxysmes les rendent quelquefois redoutables, et rien ne manque alors au tableau d'une éruption volcanique.

Quelle que soit d'ailleurs l'apparence des orifices d'une salse, on voit toujours, quand on approche une allumette enflammée d'un de ces dégagements, se développer une flamme jaunâtre, douée d'un pouvoir éclairant considérable, dû à la présence de particules très fines de chlorure de sodium dans le gaz dégagé et non à la composition particulière de celui-ci, dont l'élément dominant est toujours le gaz des marais ⁽¹⁾; c'est là leur trait caractéristique.

(1) FOURÉ, *Les émanations gazeuses des Apennins* (Revue des Deux-Mondes, t. XCII, p. 533).

Ces cônes, répandus souvent en nombre considérable sur un petit espace, sont toujours peu élevés, et, comme ils sont formés d'une argile tenace, leur pente est toujours plus forte que celle des cônes de débris. Leur forme est aussi plus régulière, et la cavité centrale, qui parfois se réduit à 0^m,5 ou 0^m,6, offre une section circulaire parfaite. Il est de ces cratères qui, surbaissés, ne dépassent le sol que de quelques centimètres, figurant ainsi de véritables cratères-lacs, remplis d'une eau vaseuse, sans cesse agitée.

Ces appareils justifient bien ainsi le nom de *volcan d'air*, ou mieux celui de *volcan de boue*, qu'on leur a donné, en Sicile, dans le *Macaluba* (1) de Girgenti, exemple le plus connu et le plus souvent cité de ces suintements de boue.

Le Macaluba de Girgenti est situé à 11^{km} au nord de la ville, au milieu d'une campagne stérile, absolument découverte, dépourvue de toute espèce de culture et d'habitation. De toutes les descriptions qui en ont été données, celle de Dolomieu, qui date de 1781 (2), est certainement la plus complète et la plus exacte; nous ne saurions donc mieux faire, pour en donner une idée, que de la reproduire ici textuellement :

« Cette montagne, à base circulaire, représente imparfaitement un cône tronqué; elle peut avoir 150 pieds d'élévation, prise d'un vallon qui est au-dessous et qui en fait presque le tour; elle est terminée par une plaine convexe qui a un demi-mille de contour : elle est de la plus grande stérilité et ne produit pas la moindre végétation. On voit, sur son sommet, un très grand nombre de cônes tronqués, à différentes distances les uns des autres et de différentes hauteurs; le plus grand peut avoir 2 $\frac{1}{2}$ pieds, les plus petits ne s'élèvent que de quelques lignes. Ils portent tous, sur leurs sommets, de petits cratères (*sic*) en forme d'entonnoirs, proportionnels à leurs monticules et qui ont à peu près la moitié de leur élévation pour profondeur. Le sol sur lequel ils reposent est une argile grise, desséchée et gercée dans tous les sens, qui s'enlève en feuillets de 4 pouces d'épaisseur; le grand balancement qu'on éprouve en marchant sur cette espèce de plaine annonce que l'on est porté par une croûte assez mince, appuyée sur un corps mou et demi-fluide; on reconnaît bientôt que cette argile desséchée recouvre réellement un vaste et immense gouffre de boue, dans lequel on court le plus grand risque d'être englouti.

(1) Ce nom, d'origine arabe, qui signifie *bouleversé, tourmenté*, s'applique bien aux salses de Sicile.

(2) DOLOMIEU, *Voyage aux îles Lipari, fait en 1781*, suivi d'un Mémoire sur une espèce de volcan d'air (salse de Girgenti), p. 153 et suiv. Paris, 1783.

» L'intérieur de chaque petit cratère est toujours humecté, et l'on y observe un mouvement continu; il s'élève à chaque instant de l'intérieur et du fond de l'entonnoir une argile grise délayée, à surface convexe, qui, en s'arrondissant, arrive aux lèvres du cratère qu'elle surmonte ensuite en forme de demi-globe; cette espèce de sphère s'ouvre pour laisser éclater une bulle d'air qui a fait tout le jeu de la machine. Cette bulle, en se crevant avec un bruit semblable à celui d'une bouteille que l'on débouche, rejette hors du cratère l'argile dont elle était enveloppée, et cette argile coule à la manière des laves sur les flancs du monticule; elle en gagne la base et s'étend à plus ou moins de distance. Lorsque l'air s'est dégagé, le reste de l'argile se précipite au fond du cratère, qui reprend et garde sa première forme, jusqu'à ce qu'une nouvelle bulle cherche à s'échapper. Il y a donc un mouvement continu d'abaissement et d'élévation plus ou moins précipité, et dont l'intermittence est de deux ou trois minutes...

» Il y a quelques petits monticules qui sont entièrement secs, et qui ne donnent plus passage à l'air; le nombre des uns et des autres est en général de plus de cent et varie chaque jour; en outre des petits cônes, il y a quelques cavités dans le sol même, surtout dans la partie de l'ouest, qui est un peu plus basse; ces petits trous ronds, de 1 ou 2 pouces de diamètre, sont pleins d'une eau trouble et salée, d'où s'élèvent et sortent immédiatement les bulles d'air, qui y excitent un bouillonnement semblable à celui de l'eau sur le feu, et qui crèvent sans bruit et sans explosion. Je trouvai sur la surface de quelques-unes de ces cavités une pellicule d'huile bitumineuse d'une odeur assez forte, que l'on confond souvent avec celle du soufre.

» Tel est l'état de cette montagne pendant l'été et l'automne jusqu'au temps des pluies; et c'est ainsi que je l'ai vue. Mais, pendant l'hiver, les circonstances sont toutes différentes; les pluies ramollissent et détrempe l'argile desséchée de son sommet; les monticules coniques sont dissous; ils se rabaissent et se mettent de niveau, et le tout n'offre plus qu'un vaste gouffre de boue et d'argile délayée dont on ne connaît pas la profondeur et qu'on n'approche qu'avec le plus grand danger. Un bouillonnement continu se voit sur toute cette surface: l'air qui le produit n'a plus de passage particulier et vient éclater dans tous les endroits indistinctement... »

Ces deux états différents représentent la période de calme et par conséquent le jeu normal du Macaluba. Cette salse a aussi ses moments de grande « fermentation », ajoute Dolomieu, pendant lesquels se manifestent des phénomènes en tous points comparables à ceux qui servent de prélude aux éruptions, dans les cratères brûlants.

Des mouvements du sol, avec leur cortège habituel de bruits souterrains, souvent très violents, se font alors sentir sur une étendue de plusieurs lieues; puis surviennent des explosions provoquant le jet, à une hauteur de plus de 50^m, de véritables gerbes d'argile détremée, mêlée de quelques pierrailles empruntées au sol sous-jacent; enfin une véritable coulée de boue, accompagnée de dégagements tumultueux de gaz hydrocarbonés, dégorge du cratère et vient recouvrir une étendue de plusieurs lieues.

Ces éruptions violentes se manifestent à la fin de l'automne, dans les années sèches, quand la boue asséchée, devenue plus consistante, a mis longtemps obstacle à l'émission des gaz.

On doit encore savoir gré à Dolomieu d'avoir reconnu que la composition des gaz, qui se dégagent ainsi de la masse boueuse, était complexe. Après avoir constaté que cette vase, qui dans les cratères paraît soumise à une vive ébullition, restait toujours à une température voisine de celle de l'air ambiant ou même inférieure, il a reconnu que les bulles venant ainsi crever à la surface, contenaient deux sortes d'air: un *air fixe* ou gaz méphitique, impropre à la combustion: c'était alors la dénomination de l'acide carbonique; un *air inflammable*, qui brûlait avec une légère explosion. Armé d'une simple bouteille et d'une bougie, il était loin d'avoir à sa disposition les appareils délicats qui permettent maintenant, non seulement de condenser les vapeurs et de recueillir les gaz volcaniques, mais d'en faire l'analyse sur place.

On sait maintenant que le mélange gazeux qui s'échappe des salses et provoque l'émission de la boue renferme des carbures d'hydrogène avec de l'acide carbonique et quelquefois de l'azote.

Les émanations hydrocarbonées se présentent surtout dans les paroxysmes. Dolomieu en avait fait déjà la remarque en 1785, pendant une des crises violentes du Macaluba ⁽¹⁾. Avec raison l'illustre et savant observateur admettait que c'était uniquement l'accumulation et la force expansive de ces gaz qui, joints à de la vapeur d'eau pulvérisée, déterminent les grandes crises. Il rejetait également l'hypothèse de la combustion souterraine de l'air inflammable, admise par ses prédécesseurs, par cette raison toute naturelle que « son inflammation dans les cavités de la montagne n'était pas possible, puisque, pour produire cet effet, il lui faut le concours de l'air pur », lisez de l'oxygène.

(1) « Le fluide élastique de Macaluba me parut air fixe ou gaz méphitique, lorsque je l'observai en 1771; je n'y pu (*sic*) produire aucune inflammation; plus tard, en 1785, il se trouva être entièrement *air inflammable*, qui brûlait avec légère explosion. » (DOLOMIEU, *loc. cit.*, p. 368.)

La relation si détaillée de Dolomieu représente fidèlement l'état du Macaluba, vers la fin du siècle dernier. Actuellement, par suite de l'élargissement de sa masse, les contours de la salse sont moins réguliers. Elle a perdu sa forme conique et figure maintenant un mamelon écrasé, aux pentes arrondies, rattaché aux collines voisines, au-dessus desquelles il ne s'élève à peine que de 50^m.

Le Macaluba ne doit pas uniquement son relief aux émissions boueuses : c'est un mamelon formé de marnes grises gypsifères, d'âge miocène, sur le flanc duquel des éruptions successives ont accumulé une masse épaisse d'argile délayée. Sa surface, fortement ondulée et comme bosselée, couverte d'une centaine de petits cônes éruptifs et de cratères-lacs, devenue solide et résistante, ne fléchit plus sous le pied et l'on peut circuler aisément au milieu de tous ces foyers sans éprouver les inquiétudes de Dolomieu. En beaucoup de points la présence du *Salsola vermiculata* témoigne de la salure des eaux boueuses. Dans tous les cratères actifs, c'est le gaz des marais (hydrogène protocarboné) qui domine; en même temps, le bitume, devenu plus abondant, dessine autour des cônes de larges traînées sinueuses, d'un brun noir, qui s'étendent souvent fort loin.

C'est dans cet état que M. Contejean, à qui nous empruntons ces détails ⁽¹⁾, a trouvé le Macaluba, en septembre 1882, un siècle après Dolomieu par conséquent. C'est en effet le 18 septembre 1781 que ce savant géologue partait d'Aragona-Caldare pour entreprendre l'exploration du *volcan d'air* de Girgenti.

Les diverses sources gazeuses hydrocarbonées de la Sicile, rayonnant suivant des directions déterminées autour de l'Etna, sont nécessairement en relation avec les différentes phases d'activité de ce volcan. Dans les grands paroxysmes, quand la poussée volcanique amène la lave jusqu'au cratère terminal, ces événements secondaires, donnant issue aux masses gazeuses refoulées par suite de l'obstruction de la cheminée centrale, éprouvent une recrudescence, marquée non seulement par la violence des dégagements, mais encore par des différences dans leur composition. C'est ainsi que M. Fouqué, en 1865, lors de la grande éruption qui a donné lieu à la coulée de Frumento, a pu constater la présence de l'hydrogène libre dans la salse de Santa-Venerina, où Charles Sainte-Claire Deville n'avait rencontré, quelques années auparavant, que de l'hydrogène protocarboné ⁽²⁾. De ce fait, qui a pu être vérifié en

⁽¹⁾ CONTEJEAN, *Une excursion au Macaluba de Girgenti*. (*Revue des cours scientifiques*, 3^e série, t. XXXI, p. 720.)

⁽²⁾ Voici, d'après M. Fouqué (*loc. cit.*, p. 40), la composition d'un mé-

d'autres points dans des conditions semblables, on peut conclure que la disparition de l'hydrogène libre, et surtout l'intervention, dans ces émanations gazeuses, d'un carbure d'hydrogène plus riche en carbone que le gaz des marais, est un signe de ralentissement dans leur activité.

L'une d'elles, le Macaluba de Tempilota, située près de la ville de Caltanissetta, sur un plateau élevé de 150^m, présente cette particularité remarquable de voir ses volcans se multiplier pour ainsi dire à l'infini, à chacun des tremblements de terre qui agitent si fréquemment la Sicile. Pendant plusieurs jours des torrents de boue salée s'en échappent avec des dégagements tumultueux de gaz. La surface du plateau s'entr'ouvre, et la grande fissure qui se déclare ainsi et livre passage aux gaz, épousant chaque fois la même direction, est-ouest, vient atteindre, près de la ville de Caltanissetta, le couvent des Franciscains (*Covento della Gracia*), qui, se trouvant sur le trajet de cette fente, voit ses murailles, à chacune de ses secousses, fracturées.

Salses des Apennins. — Les salses et les salinelles sont nombreuses dans la haute Italie. Quand on descend des hauteurs des Apennins, on rencontre, avant d'atteindre la plaine de la Lombardie, une longue bande de terrains marneux qui s'étend depuis Plaisance jusqu'à l'extrémité sud de l'Italie, en épousant sensiblement la direction de l'arête montagneuse de la Péninsule; c'est au travers de ces marnes subapennines, sur le trajet d'une grande ligne de fracture (est-ouest, 17° nord) sensiblement parallèle à la chaîne des Apennins, que s'étagent, à une altitude toujours faible, au-dessus de la plaine de la Lombardie, les curieux appareils que nous venons de décrire en Sicile; les plus connus sont ceux de Bergullo, de Passuno, de Salvarola, de San-Venzans et de Sassuolo. La nature éminemment argileuse du sol se prête merveilleusement à la production des cônes de boue et des salses, aussi tous les dégagements que nous venons d'énumérer se présentent-ils sous cet aspect.

La salse de Bergullo, située dans le district d'Imola, se si-

lange gazeux rejeté par la source de Santa-Venerina, près d'Acì Reale :

Acide sulfhydrique.....	traces.
Acide carbonique.....	3,13
Gaz des marais.....	71,76
Hydrogène.....	3,70
Oxygène.....	1,18
Azote.....	22,15

Cette source, ayant pour caractère de se manifester au milieu de marnes crétacées gypsifères, produit en outre des sulfures alcalins et alcalino-terreux qui en font une station d'eaux minérales renommée.

gnale par l'étonnante régularité de ces cônes de boue, dont les principaux, élevés de 3^m sur 12^m de circonférence, formés d'une argile fine blanchâtre très résistante, paraissent avoir été construits de main d'homme.

Quelques-uns, largement ouverts sur le côté, donnent issue à de véritables coulées latérales qui se déversent dans le rio Sanguinario, ruisseau fangeux dont les eaux rougies serpentent dans le fond du vallon d'Imola. Dans le même point, suivant les conditions variables d'humidité du sol et surtout suivant l'énergie du dégagement gazeux, les cônes de déjection, faisant défaut, sont remplacés par de véritables laes de boue comme au Macaluba de Girgenti en Sicile.

Sassuno, dans le district de Castel San Pietro, établie sur un étroit plateau argileux entouré de ravins profonds, drainés par des rivières torrentielles, est de date récente. Son apparition, au commencement du siècle, a été le prétexte de phénomènes violents, secousses et tremblements de terre suivis de véritables explosions, bouleversant le terrain environnant. Le plateau, fissuré en tous sens, ressemblait à un champ labouré de sillons profonds dont la crête était aiguë et tranchante. En 1839, époque où cette salse a été reconnue et décrite pour la première fois par le professeur Bianconi, de Bologne, en divers points très rapprochés ⁽¹⁾, les dégagements d'hydrogène protocarboné s'effectuaient à des intervalles de quelques secondes au milieu d'une eau bourbeuse projetée, par éclaboussures, sur les flancs de l'éminence.

En 1869, MM. Fouqué et Gorceix ⁽²⁾ reconnurent, dans les nombreuses bulles qui venaient éclater à la surface de cette boue semi-fluide, qui formait alors, çà et là, de petites mares salées dont l'approche n'était pas sans danger, la présence, avec une grande abondance de gaz des marais, d'une proportion notable d'un carbure d'hydrogène, plus riche en carbone (hydrure d'éthylène), qui jusqu'alors n'avait été rencontré, à l'état naturel, que dans les gaz des sources de pétrole.

La salse de Sassuolo, située près de Modène, en plein pays de plaine, doit sa célébrité, d'une part au récit que Pline a donné de son apparition, de l'autre à l'exploration mémorable qu'en a faite Spallanzani en 1789. C'est, de toutes les salses des Apennins, celle qui, de beaucoup, a le plus attiré l'attention de tous ceux qui se préoccupent de l'étude des phénomènes actuels.

« Sous le consulat de Lucius Martius et de Sextus Julius,

(1) Sur un espace allongé, dont le grand diamètre avait environ 6 palmes, raconte le professeur Bianconi.

(2) FOUQUÉ et GORCEIX, *Gaz combustibles des Apennins et des lagunes de Toscane Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXIX, p. 946).

rapporte Pline d'après le récit, sans aucun doute très exagéré, des philosophes toscans, il arriva dans la campagne de Modène un tremblement de terre vraiment prodigieux : deux montagnes vinrent à se ruer l'une contre l'autre et à s'entre-choquer avec un effroyable fracas ; puis elles se redressèrent l'une et l'autre, et à l'endroit de leur séparation on voyait, de temps en temps, s'élever vers le ciel une fumée mêlée de flammes. Ce phénomène fut observé, de la voie Émilie, par un grand nombre de chevaliers romains, par leur suite et par tous les passants. Dans ce choc, toutes les propriétés furent détruites, et la plupart des animaux périrent. »

D'autres récits, datant du xvii^e siècle, mentionnent les éruptions de la salsèe comme accompagnées de phénomènes précurseurs en tous points comparables à ceux qui occasionnent de si grands désastres dans les paroxysmes de l'Etna et du Vésuve.

« Des tremblements de terre bouleversent le sol, des flammes embrasent des collines entières, raconte Frassoni en 1860 (1) ; leur lueur éclaire, par intervalles, ce sombre horizon, de telle sorte que, par instants, le jour succède à la nuit et la nuit au jour. Les hommes et les animaux sont frappés de terreur et, si une prompte fuite ne les dérobe au danger, ils trouvent bientôt la mort au milieu des éléments déchaînés. Tous ces phénomènes durent jusqu'à ce que, l'incendie ayant dévoré tous ses aliments et entièrement consumé la colline dans les flancs de laquelle il s'est allumé, il se forme une autre colline de monceaux de terre et de pierres qu'il a rejetés. »

De tels récits, où l'exagération des narrateurs frappés de terreur est manifeste, indiquent cependant que la salsèe de Sassuolo a subi de nombreux paroxysmes accompagnés de violentes secousses et de projections de débris.

Spallanzani, à diverses reprises, est venu explorer Sassuolo. En 1789, lors de sa première visite, la salsèe, dans un état de tranquillité relative, se présentait sous la forme d'un cône argileux, peu élevé, creusé au sommet en forme d'entonnoir, et donnant issue en ce point à d'énormes bulles de gaz combustible, qui s'échappaient, d'une façon intermittente, au milieu d'une eau bourbeuse constamment agitée. Ces bulles soulevaient des masses d'argiles, fortement imprégnées d'eau, qui, débordant au-dessus de l'entonnoir, se déversaient sur les flancs du cône.

L'année suivante, en juillet, autour de ce premier cône surélevé, se dressaient quatre petits monticules de même nature où se manifestaient les mêmes phénomènes. Leur apparition avait été accompagnée de mouvements du sol violents et

(1) FRASSONI, *De thermis montis Gilii*.

de projections qui avaient lancé à plus de 10^m de distance, avec des quantités de pierres, un bloc calcaire pesant 400^{ks}. A cette période d'agitation a succédé une longue période de repos : en 1793, dans une troisième exploration, Spallanzani trouva en effet la salse presque inactive, réduite à un seul cône, de faible dimension, d'où s'échappaient, à des intervalles très inégaux et très espacés, de faibles dégagements gazeux.

C'est seulement en 1835 que la salse Sassuolo, qui depuis longtemps sommeillait, s'est réveillée soudainement par une crise terrible qui a provoqué la projection à une grande distance d'une masse de boue et de pierres évaluée par le professeur Giovanni de Brignoli, professeur à l'Université de Modène, témoin oculaire du phénomène, à 10 460 000^{mc}. Le sol se fendit en plusieurs points et, dans ces crevasses, la température s'étant sensiblement accrue, de violents dégagements de gaz inflammables s'effectuèrent accompagnés d'émissions d'eaux fortement salées.

Cette grande éruption paraît avoir épuisé en partie l'énergie de Sassuolo; c'est à peine si, depuis cette époque, on a pu ressentir quelques légères secousses qui ne sont pas comparables aux oscillations dont nous venons de parler. En 1869, MM. Fouqué et Gorceix ont trouvé la salse réduite à une petite mare d'eau bourbeuse, ayant à peine 1^m de diamètre, d'où s'échappaient quelques rares bulles de gaz de marais. Aux alentours, le sol, sec et aride, était dépourvu de toute trace de végétation.

Terrains ardents, fontaines ardentes. — Quand on quitte les collines subapennines pour faire l'ascension des hautes cimes des Apennins, en suivant la route qui conduit de Bologne à Florence, on traverse, à 30^{km} environ de la région des salses que nous venons de décrire, une seconde ligne de fracture, sensiblement parallèle à la précédente, qui livre également passage, en de nombreux points sur son parcours, à des dégagements spontanés de gaz hydrocarbonés.

Ces dégagements ne trouvant plus, dans ces parties élevées de la chaîne, composées principalement de grès micacés (*macigno*) avec masses de serpentines intercalées, un sol argileux propice à l'établissement des volcans de boue, donnent lieu à des *terrains ardents* et à des *fontaines ardentes*. Les premiers se produisent quand le mélange gazeux, riche en principes combustibles, sortant à sec d'un terrain rocailleux, s'éteint difficilement après avoir été enflammé; les fontaines ardentes s'établissent quand ces mêmes dégagements, par suite de circonstances favorables, s'effectuent au sein de nappes d'eau. Ces deux conditions, essentiellement variables, peuvent se réaliser, en des temps différents, sur le même dégagement, suivant la saison et le degré d'abondance des pluies.

Auprès du village de Gaggio, situé dans la montagne, à 4^{km} au-dessus de la petite ville de Poretta, où commence le col dans lequel s'engage le chemin de fer de Cologne à Florence, ces effluves gazeuses, qui s'échappent de toutes parts à travers des champs cultivés, ne laissent soupçonner leur existence que pendant les pluies, des myriades de bulles se dégageant alors des plus petites flaques d'eau. Une allumette enflammée y susciterait un incendie qui détruirait toute la moisson.

Les fontaines ardentes sont également nombreuses près du village voisin de Barigazzo, situé presque sur la cime des Apennins; l'une d'elles, l'*Orto del inferno* (jardin de l'enfer) doit son nom à la terreur qu'inspirent dans la région les flammes qu'on peut y développer, au milieu des prairies, en allumant le gaz combustible. Non loin de là, à une petite distance de Monte-Creto, séparé de Barigazzo par un ravin large et profond, la *Sponda del Gato* (margelle du chat) laisse échapper des flammes azurées, peu brillantes, qui servent à alimenter les foyers. Au mois de mai 1869, MM. Fouqué et Gorceix ont trouvé ce gaz brûlant, devant une image de la madone, sous une petite chapelle élevée sur le dégagement, peu de temps avant leur arrivée. Non loin de Gaggio, à quelques kilomètres en contre-bas, les sources minérales bien connues de Porreta, qui jaillissent au nombre de cinq du pied de la colline escarpée de Passo-Cardo, sont toutes de véritables fontaines ardentes; les mêmes fissures qui donnent issue à ces sources chaudes (30° à 38°), tout à la fois alcalines et salées, livrent, en effet, passage à d'abondants dégagements de gaz combustibles. Mais, en même temps, ces fissures se continuant jusqu'au sommet, une partie du mélange gazeux poursuit sa route verticalement et donne lieu, en s'échappant des interstices d'un massif de grès dénudé, au terrain ardent qui couronne le mont Sasso-Cardo (1). Ces jets de gaz, une fois allumés, s'éteignent difficilement; pour les éteindre, il faut apporter de l'eau et la répandre sur les orifices de sortie, ce qui ne peut se faire sans difficultés, étant données les

(1) *Analyses des gaz recueillis dans les dégagements de Porreta par MM. FOUQUÉ et GORCEIX en 1869 :*

	PORRETA.				
	Bori.	Marte.	Puzzola.	Vedbia.	Sasso-Cardo.
C ² H ⁴	92,22	92,16	91,48	90,75	94,82
CO ²	5,72	5,06	1,84	2,02	2,05
Az.....	2,06	2,78	6,68	7,23	3,13

FOUQUÉ et GORCEIX, *Etude chimique des gaz à éléments combustibles de l'Italie centrale* (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. LXIX, p. 947).

inégalités du sol et la tendance du gaz à fuir partout où il ne trouve pas la mince nappe d'eau qu'on l'oblige à traverser.

Des terrains ardents encore plus remarquables, échelonnés dans le Modénais, le long des Apennins, de Pietra-Mala à Bocca-Suolo, sur la route qui conduit de Modène à Pistoïa, sont illustrés par les explorations qu'en ont faites, à la fin du siècle dernier, Volta et Spallanzani.

L'histoire garde le souvenir des luttes à jamais célèbres qui s'engagèrent alors entre ces deux savants, d'une haute valeur scientifique, pour décider si les gaz qui se dégagent spontanément du sol, dans presque toutes les régions volcaniques, ou même dans des contrées quelquefois très éloignées des points où se manifeste l'action des feux souterrains, peuvent être assimilés à ceux qui se développent dans la boue fangeuse des marais, question qui passionnait alors un grand nombre de géologues et de chimistes.

Volta, qui venait d'inventer l'eudiomètre pour découvrir la composition de l'air inflammable qui s'échappe du fond des marais, partant de ce principe que ce gaz provient d'une décomposition de matières végétales, était naturellement porté à croire que, partout où le carbure d'hydrogène nouvellement découvert par lui se rencontrait dans la nature, il fallait nécessairement supposer, près du dégagement, comme cause première du phénomène, la présence de substances organiques en voie de décomposition. Aussi toutes ses expériences, faites sur place, dans les Apennins, notamment à Pietra-Mala en 1780, pour déterminer la nature de ces effluves gazeuses qui donnent lieu aux terrains ardents, ont tendu vers ce but. Considérant son hypothèse comme une vérité démontrée, il affirma que, dans tous les points où se révèlent ces émanations, le sol renferme, à des profondeurs inconnues, d'anciens marécages, des tourbières, ou même des amas de houille enfouis depuis des siècles; dans le cas particulier des Apennins, il supposait qu'autrefois des portions importantes de la chaîne, s'étant éboulées, avaient recouvert de leurs débris, dans leur chute, des quantités prodigieuses de substances animales et végétales. L'air inflammable résultant alors de leur décomposition lente, accumulé dans de vastes cavités souterraines, s'écoulait maintenant par toutes les crevasses du sol fissuré.

Volta eut pour contradicteur passionné Spallanzani, l'éminent naturaliste que l'on sait. Lui aussi, dans le cours de son mémorable voyage aux Apennins, en 1789, vint consacrer plusieurs jours à l'étude des feux naturels de Barigazzo et de Bocca-Suolo, pour combattre la théorie de Volta par des observations précises sur le terrain, en se servant de moyens d'analyse chimique introduits récemment dans la science.

Installé dans une chambre de l'hôtellerie de Barigazzo, il reconnut, par une suite d'observations suivies, que l'activité et la hauteur des flammes augmentaient par les temps chauds et pluvieux, c'est-à-dire quand la pression atmosphérique diminuait. C'est de cette chambre, désormais célèbre, qu'est sortie cette idée également fautive, que le gaz inflammable n'était autre que de l'hydrogène libre mélangé d'une certaine quantité d'un liquide carburé très volatil. Ces deux grands adversaires ont donc laissé intacte la question, maintenant bien résolue, du mode d'origine de ces dégagements gazeux.

Sources de bitume. — Aucun de ces deux savants observateurs ne s'était préoccupé de l'existence des matières bitumineuses volatiles qui imprègnent le sol, sur le lieu du dégagement, et pourtant le bitume prend une large part dans les exhalaisons des salses. On connaît en Auvergne, au pied de la chaîne volcanique des puys, une source de bitume qui découle d'un ancien cône de scories, le *puy de la Poix*. Nous avons vu précédemment qu'au macaluba de Girgenti de larges flaques de bitume venaient par places flotter à la surface des lacs boueux.

Mer Morte. — Le lac Asphaltique ou mer Morte n'est lui-même qu'une immense salse, ainsi qu'en témoignent le degré de salure et la haute minéralisation de ses eaux, qui font de ce lac, le plus déprimé qu'on connaisse, une des masses d'eau les plus denses et les plus salées du globe. Étroitement resserrée entre la chaîne montagneuse de Judée et les monts Abarim, contreforts des hauts plateaux d'Ammon et de Moab, cette mer intérieure couvre de ses eaux denses et amères la partie la plus déprimée de ce vaste sillon, au fond duquel s'écoule le Jourdain.

L'eau de la mer Morte ne paraît pas, au premier abord, différer de celle de l'Océan, mais, si l'on y plonge la main, elle laisse une impression huileuse assez prononcée; on sait que le corps humain n'y enfonce pas, même quand il conserve une immobilité complète. Ce fait, connu des anciens, a été vérifié par Vespasien, qui y faisait jeter des criminels solidement garottés.

Sa densité moyenne est, en effet, à la surface, de 1,162 et peut atteindre en certains points 1,250 (1). Elle renferme deux fois plus de chlorure de sodium que la Méditerranée, avec une très forte proportion de chlorure et surtout de bromure de potassium.

M. Lartet, dans le cours de l'expédition du duc de Luynes à la mer Morte, en 1866, a pu constater que cette richesse extraordinaire en brome s'accroît régulièrement de la surface au fond, où elle atteint le chiffre énorme de 7^{sr},093 par kilogramme

(1) Celle de l'Océan n'est que 1,027.

d'eau ⁽¹⁾. Par contre, l'iode, si caractéristique des eaux marines, fait ici complètement défaut.

Ancun être vivant ne vient animer cette nappe d'eau, qui doit aux phénomènes internes une composition qu'on ne saurait attribuer à la concentration séculaire d'une eau marine par évaporation. Pendant bien longtemps la mer Morte a servi de type aux lacs salés si répandus autour de la Caspienne, qu'on considérait autrefois comme autant de laisses d'une mer asiatique, qui se serait étendue de la mer d'Aral à la Caspienne, occupant ainsi le centre de l'ancien continent, divisé par suite en trois terres distinctes.

En réalité, le bassin de cette mer, dont le mode de formation par effondrement n'est pas douteux, rempli tout d'abord par les eaux de circulation superficielle, n'est autre qu'un ancien lac d'eau douce, dont la composition a été ultérieurement changée par des apports internes, sous l'influence de phénomènes volcaniques qui ont agité cette contrée à une époque relativement récente. Les grandes coulées de lave basaltique qui forment maintenant les hautes falaises de son rivage oriental, sillonnées encore, pour la plupart, de sources chaudes et de dégagements gazeux, en témoignent. Il est vraisemblable de penser que ces sources minérales, qui jaillissent sur les bords, se manifestent aussi dans le fond du bassin.

En plus de cette grande salure et de cette richesse en brome qui font de la mer Morte un *point singulier* à la surface du globe, cette nappe d'eau est encore le siège d'un phénomène qui vient aussi fournir une preuve éclatante à l'attribution que nous venons de faire de ce vaste bassin à une salse.

« Ce lac, raconte Strabon ⁽¹⁾, est rempli d'asphalte qui, à des époques irrégulières, jaillit au milieu du lac. Des bulles viennent crever à la surface de l'eau, qui semble bouillir; la masse de l'asphalte retombe au-dessus de l'eau et présente l'image d'une colline. Il s'élève en même temps beaucoup de vapeurs fuligineuses qui, bien qu'invisibles, rouillent le cuivre et l'argent, et ternissent en général l'éclat de tout métal poli. Les habitants jugent que l'asphalte va monter à la surface lorsque les ustensiles de métal commencent à se rouiller. Ils se préparent alors à le recueillir au moyen de radeaux formés d'un assemblage de joncs. »

Strabon attribue ensuite à ces éruptions de bitume, qui n'ont pas d'époques fixes, une origine dépendant des feux souterrains dont le rôle important, bien que mal compris peut-être par les anciens, ne leur avait pas échappé.

⁽¹⁾ LOUIS LARTET. Exploration de la Palestine, *Annales des sciences géologiques*, t. I.

⁽²⁾ STRABON, lib. XVI, cap. II.

« Cette contrée, ajoute-t-il plus loin, est travaillée par le feu; on en donne pour preuves certaines roches durcies et calcinées vers Moasada, les crevasses, une terre semblable à de la cendre, des *rochers qui distillent de la poix*, des *rivières bouillantes dont l'odeur fétide* se fait sentir au loin.... Des *tremblements de terre*, des *éruptions d'eaux chaudes bitumineuses et sulfureuses* auraient fait sortir le lac de ses limites, des rochers se seraient *couverts de flammes*, et c'est alors que treize villes auraient été englouties ou abandonnées de tous ceux qui purent fuir. »

La description de Strabon indique que cette salse a dû passer par des paroxysmes qui ne se reproduisent fort heureusement plus actuellement. Aujourd'hui, à diverses reprises, des masses considérables de bitume viennent encore flotter à la surface du lac, qui les rejette sur ses bords; leurs débris ⁽¹⁾, très répandus sur les plages du rivage occidental, sont recueillis par les Arabes. Son origine interne n'est pas douteuse, et il en est de même pour nombreuses sources de bitume qui s'alignent sur le rivage occidental du lac ⁽²⁾.

Dégagements d'hydrocarbures; sources de pétrole. — Des salses aux sources pétrolifères, qui représentent également

(1) C'est à cette circonstance que la mer Morte doit son nom bien justifié de lac Asphaltique; la densité de cet asphalte, dur et cassant, étant de 1,140, lui permet de flotter sur une eau dont la densité moyenne est, comme nous l'avons dit précédemment, de 1,162 à la surface.

(2) Ces gîtes sont alignés d'une façon remarquable le long de la ligne de dislocation du bassin. Le plus méridional est celui de waddy Mahawat, près du jebel Usdom, où l'on voit le bitume découler des calcaires asphaltiques sous forme de stalactites noires, et transformer, dans son voisinage, les alluvions anciennes en poudingues bitumineux; puis vient celui de waddy Sebbeh, près de Masada, où l'asphalte dur et brillant remplit les cavités de calcaire dolomitique; au nord de ce deuxième gisement, au Ras-Mersed, où se dégagent de la mer de fortes émanations d'hydrogène sulfuré, il existe également des traces d'infiltrations bitumineuses, et, à l'entrée d'une grotte voisine de ce point et que doivent envahir les hautes eaux, nous avons vu un tuf salin fortement imprégné de matières bitumineuses qui semblent indiquer le voisinage d'une source sous-marine bitumineuse; enfin, au nord-est de la mer Morte, se trouve le grand amas lenticulaire de calcaire asphaltique de Nebi-Musa, et nous croyons avoir observé les mêmes roches dans le voisinage d'Aïn Feschkah, sur les bords de la mer Morte. Sur le prolongement de cet alignement se trouvent, près de Tibériade, des sources chaudes qui, d'après M. Hebard, émergeraient au milieu d'un calcaire bitumineux et renfermant du brome ainsi qu'une matière organique. Sur la même direction se trouvent les calcaires asphaltiques de l'Anti-Liban, dont nous avons déjà parlé, au milieu desquels on a autrefois cherché l'asphalte au moyen d'une vingtaine de puits, à Bir el Hamman, près de Hasbeya. (LOUIS LARTET, *loc. cit.*, p. 420.)

une des manifestations les mieux caractérisées d'une activité interne à son déclin, la transition se fait par des passages insensibles. Très souvent, en effet, les mélanges gazeux des salses, caractérisés, comme nous venons de le voir, par la prédominance du gaz des marais, qu'on ne saurait attribuer à la fermentation paludéenne de matières animales ou végétales, sont imprégnés de vapeurs de carbures liquides, de la formule $C^{2n} H^{2n+2}$, dont on sent l'odeur sur le lieu même du dégagement et qui occasionnent souvent dans le voisinage de véritables sources de pétrole. Le fait se produit dans les Apennins, et nous avons vu qu'à Sassuno la présence de l'hydrure d'éthyle (C^2H^6) établissait un lien de composition entre les dégagements des terrains ardents et ceux, plus carburés, des sources pétrolifères.

Ces sources d'huile minérale (*oil springs*) sont très répandues dans toute cette région de l'Amérique du Nord, désignée maintenant sous le nom de *Pétrolie*, et qui s'étend depuis la presqu'île du haut Canada jusqu'à la vallée du Kanawha (Virginie occidentale) en passant par le lac Erié, près duquel se trouve le célèbre gîte d'*oil creek*, en Pensylvanie.

Les nappes pétrolifères imprègnent là, à des profondeurs diverses, des roches poreuses, arénacées ou schisteuses (*soapstone*) appartenant soit au dévonien, soit au silurien, au-dessous desquelles il ne peut y avoir des gisements assez étendus de combustibles, pour suffire à la distillation du pétrole, comme le voudraient certaines théories qui ne voient, dans ces dégagements d'hydrocarbures, qu'une tardive expansion de la puissance renfermée dans des produits résultant de la décomposition de substances végétales enfouies. Les sources pétrolifères émergent d'ailleurs sur le trajet de grandes fissures, évidemment dues aux grands mouvements de l'écorce terrestre qui ont présidé au relief si accidenté de cette partie de l'Amérique septentrionale.

En beaucoup de points, la sortie du pétrole a été favorisée par des forages artificiels. Dans tous ces puits artésiens, qui ne descendent guère au-dessous de 600^m, on a remarqué que la volatilité de l'huile minérale augmente avec la profondeur, de telle sorte qu'à une certaine distance on ne rencontre plus que des gaz carburés.

C'est le cas du célèbre gîte de *Pionner-Run*, dans le comté de Venanzo en Pensylvanie. Au moyen d'un artifice bien connu des sondeurs américains, sous le nom de *Seed-Bag*, on opère dans ces puits artésiens (*Flowing wells*) une séparation, qui permet d'obtenir, dans des conduits distincts, le pétrole et le mélange gazeux qui l'accompagne.

Ces gaz, recueillis en 1866 par M. Foncon et analysés par M. Fouqué dans le laboratoire du Collège de France, ont présenté

ce fait intéressant que leur composition chimique variait, avec la profondeur des puits et leur température, à l'orifice de sortie. A des différences de quelques mètres, en profondeur, et d'un degré seulement pour la température, correspond une diminution dans le degré de carburation du mélange gazeux, avec un accroissement notable dans la proportion d'acide carbonique : ainsi se vérifie ce fait, déjà reconnu dans les dégagements gazeux de la Sicile et de l'Italie, que la complexité des carbures d'hydrogène des événements naturels augmente à mesure que la température de ces gaz s'abaisse à leur orifice de sortie.

Les gaz naturels, qui s'échappent des sources pétrolifères de *Fredonia*, sur les rives de Canadaway-Creek, ne sont plus composés que d'un mélange, à parties égales, de gaz de marais et d'hydrure d'éthyle. Enfin il en est de même pour ceux qui, à *Petrolia*, sur les rives du Bear-Creek, font jaillir, par intermittences assez rapprochées, à une grande hauteur au-dessus du sol, des gerbes de pétrole, à la manière d'un véritable geyser. Quand on tamponne fortement l'orifice de sortie, on entend un bruit souterrain, en tout point comparable à celui d'un train, lancé à toute vitesse, qui arrive dans le lointain.

Le minimum de carburation s'observe dans les dégagements gazeux de Roger's Gulch et de Burning Springs qui ne contiennent plus d'autre élément combustible que le gaz des marais, avec des proportions diverses d'acide carbonique (15,86 pour 100 dans celui de Roger's Gulch) et d'azote libre.

Ces puits de pétrole de Roger's Gulch sont alignés, dans la Virginie occidentale, sur le trajet d'une grande fracture orientée nord-sud, 15° est, qui a provoqué le redressement des strates dévoniennes presque à angle droit, en portant à plusieurs centaines de mètres de hauteur, sur la lèvre de la faille relevée, les schistes carbonifères qui les recouvrent.

Les dégagements gazeux de Burning Springs sortent, en bouillonnant, de sources sulfureuses issues des grès et conglomérats siluriens du groupe de Médina (grès à *Lingulella cuneata*) (1).

Les sources pétrolifères de la Birmanie n'ont pas d'autre origine. Leurs relations avec celles, également si nombreuses, de l'Assyrie sont encore motivées par ce fait que tous ces dégagements hydrocarburés sont espacés sur une grande ligne de fracture qui, traversant l'Asie centrale et orientale, vient aboutir au Caucase.

(1) Les documents relatifs à ces divers gîtes pétrolifères de l'Amérique du Nord sont extraits des Mémoires publiés par MM. Foncon et Fouqué, *Sur les gisements de gaz hydrocarbonés de l'Amérique du Nord* (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. LXVII, p. 1041 et suiv.).

Salses et terrains ardents du Caucase. — A ses deux extrémités, la chaîne du Caucase, située, comme celle des Pyrénées, sur un étranglement des terres entre deux bassins maritimes, se prolonge par deux péninsules basses, couvertes de salses et de terrains ardents, qui peuvent compter parmi les plus remarquables qui soient sur la terre. Toutes ces salses se distinguent par leurs grandes dimensions, et surtout aussi par leur activité. Pallas, qui les a décrites le premier, les présente comme réunissant, dans leurs manifestations, tous les phénomènes que nous venons de décrire dans les salses des Apennins et celles de l'Amérique du Nord; dans le voisinage des volcans boueux se rencontrent, avec des dégagements naturels des gaz hydrocarbonés, des sources pétrolifères d'une activité telle qu'aucune autre région ne peut leur être comparée.

Ces mêmes salses, avec des sources de pétrole non moins considérables, accompagnées de sources thermales qui se signalent par leur abondance exceptionnelle, se rencontrent également disposées symétriquement des deux côtés de cette grande chaîne, sur deux lignes parallèles épousant sa direction.

Tous ces dégagements témoignent d'une activité volcanique qui, dans cette région, a dû être considérable, si l'on en juge par l'Elbrouz, ce géant du Caucase, dont le cratère était encore actif à cette époque, relativement récente, où la mer Noire, réunie à la Caspienne par le détroit de Manetch, formait une vaste et profonde dépression, presque aussi étendue que la Méditerranée actuelle.



Fig. 31. — Péninsule de Taman.

Péninsule de Taman. — La première de ces péninsules, à l'ouest, celle de Taman (fig. 31), parsemée de marécages et d'étangs partiels (étangs d'Akhtanizov au nord-est et de Kizil au sud-ouest), occasionnés par les crues du Kouban, qui, changeant de lit à de nombreuses reprises, vient déverser ses

eaux torrentielles, tantôt dans la mer Noire, tantôt dans celle d'Azof, supporte cinq groupes de salses, alignés sur le prolongement de la chaîne, qui offrent tous les phénomènes intermédiaires entre les suintements de boue et les explosions volcaniques. Des cavités fangeuses, des volcans de boue, répandus, par centaines, sur le pourtour de cette péninsule, ont pour caractère de se déplacer constamment.

Un des plus connus parmi ces volcans de boue, le *Koukou-Oba* (fig. 32) (colline bleue), qui se dresse sur un cap élevé à

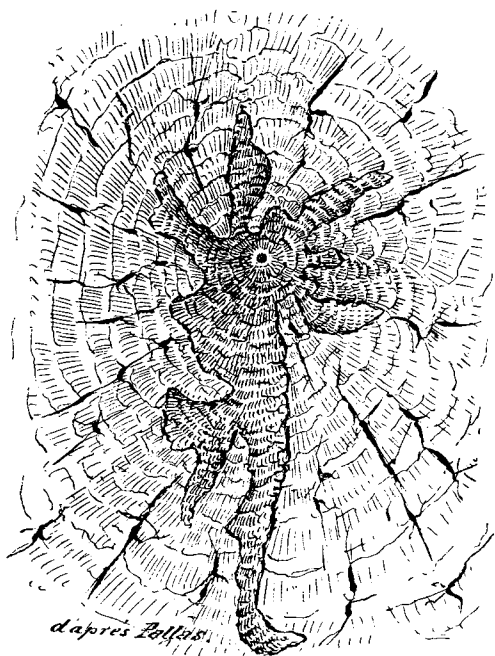


Fig. 32. — Le Koukou-Oba (volcan de boue de la péninsule de Taman).

l'entrée du Bosphore, est devenu célèbre par la description qu'en a donnée Homère, qui plaçait dans la presqu'île de Taman l'extrémité du domaine de Neptune. Au delà se trouvaient les bouches de l'Enfer, idée bien justifiée par la grande activité du volcan gazeux d'Obou, qui projetait alors, avec des gaz méphitiques, des pierres, accompagnées de flammes s'élevant à une grande hauteur.

Après un long repos, qui permit à Strabon de décrire ce volcan comme un immense tumulus, élevé en l'honneur de Satyrus I^{er}, roi du Bosphore, le Koukou-Oba, entre de nouveau en éruption pendant l'hiver de 1794 (27 février). De violentes

secousses, accompagnées de bruits souterrains, comparables au bruit du tonnerre grondant dans le lointain, furent les signes précurseurs d'une violente explosion, qui fut suivie presque immédiatement d'un jet de flamme haut de 15^m, sur plus de 10^m de large. Cette immense colonne de feu, visible du Kouban, persista pendant près d'une heure, au dire des Cosaques témoins oculaires du phénomène. Pendant de longs mois, des jets de boue incessamment lancés, avec des pierrailles, à des hauteurs de plusieurs mètres, furent accompagnés de torrents de boue, dont les coulées encore visibles, épaisses de plus d'un mètre, se répandirent dans la plaine, sur une étendue de plusieurs lieues (1).

Non loin de là, situé, de même, sur une falaise élevée, près du *Khouter-Kalouzof*, un immense cratère-lac, que sa grande régularité a fait décrire comme une *Naumachie*, destinée à donner des combats maritimes, vomissait en 1837, alors que Dubois de Montpéroux explorait la péninsule de Taman (2), des torrents de boue et de bitume qui retombaient en cascade sur le rivage. A cette date, *Phanagoria*, aujourd'hui reliée à la péninsule, formait, dans le golfe de Taman, une île couverte de volcans de boue qui se signalaient par leurs explosions violentes (3).

Il en a été de même pour l'île de *Fontan*, qui n'est venue se souder dans le nord, à l'extrémité orientale de la péninsule, que tardivement, à la suite d'une longue série de coulées boueuses, chargées de bitume.

La péninsule de Taman doit ainsi son relief et sa forme actuelle, bien différente de ce qu'elle était à cette époque ancienne, où les *Kimmériens* d'Homère et d'Hérodote l'habitaient, à l'activité d'un grand nombre de salses aujourd'hui en partie éteintes.

La plupart des îles, qui parsèment la mer d'Azof, n'ont pas d'autre origine. Elle aussi a vu surgir, au-dessus de ses flots, des îles de boue fumantes, hautes parfois de 100^m à 150^m, qui, en raison de leur peu de stabilité, ont été bientôt condamnées à disparaître. Tel a été le sort des îlots qui, en septembre 1799 et plus tard en mai 1814, apparurent presque

(1) La contenance d'un de ces courants a pu être évaluée à 650 000^m (ANSTED, *Intellectual observer*, janvier 1866).

(2) F. DUBOIS DE MONTPÉROUX, *Voyage autour du Caucase*, t. V, 1848.

(3) L'un d'eux s'est déclaré en 1818, au centre d'un tertre, où s'élevait autrefois le temple de *Diane agrotère*, ainsi qu'en témoigne une inscription, recueillie par fragments, dispersés au milieu d'une coulée de boue qui raconte, comme suit, l'histoire de cet antique édifice :

« Xénoclides Posios a érigé un temple à Diane agrotère sous Parisiades, fils de Leucon, archonte du Bosphore et de Theudisie, et roi des Sindes des Torètes et des Dandariens. »

subitement et disparurent avec la même rapidité, à moins d'une lieue du rivage, dans le voisinage de la ville de Temrouk (1).

Péninsule de Kertche. — Plus à l'ouest, l'étroite péninsule de Kertche, projetée par les monts de Crimée, en avant de celle de Taman, dont elle est à peine séparée par le Bosphore, très rétréci en ce point, formée, en son entier, par des marnes argileuses tertiaires, était toute préparée pour recevoir des volcans de boue.

Ils sont là, en effet, répandus en nombre encore considérable, dans le prolongement immédiat de ceux de Taman, et prennent leur maximum d'activité sur la pointe avancée d'*Yeni-Kaleh* où de nombreuses sources de pétrole jaillissent en tous points du sol fissuré, à ce point que, par place, il tremble sous les pas (2).

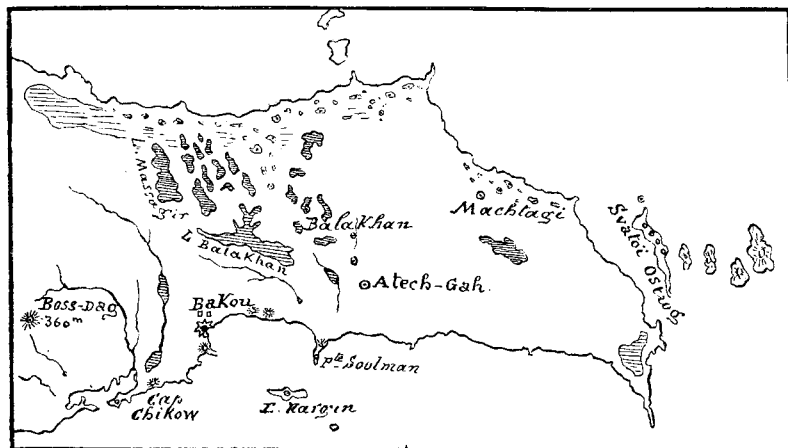


Fig. 33. — Péninsule d'Apchéron.

Péninsule d'Apchéron. — A l'extrémité orientale du Caucase, la péninsule d'Apchéron (fig. 33), tout entière de formation volcanique, n'est pas moins bien partagée. Elle aussi doit son relief, très accidenté, aux émissions des salses, et voit dans ses dépressions s'établir des marécages fangeux, plus nombreux, mais moins étendus que ceux de Taman. Elle se prolonge de même, au loin, dans la Caspienne par des buttes d'argile qui constituent tout autant d'ilots, dont les cratères terminaux, dans leur période d'activité, rejettent des pierres qui viennent

(1) VON BAER, *Bulletin de l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg*, t. V, 1863.

(2) DUBOIS DE MONTPÉREUX, *loc. cit.*, p. 239.

parfois retomber sur le continent. L'une d'elles, Koumani, a surgi du fond de l'eau en 1864. La plus active est celle de Lozi; en 1876, ses explosions ont occasionné une véritable pluie de pierres et de menus fragments de boue solidifiée qui se sont répandus sur le cap Alat (1).

Dans toute l'étendue de cette région, devenue la contrée classique du naphte, les salses se signalent surtout par l'abondance des dégagements de gaz hydrocarbonés (2). Dans la province de Schirvan, au voisinage de Bakou, la *cité du naphte* , le sol en est à ce point imprégné qu'il suffit de le percer, à une faible profondeur, pour donner passage au gaz inflammable. Une simple étincelle allume un incendie qui se communique à toutes les autres crevasses avec la rapidité de l'éclair, et se continue ainsi jusqu'à ce qu'une violente tempête ou une forte pluie vienne l'éteindre. Ces flammes, vacillantes et bleuâtres, à la manière des feux follets, s'élèvent en hautes spirales, ou d'autrefois s'abaissent en couvrant le sol qui paraît éclairé d'une lueur éthérée. L'herbe sèche qui recouvre le sol ne prend jamais feu, et le voyageur qui se trouve au sein même de ce merveilleux incendie n'éprouve aucune sensation de chaleur.

Au milieu même de la mer, près du cap de Chikhov, au sud de Bakou, les jets de gaz inflammables s'effectuent avec une telle violence que l'eau tourbillonne au point d'entraîner les barques qui s'aventurent dans ces parages dangereux (3). Des étoupes enflammées, jetées sur la mer aux points où elle semble ainsi soumise à une violente ébullition, allument aussitôt un incendie qui se propage sur une étendue d'une quarantaine de mètres et ne s'éteint que quand un vent impétueux vient à souffler.

Le foyer principal de ces dégagements gazeux se trouve, au voisinage de Sourakhan, au lieu dit « Atech-Gah », dans le nord-est de Bakou. Sur un espace de plus de deux lieues carrées, le sol fissuré de toutes parts livre passage à tous ces dégagements que le moindre accident peut enflammer. C'est là que les « Parsis », disciples modernes de Zoroastre,

(1) LISSENKO, *Russisch Revue*, n° 10, 1879.

(2) Les sept cents puits de naphte creusés dans la région de Bakou fournissent annuellement 320000000^{ks} de pétrole en moyenne. En s'élevant ainsi d'une profondeur qui ne dépasse guère 80^m ou 100^m, le pétrole, accumulé dans des couches gréseuses intercalées dans des marnes tertiaires, entraîne avec lui des quantités de sables qui s'accumulent autour de l'orifice et finissent par former des monticules coniques de 15^m de hauteur. (LISSENKO, *El. Reclus, l'Asie russe*, p. 204.)

(3) ABICH, *Geogr. Obchtchstra*, t. VI, 1864; MOYNET, *Voyage au littoral de la mer Caspienne (Tour du monde, n° 8, 1870)*.

ont trouvé le feu perpétuel pour lequel la nature a tout fait, et qu'ils n'avaient pas besoin d'entretenir. A l'heure présente, *le temple du feu* n'est plus qu'un simple réduit, livré à tous les cultes et maintenu, par tolérance, dans un coin d'une vaste usine qui sert à la préparation de l'huile de naphte et du bitume, et qu'alimentent directement les gaz combustibles, aménagés pour pouvoir être utilisés pour le chauffage, l'éclairage et même la cuisson du calcaire dans les fours à chaux installés dans le voisinage de ce grand laboratoire naturel.

Mofettes. — Dans ces émanations gazeuses hydrocarbonées qui sont déjà le signe d'une activité volcanique à son déclin, quand la température s'abaisse, au point de ne plus dépasser celle de l'air ambiant, l'acide carbonique persiste seul, avec la vapeur d'eau. Ce gaz, qui s'échappe alors, en abondance, de toutes les fissures du sol, tapisse des grottes et remplit les dépressions de ses émanations délétères, en donnant lieu aux *mofettes*. Telles sont celles qui, nombreuses, se présentent en Auvergne, dans la région des *Puys*, principalement aux environs de Clermont et de la station thermale bien connue de Royat. Elles abondent également dans le Vivarais, où elles témoignent d'une activité qui a dû être considérable autrefois, si l'on en juge par les grandes coulées basaltiques qui donnent lieu, dans leur voisinage, aux orgues d'Espaly et de la Croix de Paille. Sur la rive gauche du Rhin, dans l'Eifel, on les compte également par milliers au voisinage du lac de Laach, un des plus célèbres cratères-lacs de la région des *Maars*, où elles remplissent de petites grottes et des cavités bien abritées.

La célèbre « vallée de Mort », à Java, où le sol est jonché de squelettes d'animaux qui se sont laissé surprendre par ces émanations, n'est autre qu'un ancien cratère, maintenant rempli, presque jusqu'au bord, par l'acide carbonique qui se dégage par torrents de toutes les fissures de cette plaine de laves, depuis longtemps consolidée.

Telles étaient autrefois les conditions, dans les champs phlégréens, des lacs Averno, « sans oiseaux », considérés autrefois comme autant de portes du Tartare, par où les divinités infernales attiraient les âmes sur les bords de l'Achéron ⁽¹⁾; ils émettaient alors de telles quantités d'acide carbonique que les oiseaux, surpris dans leur vol au-dessus de ces parages dangereux, tombaient, comme foudroyés, sur le sol de ces cratères que remplissent maintenant les eaux d'infiltration pluviale.

A l'heure présente, au voisinage du Vésuve, près du lac d'Agnano, ces dégagements d'acide carbonique persistent, comme on sait, dans la fameuse grotte dite du Chien. L'acide

(1) LUCRÈCE, liv. VI.

carbonique, qui s'échappe là par de nombreuses fissures, au niveau du sol, tapisse le fond de la grotte d'une couche dense, épaisse de moins de 1^m, qui parfois se répand au dehors, à la manière d'un véritable courant, qu'on peut suivre et reconnaître à une assez grande distance, par les temps calmes, en y portant des torches enflammées qui s'éteignent subitement. La Grotte du Chien a son grand-prêtre; un guide a la barbarie d'entraîner là de pauvres chiens pour les faire haleter et s'évanouir au pied des visiteurs, qui viennent nombreux assister à ce triste spectacle.

Ch. Sainte-Claire Deville a fait, sur ce point, en janvier 1862, une observation remarquable; surpris de voir les orifices, où se font habituellement les dégagements d'acide carbonique, tapissés par de petits dépôts de soufre, il constata que la température, qui habituellement ne dépasse guère 16° à 18°, s'élevait alors dans chacun d'eux à 30°, et que le mélange gazeux qui s'effectuait alors contenait de l'acide sulfhydrique. Il a trouvé là une nouvelle vérification de la loi qu'il venait d'établir entre les variations qui s'établissent entre la composition des fumerolles et leur température, dans ces dégagements carbonés qui représentent, ainsi que nous l'avons dit en commençant, le *dernier acte* des manifestations volcaniques.



III.

LES LAVES.

Les laves sont de beaucoup, parmi les produits volcaniques, ceux qui peuvent être considérés comme les plus importants. Sous ce nom viennent, en effet, se ranger toutes ces matières fondues rejetées par les volcans par millions de mètres cubes, sous la forme de courants liquides, dans les conditions que nous avons décrites, ou bien projetées dans les airs, à l'état de cendres, de scories et de blocs, dont les dimensions peuvent être considérables.

Cette dénomination ne s'applique donc pas à une roche de composition déterminée, mais bien à tout un ensemble de masses minérales complexes, issues des volcans par voie de fusion ignée, qui peuvent présenter dans leur texture, leur densité et leur composition minéralogique, de grandes variations.

Toutes, en raison de cette origine commune, possèdent un certain nombre de caractères constants qui permettent de les rapprocher.

Le premier et le plus important, c'est la présence dans leur masse, quand elles sont devenues solides, de parties restées à l'état vitreux, qui ne sont autres qu'un reste du magma primitif, antérieur à toute séparation de composés minéraux. Le second, c'est l'existence également constante de petites cavités bulleuses, plus ou moins développées, provenant de l'expansion des gaz qu'elles charriaient alors qu'elles étaient encore à l'état de fluide igné.

Mais, à côté de ces traits saillants de ressemblance, les laves offrent entre elles des divergences profondes, qui tiennent surtout aux variations qu'elles présentent dans leur composition chimique. Un petit nombre d'éléments simples à divers états d'oxygénation, l'alumine, la soude, la potasse, la magnésie, la chaux et le fer, combinés à l'état de silicates, suffisent à eux seuls pour constituer toutes les masses laviques issues des volcans.

La proportion plus ou moins grande de silice, qui joue ainsi dans ces roches volcaniques le rôle d'acide, influe à ce point sur leur coloration, leur densité, sur la nature des éléments cristallins qui en font partie, qu'on a pu les diviser en deux grands groupes, les *laves acides* ou *légères* et les *laves basiques* ou *lourdes*; les premières, caractérisées par un excès de silice, c'est-à-dire par une teneur en silice supérieure à celle qui

convient à l'orthose (65 à 66 pour 100), sont pauvres en chaux, en magnésie, en oxydes ferrugineux et riches en soude et en potasse; les secondes, ne contenant plus qu'une proportion de silice voisine de celle des silicates plus basiques, c'est-à-dire comprise entre 40 et 55 pour 100, renferment plus de chaux, de magnésie que de potasse et de soude et contiennent en outre une forte proportion d'éléments ferrugineux (*fer oxydulé*) qui leur communiquent leur propriété magnétique, leur coloration noire, ainsi qu'une grande densité (2,95 à 3,10).

Toutes arrivent au jour avec une provision de cristaux tout formés dont les contours sont souvent assez nets et les dimen-

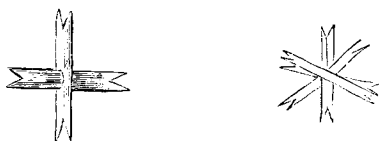


Fig. 34. — Microlithes feldspathiques.

sions assez grandes pour pouvoir être discernés à l'œil nu, ou simplement armé de la loupe. La matière lavique, qui cimente tous ces minéraux disséminés ou agrégés par quantités variables, d'apparence homogène et longtemps considérée comme dépourvue de toute trace de cristallinité, se résout elle-même, sous le microscope, à un grossissement suffisant, en un riche tissu de minéraux divers, que leurs formes réduites ont fait dénommer *microlithes* (fig. 34).

La découverte de ces cristaux microscopiques, nés ainsi au sein de la masse vitreuse des roches volcaniques pendant l'acte de consolidation de la lave, et dont l'existence n'était même pas soupçonnée avant l'application du microscope à la pétrographie, a été une des conquêtes les plus importantes de la micrographie moderne. Le développement de la cristal-



Fig. 35. — Crystallites.

linité dans une substance amorphe étant, en effet, un des problèmes qui depuis longtemps préoccupaient les minéralogistes. L'emploi des forts grossissements a révélé, dans ces parties vitreuses des laves, toute une catégorie de formes élémentaires (*crystallites*) (fig. 35) fort intéressantes, établissant tous les passages entre l'état amorphe et l'état cristallin.

Le microscope a été plus loin dans cette détermination

exacte des éléments intégrants des laves (¹); il a fourni des données précises sur leurs associations, sur leur mode d'agencement, en montrant que la cristallinité de ces minéraux divers ne s'était pas faite simultanément, mais s'était opérée en plusieurs temps dans chacun desquels la cristallisation a affecté des caractères particuliers dont on peut suivre toutes les phases.

Les *grands cristaux*, distincts à l'œil nu, appartiennent à un premier stade de consolidation qui s'est opéré, dans les profondeurs du sol, antérieurement à l'épanchement de la lave, dans des conditions de tranquillité et de refroidissement très lent, qui leur ont permis de prendre, avec de grandes dimensions, une structure le plus souvent zonaire, dénotant un accroissement lent et régulier.

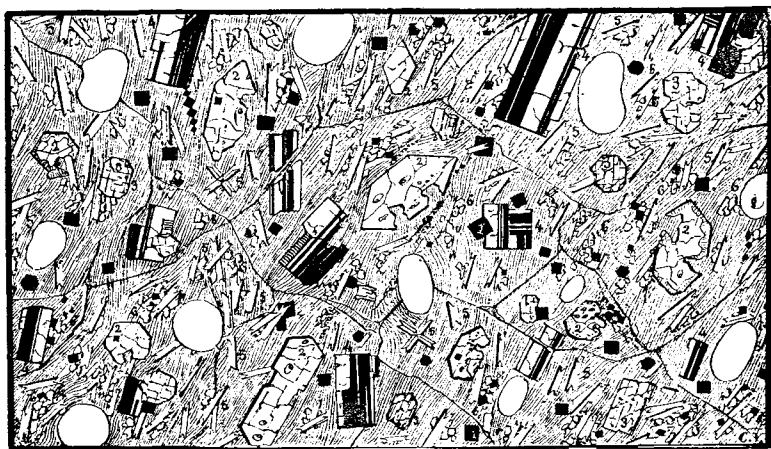


Fig. 36. — Lave vitreuse à labrador. (Ile de la Réunion). Coulée de 1874.

- I. *Éléments de première consolidation.* — 1, fer oxydulé. — 2, péridot. — 3, augite. — 4, anorthite.
- II. *Éléments de seconde consolidation.* — 5, microlithes de labrador. — 6, granules d'augite et de fer oxydulé, disséminés dans une matière amorphe à structure fluidale.

A cette époque calme a succédé une période troublée, et de refroidissement plus rapide, correspondant à l'éruption, pendant laquelle ces cristaux précédemment formés, charriés dans la lave liquide portée à l'incandescence, ont été soumis à des actions mécaniques et chimiques intenses.

(¹) FOUQUÉ et MICHEL LÉVY, *Minéralogie micrographique*. — FOUQUÉ, *Les applications modernes du microscope à la Géologie* (*Revue des Deux-Mondes*, 1879).

L'analyse microscopique les montre, en effet, tordus, brisés, dispersés souvent, par fragments, au milieu de la masse lavique qui les renferme; leurs arêtes émoussées, des traces de corrosions souvent profondes, témoignent de l'intervention d'une température élevée, susceptible de les avoir soumis à une fusion partielle.

C'est alors que s'est produite la seconde poussée cristalline; dans la masse vitreuse qui enveloppe tous ces cristaux anciens, en débris, les microlithes fourmillent et se disposent suivant des directions déterminées, autour des éléments de première consolidation, pénétrant dans leurs cassures, s'allongeant, dans leurs intervalles, sous forme de longues traînées fluidales, où ils se réunissent parfois en nombre si considérable, qu'il ne reste plus trace du magma vitreux primitif.

La petitesse extrême de ces éléments de seconde consolidation, indice d'un arrêt souvent subit dans la cristallisation, par suite du brusque refroidissement de la coulée, leur disposition par longues traînées, manifestement orientées dans le sens de l'écoulement de la lave, témoignent qu'ils ont pris naissance dans un liquide en mouvement.

Leur formation, contemporaine de l'épanchement de la lave, est encore attestée par ce fait que, dans les parties superficielles des coulées, dont la consolidation a été rapide, ces microlithes sont rares, clairsemés, réduits à l'état de cristaux et font même parfois défaut.

L'état amorphe que conservent, après leur chute, les projections, qu'on sait être rapidement solidifiées, par suite de leur brusque refroidissement dans l'air, en est encore une preuve des plus directes.

Dans chacun de ces stades de consolidation, la cristallisation a affecté des caractères particuliers; l'agencement des minéraux s'y est surtout effectué diversement.

Tel minéral ne s'isole à l'état de cristaux que dans le premier stade, tel autre n'apparaît que dans le second. Le péri-dot, par exemple, qui prédomine dans les laves basiques, ne s'y présente qu'à l'état de grands cristaux anciens, en débris, autour desquels sont venus se grouper les éléments microlithiques du second temps.

Il en est de même pour la leucite, qui, dans certaines laves du Vésuve (*leucite*) (*fig. 37*), où elle abonde au point de se substituer au feldspath en devenant l'élément caractéristique, a manifestement cristallisé antérieurement aux minéraux qui l'accompagnent dans le second temps.

Ceux qui se présentent dans les deux cas affectent des particularités de structure propres à chacun des deux stades de consolidation qui permettent de les distinguer. Tels sont les feldspaths, qui à l'état de grands cristaux, sont développés

suivant la face g^1 ; tandis que leurs microlithes sont allongés suivant l'arête pg^1 .

Enfin on a pu faire encore cette remarque que, dans chacun de ces deux stades, les espèces minérales ne cristallisaient pas rigoureusement au même instant et qu'elles apparaissaient dans l'ordre inverse de leurs fusibilités respectives. C'est ainsi que les éléments feldspathiques sont le plus souvent moulés par les cristaux de pyroxène (augite), qui trahissent bien ainsi leur postériorité.

Quand le labrador se sépare à l'état de grands cristaux dans le premier stade, c'est l'oligoclase qui prend la forme microlithique dans le second; dans le cas de l'anorthite en grands cristaux, on reconnaît dans la lave qui les contient des microlithes de labrador.

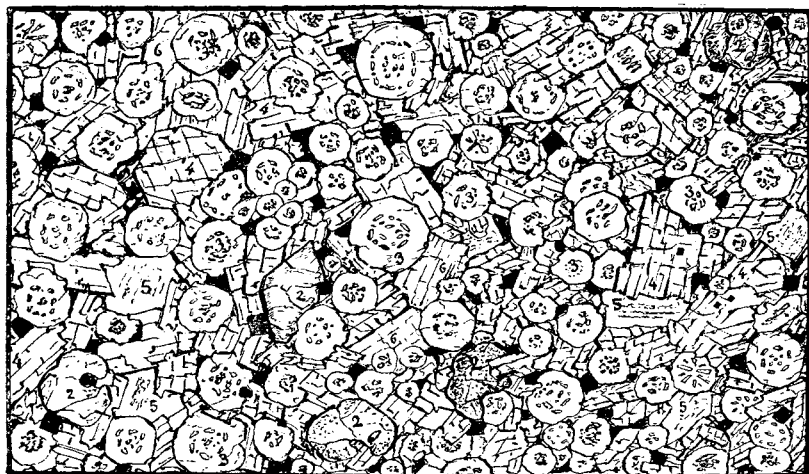


Fig. 37. — *Leucite de la Somma (Vésuve)*. Cette lave représente le terme le plus basique de la série des laves.

- I. *Éléments de première consolidation*. — 1, magnétite. — 2, péridot. — 3, leucite. — 4, augite.
- II. *Éléments de seconde consolidation*. — 5, microlithes d'augite et de fer oxydulé. — 6, méllilite.

En résumé, les laves, considérées pendant bien longtemps comme des roches *pseudo-ignées*, dans la formation desquelles l'action de la vapeur d'eau, qui accompagne avec une constance remarquable toutes les manifestations volcaniques, venait se combiner à celle de la chaleur, se comportent comme devant leur origine à l'action exclusive d'une fusion ignée suivie d'un lent refroidissement, sans l'intervention de pressions ni de températures excessives, et surtout sans qu'il

soit besoin d'un repos absolu, condition jadis considérée comme indispensable à toute cristallisation régulière.

Reproduction artificielle des roches volcaniques. — Ces conclusions, déduites de l'observation microscopique pure, ont conduit MM. Fouqué et Michel Lévy à entreprendre une série d'expériences synthétiques qui sont venues, récemment, leur apporter une éclatante confirmation; des creusets de ce laboratoire, désormais célèbre, sont sorties, en effet, des roches à éléments cristallins identiques à celles qui s'élaborent dans les immenses foyers souterrains du Vésuve et de l'Etna.

Il a suffi à ces savants expérimentateurs de soumettre, dans des creusets de platine de 20^{cc} de capacité, des verres parfaitement homogènes, constitués de façon à présenter en bloc la composition moyenne de la roche dont on tentait la reproduction, à des températures successivement décroissantes, pour obtenir, par voie de fusion purement ignée, des produits artificiels présentant, non seulement les mêmes éléments cristallins, mais la même structure que les roches volcaniques.

Nous citerons, comme exemple de ces expériences remarquables, le dispositif employé pour la reproduction d'une lave à leucite, la *leucotéphrite*, qu'on peut considérer comme le type normal de celles habituellement rejetées par le Vésuve. Une première opération consiste à fondre, en un verre homogène, les quantités de silice, d'alumine, de potasse, de soude, de magnésie, de chaux et d'oxyde de fer, qui correspondent à 1 partie d'augite, 4 de labrador, et 8 de leucite. Le culot ainsi obtenu est maintenu d'abord, pendant quarante-huit heures, au rouge blanc dans un creuset porté à la température de la fusion de l'acier; les éléments de la leucite s'isolent et passent à l'état cristallin.

Puis, dans un second temps, la matière est maintenue, de nouveau pendant quarante-huit heures au rouge-cerise, c'est-à-dire à la température de fusion du cuivre, où l'acier se ramollit seulement; tout le culot se prend alors en une masse cristalline.

Ce culot définitif, après son double recuit, taillé en lames minces, montre sous le microscope, dans les proportions attendues, l'augite en petits microlithes verts allongés suivant $h^1 g^1$; le labrador en grands microlithes, maclés suivant la loi de l'albite, et allongés parallèlement à l'arête pg^1 . La leucite se présente de même avec tous les caractères et toutes les propriétés optiques qu'elle possède dans les laves du Vésuve. Il s'est produit là aussi de petits octaèdres réguliers de fer oxydulé et de picotite, dont la consolidation est en partie antérieure à celle de la leucite, comme dans les roches naturelles.

Non seulement les leucotéphrites, mais les leucitites, c'est-

à-dire les laves dépourvues d'éléments feldspathiques qui représentent le terme le plus basique de la série lavique, ont été reproduites intégralement par voie de fusion sèche.

Il en a été de même pour le *basalte*, qui a été obtenu identique à celui des plateaux de l'Auvergne, en traitant de la même façon un verre noir parfaitement homogène, constitué de manière à présenter la composition moyenne d'un basalte riche en olivine (6 d'olivine, 2 d'augite, 6 de labrador).

La première phase de l'opération, qui représente bien le premier temps de consolidation des roches, a fourni de nombreux cristaux de péridot, englobés dans un magma vitreux où avaient pris naissance, dans le même temps, des octaèdres de fer oxydulé et de picotite d'un diamètre moyen de $0^{\text{mm}},02$. La seconde partie de l'opération, à une température moindre, a produit de nombreux microlithes de labrador ($0^{\text{mm}},15$ sur $0^{\text{mm}},03$) allongés suivant $p g^1$ et présentant les mâcles caractéristiques, associés à des microlithes raccourcis d'augite ($0^{\text{mm}},05$ sur $0^{\text{mm}},025$) et de fer oxydulé, avec picotite ($0^{\text{mm}},005$) transparente et d'un brun foncé.

Cette expérience, désormais classique, résout définitivement la question de l'origine des basaltes, si souvent controversée : ce sont des roches de formation purement ignée.

Le feldspath dans certaines roches éruptives anciennes, très répandues dans les Pyrénées, où elles sont connues sous le nom d'*ophites*, apparaît moulé et souvent englobé par des plages très étendues de pyroxène (augite) qui trahit bien ainsi sa consolidation postérieure à l'élément feldspathique. Cette disposition très remarquable, reconnue pour la première fois et désignée par M. Michel Lévy sous le nom de *structure ophitique*, se présente également dans les roches volcaniques, notamment dans les coulées de laves doléritiques d'Islande, ainsi que l'a bien mis en lumière l'exploration récente que M. René Bréon vient de faire de cette île, qui peut être considérée comme la reine des îles volcaniques.

Il s'agissait donc, pour reproduire cette structure, de faire cristalliser le feldspath antérieurement à l'augite et en outre de donner à ce dernier minéral le temps de se disposer en cristaux de grande dimension.

L'expérience a pleinement réussi, en traitant un mélange de 1 partie d'anorthite et de 2 parties d'augite. Un premier recuit, qui dure quatre jours à la température de la fusion de l'acier, amène la cristallisation de l'anorthite; un second recuit de quatre jours, à la température de fusion du cuivre, donne à l'augite la structure cherchée.

Cette expérience, de nouveau très concluante, a démontré que les roches microlithiques et ophitiques avaient même origine et qu'en particulier les ophites, longtemps considérées

comme des roches métamorphiques, devaient être assimilées, au point de vue de l'origine, aux roches volcaniques de fusion ignée.

Tous ces essais à jamais mémorables, dont le résultat est d'augmenter considérablement le domaine de la fusion purement ignée, avaient été précédés et préparés en quelque sorte, par des reproductions, par la même voie sèche, d'un grand nombre de minéraux, parmi lesquels se trouvent précisément ceux qui peuvent compter comme essentiels dans les roches volcaniques, tels que divers feldspaths (oligoclase, labrador, anorthite), la leucite, la néphéline, l'augite, avec tous les détails de structure que le microscope a révélés (1).

Température des laves. — La température des laves au moment de leur émission, sans être excessive, reste toujours très élevée. Il n'est guère possible d'observer comment elle se comporte dans le cratère pendant les paroxysmes des volcans à projections, la chute des blocs et des scories brûlantes, la violence des dégagements gazeux qui s'échappent de toutes les parties du sol fissuré, rendant impossible l'accès de l'orifice de décharge et celui même du cône qui le supporte. Mais dans les volcans en activité continue, tels que le Stromboli, et le célèbre lac de feu de Kilauea, des observateurs courageux, tels que Poulet-Scrope en 1820 et plus récemment M. Coan en 1868, ont pu s'approcher de la lave incandescente et constater que sa température, dépassant celle de la fusion du cuivre, devait se tenir entre 1000° et 2000°.

Des observations plus précises ont pu être effectuées sur les coulées en marche. Aussitôt son exposition à l'air, la lave, en effet, se couvre rapidement d'une croûte scoriforme qui conduit si mal la chaleur qu'on peut stationner dessus, alors qu'à quelques décimètres au-dessous la lave en fusion se laisse entrevoir, au travers des crevasses, comme une traînée de feu.

Charles Sainte-Claire Deville, en 1875, a pu reconnaître de la sorte qu'un fil de fer plongé dans la lave avait subi un étirement sensible et qu'il avait fondu à son extrémité; on lui doit encore cette observation, maintes fois vérifiée depuis, que la résistance d'une pareille masse fondue est relativement considérable; il faut exercer une forte pression pour y faire pénétrer un bâton, qui s'enflamme tout aussitôt. Quand on y projette des blocs de pierre, ils rendent un son sec et ont peine à s'y enfoncer.

Protégée contre le rayonnement par la faible conductibilité de cette enveloppe scoriacée, cette haute température peut

(1) FOUQUÉ et MICHEL LÉVY, *Synthèse des minéraux et des roches*, p. 63 et suiv.; 1882.

persister longtemps et la lave se maintient encore en fusion alors que toute trace d'activité a cessé dans le foyer qui l'a émise. La coulée du Jorullo, en 1759, en est un exemple frappant; cinquante et un an après son émission, elle donnait encore des traits sensibles de chaleur. Sept années après sa sortie, la coulée du Vésuve de 1858 présentait encore, à sa surface, une température de 72°.

Poulet-Scrope ⁽¹⁾ raconte qu'en 1859, sur ce même massif, un courant de lave était encore pourvu d'un mouvement, très lent il est vrai, à son extrémité inférieure, alors que depuis dix mois l'éruption qui lui avait donné naissance avait cessé.

Malgré cette haute température, la chaleur d'irradiation d'une pareille masse en fusion est loin d'être aussi intense qu'on pourrait s'y attendre. Ces médailles et ces empreintes, que les guides napolitains frappent avec la lave, à chaque nouvelle reprise du Vésuve, pour en fixer la date, témoignent qu'on peut s'approcher, sans crainte, de la coulée, alors qu'elle est en marche.

Nous avons déjà vu qu'un grand nombre d'arbres restent debout quand une pareille coulée rencontre une forêt; emprisonnés dans une gaine protectrice de scories, qui se moule sur leur écorce, ils conservent tout leur feuillage et n'éprouvent aucun arrêt dans leur croissance. L'impuissance des grands volcans de la Cordillère à se débarrasser du manteau de neige qui couvre leur cime, même dans leurs périodes paroxysmales, est, de même, bien connue et souvent citée comme une preuve du peu d'intensité des phénomènes calorifiques auxquels les laves en fusion donnent lieu. On peut encore citer ce fait, non moins probant, qu'en 1860 un de ces nombreux volcans actifs d'Islande, cachés sous des neiges éternelles, le Kotlugja, a lancé dans les airs des blocs de lave avec des morceaux de glace entremêlés ⁽²⁾.

Divers modes de consolidation des coulées. — Les variations que nous venons d'établir dans la composition chimique des laves exercent sur la constitution des coulées une grande influence. Les laves basiques, manifestement plus fluides que les laves acides et le plus souvent particulièrement riches en matière vitreuse, s'écoulent avec une grande vitesse, qui peut atteindre et même dépasser celle des grands cours au voisinage de leur embouchure.

Au Vésuve, des vitesses de 8^m par seconde ont pu être observées. A la Réunion, celles qui s'échappent ainsi par jets paraboliques des flancs entr'ouverts du cratère brûlant, à chaque

(1) POULET-SCROPE, *les Volcans*, p. 85.

(2) WALLICH, *North atlantic Sea-Beid*

éruption nouvelle, franchissent, en quelques heures, la distance de 5^{km} qui les sépare de la mer ⁽¹⁾.

Laves cordées. — Ces laves, restant longtemps fluides, se solidifient lentement en longues traînées visqueuses, en replis ondulés qui, figurant souvent comme autant de paquets de cordages entrelacés, méritent bien le nom de *laves cordées* qui leur a été appliqué.

Leur surface se couvre de crevasses, d'où s'échappent des quantités de vapeurs et parfois de véritables jets de lave qui, à leur tour, se congèlent en replis tortueux. Parfois ce sont de véritables explosions qui se produisent, et sous l'effort des gaz la croûte superficielle, peu épaisse, se soulève en donnant lieu à un monticule conique dont le centre reste creux.

La *fig.* 38 représente une de ces ampoules formée ainsi par la poussée des gaz, sur une des grandes coulées qui, à la Réunion, descendent du piton Bory, aujourd'hui éteint, pour se diriger vers la grande plaine de laves, au-dessus de laquelle se dresse dans l'est le piton de la Fournaise, qui supporte le cratère actif.

Cette grotte, connue sous le nom de *caverne de Rosemond*, large de 18 à 20^m, sur 4 à 5^m de haut, s'étend sur une quarantaine de mètres de longueur. Sa voûte, autrefois très régulière, maintenant en partie effondrée, est tout entière tapissée de longues stalactites de laves, couvertes d'efflorescences salines, qui étincellent comme des diamants. Sur le sol on trouve, çà et là, de petits tas de lave, bizarrement contournés, qui ont dégoutté, en longs filaments visqueux, des stalactites de la voûte.

Gaines et Tunnels. — Ces laves ont également une grande tendance à se creuser des canaux, sous lesquels, pendant de longs mois, la matière en fusion, conservant sa fluidité, circule, sous cette gaine refroidie sur laquelle on peut marcher impunément, en échappant complètement à l'observation directe; çà et là, des bouffées de gaz et de vapeurs acides, s'échappant de quelque crevasse, révèlent seules la haute température qui règne au-dessous.

Quand la coulée cesse, le niveau de la lave baisse, et ce canal se vide en laissant un véritable tunnel, dans lequel on peut pénétrer lorsque le refroidissement est complet.

(1) Le 3 novembre 1858, la lave, qui s'était échappée par trois fissures ouvertes au sommet des grandes pentes, mit quatre heures pour en atteindre la base. A 9^h du soir, elle envahissait la route du littoral, interdisant toute communication entre Saint-Philippe et Sainte-Rose, et le lendemain matin elle se déversait à la mer. M. Maillard assigne, à cette coulée, une vitesse de 400^m à l'heure. Quelques années auparavant une coulée plus considérable, qui occupe maintenant, dans le Grand-Brûlé, un espace de 2350^m, atteignit le littoral en moins de 8^h. (L. MAILLARD, *Notes sur l'île de la Réunion*, p. 102; 1862.)

Ces tunnels sont très fréquents à la Réunion, dans toute l'étendue du *Grand-Brûlé*, où ils facilitent singulièrement l'accès du volcan de ce côté. On circule, en effet, facilement dans ces conduits souterrains, qui sont larges et hauts de plusieurs mètres. La voûte en est arrondie, presque régulièrement, sous la forme d'un plein cintre, légèrement déprimé, et, quand elle est intacte, le sol de la galerie est assez uni pour que la marche y soit facile. On y voit, à la surface du sol, les

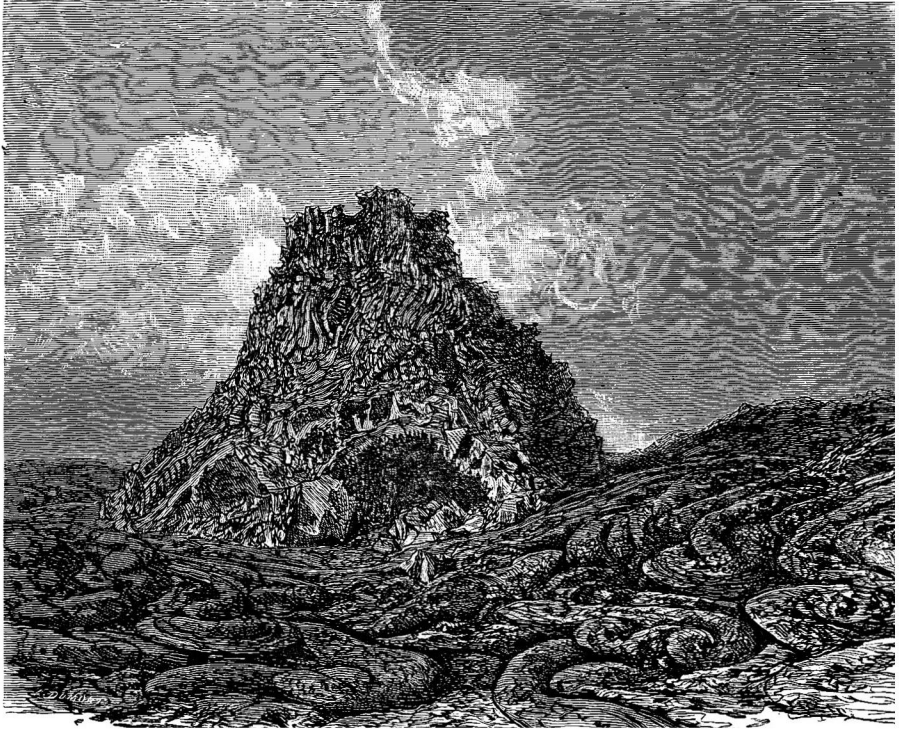


Fig. 38. — La grotte de Rosemont, au milieu d'une coulée du pitou Bory (la Réunion).

traces de l'écoulement des dernières laves sous la forme de traînées noirâtres, ridées à la surface, dans lesquelles chaque ride présente sa convexité du côté de la pente. D'autres marques plus curieuses encore de l'écoulement des laves s'observent sur les parois latérales : ce sont des stries plus ou moins fortement accentuées, des espèces de moulures dont quelques-unes font à peine saillie, tandis que d'autres avancent de plusieurs décimètres. A chacune de ces moulures saillantes, sur

l'une des parois d'une galerie, correspond une moulure exactement symétrique sur la paroi opposée. Ces saillies représentent les différents niveaux auxquels la surface de la lave est, plus ou moins longtemps, restée stationnaire pendant la durée de l'écoulement. Les parois latérales se rapprochent légèrement vers leur base, et, dans ces points, les saillies sont plus prononcées qu'à un niveau plus élevé, ce qui doit être attribué à ce que la lave plus refroidie, et par conséquent moins fluide, à la fin de son écoulement, a laissé se figer, contre les parois, une portion de la matière qui la composait. Des stalactites nombreuses de lave solidifiée, longues souvent de 0^m,30 à 0^m,40 et le plus ordinairement de la grosseur du doigt, pendent de la voûte, ou de la face inférieure des saillies latérales. Quelquefois ces stalactites sont réunies les unes aux autres, de manière à représenter une sorte de rideau frangé. Presque toujours elles sont pleines; dans quelques cas rares, elles sont creuses et alors bien plus irrégulièrement cylindriques. Sur le sol on trouve parfois, surtout dans des cavités latérales distinctes du conduit principal, des stalagmites singulières qui figurent, tantôt une série de gouttelettes, amincies chacune par une de leurs extrémités comme des larmes bataviques soudées ensemble par petits tas, tantôt une agglomération, comme celle qui résulterait du dépôt d'un cordon de matière visqueuse, enroulé et pelotonné sur lui-même.

Ce sont de pareils canaux souterrains, creusés dans les laves basaltiques, qui m'ont permis en 1872 d'atteindre également le sommet de l'île Amsterdam, dans l'océan Indien. Ces tunnels, qui s'étendent là sur plusieurs centaines de mètres de long, larges de 8^m à 10^m avec une hauteur double, forment d'admirables galeries souterraines, dont la voûte, à demi cintrée, est garnie de longues stalactites aux couleurs rutilantes, garnies souvent d'efflorescences salines et de milliers de petits cristaux de gypse, comme celles de la caverne de Rosemond à la Réunion, qui descendent transversalement sur les côtés, en figurant de sombres draperies à bords festonnés. Souvent ils sont obstrués par un entassement prodigieux de blocs énormes de lave qui semblent entassés là par la main des géants. Cette particularité a lieu quand la gaine scoriacée, ainsi engendrée, ne possède pas la solidité nécessaire pour résister aux mouvements tumultueux des masses en fusion sous-jacentes. Dans ce cas, ainsi que M. Fouqué l'a observé aux Açores, où de pareils phénomènes se sont produits avec une intensité remarquable, les fragments de lave scoriacée disloqués sont charriés à la surface du courant incandescent et viennent se déverser soit sur les flancs, soit et surtout à l'extrémité terminale de la coulée, en s'y entassant sous la forme de moraines, analogues, à certains égards, à celles des glaciers.

Laves vitreuses. — Tel a été l'aspect sous lequel s'est présenté, en novembre 1880, la grande coulée de lave vitreuse,

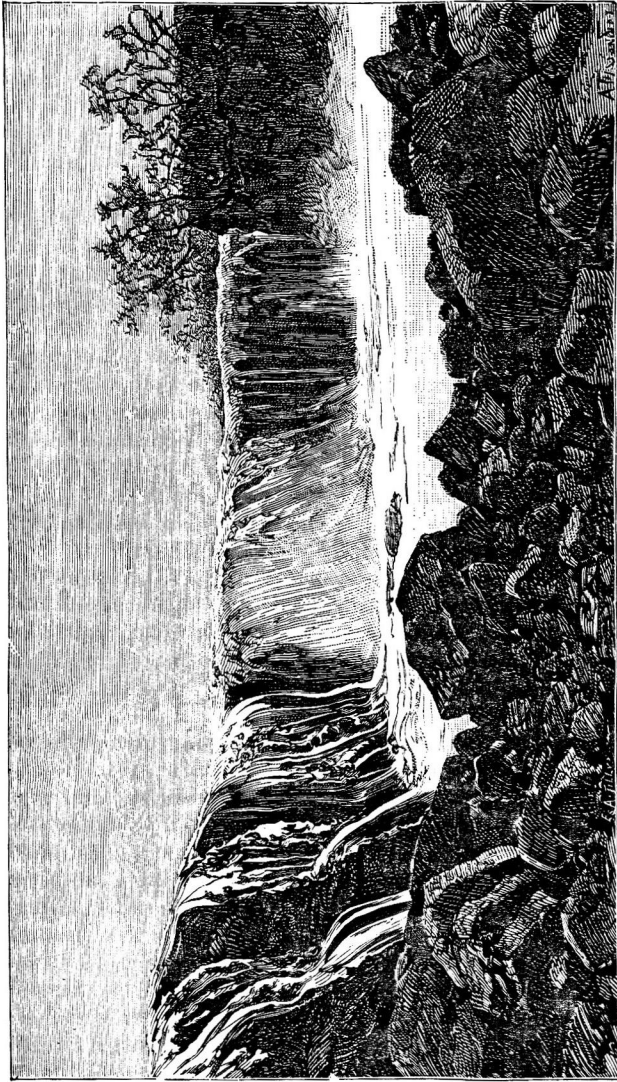


Fig. 29. — Éruption du Mauna-Loa (1880-1881). — Vue d'un lac situé dans le voisinage de Hilo, dans lequel la lave s'est déversée à la manière d'un torrent impétueux. D'après une photographie prise quarante minutes après la première apparition de la lave sur les bords (1).

issue du Mauna-Loa, aux Sandwich, avec toute la violence dont ces grands volcans sont capables.

(1) *La Nature*, éruption du Mauna-Loa, n° 452, 28 janvier 1882.

M. L. Green, témoin oculaire du phénomène, décrit ce courant comme se mouvant avec une force irrésistible, charriant à sa surface d'énormes quartiers de lave, entassés à la manière de ces embâcles qui se forment sur les rivières gelées dans les grands froids de l'hiver. Le front de ce fleuve de pierres incandescentes formait une muraille de 5 à 10^m de haut qui, cédant, sans cesse, sous l'effort de la lave, s'entr'ouvrait par places pour laisser passer la masse fluide, qui tout aussitôt disparaissait sous les scories.

Cette coulée a pris naissance en un point situé près des cratères de 1850 et de 1855 (*voir* la carte de l'île Hawaï, *fig.* 15). Elle a commencé le 5 novembre 1880 et s'est continuée sans interruption, avec une extrême régularité, jusqu'en août 1881. Tous les phénomènes auxquels ce puissant courant de lave a donné lieu, ont été étudiés avec soin; de nombreuses photographies, prises dans toutes les directions, reproduisent maintenant toutes les phases de cette éruption, la plus considérable qu'ait donnée le Mauna-Loa depuis cinquante ans.

Partout où la lave a pu être aperçue au travers des crevasses de sa croûte scoriacée et de ses remblais habituels, on l'a vue, portée au rouge blanc, s'écouler avec une fluidité comparable à celle de l'eau.

La *fig.* 39 représente, d'après M. L. Green, un étang à parois verticales situé à 3^{km} de Hilo qui, atteint par cette coulée, a été rempli jusqu'au bord en une heure et demie.

Ces laves doivent leur fluidité exceptionnelle à leur état vitreux (*fig.* 17). Il est alors à remarquer qu'elles ne sont accompagnées d'aucun dégagement de gaz, ni de vapeurs; aussi, après leur solidification, qui ne se fait qu'avec une extrême lenteur, elles restent compactes et leur surface, douée de ces reflets miroitants qui ont valu à ces laves, de la part des indigènes, le nom bien significatif de *pahoe-hoe* (peau de satin), est marquée de replis concentriques et ondulés comme ceux qu'affecte une masse de cire après sa coagulation. La *fig.* 40, qui représente l'étang de Hilo comblé par la coulée de 1880, donnera une idée, très exacte, de cet aspect bien caractéristique que prennent les laves vitreuses après leur solidification.

Laves acides. — Dès que la teneur en silice d'une lave s'élève, elle amène un changement complet dans sa coloration, sa densité et sa fusibilité. Dans ces conditions, la lave devenue visqueuse ne se maintient plus liquide qu'à une haute température; elle se refroidit brusquement à l'air en se recouvrant d'une croûte scoriforme, sous laquelle elle se maintient, pendant quelque temps, dans un certain état de liquidité, en laissant échapper des quantités de gaz et de va-

peurs qui, comprimées dans le dessous, parviennent souvent à faire éclater cette enveloppe.

C'est alors que se produisent, par suite de la lutte qui s'éta-

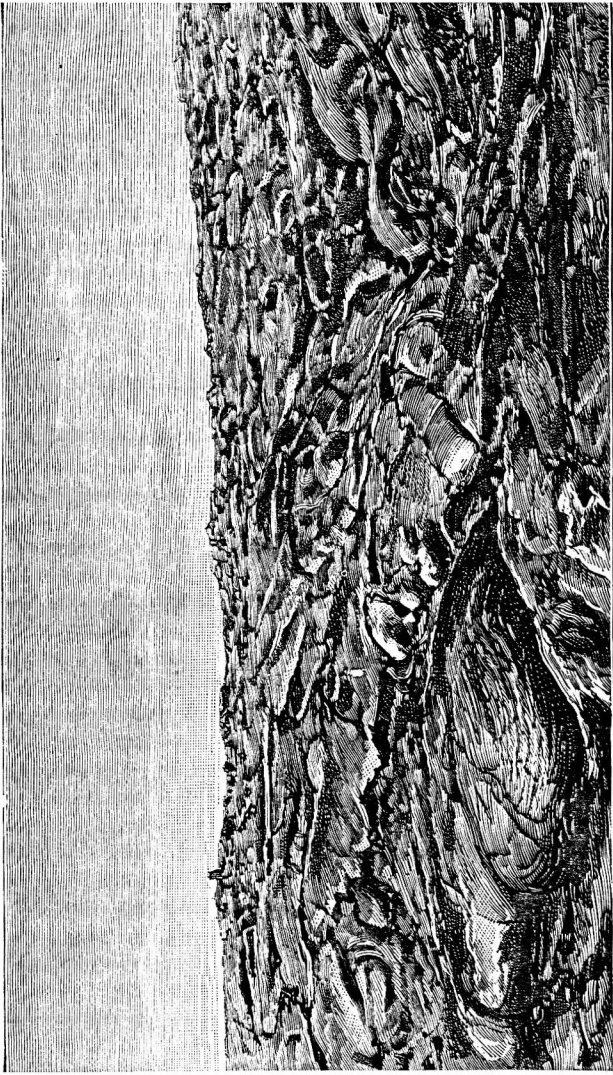


Fig. 40. — Aspect pris par la coulée après avoir comble le lac en son entier.
D'après une photographie exécutée une heure après la précédente.)

blit ainsi entre la lave et la croûte scoriacée qui l'emprisonne, ces coulées à surfaces rugueuses, consolidées par blocs anguleux et déchiquetés, qui méritent bien les noms de *Serre* ou de

Sciarre (dents de scie) qu'on leur a donnés à l'Etna, de *Cheires* en Auvergne et de *Malpays* (mauvais pas) en Amérique.

Les laves franchement acides, à peine fluides au moment de leur sortie, s'amoncellent sur l'orifice même de sortie, en figurant un entassement de blocs noirs, irréguliers, incohérents, dont l'accroissement, accompagné d'abondants dégagements de vapeurs, se fait souvent avec une grande rapidité, sans projections, sans secousses, ainsi que nous l'avons vu dans l'apparition du *Giorgios*, en 1866, à Santorin. Quand elles se répandent à quelque distance du point d'émission, leur marche s'effectue toujours, avec une extrême lenteur, et leurs coulées restent, par suite, compactes et très épaisses.



IV.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES VOLCANS.

Le nombre des volcans existant à la surface du globe est difficile à préciser; chaque exploration nouvelle en augmente la liste, et de plus la plupart de ceux situés au fond des mers échappent à notre observation directe. En ne tenant compte que de ceux qui, depuis les temps historiques, ont donné des signes d'activité, on peut l'évaluer, d'après les statistiques les plus récentes, à *trois cent soixante-quatre*; dans ce nombre, il importe de faire remarquer que les *volcans centraux*, escortés d'un grand nombre de cônes adventifs comme l'Etna, qui en supporte quatre-vingts, ne sont représentés que par une unité. Celui des volcans éteints est plus considérable: il s'élève à plus d'un millier.

Mais ce qu'il importe plus de rechercher que le nombre des orifices volcaniques, c'est la position qu'ils occupent sur le globe; nous pourrons en tirer des conclusions qui nous conduiront à savoir si ces manifestations actuelles de l'activité interne du globe doivent être envisagées comme des phénomènes locaux, ou bien rattachées à une cause générale s'étendant à tout l'ensemble de la surface terrestre.

Les volcans marquent la position des orifices où les masses en fusion, contenues souterrainement, peuvent arriver à la surface; leur distribution, loin d'être localisée dans une partie déterminée du globe, est, au contraire, très étendue; on les trouve indifféremment, d'un pôle à l'autre, sous toutes les latitudes, sous tous les méridiens. Il ne s'ensuit pas pour cela qu'ils soient éparpillés au hasard; ils se présentent au contraire avec une grande régularité, distribués par grandes rangées, par longues séries linéaires, alignés sur le trajet des grandes chaînes de montagnes, des parties surélevées du sol par conséquent, dont ils couronnent souvent les sommets, comme on peut le voir sur le trajet de la chaîne des Andes, qui s'appuie sur le bord occidental du continent américain.

Un autre fait général qui a frappé tous les observateurs, c'est que tous les volcans actifs se trouvent dans le voisinage immédiat de la mer. La plupart sont, en effet, situés dans des îles, et ceux établis sur les continents sont toujours alignés sur les rivages, ou sur des points très rapprochés de la mer. On en a tiré cette conclusion, que l'Océan était un facteur nécessaire à la production des phénomènes volcaniques. Voyons donc

maintenant, en examinant la distribution des volcans à la surface du globe, comment ces deux faits peuvent se vérifier.

Cercle volcanique du Pacifique. — La plus belle rangée de volcans est, sans contredit, celle qui entoure l'océan Pacifique. Tout le pourtour de cette immense masse d'eau n'est autre qu'un anneau de feu, sur la circonférence duquel l'activité volcanique est à peu près ininterrompue.

Ce cercle commence à l'extrémité nord du continent américain, dans les Andes de Patagonie, avec le *Fitz-Roy*, qui la nuit brille comme un phare, illuminant les cimes neigeuses de la Cordillère, qui paraissent en feu. Récemment découvert par M. Moreno, ce volcan porte au delà des neiges persistantes (2170^m) son cratère noirci, dénudé, toujours fumant.

Plus loin se déroule la remarquable chaîne du Chili, qui ne comprend pas moins, sur un espace de 13°, de trente-quatre volcans, dont près de la moitié peuvent compter parmi les plus actifs de ceux qui se dressent ainsi sur les sommets de la Cordillère.

C'est là que se trouve l'*Antuco*, dont le cratère, porté à 2735^m de haut, lance à des intervalles très rapprochés, se succédant parfois très régulièrement de quart d'heure en quart d'heure, des cendres et des scories, accompagnées de détonations formidables, dont le bruit se transmet à plus de douze lieues de distance.

Les plus importants parmi ces grands volcans sont : le Saint-Clément, situé près de l'archipel des Chorros, qui marque le début de ce groupe, le plus étendu de l'Amérique du Sud; le Chalten (2170^m); le Corcovado (2289^m), le Minchimadiva, le Chayapirou (2438^m), tous trois réunis en face de l'île de Chiloë; le Calbaco (3690^m); l'Orsono (2258^m), situé entre deux lacs; celui de Llanquithue à l'ouest, et le Nahuel-Nuapi à l'est; le Rhinihue; le Villarica près du lac du même nom; le Yaimas; le Longuimai (2952^m); le Callaqui (2952^m); l'Antuco (2735^m); le Chillan (2879^m), en face de la Concepcion; las Yeguas (3450^m); Petero (3635^m); Rinquirica (4478^m); el Maipo (3840^m); San-José (6096^m); enfin le Copaiipo. Tous ces volcans sont à l'état de solfatare; mais dans les Cordillères une solfatare n'est pas un volcan éteint : c'est un état de repos auquel succède, sans que rien le fasse pressentir, une prodigieuse et terrible activité.

Le Chillan en est un exemple; masqué sous les glaces jusqu'en 1861, il est entré subitement en éruption à cette époque; depuis il recouvre de ses cendres les couches annuelles de glace, qui se stratifient ainsi avec les débris projetés (1).

Après une courte interruption, la chaîne reprend en Bolivie

(1) *Petermann's Mittheilungen*, VII, 1863.

avec le puissant Chillaillaco (6170^m) et se poursuit ensuite, sans arrêt, dans toute l'étendue du Pérou méridional.

En cet endroit, la Cordillère, qui jusque-là avait couru sensiblement nord-sud, s'infléchit vers l'ouest; de plus, elle se dédouble et enserre, entre ses deux rangées de pics neigeux, un grand plateau dont l'élévation moyenne n'est pas moindre que 4000^m. Les eaux, ne pouvant s'écouler vers les plaines inférieures, donnent lieu, dans ce bassin fermé, au grand lac Titicaca. C'est le massif le plus saillant de toute la Cordillère américaine; aussi, sur la rangée occidentale, composée de larges dômes, aux formes régulières, qui surplombent la côte du Pacifique, s'étagent un grand nombre de volcans (1) célèbres par la violence de leurs explosions. En 1869, Arequipa, sur la côte péruvienne, est resté, pour ainsi dire, enseveli sous les cendres rejetées par le *Misti* qui s'élève, dans le voisinage, à 6170^m. Non loin de là, Arica est de même souvent bouleversé par son terrible voisin, le *Sahama*, qui dresse à 7200^m son cône gigantesque, couvert de neige éblouissante et toujours fumant.

Au nord du lac Titicaca, les deux Cordillères continuent ensuite à se développer dans la direction du nord-ouest parallèlement à la côte, sans présenter d'orifices volcaniques sur une longueur de près de 1500^{km}. C'est seulement au delà du nœud de Loja, alors que les Cordillères, qui s'étaient réunies, à l'angle plus occidental du continent américain, près de la frontière sud de l'Équateur, se séparent de nouveau, que l'activité volcanique recommence plus condensée que jamais; sur les deux rangées de cimes neigeuses s'étagent, en effet, seize volcans des plus remarquables, formant un groupe serré, concentré dans un espace elliptique, dont le grand axe est de 180^{km} et que domine le dôme superbe du Chimborazo. Ce sont parmi les plus connus: à l'est, le *Sanghay*, toujours détonant (5300^m), dont l'activité ne sommeille jamais (2); l'*Altar* ou *Cupac-Urcu* (chef des monts), le *Tunguragua* (4900^m), le *Cotopaxi*, célèbre entre tous par la régularité de son cône (5940^m), l'*Antisana* (5740^m), le *Coyambo* (5840^m) (3), resplendissant

(1) Ce sont, à partir du Chillaillaco, le Laboza (5900), Toconado (5900) et le Licaneaur (5500), tous trois très rapprochés et ne formant pour ainsi dire qu'un seul massif; au delà, s'échelonnent l'Atacama, le Ratio, le San Pedro. Les deux volcans jumeaux de Mino et d'Olca; celui de Tua, qui s'écarte de la chaîne pour se dresser au milieu de la pampa d'Empeza, couverte de lacs salés; le Tata, Jachum, l'Isluga, qui, à l'extrémité de ce groupe, domine la passe de Pichuta.

(2) En temps normal, on peut compter plus de 250 explosions par heure, avec projection de cendres et de débris.

(3) Le sommet du Coyambo offre cette particularité remarquable d'être exactement coupé par la ligne équatoriale. Au pied de la montagne, se

de neige, sous la ligne même de l'équateur, et l'*Imbumbura* (5225^m). La rangée de l'ouest n'est pas moins bien partagée; elle comprend le *Chimborazo* (6310^m), le *Carguairazo*, l'*Illinissa*, le *Pichincha* (4780^m) et le *Cotocachi* (4966^m).

Un trait commun à tous ces grands volcans des Andes chiliennes, péruviennes et de l'Équateur, ce sont ces lueurs vives que projettent sur le ciel leurs cratères embrasés; on dit alors que *le volcan reluit*. C'est dans ces conditions que le Sangay a pu servir de signal de feu perpétuel, en 1742, alors que La Condamine et Bouguer cherchaient à déterminer la grandeur et la figure de la Terre ⁽¹⁾. La Condamine, établi auprès d'un signal placé au sommet du Pichincha, a pu encore observer un autre fait, assez fréquent, dans ces grands volcans des Andes; du sommet du Cotopaxi, alors que rien ne semblait faire prévoir un pareil phénomène, tout d'un coup s'élevèrent, par bouffées, des tourbillons de vapeurs, accompagnées de formidables explosions. Au soleil levant, les pentes du cône, jusqu'alors couvertes d'un blanc manteau de neige, se montrèrent à nu, apparaissant comme une masse noire, d'aspect sinistre, d'où s'échappaient des jets horizontaux de cendres et de pierres.

Six cents maisons avaient disparu, entraînées par les avalanches d'eau et de débris provenant de cette fonte subite des neiges. Ces avalanches boueuses, bien autrement redoutables, en raison de leur soudaineté, que les coulées de lave, sont les plus terribles phénomènes qu'aient à redouter les habitants de Quito, qui voient souvent leur magnifique vallée ensevelie sous les flots d'une boue visqueuse, chargée de blocs de dimension parfois considérable.

En 1877, une éruption d'une violence extrême a donné lieu à un courant boueux qui, animé d'une vitesse de 10^m par seconde, s'est étendu, sur un rayon de plus de dix lieues, entraînant tout, habitations et cultures, sur son passage. Les mugissements souterrains du Cotopaxi s'entendirent distinctement, aussi bien à Quito qu'à Guayaquil, soit à une distance de 350^{km} du volcan.

Au nord de ce groupe de l'Équateur, les deux Cordillères, unies transversalement par le plateau de Tuquerres, supportent, à l'ouest, les trois volcans actifs de *Chiles*, de *Gimbal* (4790^m) et d'*Azufral*; puis vient celui de *Pasto* (4264^m), qui domine le plateau du même nom.

trouvent deux pyramides qui marquent le point qui a servi de base aux opérations de La Condamine et de ses deux compagnons Louis Godin et Pierre Bouguer, pour la mesure des trois premiers degrés du méridien.

(1) LA CONDAMINE et BOUGUER, *Relation d'un voyage fait dans l'intérieur de l'Amérique méridionale*, 1845. *La figure de la Terre déterminée par les observations de La Condamine et de Bouguer*, 1749.

Au delà, la chaîne orientale se dédouble à son tour, et des trois Cordillères, qui divergent alors et ne doivent plus se rejoindre, celle du centre seule reste volcanique; sur ces cimes neigeuses s'élèvent le *Puracé* (4700^m) et le *Sotara*, tous deux très rapprochés; puis le *Barragan* et le *Tolima* (5550^m) qui, pareil à un géant (5400^m), se dresse sur le seuil de l'isthme de Panama.

Ce volcan, comme ceux des Andes de la Nouvelle-Grenade, qui le précèdent, s'est rendu célèbre par ses éruptions boueuses, qui n'ont d'autre origine que celle dont nous venons de rappeler les effets désastreux au Cotopaxi.

Sa dernière éruption, qui date du xv^e siècle (12 mars 1595), a dévasté la province de Mariquita. Depuis ce temps, son cône reste toujours couvert d'une fumée menaçante. M. Boussingault, qui, lors de son exploration des volcans des Cordillères, en a fait l'ascension, a constaté, sur ses flancs, des fumerolles chlorhydro-sulphydriques portées à une température de 50°. De toutes les observations faites par ce savant Académicien, non seulement sur le Tolima, mais sur tous les volcans du plateau de Tuquerres, il résulte que les acides sulfurique et chlorhydrique libres existent dans les sources thermales, et dans tous les torrents qui en découlent. Le célèbre Pasombio ou Rio-Vinagre, qui descend du Puracé dans une gorge très resserrée, jusqu'au salto de San-Antino, où il se précipite en cascade sur une hauteur de 35^m, au milieu d'un hémicycle de trachyte, débite par jour des milliers de kilogrammes d'acides sulfurique et chlorhydrique; celui qui découle du Pasto, et dont le débit est trois fois plus considérable que celui du Rio-Vinagre, est acidifié à ce point, qu'une lamelle de zinc y détermine un dégagement d'hydrogène (1).

Les fortes éruptions du Puracé occasionnent également la fusion des neiges qui, pendant les périodes de repos, couvrent son cône régulier d'un épais manteau. Le 4 novembre 1869, après de violentes secousses qui avaient déjà détruit en partie la ville de Popayan, distante de plus de 16^{km}, une pluie de cendres et de pierres, qui se répandit sur plusieurs lieues, fit disparaître sous une teinte grise la blancheur de sa cime neigeuse. Puis le niveau supérieur des neiges vint à baisser subitement de 300^m, laissant dans toute cette étendue le roc à nu. Des masses énormes d'une boue noire sulfureuse, charriant

(1) BOUSSINGAULT, *Les volcans des Cordillères et leurs sources acides*, p. 843. M. Boussingault a trouvé dans le Rio-Vinagre 2^{gr},3475 d'acide sulfurique monohydraté et 1^{gr},2117 d'acide chlorhydrique par litre, et comme le débit du fleuve est de 34785^{mc} par vingt-quatre heures, la rivière acide entraîne, par jour, 46873^{kg} d'acide sulfurique et 42150^{kg} d'acide chlorhydrique.

d'immenses blocs de glace et de pierres, se précipitèrent avec une vitesse de plusieurs mètres à la seconde, ravageant toute la contrée avoisinante. La mission de Puracé fut complètement détruite.

Dans les Cordillères des Andes, ces éruptions boueuses (*moyas*), malheureusement trop fréquentes, ont fait dire aux indigènes que leurs volcans lançaient à la fois l'eau et le feu. Elles sont plus désastreuses que les coulées de laves qui, le plus souvent, dans ces grands volcans à projections, font absolument défaut.

L'Amérique centrale, qui fait suite, compte à elle seule plus de quatre-vingt-deux volcans, dont vingt-cinq encore actifs, alignés en deux chaînes, l'une traversant obliquement l'isthme de Nicaragua, l'autre épousant la direction de la côte du Pacifique, sur le territoire que se sont partagé les Républiques de Honduras, du Salvador et du Guatemala. Rien ne saurait rendre l'aspect étrange de ce continent hérissé d'une série continue de gigantesques montagnes coniques, isolées, dominant de leur tête nue et fumante les chaînes rocheuses et boisées, les plateaux couverts de forêts, les plaines chargées de riches cultures qui s'étendent à leur pied.

Tous ces volcans se signalent par la violence de leurs explosions; un petit nombre ont donné des coulées de lave.

Dans le *Costa-Rica*, au voisinage de San José et surtout de Cartago, aujourd'hui déserte, on rencontre déjà un grand nombre d'édifices volcaniques, au milieu desquels le *Turrialba* dresse, à 3812^m, son cône, parfaitement régulier, toujours couvert d'une épaisse fumée. C'est à son dangereux voisinage que Cartago doit de ne plus être la capitale de Costa-Rica; chacune des éruptions de ce terrible volcan étant précédée de secousses qui l'ont, en partie, détruite à la fin du siècle dernier.

En pénétrant ensuite sur le territoire du Nicaragua, la chaîne traverse le *lac de Nicaragua*, jalonnant sa présence par toute une série d'îles régulièrement circulaires, qui sont tout autant de cônes volcaniques aujourd'hui éteints. Au delà, elle rencontre un groupe volcanique d'une grande importance, qui comprend, avec deux volcans jumeaux et un immense cratère-lac, le *Massaya*, célèbre dans les fastes de l'histoire de l'Amérique centrale, car il était dans un état de violente activité lors de la conquête par les Espagnols. La lave en fusion remplissait alors complètement son cratère, large et profond, et pendant la nuit l'illumination produite sur le ciel par ce lac de feu était telle, que la route qui conduit à Grenade, sur un trajet de trois lieues, était éclairée comme pendant le jour. Lorsque les Espagnols pénétrèrent dans le pays, ils rangèrent ce volcan parmi les merveilles du nouveau monde, et, comme frappés de terreur à sa vue, ils lui donnèrent le nom de *El*

Infierno del Massaya, l'enfer du Massaya. Ses coulées par débordement, qui se faisaient fréquentes, s'étendant à des distances de 30^{km} à 40^{km}, désolaient toute la contrée. Oviedo, le fameux chroniqueur qui vint explorer le Massaya en 1520, au moment où les Espagnols pénétraient dans le Nicaragua, raconte que de nombreux sacrifices humains étaient alors offerts au volcan,



Fig. 41. — Offerte au Massaya (d'après une gravure du temps, 1520).

pour apaiser sa colère. Les indigènes, terrorisés et devenus féroces, précipitaient des jeunes filles dans le gouffre béant de cet immense brasier ⁽¹⁾.

(1) A côté de cette narration vient se placer une légende qui montrera l'étrange idée qu'on se faisait alors des volcans. En présence de

Au delà du Massaya, on peut suivre dans la plaine de Léon une rangée de cônes volcaniques, les *Marabios*, dont le nombre s'accroît pour ainsi dire annuellement, et qui vient aboutir au *Coseguina*, le dernier de ceux qui composent le groupe du Nicaragua, et le plus célèbre de tous les volcaus de l'Amérique centrale.

Situé sur l'extrémité ouest du Nicaragua, sur une pointe avancée dans la baie de Fonseca, le *Coseguina*, relié à la terre ferme par un isthme très étroit, se présente sous l'aspect d'un cône surbaissé, dont la hauteur ne dépasse pas 200^m. Sa dernière éruption, qui date de 1835, a donné lieu à une pluie de cendres et de scories qui s'est étendue sur un rayon de 1500^{km}, couvrant le sol, par places, d'une couche de débris épaisse de plus de 5 mètres et représentant un volume de 3000^{kmc}. Les effets de cette explosion, la plus terrible assurément qu'ait encore enregistrée l'histoire des volcaus américains, se sont fait sentir à la Jamaïque, à la Vera-Cruz, à Santa-Fé-de-Bogota, soit sur une étendue de 1500 milles.

Les îles de la baie de Fonseca, qui fait suite, sont toutes de nature volcanique; celles du *Tigre*, en particulier, qui s'élève à 800^m au-dessus de la mer, supporte un cratère, aujourd'hui en partie démantelé, dont les puissantes coulées se sont étendues jusqu'à la mer.

Le Conchagua, situé en face du Consequina, à l'autre extrémité de cette large échancrure qui entame profondément le continent américain, est ensuite le premier volcan qui se présente sur la terre ferme. Il marque le début d'un groupe volcanique nouveau, celui du Salvador, qui comprend, avec le *San-Miguel* (2153^m) (1), l'*Izalco* (1825^m), qui partage avec le *Gurullo* ce fait intéressant d'être apparu sur le continent américain depuis sa découverte.

L'*Izalco* doit à cette origine récente aussi bien qu'à son activité incessante une grande célébrité dans toute l'Amérique Centrale. Couronné pendant le jour d'un énorme panache de fumée blanche, qui la nuit s'illumine d'une lueur rougeâtre, les navigateurs l'ont depuis longtemps désigné sous le nom de

cette lave, portée au rouge sombre, qui se maintenait toujours en fusion dans l'intérieur du cratère, les Espagnols, croyant trouver là, à l'état fondu, l'or qui était l'objet de toutes leurs convoitises, descendirent dans l'intérieur, au moyen d'une longue chaîne, un baquet de fer. Ce baquet et les premiers anneaux de la chaîne, à peine arrivés en contact avec la lave incandescente, entrèrent en fusion. Les Espagnols, frappés de terreur, quittèrent rapidement le volcan, sans avoir pu savoir ce qu'il y avait au fond. (SQUIER, *Notes on Central America*.)

(1) Le San Miguel, au milieu de tous ces grands volcaus à projections, se signale par cette particularité intéressante qu'il a rejeté un grand nombre de coulées de laves.

Faro del Salvador (phare du Salvador); au moment où Dollfuss et de Montperrat, géologues attachés à l'expédition du Mexique (1864) en ont fait l'ascension, les fumerolles abondantes qui se dégageaient avec violence du cratère central contenaient une forte proportion d'acide sulfureux (1).

Une région couverte de salses et de volcans de boue (*Les Ausoles d'Ahuachapam*) relie le groupe du Salvador à celui de Guatemala qui commence avec le *Pacaya* (2250^m), dont l'apparition date de 1565. Ce volcan, encore très actif au commencement de ce siècle, est maintenant réduit à la condition de mofette.

Viennent ensuite les volcans de l'*Agua* (3753^m), de *Fuego* (3760), ceux d'*Atillan* près du lac du même nom et enfin le *Santa Maria* et le *Cerro Quemedo*.

Le volcan de l'*Agua*, depuis longtemps éteint, séparé de celui de *Pacaya* et de *Fuego* par de profondes vallées qu'il domine de plus de 2000^m, se présente sous la forme d'un cône gigantesque d'une majestueuse beauté, complètement isolé. Partout où la végétation ne l'a pas envahie, sa surface se montre couverte de cendres et de ponces blanchâtres, sans présenter la moindre trace de coulée. Il tire son nom d'une inondation occasionnée, en 1540, par le déversement subit, sous l'influence d'un tremblement de terre, d'un cratère-lac établi à son sommet; cette masse d'eau, chargée de pierres et de débris de toutes sortes, vint se précipiter sur une ville que venaient de construire les Espagnols. Il s'ensuivit une épouvantable scène de destruction, et le peuple, s'imaginant que le volcan avait vomé ce torrent boueux, lui appliqua ce nom de *volcan d'eau*, qui lui reste, quoique pareil phénomène ne se soit jamais reproduit.

L'activité volcanique se poursuit ensuite dans le Mexique central, plus condensée que jamais sur le haut plateau d'*Anahuac*, vaste territoire, aux contours massifs, qui n'est autre qu'un champ de laves (*malpays*) sur lequel se dressent les cimes toujours fumantes de l'*Orizaba* (5370^m), du *Popocatepetl* (montagne fumante) (5100^m), du *Tuxtla* (3706^m) au sud-est de la Vera-Cruz, du *Colima*; c'est également au nombre des événements volcaniques de ce plateau mexicain qu'il faut compter le *Jorullo*, rendu célèbre par son apparition subite en 1759, au sein de champs cultivés.

A peine interrompue en Californie, la rangée de volcans se poursuit ensuite sur les chaînes qui bordent les rivages du Pacifique, où elle rencontre de grands cônes aujourd'hui éteints, tels que le mont *Diabolo* (1225^m) sur la Sierra-Nevada,

(1) *Voyage géologique dans la République de Guatemala et de Salvador*, p. 396.

le mont *Shasta*, au nord de San-Francisco, qui porte, au delà des neiges, une cime dont la régularité égale celle du Cotopaxi. Elle reprend ensuite dans la fameuse chaîne des Cascades, sur le territoire de l'Orégon, qui présente alors une série de volcans ne le cédant en rien pour la majesté et l'élévation à ceux des Andes; ce sont, parmi ceux qui peuvent compter comme rejetant encore des vapeurs et des cendres, les pics *Hood* (3726^m), *Saint-Helens* (4200^m), *Rainier* (4104^m) et *Baker* (3383^m).

Les volcans presque tous en repos de la Colombie anglaise, échelonnés sur les bords de la Rivière fumeuse, leur succèdent; puis viennent, plus au nord, deux volcans toujours actifs, le *mont du Beau-temps* (*Fair-Weather* 4380^m) et le *Saint-Élie* (5800^m), l'un des plus hauts sommets de l'Amérique du Nord, qui marque la fin de cette longue chaîne volcanique des Andes; au-delà, en effet, la rangée de volcans change brusquement de direction et se poursuit sur la péninsule d'Alaska en donnant lieu à cinq volcans si élevés, que les neiges persistantes les couvrent en partie. Le plus actif de ce petit groupe, l'*Iemna*, se dresse à 3678^m de hauteur sur l'étroite bande de terre qui relie cette péninsule au continent américain.

A la péninsule d'Alaska vient se souder une remarquable série d'îles volcaniques, les îles Aléoutiennes, qui ne sont autres que les pointements émergés d'un rebord montagneux sous-marin, disposé en demi-cercle au travers du Pacifique. Trente-quatre cônes, ensevelis sous les neiges et qui tous ont donné des signes d'activité depuis les temps modernes, s'étagent sur cette digue transversale qui semble relier le nouveau continent à l'ancien. L'une d'elles, *Onimak*, adossée à la péninsule d'Alaska, en supporte à elle seule six, dont l'un toujours fumant, dressé à 2420^m, sert pour ainsi dire de phare à l'extrémité du continent américain.

Cette partie de la péninsule de l'Alaska a été le théâtre, le 8 octobre 1883, d'une grande éruption qui mérite d'être racontée en détail, en raison du peu de distance qui la sépare de l'éruption désormais mémorable du *Krakatoa*, dans les îles de la Sonde (26, 27 et 28 août 1883).

Le 8 octobre dans la matinée, par un temps clair, alors que rien ne semblait faire pressentir un pareil phénomène, le pic de *Saint-Augustin*, couvert de neige, qui se dresse à l'extrémité nord-est de l'île de *Chernaboura*, située dans la baie de *Kamischak*, à l'entrée du passage de *Cook* (*Cook's inlet*), s'est fendu en deux du sommet à la base. L'immersion subite d'une pareille masse a donné naissance autour de l'île, à une grande vague annulaire, dont les effets désastreux se sont fait surtout ressentir sur la côte ouest du continent américain. A 8^h 30^m une immense vague, haute de 15^m à 20^m, vint s'abattre

sur la partie sud-ouest de Port-Anglais, entraînant avec elle les embarcations de pêche, et détruisant les maisons de la côte.

Pendant tout le jour, ces vagues énormes, se succédant, sans relâche, à quelques minutes d'intervalle, vinrent s'abattre sur les établissements de Port-Anglais, ainsi qu'à Saint-Paul, dans l'île de Kodiak, située plus à l'ouest. Chacune d'elles correspondait alors aux explosions formidables, qui s'échappaient de toute l'étendue de l'île de Chernaboura, transformée en un immense cratère. Les cendres ponceuses, projetées avec les débris de la montagne, formaient un immense nuage, noir, épais, obscurcissant la lumière du soleil sur une étendue de 60 milles. Les explosions, qui se sont faites d'abord au-dessus du niveau de l'eau, sont devenues ensuite sous-marines, et maintenant deux îles nouvelles, larges d'un demi-mille, se dressent au milieu du détroit qui sépare Chernaboura du rivage continental.

L'archipel allongé des Aléoutiennes réunit la chaîne volcanique au Kamtchatka, où elle se dédouble en devenant plus active que jamais. Cette grande péninsule est, en effet, toute entière hérissée de volcans qui s'étendent de son extrémité nord à son extrémité sud. L'un d'eux, le *Klioutschevskoi* (ou *Klioutcheskujoi-Sopka*), dont le cratère terminal est porté à une hauteur de plus de 5000^m (1), peut être considéré comme le plus élevé de tous les volcans, puisqu'il s'élève là directement de la mer, tandis que ses congénères des Andes, comme le Cotopaxi qui dépasse 5900^m, repose sur une base située à une altitude de 2000^m.

La péninsule de Kamtchatka est de même suivie, comme celle de l'Alaska, par un archipel allongé, les îles *Kourilles*, qui supportent vingt volcans, dont la moitié sont actifs. L'anneau volcanique se poursuit ensuite au travers du Japon, où se dressent encore de nombreux volcans, parmi lesquels le *Fusi-Yama*, au sud de Yeddo, se signale, comme le Cotopaxi, par un cône d'une admirable régularité. Ce volcan, qui a eu de nombreuses éruptions jusqu'au commencement du siècle dernier, semble maintenant sommeiller; son cratère enveloppé de neige est devenu un lieu de pèlerinage, un bonze chinois y symbolisant le feu du volcan.

Au nord de Kiou-Siou, la chaîne volcanique se recourbe graduellement pour se rapprocher du rivage asiatique, en traversant l'archipel de *Liou-Kiou*, où se trouve, avec le *Yokounosima*, une petite île fumante, *Long-hoang-Chan* et la grande Formose, qui compte encore trois volcans actifs au milieu d'un grand nombre éteints depuis peu; elle vient ensuite atteindre,

(1) 5014^m, d'après L. Fuchs (*Les volcans*, p. 230).

en reprenant une direction nord-sud, les *Philippines*, et les *îles de la Sonde*.

Cette dernière série, la plus remarquable de tout le globe par le nombre et la grandeur des bouches volcaniques, en y comprenant les Molluques, compte plus de cent volcans, dont plus de la moitié sont actifs. L'île de Java en possède à elle seule quarante-cinq.

Jadis, cette île devait à la beauté et à la fureur de ses volcans d'être tout entière consacrée à *Siva*, le dieu de la destruction, et c'est dans les cratères mêmes de ces montagnes fumantes que les adorateurs de la terreur et de la mort avaient construit leurs temples. Aussi, en maints endroits, dans l'intérieur des cratères éteints, on découvre, au milieu des arbres et des broussailles qui les ont envahis, les ruines de ces sanctuaires que les conquérants arabes ont anéantis. Le *Semeru*, le pic le plus élevé de l'île (3740^m), était la montagne sacrée par excellence; le *Sœmbing* (1658^m), qui se dresse au centre de l'île, devenait le « clou qui fixe l'île contre la terre » (1).

Ce *Sœmbing*, qui porte encore le nom de *Gunung* (Tonnant), en raison de la violence de ses explosions (2), présente, comme un grand nombre des volcans de Java, dans les détails de son architecture, une régularité de contour, qu'il doit en grande partie aux violentes pluies des moussons. Sous l'effort de cette puissante action érosive, le cône très régulier se trouve entamé, sur toute sa hauteur, par de profonds sillons qui vont s'élargissant graduellement du sommet à la base, où ils n'atteignent pas moins de 200^m de profondeur, en rendant la montagne pour ainsi dire inaccessible. De loin, la montagne, avec ces cannelures profondes qui se succèdent autour du cône avec une étonnante régularité, apparaît comme couverte d'un manteau dont les plis auraient été drapés avec soin.

Le *Gulungung*, un des plus redoutés de Java, est creusé au sommet d'un vaste cratère, dont l'arête dentelée est toujours couverte de fumée. Ce grand cratère est le résultat d'une violente explosion qui, en 1823, alors que personne ne soupçonnait la présence de ce volcan masqué sous une épaisse végétation, ébranla toute l'île.

(1) ÉLISÉE RECLUS, *la Terre*, p. 622.

(2) Depuis 1807, ces explosions se renouvellent pour ainsi dire annuellement. Voici les dates de celles qui ont été particulièrement violentes : 1807, 1809, 1815, 1816, 1818, 1819, 1820, 1828, 1832, 1833, 1836. Cette dernière, qui pourtant n'a duré que trois heures, à recouvert l'île d'une pluie de cendres et de pierre. (A. BOSCOWITZ, *les Volcans*, p. 330.)

Tout d'un coup, une épaisse colonne de fumée s'échappant de la gorge de la montagne enveloppa de ténèbres épaisses toute la contrée. Puis, bientôt après, un immense fleuve de boue, se précipitant de la montagne, vint combler les rivières et détruire sur son passage tout ce qui lui faisait obstacle sur une étendue de plusieurs lieues. Ce fut un spectacle effrayant; pendant que ce déluge boueux ravageait la contrée, des éclairs sillonnaient les nues, et le cratère, en pleine furie, lançait à de grandes hauteurs des pierres énormes mélangées de boue et de cendres.

Pendant plusieurs jours, le Gulungung continuant ainsi à mugir, une véritable mer de boue s'étendit sur de superbes vallées, sur des champs cultivés, sur des villages prospères, ensevelissant plus de quatre mille victimes et d'innombrables troupeaux de bœufs et de chevaux; quatre millions de caféiers furent anéantis, et pendant de longs mois il fut impossible de se frayer un passage au travers de ces amas de vase noire et acide, portés à une haute température ⁽¹⁾.

Ces inondations boueuses, alimentées par des pluies abondantes, résultant de la condensation des vapeurs dégagées, en si grande quantité, dans les paroxysmes, sont fréquentes et particulièrement désastreuses dans cette région, où tous les phénomènes volcaniques prennent une allure gigantesque. En 1772, l'avalanche de boue et de pierres qui s'est ainsi précipitée le long du grand cône du Pepandajang, a parcouru 12^{km} en s'étalant, par places, sur 4^{km} de large. D'immenses cratères-lacs, au voisinage de ces grands volcans, en se vidant brusquement, donnent aussi lieu à de véritables éruptions boueuses. Les plus considérables de ces volcans sont pour ainsi dire concentrés dans la partie orientale de l'île. C'est d'abord le groupe du *Tengger* (2915^m), dominé par le Semeru, celui de l'*Idjen* (3330^m), entouré par les cônes élevés de *Kukusan*, d'*Idjen-Merapi*, de *Randen*, de *Pendill*, de *Suketto*, et surtout du *Roan* (3399^m), dont le cratère terminal, toujours fumant, est peut-être le plus profond de tous ceux connus. Tous ces volcans sont entourés de cratères-lacs et de solfatares, dont les plus importantes s'élèvent, celle d'*Ardjuns* à 3590^m, celle d'*Ajang* à 3170^m. Un volcan qui jusqu'à présent n'a pas encore donné signe de vie, le *Buluran*, forme la pointe extrême de l'île dans cette direction.

Les éruptions de ces volcans sont, comme on sait, d'une ampleur extraordinaire et d'autant plus remarquables, que les laves en fusion y font pour ainsi dire défaut. Leurs paroxysmes s'annoncent par des secousses formidables qui occasionnent d'effroyables désastres, puis viennent des projections, à des

(1) LANGREBE, *Naturgeschichte der Vulkane*.

distances considérables, de cendres et de débris. Les vibrations atmosphériques occasionnées par ces explosions sont telles, qu'elles se ressentent à de grandes distances. Celles du Temboro (ou Tembora) dans l'île de Sumbava, en 1815, s'étendirent dans l'île de Sumatra, distante de 900^{km}, tandis que, dans un rayon de 500^{km} autour de la montagne, un épais nuage de cendres obscurcissait la lumière à ce point, qu'il faisait nuit noire en plein midi. L'éruption dernière du Krakatoa a été plus terrible encore; sans parler du grand ébranlement de mer, dont la cause doit être cherchée dans l'effondrement du pic, les ondulations atmosphériques occasionnées par les terribles explosions du 26 août, après avoir brisé des vitres et même renversé des maisons sur leur route, à des distances de 850^{km} (1), ont été ressenties à l'observatoire de Berlin par M. Förster, et à Saint-Maur près Paris, où elles ont été notées par des courbes inusitées de l'inscripteur Redier (2).

Les volcans actifs de *Semoya* dans les îles Salomon, de *Tinahoro* dans l'archipel de Santa-Cruz, ceux d'*Ambrym*, de *Loperi*, de *Tanna*, de *Matthew* dans les Nouvelles-Hébrides, les cratères des îles Viti, d'où s'échappent encore d'abondantes sources thermales, en s'échelonnant vers le sud, relie cette région de la Sonde, si souvent agitée par de violentes secousses, à la Nouvelle-Zélande, qui peut compter encore comme un des points les plus actifs de la chaîne volcanique, dans cette partie de l'océan Pacifique. Le volcan toujours actif de *Tangariro*, l'île fumante de *Whakari* dans la baie d'Abondance, le *Ruapahu*, couvert de glaces et de neiges éternelles, le *Taranaki*, qui monte dans les nuages, les geysers jaillissants et les innombrables sources de vapeurs brûlantes du lac *Taupo*, en témoignent.

L'isthme d'Auckland, en particulier, dans l'île septentrionale de la Nouvelle-Zélande, où M. de Hochstetter a pu compter, sur un espace de 600^{kmq}, 63 volcans indépendants, ayant en moyenne 200^m de hauteur, peut être considérée comme une des contrées les plus volcaniques de la terre. L'activité volcanique, au lieu de se concentrer en un point unique, s'est ainsi éparpillée dans un grand nombre de petites issues. Aujourd'hui une bonne partie de ces appareils sont transformés en cratères-lacs, dont les eaux, calmes et pures, étincellent comme des miroirs encadrés dans le sol.

Sur le trajet du Tangariro à l'île de Whakari, l'île est tout entière criblée d'orifices volcaniques, la plupart supportés par des édifices élevés. Jadis les Maoris s'étaient retranchés

(1) Sur la terre Aekmaer, en *Passærcæan*.

(2) RENOU, Directeur de l'observatoire de Saint-Maur, *Notes présentées à l'Académie des Sciences* le 21 et le 29 janvier 1884.

dans ces cratères comme dans des citadelles; ils en avaient fait de véritables places d'armes garnies d'un double rang de palissades. Aujourd'hui les fortifications sont rasées, les palissades ont disparu sans retour, le donjon maori est en ruines, et, de même que le cratère semble être la cicatrice du combat de la terre embrasée, ces ruines, avec leurs fossés profonds, sont les cicatrices qui marquent les combats sanglants des peuplades indigènes ⁽¹⁾.

C'est également dans cette région où les volcans de boue, les geysers, les sources de vapeurs brûlantes jaillissent en plus de mille conduits, sur les deux versants du Waikato, que se trouve le *Tetarata*, ce geyser merveilleux que nous avons décrit comme un des plus remarquables qui soient au monde.

L'activité volcanique continue ensuite à se révéler dans les contrées polaires sur divers îlots de la mer Antarctique; puis la chaîne, en s'incurvant de nouveau, rencontre, sur les côtes de la terre Victoria, dernier point qu'on ait atteint dans cette direction ⁽²⁾, les grands volcans, découverts par sir James Ross (28 janvier 1841), l'*Erèbe* (3782^m) et le *mont Terror* (3800^m); l'archipel *Balleny*, avec son pic toujours fumant; enfin, le volcan annulaire de la *Déception*, dans les îles Shetland du sud, situées dans le prolongement du continent américain.

Le cercle se ferme ainsi, entourant comme nous l'avons dit en commençant l'océan Pacifique d'un anneau de feu pour ainsi dire continu.

C'est au centre de cette grande dépression océanique que viennent se placer les célèbres volcans des Sandwich, les plus remarquables qui soient au monde, occupant ainsi, non seulement par leur mode d'activité spécial, mais par leur position, une place à part sur la surface du globe.

Océan Atlantique. — La dépression atlantique n'est pas moins bien partagée; elle comprend une longue série d'îles volcaniques, surgissant à de grands intervalles des profondeurs de cet océan, et qui semblent jalonnées sur une ligne de fracture s'étendant depuis la côte nord-est extrême du Groënland, qui est de nature basaltique, jusqu'à l'île de Tristan d'Acunha, sous le parallèle du cap de Bonne-Espérance. Elle offre ainsi les volcans insulaires de *Jan Mayen* et de *Birds-Island*; ensuite vient l'*Islande*, la reine des îles volcaniques, avec ses neuf volcans et ses nombreux geysers; l'*Hécla*, dont les cendres ont été plusieurs fois transportées en Europe, et le *Skaptar Gökull*, tous deux masqués sous les glaciers, se sont rendus célèbres par la violence de leurs éruptions.

(1) DE HOCHSTETTER, *Voyage à la Nouvelle-Zélande*, p. 283; 1858-1860.

(2) Lat. S. 77°, long. 167°.

A l'ouest du Portugal, les neuf îles qui composent l'archipel des Açores sont tout autant de volcans, aujourd'hui assoupis, qui, depuis l'époque de leur découverte par les Portugais, ont été bien des fois le théâtre de phénomènes éruptifs d'une grande intensité, soit à l'air libre sur le sol même des îles, soit au fond des mers dans leur intervalle.

Ces éruptions ont élevé, dans les îles de San-Miguel, de Terceira, de San-Jorge, de Fayal, les principales du groupe, un grand nombre de cônes, de scories, creusé de profonds cratères d'où sont issus de puissantes coulées de lave qui, pour la plupart, sont de date si récente, que la végétation, malgré la douceur et l'humidité du climat, ne les a pas encore envahis. Celles qui se sont produites au sein de la mer ont aussi donné naissance à des épanchements de laves et à des amas de scories; mais toutes ces productions fort instables ont été bientôt condamnées à disparaître.

Tel a été le sort de l'amas de scories sous-marin qui, en juin 1867, s'est élevé auprès de l'île de Terceira, après de violentes secousses, qui détruisirent en partie le village de *Serreta*; au bout de quelques mois, ces scories entassées au milieu de l'agitation des flots, démantelées par le choc des vagues, s'étaient à ce point répandues dans les bas-fonds avoisinants, que les sondages effectués sur l'emplacement de leur entassement primitif n'indiquaient aucune variation notable dans la profondeur de la mer, telle qu'elle était connue auparavant.

Avant la découverte des Açores, il y a eu dans ces parages plusieurs éruptions sous-marines, accompagnées de coulées de laves qui ont donné lieu à des édifices plus stables que celui dont nous venons de rappeler la disparition. C'est ainsi qu'on trouve dans ces parages un grand nombre d'îlots plus ou moins étendus qui se présentent dans un état d'intégrité presque complet. Tel est l'îlot *Brazil*, près de Terceira, et celui, moins étendu, de *Branco*, près de Fayal, qui doit sa préservation à la résistance des énormes masses laviques dont il est composé ⁽¹⁾.

Plus au sud viennent les volcans des Canaries et des îles du Cap-Vert, rendus célèbres par les explorations qu'en ont faites de Humboldt, L. de Buch, Cordier et Charles Sainte-Claire Deville. C'est là où se trouve Ténériffe, creusée d'un vaste cratère d'explosion, au centre duquel se sont édifiés d'immenses cônes de débris, creusés chacun de cratères profonds, qui forment maintenant les pics de *Montaña Blanca* (2659^m), de *Chahorra* (3126^m) et celui de *Teyde* (3706^m), qui, toujours

(1) FOUQUÉ, *Éruptions sous-marines des Açores* (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1867.)

fumant, domine le groupe. Au moment où Ch. Sainte-Claire Deville gravissait ses flancs, les fumerolles qui se dégageaient du sommet, portées à 84°, exhalaient une odeur piquante due à l'acide sulfureux.

Les îles du Cap-Vert, qui s'étendent sur une longueur de 290^{km}, sont toutes volcaniques et particulièrement intéressantes. Celle de *Fogo*, la plus importante du groupe, présente une remarquable analogie de structure avec le Vésuve. Le cône actif, qui se signale par sa grande régularité et ses dimensions ⁽¹⁾, est entouré par un rempart demi-circulaire ouvert au nord-est, entamé comme la Somma par de profonds ravins, et présentant à sa base un fossé continu très profond, en tous points comparable à l'Atrio de Cavallo. Une multitude de cônes adventifs échelonnés sur sa pente nord-est ont laissé échapper de nombreuses coulées de lave, qui, empiétant sur la mer, ont entouré cette portion de l'île d'une ceinture continue de brisants et de récifs. Le volcan de Fogo s'est signalé, en effet, jusqu'au milieu de ce siècle par une grande activité. Le 9 avril 1847, date de sa dernière éruption, sept bouches ouvertes sur ses flancs ont donné lieu à tout autant de coulées qui, se déversant jusqu'à la mer, ont occasionné de grands désastres.

La ligne de feu que nous suivons se rapproche ensuite du continent américain qui présente, en des points très rapprochés de la côte, une série de petites îles volcaniques : *Fernando-Po* où se dresse le pic de Clarence, dont le cratère terminal émet encore des fumées ; *Saint-Thomas* et *Annobon*, vaste cratère-lac entouré de cônes de scories. Sur la côte de Guinée, qui fait face, les hautes montagnes de Cameron, faites de laves et de scories, supportent plusieurs volcans actifs encore peu connus. Plus au sud, près de Saint-Paul-de-Loanda, elle rencontre la grande solfatare du *Zambi* et s'écarte ensuite de la côte pour atteindre les îles volcaniques très espacées et aujourd'hui éteintes de l'*Ascension* ; de la *Trinité*, de *Saint-Hélène*, de *Tristan d'Acunha*, et enfin celle de *Gough*, qui marque sa terminaison dans le sud.

Océan Indien. — Les îles volcaniques qui s'élèvent dans l'Océan Indien sont de même distribuées avec une certaine régularité sur le pourtour de cette grande dépression océanique.

Au nord de Java et de Sumatra, les grands volcans qui dominent à l'ouest le bassin de la mer des Indes, se prolongent, plus au nord, dans l'archipel volcanique des îles Nicobar et de Andaman, qui présentent un certain nombre de cratères actifs.

(1) CH. SAINTE-CLAIRE DEVILLE donne au pic de Fogo une altitude de 200^m au-dessus de la plaine de laves qui l'entoure. (*Loc. cit.*, p. 87.)

L'une d'elles, bien connue, *Barren-Island*, avec son cône toujours fumant, entouré par un rempart demi-circulaire, figurant un immense cratère d'effondrement entr'ouvert sur le côté, a été souvent citée comme un type de volcan insulaire. L'île de *Narcondam*, située au nord (13° lat. N.), n'est autre également qu'un amas de lave sur lequel se dresse un cône haut de 210^m encore brûlant. *Tchédouba* (18° 41' N.), ainsi que sa voisine *Ramri* (19° N.), près de la côte d'Arakan, sont également volcaniques, et la côte qui fait face, en voie d'exhaussement, est fréquemment secouée par des tremblements de terre.

Il en est de même pour la côte de Coromandel, qui forme la bordure orientale du golfe de Bengale, près de laquelle l'activité volcanique s'est maintes fois traduite par des éruptions sous-marines.

La chaîne se poursuit au delà, dans le golfe d'Oman, sur la côte du Makran, couverte de sables et de volcans de boue, avant de se prolonger dans la mer Rouge, qui peut être considérée comme une dépendance de la mer des Indes.

La presqu'île d'Aden est, en effet, tout entière de nature volcanique, ainsi que l'île *Périm* et *Djebel-tir*, qui commandent l'entrée de la mer Rouge. Sur la côte d'Arabie qui fait suite, on connaît plusieurs volcans actifs. Il en est de même en Abyssinie, où des volcans nombreux étaient en pleine éruption, au temps des Ptolémées. La presqu'île de Somalis en possède également quelques-uns, et de même l'île *Sokotra*, qui fait face au cap Guardafui, supporte un cône parfaitement régulier, dressé à 1500^m de haut.

L'Afrique orientale est encore trop peu connue pour qu'il soit possible de dire si la traînée que nous suivons se continue le long de la côte. Au nord du mont Kenia, la grande montagne d'Afrique, on signale des cônes encore brûlants (1); mais on peut reconnaître son passage, avec toute certitude, à la pointe sud de Madagascar et surtout dans les îles volcaniques qui avoisinent cette grande terre. Nossi-Bé, en particulier, située au nord-ouest, est couverte de cratères-lacs, et de volcans dont les coulées, en raison de leur belle conservation, semblent dater d'hier. Elle se poursuit au delà, dans les îles Mascareignes, en rencontrant sur sa route le cratère brûlant qui, dans le sud-est de l'île de la Réunion, peut être considéré comme en activité continue.

Dans le sud, à l'est du Cap, l'archipel des *Crozet* et l'île du *Prince-Édouard*, qui sont tout autant de volcans insulaires, aujourd'hui éteints, indiquent qu'elle se prolonge vers les contrées polaires pour venir aboutir, en passant par l'île volcanique de *Kerguelen*, à la *Déception*, vaste cratère aujourd'hui

(1) WAKEFIELD, in EL. RECLUS, *la Terre*.

échancré et réduit à la condition de mofette, au milieu des glaces polaires, par 62°55' de latitude sud.

C'est encore au nombre de ces volcans insulaires édifiés, à ces basses latitudes, au sein d'un océan profond par l'accumulation, sur un seul point, d'une longue série de coulées, qu'il faut compter l'île *Amsterdam* et celle de *Saint-Paul*, qui présente encore quelques traces d'une activité qui a dû être considérable, si l'on en juge par l'étendue et la puissance des coulées issues de son cratère, maintenant ébréché et condamné à disparaître. Ce que le feu avait édifié, l'eau s'acharne ainsi à le détruire, et dans cette lutte elle reste victorieuse, quand l'activité interne ne vient plus reprendre possession du domaine qu'elle a depuis longtemps abandonné.

Dépression méditerranéenne. — Indépendamment des trois grandes dépressions océaniques orientées nord-sud, que nous venons de signaler, on sait que le globe se montre sillonné par une zone transversale de dépression, qui, passant par la Méditerranée, fait le tour du globe, interrompue seulement, entre les deux Amériques, par l'isthme de Panama, et se prolongeant, au travers du continent asiatique, par le désert de Gobi et la dépression aralo-caspienne qui se rattache intimement à la Méditerranée. Sur le parcours de cette nouvelle dépression, qui forme ainsi, dans l'hémisphère nord, à peu de distance de l'équateur, une ceinture maritime à peu près continue, les volcans s'alignent encore d'une façon remarquable.

Ce sont d'abord les *Açores* et les *Canaries*, qui, situées en face du détroit de Gibraltar, marquent, en ce point, l'entrée de la Méditerranée. Puis viennent les volcans bien connus de l'Italie : le *Vésuve*, avec ses annexes, au nombre desquels il faut porter *Ischia*, dont le réveil a été terrible en cette année 1883, qui marquera une date funèbre dans l'histoire des volcans napolitains; les îles *Lipari*, avec le *Stromboli* toujours actif, et les solfatares de *Vulcano* et de *Vulcanello*; l'*Etna*, qui s'élève majestueux sur la côte est de Sicile, dominant tout ce groupe; l'*Archipel grec* qui, avec le groupe célèbre de *Santorin*, se compose en majeure partie d'ilots volcaniques.

La chaîne traverse ensuite l'Asie Mineure, qui offre elle-même de nombreux districts volcaniques, pour atteindre le Caucase, dont les deux extrémités, dans la mer Noire d'une part, dans la Caspienne de l'autre, supportent, comme on sait, avec des volcans de boue, des salses et de remarquables dégagements d'hydrocarbures. Au delà, elle se poursuit dans l'Indo-Chine en traversant d'abord l'immense formation volcanique du *Dekhan*, de 25° à 16° lat. N., puis cette grande zone d'affaissement, correspondant au désert de Gobi, qui fait suite à la dépression aralo-caspienne et se trouve bornée au nord

par la grande chaîne des *Monts Célestes*; suivant toute certitude, les volcans aujourd'hui éteints de cette chaîne, tels que le *Pe-chan*, étaient en pleine activité alors que toute cette région était sous les eaux.

Plus loin, elle vient se rejoindre aux îles tributaires du Japon et de la Chine et se souder ainsi à la ceinture éruptive du Pacifique. Il est juste d'ajouter que c'est alors dans son prolongement immédiat que se trouvent, dans la zone tropicale, les volcans des Sandwich, et de même ceux des Antilles, au delà de l'isthme de Panama.

Conclusions. — Nous voici donc arrivés à cette notion que, dans toutes les régions de la Terre, la présence des volcans semble dépendre du voisinage des grandes nappes d'eau, et, de plus, qu'ils sont tous situés sur le bord des zones déprimées, qu'il est légitime de regarder comme les points de moindre résistance de l'écorce terrestre. Tous, en effet, distribués par grandes séries linéaires, comme nous l'avons vu dans les Andes, au Kamtchatka, à Java et dans beaucoup d'autres régions, jalonnent surtout les lignes de brusque dépression qui ne peuvent manquer de coïncider avec un rivage maritime. Or, ces directions ne pouvant manquer de correspondre, en raison du peu de flexibilité de l'écorce terrestre, à des lignes de fracture, c'est à la faveur de ces fentes ouvertes, au voisinage des brusques inflexions du relief du sol, que tendent à s'épancher, au dehors, les masses fluides ou gazeuses contenues souterrainement, en édifiant, autour des orifices de sortie, des cônes parfois gigantesques. Sur chacune de ces fentes, nécessaires comme on sait à la production des phénomènes volcaniques, les volcans se succèdent à la manière des cratères adventifs sur les grands édifices volcaniques, mais avec des dimensions en rapport avec la grandeur d'un phénomène devenu général ⁽¹⁾.

Il nous reste maintenant à examiner quelles doivent être la nature et surtout l'étendue du foyer interne où viennent s'alimenter les volcans, ainsi que les causes probables de l'ascension des laves et de ces variations dans l'activité volcanique, qui comportent, comme on sait, une succession de paroxysmes et d'intervalles de repos.

(1) DE LAPPARENT, *Traité de Géologie*, p. 466.



CAUSES DU VULCANISME.

Les volcans, en raison de leur nombre et surtout de la constante uniformité des phénomènes dont ils sont le siège, quand on les considère dans leurs traits généraux, ne peuvent être considérés comme des foyers distincts, alimentés soit par des réactions chimiques, soit par des *lacs intérieurs* de lave, occupant des cavités voisines de la surface, dans le globe terrestre devenu aujourd'hui tout entier solide, ainsi que le veulent certaines théories encore admises actuellement. Ils doivent nécessairement se rattacher à une cause générale, et leur activité doit être cherchée dans les parties profondes de la Terre, où l'on sait qu'il règne une température élevée.

L'accroissement régulier et constant de la température à mesure qu'on s'enfonce dans l'intérieur du sol, la mobilité de l'écorce terrestre bien accusée soit par les tremblements de terre, soit par des mouvements lents d'exhaussements et d'affaissements du sol, sont autant de faits d'observation qui tendent à démontrer qu'à des profondeurs encore inconnues, cette écorce cesse d'être rigide et vient s'appliquer par sa face inférieure sur un bain de matières en fusion.

La belle conception de Descartes, à savoir que la Terre est un astre éteint, développée plus tard avec tant d'éclat par Laplace, en rattachant la formation du globe à la condensation de la nébuleuse solaire, nous indique que ce noyau fluide interne, qui n'est autre qu'un reste de l'état primitif de notre globe, est en voie de refroidissement incessant. Dès lors, les progrès de cette condensation diminuant peu à peu son volume, l'écorce terrestre, pour s'appliquer immédiatement au-dessus, est obligée de racheter son excès de longueur par un *rempli*, c'est-à-dire de se replier sur elle-même, en formant, côte à côte, sur une certaine étendue, un bourrelet saillant et une ride rentrante, ainsi que l'exprime le profil ci-joint (*fig. 42*), qui montre en même temps que les dépressions océaniques deviennent, par suite, l'exacte contre-partie des reliefs continentaux.

L'écorce terrestre porte ainsi partout l'empreinte de ces refoulements latéraux, dus à la contraction du noyau fondu interne, qui ont engendré, par un mouvement simultanée, les reliefs montagneux (*reliefs positifs*) et les dépressions océaniques (*reliefs négatifs*). Mais, si elle est flexible en grand, en raison de son peu d'épaisseur, par rapport à la dimension

du globe, il n'en est pas moins vrai qu'elle est formée de matériaux fort peu élastiques, qui ne peuvent céder, sans se rompre, à ces efforts de plissements. Il est bien certain, comme les belles expériences de M. Daubrée l'ont démontré,

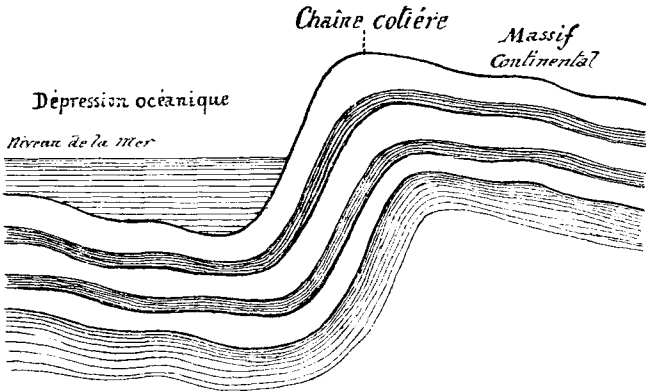


Fig. 42. — Diagramme représentant la disposition réciproque des saillies continentales et des dépressions océaniques.

que tout l'effort de rupture devra se concentrer dans l'abrupte du pli (fig. 43), en donnant naissance, en ce point, à des

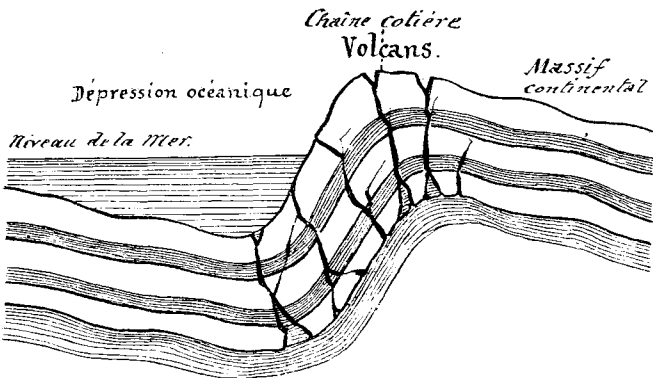


Fig. 43. — Origine des volcans.

champs de fractures, destinés à livrer passage aux masses fluides internes.

De plus, c'est en arrière de ce pli que cette masse sera plus fortement pressée contre l'enveloppe; elle trouvera donc au sommet, où la voûte est rompue, et sur le flanc raide qui s'enfonce brusquement sous la mer, des sillons tout tracés, pour arriver à la surface.

L'origine des volcans et l'ascension des laves s'expliquent ainsi sans difficulté, quand on les rattache, comme il convient, aux grands mouvements de dislocation qui affectent l'écorce terrestre.

Cause des paroxysmes; origine des gaz dégagés. — Étant donné que ce refroidissement de la masse centrale et la contraction simultanée de l'enveloppe solide de la terre se fait d'une façon lente et continue, la sortie des laves, une fois la communication avec la surface établie, devrait, de même, continuer indéfiniment. Or on sait qu'il n'en est rien et que les manifestations volcaniques comportent, au contraire, une succession de paroxysmes et d'intervalles de repos qui semblent n'obéir à aucune loi générale, puisqu'elles varient avec chaque appareil.

Il faut en chercher la cause dans ces dégagements abondants de gaz et de vapeurs, qui, dans chaque éruption, ainsi que nous l'avons vu précédemment, jouent un rôle si considérable et donnent à ces manifestations actuelles de l'activité interne leur caractère le plus franc. Dans ce cas, en considérant d'une part la situation ordinaire des volcans dans le voisinage de la mer ou des lacs salés, le rôle prépondérant joué par la vapeur d'eau dans toutes les éruptions et surtout ce fait, mis bien en évidence par les observations de M. Fouqué, que les produits gazeux dégagés par les volcans sont précisément ceux qui peuvent résulter de l'évaporation ou de la décomposition de l'eau de la mer, on peut invoquer l'intervention des eaux marines.

On conçoit aisément que, dans un sol aussi disloqué que celui qui avoisine les volcans, ces eaux peuvent arriver, soit directement, soit après une étape, dans une région où elles restent encore liquides jusqu'aux masses en fusion. Dans ces conditions de surchauffement, la vapeur d'eau acquiert une tension énorme, et provoque les explosions terribles que nous avons décrites.

En résumé, les manifestations volcaniques, depuis les plus violents paroxysmes jusqu'aux mofettes, s'expliquent et s'interprètent avec une grande facilité, si on les rattache, comme nous venons de le faire, à l'existence du foyer interne, et aux grands mouvements de l'écorce terrestre, qui résultent de son refroidissement incessant.

En dehors de ces deux causes générales, il n'en est aucune qui puisse correspondre à l'ampleur et surtout à l'incontestable unité des phénomènes volcaniques.

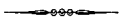


TABLE DES MATIÈRES.

I. — DÉFINITION DES VOLCANS	1
Mode de formation des cratères et des montagnes volcaniques. . .	
Volcans sub-aériens. — Volcans marins.	1
II. — LES ÉMANATIONS VOLATILES	45
Fumerolles, Solfatares et Geysers, Salses et Mafettes	45
III. — LES LAVES	89
IV. — DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES VOLCANS.....	105
V. — CAUSES DU VULCANISME	125