

M. Coquand donne lecture du mémoire suivant :

Des solfatares, des alunières et des lagoni de la Toscane,
par H. Coquand, docteur ès-sciences, etc.

§ I. *Solfatare de Pèreta.*

Lorsque du village de *Pèreta*, dans la province de *Grosseto*, on se rend dans la vallée de l'*Albegna*, en suivant les berges du torrent du *Turbone*, le regard est attiré par de longues traînées de roches blanchâtres accumulées sur un rayon de 2,000 mètres à peu près, dont la teinte contraste vivement avec la couleur foncée des terrains environnants. Examinées de près, ces roches laissent apercevoir des quartz cariés, des alunites compactes, des grès altérés, des calcaires bleuâtres, des gypses dont les cavités ainsi que la surface extérieure sont généralement tapissées de petits cristaux de soufre très brillants. Ces débris alignés vers les orifices d'une série de puits en grande partie rainés, constituent une ligne de haldes qui finissent par se confondre et indiquent très exactement la direction du gîte d'où ils ont été extraits. Si ces caractères ne suffisaient pas pour dévoiler l'existence souterraine du soufre, l'odeur très prononcée d'hydrogène sulfuré et la chaleur suffocante qui s'exhalent des fissures du sol et des puits, trahiraient à elles seules la présence de la solfatare d'où elles émanent.

Pèreta n'est pas la seule localité en Toscane où l'on ait constaté des indices de soufre. Les gypses de *Rudicondoli* et de *Fonte-ai-bagni*, dans le *Volterrano*, ceux d'*Aiola*, dans la province de *Sienne*, ainsi que ceux de *Selvena*, dans la vallée de la *Fiora*, en contenaient des amas que l'on a tenté, mais toujours infructueusement, d'exploiter. Les auteurs qui ont mentionné ces divers dépôts les ont attribués à un même ordre de phénomènes et les ont tous introduits dans les terrains tertiaires (1). Ce sentiment est erroné pour les gisements de *Pèreta* et de *Selvena*. Nous démontrerons dans cet écrit que le soufre y repose au milieu du terrain d'Albèrese et de Macigno, que sa production est due à un dégagement continu de vapeurs sulfu-

(1) Pilla, *Breve cenno sopra la ricchezza minerale della Toscana*, page 28. Pise, 1845.

reuses, que la cause qui a engendré ce dégagement est liée à l'apparition d'un puissant dyke de quartz antimoniifère qui, disloquant les couches à travers lesquelles il s'est fait jour, a livré passage aux gaz souterrains et a ainsi fait déboucher à la surface des évents naturels par où s'échappent constamment des gaz particuliers dont les réactions sur les roches voisines exercent des modifications si curieuses, si énergiques, que si les transformations opérées ne se continuaient encore sous nos yeux, nous aurions de la peine à nous en expliquer les effets ou à découvrir par l'induction théorique seule la nature des causes qui ont été mises en jeu pour les produire.

Les observations qui suivent sont le résultat de quatre années d'expériences. Chargé de la direction de la mine d'antimoine, à une époque où les essais précédemment tentés n'avaient été couronnés d'aucun succès, j'eus à combattre les idées généralement reçues qu'à *Péretta* il n'existait point de filon, que l'antimoine se trouvait disséminé au hasard au milieu des calcaires et des grès et que c'était au hasard seul qu'il fallait se confier pour en rechercher les traces. Cette opinion accréditée par les dires des anciens mineurs des soufrières, passa presque à l'état de vérité démontrée, lorsqu'on vit les travaux ordonnés dans les débuts traverser des roches quarzeuses imprégnées de minerais, tandis que d'autres roches de même nature en étaient totalement dépourvues : d'où des tâtonnements, des incertitudes qui furent sur le point de compromettre l'avenir de cette mine. Il est juste de convenir aussi qu'il n'était pas facile de distinguer la masse quarzeuse du filon des couches quarzeuses contiguës qui n'étaient plus une dépendance du filon, mais qui appartenaient à des bancs de grès *quarzifiés* par suite d'abord d'une dissolution moléculaire et progressive de la silice qu'ils renfermaient, opérée sous l'influence des vapeurs chaudes et par suite en second lieu de la régénération insensible de cette même silice sous forme cristalline et compacte.

La conséquence immédiate de la constatation de ce fait géologique fut un changement complet dans l'ordonnance des travaux intérieurs, et l'adoption d'un système d'exploitation en harmonie avec les relations réciproques du filon et des roches encaissantes, que celles-ci eussent été ou non converties en silex jusqu'à une profondeur quelquefois très considérable.

La prospérité de l'opération a pleinement justifié cette révolution introduite au nom de la science, et j'avoue que ce n'est point

sans quelque sentiment de vanité que je vois la géologie pouvoir revendiquer l'honneur des résultats obtenus en vertu des principes mêmes avec lesquels elle éclaire et elle guide la recherche des richesses minérales.

Comme la solfatare de *Péretta*, quant au soufre qu'elle a injecté dans les terrains stratifiés, ainsi qu'à la manifestation des phénomènes qui se renouvellent incessamment, est subordonnée au champ de fracture créé par l'action éruptive du filon antimoniifère ; en d'autres termes, comme il est impossible de disjoindre les effets de la cause, nous décrirons en premier lieu le filon, indépendamment des phénomènes d'un ordre tout différent auxquels il a donné naissance ; nous étudierons, en second lieu, les caractères de la solfatare, la nature de ses produits, les compositions nouvelles et les décompositions qu'elle engendre et la marche progressive de son influence, comme élément modificateur, dans les terrains qu'elle traverse. Ce sera, si l'on veut, une monographie d'une contrée bien limitée, mais qui se recommande incontestablement à l'attention des géologues et des minéralogistes par la multiplicité des faits qu'elle renferme et par la beauté des produits dont elle enrichit la science et l'industrie.

Nous terminerons notre travail par un aperçu sur les alunières et les Lagoni de la Toscane, parce que l'étude à laquelle nous nous sommes livré de ces terrains métamorphiques et de ces grandes chaudières naturelles d'évaporation nous a dévoilé des particularités tellement intéressantes et tellement identiques avec celles de la solfatare de *Péretta*, que nous avons jugé utile de les enchaîner les uns aux autres, afin d'en compléter l'histoire et d'en mieux faire ressortir les rapports mutuels.

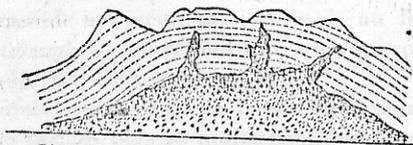
Le *Turbone* est un torrent qui prend naissance dans les gorges montagneuses du *Scanzanèse* et coule dans un vallon peu profond, lequel se soude au-dessous de *Colle di Lupo* à la vallée de *l'Albegna* dont il est tributaire. A son origine et principalement dans les alentours des soufrières, *l'albèrese* et le *macigno*, ces deux membres inséparables du terrain crétacé, sont les seules roches qui dominent dans la constitution géologique de ce canton, et ce n'est guère que dans le voisinage de *l'Albegna* qu'ils sont recouverts par les terrains tertiaires. Comme il importe d'être fixé sur leur composition minéralogique pour apprécier plus tard les changements qu'ils ont subis et les produits nouveaux en lesquels ils ont été convertis, nous esquisserons à grands traits leurs caractères essentiels.

L'albèrese est un calcaire gris-bleuâtre, à cassure conchoidale, barré dans tous les sens par des veines spathiques blanches. Il alterne avec des argiles marnuses grises ou noirâtres qui quelquefois deviennent prédominantes, au point que l'albèrese leur semble subordonnée et n'est plus logée au milieu d'elles qu'en bancs interrompus ou en lentilles d'un volume variable. Au-dessous de la poudrière des établissements royaux, dans le voisinage du lieu dit la *Cava bianca*, ainsi qu'au S. du puits n° 4 de la mine d'antimoine, ce calcaire est pétri de foraminifères et de fragments d'encrines dont la structure miroitante décele la présence. Les bancs argileux renferment des fucoides dont les *fucus Targioni* et *intricatus* sont les plus communs.

Le *macigno* est un grès bleuâtre ou jaunâtre à grains extrêmement serrés, formé de quartz sableux et de mica argentin. Il alterne aussi avec des argiles schisteuses de même nature que celles qui accompagnent l'albèrese. La poudrière de la mine d'antimoine est construite sur un *macigno* qui, par suite d'une altération superficielle, passe à une masse jaunâtre très friable.

Les couches présentent une direction moyenne du N.O. au S.O. avec une inclinaison de 20 à 25°. Dans la coteau à la base duquel sont ouverts les puits des souffrières, elles éprouvent un bombement très prononcé qui dessine avec fidélité le relief du filon antimonifère sous-jacent, de sorte qu'aux deux extrémités des affleurements, c'est-à-dire à la *Cava bianca* et aux anciens travaux *Sarteschi*, elles subissent en sens opposé un double pendage qui est aussi celui de la masse soulevante, comme l'indique la fig. 1.

Fig. 1.



Disposition du filon antimonifère de Pèrèta au milieu des couches crétacées.

L'espace compris entre le *Turbone* et les ressauts naturels qui le dominent vers le nord est jonché de débris d'une roche quarzeuse rougeâtre à grains miroitants, passant à un siliceux calcédonieux géodique. Une portion de ces débris provient des excavations des souffrières, tandis que les fragments les plus volumineux se sont détachés par leur propre poids des masses

desagrégées qui couronnent les escarpements et ont roulé jusque dans le lit du torrent. Cette roche constitue à elle seule les éléments du filon antimonifère que l'on voit se dresser au-dessus des terrains encaissants avec des formes plus hardies et des allures plus franches. A l'O. de *Monte-Cavallo*, ses caractères principaux sont écrits dans une grande masse de 5 à 6 mètres de hauteur, qui montre quelques rares nids d'antimoine sulfuré. *Monte-Cavallo* est le point unique où j'ai pu découvrir à la surface des indices du minéral. Si pour la reconnaissance plus décisive du gîte le hasard n'eût procuré des renseignements plus complets, la mine d'antimoine de *Pèrèta* serait probablement inexploitée aujourd'hui. Ces renseignements furent fournis par les travaux pratiqués dans le voisinage pour la recherche du soufre. Comme ce minéral, qui provient de la décomposition du gaz hydrogène sulfuré, s'est logé dans les interstices des couches dont la sortie du filon occasionna la rupture, les galeries d'avancement ont quelquefois entamé le quartz antimonifère, et amené la découverte de quelques nids de stibine que l'on a rejetée sur les baldes comme substance sans emploi ou pouvant altérer, dans les opérations qui avaient pour but la dépuration du soufre, les masses avec lesquelles elle était associée. On comprend de suite que la rencontre du minéral était pour les exploitants des souffrières un motif pour se diriger sur d'autres points, et que le filon, par conséquent, ne fut jamais étudié, soit à cause de la dureté de la roche, soit à cause de la stérilité des produits que l'on recherchait exclusivement et dont la valeur ne pouvait compenser les frais de main d'œuvre. Ce sont justement ces fragments d'antimoine que Romé de Lisle avait fait connaître sous le nom de *mine d'antimoine grise spéculaire de Toscane* (1). Comme nous aurons l'occasion de revenir un peu plus tard sur les variétés de stibine que fournissent les mines de *Pèrèta*, nous nous attacherons en ce moment à spécifier les caractères et les accidents du filon qui nous occupe.

Des travaux considérables exécutés sur les affleurements méridionaux, et poursuivis jusqu'à la profondeur absolue de 50 mètres, ont permis de reconnaître ses allures, sa forme et sa puissance. Ces travaux consistent en quatre puits foncés dans la masse même du filon, et reliés les uns aux autres par un

(1) *Crystallographie*, t. III, p. 54.

système de galeries étagées au moyen desquelles on a pu le recouper à des niveaux différents. Il se compose d'une puissante masse de quartz calcédonieux dont la direction est S.-N. magnétique; il contrarie par conséquent la direction du terrain stratifié dont les couches courent N.-O. S.-E. Il pousse de plus au milieu d'elles des ramifications que l'on voit se prolonger souvent fort loin en dehors du massif principal. En quelques points son épaisseur dépasse 15 mètres; d'autres fois, au contraire, des amincissements la réduisent à 5 ou 6 mètres. Cette irrégularité, commune d'ailleurs aux autres filons de la Toscane, rend le toit et le mur mal définis. Ce double caractère s'efface même entièrement lorsque le macigno sert d'époutes au filon; parce que les actions souterraines ayant converti cette roche en une roche siliceuse régénérée, les limites deviennent incertaines et les lignes de contact se sont évanouies par suite de passages très compliqués. On ne distingue d'inclinaison dans aucun sens, particularité qui, jointe aux ramifications injectées dans le terrain encaissant, assimile le filon à un véritable dycke éruptif. Sa gangue est criblée de cavités irrégulières tapissées de cristaux de quartz hyalin dont les pyramides sont le plus fréquemment seules visibles. Il n'est pas rare cependant de recueillir des prismes terminés à leurs deux extrémités; mais leur forme, qui est la même que celles observées dans les mines du *Campiglièse* et de l'*Ile d'Elbe*, au lieu de se rapporter à un prisme hexaédrique régulier couronné par deux pyramides, représente un prisme à six pans dont chacun est alternativement dilaté ou rétréci, de manière que si à la naissance de la pyramide un de ces pans absorbe la place du pan contigu, il s'efface entièrement dans la pyramide opposée. Aussi celle-ci, au lieu d'être composée de six triangles, n'en retient que trois qui correspondent un par un à la face dilatée du prisme.

L'antimoine sulfuré occupe dans la masse quartzense qui lui sert de gangue des poches plus ou moins considérables qui sont généralement isolées et indépendantes les unes des autres. Or, rien n'est plus variable que le volume de ces cavités. Il en existe de tellement circonscrites qu'elles ne méritent pas d'être vidées; d'autres sont tellement grandes qu'on en a extrait jusqu'à 20 et 40.000 kilogrammes de minerai. En 1842 on découvrit un globe à grandes baguettes divergentes dont le diamètre n'était pas moindre de 3 mètres. Je suis parvenu à retirer de ces fours à cristaux des groupes cristallisés de plusieurs centaines de livres

vraiment splendides, et qui par leur magnificence et leur surprenante disposition éclipsent tous les échantillons de la même substance qui ornent les collections publiques.

La forme cristalline la plus commune se rapporte à des prismes rhomboïdaux terminés par des sommets à quatre faces: ce sont les variétés *quadrioctonale* et *sexoctonale* d'Haüy. Je possède un exemplaire de cette dernière variété qui a plus de 40 centimètres de longueur. Je n'ai observé qu'une seule fois la forme *diocétaèdre* dans un cristal très petit et engagé dans deux géodes qui offrent des groupes fasciculaires d'un sulfure blanc comme l'argent. Ces mêmes géodes, auxquelles je suis redevable de nombreux échantillons de luxe, m'ont présenté quelquefois la forme *périhé-aédrique* très régulièrement conformée; mais elle est rare.

Quelques groupes manifestent une particularité qui se reproduit fréquemment à Péreta et dont je ne connais aucun exemple dans les pièces que j'ai examinées des autres localités, je veux parler des cristaux d'antimoine sulfuré dont le sommet, terminé géométriquement, est ouvert sur un seul côté par un sillon régulier sous forme de gouttière parallèle aux pans du prisme et qui s'arrête après un parcours de plusieurs millimètres. Un de ces échantillons, dont la longueur totale est de 28 centimètres, a la gouttière de 80 millimètres; un autre, dont la longueur ne dépasse pas 11 centimètres, présente une gouttière de 60 millimètres. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que ce sillon, qui met à nu la structure intérieure du cristal, affecte constamment la même position; de sorte que dans un groupe composé de cristaux réguliers, les gouttières se dirigent toutes dans le même sens. Ce curieux accident se répète aussi dans les variétés cylindroïdes et bacillaires qui; après tout, ne sont autre chose que des cristaux déformés. J'ai pensé que cette suture était l'indice d'une division plus complète en deux parties d'un même cristal, ainsi que j'ai pu l'observer sur quelques exemplaires. En effet, un cristal de 30 centimètres de longueur est traversé de part en part à 10 centimètres au-dessus de sa base par une fissure qui, d'abord linéaire, s'écarte de plus en plus et graduellement jusqu'au sommet, de façon à présenter une séparation complète. La face en relief d'une portion du cristal correspond à une face symétrique en creux et en regard dans l'autre.

Vouloir décrire l'agroupement des prismes cristallisés ou
Soc. géol., 2^e série, tome VI.

cylindroïdes que l'on retire des mines de *Péreta*, ce serait s'engager dans une foule de détails inutiles pour la science. Je me borne à dire que le luxe des pièces qui ornent ma collection est bien de nature à satisfaire les exigences du minéralogiste et du cristallographe le plus difficile et le plus passionné.

Ces diverses variétés qui fournissent les exemplaires scientifiques sont ordinairement attachés à des masses plus compactes formées de prismes comprimés et entrelacés qui, lorsqu'ils sont brisés, montrent des plans de clivage tellement brillant, que les objets s'y réfléchissent comme dans un miroir. Ces masses constituent, à proprement parler, le minerai du commerce qui, par son rendement et sa pureté, ne connaît pas de rival au monde (1).

(1) La province du *Grossétano* renferme d'autres filons antimoni-fères, dont l'un, situé sur les bords de la *Fiora*, vers les confins de la Toscane, présente des circonstances assez importantes. Le sulfure, plus compacte que celui de *Péreta*, se trouve engagé dans une argile bleuâtre, provenant de la décomposition des phyllades qui occupent le fond de la vallée du *Tafone*, à cinq milles environ de la forme de *Montauto*. L'attention a été éveillée par la rencontre de blocs énormes roulés, qui, dans le principe, ont alimenté l'exploitation. On a ouvert des tranchées dans les alluvions modernes, suivant diverses directions, et ces travaux préparatoires ont mis à découvert des blocs tellement volumineux, qu'on était obligé de les dépecer sur place, et qu'on ne pouvait les supposer transportés de loin. Depuis on a atteint le gîte et on a pu l'étudier sur un assez grand développement pour être renseigné convenablement sur ses allures générales. Le sulfure forme, à une profondeur de 2 mètres au-dessous des alluvions du *Tafone*, des encroûtements irréguliers saisis au milieu d'une gangue de fer hydroxydé, de manière à constituer avec celle-ci une seule et même masse et un véritable chapeau de filon. Ce magma se montre non seulement dans le bas de la vallée, mais encore il s'attache aux flancs des montagnes voisines, où il est associé avec de la baryte sulfatée stratiforme, et du peroxyde de manganèse. Au-dessous de ces encroûtements, qui fournissent des produits très abondants, on a trouvé, noyé dans les argiles délayables, un sulfure d'une pureté irréprochable disposé en filons entrelacés. Seulement, à cause de la facilité désespérante avec laquelle les argiles se laissent pénétrer par les eaux, le minerai subit une désagrégation presque complète qui permet rarement de l'extraire débarrassé de matières boueuses.

Le minerai trituré peut être considéré comme le minerai des filons normaux et qui se rattachent à la profondeur, tandis que les masses plus solides qui les recouvrent sous forme d'encroûtement représentent des épanchements qui auraient débordé par plusieurs orifices et se seraient modelés d'après le relief du terrain traversé, en prenant à la surface

Les géologues qui ont eu l'occasion d'étudier les grands filons irréguliers de la Toscane, ne sont point étonnés de la puissance de celui de *Péreta* et des variations qu'il peut présenter

la configuration de vastes calottes sphériques. En effet, cette disposition, jointe à l'irrégularité des plans sur lesquels ils se sont assis, trahit clairement les secrets de leur origine, tout en accusant, au moment du remplissage des fentes, une surabondance de matières qui durent s'échapper à la manière des roches semi-fluides, ainsi qu'on en a un exemple frappant au cap *Calamita* (île d'Elbe), où l'on voit le fer oxydulé revêtir plutôt les caractères d'une véritable coulée volcanique que ceux d'un filon ordinaire. L'affluence des eaux au-dessous des encroûtements que l'on enlève jusqu'au niveau du *Tafone*, le recouvrement des terrains par une couche très épaisse de terre végétale et par des forêts impénétrables, ne nous ont pas permis de saisir les rapports d'ensemble auxquels obéissent ces vastes dépôts de minerais. Nous avons pu constater seulement leur importance comme qualité et étendue, sans être bien fixé sur leur richesse et leur continuité en profondeur. Les montagnes de *Montauto* se liant à celles du *Monte-Argentaro*, en partageant tous les accidents de composition. Pour l'appréciation de leur âge, je renvoie au mémoire que j'ai publié sur ce promontoire. (*Bull. de la Soc. géol. de France*, 2^e série, vol. III.)

On a découvert dernièrement, entre *Montauto* et *Péreta*, dans la montagne dite *Poggio-Fuoco*, commune de *Manciano*, un affleurement de quartz calcédonieux analogue à celui de *Péreta* et renfermant aussi par place des nids d'antimoine sulfuré. Cet affleurement dont la puissance est de 80 mètres, si toutefois elle ne les dépasse pas, peut être suivi sur une grande étendue, et sa direction concorde si exactement avec celle du filon de *Péreta*, que le prolongement des deux gîtes se confond dans une seule et même ligne. Aussi, malgré la distance de six milles qui sépare ces deux gisements, nous ne balançons pas à les considérer comme la continuation l'un de l'autre, bien que les portions intermédiaires, par suite de circonstances locales, n'aient pu vaincre la résistance du sol. Un second exemple d'une pareille interruption apparente nous est fourni par une des régions classiques de la Toscane. Nous voyons les filons amphiboleux du *Campiglièse* et de l'île d'Elbe, séparés par le groupe montagneux de *Popolonia*, dans lequel on n'observe aucune trace de filons, bien qu'en réalité la similitude des substances métalliques, des gangues et des terrains montre que les stolkverts de *Monte-Calvi* doivent avoir dans la profondeur les mêmes racines que ceux de *Rio* et du cap *Calamita*.

Enfin, dans le voisinage du golfe de *Procchio* (île d'Elbe), l'existence d'une mine d'antimoine est dénoncée par des blocs épars d'un quartz calcédonieux antimoni-fère.

Les hauteurs qui dominent les alentours du golfe de *Procchio* sont constituées en grande partie par le terrain de l'*alberèse* et par de puis-

dans ses allures. L'ouvrage de M. Barat sur les gîtes métallifères a parfaitement défini les caractères des filons de la Toscane que j'appellerai anormaux, et mis en relief le rôle que la plupart d'entre eux ont joué comme roches éruptives et soulevantes. Cette théorie, dont l'idée première est toute écrite dans la manière dont ils se composent par rapport aux terrains traversés, ne pourrait trouver des incrédules que chez ceux qui n'auraient pas visité les mines de fer de l'île d'Elbe ou les filons amphiboleux du *Campiglièse*.

Les quartz antimonières de *Péreta* se présentent dans des conditions absolument identiques et ont déterminé, dans les points où ils se sont montrés au jour, un champ de fracture dont l'accidentation correspond exactement à l'idée qu'on se fait de leur puissance et de leur action. En effet, il n'y a qu'à examiner la forme extérieure de la masse quarzeuse, au-dessus du torrent du *Tafone*, pour demeurer convaincu qu'après avoir brisé le terrain qui s'opposait à son passage, elle s'est comportée à la manière de dykes plutoniques en assujettissant les couches sédimentaires aux ondulations qu'elle dessine elle-même à la surface du sol ou dans la profondeur. Ce fait est exprimé d'une façon très énergique à la *Valle* ainsi qu'à la *Cava bianca*, où l'on voit les strates de l'alberèse suivre scrupuleusement les contours du filon. Les travaux intérieurs offrent à chaque pas la reproduction d'une semblable disposition; mais il existe d'autres faits généraux qui rendent ce rapprochement plus sensible encore, plus nécessaire même: nous voulons parler des nombreuses ramifications que la masse principale a injectées en diverses directions à travers le terrain encaissant, des émanations antimoniées qu'elle a insufflées dans les fentes envi-

sants dépôts d'un granite porphyroïde tourmalinifère. Vers la campagne de *Massci*, à 400 mètres environ du rivage et au-dessous même de la route qui conduit à *Campo*, on peut observer le contact du granite avec un système de schistes cristallins; de phyllades et de cypolins que l'on suit jusqu'à la naissance de la plaine de la *Pila*. Le filon d'antimoine se trouve précisément logé dans la ligne de séparation des deux terrains; mais vers le sud il pénètre manifestement dans le granite, sans qu'il soit possible de le suivre dans son parcours, à cause des forêts buissonneuses qui recouvrent le sol dans cette partie de l'île, et dérobent à l'observateur les faits géologiques qui peuvent l'intéresser. Toutefois la similitude du minerai et de la gangue de ce dernier gîte avec ceux de *Péreta* et de *Poggio-Fuoco* ne peut laisser des doutes sur leur contemporanéité.

ronnantes, ainsi que des fissures profondes qui, par suite du refroidissement, ont divisé la gangue du filon en fragments polyédriques. Ces diramations, qui s'insinuent quelquefois très avant entre les bancs de l'alberèse, rappellent les phénomènes du même genre qui s'observent dans les dykes ramifiés des spilites de l'Écosse et de l'Estérel. Cette circonstance, mal appréciée dans les débuts de l'exploitation, plaça souvent les travaux en dehors de la bonne voie, et fit croire de plus en plus à des cessations de filon ou à une dissémination capricieuse d'un minerai pour la recherche duquel les règles de l'art étaient impuissantes. Et ce ne fut pas là la seule cause des tâtonnements et des erreurs. Comme le sulfure d'antimoine se trouvait disséminé en petites aiguilles dans le macigno, on suivait très fréquemment ces traces par des galeries que l'on prolongeait en dehors du gîte métallifère. Un examen sérieux des conditions sous lesquelles se trouvait le minerai placé ainsi hors du filon, me démontra que sa présence était due à une sublimation survenue au moment même où la masse quarzeuse vint s'établir au milieu du terrain de craie et condensa dans les fissures qui étaient en communication avec le foyer incandescent les substances éminemment volatiles dont ce dernier renfermait les éléments. Aussi remarque-t-on que, dans ce cas, le sulfure ne pénètre jamais dans l'intérieur du macigno, mais qu'il se loge en aiguilles dans les crevasses de la roche ou entre les joints de la stratification. Il est impossible de se méprendre à de tels caractères sur les causes géologiques auxquelles on doit les rapporter et sur la lumière que leur appréciation jette sur l'origine éruptive de ces filons. On conçoit facilement que le fendillement éprouvé par la masse quarzeuse est une conséquence naturelle de son arrivée à l'état pâteux et de son refroidissement progressif. Les documents qui précèdent résument donc bien les idées que suggère à l'observateur l'étude d'un gîte aussi intéressant, et concourent tous à lui dévoiler le mode particulier de sa formation.

Les effets de contact sont difficiles à constater à cause des altérations profondes que l'action et la chaleur de la *Moffetta* font éprouver continuellement aux roches situées dans le voisinage du filon. Le macigno ayant perdu, jusqu'à une distance assez grande, ses caractères originaux, l'alberèse ayant été le plus souvent convertie en sulfate de chaux, et les schistes marneux, après avoir été lessivés, se transformant en une argile pâteuse ou bien en alunites, ces diverses métamorphoses, on le

comprend, ont effacé les caractères de texture ou autres que les terrains encaissants auront revêtus lors de l'apparition du dyke antimoniifère. Cependant un des puits forés à *Monte Cavallo* pour l'extraction du soufre, a fait connaître un fait remarquable qui démontre que l'alberèse, vers les lignes de contact, a changé non seulement de texture, mais encore a pu se pénétrer d'antimoine. En effet, on a retiré quelques blocs d'un calcaire très blanc, lamellaire, dans lesquels sont engagés des cristaux de stibine de 20 à 25 centimètres de longueur, qui s'entre-croisent dans tous les sens en rayonnant de plusieurs centres communs. Il eût été intéressant, sans doute, d'étudier de plus près les rapports de ces roches imprégnées avec le filon; mais le peu de solidité des travaux encore debout aux souffrières et les atteintes mortelles de la *Moffetta*, ne permettent plus de se livrer à de pareilles investigations.

Le plus grand nombre des filons en Toscane s'observe dans le terrain des schistes cristallins, comme les filons d'oligiste de l'île d'Elbe, ceux de mercure et de galène de *Ripa* et de *Seravezza*, dans les Alpes Apuennes, les filons d'antimoine de *Montauto* et de *Poggio-Fuoco*, — dans des calcaires blancs métamorphiques sur l'âge desquels les géologues n'osent point encore se prononcer, comme les filons du *Campiglièse*, du *Val di Castello* et du *Massétano*, ou bien dans les alberèses, comme les filons du *Massétano*, de *Giumeoglio* dans les Apennins Pistojois. Jusqu'à présent on n'avait cité aucun gîte métallifère dans la partie la plus supérieure du terrain secondaire, c'est-à-dire dans le macigno. Le filon antimoniifère de *Péreta* est, par conséquent, le filon d'origine le plus récent que l'on puisse citer en Italie et peut-être dans les autres parties du monde géologique connu. Pour être bien fixé sur son âge, il eût été nécessaire que l'on connût exactement la place que l'alberèse et le macigno occupent dans l'échelle des terrains stratifiés : et à cet égard l'opinion des savants qui ont traité de cette formation est loin de s'accorder. MM. de Collegno et Sismonda, d'accord avec M. de Beaumont et Dufrénoy, l'assimilent à la craie blanche. M. Pilla en fait un terrain indépendant qu'il a décrit sous le nom de terrain *Etrurien*. Comme en Toscane, le macigno et l'alberèse reposent sur le terrain jurassique ou sur des formations plus anciennes, sans aucun autre intermédiaire ; je n'ose point me prononcer d'une manière absolue sur la valeur des idées émises par les géologues précités. Cependant la présence

des ammonites et d'un lamite dans le macigno ne peut, suivant moi, laisser des doutes sur la position que ces caractères lui assignent dans un des étages de la formation crétacée (1). Quoiqu'il en soit, l'étude des terrains ignés et des filons de la Toscane démontre le peu d'ancienneté des uns et des autres, puisque, d'un côté, l'épanchement des granites de l'île d'Elbe et des serpentines dans les couches de l'alberèse, et que, de l'autre, l'intercalation dans le macigno d'un dyke antimoniifère à *Péreta* et à *Selvena*, dévoilent l'accomplissement de phénomènes énergiques dont la manifestation marque, suivant toute vraisemblance, l'intervalle géologique qui s'est écoulé entre le dépôt de la craie proprement dit et celui des terrains tertiaires.

L'éloignement du filon de *Péreta*, ainsi que des filons antimoniifères plus puissants qu'on observe à *Montauto* et à *Poggio-Fuoco*, de toute masse ignée, ne nous dispensera pas de rechercher ici les rapports théoriques qui rattachent le remplissage de ces gîtes à l'apparition de telle ou telle autre roche plutonique. La concentration du cuivre dans le terrain du gabbro et de serpentine a fait généralement attribuer à ces porphyres magnésiens une influence qu'ils auraient exercée à l'exclusion des roches granitiques qui abondent dans l'île d'Elbe, dans celles de *Monte-Cristo*, de *Giglio*, et, sur le continent, à *Gavorrano*, à *Campiglia* et à *Castagnetto*. M. Burat, qui soutient cette thèse, s'appuie sur l'absence de substances métalliques dans le voisinage ou dans la masse même de ces dernières roches. Cependant cette proposition n'est pas aussi absolue qu'elle ne souffre quelques exceptions dont les observations ultérieures augmenteront successivement le nombre. Nous avons déjà eu l'occasion de citer dans un autre travail les filons de fer encaissés dans les granites de *Pile de Giglio*. Depuis, nous avons constaté un fait identique dans ceux de *Gavorrano*; car à l'entrée même du village de ce nom, le granite porphyroïde passant insensiblement à cette roche vitreuse et quartzifère qui à *Campiglia*, au *Mont Amiata*, à *Rocca-Tederighi* et à la *Tolfa*, ressemble d'une manière si frappante au trachyte, est traversé

(1) Dans mon travail sur le Maroc (*Bull.*, 2^e série. t. IV), j'ai eu l'occasion de discuter la question de l'âge de l'alberèse et du macigno, et de démontrer, je crois, qu'il constituent au-dessous du terrain à Nummulites du Vicentin un système parallèle à la craie de Vaugones ou au calcaire pisolithique des environs de Paris.

par de nombreux filons de fer oligiste et de fer hydraté que l'on voit se croiser sous forme de réticulations à larges mailles. Il existe pareillement à l'île d'Elbe, entre le golfe de *Procchio* et le village de la *Pila*, dans le quartier dit *Collo*, des amas puissants de fer hydroxilé et de manganèse, liés si intimement aux granites qui surplombent ces gîtes qu'on ne saurait raisonnablement séparer les uns des autres. C'est dans le voisinage de ces mêmes dépôts métallifères, mais plus au nord dans le massif de *Monte Capanna*, que j'ai remarqué un filon de fer arsenical dans une gangue quarzeuse attachée à un granite qui lui sert d'éponte. Il serait dès lors injuste de refuser aux roches feldspathiques toute participation dans la production des filons, en les frappant d'une stérilité qu'elles ne possèdent réellement pas et qui est démentie par la présence des gîtes que nous venons de mentionner et surtout par celle du filon d'antimoine de *Procchio* dont l'appréciation intéresse principalement notre travail. Or, en recherchant les relations géognostiques qui peuvent exister entre cette mine et les roches éruptives auxquelles on doit raisonnablement en attribuer l'origine, il serait difficile de ne pas les reconnaître dans ces masses puissantes de granite du groupe occidental de l'île, au milieu desquelles le filon est encaissé. Comme, d'un autre côté, la similitude des produits et des gangues entre le filon de *Procchio* et ceux de *Péreta*, de *Poggio-Fuoco* et de *Selvena*, est complète, il nous semble qu'on ne doit pas balancer à rattacher ces divers dépôts antimonifères à l'apparition des granites en Toscane. Cette induction découle, en outre, de la généralité des faits recueillis dans cette partie de la Péninsule; car s'il est démontré que les gîtes cuprifères appartiennent plus spécialement à la classe des gîtes subordonnés aux masses serpentinesuses, que les gîtes ferrifères de *Rio*, du cap *Calamita*, ainsi que leurs analogues du *Campiglièse* représentent de véritables roches éruptives et soulevantes, postérieures à la formation serpentinesuse (1) dont elles sont, par conséquent, indépendantes, force sera de recourir à l'influence des roches feldspathiques pour expliquer la présence des filons que l'on observe dans le granite même, ainsi que celles des amas métallifères, qui, comme les mines d'antimoine déjà citées et aux-

(1) Il ne faut pas perdre de vue que les granites de l'île d'Elbe ont poussé des filons au milieu de la serpentine, et que par conséquent ils sont postérieurs à la formation serpentinesuse de la Toscane.

quelles on peut ajouter celles de la *Tolfa*, s'isolent des serpentines et semblent se placer sous le patronage des lambeaux granitiques qui se rattachent eux-mêmes aux masses plus colossales de l'archipel Toscan.

L'âge récent des granites de l'île d'Elbe, qui à *San-Ilario* s'introduisent dans les serpentines, est un fait depuis longtemps rendu classique par les écrits de M. Savi. L'existence du filon de *Péreta* au milieu du macigno est un fait unique jusqu'ici et qui concorde admirablement avec le peu d'ancienneté des roches granitiques et porphyriques de la Toscane. En admettant donc la contemporanéité de ces dernières avec une certaine classe de filons, on s'appuie non seulement sur des rapports de dépendance réciproque, mais encore sur l'ensemble des phénomènes observés en Italie comme dans les autres régions du globe, qui nous montrent à côté de chaque formation plutonique des dislocations correspondantes dans les terrains environnants, des remplissages de fentes par des substances métallifères, ou bien l'apparition de certaines masses contemporaines à l'état de dykes éruptifs.

Nous avons dû nous borner à cette exposition succincte des considérations générales sur l'âge du filon de *Péreta*. Il suffit au but que nous nous proposons d'avoir démontré que ce filon est de tous les filons de la Toscane celui dont l'âge est incontestablement le plus récent, puisque le macigno dans lequel il gît est le terme le plus élevé de la formation crétacée, et représenterait même, d'après M. Pilla, une formation intermédiaire entre les terrains crétacés proprement dits et les terrains tertiaires.

Abordons en ce moment la seconde partie de notre Mémoire, celle qui doit nous dévoiler les communications que l'apparition du filon a établies entre l'atmosphère et le foyer des actions volcaniques. Si les Lagoni de la Toscane et la soufrière de *Péreta* se trouvaient, comme la solfatara de *Pouzzoles*, dans le voisinage des volcans ou en connexion avec des coulées de laves, leur histoire se lierait à l'histoire de ces volcans eux-mêmes et se déduirait naturellement des causes bien connues qui leur donnent naissance. Nous savons que dans les champs Phlégréens les fumarolles se dégagent d'un cratère dont la nature volcanique est suffisamment dévoilée par celle des laves dont il est formé. Ces fumarolles, accompagnées de jets de vapeur dont l'intensité est quelquefois très grande, arrivent au jour char-

gées de principes acides qui réagissent sur les éléments des roches qu'ils traversent, engendrent des sels solubles ou facilitent la formation de substances nouvelles. Dans les *Lagoni*, même dégagement de vapeurs brûlantes chargées de gaz sulfhydrique, même réaction sur les roches traversées. Les vapeurs s'échappent par des failles du sol produites évidemment par des dislocations violentes, et leur connexion avec les phénomènes volcaniques, malgré leur éloignement des bouches en activité des régions méridionales de l'Italie, n'est pas moins mise en évidence par l'analogie des produits exhalés. Si nous jetons un coup d'œil sur les alumières de *Montioni*, de *Campiglia*, de *Monte-Rotondo* et de la *Tolfa*, nous retrouvons ces singuliers dépôts reposant au milieu de terrains traversés par de nombreux filons éruptifs d'une origine très récente, et dans des dépendances de position tellement étroites que leurs relations mutuelles frappent tout d'abord l'observateur et s'imposent à son esprit sans qu'il soit nécessaire de demander à des considérations d'un autre ordre l'explication du phénomène; mais nulle part ces relations ne sont mieux exprimées qu'aux soufrières de *Péreta* et de *Selvena*.

Nous avons exposé que le filon antimonifère du valon du *Turbone*, formait au milieu du terrain de macigno une saillie prononcée dont le profil dessinait une portion d'ellipse allongée, ou, en d'autres termes, que le dyke éprouvait vers son centre un bombement avec un double pendage en sens opposé. La soufrière suit exactement la direction du filon, et l'on peut dire que le champ de fracture, déterminé par la violence de sa sortie, a été aussi le théâtre de dislocations à travers lequel ont fait éruption les vapeurs souterraines, de la même manière qu'à la solfatare de *Pouzzoles*, et dans le voisinage des volcans en activité, ces mêmes vapeurs ont suivi les passages que leur avaient frayés des coulées de lave. Aussi les puits que l'on a foncés pour la recherche et l'exploitation du soufre sont-ils tous alignés suivant la direction du filon, et assujettis dans leur distribution à un périmètre fort restreint et constamment rapproché du dyke antimonifère. Les excavations pratiquées à quelque distance des affleurements, soit en-deçà, soit au-delà, n'ont conduit à aucun résultat utile et ont dû être discontinuées. Ainsi, au sud de la poudrière de la mine d'antimoine, c'est-à-dire sur les confins de la propriété du gouvernement, deux puits ont été creusés pour retrouver le prolongement des veines de soufre. On a

travers des couches de macigno et d'alberèse qui n'avaient subi aucune altération et étaient totalement privées de la substance que l'on y recherchait. A quelque distance de ces points d'attaque, vers l'origine des affleurements orientaux, le soufre commence à tapisser les parois des fentes et ne constitue de véritables dépôts qu'à mesure que l'on se rapproche de *Monte-Cavallo* et des régions où le brisement du terrain est plus prononcé, à cause du bombement que nous avons déjà signalé.

Quelle est l'origine du soufre qui s'est ainsi logé d'une manière si capricieuse au milieu du terrain crétacé et qui semble n'être qu'une annexe, qu'un satellite du filon antimonifère? En étudiant attentivement les circonstances qui le produisent encore aujourd'hui, il n'est pas difficile de la retrouver dans le dégagement abondant du gaz sulfhydrique, lequel, s'échappant sans discontinuité à travers les fissures du sol, dépose, par suite de la décomposition qu'il subit par son contact avec l'air atmosphérique, une portion du soufre qu'il renferme. Ce gaz, dont les effets sont désignés par le nom de *Moffeta*, envahit toutes les issues qui lui livrent passage, se loge dans les excavations pratiquées et rendrait toute exploitation impossible sans le système des précautions mis en pratique pour l'expulser des lieux que l'on a l'intention d'attaquer. La mofette s'annonce d'abord par son odeur très prononcée d'œufs pourris, par la chaleur qu'elle dégage et par sa propriété d'éteindre immédiatement les corps enflammés. A la *Cava bianca*, où son développement est surtout énergique, il n'est pas rare de rencontrer des oiseaux qui, en traversant les régions soumises à son influence, y sont tombés asphyxiés. On assure même que des sangliers et des bœufs y sont devenus les victimes de son action délétère. On sait, d'après les expériences de M. Thénard, que les oiseaux périssent dans de l'air qui ne contient pas plus de $\frac{1}{1500}$ de son volume de gaz sulfhydrique, et qu'un chien perd la vie lorsque l'air en contient $\frac{1}{8}$ pour 100. Les hommes seraient exposés à un danger semblable sans les précautions dont ils s'environnent pour s'en préserver.

Comme sa pesanteur spécifique est 1,1912, et comme en vertu de cette propriété il séjourne dans les cavités souterraines, le moyen le plus efficace pour reconnaître sa présence consiste à se faire précéder d'une lumière, ou bien à projeter dans les puits que l'on suppose envahis de la braise, qui conserve son incandescence tant qu'elle parcourt des zones non vicieuses

et qui s'éteint subitement lorsqu'elle pénètre dans la zone occupée par la mofette. Son expulsion par les orifices des travaux ou par les fissures naturelles du sol est singulièrement facilitée par la chaleur qui accompagne son dégagement et qui entretient à la surface un écoulement continu. Il ne m'a jamais été possible de recueillir une série de données précises sur sa température, à cause du courant d'air extérieur qu'on introduit dans les puits et dans les galeries afin de pouvoir y pénétrer sans inconvénients. En 1843, lorsque le gouvernement toscan exploitait encore les soufrières, je descendis par un des puits de *Monte-Cavallo* jusqu'à la profondeur de 146 mètres. La chaleur que l'on ressentait dans la plus basse galerie était suffocante : le thermomètre marquait 52° centigrades. On éprouvait dans la trachée-artère et dans les yeux une irritation violente qui provoquait immédiatement la toux et les larmes, mais après quelques minutes de séjour, ce double malaise perdait beaucoup de son intensité et on finissait par respirer plus à l'aise dans cette atmosphère que la première impression vous fait juger mortelle.

Deux expériences que j'ai faites en 1846 m'ont donné les résultats suivants :

5 mai à 6 heures du soir, le thermomètre marquait à l'ombre 20°,50 ; à la même heure, dans le puits n° 4, à la profondeur de 30 mètres, il marquait 31°,25. Ce puits, destiné à mettre en communication deux étages de galeries, était entièrement envahi par la mofette.

6 mai à 5 heures du matin, le thermomètre marquant à l'ombre 11°, indiquait 19° à la *Cava bianca* dans une cavité pratiquée au milieu de déblais superficiels léchés par la mofette.

La température obéit d'ailleurs à des variations nombreuses occasionnées par la diversité des vents dominants, la disposition du temps et les diverses heures du jour. Ces circonstances extérieures facilitent ou ralentissent l'écoulement du gaz. Bien qu'il soit incontestable que l'intensité de la chaleur augmente avec la profondeur, il est cependant impossible de constater dans quelle progression cette augmentation se manifeste. Les travaux qu'on a exécutés à plusieurs reprises pour la recherche du soufre paraissent avoir eu pour limites celles mêmes qu'une chaleur trop excessive défendait de dépasser, et au-dessous desquelles l'existence des ouvriers était menacée.

Outre le gaz sulfhydrique, la mofette contient encore des

traces d'acide carbonique dont la présence est dévoilée par l'eau de chaux. En 1843, j'avais plongé dans une cavité occupée par la mofette et privée de toute communication avec les travaux balayés par le courant d'air extérieur, un vase rempli d'eau de chaux. Après trente-huit heures de séjour, j'obtins un précipité blanchâtre qui, desséché et soumis aux attaques de l'acide azotique, manifesta une vive effervescence. Comme ce gaz est fort répandu dans la nature à l'air libre et que les volcans et certaines sources le produisent en grande abondance, je ne saurais décider si celui qu'on observe à *Péreta* a la même origine. Toutefois, il me semble plus rationnel de l'attribuer à la décomposition du calcaire alberèse qui, se transformant insensiblement en sulfate de chaux, se laisse dépouiller de son acide carbonique.

La mofette est aussi accompagnée du dégagement d'une quantité très considérable de vapeur d'eau qui, dans les froides matinées de l'hiver, s'élève sous forme d'un brouillard blanchâtre au-dessus des puits et finit par envahir le vallon, en répandant au loin l'odeur de gaz sulfhydrique dont elle est imprégnée. Cette vapeur provient vraisemblablement des eaux d'infiltration qui, pénétrant à des profondeurs où la chaleur est excessive, revêtent la forme gazeuse et sont expulsées, en vertu de la dilatation qu'elles éprouvent, avec les autres produits constitutifs de la mofette. Les arbres, ainsi que les armatures des puits, qui sont exposés à leur passage, se couvrent d'une pellicule noire qui, au premier coup d'œil, fait naître l'idée d'un incendie qui en aurait carbonisé la surface. Toutefois, cette action ne paraît pas s'exercer au détriment de la végétation ; car dans les alentours des mines elle est aussi vigoureuse que dans les autres parties de la Toscane. La mofette possède encore à un haut degré la propriété de noircir les bandes de papier trempées dans une solution d'acétate de plomb, ainsi que les objets d'or et d'argent. Les monnaies mêmes qui, renfermées dans une bourse ou dans les poches paraîtraient devoir être respectées, ne subissent pas moins son influence et se recouvrent d'une patine noirâtre, produit de la combinaison du gaz avec le métal.

L'aria cattiva, pendant les mois d'été, livre les Maremmes au fléau des fièvres intermittentes et nécessite la suspension des travaux depuis juin jusqu'en octobre. Avant de redescendre dans les puits, on est obligé d'en chasser la mofette qui les rem-

plît jusqu'aux orifices. Cette opération consiste à dilater l'air méphitique par le secours d'un réchaud dans lequel on brûle du menu bois, et que l'on fait descendre graduellement dans les puits. Un ou deux ouvriers placés sur les échelles agitent la flamme avec des éventails en carton, et favorisent par cette manœuvre l'introduction de l'air atmosphérique. C'est ce travail qu'ils appellent *battre la mofette*. Lorsque les vents soufflent du côté du nord, la reprise des puits peut s'effectuer dans un seul jour; mais si ce sont les vents chauds qui dominent, le *sirocco* par exemple, la dilatation s'opère avec la plus grande difficulté, et la mofette ne peut être chassée. Dans l'année 1844, on ne fut maître des galeries inférieures qu'après vingt-huit jours de lutte.

Cette opération n'est pas toujours exempte d'inconvénients. Comme le gaz sulfhydrique mêlé à l'air prend feu au contact d'un corps enflammé, on doit la conduire avec prudence afin d'éviter les incendies. En octobre 1845, le feu s'attacha subitement aux armatures d'un puits et se propagea avec rapidité dans l'intérieur des travaux. On fut obligé de fermer hermétiquement toutes les ouvertures extérieures, en y accumulant de la terre. Ce moyen, aidé par les produits de la combustion, qui étaient de l'eau et de l'acide sulfureux, conjura presque immédiatement le danger.

La circulation de l'air atmosphérique dans l'intérieur des travaux est activée par un foyer d'aérage établi au fond du puits par lequel l'air sort de la mine. Cependant, quelquefois le dégagement des gaz est si abondant que ce foyer, lorsque surtout les vents chauds du midi règnent avec quelque constance, ne suffit pas pour chasser de l'air atmosphérique dans les galeries en avancement, bien que les puits, qui sont au nombre de quatre, ne soient pas éloignés les uns des autres de plus de 30 mètres, et que les galeries qui débouchent dans ces puits n'aient guère plus de 25 mètres de longueur avant de communiquer avec les régions aérées; aussi est-on souvent obligé de suspendre certains travaux pendant les journées trop chaudes.

Il eût été intéressant de pouvoir mesurer avec précision la vitesse avec laquelle la mofette se dégage des fissures du sol. Je n'ai jamais eu à ma disposition un instrument qui pût me l'indiquer d'une manière exacte. Pour constater matériellement le fait, je me suis contenté de fabriquer un appareil bien simple, qui consiste en un disque de carte que j'ai découpé en spirale

et que j'ai suspendu, après l'avoir décollé, à une aiguille à tricoter, laquelle faisait ainsi fonction d'axe vertical. Je jugeais par la rapidité du mouvement imprimé à cet appareil de la vitesse relative avec laquelle le gaz s'écoulait des cavités souterraines.

Un des produits le plus immédiat et en même temps le plus intéressant de la mofette, est le soufre. Cette substance se présente en masse compacte irrégulière et en cristaux d'un très petit volume, mais d'une symétrie parfaite, se rapportant généralement à des octaèdres de forme allongée, simples ou modifiés au sommet et sur les arêtes, de différentes manières. Les cristaux tapissent les cavités des roches, s'accrochent à tous les corps et les recouvrent d'un enduit qui miroite vivement lorsqu'on les expose à la lumière. Les poches d'antimoine, traversées par le gaz sulfhydrique, sont badigeonnées par une mince enveloppe de soufre, laquelle, tout en conservant la forme du cristal, en a saupoudré si complètement la surface, qu'on en retire des groupes admirables, qu'on prendrait à la première vue pour des échantillons de soufre en baguettes. Les masses compactes, qui proviennent de la condensation du soufre au milieu des vides préexistants, se présentent au milieu des grès en amas, en veines ou en nids disséminés sans ordre. Elles sont ordinairement souillées par des argiles qu'elles ont reçues des terrains encaissants; et principalement des couches marneuses délayables.

Les travaux d'avancement exécutés à *Péreta*, en dehors du filon antimonifère, conduisent parfois sur des amas boueux dans lesquels le soufre forme un magma onctueux se pétrissant sous les doigts et ne prenant de la consistance que lorsque par son exposition à l'air il a perdu l'eau qu'il retenait. C'est aussi sous cette forme qu'on l'exploitait dans les établissements royaux.

Cette exploitation, très active à l'époque de la domination française, et principalement pendant la guerre avec Naples qui nous privait du soufre de la Sicile, a successivement décliné, et aujourd'hui elle est totalement abandonnée. On a retiré jusqu'à 200.000 quintaux métriques de soufre par campagne de sept mois de travail. En admettant que l'élevation dans les prix des soufres du commerce permit à *Péreta* d'entrer en concurrence, il est fort douteux qu'on puisse désormais pénétrer avec quelques chances de succès dans un terrain qui a été fouillé

dans toutes les directions et qui, à la surface, ne présente que des puits éboulés dont les dépressions cratériformes se touchent ou se confondent. Dans le mois de mai 1846, il survint, entre *Campo alle Fiori* et *Monte-Cavallo*, un éboulement effrayant de terrain qui entraîna la ruine complète de dix puits contigus délaissés depuis une quinzaine d'années. On pouvait pénétrer, en s'accrochant avec prudence à quelques saillies solides laissées en place, jusqu'à la profondeur d'une vingtaine de mètres, et observer par conséquent le travail de la mofette pendant une période de quinze ans. Sans s'arrêter à la transformation des roches en alunite ou en sulfate de chaux, transformation qui pouvait remonter à une époque très ancienne et antérieure à la confection des travaux, mon attention se porta plus spécialement sur la quantité vraiment prodigieuse de soufre qui s'était condensé dans les galeries abandonnées ainsi que dans les fissures de la montagne. Ces dernières surtout offraient un coup d'œil magnifique à cause de leur encroûtement scintillant. Le soufre, grenu et compacte, s'était accumulé dans les galeries ainsi que dans les crevasses du sol, dans lesquelles il avait eu la liberté de se déposer, en telle abondance, qu'on a pu l'en retirer et le distiller avec profit. Le puits aujourd'hui ruiné de *Monte-Cavallo*, que j'ai eu occasion d'étudier en 1843, était arrivé à la profondeur de 150 mètres environ. On avait traversé un système de couches très altérées et composées de calcaires, de marnes, d'alunite, de karsténite et de gypse, au milieu desquelles le soufre était logé sous forme de veines, de filons, de bancs interrompus et d'amas transversaux. L'expérience avait appris aux ouvriers que la rencontre de la karsténite, qu'ils désignent par le nom de *Marmorone*, était un indice presque infaillible de la présence du soufre. J'eus occasion de m'assurer moi-même de l'exactitude de cette observation, à laquelle, dans le principe, je n'attachais pas l'importance théorique qu'elle a acquise depuis à mes yeux.

La production du soufre par la décomposition du gaz hydrogène sulfuré dans la solfatare de *Pouzzoles*, et par un procédé analogue à celui qu'on remarque dans les eaux thermales et hépathiques, est un fait solidement établi par les observations de Breislack (1). Ce naturaliste a démontré que la cristallisation de cette substance s'opérait toujours à l'air libre ou bien dans

(1) Voyez ses *Voyages physiques et lithologiques dans la Campanie*.

des cavités souterraines en communication avec l'air atmosphérique. Cette théorie est en accord parfait avec ce qui se passe à *Péretta*, et de plus trouve une confirmation éclatante dans la formation du soufre qui s'opère à la surface du sol à la *Cava bianca*, où on le voit se reproduire presque immédiatement après chaque récolte enlevée. C'est qu'à la *Cava bianca* le dégagement de la mofette est beaucoup plus actif que sur tout autre point des souffrières, et la reproduction du soufre s'opère avec une célérité et une abondance sans exemple ailleurs. À *Péretta*, la masse de soufre est plus considérable qu'à *Pouzzoles*; mais la différence dépend peut-être d'une question de profondeur; car, si à *Péretta* on peut atteindre jusqu'à 150 mètres au-dessous du sol avec une température de 52° seulement, à *Pouzzoles* des tentatives pareilles seraient impraticables, parce que les courants impétueux de vapeurs animées d'une chaleur de 77° Réaumur (92°.50 centig.) élèvent des obstacles invincibles qui ne permettraient pas de rechercher ce minéral, en supposant même qu'il existât en quantité suffisante dans la profondeur. Breislack a constaté par des expériences directes qu'à *Pouzzoles* une partie du soufre était apportée par voie de volatilisation. Bien que sa formation par sublimation ne répugne nullement à la doctrine admise sur l'incandescence intérieure du globe, on doit néanmoins convenir qu'à *Péretta* le degré de chaleur mesuré aux lieux mêmes où le soufre se dépose journellement n'est pas assez élevé pour en provoquer la volatilisation (1), tandis que sa présence dans l'hydrogène sulfuré et sa séparation au moyen de la décomposition de ce gaz est un fait bien établi qui dispense de recourir à toute autre explication.

Depuis longtemps le même géologue avait reconnu que le gaz sulfhydrique, en se mêlant avec l'air atmosphérique, se décomposait, que le soufre se déposait en partie sur les rebords des fumarolles et se changeait en partie en acide sulfurique, en s'unissant à l'oxygène de l'atmosphère (2). Breislack, dans ses *Institutions géologiques* (3), imprimées trente ans plus tard, revenant sur la même question, annonça que si l'hydrogène sulfuré n'est pas accompagné de beaucoup de chaleur on ne voit alors ni eau ni soufre, mais qu'il se forme de l'acide sulfu-

(1) La gazéification du soufre, d'après Berzélius, exige une température de 316°.

(2) Voyez ses *Essais minéralogiques sur la solfatare de Pouzzoles*.

(3) Tome II, page 224.

rique, et que les parois du lieu où les émanations se répandent se couvrent d'efflorescences salines, c'est-à-dire de sulfates d'alumine, de fer et de chaux, substances produites par la combinaison de cet acide avec les bases terreuses contenues dans les matières volcaniques. On observe des phénomènes de même nature dans le voisinage des eaux sulfureuses et entre autres de celles de *Mondragon*, dans le royaume de Naples, qui ont la propriété de couvrir d'efflorescences gypseuses, alumineuses et ferrugineuses, parsemées de poussière de soufre, les pierres calcaires et les tufs volcaniques qui les avoisinent. Le seul principe volatil qui se dégage de ces eaux est l'hydrogène sulfuré, et celui-ci suffit pour donner naissance aux sulfates de chaux, d'alumine et de fer ainsi qu'au soufre en nature.

La théorie que Broislack formulait pour la formation de ces produits, pour ainsi dire accidentels, s'applique à *Péreta* à des produits identiques, mais qui se sont développés sur une échelle bien plus vaste et dont l'abondance tient probablement à la composition particulière des roches sous lesquelles se sont exercées les réactions métamorphiques et à l'énergie de ces mêmes réactions. La présence de l'acide sulfurique mêlé aux eaux qui suintent des voûtes des galeries et des crevasses du sol, est bien connue des mineurs à cause de ses effets violents sur l'économie animale. Les chantiers envahis par cet acide, qui est désigné sous le nom d'*aqua forte*, doivent être attaqués avec la plus grande circonspection, car l'introduction de quelques gouttes dans les organes de la vue en détermine la perte immédiate. Les étoffes soumises à son contact ou à ses éclaboussures se détruisent ou perdent immédiatement leur couleur. Dans les grottes ouvertes au-dessus de *Campo alle Fiori*, ainsi qu'à la *Cava bianca*, l'acide sulfurique qui filtre à travers les interstices des roches tombe en partie sur les planchers des galeries, ou bien en lèche les parois en convertissant les roches soumises à son contact immédiat en sulfates de chaux, d'alumine et de fer, suivant la nature des éléments constituants. La karsténite, qui n'est autre chose qu'une portion du calcaire *alberèse* modifiée par les attaques incessantes de l'acide sulfurique, est mêlée de bancs de gypse. Elle présente une couleur plus bleuâtre, une texture lamellaire et serrée et une ténacité assez grande. Le gypse, au contraire, a une structure plus saccharoïde, s'égrène facilement sous la pression des doigts et se montre cristallisée en lames entrelacées dont quelques unes laissent voir une disposition lenticulaire. Les argiles alternantes contiennent

aussi quelques cristaux de selénite trapézoïenne. Il n'est pas rare d'observer dans ces deux sulfates quelques veines de quartz amorphe qui, dans certaines cavités géodiques, tend à une disposition cristalline, double particularité qui rappelle jusqu'à un certain point les lits de silex que l'on remarque dans les gypses tertiaires et les cristaux de quartz des dépôts anomaux gypseux de la formation du trias dans le midi de la France.

La conversion du calcaire en gypse n'est point admise ici par induction, comme elle pourrait l'être pour les gisements des Alpes provençales et dauphinoises; elle résulte d'une opération chimique qui, se continuant encore aujourd'hui sous nos yeux, peut être suivie dans sa marche, dans ses progrès et être soumise au contrôle de l'observation directe. En effet, à la *Cava bianca* et au nord des établissements royaux, à quelques centaines de mètres de la poudrière, il existe une dépression dont les parois, blanchies par le passage de la mofette, se laissent distinguer de loin. Des couches de silex carié qui en constituent la charpente supportent la formation de l'alberèse que l'on voit s'étendre de là sur les coteaux voisins. Les portions qui ont été soumises à l'action de la mofette se convertissent graduellement en sulfate de chaux, et les points d'attaque sont nettement indiqués dans les fissures à travers lesquelles le courant s'échappe avec le plus de facilité. Cette métamorphose s'opère lentement et respecte dans toute leur intégrité les caractères primitifs de la stratification; des gerçures, quelques bombements s'aperçoivent bien, il est vrai, çà et là, mais cet accident est dû à un gonflement, résultat inévitable d'une transmutation qui, apportant des principes nouveaux, augmente le volume des roches et tend à leur imprimer une dilatation uniforme dans tous les sens. Pour peu que des obstacles s'opposent à cette dilatation, il doit se produire des tuméfactions par suite des pressions inégales. Les détails de la transmutation sont encore plus nettement exprimés dans les fragments d'alberèse que le ruisseau ou des éboulements ont amenés dans le courant de la mofette. En brisant les débris un peu volumineux, il n'est pas rare d'en trouver le centre intact, tandis que l'extérieur, jusqu'à une profondeur qui varie suivant l'intensité de l'action métamorphique et la durée de leur immersion dans le gaz sulfhydrique, est converti en sulfate de chaux. La couleur de la roche, de bleuâtre qu'elle était originairement, devient blanche et se nuance parfois de tri ou rougeâtres dues à la peroxydation du fer que ces roches contiennent toujours en proportions variables. Si la forme se

conserve la même, la structure subit une modification remarquable, en ce sens que, les surfaces se trouvant également attaquées par tous les points, la conversion s'effectue avec uniformité par zones concentriques très rapprochées et alternant avec des lignes plus obscures qui semblent indiquer des temps d'arrêt. Ces enveloppes s'appliquent exactement sur le noyau central du calcaire et en suivent les contours avec fidélité. Lorsque la masse entière est passée à l'état de gypse, l'existence de galets gypseux transportés souvent à une certaine distance par les eaux du *Turbone* embarrasserait sérieusement le géologue, si leur configuration rubannée, ainsi que la nature des procédés mis en œuvre, ne fournissaient immédiatement la solution du problème.

Il serait difficile de citer une localité plus intéressante que *Péreta* pour l'observation et la constatation de ces faits curieux. La solfatare de *Pouzzoles* offre bien, il est vrai, des exemples d'une pareille métamorphose; mais comme le gypse qu'on y remarque ne provient guère que des particules calcaires mêlées aux tufs volcaniques, ou de la chaux soustraite par l'acide sulfurique aux laves décomposées, on peut dire que le phénomène se réduit, comparativement du moins, aux proportions d'une expérience de laboratoire; mais à *Péreta*, où la solfatare s'est ouverte au milieu d'une formation calcaire, la *gypsification* s'opère sur une échelle si vaste que si, par la pensée, on supprime les dégagements actuels de gaz sulfhydrique, on aura sous les yeux un dépôt gypseux qu'il serait difficile de distinguer des dépôts anomaux des Alpes, bien que la date de ces derniers remonte à un âge du globe très reculé. Au N.-E. de la *Cava bianca*, dans une grotte ouverte au-dessous de l'escarpement qui domine le ruisseau du *Turbone*, on reconnaît encore, dans les argiles noires qui alternent avec les couches de gypse ou qui pénètrent dans leur masse, les caractères généraux de la stratification. On peut y suivre de l'œil le mode suivi dans ce changement en grand de la composition des roches, changement qui s'est opéré par une espèce de cémentation lente et progressive à laquelle est due la conservation des formes extérieures.

Nous avons dit que la rencontre du gypse et de la karsténite dans les galeries de recherche, était un signe avant-coureur et presque infailible de la présence du soufre. Pareillement à la *Cava bianca*, le gypse que nous avons vu s'y former est accompagné d'une si grande abondance de ce minéral, qu'on le récolte à la surface même du sol où il se reproduit sans interruption. Il est

facile de se rendre compte de cette association. En effet, si l'hydrogène sulfuré est le seul agent que la nature ait employé pour la formation du gypse et du soufre, nous devons admettre que les dépôts de cette dernière substance sont le résultat de la décomposition du gaz sans le contact de l'oxygène, dans laquelle l'hydrogène aura été mis en liberté, tandis que, dans les circonstances favorables à l'oxygénation du soufre, il y aura eu production d'acide et, par suite, de sulfate de chaux, si l'acide a réagi sur des roches calcaires. Lorsque le soufre se montre associé au gypse, la seule conséquence qu'on puisse tirer de cette réunion conduit à reconnaître que, sur les points traversés par un courant énergique de gaz sulfhydrique, une partie du soufre, par l'action de quelque substance qui en aura séparé l'hydrogène, se sera précipitée et l'autre portion se sera transformée en acide sulfurique. Cette théorie, appuyée sur l'observation, explique les faits d'une manière si simple et si rationnelle qu'elle se présente d'elle-même à l'esprit et que les ouvriers qui n'avaient pas à remonter à l'origine des choses, avaient été cependant frappés de leur manifestation matérielle et s'en servaient comme d'un caractère qui les dirigeait dans leurs recherches et trompait rarement leurs espérances.

Il existe une autre substance qui accompagne le gypse et qui, comme lui, est produit par les réactions de l'acide sulfurique. Cette substance est l'*alunite*. On la reconnaît à sa blancheur et principalement à la propriété qu'elle possède, après avoir été calcinée, de se dissoudre dans l'eau et de donner naissance à de l'alun. Elle fait partie constituante du terrain d'albérèse et elle représente les couches de schistes de la même manière que les gypses représentent les couches calcaires. On peut en observer un bel exemple au-dessus de la *Cava bianca*, où une coupe naturelle offre l'alternance plusieurs fois répétée de schistes silicifiés, d'alunites, d'argiles blanchâtres et de gypses. Ce minéral, qui, à *Montioni*, a été, dans les temps anciens, l'objet d'une exploitation très active, n'a jamais été jugé digne d'être recherché à *Péreta*, à cause de son mélange avec des argiles non alunifères et de sa faible teneur en alun. La pureté des aluns de Rome et de Toscane leur avait attiré une juste réputation qui n'a plus fait fortune, dès qu'on eut l'idée de les fabriquer de toute pièce. En réalité, ils sont exempts de la ferrugine, tandis que ceux des autres provenances en contiennent toujours une faible quantité dont l'influence est nuisible sur les

couleurs. Cette qualité me paraît dépendre de leur mode de formation : voici du moins ce que j'ai observé à *Péreta*.

L'acide sulfurique provenant de la décomposition de l'hydrogène sulfuré, convertit, ainsi que nous l'avons vu, les calcaires en karsténite ou en gypse, et les schistes subordonnés en alunites insolubles, lorsque leurs éléments constitutifs se prêtent à cette transformation. Le même acide réagit aussi sur les oxides de fer qui colorent et les calcaires et les schistes, et il forme avec eux un sel éminemment soluble que les eaux dissolvent et emportent à mesure qu'il est formé. Comme ces attaques et ces lessivages sont permanentes, elles finissent par enlever tout le fer que ces roches contenaient. Aussi les pierres d'alun de la *Tolfa*, de *Montioni* et de *Péreta*, dont l'origine par l'intermédiaire du gaz sulfhydrique est bien évidente, ne conservent plus que leurs éléments insolubles. Il resterait à rechercher la cause de cette insolubilité que la calcination seule fait disparaître ; et on pourrait la trouver dans la propriété que possède l'alunite de se séparer, à l'aide du grillage, de l'excès d'alumine qu'elle renferme ; or l'alun cristallisé ne contient que 10.82 pour cent d'alumine, tandis que dans l'alunite, cette base s'élève jusqu'à 20 à 43 pour cent (1).

Comme les schistes renferment de la silice, que l'acide sulfurique respecte, celle-ci se trouve disséminée dans la pierre d'alun à l'état de mélange mécanique, ou bien elle se groupe en noyaux plus ou moins volumineux qui donnent à la masse une apparence bréchiforme. Mais cet agroupement a exigé que la silice ait subi une dissolution préalable qui ait ensuite permis aux molécules de se pelotonner autour de divers centres d'attraction. Or, nous savons que les vapeurs animées d'un certain degré de chaleur jouissent de la propriété de dissoudre la silice, et ce phénomène est bien connu dans le voisinage des geysers, ainsi que dans les contrées volcaniques de la Campagne (2). Il se reproduit à *Péreta* avec des caractères d'évidence

(1) La pierre d'alun contient en effet, avant calcination, l'acide sulfurique, l'alumine et la potasse, mais non point l'alun tout formé. Par la calcination l'alun se produit et l'excès d'alumine se précipite. On sait aussi qu'en fournissant à une dissolution d'alun ($3 \text{ So}^3 + \text{Al. O}^3$) un excès d'alumine ou de potasse, il se précipite un nouvel alun dit *alun basique*, représenté par la formule $\text{So}^3 + \text{Al. O}^3$.

(2) La rédaction de ce mémoire remontant aux premiers mois de l'année 1846, je n'ai pu profiter des observations intéressantes que

tellement convaincants, surtout quand on l'observe sur les grès, qu'on ne saurait en contester l'authenticité. En effet, les noyaux dont nous parlons offrent dans leur intérieur ces fendillements, ces gerçures, ces lignes de retrait qui dénotent que la matière a été amenée préalablement à l'état de dépôt gélatineux. Il n'y a qu'à suivre le prolongement des couches alunifères et quartzifères dans les portions du terrain placées en dehors de l'influence de la mofette, pour les voir reprendre leurs caractères originaires, sans qu'elles présentent ces amygdales de quartz noyées au milieu des schistes, bien que les unes et les autres appartiennent à un même système, à un même tout continu et indivisible. La *Cava bianca* nous montre aussi des exemples en grand de la transformation des schistes crétacés en alunites et en schistes siliceux. Ces derniers ont conservé leurs formes primitives avec tant de netteté que leur seule inspection suffit pour dévoiler le calme avec lequel s'est pratiquée leur silicification. La continuation de ces opérations singulières dans les couches que la mofette assujettit progressivement à son influence, donne la traduction des causes analogues par lesquelles les couches inférieures ont subi cette régénération moléculaire qui, en présence de nouvelles forces, de nouveaux éléments, obligeait chaque particule à changer de nature, à modifier sa texture, en conservant cependant la même configuration extérieure. A la première visite, l'observateur éprouve quelque embarras avant de pouvoir débrouiller le chaos apparent de ces

M. Damour vient de consigner sur la composition des eaux des geysers d'Islande, ainsi que de l'explication qu'il donne sur la précipitation de la silice. (*Bulletin de la Société géologique*, 2^e série, tome V.)

On sait que ces eaux brûlantes renferment des sulfures alcalins, et M. Damour a démontré que la présence d'un excès de soufre dans une dissolution alcaline siliceuse détermine la séparation de la silice, aussitôt que la température de cette dissolution devient inférieure à -70° . Il est donc rationnel d'attribuer la formation continue de la croûte des geysers à la saturation progressive de l'alcali qui sert de dissolvant. On conçoit très bien que le soufre ou l'acide sulfhydrique contenu dans ces eaux, s'unissant à l'oxygène de l'air, passe à l'état d'acide sulfureux, d'acide sulfurique, et sature peu à peu l'alcali.

Or, la formation permanente des alunites au milieu des roches qui renferment de la silice régénérée, dans les solfatares et les lagoni de la Toscane, dénote clairement que ce dernier minéral prend naissance au sein d'un liquide alcalin et que sa précipitation est réellement due à l'action du soufre en excès que la mofette lui fournit en abondance.

produits divers dont les caractères s'écartent tant des caractères géologiques normaux. Ainsi, suivant la prédominance des éléments primitifs, telle couche aura été silicifiée sur un point, tandis que, sur un autre, elle aura été convertie en pierre d'alun. La gypsification, le changement des schistes en alunites, au lieu de s'opérer suivant les plans de la stratification, se seront produits avec plus d'énergie autour des canaux qui livraient passage au courant de la mofette et auront alors modifié le terrain dans un sens limité et vertical, d'où des brouillages, des mélanges de toutes sortes de roches qui prêtent singulièrement à la confusion. Nous avons vu les alunites de la *Cava bianca* renfermer presque constamment des rognons de quartz provenant de la séparation des molécules siliceuses, au moment de leur dissolution et de leur agrégation par la force de l'affinité chimique. A côté, ce sont des schistes dans lesquels la silice prédominait, devenus presque entièrement siliceux, mais renfermant en grand nombre des fragments anguleux d'alunite qui représentent les portions des schistes dont la composition se prêtait à la formation de cette substance, et qui se sont trouvés comme emprisonnés dans une gangue qui, étant primitivement de nature différente, n'a pu se plier à des transformations du même genre. Nous devons nous borner à esquisser ici la physionomie de ces produits intéressants; car, si nous voulions décrire en détail les accidents minéralogiques qui relient les deux extrêmes des séries métamorphiques, nous serions obligé d'entrer dans des développements étendus qui n'ajouteraient rien au mérite de notre travail.

L'examen des couches mises à découvert par les travaux exécutés dans la mine d'antimoine vous initie avec d'autant plus de fruit à la connaissance de ces métamorphoses variées que, suivant que le filon qui coupe successivement tous les termes de la formation crétacée se trouve en rapport avec les bancs calcaires, le macigno ou les schistes alternants, le passage des vapeurs à travers les plans de contact et les fissures du sol donne naissance aux changements correspondants à ceux que nous avons signalés à la *Cava bianca*. Le macigno subit en quelques points une silicification si complète qu'il semble faire partie constituante du filon lui-même et que plus d'une fois il a engagé à pousser des galeries à travers bancs. On abattait alors du quartz calcédonieux sans minéral. En examinant au jour les déblais, on voyait le macigno, que ses paillettes de mica rendent si reconnaissable, perdre insensiblement ses caractères ordinaires et passer à un silex brunâtre souvent rubanné, comme si la disso-

lution de la silice et sa régénération se fussent opérés par zones. Quelquefois ces silex, produits constamment au détriment de la silice du macigno, courent au milieu du grès en veines irrégulières qui s'entre-croisent dans tous les sens et représentent microscopiquement un stockwerk dont les ramifications enclavent des portions de la roche qui n'ont subi aucune altération. Seulement il existe entre le grès et ces veines une fusion si intime qu'il est impossible d'y remarquer les moindres traces de séparation, et on se convainc que les réticulations occupent les lignes qui auront favorisé le jeu des affinités chimiques en livrant un passage plus facile à l'agent dissolvant.

Comme dernier exemple de silicification, nous citerons une substitution fort remarquable de la silice et de l'antimoine sulfuré dans laquelle le quartz calcédonieux, dans quelques poches à cristaux traversés par la mofette, chasse successivement les molécules du minéral pour prendre sa place, en en conservant exactement la forme extérieure. On obtient de cette manière des groupes magnifiques de quartz bacillaires, à structure flabelliforme ou entre-croisée. L'épigénie n'ayant pas affecté uniformément toute la masse, il n'est pas rare d'observer sur le même échantillon des cristaux d'antimoine dont une portion seulement a été silicifiée.

La présence de l'*alunogène* en veines composées de fibres parallèles, de l'*alun de plume*, ainsi que de l'*alun* au milieu des argiles traversées par le gaz sulfhydrique, constitue des accidents de peu de valeur dont l'origine se déduit naturellement des causes que nous avons décrites. Nous nous contenterons donc de citer pour mémoire les galeries du *Campo alle Fiori*, comme la localité où ces sels abondent le plus.

Les macignos dans lesquels se manifeste un principe d'altération se remplissent de cristaux de fer sulfuré qui, à leur tour, par leur exposition à l'air, se convertent d'efflorescences salines et se convertissent en sulfate de fer. En poussant une galerie de communication entre les puits n° 2 et n° 3, on rencontra intercalée entre un banc de quartz métamorphique et un banc d'argile une masse de pyrite d'une puissance de plus de 40 centimètres et qui semblait avoir coulé sur le plan de la couche inférieure. Elle était formée d'une série de plaques parallèles de 2 à 3 millimètres étagées les unes au-dessus des autres et présentant des intervalles vides de pareille dimension. Les surfaces de chaque bande subissaient des inflexions légères, comme si elles eussent été bosselées. De plus, elles reflétaient un brillant métallique

semblable au poli du bronze. La cassure transversale laissait apercevoir des fibres extrêmement déliées perpendiculaires aux plans des surfaces, mais dont la direction ne correspondait point avec celle des étages contigus. Lorsque, par suite d'un rapprochement plus complet, les bandes finissaient par se toucher, on apercevait néanmoins de distance en distance des lignes nettement accusées de séparation. Aussi elles se débitaient sous le marteau en plaques minces feuilletées et d'une égale épaisseur. Cette disposition panniforme suffirait déjà pour nous dévoiler l'origine de ce sulfure par la voie humide et par un procédé analogue à celui qui donne naissance aux stalactites calcaires dans les cavités des montagnes. Un trait de ressemblance de plus est indiqué par la disposition tuberculeuse que la pyrite prend dans les vides qu'elle rencontre. On observe, en effet, à la base des dépôts qu'elle constitue, ces mamelons sous forme de cornets emboîtés les uns dans les autres. Dans ce cas, les fibres qui rayonnent autour d'un centre commun sont perpendiculaires à l'axe de ces tuyaux coniques ou cylindriques.

L'abondance du fer sulfuré dans les terrains sédimentaires nous dispense de discuter si l'origine des masses qu'on remarque à *Péreta* est due à une sublimation ou à une précipitation par la voie humide. Une discussion de cette nature serait d'autant plus superflue que la chimie nous enseigne qu'on peut obtenir du sulfure de fer en exposant de l'hydrate de fer à un courant de gaz sulfhydrique ou bien par le moyen d'une dissolution de sulfate de fer dans une dissolution de sulfhydrate. Or, la composition de la mofette se prête admirablement à des réactions de ce genre, car elle renferme tous les éléments exigés.

Pour en finir avec les produits observés dans la solfatara de *Péreta*, il nous reste à mentionner les changements apportés à la surface des cristaux d'antimoine sulfuré léchés par la mofette. Ces cristaux se recouvrent d'une couche plus ou moins épaisse d'une substance rougeâtre sous laquelle disparaît l'éclat métallique du minerai. Cette substance est un oxisulfure connu en minéralogie sous le nom de *Kermès*, et elle a pour formule $Sb + 2 Sb So^3$. Rose est le premier chimiste à qui on soit redevable des notions exactes que l'on possède sur la composition de cette espèce minérale, laquelle offre une combinaison en proportions définies de l'oxide d'antimoine avec le sulfure. Quelquefois l'épigénie dévore la substance des cristaux et leur communique une fragilité si grande qu'il devient presque im-

possible de les enlever intacts de la mine et de les conserver dans les collections. J'ai pareillement recueilli des groupes de quartz cristallisé dont la surface était recouverte d'une pellicule de kermès. On dirait qu'ils avaient été enduits d'un vernis rougeâtre.

Telles sont les observations que j'ai pu faire à *Péreta* et dont j'ai présenté une analyse succincte dans ce travail. J'aurais dû m'appesantir peut-être un peu plus sur certaines particularités relatives au métamorphisme, puisque la nature me livrait, pour ainsi dire, le secret de ses opérations. Mais les opinions des savants qui ont introduit cette hardie et brillante théorie, n'étant plus entachées d'hérésie, comme elles pouvaient l'être il y a quelques années, je me suis borné au simple exposé des faits, en me félicitant néanmoins de l'avantage que m'ont offert les circonstances de pouvoir étudier avec toute l'attention désirable un gisement si remarquable et qui, en enrichissant la science d'un nombre si considérable de documents nouveaux, les livre sous la garantie d'un contrôle sévère, et, qu'on me passe l'expression, avec les pièces justificatives à l'appui.

§ 2. — Solfatare de Selvena.

Selvena est une bourgade située à cinq milles environ de *Santa-Fiora*, entre cette commune et celle de *Sorano*, sur la berge gauche de la vallée de la *Fiora* et sur un des contreforts méridionaux du groupe montagneux de l'*Amiata*. Cette localité avait joui de quelque célébrité dans le siècle dernier, à cause de ses mines de soufre et de mercure et de ses fabriques de vitriol. Le désir de comparer ce gisement à celui de *Péreta* me détermina à visiter cette contrée. Depuis *Péreta* jusqu'à *Selvena*, le terrain dominant que nous traversâmes fut le terrain à *fucoïdes Targioni*, lequel, sur les bords du fleuve *Albegna*, disparaît sous quelques dépôts tertiaires. A *Saturnia*, vieille cité étrusque dont les murs sont encore debout, ces dépôts sont couronnés par un escarpement de travertin à couches puissantes, formant au-dessus des argiles sous-jacentes un flot auquel *Saturnia* devait sa forte position. Au nord du hameau les *Capanne*, entre l'*Albegna* et la *Fiora*, nous rencontrâmes quelques pointements de calcaire jurassique et quelques plaques de molasse subapennine pétries de fossiles. Toutefois ces terrains, plus anciens ou plus modernes que le terrain de craie, se constituent que des exceptions de peu de valeur, mais tou-

jours agréables aux géologues qui voyagent à pied. Nous traversâmes la *Flora* au-dessous de *Catabbio*, et après avoir cheminé dans son lit pendant une heure à peu près, nous gagnâmes la berge droite de la *Canale*, torrent qui descend du versant occidental de la montagne du *Castelazzara*, et nous arrivâmes à *Selvina*.

Notre première visite eut pour objet la reconnaissance des soufrières. Elles sont situées à 500 mètres environ de la maison curiale, dans la direction des antiques et imposantes ruines du château féodal de *Selvina*. Leur présence est annoncée par une odeur très prononcée d'hydrogène sulfuré et par des couches de gypse subordonnées aux fissures du sol traversées par le courant de la mofette. Leur origine épigénique est clairement dévoilée par leur encaissement dans un système de bancs calcaires et par leur soudure avec ces bancs eux-mêmes, lesquels, intacts dans le couronnement des buttes que l'on voit se dresser sur la droite, passent insensiblement à la pierre à plâtre dans les parties plongées dans les vapeurs méphitiques. S'ils montrent quelques traces de gypse en dehors de ces parties, on les remarque sur les parois des crevasses par où s'échappe le gaz sulfhydrique (fig. 2). Le gypse, qui s'est développé au sein des

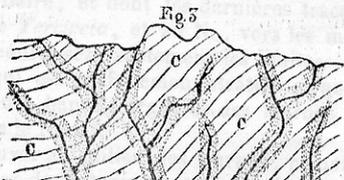


Fig. 5
Gypsification progressive du calcaire crétacé
CC à l'entour des fissures traversées par
la mofette.

argiles noirâtres de l'albérèse, revêt une forme cristalline plus prononcée. On y remarque des cristaux lenticulaires et des masses lamellaires et brillantes (1). A l'entour de ces buttes

(1) Comme une partie de ces caractères se retrouve dans les gypses à bancs interrompus des argiles du terrain tertiaire de la Toscane, que quelques géologues, et notamment MM. Savi et Collegno, ont considérés comme un produit métamorphique postérieur au terrain qui les contient, il est utile de se prémunir contre un rapprochement de cette nature, qui tendrait à réunir deux choses parfaitement distinctes. Dans le mémoire que nous avons publié sur les terrains tertiaires de la Toscane (*Bull.*, 2^e série, tome I, page 424), nous avons

gypseuses, on voit les vestiges de quelques halles et de deux puits à moitié comblés, très rapprochés l'un de l'autre et ayant

démontré que ces gypses, signalés comme métamorphiques, étaient au contraire régulièrement stratifiés, et que leur disposition en rognons, dans quelques cas exceptionnels, était due à la facilité qu'avaient eue leurs éléments, lorsqu'ils étaient en solution dans les eaux, de se pelotonner en cristallisant librement au milieu des argiles. La coupe de *Fonte-ai-Bagni*, dans le *Volterrano*, fournissait à cet égard un argument péremptoire. Mais il existe une autre localité dans laquelle ce fait de la stratification du gypse et de son alternance avec des marnes fossilifères lacustres, est exprimé avec tant d'évidence et sur des proportions si gigantesques, qu'elle rappelle les gisements de Montmartre et d'Aix, avec lesquels elle offre la plus grande analogie. Cette localité est la *Castellina maritima*, celle qui fournit exclusivement les blocs d'albâtre blanc translucide, dont l'exploitation donne lieu à un commerce très actif. Les terrains qui renferment les gypses appartiennent à l'étage ophiolitique de M. Savi, et sont une continuation de la ceinture qui recouvre les flancs de la chaîne serpentineuse de *Monte-Catini*, de *Miêmo* et de *Monte-Vaso*.

Dans les carrières ouvertes au-dessus de la *Maesta*, on exploite quatre bancs de gypse séparés par autant de bancs de marnes. Voici quelle en est la puissance :

1. Banc de gypse, affleurant à la surface, peu riche en albâtre	2 ^m , 92
Couches de marnes	» 38
2. Banc de gypse, riche en albâtre	3 50
Couches de marnes	» 58
3. Banc, avec albâtre très estimé.	4 96
Couches de marnes	» 58
4. Banc, avec albâtre de première qualité, mais peu abondant.	7 07
Couches de marnes (puissance inconnue) . .	? ?
Puissance totale.	<u>20 49</u>

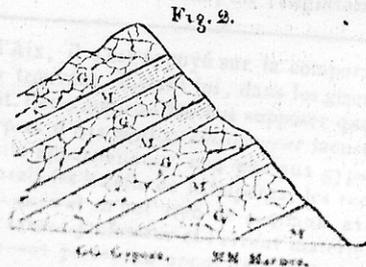


Fig. 2.
Le gypse dont sont formés les bancs est d'un gris sale, un peu

servi à l'extraction du soufre. A en juger par la faible quantité de débris épars, et d'après les renseignements fournis par le

foncé, et il est composé de cristaux lenticulaires entrelacés, d'une dimension peu considérable. Cette variété est désignée par les ouvriers par le nom de *panchina*. C'est au milieu de cette *panchina* que sont noyées les masses d'un gypse blanc, translucide, passant graduellement au gypse lenticulaire, et représentant autant de centres distincts qu'une force attractive semble avoir obligés à s'isoler et à cristalliser dans des conditions particulières. Le mode d'extraction des blocs utiles consiste à abattre la *panchina* avec le secours de la poudre, afin de démasquer la position qu'ils occupent; une fois reconnus, on les attaque à la pointerolle et on les dégage de la masse en en suivant les contours. On a retiré des blocs qui pesaient jusqu'à 1800 kilogr.; mais ils sont rares.

La production annuelle peut être estimée à 50400 kilogr.

Une partie de la *panchina* est utilisée pour les remblais intérieurs; celle qui avance est rejetée sur les halles ou convertie en plâtre.

L'ensemble de l'étage gypseux forme, vers la *Castellina*, une ellipse allongée dont le plus grand axe se dirige de l'E. à l'O.: c'est dans le sens de ce diamètre que sont ouvertes les excavations de l'albâtre; du S. au N., au contraire, les bancs de gypse subissent un amoindrissement sensible et ne sont guère exploitables qu'à une distance de deux milles des carrières principales. On peut donc considérer le gisement de la *Castellina* comme une énorme lentille engagée au milieu du terrain tertiaire, et dont les dernières traces de gypse observées au S., vers le *Terriccio*, et au N., vers les montagnes de *Monte-Vaso*, indiqueraient assez exactement les limites.

Le système entier, qui est parfaitement stratifié et qui alterne à plusieurs reprises avec des bancs d'argile et des marnes fouillonnées, incline sensiblement vers le Nord.

Je suis parvenu à trouver au milieu des marnes, principalement à la *Maesta*, des myriades de paludines et de cyclades analogues à celles qui caractérisent les gypses d'Aix, ainsi que quelques débris de plantes dicotylédones. Lorsque j'ai visité, en 1845, la *Castellina*, en compagnie de M. Burat, les ouvriers nous assurèrent avoir découvert des ossements engagés au milieu du gypse. Toutefois la présence de fossiles lacustres, jointe à la complète indépendance des gypses d'avec les marnes subapennines, suffit pour leur conserver la place que je leur avais primitivement reconnue, pour justifier le parallélisme que j'avais établi avec les gypses d'Aix et pour écarter toute idée de métamorphisme postérieur à leur sédimentation.

M. Pilla, qui avait d'abord repoussé l'existence d'une molasse marine miocène en Toscane, a été amené, à la suite de nouvelles études, à admettre les divisions que j'avais proclamées. M. Murchison, à son tour, en a reconnu l'exactitude. Je sais qu'en 1847 M. Sismonda, dans une notice insérée dans l'*Antologia*, a introduit les gypses de l'Italie dans l'étage miocène, et que, pour prouver leur

guide, il ne paraît pas que l'exploitation ait jamais été entreprise sur une vaste échelle. Aujourd'hui, les puits étant envahis par la mofette et les galeries écroulées, il est impossible d'être renseigné sur la composition d'un gisement que toutes les circonstances extérieures démontrent être de même nature que celui de *Péretà*. Les alentours des terrains traversés par les courants du gaz se recouvrent d'efflorescences salines, ainsi que d'encroûtements de soufre. La fuite de la mofette s'opère avec dégagement de chaleur, comme on peut s'en convaincre par les vapeurs que l'on voit très distinctement s'élever du fond des puits, et se mêler à l'air atmosphérique en présentant ce tremblement ondulatoire que l'on remarque pendant les grandes chaleurs de l'été à la surface du sol ou bien au-dessus d'un brasier. Les habitants de *Selvina* m'ont assuré de plus que ces vapeurs donnaient naissance à des nuages blanchâtres pendant l'hiver, et qu'elles ne permettaient jamais aux neiges de séjourner dans le voisinage des lieux d'où elles émanaient.

Les accidents que nous venons de mentionner ne sont pas les seuls qui aient affecté les terrains environnants. Les argiles de l'alberèse sont pénétrées d'une quantité si considérable de sulfate de fer, qu'elles ont été dans le siècle dernier l'objet d'une lessivage en grand dans une fabrique dont on aperçoit encore les ruines dans le lieu nommé *Edifizio*. Les vitriols de *Selvina* rivalisaient avec ceux de *Viterbe*. On voit çà et là des vestiges de galeries d'où l'on retirait les argiles imprégnées de sels. Les eaux qui provenaient de leur lavage, après avoir pris dans des cuves disposées à cet effet un degré de concentration convenable, étaient introduites dans les cristallisoirs.

Il me paraît évident que l'existence du vitriol au milieu des argiles est due à l'acide sulfurique, dont la formation par la mofette nous est bien connue: cet acide, en réagissant sur les

parallélisme avec ceux d'Aix, il s'est appuyé sur la comparaison des mêmes coquilles marines trouvées, suivant lui, dans les gisements de la Provence et du Piémont. Cette méprise me fait supposer que M. Sismonda ignore que les gypses d'Aix sont exclusivement lacustres. Les espèces marines qu'il y cite appartiennent, non pas aux gypses, mais bien aux molasses, qui, parallèles à celle de la *Superga*, les recouvrent en discordance de stratification et n'ont rien de commun avec eux. Ainsi les arguments de ce savant professeur et l'erreur matérielle dans laquelle il est tombé, viennent prêter un appui de plus à mes observations et justifier la justesse des horizons que j'avais précédemment tracés pour les terrains tertiaires de l'Italie.

oxydes de fer dont elles sont souillées, se sera combiné avec eux, et en aura fait un sulfate. La décomposition de ce sel a donné naissance à son tour à des encroûtements ferrugineux dont on peut étudier un gisement intéressant dans le lit du torrent de la *Campana* qui descend des hauteurs de la *Vecchia* et débouche dans le ruisseau de la *Canale* au dessous de l'*Edifizio*. Ces encroûtements forment des dépôts circonscrits composés principalement de fer hydroxydé très mélangé d'argile et traversés par des réticulations de sulfate pitzizite qui contribuent à leur donner quelque consistance. L'origine de ces dépôts par voie d'incrustation est dévoilée par leur structure feuilletée et stalactique, ainsi que par la propriété qu'ils ont d'englober les cailloux et les amas de galets sur lesquels ils reposent. Les eaux qui les traversent se chargent d'oxyde de fer et colorent en rouge jusqu'à une très grande distance les corps qu'elles mouillent. On observe, intercalés au milieu de ces magmas concrétionnés, des veines et des rognons d'une substance gélatineuse et opaline qui, lorsqu'elle est imbibée d'eau, a la propriété de se pétrir sous les doigts en une pâte onctueuse. Au premier moment, je la considérai comme une opale analogue à celles que M. Beudant recueillit en Hongrie. Un échantillon que j'ai conservé, après avoir perdu en partie l'eau dont il était pénétré, s'est durci dans ma collection et s'est gercé dans divers sens. Sa cassure était conchoïde et sa couleur assez semblable à celle de certaines variétés de savon bleu. Il est translucide sur les bords et se laisse râcler facilement par une lame de canif en donnant une poussière très onctueuse. Il est attaqué par les acides sans effervescence, et sa dissolution abandonne, par l'hydrocyanate ferrugineux de potasse, un précipité bleu verdâtre. Cette substance, en un mot, se rapporte exactement au signalement de la *Pissophane* de M. Breithaupt qui, ainsi que l'a pensé M. Dufrénoy, serait le produit de la décomposition du sulfate d'alumine et du sulfate de fer.

Outre ces diverses substances métamorphiques, on observe aussi sur d'autres points rapprochés du foyer d'émanation des altérations qui s'annoncent par des changements dans la texture et dans la coloration des roches; mais les plus énergiques sont, sans contredit, celles qui ont amené la conversion des calcaires en sulfate de chaux et provoqué au sein des argiles la formation du sulfate de fer. A 2,000 mètres environ des soufrières, dans la direction du nord, entre le groupe d'habitations désignées

par le nom de *Borghetto* et la *Canale*, il existe un gisement puissant de pierre à plâtre formé aux dépens des couches calcaires qui s'observent de part et d'autre sur le prolongement du dépôt gypseux et le recouvrent sur quelques points. Ce dépôt, bien que circonscrit dans un périmètre peu étendu, donne lieu à une exploitation qui suffit aux besoins des populations voisines.

Les détails précédents et les faits qu'ils expriment auront suffi déjà pour dévoiler la ressemblance frappante de la solfatare de *Selvena* avec celle de *Péreta*; mais ces rapports sont complétés par la présence à *Selvena* d'un filon antimoniifère, lequel, concurremment avec d'autres masses quarziteuses et éruptives, paraît avoir été la cause des dislocations récentes du sol et avoir ouvert entre l'atmosphère et le foyer des actions volcaniques les communications que nous avons signalées.

Ce filon se trouve en face des puits des soufrières sur la rive gauche de la *Canale*, à la base du versant dit les *Cavette*. On est conduit sur le gîte même par des traînées de blocs anguleux de silice noirâtre, dont quelques uns portent dans les rides qui les sillonnent dans tous les sens l'empreinte des baguettes d'antimoine sulfuré que les injures du temps ont détruites. Aux *Cavette* on remarque un plus grand nombre de ces blocs accumulés autour de quelques dépressions qu'on nous désigna comme des vestiges d'excavations anciennes. L'étude du quartz filonien nous convainquit que les éléments du filon de *Selvena* étaient identiques à ceux de *Péreta*; que, de plus, ils s'étaient fait jour à travers le même terrain, et qu'ils avaient provoqué la manifestation de phénomènes d'un même ordre qui, pour s'être développés sur des proportions moins gigantesques, n'accusent pas moins le concours de causes analogues et contemporaines.

En remontant le torrent de la *Canale*, on est souvent arrêté par de grands dykes de quartz qui se dressent sous forme de barrages ou de murailles démantelées au-dessus de l'alberèse. On en retrouve des indices sur plusieurs autres points, et principalement dans le voisinage de *Borghetto* où un de ces dykes se dirige sensiblement du nord au sud comme le filon de *Péreta*, et coupe les couches sur un angle de 60° environ.

Ces quartz sont pénétrés de quelques cristaux de sulfure de fer et de cuivre pyriteux; ils sont sujets à se désagréger, surtout lorsqu'ils ont reçu les atteintes de la molette. Ils se convertissent alors en un sable friable coloré par de l'oxyde de fer, qui manque jusqu'à une profondeur assez grande leurs caractères

primitifs. On observe, engagés au milieu de ces sables, des blocs arrondis qui représentent les portions, qu'une cohésion plus grande a préservées de la désagrégation. Ce sont ces mêmes blocs qui, se détachant par leur propre poids des hauteurs dominantes, roulent dans les lits des torrents et pourraient suggérer l'idée de masses erratiques, si le lieu de leur provenance et le mode de leur formation ne livraient sur place même le secret de leur origine. Bien que la concentration des quartz éruptifs s'observe dans la portion du territoire de *Selvena* comprise entre l'église et la *Canale*, quelques filons se ramifient dans l'intérieur de la montagne et se montrent parfois dans les flancs des vallées. Ainsi, dans le monticule dit *il Poggettino alla Volpe*, distant de trois milles de *Selvena* et vers le faite de la chaîne qui sépare les eaux des vallées de la *Fiora* et de la *Pagliola*, nous avons découvert un filon de calcédoine verdâtre d'une très grande ténacité pénétré de cuivre pyriteux et de cuivre carbonaté.

Dans le siècle précédent, on avait exploité, sous la direction d'Arduino, à l'origine de la *Canale*, une mine de mercure dans laquelle ce métal se trouvait à l'état de sulfure et à l'état natif. Comme les travaux sont complètement ruinés, il nous a été impossible de nous renseigner sur les allures du filon. Comme celui d'antimoine, il git dans le terrain crétacé et il se rattache probablement à l'émission des masses quartzzeuses que nous avons signalées et dont ces deux gîtes métallifères ne seraient qu'un épisode.

§ 3. *Alunières de Campiglia, de Montioni et de la Tolfa.*

Si l'étude de ce qui se passe à *Péreta* a pu nous dévoiler la nature des agents employés pour la conversion des calcaires en sulfate de chaux, pour la régénération de la silice et pour la production des phénomènes que nous avons décrits, l'origine des alunières est enveloppée de plus d'obscurité. Cependant le secret de cette origine est trahi par l'induction et par la comparaison des effets qui se reproduisent aujourd'hui dans les solfatares, bien que les laboratoires d'activité incessante que l'on remarque dans ces dernières aient à peu près disparu dans les alunières; car leur influence expirante consiste en quelques sources thermales qui sourdent dans le voisinage et qui semblent exister là tout exprès pour soulever le voile qui couvre les mystères d'une transformation opérée sous des conditions

que nous n'avons pas le pouvoir de reproduire; mais leur position au milieu de couches sédimentaires dont les caractères normaux n'ont été changés que sur les points mêmes où on observe la pierre d'alun, indique suffisamment que cette substance minérale n'est qu'un produit épigénique dû à la réaction de l'acide sulfurique sur des roches qui contenaient déjà les deux autres principes constituants de l'alunite, c'est-à-dire l'alumine et la potasse.

Les alunières les plus fameuses de la Toscane sont sans contredit celles de *Campiglia* et de *Montioni*. Les premières, exploitées du temps de la république de Florence, sont délaissées depuis bien des années; celles de *Montioni*, placées dans leur voisinage, dans l'ancienne principauté de *Piombino*, occupent encore une vingtaine d'ouvriers pendant sept mois de l'année. Mais la concurrence des aluns de la *Tolfa* et la fabrication des aluns artificiels ont influé d'une manière fâcheuse sur la prospérité de cet établissement. Dans les environs de *Monte-Rotondo*, au N.-E. de *Campiglia* et dans le district métallifère de l'*Accesa*, on a bien découvert quelques dépôts alunifères; mais ils n'ont jamais été l'objet de recherches sérieuses. Dans ce travail nous nous bornerons à décrire les gisements de *Campiglia* et de *Montioni* auxquels nous comparerons le fameux gisement de la *Tolfa*, dans les États du pape.

Les alunières de *Campiglia* et de *Montioni* reposent au milieu du terrain jurassique. MM. Savi et Burat les avaient bien placées dans le terrain à *Fucoides Targioni*; mais cette erreur dépend de la confusion qui existait dans la classification des terrains secondaires, à l'époque où ces deux géologues ont publié leurs premiers écrits. On considérait alors comme crétacés les calcaires rouges qui, ainsi que leurs analogues du lac de Côme, renferment les *ammonites Walcotii*, *Bucklandi*, *obtusus*, etc., et comme crétacés aussi les schistes bariolés qui, au-dessus de ces calcaires, forment un étage très puissant et concordant. Les savants qui ont traité récemment de l'âge de ces terrains sont aujourd'hui généralement d'accord pour faire des uns et des autres un membre de la formation jurassique (1). Comme la discussion rigoureuse des divers étages ne se rattacherait à notre travail que d'une manière accessoire, nous nous bornerons à

(1) Voyez mon *Mémoire sur les terrains stratifiés de la Toscane.* (*Bulletin*, 2^e série, t. III.)

reconnaître simplement comme jurassiques les schistes qui ont fourni les premiers matériaux de la pierre d'alun.

Le *Campiglièse* forme au nord du promontoire de *Piombino* un groupe montagneux remarquable par son indépendance et par les nombreux filons métallifères qui en sillonnent les flancs. Ces filons composent avec quelques dykes de granite et de porphyre une série d'accidents éruptifs dont la manifestation a singulièrement modifié le relief de cette contrée classique. A part la formation des schistes cristallins que l'on ne voit affiner nulle part, le *Campiglièse* montre la succession complète des terrains stratifiés qui se sont développés en Toscane. Le plus ancien est composé d'un système puissant de marbres blancs qui forme du sud au nord le grand axe du groupe sur lequel viennent s'appuyer les couches du terrain jurassique. Ce dernier consiste en un calcaire rouge avec ammonites liasiques, en des schistes bariolés et en un puissant dépôt de calcaire lithographique désigné par le nom de *majolica*. La composition des schistes est assez uniforme, surtout quand on la considère dans son ensemble. Ce sont des roches feuilletées très argileuses, à cassure terreuse, se convertissant dans l'eau en une pâte tenace d'un blanc grisâtre. Parfois elles sont satinées et passent à une phyllade analogue à celles de transition. Les régions occupées par cet étage présentent des dépressions et des contours émoussés, tandis que les montagnes formées par les marbres et par les calcaires sont caractérisées par des escarpements plus hardis et par une physionomie plus âpre.

Comme on le voit, rien ne serait plus simple que la composition générale des schistes bariolés, si elle ne se renfermait dans les limites de variations que nous venons d'indiquer; mais ils admettent à divers niveaux des schistes coticulaires et des schistes siliceux qui alternent avec eux et en forment un des accidents les plus curieux. Les schistes coticulaires s'observent principalement dans le voisinage de la *Cisterna*, au-dessous de *Campiglia*, où ils constituent un affleurement de quelques mètres de puissance, qui suffit pour donner une idée de leur association et de leur alternance avec les schistes ordinaires. Leur couleur varie du jaune obscur au noirâtre. Leurs couches sont généralement plus épaisses, plus régulières et mieux définies que celles des masses concomitantes; aussi l'ensemble revêt-il une structure rubanée qui est un de ses caractères les plus apparents.

Les schistes siliceux sont encore plus abondants que les précédents. On peut en étudier des dépôts très puissants au-dessus

de l'escarpement de la Grande Cave au N. de *Campiglia*, dans le sentier qui conduit à *Monte Calvino*, et les suivre de là presque sans interruption jusqu'à la *Sasseta* où ils disparaissent, ainsi que les autres termes de la formation jurassique sous le terrain à fucoides qui les recouvre en discordance de stratification. Mais sur le revers occidental de *Monte Calvi*, c'est-à-dire sur la portion de la montagne où les couches reposent inclinées dans un sens opposé, les schistes siliceux se montrent de nouveau vers la carrière de marbre de la *Gherardesca*, dans le vallon *del Giarlino*, à *Campo alle Bucche*, à la base du *Monte Valerio* au milieu même des alunières. Ils s'infléchissent dans le vallon de *Romanello* qu'ils traversent dans le sentier qui conduit à *Caldana*, et viennent former à l'E. du lac le monticule sur lequel est bâtie la chapelle ruinée de *Santa Lucia*. Cette disposition circulaire, qui est pareillement celle du calcaire ammonitifère, tient au soulèvement de *Monte Calvi*, lequel portant la formation du calcaire saccharoïde au niveau dominant où nous le voyons aujourd'hui, assujettit en même temps les calcaires jurassiques à un écartement considérable et les obligea à former autour de l'axe culminant une ceinture non interrompue.

Ajoutons que les schistes siliceux reparaissent dans les mêmes relations sur plusieurs autres points de la Toscane, et notamment à *Monte Rotondo*, à *Montieri*, à *Caldana de Ravi*, à *Volterrajo* (île d'Elbe), au golfe de la *Spezzia*, etc. Ils sont généralement colorés en rouge et leur composition est exactement celle du jaspe commun. La cassure est conchoïde dans le sens de la direction des couches. Ils sont traversés par de nombreuses veines de quartz blanc laiteux ou hyalin, qui sont circonscrites dans les strates au milieu desquels on les remarque, ou bien qui remplissent les fissures de la roche et pénètrent dans plusieurs couches à la fois. On serait tenté de les considérer comme de vrais filons, si leur abondance, leur croisement sous des angles de toute valeur et leur brusque interruption n'indiquaient une précipitation analogue à celle qui a rempli de veines spatiques certains calcaires secondaires. En effet, si ces réticulations provenaient d'une injection siliceuse postérieure au dépôt des schistes, on les verrait se poursuivre jusque dans les calcaires rouges inférieurs, ce qui ne s'observe jamais. On peut donc les considérer comme contemporaines des couches qui les recèlent. Il est plus difficile de se rendre compte de la silicification de ces schistes dont la régularité est si parfaite, que chaque strate,

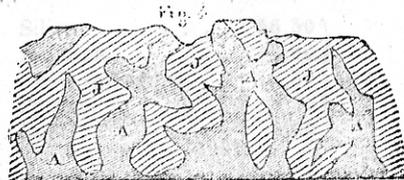
quelque mince qu'il soit, conserve des caractères uniformes dans tout son prolongement, et qu'on aperçoit de nombreuses alternances entre des schistes argileux et des schistes siliceux, sans que les uns passent aux autres. Cette disposition nous oblige donc à reconnaître l'intervention plusieurs fois répétée de précipitations siliceuses qui se sont stratifiées à la manière des calcaires et des gypses tertiaires; car, dans les régions que nous décrivons, on ne peut considérer les calcaires rouges et les schistes qu'ils supportent comme un terrain métamorphique, puisqu'ils renferment un très grand nombre de fossiles parfaitement conservés. Or, si la silicification eût été un fait postérieur à l'acte de la sédimentation, nous concevriions comment une portion aurait pu être convertie en schiste siliceux, mais nous ne pourrions jamais expliquer, à l'aide de cette conjecture, leur alternance avec des schistes qui n'ont subi aucun changement. On comprendrait encore moins le mécanisme d'une modification qui aurait dû s'exercer dans un sens horizontal et à des niveaux différents avec un discernement tel que l'injection aurait suivi la même couche sur un parcours de plusieurs lieues, sans jamais s'extravaser, de la même manière qu'une injection anatomique poursuit un vaisseau artériel jusque dans ses dernières ramifications. L'intervention d'une cause métamorphique étant repoussée par l'ensemble des caractères d'un terrain qui se montre avec son *faciès* originaire, il nous semble plus rationnel d'admettre que la silicification des schistes du *Campiglièse* est le résultat d'une précipitation chimique dont la nature ne nous est pas parfaitement connue, que de recourir à une hypothèse qui serait en flagrante opposition avec les faits recueillis.

On peut même dire que les couches siliceuses dues à une précipitation directe ne sont pas rares dans la nature; on en retrouve des exemples dans certaines régions du Var occupées par les grès bigarrés et surtout dans les grès lustrés tertiaires. Je me rappelle avoir observé dans les environs de Gargas, près d'Apt, des grès dont les grains étaient retenus par une pâte siliceuse si abondante que la silice en excès se détachait dans la masse en grosses veines amorphes et cristallines.

Les alumières de *Campiglia* gisent sur le flanc occidental de la montagne de l'*Aquaviva*, au milieu de la forêt *Marucci* et précisément dans la formation des schistes bariolés superposés aux calcaires rouges ammonitifères. On y arrive par une large tranchée ouverte dans le roc. Cette tranchée mettait en communication les chantiers d'extraction avec les fourneaux de

grillage et de cristallisation que l'on avait placés à quelque distance de la route *Emilia*. L'excavation a été pratiquée à ciel ouvert. Aussi se trouve-t-on engagé au milieu de grands cirques de forme irrégulière dominés dans tout leur pourtour par des escarpements taillés à pic, qui en défendent l'aborder et ne laissent d'accessible que l'échancrure qui a été ménagée comme chemin de roulement.

En pénétrant dans ces cirques, on est frappé par l'aspect volcanique que présentent les roches dont ils sont composés. L'état de calcination et la blancheur de la pierre d'alun, la rubéfaction des portions des schistes qui n'ont point été convertis en alunite, et qui serpentent en réticulations capricieuses, établissent un contraste de couleurs tellement tranché qu'on peut suivre de l'œil la marche adoptée par l'élément modificateur.



JJ. Schistes jurassiques.
AA. Schistes convertis en alunite.

Celui-ci, selon la nature et la composition de la roche, transformait en alunite les couches susceptibles de se combiner avec l'acide sulfurique, respectait les schistes siliceux qui n'avaient aucune base à céder et changeait en un vrai tripoli certains schistes qui, par suite de la torréfaction à laquelle ils furent soumis, happent à la langue, et sont devenus cassants et rubiginieux. Aussi la pierre d'alun, au lieu de former des couches ou des traînées régulières, se trouve plutôt engagée en rognons et en filons tortueux au milieu des masses calcinées. Cette disposition oblige de suivre à la trace la pierre minérale et d'enlever en même temps une quantité énorme de déblais qui encombrement rapidement les chantiers. Pour parer à cet inconvénient, on pratique dans les régions les plus riches des chambres immenses dont les voûtes finissent par s'érouler, en donnant lieu à des éboulements dangereux sur lesquels il devient souvent impossible de revenir.

L'alunite se distingue par sa couleur blanche un peu matte, par sa dureté et par sa cassure esquilleuse qui permet rarement d'en retirer des échantillons réguliers. Les morceaux fraîche-

ment extraits de la carrière présentent un aspect finement saccharoïde qu'ils perdent par leur exposition à l'air. Cette texture tient vraisemblablement à la quantité d'eau hygrométrique qu'ils retiennent. Une fois desséchés, ils ressemblent exactement au pétunzé passant à l'état de kaolin, mais conservant encore la solidité du feldspath.

Ce qu'il y a de remarquable, c'est que l'alunite, lorsqu'elle est riche en alun, forme au milieu des schistes des rognons d'un volume quelquefois très considérable, dans lesquels toute trace de stratification a disparu, tandis que, lorsqu'elle est mélangée avec beaucoup de schistes peu alumifères, elle s'exfolie avec facilité et elle conserve encore une grande partie de ses premiers caractères. La disposition en rognons compactes indique que les molécules, au moment de leur combinaison avec l'acide sulfurique, ont obéi à un jeu d'affinité qui leur a permis de s'agrouper entre elles et de cristalliser sous une forme nouvelle. Cette vérité ressort d'une manière plus frappante encore dans les variétés cristallisées et stratoïdes de la *Tolfa* que l'on voit former au milieu des schistes métamorphiques et des schistes siliceux des encroûtements stalactitiques. Lorsque, au contraire, l'acide sulfurique n'a rencontré que des schistes peu propres à la formation de la pierre d'alun, il n'a réagi que sur les parties que leur composition rendait propres à former ce double sel.

La physionomie des alunières et le mode inégal avec lequel l'alunite s'y trouve distribuée correspondent bien à l'idée que l'on se fait des causes qui les ont produites. Elles représentent évidemment des portions de terrains traversées par des courants de vapeurs sulfureuses qui, en réagissant sur les roches soumises à leur passage, se combinaient avec elles, suivant la nature de leurs principes constituants, se bornaient à les blanchir, ou bien les respectaient dans toute leur intégrité, lorsque leurs éléments ne se prêtaient à aucune transformation. Voilà pourquoi aussi on observe, sur les points où les réactions ont été le plus énergiques, un magma bréchiforme avec mélange de toute espèce de produits.

Par quel mode s'est opérée la conversion des schistes jurassiques en alunite? L'acide sulfurique a-t-il réagi à l'état d'acide sulfurique formé de toutes pièces, ou bien a-t-il été produit par la décomposition du gaz sulfhydrique, comme on le remarque encore aujourd'hui dans les solfatares de *Pouzzoles* et de *Péretà*, ainsi que dans les Lagoni? Ce sont des questions qu'il est difficile de résoudre; mais le fait de la transmutation

par des agents sulfureux est incontestable. Nous verrons plus tard à quelles causes il nous paraît raisonnable d'attribuer l'intervention de cet agent.

La composition de l'alunite nous indique suffisamment que les schistes de *Campiglia* renferment de l'alumine et de la potasse (1). Mais comme les schistes sont des silicates, ils doivent aussi contenir de la silice en proportions notables, et cette silice doit se trouver mélangée mécaniquement à la pierre d'alun. En effet, l'alunite de *Campiglia* se dissout avec le sel de phosphore, en laissant pour résidu une quantité considérable de silice demi-transparente.

L'analyse (2) que Klaproth a faite de l'alunite de la *Tolfa* qui se trouve dans les mêmes conditions géologiques que celles de *Campiglia* et de *Montioni*, a fourni les résultats suivants :

Silice.	56,50	} 100
Alumine.	49,00	
Acide sulfurique. . .	46,50	
Potasse.	4,00	
Eau.	4,00	

Vauquelin avait trouvé :

Alumine.	43,92	} 100
Silice.	24,00	
Acide sulfurique. . .	25,00	
Potasse.	3,08	
Eau.	4,00	

M. Berthier a retiré de l'alunite de Beregszasch en Hongrie (3) :

Alumine.	26,00	} 98,80
Potasse.	7,30	
Acide sulfurique. . .	27,00	
Eau.	8,20	
Quartz.	26,30	
Oxyde de fer. . . .	4,00	

(1) Les schistes argileux jurassiques du *Campiglièse*, calcinés dans un creuset et soumis aux attaques de l'acide sulfurique, donnent des cristaux octaédriques d'alun, qui ne diffèrent des aluns de *Montioni* que par la quantité de sulfate de fer qu'ils contiennent.

(2) *Journal général de chimie*, Berlin, t. VI; et *Journal des mines*, vol. XX, p. 479.

(3) M. Dufrénoy, *Traité de minéralogie*, t. II, p. 369

Descotils, à qui nous devons l'analyse suivante de l'alunite de *Montioni*, n'a tenu nul compte de la silice, parce qu'il l'aura considérée comme s'y trouvant en mélange mécanique :

Acide sulfurique.	35,06	} 100
Alumine.	40,00	
Potasse.	43,08	
Eau.	40,06	

Les analyses précédentes, je veux parler surtout des deux premières, nous dévoilent la vraie composition des schistes jurassiques qui ont servi à la formation de l'alunite, et démontrent qu'ils constituent des silicates d'alumine et de potasse. Les différences qu'elles présentent, ainsi que le fait observer Klaproth, sous le rapport de la quantité respective des parties constituantes, vient sans doute d'une différence dans la composition même des échantillons. On conçoit, en effet, la difficulté d'arriver à une formule rigoureuse dans l'analyse des pierres d'alun qui doivent présenter des variations très nombreuses, puisque l'on voit à *Montioni* et à la *Tolsà* des alunites qui donnent de l'alun avec une grande abondance et d'autres dont on ne peut pas en tirer.

Outre les principaux gisements qui se rencontrent dans la forêt *Marucci*, au-dessous de l'*Aquaviva*, on en observe d'autres dans le prolongement des schistes rouges qui recourent la route *Emilia*, dans la direction de la localité dite les *Allumières*. On désignait par ce nom l'emplacement où était grillée la pierre d'alun. On y voit encore les vestiges des anciens fours, ainsi que des résidus que l'on utilise comme pouzzolane. Ils se composent des portions de schistes qui, mêlées avec l'alunite, n'ont pu se dissoudre après les opérations du grillage.

Les détails qui précèdent réduisent la description des alunières de *Montioni* à une simple désignation de localité; car elles se trouvent dans le même étage géologique et dans la même position qu'à *Campiglia*.

Montioni Vecchio est assis sur un groupe montagneux appartenant à la formation jurassique. On y aperçoit les deux étages dominants qui la caractérisent dans la partie centrale de l'Italie, c'est-à-dire les calcaires rouges ammonitifères et les schistes bariolés et siliceux qui leur sont superposés. C'est dans ces derniers que sont ouvertes les excavations de la pierre d'alun. Les premiers travaux remontent au XIV^e siècle. Comme à *Campi-*

glia, l'alunite s'y montre en puissants banes irréguliers subordonnés aux schistes, concentrés principalement sur les flancs de la montagne qui verse ses eaux dans le vallon de la *Pecora*. On y remarque les schistes siliceux qui sont restés parfaitement intacts au milieu des schistes *alunifiés*. Ils sont nommés *Antimonio* par les ouvriers. Cette dénomination leur a été donnée à cause de leur ressemblance, du moins sous le rapport de la dureté, avec les gangues quartzieuses du filon d'antimoine de *Péreta*.

Montioni n'est guère éloigné de *Campiglia* que de sept milles environ, il constitue sur la rive gauche de la *Cornia* un petit îlot jurassique qui est presque immédiatement étouffé par la formation crétacée; mais l'indépendance de ces deux terrains n'est pas exprimée moins clairement dans cette localité qu'elle ne l'est dans la *Campiglièse* et ailleurs. C'est donc à tort que l'on a introduit les alunites dans les schistes de l'alberèse.

Il existe entre les carrières et les établissements royaux une source sulfureuse thermale dont la présence au pied même de l'escarpement jurassique, et dans les fissures par lesquelles s'échappaient autrefois les vapeurs acides, semble indiquer encore la nature des agents mis anciennement en jeu pour la formation de la pierre d'alun.

Sous le gouvernement de *Bacciocchi* et de la princesse *Elisa*, *Montioni* avait acquis une importance que les événements politiques qui éclatèrent plus tard et que l'*Aria Cattiva*, contre laquelle il est difficile de lutter dans les *Marches*, lui ont rapidement enlevée. Le gouvernement toscan, après avoir accordé des concessions temporaires à plusieurs sociétés qui ont ruiné les alunières, les exploite pour son propre compte. Les travaux n'en sont pas plus réguliers pour cela, et le moment n'est pas éloigné où on sera obligé de renoncer à une entreprise menacée si sérieusement dans son avenir.

La position et les caractères des alunières nous étant bien connus par les faits déjà exposés, recherchons la cause à laquelle il est rationnel d'en attribuer l'origine. Nous avons vu, en traitant des solfatares de *Péreta* et de *Selvena*, la part que les filons quartzieux et antimonières avaient eue dans la production des phénomènes énergiques qui s'y manifestent encore aujourd'hui. Les alunières de *Campiglia* et de *Montioni*, à leur tour, se trouvent placées dans des rapports de dépendance tellement étroits avec de puissants filons métalliques, qu'il est impossible de ne pas voir en eux la cause qui a déterminé les dernières

fractures du sol par lesquelles se seront fait jour les vapeurs sulfureuses.

Ces filons consistent en des amas puissants de fer hydroxydé dont le *Monte Valerio*, qui se dresse à 200 mètres à l'ouest des alunières, montre de nombreux affleurements. Ils se ramifient dans les montagnes contiguës, et notamment dans le *Campo alle Bucche* où les exploitations pratiquées par les anciens peuples sont indiquées par un nombre infini de puits. A *Monte Valerio* le filon de fer est intercalé entre les schistes siliceux rouges et les calcaires inférieurs. C'est pareillement entre ces deux étages que l'on observe les filons de *Campo alle Bucche*. Il est facile de démontrer que tous ces gîtes métallifères, auxquels nous pourrions ajouter les dykes amphiboleux de *Monte Calvi*, sont postérieurs au terrain crétacé, et que par conséquent leur éruption date d'une époque très voisine de la période tertiaire.

Mais il existe à côté de ces filons éruptifs des roches plus franchement plutoniques, à l'apparition desquelles on serait tenté, à la première réflexion, d'attribuer l'origine des alunières. Ces roches consistent en des produits feldspathiques qui revêtent successivement, et quelquefois dans un même gisement, les caractères des granites, des pegmatites, des porphyres et des trachytes; et c'est justement l'aspect vitreux de quelques unes d'entre elles qui les a fait considérer par MM. Savi et Pareto comme de vrais trachytes. Leur type est nettement exprimé dans le *Campiglièse*, dans la vallée *del Giardino*, au N.-E. de *San-Vincenzo*, à *Donoratico*, à *Gavorrano*, à *Rocca Tederighi* et au *Monte Amiata*; mais la grande quantité de quartz qu'ils retiennent et leur association ou, pour mieux dire, leur mélange à *Gavorrano* avec un granite tourmalinifère, ne peut laisser aucun doute sur leur contemporanéité avec les granites récents de l'île d'Elbe. C'est aussi l'opinion de M. Savi qui reconnaît que *Gavorrano* repose à l'occident sur le calcaire et à l'orient sur un granite très semblable à celui de l'île d'Elbe, c'est-à-dire de couleur grise, à petits grains, renfermant de gros cristaux de feldspath et quelques cristaux de tourmaline noire (1). Cependant le docteur Santi (2) est cité par Repetti comme le premier naturaliste qui ait signalé l'analogie de cette roche avec celle du *Monte Amiata*. L'observation de Santi est très juste; car à

Gavorrano des granites tourmalinifères traversent les mêmes granites vitreux dont M. Savi ne fait aucune mention dans son écrit, mais qu'ailleurs, à *Rocca Tederighi*, par exemple, il qualifie de trachyte. M. Burat (1) les désigne sous le nom de porphyres quartzifères; mais en reconnaissant que les diverses roches feldspathiques, granites, porphyres, eurites et trachytes de la Toscane passent les unes aux autres de manière à démontrer qu'elles partent d'un élément commun, et que les variations de leurs caractères minéralogiques dépendent en grande partie des circonstances de leur éruption. La seule différence qui existe entre les granites ordinaires et les granites vitreux est dans ces derniers la prédominance de l'élément feldspathique.

Je suis bien éloigné de m'opposer à l'âge récent de ces roches, car dans le *Campiglièse* et à *Rocca Tederighi* elles débordent franchement au-dessus de l'alberèse, et à la rade de l'*Enfola* (île d'Elbe) on voit les granites et les porphyres tourmalinifères pousser des ramifications dans la même formation calcaire, mais je m'oppose à la séparation des granites vitreux d'avec les granites porphyroïdes, parce qu'en considérant les premiers comme des trachytes, on les fait d'un âge plus récent et on leur attribue des phénomènes particuliers qui leur sont cependant communs avec ces derniers. Ou il faut voir une formation trachytique dans la formation granitique entière de la Toscane, et y introduire par conséquent les pegmatites de *Campiglièse*, les granites tourmalinifères de l'île d'Elbe et de *Gavorrano*, ou bien ne voir dans les prétendus trachytes qu'une variété des granites de l'île d'Elbe. Comme les terrains tertiaires les plus récents de la Toscane sont soulevés, on a considéré comme la roche soulevante les porphyres de *Rocca Tederighi*, de *Sasso Fortino*, etc., que l'on remarque au-dessous. Mais cette hypothèse ne peut être invoquée en faveur de l'opinion qui attribue à ces roches plutoniques le rôle supposé. Par exemple les terrains tertiaires à gypse et à lignite, ainsi que les marnes subapennines de la vallée de *Cecina*, reposent généralement sur des dépôts de serpentine, en offrant dans les coupes perpendiculaires à la direction des couches des lignes anticliniques. Quelques géologues ont été portés par cela même à considérer les serpentines comme l'élément dislocateur; mais en examinant les choses de plus près, on est bientôt ramené à des idées plus justes, car on voit que ces mêmes terrains tertiaires

(1) M. Burat, *Théorie des gîtes métallifères*, p. 192.

(1) *Dizionario della Toscana*. — Repetti. — (Article *Gavorrano*.)
(2) *Id.*

sont presque entièrement formés de grès et de conglomérats serpentineux ; d'où l'on déduit l'antériorité des serpentines et la preuve que la force qui a dérangé les terrains supportés a aussi soulevé le terrain supportant. La même illusion se reproduit à *Sasso Fortino* pour les granites trachytoïdes, relativement aux terrains tertiaires, sans que l'on soit en droit d'arguer de ce fait autre chose sinon que les uns et les autres ont été disloqués à la fois, mais postérieurement à la consolidation des granites.

Les considérations précédentes ont moins pour but la discussion des caractères minéralogiques des granites et des roches considérées comme trachytes, que de bien fixer l'âge des filons auxquels j'attribue le redressement des granites ainsi que la production des solfatares et des alumières. Relativement à *Péreta* et à *Selyena*, l'influence des filons antimonières est un fait tellement lié à la manifestation des phénomènes de la *sulfatation*, qu'il est impossible de ne pas leur en attribuer l'origine. Les filons de fer de *Gavorrano* et de l'île *del Giglio*, traversant à leur tour et les granites tourmatinifères et les granites trachytoïdes, établissent une nouvelle production de masses éruptives qui, s'étant manifestées après l'arrivée des roches feldspathiques, rendent très bien compte des fractures récentes qui auront mis directement la surface du sol en communication avec les émanations volcaniques. Or, les filons de fer de *Campiglia*, du *Massetano*, de la *Tolfa* ne différant en rien de ceux qu'on observe au milieu des granites, force sera d'admettre que leur émission est postérieure aux granites, et que par conséquent il est plus rationnel de leur attribuer la production des solfatares et des alumières, qui constituent des phénomènes comparativement modernes et même contemporains, que de la référer à des roches plutoniques plus anciennes. Ajoutons que M. Repetti, qui visita en 1822 le chantier de la *Feranzona*, près de *Montioni*, annonce avoir observé au milieu de la pierre d'alun des filons et des veines métallifères contenant des sulfures d'antimoine, de plomb, de fer et d'arsenic (1).

ALUMIÈRES DE LA TOLFA. — Les alumières de la *Tolfa* ressemblent à celles de *Montioni* et de *Campiglia*. Les montagnes de la *Tolfa* forment au N.-O. de *Civita Vecchia* une chaîne indépendante qui domine majestueusement, et avec les contours propres au terrain jurassique de la Toscane, la

(1) *Dizionario della Toscana.* — Article *Montioni*.

campagne de Rome, composée en général de tufs volcaniques. On peut les considérer comme le prolongement et la terminaison de la chaîne métallifère de *Montalto*, malgré l'interruption qu'elle subit entre *Montalto* et *Corneto*.

Depuis *Civita Vecchia* jusqu'aux alumières et au village de la *Tolfa*, on n'abandonne pas un seul instant les terrains secondaires. On rencontre d'abord l'alberèse qui dessine les premiers ressauts montagneux jusqu'aux bains ruinés de Trajan, situés à deux milles de la ville : affleurent ensuite les calcaires rouges ammonitifères avec leurs schistes bariolés superposés. Ils sont bien recouverts sur une foule de points par le terrain crétacé ; mais leur prédominance dans cette chaîne et leur complète indépendance sont des faits incontestables dont la reproduction s'observe à chaque pas. A 500 mètres environ du village des *Allumières*, on rencontre au milieu de l'alberèse de gros filons quartzeux dans lesquels on recueille des cristaux de quartz et de la baryte sulfatee tabulaire. La barytine et la fluorine sont les gangues d'un filon de plomb à *Cibona*. Ces masses sont presque en contact avec des roches feldspathiques altérées par les atteintes des vapeurs sulfureuses : aussi lit-on très mal leur composition. Cependant il est facile de reconnaître dans les fragments les moins altérés des cristaux de feldspath passés à l'état d'alunite, ainsi que des noyaux de quartz disséminés d'une manière assez régulière au milieu de la pâte. Ces roches feldspathiques, autant que j'ai pu en juger d'après ces caractères, n'ont paru être les mêmes que les porphyres quartzifères et les granites vitreux de *Gavorrano*, du *Campiglièse* et de *Rocca Tederighi*. M. Paréto, à qui la science est redevable d'un excellent travail sur les terrains compris entre Rome et *Monte Amiata* (1), les considère comme des trachytes et admet leur analogie avec les granites des localités précitées : elles reparaisent sur plusieurs autres points des montagnes de la *Tolfa*, et notamment au milieu de la nouvelle carrière *Torti* où elles sont profondément altérées et converties en une pierre d'alun fort impure.

A celui qui n'est point préparé à l'étude des terrains aluminifères, les alumières de la *Tolfa* présentent des difficultés sérieuses qui l'obligent à en juger plutôt par analogie que d'après

(1) *Osservazioni geologiche del Monte Amiata a Roma.* — Rome, 1844.

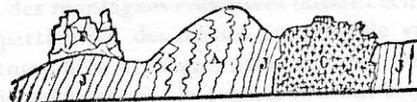
la nature des terrains composants. On n'y aperçoit, en effet, que des masses argileuses blanchâtres mêlées à des couches de quartz; mais le tout dans un tel état de confusion qu'il n'est pas aisé de reconnaître leurs véritables rapports. Aussi beaucoup d'observateurs recommandables ont considéré les alunières de la *Tolfa* comme une dépendance des tufs trachytiques. Or, nous pouvons assurer que les tufs n'existent sur aucun point de cette chaîne, et nous démontrerons incessamment qu'elles appartiennent à l'étage des schistes bariolés de la formation jurassique. C'est au surplus ce qu'avait pressenti M. Paréto, lorsque dans son Mémoire déjà cité, page 8, il annonce que la montagne de la *Tolfa* est généralement formée du terrain crétacé (*alberèse* et *macigno*), souvent profondément modifié, à moins, ajoute-t-il, qu'il n'y existe quelque îlot ou quelque masse peu reconnaissable de calcaire jurassique et de *verrucano* dans le voisinage de *Cibona* et des mines de plomb argentifère. Ce savant mentionne en outre les *galestri* qui se rencontrent fréquemment sur la route de *Civita-Vecchia*, et ces *galestri* ne sont autre chose que les schistes superposés aux calcaires ammonitifères.

Les embarras que l'on éprouve pour bien distinguer la succession du terrain dans les régions blanchies des alunières disparaissent quand on l'étudie en dehors des points métamorphiques, dans les contreforts méridionaux, par exemple. Depuis le village des *Alunières* jusqu'à la bifurcation du sentier des *Vallons* et de la route de *Civita-Vecchia*, on marche sur des roches feldspathiques décomposées et sur les couches de l'*alberèse*. Ces dernières disparaissent vers le ruisseau qui coule dans le fond de la vallée. En remontant la pente opposée, on rencontre, en face à peu près du filon de plomb de *Cibona*, un système puissant de schistes jaunâtres et rougeâtres satinés alternant avec des schistes siliceux ondulés, et reposant sur une formation calcaire très développée dont une portion se détache en promontoire saillant au N.-E. de la mine de plomb. Ce sont justement ces schistes qui gisent intacts en dehors des centres *alunitisés* que M. Paréto a considérés comme étant du *verrucano*. Les calcaires inférieurs sont ammonitifères; car j'ai observé la coupe transversale d'une ammonite dans un bloc grossièrement poli que l'on avait retiré des environs de *Cibona*. Nous retrouvons donc ici la même succession de couches que l'on remarque dans les alunières de *Montioni* et de *Campiglia*, et c'est dans le prolongement de ces schistes, dont la puissance

est donnée par les travaux gigantesques que l'on y a exécutés, que sont ouvertes les excavations de la pierre d'alun.

Les filons de fer, que nous avons vus si abondants dans les Maremmes toscanes, reparaissent dans les montagnes de la *Tolfa* sur une foule de points, et au milieu même des schistes alunitifères. La carrière *Torti* indique les rapports de ces filons éruptifs avec les roches feldspathiques et les portions du terrain jurassique modifiées. En se rendant des *Alunières* à cette car-

Fig. 5.



JJ, Schistes jurassiques.
A, Alunites.
G, Roches granitoïdes.
F, Filons de fer.

rière, on traverse un système très développé de schistes et d'argiles blanches, mélangées de couches siliceuses et sillonnées par de puissants filons de quartz, le plus souvent ferrifères, qui s'insinuent dans les masses tendres et les dominent quelquefois sous forme de grandes murailles démantelées. Un de ces dykes est surtout remarquable par la hardiesse de ses contours. On l'observe au-dessus du *Fosso sbroccato* qui coule à la base de la carrière *Torti*, et il reparaît, mais moins développé, au sud de cette même carrière, débordant sur un mamelon de roche feldspathique presque méconnaissable à cause de l'altération profonde qui en a dénaturé les éléments. Il est digne de remarque que la postériorité des fers concorde encore, dans cette contrée, avec l'ensemble des faits observés en Toscane, et justifie l'opinion qui nous porte à considérer les gîtes métallifères, et non les granites, comme les véritables roches éruptives auxquelles on doit rapporter la transformation des schistes jurassiques en alunite.

Bien que notre sentiment, relativement à la cause de cette transformation, diffère un peu de celui de M. Paréto, nous devons néanmoins reconnaître que ce géologue avait parfaitement observé l'indépendance qui semble exister entre les masses d'alunite et les masses feldspathiques. Voici comment il s'exprime à ce sujet (*ibid. citato*, page 27): « Bien qu'il soit difficile de comprendre le procédé employé, cependant il paraît évident qu'on doit attribuer à l'action des filons trachytiques l'altération qui a engendré la pierre d'alun. En effet, il semble

» que les filons et les masses d'alunite soient plus abondants
 » dans certaines roches secondaires (*verrucano* et *macigno*)
 » que dans les trachytes eux-mêmes; mais, malgré cela, on
 » ne peut pas nier que la masse trachytique ne soit voisine, et
 » que les petits filons d'alunite ne semblent partir des tra-
 » chytes pour s'anastomoser avec cette roche en partie siliceuse
 » que l'on observe dans les carrières.»

En s'appuyant sur la postériorité bien évidente des filons métallifères, par rapport aux roches feldspathiques, on sera moins étonné de l'indépendance de celles-ci avec les centres *alunitisés*, et si quelquefois elles sont décomposées et renferment quelques veines d'alunite, cette altération tient à des circonstances fortuites qui, comme à la *Tolfa*, auront amené le dégagement des vapeurs sulfureuses sur des points qu'elles occupaient. Pour bien se convaincre de la nature secondaire des alunières, il est bon d'étudier les excavations gigantesques de *Gangallandi* où le cœur même de la montagne est mis à nu par des tranchées de plus de 30 mètres de hauteur. La stratification des couches est indiquée par la direction des schistes siliceux, qui ont conservé leurs caractères originaires. Lorsqu'elle est visible dans les argiles blanchies, elle concorde constamment avec ces derniers, lesquels représentent les mêmes schistes que, dans le *Campiglièse* et à *Montioni*, nous avons vus appartenir à la formation jurassique, et qui, comme à la *Tolfa*, accompagnent les alunites.

Les uns de Rome et de *Montioni* sont renommés dans le commerce à cause de leur pureté. En traitant des alunites de *Péreta*, nous avons dit que l'acide sulfurique réagissait sur les oxides de fer qui colorent les calcaires et les schistes et les convertissait en un sel éminemment soluble que les eaux entraînaient à mesure qu'il se formait. C'est à cette dépuraison sans cesse renouvelée que les schistes alunifères doivent, à leur tour, d'être débarrassés de tout sulfate de fer. En effet, à la *Tolfa*, les eaux qui descendent des terrains métamorphosés en contiennent une certaine proportion en dissolution, et grâce à cette lessivaison permanente, elles opèrent le blanchiment des argiles et le départ de tout principe ferrugineux.

Je n'abandonnerai point ce sujet sans signaler, entre la *Tolfa* et *Civita Vecchia*, et précisément à la jonction des terrains jurassique et crétacé, l'existence de sources thermales très énergiques dont la température dépasse 45°. Ne doit-on pas encore voir dans ces phénomènes thermaux la dernière manifestation,

non affaiblie sans doute, des causes premières auxquelles il est rationnel de rapporter la formation des alunières?

§ 4. *Lagoni*.

On ne saurait maîtriser ses émotions, lorsqu'on se trouve pour la première fois en face d'un *lagoni*. Comme rien ne nous prépare au spectacle qui vous attend, on jouit à la fois de sa surprise et de la majesté de la scène qui se déroule devant vous. Qu'on se figure des montagnes crevassées laissant échapper avec un sifflement particulier des masses énormes de vapeurs qui embrument l'atmosphère et s'élancent en colonnes torsées jusqu'à la hauteur de 30 à 40 mètres; le terrain brûlant sous vos pieds et menaçant de vous engloutir; l'eau des *lagoni* bouillonnant avec fureur dans les bassins qui les retiennent et s'épanouissant en gerbes comme des geysers; qu'on se représente la désolation des lieux où s'accomplissent ces phénomènes incessants, et l'on comprendra les impressions profondes sous lesquelles l'âme ploie et s'élève alternativement en présence de ces scènes de violence et de convulsion.

Les *Lagoni* de la Toscane n'ont d'analogues dans aucune partie du monde connu. Ils constituent un phénomène géologique particulier dont l'influence s'exerce dans un espace de 10 à 12 milles compris entre les 28° 27' et 28° 40' de longitude et les 43° 10' et 43° 15' de latitude. Les points culminants qui relient les divers centres d'émission sont les pitons jurassiques de *Gerfalco* et de *Monte Rotondo* dont le redressement semble avoir déterminé les fractures des vallées environnantes, telles que la *Cecina*, la *Merse*, le *Pavone* et la *Possera*. Les *Lagoni* principaux sont groupés autour de ces fautes de séparation des eaux et constituent des volcans d'une classe spéciale d'une prodigieuse activité. Les plus remarquables par leur intensité sont ceux de *Monte Cerboli*, de *Castel Nuovo* dans la vallée de *Cecina*, ceux du *Sasso*, de *Monte Rotondo*, du *Lago del Edifizio*, de *Lustignano* et de *Serrazzano* dans la vallée de la *Cornia*.

Les *Lagoni*, pris dans un sens géologique, peuvent être définis « émission violente de vapeurs chaudes chargées d'hydrogène sulfuré à travers les fissures du sol. » Les dénominations de *Lagoni*, de *Soffioni*, de *Bulicami*, de *Fumacchi*, par lesquelles les habitants désignent l'ensemble des phénomènes, expriment assez heureusement leurs effets et leurs caractères distinctifs. Le *Lagoni* est, à proprement parler, la dépression naturelle du sol ordinairement remplie d'eau, de laquelle s'élancent les vapeurs brû-

lantes; les *bulicami* indiquent le bouillonnement de l'eau dans les lagoni, et les *Fumacchi* ou *Soffioni* représentent les soufflards, les fumerolles et les jets de vapeurs qui s'échappent des crevasses du terrain dans toutes les directions, sans passer par les Lagoni, en produisant un sifflement analogue à celui d'une machine soufflante de haut fourneau. Les anciens connaissaient les Lagoni de la Toscane, comme on peut le voir par un passage de sixième livre du poème de *Rerum naturæ*, dans lequel l'auteur, en parlant du lac d'Averne, s'exprime de la sorte :

*Is locus est Cumas apud Hetruscos et montes
Oppteti calidis ubi fumant fontibus aucti.*

En réalité, une des propriétés caractéristiques des Lagoni du *Volterrano* est celle signalée par Lucrèce, de dégager des vapeurs dont l'intensité est en rapport avec la quantité d'eau qu'ils reçoivent. Le nom de *Monte Cerboli* (Mont de Cerbère) donné au lagoni le plus imposant respire un parfum d'antiquité dont la signification s'allie très bien avec les idées poétiques et mythologiques des premiers peuples de l'Italie.

Jusqu'au XVIII^e siècle, les Lagoni ne furent plus considérés que comme une merveille surnaturelle qui frappait plutôt les esprits d'épouvante qu'elle ne les invitait à en étudier les particularités. Sous le grand-duc Léopold I^{er}, le chimiste Hœfer y découvrit par l'analyse la présence de l'acide borique. Cette découverte, qui depuis a donné naissance à une grande exploitation, a doté les Lagoni d'une importance industrielle qui ne connaît peut-être pas de rivale, et a apporté aux contrées qui les possèdent une activité et un bien-être incroyables dont les heureux résultats contrastent d'une manière frappante avec l'état misérable dans lequel elles languissaient auparavant et avec l'horreur que leur spectacle inspirait. Ce qu'il y a de curieux dans leur histoire, c'est qu'avant l'exploitation de l'acide, l'odeur fétide développée par le gaz hydrogène sulfuré, la mort certaine qui attendait l'homme qui tombait dans ces bains brûlants, les dislocations du terrain occasionnées par l'apparition de nouveaux *Soffioni*, et plus que tout cela, la terreur dont la superstition les avait environnés, faisaient regarder les Lagoni comme un fléau dont on demandait la cessation par des prières publiques, tandis qu'aujourd'hui, si une cause fortuite venait à éteindre avec les *Fumacchi* la source de la prospérité commune, on ne manquerait pas de redemander au ciel un fléau qui, dans les mains habiles de M. Lardérel, est devenu, suivant l'expres-

sion de M. Bowring (1), une source de richesses plus précieuse peut-être que toutes les mines du Pérou et du Mexique, et sans contredit moins capricieuse.

Après les essais d'Hœfer, un chimiste de renom, Paul Mascagni, eut le premier l'idée d'utiliser les Lagoni pour la fabrication d'un borax analogue à celui de la Chine et d'affranchir ainsi l'Europe du tribut qu'elle payait à l'Asie. Mais l'opération ne fut pas conduite avec bénéfice dans ses débuts, les eaux ne contenant, au moment de leur sortie de la terre, qu'une quantité insignifiante d'acide borique en dissolution. Un autre chimiste livournaï ayant remarqué qu'une partie de l'acide était projetée au dehors du lagoni par la violence des vapeurs et qu'elle était délaissée sans profit sur les bords des cratères, et s'étant assuré de plus que les eaux étaient susceptibles de dissoudre une plus grande quantité d'acide, il chercha les moyens de les en saturer en construisant sur les pentes du terrain des lacs artificiels alimentés par les sources de la montagne. Les *Soffioni* qui traversent ces lacs maintiennent constamment les eaux à la température de l'ébullition. Lorsqu'elles ont été imprégnées par les vapeurs vingt ou trente heures dans le lac le plus élevé, on les fait descendre dans un second lac pour les soumettre à une nouvelle imprégnation. De là elles se rendent dans un troisième, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elles arrivent dans le récipient situé à la partie la plus inférieure. Dans ce passage à travers six ou huit lacs, elles se sont chargées d'un demi pour cent d'acide borique. On les transporte alors dans des réservoirs, d'où elles sont conduites dans des évaporatoires en plomb peu profonds pour en opérer la concentration; afin de hâter cette opération, on a eu l'heureuse idée de substituer au combustible que l'on employait autrefois, et qui occasionnait des frais énormes, l'application directe de la chaleur des *Soffioni*. Cette innovation décida du succès de l'entreprise. Il est même assez surprenant qu'elle y ait été introduite si tard, puisque ce procédé n'était pas nouveau et que depuis longtemps il était pratiqué à la solfatare de Pouzzoles pour extraire l'alun des terres qui le renferment. Suivant Haüy (2), on enfonce les chaudières dans le sol dont la température naturelle (47 degrés) est suffisante pour opérer la cristallisation de ce sel.

Dans les Lagoni, les *Soffioni* que l'on destine à l'évaporation

(1) *Philosophy mag.* Juillet 1839.

(2) *Traité de minéralogie*, 2^e édition, vol. II, p. 149.

sont captés à leur origine et portés à travers des tuyaux de plomb ou par des conduits souterrains jusque sous les chaudières. On voit par là combien le procédé de fabrication est simple, car la localité elle-même fournit les instruments de cette fabrication. Un seul de ses soufflards suffit pour mettre presque immédiatement en ébullition 20 à 30 de ces chaudières de la capacité de 20 barils qui peuvent être évalués à 84,000 livres de liquide imprégné d'acide borique. Avant de donner fuite aux vapeurs affaiblies, on les dirige sous les étuves pour débarrasser l'acide de son eau hygrométrique.

Depuis quelques années, on a simplifié le système un peu compliqué des chaudières et des cristalliseurs, en leur substituant des tables rectangulaires en plomb de 20 à 30 mètres et divisées à des intervalles très rapprochés par des ressauts transversaux parallèles, mais dont la hauteur ne s'élève jamais au niveau des rebords. On donne à ces tables une inclinaison de 2 à 3 degrés; on y introduit l'eau du dernier Lagoni par la partie supérieure et par petits filets. Les *soffioni* d'évaporation sont conduits de manière qu'ils puissent en lécher la surface inférieure. Le liquide, après avoir rempli le premier compartiment, s'épanche insensiblement dans le second, puis dans le troisième, et ainsi successivement jusque dans les derniers compartiments, où il arrive dans un état de concentration tel qu'il dépose l'acide cristallisé, que des ouvriers retirent immédiatement au moyen de râcles en bois. Cette concentration graduelle et *au pas de course* est infiniment ingénieuse et exige si peu de main d'œuvre qu'on obtient, pour ainsi dire, l'acide sans frais.

Depuis 1818 jusqu'en 1845, la quantité d'acide fabriqué a été de 33,349,097 livres toscanes (environ 11 millions de tonnes).

Depuis 1839 jusqu'en 1845, la production moyenne a été de deux millions et demi de livres.

Ainsi, en évaluant le produit à 7,500 livres par jour, la quantité d'eau saturée sur laquelle on opère journellement est de 1,500,000 livres et annuellement de 547,500,000 livres.

Cette industrie rapporte à la Toscane 12 millions de livres (10 millions de francs), et ce qu'il y a de surprenant, c'est que ces lacs soient restés improductifs pendant plusieurs siècles et qu'il ait été réservé à l'habileté de M. Lardérel, aujourd'hui comte de *Monte Cerboli*, et avant 1818 simple marchand colporteur, tout à fait étranger aux recherches scientifiques, de convertir ces vapeurs fugitives en une source inépuisable de richesses.

La violence avec laquelle s'échappent les vapeurs brûlantes donne lieu à de véritables explosions boueuses, lorsqu'on a assemblé un lac pour en verser les eaux dans un autre lac. La boue est alors projetée comme le seraient des matières solides rejetées par des volcans, et il surgit du fond du lac une foule de petits cônes d'éruption dont l'activité et le jeu rappellent exactement, sous une autre forme, les *hornitos* du Malpays. Leur température varie de 120 à 145 degrés centigrades, et les nuages qu'elles poussent au-dessus des Lagoni constituent de vrais baromètres naturels, dont la plus ou moins grande intensité trompe rarement les prédictions qu'elles annoncent.

Si, sous le point de vue des applications industrielles, les Lagoni occupent le premier rang parmi les produits naturels de la Toscane, leur étude met de nouveaux moyens à la disposition de la science qui permettent d'observer à loisir la marche de certains phénomènes dont l'action est, pour ainsi dire, réglée suivant la volonté de l'expérimentateur. Les gypses métamorphiques que nous avons vus se produire à *Péreta* sous l'influence du gaz sulfhydrique, sont créés dans les Lagoni qui, comme ceux de *Monte Cerboli* et de *Castel nuovo*, se sont fait jour à travers les couches argilo-calcaires de l'Albérèse, avec une abondance telle, que la marche de leur formation peut être constatée directement. L'attaque s'exerce à la fois sur les parois des fractures et des fissures du sol qui livrent un passage aux vapeurs souterraines. De là elle se propage graduellement dans l'intérieur des masses et elle finit par gypifier des cirques entiers dont le rayon est généralement celui des Lagoni eux-mêmes. Les calcaires purs sont convertis en un sulfate de chaux lamellaire, mais d'un tissu lâche et rempli d'interstices. Cette structure tient, suivant toute vraisemblance, au gonflement qu'ils éprouvent par l'addition de principes nouveaux et peut-être aussi au passage des gaz au moment de la cristallisation du sel. Les calcaires subordonnés aux argiles conservent, après leur transformation, leur disposition primitive, et ils offrent l'alternance de couches gypseuses et de couches argileuses que l'acide sulfurique a préalablement débarrassées de leurs bases solubles. Lorsque l'épigénie s'exerce dans le sens de l'épaisseur des strates, il n'est pas rare d'observer, vers les limites où expire l'influence métamorphique, un massif de roches franchement calcaire à une de ses extrémités se terminer à l'extrémité opposée en une pierre à plâtre que les habitants emploient dans leurs bâtisses. Cette ressemblance avec les gypses enclavés au

milieu des formations secondaires se maintient jusque dans la teinte rougeâtre que la peroxidation imprime aux argiles concomitantes de l'albérèse. Mais une particularité qui m'a donné la solution d'un problème qui m'avait jusqu'ici embarrassé, mérite d'être mentionnée, car elle reproduit des accidents dont les dépôts anormaux des Alpes de la Provence présentent de nombreux exemples. J'avais remarqué à Roquevaire et à Digne, principalement à la base et à l'extérieur des masses gypseuses, des encroûtements argileux irréguliers dans lesquels se trouvaient engagés sans ordre des fragments anguleux de sulfate de chaux d'un volume variable. En admettant la transformation du calcaire jurassique de ces contrées postérieurement à sa consolidation sous l'influence de vapeurs acides, il était difficile d'expliquer le mode de formation de ces brèches et la manière dont les fragments y avaient été introduits. Dans tous les cas, elles indiquaient un remaniement par l'élément aqueux; mais la théorie repoussait l'intervention des eaux pour l'accomplissement des faits relatifs à la conversion des calcaires, ou elle laissait dans le vague et l'obscurité le rôle qu'elles avaient pu y jouer. Or, voici ce qu'on observe aux Lagoni de *Monte Cerboli* et de *Castel nuovo*. En même temps que les calcaires sont changés en gypse, au contact des agents sulfureux, les fragments d'albérèse, que la désagrégation ou les eaux entraînent des pentes supérieures au milieu des lacs fangeux et bouillonnants, se changent aussi en sulfate de chaux et constituent, avec les argiles, dans lesquelles ils s'enfoncent, des masses bréchiformes argilo-gypseuses dépourvues de stratification. Ce fait a dû se reproduire pareillement dans les gisements anciens et dans des circonstances analogues; c'est du moins ce qu'on est en droit de conclure de l'examen de ce qui se passe dans les Lagoni. Nous ferons remarquer, en outre, les analogies de position que la boracite de Lunenburg, que l'on trouve en cristaux disséminés dans les gypses intercalés au milieu du terrain crétacé, offre avec l'acide borique et les borates des Lagoni de la Toscane.

Ces divers faits, bien constatés et acquis à la science, établissent à nos yeux des rapports de transformation si intimes entre les gypses des Lagoni et les gypses anormaux des terrains secondaires que leur comparaison fait justice de cette antipathie imaginaire que quelques esprits cherchent à interposer entre ces divers dépôts qui, quoi qu'on en dise, constituent une loi de continuité que les phénomènes actuels achèvent de généraliser en démontrant leur communauté d'origine.

Les détails qui précèdent, et surtout ceux qui se rapportent à la description de la solfatare de *Péreta*, nous dispensent de tracer l'histoire des sulfates d'alumine, de magnésie, d'ammoniaque et de fer que l'on a signalés dans les eaux qui tiennent l'acide borique en dissolution, et qui, pour la plupart, restent dans les eaux-mères mélangés avec divers borates. Nous nous bornons, par conséquent, à cette simple indication (1).

Si la silicification du macigno que nous avons signalée dans le voisinage de la solfatare de *Péreta* peut paraître une application exagérée de la théorie que nous avons invoquée, la justification de cette théorie est toute écrite dans les Lagoni du *Sasso* où la dissolution de la silice du grès et sa régénération sous forme cristalline se manifestent sur tous les points où les circonstances se prêtent à cette double transformation. Les *Fumacchi* du *Sasso* sont dominés au S. des établissements par un vaste manteau de grès micacé à grains fins sur lequel est ouvert, à travers un bois de châtaigniers, le chemin de montagne qui met en communication la vallée de la *Cornia* avec la province de Sienne. De distance en distance, la route est barrée par des soufflards isolés qui bouillonnent dans des cavités peu profondes et qui exercent sur le terrain qu'ils traversent des modifications énergiques. Le premier degré d'altération s'annonce par la décoloration de la roche qui de gris-noirâtre devient blanchâtre. Elle se gerce ensuite dans tous les sens, de manière à ressembler, mais en grand, à ces larges dalles qu'un long usage a rompues en fragments anguleux. Les vapeurs suivent avec avidité ces lignes de séparation, attaquent la silice du macigno qu'elles dissolvent en partie et qu'elles déposent ensuite sous forme de gelée transparente. Cette gelée finit par prendre à l'air de l'opacité et cet aspect résinoïde propre aux silices hydratées. Par suite de

(1) Sous *Monte Rotondo* et sur la rive droite de la *Cornia*, il existe, au fond d'une dépression tertiaire, un lac circulaire d'un quart de mille de superficie, dont les eaux sont échauffées par des soufflards lagoniques qui s'échappent de son fond avec sifflement et les imprègnent d'acide borique. Ces eaux renferment aussi du sulfate de fer, que, dans les siècles passés, on récoltait dans un établissement semblable à celui de *Selvina*, d'où le lac a pris le nom de *Lago dell'Edifizio*. Une Société s'occupe depuis plusieurs années à en retirer l'acide borique. Pour éviter l'emploi du combustible, on recherche, par des sondages artésiens pratiqués au fond du lac des soufflards, dont on a l'intention de se rendre maître, afin de les faire servir à l'évaporation des eaux.

ce travail, on observe, isolés et emprisonnés dans le ciment siliceux qui les unit, des noyaux de grès micacé blanc demeurés intacts dans le centre. Ces espèces de brèches finissent à la longue, par suite de la dissolution complète des noyaux, par se convertir en une roche grisâtre, entièrement siliceuse, résonnant sous le marteau, à la manière de certains klingsteins et ressemblant exactement par leur aspect et leur *rudesse* au toucher aux biscuits de porcelaine avec lesquels on façonne des figurines. Quelquefois la dissolution a été plus rapide et alors la roche est formée par l'agglutination de petits grains analogues à ceux des quartzites anciens dont elle possède et la ténacité et la dureté. Examiné à la loupe, chaque grain se montre composé d'une gouttelette indépendante de silice hydratée qui semble avoir coulé à l'état de larmes visqueuses, lesquelles auraient adhéré les unes aux autres avant leur durcissement. Breislack avait observé à la solfatare de *Pouzzoles* des fragments de laves décomposées liées ensemble par une substance siliceuse presque vitreuse (*Voyage dans la Campanie*, t. II, p. 402); mais dans les lagoni du *Sasso*, la dissolution et la régénération permanente de la silice opérée aux dépens de la silice du macigno sont des phénomènes qui s'accomplissent sur une vaste échelle et sur des espaces si étendus que les nouveaux produits constituent des masses puissantes dans lesquelles le géologue peut tailler à volonté pour y moissonner sa récolte d'échantillons.

Conclusion.

Il serait superflu de démontrer ici que les *Lagoni* de la Toscane ne sont qu'un épisode particulier des phénomènes volcaniques; leur activité, la nature de leurs produits ne peuvent laisser aucun doute à cet égard. D'un autre côté, l'identité des faits observés à *Péreta* conduit à attribuer à cette solfatare, dont l'énergie se sera ralentie graduellement, une origine commune avec celle des *Lagoni*. La solfatare de *Péreta* s'associe à son tour aux alunières de la *Tolfa*, de *Montioni* et de *Campiglia* autant par son voisinage que par l'analogie de ses roches métamorphiques. Par conséquent, les *Lagoni*, les *solfatares* et les *alunières* représenteraient, mais à divers degrés de violence, la dernière manifestation des actions ignées qui ont imprimé au sol de la Toscane ses accidentations si prononcées, et dont l'apparition des roches plutoniques et des gîtes métallifères marquerait la période de plus grande intensité.

NOTE ADDITIONNELLE.

Les expériences que l'on a faites sur la température interne du globe ont démontré que l'augmentation de la chaleur est d'un degré centigrade par 25 à 30 mètres de profondeur. Ce résultat, déduit d'un grand nombre d'observations recueillies dans les mines, concorde avec celles qui ont été fournies par les puits artésiens, en sorte que les objections que l'on a élevées quelquefois sur le mérite des premières observations, à cause des éléments d'erreur dont on les a supposées entachées, soit par l'accumulation des ouvriers, soit par la chaleur développée par les lampes, se trouvent anéanties par l'irréprochabilité des secondes.

Jusque dans ces dernières années, ce résultat général, vraiment remarquable, n'avait été contrarié par aucune exception trop choquante; seulement les limites extrêmes de variation constatées dans les mines de charbon de Décise et de Littry indiquaient une progression de température plus considérable qu'en aucun des autres lieux du globe; mais la chaleur développée par la décomposition des pyrites si abondantes dans les combustibles fossiles, pouvait expliquer jusqu'à un certain point cet accroissement anormal. Il était permis de croire aussi que des influences de cette nature n'étaient point étrangères à l'état thermométrique du puits de *Monte Massi*, en Toscane, qui, comme on le sait, est creusé dans un terrain tertiaire lignitifère. MM. Matucci et Pilla ont constaté un accroissement de température d'un degré par 13 mètres de profondeur. Au mois d'avril 1843, on avait atteint la profondeur absolue de 348 mètres et celle de 295 mètres au-dessous du niveau de la Méditerranée. Une couche très mince de charbon que l'on rencontra à 120 mètres, et dans laquelle le thermomètre monta à 25 degrés, fut la seule trace de combustible que les travaux indiquèrent. On ne traversa après que des grès, des conglomérats et des argiles; au fond du puits l'instrument marquait 41 degrés. Par conséquent on ne peut point attribuer ce résultat à l'échauffement des couches par la décomposition des pyrites.

Si les expériences ci-dessus relatées s'appliquaient à une contrée placée à l'abri des manifestations volcaniques, on devrait enregistrer sans opposition les conclusions des savants professeurs de Pise; mais quand on considère que *Monte Massi* touche presque aux alunières de *Montioni*, au milieu desquelles sourdent encore des sources animées d'une haute température, ainsi