

I. LA MÉTALLOGÉNIE DE L'ITALIE ET DES RÉGIONS AVOISINANTES

II. — NOTES SUR LA TOSCANE MINIÈRE ET L'ÎLE D'ELBE

PAR L. DE LAUNAY

Professeur à l'École supérieure des Mines de Paris.

PREAMBULE.

Avec les idées que nous commençons à nous faire sur les rapports de la métallogénie et de la tectonique, le type spécial des gîtes métallifères propres à une région déterminée nous apparaît comme devant avoir sa raison d'être dans les conditions originelles de cristallisation, profondeur, etc, dans la position des vides remplis ou des fractures métallisées par rapport aux accidents de plissement et de fracture, dans leur relation avec les montées de magmas éruptifs, etc. Cette raison d'être, nous pouvons tout au moins tenter de l'imaginer et on ne saurait plus aujourd'hui se contenter d'étudier un gîte métallifère en lui-même sans établir ses liens avec la géologie générale de la région où on le rencontre. Il est évident, par exemple, que, même pour la pratique minière, un lambeau de gîte emporté dans une lame de charriage devra avoir une allure et une continuité différentes de celles que peut présenter la métallisation dans les fractures d'origine profonde, à la limite d'un effondrement. Et de semblables tentatives d'interprétation ont également leur valeur en tectonique; car une hypothèse tectonique pourra prendre une vraisemblance nouvelle si elle se trouve confirmée par l'observation des gîtes métallifères, indépendamment desquels elle a été d'ordinaire établie, tandis que le fait contraire semblera de nature à l'ébranler. C'est dans ce système, dont je crois avoir inauguré la méthode et donné les premières applications, qu'il me paraît y avoir lieu de reprendre l'étude d'ensemble des gîtes métallifères en les grou-

pant par régions géologiques et en cherchant à trouver, dans la tectonique et la pétrographie, les causes des particularités qui les caractérisent. J'ai déjà fait une tentative de ce genre dans un ouvrage sur l'Afrique¹ et j'espère la continuer un jour pour les autres parties du monde; mais, avant d'aborder des régions mal connues, il est préférable d'appliquer la même méthode à celles pour lesquelles nos connaissances sont les plus avancées. Ayant essayé de grouper de cette façon les gisements de l'Italie et de la Chaîne alpine, j'ai été conduit récemment (mai 1904) à aller visiter une zone métallifère de ce pays que je n'avais pas encore abordée: celle qui comprend la Toscane, l'île d'Elbe et la Campagne Romaine.² C'est pourquoi ce mémoire sera divisé en deux parties d'inégale extension: la première concernant l'ensemble des gîtes italiens; la seconde renfermant l'étude spéciale de la région, sur laquelle j'ai pu faire des observations nouvelles.

En dehors de ces questions de "métallogénie tectonique," qui formaient le but principal de mon voyage, mon attention s'est trouvée tout naturellement attirée sur les questions d'*altérations superficielles* et de *circulation d'eaux souterraines anciennes ou récentes*, qui ont fait l'objet de mes travaux antérieurs. Dans ces divers ordres d'idées, je vais avoir à signaler quelques faits intéressants et, ce me semble, tout à fait typi-

1 *Les Richesses minérales de l'Afrique*.—1 vol. in 8.^o Paris Béranger 1905.

En ce qui concerne l'Europe, l'étude consacrée dans les Annales des Mines de 1903 aux minerais de fer scandinaves comporte également une première application de la même idée dans le cas d'une zone à plissements particulièrement anciens et à manifestations métallifères profondes. Ici nous envisageons une zone tertiaire. Plus tard je me propose d'étudier, dans la chaîne hercynienne, les conditions intermédiaires.

2 Je me trouverai ainsi grouper des observations faites surtout dans trois voyages miniers séparés par de longs intervalles.

En 1883, j'ai parcouru toute la longueur des Alpes, de l'Oisans au Val d'Aoste, au Mt. Rose, au Bergamasque, aux Alpes dolomitiques, à la Carinthie et à la Carniole. En 1891, j'ai visité la Sardaigne. Les résultats de ces deux premiers voyages ont été résumés dans mon *traité des gîtes minéraux et métallifères* (1892) et postérieurement dans deux articles sur les *gîtes métallifères des Alpes Occidentales et Centrales* (Monde Moderne, mars 1895, et mars 1896). En 1892, j'ai suivi le prolongement des Dinarides dans le Karst, la Bosnie et le Montenegro. Enfin, en mai 1904, j'ai visité la Toscane et l'île d'Elbe. Afin de ne pas allonger cet article par une bibliographie interminable, je demanderai la permission, pour tous les gisements qui se sont trouvés signalés et dont la bibliographie a été donnée dans le *Traité des gîtes minéraux et métallifères*, de renvoyer à la page de ce livre où il a été question et je me contenterai de mentionner les principales publications postérieures à son apparition. Les conclusions principales de l'étude qui va suivre ont été déjà résumées dans la *Revue Générale des Sciences* du 30 Sept 1905 (article traduit par M. B. Lotti dans la *Rassegna Mineraria* de janv. et févr. 1906). J'ai insisté alors, en les condensant, sur toutes les remarques générales relatives aux rapports de la métallogénie et de la tectonique, qui vont se trouver nécessairement un peu dispersées ici.

ques, tels que la présence de gîtes cuivreux dans un charriage de roches profondes au Monte Catini, puis le rôle prépondérant des contacts entre terrains inhomogènes au moment des dépôts filoniens hydrothermaux à Boccheggiano, la Fenice, Gavorrano, etc., l'altération postérieure de pyrites cuivreuses qui a donné les phillipsites et chalcosines de Monte Catini, la transformation de pyrites profondes, qui semble avoir produit les sidéroses et les oligistes spéculaires de l'île d'Elbe, les remises en mouvement qui ont joué un rôle essentiel dans l'allure des gîtes cinabrifères au Monte Amiata, le métamorphisme de trachytes pyriteux dont résultent superficiellement les filons d'alunite de la Tolfa, etc. Tous ces cas nous fourniront l'occasion de préciser la façon dont a eu lieu cette altération superficielle, à laquelle je crois nécessaire d'attribuer une si grande importance et peut-être arriverons-nous aussi à mettre en évidence ce qui caractérise, comme mode de formation, comme profondeur originelle, comme phases d'érosion et d'altération, ce district métallifère toscan, ce qui en constitue le "type régional." On verra, par exemple, combien les observations faites par les praticiens de l'île d'Elbe, du Monte Amiata, de la Tolfa, indépendamment de toute théorie générale, se trouvent confirmer les lois, auxquelles j'avais été conduit précédemment sur la formation de nombreux minerais d'hématite en terrain calcaire aux dépens de pyrites profondes, par substitution d'abord à l'état de sidérose, puis par peroxydation, ainsi que sur les remises en mouvement de sels solubles comme le cinabre et sur la limitation en profondeur de produits dus à l'altération comme le kaolin ou l'alunite. Incidemment, je donnerai, à l'occasion de cette région métallifère importante, les observations industrielles ou économiques que j'ai pu recueillir, au cours de mon voyage, sans m'attacher à en faire une étude particulière: observations qui auront du moins cet avantage d'indiquer l'état actuel de diverses industries, sur lesquelles il n'a pas été publié à ma connaissance, sauf quelques monographies en italien, de description générale récente.¹

¹ Dans l'ensemble, la production minière de l'Italie a atteint en 1902, environ 80 millions, dont plus de 53 pour le soufre, 11,7 pour le zinc; 5,7 pour le plomb; 3,8 pour le fer; 3,2 pour les combustibles; 2,8 pour le cuivre; 1,8 pour le mercure et autant

Ce voyage, fait au mois de mai 1904, a été grandement facilité par l'amabilité et l'extrême complaisance avec laquelle M. B. Lotti, ingénieur en chef au Corps des Mines italien, a bien voulu en dresser l'itinéraire, m'indiquer les points les plus intéressants à visiter et m'introduire auprès des diverses administrations minières. Je suis heureux de pouvoir lui adresser ici mes bien vifs remerciements; je dois également la reconnaissance la plus sincère aux directeurs de mines qui m'ont partout reçu, conduit et renseigné avec une cordialité, un empressement et une compétence infatigables: en particulier, à MM. P. Marengo, directeur général de la Sté de Boccheggiano, Ridoni, directeur de la mine de M^{te} Catini, Conedera, directeur de la Fenice, C. Marchese, directeur à Gavorrano, G. Tonietti et Raffo, directeur et ingénieur à l'île d'Elbe, Ang. Rosselli et Spirek, propriétaire et directeur au Siele, Cavalier Darbilly directeur à la Tolfa. Si les faits que j'ai essayé de grouper ici d'une façon nouvelle présentent quelque valeur d'observation, c'est parce que j'ai pu les appuyer à chaque instant sur leur science et sur leur expérience.

GÉNÉRALITÉS.

L'Italie comprend un certain nombre de zones métallifères distinctes, que nous allons tout à l'heure étudier dans l'ordre géographique, mais dont il est utile de résumer d'abord les caractères généraux afin de montrer leurs relations réciproques. Il est à observer que, pour la plus grande part, les gîtes dont il va être question sont de peu de valeur industrielle et cette observation est surtout frappante pour les Alpes, sur la longueur desquelles il n'existe à peu près aucune mine importante. Sans doute, dans quelques cas, on a affaire en Italie à des gîtes, non pas à proprement parler pauvres mais épuisés, comme cela se produit fréquemment dans des pays de très ancienne civilisation, où les travaux miniers ont eu autrefois une grande activité; néanmoins l'observation conserve, pour l'ensemble, sa

pour les pyrites de fer ou pyrites cuprifères: enfin 0,9 pour l'acide borique et 3,8 pour le pétrole.—En 1904, le total a été de 85 millions, dont 41,6 pour le soufre, 18,2 pour le zinc; 5,6 pour le plomb; 5,3 pour le fer; 2,9 pour les combustibles; 3,08 pour le culvre, etc.

valeur géologique. Or, quoique la présence en un point de quelques kilogrammes de galène demande à être expliquée tout comme celle d'un gisement où il en existe des millions de tonnes, on doit penser que, même pour la seule théorie, le second gîte représente un phénomène plus intéressant, plus caractéristique et sur lequel on doit s'arrêter davantage, parce qu'il est plus anormal et parce que son explication doit, dès lors, mieux nous éclairer sur les phénomènes si mystérieux de la métallurgie interne. Le but de la métallogénie est surtout, comme je l'ai dit ailleurs,¹ d'étudier les concentrations *anormales* des métaux dans leur gisements naturels. Au cours de notre travail, nous serons amenés à laisser un peu de côté cette observation préliminaire; mais il peut y avoir à en tenir compte dans l'essai de généralisation par lequel nous allons commencer.

Je remarque aussi que la plupart des gîtes métallifères italiens semblent, en résumé, si on laisse de côté la Sardaigne, d'âge tertiaire,² ce qui peut simplifier notre étude. Cette affirmation, qu'on ne saurait faire sans réserves pour les gîtes alpins, n'était, en aucune façon, évidente à priori; car, ainsi que j'ai essayé de le faire voir dans un ouvrage antérieur,³ les zones de plissement successives se sont, non pas déplacées avec le temps sur la surface de la terre, mais seulement resserrées peu à peu. L'Italie, qui fait partie de la zone alpine ou tertiaire, avait été déjà plissée à diverses époques antérieures et ces plissements successifs avaient dû y amener des cristallisations de minerais depuis le précambrien jusqu'au tertiaire. Peut-être certains gisements des Alpes à caractère profond se rattachent-ils, en effet, à ces mouvements plus anciens, ainsi que nous l'admettrons en tout cas pour la Sardaigne, l'Ouest de la Corse, la Calabre et la pointe N.E. de la Sicile; mais, presque partout, l'âge uniformément tertiaire des minerais s'accuse d'une façon incontestable et c'est donc un ensemble relativement homogène (quoique non exactement synchronique), que nous avons à envisager.

1 *Formation des gîtes métallifères ou Métallogénie.*—Seconde édition p. 6. (Paris Gauthiers Villars 1905.)

2 Nous entendrons ici toujours le tertiaire dans son acception la plus large, en y impliquant le pléistocène (quaternaire), qui n'en est qu'une dernière phase très courte.

3 *La Science Géologique.* Ch. XI, p. 392 et suiv. (Paris Armand Colin 1905.)

Ceci posé, la petite carte d'ensemble ci-jointe (Pl. I, fig. 2) est un essai pour traduire graphiquement et, autant que possible, en dehors de toute théorie, les faits d'observation relatifs aux gîtes métallifères italiens. L'explication, que nous allons en donner, va seule faire intervenir l'hypothèse. *

Sur cette carte, ainsi que sur la carte à plus grande échelle dont elle est la réduction schématique, j'ai d'abord mis bien en évidence les zones, où apparaissent les manifestations extérieures d'une activité volcanique tertiaire, (E) : zones, entre lesquelles s'intercale, avec une notation différente (C), la partie intermédiaire des Apennins, où se montrent tous les dégagements gazeux d'hydrocarbures, et que limite à l'ouest, sur le continent, la courbe sinueuse *A B C D E*. Quelle que soit l'interprétation exacte du volcanisme, il est du moins bien probable que ces montées au jour de magmas fondus ou refondus ont été en relation avec des zones affaissées (comme l'Adriatique), qui ont déterminé, par leur affaissement, soit un effet de pression hydrostatique sur des matières déjà liquides, soit une liquéfaction par relèvement des isogéothermes. Quand les appareils extérieurs d'un volcanisme éteint ont échappé à l'érosion, on peut, en outre, souvent supposer que l'affaissement de la zone terrestre où ils se présentent, en élargissant sur sa périphérie la zone déjà effondrée avant leur venue, a été pour quelque chose dans les circonstances accidentelles qui les ont préservés de la destruction. De toutes façons, nous avons là, à la surface, une zone, qui était à peu près superficielle à l'époque pliocène ou pléistocène. Suivant une remarque que j'ai déjà faite ailleurs, tout ce qui est, dans une telle zone, cratères proprement dits, et, par conséquent, tout ce qui est massifs volcaniques au moins pléistocènes, comme la Campagne romaine, la région de Naples, les Lipari,¹ l'Etna ou les monts Euganéens, est exempt de gîtes métallifères (si ce n'est accidentellement sur des réapparitions de terrains anciens). Les minerais filoniens, à quelques exceptions près, dont le mercure est la plus frappante, n'ont guère dû cristalliser jusqu'à la surface même, parce qu'il avaient, pour la plupart, besoin de trop de pression

¹ Voir pag. 565, note 2.

pour rester dissous et n'ont pu, par conséquent, s'élever en dissolution tout à fait jusqu'au jour. Une région volcanique aussi peu érodée ne semble donc pas métallisée. Mais il en est autrement dès que cette première croûte stérile superficielle, sans doute assez mince, s'est trouvée décapée. Le lien de cause à effet, que nous admettons entre les déplacements internes de roches fondues et les cristallisations de métaux dégagés par elles à l'état de fumerolles, conduit à supposer que, dans la profondeur des massifs volcaniques, de telles cristallisations doivent être abondantes et, comme il n'est probablement pas besoin d'une grande épaisseur de terrains pour réaliser la pression nécessaire à la dissolution et, par suite, à la cristallisation des métaux, la zone métallisée doit commencer assez vite en profondeur. Dans d'autres pays miniers célèbres, tels que le Mexique, le Colorado (où Cripple Creek en est un cas frappant), le Nord de la Hongrie, etc., nous trouvons ainsi, sur des centres volcaniques tertiaires, des dépôts métallifères remarquablement abondants et, ce semble, (pour une cause quelconque, qu'il serait bien intéressant de déterminer), particulièrement riches en métaux précieux, or et argent. Ici, en Italie, de tels dépôts n'existent pas sur les volcans à cratères encore conservés; mais on voit, d'une façon bien nette, les minerais de mercure (souvent avec antimoine connexe), dessiner, autour de la zone éruptive, une sorte d'auréole, marquée sur notre carte par la trainée bleu foncé (Hg.). Ce sont, en commençant par l'Est, les gîtes de Prozor en Serbie, puis ceux de Littai, Idria, Neumarktl, etc., en Carniole et Carinthie; ceux du Frioul et de Vallalta-Sagron en Venétie; puis la trainée Toscane de Jano et du Mt. Amiata peut-être pléistocène, le mercure actuel de la solfatara du Vésuve et même, en passant sur le continent africain, celui qu'on a reconnu en des points nombreux, toujours accompagné d'antimoine, à la limite de l'Algérie et de la Tunisie. Le mercure étant un produit qui persiste dans les sources thermales actuelles, un métal dont le sulfure est tout particulièrement soluble à l'état de sulfure double alcalin, on n'a point à s'étonner de le voir ainsi apparaître sur la périphérie d'une zone volcanique affaissée d'âge récent, avec laquelle il peut être en relation, par

une observation qui se trouve également vérifiée en Californie.¹

Une seconde zone métallifère, extérieurement concentrique à la première dans son ensemble, la zone plombo-zincifère (B. P. G.) présente un type de minerais qui se trouve ici caractériser les cassures des "Dinarides," type que l'on rencontre, avec des caractères très analogues, dans les Alpes Orientales (zones du Bleiberg et de Raibl), le Bergamasque, l'Apennin Toscan, puis, en sautant la mer, dans l'Algérie et la Tunisie.² Partout sur cette zone, on a affaire à des filons composés de minerais sulfurés complexes, où dominant, tantôt le fer ou le cuivre (pyrite et chalcoppyrite) tantôt le zinc ou le plomb: filons qui, en principe, sont des métallisations de failles ou de contacts anormaux entre terrains d'inégale perméabilité, avec substitution et extension par altération dans les terrains calcaires sous la forme de calamine, ou de sidérose, transformée elle-même en hématite. C'est la catégorie de gisements filoniens que nous allons avoir spécialement à étudier en Toscane.

On doit remarquer que, sur le bord extérieur de cette zone métallisée, vers l'Ouest, on voit apparaître, en bien des points, des cristallisations de roches profondes à type granitique, qui semblent souvent marquer la limite de deux zones tectoniques distinctes et qu'on a pu, par endroits, considérer comme la cicatrice, la suture d'une fracture profonde. Ce sont les tonalites du Bachergebirge, du Gailthal et de la région de Méran, les roches d'Ivrée, peut-être plus anciennes (sur ce qu'on a appelé l'immane frattura), enfin les granites miocènes du Campigliese et de l'île d'Elbe. La mise au jour de ces granites profonds, dont on retrouve l'équivalent plus ancien dans les Alpes occidentales, la Corse et la Sardaigne, marque ici la limite de la zone effondrée et, par suite, relativement superficielle et le commencement, au contraire, avec les schistes lustrés, de la zone plissée à métallisations de profondeur.

1 Je ne veux nullement dire par là que tous les gisements de mercure soient exactement contemporains les uns des autres non plus que les roches éruptives voisines; mais ils correspondent à une même phase de plissement et se trouvent dans des conditions d'érosion analogues. Cette remarque s'applique également aux zones suivantes. Voir, à ce propos, page 623.

2 Je laisse, pour le moment, de côté les minerais de ségrégation reliés aux roches basiques, dont la zone se trouve parfois chevaucher sur celle des filons plombo-zincifères, pour des raisons tout à fait indépendantes. Nous y reviendrons tout à l'heure.

Un premier type des minerais nouveaux que peut entraîner l'apparition de ces granites est fourni par la présence d'un peu d'étain, c'est à dire d'un métal que nous supposons cristallisé par des fumeroles chlorofluorées très chaudes (île d'Elbe et Campigliese) et nous avons ainsi, dans une série de zones à constitution presque théorique, en passant peu à peu des régions volcaniques toscanes aux régions granitiques de l'île d'Elbe dans le sens de l'Est à l'Ouest : d'abord le mercure; puis le plomb, le zinc et le fer (B. P. G.)¹ liés à l'approche des granites; enfin l'étain rattaché à son apparition.²

Dans un autre ordre d'idées et dans des conditions de gisement généralement toutes différentes, nous trouverons, en outre de ces minerais filoniens, les pyrites de fer cuivreuses parfois aurifères ou nickélifères et les divers minerais des ségrégations basiques souvent associés d'une façon plus ou moins intime aux roches vertes, dont on connaît le rôle tectonique si important sur toute la longueur des Apennins et des Alpes: imprégnations et fahlbandes dans les gneiss et schistes à facies cristallophylliens ou schistes lustrés, minerais de nickel et de cuivre, magnétite, fer chromé, pyrite, etc., en amas (Schladming, Kitsbühel, Val d'Anniviers, Gondo, Pestarena, région d'Aoste, etc.) Cette zone à roches basiques et minerais associés se confond, dans une certaine mesure, sur la carte, avec celle des manifestations granitiques, bien qu'en moyenne elle semble occuper une trainée axiale entre deux zones granitiques. Il ne faut pas, en effet, exagérer la différence de profondeur originelle entre les magmas grenus acides, tels que les granites et les magmas basiques, tels que les gabbros, etc.; c'est, dans bien des pays, à peu près simultanément que l'érosion les fait apparaître, et, s'il faut établir une distinction, les amas de roches vertes, à aspect de laccolithes, se montrent souvent dans des zones de terrains récents et non métamorphisés telles que l'Apennin, où les granites, plus profonds par conséquent, n'ont pas encore été décapés.

Cette dernière catégorie de minerais, que nous pouvons as-

¹ Cette expression représente le mélange ordinaire des trois sulfures: blende, pyrite et galène.

² Des traces d'étain et de bismuth apparaissent déjà à Boccheggiano.

similer à des formations profondes, émanées ou différenciées de magmas basiques, (roches vertes) exigera bientôt une étude spéciale. Nous y retrouverons, dans la zone alpine, des types métallifères de régions septentrionales profondément érodées, comme le Canada et la Norvège et nous pourrons nous demander s'il s'agit de métallisations réellement anciennes ramenées au jour par les plissements, ou, comme je le crois plutôt, de conditions analogues à celles qui caractérisent d'habitude les terrains anciens réalisées ici sur des terrains récents: c'est à dire que nous poserons, en ce qui concerne les minerais, la question qui divise les tectoniciens sur l'âge réel des gneiss alpins, des schistes lustrés et des roches vertes. Nous aurons, alors, en ce qui concerne ces minerais, à établir une subdivision entre les minerais de fahlbandes ou d'imprégnations dans les schistes, qui dominant, en somme, dans tout le Nord des Alpes et disparaissent complètement dans les Apennins, en même temps que les phénomènes métamorphiques auxquels sont dus les schistes lustrés et, d'autre part, les minerais de ségrégation, qui, apparus près du Val d'Aoste, prennent leur plus grand développement dans la région de Gênes et en Toscane; enfin, pour ce qui concerne ces derniers, nous croirons apercevoir au Monte Catini l'indice curieux d'un déplacement mécanique horizontal postérieur à la cristallisation des roches vertes.

Après quoi, dans les Alpes occidentales, nous signalerons, au delà des noyaux granitiques du Mont Blanc, du Pelvoux, etc. une seconde zone de minerais sulfurés complexes (B. P. G.), analogue à celle des Dinarides et nous arriverons à une zone de minerais très probablement hercyniens, c'est à dire appartenant à des tronçons de l'Avant-pays alpin, dans les Maures, l'Ouest de la Corse, la Sardaigne et la Calabre.¹

1 Pour ces gisements de Sardaigne, dont je ne reparlerai ici que très brièvement, je renvoie au *Traité des gîtes métallifères* II. p. 387 à 412 et 769. J'ai signalé alors, à titre exceptionnel, l'existence d'une dolomie métallisée à la base du crétacé de Lulla, près du Mt. Albo (p. 390, note 1). Cependant la presque totalité de ces filons sont localisés dans les terrains anciens, dont ils recourent à l'occasion les diverses roches, jusqu'aux microgranulites et aux porphyrites et les filons du Sarrabus sont, paraît-il, certainement antérieurs au lias, dans lequel ils ne pénètrent pas.

J'ai également insisté, à ce propos, sur le rôle des contacts métallisés (entre calcaires et schistes dans l'Iglesiente, calcaires et quartzites au Sarrabus), dont nous verrons bientôt l'importance prépondérante en Toscane.

Les observations de M. Lotti sur des minerais plombeux de sédimentation mécanique intercalés dans le permotrias du Cap Garonne près de Toulon conduisent également à admettre, dans cette région, des filons de plomb hercyniens.

Dans cet exposé, on voit que nous nous sommes trouvés tracer, en travers des Apennins, dont les plis tertiaires sont cependant si bien marqués dans l'ensemble suivant l'axe du continent italien, des directions à peu près Nord-Sud, telles que la limite *e, d, c*, ou plus à l'Ouest celle des schistes lustrés, qui semblent, au premier abord, contradictoires avec les autres indications de la tectonique. Ce sont les observations de faits et non une vue théorique qui nous les ont fournies. Peut-être pourrait-on expliquer cette anomalie par le rôle prépondérant des effondrements sur les plissements dans la genèse des minerais filoniens et par le caractère relativement superficiel de ces plis tertiaires de l'Apennin. Les minerais filoniens de l'Italie semblent, en effet, n'apparaître que là où se montrent au jour les horsts disloqués de massifs anciens, relativement profonds, dont la chaîne métallifère toscane est le meilleur indice et c'est sur des fractures à peu près Nord-Sud de ces massifs, marquant leurs déplacements relatifs à l'époque tertiaire, que les minerais ont, comme nous le verrons, presque tous cristallisé.

Au Sud de la Toscane, les minerais de ce genre disparaissent, en même temps que ces lambeaux de terrains anciens, dans toute la zone centrale de l'Italie¹ et ne se montrent de nouveau, par quelques indices sans importance industrielle, que lorsque des tronçons de ces massifs anciens affleurent de nouveau avec réapparition de noyaux granitiques au Sud de l'Italie, dans la Calabre ou la région de Messine.² On peut même observer que, sur toute la zone intermédiaire entre les massifs métallisés de la Toscane et ceux de la Calabre, zone à laquelle nous avons précédemment été tentés d'attribuer un caractère superficiel, les roches vertes font également défaut (comme si elles étaient plus profondes que la zone amenée ou laissée au jour par l'érosion.)

Cette liaison des minerais avec les dislocations (d'ailleurs elles-mêmes connexes des plissements), à l'exclusion des plissements proprement dits, qui n'ont pas facilité la montée des

¹ Quelques lambeaux de trias reparaissent pourtant à Terni, au Gran Sasso, à Salerne, etc.

² 1882. T. TOSO et L. BALDACCI.—*Notizia sui giacimenti e prodotti minerali dei monti di Messina e delle isole Lipari*. Relazione sul serv. minerario nel 1879.

métaux vers la surface, est conforme aux observations générales que l'on peut faire partout ailleurs.

Dans les massifs anciens de Toscane, tout ce système de dislocations affecte, comme je viens de le dire, une direction générale Nord-Sud, qui présente une certaine analogie avec le tronçonnement des anciens horsts hercyniens en massifs insulaires plus occidentaux (Corse, Sardaigne, etc.), notamment avec la limite *h, i, j*, et qui correspond avec certaines indications tectoniques sur le prolongement des plis alpins vers le Sud, tandis qu'elle est oblique sur le système N.O.-S.E. des plis dinariques dans l'Apennin. La zone intermédiaire entre le massif hercynien de la Sardaigne et l'Italie continentale, zone de plus en plus élargie vers le Sud, est marquée par l'effondrement qu'occupe aujourd'hui la Mer Tyrrhénienne, et l'on peut se demander s'il n'y a pas, dans cette disposition, un contrecoup d'accidents plus anciens (hercyniens) réouverts ultérieurement par les mouvements tertiaires, connexes de plissements nouveaux, qui n'ont plus épousé cette direction antérieure Nord-Sud, mais se sont inclinés vers le N.O.-S.E.

Nous allons maintenant parcourir les diverses régions métallifères de l'Italie et des régions avoisinantes, d'Autriche, de Suisse ou de France, en les examinant, du Nord-Est au Sud-Ouest, dans l'ordre géographique, c'est à dire que nous étudierons tour à tour : I. Les Alpes Orientales ; II. les Alpes Occidentales, avec le district de Gênes et la Corse Orientale ; III. le massif hercynien des Maures, de la Corse Occidentale et de la Sardaigne et, enfin IV, la Toscane, à laquelle est plus spécialement consacré cet ouvrage. Cette dernière partie sera, en raison de son développement, subdivisée en six chapitres concernant : IV. le Monte Catini ; V. les filons de pyrite de fer cuivreuse de Boccheggiano, la Fenice, etc. VI. Les minerais de fer de l'île d'Elbe ; VII. Les gisements de mercure du Monte Amiata ; VIII. Les alunites de la Tolfa ; IX. Les manifestations hydrothermales actuelles et les soffioni.

I.—ALPES ORIENTALES.

Quand on fait la coupe des Alpes orientales du Nord au Sud, on trouve, avant d'arriver aux roches cristallines des Tauern, deux zones tectoniques de direction Est-Ouest, aussi complètement distinctes par leur stratigraphie que par leur métallogénie: les Alpes calcaires triasiques au Nord, puis la zone des terrains primaires (Schiefer Zone, ou Grauwacken Zone) plus au Sud. La première va du Voralberg et de l'Arberg au Salz-Kammergut, où elle contient de nombreux gisements de sel et se prolonge jusqu'aux environs de Vienne.¹ A part quelques indices métallifères à l'Ouest d'Innsbruck vers Nassereit, elle est à peu près exempte de minerais, bien qu'au voisinage de la Schiefer Zone, les minerais de celle-ci y pénètrent à l'occasion, près de Brixlegg. La seconde peut être suivie de la région d'Innsbruck à Schladming, à Vordernberg et au Semmering.² Elle contient de nombreuses imprégnations métallifères complexes d'un type rappelant celui des gisements scandinaves, où dominant industriellement les sulfures de cuivre (Schwaz, Brixlegg, Kitzbühel, etc.), ou, plus rarement, de nickel (Schladming). Toutes deux, dans les idées tectoniques actuelles, semblent correspondre à des charriages venus du Sud, c'est à dire à des plis couchés ayant atteint ou dépassé l'horizontale; mais la racine de ces nappes superposées, sauf peut-être celle des plus hautes, ne paraît pas devoir être cherchée très loin (40 à 50 kilomètres en moyenne), c'est à dire que l'origine des gîtes métallifères englobés dans ces nappes est, en tout cas, assez voisine de leur position actuelle: qu'ils soient d'ailleurs

1 Elle est formée de plis couchés, dont les racines sont dans la zone interne des Alpes, entre les Hohe Tauern et le bord Nord des Dinarides.

2 Cette Schiefer Zone est considérée comme un paquet de nappes, qui s'enfonce au Nord, sous les Alpes calcaires. De Sterzing au Katschberg, elle est séparée de ses racines (situées immédiatement au Sud des Hohe Tauern) par la voute des Hohe Tauern formée de schistes lustrés. A l'Est du Katschberg, cette voute de schistes lustrés disparaît, d'après M. Terrier, comme dans un tunnel, sous la "carapace" des gneiss styriens qui cache des terrains plus récents. La distance des nappes à leurs racines est, en moyenne, de 40 à 50 kilomètres. Les écailles d'Eisenerz doivent être à 50 kilomètres de leurs racines. Il faut, d'ailleurs remarquer que ces "nappes" de la Schiefer Zone sont elles-mêmes très plissées et plissées comme leurs "racines:" phénomène qui, pour être général dans les Alpes, n'en doit pas moins inspirer quelques réserves. Mais (toujours selon M. Terrier que je suis ici), les plis des nappes sont beaucoup moins réglés, beaucoup plus capricieux.

antérieurs ou postérieurs à leur mise en place, question importante pour leur continuité pratique, mais difficile à trancher théoriquement.

Dans toute hypothèse, cette notion conduit à admettre, pour ces gisements, une assez forte profondeur originelle, puisque les charriages ont dû se faire sous le poids des nappes superposées, dont l'érosion n'a laissé ensuite subsister que des indices discontinus. Et ce fait correspond bien avec le type, qualifié plus haut de scandinave, que présentent beaucoup de ces gisements de la Schiefer Zone, comme nous le remarquerons également pour un très grand nombre des gisements compris dans la zone cristalline plus méridionale, tout à fait comparable à celle-ci. Il est, en effet, logique de supposer que, dans tous les pays où se trouvent mises à jour des portions de chaînes plissées ayant pris des types archéens, quel que soit d'ailleurs l'âge réel de ces gneiss et micaschistes depuis l'Éocène jusqu'au Laurentien, l'érosion doit avoir atteint, dans la profondeur de ces chaînes, une zone assimilable et semblablement placée par rapport aux intrusions de magmas ignés internes; par conséquent, les gîtes métallifères doivent être analogues.

Cette observation peut s'appliquer à la troisième zone que nous traverserons en recoupant les Alpes orientales du Nord au Sud, celle des Tauern, où dominant également les imprégnations sulfurées de pyrite et chalcopyrite souvent un peu aurifère, avec, plus exceptionnellement, de la blende, que l'on a pu comparer à celle de Ammeberg en Suède. Là les minerais sont peut-être moins abondants; je ne crois pas, notamment, qu'on en ait signalé dans les nappes de recouvrement formées de schistes lustrés qui occupent les Hohe Tauern: mais, quand les minerais existent, leurs caractères ne les distinguent pas de ceux que nous venons de rencontrer dans la zone moins métamorphique du Nord; on en trouve, soit au Nord des Tauern à Zell sur la Zill et à Rauris, soit à l'Ouest et au Sud (Sterzing, Waschgang, vallée de la Möll, Gross Fragant,) soit à l'Est (Gmünd). Ces gisements sont également comparables à ceux que nous retrouverons bientôt plus à l'Ouest, dans la zone cristalline analogue des Alpes-Pennines, où les sulfures apparaissent de même très fréquemment aurifères et l'analogie est

accentuée par la présence du fer chromé associé aux roches vertes dans les Alpes styriennes de Leoben (Kraubat, etc.), de même que, dans les Alpes Pennines, on trouve d'autres ségrégations ignées de magnétite, etc.

Enfin, sur le versant Sud des Alpes orientales, on recoupe les deux zones de calcaire triasique, qui constituent: d'une part, les Alpes du Gailthal, au Nord de la Gail; de l'autre, les Alpes dolomitiques et les Alpes de Raibl. Ces deux zones sont absolument distinctes pour la tectonique et présentent, entre elles, un contraste, souvent mis en lumière. La première, celle des Alpes du Gailthal, offre du Trias à type septentrional ou juvavique et ce trias est en plis verticaux ou très redressés, que l'on considère comme bien en place et se rattachant aux plis alpins du Nord. La seconde, celle des Alpes de Raibl, renferme du Trias méditerranéen, dont les plis, peu accentués mais couchés vers le Sud, se raccordent aux Dinarides. Cela revient à dire qu'il existe, suivant la ligne de suture marquée par la Gail, une importante lacune mécanique résultant de la disparition de toute une zone intermédiaire par un mouvement de compression interne, qui aura fait surgir ici des plis en éventail, ultérieurement emportés par l'érosion. Cet accident, peut-être indiqué déjà au moment des dépôts triasiques, s'est manifesté lors des plis tertiaires et l'on sait que le décrochement par faille, que la "cicatrice," suivant laquelle s'accuse la limite entre les deux parties, a donné passage à la montée des roches cristallines à type tonalitique.¹

Des deux côtés de la suture tonalitique, qui va du Bacher Gebirge par les Karawanken au Pusterthal et à Méran, les gîtes métallifères, très différents de ceux que nous avons signalés jusqu'ici, sont, au contraire, identiques entre eux malgré le contraste qui vient d'être rappelé. La zone du Bleiberg et de Greifenburg au Nord est tout à fait assimilable à la zone de Raibl, Auronzo, etc., au Sud (sauf le développement beaucoup plus grand de la seconde). Nous trouvons ici, dans les deux cas, la prédominance du groupe Plomb-zinc, qui contraste avec celle du groupe

¹ L'âge de ces tonalites n'est connu que par sa limite inférieure. On sait, seulement qu'il est postérieur au Trias. A l'Est elles dépassent le Jurassique (Suess, loc. cit. III. 449 et 455).

Cuivre-Nickel dans la partie cristalline (sans parler de la transformation carbonatée résultant de l'altération superficielle en terrain calcaire). Comme on ne saurait guère, dans la théorie tectonique admise, prendre ces gisements divers pour des débris dispersés d'une même formation métallifère antérieure aux charriages, cette analogie paraît devoir tenir à la disposition symétrique des deux zones calcaires par rapport aux magmas tonalitiques. Nous voyons le plomb et le zinc se développer ici en même temps que nous approchons de la zone de cristallisation ignée, comme cela se produit ailleurs fréquemment, par exemple, le long des "Banatites" du Banat, et comme nous le remarquerons tout à l'heure pour la Toscane en nous approchant de la zone granitique de l'île d'Elbe. Il serait, d'ailleurs, tout à fait inexact de généraliser cette observation et de croire à une relation nécessaire des minerais plombo-zincifères avec les granites, que l'observation dément de tous côtés, et, en particulier, ici même, où aucun granite n'apparaît au jour dans les zones de Raibl et du Bleiberg.

Les granites ne semblent, au contraire, renfermer des filons de plomb et de zinc que lorsque ceux-ci y ont été produits par des mouvements postérieurs (par exemple, les granites de la chaîne hercynienne disloqués à l'époque tertiaire) et l'on trouve de grandes régions métallisées en plomb et zinc sans trace de granite apparent (zone de Liège, Aix la Chapelle, etc.), comme des zones à granites très abondants sans aucun minerai de ce genre (Nord de la Scandinavie, Sud de la Bohême, Ouest du Plateau Central et de la Meseta, etc.). La relation directe des minerais de plomb et de zinc avec une roche ignée, si elle existe, serait plutôt avec les microgranulitites, qui semblent constituer une dérivation plus élevée, un départ latéral des granites.

Enfin, quand on arrive encore plus au Sud dans le Frioul et en Istrie, on voit, en se rapprochant de la zone éruptive tertiaire, c'est à dire en abordant la région où l'érosion peu avancée laisse subsister des zones d'intrusion ignée presque superficielles, apparaître, en proportions croissantes, le mercure.

Cette coupe transversale des Alpes paraît donc mettre en évidence la loi de succession suivante, déjà signalée dans notre préambule pour l'ensemble de l'Italie et à laquelle un grand

nombre d'observations comparables me ferait attribuer un caractère général :

1.^o Zone profonde des schistes et grauwaques primaires, des terrains métamorphiques à aspect archéen (gneiss, micaschistes, etc.) et des roches basiques.—Imprégnations sulfureuses de fer, cuivre, nickel et traces d'or, avec ségrégations ignées de chrome, nickel et cuivre dans les roches basiques elles-mêmes. (Types scandinaves, prédominants ailleurs pour les périodes primitives.)

2.^o Zone non métamorphisée et, par conséquent, moins profonde de terrains prétertiaires (tels que les calcaires triasiques), dans laquelle peuvent apparaître des dérivés des roches granitiques.—Filons plombo-zincifères (microgranulites, porphyres, etc.). (Types de l'Europe Centrale et de la région Méditerranéenne, prédominants pour la période hercynienne).

3.^o Zone peu érodée et presque superficielle des roches éruptives.—Filons mercuriels (Types tertiaires d'Algérie ou de l'Appennin).

Une seule et même chaîne nous offre donc trois des types principaux, qui, d'autre part, caractérisent les trois principales chaînes de plissement européennes. Sans qu'il faille attribuer à cette idée une précision qu'elle ne comporte pas,¹ il semble bien que la profondeur plus ou moins grande atteinte dans l'érosion et la zone plus ou moins rapprochée des magmas ignés ainsi mise à jour en soient les causes premières. Nous retrouvons ainsi, sous une autre forme, l'indice d'une relation entre les gîtes métallifères et les roches éruptives, que tout nous conduit à supposer et l'intervention probable d'un refroidissement, d'un appauvrissement, plus ou moins avancés de leurs fumerolles, déterminant la cristallisation, tantôt de l'un, tantôt de l'autre métal.

Il manque seulement, dans la série précédente, un métal particulièrement caractéristique de la chaîne hercynienne, c'est l'étain, en relation ordinaire avec un type de roches, les gra-

1 Ainsi que je l'ai fait remarquer dans le préambule, il y a, notamment, lieu de se demander si la zone des roches basiques est bien, comme on l'a admis en général, une zone plus profonde que celle des roches acides et des amas granitiques. Peut-être est-il prudent de réserver la question et de considérer les deux zones comme distinctes sans affirmer encore leur ordre de superposition. Des roches grenues basiques peuvent cristalliser presque superficiellement et la Scandinavie, avec ses roches basiques si abondantes, est, en même temps, très riche en granites.

nites à mica blanc, qui, d'autre part, n'apparaît pas non plus dans la coupe des Alpes Orientales, où, comme je le remarquais plus haut, les roches à cristallisation grenue du type granitique font généralement défaut, étant sans doute plus profondes. Ailleurs en Italie, du côté de la Toscane et de l'Elbe, nous verrons, à la fois, se montrer la zone granulitique et le groupe des minerais stannifères.

Revenons maintenant sur l'étude plus détaillée des diverses zones que nous venons seulement d'énumérer, pour montrer dans quelle mesure les faits précis justifient les généralisations précédentes.

En commençant par l'Ouest cette étude des Alpes Orientales, la région des Alpes de Glaris contient quelques traces métallifères: des chalcopyrites au *Mürstchenalp* (Sud du lac de Wallenstadt),¹ un peu de chalcopyrite aurifère au Felsberg dans le *Calanda*, de la calamine à *Scarl* (Grisons).

Puis vient, dans le Tyrol, la zone des minerais plombo-zincifères d'Innsbrück, encaissés dans les calcaires triasiques entre *Nassereit* et *Innsbruck*.

A l'Est d'Innsbruck, les minerais, qui deviennent presque exclusivement cuivreux, se localisent surtout dans la Schiefer-Zone à Schwaz, Kleinkogl, Brixlegg,² Kitzbühel,³ sur environ 60 kil. de long.

Les filons de *Schwarz*, qui traversent la granwacke, sont des veines minces (de 0,10 à 0,30 d'épaisseur) formées surtout de quartz, chalcopyrite et carbonate de fer, avec tétraédrite et bartyne accessoires, galène, bournonite, sulfures de nickel et de cobalt, blende et, exceptionnellement, traces de mercure.

C'est donc un minerai sulfuré complexe, à sulfures de cuivre et fer prédominants, qui, en profondeur, doit passer à un filon quartzeux de chalcopyrite et pyrite de fer, avec stibine, galène, etc., et dont on remarquera l'analogie de composition avec certains gîtes algériens.

Plus loin, au Nord-Est, se trouvent les filons de *Kleinkogel*.

¹ *Gîtes métall.* II. 277.

² *Journal des Mines d'Autriche* 1881, p. 576.

³ *Gîtes métall.* II.276,308.—*Bilder von den Kupferkies-Lagerstätten bei Kitzbühel* par G. DÖRLER (publ. officielle, Vienne, 1890 et 1891). 20 pages avec Bibliographie. 60 sections de galeries, plus quatre grandes coupes de galeries en portefeuille.

Grosskogel et Matzenköpfel, près Brixlegg, qui, pénétrant pour la plupart dans le calcaire dolomitique du trias inférieur, se chargent, par cela même, à la surface, de minerais carbonatés de cuivre avec calcite et dolomite. A Grosskogel, les minerais sont, en outre, fortement barytiques. Les venues d'eau, très abondantes comme dans la plupart des gisements ainsi encaissés dans les calcaires, accusent bien le rôle présumé des altérations superficielles.

Un peu au Sud et dans le massif archéen, se trouvent les chalcopyrites légèrement aurifères de *Zell* sur la Zill.

Puis les mines de *Kitzbüchel* (Schattberg, Kupferplatte, Kelchalpe), auxquelles il faut joindre les anciens gisements de Röhrebüchel et de Sinwell, portent sur des intercalations, ramifications et lentilles de veines quartzieuses avec chalcopyrite et cuivre gris dans les schistes siluriens, dirigés en moyenne E. O., mais très brouillés. Les sulfures de nickel, zinc et plomb apparaissent par traces. Les gisements, qui prennent souvent l'allure de filons-couches, présentent tous les caractères ordinaires de semblables imprégnations filoniennes en terrains schisteux.

La même zone se continue à *Leogang* (Salzburg),¹ où il existe des pyrites nickélifères et cobaltifères et nous la retrouverons tout à l'heure à *Schladming*.

Un peu plus au Sud, les minerais de *Rauris*, entre Zell am See et Gastein (Salzburg), au Sud de la Salzach, rentrent également dans le type des minerais complexes, où le cuivre domine. La chalcopyrite, encaissée ici dans les terrains cristallins, présente cette particularité d'être légèrement aurifère.

A *Schladming*, en Styrie,² les minerais, encaissés dans les schistes cristallins et schistes amphiboliques, affectent l'allure d'imprégnations sulfurées multiples et irrégulières, si habituelle en pareil terrains, dont *Kitzbüchel* nous offrait tout à l'heure un exemple et dont nous retrouverons bientôt un autre spécimen au val d'Anniviers près de Sierre en Valais.

Six de ces zones pyriteuses, qui, à la surface, prennent, par l'oxydation du fer, l'aspect de zones brûlées ou *brande*, se pour-

¹ *Gites métall.* II. 74.—1893 GROTH. *Über neuere Unters. Ostalpinen Erzlagertätte* (Leogang, etc.) (Zeits. f. pr. Geol. p. 20 à 24.)

² *Gites métall.* 72.

suivent, sur des kilomètres de long, avec des largeurs extrêmement variables, de 0,50 à 30 m., chargées de pyrite, mispickel et pyrrhotine légèrement nickelifère et cuprifère. Par un phénomène, dont Kongsberg en Norvège fournit le type le plus caractéristique, mais que l'on retrouve également sous une forme ou sous une autre dans bien d'autres gisements (par exemple au val d'Anniviers, dont il sera question bientôt, au Mansfeld, etc.), ces "brande" ne donnent lieu à des concentrations exploitables que sur la rencontre d'une douzaine de fractures transversales, où se sont rassemblés des nids de minerais nickelifères, cobaltifères et cuprifères (nickeline, cobaltine, chloanthite, smaltine, cuivre gris). Dans tous les gisements où l'on observe des conditions semblables, les métaux que l'on trouve sur ces filons transversaux sont toujours du même groupe nickel, cobalt, cuivre et argent, avec gangue carbonatée dominante. Partout ces mêmes métaux, ainsi rassemblés dans les filons minces transversaux, existent aussi dans les zones d'imprégnations pyriteuses (ou, pour le Mansfeld, dans la strate à sulfures métalliques). Bien que l'on ait soutenu en général l'idée d'une seconde formation métallifère postérieure, seulement influencée chimiquement ou électriquement par la rencontre de la première, il semble donc qu'il y ait lieu de songer à un simple phénomène de remise en mouvement secondaire.

A Schladming, le métal industriellement recherché est le nickel, dont la teneur n'est d'ailleurs que de 1 p. 100 dans les minerais triés.

Enfin, en continuant toujours vers l'Est sur la même zone primaire, on arrive à la région minéralisée des Alpes styriennes, dont le centre est Leoben.

Les gisements de beaucoup les plus importants de cette région sont les minerais de fer d'*Eisenerz* et de *Vorderberg*, intercalés par substitution dans un banc calcaire entre la grauwacke dévonienne et les schistes triasiques,¹ sous la forme de

¹ *Gîtes métall.* I. 747.—1900. VACEK. *Skizze eines geol. Profils durch den Steyerischen Erzberg* (J. d. k. k. geol. Reichs. Wien, 50, p. 25 à 33.)—1903. REDLICH. *über das Alter und die Entstehung einiger Erzlagerstätten der steirischen Alpen* (J. d. k. geol. Reichs. Wien. 53) avec bibl. antérieure dans les notes.—1903. TAFFANEL. *Le gisement de fer spathique de l'Erzberg, près Eisenerz en Styrie* (Annales des mines juillet 1905, No. t. IV. p. 24). Les terrains d'Eisenerz paraissent constituer une écaille apportée par les charriages de 50 kilomètres plus au Sud.

sidéroses et ankérites passant par oxydation superficielle à l'hématite. Il ne paraît guère douteux que l'origine de ces minerais altérés soit un mélange de sulfures de fer et de cuivre, dont on retrouve des traces de plus en plus sensibles en s'enfonçant, bien que l'on ait ici, comme dans tous les cas de niveaux calcaires métallisés analogues (Sardaigne, Pyrénées, etc.), soutenu généralement l'hypothèse d'une sédimentation métallifère, placée pour ce gisement à la limite du silurien et du dévonien.¹

De la sorte, ces gisements reprennent leur place dans un ensemble d'imprégnations sulfureuses, analogues à celles que nous venons d'étudier, dont ils occupent à peu près le centre: imprégnations, pour lesquelles le caractère filonien apparaît de tous côtés, chalcopyrites de la *Veitsch* (Dürsteinkogel) et minerais d'*Altenberg* près de Neuberg, du côté du Semmering; mine d'*Ocblarn* dans l'Ennsthal; puis, à l'Ouest, région d'*Hieflau*, de la *Radmer* et du *Zeyritz-Kampel*, où l'on observe un peu partout, avec la pénétration dans des terrains divers, grauwackes, schistes, etc., le rôle habituel en pareil cas des contacts entre calcaires et schistes, ainsi que le passage des pyrites aux ankérites et sidéroses retenant des noyaux de pyrites ou cuivre gris, puis aux calcaires stériles par l'intermédiaire des "Rohwand." Parfois le mispickel apparaît (Erzbreg près Eisenerz, Altenberg près Neuberg, Gollrad) et l'on a même signalé des traces de cinabre. D'après M. Redlich, ces minerais auraient une relation avec des diabases transformées en schistes amphiboliques, c'est à dire avec des imprégnations basiques.

A cet égard, il faut citer de suite les amas de fer chromé de *Kraubat* (Styrie), au Sud-Est de Leoben, intercalés dans des dunités serpentinisées, dont ils proviennent par ségrégation au milieu de schistes amphiboliques.²

Au Sud-Est de Leoben, en allant vers Graz, on retrouve également des minerais à *Feistritz*.

Je viens déjà de signaler en passant quelques minerais situés dans la zone cristalline au Nord des Hohe Tauern (Zell,

1 L'un des principaux arguments en faveur de la théorie sédimentaire est l'existence d'amas de fer spathique se succédant sur une longueur de près de 300 kilomètres.

2 FR. RYBA (*Zeits. f. Geol.* nov. 1900, avec bibl. antér.).

Rauris, etc.). Ces minerais sont plus abondants au Sud de la même nappe.

C'est là que l'on trouve, en partant de l'Ouest, les minerais dits de *Sterzing*¹ (ou plutôt de l'Oetzthal) à l'Ouest du Brenner, situés dans une nappe dont la racine est à 20 kil. au S.E. dans la zone gneissique coupée par l'Adige près de Meran. Ces minerais, composés de blende, galène, pyrites de fer et de cuivre et magnétite avec quelques carbonates, imprègnent une zone de 6 à 10 mètres de puissance dans des micaschistes. Le rapprochement de la magnétite avec les sulfures complexes est à noter comme se retrouvant, dans des conditions tout à fait semblables, également avec une allure de filon-couche, à Pierrefitte, près Cauterets dans les Pyrénées et comme existant également à Traverselle en Piémont.²

Au S.E. du gros Glockner et sur le bord Sud de l'écaille charriée des Hohe Tauern, assimilée par M. Termier aux schistes lustrés, il existe tout un groupe de minerais cuivreux et aurifères ayant donné lieu à d'antiques exploitations pour or, à *Fleiss*, *Zirknitz* et *Waschgang* près Döllach sur la haute vallée de la Möll, puis, plus bas, à *Gross Fragant*, près de son confluent avec la Drave.³

Sur le bord Est de cette même écaille de schistes lustrés, au Sud du Katschberg, les minerais de Krems près *Gmünd* renferment la même association de pyrite et magnétite précédemment signalée.

Enfin l'on arrive à la zone ferrugineuse d'*Hüttenberg* en Carinthie, qui commence, à l'Ouest, à Olsa près Friesach et finit à Lolling,⁴ où les minerais, parfois considérés à tort comme sédimentaires, présentent les mêmes phénomènes de substitution intrusive et d'altération superficielle qu'à Eisenerz.

Nous atteignons enfin la zone des calcaires triasiques du

¹ *Gîtes métall.* II. 449.

² On l'observe encore à Boundary en Colombie Britannique et à Eweefontein dans le Namaqualand (L. DE LAUNAY, *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 136). Cette présence de la magnétite est à rapprocher du développement d'oxydes de fer signalé par M. Locroix, dans les contacts de granite pyrénéens.—Voir, plus loin, page 41 et 42, les observations faites à ce sujet à l'occasion de Traverselle.

³ *Gîtes métall.* II. 268.—1896. *Das Bergbau-Terrain in den Hohen Tauern.* (Jahrb. des naturhis. Landes Mus. von Kärnten, 154 p. Klagenfurt.)

⁴ 1902. *Baumgärtel* (Jahrb. d. k. k. geol. R. Wien t. 52 p. 219). D'après cet auteur, il y aurait relation des minerais avec un granite profond, dont on observe de tous côtés les injections dans les schistes.

Sud appartenant au Dinarides (Alpes du Bergamasque, Alpes Dolomitiques, et Carniole), qui est la plus fortement minéralisée des Alpes Orientales. Ici les minerais, de nature plomb-zincifère, prennent un caractère tout à fait méditerranéen, très différent de celui de la zone précédente et comparable, par exemple, à celui des gisements de Tunisie et de Grèce; et ce caractère se poursuit, avec beaucoup de constance, sur plus de 400 kilomètres de long, du lac de Côme à la Carniole, les minerais restant localisés toujours dans la même zone triasique malgré le décrochement considérable de celle-ci entre Méran et le lac de Garde. On peut, d'ailleurs, rappeler que, suivant une remarque précédente, ce type de minerais est indépendant de la séparation tectonique marquée par la Gail entre les Dinarides et les Alpes et se poursuit sans changement au Nord de celle-ci, du côté du Bleiberg, là où apparaissent les mêmes terrains triasiques, à un même degré de métamorphisme.

La zone en question se continue vers l'Ouest, au delà du Lac Majeur, jusqu'auprès de *Biella*; mais, dans la région Ouest, les premiers minerais un peu développés qu'elle contienne sont à l'Est du Lac de Côme entre Belluno et Lecco (galène) et au Nord de Bergame, vers *Ponte di Noss*, à Dossena, Oneta, Gorno, Premolo, etc.¹ Ils affectent, en ce dernier point, le développement ordinaire d'amas calaminaires au contact de schistes ou de marnes intercalés dans les calcaires, avec résidu argileux à la base et mouches subsistantes de blende.

Au delà du Lac d'Iseo, en allant vers le lac d'Idro et le lac de Garde, la région du *Val Trompia* et du *Val Sabbia*² est très minéralisée, en même temps que très morcelée par des fractures complexes. Il existe là, d'après M. Suess, à la fois: des flexures parallèles à la ligne de la Giudicaria N. 45° E et présentant une inclinaison dans le même sens, c'est à dire vers l'Est; des dislocations N. 110° E. venant de la région affaissée

1 *Gîtes métallifères* II. 426.—1898. DRUETTI.—*Dei giacimenti zinciferi nelli valli Bergamasche*. Torino 35 p. Le niveau est carnien ainsi qu'à Raibl. On sait que les gîtes silésiens sont dans le muschelkalk (Virglorien).

2 *Gîtes métall.* II. 273.—1868. FUCHS *Gisements métallif. des vallées Trompia, Sabbia et Sassina* (Annales d. Min. Ge. t. XIII. p. 411).—Suess. *La face de la Terre* I. 330.—1880. *Poszcpny. Die Erzlagervstätten am Pfundererberg* (Arch. f. prakt. Geol. 1). —1882 TELLER, *Beiträge z. Kenntniss der dioritischen Gesteine von Klausen* (Jahrb. d. k. k. geol. Reich. Wien XXXII, p. 589—684).

de la Lombardie et enfin des fractures N.S. à N. 160° E, dont la faille de Schio, qui limite à l'Ouest la plaine de Vicence, paraît être, du côté Est, le terme extrême. Les filons recoupent tous les terrains et les roches de la région, les schistes cristallins, le permien, le trias et les mélaphyres, en produisant souvent des épanouissements au contact du permien et des schistes cristallins ou des imprégnations dans la dolomie triasique. Ils renferment: tantôt des pyrites de fer et cuivre (donnant, à la surface, sidérose et cuivre gris avec baryte sulfatée), notamment au milieu des mélaphyres du Val Sabbia; tantôt de la galène et de la blende (parfois transformée en calamine), avec de la fluorine.

Puis vient, en entrant dans la zone affaissée de l'Adriatique, le grand massif des porphyres permien de Botzen et de la Cima d'Asta, avec la série classique de ses roches diverses, considérées comme triasiques: monzonites (ou syénites augitiques), granulites à tourmaline, mélaphyres et porphyres augitiques, prophyrites à orthose, etc.

Au Nord de ce massif porphyrique, des minerais apparaissent dans les schistes anciens du *Pfundererberg*, près de Klausen, sur le passage de la grande faille Est-Ouest de Villnöss, que l'on a pu suivre jusqu'au Val d'Ampezzo et qui semble un des termes importants des affaissements périadriatiques.

Au Sud-Est du massif sont les deux gisements importants d'Agordo (pyrite de fer) et de Vallalta-Sagron (cinabre) en descendant vers Belluno et se rapprochant de la région éruptive. Le grand amas de pyrite cuivreuse d'Agordo,¹ autrefois exploité avec activité vers 1850 et récemment repris par l'Union italienne des industries chimiques, apparaît dans des schistes argileux à séricite, entourés de terrains triasiques. Sa longueur est de 254 mètres, sa largeur de 150, sa puissance de 4 à 80.

¹ *Gîtes métall.* II. 302.—PRIWOZNIK. *Das Berg und Hüttenwerk in Agordo* (Monogr. des Museums für Geschichte der Oester. Arbeit. Wien. A. Hölder 28 p.).—Dans la même région se trouvent les minerais de cuivre de Vodo et de Vallimperina. La lentille pyriteuse d'Agordo est entourée par une zone de schistes blanchis provenant de l'altération superficielle et assimilable aux zones analogues qui entourent les minerais pyriteux de la province d'Huelva. L'exploitation faite autrefois par l'Etat ne portait que sur les minerais à 5 ou 6 p. 100 de cuivre. Actuellement, on reprend les minerais plus pauvres autrefois négligés et l'on arrive à produire environ 30.000 tonnes de pyrite à 1 p. 100 de cuivre, vendue aux fabricants d'acide sulfurique de la Haute Italie. En outre, les travaux ont montré que la lentille, considérée comme épuisée, s'étendait probablement un peu latéralement.

Son volume a pu être d'environ 180,000 tonnes. Comme les amas analogues (Sain Bel, Foldal, Huelva, etc.) également encaissés dans des schistes anciens plus ou moins métamorphiques, il est formé surtout de pyrite de fer avec un peu de quartz et une légère teneur en cuivre, qui atteint ici 1,70 p.100. Il y a peu de galène, de blende et de mispickel accessoires.

Puis, à cheval sur la frontière Austro-Italienne, le gisement de *Vallalta-Sagron*.¹ qui se rattache à toute une zone cinabrière du Frioul et de la Carniole, sur laquelle je reviendrai bientôt, forme une colonne d'imprégnation mercurielle, avec pyrite assez rare, au contact d'un porphyre quartzifère accompagné de tufs et de terrains triasiques, dans un lambeau ancien pincé et replié le long d'une faille. Un peu de graphite est dû sans doute à des hydrocarbures ayant accompagné la venue de cinabre. L'ensemble porte l'empreinte manifeste de phénomènes de dislocation ayant donné aux terrains et roches une allure bréchiforme, et d'altérations secondaires. On a sorti de là, entre 1856 et 1870, 325,000 kg. de mercure.

Avec ce gisement de Vallalta nous nous sommes un peu écartés vers le Sud. Les principales zones plombo-zincifères sont beaucoup plus rapprochées vers le Nord de la faille du Gail et des Alpes Carniques.

La première, en partant du Nord, est, comme je l'ai dit déjà, celle de *Greifenburg* sur la Drave, du *Bleiberg* près de Villach, de *Klagenfurt*, de *Jauken* en Carinthie.²

Les minerais s'y montrent surtout dans les calcaires dolomitisés du Trias supérieur, qui ont dû offrir des conditions particulièrement favorables à la métallisation. Ceux du Bleiberg sont, conformément à la règle si habituelle, localisés près du contact de ces dolomies avec des schistes triasiques qui les recouvrent et leur caractère d'intrusion hydrothermale est très net. On put remarquer, dans les minéraux secondaires de ce gisement, l'association fréquente du molybdène et du plomb

1 *Gîtes métall.* II. 697.—1905. A. RZEHA. *Die Zinnerlagerstätte von Vallalta-Sagron* (Zeit. f. pr. Geol. sept. 1905, p. 325 à 330).

2 *Gîtes métallifères* II. 621.—1897. HUPFELD. *Der Bleiberger Erzberg* (Zeits. f. p. Geol. p. 233—247, avec bibliog).—1899. BRUNCKLEHNER. *Die Entstehung der Bleiberger Erze* (J. naturh. Landesmus. Klagenfurt 36 p).—1901. GEYER *Zur Tektonik des Bleiberger Thales in Kärnten* (Verh. d. k. k. geol. Reichs. p. 338—359).

(wulfénite), qui se retrouve dans divers gîtes de galène altérés, aussi bien à Eureka dans l'état de Nevada ou à Mapimi au Mexique que dans les grès à nodules du Castelberg près St. Avold et dans les incrustations de la "Grotte" de Raibl en Carinthie.

Les gisements de plomb de *Rubland* en Basse Carinthie sont analogues.¹

Une zone symétrique, située plus au Sud commence avec les minerais de plomb d'*Auronzo* dans la vallée de la Piave et se termine par les gisements classiques de *Raibl* au S.W. de Villach,² qui sont surtout caractérisés par l'importance des altérations calaminaires superficielles et des remises en mouvement ayant pris l'allure de remplissages de grottes en terrains calcaires, mais où l'on trouve aussi des métallisations sulfureuses (blende et galène) en rapport avec une série de failles ou feuilletts.

Enfin, au Sud, j'ai déjà indiqué, à l'occasion de Vallalta, l'apparition d'une zone cinabrifère, qui se développe dans le Frioul et la Carniole au voisinage immédiat des dernières fractures d'affaissement périadriatiques: par exemple au *Mt. Avanza* près d'Udine, à *Spessa* entre Cividale et Cormono, au *Mt. Peralba*,³ puis dans la grande mine célèbre d'*Idria*.⁴ Cette même série mercurielle se prolonge en Carniole, où elle paraît en relation avec la série de fractures E.O. et d'effondrements tertiaires, qui viennent si curieusement s'intercaler comme des coins entre les Alpes et les Dinarides et qu'accompagnent des roches éruptives récentes, bien que les minerais se trouvent, pour la plupart, dans le Carbonifère ou le Trias. Les principaux gîtes sont ceux de *Neumarkt Potocnig*⁵ au Nord de Laibach et de *Littai*,⁶ à l'Est de la même ville. Dans la plupart de ces gisements, le cinabre, comme c'est le cas habituel, n'est guère ac-

1 1891. R. ROSENLECHER. *Die Zink und Bleierzbergbau bei Rubland* (Z. f. pr. Geol. 1891 p. 80-88).

2 Gîtes métallifères II. 424.—1903. W. GÖBL. *Geologisch. bergmännische Karten mit Profilen von Raibl.*; publ. du KK. Ackerbau Ministeriums (Wien) avec bibliographie antérieure.

3 Gîtes métall. II. 698.

4 Gîtes métall. II. 686.—1890. KOSSMAT. *Über die geol. Verh. des Bergbaueb. von Idria* (J. k. k. geol. R. Wien. 259 à 286).—STRESS. loc. cit. III. 444.

5 Gîtes métall. II. 696.

6 Gîtes métall. II. 621.

compagné que de pyrite, de silice et d'hydrocarbures. A Littai, on a trouvé, en outre, des sulfures de plomb et de fer (transformés superficiellement en cérusite et sidérose). L'âge de tous ces gisements encaissés dans des terrains divers paraît bien être tertiaire, comme l'indique, en particulier, pour Idria, la relation des fractures métallisées avec tout un système de plis couchés et de chevauchements périadriatiques. Ce sont des manifestations métallifères superficielles, préservées de la destruction, à la fois par leur âge récent et par l'affaissement des terrains qui les englobaient.

En suivant les Dinarides, dans la direction du Sud-Est, on retrouve, après une longue interruption, des minerais de mercure associés également avec des fosses effondrées à roches éruptives récentes, dans la région située à l'Ouest de *Serajevo* (Prozor, Kresevo, Fojnika, etc.), puis, après un décrochement transversal vers le Nord-Est, au *Mt. Avala* et à *Ripanj*, près de Belgrade.¹ Les minerais, très comparables à ceux de l'Algérie et de la Tunisie, renferment l'association du mercure et de l'antimoine (stibine et cuivre gris), qui est caractéristique de ces deux pays, avec un peu de blende à Serajevo, de galène et de millérite au *Mt. Avala* et de la barytine. Au *Mt. Avala*, le gîte, encaissé dans la serpentine, est remarquable par la présence d'un minerai chromifère. Les gisements du *Mt. Avala* et de *Ripanj* font partie du même groupe que les minerais de zinc de Ripa et Grabovar.

II.—ALPES OCCIDENTALES.²—DISTRICT DE GÈNES.

Corse et Sardaigne.

La métallogénie des Alpes Occidentales présente, avec celle des Alpes Orientales, quelques différences assez importantes, qui tiennent à des dissemblances de tectonique bien connues :

¹ *Gîtes métall.* II. 705 et 706.—1894. v. A. Borne (C. R. Z. p. G. 1894 p. 467).—M. STARNY a signalé également du mercure dans le Trias à *Spizza* (Dalmatie du Sud) (*Grazer Montan Ztg.* VIII p. 365-366. 1901).—Voir L. DE LAUNAY. *L'Industrie minière en Serbie, Bosnie et Herzégovine* (Bull. Ann. d. M. juin 1896) et ANTULA. *Gîtes métall. de la Serbie*.

² Voir, pour les détails, L. DE LAUNAY. *Les Gîtes métallifères des Alpes françaises et des Alpes Centrales* (Monde Moderne, mars 1895 et mars 1896).

notamment au développement que prennent ici les roches vertes, avec les gîtes de ségrégation qui en sont le corollaire habituel et à la disparition, pour une cause quelconque, de la zone interne des calcaires triasiques, qui va reparaitre seulement au Sud, au delà de la Spezia, sur le flanc Ouest de l'Apennin toscan.

La coupe transversale de la chaîne étant ici de direction Est-Ouest, on peut distinguer, de l'Ouest à l'Est, quelques zones métallifères principales.

1.^o La première, à l'Ouest, qui commence au Sud du Pelvoux par l'Argentière et Château Voux, et se développe au Nord dans l'Oisans, le Dauphiné, la Maurienne et la Tarentaise, comprend, dans les terrains les plus divers du précambrien au jurassique supérieur, des filons proprement dits d'âge tertiaire à remplissage complexe, où dominent, tantôt les chalcopyrites et pyrites (avec transformation superficielle en cuivre gris et sidérose) comme dans le groupe d'*Allerard*, tantôt les pyrites et chalcopyrites faiblement aurifères, parfois accompagnées de mispickels et de stibines (*la Gardette* et *Auris* en Oisans, *la Combe de Theys* près *Allevard*, *Molard* près *Allemont*, etc.), ailleurs les sulfures de nickel, cobalt et argent pouvant contenir des traces de mercure (*les Chalanches*), les galènes argentifères (*l'Argentière* et *Château Voux* dans l'Embrunois, *Grand Clot* et *Chazet* dans l'Oisans, *Macot* et *Pesey* en Savoie), les minerais complexes avec un peu de mercure à *la Mure*, etc.¹ Tout cet ensemble, nettement filonien mais à filons généralement peu continus, présente souvent de l'analogie avec les filons de l'Apennin, de l'Algérie ou de la Sierra Nevada. Ailleurs on penserait plutôt aux systèmes filoniens ouverts à l'époque tertiaire dans les anciens horsts hercyniens comme le Plateau central ou la Bohême : ce qui peut tenir à ce qu'il s'intercale, en effet, ici, dans la chaîne plissée, des noyaux plus anciennement consolidés, dont la dislocation se serait faite en conséquence. En tout cas, il y a là : d'un côté, fumerolles sulfurées complexes ; de l'autre fractures pro-

1 Les filons de la zone d'Allevard, ceux du Clot (feuille de St. Jean de Maurienne) sont dans le primaire métamorphique, ceux de la Gardette, la Mure et Meus (feuilles de Briançon et Vizille) dans le Lias et le Jurassique. Il est à noter que, le long de toute cette zone métallifère filonienne, le granite apparaît comme au voisinage de la plupart des zones filoniennes analogues.

prement dites (alignées pour la plupart suivant l'axe de la chaîne).

Puis vient (2.^o), soit dans les schistes lustrés, soit dans les terrains à facies cristallophyllien des Alpes Grées et des Alpes Pennines rattachés aujourd'hui pour la plupart par M. Termier au Permo-Carbonifère¹ et considérés comme ayant été seulement métamorphisés à l'époque tertiaire, une zone comparable à celle des Tauern, avec nombreuses imprégnations de pyrite et mispickel aurifères (*Pestarena*, le *Mont Rose*, *Gondo*), auxquelles on peut assimiler les imprégnations par fahlbandes du *Val d'Anniviers* dans le Valais, analogues à celles de Schladming en Styrie et quelques autres minerais sans importance tels que ceux du Mt. Chemin en Suisse.

3.^o Le développement des roches vertes, qui commencent dans cette zone avec les schistes lustrés, entraîne celui des gisements de ségrégation ignée ou de départ sulfuré immédiat, avec magnétite, chalcopyrite, minerais de nickel et cobalt, etc., qui s'alignent nettement sur sa longueur à *Cruvin* (près Suse), puis à *Useglio* et *Balme* au Sud du Grand Paradis, à *Traverselle* à l'Est du même massif, à *Cogne* et *St. Marcel* sur son flanc Nord; enfin à *Scopello*, *Varallo*, etc., le long de la grande trainée Nord-Est des roches d'Ivrée, (pour l'âge de laquelle il convient cependant de faire des réserves).

L'âge de beaucoup de ces minerais des Alpes Occidentales est problématique. On n'est guère fixé d'une manière un peu précise que pour les filons proprement dits de la première zone la plus occidentale, dont beaucoup sont en relation nette avec des mouvements tertiaires et recourent eux-mêmes des terrains d'âges très divers jusques et y compris le Lias et le Jurassique inférieur. Les minerais des gneiss et terrains cristallophylliens, tels que *Pestarena*, *Gondo*, etc., pourraient être d'un âge quelconque, mais semblent plutôt se rattacher à des manifestations profondes d'âge tertiaire en rapport avec celles qui ont produit leur métamorphisme. Enfin l'âge des minerais associés aux roches vertes soulève la même question que celui de ces roches elles-mêmes et il y a là un problème qui demandera à être

¹ Comme je le dirai plus loin, l'âge réel des terrains, auxquels le métamorphisme a donné l'allure de gneiss, importe moins pour notre sujet que ce métamorphisme même

discuté plus loin. Notre conclusion sera alors que les intrusions de roches vertes et les métallisations connexes ont pu, en dépit des apparences premières, s'effectuer dans les Alpes à peu près à la même époque que dans l'Apennin, c'est à dire pendant ou même après l'Éocène. nous serons donc, en résumé, conduits à envisager la grande généralité des gîtes métallifères alpins comme d'âge tertiaire. Il est possible cependant que des minerais plus anciens que le Tertiaire et, par exemple, des minerais d'âge hercynien existent, en outre, dans les Alpes, où leur présence n'aurait absolument rien que de naturel, puisque la chaîne avait été plissée déjà dans la phase hercynienne. Nous signalerons bientôt de semblables minerais hercyniens, au Sud-Ouest et au Sud des Alpes, dans les Maures, l'Esterel ou les Alpes Maritimes, avec prolongement vraisemblable sur la Sardaigne.

Sur ces questions d'âge, toujours si délicates en ce qui concerne les filons, l'état actuel de nos connaissances ne nous permet donc d'être absolument affirmatifs ni dans un sens ni dans l'autre; voici l'une des raisons accessoires qui nous portent à considérer, sans preuve rigoureuse, la plupart des minerais alpins comme tertiaires. Si, comme j'ai essayé ailleurs de le montrer, la métallisation de l'écorce terrestre ne s'est produite, dans une phase de mouvement déterminée, que sur une hauteur assez faible, l'érosion, qui a mis à nu dans la même région des parties de deux chaînes superposées, a eu peu de chance pour atteindre, dans toutes deux à la fois, des zones métallisées et surtout des zones métallisées de la même façon. Un très grand nombre des filons alpins étant certainement tertiaires, on est donc amené à supposer que tous ceux, sur l'âge desquels on ne sait rien de précis, sont tertiaires également, tout en pouvant appartenir à des phases diverses de cette même période.

Laissant de côté les filons de la région française, dont il aura suffi plus haut de rappeler la nature,¹ je décrirai d'abord les imprégnations sulfurées du type Schladming ou Rauris (Val d'Anniviers, Gondo, etc.) et je passerai ensuite aux minerais

¹ En principe, ces filons (Pesey, Allevard, les Chalanches, la Gardette) sont en place. L'Argentière est dans un pli couché, mais à quelques kilomètres de sa racine (voir le mémoire de M. Terrier sur les montagnes entre Briançon et Vallouise).

de la zone des roches vertes, qui demandent une description plus approfondie.

Imprégnations sulfurées du Val d'Anniviers, de Gondo, etc.
—Si nous commençons par le Valais, nous trouvons d'abord, au Sud de la vallée du Rhône, au Sud de Sierre (Siders), les gisements compliqués du haut *Val d'Anniviers*,¹ qui présentent, comme les gisements de Schladming auxquels je viens de les comparer, d'intéressantes affinités avec les types scandinaves. On a là, entre 500 et 2000 mètres d'altitude, dans les schistes, toute une série d'imprégnations sulfureuses interstratifiées du genre des fahlbandes, avec fractures transversales, surtout minéralisées à l'intersection. Les minerais complexes sont principalement du cuivre gris arsenical avec de la sidérose et un peu de chalcopyrite, puis du mispickel cobaltifère, des arseniures de nickel, du bismuth, etc.

Plus bas, sur la vallée du Rhône, se trouvent, au *Mt. Chemin*,² près de Martigny, quelques courtes lentilles de quartz plombeux (parfois avec un peu de barytine) intercalées dans les gneiss et, dans les mêmes conditions, un peu de magnétite. On peut remarquer cette association de magnétite avec des sulfures, dont nous avons déjà eu à Sterzing et dont nous allons avoir encore divers exemples.

Des gîtes plombeux analogues, mais aussi pauvres, se trouvent à *Goppenstein*, dans le Lötschenthal, au Sud du massif de l'Aar et à *Steinberg*, dans la vallée de Lauterbrunnen.

En allant, au contraire, au Sud-Est du côté du Lac Majeur, on trouve, auprès du Simplon, les anciennes mines d'or de *Gondo*, presque à la frontière italienne,³ puis, sur le versant italien du Mont Rose, celles du *Val Anzasca*,⁴ du *cirque dei Pisse* dans le haut Val Sesia, etc. Tous ces gisements aurifères se présentent dans des conditions analogues, sous la forme d'im-

1 *Gîtes métall.* II. 74.

2 1902. R. HELBLING. *Die Erzlagerstätten des Mont Chemin* (39 p. et 2 pl.) Bâle, (avec bibl. p. 6).

3 *Gîtes métall.* II. 904 à 907. La région de Gondo est, d'après les coupes de M. Schardt, une région de plis couchés liés à leurs racines, qui commencent à peine à être des nappes et pour lesquels le transport a été insignifiant. Là, comme à Pestarena et au Val d'Anniviers, tout se passe pour nous comme si les terrains étaient en place.

4 *Gîtes métall.* II. 905, avec coupes p. 906., *Monde Moderne* mars 1896 p. 453. La mine de Pestarena, qui a été la dernière mine d'or en activité dans les Alpes, vient de fermer en 1903 et tout le matériel a été vendu comme ferraille.

prégnations sulfurées et parfois sulfo-arséniacales dans des gneiss ou des schistes métamorphiques, avec les types, ordinaires en pareils cas, de lentilles interstratifiées et de veinules transversales. La minéralisation comprend de la pyrite et du mispickel aurifères à gangue de quartz, avec parfois un peu de chalcopyrite et de galène (Gondo).

Les mêmes types de minerais se reproduisent, dans la direction du *Val d'Aoste*, à *Gressoney*, à *Valtournanche*, à *Brisogne* près St. Marcel, à *Ceresole*, à *Pratiglione*, à *Cères*, en relation possible, mais hypothétique, avec la zone des roches vertes et l'on sait que leur destruction a disséminé des traces d'or dans les alluvions de la plupart des vallées qui descendent à la plaine du Pô.

Minerais des roches vertes.—Nous abordons enfin la série des minerais directement reliés aux *roches vertes*, et, par suite, dans les Alpes Occidentales, à la zone des schistes lustrés, où ces roches vertes elles-mêmes sont englobées. Vers le Sud, cette zone de schistes lustrés et de roches vertes passe directement du Golfe de Gênes en Corse, suivant une ligne Nord-Sud, *H, I*, fréquemment longée à l'Ouest dans les deux cas, par une trainée de massifs granitiques comparables; mais, d'autre part, on retrouve, en grande abondance, des roches vertes assimilables et faisant évidemment partie de la même trainée dans une zone tectonique toute différente, et située beaucoup plus à l'Est, celle de l'Apennin Ligurien et de l'Apennin Toscan. Ces roches vertes sont, en ces derniers pays, dans des terrains de facies flysch et d'âge éocène: ce qui, au premier abord, semble établir, entre elles et les roches précédentes de schistes lustrés alpins (schistes en partie au moins triasiques ou diasiques), avec lesquelles je viens de les comparer, une différence essentielle. Il y a donc là, avant tout, une question importante à résoudre, ou du moins à examiner, question très obscure, mais fort intéressante pour la métallogénie, par suite de la présence du cuivre en nombreux et riches gisements dans des roches vertes de la Ligurie et de la Toscane.

On peut remarquer de suite, à ce propos, que, sur l'autre versant Est de l'Adriatique, les Dinarides proprement dites renferment pareilles roches vertes, également dans le flysch éocène.

avec de semblables minerais de cuivre. Quand on jette un coup d'oeil sur une carte géologique de ces régions, on voit donc la trainée des roches vertes entourer, à l'Ouest, au Nord et à l'Est, tout l'effondrement Adriatique d'une ligne presque continue,¹ en se présentant, dans ses deux branches méridionales (Apennin, Alpes Illyriennes), à l'état d'intercalations éocènes, tandis que, dans les Alpes proprement dites, elle se rattache à la série de terrains, que M. Termier qualifie de compréhensive et qu'il regarde comme englobant des niveaux d'âge très divers du Carbonifère à l'Éocène, mais dont le facies est toujours métamorphique et particularisé par les schistes lustrés, qui doivent commencer au Trias. Cette seule observation conduirait à se demander si l'on n'a pas affaire partout, dans les Alpes comme dans l'Apennin ou en Bosnie, à des aspects divers d'une seule et même série de formations différemment influencée par les actions tectoniques et métamorphiques, subies à des profondeurs plus ou moins grandes de la chaîne plissée.

Les roches, que l'on classe ordinairement dans ce groupe des roches vertes, sont composées de gabbros, d'euphotides, de péridotites, de diabases, de serpentines,² etc., présentant ce caractère commun d'être disposées en amas, en lentilles, au milieu de terrains divers, avec souvent apparence d'interstratification et (au moins, à ce qu'il semble), absence totale de cheminées ascensionnelles, de dykes éruptifs.

Nous verrons bientôt, dans un cas particulièrement intéressant pour notre sujet, à Monte Catini, des roches de ce genre occuper aujourd'hui une position tout à fait superficielle, que les traux de mine ont mise en évidence et se présenter comme une écaille charriée mécaniquement avec un véritable conglomérat à la base.

Les minerais reliés à ces roches sont : en Toscane et Ligurie, des pyrites et chalcopyrites; au Val d'Aoste et autour du Grand-

1 A l'Est de l'Engadine, la zone cesse évidemment d'être continue; mais on en retrouve des témoins près du Gross Glockner, puis vers Gmund, au Sud du Katschberg, du côté de Leoben. Les plus fortes interruptions sont, d'un côté entre la Styrie et la Bosnie, de l'autre dans la région de Rome à Naples et semblent, comme nous allons le dire, avoir la même cause.

2 A Ivrea, on a, d'après Stella et Novarese, des gabbros et lherzollites, qui ne semblent pas avoir subi de laminage, comme les roches de la zone des *pietre verdi*.

Paradis, des magnétites, parfois avec chalcopryrite, des fers chromés, peut-être du manganèse; à Varallo et Scopello (si l'assimilation approximative des roches est exacte), des minerais de nickel et cobalt; à l'Est des Tanern, de la pyrite et de la magnétite; en Styrie, du fer chromé; en Bosnie, du cuivre; c'est à dire, d'une façon générale, les minerais que nous avons appris à trouver dans les gîtes de ségrégation ignée ou dans les contacts immédiats des roches basiques et dont la Scandinavie avec ses masses de gabbros, ou la N^{lle} Calédonie avec ses péridotites à nickel, cobalt et chrome, présentent des types caractéristiques.

Laissons d'abord, pour un moment, de côté la zone problématique des schistes lustrés à roches vertes, qui fait l'objet de ce chapitre, et commençons par préciser la distribution géographique de la trainée dite ophiolitique et intercalée à divers niveaux plus au Sud dans l'Éocène des Apennins, afin de déterminer son allure générale dans un cas un peu plus clair, du moins en ce qui concerne l'âge des terrains encaissants, non défigurés ici par le métamorphisme.

En partant du Nord, on voit cette trainée apparaître en Ligurie, au voisinage de Gênes, où elle est particulièrement développée, s'étaler dans tout l'Apennin en lambeaux de plus en plus disséminés et s'arrêter, du côté Sud, à une ligne sinueuse *LTUM*, qui va à peu près d'Ancône à Pérouse et au Mont Argentario (Pl. I), puis rebrousse un instant vers le Nord en laissant de côté la zone fortement métallisée du Campigliese Toscan, traverse l'île d'Elbe et rejoint la Corse.

Cette limite correspond à peu près à celle où, d'autre part, commencent à apparaître les roches éruptives tertiaires développées plus au Sud. Il y a bien, il est vrai, autour du Mont Amiata, une petite région intermédiaire où les deux zones des roches éruptives et des roches vertes chevauchent un instant l'une sur l'autre. Néanmoins il semble exister, entre les deux zones, une certaine incompatibilité, peut-être attribuable, en moyenne, à des profondeurs d'érosion différentes atteintes dans les deux cas et qui apparaît vraiment intéressante si l'on remarque qu'elle se reproduit de tous côtés.

C'est ainsi qu'au Sud de l'Italie, après la grande interruption dans la zone des roches vertes, qui correspond à la zone

éruptive de Rome et de Naples, c'est à dire, suivant toutes vraisemblances, à une zone particulièrement affaissée des plissements, on voit, quand cette zone éruptive s'interrompt suivant une direction NO transversale à l'Apennin, reparaître bientôt les roches vertes aux limites de la Basilicate et de la Calabre, puis, comme si l'on franchissait une seconde marche d'un escalier, venir affleurer au jour le massif ancien de la Calabre et de l'Aspromonte.

On peut faire la même observation pour la coupure qui introduit une semblable discontinuité dans la série des roches vertes sur la zone affaissée et éruptive à l'Est du Bachergebirge, en Styrie, ces roches vertes ne reparaissant en Bosnie qu'après le massif ancien d'Agram.

Et peut-être même est-il permis de pousser jusque dans le détail cette hypothèse d'une relation avec la profondeur faisant apparaître et reparaître les roches vertes dans la longueur de la chaîne plissée, suivant que celle-ci s'est trouvée relevée ou enfoncée par des mouvements transversaux, de telle sorte que l'érosion a mis à nu des zones plus ou moins hautes de ses plissements. Le principal développement des roches vertes, avec leurs minerais les plus abondants, est autour de Gênes, où la chaîne alpine, sans avoir peut-être subi d'affaissement spécial, s'est trouvée ramenée par l'érosion jusqu'au niveau de la mer, sous laquelle elle va disparaître à partir de là jusqu'en Corse: par conséquent, suivant les apparences, dans une portion relativement profonde de cette chaîne.

Dans le même ordre d'idées, on peut encore remarquer la division très nette des minerais italiens en trois groupes principaux: 1.^o les imprégnations filoniennes, fahlbandes, etc., de type scandinave dans les terrains métamorphiques des Alpes, que l'on peut supposer avoir pris leur métamorphisme par leur descente en profondeur dans les mouvements tectoniques; 2.^o les amas de ségrégation directement reliés aux roches vertes, qui, dans les mêmes terrains métamorphiques des Alpes occidentales, sont surtout composés de magnétite, fer chromé, pyrrhotine nickélifère et qui, dans les terrains non métamorphiques des Apennins, offrent, au contraire, la prédominance des minerais de cuivre; 3.^o les filons proprement dits, qui, dans

les zones apparemment superficielles à roches volcaniques d'effusion, renferment surtout de l'antimoine et du mercure; puis, dans la zone plus profonde à filons de microgranulite, porphyrite, etc., comprennent plutôt du plomb et du zinc et enfin, quand on se rapproche des noyaux granitiques (cristallisés en profondeur) ajoutent ou substituent aux métaux précédents le groupe de l'étain et du cuivre avec la pyrite de fer.

D'une façon générale, le type des fractures métallisées est, comme je l'ai dit déjà et comme nous le reverrons plus en détail, surtout concentré dans la zone externe des Alpes françaises, ou, plus au Sud, dans un système d'accidents Nord-Sud, légèrement N.O.—S.E., qui affecte la région littorale de la Toscane et prend là plus de valeur industrielle. Il y a, dans ce dernier cas, quelque chose d'analogue à une saillie N.O.—S.E. de l'ancien continent tyrrhénien, morcelé par les effondrements, où se marquent des accidents métallisés analogues à ceux que l'on observe sur le bord de la chaîne hercynienne en se rapprochant des parties effondrées. C'est, on le voit, une remarque analogue à celle que nous ont précédemment suggérée les filons des Alpes françaises. Les gisements reliés aux roches vertes sont ailleurs, comme les roches vertes elles-mêmes, en moyenne, plus à l'Est, dans des zones où les mouvements tangentiels, les plissements et, sans doute, les déplacements horizontaux paraissent avoir joué un rôle beaucoup plus important que les mouvements verticaux. Leur mode de formation paraît impliquer, en outre, une intervention beaucoup plus grande de la métallurgie ignée et de moindres phénomènes hydrothermaux, plus de ségrégation et moins de fumerolles.

Il est bien difficile de préciser quel a pu être exactement, dans ces phénomènes divers, le rôle de la profondeur. En tout cas, il faut, en parlant de profondeur, entendre moins la distance réelle du point de cristallisation à la superficie que les conditions de cristallisation ordinairement réalisées par une profondeur plus ou moins grande et, notamment, la distance du gisement au magma igné fondamental dont il a pu provenir. Mais, en dépit de toutes les restrictions, il y a intérêt à tâcher de se représenter, pour chaque gisement, la position réelle où celui-ci devait se trouver dans la chaîne plissée avant le début

des érosions; on a ainsi souvent la clef des types métallogéniques, qui peuvent varier, sur la longueur d'une même chaîne plissée, suivant que l'on traverse des aires d'envoyage ou d'exhaussement déterminées par des accidents orthogonaux. Ces considérations sont probablement beaucoup plus à retenir pour l'interprétation des gisements que l'âge absolu des minerais et des roches associées.¹

Nous allons voir se préciser quelques unes de ces idées en revenant de cette zone méridionale à la zone plus septentrionale des roches vertes associées aux schistes lustrés, qui forme l'objet spécial de ce chapitre.

J'ai déjà fait remarquer le contraste que présentent, en ce qui concerne le métamorphisme et peut-être l'âge des terrains encaissants, ces deux zones de roches vertes, d'ailleurs comparables à tant d'autres égards.

Dans toutes les Alpes Cottiennes et les Alpes Grées, comme je l'ai rappelé précédemment, les roches vertes sont intimement liées aux schistes lustrés, dans lesquels elles s'intercalent, ce qui les a fait parfois considérer elles-mêmes comme d'âge triasique, ainsi qu'on l'a admis pour ces terrains eux-mêmes. Là les minerais associés avec elles sont un peu différents de ceux que nous venons de signaler en passant dans l'Apennin et pourront peut-être être considérés comme un peu plus profonds, comme représentant une ségrégation plus directe dans la masse même, presque sans départ par les fumerolles sulfurées. C'est la zone des magnétites titanifères (Cogne, etc.), avec lesquelles peuvent s'associer cependant des chalcopyrites ou des pyrites parfois aurifères (Traverselle, et, si l'on veut, Pestarena, Gondo), ou, près des roches à type plus granitique de la zone d'Ivrée,² des minerais de nickel (Varallo, Scopello) : c'est à dire essentiellement le groupe, si homogène en Scandinavie, des ségrégations basiques.

1 Ces roches d'Ivrée, qui ne font pas cortège aux schistes lustrés, pourraient être, comme je l'ai dit déjà, plus anciennes que les autres roches vertes. D'après des travaux récents, cette zone d'Ivrée représenterait un synclinal.

2 Tout naturellement, plus une chaîne est ancienne, plus il y a des chances pour que l'érosion ait atteint, en moyenne, une profondeur plus grande; plus, dès lors, sauf exception, dominent les types métallogéniques de profondeur.

Quel que soit le mode d'introduction de ces roches vertes dans les schistes lustrés (question que nous examinerons plus loin), je suis porté à croire que l'âge de ces schistes eux-mêmes n'est pas à considérer pour notre théorie, attendu que la série basique et métallifère doit être, au moins en grande partie, intrusive.

Plus au Nord encore, la zone des roches vertes continue à accompagner les schistes lustrés vers les Grisons et l'Engadine, (Pl. I, fig. 1) ; puis les schistes lustrés se poursuivent, comme nous l'avons vu déjà au chapitre précédent, sans roches vertes et sans minerais de ségrégation oxydée (mais avec quelques imprégnations sulfurées) vers les Hohe Tauern, toujours accompagnés au Sud par la trainée de roches granitiques et syénitiques, probablement assimilables à celles d'Ivrée, qui, par l'Adamello, la région de Méran, le Gailthal et le Bachergebirge, marquent la continuité de la chaîne.

La question se pose, à ce propos, de la relation qui peut exister entre les roches à type granitique et les roches vertes. Ainsi que je l'ai indiqué plus haut, je crois qu'il serait dangereux de considérer les unes comme plus profondes que les autres et surtout d'admettre, comme on l'a souvent fait, que les roches vertes, en leur qualité de roches basiques, sont toujours des roches exceptionnellement profondes. Dans trop de cas, on observe les roches grenues à type granitique et celles à type peridotique associées dans la même zone d'érosion pour admettre une relation absolue de superposition, d'ailleurs contredite par les intrusions si fréquentes de roches vertes dans les terrains presque superficiels et par le mode même de synthèse de ces roches. Mais ce qui semble bien exact, c'est que, avec les granites, les fumerolles ont dû être plus abondantes : d'où la prédominance de grands filons concrétionnés sulfurés qu'on trouve souvent à leur voisinage, avec apparition de métaux du groupe stannifère, qui semblent avoir exigé les minéralisateurs les plus actifs et les plus chauds.

Il nous reste, maintenant, à dire un mot sur le mécanisme de la mise en place de ces roches vertes, auxquelles nous venons d'attribuer un rôle important en métallogénie.

Ces roches ont été considérées par la plupart des géologues

italiens, et notamment par M. Lotti, comme des tufs volcaniques sousmarins, qui auraient alterné, pendant la sédimentation même, avec les dépôts argileux et calcaires. Cette théorie est évidemment très soutenable quand on examine les roches en elles-mêmes; il est possible même que certaines roches vertes des Apennins, dont, en somme, les caractères pétrographiques et métallogéniques semblent spéciaux, se soient formées dans ces conditions mais l'hypothèse, généralisée et étendue à toutes les roches vertes des Alpes, me paraît incompatible avec les études d'ensemble, qui montrent ces roches à des niveaux très divers malgré la continuité de leur trainée, comme avec l'aurole de métamorphisme qui accompagne plusieurs de leurs amas et qui, par endomorphisme et exomorphisme, amène une sorte de passage progressif de la roche au terrain encaissant.

Je crois donc, en moyenne, plutôt à une intrusion latérale qu'à une sédimentation. Mais comment s'est produite cette intrusion? M. Termier a imaginé des sortes de colonnes filtrantes, dans lesquelles des vapeurs minéralisées, montant à travers les terrains par porosité, auraient été amenées à s'épaissir et à se condenser sur certains points jusqu'à former des amas. Le rôle des vapeurs a été certainement considérable dans le métamorphisme. Cette théorie n'est-elle pas cependant bien compliquée sans nécessité et ne pourrait-on pas admettre simplement une intrusion ignée? Les cheminées, qui semblent manquer sur place, seraient à chercher pour nous au dehors et peut-être pouvons-nous en concevoir la disposition, sinon la place exacte, en voyant la zone fracturée, marquée par cette longue cicatrice, où restent, comme un produit de cristallisation plus acide, les roches d'Ivrée, de l'Adamello, etc.¹

Si l'on objecte que les roches vertes sont souvent très loin

¹ Voir, sur cette question, une note de M. Termier (C. R. 18 nov. 1901). D'après lui, les amphibolites chloritisées, pyroxénites, porphyroïdes, etc., qui accompagnent d'habitude, à l'état de couches stratifiées, les amas de roches vertes et qu'on a parfois voulu expliquer par un dynamométamorphisme, seraient "l'aurole, parfois prodigieusement étalée" des roches vertes intrusives, auxquelles les facies schistes lustrés pourrait être lui-même attribuable.

D'après M. Termier, les roches vertes sont en place, en Corse, en Ligurie, en Piémont, à Aoste, au Sud du Mont Rose, au Sud des Hohe Tauern. Elles sont en nappes, mais d'origine peu éloignée, à l'Ouest de Briançon, dans les Grisons, dans la Basse Engadine: suivant lui, un phénomène éruptif d'âge éocène aurait eu son centre dans les Alpes Occidentales, où il serait la cause du métamorphisme des schistes lustrés et son bord en Toscane, où il n'aurait plus suffi pour métamorphiser le flisch.

de tout ce qui pourrait représenter une telle origine, il faut remarquer que cet éloignement a dû se trouver très augmenté par les mouvements postérieurs, dans lesquels tout le paquet des terrains encaissants a été emporté à distance : mouvements, par suite desquels des frictions et des glissements paraissent s'être souvent produits sur le contact horizontal inhomogène des roches vertes et des terrains encaissants.¹ Ainsi se trouverait expliqué ce fait curieux, sur lequel M. Suess appelait récemment l'attention, que les roches vertes sont souvent à la base de lames charriées.² Nous aurons tout à l'heure un remarquable exemple d'un semblable phénomène à Monte Catini, où les diabases remplissent des poches superficielles au dessus de l'Éocène, séparées de celui-ci par une nappe de friction argileuse formée de débris de la diabase elle-même et indiquant bien l'intensité du mouvement mécanique. On sait que les serpentines nickélifères de la N^{le} Calédonie se trouvent dans des conditions assimilables, à la base d'une semblable nappe charriée.

Si nous revenons maintenant, pour préciser quelques détails, sur les minerais des roches vertes, dont nous venons d'indiquer la répartition générale, nous pouvons, en commençant par le Nord-Est, envisager, d'abord, les gisements reliés plus haut à la zone d'Ivrée, qui se présentent dans des conditions très spéciales, correspondant soit à un âge plus ancien, soit à une profondeur de cristallisation plus grande.

On a là, de l'Est à l'Ouest, une zone de granites, qui commence aux granites classiques de Baveno sur le Lac Majeur et se prolonge vers Borgo Scoia, puis, dans le haut Val Sesia, des terrains cristallophylliens, schistes lustrés, etc., fortement plissés avec gabbros à hypersthène et gabbros à olivine, amphibolites etc., auxquels sont associés les minerais et enfin la longue masse de diorite basique avec gabbro à hornblende et norite qui aboutit à Ivree.

1 Les roches vertes alpines avaient déjà exercé leur métamorphisme sur les schistes lustrés encaissants, elles étaient déjà en place au milieu des terrains qu'elles ont altérés, quand se sont produits les grands mouvements alpins du Miocène, qui ont également disloqué les roches vertes éocènes des Apennins. Intrusives ou sédimentaires, toutes ces roches avaient certainement cristallisé avant les charriages miocènes, qui n'ont pu que les déplacer mécaniquement. Dans l'hypothèse des tufs sous-marins il reste également à trouver la cheminée originelle de ces éruptions tufacées.

2 Observations de M. Steinmann dans les Grisons et l'Engadine.

Les minerais de *Varallo, Locarno, Parone*, etc., sont composés surtout de pyrrhotine nickélique, avec un peu de chalcopryrite et, parfois, de magnétite, dans des conditions que nous avons déjà eu l'occasion d'assimiler suffisamment aux gîtes scandinaves.¹

Au Nord, à l'Est et au Sud du Grand Paradis, les roches vertes dessinent une courbe presque continue, qui accuse aussitôt leur relation avec la forme des plissements. Dans le Nord, du côté d'Aoste, ces roches sont surtout accompagnées par des amas de magnétite, minerais typiques de ségrégation, dont les principaux se trouvent autour de *Cogne*² (la Licone, etc.), où il existe, dans la serpentine, au voisinage de calcaires cristallins, des masses dont la principale peut représenter 300,000 tonnes.

Également dans le Val d'Aoste et, plus au Nord, dans le Val Tournanche, on trouve des concentrations manganésifères d'apparence superficielle sur une zone de gisements, qui, profondément, contiennent des sulfures de fer et de cuivre et qui sont probablement à rattacher au même groupe comme une dérivation secondaire. Le principal de ces gisements est celui de *St. Marcel*,³ il en existe d'autres à *Tourgnon, Val Tournanche*, et *Bardonèche*.

À l'Est sont les mines également classiques de *Traverselle* et *Brosso*,⁴ à 20 kil. en amont d'Ivrée sur la rive gauche de la Chiusella, où l'on a exploité, à diverses reprises, des amas de magnétite, pyrite, et chalcopryrite, avec sulfures divers subordonnés, au contact de la diorite, dans des bancs calcaires intercalés au milieu des micaschistes. Ces gisements, qui, malgré leur célébrité, étaient assez mal connus jusqu'ici, ont été récemment assimilés par M. Novarese aux minerais du Banat,⁵ c'est à dire à des gîtes de départ immédiat émanant des diorites, avec subs-

1 *Gîtes métall.* II. 65 et 82.—Suess, loc. cit. III. 448 et travaux de MM. FRANCHI, NOVARESE et SELLA.

2 *Gîtes métall.* I. 657.

3 *Gîtes métall.* II. 9.—Les vieilles mines d'Ollemont dans la région d'Aoste ont été reprises récemment avec utilisation électrique des forces hydrauliques. Il est possible que le développement de semblables applications hydrauliques donne à des minerais alpestres de régions peu accessibles une valeur nouvelle.

4 *Gîtes métall.* I. 671 ; II. 177.—1902.—NOVARESE. *Die Erzlagertätten von Brosso und Traversella in Piemont* (Zeits. f. pr. Geol. p. 179 et Bol. R. com. geol. 1901 fasc. 1, p. 75 avec bibliographie).

Traverselle est depuis longtemps abandonné. Brosso a une faible production.

5 Voir pour le Banat : *Gîtes métall.* I. 660 à 664 ; II. 38 à 163, etc. et SUSS, loc. cit. I. 644.

titution à des calcaires. Les minerais exploités, la magnétite et la chalcoppyrite à Traverselle, la pyrite de fer non cuivreuse et autrefois l'oligiste à Brosso, ne sont que quelques uns des produits du métamorphisme, caractérisé surtout par un groupement de silicates analogue à celui qu'on observe dans le Banat, dans divers gisements de Scandinavie (où existe une semblable association de magnétite ou d'oligiste avec des minerais sulfurés plus ou moins complexes) et enfin à l'île d'Elbe, où nous allons l'étudier. On peut également rapprocher de ces minerais les phénomènes de contact avec production d'oligiste décrits par M. Lacroix dans les Pyrénées.¹ Il semble que, dans tous ces cas, le départ de fumerolles profondes, qui a dû généralement avoir lieu au contact de roches basiques, ait pris, par la présence des calcaires, un type spécial, tenant peut-être aux réactions chimiques exercées par le calcaire, soit sur la roche ignée, soit sur les fumerolles. On sait, par exemple, que du basalte en fusion avec du calcaire peut donner de la magnétite et que du perchlorure de fer avec de la calcite produit de l'oligiste. Les modifications secondaires ont, en outre, joué un rôle, qui, pour la période récente, est caractérisé par la présence de grottes ouvertes, mais qui, pour une phase plus ancienne, a pu être suivi d'un métamorphisme régional, superposé au métamorphisme de contact proprement dit dont il vient d'être parlé.

Ce rapprochement, qui se trouve indiqué par la métallogénie entre la région de Traverselle et le Banat, tire un certain intérêt de l'analogie tectonique qui pourrait exister entre les deux régions. Les roches post-crétacées du Banat ont été, depuis longtemps, comparées par G. vom Rath aux tonalites de l'Adamello, dont nous avons plus haut cherché la suite dans la zone d'Ivrée, à laquelle on peut relier le gîte de Traverselle.²

1 Le gisement de Pierrefitte dans les Pyrénées présente, sous la forme de filons-couches interstratifiés, la même association de magnétite et sulfures divers (plomb, zinc, fer, etc.), qui, dans une foule de cas, semble caractéristique des gîtes de contact mais dont nous avons eu cependant des exemples à Sterzing et au Mt. Chemin sans intervention directe de roches éruptives. J'aurai bientôt à revenir sur cette question à propos de l'île d'Elbe. Il suffira ici de citer le cas des gisements de Boundary, en Colombie Britannique, où des chalcoppyrites aurifères avec magnétite et pyrrhotine forment des zones filoniennes à gangue quartzeuse dans des calcaires broyés.—Voir également LINDGREN (Trans. of Am. Min. Eng. XXX et XXXI).

2 La diorite de Traverselle est distincte de celle d'Ivrée; mais elle s'y rattache évidemment par son origine. On peut également, comme le fait remarquer M. SUSS (loc. cit. I. 769), rapprocher de ces massifs le Clayton Peak des Mts. Wasatch, formé de granite avec semblable couronne de gisements métallifères.

Elles se prolongent, avec leur auréole métallifère, jusqu'en Serbie, le long d'un semblable cicatrice, dans la zone de contact entre deux chaînes plissées (Carpathes et Dinarides), qui arrivent au contact l'une de l'autre, et constituent certainement, comme le gîte de Traverselle, un des cas où la relation des gîtes sulfurés avec les roches éruptives est le plus incontestable.

Enfin, la zone située au Sud du Grand Paradis jusqu'à la Doire Ripaire renferme, également en relation avec des roches vertes telles que des gabbros à bronzite ou à olivine, divers gisements de pyrrhotine nickelifère, parfois avec un peu de chalcopryrite et de magnétite, dont il y a lieu aussi de remarquer l'analogie avec les gîtes de ségrégation et de contact scandinaves (*Balme, Usseglio, Mt. Crutin*,¹ etc.).

De là nous pouvons passer directement à la région de Gênes et de Sestri Levante, région de roches vertes avec terrains non métamorphiques, à laquelle se rattachent: d'une part, les gisements de Monte Catini en Toscane, qui vont être décrits plus loin en détail; de l'autre, les gisements de la Corse, associés avec de pareilles roches vertes dans une semblable zone de schistes lustrés.

Dans le district de Gênes, au Nord de Sestri Levante, le type métallifère qui domine est celui des minerais sulfureux reliés aux roches vertes; il a été produit là en 1902, 21,600 tonnes de pyrite et 8,300 de minerai de cuivre; en 1904 27,600 tonnes. La mine de pyrite de beaucoup la plus importante est celle de *Libiola*, qui produit, en même temps, quelques minerais de cuivre entre 4 et 9 p. 100 de cuivre, fondus à Bargonasco (Est de Gênes). Les gisements de *Monte Loreto*, de *Gallinaria*, *Bardeneto-Monte Capra*, etc., renferment des masses irrégulières de chalcopryrite en relation avec des roches vertes: diabases à *Monte Loreto*, serpentine et euphotide à *Gallinaria*, contact de la serpentine et de la diabase et veines dans la serpentine à *Bardeneto*, ainsi qu'à *Nascio-Monte Bianco*. Il existe, en outre, de très nombreux affleurements cuprifères, tels que ceux de *Casali*, la *Rossora*, etc., toujours dans des conditions analogues et de même en relation avec les roches vertes,

¹ *Gîtes métall.* II. 65 et 83.

affleurements sur lesquels on retrouve souvent des travaux antiques.

Cette même catégorie de gisements se poursuit en *Corse*, où, par une association que nous allons retrouver tout à l'heure en abordant la Toscane, on voit apparaître, à côté de ces minerais de ségrégation, quelques types filoniens proprement dits, à minerais divers, comprenant notamment de l'antimoine.

L'un des principaux gisements corses est celui de *Ponte Leccia*,¹ au Nord de Corte, où une tentative d'exploitation malheureuse a été faite sur des chalcopyrites et phillipsites associées à des diabases serpentinisées d'âge éocène dans des conditions qui rappellent beaucoup ce que nous allons trouver bientôt à M^{te} Catini, avec pareil développement de nodules dans une partie argileuse, qui pourrait, comme nous le supposons au Monte Catini, correspondre à un phénomène de charriage. Ce gisement de *Ponte Leccia*, comme ceux également inexploités de *Castifao* et de *Moltifao*, situés un peu plus au N.O., se trouve dans cette partie des roches vertes qui s'intercale au milieu de l'Éocène bouleversé mais non métamorphique, sur une bande N.O.-S.E., entre les schistes lustrés de l'Est et le massif ancien granitique de l'Ouest. Un peu de plomb s'y associe au cuivre.

Plus à l'Est, des roches identiques sont comprises dans les terrains à facies schistes lustrés et l'on y retrouve du cuivre à *Linguzetta* (Est de Corte), ainsi que à *Vezzani*, au Sud de la même ville. La même zone orientale de schistes lustrés contient également divers gîtes de fer ou de manganèse (magnétite de *Farinole* et *Ometa*) reliés aux serpentines et l'on exploite enfin avec activité, à la pointe Nord de la Corse, entre Bastia et le Cap Corse (*Luri*, *Meria*, *Ersa*) des filons Est-Ouest de quartz et stibine,² parfois mélangés de pyrite, plus rarement de blende, de bournonite, et même de cinabre à Meria.

Ces derniers gisements, sans rapport aucun avec les roches vertes, peuvent, au contraire, se rattacher à la série de cassures

1 *Gîtes métall.* II. 241.—1897. NENTJEN. *Etude sur la Const. géol. de la Corse* 223 p. (p. 124), et *Etude sur les gîtes minéraux de Corse* (Ann. d. M. t. XII. 9e. liv. de 1897).

2 La production annuelle moyenne de minéral d'antimoine à 50 p. 100 est d'environ 1,500 tonnes.

filoniennes à sulfures complexes et parfois à stibine dominante, que nous étudierons bientôt en Toscane¹ et aux accidents qui paraissent avoir découpé, sur ses côtes, le promontoire septentrional de la Corse.

Enfin, je dirai tout à l'heure quelques mots de minerais situés dans l'Ouest de la Corse, qui se rattache aux deux massifs hercyniens des Maures et de la Sardaigne.

Sur le Continent italien, la région des *Alpes Apuane* à plissements préalpins montre un premier exemple bien net des minerais sulfurés complexes, que nous allons voir se développer en descendant au Sud vers Massa Marittima.

Tout le massif de terrains anciens, situé entre la Spezia et Lucques, est très anciennement célèbre en industrie minière.² Là, se trouvent notamment, près de Seravezza, les galènes argentifères du *Bottino* et de *Val di Castello*, de *Gallena*, *Ruosira*, *l'Argentière*, auxquelles il faut joindre les gîtes cinabrifères de *Ripa* et, accessoirement, de *Levigliani* (près des carrières de marbre de Carrare), qui ont été l'objet de quelques exploitations vers 1842. Le filon de Bottino est un filon de quartz et galène argentifère, avec sulfoantimoniures divers, un peu de chalcopryrite et de blende.

A Ripa et à Levigliani, des veines de quartz cinabrifère avec un peu de pyrite et de blende imprègnent ou recourent des schistes micacés. Nous voyons, par conséquent, apparaître ici une métallisation filonienne à sulfures complexes, analogue à celle qui caractérisera tout à l'heure le district de Massa Marittima et située tout à fait de même sur la réapparition d'un horst ancien fracturé au milieu des terrains crétacés ou tertiaires, qui couvrent la presque totalité de la région.

1 M. Nentien considère, au contraire, les filons d'antimoine comme antérieurs aux roches vertes, qui sont elles-mêmes pour lui présiluriennes, uniquement parce que les filons sont dans une zone de schistes lustrés.

2 Voir 1857 CAILLAUX. *Etude sur les mines de Toscane*. (Bul. Soc. Ind. min. t. II p. 383 à 405 et 677 à 712), sur Ripa, Levigliani, Bottino, l'Argentiera, etc. . . . ; avec note annexe de GRÜNER sur *Vâge des gîtes plombifères de la Toscane*—1858. SIMONIN. *Exploitation des mines et métallurgie en Toscane pendant l'antiquité et le moyen âge* (Ann. d. mines 5e., t. XIV p. 582). D'après cet auteur, le port de Lunl doit son nom aux mines d'argent (l'argent étant dédié à la lune ou Diane, comme le fer à Jupiter et le cuivre à Venus).—Voir encore *Gîtes métall.* II. 560 sur Bottino et 699 sur Ripa et Levigliani.

III.—Massif Hercynien des Maures, de la Corse Occidentale et de la Sardaigne.

Les zones métallifères, dont il me reste quelques mots à dire avant d'aborder l'étude détaillée de la Toscane, sortent un peu de notre sujet et j'en parlerai très brièvement. Elles peuvent cependant offrir un certain intérêt comme représentant, à côté des minerais tertiaires sur lesquels nous devons insister, un type probable de minerais plus anciens, en rapport avec des fractures hercyniennes et situés dans les tronçons épars d'un avant-pays de la chaîne alpine. Cet âge hercynien, que nous supposons ici, reste, il est vrai, discutable, comme le sont presque toujours les déterminations d'âge relatives aux filons métallifères, pour lesquelles on n'obtient guère en général qu'une limite minima. On pourrait, par exemple, imaginer des fractures produites dans l'avant-pays hercynien par le choc des plis alpins. Cependant la vraisemblance d'un âge plus ancien est rendue assez grande, tant par la présence de sédiments métallifères permotriasiques dans les Alpes Maritimes et les Maures que par les observations diverses sur les minerais de Sardaigne.

En commençant par le Nord, il convient de citer les grès cuprifères d'âge permien, que l'on a concédés en divers points, sans réussir à les exploiter, au Nord de Puget-Theniers et de St. Sauveur (*le Cerisier, Cuchelier, Charontes, Rancels, etc.*)¹

Les gisements du *Cap Garonne* entre Toulon et Hyères, peuvent fournir quelque lumière sur l'origine de ces minerais des Alpes Maritimes. Ici, en effet, on a retrouvé, dans des conditions tout à fait analogues, au milieu de grès et de poudingues permotriasiques, des minerais de plomb et de cuivre, qui ont paru présenter les caractères d'une sédimentation, non chimique mais mécanique; M. Lotti, qui les a étudiés en détail,² y voit le produit de la destruction et du remaniement immédiat de filons métallifères antérieurs, par conséquent d'âge au plus permocarbonifère et en relation avec les grands éruptions porphy-

1 Feuilles au 1 : 80.000 de St. Martin Vésubie et de Nice.

2 LOTTI (Zeits. f. pr. Geol. 1901, p. 281)—feuille au 1 : 80.000 de Toulon par M. MARCEL BERTRAND.

riques de la région. On est ainsi conduit à envisager comme hercyniens les nombreux filons de galène et de blende autrefois exploités dans les Maures et l'Estérel, tels que ceux de la *Mourc.*, de *Reille.*, de *Cogolin*, de *Vaucron*,¹ etc. et surtout celui des *Bormettes* au Sud d'Hyères, dont la fortune a été très brillante entre 1887 et 1903. Ce dernier se compose d'une belle colonne de blende avec un peu de galène, encaissée dans les phyllades précambriens.

A l'Ouest de la Corse, un peu au Sud de Calvi et au voisinage immédiat de la côte, le groupe des filons d'*Argentella*, qui a donné un moment quelques résultats, renferme de la galène, de la blende, de la pyrite et un peu de chalcopryrite dans des conditions qui semblent tout à fait distinctes de celles que nous avons indiquées plus haut pour les gîtes de la Corse Orientale.

Enfin les gisements de la *Sardaigne*, dont je me contenterai de rappeler la disposition générale,² sont répartis en deux groupes principaux : d'une part, au Sud-Ouest, autour d'Iglesias ; de l'autre, au Sud-Est près de Muravera, au Sarrabus.

Dans les deux cas, les minerais qui dominent presque exclusivement sont les sulfures de plomb, zinc et fer, ou leurs altérations superficielles, calamines, oxydes de fer, avec manganèse accessoire,³ etc. Le cuivre et les autres métaux rattachés aux ségrégations basiques (nickel, cobalt, etc.), font à peu près complètement défaut. Il n'y a pas non plus de roches vertes, mais des masses granitiques, avec des filons de microgranulite et de porphyrite, qui dérivent plus ou moins directement des mêmes magmas.

L'allure filonienne est, par endroits, très nette, comme autour du massif granitique d'Arbus, que longe au Nord le filon de Monte Vecchio et dans lequel certains filons pénètrent, ou au Sarrabus. Tel est, en principe, le cas lorsque les minerais sont encaissés dans des terrains inattaquables aux eaux métallisantes ou altérantes, comme des schistes ou du granite. Ail-

1 Vaucron : feuille de Draguignan.—Cogolin, les Bormettes, Cap Garonne : feuille de Toulon.

2 Gîtes métall. II. 287 à 411 et 769 à 776. J'ai publié, à ce propos, les observations faites dans un voyage de 1891.

3 Par exemple à Monteponi.

leurs domine l'allure en filons-couches, en filons de contact entre schistes et calcaires, en nappes d'imprégnation, épanchées suivant certains joints de stratification ou dans certains bancs calcaires favorables, souvent au voisinage très proche des schistes quand ce n'est pas à leur contact immédiat. Cette disposition a donné, ici comme dans toutes les régions où le même phénomène s'est produit et dont les plus caractéristiques sont le Laurium Attique et la Silésie, des couches de minerai à peu près interstratifiées, dont la Silésie offre un exemple encore plus déroutant, des zones de calcaires métallisés où l'on a pu essayer de voir un phénomène contemporain de la sédimentation.

Tout me semble, au contraire, indiquer ici la substitution postérieure et le caractère filonien hydrothermal, qui rattache ces gisements aux filons des terrains voisins. Les altérations superficielles ont, d'ailleurs, joué dans ces gisements, un rôle très considérable, qui s'est traduit dans l'Iglesiente par d'innombrables amas calaminaires, dont les plus célèbres sont ceux de *Malfidano, Monteponi, San Giovanni, Nebida, Masua*, etc., auprès desquels cette altération se manifeste de toutes manières, par des grottes, par des terrasses d'alluvions, etc.¹ et, dans le Sarrabus, par des productions de minerais riches en argent, arrêtés au niveau hydrostatique.

L'âge de ces altérations paraît récent; en tout cas, on n'a pas eu, en général, l'occasion de constater des altérations prolongées au dessous du niveau hydrostatique actuel et remontant à une époque ancienne. En approchant du niveau de la mer, on entre de plus en plus dans la zone blendeuse, bien que, par endroits, les exploitations aient pu se continuer un peu au dessous de la mer, encore dans la calamine: ce qui pourrait impliquer un déplacement vertical du sol analogue à celui auquel je viens de faire allusion, s'il n'y a pas eu simplement passage de sources vaclusiennes, entraînant des principes oxydants.

Quant à l'âge des minerais eux-mêmes, on n'en a, d'une façon précise, qu'une limite inférieure, par les terrains siluriens dans lesquels ils sont d'ordinaire intercalés. On peut noter,

¹ A Malacalzetta, on a trouvé des alluvions assez riches en galets de galène pour pouvoir être exploitées. Le fait peut être intéressant à signaler après ce que nous avons vu plus haut pour les minerais du Cap Garonne.

en outre, que les filons du Sarrabus recoupent les porphyrites, c'est à dire les plus récentes parmi les roches de la série ancienne et qu'ils paraissent s'arrêter devant le lias, c'est à dire être antérieurs à lui.

Quelques minerais tout à fait exceptionnels, dont l'âge paraît être post-crétacé dans une région différente de la Sardaigne à *Lulla*, près du Mt. Albo, peuvent n'être qu'un indice local des dislocations tertiaires, qui sont en tout cas manifestées de toutes façons en divers points de l'île (bassins d'effondrement tertiaires, roches éruptives du même âge).¹

Les fractures ont des directions très diverses. Autour du Massif d'Arbus, elles semblent former une ceinture, qui est peut-être seulement attribuable au rôle mécanique de ce granite enveloppé de schistes, dans les mouvements subséquents. A l'Ouest d'Iglesias, vers Masua et Nebida, les filons seraient plutôt Nord-Sud.

IV.—MONTE CATINI.

Les mines de Monte Catini, après avoir eu un moment de grande prospérité, ne vivent plus aujourd'hui que d'une existence précaire et la place que nous allons leur attribuer ici pourra sembler tout à fait disproportionnée avec leur valeur industrielle;² mais il est peu de gisements qui soulèvent plus de problèmes et de plus difficiles à résoudre et dont l'étude soit, par conséquent, plus intéressante en métallogénie.

Les anciennes descriptions de ce gisement classique ont été nombreuses;³ mais, fondées pour la plupart sur les idées théoriques et les coupes quelque peu fantaisistes d'un ancien di-

1 Les minerais de magnèse de l'île San Pietro (*Gîtes métall.* II. 25). Intercalés entre des argiles et tufs andésitiques, sont un indice de ce genre.

2 La mine de Monte Catini, qui appartient à la même compagnie que Boccheggiano etc., a été organisée à titre d'essai depuis 1904, comme une sorte de mine aux mineurs, le produit appartenant aux ouvriers jusqu'à concurrence d'un salaire de 3 francs par jour et, au delà, se partageant : 80 p. 100 aux ouvriers ; 20 p. 100 à la société. On extrait environ, par jour, 70 tonnes de minerai à 1,10 p. 100 pour produire à Livourne 10 tonnes de cuivre par an. La préparation mécanique, exécutée sur la mine, produit trois catégories : 1.° compact à 30-33 p. 100 ; 2.° noyaux mixtes avec produits de lavage en noyaux à 20-25 p. 100 ; 3.° grenailles fines et sables à 10 p. 100.

3 Voir *Gîtes métall.* II. 237 et bibl. annexe 1884.—B. LOTTI, *La Miniera cuprifera di Monte Catini* (Boll. R. Com. geol. d. It. t. XV, p. 359 à 394) avec coupes et bibl. antér. 1890.—A. SCHNEIDER, *La miniera cuprifera di Monte Catini* (Append. alla Rivista mineraria del 1880, n. 179, 88 p. et 2 pl.).

recteur saxon, nommé A. Schneider, qui avait apporté en Toscane les théories de Freiberg, elles ne donnent qu'une idée inexacte de ce qui existe réellement et de ce que les belles coupes détaillées des travaux, établies depuis peu par M. Ridoni, ont mis nettement en lumière.¹ Un point important est cependant connu de longue date, c'est la relation manifeste des minerais avec des roches vertes :² relation que nous allons attribuer à une ségrégation avec fumerolles; mais l'allure réciproque des minerais, de la roche verte et des terrains éocènes au voisinage demande à être sérieusement étudiée.

Quand on examine, sur une carte géologique d'Italie (Pl. I et fig. 12), la position de Monte Catini, on voit que ce gisement est un des plus méridionaux parmi ces amas cuprifères en relation avec des roches vertes, dont les types sont nombreux au Nord, du côté de Sestri Levante. Vers le Sud, il n'existe plus guère que les quelques gîtes abandonnés du massif du Monterufoli à l'Ouest de Larderello, un autre également peu important à l'Est de Massa Marittima, près de Rocca Tederighi, où les minerais de cuivre sont dans une serpentine, et enfin, plus à l'Ouest, celui de Pari, où une euphotide particulièrement feldspathique contient des produits d'altération cuprifères, cuivre natif et cuprite.³ D'ailleurs, d'une façon générale, on ne trouve pas de roche verte dans tout le compartiment Nord-

1 Voir les figures annexes et la carte géologique détaillée de l'Italie encore inédite : feuille de Volterra au 1:100.000, ainsi que la feuille de Massa Marittima qui en fait la suite au Sud.

2 Les minerais de cuivre italiens sont toujours associés aux serpentines provenant d'euphotides ou de gabbros, jamais à celles provenant de lherzolites, qui renferment, au contraire, de la magnétite.

M. Lotti a fait remarquer que le gabbro inaltéré contient seulement des parcelles de chalcopryrite; le gabbro saussuritisé, produit par l'altération d'un gabbro périodotique, renferme des veines de phillipsite; enfin les termes d'altération plus avancés, tels que la zone argileuse du "filon blanc," contiennent des nodules, où la chalcopryrite, la phillipsite et la chalcosine forment des bandes concentriques. Suivant lui, il y aurait eu zone de minéralisation produite par un phénomène de ségrégation, puis formation suivant cette zone d'un produit argileux tenant, soit à ce que ce plan se prêtait à une altération plus facile, soit à ce qu'il a été épousé par les mouvements du sol; enfin concentration du minéral en nodules par un phénomène connexe de l'altération et peut-être dû en partie à des actions électriques (idée de M. Mazzuoli). De toutes façons, il remarque que les minerais sont concentrés sur des contacts formant des zones d'altération. On verra bientôt quels points de cette théorie me paraissent à conserver et sur quels autres j'ai cru devoir m'en écarter.

3 LOTTI. *Un giacimento di rame nativo presso Pari* (Rassegna mineraria, 21 Octo-1899).

M. Lotti signale quelques autres gisements du même genre (loc. cit. p. 388) à San Gimignano, Castellina Marittima, Monte Vaso, à Vallerona, près du Mt. Amiata et à Acquapendente, presque au contact de la zone volcanique, etc.

Sud qui englobe, avec le Campigliese, le Mont Argentario, Giglio, etc. Les gîtes métallifères, situés au Sud de Monte Catini et que nous décrirons bientôt, sont à peu près tous, comme ceux des Alpes Apuanes qui viennent d'être signalés, d'un type différent; ce sont des filons proprement dits, généralement des filons-failles, ou filons de contact de direction Nord-Sud, au lieu d'être des amas de ségrégation.

Dans ce gisements de Monte Catini, les phénomènes d'altération superficielle et de remise en mouvement ont eu une importance, sur laquelle j'insisterai bientôt. Si l'on veut bien comprendre la disposition originelle du gisement, il faut d'abord faire abstraction de ces modifications ultérieures, et je vais raisonner en supposant les choses remises dans l'état où elles ont pu se présenter avant que ces altérations n'aient eu lieu.¹

En raisonnant ainsi, on arrive à l'idée que le gisement primitif a dû être un amas ou un système de veines de pyrite cuivreuse, associé avec une diabase et dérivé de celle-ci par ségrégation directe. Ce gisement, suivant toute vraisemblance, n'a pas dû se former à la place où nous l'observons; un déplacement mécanique, ou charriage, important a dû précéder et peut-être faciliter l'altération chimique dont je viens de parler; et les roches vertes, qui accompagnent le minéral, ont dû être, elles aussi, mécaniquement transportées après leur consolidation, comme une sorte d'écaille de charriage, à une certaine distance de leur origine. Nous sommes ainsi conduits à imaginer: d'abord, une ségrégation au contact de la diabase; puis un charriage, dans lequel toute la masse de diabase avec ses minerais connexes aurait été déplacée, disloquée et morcelée, au dessus des couches éocènes, qui lui servent aujourd'hui de sous-bassement; enfin une altération par les eaux superficielles. Ce charriage, qui est le fait le plus curieux de ce gisement, ou, si l'on veut, le point le plus nouveau de notre hypothèse, a dû avoir lieu sous le poids d'autres terrains superposés (aujourd'

¹ Dans la théorie de MM. Mazzuoli ou Lotti, à laquelle j'ai déjà fait allusion tout à l'heure, ce rôle des altérations avait déjà été bien mis en évidence; on leur attribuait même la concentration des minerais en boules. Je serais porté à croire que ces boules sont les débris mécaniques de veines pyriteuses préexistantes et je n'attribuerai aux altérations qu'une transformation, d'ailleurs capitale, dans la nature de ces minerais, ayant eu pour résultat de substituer à des pyrites probablement assez pauvres en cuivre, des chalcopyrites, phillipsites et chalcosines.

hui disparus par érosion) dans des conditions analogues à celles qui se réalisent à la base des glaciers et il faudrait attribuer à un laminage mécanique la production, aux dépens de la diabase, d'une énorme salbande argileuse, passant à un véritable conglomérat, qui forme, sous la roche verte et sur l'éocène, la principale zone métallisée, ce qu'on appelle le "filon blanc;" il faudrait également expliquer par la même cause le morcellement du minerai en une quantité de boules arrondies et striées à la surface, disséminées au hasard dans cette argile et pouvant avoir toutes les grosseurs, depuis de simples grains jusqu'à des masses énormes de plusieurs centaines de tonnes, comme on a eu la chance d'en trouver parfois.¹

Enfin une altération secondaire a dû agir sur ces "galets" de pyrite cuivreuse ou de chalcopryrite pour les transformer plus ou moins complètement suivant leur grosseur, et y produire les zones concentriques d'oxydure de cuivre, chalcosine, philipsite et chalcopryrite, que l'on observe, sur les plus complètes, de la circonférence au centre.

L'idée de ce déplacement mécanique n'est qu'une hypothèse, appuyée sur un certain nombre de faits qui vont être énumérés; mais le fait parfaitement démontré, c'est que la roche verte (avec les minerais connexes), est aujourd'hui une formation superficielle reposant sur le terrain éocène, dans lequel elle remplit des poches sans racine profonde. Si l'on n'admet pas le charriage proprement dit, il faut alors supposer une intrusion latérale, c'est à dire un phénomène igné au lieu d'un phénomène mécanique et l'existence de la salbande argileuse avec son conglomérat bréchiforme à la base force toujours à imaginer un certain mouvement postérieur à l'intrusion.

Le gisement de Monte Catini est situé à environ 10 kil. Ouest de la petite ville de Volterra sur une éminence dont la pointe la plus haute, le Poggio Croce, atteint 592 mètres, tandis que la vallée voisine de la Cecina est à peu près à la cote 60.

L'ensemble de la région est formé de terrains sédimentaires

¹ Je signale, à titre de comparaison, une certaine analogie entre ce qui a pu se passer, ici et ce qui a dû avoir à Wieliczka, en Galicie, où une masse de sel, empâtée dans l'argile, s'est trouvée, par un semblable déplacement mécanique, morcelée en d'innombrables blocs disséminés.

d'âge tertiaire, allant de la base de l'Éocène au Pliocène supérieur.

Par exemple, au Monte Catini, on a de l'Éocène supérieur, formé surtout d'argiles marneuses avec un peu de calcaire alberese. Au Sud du gisement et en contact avec lui, il apparaît en outre, des phtanites à radiolaires, ou calcaires silicifères, que M. Lotti assimile à ceux de l'île d'Elbe et considère comme

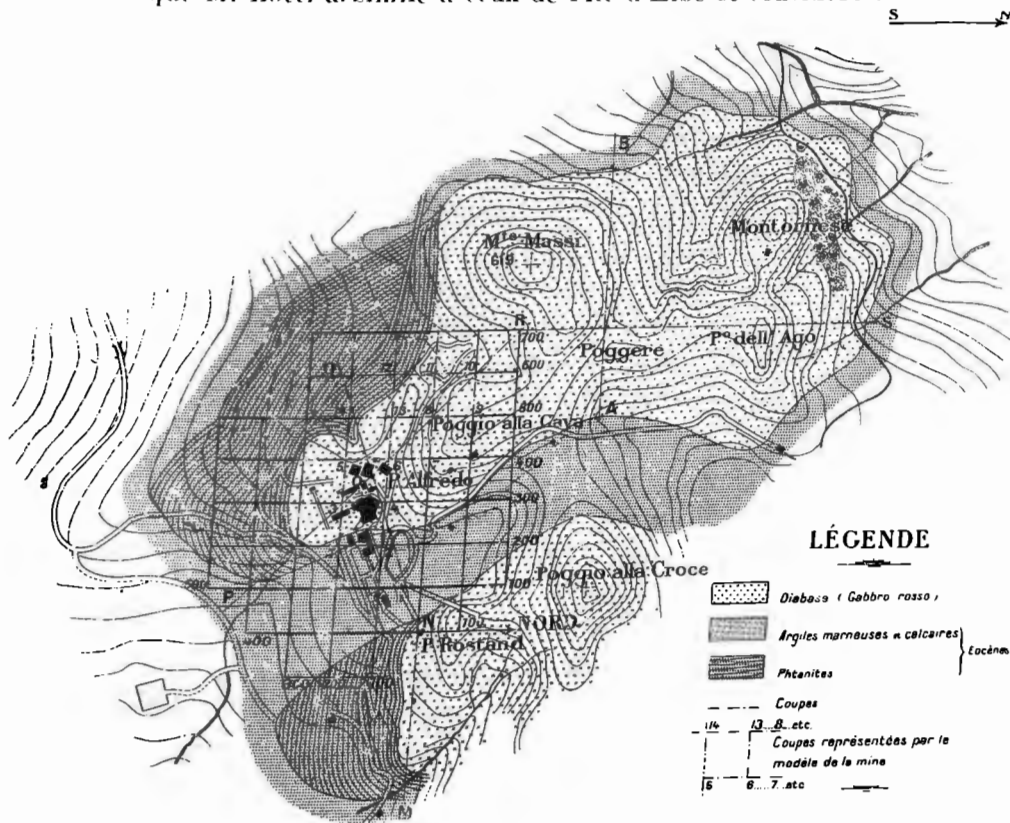


Fig. N.° 5.—Plan de la mine de Monte Catini d'après M. Ridoni.
Echelle au 1:18,000.

le représentant tout à fait local et renversé d'un niveau plus ancien, mais que l'on a voulu également attribuer à un métamorphisme en relation avec la présence des roches serpentineuses ou du gîte métallifère.¹

¹ M. Lotti, qui considère ces phtanites comme un niveau géologique constant sur lequel se seraient toujours épanchées les diabases, fait remarquer (loc. cit. p. 364) que certains phtanites analogues du Val di Nierole n'ont aucun rapport avec les serpentines. La plupart des zones de ces phtanites qui figurent sur la feuille de Volterra à l'Ouest de Monte Catini, apparaissent en contact immédiat avec les roches vertes, ce qui s'explique dans les deux théories.

La stratigraphie de la région, que je n'ai pu étudier par moi-même, n'apparaît pas très nettement sur les documents que je possède. Tandis qu'à l'Est, du côté de Volterra, les terrains s'élèvent progressivement, entre la cote 100 et la cote 544, des couches à congéries recouvertes par la formation gypso-saline jusqu'aux argiles à lignites et calcaires lacustres du Pliocène supérieur, vers l'Ouest, l'Éocène fortement plissé apparaît sur les hauteurs à 300 et 400 mètres plus haut que le Pliocène de la région Est, dont il est séparé par une bande Nord-Sud de Miocène. L'idée d'un refoulement venu du Nord-Ouest, que l'étude du gisement nous fait supposer, n'est donc pas en contradiction avec cette allure des terrains tertiaires.

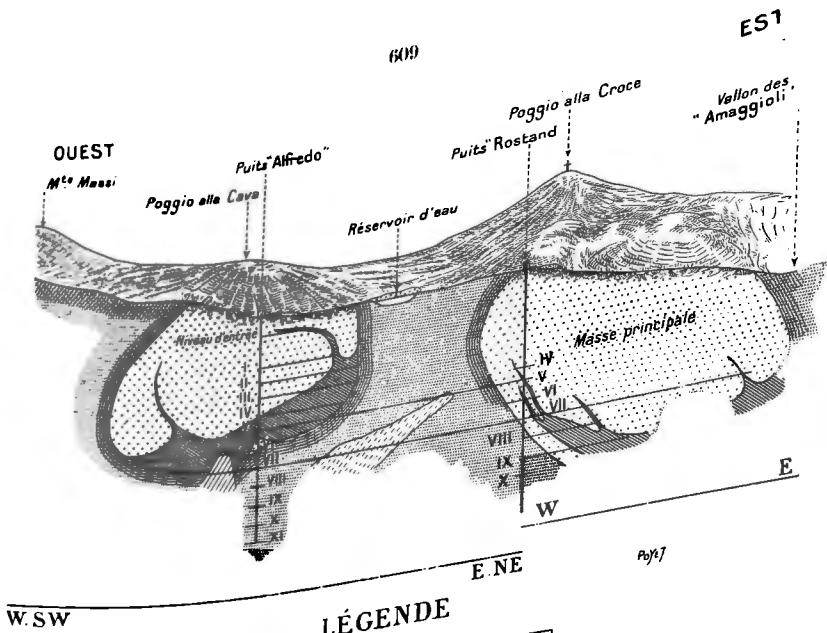
Quant aux terrains plus anciens que le Tertiaire, ils font défaut autour de Monte Catini. On doit aller à 17 kil. N.E. de la mine et 11 kil. Nord de Volterra pour trouver, sur un système d'accidents minéralisés Nord-Sud, analogue à ceux dont nous allons voir le développement plus au Sud, les terrains houillers perméens et triasiques de Jano avec des filons-failles à cristallisation de cinabre.

Sur ce terrain éocène de Monte Catini reposent des nappes de roches vertes, que l'on retrouve plus à l'Est sur d'autres étages, par exemple vers Nera et Senzano (N.E. de Volterra), sur le Miocène.

Ces roches vertes, si nombreuses dans toute la Toscane et si intimement reliées aux gîtes métallifères, y présentent plusieurs types pétrographiques, où l'on a cru voir l'indice de venues éruptives successives et qui me paraissent plutôt les résultats d'une différenciation plus ou moins avancée exercée en profondeur sur le même magma.

D'après M. B. Lotti, les trois types principaux sont la périclinité (ou lherzolite), le gabbro à olivine et la diabase à olivine (parfois appelée mélaphyre),¹ qui semble en principe se superposer aux deux premières roches: par exemple, à Monte Catini, où l'on trouve, sous la diabase, qui est la roche métallifère (fig. 6 et 7), un peu d'euphotide (gabbro à diallage) et de la

¹ Voir un examen microscopique de ces roches par M. Mattiolo dans le mémoire de M. Lotti (1884).

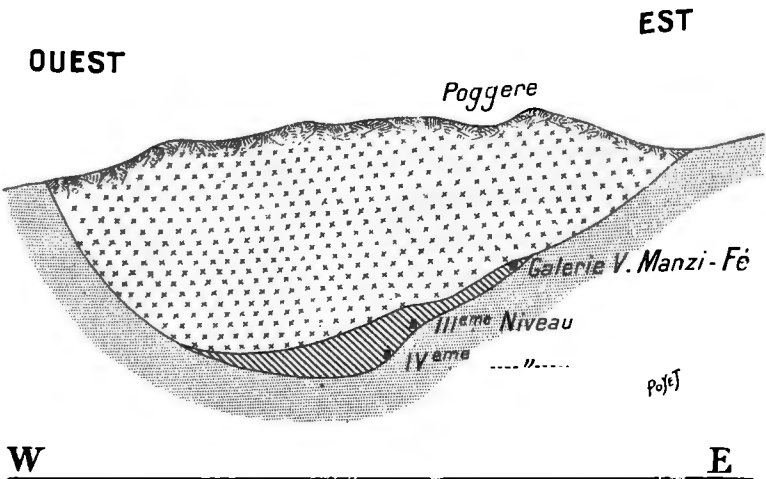


W.SW

LÉGENDE

- | | | | |
|--|------------------------|--|------------|
| | Diabase (Gabbro rosso) | | Déblais |
| | Gisement | | Serpentine |
| | Argiles marneuses | | Euphotice |
| | Phtanites | | |
- Eocène

Fig. n.° 6.—Coupe Est-Ouest suivant M N O à Monte Catini d'après M. Ridonl.
Echelle au 1 : 10,000.



LÉGENDE

- | | | | |
|--|----------------------------|--|--------------------|
| | Diabase (Gabbro rosso) | | Phtanites (Eocène) |
| | Gisement | | Déblais |
| | Argiles marneuses (Eocène) | | |

Fig. n.° 7.—Coupe Est-Ouest suivant A B à Monte Catini.
Echelle au 1 : 6,600.

serpentine stérile englobées dans l'Éocène.¹ D'une façon générale, toutes ces roches ont pu être très fortement serpentinisées; mais l'altération superficielle ne semble, contrairement à ce qu'on a supposé autrefois pour les minerais de cuivre comme pour les minerais de fer chromé, avoir eu aucune influence sur la première concentration des minerais par veines ou amas; on ne peut lui rattacher que les concentrations secondaires du cuivre dans la masse des minerais mêmes, dont il va être question plus loin.

Toutes ces apparitions de roches vertes ont été considérées autrefois, suivant les idées qui régnaient il y a une trentaine d'années, comme autant de pointements éruptifs et l'ancien directeur de Monte Catini, Schneider avait fait un beau programme de recherches comprenant des travers-bancs destinés à aller recouper leurs cheminées profondes, au contact desquelles on supposait devoir retrouver des minerais de cuivre. L'expérience a montré, au contraire, pour toutes celles que l'on a eu l'occasion d'étudier, qu'il n'existait aucune racine éruptive directe. A moins d'admettre l'idée bien hardie de colonnes filtrantes imaginées par M. Termier, c'est à dire de vapeurs ayant traversé les terrains sous-jacents sans y laisser de traces pour se condenser sur une zone favorable, une origine latérale est donc probable, que ce soit une intrusion ignée ou un déplacement mécanique de tufs, qui n'ont pu, en tout cas, se déposer immédiatement sous cette forme et nous serions tentés de raccorder les roches de Monte Catini avec les grandes masses qui existent plus à l'Ouest, à Ripardella, Monte Vaso, Rosignano. Les coupes semblent surtout accuser une pression vers le Sud-Est et un grippement à cette extrémité Sud-Est. (Fig. 8).

Quoiqu'il en soit, la relation des minerais de cuivre avec ces roches n'est pas douteuse pour la région Nord-Ouest de l'Italie précédemment étudiée. Ces minerais y existent, tout d'abord à l'état finement disséminé dans le gabbro, où ils sont composés surtout de pyrite et chalcopyrite (avec un peu de blende et de galène). On trouve, en outre, comme nous l'avons déjà vu, de véritables amas pyriteux formant des gîtes de départ immédiat

¹ Suivant M. Lotti, cet ordre de superposition serait constant; on aurait partout de haut en bas, diabase, euphotide, serpentine.

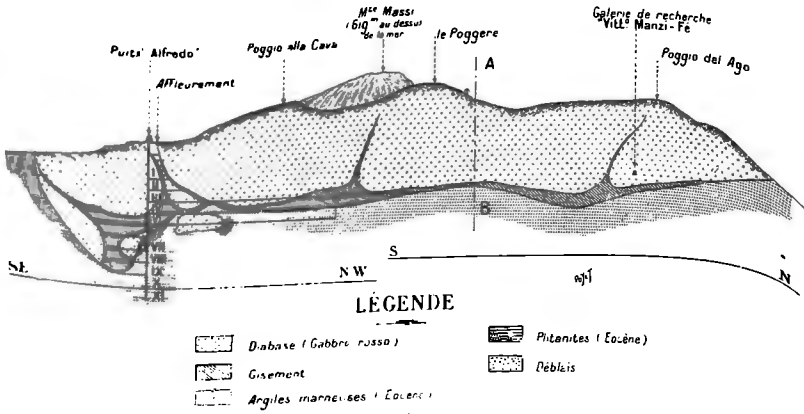


Fig. n.° 8.—Coupe brisée Nord-Sud suivant P Q R S à Monte Catini, d'après M. Ridoni.—Echelle au 1 : 15,000.

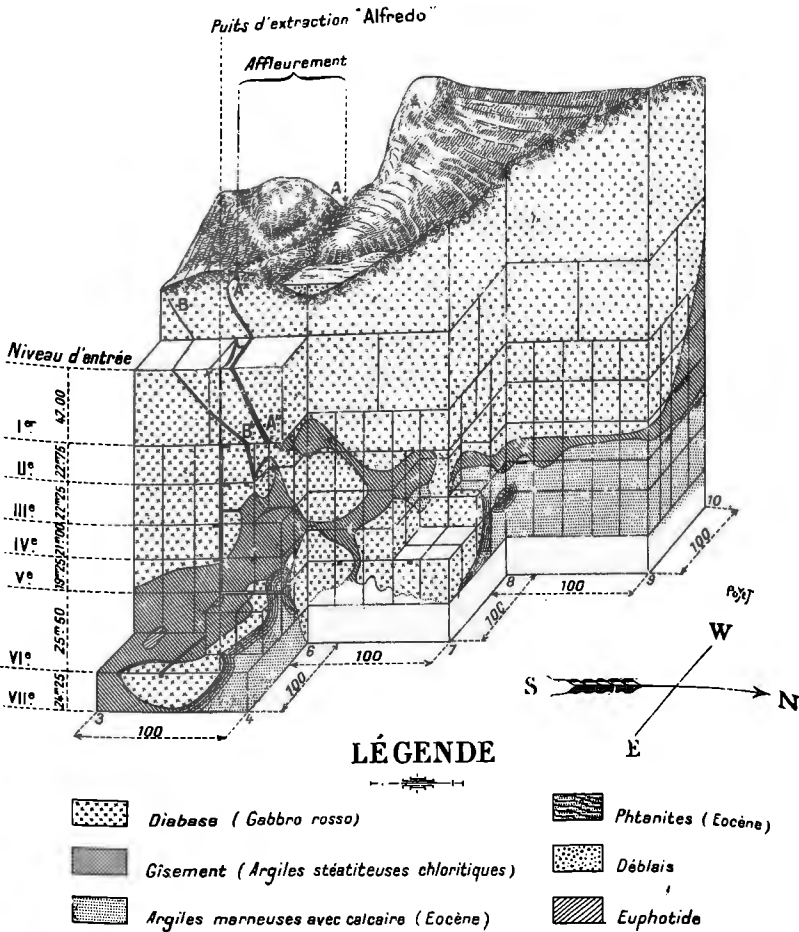


Fig. n.° 9.—Modèle de la mine de Monte Catini d'après M. Ridoni. Echelle au 1 : 4,450

auprès des diabases ou des euphotides du district de Gênes.

Ce n'est pas sous une forme aussi simple que se présentent les gisements de Monte Catini et leur complication peut être attribuée aux deux phénomènes déjà signalés: 1.° de transport mécanique, 2.° d'altération chimique, dont nous allons essayer de retrouver l'empreinte successive.

Cette complication du gisement est extrême et l'on n'a pu arriver à en représenter la disposition réelle que par le système de modèle en relief avec coupes suivant trois plans rectangulaires, c'est à dire avec un système de cubes mobiles, dont notre fig. 9 donne une perspective.

On aperçoit, sur cette figure, les deux fentes minéralisés AA'A'', BB', qui ont seules représenté le gisement dans ses parties hautes et dont la disposition, comparable à celle de véritables filons, a pu donner l'idée que l'on avait un gîte filonien analogue à tous les autres. C'est ce qu'on appelle les *filons rouges*, dont l'épaisseur était d'au plus 3 à 5 mètres et dont la minéralisation comprenait surtout des minerais d'altération, cholcosine, phillipsite, cuivre natif, avec zéolithes et très peu de chalcopyrite.

La coupe longitudinale P. Q. R. S. (fig. 8), à peu près base (gabbro rosso), qui divergent, en s'atrophiant de plus en Nord-Sud, montre cinq filons semblables englobés dans la diapylite, de la salbande argileuse et métallifère (gisement ou "filon blanc"), situé à la base de cette diabase (à laquelle son altération ferrugineuse a fait donner le nom de gabbro rosso).

Comment se sont formées ces sortes de ramifications, qui n'ont évidemment d'un filon que l'apparence tout à fait grossière, il est assez difficile de s'en rendre compte. La plupart des coupes (figs, 6, 8, 9), les montrent partant du filon blanc, à partir duquel elles vont en s'atrophiant peu à peu pour finir par se coïncider. L'aspect est comparable à celui que produirait une pâte plastique, comprimée sous une masse dure et amenée à s'injecter dans ses joints. Il semble cependant qu'il faille voir plutôt, dans ces veines, des ségrégations primitives de la diabase ayant gardé leur allure dans la roche, tandis que les minerais du filon blanc ont dû être mécaniquement dispersés, et assimilables par conséquent à certain réseaux ou stockwerks,

subsistant dans des blocs de diabase au milieu du filon blanc, dont il sera question bientôt.

Ce "filon blanc," qui constitue depuis longtemps le véritable gisement industriel, forme, comme le montrent les coupes, une masse de 20 à 50 mètres d'épaisseur, généralement située à la base de la diabase, qui elle-même ne dépasse guère 150 à 200 mètres d'épaisseur, c'est à dire au contact de cette roche avec l'Éocène sous-jacent, mais pouvant à l'occasion être séparée de lui par une nouvelle intercalation de diabase.

L'aspect de ce filon blanc est, comme l'indique la fig. 10, celui d'une grande masse argileuse verdâtre, formée de len-

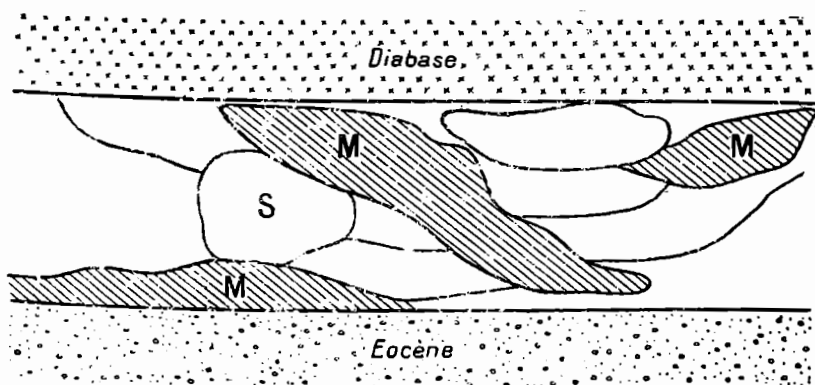


Fig. n.º 10.—Coupe théorique du filon blanc à Monte Catini.

tilles indépendantes et chevauchant irrégulièrement les unes sur les autres: lentilles tantôt minéralisées (M.) et contenant alors en moyenne 1,10 p. 100 de cuivre, tantôt, au contraire, stériles (S.). Les unes et les autres de ces lentilles ont une composition générale analogue à celle des roches vertes avoisinantes et peuvent avoir été produites par leur destruction mécanique: on a cru remarquer que les lentilles minéralisées sont plus pâteuses, les lentilles stériles souvent dures comme les boules de diabase elles-mêmes, ou sèches comme du cuir. Par exemple, on a des noyaux d'euphotide serpentinisée, de diabase ordinaire, de diabase porphyroïde, avec des dépôts de calcédoine secondaire.

A la base, cette argile verdâtre, qui forme le filon blanc, prend un autre aspect bréchiforme et devient alors souvent

comme schisteuse ou laminée, stéatiteuse et parfois rougie, (peut-être parce que ce contact avec les calcaires éocènes a amené une circulation particulièrement facile des eaux aérées et chargées d'oxygène). Cette zone stéatiteuse, qu'on appelle la *Saponella*, est relativement régulière et d'épaisseur constante dans les parties où la calcaire est horizontal ou faiblement ondulé. Quand on arrive au contraire dans la zone Sud, (Fig. 6 et 8) où les deux masses de diabase du M^{re} Massi et du Poggio alla Croce semblent avoir grippé dans leur charriage sur l'Éocène et refoulé devant elles les calcaires éocènes plus redressés, la "saponella" disparaît et l'on trouve les phtanites, dont il a été question précédemment, avant d'arriver aux marnes et calcaires de l'Éocène.

Au sommet du filon blanc, son contact avec la diabase est d'une allure très variable. Tantôt il y a passage brusque de la diabase dure à l'argile; tantôt il y a transition tout à fait progressive; tantôt enfin, il existe, entre les deux, une zone d'altération bréchiforme, dont la largeur peut atteindre plusieurs mètres. Mais rien, en résumé, dans la disposition d'ensemble, ne contredit l'idée que la diabase et le filon blanc soient deux parties d'une même formation, différemment influencées par le même charriage mécanique.

Dans le détail, tout confirme cette supposition d'un transport avec friction, opéré sur cette salbande argileuse et stéatiteuse. Ainsi l'on trouve, dans le filon blanc, près de son contact Sud avec les phtanites, un véritable conglomérat de galets arrondis¹ et la même disposition s'accuse dans les minerais eux-mêmes, dont il nous reste à parler: minerais, qui, pour nous, sont les débris disloqués et roulés d'une formation métallifère sulfureuse, produite d'abord par ségrégation sulfureuse au contact de la diabase.

L'allure de ces minerais, qui est bien connue, consiste en une série de boules arrondies à enveloppe stéatiteuse, dont j'ai déjà indiqué la minéralisation par zones concentriques, où, selon moi, il ne faut voir que l'effet d'une cémentation par altération, sur laquelle nous allons revenir. On a remarqué, depuis

¹ Ech. 1806-82 à l'Ecole des Mines.

longtemps, que la surface de ces boules portait des stries analogues à celles des blocs glaciaires et tout, en effet, dans les charriages est, par un rapprochement sur lequel M. Suess a insisté récemment,¹ comparable aux phénomènes glaciaires, parcequ'il s'agit, dans les deux cas, d'un transport sous la pression d'une masse considérable.

Ces boules de minerais sont souvent grosses comme le poing. Par endroits, on en a trouvé un moment de beaucoup plus volumineuses: ainsi, dans un espace restreint entre le 8.^e et le 9.^e niveau, où l'on a sorti autrefois 2,000 tonnes de cuivre.

Récemment encore, en avril 1904, on a rencontré une boule de 120 tonnes de phillipsite et chalcopyrite ayant 6 à 7m de long, 3m50 de hauteur maxima et jusqu'à 2 mètres d'épaisseur. Mais ces grosses boules jouent un rôle de plus en plus restreint dans la production à mesure que les travaux s'enfoncent et se réduisent, en somme, à des glanages.

On a cru remarquer également que la partie haute du filon blanc au contact de la diabase, qui marque un contact originel entre deux formations solidaires, est généralement riche, tandis que le contact inférieur du filon blanc et de l'Éocène, qui n'est pour nous qu'un simple plan de friction mécanique, est d'habitude pauvre.

Peut-être a-t-on un reste de ce qu'a pu être le gisement primitif, avant son remaniement mécanique suivi de son altération chimique, dans certaines parties où la chalcopyrite forme un réseau de veines, une sorte de stockwerk englobant des blocs de diabase plus durs (toujours dans le filon blanc).

Enfin il y a lieu de remarquer, comme un fait important pour la genèse du gîte, que l'on a autrefois rencontré, à titre très exceptionnel, des veines de chalcopyrite pénétrant dans le calcaire éocène sous jacent. Si ce n'étaient pas, comme je le croirais volontiers, des produits de remise en mouvement aqueuse tout à fait secondaire, on pourrait en conclure que le gîte primitif aurait déjà été un gîte de contact entre la diabase et l'Éocène, gîte ensuite disloqué par le déplacement, dans cette hypothèse assez restreint, des deux parties en contact.

¹ Comptes rendus de l'Académie des Sciences. 7 nov. 1904.

Quant à la nature des minerais, j'ai déjà dit que les éléments primitifs essentiels ont dû être la pyrite plus ou moins cuivreuse, qui est généralement très fine quand elle subsiste, et la chalcoppyrite. Il arrive cependant de rencontrer, en outre, quelques autres sulfures. Ainsi, dans la partie Est du gisement, où la diabase remplit une poche semblable à un entonnoir, on a observé des veines sulfurées dans la diabase, ayant le caractère de stockwerk non déplacé que je viens de signaler. Et certaines de ces veinules contenaient des noyaux pyriteux de 2 à 4 centimètres enveloppés par un mince filet de blende brune cupriferrifère (fig. 11).

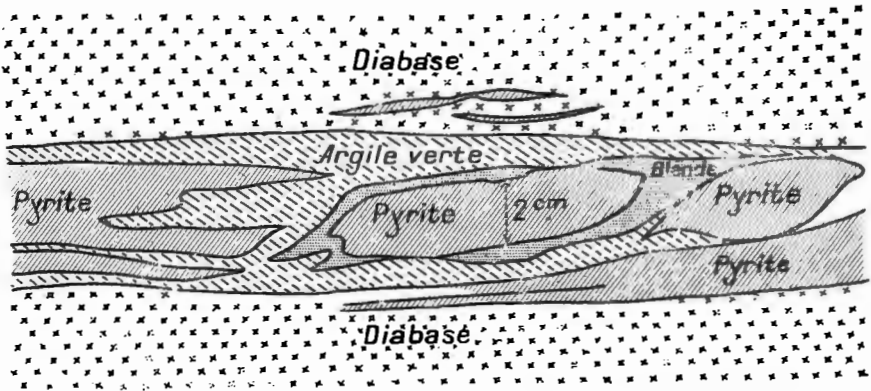


Fig. N.º 11.—Veine de pyrite et blende à Monte Catini.

Mais cette nature des minerais n'est pas restée aussi simple que le ferait supposer cet énoncé et elle a été complètement transformée par les phénomènes d'altération superficielle, dont il nous reste à parler.

Ces phénomènes d'altération superficielle s'accusent à Monte Catini avec une grande netteté. J'ai noté, en commençant cette description, qu'entre le sommet du piton diabasique, où sont englobés les gisements et la vallée voisine, il y a 500 mètres de différence d'altitude. Le niveau hydrostatique est donc profond autour de la mine; la circulation des eaux s'opère si rapidement que les réservoirs souterrains manquent pour l'alimentation des sources; l'eau fait, des lors, défaut pour les besoins de la préparation mécanique. Cependant, quand on analyse les eaux de la mine, on ne leur trouve pas l'acidité

habituelle au contact des minerais sulfurés; les bases, en excès dans les roches vertes, les rendent plutôt alcalines.

On peut attribuer à cette circulation des eaux superficielles et à l'altération qu'elle entraîne, la peroxydation des éléments ferrugineux, qui, dans toute la zone haute de la région, a fait donner à la diabase le nom de gabbro rosso (gabbro rouge). On a pu également songer à expliquer de même la formation de cette argile métallifère que nous avons appelée le "filon blanc" et qui, dans toute hypothèse, a dû être très altérée; mais, ici, comme nous l'avons dit, le phénomène paraît beaucoup plutôt d'ordre mécanique que chimique.

Toutes les fois que l'on observe, dans un pays quelconque, l'altération d'une roche analogue à la diabase de Monte Catini, on voit que cette altération a une tendance à se réaliser par la division de la roche en sphères concentriques donnant des croûtes, englobées les unes dans les autres, d'inégale dureté. Le phénomène est bien marqué ici et l'on observe parfois, dans ces fissures sphériques, des métallisations à formes altérées (enduits galvaniques de cuivre natif, etc.), qui peuvent être dues, soit à une sécrétion secondaire pendant l'altération, soit à ce que la fissuration aurait suivi des surfaces d'inhomogénéité particulièrement riches en cuivre. La seconde hypothèse pourrait tirer quelque vraisemblance de ce fait que, dans la même diabase, des fissures transversales, indépendantes de la concentration primitive de la roche, ne sont jamais métallisées.

Enfin c'est surtout pour les minerais que le processus de l'altération prend un intérêt particulier.

Lorsqu'on part des affleurements, nous avons vu que l'on trouvait d'abord les "filons rouges," c'est à dire des veines métallifères minces à peu près verticales incrustant des fissures de la diabase. Quels que soient l'origine de ces filons rouges et le moment où les minerais sont venus y cristalliser, soit à l'époque de la ségrégation primitive, soit à la suite du déplacement mécanique, les minerais y présentent nettement les types que nous sommes habitués à rencontrer partout dans les produits altérés: le cuivre natif associé aux zéolithes, la chalcosine à près de 80 p. 100 de cuivre et la phillipsite entre 43 et 63 p. 100; la chalcopyrite, au contraire, fait à peu près défaut.

C'est dans ces conditions que l'on a eu des plaques de cuivre de 20 centimètres, ou ailleurs des arborescences analogues à celles du Lac Supérieur.

Plus bas, nous avons vu que l'on était arrivé au "filon blanc", dans lequel la métallisation disséminée prend la forme de boules ou de grains. Dans ce filon blanc, il est remarquable que la chalcosine, comme le cuivre natif et les minerais les plus riches en cuivre, disparaissent: on ne trouve que de la phillipsite (43 à 63 p. 100 de cuivre) et de la chalcopyrite (34,4 p. 100). La relation réciproque de ces deux dernières formes de sulfures cuprifères est presque toujours la même. Quand les boules de minerai sont petites, elles apparaissent entièrement formées de phillipsite (c'est à dire, pour nous, transformées en ce minerai); quand elles sont un peu plus grosses, on a fréquemment un nodule central de chalcopyrite avec une enveloppe de phillipsite; la limite entre les deux catégories de minerais, mise en évidence par leur couleur très différente, est alors d'une netteté absolue; enfin, quand les amas deviennent très volumineux, comme la boule de 120 tonnes trouvée en 1904, qui avait 6m. de long sur 3 de hauteur et 2 d'épaisseur maxima, les deux sulfures semblent quelque peu mélangés, suivant les fissurations intérieures qui ont dû diriger l'introduction des eaux; mais la chalcopyrite tend toujours à dominer dans l'intérieur et la phillipsite à la surface.¹ On a généralement vu, dans cette disposition, une forme originelle de la cristallisation et, si tout était en place et inaltéré dans ce gisement de Monte Catini, comme les anciennes théories l'admettaient d'une façon implicite, on pourrait, en effet, supposer une sorte de différenciation, de liquation opérée entre les sulfures métallifères; mais, à mon avis, l'origine de cette répartition est tout autre et réside dans un phénomène d'altération oxydante, analogue à celui que l'on réalise en industrie par le grillage ou l'oxydation à l'air des nodules cuprifères, ou encore à la cémentation naturelle, qui fait apparaître si souvent le cuivre gris avec sidérose et malachite dans la zone haute des filons

1 Par un phénomène tout à fait équivalent, on a trouvé à Kongsberg, au Sarrabus, au Comstock, etc., des masses d'argent sulfuré recouvertes d'une croûte d'argent natif, qui est le produit de la réduction du sulfure et s'accompagne parfois de chlorure d'argent.

de chalcopryrite. Cette idée trouve ici une confirmation générale dans la prédominance de plus en plus marquée de la chalcopryrite à mesure que les travaux s'enfoncent. Le rôle des altérations et cémentations dans ce phénomène est, en outre, mis en évidence par cette remarque des mineurs que, dans le filon blanc (à sels de fer généralement non peroxydés), l'approche des minerais de cuivre est signalée par des zones rougies, c'est à dire par l'équivalent de la croûte ferrugineuse qui se produit dans le grillage. Mais on peut essayer de serrer ce phénomène de plus près en se rappelant les observations comparables faites en métallurgie, ou encore les réactions correspondantes étudiées par Daubrée sur les médailles de bronze romaines trouvées dans la source thermale de Bourbonne les Bains.¹

La pratique du grillage en tas, appliqué à des noyaux de pyrite cuivreuse contenant au début 3 à 4 p. 100 de cuivre, est la suivante. Au bout de quelques jours, on voit, à la surface du nodule, se former une croûte d'oxyde de fer avec un peu d'oxyde de cuivre; puis, au dessous, un enduit velouté brun plus riche en cuivre, qui sépare les oxydes de la pyrite cuivreuse inaltérée. Peu à peu la croûte ferrugineuse s'agrandit; la zone intermédiaire devient de la chalcopryrite, à 30 p. 100 de cuivre; enfin, au bout de deux mois, quand la chalcopryrite a gagné le centre, il apparaît, sous la croûte extérieure, une zone de phillipsite tenant 50 à 70 p. 100 de cuivre.

Pour expliquer ces réactions, on admet que l'oxygène, pénétrant à travers la croûte poreuse oxydée, incessamment reformée, vient brûler le bisulfure de fer en donnant du monosulfure et du soufre volatilisé, qui s'échappe en sens contraire. Ce soufre, rencontrant un peu plus loin de l'oxydure de cuivre superficiel, donne du sous-sulfure de cuivre, qui se dissout dans le mono-sulfure de fer produit un peu avant en donnant une véritable matte. Le cuivre de la superficie est donc sans cesse ramené dans cette zone relativement plus profonde, jusqu'à laquelle l'altération vient de pénétrer, tandis qu'à la surface la croûte d'oxyde de fer s'accroît peu à peu et que le centre

¹ Daubrée ne signale pas, pour les divers minéraux qu'il a observés sur ces médailles, cuivre natif, oxydure de cuivre, chalcosine, phillipsite, chalcopryrite, etc., un ordre de superposition constant.

reste intact. Une fois la pyrite de fer changée en chalcopyrite, une concentration analogue, qui part de la surface pour gagner le centre, accentue peu à peu la teneur en cuivre jusqu'à celle de la phillipsite, puis de la chalcosine.

Quand, au lieu de griller, on soumet à un lavage oxydant, le principe de l'opération reste le même; mais le déplacement moléculaire s'accroît par la pénétration capillaire des sels en dissolution.

Les phénomènes peuvent devenir plus complexes si les eaux altérantes, au lieu d'apporter simplement de l'oxygène, sont elles-mêmes chargées d'éléments sulfureux comme dans une source thermale, ou renferment du cuivre en dissolution, comme cela doit nécessairement se produire quand un gisement, formé de nombreux amas cuprifères, est soumis à l'action des eaux superficielles. On peut alors observer des réactions successives en sens contraire, dont les gîtes d'argent donnent de très beaux exemples, avec des masses d'argent sulfuré transformées en argent natif, qui lui-même s'est resulfuré là où il ne s'est pas trouvé protégé par le dépôt immédiat d'une gangue de calcite autour de lui (Sarrabus, Kongsberg). Peut-être y-a-t-il lieu de faire intervenir ces réactions en sens inverse dans le cas singulier, qui se présente exceptionnellement à Monte Catini, de boules formées au centre par de la phillipsite et, à la périphérie, par la chalcopyrite; mais on conçoit aussi que la suite normale des réactions de cémentation, ayant toujours pour effet de transporter le cuivre de la circonférence au centre, doit, si elle est poussée assez loin, donner un effet de ce genre. Les nodules habituels sont ceux où le centre est en chalcopyrite et l'intérieur en phillipsite, c'est à dire ceux où la transformation de la chalcopyrite en phillipsite (qui avait pu déjà être précédée par celle de la pyrite cuivreuse en chalcopyrite) n'a pas encore gagné jusqu'au centre; puis toute la boule atteint la teneur de la phillipsite; mais, si l'opération continue encore, n'arriverait-il pas que la phillipsite extérieure revienne à la teneur en cuivre de la chalcopyrite?

Quoiqu'il en soit de cette explication, le phénomène de boules inverses est rare mais incontestable et, sur un échantillon de ce

genre que j'ai rapporté à l'Ecole des Mines,¹ on voit ainsi, dans une enveloppe de chalcopryrite avec pyrite et mélange de gangue, deux noyaux de phillipsite séparés par un filet de chalcopryrite de 2 ou 3 millim., sans qu'on aperçoive aucune fissure ayant pu faciliter particulièrement vers ce centre l'accès des eaux. J'ai fait analyser séparément ces deux parties. On a :

	Cuivre.	Soufre.	Fer.
Noyau.....	48	21,60	18,40
Enveloppe.....	18,7	17,86	19,60

Le noyau a une teneur normale de phillipsite et, dans l'enveloppe, les trois éléments cuivre, soufre et fer sont bien parties comme dans la chalcopryrite. Ni l'une ni l'autre des deux parties ne contient d'arsenic.

**V.—Filons de pyrite cuivreuse de Boccheggiano. La Fenice, etc.²
et filons pyriteux de Gavorrano.**

En dehors des gisements de Monte Catini, que nous venons d'étudier comme un type spécial de ségrégation basique avec déplacement mécanique ultérieur, tous les autres minerais de la Toscane se trouvent dans des conditions différentes, à l'état de véritables filons remplissant, pour la plupart, des failles, ou des contacts de direction à peu près Nord-Sud. Le même genre de filons semble se poursuivre: vers l'Ouest, jusqu'à l'île d'Elbe, qui sera étudiée dans un chapitre spécial; vers le Nord, jusqu'à Seravezza; vers le Sud, jusqu'aux environs de Civita Vecchia et l'on a l'impression d'un bloc relativement ancien, ayant subi un morcellement tertiaire, dont la côte Est de la Corse et les îles comprises entre la Corse et la Toscane accusent la dispo-

¹ Coll. Ecole des Mines.—Ech. 1806-83. Il existe également parfois des boules de chalcosine (1806-84), qui, au lieu d'être, comme d'habitude, nettement enveloppées par de la roche stérile, présentent, autour de la chalcosine, une zone extérieure, où la chalcosine, mêlée de pyrite de fer, pénètre dans la roche verte. Les mineurs disent alors que "la boule n'est pas faite."

² Pour la description spéciale de cette région, voir: 1893. LORRI, *Dintorni di Massa Marittima* (Mem. della carta geol. d'Italia, Roma, 172 p. et 1 pl.).

sition générale, avec montées plus ou moins prolongées de magmas éruptifs et métallisations connexes.¹

Dans ces contacts, le minerai dominant est de beaucoup la pyrite de fer, pouvant, comme toujours, renfermer un peu de cuivre; mais il existe, en outre, beaucoup plus rarement, du plomb et du zinc dans l'Ouest de la région, du mercure et de l'antimoine au contraire dans l'Est et quelques traces d'étain associées aux granites de l'île d'Elbe et de Campiglia marittima rendent, en résumé, cette métallisation à peu près générale.

J'ajoute aussitôt que plusieurs de ces mêmes contacts Nord-Sud, où se sont réalisées autrefois des métallisations filoniennes, donnent aujourd'hui encore passage à des sources chaudes, qui mettent en évidence le rôle joué à toutes les époques par de tels contacts entre terrains inégalement perméables sur la circulation des eaux souterraines et que nous étudierons par suite dans un chapitre spécial. Les exemples de pareilles sources chaudes le long de filons anciens sont fréquents en industrie minière;² mais il est toujours intéressant d'en étudier des cas nouveaux. Nous en aurons un type remarquable à Boccheggiano et toute la série des jaillissements hydrothermaux alimentant l'industrie classique des Soffioni, se présentent, au milieu de ce district métallifère, sur des cassures analogues à celles qui ont donné autrefois naissance aux filons de pyrite cuivreuse, de galène, de cinabre et de stibine.

A quelle époque s'est produite la métallisation de ces divers filons? M. B. Lotti, dont on connaît la compétence toute spéciale en ce qui concerne les minerais italiens, est très affirmatif dans sa réponse. Pour lui,³ il y a eu une première formation presque exclusivement cuprifère en relation avec les serpentines à l'époque éocène (celle que nous venons d'étudier à Mon-

1 J'ai donné autrefois, à l'occasion du massif de St. Saulge (*Bul. Carte Géol. N.º 46, 1895*), les plans de détail des failles qui morcellent un semblable horst à sa périphérie, avec leurs changements de sens sur leur longueur, leurs intersections, etc. La comparaison avec la région toscane s'impose aussitôt à l'esprit.

2 Voir L. DE LAUNAY, *Formation des gîtes métallifères*, 2de édition p. 37.—*Sources Thermo-minérales*, p. 61. Parmi les exemples les plus classiques, on peut citer le Comstock, Sulphurbank, la Sierra Almagrera, Freiberg, Schemnitz, etc. Par exemple au puits Franzjoseph de Schemnitz, on a recoupé une source à 45° le long d'un dyke de trachyte dans la syénite.

3 *Zeitsch. f. pr. Geol.* février 1901.

te Catini) ; puis, à l'époque miocène, en rapport avec des éruptions acides de granite et de porphyre, une seconde venue de minerais de fer, de grands filons de quartz cuprifère et des sulfures complexes avec calamine; enfin, au commencement du pléistocène, après les éruptions trachytiques et andésitiques, un troisième système de minerais de mercure et d'antimoine, dont les sources chaudes actuelles, les dégagements sulfurés et les dépôts de travertin seraient la continuation. Sans discuter le moins du monde ces conclusions, qui sont surtout basées sur l'âge des roches associées, j'ai déjà dit quelles raisons générales m'amenaient à être un peu plus réservé. Quand on fait intervenir, comme je l'ai essayé ici, la notion de profondeur, ces déterminations d'âge deviennent encore plus délicates qu'elles ne le sont en toute hypothèse et l'on peut, je crois, seulement affirmer que les filons de pyrite et sulfures complexes recourent, à l'occasion, tous les étages éocènes, sans atteindre nulle part, je crois, le miocène, tandis que ceux de mercure et d'antimoine, encastés dans les terrains les plus divers depuis le carbonifère de Jano jusqu'à l'éocène de Siele, semblent accuser une relation avec les trachytes du Mont Amiata, qui conduirait à les rajeunir beaucoup plus (surtout s'il est exact, comme le croit M. Lotti, que des argiles pliocènes aient été à Jano originairement minéralisées en cinabre). Mais, de toute manière, lorsque nous envisageons des zones métallogéniques différentes, avec prédominance de types pétrographiques semblant avoir cristallisé à des profondeurs diverses, nous pouvons établir entre elles un rapprochement théorique, sans pour cela les supposer nullement contemporaines et en nous les représentant, au contraire, comme appartenant aux phases successives d'une même période de plissement. J'imagine, par exemple, qu'il a dû continuer à cristalliser, en profondeur, du granite avec minerais associés, analogues à ceux de l'île d'Elbe (granite que nous ne connaissons pas et qui n'est pas celui de l'île d'Elbe), tandis que s'élevaient plus haut les trachytes avec mercure du M^t. Amiata.

Nous verrons tout à l'heure avec quelques détails comment se présentent les gisements principaux de Toscane que j'ai pu visiter. Il est nécessaire auparavant de passer en revue l'ensemble du pays, en groupant à ce propos les indications que j'ai

pu recueillir sur divers autres gisements de moindre importance.

Quand on examine, sur une carte géologique d'ensemble, (Pl. I), cette région des Monts métallifères Toscans avec ses annexes insulaires, l'idée vient aussitôt de l'assimiler à un horst ou à des fragments de horst, ayant arrêté dans le sens de l'Ouest les plissements dinariques de l'Apennin. Aux terrains tertiaires, avec quelques anticlinaux crétacés et jurassiques, qui constituent la chaîne plus orientale, succèdent ici, comme j'ai essayé de le mettre en évidence sur ma carte, des tronçons de terrains plus anciens, rhétien, trias, permien, carbonifère, que des séries de failles en échelons mettent en contact anormal avec les terrains plus récents. Vers l'Ouest, l'apparition de granites miocènes,¹ en relation probable avec les déplacements verticaux et les décrochements qui ont morcelé ce horst hercynien, amène un élément métallogénique nouveau.

A l'Est, au contraire, une première ligne N.O.-S.E. de Volterra à Pereta et Capalbio, parallèle dans son ensemble aux accidents précédents, marque la limite commune vers l'Ouest des roches éruptives pliocènes ou pleistocènes et des gisements de mercure et d'antimoine (Pl. I et fig. 12). Ces faits, qu'il serait imprudent de voir préciser davantage, sembleraient indiquer l'existence d'accidents à peu près Nord-Sud, qui, vers le Nord, s'incurvent au Nord-Ouest pour aller encadrer le massif ancien métallifère de Lucques et Seravezza.

Plus au Nord, ces accidents disparaissent sous les plis tertiaires et sous les grandes masses de flysch qui arrivent jusqu'à la mer. Il n'y a donc aucune raison sérieuse de prolonger ces directions dans un sens plutôt que dans l'autre. Si, cependant, on raccorde, sur la carte, indépendamment de toute théorie, ces gisements de cinabre toscans avec ceux du Frioul et de l'Istrie ou de la Carniole, on voit cette zone cinabrifère envelopper, à l'Est, la zone des manifestations éruptives récentes périadiatiques, avec lesquelles elle paraît en relation² et, d'au-

1 Ces granites ont donné, d'après M. LOTTI, des galets dans la Miocène supérieur et le Pliocène. Leur âge est donc antérieur.

2 Plus au Sud, le cinabre a été signalé dans les filons complexes de la Tolfa, puis à Pouzzoles, près du Vésuve, où il est associé avec du réalgar et enfin à Paternò, près de Catane, à la base de l'Etna.

tre part, être entourée à l'Ouest par une zone de minerais plombeux, qui s'arrête aux grands accidents de la Judicaria, de la faille de Meran et du Gailthal. Les minerais de Massa Marittima, qui se prolongent par ceux de Seravezza, trouvent leur suite naturelle dans ceux du Lac de Garde, d'Auronzo, de Raibl, etc. Et tout l'ensemble forme, le long des Dinarides, à l'intérieur de la chaîne alpine, qui semble se prolonger de Gênes en Corse, une couronne à l'affaissement adriatique.

J'ajoute (tout en reconnaissant combien une semblable remarque peut prêter à contestation) que, dans la zone des Apennins, où nous venons de faire passer le raccord des accidents toscans avec ceux du Lac de Garde par simple continuité, nous rencontrons précisément la région des sources pétrolifères du Riolo, du Chero, etc., la plus importante de l'Italie. (Pl. I, fig. 1). Tous les volcans de boue des Apennins sont à l'intérieur de notre courbe, comme les roches éruptives et comme les gîtes de mercure. Sans doute, il est bien probable aujourd'hui que les hydrocarbures ont une origine organique et viennent de dépôts sédimentaires associés aux gîtes de sel ou de gypse. Cependant on ne saurait oublier que des savants comme Fouqué ont soutenu, au contraire, une origine éruptive, en montrant l'analogie entre les gaz des salses et ceux des fumerolles volcaniques.¹ De plus il existe, entre le dépôt du cinabre et de semblables hydrocarbures, une relation maintes fois signalée. En toute hypothèse, le jaillissement de ces hydrocarbures paraît indiquer des fractures profondes.

Si nous parcourons cette région métallifère toscane du Nord au Sud (Pl. I. et fig. 12), nous trouvons d'abord, au Nord de Volterra, entre cette ville et Castelfiorentino, le gisement cinabrifère de *Jano*,² qui remplit une faille très disloquée entre l'Éocène et le seul affleurement carbonifère connu sur le continent italien. Là, les imprégnations de cinabre, qu'on a vainement cherché à exploiter, pénètrent: d'un côté, dans les argiles éocènes; de l'autre, dans le carbonifère et les travaux ont rencontré de gros dégagements profonds d'acide carbonique gazeux,

¹ Voir, dans L. DE LAUNAY. *Sources Thermominérales* p. 354, un résumé de cette question des sources salées et pétrolifères de l'Emilie.

² LOTTI. (Z. f. pr. G. 1897 p. 224; 1901 p. 46).

correspondants peut-être à la présence des hydrocarbures qui accompagnent si constamment le mercure.

D'après M. Lotti, des argiles pliocènes sont également minéralisées, ce qui accuserait, s'il n'y a pas eu remise en mouvement, l'âge pléistocène du cinabre.

Environ 35 kil. au S.E., on rencontre, à l'Ouest de Sienne,

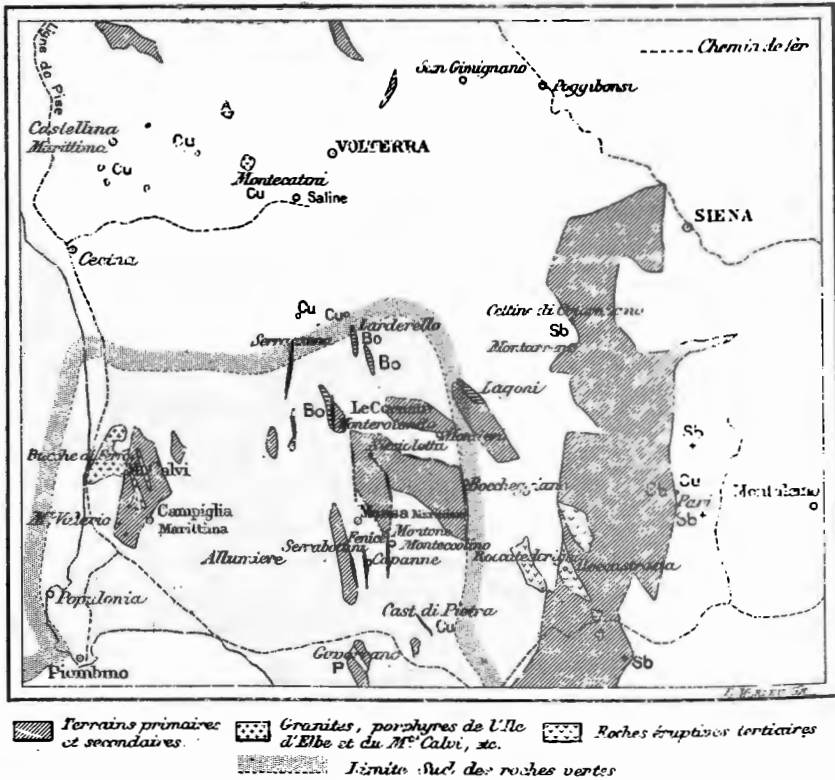
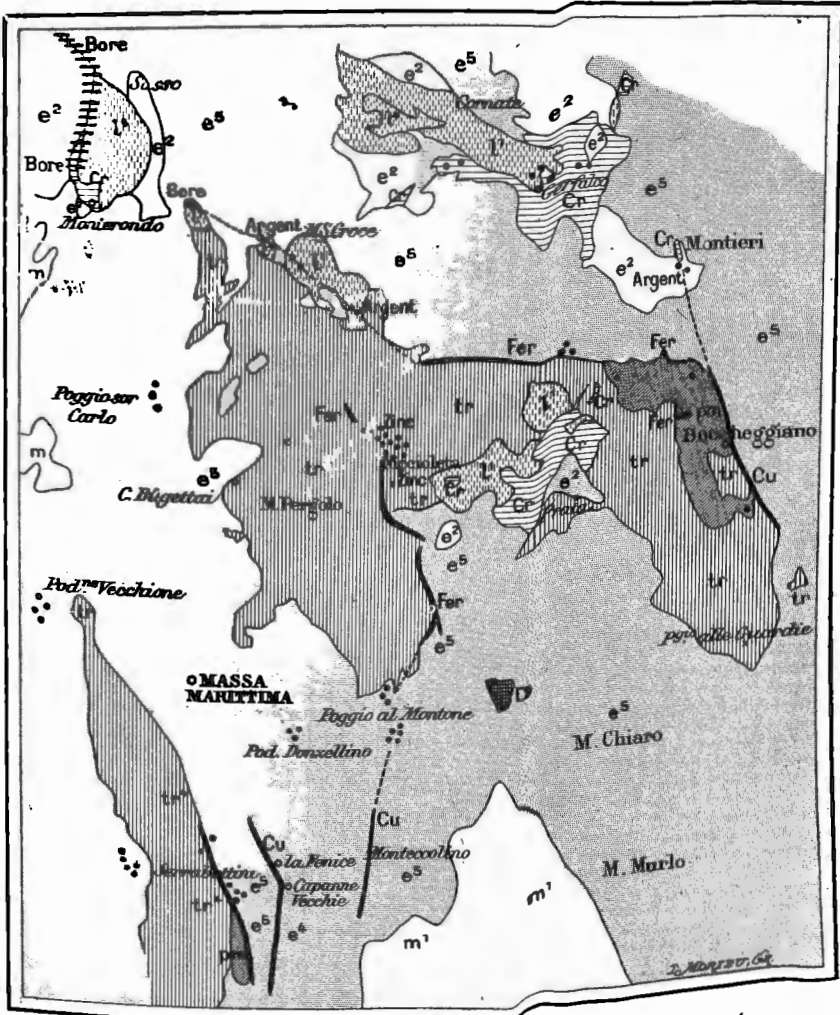


Fig. N.° 12.—Carte de la Toscane minière au 1 : 785,000, montrant la distribution des massifs anciens et des filons métallifères.

près de Montarrenti, la petite mine prospère de *Cetine di Cotorniano*¹ ou *Rosia*, qui exploite des poches de stibine avec quartz et traces de réalgar au contact du permien dans un calcaire caverneux silicifié (rhétien suivant M. Toso, éocène pour M. Lotti), où les réactions secondaires ont amené la présence du gypse. Vers l'Est, les gisements d'antimoine et mercure, sur lesquels je vais revenir, se prolongent vers le M^e Amiata et

¹ LOTTI, loc. cit. p. 45.—TOSO. (Revista del serv. miner. 1894 p. 127 et 1899 p. 166.)

la côte de Civitavecchia. Plus à l'Ouest, et plus directement au Sud de Volterra, se présente un groupe de failles Nord-Sud (ou légèrement Nord-Ouest), qui, sans continuité individuelle apparente, se poursuit au moins sur 40 à 50 kilomètres.



- m¹ Miocène (cong. lacustres, sables et argiles lacustres à lignite).
- e⁵ Éocène - Grès supérieurs.
- e² Éocène - Grès inférieurs.
- e¹ Crétacé.
- e⁰ Lias.
- e⁻¹ Frias.
- e² Permian - Schistes micacés.
- e³ Diorite.
- e⁴ Zones des souffiers d'acide borique.
- e⁵ Zones métallifères.
- e⁶ Puits artésiens.
- e⁷ Dépôts pliocènes et pléistocènes et leurs représentés.

Fig. N.° 13.—Carte géologique au 1:165,000 de la région de Boccheggiano d'après M. Lotti

Les plus septentrionaux de ces accidents donnent lieu, entre Volterra et Massa Marittima, ou, plus exactement, de Lardarello à Monte Rotondo, sur 10 kil. de long, à la série des Soffioni, dont les manifestations geysériennes, quelle que soit leur origine réelle, suivent, en tout cas, nettement de semblables failles N.NO.—S.SE.

Puis vient la série, autrefois très fameuse, des filons de la région de Massa Marittima, ou du Massétan,¹ dont un premier groupe, à l'Est, commence au pied de la montagne calcaire des Cornate à Gerfalco, pour se continuer, par Montieri (où le rejoint un accident transversal) vers Boccheggiano, tandis que d'autres systèmes plus occidentaux, plus directement reliés aux fractures des Soffioni, passent, l'un à Monteccolino, le second à la Fenice et Capanne, le troisième à Serrabottini et vont peut-être se prolonger jusqu'à Gavorrano.

Dans toute cette région il existe environ un millier d'anciens puits montrant le grand développement industriel ancien dont elle a été l'objet.

A *Gerfalco* (fig. 13), des travaux du moyen-âge ont porté sur des veines de cuivre gris dans le calcaire rhétien.

A *Montieri*, il existe de même une centaine de puits du moyen-âge partant de la cote 1050 à 1350 pour descendre jusqu'à 500 m. de profondeur.² Les recherches récentes sur ces gisements y ont seulement retrouvé des veines de cuivre gris parfois très argentifère, avec un peu de fluorine dans un calcaire liasique très fissuré comme celui des Cornate.

Plus loin au Sud, l'important filon de *Boccheggiano*, qui va être décrit plus en détails, peut être considéré, en deux mots, comme le remplissage, par de la pyrite de fer légèrement cuivreuse avec quartz, d'une grande faille de contact entre le Permien, le Rhétien ou le Trias à l'Ouest et l'Éocène à l'Est.³

1 Deux descriptions anciennes de cette région ont été données en 1857 par M. CAILLAUX à la Société de l'Industrie Minérale (t. II p. 383 et 677), et en 1858, par M. SIMONIN aux Annales des Mines (5e. sér. t. XIV). Ce dernier mémoire montre l'énorme développement minier de toute cette région à deux reprises : 1.° du temps des Etrusques ; 2.° pendant deux siècles, de 1200 à 1348, jusqu'à la grande peste de Florence qui en a amené l'abandon.

2 SIMONIN, loc. cit. p. 608. Il subsiste de nombreux documents sur l'histoire de ces mines au moyen-âge.

3 M. Lotti a donné autrefois une description de ces filons-failles de Boccheggiano, Prata, etc., à un moment où les travaux y commençaient à peine et les a considérés alors comme des strates minéralisées.

Un autre système de fractures, également Nord-Est, peu exploré, commence au pied du M^t Pajo vers *Niccioletta*, entre Massa Marittima et les Cornate, où d'innombrables puits anciens, avec des affleurements de zinc, de cuivre et de fer, marquent le passage d'une minéralisation en sulfures complexes. Une Société belge, dependante de la Vieille Montagne, y a fait quelques essais abandonnés sur des calamines entre le Rhétien et l'Éocène; puis des imprégnations ferrugineuses, indiquant la présence de pyrite profonde, jalonnent le contact du Rhétien avec l'Éocène; enfin on retrouve des affleurements contenant un peu de galène et de blende avec puits anciens du côté du *Poggio al Montone* et un filon de quartz avec pyrite cuivreuse (contenant un peu de stibine) entre le Rhétien et l'Éocène le long de la Zanca, vers *Monteccolino*.

Plus à l'Ouest encore et directement au Sud de Massa Marittima, deux semblables décrochements sont marqués par les deux filons de pyrite cuivreuse à gangue de quartz de la Fenice et de Serrabottini.

Le filon, qui passe à *La Fenice*, et à *Capanne Vecchie*, est une fracture très nette, qui, d'après la carte, serait en plein éocène: ce qui a conduit M. Lotti à l'envisager comme le produit d'une substitution localisée sur une strate éocène. Suivant les exploitants, il pourrait y avoir: au Sud, un peu de Rhétien d'un côté, de Permien de l'autre; au Nord, un contact entre l'Éocène et le Permien.

Le filon de *Serrabottini*, où l'on n'a encore fait, dans les temps modernes, que des explorations, est un filon de pyrite à gangue quartzreuse au contact du permien et de l'éocène.

Ce même système se prolonge directement au Sud vers *Castel di Pietra* (fig. 12),¹ où un filon complexe (B. P. G.) s'intercale dans l'Éocène et vers *Gavorrano*, où nous trouverons bientôt de beaux filons pyriteux au contact du granite et des calcaires rhétiens, dans des conditions où l'on a pu supposer une influence minéralisatrice du granite.

Enfin, le même alignement géographique, après une interruption de 60 kilomètres, sur laquelle se placent approximati-

¹ B. LOTTI *Ueber die Erzlagerstätte von Castel di Pietra in Toscana* (Zelts. f. pr. Geol. 3. 1896).

vement les filons de *Montorsajo* au N.E. de Grosseto, va passer par les filons de sulfures complexes, blende, pyrite, galène, du *Mt. Argentario*.¹ Là on connaît, entre autres minerais, des limonites manganésifères formant le gîte de Terrarossa entre les calcaires infraliasiques et les schistes permien, avec une disposition qui rappelle tout à fait l'île d'Elbe.

A l'Est, en dépassant la ligne Volterra, Boccheggiano, Capalbio, qui sépare, comme nous l'avons vu, la zone à sulfures complexes de la zone éruptive récente, on trouve le groupe des filons cinabrifères ou antimonieux, qui commence à Cetine di Cotorniano, où nous l'avons déjà signalé plus haut et se continue, par Pari, la région du M^{te} Amiata. Pereta, jusqu'à Capalbio, Tafone et Monteauto (entre Toscanella et le M^{te} Argentario). Dans toute cette région, sur laquelle nous aurons l'occasion de revenir quand il sera question spécialement des minerais du M^{te} Amiata, le mercure et l'antimoine sont intimement associés, ainsi qu'on l'observe également dans des gisements à peu près du même âge et d'allure analogue, soit à l'Est de l'Algérie et en Tunisie, soit en Bosnie. Vers le Sud, les filons d'alunite de la Tolfa, qui me paraissent à rattacher comme origine à des manifestations pyriteuses et les traces de galène que l'on trouve au voisinage pourraient indiquer l'extension maximale de cette zone métallifère. A l'Ouest, au contraire, on arrive à la zone granitique déjà rencontrée à Gavorrano et qui se développe à M^{te} Calve, l'île d'Elbe et Giglio; en même temps, apparaissent des gîtes métallifères d'un type un peu différent, faisant contraste avec la zone centrale de la Toscane, comme, d'autre part, les minerais mercuriels de l'Est.

Au Nord, c'est d'abord le groupe classique de *M^{te} Calvi* et de *Campiglia Marittima*.

On connaît surtout aujourd'hui à titre de gisement minéralogique, les curieux filons de *Monte Calvi*, où apparaît un premier exemple de ces contacts ignés entre roches intrusives (ici porphyriques) et calcaires, qui donnent lieu à des phénomènes si intéressants dans l'île d'Elbe.

1 1883. B. LOTTI *Note de osserv. sul M. Argentario, Giglio, etc.* (Boll. geol. XIX).—
1884. G. B. ROCCO. *La min. di maganesc e di ferro di M. Argentario* (Giorn. del Lav. publ. N.° 33).

Ces filons de Monte Calvi,¹ sur lesquels les Étrusques avaient fait des travaux d'un développement tout à fait extraordinaire, se composent d'augite dominante et d'amphibole avec des veines d'ilvaïte, de la chalcopryrite, de la pyrite de fer et, plus rarement, de la galène ou de la blende brune, les minerais étant généralement au centre de boules d'augite, qui atteignent 2 mètres de diamètre et qui sont elles-mêmes reliées par une gangue de quartz ou de calcite.

La relation de ces augitophyres encaissées dans les calcaires marmorécens du Lias avec les minerais sulfureux paraît être tout à fait du même genre que celle qui existe dans le Banat pour d'autres roches basiques et que je me suis déjà trouvé rappeler ici à l'occasion de Traverselle.

Dans cette région du Campigliese, où les filons sont nettement Nord-Sud, on les trouve, du Nord au Sud, aux Buche al Ferro, à Gherardesca, sur le flanc Ouest du Monte Calvi et enfin au M^t Valerio, à l'Ouest de Campiglia.

Dans la même région, on a retrouvé, au milieu des calcaires du Lias, des affleurements d'oxyde de fer avec cassitérite, correspondant à une association de pyrite ou mispickel avec cassitérite, plus ou moins déplacée superficiellement.²

Je serais très disposé à considérer comme un exemple de formation analogue les métallisations d'origine probablement pyriteuse qui, sur toute la côte Est de *l'île d'Elbe*, semblent jalonner une ligne de cassure Nord-Sud, tandis qu'on n'en retrouve plus d'exemple dans le reste du pays; mais là le phénomène a pris une allure trop compliquée et la question reste trop discutable pour qu'on puisse être bien affirmatif, ainsi que nous le verrons plus loin.

Enfin l'îlot de *Giglio*³ composé de granite, de calcaires et de schistes anciens, présente des minerais complexes à rappro-

1 *Gîtes métall.* II. 240.—SIMONIN. loc. cit. p. 566 avec carte annexe pl. IX. Les exploitations antiques, qui sont descendues à plus de 100 mètres, ont eu surtout pour objet l'exploitation du cuivre. Une compagnie anglaise vient de faire de ce côté un essai malheureux pour exploiter des minerais mixtes de blende, galène et pyrite.

2 1876. FR. BLANCHARD. *Sulla scoperta della cassiterite a Campiglia* (Boll. géol. 1876. N.° 1 et 2).—1901. A. BERGHEAT. *Beiträge zur Kenntniss der Erzlagerstätten von Campiglia* (N. Jahrb. f. Min. I. 1901)—1903. LOTTI. *I depositi dei minerali metalliferi* p. 96. Ces gisements ont dû être l'objet d'une exploitation étrusque.

3 1882. L. BUSATTI. *Fluorite di Carraca e dell'Isola del Giglio* (Proc. verb. Soc. Tosc. III).

cher de ceux qui, sur la côte, ont métallisé le promontoire du M^t Argentario et tout à fait analogues, comme disposition, d'après ce que j'ai pu en apprendre, à ceux de Gavorrano. Un filon pyriteux assez pauvre, transformé superficiellement en hématite, et contenant de la fluorine, est directement au contact du granite et des calcaires. Des veines pénètrent au voisinage dans le granite.

On voit, en résumé, avec quelle netteté s'accuse, dans toute cette région, le rôle hydrothermal des contacts verticaux par faille entre terrains divers et cette impression s'accroîtra encore quand nous reviendrons sur le régime actuel des sources thermales dans la même région. Ce phénomène, que nous observons ainsi en Italie, est loin de former une exception dans le monde et l'on vient, par exemple, de mettre en valeur sur la côte pacifique du Mexique, de très nombreux minerais de fer formant l'affeulement de chapeaux pyriteux, au contact des calcaires avec d'autres terrains ou roches éruptives.

La fréquence du phénomène peut servir à expliquer des cas d'apparence plus compliquée, où les minerais ont pris l'allure de filons-couches horizontaux, soit au dessous d'une microgranulite, entre elle et un calcaire comme à Leadville (au Colorado) et à Bulgar Dagh (dans le Taurus), soit entre un schiste et un calcaire comme au Laurium (Attique), soit dans une strate calcaire, qui a l'apparence d'une couche zincifiée pouvant donner l'idée d'une sédimentation contemporaine, comme en Silésie, en divers points de la Sardaigne, à Moresnet ou à Welkenraedt en Belgique, à Figeac, etc. Les plus simples et les plus clairs de ces gisements doivent nous aider à comprendre les plus compliqués, où l'infiltration des eaux s'est faite horizontalement, en quelque sorte par nappe (autant qu'on peut parler de nappes pour la circulation des eaux dans les calcaires), entre deux calcaires inégalement perméables.

Le gisement de *Boccheggiano*,¹ dont nous abordons main-

¹ Voir: E. TACCONI. *Sul giacimento di Boccheggiano* (Rendiconti della R. Ac. del Lincei, 10 avril 1904)—La production actuelle de Boccheggiano est d'environ 31 à 35,000 tonnes de mineral utile par an, tenant 3,10 à 3,20 de cuivre et donnant, par conséquent, 1,000 à 1,200 tonnes de cuivre par an. Les minerais de Boccheggiano sont divisés en trois catégories: 1.° minerais de 1re. classe entre 9 et 10 p. 100 de cuivre, laissés en morceaux, envoyés à Livourne et traités là par fusion au convertisseur Manhès; 2.° minerais moyens broyés au dessous de 4 mm., échantillonnés à 3 p. % de

tenant la description détaillée, me paraît présenter, avec une netteté remarquable, les caractères d'un filon-faille, incliné à 45° avec glissement normal du toit sur le mur, d'un filon de contact entre terrains de nature différente¹ sans indice apparent de roche éruptive au voisinage. C'est un grand filon quartzeux de 0 à 25m. de large (en moyenne 4 à 6 mètres), contenant des lentilles de pyrite un peu cuivreuse.

L'affleurement, dirigé N. 20° (voir fig. 12 et 13), peut être suivi sur près de 4 kilomètres de long, entre l'Éocène qui forme son toit à l'Est et les terrains permien et rhétiens, qui constituent son mur à l'Ouest; mais la zone exploitée, beaucoup plus localisée, n'occupe guère que 1,100 mètres dans la partie Nord, au Nord du petit village de Boccheggiano, sur les deux rives de la rivière, la Merse, où se trouvent les installations diverses (teleras, terreros, ateliers de cémentation, puits et galeries).

Géologiquement, on serait tenté de rattacher au même système d'accidents les filons de Montieri (cuivre gris et fluorine dans les calcaires du Lias), qui se trouvent exactement sur leur prolongement Nord à 3 kil. de distance. Néanmoins un accident transversal bien visible coupe le filon un peu au Nord de Boccheggiano et peut occasionner son rejet. Cet accident, qui met en contact les mêmes terrains carbonifères et rhétiens avec l'Éocène, est minéralisé par quelques dépôts de fer sans valeur. Il se prolonge presque jusqu'à Monte Rotondo, où il

cuivre minimum et 40 p. 100 de soufre. expédiés aux fabricants d'acide sulfurique à Florence. Rome, etc. : 3.^o minerais de troisième classe à 2,5 p. 100 de cuivre et 23 p. 100 de soufre traités à Boccheggiano. La proportion actuelle de ces trois sortes dans le tout-venant, est : 8 p. 100 de première classe, 25 à 30 p. 100 de seconde, 45 de troisième : il reste 15 à 19 p. 100 de stérile, tenant encore 0,80 p. 100 de cuivre et 28 p. 100 de soufre.

Le grillage sur place se fait par le procédé de cémentation artificielle (teleras, terreros et lixiviation), que j'ai autrefois décrit dans le Sud de l'Espagne (Annales des Mines, nov. 1889), avec ces différences tenant à ce que les minerais de Boccheggiano tiennent seulement 25 p. % de soufre, contre 50 à Río Tinto. La situation de la mine à 20 kil. de Massa Marittima, qui est la station la plus proche, ne permet pas d'exporter les pyrites non cuprifères.

1 M. Lotti considère plutôt ces gisements comme le résultat d'une substitution exercée sur de gros bancs calcaires éocènes englobés entre des strates schisteuses (*I depositi di minerali metalliferi* p. 76), avec mouvement postérieur. La principale objection qu'il fait à l'idée d'un filon proprement dit, me paraît être le peu d'inclinaison du gîte : mais il existe des failles arrivant à être tout à fait horizontales. Les actions de métamorphisme au contact (silicification, production de silicates divers), sont incontestables, mais d'observation courante sur le bord des filons de quartz. D'autre part, il s'appuie sur l'existence de dépôts situés entre le calcaire rhétien et l'Éocène, auxquels il attribue une allure stratifiée, mais qui peuvent également représenter des incrustations de contact. Selon lui, toutes ces formations pyriteuses seraient les émanations d'un magma granitique analogue à ceux de l'île d'Elbe ou de Gavorrano.

va rejoindre une des failles Nord-Sud donnant naissance aux Soffioni.

La métallisation du filon, telle qu'elle apparaît sous sa forme primitive au dessous de la zone altérée, est composée de lentilles pyriteuses dans une gangue de quartz. L'on ne considère comme minerai et l'on n'abat que les parties tenant au moins 2,5 à 3 p. 100 de cuivre; mais, entre ces lentilles exploitées, se trouvent des zones pyriteuses, qui, dans l'état actuel de l'industrie et des voies de communication, ne sont pas utilisables et qui, minéralogiquement, sont cependant encore, pour la plupart, des minerais à 1 ou 2 p. 100 de cuivre. Quand, vers 1890, on a repris, sous la direction de l'ingénieur Serpieri, le créateur du Laurium, ces anciens gisements de Boccheggiano depuis longtemps abandonnés, on s'était fait quelque illusion sur cette répartition des parties cuivreuses et l'on avait espéré trouver une métallisation continue. On a constaté depuis que la pyrite avait l'allure de lentilles dans le quartz et que, dans la pyrite même, les parties cuivreuses étaient disséminées. Les travaux actuels, qui s'étendent sur 250 mètres de hauteur entre les cotes 320 et 570, portent, en résumé, sur 2 ou 3 lentilles bien localisées, dans lesquelles le minerai n'accuse par des zones d'incrustation régulières, mais est assez confusément mélangé avec le quartz.

Quand on part du mur, on rencontre parfois une première lentille pyriteuse avec quartz, distincte de la masse principale et d'une certaine importance. Il existe, en outre, dans ces schistes du mur (inclinés, comme le montre une coupe ci-jointe, fig. 14, tout à fait parallèlement à la faille), de petites lentilles, soit de quartz très blanc, soit de quartz et pyrite, interstratifiées dans les couches, jusqu'à une assez grande distance du filon: lentilles, qui accusent bien le caractère ordinaire de ces imprégnations sulfureuses, avec leur tendance si fréquemment constatée (en Norvège, dans le Sud de l'Espagne, dans les Alpes, etc.) à s'infiltrer suivant les joints de la schistosité. Puis le filon même commence par une zone généralement pauvre et laissée de côté, dans laquelle se manifestent, sur l'affleurement, des caractères bréchiformes, également retrouvés dans le niveau le plus profond. On observe parfois, à ce mur, des veines de quartz blanc, pouvant contenir de la pyrite au centre,

qui semblent résulter de cristallisations secondaires et des crevasses avec pyrite cristallisée; après quoi vient la masse exploitée, qui est surtout comprise entre le milieu du filon et le toit; au toit enfin, on retrouve souvent, sur 0,50 à 0,60 de largeur, un banc de pyrite peu cuprifère.

Ces caractères ne paraissent d'ailleurs avoir qu'une valeur locale. Suivant les points et les niveaux d'exploitation, on les voit se modifier. Ainsi, d'une façon générale, les résultats de l'exploitation ont accusé, dans la profondeur, une augmenta-

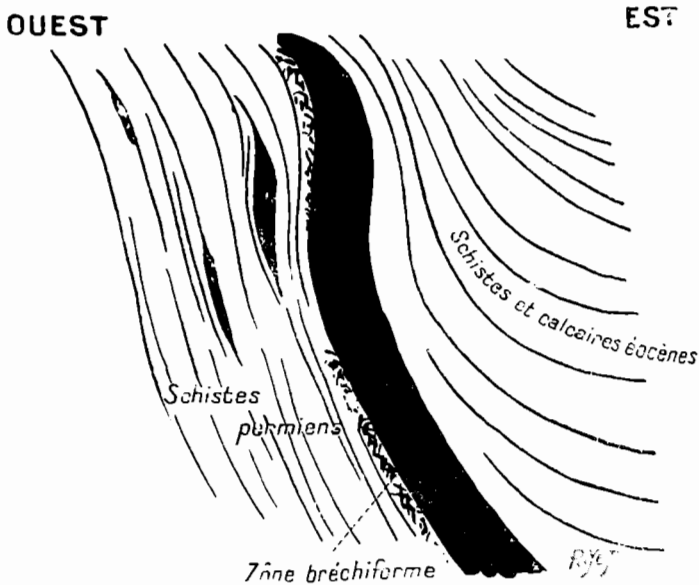


Fig. n.º 14.—Coupe verticale théorique du filon de Boccheggiano.

tion de la quantité de minerai par mètre d'enfoncement, à tel point qu'on a pu passer, pour les minerais de seconde qualité à traiter sur place, de 4,000 à 10,000 tonnes par an, avec une diminution sensible de la teneur en cuivre.

Quand aux terrains du toit, redressés au voisinage immédiat de la faille, ils reprennent, à peu de distance, une allure plus horizontale, nettement discordante avec celle des mica-schistes permieniens.

Le minerai est exclusivement de la pyrite avec chalcopryrite et se différencie par là complètement de celui de Monte Catini; aux affleurements seulement, l'altération de cette chalcopryrite

pyrite a donné un peu de chalcosine. La pyrite est, tantôt massive, tantôt pulvérulente (par un phénomène que nous considèrerons bientôt comme secondaire), tantôt cristallisée en gros cubes avec du quartz dans des géodes. On a trouvé, en outre, des traces de bismuthine, surtout dans les parties où la pyrite a été remplacée par de l'oligiste et, d'une façon générale, la composition du minerai accuse, comme le montrent les analyses ci-jointes, une teneur relativement forte en bismuth, avec des traces d'étain. Par là, ce filon se rattacherait au groupe stanno-cuprifère, où le bismuth est un élément presque normal et cette observation correspond avec la présence d'un peu d'étain dans les filons du même groupe à Campiglia Marittima ou à l'île d'Elbe, tandis que le zinc et le plomb, plus habituellement associés avec la pyrite, font, l'un presque complètement, l'autre totalement défaut dans ce filon et sont, d'une façon générale, rares dans tout le district. Le gangue renferme, en outre, exceptionnellement un peu de barytine. La fluorine, qu'on a rencontrée à Montieri, ne se montre pas à Boccheggiano.

Analyses des minerais de Boccheggiano (par Fresenius).

	1. ^e qualité.	2. ^e qualité.	3. ^e qualité.
Fer	27,60	35,60	24,70
Soufre.....	31	39,60	27,90
Cuivre	10,50	3,40	2,70
Zinc	0,22	0,36	0,30
Bismuth.....	0,28	0,17	0,12
Nickel et Cobalt.....	0,045	0,02	0,01
Manganèse	0,04	0,045	0,09
Plomb	0,02	0,05	0,04
Etain.....	„	0,02	0,02
Arsenic	0,04	0,065	0,03
Antimoine.....	„	0,01	„
Gangue, (Silice, Calcaire, etc.)...	30,25	26,66	44,09
Total.....	100	100	100

Parmi les observations d'un intérêt général auxquelles peut donner lieu le filon de Boccheggiano, les plus importantes me paraissent être celles qui concernent le rôle de la faille dans la métallisation, les actions d'altération superficielle qui ont porté sur cette masse pyriteuse et enfin les circulations actuel-

les d'eaux souterraines dans cet ancien plan de cassure. Je vais examiner successivement les deux premiers points, tout ce qui concerne les circulations actuelles d'eaux thermales devant être traité dans un chapitre ultérieur.

J'ai déjà dit que le filon de Boccheggiano était, comme la plupart des grands filons nets et prolongés, un remplissage de faille. Il y a eu glissement de l'Éocène, qui est composé de calcaires et schistes argileux, sur le plan des terrains plus anciens, représentés : dans la zone exploitée, par des micaschistes permien et, plus au Sud, par des calcaires dolomitiques caverneux du rhétien. Au mur de cette faille, une véritable brèche, qui a, dans les parties où je l'ai observée, une dizaine de centimètres, accuse le phénomène de broyage antérieur à l'incrustation pyriteuse : la pyrite y cimente des débris de toutes dimensions des terrains encaissants. Ainsi qu'on le constate presque toujours en pareil cas, on a d'ailleurs l'indice que ces mouvements ne se sont pas effectués en une seule fois, mais que la faille a encore joué après un premier dépôt : au niveau le plus profond de 320m, on retrouve cet aspect bréchiforme, qui est très caractéristique sur l'affleurement.

Puis sont venues les eaux incrustantes, qui ont déposé dans le filon le mélange de quartz et pyrites précédemment décrit, en même temps qu'elles ont silicifié les schistes au contact et que des imprégnations sulfureuses connexes ont donné, dans ces schistes du mur, les lentilles adventives, dont il a déjà été dit un mot.

Le remplissage d'un vide préexistant a, comme on l'observe presque toujours dans de semblables filons de quartz, été accompagné par une substitution de la silice aux calcaires et aux schistes, dont la disposition primitive subsiste souvent au milieu du quartz. L'altération superficielle, qu'on a là une bonne occasion pour étudier, descend jusqu'à 30 mètres de profondeur, mais se marque, en outre, comme nous allons le voir, par des phénomènes exceptionnels jusqu'à une profondeur beaucoup plus grande.

Quand on examine l'affleurement, on constate, en principe, que la pyrite a disparu : il reste donc un quartz plein de trous,

qui indiquent la place de ces anciens cristaux de pyrite.¹ Néanmoins, sur le même point et dans des conditions qui semblent identiques, trois cas peuvent se présenter: ce qui montre bien la variété de phénomènes, à laquelle on doit s'attendre pour des gisements dont l'origine altérée est moins manifeste.

Tantôt (1.^o), la pyrite ayant disparu, les trous sont absolument nettoyés et vides sans aucune trace d'oxydation ferrugineuse. Il en résulte un quartz léger comme une ponce, plein de grands vides cubiques et tout blanc, dont la présence surprend sur des affleurements ferrugineux. En profondeur, on retrouve également parfois, sur les zones de circulation facile des eaux souterraines, un phénomène semblable, qui devient alors bien plus explicable. Ainsi, au niveau de 320m, le plus profond, qui se trouve à 10 m. au dessous de la vallée et, par conséquent, au dessous du niveau hydrostatique, le mur du filon présente, avec un aspect bréchiforme, des quantités de trous semblables dépourvus de leur pyrite et non oxydés, ainsi que des géodes à cristallisation de quartz, peut-être en partie secondaires. On a l'explication de ce qui a dû se passer là en remarquant qu'il existe, sur tout le plan du filon, une circulation intense d'eaux souterraines, les unes froides, les autres thermalisées, sur lesquelles je vais avoir à revenir et en constatant que tous ces trous du quartz ou du minerai sont ici, en profondeur, remplis d'eau. Cette eau, évidemment pénétrée par porosité, par capillarité, se trouve si bien emprisonnée dans la roche que, lorsqu'on en a sorti un échantillon de la mine et qu'on le casse au jour, l'eau s'échappe alors en abondance de tous ces trous et de ces géodes. Il doit évidemment s'être produit, en ce niveau profond, une circulation sous pression d'eau peu chargée en oxygène, qui a réussi à dissoudre le sulfure de fer mais sans le peroxyder. Peut-être, quand on constate un fait semblable aux affleurements, doit-on supposer qu'il s'agit d'une semblable dissolution, effectuée autrefois d'abord en profondeur et amenée seulement ensuite jusqu'à la superficie par les érosions. De toutes façons, l'observation de cette dissolution à plus de 100 mètres au dessous du niveau hydrostatique doit être à retenir

1 Ech. Ecole des Mines N.^o 2031. 3.

comme indice des anomalies que l'on est exposé à rencontrer.

Ailleurs (2.^o), sur l'affleurement, il s'est produit, dans des trous analogues laissés également par le départ de la pyrite, de l'oligiste cristallisé, qui paraît donc, ainsi que l'accusent nombre d'autres observations, avoir pu se réaliser sans aucune intervention calorifique (oligiste dans les sels de Stassfurt, dans les gypses d'Algérie, etc., etc.); ce dont nous aurons à nous souvenir quand nous nous occuperons de l'île d'Elbe.¹

J'ai pu faire, à ce propos, une observation intéressante sur un grand bloc de pyrite qu'on avait laissé exposé à la pluie sur la terrasse d'un jardin de l'île d'Elbe à Capo d'Arco, au dessus de la mer. Ce bloc, formé de gros cubes de pyrite, s'était, en quelques mois, du côté de la mer, entièrement recouvert d'oli-

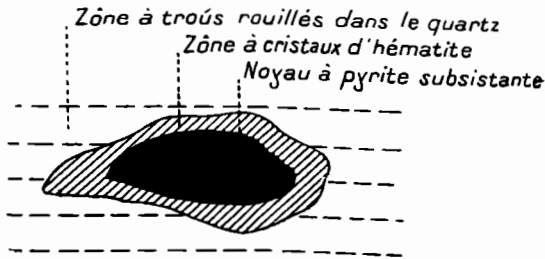


Fig. n.^o 15.—Coupe théorique d'un échantillon altéré de Boccheggiano.

giste cristallisé, tandis que l'autre côté était resté à peu près intact. Sous l'influence probable du chlorure de sodium apporté par la pulvérisation des vagues, il y avait donc eu là cristallisation actuelle d'oligiste à l'air libre sans aucune influence calorifique.

Quelques autres remarques de détail, faites, soit sur les minerais de Boccheggiano, soit sur les pyrites de l'île d'Elbe, remarques que je groupe ici pour conserver l'unité du sujet, montrent dans le détail comment s'opère cette altération ordinaire de la pyrite en minerai oxydé.

La figure 15 indique, par exemple, le cas d'un minerai zoné

¹ Dans certains cas, on a trouvé en profondeur un peu d'oligiste associé avec la pyrite et qu'en a pu supposer provenir d'une cristallisation primitive. Mais nous verrons que la circulation des eaux se poursuit localement jusqu'aux niveaux les plus profonds de la mine, bien qu'en moyenne et sauf les grandes venues hydrothermales dont il va être question, la profondeur de la mine soit assez sèche.

de Boccheggiano, formé originellement de quartz et de pyrite, dans lequel l'altération a produit, tout en laissant subsister la trace des zones primitives qui accusent leur continuité à travers les faciès divers d'altération: 1.^o extérieurement, une zone à quartz criblé de trous rouillés et teintés par de l'oxyde de

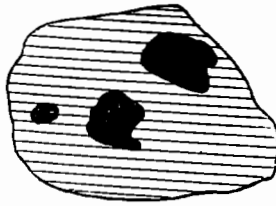


Fig. n.º 16.—Coupe d'un échantillon de Terra-Nera.

fer; 2.^o une zone intermédiaire à cristaux d'hématite; 3.^o un noyau de 0m,10 de long. où la pyrite subsiste encore.

Les figures 16 et 17 représentent de même des blocs de minerai venant des niveaux profonds de Terra-Nera, à l'île d'Elbe, où la pyrite primitive subsiste seulement à l'état de grains et

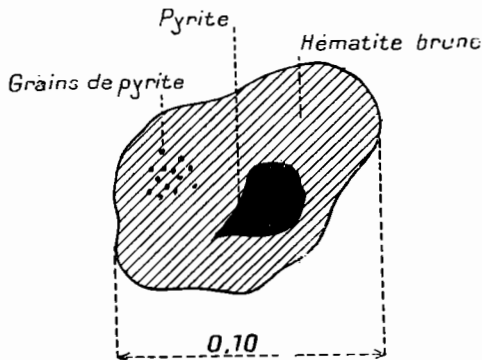


Fig. n.º 17.—Coupe d'un échantillon de Terra-Nera.

noyaux dissymétriquement semés dans l'hématite, qui a peu à peu envahi la plus grande partie de la masse.

Comme résultat général d'une semblable transformation en hématite, on a le chapeau de fer classique de tous les filons pyriteux et, à la place de la brèche du mur à ciment pyriteux, un agglomérat hétérogène de fragments de calcaire et de schistes silicifiés, englobés dans de l'hématite rouge, de l'hématite brune,

du fer oligiste et de l'hématite stalactiforme à reflets irisés analogue à celle des Pyrénées.

Enfin (3.^o), un dernier cas, qui se présente dans la plupart de ces altérations, est celui où la pyrite elle-même subsiste dans une zone d'affluements, en brusque contact avec l'hématite qui provient de la pyrite voisine. Les coupes des figures 14 à 15 montrent quelque chose de ce genre dans le cas simple de blocs, où l'altération gagne peu à peu vers le centre et déjà, dans ce cas si élémentaire, je viens de faire remarquer combien les restes de pyrite sont le plus souvent dissymétriques par rapport à l'enveloppe superficielle d'où provient l'altération. Celle-ci suit évidemment des chemins très capricieux, déterminés par une foule de circonstances diverses (porosité, fissuration, etc.), qu'il est difficile d'apprécier. Il s'agit là toujours de phénomènes *inachérés*, dans lesquels le facteur *temps* joue un rôle essentiel et c'est ainsi que j'ai pu signaler ailleurs le cas curieux des pyrites d'El-Anzouar en Algérie,¹ qui subsistent presque intactes dans le fond d'une vallée en plein calcaire.

Au Sud-Ouest de Boccheggiano, le filon de la *Fenice* et de *Capanne Vecchie* (fig. 13) donne lieu également à une exploitation importante de pyrite cuivreuse.²

On a là un grand filon très net, qui, d'après la carte géologique, serait en plein Éocène, mais qui, d'après divers indices, pourrait être, comme ceux de Boccheggiano ou de Serrabottini, au contact de l'Éocène avec un étroit lambeau de Rhétien, ou de Permien. Ce filon avait été pris autrefois pour une strate éocène minéralisée, mais les caractères sont bien ceux d'une zone de rupture avec nombreuses fractures connexes au toit, et l'interstratification apparente du filon n'est qu'un effet mécanique, comme on peut s'en rendre compte en voyant ces terrains reprendre, à quelque distance de la faille, leur direction normale. Il est probable que le filon de la Fenice

1 *Les Richesses minérales de l'Afrique*. 1 vol. in 8.^o Paris Béranger 1903, p. 326.

2 Les deux compagnies de la Fenice et de Capanne Vecchie, autrefois distinctes, sont aujourd'hui subordonnées à la Cie. de Boccheggiano. Il existe, à la Fenice, environ 14 kil. de galeries en 7 niveaux de 2 kil. et l'on produit, par an 60,000 tonnes de minéral à 2,50 p. 100 de cuivre (une seule qualité), que l'on expédie à Livourne.

remonte à l'Est les terrains, qui, plus à l'Ouest, avaient été renforcés dans la même sens par celui de Serrabottini.¹

Ce filon, incliné à 45°, est puissant. Il atteint par endroits 15 mètres; ailleurs il disparaît presque totalement; en moyenne, sa puissance est de 5 à 6 mètres. On l'exploite sur 2 kilomètres de long. La masse est composée de quartz, dans lequel la métallisation de pyrite cuivreuse est très disséminée: ce qui conduit à exploiter à peu près tout l'ensemble et à ne faire qu'une seule qualité de minerai. A son contact, il s'est produit un métamorphisme intense, qui s'étend à travers l'Éocène jusqu'à plus de 500 mètres. Dans toute cette largeur, les schistes sont silicifiés, pénétrés d'un réseau de veinules quartzueuses et les calcaires alberese se sont chargés de minéraux silicatés, pyroxène, amphibole, qui préparent à ce que nous trouverons bientôt beaucoup plus développé en étudiant les minerais de l'île d'Elbe. En même temps, les schistes encaissants du toit renferment des imprégnations pyriteuses interstratifiées, de composition analogue à celle du filon principal et parfois assez riches, surtout développées sur les 50 premiers mètres de largeur, qui rappellent certains types scandinaves tels que Röraas, tandis que la masse principale serait plutôt comparable à un amas tel que celui de Foldal. Il paraît donc y avoir eu pénétration simultanée des eaux métallisantes dans toute une zone de rupture, dont le filon principal était l'accident le plus important.

Quand on a engagé les travaux, la métallisation a commencé, aux affleurements, par un grand chapeau de fer, au dessous duquel on a trouvé une zone de cémentation enrichie en cuivre. Le niveau le plus riche a été le quatrième. Dans la profondeur, le filon semble devenir beaucoup plus quartzueux et, par conséquent, plus pauvre en pyrite.

Le gisement de *Gavorrano*² (voir fig. 18 à 22) a été l'objet

1 Je dirai plus loin comment la proximité du calcaire rhétien, qui est le grand draineur des eaux souterraines dans le pays, paraît prouvée par l'équilibre absolu de ces eaux dans toute la longueur des galeries.

2 Feuille au 1 : 100,000 de Piombino.—Lotti *Sul giacimento di pyrite di Gavorrano* (Rass. min. XV. 1901 et XVI 1902). D'après M. Lotti, le granite passe, comme celui de l'île d'Elbe, à un microgranite tourmalinifère. A son contact, il s'est développé, dans les schistes probablement permien, de la chialote et de l'andalouite; dans les calcaires recristallisés, du spinelle. Le granite lui-même, au bord des terrains sédimentaires, change de grain et se charge de tourmaline et de pyrite.

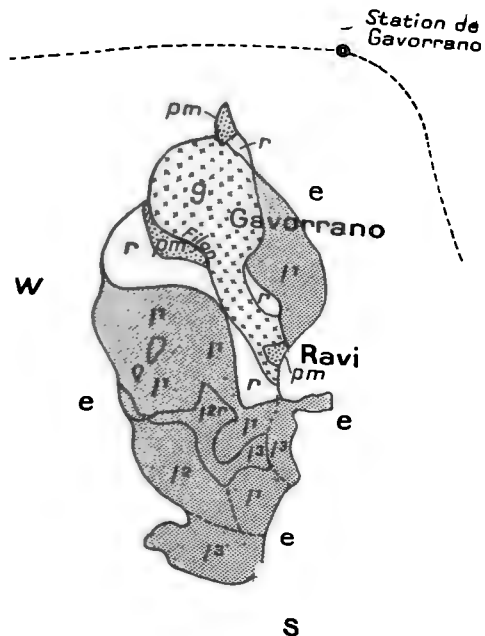


Fig. n.° 18.—Carte géologique au 1 : 100,000 du massif de Gavorrano d'après M. Lotti.

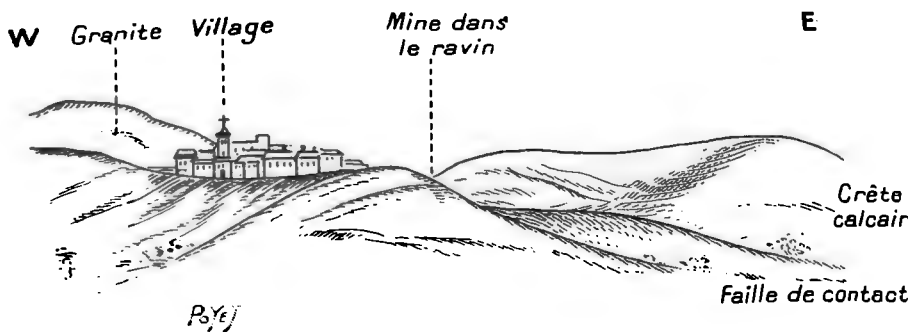


Fig. n.° 19.—Vue de Gavorrano prise du Sud en montant de la station.

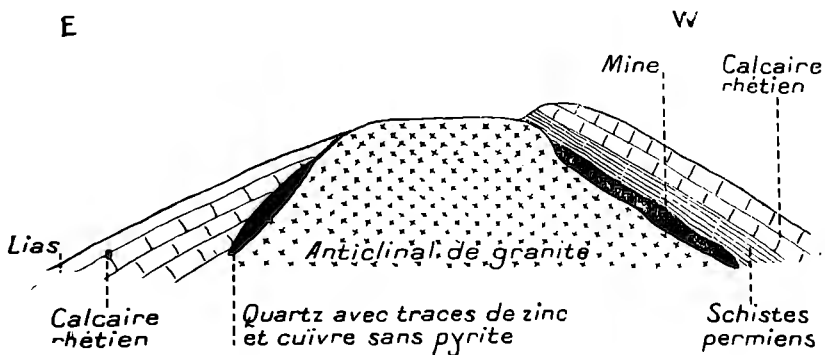


Fig. n.° 20.—Coupe transversale Est-Ouest du mamelon de Gavorrano.

d'une étude fort intéressante de M. Lotti au moment de sa découverte vers 1901. Il est, comme nous allons le voir, formé d'une masse pyriteuse particulièrement cristalline, au contact du granite tertiaire et du calcaire rhétien sur lequel le granite a exercé un métamorphisme et ce savant l'a décrit comme un départ direct des fumerolles empruntées à ce granite, comme

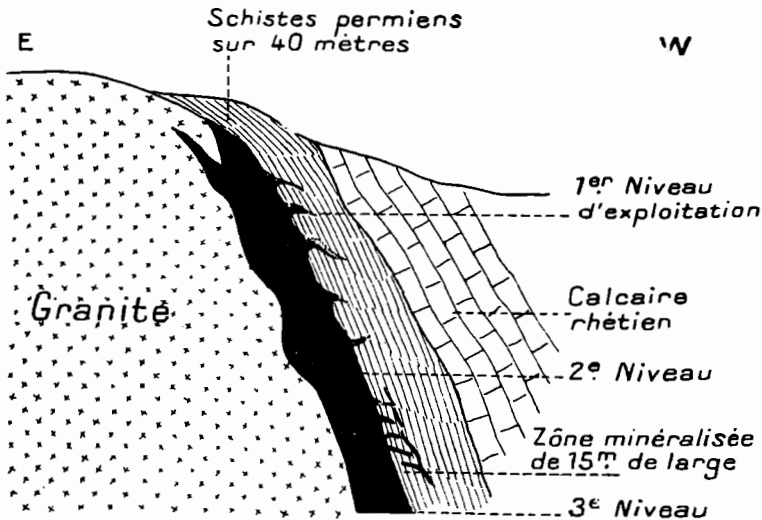


Fig. n.º 21.—Coupe transversale Est-Ouest théorique du gîte de Gavorrano.

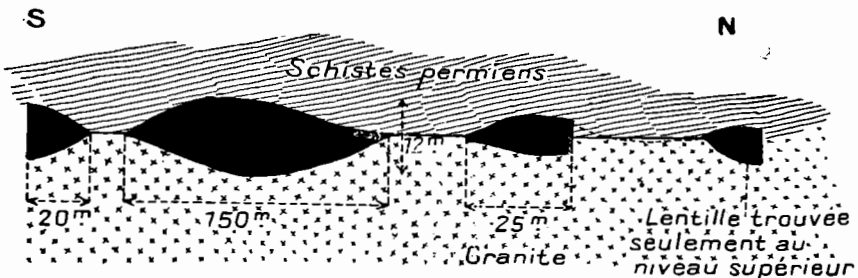


Fig. n.º 22.—Plan théorique des gisements de Gavorrano.

un gisement comparable dès lors aux incrustations de magnétite que M. Lacroix a signalées au contact des granites pyrénées. Une telle hypothèse, fondée notamment sur le développement de la pyrite dans ce granite de Gavorrano comme dans celui de Giglio qui lui ressemble, est, d'une façon générale, rendue assez plausible par beaucoup d'autres observations (ne fût-ce qu'à l'île d'Elbe) ; théoriquement elle est très séduisante et, d'autre

part, mon séjour à cette mine curieuse s'est trouvé trop abrégé pour que je puisse la contredire d'une façon bien nette par des faits d'observation; néanmoins, mon impression est que l'extension donnée aux exploitations depuis le travail de M. Lotti rend cette manière de voir un peu douteuse et que le contact, au lieu d'être une simple relation de cause à effet, pourrait impliquer un phénomène mécanique de faille, analogue à ceux que nous venons de trouver dans toute la Toscane: la pyrite ayant cristallisé ici entre le granite et le calcaire rhétien, comme à Boccheggiano entre les micaschistes permien et le calcaire éocène. Les croquis 18 à 22 donnent une idée d'ensemble de cette disposition.

Comme le montre la carte fig. 18, il apparaît, à Gavorrano, au milieu de l'Éocène, sur le prolongement direct des massifs anciens de la région de Boccheggiano et avec la même direction Nord-Sud, un petit îlot ou horst composé d'un noyau de granite avec deux flancs de micaschistes permien et de calcaire rhétien surmontés par du lias.

Des deux côtés du granite, il existe, au contact, des indices métallifères, qui ont paru une preuve en faveur de l'émanation directe, mais qu'un contact mécanique peut également expliquer. A l'Est, on a seulement un filon quartzeux inexploré, avec traces de zinc et de cuivre sans pyrite. A l'Ouest, on a, au contraire, un filon de pyrite, très remarquable par sa pureté presque absolue et également par sa cristallinité, qui la rend plus facile à brûler; cette cristallisation en beaux cubes souvent très volumineux donne aux chantiers d'abatage un éclat exceptionnel et un miroitement remarquable sous la lumière des lampes. L'exploitation, nouvellement commencée, produit environ 20,000 tonnes par an de pyrite garantie à 48 p. 100 de soufre, et expédiée en grande partie aux fabricants d'acide sulfurique lombards.

En plan (fig. 22), l'on a reconnu, jusqu'ici, trois lentilles en chapelet, bien séparées l'une de l'autre, probablement suivies au Nord par une quatrième qui n'a été encore recoupée qu'au niveau d'exploitation supérieur. La lentille du milieu, la plus importante, a 150 mètres de long sur 12 mètres de largeur maxima.

En coupe transversale (fig. 21), le minerai vient buter con-

tre le granite par une paroi très nette disposée en gradins, parfois avec surplombement, qui paraît l'effet d'un système d'accidents mécaniques. Dans la partie haute, on avait trouvé un branchement latéral de 3 à 4 mètres de large, que l'on avait pu interpréter comme une sorte de ségrégation magmatique, mais qui ne s'est pas renouvelé en profondeur. Puis vient, dans l'Est du gisement, une première zone contenant des parties de granite à veinules pyriteuses et parfois même des enclaves de granite non pyriteux.¹ Il existe, à ce mur, une zone plus impure, plus chargée de quartz, qu'on laisse de côté dans l'exploitation.

Après quoi se développe une masse très remarquable de pyrite absolument compacte et pure avec fort peu de quartz. Cette pyrite, comme je viens de le dire, se distingue aussitôt de celle qui forme les autres grands amas pyriteux, tels que ceux de Sain Bel, de Rôraas ou du Sud de l'Espagne, par son mode de cristallisation, beaucoup plus assimilable à celui d'un filon d'incrustation que dans les amas en question. Dans les premières, les cubes de pyrite ont constamment plusieurs centimètres de côté et sont enchevêtrées par macles multiples les uns dans les autres; il existe ainsi des veines ou des noyaux comparables à des remplissages de géodes pouvant s'étendre sur 0,10 à 0,20 de large, qui alternent avec des pyrites très fines où l'on ne voit pas le quartz.

Enfin le toit est formé de schistes micacés permien, où les veines pyriteuses s'étalent encore parfois sur 15 mètres de large et, par dessus, vient le calcaire rhétien, recouvert à son tour par du Lias.

En moyenne, la pyrite est tout à fait pure et ne contient pas du tout de cuivre; on a cependant rencontré, au Sud du niveau supérieur, des traces de galène et de blende.

¹ La disposition est analogue à celle du stockwerk manganésifère qui pénètre le granite dans une partie du gisement de Romanèche en Saône et Loire, également situé au contact de ce granite et de calcaires sédimentaires (liasiques) avec pénétration dans les calcaires du toit. Le rapprochement serait encore plus net, si comme je le crois, il fallait voir, dans ce gîte de Romanèche, l'alteration d'un gîte pyriteux profond.

VI.—LES MINÉRAIS DE FER DE L'ÎLE D'ELBE.

Les minerais de fer de l'île d'Elbe, exploités depuis la plus haute antiquité, ont été étudiés et décrits à maintes reprises.¹ Cependant des observations personnelles que je vais résumer et l'application de la théorie déjà exposée sur l'altération superficielle m'ont conduit à les envisager autrement qu'on ne l'avait fait en général et que je ne l'avais fait moi-même autrefois d'après des renseignements de seconde main; la théorie, qui va être exposée, concorde, sur quelques points essentiels, avec celle de M. B. Lotti et, comme lui, j'essayerai de montrer qu'il y a communauté d'origine et unité métallogénique entre les minerais de fer de l'île d'Elbe et les filons sulfurés de la Toscane, ainsi que je me suis déjà efforcé ailleurs de le prouver pour les minerais de fer et les filons sulfurés d'Algérie; je suis également assez disposé à admettre une relation d'origine possible avec les granites tertiaires de l'île d'Elbe; mais, pour d'autres problèmes, j'ai été amené à des hypothèses différentes des siennes, notamment en ce qui concerne le caractère originel des minerais, que je crois avoir été, au moins en partie, sulfuré. J'ajoute que le reveil industriel de l'île d'Elbe, la création de grandes usines à Porto-Ferraio, la découverte de minerais nouveaux et jusqu'ici insoupçonnés prêtent à la question un véritable intérêt d'actualité. Ces gisements si connus subissent, à tous égards, une métamorphose. Au lieu des oligistes spéculaires, qui, depuis le temps des Romains, formaient le minerai classique du pays, on exploite maintenant surtout des limonites, des minerais alumineux ou des minerais de magnétite à gangue de pyroxène blanc ou verdâtres mêlés aux silicates de Calamita.² Ces minerais ne sont plus exportés sur le continent,

¹ *Gîtes métallifères* I. p. 808 à 815 et bibliographie annexe: notamment les deux grands mémoires de M. LOTTI. 1886. *Descrizione geol. dell'Isola d'Elba* et 1887. *Relazione sulle miniere di ferro dell'isola d'Elba*.—Notes postérieures de M. B. LOTTI dans la *Rassegna mineraria* (1 Oct. 1899, 1 Févr. 1901, 1 Déc. 1904).—B. LOTTI. *Sulle apofisi della massa granitica del Monte Capanne* (Boll. Comit. geol. 1894).—C. DE STEFANI. *Granulite, granitite e trachyte quarzifera dell'Isola d'Elba* (Boll. della Soc. geol. ital. t. XII. 1894).—Publication de M. CORTÈSE dans la *Rassegna mineraria* de 1899, etc.

² Je renvoie, pour tout ce qui concerne les minerais anciennement connus et les silicates associés, ainsi que pour la géologie générale de l'île aux publications antérieures. Le fer magnétique, considéré comme très rare à l'île d'Elbe, joue maintenant un rôle industriel important sous la forme de "minerai blanc."

mais fondus sur place dans les hauts-fourneaux qui viennent d'être construits; bientôt on fera sur place également le traitement de l'acier, etc.¹

Le seul examen de la carte géologique de l'île d'Elbe publiée en 1884 par M. Lotti à l'échelle lu 1 à 25,000 accuse aussitôt, comme le montre le croquis ci-joint (Pl. I, fig. 4), la prédominance des accidents Nord-Sud, parallèles à ceux que nous venons de rencontrer sur le continent: accidents, que mettent en évidence les dépressions orographiques, par lesquelles l'île est divisée en trois parties distinctes et, en outre, limitée brusquement sur sa côte orientale.

À l'Ouest, c'est d'abord le massif granitique fameux du mont Capanne, ce grand noyau granitique tertiaire, qui paraît s'être fait sa place au milieu des sédiments éocènes, par lesquels il est enveloppé et dans lesquels il lance des veinules à tourmaline en absorbant ces terrains et se les assimilant; puis, après la dépression de la Pila, le massif des porphyres quartzifères à tourmaline, bordé à l'Est par les roches vertes de Porto-Ferraio et du golfe de la Stella; enfin, à l'Est, le massif des terrains primaires redressés (Présilurien de M. Lotti), dans lequel sont concentrés presque exclusivement les gîtes métallifères. Ces terrains eux-mêmes sont disposés par bandes Nord-Sud, comme les horsts du continent, avec plongement général des terrains vers l'Ouest et traces de décrochements parallèles à la direction.

1 La nouvelle usine de l'île d'Elbe, construite par des ingénieurs du Creusot et passée à la Société italo-allemande l'Elba, fondée avec le concours de la Société de Terni, vient d'être décrite dans *Scientific American* du 4 Fevr. 1905, *Zeit. der deutsch. Ing.* (24 Oct. 1903 et 7 Nov. 1903.) *La Nature*, 10 Mars 1906. Elle comprend 4 Hauts fourneaux très modernes à forte production et l'on vient d'y décider la création d'une aciérie. Depuis 1899, les minerais de l'île d'Elbe ont été affermés par le gouvernement italien pour 25 ans, à la Société l'Elba, qui a acquis le droit de traiter ou exporter par an 250,000 tonnes. D'après le contrat, rédigé de manière à provoquer la création d'une usine nationale, le droit à payer est, si je ne me trompe, de 0 fr., 50 par tonne de minéral traitée sur place contre 7 fr., 50 par tonne de minéral exporté. Il faut ajouter le droit d'entrée de 8 à 10 francs sur les fontes étrangères, qui constitue pour l'usine un tarif protecteur. En concédant ces 250,000 tonnes par an pour 25 ans, on avait cru épuiser le gisement; les découvertes nouvelles, amenées par un commencement d'exploitation rationnelle, ont montré qu'en serait loin d'arriver à cet épuisement au terme de la concession. Cette production de 250,000 tonnes est réalisée en 220 à 230 jours de travail par 1,400 mineurs (plus les ouvriers de l'embarquement et les marins), payés 4 à 5 fr. par jour. Une flottille de bateaux à voile avec 3 remorqueurs fait le transport des divers chantiers à Porto-Ferraio. Le charbon vient d'Angleterre mais la transformation en coke a lieu sur place avec utilisation des sous-produits.

En 1904, l'île d'Elbe a produit 398,000 tonnes de minéral, dont 190,000 ont été transportées à Porto Ferrajo, 12,000 à Follonica et 13,000 seulement exportées à l'étranger (Le reste a été laissé sur les mines). La mine Giove à Rio Albano a contribué pour 112,000 tonnes, celle de Calamita pour 74,000, celle de Rio (Rosseto) pour 63,000.

Deux mouvements principaux sont aussitôt manifestes : l'un hercynien, qui a amené le Permien (quartzites et poudingues) en discordance sur le Silurien ; l'autre Mio-pliocène, par suite duquel les terrains éocènes avec roches vertes connexes ont été déplacés et laissés en lambeaux épars sur le soubassement primitif. Mais M. Lotti a montré que les mouvements tertiaires étaient plus complexes et qu'il s'était produit une succession d'affaissements et de relèvements partiels, dont nous aurons le droit de nous souvenir quand nous envisagerons les altérations anciennes des minerais. Ainsi le grand soulèvement post-éocène paraît avoir porté sur tout un continent tyrrhénien rattachant la Corse et la Sardaigne à l'Italie. Mais ensuite un effondrement a morcelé ce continent en îles éparses et l'on peut se demander si la montée des magmas granitiques à l'île d'Elbe, à Campiglia, à Gavorrano, etc., vers ce moment, n'aurait pas été la conséquence de cet effondrement. On note ensuite un second morcellement post-pliocène, qui aurait pu, dans la même hypothèse, entraîner les éruptions trachytiques du M^t Amiata, de Bolsène, etc. et enfin un soulèvement tout récent, qui a porté à 200 mètres certains dépôts de plages quaternaires.

Les minerais de l'île d'Elbe sont tous sur la côte Est, où ils forment la trainée classique, l'alignement Nord-Sud de Rialbano, Vigneria, Rio, Terra-nera et Calamita. On les trouve là en rapport avec des terrains d'âges divers, présilurien (?), silurien, permien, lias. Leur caractère intrusif et leur origine filonienne, accompagnée de substitutions aux calcaires, ne semblent pas contestables ; ce sont très probablement des dépôts de venues hydrothermales miocènes. Mais, ici comme dans beaucoup d'autres grands gîtes ferrugineux, comme à Bilbao par exemple, de nombreux géologues ont été longtemps induits en erreur par les apparences extérieures, dont nous essayerons bientôt de donner une explication générale et c'est ainsi que l'on a parfois voulu voir des épanchements superficiels de sources ferrugineuses, dans ce qui n'est qu'un gîte d'incrustation et de substitution, avec altération et remises en mouvement secondaires.

Les erreurs ont été d'autant plus faciles et d'autant plus excusables dans l'appréciation de ces gisements que, jusqu'à ces

tout derniers temps, l'exploitation est restée, à un degré extraordinaire, indépendante de toute considération technique; actuellement encore, il n'existe ni plan ni coupe des travaux, où cependant l'introduction de théories plus rationnelles et quelques recherches méthodiquement conduites par la direction actuelle ont amené bientôt la découverte de minerais considérables et insoupçonnés. Il n'est pas douteux qu'avec une exploration scientifique un peu attentive on ne puisse encore tirer beaucoup de ces gisements, qui, après avoir été exploités pendant 20 siècles, passaient pour épuisés et l'étaient, en effet, à peu près sous la seule forme que l'on avait su utiliser.

Je vais décrire les principaux gisements de l'île d'Elbe, en insistant surtout sur les phénomènes d'altération et sur ce que l'on peut reconnaître de la forme primitive en profondeur, laissant un peu de côté les substitutions aux calcaires, qui ont été suffisamment étudiées, décrites et prouvées dans les travaux de M. Lotti. Il reste à se demander si ces manifestations métallifères ont une relation d'origine avec les roches éruptives du voisinage: par exemple, avec les granites tertiaires, qui semblent bien une cristallisation contemporaine et plus profonde des magmas qui ont émis ces métaux.¹ Ainsi que je le dirai en terminant, il n'existe aucun fait précis en faveur d'une semblable hypothèse, qui, jusqu'ici, quoique très vraisemblable, résulte plutôt de concordances générales assez plausibles que d'observations locales.

En commençant au Nord, les premiers travaux que l'on rencontre sont ceux de *Rialbano*, où divers chantiers se trouvent sur la pente et sur le sommet du mont Calendozio.

Ce gisement s'est d'abord présenté sous la forme d'un grand placage superficiel, composé de limonite dominante avec un peu d'oligiste, au dessus des schistes et quartzites permien. Plus récemment, on a reconnu des couches d'oligiste I et II intercalées entre deux bancs de quartzites, ou entre quartzite et schiste (fig. 23 et 24), avec altération superficielle et ayant donné ces placages de limonite débordants sur les couches d'oligiste profondes. L'altitude de 150 à 200 mètres au dessus de la mer,

¹ M. de Stefani les considère cependant comme d'âge ancien. Mais les coupes de M. Lotti semblent bien concluantes en faveur d'un âge post-écène.

plus élevée que dans les autres mines de l'île d'Elbe, a pu contribuer à la transformation plus avancée en limonite.

Il est à remarquer que, dans ce gisement, il n'existe aucune trace de bancs calcaires analogues à ceux que nous rencontrons

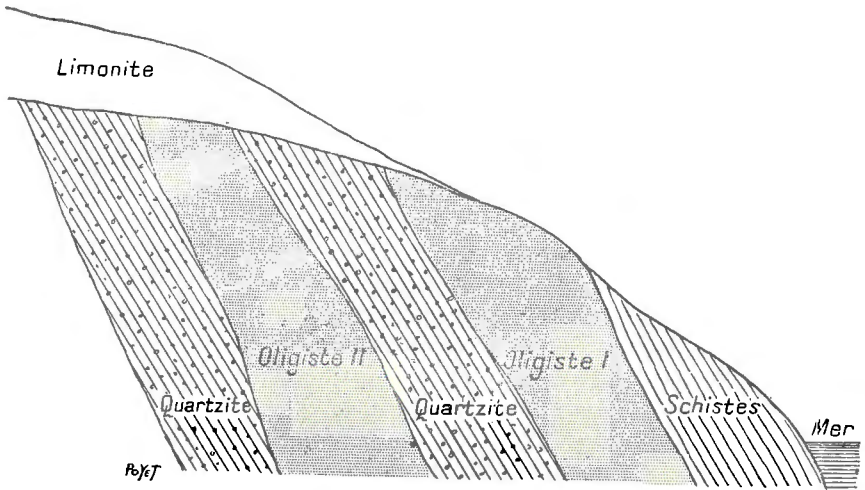


Fig. n.º 23.—Coupe théorique à Rialbano.

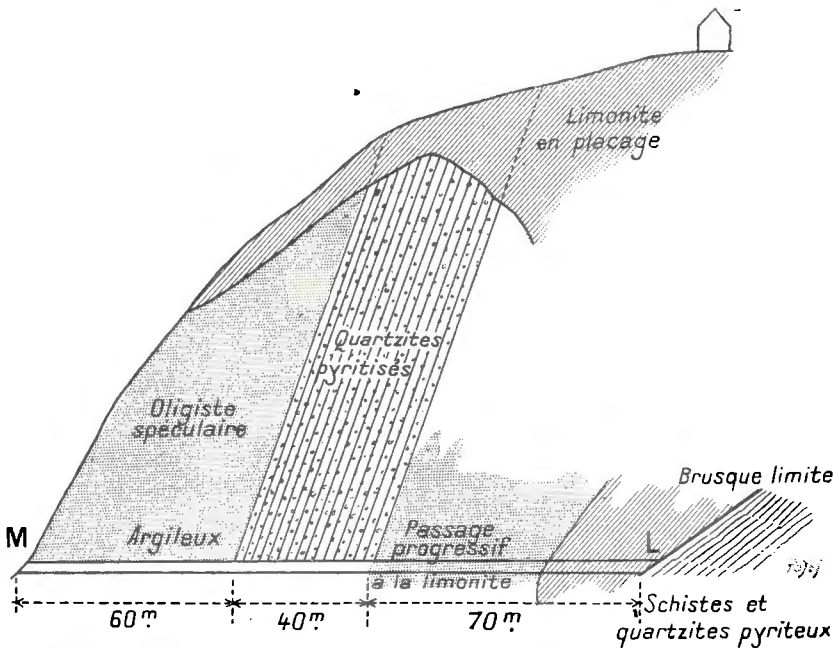


Fig. No. 24.—Coupe théorique à Rosseto (Rio Vignerla)

rons bientôt pour d'autres mines. Quelques boules de pyroxène radié (ilvaïte) aux chantiers de Grota peuvent être cependant l'indice d'une ancienne substitution. On peut également noter la présence du phosphore assez fréquente et assez anormale dans un gisement de cette nature: phosphore, qui peut avoir pour origine les terrains mêmes auxquels le minerai de fer se serait substitué. On rencontre exceptionnellement des traces de cuivre. La pyrite, que nous allons trouver assez abondamment dans les autres gisements plus voisins de la mer, à Rio, à Capo d'Arco, à Terra-nera, fait ici à peu près défaut.

Le groupe de Rialbano est séparé de celui de *Rio Vigneria* par une interruption d'environ 3 kilomètres. Puis viennent, au Nord du petit port de Rio-marina, les gîtes de Giove, Rosseto, Falcacci, Pozzofondi, etc., qui constituent ce groupe de Rio très activement exploité et où l'on a commencé récemment les premières exploitations par galeries qui aient jamais été faites à l'île d'Elbe. L'aspect de tout cet ensemble de Rio apparaît d'abord très confus, en raison de l'irrégularité avec laquelle se sont réparties les substitutions dans un système de terrains complexes et hétérogènes, puis des remises en mouvement produites par l'altération des sels de fer et également à cause des énormes masses de débris antiques, que l'on se décide seulement aujourd'hui à enlever méthodiquement pour retrouver au dessous les minerais, autrefois négligés, qui y subsistent certainement.

La mine de Rosseto paraît comporter deux bancs de minerai de fer séparés par une couche de quartzites permien pyritisés et superposés à un autre système de schistes et quartzites également permien. La figure 24 fait ressortir l'irrégularité avec laquelle s'est produite l'alteration superficielle de l'oligiste spéculaire (le minerai classique de l'île d'Elbe) en limonite. D'une part, cette limonite déborde sur les terrains stériles, en partie peut-être par suite de sa substitution au calcaire rhétien discordant sur ces schistes; de l'autre, elle s'est développée en profondeur au contact des schistes et des quartzites, qui marque évidemment un plan de pénétration des eaux.

Cette mine de Rosseto prête, en outre, à des remarques fort intéressantes sur le rôle des pyrites à l'île d'Elbe.

La pyrite, qui est ici fréquente dans le minerai, paraît, en moyenne, d'autant plus abondante que le calcaire a fait plus défaut. Les quartzites intercalés entre les deux bancs d'oligiste sont pyritisés, et les schistes recoupés en L par le tunnel MI. (destiné à fournir des cheminées de déversement pour les tranchées supérieures) sont pleins de veines pyriteuses et de cubes de pyrite disséminés.

On a trouvé de plus, en 1904, à la partie Nord de ce dépôt, une forte masse de galène mêlée à la limonite, près de son contact avec les calcaires caverneux du Rhétien, développés plus à l'Ouest, auxquels une partie du minerai de fer a dû se substituer. La présence de cette galène dans les minerais de fer est un

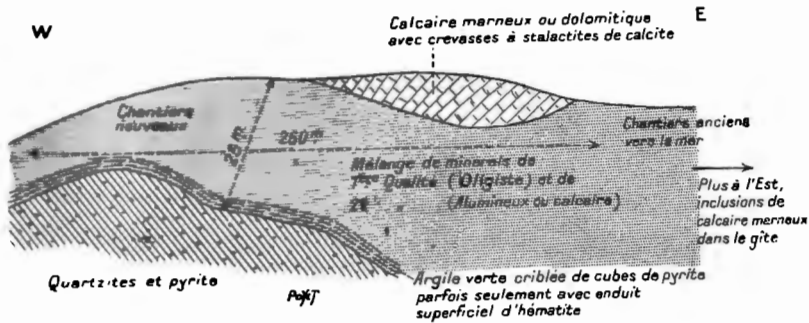


Fig. n.º 25.—Coupe verticale théorique des chantiers Falcacci, près Rio Marina.

fait, dont j'ai déjà signalé ailleurs l'existence dans de nombreux gisements pyrénéens et montré alors l'interprétation probable par une altération de sulfures complexes ayant renfermé galène et pyrite de fer. M. Lotti qui a appelé l'attention sur cette découverte de galène à Rosseto,¹ en a donné une explication analogue.

Aux chantiers Falcacci, près de Rio Marina, la substitution du minerai au calcaire, que l'on pouvait déjà soupçonner à Rosseto, s'accuse, à ce qu'il me semble, avec une entière évidence, lorsqu'on fait abstraction du désordre apparent introduit par les altérations superficielles et par les exploitations anciennes. Le minerai forme là une grande masse intercalée entre des quartzites pyriteux et des calcaires marneux ou dolomitiques pleins de crevasses (fig. 25). A la base du minerai et à son contact avec les quartzites, un lit d'argile verte est absolument

¹ Rassegna mineraria. I. Déc. 1904.

criblé de petits cubes de pyrite très réguliers de 2 à 3 millimètres. La pyrite, moins abondante dans les quartzites du dessous, y est disséminée en veinules. Dans la masse même du minerai, la pyrite est plus rare; on trouve alors des oxydes de fer sous diverses formes: tantôt l'oligiste spéculaire, que les anciens s'attachaient à rechercher et qui forme des paquets, des amas résiduels dans l'ensemble; tantôt la limonite, qui domine, ou encore les hématites alumineuses blanchâtres, autrefois négligées, qui sont manifestement un résultat de l'altération des oligistes. Ces minerais alumineux méritent une mention spéciale à cause de leur couleur blanche, qui les ferait à peine considérer comme des minerais de fer, tandis qu'ils ont des teneurs en fer de 48 à 50 p. 100.

L'origine même de ces oligistes est discutable et je reviendrai sur cette question en terminant ce chapitre sur l'île d'Elbe, Il n'est guère douteux que cet oligiste se soit substitué à des calcaires. Ce n'est, en aucune façon, le résultat de l'incrustation d'un vide préexistant et encore bien moins un dépôt sédimentaire. Il subsiste, dans le minerai, comme dans tous ces gisements de substitution, des parties, ou plus argileuses, ou plus compactes, des calcaires, qui ont échappé à la transformation et les minerais de fer alumineux, sur lesquels se porte aujourd'hui l'exploitation, doivent évidemment leur alumine à la teneur primitive des calcaires. Aux points où cette teneur en alumine s'accroît dans le minerai, on voit apparaître, en même temps, les cristaux de pyrite: ce qui est tout à fait conforme à l'idée d'un gisement pyriteux ayant été ultérieurement oxydé dans les parties calcaires plus pénétrables aux eaux et propices à la substitution, tandis que la pyrite déposée dans les schistes, les quartzites ou les calcaires argileux, a davantage échappé à l'altération. Enfin nous noterons qu'on a cherché ici, sans la trouver, la sidérose au contact du calcaire. Comme il n'est pas probable que de l'oligiste se soit directement substitué à du carbonate de chaux sans passer par le carbonate de fer, cela prouve simplement que ce dernier a été complètement peroxydé et l'on ne saurait s'en étonner, quand on visite les travaux, en constatant à quel point tout ce que l'on a exploité jusqu'ici de ces gisements de l'île d'Elbe est superficiel. Si l'on s'enfonce, il

est bien probable que l'on verra la sidérose et l'ankérite apparaître ici, comme à Bilbao, comme à l'Erzberg carinthien et dans tant d'autres gisements du même genre.

De Rio Marina à la zone métallifère suivante plus méridionale de Capo d'Arco et Terra-nera, il y a, sur les cartes, une interruption de près de 5 kilomètres; mais les découvertes récentes de Capo d'Arco tendent à diminuer de moitié cette lacune et font, en outre, penser que des recherches plus suivies, à travers les maquis qui paralysent l'étude géologique, la rendraient sans doute plus faible encore.

Le gisement de *Capo d'Arco* est d'un intérêt tout particulier pour nous parce qu'il nous montre, à l'île d'Elbe, sur la zone des

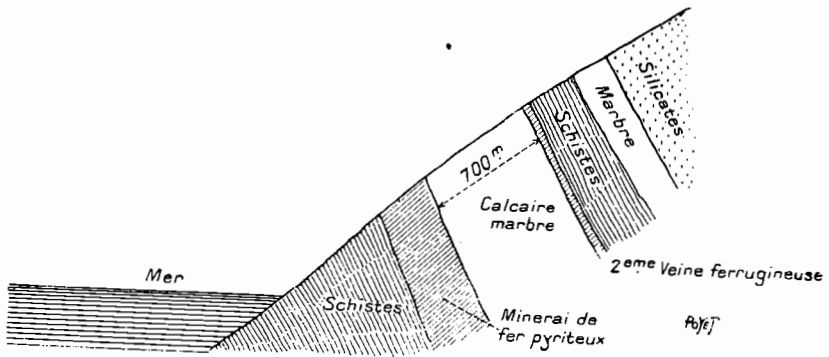


Fig. n.º 26.—Coupe verticale théorique à Capo d'Arco.

minerais de fer, un point où les imprégnation sulfurées subsistent entièrement à l'état de gîte de contact, avec oxydation superficielle et parce qu'il contribue, dès lors, à nous faire considérer tous les minerais de l'Elbe comme un cas un peu particulier des théories que j'ai exposées autrefois sur la formation des minerais oxydés de fer. C'est l'idée à laquelle les exploitants, M. Tonietti et M. Raffo, sont arrivés de leur côté par la pratique et que j'ai été heureux de retrouver chez eux, indépendamment, je crois, de mes propres observations anciennes.

Les minerais de Capo d'Arco forment très nettement un filon de contact parallèle à la côte entre les schistes et les calcaires blancs marmoréens du Présilurien. Ce filon a pu être jalonné, sur près de 3 kilomètres de long, avec des largeurs variables de 0 à 2 mètres. Plus haut dans la série stratigraphique, on retrouve, comme l'indique la figure 26, une seconde veine moins

ferrugineuse sur un autre contact des schistes et des marbres: c'est à dire que ce rôle des contacts, sur lequel j'ai insisté à diverses reprises au cours de ce mémoire, apparaît ici avec une évidence, qui rappelle le cas du Laurium. Plus haut encore, il existe une couche de silicates ferrugineux analogue à celle que nous trouverons à Calamita.

Au point où l'on a commencé des exploitations sur ce filon, à une trentaine de mètres au dessus de la mer, il a 1 m., 50 de large et affleure sous forme d'ocres ferrugineuses jaunes et rouges, vendues comme matières colorantes. Dès que l'on s'est enfoncé, on a trouvé des pyrites, qui pénètrent par endroits, sous forme de mouches, dans la marbre encaissant et ces pyrites sont ici assez sensiblement cuprifères. Plus au Nord, sur le même affleurement, on a, dans le calcaire, de petites grottes au contact des schistes et l'on observe des minerais ferrugineux analogues à ceux des autres gisements classiques de l'île d'Elbe, dont les pyrites de Capo d'Arco, comme celles de Giove ou de Rosseto, celles que nous trouverons tout à l'heure à Terra-nera et les galènes de Rosseto me paraissent bien expliquer l'origine ordinaire.

Terra-nera est sensiblement plus à l'Ouest que Capo d'Arco et un peu à l'Est du Capo bianco. On a exploité là, pendant quelque temps, presque au niveau de la mer, et en descendant même jusqu'à 20 mètres au dessous de ce niveau, un minerai d'oligiste spéculaire, qui méritait des frais d'épuisement et d'extraction spéciaux en raison de sa richesse (64 à 65 p. 100). Ce gisement, aujourd'hui abandonné, est, par suite, d'une étude difficile. Il semble cependant que l'on ait affaire à un filon-couche encaissé dans des schistes alumineux, au voisinage de bancs calcaires, qui ont pu intervenir par substitution dans sa cristallisation même.

Les parties profondes de l'exploitation contenaient des proportions notables de pyrite et l'on y voit des blocs entiers de pyrite à croûte d'hématite ou des blocs d'hématite gardant des noyaux intérieurs de pyrite, dont j'ai donné les coupes précédemment (fig. 16 et 17). Il faut pourtant remarquer que la forme oxydée des minerais a continué jusqu'à cette profondeur de 20 mètres au dessous de la mer atteinte par les tranchées. MÉ-

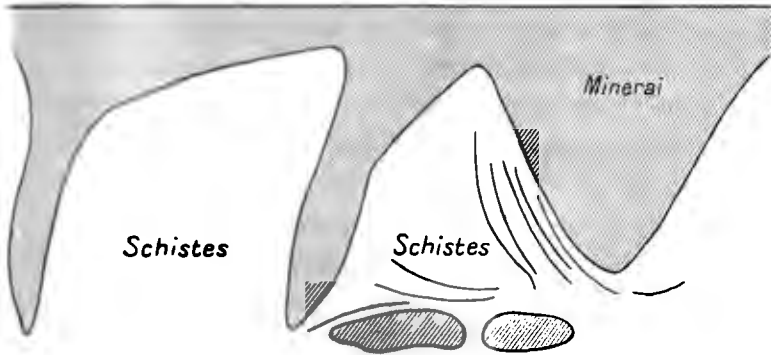


Fig. n.º 27.—Coupe d'un gisement de Capo bianco.

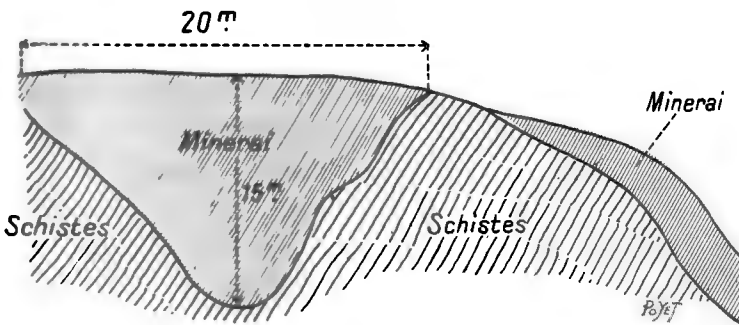


Fig. n.º 28.—Coupe d'un gisement de Capo bianco.

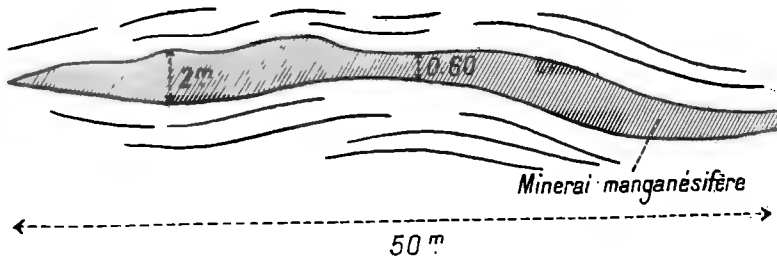


Fig. n.º 29.—Plan théorique d'un gisement de Capo bianco.

me dans l'hypothèse d'une formation originelle exclusivement pyriteuse, on peut en donner deux explications: soit une introduction profonde et une remontée vaclusienne des eaux superficielles, qui se manifeste en terrains calcaires par tant de sources abondantes sur les plages ou dans la mer même;¹ soit

¹ Voir E. A. MARTEL. Spelunca, passim.

un affaissement du sol postérieur à l'altération, qui n'a rien d'in vraisemblable dans ce pays, évidemment fracturé et morcelé en tous sens après ses plissements.

Immédiatement au Sud-Ouest de Terra-nera, la presqu'île du *Capo bianco* renferme de nombreux affleurements de minerais de fer manganésifères, qui ont été exploités récemment à cause de cette teneur en manganèse et auxquels on avait attribué une continuité en profondeur malheureusement injustifiée. C'est un exemple de plus à ajouter à tous ceux qui montrent le caractère superficiel des gisements manganésifères et leur formation par altération aux dépens de minerais à faible teneur en manganèse, dans lesquels cette altération concentre le manganèse par rapport au fer, comme ailleurs la magnésie par rapport à la chaux, ou la potasse par rapport à la soude.¹



Fig. n.° 30.—Coupe des falaises de l'île d'Elbe, près des Ripe Alte, entre Porto Longone et Calamita, montrant la disposition générale des filons de granulite (figurés en noir.)

Les figures 27 à 29 montrent suffisamment la disposition de ces limonites manganésifères, qui remplissent, au milieu des schistes, des poches correspondant aux affleurements d'un filon-couche éparpillé, ou forment à la surface des placages, étendus par l'altération et pénétrant un peu dans les interstices des schistes sous-jacents. Ces minerais contiennent, en moyenne, 6 à 10 p. 100 de manganèse, avec 30 à 40 p. 100 de fer. Ils sont pyriteux et renferment un peu d'arsenic (provenant apparemment de mispickels associés aux pyrites), ainsi que de la baryte, concentrée avec le manganèse par une opération connexe, dont je viens de rappeler la fréquence.

Sur cette presqu'île de Capo-bianco on observe également tout un réseau de veines granitiques, dont il existe des représentants bien nets sur une grande partie de la côte, par exemple entre les Ripe alte et Longone. (fig. 30).

¹ Voir, par exemple, les nombreux gîtes de manganèse exploités jadis dans la province d'Huelva sur les chapeaux de filons pyriteux ou à leur voisinage, les manganèses barytiques de l'île de Milo, etc., etc.

Après une nouvelle interruption de 5 kil. nous arrivons enfin, toujours sur le même alignement, aux gisements fameux de *Calamita* situés à la pointe Sud-Est de l'île. Ces gisements reparaissent là, en même temps que se montrent de nouveau les calcaires présiluriens, remplaçant les schistes du même âge qui forment l'ensemble du M^t Calamita. Et il semble bien que ce soit l'effet d'une loi générale, conforme d'ailleurs à ce qu'on peut observer également dans les Pyrénées. Les métallisations, arrivées de la profondeur par un système de fractures Nord-Sud, ont dû prendre une allure tout à fait différente suivant qu'elles ont rencontré des schistes ou des calcaires. Dans les schistes, elles se sont éparpillées en veinules, sans se rassembler ultérieurement et se concentrer par les phénomènes de substitution et d'altération. Dans les calcaires, au contraire, les réactions d'un métamorphisme plus ou moins ancien ont donné lieu à des amas, qui constituent, en résumé, les seuls gîtes exploités : gîtes, devant à la présence de ces calcaires et à la circulation facile des eaux superficielles qui en résulte, une transformation complète en oxydes, tandis que les minerais des terrains schisteux sont généralement restés bien davantage à l'état sulfureux. La substitution des minerais aux calcaires est si évidente qu'elle n'est, je crois, contestée par personne. En principe, cette substitution paraît avoir pu, suivant les cas, soit se produire immédiatement au moment des venues hydrothermales métallifères, soit être le résultat de remises en mouvement secondaires. Dans le cas de l'île d'Elbe, il semble bien qu'il s'y soit superposé des actions ignées, auxquelles serait due la formation des oligistes, magnétites, pyroxènes et autres silicates divers.

Les figures 31 à 34 montrent la disposition relative des minerais de fer, des calcaires et des silicates ferrugineux (ilvaïte, pyroxène, épidote), telle qu'elle apparaît aujourd'hui à Calamita quand on regarde la côte de divers points de la mer.¹ En ce point surtout, les travaux récents ont modifié les idées anciennes en amenant à découvrir de grandes masses d'un minerai dit "bianco," que son aspect très spécial avait fait autrefois considérer à tort comme une gangue stérile et confondre par suite

¹ Une série de coupes de la même ont été autrefois données par M. Lottl et quelques unes se trouvent reproduites dans mes *Gîtes métallifères*. (I. 813.)

avec la masse des ilvaïtes encaissantes tandis que c'est, comme je vais le dire, une roche où la magnétite domine, noyée dans une gangue pyroxénique qui lui donne sa couleur.

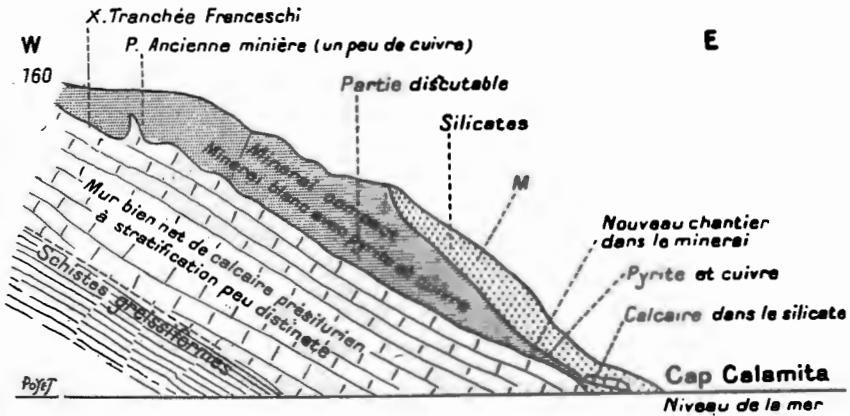


Fig. n.º 31.—Vue de la pointe de Calamita prise de la mer au Sud.

Ainsi qu'on le voit sur les deux figures 31 et 32, qui représentent la pointe de Calamita vue du Nord et du Sud, il paraît exister, au lieu d'un placage ferrugineux autrefois supposé, une grande masse de minerais, intercalée entre un calcaire for-

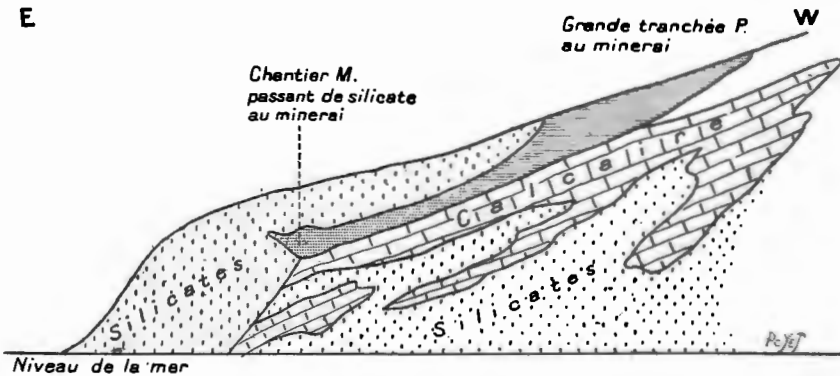


Fig. N.º 32.—Vue de la pointe de Calamita prise de la mer au Nord.

mant son mur et des silicates formant son toit. Les silicates associés à ces minerais, c'est à dire la masse composée d'ilvaïte, de pyroxène clair radié, d'épidote et d'un peu de grenat, renferme elle-même (fig. 32) de nombreux bancs de calcaire, ayant échappé au métamorphisme dont ils résultent évidemment. Les terrains, ayant été plissés en dôme et disloqués, en outre du mé-

tamorphisme ferrugineux, la disposition finale est très complexe.

Le minerai de Calamita est formé de limonite plutôt que

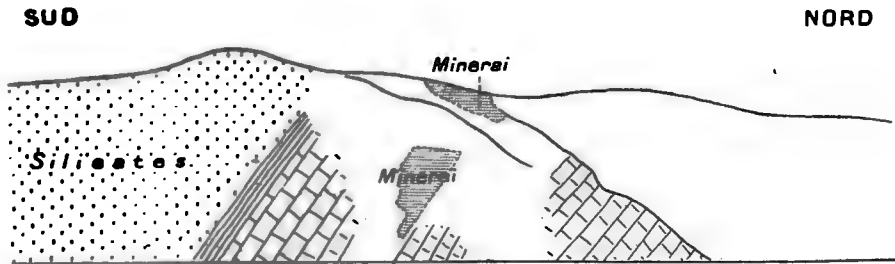


Fig. n.º 33.—Vue de la côte au Nord du Cap Calamita.

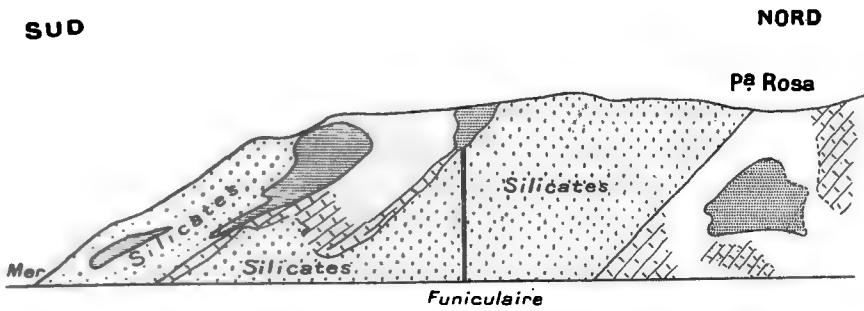


Fig. n.º 34.—Vue perspective de Punta Rossa, près Calamita.

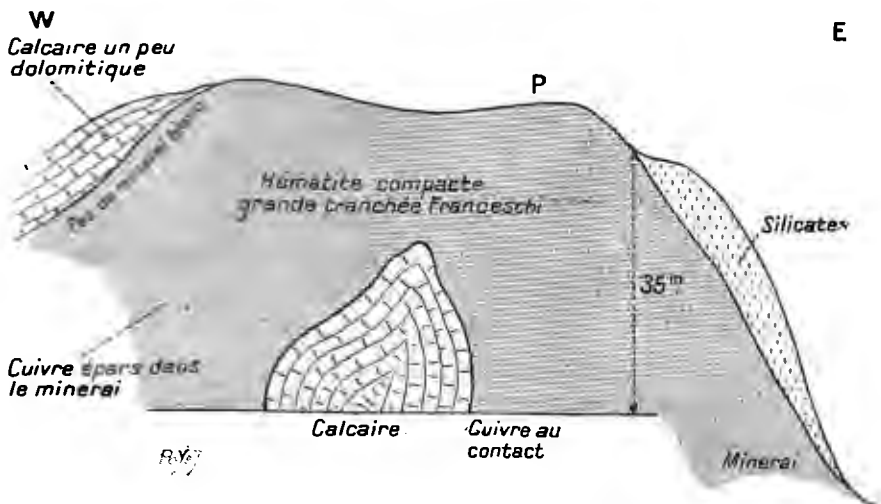


Fig. n.º 35.—Coupe du chantier Franceschi, à Calamita.

d'oligiste, avec des parties pyriteuses éparses de tous côtés. Ainsi, à l'ancienne minière de la tranchée Franceschi (fig. 35), située à environ 160 mètres au dessus de la mer sur le haut de la colline, on trouve un peu de pyrite de cuivre; on rencontre également et plus abondamment de la pyrite de fer avec cuivre dans de nouveaux chantiers situés beaucoup plus bas près du cap Calamita et, généralement, le mur du minerai est particulièrement pyriteux. Par exemple, au voisinage de la mer, un chantier donne, de haut en bas :

Silicates (ilvaïte, amphibole.)

Minerai pyriteux avec hématite.

Minerai dit "bianco," en réalité verdâtre, de magnétite et pyroxène.

Calcaire du mur avec veines de cuivre.

C'est toujours au contact immédiat du calcaire que l'on trouve ce minerai dit blanc, très riche en fer, mais en fer incomplètement peroxydé, contenant au maximum, à titre de mélange, 6. p. 100 de carbonate de chaux et d'alumine.

Dans le chantier M à mi-hauteur (fig. 31) on a de l'hématite compacte un peu blanche avec veinules cuprifères.

Enfin la tranchée principale Franceschi (voir fig. 31), donne, dans le détail, la coupe fig. 35, où l'on voit comment le minerai enveloppe un pointement isolé de calcaire. Dans cette tranchée située en haut de la colline, le minerai blanc fait défaut; mais il reparaît dans un autre petit chantier un peu plus haut. La pyrite est là assez abondante, surtout à la base du minerai et à son contact avec le calcaire. Il y a, en outre, un peu d'ilvaïte dans le minerai.

Ce minerai blanc (dont la teinte est, en réalité, d'un noir verdâtre) ferait penser, au premier abord, à quelque silicate protoxydé, tel que les chamoisites, thuringites, berthiérites, etc., dont le rôle dans les gisements de fer sédimentaires paraît aujourd'hui beaucoup plus considérable qu'on ne le croyait autrefois. Il est possible, en effet, que son origine soit attribuable à une précipitation d'oxyde neutre en liqueur de protosilicate au contact du carbonate de chaux : condition où l'on sait que l'oxyde Fe^3O^4 peut se précipiter directement.¹ Mais, comme M.

Lotti l'a bien reconnu,² ce minéral, remarquable surtout par son aspect de gangue stérile, est, en réalité, formé de fine magnétite très abondamment disséminée dans un pyroxène asbestoïde, auquel il doit sa couleur. Des analyses, faites par M. Chesneau à l'École des Mines sur deux de mes échantillons, montrent leur richesse en fer. Il est à noter que le minéral contient une proportion assez sensible d'eau combinée et un faible résidu de calcaire.

	Fe ² O ³	Silice	Alumine	Chaux	Magnésie	Eau combinée	Acide carbonique	Humidité à 100°
Núm. 1..	80.61	80.64	1.20	3.19	1.89	0.12	0.69	1.50
.. 2..	81.34	6.70	1.02	3.20	3.23	3.33	0.98	0.50

En résumé, nous arrivons à nous représenter les formations de minerais de fer de l'île d'Elbe, comme le résultat d'une venue hydrothermale en relation avec un système de fractures Nord-Sud bien localisé, ayant affecté uniquement la zone orientale de l'île et ayant sans doute contribué à l'allure même de cette côte. Cette venue n'est, pour nous comme M. Lotti, qu'un cas particulier dans l'ensemble des phénomènes, qui ont disloqué et métallisé à peu près simultanément la Toscane et les petites îles intermédiaires entre l'île d'Elbe et le continent, telles que l'île de Giglio et qui, dans ces derniers cas, ont plus habituellement gardé (ou pris) la forme sulfurée (pyrites de fer cuivreuses, sulfures complexes de plomb, zinc, fer, etc.), tandis qu'à l'île d'Elbe, il y a eu, soit association immédiate d'autres sels de fer (chlorure, carbonate), soit transformation plus complète des sulfures en oxydes cristallisés.

L'âge de cette métallisation a bien des chances pour être

1 Cette magnétite est remarquablement soluble dans l'acide chlorhydrique et doit être hydratée. M. Chesneau, qui a bien voulu analyser pour moi quelques échantillons de ces minerais à l'École des Mines, me signale des minerais de Madagascar, où la magnétite, dispersée en grains dans un poudingue à apparence de granite, est également très soluble, tandis que la magnétite de Dannemora est presque insoluble. Ces faits laisseraient supposer ici une réaction aqueuse plutôt qu'ignée. On sait qu'un mélange en proportions convenables de sels protoxydés et sesquioxydés de fer, précipité avec précaution par une base, peut donner ainsi de la magnétite hydratée.

2 *Descr. géol. dell. isola d'Elba*, p. 208.

miocène et contemporain des principaux mouvements alpins; il doit être, en tout cas, postérieur à l'Éocène, qui a été affecté par les accidents connexes dans toute la chaîne métallifère toscane; mais il n'y a aucune raison pour le supposer, comme on l'a fait parfois, pliocène ou même pléistocène: les caractères superficiels de certains gîtes, sur lesquels on s'était appuyé pour soutenir cette hypothèse, étant uniquement le résultat d'une remise en mouvement postérieure. L'origine de cette métallisation paraît avoir été, en forte partie, sulfureuse. Un très grand nombre de faits montrent la présence générale de la pyrite dans la profondeur des gîtes oxydés de l'île d'Elbe et le passage à cette pyrite de minerais oxydés, qui en sont l'altération superficielle. Non seulement on trouve ainsi de la pyrite de fer très abondante et, quelquefois, de la chalcopyrite associée; mais on a même rencontré des amas de galène, signalés à Rosseto par M. Lotti; ce qui fait rentrer cet ensemble de gisements, malgré son aspect tout spécial, dans le cas des gîtes sulfurés profonds superficiellement peroxydés. Suivant la nature du terrain encaissant, il en résulte une allure très variable des minerais, qui concourt à rendre cette hypothèse très vraisemblable. Les gisements affectent, en effet, d'une façon générale, la disposition de filons-couches, de filons de contact, localisés de préférence entre des terrains inattaquables (schistes ou quartzites) et des calcaires. C'est le long des bancs calcaires, ou dans leur masse même, que se sont développés les principaux amas et les plus purs, les plus riches en fer: résultat d'une substitution à ces bancs calcaires, qui a permis aux produits ferrugineux de s'étendre, soit au moment de la venue même, soit pendant les altérations ou les métamorphismes, en faisant tache d'huile. Au contraire, dans les schistes, le minerai est en veinules dispersées, éparpillées, ayant gardé beaucoup plus leur composition pyriteuse.

Il est impossible d'affirmer et il n'est probablement même pas exact que tous les minerais aient été originairement des sulfures de fer. A ces sulfures ont très bien pu et dû s'associer des chlorures, ou même des carbonates, ayant la même origine profonde et une partie des minerais peut résulter de la cristallisation directe en oxydes, tels que la magnétite de Calamita,

ou en silicates tels que les gangues qui l'accompagnent, dans des conditions analogues à celles que j'ai rappelées plus haut à propos de Traverselle.¹ Cependant, si cette forme de minéralisation a été réalisée, je serais porté à ne lui attribuer qu'un rôle relativement restreint et je considérerais volontiers une bonne partie des minerais oxydés comme résultant de minerais sulfurés, d'abord oxydés, puis en partie recristallisés par métamorphisme de contact. En outre des altérations en rapport avec le niveau hydrostatique actuel, il ne faut pas oublier qu'à l'île d'Elbe, nous sommes en droit d'invoquer une série de déplacements très récents du sol dans un sens ou dans un autre, ayant pu modifier la disposition réciproque des zones altérées par rapport à ce niveau; on doit également songer à des réactions ignées presque immédiates et provoquées par l'intrusion des granites profonds.

Ces minerais oxydés affectent à l'île d'Elbe une forme classique qui est celle des oligistes spéculaires, avec de la magnétite, assez rare dans les gisements d'oligiste, développée au contraire dans les gangues silicatées de Calanita et, en outre, un phénomène connexe de la minéralisation ferrugineuse ou de son altération a développé, par substitution aux bancs calcaires, des couches de silicates ferrugineux (ilvaïte, amphibole, pyroxène, etc.), dont les minéraux sont bien connus.² Pour expliquer ces formations diverses, qui ont certainement mis en jeu des réactions multiples et complexes, l'hypothèse la plus simple est donc d'imaginer un phénomène igné, peut-être dépendant des intrusions de magmas granitiques manifestées pendant l'Éocène plus à l'Ouest, qui aurait déterminé, soit le dépôt du fer en pyrite, ultérieurement oxydée et recristallisée en oligiste, soit sa substitution au calcaire sous la forme de magnétite et d'oligiste, avec combinaisons silicatées connexes dues à un métamorphisme exercé sur les terrains encaissants. C'est surtout l'abondance de ces silicates qui conduit à faire intervenir des réactions calorifiques; car la cristallisation de l'oligiste,

¹ Voir page 41.

² La même association des minerais en grands amas avec les calcaires est fréquente en Scandinavie et se retrouve à Mokta-el-Hadid, où la substitution a certainement joué un rôle important. Dans tous ces cas, on rencontre, avec le fer, des silicates analogues, pyroxène, grenat, etc. Je rappellerai également plus loin le cas du Banat.

contrairement à ce qu'on pourrait croire, ne les nécessite pas à elle seule; j'ai pu observer, comme on l'a vu plus haut, la formation tout à fait contemporaine et superficielle de l'oligiste cristallisé à la surface de blocs de pyrite simplement exposés au vent de la mer et du seul côté où ils ont reçu la brise salée, sans doute par intervention lente du chlorure de sodium.

Bien qu'il y ait quelques filons de granulite à Terra-nera et à Capo-bianco, les roches éruptives ne jouent, d'ailleurs, qu'un rôle restreint au voisinage des minerais de fer ou des silicates, ici comme à la Fenice et à Capanne Vecchie près Massa marittima, où il s'est également développé quelques silicates près des pyrites; les magmas ignés, dont on peut être amené à supposer l'intervention profonde, n'affleurent au jour, par grandes masses, qu'à plusieurs kilomètres plus à l'Ouest et, quoique la comparaison s'impose aussitôt à l'esprit, l'on ne peut assimiler directement ces minerais associés aux silicates avec des gîtes de contact silicatés, tels que ceux du Banat, de Traverselle, ou même du Campigliese, tout en admettant volontiers une relation d'origine analogue entre les fumeroles métallisantes et les magmas granitiques de la profondeur.

L'altération des sulfures en oxydes, que je viens de supposer, n'a pas laissé subsister à l'île d'Elbe (en admettant qu'elle se soit produite) la forme intermédiaire carbonatée, qui domine à une certaine profondeur dans des gîtes analogues, comme Bilbao ou Eisenerz.

Enfin, une réaction inverse de la cristallisation ancienne, qui se produit journellement et constitue l'altération superficielle, a pour résultat de transformer l'oligiste des affleurements ou ce qu'il subsiste de pyrite, en limonite, avec extension de cette limonite par les eaux de surface en placages superficiels et concentration du manganèse jusqu'à des teneurs de 6 à 10 p. 100 dans la région de Capo-Bianco.

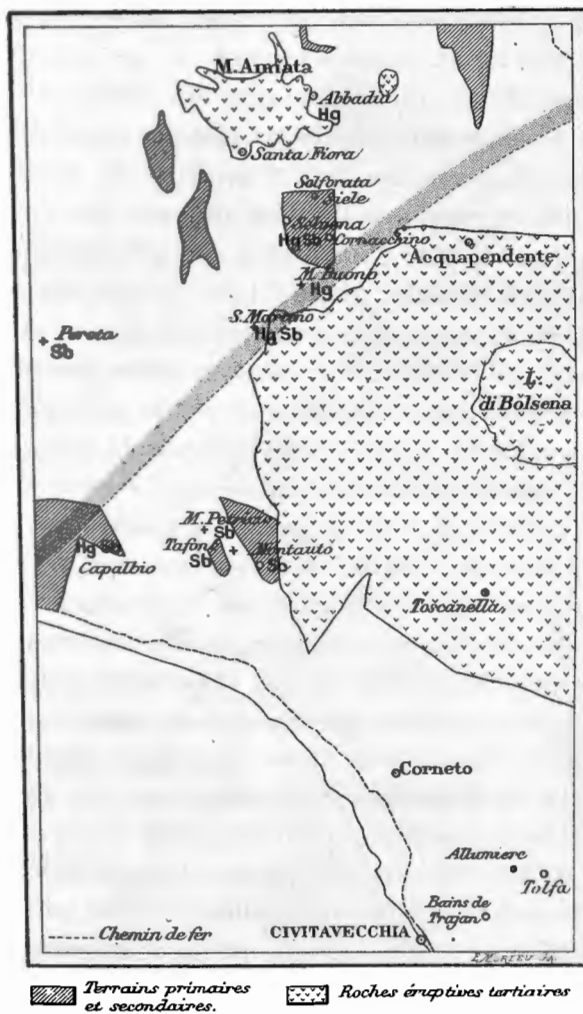


Fig. n.° 36.—Carte au 1:750,000 de la région comprise entre le Mt. Amiata et Civita Vecchia.

VII.—Les gisements de mercure du **Monte Amiata**.¹

(FIG. 36).

Nous avons vu précédemment comment se répartissent, dans l'ensemble, les gîtes de mercure italiens. L'ensemble de ces gisements forme, sur la carte, une sorte d'auréole à la zone géo-

¹ La bibliographie de ces gisements est très développée. Voir notamment :

Gîtes métall. II. 699 à 704 et bibl. p. 704.—1857. CHAILLAX *Mines de la Toscane*. (Bull. Soc. Ind. Min. t. II. p. 383), sur Catellazzara (le Stele), Pian Castagnolo, Selvena, Capalbio, Jano, etc.—1888. PRIMAT, *Gîtes de mercure de Mt. Amiata*. (Ann. d. mines

graphique où apparaissent les roches éruptives tertiaires d'intrusion superficielle et d'épanchement. Il se manifeste donc, entre les deux phénomènes, une relation probable, que nous allons avoir à étudier dans un cas particulier et nous avons également signalé l'association très fréquente du mercure et de l'antimoine, qui se retrouve dans la plupart des chaînes plissées dérivées des Alpes et limitrophes des effondrements méditerranéens (Sierra Nevada, Atlas, Alpes Illyriennes, etc.), comme dans l'Apennin. Cependant, autour du Monte Amiata, M. Spirek, qui connaît très bien la région, croit plutôt les gîtes de cinabre en rapport avec une série de petits pointements ophitiques ou serpentineux (souvent négligés sur la carte), qui forment, entre le massif volcanique du Monte Amiata et celui de Bolsène, une trainée N.N.O., à peu près confondue avec celle des filons cinabrifères (voir la carte ci-jointe, fig. 37) et il trouve, dans cette association présumée, un rapprochement de plus avec la zone mercurielle de Californie, où les roches vertes, diabases, serpentines, etc., jouent un rôle important. Aucune observation de détail ne permet de trancher la question entre les deux hypothèses, qui restent donc également admissibles en principe; mais la distribution géographique est évidemment beaucoup plus en faveur de la première, c'est à dire d'une relation avec les roches trachytiques, puisqu'il existe des zones très étendues de roches vertes éocènes, celles-là même où les roches vertes prennent le plus d'extension, qui ne contiennent aucuns gîtes mercuriels, tandis que ceux-ci apparaissent au voisinage d'autres roches vertes uniquement dans la zone où se montrent en même temps les roches éruptives trachytiques. Il faut ajouter que le rapprochement supposé entre les ophites et le mercure dans la région même du Monte Amiata est souvent très hypothétique, la distance étant d'au moins 600 mètres à Abbadia, d'un

t. XIV. p. 95.)—1890. de FERRARI. *Le miniere del Monte Amiata*. Firenze, avec bhm. 1894.
 —ROSENLECHER. *Die Quecksilbergruben Toscanas* (Zeits. pr. Geol. p. 337 à 353)—1895.
 V. NOVARESE. *Die Quecksilbergruben des Mte. Amiata Gebietes in Toscana* (Zeits. pr. Geol. p. 60)—1898. KLOOS. *Zinnoberführende Trachyttuffe vom Monte Amiata im südlichen Toscana* (Zeits. pr. Geol. p. 158 à 163).—1898 à 1902. LOTTI. *Das Zinnobervorkommen von San Salvadore am Monte Amiata* (Zeits. pr. Geol. 1898 p. 258; 1902. Rassegna mineraria t. 17 N.° 10, traduit dans la Zeits. pr. Geol.: *I depositi dei minerali metalliferi*, 1903, p. 85 et p. 119).—1903. SPIREK. *La formazione cinabrifera del Monte Amiata* (Rassegna mineraria t. XVIII N.° 6. 21 Fév. 1903 et Zeits. f. pr. Geol. p. 297 à 299; cf. Rassegna mineraria t. VII N.° 8. 21 Déc. 1897).

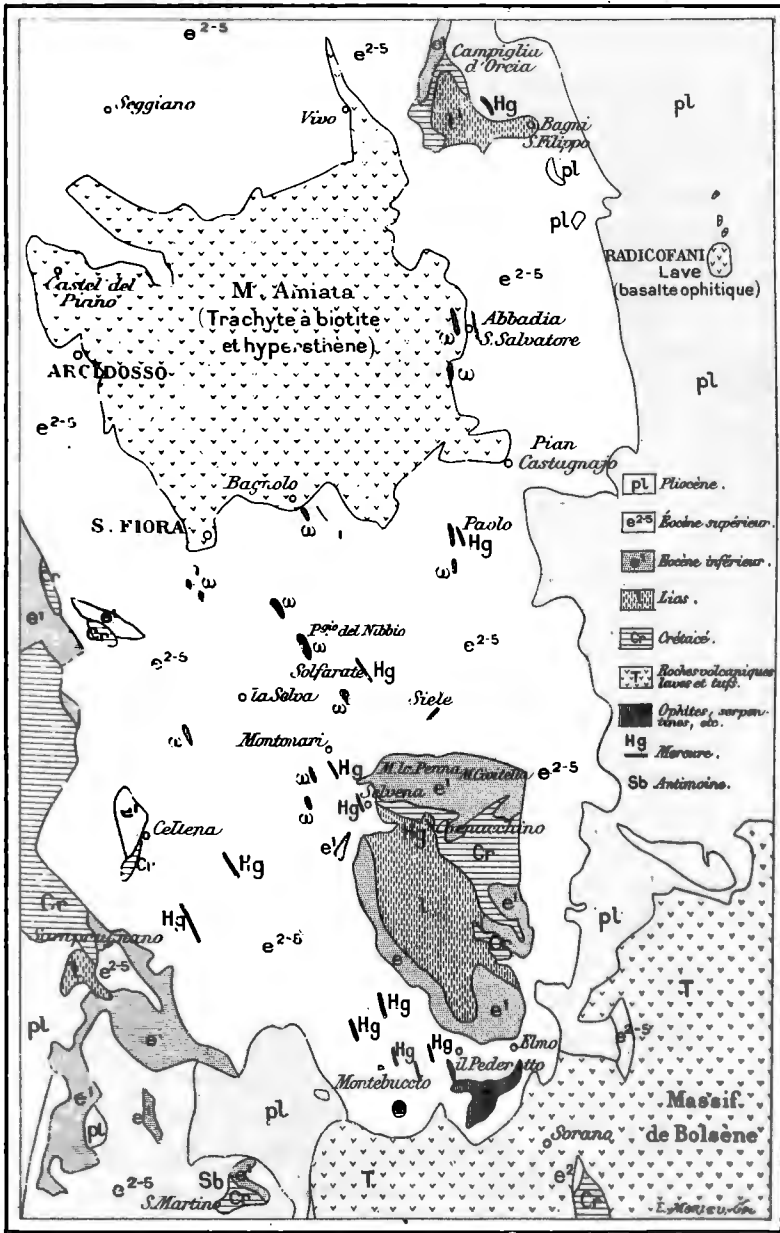


Fig. n.° 37.—Carte géologique au 1:560.000 de la région du Monte Amiata d'après les travaux du Service Italien.

kilomètre à Solfarata, de plusieurs kilomètres à Siele et à Cornacchino.

En laissant de côté la région de Scravezza, dont il a déjà été question et qui forme un massif distinct, le gisement cinabrique le plus septentrional de la Toscane est celui de Jano (Pl. I et fig. 12) ; puis vient, à l'Ouest et au Sud-Ouest de Sienne, un groupe où l'antimoine domine : Cettine di Cotorniano, Pari, etc. A partir du Monte Amiata commence la seule zone véritablement industrielle avec les mines de Siele, Cornacchino, Abbadia, etc., qui vont être étudiées. Puis, au Sud-Ouest, on trouve, entre le massif éruptif du Lac Bolsena et le Mont Argentario, toute la série des affleurements de Pereta, Capalbio, M. Petriccio, Tafone, Montauto, etc., où l'antimoine domine, mais en s'accompagnant fréquemment de traces de mercure. (Fig. 36).

Les exploitations en activité dans cette région sont celles de Solfarata, Siele et Cornacchino au Sud du Monte Amiata entre Santa Fiora et Sorano et celle d'Abbadia San Salvatore, à l'Est du même massif, entre lui et Radicofani.¹

Le massif du Monte Amiata, d'environ 8 à 10 kil. de diamètre, est principalement formé d'un trachyte augitique à olivine, biotite, amphibole et hypersthène, avec rhyolithes, qu'enveloppent de tous côtés des terrains éocènes, sur les divers niveaux desquels il a visiblement débordé en plus d'un point (notamment à l'Abbadia).² Ce trachyte contient de nombreuses enclaves : fragments de gneiss arrachés à la profondeur, débris d'un

1 Ces exploitations sont extrêmement anciennes, puisqu'on a retrouvé à Cornacchino des pointes de flèche en silex et des marteaux en serpentine. Les peuples préhistoriques ont dû y chercher des matières colorantes, dont l'iline l'Ancien signale encore, dans cet ordre d'idées, des emplois curieux chez les Romains. On a également rencontré, dans la même mine, une monnaie d'or de Philippe de Macédoine. Enfin, depuis le Moyen-âge, les travaux n'ont guère été interrompus. Les plus anciennes mines sont celles du Siele et de Cornacchino. Le Siele a tenu longtemps la tête de la production. Vers 1875, il donnait 115 à 120 tonnes de mercure par an ; en 1885, il est monté à 247 ; enfin le maximum a été obtenu en 1890, où le Monte Amiata a produit 449 tonnes. Actuellement, cette mine a beaucoup baissé ; mais, depuis 1900, l'Abbadia a pris une grande importance. En 1902, l'ensemble de la région a produit 259 tonnes. En 1903, l'Abbadia a produit 190 tonnes de mercure, le Siele 100 t. : au total, environ 300 tonnes pour la région. En 1904, le total a été de 352 tonnes. Comme presque tous les gisements de cinabre, ceux-ci donnent lieu à des exploitations très irrégulières. Actuellement, la mine du Siele s'installe pour aller rechercher les gisements profonds, en triomphant, par une ventilation actionnée électriquement, des venues d'eau chaude et de gaz délétères qui sont une des grandes difficultés de son exploitation.

2 1892. DE STEFANI. *I vulcani spenti dell' Apennino settentrionale* p. 26 avec bibliogr.

basalte à olivine, analogue à celui que nous allons trouver à Radicofani, noyaux de graphite. Tandis que le sommet s'élève à 1.734m., le contact avec l'Éocène¹ se maintient, sur une grande étendue, entre Abbadia et Santa Fiora, vers la cote 800 et provoque l'apparition de nombreuses sources, alimentées par des infiltrations dans le trachyte: sources qui, elles-mêmes, ont amené la création d'une série de villages formant une couronne circulaire à la montagne. Il semble que celle-ci représente un véritable volcan postpliocène, dont l'appareil extérieur et les cratères ont été coupés par l'érosion.

8 kilomètres à l'Est d'Abbadia, le petit pointement éruptif de Radicofani, à peine large de 600m., est formé d'une roche toute différente, un basalte ophitique voisin d'une diabase à olivine,² également post-pliocène.

Enfin, au Sud, la masse volcanique de Bolsène³ est composée de roches à leucite (leucotéphirites, basanites à leucite et à néphéline, phonolithes à leucite, etc.), dont l'altitude est sensiblement moins haute (3 à 600 m.) et où les cratères volcaniques ont été conservés.

Nous allons parcourir les principaux gisements du Nord au Sud, en indiquant seulement, pour chacun d'eux, les observations qui peuvent présenter un intérêt théorique.

Au Nord, on trouve un premier petit gisement de cinabre entre Campiglia d'Orcia et Bagni San Filippo, où se trouvent d'abondantes sources thermales, que j'aurai à signaler ultérieurement.

Puis vient la mine d'*Abbadia-San Salvatore*, qui a pris, depuis 1903, une grande extension entre les mains d'une compagnie allemande et dont la production s'est élevée à 190 tonnes de mercure en 1903, par suite de l'heureuse rencontre de quelques poches contenant du minerai d'une grande richesse. Les premiers gisements connus à Abbadia ont été longtemps des dépôts de remaniement superficiel, dont on ignorait l'origine

1 Sur ce contact, les oxydes de fer, entraînés et redéposés par les eaux, ont souvent constitué de la *Terre de Stenne* ou *Terre d'Ombre* exploitable. DE STEFANI, loc. cit. p. 37. PRIMAT loc. cit. p. 108.

2 DE STEFANI *ibid.* p. 37.

3 DE STEFANI, *ibid.* p. 53. Suivant lui, ces volcans ont été d'abord sous-marins, puis littoraux et enfin aériens.

profonde et l'on commence à peine à reconnaître les filons primitifs.

Autant qu'on peut s'en rendre compte, la coupe serait celle de la fig. 38, c'est à dire qu'on aurait contact par faille du trachyte augitique et de schistes éocènes sous-jacents avec des calcaires peut-être liasiques, qui n'apparaissent pas aux affleurements et qui, dans les galeries, se montrent très redressés.

C'est cette faille de contact qui semble, jusqu'à nouvel ordre, former le gîte principal (gisement déjà visiblement altéré). On a donc une zone d'environ 10 à 20 mètres de large, remplie d'une argile jaune ou grise, qui paraît être le produit de

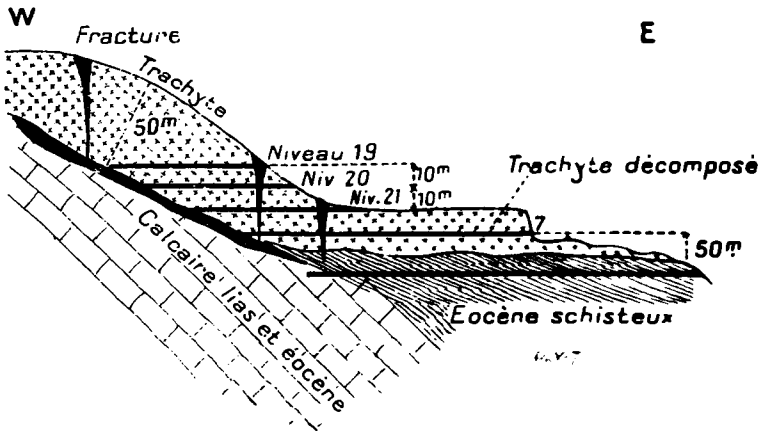


Fig. N.º 38.—Coupe théorique à Abbadia San Salvatore.

la décomposition du calcaire, avec des veines ou filets de cinabre. La pyrite est rare dans ce gîte altéré, contrairement à ce que nous pourrions voir ailleurs.

En outre, le trachyte est disloqué par deux systèmes de failles (voir fig. 39) : les unes dirigées à peu près N.S. et prolongées en direction, mais limitées au trachyte et stériles, bien que ce soit la grande direction de fracture de la région ; les autres transversales, c'est à dire N.O.O., qui semblent plus profondes et attaquent le calcaire sous-jacent, qu'elles mettent en contact par gradins avec le trachyte. Dans ces contacts, il y a des remplissages argileux à blocs de trachyte et de calcaire, de vraies brèches, qui sont souvent minéralisées.

Pour une raison ou pour une autre, que le cinabre soit là dans son gîte primitif, ou qu'il ait été déjà remis en mouvement,

on le voit donc suivre les dislocations les plus importantes, qui ont offert une pénétration facile aux eaux métallisantes et le minerai est finalement une argile (produite par la dissolution du calcaire) ou une brèche cinabrifère, avec des enduits de cinabre accessoires, dans les joints du calcaire ou du trachyte décomposé, tandis que les argiles schisteuses sédimentaires, interstratifiées dans le terrain éocène et contemporaines de ce terrain, sont toujours absolument stériles. Des restes d'activité volcanique semblent indiqués par l'abondance de l'acide carbo-

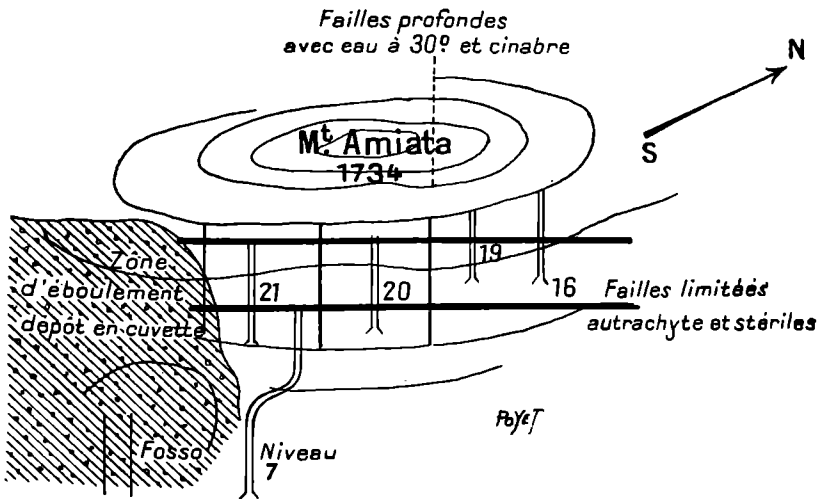


Fig. N.° 39.—Plan théorique à Abbadia-San Salvatore, avec indication des lignes de niveau.

nique et de l'eau thermale ascendante à 30°, que l'on rencontre fréquemment dans les travaux. C'est un point que nous allons avoir à discuter à l'occasion du Siele.

J'ai déjà indiqué comment il s'était constitué, en outre, à Abbadia, par remaniement superficiel, un petit bassin lacustre, dit le Fosso, où l'on a exploité, de 1897 à 1900, un gisement secondaire de cinabre associé avec des farines siliceuses à diatomées¹ et un peu de lignite. La teneur était là de 1.40 p. 100 de mercure. Puis on a trouvé et suivi, entre ce lac et le massif trachytique, une première faille N.O. contenant de l'argile un

¹ De semblables farines à diatomées ont été exploitées à Castel del Piano et à Santa Flora pour faire des briques plus légères que l'eau, comme les fameuses briques byzantines de la coupole de Ste. Sophie.

peu cinabrifère, que l'on a d'abord prise pour le gîte principal et sur laquelle on a tracé des galeries. Enfin l'on a rencontré le gisement actuel, que l'on exploite par des galeries 16, 19, 20 et 21, débouchant à la superficie. Les eaux de la mine, écoulées par la galerie 7, servent à actionner des turbines et des dynamos.

En continuant vers le Sud, nous trouvons un affleurement de cinabre à *Paolo* et nous arrivons au groupe de *Solfarata* et du *Siele*, dont la production a été, depuis 20 ans, la plus importante dans le district.

A la *Solfarata*, les deux mines contiguës *Rosselli* et *Schwarzenberg*, bien que déjà très anciennes, ont travaillé jusqu'ici sur des gisements presque superficiels et où les remaniements, en partie provoqués par l'abondance des vieux travaux, ont certainement joué un grand rôle. Deux kilomètres plus loin au Sud-Est, au *Siele*, les phénomènes sont analogues.

De tous côtés, dans cette région, il sourd à la surface, ou l'on rencontre dans les travaux de mines des sources chaudes chargées d'hydrogène sulfuré et d'acide carbonique, des "putitze," à une température de 26 à 30° : sources qui, s'ajoutant aux eaux froides descendantes, également très abondantes dans un terrain fissuré, provoquent des déplacements constants des minerais cinabrifères. En même temps que l'acide carbonique, les hydrocarbures sont assez fréquents pour produire de véritables coups de grisou et doivent certainement contribuer à la précipitation du cinabre, qui se trouve par suite ici, dans ses gîtes secondaires, fréquemment associé à des matières carburées, comme il l'est dans la plupart des gisements de mercure du monde entier.

En dépit de l'apparence première, M. Spirek ne veut voir, dans tous ces phénomènes, rien de volcanique, rien même qui implique une circulation profonde des eaux. Pour lui, l'élévation de température est assez expliquée par la combustion des pyrites mises en présence de l'air dans de nouveaux travaux; les réactions des sulfures métalliques (pyrite et cinabre) sur des terrains calcaires en présence de vieux boisages accumulés sur ce point pendant 600 ans suffisent amplement à expliquer les hydrocarbures, l'acide carbonique, l'hydrogène sulfuré et

la redissolution du cinabre par des réactions que nous aurons à rappeler bientôt pour expliquer les remises en mouvement du mercure, incontestables dans toute hypothèse. Le phénomène est donc, à son avis, exclusivement d'origine superficielle et cette explication pourrait, en effet, se soutenir très justement si les gîtes du Siele étaient les seuls au monde. Mais ce n'est pas là seulement, c'est un peu partout que l'on retrouve la connexion du cinabre et des hydrocarbures dans les dépôts filoniens, l'association des sources chaudes à hydrogène sulfuré avec le cinabre, les dégagements de grisou ou d'acide carbonique, etc.

Il suffit de rappeler les gisements de Sulphur bank en Californie (eaux à 80° avec borates dissous et acide carbonique), les Steamboat springs dans le même pays (avec hydrogène sulfuré, acide carbonique, chlorures et borates), situés au contact des lacs de borax, comme les gîtes toscans près des lagoni, les mines d'Huancavelica au Pérou (sources chaudes abondantes)¹ et, en Toscane même, les dégagements d'acide carbonique à Abbadia-San Salvatore, à Jano, etc. D'autre part, il existe un très grand nombre de gisements pyriteux, non accompagnés de cinabre et non en connexion avec des roches éruptives récentes, où l'on retrouve les mêmes éléments fondamentaux des réactions invoquées par M. Spirek, sulfures métalliques, calcaires et matières organiques, où il existe même des sources chaudes d'origine certainement profonde comme à Boccheggiano, sans qu'il en résulte ces dégagements d'hydrogène sulfuré, de grisou, d'acide carbonique, qui caractérisent la région de Solfarata et du Siele. La théorie uniquement actualiste me paraît donc difficile à soutenir et je crois les gisements primitifs de mercure en relation, comme je l'ai dit, avec une cause plus profonde, manifestée au jour par le développement des roches éruptives tertiaires²; je suis également porté à admettre que les dégagements gazeux peuvent être, en partie, alimentés par un reste de fumerolles. Mais, sauf ces réserves, les réactions invoquées par M. Spirek me paraissent exister;

1 On connaît, comme je le redirai bientôt, de nombreuses sources chaudes sur des filons métallifères quelconques, mais jamais en aussi grande abondance que sur les filons de mercure.

2 C'est également l'opinion adoptée par M. Lotli.

elles ont pour résultat de remanier le gisement sous nos yeux mêmes et leur étude constitue, par suite, un chapitre intéressant à ajouter à cette grande question des altérations secondaires, sur laquelle je suis revenu si souvent au cours de ce mémoire.

Les réactions invoquées par M. Spirek sont celles mêmes qui servent à fabriquer industriellement le cinabre et qu'une longue expérience lui a fait bien connaître. Dans cette fabrication, on utilise, pour obtenir du cinabre rouge et cristallin analogue à celui des gîtes naturels, des réactions lentes, à basse température, en milieu neutre, avec intervention des polysulfures alcalins ou calciques. Toute autre réaction, tout autre milieu donne du cinabre noir, que l'on transforme en cinabre rouge en le laissant 4 à 5 jours dans une dissolution de polysulfures entre 40 et 60°. Les moindres changements modifient l'aspect et la qualité du cinabre obtenu. Ainsi, comme cas extrêmes, une cristallisation prolongée pendant 6 jours à basse température donne du cinabre clair et très fin, tandis qu'à haute température on obtient en 6 heures du cinabre sombre et à gros grains. La conclusion est que, dans les gisements naturels, les polysulfures sont intervenus, en particulier la combinaison du sulfure de mercure avec le sulfure de sodium et que la température des réactions a été faible: ce qui concorde bien avec la cristallisation presque superficielle, que nous sommes conduits de toutes façons à imaginer pour les gîtes mercuriels.

Une fois le cinabre déposé, je viens de dire qu'il avait pu être remis en mouvement à diverses reprises et sous nos yeux mêmes. Si l'on imagine, en effet, de l'eau superficielle arrivant au contact de la pyrite associée au cinabre dans un terrain calcaire, comme on en rencontre dans la plupart des gisements de Toscane, cette eau donnera des sulfates et de l'acide sulfurique, donc du sulfate de chaux (que l'on retrouve, en effet, dans tous ces gisements) et de l'acide carbonique en liberté. En même temps, la présence des matières organiques et, particulièrement, des vieux boisages réduit le sulfate de chaux en polysulfure de calcium avec une certaine proportion d'hydrogène sulfuré libre: d'où dissolution du mercure à l'état de sulfure double ($\text{HgS} + \text{CaS}$): reprécipité, soit par le polysulfure de calcium.

soit par les hydrocarbures provenant des matières organiques. L'argile, laissée comme résidu par la dissolution connexe du calcaire, enveloppe le cinabre précipité et empêche son immédiate redissolution. On a, par conséquent, des gisements soumis à des changements incessants de forme et dont l'allure dépend absolument de la disposition relative des terrains plus ou moins perméables : par exemple, dans les calcaires, des fissures argileuses avec veines cinabrifères accompagnées de calcite secondaire, ou des pénétrations de cinabre dans les joints de terrains sous-jacents, comme les phtanites de Cornacchino, etc. On peut même rencontrer des accumulations de cinabre, produites par les remous de l'eau souterraine sous pression, qui aura pris les sels de mercure à diverses parties du gisement primitif, pour venir les accumuler sur le même point.

Tous ces phénomènes de remise en mouvement, dont on peut exagérer plus ou moins le rôle, mais dont l'existence ne me paraît pas contestable,¹ ont contribué à donner à ces gisements de mercure toscans, comme à ceux de Californie, ou, plus généralement, à tous ceux que l'on n'a pas suivis bien profondément, une allure extrêmement capricieuse et sans homogénéité. Il en résulte que les aspects de la même mine sont exposés à varier de jour en jour suivant les progrès de l'exploitation et, quand on lit en effet des descriptions séparées par un intervalle de quelques années, on ne peut arriver à les mettre d'accord. Aussi je me contenterai, ici plus que partout ailleurs, d'indications tout à fait générales et autant que possible ramenées à une forme théorique.

Les gisements exploités à *Solfarata* se composent surtout de veinules pouvant avoir $\frac{1}{2}$ centimètre de large et formées de cinabre et calcite, parfois avec pyrite, dans le calcaire éocène décomposé en argile (brocca). On circonscrit une partie minéralisée du calcaire (bancone) et l'on y cherche le minerai. Les schistes voisins ne renferment que des veinules secondaires.

La mine du *Siele* descend aujourd'hui à 208 mètres. Un croquis ci-joint (fig. 40) montre la disposition théorique des divers types de minerais, qui sont dispersés dans un banc de

¹ Dans la mine Cornacchino on a, paraît-il, trouvé un crâne humain minéralisé.

calcaire alberese ayant 15 à 30m. de large et compris lui-même entre deux couches de schiste. Suivant la loi constante, que j'ai essayé de mettre en évidence à diverses reprises dans ce mémoire, les deux contacts du toit et du mur, et tout particulièrement celui du toit, ont donné lieu à des circulations d'eaux minéralisantes et, par suite, à des dépôts de contact qui forment les "fossoni." Mais il existe, en outre, dans la masse même du calcaire, des amas placés sur des fissures élargies, que l'on appelle des "tromboni." On cherche les parties riches, très irrégulièrement distribuées, en se guidant sur les joints de cal-

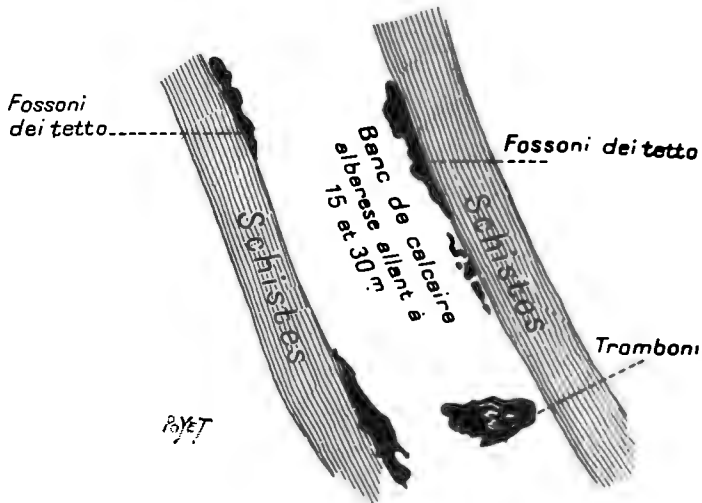


Fig. n.° 40.—Croquis en coupe verticale montrant la disposition des minerais au Siele.

cite et les enduits de manganèse, qui accusent une circulation récente des eaux dans les fissures. Les schistes ne renferment de veinules minéralisées qu'au contact des grands amas dans le calcaire.

Enfin la mine de *Cornacchino* est située à 3 kil. Sud du Siele, dont elle est séparée par la crête nummulitique du Mont de la Penna.

Les minerais se trouvent là dans le Lias, composé à la base de 60 mètres de phanites et, au dessus, de 30 mètres de calcaires. Suivant la perméabilité de ces deux terrains, la minéralisation a pénétré dans l'un ou dans l'autre. Les anciennes exploitations ont porté sur les calcaires, où le cinabre imprégnait

des veines de décomposition argileuse aujourd'hui épuisées. Maintenant l'on exploite uniquement des veines de cinabre situées dans les phtanites et dues, d'après M. Spirek, à des réactions secondaires, qui auraient emprunté leur minerai aux calcaires superposés.

Ces phtanites sont divisés par petits bancs minces de 2 à 3 centimètres, assez horizontaux. Ils sont presque exclusivement composés de silice (avec un peu de calcaire) et leur blancheur fait apparaître, avec une netteté particulière, les veines rouges du cinabre. Le cinabre y est seul, tandis que, dans les calcaires voisins, il était accompagné de pyrite. On trouve, dans ce calcaire, une proportion assez sensible de sulfate de chaux, ainsi que cela se produit au voisinage de presque tous ces gisements cinabrifères, dont la pyrite a sulfatisé en se décomposant une partie de la chaux.¹ A l'appui de la réaction secondaire supposée par M. Spirek, celui-ci a remarqué que le déplacement présumé du mercure depuis le calcaire jusqu'aux phtanites avait eu lieu quand le calcaire, n'étant pas recouvert d'un toit imperméable, s'était décomposé, ainsi que les phtanites sous-jacents, tandis que, là où ce toit avait empêché l'accès des eaux superficielles, le cinabre était resté dans le calcaire.

VIII.—LES ALUNITES DE LA TOLFA²

Les seuls gisements industriellement exploités dans la région de la Tolfa sont des filons d'alunite: gisements, par conséquent, d'un type très spécial; mais je vais m'efforcer de montrer que ces alunites sont, en réalité, un cas particulier d'altération superficielle ayant porté sur des filons pyriteux encaissés dans des roches à feldspaths alcalins et il est, par conséquent, utile de restituer à ces gisements d'alunite leur place réelle dans la métallogénie de la région de Civita Vecchia, en

¹ Dans les anciens gisements argileux de Cornacchino, il existait des cristaux de gypse de 4 à 5 centimètres de longueur.

² *Gîtes metall.* II, 607 à 612 et bibl. p. 612.—1881 et 1882. KLITSCHÉ DE LA GRAN-GE. *Le trachite della Tolfa e le formazioni aluminifere.*—*Sulle miniere di ferro de la Tolfa.* Roma, 262 p. in 4°.—1886. LOTTI, *Brevi considerazioni sulla trachite de la Tolfa.* (Proc. verb. Soc. Tosc. Vol. 1900.) LOTTI, *I giacimenti metalliferi della Tolfa* (Rassegna mineraria, t. XIII, II, 1896, 1900).—Carte géologique d'Italie: feuille au 1:100,000e. de Civita Vecchia par P. Zezl.

signalant rapidement les autres filons sulfurés complexes qui y sont représentés.

La région de la Tolfa (fig. 36) est constituée principalement de terrains éocènes, par dessus lesquels se sont épanchés les trachytes de l'Allumiere, formant un massif triangulaire d'environ 8 à 9 kilomètres de côté et recouverts, à leur tour, du côté Est, par les argiles à gypse du Miocène supérieur. Sur tout le flanc Sud du massif trachytique, mais à une certaine distance de ce massif qui ne paraît être intervenu en rien dans le phénomène, l'Éocène a subi un métamorphisme intense, qui se traduit: dans les calcaires, par des bancs cristallins à grenat, wollastonite, épidote, etc., analogues à ceux qui entourent à l'île d'Elbe, le noyau granitique du Mont Capanne; dans les schistes, par des couches silicifiées. En même temps, et par une réaction connexe, les filons de pyrite plus ou moins altérés, parfois accompagnés d'autres sulfures (galène à Cava del Piombo, etc.) sont abondants et leur altération, accompagnée de substitution, a souvent donné lieu, au milieu des calcaires, à des amas de sesquioxyde de fer, qui s'étendent au S.O. dans la direction de Civita Vecchia, presque jusqu'à la source thermique classique des Bains de Trajan.

Les principaux parmi ces amas, ceux de Roccaccia, Pian Ceraso, Edificio del Ferro, etc., sont, par un phénomène déjà rencontré maintes fois dans cette étude, concentrés au contact de calcaires et de schistes altérés par les actions superficielles. Ils étaient formés, à l'affleurement, de limonite et d'hématite visiblement substituées au calcaire; en s'enfonçant, on y a trouvé de la pyrite. Parfois, un peu de phosphate de fer semblait correspondre à une teneur initiale des calcaires en phosphore.¹ Les filons plombeux de Cava del Piombo, paraissent dirigés N. 110° E.

Quand on pénètre dans le massif trachytique lui-même, ce ne sont plus de semblables filons pyriteux que l'on rencontre, mais les fameuses veines d'alunite, exploitées depuis quatre siè-

¹ J'ai signalé un fait du même genre à Boccheggiano. Le phosphore apparaît souvent ainsi dans les affleurement plombeux (pyromorphite) et a fait également des combinaisons avec le cinabre d'Idria (Korallenerz).

cles et demi.¹ Il ne me paraît pas douteux que celles-ci représentent une autre forme superficielle de gisements semblables, à ajouter à tous les autres cas d'altération que j'ai essayé de grouper dans cette étude.

L'alunite est, à mon avis, un produit de décomposition du feldspath, connexe du kaolin, que l'on exploite dans la même région, souvent sur les mêmes filons, et, comme ce kaolin, destiné forcément à disparaître en profondeur. Le théorie, que l'on professait autrefois, était un peu différente: on admettait des vapeurs sulfureuses, des sortes de solfatares ayant circulé dans les fissures du trachyte et attaqué directement en profondeur les feldspaths de celui-ci et l'on supposait volontiers une relation entre ces divers phénomènes et la venue trachytique elle-même. Je crois, au contraire, qu'il y a eu deux phases successives tout à fait distinctes dans le phénomène: 1.^o, un dépôt filonien ayant donné des zones bien nettes de trachyte pyritisé, correspondant peut-être à des veines d'un trachyte particulièrement feldspathique et, en même temps, pyriteux, comme les granulites de Berezowsk (Oural); 2.^o pénétration des eaux superficielles dans ces roches feldspathiques ayant produit, lorsque la pyrite manquait, la forme ordinaire de feldspaths altérés, c'est à dire le kaolin, ou, lorsque la pyrite, au contraire, fournissait l'acide sulfurique, de l'alunite cristallisée.²

1 Les alunites de la Tolfa appartiennent, depuis 1878, à la Compagnie française de l'Alun romain, qui possède, outre la concession de 2,340 hectares instituée le 22 Sept. 1873, une usine de traitement à Civita Vecchia et une à Rouen. Pendant quatre siècles, de 1460 à 1860, on n'a fait que de grands travaux à ciel ouvert, des carrières, avec un traitement très sommaire des minerais en gros fragments par simple calcination, laissant les menus que l'on reprend aujourd'hui. Vers 1873, on a établi l'usine de Civita Vecchia et, l'année suivante, on a trouvé par hasard le filon Providenza, qui, depuis ce moment, alimente seul la production. En 1901, on n'a guère produit que 4,000 t.

La production actuelle est d'environ 8,000 tonnes de produits bruts, comptées: en 1902 à raison de 7 frs. 50 la tonne sur la statistique officielle; en 1904, à raison de 6 francs; soit 5,000 tonnes de produits marchands: à Rouen, 4,000 t. composées surtout de sulfate d'alumine; à Civita Vecchia, 1,000 à 1,200 t. (surtout de l'alun). On vend de plus, en Allemagne, 7 à 800 t. de "minéral blanc," à minimum de sulfate d'alumine garanti. Outre les anciens emplois de l'alun, la papeterie consomme de grandes quantités de sulfate d'alumine, substitué pour cet usage à l'alun sauf pour quelques papiers supérieurs. Dans la fabrication de l'alun, un point essentiel est l'élimination du fer qui rendrait le produit invendable.

2 On sait que l'alunite diffère de l'alun par un excès d'alumine, qui la rend insoluble. Tandis qu'il se forme couramment des cristallisations d'alun dans toutes les régions de roches volcaniques, où circulent, pour une raison quelconque, des eaux chargées d'acide sulfurique, l'alunite est un minéral assez rare, dont la cristallisation a pu nécessiter des conditions spéciales de température et de pression, les réactions constituantes ayant d'ailleurs dû être les mêmes.

Avec cette hypothèse, on s'explique assez bien les observations de fait que je vais essayer de grouper.

Tout d'abord, les conditions nécessaires à la production d'une altération intense, c'est à dire l'existence d'une circulation d'eau abondante et d'un niveau hydrostatique profond, sont nettement réalisées. Ce massif trachytique, qui n'est guère qu'à 12 kilomètres du port de Civita Vecchia, le domine de 4 à 500 mètres et l'absorption des eaux par les trachytes est si manifeste que les habitants du village de Cave Vecchie, près de la Tolfa, sont obligés de descendre 300 mètres pour aller chercher de quoi boire.

D'autre part, voici quelle est la disposition des filons d'alunite. Le minerai d'alunite cristallisée et de quartz remplit, au milieu de ce trachyte, une série de veines, dont la disposition paraît être lenticulaire en direction comme en inclinaison, si bien qu'on a pu les considérer comme des fissures de retrait de la roche, remplies par une dernière exsudation avec fumerolles sulfureuses. Ces veines, qui, individuellement, forment des filons très nets à épontes parfaitement définies, doivent, dans l'ensemble, constituer un réseau très compliqué¹ avec des entrelacements en stockwerk, qui, vers les affleurements, occupaient une grande étendue superficielle et qui ont pu donner, lieu, pendant quatre siècles, aux immenses excavations à ciel ouvert, dont on voit les vides de tous côtés. Puis, l'un après l'autre, ces réseaux de fractures se sont appauvris en profondeur et l'alunite y a disparu, comme on voit toujours disparaître, dans les mêmes conditions, le kaolin.

Depuis 1874, l'exploitation porte donc uniquement sur un seul filon N.O.-S.E., particulièrement important, le filon Providenza, en dehors duquel on a travaillé autrefois, pendant cinq ou six ans, du côté Nord, sur le filon Rotella aujourd'hui abandonné. Ce filon Providenza, qui atteint, par endroits, 10 mètres de large et cesse d'être utilisable quand il descend au dessous de 0 m. 80, a été exploité sur une certaine de mètres de hauteur; mais, en profondeur, on voit nettement, vers le niveau 390, sa limitation, qui paraît correspondre à peu près au niveau

¹ J'ai donné autrefois (*Gîtes métallifères* 1. 608), d'après M. Fuchs, un plan de ces fractures qui paraît avoir été trop systématiqué.

hydrostatique, car la fin des poches d'alunite a été généralement marquée par de très abondantes venues d'eau.

L'appauvrissement avait commencé à se manifester avec l'apparition de la pyrite au niveau 412 au-dessus de la mer; 20 mètres plus bas, le gisement s'est trouvé à peu près terminé.

Les deux figures ci-jointes (fig. 41 et 42) montrent comment s'effectue en profondeur la limitation d'un semblable filon d'alu-

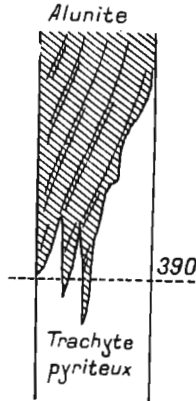


Fig. n.º 41.—Coupe verticale théorique du filon Providenza à la Tolfa.

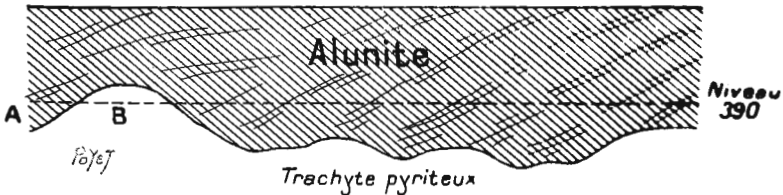


Fig. n.º 42.—Coupe longitudinale théorique du filon Providenza à la Tolfa.

nite. En coupe transversale, on voit s'intercaler, au milieu de l'alunite, des parties de plus en plus nombreuses de trachyte pyriteux, l'alunite se réduisant à des veines de plus en plus minces, qui cessent l'une après l'autre; en coupe longitudinale, l'apparition du trachyte pyriteux se fait à des niveaux variables suivant les points, en sorte qu'une galerie de niveau A. B. (fig. 42) se trouve rencontrer des bosses de trachyte pyriteux (B.) entre deux parties d'alunite.

Ce trachyte pyriteux est donc certainement la forme pro-

fonde de l'alunite, qui disparaît là ou cesse son altération superficielle. Cette altération suit, d'ailleurs, les lois ordinaires que l'on observe dans les réactions du même genre. Par exemple, on trouve, avec l'alunite comme avec les kaolins, deux formes de silice : d'abord des grains de quartz constituant le résidu de l'attaque des roches feldspathiques et ensuite du quartz emprunté à la dissolution des silicates, dissous en même temps que le sulfate double d'alumine et de potasse et recristallisé avec lui. L'alunite apparaît donc mélangée de quartz cristallisé et l'entraînement de cette silice dissoute vers la profondeur fait que la proportion de quartz dans les filons augmente quand on s'enfonce. Le filon d'alunite semble alors devenir de plus en plus quartzeux. On observe le même phénomène, soit dans les kaolins, soit dans les filons de phosphorite d'Espagne, soit dans certains filons de manganèse ou de barytine, qui doivent représenter d'autres cas de réactions analogues.

En même temps, la baryte, qui pouvait se trouver associée à la chaux et aux alcalis dans les feldspaths de la roche, s'est, comme toujours, concentrée dans ces réactions superficielles et l'on a des cristallisations secondaires de barytine dans certains chantiers (niveau 390). D'une façon générale, on retrouve, dans l'alunite, tous les éléments basiques des feldspaths, dont la proportion relative est seulement modifiée suivant les lois que j'ai indiquées autrefois, par élimination des éléments solubles et, accessoirement, des éléments qui entrent moins aisément en dissolution : donc augmentation de la potasse par rapport à la soude (12 p. 100 de sulfate de potasse en moyenne contre 2 p. 100 de sulfate de soude),¹ de la baryte par rapport à la chaux (1 p. 100 de l'ensemble), du manganèse par rapport au fer, etc.

La formation du kaolin et celle de l'alunite étant deux types divers d'un phénomène identique, le passage de l'un à l'autre mode d'altération se manifeste constamment et la limite des veines d'alunite dans le sens longitudinal se fait souvent par la substitution du kaolin à l'alunite : la veine primitive, qui a donné les deux minéraux par altération, ayant, en ce

¹ On peut aller à 16 p. 100, de sulfate de potasse. L'alunite pure en contient 21 p. 100 et l'on a des minerais à 90 p. 100 d'alunite.

point, cessé d'être pyritisée. Il existe, aux affleurements, des carrières de kaolin au milieu des carrières d'alunite et, en profondeur, on rencontre souvent des poches kaolinisées.

Enfin, dans ces réactions altérantes, on a eu, pour l'oxydation des pyrites, les deux formes ordinaires de la peroxydation et de la dissolution, que l'on retrouve, par exemple, dans les gîtes calaminaires dûs à une semblable origine. De même qu'on a des calamines rouges, des calamines blanches et des terres calaminaires, de même on a ici de l'alunite rouge, de l'alunite blanche (que l'on trie avec grand soin à cause de l'importance d'éviter le fer, dans la fabrication de l'alun), ou encore des terres jaunâtres d'alunite, parfois accompagnées de kaolin.

L'alunite rouge se trouve ainsi associée au trachyte rouge, sous l'alunite blanche associée au trachyte blanc, non parce qu'il y a là deux types différents de trachyte superposés, dont dérivent deux types d'alunite, mais parce que la zone où l'on se trouve est, dans le premier cas, celle de la peroxydation, dans l'autre, celle de la cémentation. De même, quand on ouvre un chantier nouveau dans un trachyte pyriteux, on voit, avec l'accès de l'air, l'altération commencer à se manifester par des taches d'oxyde de fer avec des cristallisations de sulfate. La rencontre du niveau hydrostatique semble accompagnée d'un dépôt d'oxyde de fer correspondant à une circulation très active des eaux superficielles.

On peut observer également, en s'approchant d'une faille qui limite soudain les travaux à tous les niveaux, que l'alunite devient très blanche, mais se charge de plus en plus de quartz. La circulation des eaux par cette faille a donc dû entraîner un départ du fer et un apport de la silice, etc.

En résumé, l'origine secondaire de l'alunite et son caractère relativement superficiel (peut-être localisé à ce qui était, au moment de sa cristallisation, la zone de cémentation) ne paraissent donc guère contestables. Mais il reste un point obscur, c'est la nature exacte et l'origine précise de ces zones filoniennes de trachyte pyriteux, qui, localisées au milieu d'un trachyte exempt de pyrite, ont dû provoquer, jusqu'à une certaine profondeur, la cristallisation de l'alunite.

On a parfois, comme je l'ai dit, les filons d'alunite absolu-

ment nets encaissés dans un trachyte bien dur et que l'on peut alors exploiter jusqu'à 0m. 80 de largeur minima. Il est presque impossible, dans ce cas, d'imaginer une altération partielle d'un simple filon de pyrite plus mince, encaissé dans le trachyte, qui aurait réagi par substitution sur le trachyte encaissant; on est à peu près forcé d'admettre, au contraire, que les réactions ont porté sur un filon déjà bien défini et limité, auquel l'imprégnation pyriteuse se sera, pour une cause quelconque, trouvée limitée, et, par exemple, un quartier de roche disloquée compris entre deux failles ayant servi de chenaux aux eaux ascendantes, ou encore une veine postérieure de quelque trachyte pyriteux plus feldspathique, analogue à ces granulites pyriteuses qui forment des filons dans le champ aurifère de Berezowsk et jouent ainsi un rôle analogue à celui des veines de pegmatite dans la kaolinisation des grands massifs granulitiques. Ailleurs, il est vrai, et même dans la plupart des cas, l'alunite, au lieu d'être encaissée dans du trachyte dur, est en contact avec du trachyte décomposé mais le contraste n'en existe pas moins; l'altération de ce trachyte encaissant est une kaolinisation, non une formation d'alunite, c'est à dire qu'il ne contenait pas de pyrite susceptible de fournir de l'acide sulfurique à ses éléments alcalins et alumineux. Là encore, la pyrite devait donc se trouver limitée à la veine que nous trouvons aujourd'hui à l'état d'alunite. Enfin il faut signaler des mouvements du sol postérieurs à la cristallisation même de l'alunite, qui est coupée par des failles et présente des miroirs de glissement intérieurs. J'ai déjà signalé une grande faille, qui limite les travaux. Ailleurs, on trouve fréquemment, dans l'alunite, des liens d'argile ferrugineuse, qui occasionnent des éboulements.

Le minerai résultant de ces phénomènes est extrêmement polymorphe. Tantôt l'alunite est cristallisée en baguettes, tantôt elle est en boules radiées; ailleurs elle forme des masses blanches comme pétrosiliceuses, qui s'efflorissent à l'air en des terres jaunâtres.

**IX.—Les manifestations hydrothermales actuelles du champ
de fractures toscan et les soffioni.**

Le même système d'accidents Nord-Sud, qui a donné lieu en Toscane à tant d'incrustations métallifères, livre aujourd'hui passage à de très abondantes manifestations hydrothermales et l'on retrouve, dans ces venues d'eau chaude, le même rôle des failles et des contacts entre terrains de perméabilité différente, sur lequel je viens d'insister pour les minerais, avec quelques particularités qui permettent de mieux expliquer la genèse de ces derniers. Parmi ces sources chaudes, quelques unes, d'une abondance et d'une température extraordinaires, forment les soffioni toscans, qui constituent eux-mêmes un gîte minéral utilisé. Il y a lieu de remarquer le rapprochement de ces soffioni à acide borique et des gisements de mercure, qui se retrouve également en Californie et qui peut ne pas être accidentel. D'autres sources chaudes ont été rencontrées dans la mine métallique de Boccheggiano sur le filon même et, bien que le cas ne soit nullement exceptionnel, ayant été constaté notamment au Comstock, à Schemnitz, à Gross Chirna près Freiberg, à la Sierra Almagrera, etc.¹ bien que je ne croie pas non plus qu'il faille y voir, comme on l'a parfois supposé, la continuation sous nos yeux de l'ancienne incrustation métallifère, les exemples de ce genre sont néanmoins intéressants à signaler et à grouper. Ces venues thermales de Boccheggiano ont donné lieu de plus à quelques remarques fort utiles pour un autre sujet : à savoir pour le mode de circulation des eaux souterraines et pour le mode de relation des divers griffons hydrothermaux alimentés par la même venue profonde (influence réciproque des travaux exécutés sur l'un d'eux, etc.) Je vais donc indiquer ici quelques observations sommaires sur ces divers points.

Les sources thermales, que nous envisageons ici, se trouvent sur un système d'accidents Nord-Sud, dont, comme je l'ai déjà dit précédemment, il ne serait pas impossible que

¹ Voir quelques autres exemples de ce genre dans Beck, *Traité des gisements métallifères* p. 489

le prolongement intervient dans l'abondance des dégagements hydrocarburés de la région du Chero en Emilie.

En Toscane, le principal groupe de ces sources chaudes est celui des nombreux soffioni de la région de Larderello, Monte Rotondo, etc.¹

Il y a, dans cette région, plusieurs alignements Nord-Sud, sur lesquels les soffioni sont localisés et leur relation avec des cassures profondes, qui apparaît déjà par leur position ordinaire sur des contacts par faille entre terrains hétérogènes, est également mise en évidence par la façon dont ces jets de vapeur se produisent le long d'une semblable ligne, à des altitudes différentes, indépendamment du profil orographique et de la pression hydrostatique qui en résulte.

Une première ligne de soffioni part de Larderello aux environs de Monte Cerboli, passe au Bagno al Morbo et atteint Castelnuovo di Val di Cecina; une seconde est celle du Sasso et de Monte rotondo; une troisième passe à Serrazzano, Lusstignano et Lagoni Rossi.

Le phénomène, qui se produit là, est suffisamment connu pour qu'il soit inutile de le décrire une fois de plus.² De tous les côtés, dans ce pays, il sort du sol des jets de gaz naturels à haute pression, qui ont donné l'idée de l'exploitation industrielle, où l'on va chercher ces venues hydrothermales profondes par des sondages de 20 à 30 mètres. On atteint ainsi des vapeurs allant de 100 à 175° et, par conséquent, à haute pression

¹ Voir la feuille au 100,000 de Massa Marittima.—*Gîtes métall.* I. 251 à 252.—1870. —FOTQUÉ ET GORCEIX. *Sources de gaz des Apennins et lagoni de la Toscane* (Ann. Sc. geol. t. II p. 88 à 94).—1896. DE STEFANI *I soffioni boraciferi della Toscana* (Mem. Soc. Geogr. ital. p. 410 à 435).—1899. L. DE LAUNAY. *Sources Thermo-minérales*, p. 36.—1900. LOTTI. *Soffioni boraciferi della Toscana* (Rassegna miner. XII. Turin 7 p. 3). 1900.—D'ACCHIARDI. *Acido borico e borati dei soffioni*. (Ann. delle univ. Toscane. 36 p.).

² Cette industrie des soffioni, dont j'ai donné un bref aperçu dans la NATURE du 26 Août 1905, est dans une situation peu prospère par suite de la concurrence des grands gisements de Borates d'Asie Mineure, du Chili, de Californie, etc.

En 1901, on a produit environ 2,500 tonnes à raison de 380 francs la tonne.

En 1902, la valeur du produit a sensiblement baissé de 380 fr. à 320 fr. Douze exploitations en activité ont donné 2,763 tonnes d'acide borique brut, représentant, à raison de 320 francs la tonne, 884,000 francs. 1,783 tonnes ont été exportées à l'état brut; le reste a servi à fabriquer 238 t. d'acide borique raffiné à 500 fr. et 375 tonnes de borax. L'Italie a, par contre, importé, pour sa consommation, environ 450 t. de borax. Enfin il a été produit 402 tonnes de sulfate d'ammoniaque à 300 fr. En 1904, la production d'acide borique brut a été encore de 2,624 tonnes, mais estimées seulement 289 francs, soit 734,000 francs. Les exploitations sont, en dehors de F. de Larderello et C., qui a groupé les principaux sondages, Giorgio Fossi de Castelnuovo et Sasso, Eredi Durval de Monte rotondo et la Sté. Générale des borax à Sant' Antonio.

(jusqu'à 6 atmosphères), qui jaillissent avec une intensité extraordinaire. Dans la minéralisation de ces eaux entre une assez forte proportion de sulfates et d'acide borique avec de l'hydrogène sulfuré, de l'acide carbonique, etc., et l'idée naturelle, quand on constate leur rapprochement avec la formation sulfogypseuse, qui fournit près de là les sels, les gypses, les albâtres de Volterra, est que l'on a affaire à la dissolution profonde d'un dépôt géologique de borates associé avec ces gypses et ces sels. Cependant l'aspect volcanique du phénomène, le degré géothermique très faible que laisse, en tout cas, supposer cette haute température de la vapeur enfin et surtout la position des soffioni dans un district très localisé entouré de manifestations volcaniques (fig. 11) sur le même système de fractures, qui, plus au Sud, conduit aux intrusions éruptives récentes et, plus au Nord, se trouve encore jalonné par les imprégnations cinabrifères de Jano et Ripa (cinabre en relation si fréquente avec l'éruptivité) peuvent également laisser supposer la continuation d'une activité volcanique profonde, une sorte de solfatare, un dégagement direct de fumerolles.¹

Quoiqu'il en soit, le rôle des contacts par faille est ici, comme pour les filons métallifères de la région, très nettement manifeste; par exemple entre Sasso et Monte Rotondo, la zone des lagoni s'intercale entre l'Éocène et le Lias. Peut-être aussi y-a-t-il relation avec les pointements de roches vertes.

Dans la même région toscane, où se trouvent les lagoni, diverses autres manifestations gazeuses ou hydrothermales peuvent être à en rapprocher. Nous allons voir que, sur le prolongement Sud, la source chaude de la mine de Boccheggiano renferme des traces d'acide borique. Sur le prolongement Nord, on a trouvé, à Monte Catini, loin des travaux de la mine de cuivre et en plein calcaire, des dégagements d'hydrocarbures, assez abondants pour avoir obligé à prendre des lampes de sûreté. Les fissures du calcaire étaient là entièrement tapissées d'un enduit noir semblable à une matière organique et l'analyse des eaux, où avaient barbotté ces gaz, donnait des traces de

¹ Le bore est un élément connu des fumerolles. On en trouve, sous la forme de tourmalines, soit dans les pegmatites qui entourent le granite de l'île d'Elbe, soit dans le granite même du Campigliese. Voir également les granulites à tourmaline de la Cima d'Asta ou celles de Meymac (Corrèze).

bore. Toujours sur la même zone, les recherches de mercure de Jano, situées comme je l'ai dit sur une faille de décrochement, ont rencontré de grosses sources profondes d'acide carbonique gazeux, oxydation probable d'hydrocarbures. Puis vient, près de Seravezza, le cinabre de Ripa accompagné d'hydrocarbures et l'on rejoint ainsi la zone petrolifère de l'Emilie avec ses jaillissements d'hydrogène carburé ou d'acide carbonique, ce qui pourrait conduire à établir une relation entre tous ces phénomènes.

A Borgallo, près de Borgotaro, sur la ligne de Parme à la Spezia, un tunnel, exactement placé sur la ligne par laquelle nous avons enveloppé les manifestations éruptives et cinabrifères de l'Italie, a donné lieu à un coup de grisou en plein terrain éocène sans trace de charbon apparente.¹

Dans le même ordre d'idées, il convient de remarquer que les sources thermales se multiplient quand on arrive à la région éruptive à gisements cinabrifères du Monte Amiata (Bagni San Filippo, etc.), puis à celle de la campagne romaine.

Autour de Massa Marittima, où les roches éruptives n'apparaissent pas, ces sources chaudes sont plus rares mais de grandes circulations d'eaux souterraines se font par l'intermédiaire des calcaires caverneux du Rhétien et peuvent contribuer, quand les circonstances s'y prêtent, à venir alimenter des sources thermales. Il existe, par exemple, au petit lac de l'Acchessa, au Sud de Boccheggiano, une source semblable donnant 150 litres par seconde au contact du calcaire rhétien. Au S.O. de Massa Marittima, à Venello et Arona, deux sources à 22° donnent ensemble 100 litres. Une autre source abondante à 21° se trouve au S.E. de Ciciano, dans la vallée de la Merse (N.E. de Boccheggiano), toujours le long du même calcaire, etc. etc.

La mine de la Fenice donne lieu également à quelques observations intéressantes sur la circulation profonde des eaux. On voit, dans cette mine, sur la longueur des galeries qui est de 2 kilomètres, le niveau de l'eau s'établir avec la régularité de vases communicants et une galerie d'écoulement a asséché

¹ Ces divers indices pourraient donner lieu de penser que, sur les hautes vallées du Chero et du Taro, des sondages un peu profonds rencontreront peut-être un jour des gisements pétrolifères plus importants.

des sources à 6 kil. de là. Ces relations visibles entre les eaux souterraines de toute la région paraissent attribuables à l'existence en profondeur des calcaires rhétiens fissurés et caverneux, dont nous venons déjà de signaler le rôle et par lesquels s'établirait une communication générale. On espère, d'ailleurs, en avoir la preuve encore plus directe en asséchant, par le moyen des travaux de la Fenice, les anciens puits du filon de Serrabottini, situé un peu plus à l'Ouest et le long duquel ce calcaire reparait au jour.

Enfin, comme je l'ai annoncé en commençant, il y a lieu d'insister spécialement sur les observations concernant la circulation actuelle des eaux souterraines le long du filon de Bocchegiano.

Cette circulation présente là une intensité toute spéciale et les venues d'eau ont occasionné, pour l'exploitation, des difficultés considérables.

On a d'abord trouvé, en s'enfonçant, au niveau 345, d'abondantes venues froides et, par conséquent, d'origine superficielle tombant par des fissures. Puis, en arrivant au mur du filon, on a recoupé deux sources thermales, au contraire ascendantes, situées à 2 mètres l'une de l'autre sur de petites fissures distinctes et présentant, malgré ce rapprochement immédiat, une température très sensiblement différente: 36° pour l'une, 45° pour l'autre (avec disparition de la pyrite dans le quartz voisin comme au mur du filon ou niveau 320).¹

Ces griffons, que l'on peut observer aisément, montrent bien le rôle joué dans la circulation des eaux thermales par des fractures, qui n'ont souvent pas un centimètre de large, à la condition qu'elles s'enfoncent assez en profondeur et aussi l'indépendance presque complète que peuvent accuser deux rameaux divergents manifestement émanés de la même venue profonde. Les constatations faites 25 mètres plus bas, au niveau 320 au dessus de la mer, ont encore mieux manifesté l'application de la même loi.

A ce niveau 320, on s'attendait à retrouver la source thermique du niveau supérieur en arrivant au mur du filon; mais le

¹ Voir plus haut, page 638.

travers-bancs, par lequel on cherchait à atteindre le filon, étant percé en pleins schistes permien, on ne croyait avoir encore rien à craindre, quand brusquement, à 60 mètres du filon, on est venu recouper une cheminée hydrothermale, par laquelle l'eau a brusquement fait irruption et noyé deux niveaux de la mine. Cette eau chaude à 45 degrés avait une pression d'environ 10 atmosphères et un débit de 1 mètre cube par seconde. Elle est montée de 25 mètres en 6 heures jusqu'au niveau de 345; puis elle a mis encore 18 heures pour atteindre le niveau 370, où les pompes ont pu la maîtriser.

Par un contre-coup assez naturel, la source du niveau 345 a brusquement disparu lorsqu'on a recoupé, 25 mètres plus bas, une fissure qui était pourtant dans une position différente à 60 mètres du filon et, j'ajoute aussitôt que, bien que l'on ait maîtrisé la source thermale au moyen de serremments au niveau 320 et épuisé la mine, par conséquent rétabli sur les venues hydrothermales une charge qui atteint 10 atmosphères, ce nouvel état de choses, reconstitué depuis un an, n'a pas encore ramené l'eau thermale dans cette petite source du niveau 345; cette eau a, sans doute, trouvé, dans les vides créés, une nouvelle issue: ce qui montre, par parenthèse, le danger durable que peuvent présenter, pour les sources thermales, des travaux imprudents ou malintentionnés, par lesquels on vient à en détourner l'émergence.

Sans entrer ici dans les détails techniques de la lutte qu'il a fallu livrer contre ces venues d'eau, j'ajoute seulement qu'on a trouvé, à la recette du puits du niveau de 345, par conséquent 25 mètres au dessus du point d'irruption et 25 mètres au dessous de la surface supérieure de l'eau, une véritable couche de galets de quartz et de pyrite absolument ronds, galets produits par le tourbillonnement dans cette colonne ascensionnelle circulaire qu'avait formée le puits.¹

1 Peut-être un phénomène du même genre est-il entré, pour quelque chose, dans la production de pisolithes calcaires concrétionnés, gros comme des billes, que j'ai recueillis autrefois à la mine de San Giovanni en Sardaigne, dans une faille ayant donné lieu à une semblable circulation des eaux et entièrement remplie de ces pisolithes. M. Martel a recueilli également des galets roulés d'aragonite au fond de l'abîme du Creux du Soucl (Côte d'or).

Il est également curieux de noter que, 25 mètres avant d'arriver à la fissure principale du niveau 320, on avait recoupé une première petite fracture de 2 à 3 centimètres de large, donnant, comme la grande, de l'eau à 45°, mais en faible quantité et qui n'a jamais été influencée par sa voisine, ni quand la pression de celle-ci a baissé lors de son irruption, ni quand cette pression est remontée à 10 atmosphères après le serrement. Enfin le mur même du filon, suivant lequel on avait logiquement traversé les sources du niveau 345, n'a donné, au niveau 320, que des venues d'eau insignifiantes et ces géodes imprégnées d'eau dont j'ai déjà parlé.

L'analyse de ces eaux thermales ne présente qu'une seule particularité: l'existence de quelques traces d'acide borique, 0,016 p. 100, dans la source à 36° du niveau 345, et 0,007 dans la source à 41° du même niveau. Il y a, en outre, 0,50 de sulfate de chaux, 1,10 de carbonate de chaux, 0,026 de sulfate de potasse, 0,023 de chlorure de potassium, 0,01 de chlorure de sodium.

Ces traces d'acide borique, étant donnée la proximité des fameux lagoni, font immédiatement songer à une connexion mais il est plus probable que l'eau souterraine a recueilli ces traces de borates, de chlorures et de sulfate de chaux dans les sédiments tertiaires qu'elle aura traversés.

On voit, en résumé, que le cas de la mine de Boccheggiano présente quelque rapport avec les irruptions d'eau thermale venant de Teplitz dans les mines de lignite de Brux, décrites autrefois par moi¹ d'après les travaux de M. Fr. Suess.

Cette source thermale de Boccheggiano fait partie d'un ensemble de nombreuses sources chaudes situées dans la même région et qui, pour la plupart, viennent sourdre sur des failles Nord-Sud, analogues à celle qui, à Boccheggiano, s'est trouvée minéralisée.

Les principales de ces failles sont celles sur lesquelles jaillissent les nombreux soffioni de la région de Larderello, Monte Rotondo, etc.

Vers le Sud, la région du Monte Amiata présente quelques

¹ *Annales des Mines* août 1899, 36 p. et 1 pl.

sources thermales importantes, telles que celle de Vignone San Querico Dolce, la source sulfureuse de Bagni San Filippo à 43°, qui a donné un puissant dépôt de travertin, les sources sulfureuses de l'Abbadia et de Polleraia, la source saline de Bagnole à 6 kil. de Santa-Fiora, etc. Nous avons vu, en outre, qu'il existe, autour des anciennes mines de mercure du Siele ou dans leurs travaux mêmes, une quantité de sources thermales à 30° avec dégagements d'hydrogène sulfuré, de carbure d'hydrogène et d'acide carbonique, dont l'origine n'est peut-être pas aussi exclusivement superficielle qu'on l'a prétendu.



INDEX DES PRINCIPAUX NOMS GEOGRAPHIQUES

	Pages.
A	
Abbadia.....	670 671
Agordo.....	578
Albo (Mt.).....	564
Allemont.....	582
Alleverd.....	582
Allumière.....	680
Altenberg.....	575
Amiata (Mt.).....	667
Anniviers.....	583 585
Anzasca (Val.).....	585
Aoste.....	586 595
Apuanes (Alpes).....	599
Arbus.....	601
Argentario (Mt.).....	630
Argentella.....	601
Argentiera.....	599
Argentière.....	582, 584 599
Arona.....	600
Auris.....	582
Auronzo.....	580
Avala (Mt.).....	581
Avanza (Mt.).....	580

	Pages.
B	
Bagni S. Filippo.....	690 693
Bagno al Morbo.....	688
Bagnole.....	694
Balme.....	583 597
Banat.....	595 665
Bardeneto.....	597
Bardonèche.....	595
Belluno.....	577 578
Bergamo.....	577
Bazgonasio.....	597
Biella.....	577
Bleiberg.....	579
Bocchegiano.....	628, 632 691
Bolsène.....	670
Borgallo.....	690
Borgotaro.....	690
Bormettes.....	601
Bottino.....	599
Brenner.....	576

	Pages.
Brissogna.....	586
Brosso.....	595
Buche al ferro.....	631

	Pages.
C	
Calamita.....	659
Calanda.....	572
Calendozio.....	650
Calvi (Monte).....	630
Campiglia marittima.....	630
Capalbio.....	669
Capanne vecchie.....	629 641
Gap Garonne.....	564, 600 602
Capo bianco.....	668
Capo d'Arco.....	655
Carraca.....	599 631
Casali.....	597
Castel del Piano.....	673
Castel di Pietra.....	629
Castel fiorentino.....	625
Castellazzara.....	607
Castellina marittima.....	604
Castliao.....	598
Cava del Plombo.....	680
Cave vecchie.....	682
Ceres.....	586
Ceresole.....	586
Cerisier.....	600
Cettine di Cotoriglano.....	626 670
Chalanches.....	582 584
Charontes.....	600
Chateauwoux.....	582
Chazelet.....	582
Chemin (Mt.).....	585
Chero.....	690
Cielano.....	690
Cividale.....	580
Civita Vecchia.....	670
Cogne.....	596
Cogolin.....	601
Combe de Theys.....	582
Cormono.....	580
Cornacchino.....	678
Corse.....	593