

LA GENÈSE DES GISEMENTS CUPRIFÈRES

DES

DÉPOTS OPHIOLITQUES TERTIAIRES DE L'ITALIE

PAR

B. LOTTI

Ingénieur au Corps des Mines

traduit du manuscrit italien par M. Alb^t Cocheteux

Ingénieur honoraire des Mines.

On groupe ordinairement sous le nom d'ophiolitiques diverses roches péridotico-pyroxéniques se rapportant aux trois types principaux de la serpentine, de l'euphotide (ou gabbro) et de la diabasé. Elles se présentent toujours intimement liées entre elles et se trouvent disséminées dans toute la formation calcaréo-argileuse éocène de l'Italie supérieure et centrale.

La forme amygdaloïde de ces masses ophiolitiques, et leur position constante dans des sédiments éocènes de la même nature lithologique, autorisent à conclure qu'elles sont contemporaines de ces formations stratigraphiques. Tous les géologues, tant italiens qu'étrangers qui ont étudié ces roches ophiolitiques, sont du reste parfaitement d'accord sur leur âge tertiaire.

Leur origine éruptive ressort clairement soit de la nature même de ces diverses roches et des phénomènes qu'elles présentent, soit de la forme de leurs masses ; en effet la serpentine n'est que de la lherzolite hydratée, car l'on trouve encore çà et là des fragments non altérés de cette dernière roche (1).

La diabase est un basalte plus ou moins altéré et présentant

(1) L. MAZZUOLI. *Formaz. ofiolit. della valle del Penna*. (Boll. geol. XV, 1882.) et L. BUSATTI. — *Studi petrograf.* (Proc. verb. Soc. tosc. sc. nat. V, 1885).

comme lui les variétés à olivine et à hypersthène, ainsi que les structures porphyriques, cellulaires, amygdaloïdes et variolitiques. Certains échantillons de diabase présentent des inclusions vitreuses dans le pyroxène ainsi que des cristaux de Hauyne (1). Quant à l'euphotide, les études pétrographiques nous ont appris à la considérer uniquement comme un mode spécial de cristallisation de la diabase.

Ces roches se présentent toujours dans la même position relative. La diabase forme la partie supérieure de la masse ophiolitique, tandis que la serpentine associée à la lherzolite se trouve à la partie inférieure, et l'euphotide au milieu, sous forme de lits amygdaloïdes discontinus (2). On les trouve encore en filons les unes dans les autres, et dans ce cas l'euphotide traverse la serpentine, et toutes deux sont recoupées par la diabase (3). Jusqu'à ce jour, il n'a pas encore été observé d'intrusions manifestes de serpentine ou d'euphotide dans les roches sédimentaires, ce n'est qu'à l'île d'Elbe, près du cap Stella, que j'ai pu voir clairement la diabase injectée dans les calcaires éocènes (4).

En divers points, les roches ophiolitiques ont produit des altérations dans les roches sédimentaires éocènes, mais seulement à leur contact immédiat, donnant naissance à des minéraux à base d'épidote, de grenat, et de pyroxène, silicifiant les roches argileuses, ou rendant spathiques et dolomitiques les roches calcaireuses (5); de plus on observe, emprisonnés dans la serpentine et dans l'euphotide, des fragments calcaireux ou argileux, les uns absolument inaltérés, les autres devenus spathiques ou siliceux (6).

Pour tous ces motifs, et pour d'autres encore, qu'il serait trop long d'énumérer ici, nous pouvons considérer comme incontestablement prouvée la nature éruptive des roches ophiolitiques tertiaires de l'Italie, contrairement à l'opinion de quelques géologues qui les ont considérées comme des dépôts d'origine chimique, ou comme le produit du métamorphisme de roches sédimentaires.

Parlons maintenant des minéraux cuprifères que contiennent ces roches et de leur mode de gisement.

Notons d'abord qu'il n'y a pas de masse ophiolitique, si petite qu'elle soit, qui ne présente de trace de minerais cuprifères, et tout au moins

(1) A. D'ACHIARDI. *Il gabbro-rosso* (Proc. verb. etc. II, 1882.)

(2) B. LOTTI. *Descr. geol. dell' Isola d'Elba.* (Mem. descr. della Carta geol. d'Italia II, 1886.)

(3) IDEM. *Filoni di diabase, etc.* (Boll. geol. XVII, 1884.)

(4) IDEM. *Descr. geol. Isola d'Elba.* (Ibidem.)

(5) IDEM. *Ibidem.*

(6) IDEM. *Ibidem.*

un enduit superficiel de carbonate vert, si l'on n'en trouve pas dans l'intérieur de la masse. Un examen attentif des nombreux affleurements cuprifères des masses ophiolitiques montre que toutes les roches qui les composent ne présentent pas des traces ou des accumulations du minéral, et que les unes sont moins spécialement imprégnées, les autres le sont davantage et d'autres enfin ne le sont pas. Disons de suite que la serpentine basique provenant de la lherzolite n'est jamais métallifère, que la diabase l'est rarement et que l'euphotide au contraire est le siège principal des minerais de cuivre. Une simple inspection des nombreuses excavations faites dans le but de rechercher le minerai prouve ce fait à l'évidence, puisque toutes ou presque toutes sont pratiquées dans l'euphotide ou dans des roches qui en dérivent par altération. Si l'on consulte encore le très intéressant mémoire de M. Perazzi sur les gisements de cuivre qui se trouvent dans les montagnes serpentineuses de l'Italie centrale (1), on s'aperçoit de suite que les nombreux gisements étudiés se trouvent dans l'euphotide ou dans la diabase, à son contact avec cette dernière roche, pourvu que l'on remarque ce fait, que l'auteur nomme *roche métamorphique* la diabase, et *serpentine de seconde éruption* une roche serpentineuse qui n'est autre que l'euphotide ou la diabase altérée, et que M. Savi a nommée serpentine de seconde éruption, parce que, comme l'euphotide et la diabase, elle traverse la vraie serpentine lherzolitique, et que même elle est postérieure à l'euphotide et à la diabase parce qu'elle est, comme nous l'avons dit, le produit de leur altération et présente par conséquent l'aspect d'une roche qui se serait intrusée dans ces deux premières.

L'euphotide se présente, ainsi que nous l'avons dit, en masses lenticulaires de peu d'épaisseur, constamment situées entre la diabase et la serpentine, et les mouvements orogéniques tertiaires ayant affecté ces roches rendent leurs points de stratification fortement inclinés ou même verticaux, d'où il suit que les gisements de cuivre qu'elles contiennent se présentent sous l'aspect de filons d'injection ou interstratifiés et peuvent être confondus avec ceux-ci. Il est à noter en outre que l'une ou l'autre des roches constituantes peut faire défaut dans la masse ophiolitique, et alors l'on peut voir les exploitations de matière métallifère entre la diabase et les roches sédimentaires du lit, à cause de l'absence de la serpentine ou bien entre la serpentine et les roches du toit, à cause de l'absence de la diabase.

(1) Mem. Acc. sc. di Torino, Ser. 2, XXII, 1864.

(2) B. LOTTI. *La miniera cuprifera di Monticutini* (Bull. geol. XVII, 1884) e *Sul giac. cuprif. di Montecastelli* (Ibid. XVIII, 1885).

Les minéraux métallifères contenus dans les roches ophiolites sont surtout des sulfures de cuivre; la chalcopyrite, la philipsite, et la chalcosine; la pyrite de fer, et comme minéral accessoire, mais rare, la blende. Ils sont disséminés en menues parcelles dans l'euphotide, réunis en veines dans ses fractures, ou encore en masses sphéroïdales dans une argile stéatiteuse, produit de décomposition de l'euphotide elle-même.

Dans diverses minières de la Ligurie, le minéral est presque exclusivement constitué de chalcopyrite, unie à la pyrite de fer, et uniformément disséminée dans la roche.

Le même fait se vérifie dans divers gisements des Apennins du pays de Parme; en Toscane, au contraire, les minéraux se trouvent plutôt concentrés en nodules de diverses grosseurs, de structure concentrique, avec la chalcopyrite au centre, et une enveloppe de philipsite ou de chalcosine à l'extérieur. Il y a cependant aussi des nodules qui présentent la disposition inverse, ou sont constitués par deux portions hémisphériques de chalcopyrite et de philipsite; ou bien encore le nodule est composé de noyaux de philipsite soudés par de la pyrite. Le nodule est à noyau de calcite, avec une géode souvent remplie d'eau.

En brisant de gros nodules de philipsite provenant de la mine de Montecatini, dans la vallée de Cecina, on trouve de petits cristaux de chalcosine des plus parfaits, et qui semblent manifestement être un produit secondaire.

Le mode de gisement des minéraux, que nous venons d'exposer, est prédominant dans les gisements ophiolitiques de la Toscane, mais il n'est pas le seul; ainsi dans un même gisement, quoique se trouvant déjà à l'état de nodules, le minéral se montre encore çà et là disséminé dans l'euphotide, et l'on a ainsi de beaux exemples d'où il résulte que l'état de concentration ou de dissémination du minéral dépend de l'état plus ou moins avancé de la décomposition de sa gangue.

Dans la plus grande partie des minières, celle-ci est formée d'une argile stéatiteuse, qui est le produit de décomposition de l'euphotide dont on retrouve des fragments inaltérés, englobés dans la masse.

En beaucoup de points on peut observer que le passage de l'euphotide inaltérée à l'argile stéatiteuse, se fait de la façon suivante: la diallage se change en serpentine (1) et le feldspath labradorite en saussurite. Dans cet état les deux minéraux montrent une tendance marquée à échanger entre eux les éléments produisant une roche stéatiteuse, de

(1) On trouve disséminés dans l'euphotide des granules d'olivine, qui contribuent sans aucun doute, à la serpentinisation de la diallage.

couleur vert clair, qui se désagrège facilement et se réduit en une pâte argilo-magnésienne que les mineurs nomment *Losima* et qui sert de gangue aux nodules minéraux. On y trouve disséminés des granules de calcédoine à structure concentrique, qui sont dus à l'agglomération de matières siliceuses durant le processus de la décomposition.

Il est facile de constater aussi que pendant ce processus, les particules minérales disséminées dans l'euphotide ont subi un transport et une concentration successives. On en trouve un bel exemple dans les gisements cuprifères de Montecastelli, dans la vallée de Cecina ; où, sur un espace des plus restreints, l'euphotide métallifère présente les divers degrés d'altération ci-dessus indiqués.

L'euphotide inaltérée contient le minerai, principalement composé de chalcopyrite, en particules très menues ; l'euphotide serpentineuse à saussurite le contient en veinules et presque toujours à l'état de philipsite ; la roche stéatiteuse vert clair, qui représente le degré plus avancé d'altération de l'euphotide serpentineuse, contient des nodules amygdaloïdes de chalcopyrite et de philipsite ; l'argile stéatiteuse, qui est le dernier degré de décomposition de l'euphotide, renferme des nodules plus ou moins sphéroïdaux de chalcopyrite, de philipsite et de chalcosine.

Dans les minières de Montecatini, où prévalent de beaucoup les deux derniers états d'altération de la roche cuprifère, on peut remarquer une petite masse d'euphotide non altérée, à gros éléments, qui présente de çà et de là quelques parcelles de chalcopyrite.

Du reste, il n'y a pas seulement l'euphotide qui soit métallifère ; comme nous l'avons dit précédemment, la diabase peut l'être aussi, bien que, plus spécialement au voisinage de l'euphotide, elle renferme le minéral en particules si menues que souvent l'analyse chimique seule peut révéler sa présence (1), ou en agglomérations irrégulières, même de dimensions assez fortes, comprises entre les sphéroïdes dont la masse est fréquemment composée. Dans ce dernier cas le minéral se présente presque toujours à l'état de chalcosine ou de philipsite, et sa gangue, produit de l'altération et de la décomposition de la diabase, est un composé vert de chlorite et de stéatite (2).

Le produit de décomposition qui constitue la gangue des minéraux cuprifères dans les roches ophiolitiques ne se trouve pas seulement dans

(1) A. D'ACHIARDI. *Sulla presenza del rame nel gabbro-rosso (diabase)*. (Proc. verb. Soc. tosc. Sc. nat. II, 1880.)

(2) Une partie de la silice et des bases servent à former les nombreuses zéolithes qui tapissent les géodes et les fentes de la roche.

la zone minéralisée, mais se rencontre encore partout où se trouve une fente soit dans l'euphotide, soit dans la diabase. Ces fissures sont des plus fréquentes et sont presque toujours accompagnées de failles, que l'on reconnaît au polissage et au striage de leurs parois; il est à noter dans ce cas que l'altération de la roche se produit toujours au lit de la fissure.

La décomposition de la roche, dans un cas comme dans l'autre, est due sans aucun doute à l'action chimique et mécanique d'eaux souterraines, qui ont trouvé plus facilement passage le long des cassures des masses ophiolitiques, et surtout au contact de la diabase — roche absorbante par ses nombreuses lithoclastes — et de la serpentine, roche éminemment imperméable.

Les sources qui jaillissent actuellement des roches ophiolitiques sont presque toutes situées entre la diabase et la serpentine (1), donc précisément dans la zone de l'euphotide. Il est de plus naturel de supposer que lorsque les masses ophiolitiques étaient à une notable profondeur, l'action de ces eaux circulant au travers devait être de beaucoup plus énergique de façon à produire alors non seulement l'altération et la décomposition de la roche, mais encore la dissolution des parcelles métallifères parsemées dans sa masse, et leur concentration en veines et en masses noduleuses concrétionnées.

C'est le moment de se demander si la matière métallifère est venue en même temps que la masse éruptive qui la contient, ou si elle s'y est introduite postérieurement. Le fait de sa dissémination en menues parcelles dans les roches elles-mêmes, et celui de sa présence, ne fût-ce que simplement à l'état de traces dans presque toutes les nombreuses masses ophiolitiques tertiaires de l'Italie, plaident déjà à suffisance en faveur de la contemporanéité du minéral et de la roche éruptive qui le renferme.

On peut ajouter en outre diverses autres considérations à l'appui de cette thèse. On observe d'abord qu'il n'y a jamais de minéraux dans les roches sédimentaires environnantes. A ce propos on peut rappeler l'idée de Reyer (2) que ces roches n'étaient pas appropriées au dépôt du minéral, parce que, sur le territoire de Massa Marittima, ces mêmes roches présentent de nombreuses fissures renfermant des filons cuprifères et plombifères indépendants de la masse ophiolitique. Savi dit, il est vrai, qu'il a lieu de croire que la formation des filons cuprifères est postérieure à celle de la roche ophiolitique qui les ren-

(1) B. LOTTI. *Descr. geol. Elba*, p. 75.

(2) E. REYER. — *Aus Toskana*, 1882.

ferme, pour la bonne raison que ces filons pénètrent tant dans la roche éruptive que dans la roche sédimentaire métamorphosée, qu'il appelait pour cela le gabbro rouge, et pour la considération que la gangue du minéral est de composition chimique différente de celle de la serpentine avoisinante.

Mais le premier fait est basé sur une fausse interprétation de la nature du gabbro rouge que l'on a depuis universellement reconnu être une diabase altérée, et l'autre fait perd sa valeur si l'on réfléchit que la gangue du minéral provient de la décomposition de l'euphotide et de la diabase, qui sont toujours beaucoup moins magnésifères que la serpentine. Déjà Pilla en 1845 (1), contrairement à Savi, avait remarqué que le filon de Montecatini ne recoupait pas les roches encaissantes, mais leur était contemporain; il considérait la *losima* ou argile stéatiteuse comme le produit de l'action que la masse minérale dut opérer sur la matière ophiolitique pendant les mouvements orogéniques. Vom Rath (2) fut aussi de cet avis quand il supposa que ce filon était à l'origine un silicate anhydre de magnésie avec des particules minérales disséminées dans la masse, et que pendant sa transformation en roche serpentineuse il se produisit dans l'ensemble des mouvements, des divisions et des séparations, pendant lesquelles les particules minérales purent se grouper en sphéroïdes. Von Groddeck également, dans son traité des gîtes métallifères, classait ceux des roches ophiolitiques parmi les gisements de formation contemporaine à celle de la roche encaissante, les rapportant au type de Mednorud Jansk dans l'Oural, et dont voici les caractères : — Inclusions de pyrites, telles que pyrites de fer ou de cuivre, philipsite, etc. ; plus rarement d'autres sulfures, tels que galène, blende, cuivre gris, etc., dans des roches éruptives et spécialement dans des diorites, des gabbros et des péridotites (serpentes). Dans cette localité, c'est un filon de diorite de 60 mètres qui contient la pyrite de fer, la chalcoppyrite, la philipsite, la chalcosine et divers oxydes de cuivre (3).

Bien que plus rarement, les roches absolument volcaniques ont été reconnues métallifères en divers points; ainsi Struever (4) cite de petits grains de chalcoppyrite dans la lave du Capo di Bove, et Ulrich (5) a

(1) L. PILLA. — *Ricch. min. della Toscana*. Pisa 1825.

(2) G. V. RATH. — *Besuch Kupfergr. Montecatini*. (Zeits. d. d. g. Gesells. XVII 1865.)

(3) H. MULLER — *Berg-und Huttenm. Zeit.* 1876.

(4) J. STRUEVER. — *Zeits. f. Krystall.* I, p. 229.

(5) *Berg-und Huttenm. Zeit.* 1859.

trouvé la pyrite magnétique en petits cristaux dans les basaltes de l'Australie. Enfin, moi-même (1) j'ai signalé récemment la pyrite de fer et la chalcoppyrite dans un trachyte quaternaire de Montecatini. La chalcoppyrite, qui prédominait sur la pyrite, se trouvait dans certaines inclusions de quartz hyalin ou disséminée en petits groupements dans la pâte trachytique.

Nous pouvons considérer comme suffisamment démontré que les minéraux cuprifères, et les roches ophiolitiques dans lesquelles ils se trouvent, sont de formation contemporaine; reste à savoir si le minéral se trouva à l'origine uniformément disséminé dans la roche ophiolitique en quantité très petite et s'il s'est concentré postérieurement à sa solidification dans la zone d'altération et de décomposition, ou si la préexistence d'accumulations de minéraux dans cette zone a plutôt contribué au phénomène d'altération, soit par une action directe désagrégante des minéraux eux-mêmes, soit par la structure spéciale, soit par la perméabilité plus grande due à la présence des particules métallifères. Certainement la seconde hypothèse est plus probable, mais la structure concrétionnée des nodules cuprifères montre clairement qu'en tout cas il s'est effectué un transport et une concentration successive de la substance métallifère, et ce phénomène, qui donne le moyen d'expliquer la présence du minéral pur entre les sphéroïdes de diabase, parce que ce sont les endroits qui se sont prêtés à un séjour plus prolongé de la solution minérale, est à considérer indubitablement comme postérieur à la consolidation de la roche éruptive.

L'accumulation du minéral à la base de la formation plagioclasico-pyroxénique, c'est-à-dire dans la zone de l'euphotide, peut s'expliquer en admettant que les particules métallifères, soit irrégulièrement, soit uniformément répandues dans le magma éruptif, s'y seraient déjà agglomérées en vertu de leur poids spécifique avant ou pendant la consolidation de la masse.

Certainement les actions électriques citées par Mazzuoli (2) pour expliquer les combinaisons si variées dans la disposition concentrique des divers sulfures de cuivre n'ont pas été étrangères au phénomène de la concentration du minéral en nodules.

De tout ce qui a été exposé il résulte un *criterium* pour la recherche et jusqu'à un certain point pour l'appréciation des gisements cuprifères dans les roches ophiolitiques, critérium qui manquait de fait jusqu'ici,

(1) B. LOTTI. — *Pirite e calcopirite nella trachite di Montecatini* (Boll. geol. XVIII, 1885).

(2) L. MAZZUOLI. *App. sulla min. di Montecatini* (Bull. geol. XIII 1880).

du moins en tant que formulé scientifiquement, et qui consiste à *considérer l'euphotide, ou la zone de contact entre la diabase et la serpentine, comme siège ordinaire du minéral.*

Si guidé par ce principe on peut arriver à constater l'existence, la forme et la continuité d'un gisement et à fixer en conséquence les travaux nécessaires pour son exploration, on ne peut en aucun cas faire l'évaluation du minéral que contient le gisement; celui-ci, en effet, n'est qu'un élément accessoire de la roche, fréquent si l'on veut, mais pas nécessaire; il peut venir à manquer ou à diminuer en quantité d'un point à un autre; on ne peut donner de règle absolue sur sa continuité soit en profondeur, soit en direction, ni sur l'enrichissement ou la concentration du minerai dans l'intérieur de la masse, ainsi qu'on le croit généralement.

La constance et une sage direction sont les principaux éléments de succès dans les travaux de recherche de ce genre.
