Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 20 (1940)

Heft: 1

Artikel: Les minerais de fer oolithiques du Dogger des Alpes suisses

Autor: Déverin, L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-18399

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Les minerais de fer oolithiques du Dogger des Alpes suisses[1)]

Par *L. Déverin* à Lausanne

L'étude des minerais de fer oolithiques de la Suisse, entreprise il y a une quinzaine d'années à l'instigation de la Commission géotechnique de la Société helvétique des Sciences naturelles, touche à sa fin. Le pétrographe primitivement chargé de cette tâche n'aurait pas réussi à en venir à bout sans le concours de plusieurs géologues déjà connus par leurs travaux sur les régions où se trouvent les gisements. Mais les fruits de cette collaboration ne sont pas tous également mûrs, et l'alignement des comptes-rendus les moins avancés sur ceux qui sont prêts pour l'impression réclamera encore un certain temps. Or les recherches micrographiques sur les minerais du Dogger alpin, actuellement terminées, ayant fourni des conclusions intéressantes concernant la genèse et l'évolution des oolithes ferrugineuses, la Commission géotechnique n'a pas voulu retarder la publication de leurs résultats généraux jusqu'au jour où pourront paraître des descriptions détaillées de chaque gisement, illustrées de nombreux clichés qui fourniront les preuves et les démonstrations des faits allégués dans le résumé qui va suivre. Elle en a donc approuvé le projet. Qu'il nous soit permis de lui offrir ici l'expression de notre vive gratitude.

Les recherches dont les résultats vont être exposés ont porté sur quelque 160 coupes minces tirées de 90 échantillons recueillis dans les localités suivantes:

1. à Chamosentze en Valais, qui a donné son nom à la chamosite;
2. dans les parages d'Erzegg et de la Planplatte, à la limite des cantons de Berne et d'Unterwald;
3. à la Rote Wand, dans l'Urbachtal (canton de Berne);
4. au pied de la Windgälle, dans le Maderanertal (canton d'Uri);
5. en divers points du massif du Glärnisch (canton de Glaris).

[1)] Publié avec l'autorisation de la Commission géotechnique de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Tous ces gisements, dont la constitution remonte aux temps jurassiques, ont été exploités au cours des siècles passés (7) [2]. On n'en peut pas dire autant du petit affleurement de Roggenegg près Ober-Iberg dans le canton de Schwyz, dont l'âge est liasique; ce qui le rend digne d'attention, c'est le degré avancé de l'évolution lithologique auquel il est parvenu à la suite d'une longue exposition aux agents d'altération superficielle: la chamosite qu'il renfermait y est remplacée presque complètement par des minéraux épigéniques.

Terminologie. On appellera ovulite ou grain oolithique la balle ellipsoïdale à écorce stratifiée qui est l'élément caractéristique des roches oolithiques. La règle d'usage adoptée ici n'est autre que celle de BUCHER (1) qui, sans contester le bien-fondé des principes de nomenclature établis par KALKOWSKY (10), a proposé de substituer au disgracieux vocable „ooïde" forgé par celui-ci le terme d'ovulite à la fois équivalent et plus euphonique.

Constituants des minerais. Les irrégularités de leur stratification

Chacun des minerais examinés comprend 3 sortes de constituants principaux:

1. des ovulites dont le cortex, généralement bien stratifié, fait de chamosite verte dans les minerais frais, recouvre un noyau de composition variable et dont la nature sera discuté plus loin;
2. des débris de coquilles et de squelettes d'animaux marins;
3. un ciment ou gangue calcaire constitué en majeure partie par les débris finement moulus des mêmes organismes.

On constate, aussi bien sur le terrain que sur les échantillons vus à l'oeil nu ou sous le microscope, que les grains oolithiques sont répartis dans le sédiment d'une manière qui est loin d'être uniforme ou même régulière. Ils ne sont pas distribués en lits alternant avec des strates où la gangue domine; ils sont entassés en amas d'épaisseur si inconstante que l'on cherche en vain à en évaluer la puissance moyenne. Ce sera, par exemple, une couche épaisse de 5 cm. qui tombe à zéro sur un parcours horizontal d'un mètre, pour se renfler plus loin en lentille grossissant à l'épaisseur du décimètre avant de se disperser en une nuée de grains allant rejoindre les niveaux supérieurs également irréguliers. Cette disposition évoque l'image d'une sédimentation fréquemment interrompue par

[2]) Chiffre renvoyant à la liste bibliographique placée à la fin.

des remous violents, d'un dépôt remis en suspension mainte fois avant de trouver son assiette définitive.

En dépit de ces apparences, les minerais oolithiques n'ont pas le caractère de dépôts littoraux ou paraliens. La proportion de sable qu'ils renferment est infime. En effet, chaque fois que leur désagrégation au moins partielle par l'acide chlorhydrique est possible (ce qui n'est pas fréquent, on verra tout a l'heure pourquoi), on obtient après élimination de la vase un résidu grenu où les minéraux détritiques (quartz, micas blancs avec quelques tronçons de tourmaline, quelques bribes d'amphibole, un peu de zircon) sont des plus rares. Les minéraux authigènes: — quartz, feldspaths, pyrite, magnétite, — en forment souvent une fraction importante, mais généralement moindre que la masse des débris de roche et de fossiles siliceux imprégnés de chamosite qui en constituent le gros. Est-ce à dire que les apports de la terre ferme au dépôt furent négligeables? — Assurément non, car c'est certainement du continent que les sédiments reçurent le fer qui en fit des minerais, fer à l'état d'hydroxyde incorporé à une boue jaune ou rougeâtre apte à prendre en milieu réducteur l'aspect d'une vase bleue comparable à celle qui recouvre certains fonds des mers actuelles.

Organismes fossiles. Les animaux dont les restes fossiles abondent dans les minerais oolithiques étaient de ceux qui prospèrent dans les eaux claires, à l'abri des décharges sablonneuses. Ces êtres ne doivent pas avoir vécu sur l'emplacement des dépôts oolithiques, mais à proximité des fonds où s'accumulèrent les dépôts que nous étudions et dans lesquels s'enlisèrent leurs dépouilles.

Ce sont les Echinodermes qui constituent l'élément dominant de la faune comme dans beaucoup de minerais analogues, de France en particulier (3). Les géologues ont noté, au Glärnisch notamment, combien indécise était souvent la limite entre les brèches à Echinodermes et les roches oolithiques. C'est ce que confirme l'examen micrographique des minerais: ils sont à ranger à côté des calcaires à entroques, dont ils ne constituent qu'un faciès particulier. Ce caractère, bien marqué dans les roches où les débris d'Encrines sont peu morcelés, s'atténue à mesure qu'augmente le broyage de leurs squelettes; en même temps s'accuse le contraste entre les ovulites et leur gangue calcaire. C'est en suivant d'un échantillon à l'autre les progrès de l'attrition des fragments de Crinoïdes que l'on arrive à s'assurer du fait que tous les ciments, même les plus finement moulus, renferment toujours une forte proportion de calcaire échinodermique.

Des débris d'Echinides s'associent fréquemment à ceux des Crinoïdes. Les représentants des groupes zoologiques autres que celui des Echinodermes ne tiennent généralement qu'une place très modeste dans nos roches. Ce sont d'abord les Mollusques, Lamellibranches et Gastéropodes, dont les coquilles sont parfois minées par des Algues perforantes, avec des restes de Bélemnites en quelques endroits, puis des Bryozoaires et des Brachiopodes. Les tests de Foraminifères planctoniques sont assez fréquents, même abondants par places. La présence des Spongiaires est attestée par des spicules très disséminés; elle rend compte en partie de l'existence de la silice opaline dans certains minerais, du quartz authigène dans d'autres. Les valves d'Ostracodes sont des raretés, ainsi que les Lithothamnies.

La chamosite; ses diverses manières d'être dans les roches dont le ciment primitif est conservé

Laissant de côté pour le moment les minerais, fort nombreux, où les ovulites se trouvent pris dans un ciment transformé en une mosaïque de calcite largement cristallisée, on s'occupera uniquement dans ce chapitre des roches dont la gangue a gardé à peu près intact son aspect primitif. Il s'agit, comme on vient de le voir, d'une masse carbonatée faite essentiellement de débris d'organismes moulus. Sa teinte, d'un gris souvent verdâtre sous le microscope, noirâtre sur l'échantillon, est assombrie par divers pigments, dont le plus facile à identifier est la pyrite finement divisée; il y a aussi un peu d'argile, et enfin un autre composant dont il sera question bientôt. De menus éclats de quartz détritique sont semés ici et là.

Un silicate d'un vert plus ou moins vif est largement répandu dans les roches de ce genre: c'est la chamosite. Qu'il suffise de rappeler ici que la composition de cette chlorite est assez bien représentée par la formule $Si_8O_{20}\left\{\begin{matrix}(Al, Fe)_2''' \\ (Mg, Fe_9'')\end{matrix}\right\}(OH)_{16}$. Quant à ses propriétés physiques, optiques et autres, elles seront décrites ailleurs.

La chamosite est le composant principal des ovulites. Constituant essentiel et à peu près unique de leurs écorces, elle en détermine la structure à la fois laminaire et concentrique. La stratification du cortex est généralement bien apparente; elles est rarement marquée jusqu'au voisinage immédiat du centre de l'ovulite. On désignera sous le nom de nucléus ou noyau la masse interne circonscrite par le niveau à partir duquel la stratification de l'écorce cesse d'être nette. La largeur de ce noyau est une fraction du

diamètre équatorial de l'ellipsoïde chloriteux ordinairement comprise entre $^1/_3$ et $^2/_3$.

Le noyau peut être entièrement chamositique ou bien calcaire au moins partiellement. On peut se dispenser de faire état ici des masses silicatées mais non ferrugineuses constituant des noyaux d'une espèce assez rare dont la description trouvera place dans des monographies détaillées. Mais il faut remarquer que jamais on ne trouve dans nos minerais alpins aucun ovulite ayant pour noyau du quartz détritique.

Les noyaux entièrement chloriteux se rangent en 2 catégories:

a) cas normal: masses nucléaires constituée par un amas de paillettes chamositiques, assez grossières au voisinage du cortex et tendant à s'orienter sur lui, plus menues au centre et rassemblées en agrégat complètement désordonné; il est à noter que cette chlorite nucléaire est ordinairement de teinte plus claire que la chamosite corticale;

b) cas exceptionnel: noyaux empruntés à des formations oolithiques d'une génération antérieure: ovulites tronqués, fragments d'écorces stratifiées, petits paquets d'ovulites embryonnaires agglomérés par du ciment chloriteux; leur minéralisation ne diffère guère de celle des enveloppes qui les recouvrent.

Les noyaux carbonatés n'ont jamais la structure oolithique. Ils s'identifient soit à des débris d'organismes calcaires plus ou moins imprégnés de chamosite et pareils à ceux qui sont épars dans la roche, soit à des glomérules de ciment également empruntés au sédiment lui-même. Le moment est venu d'examiner comment la chamosite se développe au détriment des constituants non oolithiques de la roche.

La chamosite dans les débris d'organismes calcaires. A quelque groupe zoologique qu'ils appartiennent, tous les organismes sont susceptibles d'absorber la chamosite. Celle-ci peut constituer un simple remplissage des cavités (loges de Bryozoaires et de Foraminifères, canalicules des tests), ou bien donner lieu en même temps à une imprégnation diffuse de leurs parois, ou enfin se substituer au calcaire zoogène. Ces 3 modes de minéralisation peuvent se présenter simultanément dans les organes hautement différenciés comme les coquilles de Mollusques, par exemple, dont les divers tissus ne se comportent pas de la même façon à l'égard du silicate vert; il en est qui, même chloritisés, montrent encore la disposition typique des éléments anatomiques; d'autres, plus réfrac-

taires à l'invasion par la chamosite, perdent leur physionomie caractéristique dès qu'elle parvient à leur imposer sa présence.

Le calcaire des Echinodermes est celui que se prête le mieux à l'épigénie chloriteuse, évidemment parce que, parmi tous les tissus calcifiés, le squelette de ces animaux est un de ceux qui renferment la plus forte proportion de magnésie (2, 5), élément intégrant de la chamosite. Le processus débute ordinairement par une infiltration de chamosite dans les mailles du réseau anatomique, puis les trabécules qui les séparent se résorbent, laissant dans l'article d'encrine un trou rond, aussi net que s'il était découpé à l'emporte-pièce. La structure de réseau n'est pas forcément détruite, bien que, le plus souvent, elle disparaisse dans cette transformation: la chamosite épigénique se distingue parfois de celle qui pourvoit au remplissage des mailles par sa teinte et par une réfringence légèrement différente, par une propension plus grande à s'altérer, de sorte qu'un débris de Crinoïde, même complètement enrobé dans le silicate vert peut trahir encore son origine, soit par des détails histologiques modelés en chamosite, soit par le comportement optique de la trame calcaire résiduelle.

L'empiètement de la chamosite sur les articles de Crinoïdes revêt souvent une autre allure: au lieu de s'amorcer en quelques points isolés et d'y découper des entailles rondes, elle débute d'emblée sur tout son pourtour. Pour peu que la zone périphérique chloritisée atteigne une largeur appréciable, elle tend à prendre une structure stratifiée, ce qui indique que les progrès de l'épigénie chamositique ont été discontinus. Sa largeur n'est par uniforme; épaissie sur les protubérances du fragment calcaire, amincie le long de ses dépressions, elle tend à en adoucir les contours anguleux; en d'autres termes, l'article de Crinoïde soumis à la métasomatose tend à s'arrondir.

Il importe de noter que, dès son apparition, la chamosite est cristallisée. Les enveloppes qu'elle forme autour des débris de Crinoïdes ne sont pas des enduits gélatineux durcis après coup. Le contenu des entailles rondes récoupés sur les bords de ces restes fossiles ne sont pas les gouttes d'un gel solidifié: ce sont les aires de résorption du calcaire zoogène remplacé par la chlorite.

La chamosite dans les ciments. La substitution directe de la chamosite au calcaire des débris organiques est un fait confirmé par d'innombrables observations. Celles-ci se font plus commodément sur des articles de Crinoïdes dont la trame histolo-

gique est conservée que sur des menus fragments. Mais il est clair que le même calcaire fortement morcelé est sujet aux mêmes transformations; mieux encore: qu'il s'y prête d'autant plus facilement qu'il est plus finement trituré. On peut donc s'attendre à trouver de la chamosite dans le ciment de nos roches. Cette présomption se vérifie pleinement, et l'imprégnation de ces gangues par le silicate vert est précisément la raison pour laquelle ces masses si riches en carbonates se laissent si difficilement désagréger pas les acides: les essais de dissociation par ce moyen des roches grossièrement concassées sont habituellement infructueux; à moins d'être pulvérisées au préalable, elles ne donnent que peu de prise à l'attaque. Averti de cette particularité, on la vérifie aisément sur les coupes minces examinées sous un fort grossissement: les grains calcaires du ciment ne sont pas anguleux, mais arrondis par corrosion. Ils ne sont pas contigus; aux endroits les plus clairs de la préparation, on les voit flotter dans un milieu de biréfringence très faible, ou même inappréciable à cause de l'extrême ténuité des paillettes chloriteuses orientées en tous sens.

Genèse des ovulites

De ce qui précède se dégagent une série de propositions que voici:

1. La chamosite est un produit de la substitution directe d'un silicate ferromagnésien au calcaire des débris organiques; ceux d'entre eux qui renferment le plus de magnésie — les squelettes des Crinoïdes —, sont ceux qui se prêtent le mieux à l'épigénie.

2. Les résidus calcaires contenus dans les noyaux oolithiques s'identifient soit à des débris d'organismes partiellement chloritisés, soit à des pilules de ciment constitué par des parcelles de même nature finement moulues et imprégnées de chamosite.

3. Les roches étudiées fournissent tous les termes de passage entre l'article de Crinoïde revêtu d'une écorce chloriteuses rudimentaire et l'ovulite parfait, à cortex épais et nettement stratifié, recouvrant un noyau entièrement chamositique.

Donc les ovulites ne sont pas autre chose que les produits de l'épigénie par la chamosite de grains ou de glomérules de calcaire zoogène fourni principalement par les Echinodermes.

Nombreux sont les observateurs qui ont constaté avant nous la présence de débris organiques sous des écorces oolithiques sans en

tirer toutes les conséquences qu'elle comporte. GAUB (8) est de ce nombre; il a étudié certains minerais d'Erzegg; les photographies qu'il en a publiées sont à mettre au rang des documents les plus convaincants qui soient en faveur du point de vue adopté ici (et qu'il n'a pas préconisé): les ovulites dont les noyaux sont faits d'articles d'Encrines ne sont pas des êtres exceptionnels, des „fausses oolithes", mais bien des grains oolithiques véritables dont l'évolution est demeurée en suspens.

Si la formation des grains oolithiques est le résultat de la chloritisation des débris d'Encrines, l'ovulite arrivé au terme de son développement doit présenter des particularités de structure et de composition explicables seulement dans l'hypothèse d'une telle évolution et attribuables aux circonstances dans lesquelles elle s'est accomplie. Avant de démontrer qu'il en est bien ainsi, il faut reprendre certaines constatations déjà faites en y ajoutant quelques commentaires.

La chamosite prend naissance, sans passer par l'état de gel, aux dépens du calcaire échinodermique, principal constituant de dépôts soumis à des brassages renouvelés. Le bassin d'accumulation recevait également des vases terrigènes fortement ferrugineuses. Mais si riches en fer que soient les apports continentaux de ce genre (4, 11), ils n'en renferment généralement pas autant que de silice et d'alumine, tandis que nos minerais, pour des teneurs en fer comprises entre 30 % et 40 %, ne contiennent de la silice qu'à raison de 13 % et de l'alumine à la dose de 8 % (valeurs moyennes fournies par l'analyse des minerais d'Erzegg). Il faut en conclure que les vases terrigènes n'ont laissé dans les sédiments considérés qu'une faible partie de leur silice et de leur alumine, tandis que la plus grande partie du fer en fut extrait et incorporé aux futurs minerais sous forme de chamosite.

Quel peut bien être l'agent capable de soutirer le fer d'une ocre en suspension dans l'eau de mer et de le garder en solution jusqu'à son emploi à l'élaboration d'une chlorite? La présence de la pyrite pigmentaire dans les ciments de nos roches fournit à cet égard une indication précieuse: si une partie du fer abandonné au dépôt à l'état d'hydroxyde y fut converti en sulfure, ce fut en présence d'une eau chargée des produits de la putréfaction des dépouilles animales dont il ne reste que les squelettes sous nos yeux.

Bien que la chimie des complexes organiques du fer soit moins avancée que celles des composés analogues du cuivre, du nickel et du cobalt, elle l'est cependant assez pour que l'on sache quelles sont les

fonctions chimiques et les modes de fixation des groupes fonctionnels sur les noyaux aromatiques qui favorisent la formation des complexes du fer; parmi les polyphénols, les acides aminés, les acides oxysulfoniques et oxyphénylcarboxyliques, parmi les uréides et les dérivés de l'indol qui se prêtent à de telles associations, il en est qui font partie des produits de putréfaction des matières protéiques. Certains d'entre eux doivent jouer le rôle de véhicules du fer entre les ocres d'origine continentale et la chamosite.

En dépit de l'incertitude où la chimie nous laisse au sujet des combinaisons organiques que la silice et l'alumine doivent contracter, comme le fer, avant de se fixer avec lui dans un silicate chloriteux, on peut tenter maintenant d'esquisser un tableau de la naissance des grains oolithiques.

Par temps calme, les débris de Crinoïdes, imprégnés de matière organique en décomposition, reposent au fond de la mer et se recouvrent peu à peu d'une vase ferrugineuse apportée du continent par les courants. Cette vase superficielle se dépouille peu à peu de son fer, qui se dissout dans l'eau putride. Les squelettes absorbent cette solution d'autant mieux qu'ils sont eux-mêmes saturés du solvant organique; ils échangent leur calcaire contre les éléments de la chamosite, qui encroûte leur surface d'une fine pellicule cristalline. Survienne une tempête: l'argile superficielle, balayée, se disperse au gré des vents; le sédiment est brassé, de nouveaux débris d'animaux encore charnus y sont précipités, la provision d'oxygène nécessaire à la putréfaction est ramenée au taux normal et, le calme revenu, le cycle recommence. La lente substitution du silicate de fer au calcaire zoogène reprend son cours; s'exerçant sur des articles de Crinoïdes enfouis à une certaine profondeur, que la solution ferrugineuse n'atteint que par infiltration, elle ne donnera lieu qu'à des chloritisations localisées; les débris déjà revêtus de pellicules chamositiques et uniformément humectés d'eau nourricière verront leur écorce s'épaissir, mais comme les conditions qui déterminent cet accroissement sont sujettes à variations, l'écorce sera stratifiée. Les discontinuités tiennent, en premier lieu, aux alternances des périodes de calme et de brassage; en second lieu, à la durée de ces périodes: plus longtemps, en effet, se prolongera une accalmie, plus épaisse aussi deviendra la couche d'argile ferrugineuse accumulée à la surface du dépôt, et plus élevée la concentration du fer dans l'eau qui baigne celui-ci; en outre les remaniements du dépôt comportent pour chaque grain des revers de fortune, des ruptures de relations et des accommodements nouveaux.

L'écorce qui s'accroît par épigénie progressive autour d'un débris de Crinoïde lui donne peu à peu figure de grain oolithique. Mais à mesure qu'elle s'épaissit, les échanges entre le noyau encore calcaire et l'eau de mer qui fournit le fer deviennent plus malaisés et leur cours moins sensible aux variations des conditions extérieures: c'est pourquoi sa stratification devient moins nette dans les couches profondes, qui dégénèrent à leur tour en amas de paillettes chamositiques orientées en tous sens. Les difficultés que rencontre la substitution du silicate ferromagnésien au calcaire nucléaire s'expriment encore de 2 façons:

1. par la présence fréquente de résidus carbonatés dans le noyau; ou, si celui-ci est entièrement chloritisé:

2. par le fait que la chamosite nucléaire est moins riche en fer, — de teinte plus claire —, que celle de l'écorce.

Le résultat est le même si, au lieu de s'accomplir aux dépens d'un article de Crinoïde, l'élaboration d'un grain oolithique met en oeuvre une pilule de ciment faite de parcelles du même calcaire préalablement agglomérées par la chamosite.

Reconstituées comme on vient de la voir, les circonstances présidant au développement des ovulites n'excluent pas les chances d'accidents qu'ils ont à courir dans les sédiments violemment brassés: usure, fractures, dégâts divers qui n'empêchent pas les mutilés de servir de noyaux à des écorces oolithiques formées autour d'eux en discordance sur les premières. Ainsi conçue, la genèse des oolithes ferrugineuses explique, sans faire appel à des notions autres que celles que suggère l'océanographie, mainte particularité structurale des ovulites; elle rend compte aussi de certains caractères des roches qui les renferment, notamment les suivants, qui méritent d'être relevés:

1. Les minerais dont le ciment est peu ou pas pyriteux, ceux du Glärnisch, par exemple, renferment des ovulites chamositiques en quantité moindre que ceux de Chamosentze et d'Erzegg, plus richement sulfurés. Les débris de Crinoïdes, également abondants partout, portent au pays de Glaris les marques d'une usure avancée: n'ayant pris place dans le dépôt qu'après avoir été fortement décharnés, ils ne lui apportèrent donc que peu de matière putréfiable, et le fer des vases terrigènes fut extrait moins complètement que dans les autres bassins.

2. Généreusement nourries du fer qui leur fut apporté sur un support argileux, les gangues de nos minerais sont pourtant restées

essentiellement calcaires, parce que l'argile fut remise en suspension et dispersée dans la mer à chaque remaniement du dépôt. La formation oolithique prit fin dès que ces brassages cessèrent, et les sédiments oolithiques, ceux d'Erzegg et de Chamosentze notamment, furent définitivement recouverts par des couches argileuses.

Les transformations de la chamosite dans les sédiments consolidés; ses migratiens

Deux processus contribuent au durcissement des dépôts, qui met un terme au développement des ovulites. Ce sont:

1. l'imprégnation du calcaire échinodermique finement moulu par la chamosite, solide et cristalline dès son apparition, il faut le répéter;

2. la cristallisation de ce même calcaire, qui débute dans les endroits où les substances non carbonatées font à peu près défaut; elle transforme les gangues troubles et finement grenues en mosaïques à grands éléments limpides en faisant disparaître les formes et les structures organisées des petits débris squelettiques et coquilliers; elle se ralentit devant les ciments imprégnés de silicate ou d'opale; celle-ci peut, de son côté, donner naissance à du quartz; la chamosite, jusqu'alors diffuse dans les mélanges carbonatés, refoulée dans les interstices que laissent entre eux les polyèdres calcitiques, devient très apparente. Dans les gangues où le calcaire est mêlé à des fortes proportions de matières étrangères, la cristallisation produit souvent, au lieu de calcite en plages polygonales contiguës, des rhomboèdres isolés de dolomite ou de sidérite.

Tant que le dépôt restait meuble, il échangeait librement avec l'eau de mer son calcaire contre les éléments de la chamosite épigénique. Mais le sédiment consolidé constitue un système fermé où la présence constante de solutions saturées de carbonate au contact de la chamosite va mettre en péril la stabilité de ce silicate. On le voit, en effet, céder la place à la sidérite (ou à quelque autre homologue: ankérite, breunérite), qui envahit les grains oolithiques. C'est tantôt et d'emblée sous la forme de gros rhomboèdres imparfaits que le carbonate ferreux s'installe dans les ovulites, coupant les strates corticales et détruisant leur structure, tantôt en petits essaims de cristaux minuscules eu début et comparables à des mouches posées ice et là sur l'écorce. Avant que la sidéritisation se soit étendue à tout l'ovulite envahi et l'ait rendu méconnaissable, on constate couramment que la chamosite non contaminée a bruni.

L'oxyde de fer qui la colore et l'obscurcit parfois peut être anhydre (hématite) ou hydraté; comme dans ce dernier cas il est toujours trop divisé pour permettre une identification de la goethite, il semble préférable de l'appeler limonite. Il s'agit, bien entendu, du composant ferrique de la chamosite mis en liberté dans le système clos que constitue le sédiment consolidé; plus tard, dans le sédiment plissé et exondé, la ségrégation des composés ferriques sera fortement favorisée par l'afflux des eaux météoriques.

Le développement de la sidérite et de l'hématite aux dépens de la chlorite ne fixe dans le cadre oolithique qu'une partie des éléments de ce silicate. Aussi voit-on souvent l'ovulite malade de contracter, tandis qu'une auréole de chamosite se reconstitue autour de lui par réaction de la silice et du fer libérés sur le ciment qui l'entoure. La simultanéité des 2 phénomènes prête à des démonstrations qui ne laissent aucun doute, mais elle n'est pas obligatoire. Le cas des ovulites auréolés de chlorite secondaire et préservés de la contraction par de la calcite infiltrée est beaucoup plus fréquent que celui des grains oolithiques ratatinés dépourvus d'auréole. A voir cette bordure verte en lumière naturelle, on peut céder à l'impression que l'on se trouve en présence d'une gelée exsudée par les grains oolithiques. L'emploi du nicol analyseur dissipe cette erreur: à aucun moment la chlorite apparement sécrétée n'est amorphe; elle est cristalline dès son apparition; il s'agit d'une formation synantétique et non d'une exsudation. Ces auréoles sont parfois si étendues qu'elles englobent des ovulites par centaines dans une plage de chlorite sans discontinuité. Il n'est pas douteux que ce soit de la rencontre de tels assemblages que naquit la légende d'une chamosite précipitée en gelée colloïdale sur le fond de la mer; tout ce qui précède en démontre l'inanité.

Les auréoles de chamosite synantétique ne sont pas l'apanage exclusif des grains oolithiques; il s'en forme aussi autour des débris organiques chloritisés mais non revêtus d'écorces stratifiées, ainsi qu'au voisinage des nodules de ciment imprégné de même.

Après leur exondation et leur mise à nu par l'érosion, les minerais ne constituent plus des systèmes clos, puisque les eaux météoriques s'y infiltrent. Et pourtant des phénomènes en tout point comparables à ceux qui créent autour des grains oolithiques des bordures de chamosite régénérée s'y accomplissent à une échelle qui n'est plus microscopique; l'ampleur que prend ici le processus tient au fait que les solutions qui altèrent la chlorite pour la reconstituer plus loin, progressant dans un sens déterminé, semblent chasser

devant elles un flot de chamosite en migration. On peut en constater les effets aussi bien à Chamosentze qu'à la Windgälle et dans l'Urbachtal, mais ce sont les minerais du Glärnisch qui offrent les occasions les plus favorables de l'étudier dans tous ses détails. Ceux-ci ne trouveraient pas place ici. Une esquisse suffira à rendre l'allure du phénomène, dont on doit retrouver le pareil dans les mudstones d'Angleterre (9, 12).

Au Glärnisch donc plus manifestement qu'ailleurs, les eaux météoriques qui pénétrent dans les roches oolithiques ne s'infiltrent pas jusqu'au minerai chloriteux sans s'être chargées de calcaire. Elles s'arrêtent à ce niveau devant la barrière qu'oppose à leur avance un ciment imprégné de chamosite et de ses produits d'altération, dont le plus visible est la limonite. Les réactions habituelles s'accomplissent à la frontière des 2 domaines: en amont, celui des solutions saturées de carbonates, au sein desquelles cristallise la calcite largement spathique, parfois avec ses homologues: sidérite, breunérite, ankérite en grains plus fins; en aval, le domaine où la silice qui vient d'être expulsée de sa combinaison chloriteuse atteint rapidement la concentration nécessaire pour refaire un silicate; à la limite, un ruban vert devant lequel le ciment limonitique de décolore, au contact duquel la gangue grenue se résorbe en donnant naissance à de la chamosite pailletée, en lisière duquel lesdites paillettes s'ordonnent comme dans les écorces oolithiques ou, pour mieux dire, comme dans les enveloppes de stromatolithes (10). La zone sur laquelle s'étale le ruban silicaté est parfois assez large pour donner l'illusion d'un sédiment noyé dans une gelée verte, et d'autant mieux que les sinuosités de son bord frontal imitent assez bien les lobes d'une coulée; illusion condamnée à disparaître à la lumière du microscope polarisant. Les seuls fluides qui prennent part à cette affaire sont les solutions par lesquelles s'échangent le fer, la silice et les carbonates. La chamosite ne coule pas; elle se détruit constamment du côté où les carbonates affluent, pour se reconstituer à l'opposé à un niveau qui se déplace avec le temps. C'est en cela que consiste sa progression.

Les migrations de la chamosite ne se poursuivent pas indéfiniment. A proximité de la surface du sol, ses composants restent dissociés: sa silice s'immobilise à l'état de quartz, son fer se fixant dans une limonite ou dans une hématite. Dans les couches profondes du minerai, c'est à une sécrétion de la chamosite dans les lacunes des gangues largement cristallisées qu'aboutissent les dé-

placements de ce silicate, dont la synthèse absorbe tout ce qui n'entre pas dans la composition de la calcite. Les interstices remplis de chlorite prennent à leur plus haut degré de développement l'allure de filons de plusieurs centimètres d'épaisseur.

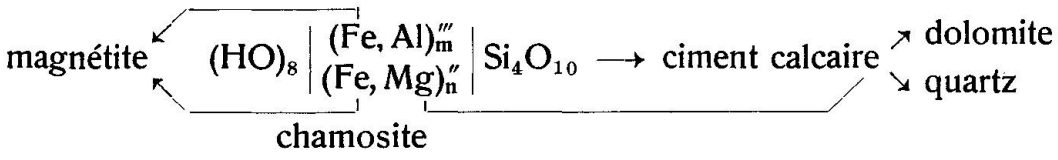
La magnétite et la dolomite dans les minerais oolithiques

Toutes deux largement répandues dans les minerais dont le ciment a perdu sa structure première, la dolomite et la magnétite sont des minéraux d'origine incontestablement épigénique; l'un se développe dans les gangues fortement pigmentées; l'autre, le spinelle, à l'intérieur ou en bordure des ovulites chamositiques ou aux dépens de toute autre masse imprégnée de chlorite. On ne découvre, en général, pas de relation apparente entre eux: les minerais de l'Urbachtal, par exemple, dont les gangues sont largement dolomitisées, ne renferment pas de magnétite; à Erzegg comme à Chamosentze, la richesse an magnétite semble indépendante de la quantité de dolomite présente dans le même échantillon.

Il en est autrement dans les minerais de la Windgälle. Ici la production du spinelle ferro-ferrique est en connexion manifeste avec celle du carbonate calcomagnésien. L'examen des roches révèle d'abord que les déformations mécaniques qu'elles ont subies ont été des plus favorables à la naissance de la magnétite: l'abondance de celle-ci est d'autant plus grande que l'étirement des grains oolithiques est plus accusé. La multiplication des rhomboèdres dolomitiques dans la gangue s'affirme en même temps. Dans les minerais où les ovulites laminés ont pris l'aspect de rubans verts incrustés d'octaèdres de magnétite, la silice désormais sans emploi apparaît à son tour dans le ciment sous forme de quartz et finit par y supplanter partiellement les carbonates.

Ce qui précède prouve sans contestation possible ce que l'étude d'autres gisements laissait prévoir: que la magnétite est bien un dérivé de la chamosite, issu d'elle dans les sédiments préalablement consolidés, puis soumis aux dislocations orogéniques. Des observations de détail montrent en outre que les octaèdres de magnétite implantés dans les écorces oolithiques ne s'enfoncèrent pas dans une matière molle: ils en tranchent nettement, sans les déprimer, les assises chloriteuses, qui se décolorent à leur contact.

Les relations génétiques qui relient la magnétite et ses compagnons à la chamosite d'où ils procèdent se condensent dans le schéma suivant, auquel on peut reprocher de ne pas tenir compte du sort réservé à l'alumine.



Il n'entrait pas plus dans le dessein de l'auteur que dans les intentions de la Commission géotechnique de publier un sommaire des résultats acquis par les recherches faites sur les minerais du Dogger alpin. C'est pourquoi on a laissé de côté tout ce qui n'apportait pas de contribution nouvelle aux questions encore controversées: l'origine de la chamosite, celles des grains oolithiques et les transformations que ces corps éprouvent dans les roches. En résumé, les conclusions originales à tirer de l'étude des minerais oolithiques de nos Alpes sont les suivantes:

1. Les minerais de fer oolithiques ne sont qu'une variété des calcaires à Entroques.

2. La chamosite est un minéral cristallin dès sa naissance, qui se forme sur le fond de la mer, sans phase colloïdale préliminaire, par substitution directe de silice et de fer au calcaire des débris organiques. Le fer est celui qu'apportent les vases terrigènes; il en est extrait par les produits de la putréfaction des chairs adhérant aux squelettes et coquilles. L'argile déminéralisée, dispersée dans la mer à chaque remaniement du dépôt, ne contribue que dans une faible mesure à l'augmentation de sa masse.

3. La genèse des grains oolithique se ramène à une transformation épigénique du calcaire zoogène, — échinodermique principalement —, en chamosite. La forme de l'ovulite à écorce stratifiée recouvrant un noyau de chlorite pailletée est celle que doit prendre nécessairement un grain soumis à pareille opération, progressive, mais interrompue par les brassages du fond sur lequel il repose.

4. Le ciment des grains oolithiques, fait de calcaire échinodermique moulu, participe aux mêmes réactions; le noyau des grains oolithiques peut lui être emprunté.

5. Dans le sédiment consolidé la sidérite tend à remplacer la chamosite dans les grains oolithiques. La silice déplacée, entraînant une partie du fer, reconstitue par réaction avec le ciment ambiant une couronne de chamosite synantétique autour de l'ovulite altéré.

6. Un processus analogue, mais de plus grande ampleur, provoque la migration de la chamosite dans les sédiments exondés.

7. L'altération de la chamosite dans les roches soumises aux pressions orogéniques fait naître de la magnétite et, accessoirement, de la dolomie et du quartz dans leurs ciments.

Université de Lausanne, Laboratoire de minéralogie et pétrographie.

Références bibliographiques

1. W. H. Bucher, On oölites and spherulites. *Journ. Geol.* 26 (1918), 593.
2. L. Cayeux, Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. *Mém. carte géol. France,* 2 vol., Paris 1916.
3. L. Cayeux, Les minerais de fer oolithique de France. II. Minerais de fer secondaires. *Ibid.,* Paris 1922.
4. F. W. Clarke, The Data of Geochemistry. 5th. Ed. *U. S. Geol. Survey, Bull.* 770. 1924.
5. F. W. Clarke and W. C. Wheeler, The inorganic constituents of marine inverbrates. *U. S. Geol. Surv., Prof. Paper* 124, 1922.
6. L. Déverin, Origine des ovulites chamositiques dans les minerais de fer oolithiques de la Suisse. Migrations de la chamosite. *Actes Soc. helv. sci. nat.* 119, Coire 1938, p. 164. — *Bull. suisse minér. pétrogr.* 18, (1938), 672.
7. H. Fehlmann, Die schweizerische Eisenerzeugung. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser.* XIII, 3, Bern 1932.
8. F. Gaub, Die jurassischen Oolithe der schwäbischen Alb. *Geol. paläont. Abhandl.,* N. F. 9, Jena 1910.
9. A. F. Hallimond, Iron ores: bedded Ores of England and Wales. *Spec. Rep. miner. Resources Gr. Britain* 29 (1925).
10. Kalkowsky, Oolith und Stromatolith im norddeutschen Buntsandstein. *Zeitsch. D. geol. Ges.* 1908, 68.
11. P. Niggli, F. de Quervain u. R. U. Winterhalter, Chemismus schweizerischer Gesteine. *Beitr. Geol. Schweiz., Geotechn. Ser.* XIV, 1930.
12. W. Pulfrey, The iron-ore oölites and pisolites of N.-Wales. *Qu. Journ. Geol. Soc.* 89, (1933), 401.

Reçu le 22 juin 1940.