Zeitschrift: Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Géologie et géographie = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Geologie und Geographie

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 6 (1909)

Artikel: Le sidérolithique suisse : contribution à la connaissance des phénomènes d'altération superficielle des sédiments

Autor: Fleury, Ernest

Kapitel: IV: Les matériaux sidérolithiques

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-306973

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: 12.12.2025

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

IV

LES MATÉRIAUX SIDÉROLITHIQUES

A. Le fer.

Comme leur nom seul l'indique, le fer est l'élément dominant et caractéristique des matériaux sidérolithiques, bien que certains d'entre ces derniers puissent en être totalement dépourvus, par exemple, les sables siliceux blancs, ainsi que je l'ai fait observer précédemment.

Il y existe sous des formes assez variées :

1° A l'état d'imprégnation superficielle ou profonde, colorant diversement suivant son degré d'oxydation et l'intensité de son action, les argiles, les sables, les terres réfractaires, les galets et les calcaires des terrains en contact avec lui.

2° Comme composé ferrugineux proprement dit, constituant les minerais en grains, les concrétions, les masses amorphes disséminées dans les argiles, les coulées compactes, quelquefois mamelonnées de quelques crevasses ou les conglomérats, dont il imprègne le ciment calcaire.

Le fer sidérolithique est un composé très complexe, indépendamment même de son oxydation propre : il n'est jamais pur. C'est un *sesquioxyde de fer hydraté*, de la formule générale

$$2\ [Fe_2\ O_3,\ 3\ H_2\ O]$$

du groupe minéralogique de la limonite, de la variété des hématites brunes. Sa dureté est excessivement variable, suivant les composés ; très faible dans les ocres, elle peut atteindre près de 6 dans les combinaisons silicatées. Il en est de même pour sa densité : toutefois, plusieurs minerais

m'ont donné 3,7 (Delémont, Candern). Il est en général sans action sur la boussole et son pouvoir magnétique, d'ailleurs très faible et très rare, est dû à d'autres composés. Des analyses assez précises et quelques essais n'y ont pas révélé la présence des matières radio-actives.

Il est connu depuis longtemps déjà et les minéralogistes lui ont donné différents noms, à savoir :

Minera ferri subaquosa globosa des Anciens.
Fer oxydé rubigineux globuliforme de Häuy.
Fer pisiforme de Brongniart, de Thirria, de Voltz...
Limonite oolithique de Beudant.
Minerai d'alluvion de quelques auteurs.
Hydrate de fer globulaire de Cordier.
Minerai de fer en grains...
La mine, la mine de fer des mineurs jurassiens [1]).
Fer pisolithique des modernes.
Fer sidérolithique de Thurmann.
Bohnerz de Brochant, de Mérian,
Erbsenerz, rundeserz de quelques auteurs.
Pea-Iron stone, pisiform-clay... des Anglais.
Etc... etc...

Il a été confondu avec les minerais d'alluvion, avec ceux des lacs, des marais, (Sumpferz, Morasterz), des prairies (Wiesenerz) et aussi avec les minerais oolithiques des terrains secondaires (Toarcien), désignés sous le nom de « minettes » [2]).

Aujourd'hui, c'est exclusivement le minerai de fer en grains, pisolithique ou sidérolithique et plus généralement en Suisse et en Allemagne, le bohnerz.

---

[1]) Cette appellation populaire de « mine » est assez curieuse, d'autant plus que pour les minerais oolithiques, à grains plus petits, existe celle de « minette ». Ces expressions n'ont été qu'assez rarement utilisées par les auteurs.

[2]) La minette oolithique n'a aucun rapprochement possible avec la roche de ce nom des Vosges ou de l'Oldenwald, qui est une variété de syénite micacée.

1. *Aspect et structure des Minerais.*

Si les bohnerz caractérisent la formation sidérolithique, le fer ne s'y trouve pas cependant nécessairement à l'état de pisolithes, mais encore très fréquemment en masses, de formes, de dimensions très variables, conservant quelquefois certaines analogies avec l'état pisolithique, ou bien au contraire, très concrétionnées ou même nettement compactes.

Le fer pisolithique, comme l'indique son nom (bohnerz), se présente en grains globuleux, arrondis et polis, isolés, de dimensions très variables. Le Dr Greppin dit fort à propos à ce sujet, que « les grains de fer sont miliaires, pisaires et même ovaires »[1]). Il aurait pu même ajouter encore « céphalaires », puisque dans quelques cas, d'ailleurs très rares, ils atteignent des dimensions considérables. On en a signalé quelques-uns qui mesuraient plusieurs décimètres de diamètre. Je possède un échantillon, trouvé dans les mines de Delémont et qui pèse 2895 gr. Il n'est pas très régulier : son plus petit diamètre n'est cependant pas inférieur à 11 cm.

Pour l'ordinaire, les grains ont la taille d'un pois commun, leur diamètre variant entre quelques millimètres et 1 cm. Cependant très souvent, ils sont plus petits, à peine visibles à l'œil nu, ou bien au contraire, ils sont beaucoup plus gros, nuciformes par exemple.

Il n'y a aucune régularité constante à ce point de vue ; c'est à peine s'il est possible de reconnaître quelque trace d'uniformité dans la sédimentation des pisolithes et encore faut-il toujours admettre de très nombreuses exceptions. Ainsi par exemple, au puits Blancherie, à Delémont, on voit des bancs de plusieurs mètres de longueur dont les pisolithes, très régulières, ont à peu près toutes les mêmes dimensions ; mais très fréquemment, on y trouve, isolées, d'autres pisolithes beaucoup plus grandes.

Lorsqu'elles sont fraîchement extraites des bols et

---

[1]) Dr J. B. Greppin : *Matériaux*, p. 153. 1870.

qu'elles n'ont pas subi l'action des agents atmosphériques, les pisolithes sont brillantes, leur surface très lisse est comme recouverte d'un vernis luisant, à reflets gras et onctueux dont la teinte, liée à celle des bols, varie peu, du jaune-foncé au rouge-brun. Les pisolithes enclavées dans les calcaires ou dans le ciment des conglomérats ne présentent pas ces colorations ; leur surface est noire métallique, brillante et lisse. D'ailleurs, ces colorations sont très délicates et disparaissent rapidement à la lumière ou par la dessication. La surface devient alors terne, sombre, sans reflet et c'est à peine si le frottement peut lui rendre un certain brillant.

Quant à la forme, les pisolithes sont ordinairement à peu près sphériques. Souvent cependant, elles sont un peu aplaties ou allongées; plus rarement, elles sont lenticulaires. Dans quelques cas, elles sont encore plus irrégulières, leur surface est recouverte de tubercules ou très diversement déformée : mais ce sont alors des effets mécaniques ordinairement dûs à la pression ou à des phénomènes de remaniement. Très souvent aussi, plusieurs grains soudés ensemble et recouverts d'une enveloppe commune, n'en forment plus qu'un seul, mais ce n'est plus alors une pisolithe, mais un véritable agglomérat.

En effet, ce n'est pas aux dimensions, ni même à la forme, puisque, dans un cas comme dans l'autre, des variations sont possibles, mais à la structure interne, qu'il faut reconnaître les pisolithes sidérolithiques.

L'examen macroscopique, à l'œil nu, ou seulement à la loupe, sur une coupe choisie, obtenue par polissage ou seulement par une bonne cassure au marteau, montre deux parties très distinctes :

1° Une enveloppe.
2° Un noyau ou masse centrale.

L'enveloppe de toute pisolithe régulière et non altérée apparaît comme un emboîtement de couches minces, continues et concentriques, à cassure noire, à reflets métalliques, quelquefois légèrement irisés.

Son épaisseur varie beaucoup d'un grain à un autre. En général, son volume est plus grand que celui du noyau. Un géologue de grande valeur, trop tôt enlevé aux admirables travaux qu'il avait commencés et que j'ai suivi dans cette partie de mon étude, M. le prof. Bleicher [1], de Nancy, évaluait le rapport des volumes de l'enveloppe et du noyau à $^3/_1$, pour une pisolithe du plateau de Feneyrols (Tarn-et-Garonne). Sur les échantillons que j'ai examinés, près de 250, et provenant la plupart du Jura suisse, j'ai rencontré fréquemment ces mêmes nombres, mais assez souvent aussi les proportions $3\,^{1/2}/1$, $4/1$, $4\,^{1/2}/1$, et même $5/1$, tandis que $2\,^{1/2}/1$ ou $2/1$ sont beaucoup plus rares. Je n'ai constaté que deux cas donnant $1/1$. Ces déterminations [2]) sont très délicates et n'ont d'ailleurs pas très grande importance. Elles ont toutes porté sur des échantillons réguliers et bien conservés, à surface polie et intacte. Suivant les pisolithes examinées, l'enveloppe se présente différemment. Ordinairement, on voit assez nettement l'emboîtement des couches et leur délimitation réciproque, tandis que dans certains cas, pas très rares, ces distinctions zonaires sont imperceptibles : les couches paraissent comme soudées les unes aux autres, en quelque sorte anastomosées, totalement ou en partie seulement.

Lorsque les zones sont distinctes, une bonne cassure au marteau suffit pour les séparer. On obtient alors toute une série de fragments en calottes d'épaisseur très variable,

---

[1]) Je n'ai malheureusement pas connu M. Bleicher, mort en 1901; mais grâce à l'amabilité de Madame Bleicher, j'ai pu me mettre au courant des idées et des travaux du savant et regretté professeur de Nancy. Je me fais un devoir d'exprimer ici à Madame Bleicher, toute ma gratitude bien sincère.

[2]) La méthode que j'ai suivie pour ces déterminations peut se résumer ainsi : briser délicatement la pisolithe dans un mortier en acier poli, afin de n'en pas perdre ; séparer le noyau de l'enveloppe et mesurer successivement le volume de chaque partie par immersion dans un tube gradué rempli d'eau distillée. Il est nécessaire d'avoir une certaine habitude pour bien réussir dans la séparation du noyau et de l'enveloppe : quand cette séparation n'est pas facile, on rejette l'échantillon, pour en examiner un autre.

mais ordinairement constante pour chaque fragment d'une même couche. La calotte est limitée par deux surfaces lisses, brillantes, polies, aussi bien du côté interne que du côté externe. C'est à une disposition analogue, plus exagérée si l'on veut, que sont dues certaines formes, d'ailleurs très rares, (je n'en ai jamais trouvé moi-même), qui rappellent beaucoup l'aétite (pierre d'aigle): la pisolithe renferme un noyau libre dans l'enveloppe. A l'œil nu ou même encore à la loupe, l'enveloppe apparaît souvent comme formée par une composition homogène: on n'y distingue pas de dissemblance de texture, du moins dans les cas de bonne conservation. Mais si l'on pousse les investigations plus avant, par des coupes minces, faites à même la pisolithe ou sur une pisolithe traitée préalablement par l'acide chloryhdrique à la longue, puis par l'eau régale, on obtient des renseignements plus précis.

Les coupes minces sont particulièrement utiles dans les cas où l'écorce est soudée en une grosse couche, à peu près unique, ou encore lorsque les zones corticales distinctes semblent disparaître par une atténuation progressive, car elles permettent de relever la structure cachée des zones. Ces coupes sont très fragiles, rarement asssez étendues et il est préférable de recourir à celles obtenues sur des pisolithes traitées par les acides.

Comme son nom l'indique, le noyau comprend la partie centrale, interne de la pisolithe. Il ne saurait être confondu avec l'écorce, car il est homogène, ne présente pas de couches ou de zones concentriques. Sa coloration est analogue à celle des couches de l'écorce des échantillons bien conservés. Par suite d'altération due aux actions atmosphériques, il devient rouge-ocreux, souvent très différent des zones corticales, dont il se sépare plus facilement, lorsque cette altération n'est pas trop profonde. Il est limité par une surface polie, peu brillante. La cassure est presque toujours terreuse ; du moins, elle est bien différente de celle des couches.

Bleicher [1]) a donné une excellente méthode d'étude des

---

[1]) Bleicher : *Le minerai de fer de Meurthe et Moselle :* Bull. Soc. industr. de l'Est, 1894.

pisolithes. On laisse digérer durant plusieurs jours un certain nombre de pisolithes très régulières et bien conservées, parfaitement nettoyées de leur gangue, dans de l'acide chlorhydrique ordinaire. Au bout de deux ou trois jours, on enlève la liqueur devenue jaune-brun-claire et on lave très délicatement les pisolithes sur un filtre, avec de l'eau distillée. Les pisolithes sont moins dures, leur surface est totalement blanche. On recommence la même opération avec l'eau régale que l'on fait agir jusqu'à ce que la pisolithe soit complètement ramollie. Ce résultat obtenu, il ne reste plus qu'à laver les pisolithes, à les sécher légèrement à l'étuve et à les plonger dans la paraffine fondue. Ces opérations pour donner de bons résultats demandent beaucoup de soins et une certaine habitude opératoire. Il faut surtout éviter de plonger les pisolithes non desséchées dans la paraffine trop chaude : 55 à 60° donnent un bain excellent, à la condition que l'action dure quelques heures.

Il ne reste plus alors qu'à débiter le bloc refroidi de paraffine, soit au rasoir, soit au microtôme. Les coupes sont excessivement délicates et il faut être très prudent dans l'emploi des réactifs qui enlèveront la paraffine.

Les acides employés dans ces traitements dissolvent le fer, l'alumine et l'acide phosphorique qui se retrouvent dans les liqueurs, comme l'a signalé déjà le prof. Schlagdenhauffen. La pisolithe se trouve ainsi réduite à un squelette siliceux dont les coupes montrent dans l'écorce « une alternance de couches minces hyalines et de couches grenues, nuageuses, dans lesquelles on retrouve les bâtonnets » orientés suivant la direction de celles-ci. Ces bâtonnets énigmatiques, que je n'ai jamais parfaitement reconnus, étaient considérés par M. Bleicher comme des empreintes de bactéries. J'ai cependant retrouvé ces formes dans quelques cas, mais pour l'instant, il m'est impossible d'être affirmatif sur ce point ; des recherches complémentaires concernant d'autres formations analogues sont encore nécessaires [1]). Toutefois,

---

[1]) J'ai déjà commencé ces études sur les oolithes calcaires du Bajocien

sans repousser a priori, l'opinion de M. Bleicher, qui me paraît même très soutenable, il me semble qu'il faut plutôt attribuer ces bâtonnets à des actions mécaniques de retrait, ou les considérer comme de simples sculptures dues aux processus même de formation. Sans doute, la présence d'algues dans les pisolithes expliquerait très bien leur richesse en acide phosphorique, mais alors, il faudrait pouvoir reconnaître une certaine relation entre la teneur exagérée en P_2O_5 et l'abondance des bâtonnets. Or, rien de semblable n'a encore été constaté, je crois. C'est dans cette direction que des études sont encore à poursuivre.

De ces observations micrographiques et chimiques ressort un premier fait important : l'identité de composition de la pisolithe. La distinction de l'écorce d'avec la masse centrale ne repose que sur le mode d'arrangement des éléments, lesquels sont en couches concentriques dans l'une, grossièrement agglomérés et sans ordre dans l'autre. D'un côté, les éléments paraissent triés et choisis, très régulièrement disposés ; de l'autre ils sont plus grossiers, plus gros, mélangés, mais dans les deux cas, les différences paraissent plutôt quantitatives que qualitatives. Et encore, ces distinctions morphologiques sont-elles quelquefois en défaut, puisque M. Bleicher a observé dans un cas « une ébauche en arc isolé dans la masse ocreuse » et aussi des remplissages par de la calcite cristallisée dans des fissures de retrait de la surface fendillée et crevassée du noyau.

Un second fait non moins important et sur lequel on ne saurait trop insister, c'est l'absence dans les pisolithes, d'un corps central ou centre d'attraction recouvert de couches corticales concentriques. Toujours, le fer paraît reposer sur un squelette siliceux, zoné, qui en est le support fondamental.

A la pisolithe, telle qu'elle vient d'être décrite, se rat-

(Oolithe ferrugin.), de l'Œningien, etc... Elles feront l'objet de communications spéciales. M. Choffat m'a communiqué des formations très comparables et recueillies en Portugal.

tachent d'autres formes, très voisines, moins régulières, plus complexes. Ce sont bien encore des grains, si l'on n'envisage que la forme; mais des grains à structure très spéciale. Tantôt une bonne cassure les montre fortement pressés les unes contre les autres; tantôt au contraire, ils sont unis entre eux par un ciment ferrugineux, terreux, amorphe; mais toujours, dans un cas comme dans l'autre, la masse est entourée d'une enveloppe continue, zonée, dure, qui joue le rôle de l'écorce de la pisolithe simple, J'appelle ces formes des *agglomérats*, ne voulant les confondre ni avec les *bohnerz* ou *pisolithes*, ni avec les *conglomérats* très souvent calcaires, ni avec les *masses amorphes* ou *concretionnées*.

Etudiés rapidement, les agglomérats se présentent comme de grosses pisolithes, irrégulières à peine, dans les cas les plus simples. Leur surface est lisse, brillante, mais très souvent tuberculeuse, mamelonnée. Dans les cas complexes, elle peut revêtir les aspects les plus curieux et les plus variés, mais toujours ses contours sont arrondis, adoucis tout au moins; les arêtes vives témoignent d'une cassure.

L'écorce, comme je l'ai fait observer déjà, est continue. Comme chez la pisolithe, elle est formée de toute une série de couches très minces, feuilletées, étroitement accolées entre elles. L'union de ces couches est quelquefois si intime, que l'ensemble constitue une zone en apparence très compacte et homogène, mais qu'il est facile de reconnaître par une coupe mince. Cette écorce est tantôt noire brillante, à reflets métalliques, souvent irisée par place, tantôt terne, ou même ocreuse; mais elle est toujours très résistante et très dure.

L'enveloppe entourant toute la masse se trouve en contact, de ce fait, tantôt avec les pisolithes, tantôt avec le ciment; dans le premier cas, les couches de l'écorce générale de l'agglomérat se confondent avec celles des pisolithes, à tel point que souvent la distinction est impossible, même à la loupe.

Le ciment est formé par une roche d'aspect également très variable. Ordinairement, il est absolument amorphe, ne présentant aucune trace de couches ou de feuillets, quelquefois compact, dur, noir, brillant, à éclat métallique, à reflet

irisé; sa cassure est tantôt esquilleuse, franche ou terreuse, suivant la roche, qui est elle-même, tantôt homogène, tantôt très hétérogène, passant souvent en partie à des ocres plus ou moins friables. Fraîchement extraits des bols, les agglomérats présentent beaucoup d'analogie avec les pisolithes comme coloration ou dureté, mais, comme pour ces dernières, les agents atmosphériques les attaquent fortement.

Nous avons vu que, dans certains cas, pas très fréquents, ce ciment peut faire défaut; les pisolithes sont alors directement soudées entre elles et ce sont leurs couches extérieures qui font la soudure remplaçant le ciment. Il s'ensuit nécessairement des déformations plus ou moins considérables. Dans ce cas, l'enveloppe de l'agglomérat est moins développée. Il est vrai qu'en raison de la soudure plus grande des pisolithes, elle n'a pas besoin d'être aussi forte.

Les pisolithes enclavées dans les agglomérats sont ordinairement analogues à celles qui sont isolées dans les bolus; toutefois, très fréquemment, elles en diffèrent, par leur noyau plus gros, leur écorce plus homogène et moins zonée; mais peut-être, faut-il attribuer ce dernier fait à une meilleure conservation de la pisolithe. Les coupes minces que j'ai faites, sont en général, très comparables à celles des pisolithes.

La forme des agglomérats n'a rien de régulier. Lorsque le ciment est assez abondant pour englober les pisolithes, l'agglomérat tend vers la sphère régulière ou légèrement déformée et si alors, il possède son enveloppe particulière, dure et brillante, il a absolument l'aspect d'une grosse pisolithe et seule la cassure peut en déceler l'hétérogénéité. Toutefois, ce cas ne se rencontre que rarement; les formes régulières ne se conservent que difficilement, car, par suite de l'hétérogénéité de la masse, les agents mécaniques et surtout l'érosion, décomposent ou altèrent les parties tendres ou moins bien protégées. D'ailleurs, rien n'autorise à soutenir que l'hétérogénéité de la masse interne des agglomérats soit nécessairement le résultat d'altération : elle peut fort bien être naturelle. En brisant certaines de ces pseudo-pisolithes, j'ai observé souvent, sous une enveloppe *en appa-*

rence continue et intacte, une masse interne fortement altérée, comme aussi le fait contraire.

Si le ciment fait défaut, ou même s'il manque totalement, l'agglomérat est encore plus irrégulier. Il rappelle quelquefois une grappe de raisin dont les grains sont fortement accolés. Nécessairement alors, on peut observer quelques altérations morphologiques de contact, mais cependant rares.

Il arrive dans certains cas, que ces formes si diverses se réunissent en un banc, assez étendu et très résistant. Quiquerez [1]) dit que vers Courroux (Grossefin), un de ces bancs mesurant plus de 40 pieds de longueur, sur 3 à 5 d'épaisseur, a dû être attaqué à la dynamite.

Les mineurs considèrent les gros agglomérats plus ou moins sphéroïdaux comme des indices de la fin de la couche du minerai ou aussi, comme annonçant le développement brusque d'une nouvelle couche. Et Quiquerez encore prétend que l'observation les confirme souvent !... Pour ce motif les mineurs jurassiens les appellent des « Mères » ou « Mutter ».

Plus l'agglomérat est homogène, plus la cassure est régulière, anguleuse, esquilleuse quelquefois et plus la masse est dure et résistante. La couleur est alors gris de fer, à reflets métalliques, quelquefois brunâtre ou noirâtre. Dans le cas d'une pâte hétérogène, la cassure est irrégulière, la dureté variable et la coloration plus vive, rougeâtre, jaunâtre, rouge vif même. La masse est facilement altérée, partiellement du moins; elle paraît rougie, rouillée.

La présence des pisolithes dans le ciment ne semble pas nuire à l'homogénéité de l'agglomérat, du moins lorsque ce dernier n'est pas altéré. Il y a en effet, entre lui et la surface de la pisolithe une liaison si intime, que la cassure, au lieu de produire un simple décollement, brise plutôt la pisolithe. Lorsque l'agglomérat est altéré au contraire, le choc isole les pisolithes, presque sans les briser.

Si on examine maintenant le ciment seul des agglomé-

---

[1]) Quiquerez : *Le terrain sidérolithique du Jura bernois*, p. 52, 1852.

rats, il apparaît le plus souvent comme une pâte peu homogène, il est presque toujours caverneux, souvent formé d'une série de lits minces et superposés, de dureté différente. L'action lente des acides sur une surface polie fait surtout ressortir nettement ces faits. Au microscope, on y distingue bien souvent des canalisations très petites, mais très nombreuses, ce qui justifie d'autant plus son attribution aux concrétions formées par les eaux en circulation lente. Je possède des échantillons où la pâte formant le ciment est absolument en feuillets très minces et très plissés.

Il n'est pas rare de rencontrer des pisolithes de fer assez régulières, assez brillantes, compactes et sans structure concentrique. Cette forme très fréquente dans certains dépôts (conglomérat de Soulce, crevasses du Mont de Chamblon...), peut résulter du ciment des agglomérats brisés et c'est pourquoi, d'une façon générale, je crois pouvoir la considérer, comme indiquant un remaniement, une remise en mouvement mécanique. De semblables pisolithes sont en général rares dans les dépôts sidérolithiques en place.

A côté de tous ces matériaux si divers, il faut encore placer certaines formes très particulières assez peu fréquentes.

Ce sont d'abord les pseudo-morphoses du sulfure de fer en sesquioxyde, avec conservation de la forme cubique, souvent à peine altérée. Je n'en possède malheureusement que quelques échantillons, provenant d'une ancienne exploitation au S.-E. de Mervelier dans la vallée de Delémont. Quoique moins nettes que les pseudo-morphoses de la pyrite de la craie du bassin de Paris, celles des dépôts sidérolithiques ne sont pas moins intéressantes. On pourrait se demander si ce phénomène n'a pas été très fréquent durant la sédimentation sidérolithique ?... La rareté des pseudo-morphoses bien conservées n'entraîne pas nécessairement celle des phénomènes qui les ont produites.

On trouve également quelquefois des pisolithes plus ou moins régulières dont une ou plusieurs des couches internes se sont altérées et désagrégées et qui, par suite, contiennent une sorte de noyau libre, mais enfermé par l'enveloppe primitive. On les appelle bien à tort « pierres d'aigles ».

Enfin, d'autres formes plus irrégulières, en coulées amorphes, stalactiformes, en tubes, etc., sont assez fréquentes dans certains gisements. Quiquerez leur attribuait une grande importance dans son hypothèse semi-éruptive. On peut les considérer comme dues à une précipitation des sels de fer dissous par des eaux superficielles.

En résumé, ces études sur la structure des minerais de fers en grains montrent une grande analogie entre les fers pisolithiques d'une part et les autres formations oolithiques ou pisolithiques ferrugineuses et calcaires. Elles établissent en outre, comme absolument démontrée, la structure du minerai, formé par un noyau et une enveloppe.

Le noyau est une masse amorphe servant de support aux couches : il est compact, sans couche concentrique en règle générale. Il est formé essentiellement d'une substance riche en grains très fins de silice et n'est pas comme on l'a soutenu, un débri d'organisme, formant centre d'attraction. Sa composition diffère peu de celle des couches de l'enveloppe.

L'enveloppe est formée au contraire, de couches concentriques assez régulières, riches en silice. Sa régularité montre que la formation n'est pas due au roulement, mais que l'attraction moléculaire s'est manifestée très régulièrement pour toute la pisolithe.

Les fers sidérolithiques non en grains diffèrent peu des formes types : ce sont des agrégats ou surtout des résultats de précipitation par voie humide.

2. *Composition chimique.*

Quel que soit son état pétrographique : pisolithes à structure concentrique, masse amorphe ou concrétionnée, le fer sidérolithique est toujours un produit de composition très complexe. A une forte proportion d'hydroxyde de fer, s'allient toujours d'autres composés, dont quelques-uns se rencontrent constamment dans presque toutes les analyses, tandis que d'autres, plus rares, ne sont qu'exceptionnels et paraissent

locaux. Cette distinction, il est vrai, repose sur un caractère plutôt négatif, l'ignorance où nos sommes des proportions exactes des éléments à l'état de traces ou dont la teneur est très faible dans ces composés naturels. Les derniers travaux chimiques et micrographiques sur les alliages ont particulièment fait ressortir l'importance des recherches de cet ordre; mais il semble que jusqu'ici on ne s'en soit pas beaucoup préoccupé en métallogénie, bien que quelques travaux récents aient été publiés déjà cependant dans cette direction [1]). Toutefois, il faut bien reconnaître, qu'il est plus facile de signaler l'écueil que de l'éviter, particulièrement pour ce qui concerne les minerais en grains. Pour l'ordinaire, les analyses chimiques ne sont pas poussées assez loin.

Il se peut donc, qu'un certain nombre d'éléments ou de leurs composés considérés jusqu'ici comme exceptionnels dans les combinaisons ferrugineuses y soient au contraire, à l'état constant.

Mais avant de commencer une discussion sur la composition chimique des bohnerz et sur le rôle des combinaisons diverses qui les constituent, il est nécessaire de fixer les idées par l'examen de quelques analyses. J'en ai groupé un certain nombre dans le tableau qui suit :

---

[1]) DE LAUNAY : *Le rôle du Titane en Géologie, A. Mines*, p. 49. 1903.

Analyses chimiques des bohnerz.

PROVENANCE	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	Mn_3O_4	CaO	MgO	H_2So_4	P_2O_5	P. au f.	Divers	Total	Nature du minerai	Analysé par :
1. Cher : St-Martin-d'Aurigny	69,00	18,60		»	Tr.	»	»	Tr.	12,00		99,60	en grain	Bureau de l'Ecole des Mines (3) [1]
2. Cher : Bourges	67,50	17,00		»	»	»	0,06	0,30	14,50		99,36	» »	» » » (2)
3. Loir-et-Cher : La Petite-Pesodière .	66,66	24,00		»	»	»	0,30	Tr.	9,00		99,96	» »	» » » (2)
4. Cher : Chanteloup	65,00	20,00		»	Tr.	Tr.	0,10	0,20	14,30		99,60	» »	» » » (22)
5. Tarn-et-Garonne : La Garrigue . .	64,00	15,80	5,00	»	»	»	Tr.	0,30	14,60		99,70	» »	» » » (6)
6. Cher : Breteuil	63,00	23,33		»	»	»	»	0,33	13,33		99,99	» »	» » » (15)
7. Tarn-et-Garonne : Pousiniès . . .	62,00	17,00	5,30	»	»	»	Tr.	0,38	15,00		99,68	» »	» » » (7)
8. Jura bernois : Delémont	60,61	11,69	14,89	»	0,29	»	»	0,22	12,27		99,97	» »	Labor. de Choindez (prof. Schmidt) [2]
9. Vienne : Urich	60,50	11,60	10,80	»	0,50	0,15	0,07	0,06	16,00		99,68	» »	Bureau de l'Ecole des Mines (4)
10. Jura bernois : Envelier-Elai . . .	60,47	13,47	14,42	Tr.	0,36	»	Tr.	0,26	10,82	Ti,Cr.	99,83	» »	E. Fleury
11. Jura bernois : Delémont.	60,33	14,79	14,66	»	0,23	»	»	0,19	9,48		99,67	» »	Labor. de Choindez (prof. Schmidt) [2]
12. Tarn-et-Garonne : Brassac . . .	60,16	28,00	6,00	»	»	»	0,11	0,25	5,33		99,85	» »	Bureau de l'Ecole des Mines (1)
13. Cher : Chanteloup	60,00	22,50		»	2,00	»	0,25	0,40	14,40		99,55	» »	» » » (21)
14. Cher : Saule	60,00	12,00		»	8,60	»	0,30	0,40	18,30		99,50	» »	» » » (30)
15. Loiret : Montargis	58,66	28,66		»	0,50	Tr.	Tr.	0,04	11,66		99,52	» »	» » » (1)
16. Doubs : Méchottes	58,20	23,30	5,00	»	»	»	»	Tr.	13,30		99,80	» »	» » » (12)
17. Cher : St-Florent	57,30	23,60		»	»	»	Tr.	0,30	18,60		99,80	» »	» » » (16)
18. Cher : Dun-le-Roy	57,00	25,00		»	3,80	»	0,06	Tr.	13,50		99,38	» »	» » » (31)
19. Vienne : Journet	56,50	16,00	13,10	»	0,80	0,10	0,08	0,09	13,00		99,67	» »	» » » (3)
20. Doubs : les Feuillées	54,10	20,00	9,90	»	3,30	»	0,20	0,30	12,00		99,80	» »	» » » (15)
21. Tarn-et-Garonne : Bruniquel . . .	53,33	14,33	16,00	»	1,33	Tr.	»	Tr.	14,67		99,66	» »	» » » (5)
22. Vienne : Villesalem.	52,00	18,00	16,50	»	0,60	0,15	0,10	0,05	12,30		99,76	» »	» » » (6)
23. Cher : Bois de la Garenne	50,86	11,40	22,52	»	Tr.	Tr.	0,08	0,32	14,60		99,78	» »	» » » (20)

[1]) A. Carnot. *Minerais de fer de la France :* An. des Mines, 1900-04. — Les nombres entre parenthèses correspondent à ceux du mémoire de M. Carnot.

[2]) Indiquées par M. le Prof. C. Schmidt de Bâle.

Analyses chimiques des bohnerz (Suite).

PROVENANCE	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	Mn_3O_4	CaO	MgO	H_2So_4	P_2O_5	P. au f.	Divers	Total	Nature du minerai	Analysé par
24. Tarn-et-Garonne : St-Antonin . .	49,72	23,60	14,60	»	»	»	0,08	0,01	11,66		99,67	en grain	Bureau de l'Ecole des Mines (3)
25. Doubs : Audincourt	47,76	23,30	13,00	»	0,66	0,33	0,10	0,66	13,66		99,43	» »	» » » (11)
26. Doubs : les Echelottes	47,00	39,00	3,60	»	»	»	0,20	Tr.	10,00		99,80	» »	» » » (14)
27. Cher : Mehun s/Yèvre.	46,00	27,40		»	2,50	0,10	»	Tr.	14,00		100,00	» »	» » » (9)
28. Cher : Bourges	46,00	37,40		»	2,50	»	0,10	Tr.	14,00		99,36	» »	» » » (1)
29. Cher : St-Martin-d'Aurigny . . .	45,00	33,00	11,60	»	Tr.	»	»	Tr.	10,30		99,90	» »	» » » (4)
30. Doubs : Bois-Lacombe	44,60	35,00	6,40	»	Tr.	»	Tr.	Tr.	14,00		100,00	» »	» » » (16)
31. Tarn-et-Garonne : Caylus	43,00	36,67	8,33	»	0,67	0,33	»	0,37	10,33		99,70	» »	» » » (4)
32. Hof : (Bavière)	42,53	13,9	10,25	0,34	0,85	0,59	n.dos.	0,41	n.dos.		—	» »	Ph. Moulan [1])
33. Cher : Mazenet	42,50	18,60		»	16,00	»	0,30	0,70	21,50		99,60	» »	Bureau de l'Ecole des Mines (28)
34. Jura bernois : Vermes	40,11	31,27	13,32	Tr.	0,47	Tr.	0,01	1,05	14,64		99,82	» »	E. Fleury
35. Russie : Kertsch (Crimée)	39,40	18,5	2 à 5	1-1,25	1-1,25	1-1,25	n.dos.	1,15	16,35		—	» »	Ph. Moulan
36. Russie : » »	37,40	18,5	id.	3,40	id.	id.	id.	0,97	15,00		—	» »	Ph. Mo dan
37. Cher : Notrant	35,50	54,40		»	»	»	0,30	1,60	8,00		99,80	» »	Bureau de l'Ecole des Mines (12)
38. Cher : Sancergues	33,30	65,90		»	»	»	0,10	Tr.	10,00		99,20	» »	» » » (34)
39. Cher : Cuffy-le-Guétin.	30,30	9,00		»	30,50	»	»	Tr.	30,00		99,80	» »	» » » (32)
40. Hesse rhénanne : Weisberg . . .	29,40	38,7	6,34	0,35	0,63	0,13	»	0,06	10,8		—	» »	Ph. Moulan
41. Hesse : Munzerheim	26,00	25,8	11,70	5,00	2,23	0,18	»	0,13	14,7	Ti.	—	» »	Ph. Moulan
42. Cher : Cuffy-le-Guétin	24,30	10,10	10,50	»	25,60	»	»	0,36	28,60		99,40	» »	Bureau de l'Ecole des Mines (33)
43. Cher : St-Martin	23,00	70,00		»	»	»	»	»	7,00		100,00	» »	» » » (8)
44. Suisse : Goumoens-le-Jux (Vaud) .	15,91	55,32	20,53	Tr.	0,07	Tr.	Tr.	Tr.	7,93	Bitum	99,76	» »	Prof. H. Schardt [2])
45. Suisse : » » »	15,79	53,80	21,85	Tr.	0,09	Tr.	Tr.	Tr.	8,32	id.	99,83	» »	» » »

[1]) Ph. Moulan. *Origine et formation des minerais de fer :* p. 84, 85. 1904.

[2]) Analyses faites au laboratoire du Polytechnicum fédéral et communiquées par M. Schardt.

Je me fais un devoir d'exprimer ici toute ma gratitude à M. A. Carnot, pour les excellentes directions qu'il m'a données au sujet de ces analyses et la bienveillance qu'il m'a toujours accordée, particulièrement durant mon séjour à Paris.

Constatons immédiatement et une fois pour toutes, qu'il importe d'être prudent dans l'interprétation de ces analyses, dont la plupart ont été faites dans un but industriel. En règle générale, elles sont peu précises et pour certains éléments qui n'existent dans les composés sidérolithiques qu'à l'état de traces, elles sont absolument insuffisantes. Toutefois, je crois qu'il est possible d'en dégager quelques considérations générales, qui ne manquent pas d'intérêt.

Et d'abord, elles montrent, très nettement et à priori, la complexité et la variabilité de composition des matériaux ferrugineux de ces formations. En effet, nous pouvons de suite établir une classification par ordre d'importance, des éléments qui entrent en jeu ; classification basée sur la fréquence de ces éléments dans les 45 analyses reproduites plus haut (p. 96 et 97).

Le fer ($Fe_2 O_3$)	a été	reconnu	45	fois	100 %
La silice ($Si O_2$)	»	»	45	».	
L'alumine ($Al_2 O_3$)	»	»	45	»	
L'acide phosphor. ($P_2 O_5$)	»	»	43	»	95,55 %
La chaux ($Ca O$)	»	»	32	»	71,11 %
L'acide sulfurique ($H_2 S O_4$)	»	»	31	»	68,88 %
La magnésie ($Mg O$)	»	»	17	»	37,77 %
Le manganèse ($Mn_3 O_4$)	»	»	9	»	20 — %

etc...

Les fers sidérolithiques apparaissent bien ainsi comme des composés essentiellement constitués par le sesquioxyde de fer, la silice et l'alumine, auxquels s'ajoutent, presque toujours, l'acide phosphorique et moins régulièrement peut-être, quelques autres éléments. On peut les envisager comme des produits, de composition variable, mais à base constante de silico-aluminate de fer.

Les éléments importants sont donc bien l'oxyde de fer, la silice, l'alumine et aussi l'acide phosphorique. On les rencontre toujours, en proportions variables sans doute, mais du moins, leur présence reste constante et c'est précisément ce qui les distingue des autres éléments : la chaux, l'acide sulfurique, la magnésie, les oxydes de manganèse d'abord, puis

le titane, le vanadium, l'arsenic, le zinc, etc... qui sont des éléments locaux et plus irréguliers, ce qui d'ailleurs n'enlève rien à leur importance relative. La grande variabilité des produits sidérolithiques est justement la conséquence de ce double fait: instabilité des éléments constants (fer, silice, alumine, acide phosphorique) et rôle irrégulier, sporadique, des autres éléments (éléments locaux).

L'oxyde de fer. Le fer des bohnerz est toujours très oxydé : il existe le plus souvent sous forme de sesquioxyde hydraté : 2 ($Fe_2 O_3$, 3 $H_2 O$). Exceptionnellement, il forme des sulfures et des silicates. Les sulfures sont le plus souvent altérés [1]) et se reconnaissent aux pseudomorphoses de la pyrite en sesquioxyde ferrique. Les silicates, assez rares, du moins en Suisse, peuvent expliquer les propriétés magnétiques de certains bohnerz.

Dans quelques cas, la composition des bohnerz se rapproche de celle de la chamoisite ou de celle de la berthierite, mais en raison de leur extrême variabilité, il est impossible d'assigner à ces produits une position déterminée dans les classifications minéralogiques.

Les bohnerz sont toujours hydratés. La perte au feu varie de 5,33 % à 30 % (Analyses N° 12 et 39).

Leur teneur en fer est également variable : elle oscille entre 16 % et 69 % [2]).

La silice et l'alumine. Leur rôle n'est pas très connu; il semble purement mécanique : servir de support au fer et former le squelette des composés ferrugineux, comme le montre l'étude microscopique des bohnerz. Ainsi que je l'ai fait observer, les silicates de fer sont une exception : d'ordinaire la silice est en grains irréguliers ou en zones transparentes.

---

[1]) Il y a naturellement de nombreuses exceptions, sans parler même des bols qui sont colorés en vert.

[2]) Ce pourcentage est donné pour $Fe_2 O_3$; on calculerait le fer par la formule $0{,}70 = \frac{2\ Fe}{Fe_2\ O_3}$

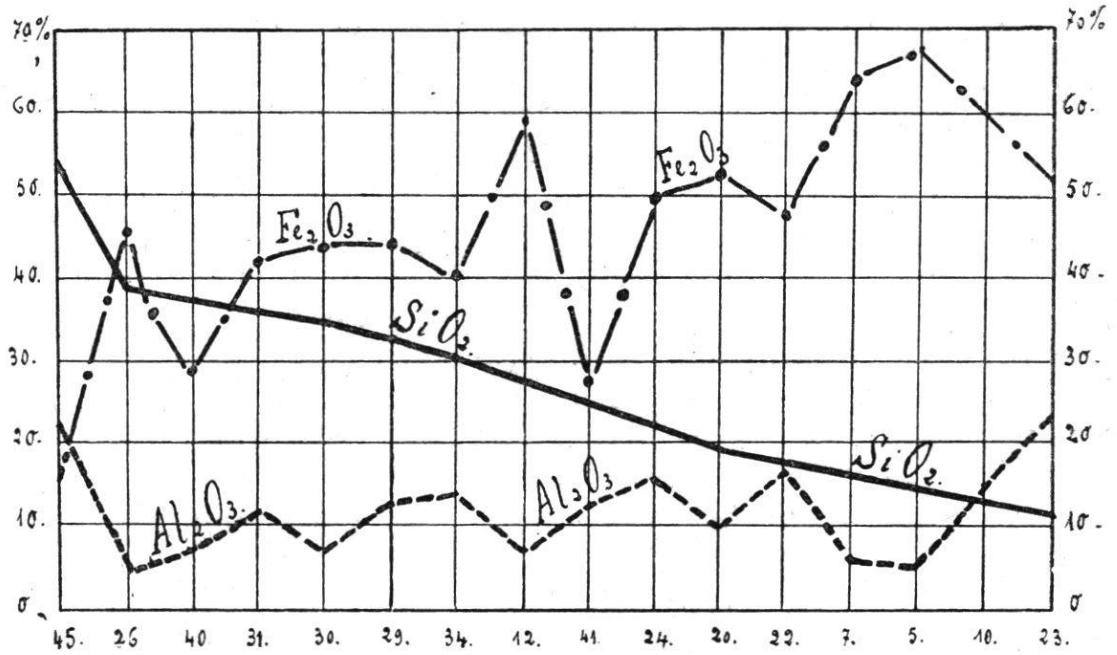
La silice et l'alumine coexistent en règle générale. Ce sont elles qui donnent aux bohnerz leur allure, car ceux-ci résultent surtout de la lutte du fer contre ces deux éléments. Une courbe établie d'après les analyses relevées plus haut, le montre parfaitement : il y a opposition très nette, comme peuvent l'indiquer assez bien les nombres suivants :

Variation de Fe_2O_3.	Variation correspondante de $SiO_2 + Al_2O_3$.
16 à 69 %	75 — 18 %

Les limites de variabilité d'un élément sont dépendantes de celles des autres : la richesse en fer d'un minerai sidérolithique est fonction de sa pauvreté en autres éléments. On peut en dire souvent autant de chacun des éléments.

Pour préciser d'avantage tous ces faits, je crois utile de reproduire ici quelques-unes des courbes que j'ai établies pour arriver à connaître le rôle réel des divers éléments. Dans ces courbes, le pourcentage est porté en ordonnée, tandis qu'en abscisse figurent les numéros des analyses consultées (voir p. 96 et 97).

I. DIAGRAMME DE LA SILICE

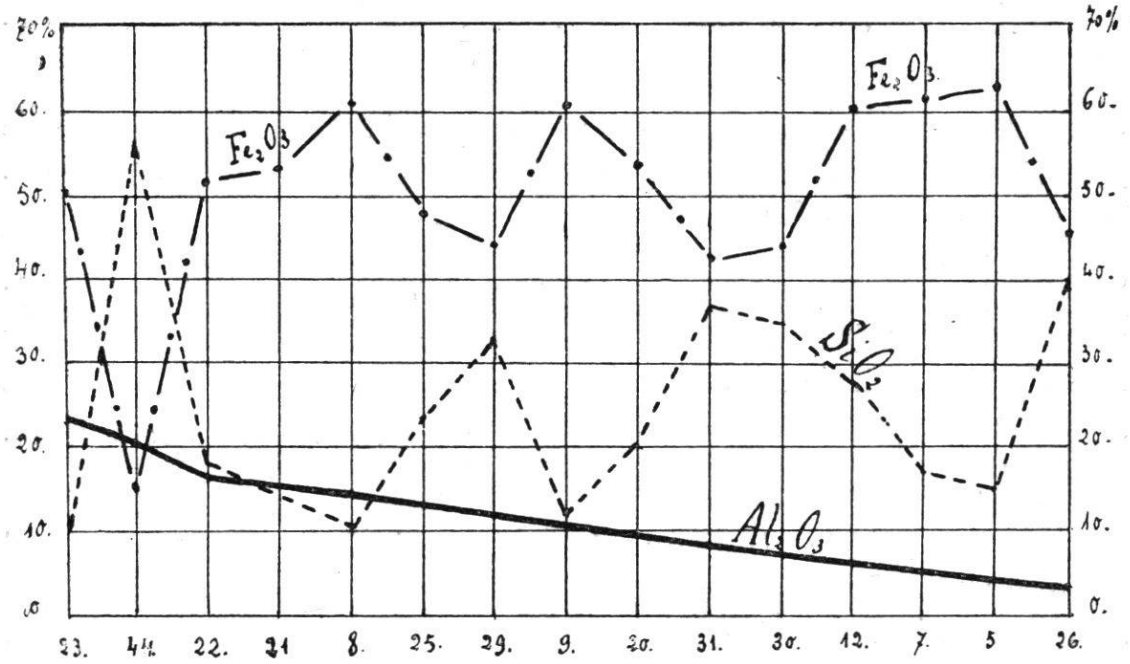


Cette première série de courbes montre bien, ainsi que je viens de le dire, l'opposition nette qui existe entre le sesquioxyde de fer et la silice ou l'alumine. A une courbe

régulièrement décroissante pour la silice, s'oppose une autre courbe, régulièrement croissante dans son ensemble pour le sesquioxyde de fer. Les oscillations de la courbe de l'alumine sont de faible amplitude ; mais elles contrebalancent celles de la courbe du fer qui sont les plus prononcées.

Nous allons retrouver des phénomènes analogues en étudiant la courbe de l'alumine. Toutefois, ici, l'opposition entre le fer et la silice est encore plus accentuée, ainsi que le montre très nettement le diagramme qui suit.

II. DIAGRAMME DE L'ALUMINE [1])



En outre, nous voyons apparaître un autre phénomène. S'il reste vrai, que la richesse en fer des composés sidérolithiques est fonction de leur pauvreté en silice, nous constatons, qu'à mesure que la teneur en alumine diminue, celle en silice et en fer augmente. Il y a donc bien entre ces éléments opposition générale et réciproque. C'est également encore entre la silice et le fer que cette opposition est la plus grande ; mais c'est l'alumine qui est surtout indépendante : la silice et le fer se remplacent réciproquement.

---

[1]) Ce diagramme est construit comme le précédent : le pourcentage des éléments est porté en ordonnée et en abscisse sont les numéros des analyses consultées.

L'acide phosphorique et la chaux. Je crois utile de réunir ces deux composés sur lesquels nous n'avons malheureusement guère de renseignements.

L'acide phosphorique existe dans la plupart des bohnerz ; mais il est toujours en faible proportion (jusqu'à 1,5 %). Il forme sans doute des phosphates terreux, plus rarement métalliques. Son rôle semble assez comparable à celui de la chaux et dans les courbes que j'ai construites pour ces deux éléments des bohnerz, j'ai retrouvé quelque chose de comparable à ce qui passe pour la silice et l'alumine vis-à-vis du fer.

A une courbe régulièrement descendante d'acide phosphorique, en correspond une autre, à peu près parallèle et également décroissante, pour la silice et l'alumine, tandis que les courbes de la chaux et du fer sont légèrement ascendantes. Au contraire, si c'est la courbe de la chaux qui sert de point de comparaison et qui est régulièrement descendante, on constate que la courbe de l'acide phosphorique oscille très faiblement, tandis que les courbes du fer, de la silice et de l'alumine deviennent ascendantes et ont des oscillations d'amplitude relativement considérable.

En résumé, il semble que l'on peut réunir l'acide phosphorique et la chaux, pour les opposer au fer, à la silice et à l'alumine, et en former un groupe à part, à côté du sesquioxyde de fer d'abord, de la silice et de l'alumine ensuite.

Par ce que nous venons de voir de leur composition générale, les bohnerz pourraient être assimilés aux roches basiques : leur pourcentage en silice dépasse rarement 50 % ; en moyenne, il varie entre 10 et 30 % et conformément à la règle générale des roches basiques, nous constatons chez les bohnerz que plus on tend vers un type basique, plus la silice et l'alumine diminuent, plus le fer augmente. Cependant, tout en affectant l'allure d'une roche basique, les bohnerz en diffèrent en plus d'un point, ce qui n'a rien de surprenant. En effet, par leur origine première, ils se rattachent à des composés ferrugineux d'ordres variés, dont ils dérivent par

des altérations, produites le plus souvent sous des influences oxydantes. La silice, élément acide par excellence, riche en oxygène (53 %), ne sature le fer qu'après les bases plus fortes, les alcalis, l'alumine, la chaux, la magnésie. Ce serait déjà là une première explication de la rareté des silicates de fer dans les minerais en grains sidérolithiques. Mais l'oxydation générale n'est pas limitée à la seule action de la silice, elle tend à donner au fer, la forme la plus stable, soit celle de sesquioxyde. Par suite, le fer des bohnerz est un oxyde ferrique $Fe_2 O_3$ et non un protoxyde Fe O ou un oxyde neutre $Fe_3 O_4$, comme dans les roches basiques.

Dans les minerais en grains, l'élément basique est donc le fer : la magnésie ne joue qu'un rôle presque insignifiant.

La *répulsion* de l'oxyde ferrique pour la silice et l'alumine se trouve contrebalancée par l'affinité qui porte réciproquement l'une vers l'autre, ces deux dernières substances. Ce fait, qui apparaît très visiblement dans les bohnerz, avait été signalé déjà pour les mêmes substances et aussi pour la chaux et la magnésie, par les diagrammes de la scorie ferromagnésienne et des éléments blancs de M. Michel-Lévy. Toutefois, sans rien préjuger des conclusions admises pour les roches éruptives, par le savant minéralogiste et pétrographe français, il me semble que dans le cas des bohnerz, cette affinité soit moins intime, plus apparente peut-être que réelle et un peu d'occasion. La silice et l'alumine sont deux éléments acides et dans le cas, leur affinité est d'autant plus intime, qu'ils ont à lutter contre un concurrent commun : l'oxyde ferrique.

Pour les autres éléments, les analyses citées plus haut sont insuffisantes et je dois me contenter de quelques considérations générales.

Le squelette des composés ferrugineux, formé par le fer oxydé, la silice, l'alumine, l'acide phosphorique et parfois la chaux, sert de suppport à d'autres combinaisons nombreuses, moins constantes, formées, par ce que j'ai appelé précédemment les éléments locaux ou les éléments à l'état de traces. Il ne s'agit pas ici d'une classification proprement dite

des éléments constitutifs des bohnerz, j'ai seulement voulu préciser les faits, en admettant un certain groupement de ces éléments, d'après le rôle qu'ils semblent jouer.

Les éléments locaux ne sont peut-être pas moins fréquents que le fer, la silice, l'alumine, l'acide phosphorique ; mais c'est par exception seulement qu'ils peuvent être très importants. La teneur en chaux de certains composés, par exemple, peut atteindre jusqu'à 30 % (Analyse n° 39), mais c'est bien une exception.

Nous allons examiner rapidement quelques-uns de ces éléments locaux.

La chaux, dont il vient d'être question, est assez fréquente dans les bohnerz ; mais le plus souvent, elle y est en très faible proportion. Dans quelques cas, elle est plus abondante, sous forme de sulfate ou de phosphate. Mais alors, les composés ferrugineux subissent une altération de faciès et font place à des produits plus nettement phosphatés ou sulfatés (phosphates, nodules de chaux, gypse, etc...) et il s'agit d'une irrégularité, d'une anomalie sidérolithique. Plus rarement, on trouve des carbonates de chaux dans ces composés ferrugineux. J'ai cependant pu constater leur présence dans des bohnerz remaniés, mélangés à des ossements éocènes.

La magnésie accompagne fréquemment l'oxyde ferrique. M. de Launay la considère comme l'élément basique par excellence.

Le manganèse est également un compagnon fidèle de l'oxyde de fer et il existe dans la plupart des minerais, mais assez souvent, seulement à l'état de traces. Quiquerez lui attribuait la coloration noirâtre de certaines pisolithes ; il semble plutôt, qu'elle résulte d'une simple altération par les agents atmosphériques. Dans quelques cas, la proportion en manganèse des bohnerz est assez forte (par exemple, les minerais de la Dordogne) [1].

---

[1]) Quiquerez parle souvent de filons de manganèse dans le Jura bernois ; mais il est difficile de le comprendre sur ce point, les fameux filons étant inconnus aujourd'hui.

Le soufre se rencontre parfois dans les pisolithes sous la forme de sulfure. Les sulfures de fer ne sont pas rares, aux environs de Soleure, ou dans le canton de Vaud (carrières de la station d'Eclépens). Mais ici encore, comme pour la chaux (phosphate), il s'agit d'une anomalie sidérolithique, qui atteint rarement les pisolithes elles-mêmes. Les pseudomorphoses de pyrites ne sont pas très rares. J'ai parlé déjà des sulfates.

Le cuivre n'existe pas dans les bohnerz. On ne l'a signalé qu'une seule fois, à ma connaissance, dans le minerai des Zigzags (Neuchâtel).

Les éléments du dernier groupe sont ceux qui sont plus particulièrement à l'état de traces. C'est à ce fait d'ailleurs, que plusieurs doivent de n'avoir été signalés dans les bohnerz que très tardivement et la découverte de quelques-uns semble même due à une circonstance tout à fait fortuite. Ainsi par exemple, *le titane* ne fut signalé dans les minerais jurassiens que lors de la démolition des hauts-fourneaux de Delémont et d'Undervelier : sur les parois des creusets, on put recueillir d'abondantes cristallisations de titanate de fer. Quiquerez avait déjà fait observer que dans les fissures des hauts-fourneaux, particulièrement dans le creuset, se déposaient « du soufre, du plomb, du zinc, de l'étain et diverses autres substances d'un aspect métallique... » Bien avant lui, certains ingénieurs avaient signalé la formation de vapeurs blanchâtres très lourdes, s'échappant ou se déposant sur les parois du gueulard, *cadmies zinguifères*. Vauquelin, Léchevin ont donné des analyses pour quelques minerais français de l'Est. Ce dernier auteur dit particulièrement, qu'en Côte-d'Or, on voit fréquemment, sur les parois des hauts-fourneaux, des gouttelettes de plomb ou des formations de litharge. Il s'y forme également une scorie pierreuse, verdâtre, que d'après le même auteur toujours, Vauquelin considérait comme de l'oxyde de zinc. Il parle également des cadmies déposées dans les pyramides.

D'après M. le Dr Rollier [1]), L.-R. de Fellenberg avait

---

[1]) L. Rollier : *Die Bohnerzformation*, 1905.

déjà reconnu dans les minerais des environs de Delémont (Courroux, Cerneux et Grossefin), des oxydes de manganèse, de plomb, de zinc, de chrôme, des acides vanadique, sulfurique et phosphorique. Fellenberg donne les chiffres suivants pour une analyse de scorie formée dans les fissures du haut-fourneau de Choindex :

Oxyde de zinc		94 à 98 %
Oxyde de plomb	jusqu'à	3 %
Oxydes de fer	»	2,5 %
Carbone	»	0,7 %
Soufre	»	0,02 %
Silice	»	0,9 %

Le titanate de fer des parois du creuset est ordinairement cristallisé dans le sytème quadratique. Il semble qu'on puisse considérer ce produit comme une sorte d'alliage. Vauquelin avait déjà signalé la possibilité d'unir ces deux éléments ; la proportion du titane est toujours faible. Joannis semble partager cette manière de voir. Je n'ai pu me procurer des échantillons de ces titanates, qui ne nous intéressent d'ailleurs que médiocrement. Le fait important, c'est l'existence du titane dans les bohnerz. Dans son admirable étude sur le « Rôle du titane en géologie », M. de Launay parait admettre dans les minerais en grains un sesquioxyde de titane $Ti_2 O_3$, isomorphe avec celui d'alumine et celui de fer. Je n'éprouve pour ma part aucune difficulté à suivre sur ce terrain le savant professeur de l'Ecole des mines. Toutefois, on pourrait se demander, si le titane des bohnerz ne joue pas aussi un rôle d'acide ($Ti O_2$) ? Son rôle dans les bohnerz est moindre que dans les bauxites, dont certaines, d'après L. Collot, renferment jusqu'à 2 ou même 4 % de $Ti O_2$. Certains minerais de la Hesse rhénane en contiennent cependant, jusqu'à 1,396 % [2]).

Le vanadium accompagne ordinairement le titane. Je l'ai retrouvé dans les minerais jurassiens et M. A. Carnot,

---

[1]) P. Moulan : *Origine et formation des minerais fer*, p. 86. 1904.

directeur de l'Ecole des mines, l'a également dosé dans les argiles sidérolithiques du Centre français. Comme pour le titane, on peut se demander, s'il faut le considérer comme sesquioxyde $Va_2 O_3$ ou comme acide $V_2 O_5$. Dans le premier cas, il trouverait sa place à côté du titane ($Ti_2 O_3$), de l'oxyde ferrique ($Fe_2 O_3$), de l'alumine ($Al_2 O_3$) ; dans le second, il se rapprocherait de l'acide phosphorique ($P_2 O_5$), comme précédemment l'acide titanique ($Ti O_2$) se plaçait à côté de la silice ($Si O_2$).

Le chrôme, qui dans les minerais jurassiens a souvent plus d'importance que le manganèse, paraît également se rapprocher de l'oxyde ferrique: $Cr_2 O_3$ s'associe à $Fe_2 O_3$ dans les peridolithes et par ailleurs l'acide chromique est volatil.

Quant à l'*arsenic* en assez forte proportion dans quelques minerais en grains pour les rendre inutilisables, par exemple ceux du val de Laufon (J. b.), il existe constamment dans presque tous les bohnerz, à l'état de traces, comme j'ai pu m'en convaincre. C'est encore un de ces éléments beaucoup plus répandus et plus fréquents qu'on ne le pensait [1]). Il est d'ailleurs le compagnon fidèle du soufre et Daubrée déja, avait signalé sa coexistence dans les minerais du Bas-Rhin,

---

[1]) Les travaux admirables de MM. A. Gautier et G. Bertrand (sur l'arsenic physiologique) ont démontré l'existence de l'arsenic dans la plupart des tissus organiques. Le plus grand mérite de ces deux savants est moins dans leur découverte même que dans la précision qu'ils ont su donner à leurs méthodes de recherches. Grâce à eux, la vieille méthode de Marsch devient une des plus rigoureuses. Je ne saurais que renvoyer ici, aux mémoires qui ont été publiés par MM. Gautier et Bertrand et dont on trouvera une liste assez complète, dans la publication du Dr Monneyrat sur l'arsenic organique, 1904. — Le fait que l'arsenic est un des éléments constants des tissus, exige, même a priori, que cet élément soit très répandu dans les formes végétales et animales et par suite dans le sol même. On peut donc s'attendre à le rencontrer beaucoup plus souvent qu'on ne le croyait autrefois. — Ce qui arrive pour l'arsenic est arrivé déjà et arrivera encore pour beaucoup d'autres éléments. Quand on examine bien tous ces faits, on se demande, si vraiment la vieille théorie de la *correspondance* de Paracelse était aussi peu fondée qu'on a bien voulu le dire ?

avec le soufre, le phosphore, le chrôme, le titane et le zinc, dans les proportions suivantes :

Arsenic	0,001—0,0026 ‰
Phosphore	0,009—0,0047
Soufre	0,0022—0,0049

Dans les quelques essais de reproduction des pisolithes que j'ai effectués, j'ai toujours remarqué l'influence heureuse des traces d'acide arsénieux dans la solution utilisée. Faudrait-il en conclure une connexion entre la morphologie des minerais en grains et leur teneur en arsenic ? Je ne voudrais pas être trop affirmatif sur cette question délicate ; toutefois, pour qui a suivi les derniers travaux des chimistes sur les alliages japonais, ces faits n'ont rien de très surprenant.

Il resterait encore à parler de quelques éléments, en particulier du *zinc*, du *plomb*, de l'*étain*, qui tous ne forment jamais qu'une partie infinitésimale des bohnerz.

Le zinc et le plomb ont une certaine affinité réciproque et se rencontrent fréquemment en coexistence dans les mêmes roches. Ils entrent même dans certains silicates. D'ailleurs, pour le cas des bohnerz, leur présence pourrait s'expliquer, comme nous le verrons dans une autre partie de cette étude, par une communauté d'origine, sous forme de sulfures de fer, de zinc, de plomb.

En résumé, la composition chimique des bohnerz ou des matériaux ferrugineux sidérolithiques, quoique très variable dans ses réalisations de détail, ne manque cependant pas d'une certaine régularité d'ensemble. La variabilité de détail est le résultat des oscillations individuelles des éléments subissant des influences locales ; tandis que la régularité d'ensemble est une conséquence de la stabilité de ces mêmes éléments, facteurs constants mais variables des différents produits. En d'autres termes, la composition qualitative ou quantitative explique la stabilité et justifie la variabilité ; les variations quantitatives étant plus grandes et surtout, plus apparentes que les qualitatives.

Le groupement des éléments constitutifs de ces forma-

tions sidérolithiques, en éléments importants, fondamentaux, et en éléments locaux ou en faibles proportions, peut être avantageusement remplacé par le suivant, basé surtout sur le rôle de ces mêmes éléments :

I. Fer, silicium, aluminium.
II. Phosphore, calcium.
III. Magnésium, manganèse, soufre, titane, vanadium, chrôme.
IV. Arsenic, plomb, zinc, étain.
V. Bitume, (etc.).

De tous ces éléments, aucun n'existe à l'état libre dans les bohnerz : tous sont au moins oxydés ou hydratés. Le degré d'oxydation tend vers l'état le plus stable, c'est-à-dire, le plus difficilement décomposable : de là la prédominance des sexqui-oxydes. En outre, très souvent, sous cette forme, ils entrent encore dans des combinaisons très complexes.

De ce fait, on a le droit de supposer, que ces matériaux ont été formés par une série d'actions répétées et exécutées sous une influence généralement oxydante.

B. Les produits siliceux et argileux.

Sous ce titre général, se groupent des roches souvent très différentes d'aspect et de composition, mais qui forment la majeure partie des matériaux sidérolithiques. Et ici encore comme pour les « types sidérolitiques » précédemment étudiés au chapitre II, il y a toute une série très complexe de formes très diverses, passant les unes aux autres, ainsi que l'on peut s'en faire immédiatement une idée assez juste, en examinant les quelques analyses qui suivent [1]).

---

[1]) Ces analyses sont indiquées par M. le Dr E. Baumberger de Bâle, dans sa notice : *Die Eisenerze im Schweizerjura*, 1907. M. le prof. C. Schmidt de Bâle, avait déjà fait mention de quelques-unes dans son étude pour l'exposition nationale de Genève de 1896.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
$Si\ O_2$	92,55	88,77	84,67	68,30	61,07	59,98	48,46
$Al_2\ O_3$	5,08	6,86	11,63	15,75	30,43	27,86	34,46
$Fe_2\ O_3$	traces	0,77		6,55		3,60	3,44
$P_2\ O_5$	—	—	—	traces	—	—	—
$Ca\ O$	0,73	0,99	0,73	1,70	0,38	0,78	0,67
MgO	—	—	0,11	1,19	—	0,27	—
Porte au feu	1,70	2,59	2,92	6,20	8,45	8,56	13,91
	100,06	99,98	100,06	99,20	100,33	101,05	100,94

La composition chimique des sables, (I Matzendorf, Soleure; II Champ Chalmé, près Court, Jura bernois et III Petit Champoz, près Moutier), diffère sensiblement de celle des argiles, (IV Ecorcheresses, Jura bernois; V, VI et VII Petit Champoz, près Moutier). Mais ici encore, le passage des uns aux autres se voit parfaitement dans les variations de la silice (92,55 % à 48,46 %) et dans celles de l'alumine (5,08 % à 34,46 %), le fer n'ayant pas plus d'importance que la chaux ou que la magnésie.

Ces seules considérations suffisent pour justifier le titre donné à ce groupe de produits si divers, nettement siliceux ou alumineux. Ne pouvant m'arrêter très longuement sur ce sujet, je me bornerai à étudier parmi ces matériaux, les types les mieux caractérisés.

1. Les sables siliceux ou hupper [1]).

Comme l'indiquent leurs noms, ces sables sont essentiellement formés par de la silice en grains. Lorsqu'ils sont purs, on peut les utiliser pour la fabrication du verre [2]). Le plus souvent, ainsi que le montrent les analyses mentionnées

---

[1]) Expression populaire, employée généralement par les auteurs allemands,

[2]) L'existence d'anciennes verreries jurassiennes est bien établie par les nombreuses accumulations de scories et aussi par l'histoire pour une époque plus récente. La vallée de Moutier fut de tout temps le centre de l'industrie du verre, qui y eût dès le moyen-âge, sa corporation bien organisée et dont l'esprit de caste a subsisté jusqu'à nos temps. Aujourd'hui encore, une verrerie y est en pleine prospérité.

plus haut, la silice y est associée à l'alumine. Dans ce cas, ils peuvent souvent servir à la fabrication des produits réfractaires, l'alumine étant bien moins fusible que la silice. Certains sables jurassiens sont à ce point de vue excellents et il est vraiment regrettable que leur exploitation ne soit pas systématiquement et régulièrement organisée [1]). Les travaux bien connus de Segers ont en effet établi, que parmi les mélanges de silice et d'alumine, celui de 1 d'alumine avec 2 de silice est très réfractaire, quoique cependant moins que celui de 1 de silice avec 1 d'alumine.

Les sables sont ordinairement accumulés en masses parfois considérables dans les dépressions du substratum du Sidérolithique ou au contraire, ils constituent un banc régulièrement intercalé dans les argiles ou les bohnerz. Ils sont formés par des grains de silice transparente. Purs, il sont blancs, mais, très souvent, la présence de sels métalliques les colore diversement. Les teintes les plus communes sont : rouge, rose, jaune, blanc-laiteux. On connaît des sables noirs, (crevasses dans le Kimmeridien, au nord de Crémine, dans la vallée de Moutier), bleuâtres ou violacés (Moutier), etc... Mais presque toujours, il est facile de reconnaître que la coloration est due à des particules très fines, accolées aux grains de la silice translucide et incolore. Pour s'en convaincre, on peut opérer de la façon suivante :

Dans un tube de verre, légèrement incliné, rempli d'eau distillée et mesurant au moins 2 m. de longueur, sur $1^1/_2$ à 2 cm. de diamètre, on verse lentement les sables à étudier que l'on a préalablement fait immerger pendant quelques heures dans de l'eau pure (30 à 35°) ; on recueille séparément les sédiments qui se déposent (au moyen d'un robinet placé vers le

---

[1]) Ces matériaux sont cependant déjà exploités sur plusieurs points dans les vallées de Matzendorf (Soleure), de Moutier, de Tavannes, de Péry (Jura bernois), aux environs de Lausen (Bâle-Campagne), de Longeau (Berne), etc... Ils sont employés dans les verreries (Moutier) ou les briquetteries (Moutier, Société L. de Roll et Lausen, etc.) ou même, transportés à l'étranger (Lyon).

bas du tube) et il ne reste plus qu'à les étudier au microscope. On peut aussi, dans le même but, examiner les sables directement au microscope; mais ce procédé est bien moins délicat et dans quelques cas surtout, il est absolument insuffisant.

Dans tous les cas, on peut constater que la silice reste incolore, sous forme de grains transparents, de dimensions variables, tantôt à arêtes vives, tantôt roulés, mais très rarement cristallisés. Les matières colorées sont fixées par des particules très fines, où l'on reconnaît encore une quantité de petites aiguilles de silice à arêtes vives. Traitées par les acides, ces particules se décolorent et il reste un résidu siliceux.

Assez souvent, les sables très pressés ou cimentés passent à la quartzite ou au grès. Les formes cristallines sont toujours une exception : mais on les rencontre cependant, soit isolées et microscopiques, soit accumulées. Les concrétions de silicate d'alumine sont moins rares; elles sont en masses le plus souvent, mais parfois aussi, elles se poursuivent en long tubes pleins, à travers les sables. Il y a, en quelque sorte, un isolement de l'alumine au milieu de la silice. La formation de ces « serpents » s'explique parfaitement par des infiltrations superficielles d'eau de pluie, ayant traversé des argiles très riches en alumine. A côté de ces concrétions alumino-siliceuses, il faut également mentionner celles du fer qui sont très fréquentes et de formes très variées.

2. *Les argiles.*

Les argiles sidérolitiques sont très développées et surtout très variables de composition. Elles se distinguent des sables par leur pauvreté relative en silice et leur plus grande richesse en alumine et en fer, comme on peut le constater par les analyses IV, V, VI et VII.

On peut distinguer deux groupes :

1° Les argiles nettement siliceuses ou bols.

2° Les argiles riches en alumine et plastiques.

Les bols ou *bolus* sont des argiles très ferrugineuses, donc ordinairement, de coloration vive, riches en silice, mais pauvres en alumine. Ils ne sont pas plastiques. Leur aspect et leur texture sont des plus variables : en général, on peut les considérer comme dus à des mélanges de substances très diverses avec les sables siliceux qui en forment la plus grande partie. Leur composition minéralogique peut se résumer ainsi :

I. Eléments fondamentaux.
La silice : en grains (sables), en concrétions, en masses (quartzite, silex).
L'alumine : silicates hydratés voisins de la collyrite.
Le fer : en grains pisolithiques, en concrétions, en imprégnations.

II. Eléments secondaires.
Les sels : phosphates, titanates, vanadates, arséniates, chrômates, carbonates, manganates, sulfures.
La baryte, la strontiane, la magnésie...

III. Eléments accidentels.
Des galets roulés (calcaires, siliceux...).
Des concrétions calcaires, siliceuses, ferrugineuses.
Du bitume, des produits organiques (ossements) ou humiques.
Des minéraux : glauconie, feldspath...

Comme pour les sables, la coloration est due aux sels métalliques (oxydes de fer, de manganèse surtout), sans qu'il soit possible cependant de fixer le rôle exact de chacun d'eux. La coloration est, en effet, la résultante des actions totales des colorants et le rôle de chacun est modifié par les actions combinées de tous les autres. Dans quelques cas, l'influence prépondérante d'un colorant peut fixer la coloration générale : le sulfure de fer colore les bols en vert, l'arsenic (val de Laufon), en jaune d'or, les phosphates (Jura neuchâtelois), en vert foncé, etc... L'action des sels de fer, du sesquioxyde, ou de manganèse est des plus variable : elle est fonction de la quantité du sel, comme aussi de son degré d'hydratation.

La coloration seule ne saurait justifier une classification des bols. Au pied sud du Weissenstein, ils sont violacés ; verdâtres, vers Matzendorf ; vert-foncé, dans les environs de Neuchâtel ; brun-noirâtre, dans la région du Mormont (imprégnation de bitume), etc. ; cependant, certains auteurs distinguent les bols jaunes (Terre jaune de Greppin) des bols rouges. Les premiers sont moins ferrugineux, plus calcaires que les seconds, qu'ils recouvrent ordinairement ; mais tous les deux contiennent des pisolithes de fer.

La texture est également variable. Assez souvent, elle est très nettement gréseuse, arénacée et le bol peut être considéré comme une sorte de brêche ou de gompholithe à fins éléments... Souvent aussi, les éléments sont très fins, très serrés : le bol est dur. D'autres fois au contraire, il est concrétionné, caverneux, ocreux, etc...

La dureté et la cassure varient avec la texture ; certains bols sont tendres, s'effritent facilement, se brisent irrégulièrement, d'autres sont plus durs (leurs éléments sont plus fins et plus réguliers), leur cassure est parfois conchoïdale, ondulée et lisse, etc. : on observe un peu tous les cas possibles pour des roches de dureté oscillant entre 1,3 et 2,8 et dont la texture est susceptible de grandes variations. Les terres jaunes (bols) se brisent souvent assez régulièrement en fragments anguleux, facilement ou difficilement, suivant les roches.

Ils sont en général inodores, même lorsqu'on les chauffe, tout au plus lorsqu'ils sont humides perçoit-on l'odeur caractéristique des argiles. Certains bols pyriteux, chauffés, dégagent parfois de l'hydrogène sulfuré. Fraichement extraits du sol, ils sont brillants et contiennent beaucoup d'eau ; la dessication les rend ternes et rugueux.

Leur densité varie également : faible pour les bols ocreux et caverneux, elle est au contraire, assez élevée pour les bols compacts (3—3,5).

De même que dans les sables, où l'on constate la présence de minéraux particuliers, (silicate d'alumine en concrétions et en veinules), on rencontre aussi dans les bols du

gypse cristallisé, en amas ou en plaquettes ; c'est également une formation accidentelle.

Les argiles plastiques sont tantôt intercalées dans les bols ou tantôt, elles recouvrent les sables, auxquels elles sont d'ailleurs très étroitement liées. Leur contact avec ces derniers est bien visible à Moutier.

Elles sont caractérisées surtout par leur plasticité qui n'est, il est vrai, jamais très grande. Leur pauvreté en fer les distingue des bolus, tandis que leur richesse en alumine les sépare du sable, comme l'indiquent les analyses mentionnées plus haut. Souvent, on peut les utiliser pour la fabrication de produits réfractaires.

La coloration de ces argiles est moins vive que celle des bols. Souvent, elles ont une teinte uniforme (gris-cendré), mais souvent aussi, elles sont bariolées de rouge, de bleu, de vert, etc. L'action de l'air modifie leur coloration, les desèche et fait disparaître leur plasticité.

Elles sont formées par des matériaux extrêmement fins, parmi lesquels, on reconnaît de nombreux grains de sables siliceux. On n'y rencontre que très rarement des pisolithes de fer.

Par ces seules considérations très générales et très sommaires, il est facile cependant de se rendre compte de la variabilité extrême de ces produits sidérolithiques. Des sables siliceux aux argiles plastiques, par les bols, il y a bien en effet, toute la série très complexe des formes passant réciproquement les unes aux autres. Pour tous, la coloration très variable et très variée est fonction de leur richesse en sels métalliques : elle est l'intégrale des actions et des réactions réciproques de ceux-ci.

De tous ces produits, seuls les sables siliceux, les bols ferrugineux et les argiles plus ou moins plastiques sont bien caractérisés. Leur individualisation semble due à la concentration d'un élément, le sesquioxyde de fer, la silice ou l'alumine. On peut les considérer comme des résultats isolés d'une sédimentation fractionnée traduisant l'ensemble des actions sidérolithiques.

L'opposition réciproque de ces produits est mise en évidence par ces chiffres, qui sont les moyennes des analyses qui ont été étudiées dans ce chapitre.

	Fe_2O_3	SiO_2
Bohnerz	61 %	14 %
Bol	5	60
Hupper	0,3	89

C. Les produits calcaires.

Assez fréquemment, les dépôts sidérolithiques, réguliers surtout, sont accompagnés de formations calcaires très particulières, d'étendue et d'épaisseur variables, mais ordinairement intercalées en couches dans les assises supérieures, qu'elles divisent ou recouvrent même parfois. Ces formations sont de deux sortes :

1° Les calcaires.

2° Les conglomérats.

Le Dr Greppin, qui en fait mention dans ses travaux, ne les considérait que comme des *accidents importants* de son « terrain sidérolithique ».

1. Les calcaires ou raitsches.

Les anciens géologues jurassiens, Gressly, Quiquerez, Greppin surtout, désignent ordinairement sous le nom de *raitsches*, le calcaire sidérolithique du val de Delémont, d'après l'expression consacrée par le langage des ouvriers mineurs. Remarquons de suite, que sous cette appellation de raitsche, se groupent tous les calcaires lacustres, à fossiles d'eau douce et sidérolithiques. C'est bien intentionnellement que je dis « sidérolithiques », au risque de soulever bien des polémiques, mais je crois pouvoir le faire, mettant à l'arrière plan la question de synchronisme ou d'équivalence stratigraphique. Les différentes raitsches diffèrent ou peuvent différer entre elles, au même titre et dans la même mesure tout au moins, que les différents sidérolithiques diffèrent entre eux. *La raitsche et*

plus encore les conglomérats me paraissent le faciès calcaire du phénomène sidérolithique et pour ce motif, je ne puis suivre le Dr Greppin et en faire de simples accidents.

Dans le Val de Délémont où la raitsche est bien connue, intercalée dans les bols supérienrs, elle forme une couche assez régulière, rencontrée tant à l'W. qu'à l'E. et mesurant de 1 à 5 m. d'épaisseur. Elle est à découvert sur quelques points : dans les ravins de la Scheulte, sur la rive droite : entre Vicques et Courcelon, et plus bas, entre Courcelon et Courroux. Deux stations sont surtout bien découvertes et facilement abordables, l'une à l'W., l'autre à l'E. de Courcelon.

Voici comment elle se présente à l'W. de Courcelon, (côte 424 m. à peu près) :

1° Terre végétale brune, mélangée de galets rares et petits	0m45
2° Cailloutis quaternaire formé par un amoncellement de galets stratifiés par ordre de grosseur et mélangé de bohnerz remanié et noirâtre . . .	1m60
3° Série de minces bancs calcaires, jaunâtres, avec empreintes végétales	0m95
4° Argile rouge, feuilletée	0m04
5° Argile bariolée, granuleuse, avec quelques grains de fer	0m45
6° Raitsches	0m80
7° Bolus à pisolithes ; terre jaune sup. (sidérolithique).	
	4m29

Les couches sont presque horizontales, c'est à peine si elles sont légèrement inclinées vers l'Est. On voit une faille dans la partie occidentale du gisement. Les bols montrent également de jolies surfaces de friction.

La station à l'est de Courcelon est encore plus intéressante. Le gisement est à découvert sur une trentaine de mètres. Il y a également une faille très visible, à cause des formations curieuses qui se sont déposées après coup. Qui-

querez y reconnaissait un gisement sidérolithique en formation. L'inclinaison des couches est très faible ; le dénivellement dû à la faille atteint un mètre et demi : c'est la lèvre W. qui forme le toit. Profitant de cette cassure, les eaux ont suivi le passage ouvert et accumulé à la base de la faille, à la place des bols qu'elles enlevaient, toute une série de couches très curieuses par leur coloration, verdâtre, rouge sang de bœuf et même quelquefois blanc de lait.

La nature pétrographique du calcaire varie également. A l'W. de Courcelon, c'est un calcaire peu compact, rarement homogène, caverneux, stalactiforme, à cassure très irrégulière. La roche est tendre, peu siliceuse, presque crayeuse en certains points, de couleur grisâtre ou légèrement jaunâtre, mais pointillée de noir. A l'E. au contraire, elle est plus dure, presque cristalline, plus siliceuse, en bancs plus réguliers, de coloration plus foncée ou bien presque blanche et brillante. La cassure est nette, franche et le choc sonore.

Mais il n'y a pas qu'un seul niveau pour la raitsche du val de Delémont ; Greppin et Quiquerez en mentionnent deux. Par exemple dans le puits Bitter, un premier niveau a été rencontré par 9 m. 6 de profondeur et un second par 88 m. 8. Un troisième niveau a peut-être même existé, mais n'a pas été conservé ou rencontré comme tel du moins, et les fragments de calcaires siliceux avec pisolithes enclavées, que l'on peut quelquefois recueillir dans le bas des dépôts, presque sur le substratum jurassique, en seraient les restes. J'ai observé ces fragments au puits Blancherie, par 110 à 115 mètres de profondeur. La roche est dure, siliceuse, toute coupée de veinules ou de strades plus durs et à grains plus fins. Elle empâte des grains de silice et des pisolithes. Ces dernières sont ordinairement entières, à structure concentrique, mais souvent aussi, elles sont brisées. J'y ai inutilement cherché des traces d'organisme. Le Dr Greppin fait d'ailleurs remarquer, que seul le niveau supérieur s'est montré fossilifère.

Dans le val de Moutier, il y a également un niveau de raitsche, représenté par une roche aussi très variable, mais

rappelant souvent les calcaires jurassiques supérieurs. Elle repose tantôt sur les bols, tantôt sur le calcaire jurassique supérieur non recouvert de bolus. Par sa nature pétrographique, elle diffère de celui du val de Delémont, elle est surtout plus siliceuse. Elle passe d'ailleurs par divers stades et sur certains points, comme au Champ-Vuillerat, près du stand de Moutier, on la voit dérivant des bols supérieurs ou des sables siliceux, par une série de bancs, roses, blancs, jaunâtres, etc., passant à une roche plus dure, un vrai calcaire, tantôt compact, tantôt gréseux. Pour être précis, il faudrait distinguer les calcaires bien caractérisés par leurs fossiles, des bancs gréseux, provenant des sables et généralement stériles.

Le calcaire d'Oberdorf (Soleure) a été découvert par les travaux du tunnel de la ligne Moutier-Soleure, mais il semble, que Lang déjà en ait connu un affleurement dans le voisinage. Au gisement du tunnel, il y a toute une série de bancs très minces, séparés par des lits marneux ou schisteux. Le calcaire est ici une roche dure, sonore, assez compacte, peu siliceuse, d'un blanc sale ou jaunâtre. Les bancs sont en général peu épais ; l'ensemble ne dépasse pas 2 m. 50. Il y a quelques imprégnations ferrugineuses par places et de nombreux restes d'organismes d'eau douce.

A Hochvald (Soleure), le gisement est moins développé, mais non moins intéressant. Longtemps perdu, M. Gutzwiller vient de le retrouver et d'en donner une bonne coupe : je renvoie à son excellent mémoire [1]). La roche calcaire est un peu particulière ; elle diffère légèrement de celle des calcaires du Jura bernois ou d'Oberdorf. La coloration est blanche, jaunâtre ou même rouge quelquefois et la texture peu homogène ; il y a de nombreuses concrétions à structure radiale ou concentrique ainsi que des petites cavités tapissées de cristallisations de calcite. La cassure est cependant assez nette.

---

[1]) A. Gutzwiller : *Die Eocänen Süsswasserkalke...* p. 1 à 15. — 1905.

Dans le canton de Bâle, on connaît des formations analogues à Lausen, près de Liestal et à Aesch. Il est question ailleurs de la première localité, je releverai seulement ce fait mentionné par M. Gutzwiller et que j'avais admis à une première visite au Kohlholz, c'est que le calcaire d'eau douce y a formé un banc ou une couche, dont les fragments que l'on retrouve sont les restes.

Je n'ai pas visité le gisement de la station d'Aesch, je n'ai donc aucune observation à ajouter à celles de M. Gutzwiller : il en est de même pour les gisements peu connus de Hollenreben, au S. du château de Birseck, près d'Arlesheim, etc...

Enfin, pour compléter cette énumération, je mentionnerai encore dans la région vaudoise :

Le calcaire du lac Ter, près Le Lieu, dans la vallée de Joux.

Le calcaire de la Grand-Vire, à la dent de Morcles.

Le calcaire de la Pointe de la Houille, dans les Diablerets. Etc., etc.

Presque sans exception, ces calcaires accompagnent les formations sidérolithiques, et si, pour quelques-uns, le contact avec les bols ou les sables n'est pas immédiat, il n'y a cependant pas lieu d'en être trop surpris ; le même fait se présente pour le calcaire à *Limnœa longiscata* de la Charrue, à Moutier.

2. *Les conglomérats ou gompholithes de Daubrée.*

Les conglomérats sont peut-être encore plns fréquents que les calcaires sidérolithiques. Ils ont été reconnus et signalés très tôt déjà. Les anciens géologues les appellent : Jura-Nagelfluh, Nagelfluh jurassique, poudingues, conglomérats... ; aujourd'hui, ce sont généralement des gompholithes. Toutes ces appellations, et même la dernière me paraissent peu précises ; il n'y a pas que la gompholite sidérolithique, il y en a d'autres encore dans les mollasses. Afin de fixer les idées, au même titre et dans le même sens que j'ai groupé tous les calcaires sidérolithiques dans les raitsches, je propose de désigner désormais ces conglomérats sous le nom de : *calcaire de Daubrée* ou si l'on veut, de *gompholithe de*

Daubrée, en souvenir de l'immortel savant et du maître de l'expérimentation géologique, qui les a étudiés un des premiers.

Mais ici encore, comme pour les raitsches, il ne s'agit pas d'un niveau stratigraphique, mais simplement d'un accident minéralogique, très fréquent, qui accompagne très souvent les bols, sans être cependant constant,

La gompholithe de Daubrée est un poudingue, formé par une accumulation de galets, de dimensions, de nature très variables, réunis par un ciment calcaire, quelquefois siliceux, mais toujours très ferrugineux et empâtant de nombreuses pisolithes de fer. Les galets appartiennent en général aux étages du Jurassique supérieur (en moyenne 95 à 98 %); mais il y a cependant des débris de couches plus profondes, du Dogger, du Lias et même du Trias quelquefois. Ces proportions varient d'ailleurs avec les localités et les gisements : dans certains cas par exemple, le Portlandien et le Kimmeridien à eux seuls forment jusqu'à 99 % des galets.

La forme et les dimensions de ceux-ci varient dans une large mesure. Le diamètre des plus gros ne dépasse pas 30 cm., du moins à ma connaissance et cette taille est une exception ; en moyenne, il varie entre 5 et 12 cm.; les dimensions moindres sont cependant fréquentes. J'ai vu des gompholithes dont les éléments ne dépassaient pas 2 ½ cm. ; certaines gompholithes présentent une véritable stratification par ordre de grosseur de leurs éléments, passant rapidement du conglomérat grossier au grès fin ; on peut voir un exemple de ce genre, sur la nouvelle route de Courfaivre à Soulce (près de Soulce).

En général, les galets sont roulés et arrondis ; les formes anguleuses sont rares ; cependant dans quelques cas, on voit un passage de la gompholithe à la brêche.

Le ciment des gompholithes est aussi très différent, non seulement suivant les localités, mais même dans un seul gisement. D'ordinaire, il est calcaire et rappelle la pâte de certaines roches jurassiques ; mais il en diffère cependant par de nombreuses veines de calcite ou d'oxyde de fer. Il est d'ailleurs le plus souvent très ferrugineux, coloré en rouge brique,

ou même quelquefois seulement jaunâtre. Dans certains cas cependant, il est lui-même une gompholithe à éléments très petits, rappelant les grès grossiers, durs, siliceux. L'exemple le plus frappant que je connaisse est celui que j'ai observé sur la route de Soulce. La gompholithe à gros éléments passe à un véritable grès ferrugineux et siliceux, bréchoïde par place, formé par des grains de silice et de fer agglutinés : les dimensions des premiers ne dépassent pas 1 $^1/_4$ mm. ; celles des seconds n'atteignent pas 2 mm. Il y a un véritable banc de cette roche, sans galets, intercalé entre deux autres couches de la gompholithe, formée par ce même grès cimentant de gros galets.

On comprend facilement que, dans ces circonstances, la teneur en fer puisse varier considérablement, car elle dépend de deux facteurs : l'imprégnation chimique de la pâte et l'accumulation mécanique des pisolithes ou des roches ferrugineuses, et ce dernier fait, surtout, peut jouer un rôle important. A la Marchstein (vallée de la Scheulte), par exemple, les galets calcaires sont souvent complètement enserrés dans un filet formé de pisolithes ou d'agglomérats nuciformes, reliés par un ciment calcaire et ferrugineux. Dans ce cas, la gompholithe est surtout ferrugineuse.

Les composés ferrugineux des gompholithes diffèrent peu de ceux des dépôts sidérolithiques : ce sont le plus souvent des pisolithes ou des agglomérats. On y remarque cependant assez souvent, des grains amorphes, sans structure concentrique et dont la coloration est ordinairement modifiée, soit qu'elle soit plus rouge ou plus noire. J'attribue les grains amorphes, au transport par les eaux de fragments des agglomérats sidérolithiques et la modification de couleur des pisolithes, me paraît une preuve certaine de l'action des agents atmosphériques.

L'allure de la roche dépend nécessairement des rapports réciproques du ciment et des galets. Lorsque le premier est très abondant et qu'il englobe les seconds, on a une roche très dure, d'ordinaire au moins. La cassure a presque toujours lieu comme pour une roche homogène; les galets se brisent, et il n'y a pas de décollement, ce qui prouve une

forte adhérence entre le ciment et la surface des galets. L'action des agents atmosphériques facilite le décollement, ce qui se comprend facilement. Certaines gompholithes ne sont d'ailleurs ni très dures, ni tenaces, par exemple, celles de la grotte de la Madeleine, au S.-W. de Courfaivre. Ce peut être les résultats des actions mécaniques, tectoniques, ou simplement de l'altération chimique due à l'érosion et qui se révèlent surtout par des infiltrations et des remplissages de calcite. J'ai vu, au musée de Zurich, une pisolithe brisée dont les deux parties sont réunies par de la calcite. Je possède d'ailleurs un échantillon analogue, provenant de Courfaivre. Au Mont de Chamblon, j'ai également recueilli une pisolithe brisée, mais dont les parties se sont soudées entre elles, après dénivellement, sans calcite intermédiaire.

Ces remplissages de calcite ont pris dans certains gisements, une signification très particulière. Ce ne sont plus de petites veinules ou de minces bancs remplissant les fissures et les crevasses, mais quelquefois des couches véritables, mesurant jusqu'à 10 cm. d'épaisseur et se poursuivant sur plusieurs mètres carrés de surface, comme par exemple au S. de Vermes (J. b.). J'ai observé dans cette localité, une gompholithe, formée par un ciment tantôt très calcaire, rouge-vif, empâtant les pisolithes très rapprochées, et presque sans galets, ou tantôt au contraire, bien moins dur, tendre et crayeux, jaunâtre. Il y a d'ailleurs une forme intéressante, le passage de ce dernier type au calcaire jaune sans pisolithe ferrugineuse : c'est une roche calcaire assez résistante, jaunâtre, avec veinules de calcite concrétionnée et contenant une quantité de pisolithes calcaires très petites, rappelant des graines de characées. Je n'ai pu malheureusement retrouver la couche en place. Les infiltrations de calcite sont surtout abondantes dans la couche rouge à pisolithes ferrugineuses. J'ai remarqué de magnifiques cristallisations bacillaires, d'une calcite jaune, rose. Ces infiltrations et ces cristallisations paraissent indiquer une circulation très intense d'eau calcaire, au travers de la gompholithe brisée et fissurée. En outre, durant cette dislocation de la roche, il est arrivé que les

pisolithes ont été brisées ou qu'elles se sont décollées du ciment qui les englobait. Peut-être, que du fait que dans ces gisements, comme au S. de Vermes, où l'on trouve une quantité de pisolithes décollées et entourées par des cristallisations de calcite, interposées entre elles et leurs alvéoles primitives, pourrait-on conclure, que ce remplissage indique, que la dislocation de la roche a dû se produire peu après sa sédimentation, la liaison intime des pisolithes et du ciment n'ayant pas encore pu s'établir ?

Lorsque le ciment est moins abondant, la roche manque d'homogénéité : elle est nécessairement moins résistante : les galets sont seulement accolés. On observe quelquefois cette forme, cependant, elle est assez rare. Les pisolithes de fer sont alors moins nombreuses, mais le fer en état d'imprégnation ou même de coulées amorphes, mamelonnées, etc., y est assez fréquent. A la Marchstein, j'ai recueilli un échantillon de ce genre, dans lequel les galets sont associés très intimement et presque sans ciment.

Toutes ces considérations, que je dois forcément abréger, m'amènent à étudier une question des plus intéressantes, mais d'autant plus complexe et qui, pour la gompholithe de Daubrée, prend une signification toute particulière, je veux parler des actions résultant du contact réciproque des différents éléments de la gompholithe. Toutefois, une étude spéciale étant consacrée, dans ce travail, aux altérations sidérolithiques, je crois devoir y joindre la continuation de ces recherches pour ne pas diviser une série d'études qui se complètent mutuellement. En effet, ces actions résultent, ou de l'influence du ciment sidérolithique sur les éléments qu'il empâte, ou du contact réciproque des éléments entre eux. Or, dans le premier cas, ces actions se réduisent à des altérations chimiques, n'entraînant qu'exceptionnellement des modifications morphologiques et appartenant donc bien aux altérations sidérolithiques et dans le second cas, les phénomènes obscurs de la formation des cailloux impressionnés, ne paraissent pas pouvoir en être séparés totalement. Il n'y a donc pas lieu de s'en occuper ici.

La gompholithe de Daubrée, qui dans certains cas, peut passer à un calcaire avec pisolithes de fer et qui est alors le calcaire de Daubrée, a été reconnue en plusieurs régions dans le Jura. Elle est représentée dans le Jura oriental, mais je n'en connais pas de gisement bien caractérisé, sauf ceux du Randen.

Dans le canton de Soleure, il y a les gisements du Guldenthal, de la Ferme de Moos, de Mümliswyl, de la vallée de la Dünnern, etc.

Dans le canton de Berne : La Marchstein (vallée de la Scheulte) ; dans le val de Delémont : au S.-W. de Courfaivre ; au S.-E., de Vermes, au N. de Soulce, au Moulin de Bourrignon, etc.

En souvenir des géologues français qui ont visité nos gisements suisses, je mentionnerai celui de Roppe, près de Belfort, que Delbos, Daubrée et Bleicher ont si admirablement décrit et étudié.

En résumé, les formations sidérolithiques calcaires doivent être attachées au Sidérolithique lui-même qu'elles accompagnent. Elles sont le résultat d'un travail spécial, qui semble ne s'être produit que très irrégulièrement dans le temps comme dans l'espace. Leur composition chimique, leur aspect témoignent de cette irrégularité et les rapprochent des autres matériaux sidérolithiques.

Par rapport aux dépôts sidérolithiques, ce sont des « Accidents » si l'on veut, mais en réalité ce sont des formations régulières [1]), produites par un phénomène particulier, lié à l'ensemble des actions sidérolithiques.

La variabilité de leur composition chimique s'explique, comme pour les bohnerz ou les bols, par des influences locales et l'irrégularité de leur distribution géographique actuelle témoigne, soit d'une répartition primitive très restreinte, ou d'une érosion très puissante, soit d'une formation primitive très localisée.

---

[1]) Ces formations sont souvent en bancs assez épais et en position régulière dans la stratification des dépôts sidérolithiques.