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: VIII: Conclusions

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

« Conclure est un tel penchant de l'esprit humain, qu'il n'a pas la patience de rassembler, tout ce qui serait nécessaire pour en tirer des conclusions légitimes; souvent même, il se hâte d'autant plus, que l'importance des objets devrait seule lui interdire la précipitation. »

[J. A. De Luc: *Discours préliminaire du Traité élémentaire de géologie,* p. 1, 1810.]

VIII

CONCLUSIONS

Les recherches qui précèdent n'ont eu qu'un but: étudier et poser le problème sidérolithique avec toutes ses données et sans souci de solution. Les faits ont été accumulés, groupés et parfois synthétisés. Il reste à les utiliser plus directement et avant tout à les interpréter. Si la science vit de faits, elle vit surtout de faits bien compris et c'est avec raison que M. de Launay soutient qu'il ne saurait y avoir science sans interprétation [1]).

On me reprochera peut-être d'être téméraire et d'aller vite en besogne? Je reconnais sans peine le bien fondé de l'observation et le danger auquel je m'expose: le problème est complexe et ardu. Et cependant, je crois pouvoir conclure: j'ai étudié, observé, analysé aussi minutieusement et aussi longuement que le cadre de ce travail le permettait, les différents aspects du problème, utilisant largement l'aide et l'œuvre de mes devanciers, mais sans en être esclave cependant. Je ne prétends pas apporter une solution définitive mais je crois avoir le droit de faire connaître ce que sont mes croyances et personne ne me reprochera de soutenir mon opinion.

---

[1]) L. de Launay: *La Science géologique,* p. 32. 1905.

L'étude plus approfondie et plus méthodique de l'érosion continentale a conduit à reconnaître que parmi les agents puissants et constants de l'altération superficielle, les phénomènes sidérolithiques doivent occuper une place très particulière. Ils se sont manifestés avec des intensités très diverses; ils se sont réalisés sous des formes très variées, aussi bien dans le temps que dans l'espace. Obéissant à des lois générales, celles de l'érosion, ils ont contribué puissamment à la transformation superficielle des roches; mais, subissant des influences très spéciales, très différentes suivant les lieux et suivant les temps, leurs réalisations, tout en gardant une certaine uniformité d'ensemble, se sont parfois profondément différenciées. L'observateur qui les étudie, peut, un instant, les considérer comme les résultats absolument distincts de phénomènes n'ayant rien de commun; mais un examen plus sérieux et surtout une meilleure intelligence de la tactique des forces naturelles l'obligeront, sans tarder, à reconnaître, que dans les réalisations sidérolithiques, cependant si nettement différenciées, la poursuite d'un même but et une sorte de cachet commun y sont parfois facilement reconnaissables.

La différenciation des résultats doit cependant fatalement conduire à celle des processus: il y a ici, relation d'effet à cause. Mais alors, le vieux principe qui prétend que les mêmes causes produisent les mêmes effets, se trouve absolument infirmé. A cela, il n'y a rien de surprenant, car ainsi exprimé, le principe manque de précision, c'est une définition incomplète: M. H. Poincaré dit qu'elle n'est qu'approchée et ces études montreront, peut-être, que les mêmes causes sont capables de produire toute une série d'effets souvent très différenciés. Un effet, en géologie surtout, n'est pas l'aboutissant d'une cause, mais celui de nombreuses causes distinctes qui agissent pour atteindre leurs buts respectifs. Notre erreur résulte souvent, de ce que nous prenons pour simple ce qui est compliqué et aussi de ce que nous oublions qu'une même cause peut subir des influences bien différentes, qu'elle peut dépendre de facteurs bien divers, qu'elle est fonction

de ce que l'on a appelé à juste titre *les conditions influentes et les conditions restrictives* [1]).

Les formations sidérolithiques avec leurs types plus nettement accusés et plus spécialement individualisés: produits de décalcification, sidérolithique proprement dit, bauxites, latérites, phosphorites, etc... sont précisément les traductions de la variation des phénomènes sidérolithiques: elles sont, en quelque sorte, le graphique même de cette variation. En d'autres termes, chacune de ces formations résulte *d'un travail* particulier, qui a pour mesure *l'intégrale des actions totales,* individuelles et reciproques, des forces qui sont entrées en jeu; chaque type sidérolithique exprime les effets directs de ces forces agissantes et les effets complexes de ces mêmes forces associées. Et quand on examine attentivement combien et dans quelle mesure, le jeu de ces forces peut varier, on est surpris de constater que leurs diverses réalisations ne sont pas plus différenciés et en même temps, on comprend mieux pourquoi ces mêmes réalisations sont représentées par une série graduée de formes passant réciproquement les unes aux autres.

De même encore, la différenciation des Sidérolithiques peut s'expliquer par *l'action prépondérante* d'une ou de plusieurs forces. Il est difficile, sans doute, de préciser ces faits, et même de les expliquer. Le mot force peut devenir dangereux: s'agit-il bien dans ce cas, d'une force ou de plusieurs forces? Ne vaudrait-il pas mieux parler de résultantes de forces? Le travail isolé semble plutôt une exception pour les forces naturelles; la règle, c'est bien l'aide réciproque, le travail en commun. Quoi qu'il en soit, l'individualisation d'un type, d'une forme, peut parfaitement s'expliquer par une action prépondérante.

---

[1]) M. le Prof. J. Brunhes, dont l'enseignement et l'aide me seront très utiles pour cette partie de mon travail, a insisté à plusieurs reprises sur ces questions. On peut consulter notamment ses publications suivantes: *Les principes de la géographie moderne,* 1907; *L'irrigation, ses conditions géographiques, ses modes, son organisation dans la Péninsule ibérique et dans l'Afrique du Nord.* Paris 1902, p. 429-439.

Cette action prépondérante nous la connaissons par ses effets. C'est elle qui détermine la concentration du sesquioxyde de fer dans le Sidérolithique proprement dit, de l'alumine dans les bauxites et les latérites, de l'acide phosphorique dans les phosphorites, etc... C'est elle encore qui provoque les différenciations pétrographiques et stratigraphiques qui sont parfois si grandes, soit dans l'espace, soit dans le temps.

L'action prépondérante est en général facilement apparente. De même qu'en peinture une teinte frappante captive le regard, masquant à son profit celles qui la font ressortir, de même aussi ici, l'action prépondérante pourrait laisser croire qu'elle seule est en jeu, alors qu'elle n'est qu'une résultante : la teinte frappante du coloris.

Constants et puissants agents de l'érosion continentale superficielle, les phénomènes sidérolithiques se manifestent régulièrement, mais se réalisent diversement, parce que, tout en obéissant à des lois générales, ils subissent l'action de conditions influentes et de conditions restrictives qui fixent la physionomie des types et la caractérisation des groupes.

Les différents types sidérolithiques peuvent être assez facilement groupés en séries. On reconnaît alors des formes rudimentaires, ébauchées et aussi des formes plus complètes, achevées. Les produits de décalcification appartiennent aux premières ; le Sidérolithique proprement dit à bohnerz, les bauxites, les latérites, les phosphorites, au contraire, se placent plutôt parmi les secondes. Il y aurait ainsi, en quelque sorte, *un cycle sidérolithique.*

Quelque chose d'analogue peut également s'observer chez la plupart de chacun de ces types et sans parler de ceux qui ne font pas l'objet de ce travail, constatons simplement que les divers matériaux ferrugineux (bohnerz), alumino-siliceux (hupper, sables, argiles réfractaires ou bols) et les calcaires (raitsches et surtout les gompholithes de Daubrée) sont les termes principaux de la série.

Le problème qui se pose alors, revient à ceci : Qu'est-ce que le faciès sidérolithique et pourquoi ce faciès trahit-il dans

ses réalisations parfois si différenciées une variabilité aussi grande? En d'autres termes, nous sommes amenés à rechercher l'origine et le mode de formation des matériaux sidérolithiques.

Pour l'instant, il est impossible de formuler une définition. Si les caractères principaux du faciès sidérolithique sont nettement apparents, parfois très frappants, le faciès lui-même est plus mystérieux, plus complexe aussi et pour l'atteindre, il faut avant tout connaître les phénomènes sidérolithiques dont il est expression plus ou moins directe. Or ces phénomènes nous pouvons les étudier, les suivre même dans leur travail, observer leurs résultats. Il est dès lors rationnel de baser la définition du faciès sidérolithique sur l'observation des phénomènes que le déterminent et partant, de commencer ces recherches par l'étude de la nature, de la signification des phénomènes sidérolithiques eux-mêmes.

I. Nature des phénomènes sidérolithiques.

Partout où on les rencontre, les matériaux sidérolithiques apparaissent comme des produits de l'altération, de la transformation des roches. Les diluviums rouges, la terre rouge du Causse, la terra-rossa de la Carniole, la terre jaune des cavernes, les remplissages décalcifiés des puits naturels, l'argile à silex de Normandie, etc... sont incontestablement les résultats plus ou moins directs de l'altération superficielle continentale. Il est inutile, je crois, d'insister davantage: leur origine superficielle et par altération des roches est généralement admise aujourd'hui. La discussion porte presque exclusivement sur la tactique de leur mode de formation.

Les bauxites ou les wochénites et les latérites des régions tropicales qui n'ont été bien étudiées que durant la fin du siècle dernier, comme aussi les phosphorites, dont l'origine fut longtemps attribuée à des causes bien étranges sont également considérées comme des résultats particuliers de l'altération superficielle.

Précédemment, j'ai groupé toutes ces formations, cependant bien différentes, pour en faire des types sidérolithiques, voulant bien mettre en relief leur parenté originelle, sans méconnaître pour autant leur sériation. On ne saurait confondre une argile à silex constituée durant l'Eocène de residus de roches crétaciques avec une terre jaune se formant aujourd'hui encore dans les grottes des terrains calcaires; la latérite moderne, riche en alumine (30-50 %) ne ressemble guère à un phosphorite éocène ou oligocène. Mais cependant, tout en admettant parfaitement la distinction des types, on peut aussi les rapprocher, puisque tous sont des produits d'altération continentale et par conséquent, la *sidérolification, c'est-à-dire, l'action sidérolithique, consiste essentiellement en une altération, en une transformation des roches superficielles.*

Mais alors, dira-t-on très justement d'ailleurs, pourquoi la sidérolification, qui semble devoir être une des formes courantes de l'érosion continentale, n'est-elle pas plus fréquente ?

Pour ma part, je crois que les altérations sidérolithiques sont excessivement fréquentes; mais bien souvent, nous ne savons pas les reconnaître, soit qu'elles sont à peine ébauchées et mal caractérisées, soit qu'elles diffèrent trop des formes ordinaires et connues. Des recherches méthodiques et précises le prouveront peut-être bientôt. Il n'y a pas si longtemps que l'on parle du sidérolithique rudimentaire et cependant la liste des produits que l'on peut en rapprocher est déjà bien longue.

Si l'on objecte que ces considérations sont purement hypothétiques, je ferai observer, et ceci reste vrai dans tous les cas, que les réalisations sidérolithiques sont fonctions des conditions influentes et des conditions restrictives, et que par suite, si elles font défaut, c'est que les conditions restrictives ont été plus puissantes que les conditions influentes : *l'action prépondérante qui est la résultante de ces conditions* étant alors nulle ou négative. Si l'on suppose au contraire, une action prépondérante positive, il faut nécessairement recon-

naître la possibilité d'un nombre énorme de réalisations différentes, puisque cette résultante est dépendante de facteurs nombreux, très variables dans leurs manifestations individuelles.

Ces facteurs nous pouvons assez souvent les reconnaître : mais il ne saurait être question de les examiner sans avoir préalablement établi que la *sidérolification consiste essentiellement en une altération superficielle des roches pour voie hydrochimique.*

Origine superficielle. L'origine superficielle des produits sidérolithiques parait absolument démontrée et établie pour la plupart d'entre eux, notamment pour les produits de décalcification. L'argile à silex est le résidu de la dissolution de la craie : l'examen microscopique de ses sables et les fossiles qu'on y rencontre le prouvent. Bon nombre de matériaux sidérolithiques provenant de la décomposition des calcaires jurassiques et crétaciques du Jura contiennent des fossiles parfois non mélangés et il est facile de reconnaître que souvent ils appartiennent aux roches qui en forment le substratum. La latérite qui se forme actuellement dans les régions tropicales résulte d'une transformation sur place des roches silico-alumineuses et l'analyse chimique permet de reconnaître le passage des roches-mères aux produits d'altération.

Pour tous ces matériaux, la provenance superficielle semble absolument certaine. Les théories anciennement soutenues par Brongniart, Gressly, Thirria, Müller, Kœcklin et qui invoquaient une origine interne ne sauraient être admises. Elles ne s'appuient pas sur une base solide : les cratères et les crevasses éjectives par où seraient arrivées les émissions semi-plutoniques, boueuses ou hydrothermales n'ont jamais été rencontrés jusqu'ici, elles semblent hypothétiques. On ne saurait dès lors les admettre, ni surtout leur donner l'importance et la signification qui leur furent si longtemps attribuées. Les formations sidérolithiques sont bien trop fréquentes pour qu'il soit possible de les rapporter à des causes volcaniques ou geyseriennes nécessairement sporadiques et très localisées. Cela ne veut pas dire cependant, que les eaux souterraines, chaudes ou acides, n'ont pas contribué à la

sidérolification des roches; bien au contraire même, je crois qu'il y aurait lieu de rechercher quel rôle elles ont pu jouer à ce point de vue et je ne serais aucunement surpris d'apprendre que certaines de leurs formations (dépots, corrosions, incrustations, altérations) peuvent parfaitement se placer parmi les sidérolithiques. Ce que je veux surtout bien faire ressortir ici, c'est que les matériaux sidérolithiques résultent d'une altération superficielle réalisée *per descensum* et *in situ*, abstraction faite naturellement des phénomènes de transport et de remaniement qui ont pu se produire postérieurement.

Les altérations sidérolithiques. La sidérolification est le résultat du travail des eaux superficielles: elle se produit par voie hydrochimique.

Et d'abord, seule la dissolution accompagnée ou suivie de phénomènes chimiques divers peut produire des actions aussi générales et même aussi différenciées que celles que l'on constate partout où se sont manifestés les phénomènes sidérolithiques. La différenciation des résultats est la conséquence des luttes soutenues par les roches contre les eaux et elle en retrace les péripéties. L'argile à silex est un résidu de dissolution comme la plupart des produits de décalcification. On peut la reproduire en traitant par des solutions acides la craie ou les calcaires et d'une façon générale, l'expérimentation permet d'obtenir presque tous les types sidérolithiques.

Mais il y a plus encore, car es dernières études des explorateurs des régions tropicales établissent que *la latérification* résulte de l'attaque des roches par des eaux chargées d'acide carbonique agissant sous des conditions climatériques spéciales. Malheureusement pour cette étude, je n'ai jamais eu l'occasion d'observer cette formation de près et je suis forcé de la signaler sans m'y arrêter.

Dans le Jura, les calcaires sont fréquemment altérés. Quiquerez déjà s'en était aperçu et il distinguait les altérations pâteuses, les altérations à aspect igné, les altérations dolomitiques, les altérations siliceuses [1]).

---

[1]) A. Quiquerez: *Recueil d'observations sur le terrain sidérolithique*, p. 8. 1852.

L'altération pâteuse indique une décomposition de la roche dont la coloration et la texture surtout sont modifiées. La roche devient farineuse ou gréseuse. Sur plusieurs échantillons de Kimmeridien altéré du Val de Moutier, j'ai pu observer que l'altération est dirigée par la composition chimique (solubilité variable) ou physique (fissures) des roches. Quiquerez prétend que cette altération ne modifie pas la composition des roches ?..., mais j'ai cependant constaté dans la plupart des cas, qu'elle indique un commencement de décalcification : la teneur des sels calcaires est diminuée. Par contre, les proportions de la silice et de l'alumine semblent être augmentées.

Les altérations à aspects ignés diffèrent considérablement des précédentes. Quiquerez les considérait comme la preuve « d'une chaleur intense » qui aurait même provoqué « l'épigénisation des roches en fer hépatique ». L'observateur était esclave de ses croyances !... Le fer hépatique de ces altérations n'est que du sesquioxyde hydraté amorphe qui imprègne les roches ou qui les recouvre de coulées irrégulières, parfois mélangées de cristaux de calcite, mais qui n'ont rien d'igné.

Les altérations dolomitiques sont moins fréquentes que les précédentes. Quiquerez les décrit d'ailleurs assez vaguement. Elles sont cependant intéressantes, car si la roche montre une certaine altération, il s'agit d'une altération très spéciale qui consiste essentiellement en une imprégnation des éléments par des sels calcaires. Les cristallisations de calcite y sont très fréquentes. Assez souvent, ces altérations se rapprochent des altérations pâteuses, parfois aussi des altérations siliceuses.

Les altérations siliceuses sont avec les altérations pâteuses les plus fréquentes. Elles en diffèrent cependant complètement. Tandis que les premières visent la désagrégation des roches, par enlèvement des sels calcaires facilement solubles, les secondes au contraire tendent à leur consolidation par imprégnation des éléments plus ou moins désagrégés. L'imprégnation se fait par des précipitations de silice, comme dans le cas précédent elle se faisait par les sels calcaires.

Dans certains cas, ces altérations siliceuses aboutissent à une véritable jaspisation, rubanée ou zonée (jaspes de Candern en Brisgau, etc...).

D'une façon générale on peut conclure de ces observations que les altérations sidérolithiques résultent de deux actions contraires: désagrégation par dissolution, imprégnation par précipitation, c'est-à-dire, consolidation des roches. L'altération pâteuse n'est qu'une forme de la décalcification et c'est elle qui est générale et primordiale, car elle précède et détermine les autres, du moins en règle générale. Ces dernières sont plus apparentes, plus facilement reconnaissables sans doute, elles cachent même parfois complètement la décalcification; mais en géologie, comme en biologie, il faut savoir reconnaître ce qui est masqué: il ne faut pas être victime de l'apparence.

Or, un examen attentif montre très nettement que la décalcification précède et surtout qu'elle est particulièrement intense. L'étude microscopique des roches peut souvent être utile, mais c'est surtout l'analyse chimique qui donne les meilleures indications, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par les dosages qui suivent et qui portent sur des altérations du calcaire lithographique du Centre français [1]).

	I	II		III		
	Calc. normal	Calc. peu altéré		Altérations		
$SiO_2 + Al_2O_3$	1,30	2,00	1,00	34,00	13,00	31,60
CaO	52,40	54,50	54,30	20,60	46,60	28,00
MgO	0,30	0,50	1,60	—	—	1,00
Fe_2O_3	0,20	0,30	0,30	7,00	0,20	7,50
Perte au feu	45,50	42,60	42,60	—	—	—

[1]) Ces analyses faites au laboratoire de l'Ecole des mines de Paris sont indiquées par M. de Grossouvre: *B. S. Géol. de Fr.* 1881, et proviennent:

I. Calc. normal de St-Florent.

II. Calc. peu altéré de la Chapelle de St-Ursin.

III. Altérations diverses de ces calcaires.

Le calcaire lithographique est d'ordinaire très pur. Il renferme de 94 à 95 % de carbonate de chaux, 0,5 % de carbonate de magnésie et un résidu insoluble qui ne dépasse guère 1,5 %. Altéré au contraire, le pourcentage du résidu insoluble augmente et va jusqu'à 34 %, celui du fer peut atteindre 7,5, alors que sa teneur en chaux diminue sensiblement de 54 % à 20 %. Nous constatons donc bien ici ce double phénomène d'une décalcification, c'est-à-dire d'une démolition de la roche calcaire et d'une reconstruction de cette même roche par imprégnation de sels ferrugineux et siliceux. Nous avons des altérations silico-ferrugineuses très apparentes, mais aussi une réelle décalcification.

Les altérations sidérolilhiques sont donc particulièrement complexes : elles ne sont pas un résultat quelconque d'une action isolée, mais elles traduisent au contraire un travail compliqué et variable, qui en règle générale comprend deux actions opposées : une démolition (par décalcification) et une reconstruction (par imprégnation).

La tactique de la sidérolification. Les altérations sidérolitiques qui viennent d'être étudiées ne sont que des ébauches inachevées de la sidérolification ; on peut les considérer assez justement comme des stades d'évolution des formes sidérolithiques. Partant, on a le droit de les utiliser pour reconstituer le processus qui les a formées.

La sidérolification étant une action régulière et constante de l'érosion continentale a nécessairement sa tactique, car, s'il en était autrement, elle ne poursuivrait pas un but déterminé et elle ne serait assujettie à aucune loi générale. Or, il est bien évident que les types sidérolithiques avec leurs formes rudimentaires sont les résultats en quelque sorte *forcés* d'une tactique. Sans doute, le jeu des forces sidérolithiques n'est pas enfermé dans une formule unique et absolue, il est peut-être même excessivement variable, mais en tout cas, on ne saurait soutenir qu'il soit indépendant de toute règle. La transformation des roches les plus diverses en bols à bohnerz, en bauxites, en latérites, en produits décalcifiés variés ne s'est pas faite d'une façon quelconque, car seul un processus

méthodique et réglé pouvait aboutir à des types sidérolithiques parents par leur faciès. La vieille école cataclysmienne avec ses théories plus séduisantes que fondées et les actualistes modernes n'ont jamais mis en doute la sidérolification; toutes leurs discussions visaient son mode de réalisation. Les cataclysmiens avec Brongniart et Gressly, Thirria, Müller et Kœchlin faisaient venir les matériaux sidérolithiques des profondeurs terrestres; les actualistes au contraire, avec Dieulafait et M. van des Brœck les considèrent comme des formations superficielles et récusent les phénomènes d'origine interne, n'admettant comme agents de la sidérolification que les eaux météoriques. L'accord est unanime sur ce point, les divergences ne visent que des questions de détail. Je n'en discuterai pas, l'élève n'oserait prétendre faire la leçon aux maîtres, je préfère exposer simplement, tout en subissant cependant l'influence de ces maîtres, ce qui est mon opinion sur ce sujet.

L'eau pure agit très peu sur les roches: son pouvoir chimique est excessivement faible. Mais l'eau pure est très rare dans la nature: elle contient presque toujours à l'état de dissolution de l'oxygène et de l'acide carbonique qui sont les grands facteurs influents de son pouvoir chimique. Nous savons en effet, qu'une eau chargée d'acide carbonique dissout facilement les calcaires en les transformant en bicarbonates, qu'elle attaque et décompose à la température ordinaire les silicates de chaux, de soude, de potasse, d'oxyde ferreux, d'oxyde manganeux des roches non calcaires. Et si alors, on tient bien compte de ce fait, que l'eau de pluie renferme toujours de l'acide carbonique qu'elle enlève à l'air [1]) et qu'elle peut encore en dissoudre dans le sol en filtrant sur des matières organiques, il est facile de comprendre que les roches superficielles soient fortement attaquées et altérées.

---

[1]) D'après Péligot, un litre d'eau de pluie renfermerait 25 cm^3 de gaz dissous pouvant se répartir ainsi: 31,20 % d'oxygène et 2,40 % d'acide carbonique (Consulter: DE LAPPARENT: *Traité de géologie*, p. 320. 1906).

De là ces nombreux phénomènes bien connus aujourd'hui d'hydratation et d'oxydation, qui se manifestent et qui se réalisent plus ou moins complètement partout où la roche est en contact avec l'eau.

L'eau est, en effet, l'ennemie inconciliable de la roche, qu'elle poursuit partout, tantôt ouvertement et brutalement, tantôt au contraire sournoisement, dissimulée et cachée. La sidérolification est précisément la dernière phase de cette lutte universelle de ces deux éléments qui a si puissamment contribué au modelage du relief terrestre. Presque toujours la roche est vaincue, parce que l'eau sait tirer parti de toutes les circonstances qui peuvent lui être favorables et surtout parce qu'elle sait varier ses attaques et les adapter aux difficultés à surmonter: elle fait preuve, dans son travail ininterrompu, d'un art, d'une intelligence que nous ne sommes guère habitués à reconnaître aux forces naturelles, ces énergies vitales d'un règne trop profondément séparé peut être du monde biologique!

La sidérolification commence toujours par une corrosion, par une dissolution. Les sels facilement solubles sont les premiers entrainés, les autres au contraire, plus ou moins altérés sont de ce fait, concentrés, accumulés. Il y a deux actions simultanées: un appauvrissement de la roche par enlèvement d'éléments solubles et un hydrométamorphisme des résidus. La dolomitisation des calcaires, les altérations dolomitiques, sidérolithiques résultent de la concentration des carbonates de magnésie, conséquence de l'enlèvement des sels de chaux très solubles et de l'altération chimique des sels de fer, etc... qui n'ont pu être dissous. L'altération pâteuse, dont il a été question plus haut, consiste de même en une décalcification des calcaires et en une transformation chimique plus ou moins profonde des résidus. *Les roches-mères se transforment en produits sidérolithiques par enlèvement de certains éléments qui disparaissent plus ou moins complètement et par transformation chimique de ceux qui ont échappé à la dissolution.*

Mais il y a plus encore, les eaux qui se sont chargées de sels par dissolution peuvent encore les précipiter et par

suite consolider les roches qu'elles viennent de désagréger. En outre, dans ce travail essentiellement chimique, les sels de fer des roches sont toujours superoxydés. Par suite, les nouvelles roches diffèrent profondément de celles qui ont servi à les constituer : leur composition chimique indique un appauvrissement en certains sels et un enrichissement en d'autres ; leur texture est modifiée : de compacte qu'elle était primitivement, elle devient arénacée, gréseuse, concrétionnée. Et surtout, les résultats de ce travail sont très différenciés, parce qu'ils sont les expressions des résistances des roches à l'action des eaux. Ils sont bien les réalisations d'une tactique générale, mais d'une tactique qui a dû surmonter des difficultés infiniment variées et variables et qui ne s'est pas poursuivie d'une façon absolument régulière, mais qui a varié souvent et énormément dans ses intensités et qui a parfois travaillé par à coup répétés.

Nous avons une preuve de la constance générale de cette tactique dans la formation des latérites qui proviennent d'un métamorphisme hydrochimique des roches silico-alumineuses. Des dernières études publiées sur ce sujet [1], *nous avons le droit de considérer la latérisation comme une sidérolification des roches silico-alumineuses* (diabases, ophite, phyllade, etc...). Les analyses chimiques qui ont été faites des roches-mères et de leurs latérites montrent en effet que la chaux, la potasse, la soude et une bonne partie de la silice sont enlevées par les eaux, tandis que les proportions du fer, de l'alumine et du titane sont considérablement augmentées. Le départ de la silice et son passage à l'état de silice libre, soluble dans les acides, sont, dans la latérisation, l'homologue de la décalcification dans la sidérolification des roches calcaires.

---

[1]) MM. P. Lemoine et J. Chauttard ont publié une excellente étude sur la latérisation *B. S. G. Fr.*, p. 35, VIII. 1908). Je n'ai malheureusement pas pu l'utiliser pour ce travail. Ces auteurs montrent que dans la latérisation la silice passe de 48 à 5 %, que l'alumine va de 14 à 34 % et le fer de 9 à 20 %, ce qui confirme ce que l'on savait déjà de ces roches, par les études antérieures.

La sidérolification peut donc bien être considérée comme une altération des roches par voie hydrochimique, *altération qui se réalise par deux actions principales et constantes: dissolution de certains éléments et concentration des autres, qui, s'ils ont échappé à la dissolution, ont cependant subi une certaine transformation.* Les matériaux sidérolithiques proviennent de ce travail; ils sont des résidus transformés de leurs roches-mères, mais ils ne sont pas encore bien individualisés. S'ils proviennent des roches calcaires, ce sont des produits de décalcification; si au contraire, ils sont produits par des roches silico-alumineuses, ce sont des latérites. Mais sous cette forme, ils ne sont qu'à leur période de jeunesse, ils doivent subir encore une longue et profonde évolution pour atteindre la forme adulte, non définitive, mais mieux individualisée [1]).

La sériation des types sidérolithiques. Bien que dus à un même processus générale, les types sidérolitiques sont cependant distincts: on ne saurait les confondre, à moins de méconnaître complètement leurs caractères pétrographiques et leur composition chimique. Ils ont certains caractères communs, qui se retrouvent presque toujours et qui forment précisement leur *faciès,* comme par exemple, leur pauvreté en chaux et en terres alcalines et l'oxydation très grande de leurs sels de fer. Leur différenciation tient surtout à l'importance, que prend dans quelques cas, un de leurs éléments. Cet élément, ce sera, par exemple, l'acide phosphorique pour les phosphorites et les phosphates, le sesquioxyde de fer hydraté pour les bols, l'alumine pour les bauxites et les latérites. Chez les produits de simple décalcification, le fait est moins frappant, probablement parce que ces produits ne sont pas complets, ils ne sont que des ébauches.

Il y a donc bien là une sériation, qui prend l'aspect d'une sédimentation fractionnée, mais qui, en réalité, tient tout simplement à ce fait, que *des produits de provenances di-*

---

[1]) Ces considérations font penser aux *hybrides* et aux *influences ancestrales!*

verses et d'âges différents sont rapprochés. L'altération d'une roche silico-alumineuse, ne saurait aboutir au même résultat que celle de la craie ou d'un calcaire. Les roches-mères sont différentes, leurs produits d'altération ne sauraient être identiques. L'altération des roches ne se réalise pas toujours avec la même intensité, ni même pendant le même moment : il y a par suite nécessairement des sidérolithiques plus ou moins complets et d'âges différents. La latérite qui se forme actuellement de la décomposition des roches silico-alumineuses sous un climat chaud et humide ne saurait être confondue ni avec la terra-rossa de la Carniole, ni avec la terre jaune de nos cavernes, ni avec la terre rouge des Causses et encore moins avec les bols à bohnerz qui se sont constitués durant le tertiaire. Vouloir absolument forcer le rapprochement de ces produits, c'est méconnaître leur origine, leurs caractères ancestraux, leur âge et surtout leur évolution. On peut donner bien des causes à la différenciation des sidérolithiques, je n'en connais aucune de plus générale et de plus importante que celles de leur origine et de leur âge. En d'autres termes, pour se rendre bien compte de la signification de ces différenciations, il faut, me semble-t-il, rechercher pour chaque type les *caractères originaux* fixés par une sorte d'*hérédité* et les *caractères acquis* apportés plus tard, car, de même que les êtres vivants, les types sidérolithiques ont une naissance et une évolution qui comprend des périodes ou des âges de jeunesse, de maturité et de sénilité [1]).

Tous les types sidérolithiques ne présentent naturellement pas tous ces caractères. Les uns, comme par exemple, les produits de décalcification et les latérites actuelles sont très jeunes et à peine ébauchés : nous pouvons observer et suivre leur formation. Les phosphorites, les bols à bohnerz par contre, sont plus âgés. Leur période de jeunesse est de-

---

[1]) Consulter sur ce sujet à propos des formes du relief terrestre l'excellente étude du prof. W. D. Davis dans le *Géographical Journal.* Londres, nov. 1899.

puis longtemps terminée et ils ne sont pas loin peut-être d'atteindre leur vieillesse. Dans ce cas, il y aurait eu deux grandes périodes tout au moins : une première période pendant laquelle les bols se sont formés par altération de la roche, comme le font aujourd'hui les latérites, et une seconde période, caractérisée par des remaniements, des transformations qui ont fixé le faciès sidérolithique actuel. Cette distinction qui pourrait paraître subtile, se justifie cependant facilement par ce qui a été dit plus haut des *caractères originaux* et des *caractères acquis.*

Dans le cas du Sidérolithique proprement dit, les altérations pâteuses, siliceuses, ferrugineuses, dolomitiques sont en fait peu différentes de leurs roches-mères : on peut facilement les en rapprocher : les caractères originaux, ancestraux, sont encore très apparents. S'il n'en est plus de même pour les bols et les bohnerz, qui sont déjà individualisés, si individualisés même, que pendant de longues années on n'a pas supposé qu'ils provenaient, comme les altérations citées plus haut, des calcaires jurassiques et crétaciques, *c'est que les caractères acquis masquent les caractères originaux.*

Et ainsi, *par une tactique générale, constante dans ses grandes actions, la sidérolification conduit à des produits très comparables par leur faciès, mais en principe, différenciés cependant par leurs caractères originaux. Ces produits sont le résultat direct de l'altération des roches et leur faciès est essentiellement caractérisé par leur pauvreté en éléments alcalins et alcalino-terreux et par l'oxydation très grande de leurs sels métalliques.*

Plus tard alors, par une série de transformations variées, chimiques et même mécaniques, ces matériaux évolueront, en même temps que leur faciès général se précisera et s'orientera, pour aboutir aux divers faciès dérivés des types sidérolithiques.

Le Sidérolithique proprement dit, tel qu'il se présente aujourd'hui, stratifié ou non stratifié, en place ou remanié, tout en gardant les caractères originaux du faciès général est cependant individualisé : c'est un type sidérolithique dérivé,

évolué et transformé. Sa complexité résulte précisement de son évolution : les caractères acquis sont superposés aux caractères originaux. Bien plus, les caractères originaux se sont atténués pendant cette évolution des matériaux ; ils ont été *subordonnés* par les caractères acquis qui sont devenus les *caractères dominateurs.*

Ces faits sont importants. Ils expliquent et justifient le complexité et même l'individualisation des produits du Sidérolithique proprement dit et par suite leur grande différenciation d'avec les roches dont ils dérivent.

II. Formation du Sidérolithique proprement dit.

Les matériaux du Sidérolithique proprement dit sont incontestablement d'origine superficielle :

1. Les altérations sidérolithiques qui accompagnent en règles générales les dépôts de bols et de bohnerz, étant des ébauches de la sidérolification, montrent le passage des roches-mères à leurs produits altérés.

2. Les fossiles que l'on retrouve parfois dans les produits altérés établissent à l'évidence le même fait.

3. L'observation ne saurait admettre une provenance interne de ces matériaux et il est absolument impossible de partager les opinions des cataclysmiens, Brongniart et Gressly, pour ne citer que les principaux, sans tomber en pleine hypothèse.

En second lieu, on a le droit d'admettre que les produits et les matériaux du Sidérolithique proprement dit, si divers, si variés soient-ils, résultent d'une altération des roches calcaires par voie hydrochimique, de la même façon que les latérites des régions tropicales, ou que les altérations sidérolithiques dites pâteuses, siliceuses, ferrugineuses et dolomitiques.

Si le fait n'est pas absolument démontré, il est du moins vraisemblable et je crois pouvoir le soutenir en l'appuyant sur un certain nombre de considérations qui sont avant tout tirées de l'observation pure.

Et d'abord, il semble que la Sidérolithique proprement dit, sous son aspect actuel, avec son faciès actuel, diffère profondément de ce qu'il dût être au début: il y a eu une évolution importante, pendant laquelle les caractères originaux ont été *subordonnés* par les caractères acquis qui sont devenus *dominateurs* et qui ont fixé sa physionomie actuelle. Pour ce motif, je crois indispensable de distinguer, dans les formations du Sidérolithique proprement dit, deux phases successives:

a. Une phase *d'élaboration,* pendant laquelle les roches superficielles, exposés aux actions des agents météoriques, ont été altérées par un travail d'érosion comparable à celui qui transforme actuellement les roches des régions tropicales en latérites. En raison de l'analogie du processus de formation des matériaux sidérolithiques et des laterites, j'appelle cette phase d'élaboration et de jeunesse: *la phase de la latérite.*

β. Une phase *d'évolution,* pendant laquelle la latérite primitive s'est transformée, s'est stratifiée et individualisée pour aboutir au type sidérolithique actuel. Cette phase qui a dû être très longue, qui a succédé à la précédente, mais sans qu'il soit possible de fixer la démarcation entre les deux, je l'appelle, la phase *sidérolithique proprement dite.*

Phase de la latérite. La latérite est une roche récente: elle se forme actuellement et on peut observer ses formations par décomposition et par altération des roches silico-alumineuses des régions tropicales ou sub-tropicales surtout. Son individualisation comme type sidérolithique résulte particulièrement de sa composition pétrographique et chimique: Max Bauer déjà fit observer qu'elle est caractérisée par la présence de l'alumine libre hydratée [1]). Nous n'avons cependant pas de motif pour en être surpris, puisqu'il s'agit ici d'un produit d'altération des roches silico-alumineuses, déjà riches en alumine combiné.

Ce caractère, qui a son importance, ne saurait cepen-

---

[1]) Max Bauer: *Neues Jahrb.* (1898 II), p. 163.

dant empêcher la latérite d'être un produit de la sidérolification générale. Elle a en effet, tous les caractères des sidérolithiques et elle résulte d'un travail sidérolithique effectué par dissolution des sels solubles de chaux, de magnésie, de soude, de potasse et même de la silice des roches-mères et par concentration ou augmentation des sels de fer, d'alumine et de titane. De plus, toutes ces transformations, si complexes, sont dues aux eaux météoriques. Les eaux souterraines, que l'on pourrait parfois évoquer comme agents de la sidérolification générale et qui semblent même y contribuer, mais sporadiquement et localement, semblent absolument étrangères à la latérisation.

La tactique générale de la latérisation est assez bien connue aujourd'hui. S'il y a des réserves à faire, c'est au sujet de certaines actions de détail, sans doute non négligeables, mais qui, dans le cas, sont cependant secondaires. Les géologues-explorateurs, qui ont spécialement étudié ces formations, sont, en général, d'accord, pour reconnaître que *les grandes conditions influentes de la latérisation sont d'ordre climatérique : température élevée, précipitations atmosphériques abondantes et saisonnières.* L'acide azotique des eaux de pluie des régions chaudes, la pauvreté en humus du sol [1]), certains microorganismes paraissent également jouer un rôle influent, mais pour l'instant nos connaissances ne permettent pas de le fixer et de le reconnaître. N'ayant jamais eu la bonne fortune d'étudier les latérites, en place, je ne saurais en tout cas prendre part à la discussion sur ce sujet. La question n'a d'ailleurs pas une importance capitale pour ces études : l'essentiel est de savoir pourquoi et comment la latérisation se produit et cela on le sait : *la latérisation est la sidérolification des pays chauds,* tropicaux et subtropicaux ; elle se réalise par des dissolutions, des oxydations et des hydratations. Le travail chimique des eaux est assez bien connu ; par contre, l'action biologique, qui s'y superpose, reste énigmatique, je crois.

---

[1]) Les matières organiques sont détruites par les termites.

Le faciès de la latérite qui est incontestablement caractérisé, mais pas fixé, puisque cette formation est à son stade d'élaboration et de jeunesse, qu'elle conserve bien apparents ses caractères originaux, est *un faciès géographique*, en ce sens, que toute latérite évoque, très nettement, des conditions climatériques spéciales, nécessaires et, comme tel, il est tout particulièrement intéressant pour ces études.

A priori, il peut sembler étrange que l'on rapproche le Sidérolithique proprement dit et les latérites et cependant, ce rapprochement est parfaitement rationnel. La différence de composition des matériaux de ces formations s'explique, comme je l'ai fait observer déjà, par leur provenance de roches-mères différentes : des roches-mères calcaires pour le Sidérolithique, des roches-mères non calcaires, silico-alumineuses pour les latérites. La différence des faciès qui est cependant très nette, s'explique de même par le seul fait que ces formations ne sont pas du même stade d'évolution, qu'elles n'ont pas le même âge.

Les derniers travaux des paléontologistes, et ceux de M. H. G. Stehlin font loi ici ; ils établissent que pendant le tertiaire, il y eut, en Europe, une grande période sidérolithique : les diverses faunes des époques éocènes et même oligocènes qui ont été recueillies dans les bols et les phosphorites en sont la preuve. L'existence d'une période sidérolithique tertiaire est hors de doute, ce qui est moins certain, par contre, c'est sa durée et sur ce point, la paléontologie ne fournit aucune indication absolument précise. L'absence des faunes plus anciennes que l'Yprésien, ne prouve absolument pas que la période a commencé à l'époque yprésienne ? Je crois même qu'elle a commencé bien plus tôt, sur la fin des temps crétaciques peut-être déjà [1]).

Les temps de la fin du secondaire et ceux de la première moitié du tertiaire furent caractérisés par des conditions climatériques très spéciales et assez bien connues aujourd'hui.

---

[1]) Voir tableau D.

« Au moment où s'ouvre la période éocène, dit M. de Lapparent [1]), le climat de l'Europe est tempéré plutôt que très chaud ; l'hiver est encore nul ou presque nul et la végétation continentale ne paraît pas éprouver des variations sensibles entre le 40° et le 60° degré de latitude. Mais bientôt, tandis que la plus grande partie de l'Europe, antérieurement submergée par la mer de la craie, devient définitivement terre ferme, les régions méditerranéennes, entre les Pyrennées et l'Atlas d'un côté, entre les Carpathes et le désert libyque de l'autre, s'accidentent de longs sillons où pénètre la mer nummulithique. Sous l'influence de cette mer chaude, dépassant le tropique vers le sud, l'Europe revêt une physionomie africaine. Il s'y établit un régime de saisons sèches et brûlantes, qui alternent avec des saisons pluvieuses et tempérées, la moyenne annuelle se maintenant à environ 25° sous la latitude de Provence.... »

Le climat de ces époques n'a plus comme comparable aujourd'hui que celui des régions tropicales ou subtropicales surtout où se forment actuellement les latérites. Précédemment, j'ai essayé de montrer que la latérisation actuelle était étroitement liée aux conditions climatériques : température élevée, précipitation abondante, régime saisonnier, conditions qui paraissent communes aux climats de nos régions subtropicales et à ceux des époques de la période sidérolithique primitive. De cette analogie, je crois pouvoir conclure :

1. *L'élaboration des matériaux du Sidérolithique proprement dit s'est faite par la latérisation des roches calcaires.*

2. *Le Sidérolithique proprement dit actuel n'est qu'une ancienne latérite, transformée et évoluée.*

La latérite primitive a du se produire et se constituer de la même manière que les latérites actuelles. La température élevée, l'abondance des précipitations atmosphériques et surtout le régime des saisons chaudes et sèches, tempérées et humides furent ses facteurs influents principaux. Par suite,

---

[1]) A. C. Lapparent : *Traité de géologie,* p. 1483. 1906.

on peut admettre que la latérisation du Sidérolithique proprement dit a commencé dès que ces conditions climatériques furent établies, donc bien avant les temps yprésiens et et probablement pendant la fin des temps crétaciques. Pour ma part, je crois que le commencement de la latérisation a dû être fixé par le retrait de la mer de la Craie et que dès l'époque aturienne tout au moins, les calcaires crétaciques et jurassiques superficiels n'ont cessé, jusqu'à aujourd'hui, d'être altérés et latérisés. Et, comme la mer de la Craie s'est retirée progressivement pendant une bonne partie des temps crétaciques, que certaines régions ont été émergées bien avant d'autres, cette latérisation n'a pas pu commencer partout au même moment.

Le résultat de la latérisation fut l'élaboration des matériaux du Sidérolithique proprement dit, c'est-à-dire, d'une latérite primitive qui devait ressembler beaucoup aux produits de décalcification et aux altérations sidérolithiques ordinaires. La nouvelle roche était pauvre en sels calcaires, très décalcifiée, mais riche en produits insolubles silico-alumineux et aussi en oxyde de fer hydraté. Les bohnerz n'existaient pas: tout au plus, y avait-il des concrétions ferrugineuses analogues aux minerais de fer superficiel. Les altérations des calcaires du substratum immédiat des dépôts sidérolithiques, que j'ai considérées comme des ébauches inachevées, pourraient peut-être nous en donner une assez juste idée.

Phase du Sidérolithique proprement dit. Cette latérisation des roches couvrit bien vite le sol d'une couche régulière de matériaux altérés. Les roches primitivement superficielles formèrent ainsi le sous-sol, tout en restant cependant soumises à la latérisation qui pouvait se poursuivre en profondeur, grâce à la perméabilité de leur recouvrement. Mais alors, tandis que ce travail se poursuivait en profondeur [1]), les eaux météoriques attaquaient en même temps la latérite déjà formée. Il y eut ainsi un double travail d'altération

---

[1]) L'épaisseur des latérites actuelles dépasse parfois cent mètres.

directe des roches et de transformation des produits altérés. Le premier est la continuation de la latérisation, le second par contre, et c'est ce qui caractérise les phases de la sidérolification, est une *remise en marche* de la latérite primitive. Il n'y a donc pas de séparation nette entre les deux phases : la latérisation a précédé la sidérolification, mais toutes deux ont pu et même ont dû se poursuivre simultanément.

L'agent de la sidérolification est toujours l'eau météorique. Mais ici, il n'y a plus de grandes actions de dissolution, de démolition : la latérite est déjà un produit décalcifié et ses matériaux sont en quelque sorte des résidus de dissolution. Les sels de fer sont peut-être les éléments qui subissent la principale action chimique. Les autres éléments sont bien moins transformés, ils sont simplement déplacés.

La tactique de la sidérolification est assez spéciale : elle comprend des actions chimiques et des actions mécaniques. En filtrant au travers de la latérite, les eaux météoriques ont entraîné mécaniquement en profondeur, les particules les plus fines, les plus ténues, qu'elles ont accumulées en zones, en couches. En même temps, elles ont attaqué chimiquement les matériaux qu'elles léviguaient. L'entraînement mécanique a conduit à la stratification des dépôts, la précipitation des sels dissous a amené de même une concentration chimique.

M. van den Brœck, dans son étude sur l'*altération des dépôts superficiels*, a donné le principe de ces transformations. Les apparences de ravinement, la séparation de certaines zones à coloration particulière s'expliquent parfaitement par des infiltrations superficielles. Sans doute, le détail de toutes les transformations qui se sont produites nous échappe : il y a bien des points sur lesquels il est actuellement impossible de se prononcer. Pour l'ensemble, par contre, je crois que le remaniement mécanique par les eaux de surface en infiltration et le métamorphisme hydro-chimique, peuvent fournir une explication suffisante.

Comme application de ces considérations que l'on pourrait croire exclusivement hypothétiques, je vais étudier quelques cas particuliers du Sidérolithique proprement dit.

Les bohnerz. Plusieurs auteurs ont rapproché la formation des bohnerz de celle de dragées calcaires ou siliceuses de Carlsbad, de Tivoli, etc.... ou de celle des oolithes des roches sédimentaires. On a parlé aussi de l'importance que pouvait avoir joué cette concentration des sels autour d'un noyau formé de matières organiques.

L'étude des pisolithes de fer montre très nettement que leur noyau est formé par une matière amorphe, groupée sur un squelette siliceux ou autour d'un grain de sable. Les débris organiques, spicules, fragments de test de coquille, y sont excessivement rares. Les couches disposées concentriquement autour du noyau, sont de même constituées par un squelette siliceux. Leur épaisseur est en général assez constante. Leur surface est brillante et polie. Dans certains cas, les différentes couches peuvent se séparer assez facilement, mais ordinairement, elles sont étroitement soudées entre elles.

Je considère les bohnerz comme résultant directement de la sidérolification. Pendant la latérisation des roches calcaires, il a dû se former de petites masses celluleuses, résultant d'une concentration des sels siliceux et surtout ferrugineux sur une particule organique ou calcaire. Dans la suite, ces débris ont disparu probablement par pseudomorphose, par suite d'une décalcification à outrance, mais les cellules se sont conservées et sont devenues les noyaux des pisolithes, qui se sont formées par simple concentration. Les sels de fer des pisolithes sont mélangés à la silice, parce que, dans leur action dissolvante, les eaux d'infiltration ont attaqué également cette dernière substance et l'ont entraînée avec le fer. La disposition des couches autour du noyau résulterait de cette précipitation. On peut assez facilement les reproduire en faisant couler lentement sur des noyaux amorphes des solutions concentrées ayant la composition des bohnerz, auxquelles on ajoute quelques traces d'arsenic.

Un travail analogue se serait produit dans la latérite en voie de sidérolification : les eaux d'infiltration ayant enlevé de sels de fer avec un peu de silice et ayant atteint le degré voulu de saturation auraient précipité leurs sels dis-

sous sur les noyaux, c'est-à-dire, sur les cellules de la latérite. La précipitation ne se serait produite qu'une fois ce degré de saturation atteint. Et alors, le travail étant divisé, la précipitation se serait nécessairement faite en couches et en zones. Dans ce cas, les dispositions en couches concentriques de l'enveloppe de la pisolithe s'explique très facilement et le brillant de la surface de la pisolithe ou de celle de ses couches, peut se comprendre par le polissage effectué par les eaux en circulation lente au travers d'une roche assez meuble.

La structure radiaire des couches concentriques de l'enveloppe des pisolithes et leurs cavités, en batonnets, que Bleicher attribuait à des empreintes de bactéries et que ne sont probablement que des formes de retrait, l'épaisseur assez constante des couches concentriques, l'amoncellement des pisolithes dans certaines parties du gisement, les agglomérats sidérolithiques qui sont des pseudo-pisolithes dont le noyau est formé de pisolithes accolées, peuvent parfaitement s'expliquer par ce processus.

Les concrétions amorphes, irrégulières, en coulées ou en masses, proviennent, par contre, d'une précipitation chimique, effectuée sur des matériaux que l'eau ne pouvait déplacer.

La formation des bohnerz n'a dû se faire que sur la fin de la sidérolification, la stratification des matériaux étant déjà bien dessinée.

Enfin, l'invasion des mers mollassiques qui mit fin à la sidérolification, par la suppression des actions météoriques, amena en même temps le tassement de la masse. Les pisolithes furent emprisonnées dans les bols encore imprégnés d'eau d'infiltration. La sidérolification fit encore un dernier effort cependant, et nous en avons la trace dans ces zones que les mineurs appellent « fleur » et qui délimitent la couche des bohnerz ou dans les taches (œils des mineurs) des bols. Les sels de fer furent complètement enlevés et concentrés sur les pisolithes, et les bols ayant perdu tous leurs éléments ferrugineux, passèrent au silicate d'alumine.

Les bols. Ce sont des argiles ferrugineuses, de composition variable, toujours très ferrugineuses, qui représentent

le résidu de la latérisation des calcaires. On les reproduit assez facilement en attaquant les calcaires par des acides.

Leur coloration est due aux sels métalliques, surtout au sesquioxyde de fer hydraté, qui joue un rôle variable suivant son degré d'oxydation et d'hydratation.

Leur arrangement en couches de composition et d'aspect différenciés, résulte de la sidérolification, c'est-à-dire de la lévigation exécutée de haut en bas, sur la latérite primitive. Dans quelques cas, la lévigation mécanique a été entravée et les éléments entraînés, par suite d'une sorte de filtration, se sont déposés en couches distinctes, caractérisées par la grosseur des particules. Les plus grosses ont été arrêtées les premières, les plus fines ont pu passer à travers. (Fig. 10, Pl. II).

Assez souvent aussi, la stratification n'est qu'apparente. Les couches sont simplement différenciées par leur coloration, fait très fréquent dans les dépôts meubles et bien étudié par M. van den Brœck.

La formation des couches de bols alumineux et semi-plastiques qui s'intercalent parfois dans les bols ordinaires ne peut s'expliquer que par une nappe d'eau, qui a agi sur une couche de bols, l'imprégnant assez fortement pour en enlever non seulement les sels métalliques, mais encore la majeure partie de la silice. Ce travail n'a dû se produire qu'après la sidérolification, la stratification des couches étant déjà établie. Les lentilles ou les traînées de « flœtz » que l'on rencontre parfois, sont probablement dûes à un même processus.

Enfin, la disposition des couches en lentilles imbriquées et superposées, peut s'expliquer par les actions combinées d'une lévigation *per descensum* et d'une imprégnation après coup, par les eaux de nappes, filtrant dans la masse des matériaux, ou en suivant les couches.

Les sables siliceux. Ils forment la majeure partie des bols, soit libres, soit sous forme de silicate d'alumine, mais toujours colorés superficiellement par les sels métalliques. Leur accumulation en couches ou en amas, témoigne d'une lévigation intense, qui n'a laissé des bols que leur éléments silico-alumineux.

Les couches de sables intercalées dans les bols réguliers résultent d'un travail analogue à celui qui a formé les couches du bol semi-plastique, à cette différence près cependant que la dissolution a été moins puissante : les éléments silico-alumineux sont simplement restés en place.

Très souvent aussi, les sables siliceux forment, à la base des bols, des assises régulières, qui remplacent les bohnerz. Cette position, qui est manifestement anormale, peut cependant s'expliquer par le même processus. Les eaux d'infiltration, en circulation lente, entre le calcaire du substratum sidérolithique et les bols inférieurs, ont lévigué les couches qu'elles traversaient, n'en laissant que les sables, c'est-à-dire, les éléments insolubles ou difficilement solubles (silice, alumine). Ce travail qui a pu commencer dès que la stratification des assises sidérolithiques fut bien dessinée, n'a dû cependant se réaliser dans toute son intensité que longtemps après. En effet, si on peut assez facilement l'attribuer à une infiltration normale, dont les eaux auraient agi déjà sur les assises supérieures, on peut aussi le considérer comme résultant d'une lévigation puissante par des venues d'eau accidentelles. L'action des sources ne saurait être absolument niée, cependant, je persiste à croire que le principal agent est encore l'eau météorique, qui a pu facilement s'infiltrer, comme il vient d'être dit, par suite de la discontinuité de la couverture sidérolithique usée par l'érosion et l'abrasion.

Les grands remplissages de sables dans des poches immenses ou simplement dans des crevasses, qui sont actuellement à fleur de sol et à découvert, sont, en règle générale, les racines d'anciennes nappes aujourd'hui enlevées et ils ont dû se produire selon le même processus. Les bols que les recouvrent parfois, sont simplement les assises inférieures du Sidérolithique primitif, normalement stratifié [1]. (V. Pl. I).

---

[1]) L'altération superficielle récente est également entrée en jeu. C'est à elle que j'attribue la coloration des sables, la formation des veinules, des serpules, des concrétions d'alumine, des grès que l'on rencontre, par exemple, dans les grandes poches de sables de Moutier. Elle n'est peut être pas complètement étrangère à celle des quartsites, des jaspes, etc....

On objectera peut-être, qu'une semblable lévigation suppose des masses d'eau considérables et par suite une véritable circulation souterraine? D'abord, la circulation souterraine a dû se faire lentement et par filtration goutte à goutte: les matériaux n'ont pas été entraînés, mais seulement lévigés, seuls certains éléments ont été enlevés par dissolution. Ensuite, les régions dénudées par l'enlèvement de la couverture sidérolithique sont devenues des sortes de bassins de réception des eaux météoriques, dont l'infiltration était favorisée par la discontinuité même de la couverture.

Mais, dira-t-on encore, que sont devenues ces eaux, après leur grand travail de lévigation souterraine?

Plusieurs hypothèses sont possibles. Les eaux, par le fait de leur circulation entre deux couches assez peu perméables, ont pu obéir à une succion vers des thalwegs ou des régions moins élevées? Elles ont pu aussi, par siphonage, parcourir d'assez longs trajets souterrains et sur leur parcours, contribuer à l'agrandissement des poches et des excavations du substratum par décalcification de la roche? Enfin, les calcaires ne sont pas si compacts qu'il ne s'y trouve des fissures, des cassures, qui peuvent devenir des issues?

Les calcaires et les conglomérats. Ces formations n'appartiennent qu'indirectement au Sidérolithique proprement dit, en ce sens, qu'elles proviennent d'actions étrangères à la sidérolification.

Les calcaires lacustres sidérolithiques ou raitsches sont des formations géologiques normales et régulières. Ils intéressent le Sidérolithique exclusivement à cause de leur position stratigraphique. Leurs matériaux proviennent peut-être des roches latérisées? Les pisolithes qu'on y rencontre parfois y ont été probablement apportées par le ruissellement. Ils sont aujourd'hui assez mal représentés et n'ont naturellement entre eux aucun synchronisme général précis. Leur dissémination actuelle en lambeaux isolés, ne représente sans doute que très imparfaitement leur répartition première, qui tout en étant plus régulière, était cependant déjà sporadique et localisée.

Les conglomérats proviennent surtout de remaniements mécaniques par les eaux des matériaux sidérolithiques dans des roches d'autres formations géologiques. Comme les calcaires d'eau douce, ils sont nécessairement d'âges différents. Ils ont pu se former déjà à la fin de la latérisation; mais en général, ils sont plus jeunes. Les bols y sont rarement conservés, sauf dans le cas des brèches de la région vaudoise, mais les bohnerz par contre y sont très fréquents. Peut-être pourrait-on considérer les *bohnerz* amorphes, sans structure feuilletée de certains conglomérats, comme provenant directement de la latérite primitive?

Les conglomérats sont tantôt compacts et solides, leurs galets sont fortement cimentés entre eux, ou tantôt, ils consistent simplement en une grossière accumulation de matériaux roulés et altérés. Dans ce dernier cas, ils ont beaucoup d'analogie avec certains remplissages ossifères.

Les *impressions* que présentent parfois les galets de ces roches sont probablement dûes à des phénomènes hydrochimiques ayant produit par dissolution ce que Quiquerez appelait « une altération pâteuse ». La dureté des roches ne joue ici qu'un rôle secondaire, car c'est leur insolubilité qui est le facteur influent par excellence.

Telle qu'elle vient d'être exposée, cette théorie de la sidérolification me parait soutenable. Elle n'est d'ailleurs pas absolument personnelle et on y reconnaîtra facilement des influences étrangères. Elle n'est pas démontrée non plus, c'est une simple hypothèse, mais une hypothèse qui s'appuie cependant sur un nombre important de faits observés et souvent vérifiés par l'expérimentation. On pourra lui faire des objections et j'en prévois même déjà quelques unes. Des recherches complémentaires me permettront de la préciser et peut-être même de la corriger.

On me reprochera peut-être aussi de n'avoir pas suffisamment réfuté les hypothèses proposées par mes devanciers! Je l'ai fait à dessin, ne voulant pas attaquer ceux qui m'ont ouvert la voie et qui m'ont aidé de leur expérience. En

exposant mes croyances sur le même sujet, j'ai par ailleurs formulé mes critiques.

Dans un travail comme celui-ci, il est facile de tirer un grand nombre de conclusions générales : j'ai déjà indiqué les principales et je me propose d'en reprendre quelques autres dans des études ultérieures. On voudra bien m'accorder quelques crédits.

Pour l'instant, il ne me reste plus qu'à conclure.

La sidérolification est la résultante de forces très variées et souvent contraires. Dans le cas, les conditions influentes sont essentiellement d'ordre climatérique : température élevée, précipitations atmosphériques abondantes, régime saisonnier ; la nature du sol, ne joue qu'un rôle secondaire, aucune roche ne pouvant résister à l'érosion superficielle intense. Les conditions restrictives sont moins nombreuses, il n'y en a même qu'une seule de bien puissante : c'est la mer. La retraite progressive des mers de la Craie, qui permit l'émersion lente des continents sous un climat tropical marque le début de la formation sidérolithique, comme l'invasion des mers mollassiques en détermine l'arrêt ? La mer est le grand facteur restricteur de la sidérolification.

Cette lutte du sol contre la mer est intéressante, non seulement pour le géomorphogéniste, mais aussi pour le paléogéographe. Elle montre, par exemple, que la sidérolification a commencé d'abord sur un point émergé, un îlot isolé, pour s'étendre progressivement au fur et à mesure que la mer lui cédait du terrain et aussi, qu'elle ne s'est pas arrêtée brusquement, mais lentement. De là, sans doute, ces bassins sidérolithiques délimités et isolés, avec leurs centres où la sidérolification paraît avoir atteint son maximum d'intensité ? De là aussi, l'isolement originel des bassins, isolement encore accentué aujourd'hui par l'altération topographique du relief et qui peut prêter à confusion ?

L'invasion ou le retrait des mers n'ont pas été brusques, mais plutôt très lents et peut-être ce fait pourrait-il expliquer le manque de synchronisme des sidérolithiques

européens ou même celui des différents sidérolithiques d'une région bien délimitée? En outre, l'abondance de leurs matériaux témoigne de l'intensité ou de la durée de l'action sidérolithique et partant, peut-être, pourrait-on admettre que les *centres* sidérolithiques actuels correspondent aux régions qui furent émergées les premières?

L'altération superficielle qui est le principe de la sidérolification est une action générale de l'érosion continentale. Elle s'est produite partout où les conditions restrictives ont autorisé l'activité des conditions influentes, car les roches, qui peuvent résister plus ou moins à leur attaque, ne peuvent y échapper complètement. Ces conditions influentes les plus puissantes sont celles qui produisent la latérisation, mais elles ne sont pas les seules capables d'altération. La formation des produits de décalcification des régions tempérées et même froides, le démontre suffisamment. La distribution géographique actuelle des produits sidérolithiques, si différenciés soient-ils, en est une autre preuve. Les bassins suisses du Jura (Jura oriental: Berne, Soleure et Jura méridional: Vaud, Genève) et des Alpes (Dents du Midi, Diablerets, etc....) sont reliés entre eux par la *Terre rouge* des Préalpes fribourgeoises et passent géographiquement toujours, à ceux de France (Est: Franche-Comté, Bourgogne; du Centre: Berry; du Sud-Ouest: Quercy....; du Plateau-Central: *Terre rouge* du Causse; du Sud-Est: vallées du Rhône et de la Saône), et d'Allemagne (Grand duché de Bâde, Wurtemberg: Brisgau et Rauhe Alp, etc....), qui font la liaison par le Jura frankonien, la Souabe et la Bavière avec ceux du Sud-Est (Carinthie, Carniole, Dalmatie, etc....), et du Nord-Est (Hongrie, Russie, etc., etc....). Quelque chose d'analogue pourrait être reconnu pour les zones tropicales et sub-tropicales. Enfin, dans toutes les parties du monde, on rencontre en profondeur ou à la surface du sol des matériaux qui proviennent d'altérations continentales superficielles, anciennes ou récentes.

Tous ces sidérolithiques n'ont souvent de commun que leur mode de formation: ils proviennent par altération hydrochimique de roches diverses, feldspatiques, éruptives, sédi-

mentaires, calcaires. Les unes sont très jeunes, en élaboration, incomplètement constituées, gardant très nets, leurs caractères ancestraux qui les rattachent à leurs roches-mères; les autres, bien plus anciennes, sont déjà individualisées. Les formes rudimentaires sont géographiques: terres rouges du Causse, des Préalpes. terra rossa de Carniole, produits de décalcification des régions tempérées, latérites des régions chaudes et humides. Les autres sont plus différenciées encore: phosphorites et phosphates, bauxites, latérites, sidérolithiques à bohnerz, etc.... Ce sont autant de types gradués d'un même travail réalisé avec des intensités différentes, tout en obéissant aux mêmes lois générales.

Ils ont par suite, un certain nombre de caractères communs qui fixent leur *faciès général*. Mais pris individuellement, ils sont cependant bien distincts: chaque type a son faciès particulier. *Ce faciès secondaire* est l'expression des milieux géologique (nature des roches-mères), géographique (conditions climatériques qui l'ont déterminé) et aussi de l'évolution (âge) du type sidérolithique. L'empreinte des milieux géologiques et géographiques est bien visible d'ordinaire chez les types sidérolithiques jeunes, qui ont conservé leurs caractères originaux; elle est par contre très atténuée chez les types anciens, qui sont des stades différenciés et divers des formes primitives, rudimentaires: *la latérite moderne passe à la bauxite, comme la latérite crétacique et tertiaire a passé au sidérolithique à bohnerz!*

Cette notion d'évolution, soit de vitalité, appliquée aux formations sidérolithiques ne manque pas d'intérêt. Sans parler de la question du *devenir* du Sidérolithique proprement dit actuel, elle montre dans un domaine que nous lui refusons, à tort sans doute, une application de cette pensée de Leibnitz: « Rien n'est mort, la vie est universelle ».

Explication de la planche II.

Fig. 7, 8, 9. Processus de formation des enclaves de marne hauterivienne dans les calcaires valangiens, d'après la théorie de M. le Prof. H. Schardt.

Fig. 7. Usure d'un pli en genou et mise à découvert des calcaires valangiens.

Fig. 8. Glissement des marnes hauteriviennes et leur inclusion entre les couches des calcaires.

Fig. 9. Glissement des calcaires valangiens et formation de l'inclusion.

Fig. 10. Formation d'une poche de sables dans les calcaires du Malm supérieur, à Soulce (près Delémont).

a. Gros blocs, altérés et corrodés, recouverts de terre végétale et de bol impur.

b. Fragments de calcaires obstruant la fissure et arrêtant le passage des éléments fins lévigués qui sont accumulés en *c.*

d. Remplissage de bol, de terre, de cailloux.

La fissure se continue en profondeur.

Fig. 11. Formation d'une poche d'altération (Chancre) dans les calcaires jaunes du Mont de Chamblon (Vaud).

a. Bol rouge, impur, ferrugineux, siliceux (gros grains de silice et glauconie libre), renfermant des pisolithes souvent altérées et amorphes et des fragments de calcaire altéré.

b. Toute la partie centrale de la poche est formée d'un bol grisâtre, peu ferrugineux, englobant des bandes d'un bol bleuâtre plus fin.

Les calcaires qui sont dans les bols extérieurs renferment parfois des fossiles de la roche encaissante.

Fig. 12. Poche fossilifère d'Obergösgen, d'après C. Mœsch.

a. Bolus jaune avec quelques pisolithes.

c. Sables siliceux jaunâtres.

Les zônes colorées en noir indiquent la place des bohnerz mêlés d'ossements.

La roche encaissante est très corrodée et appartient au Jurassique supérieur.

Fig. 7

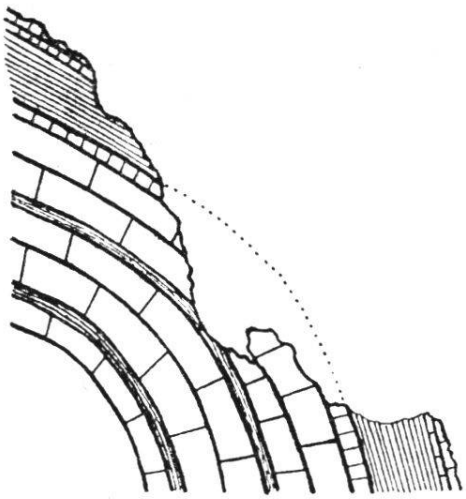


Fig. 10

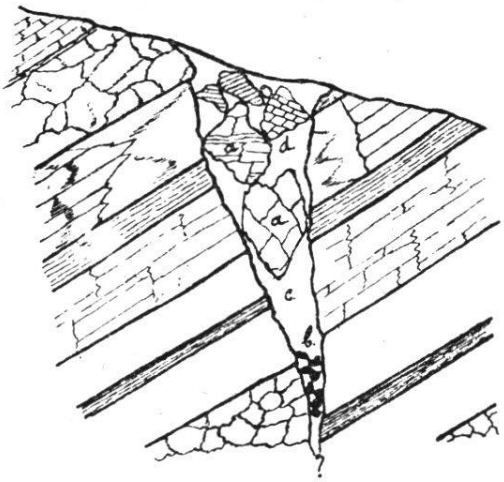


Fig. 8

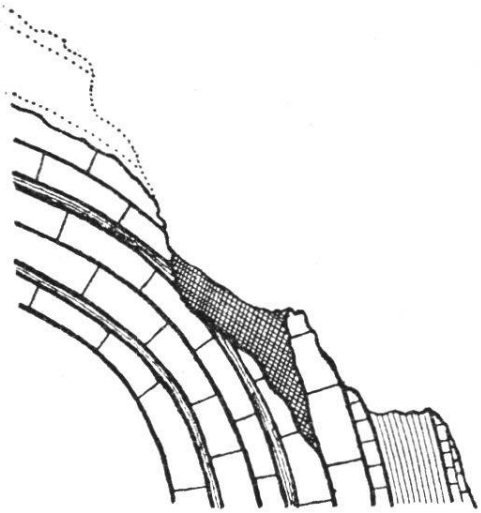


Fig. 11

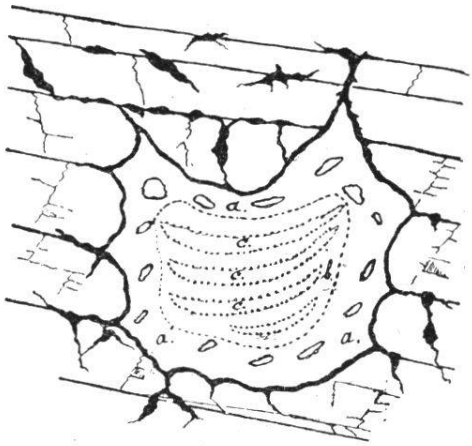


Fig. 9

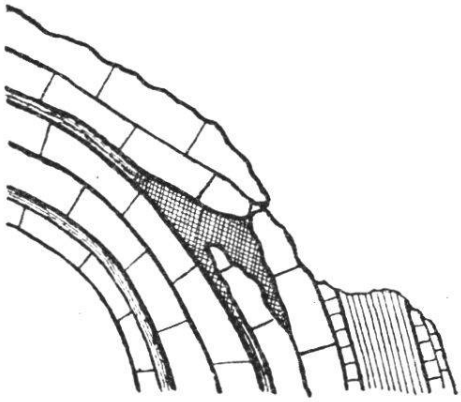
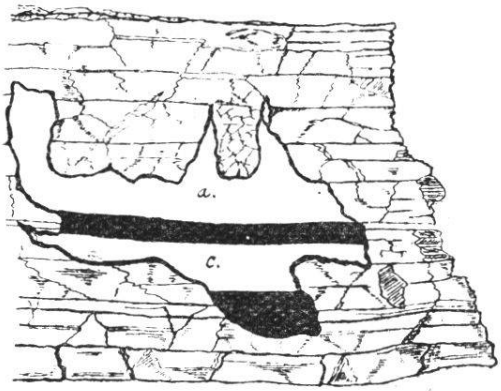
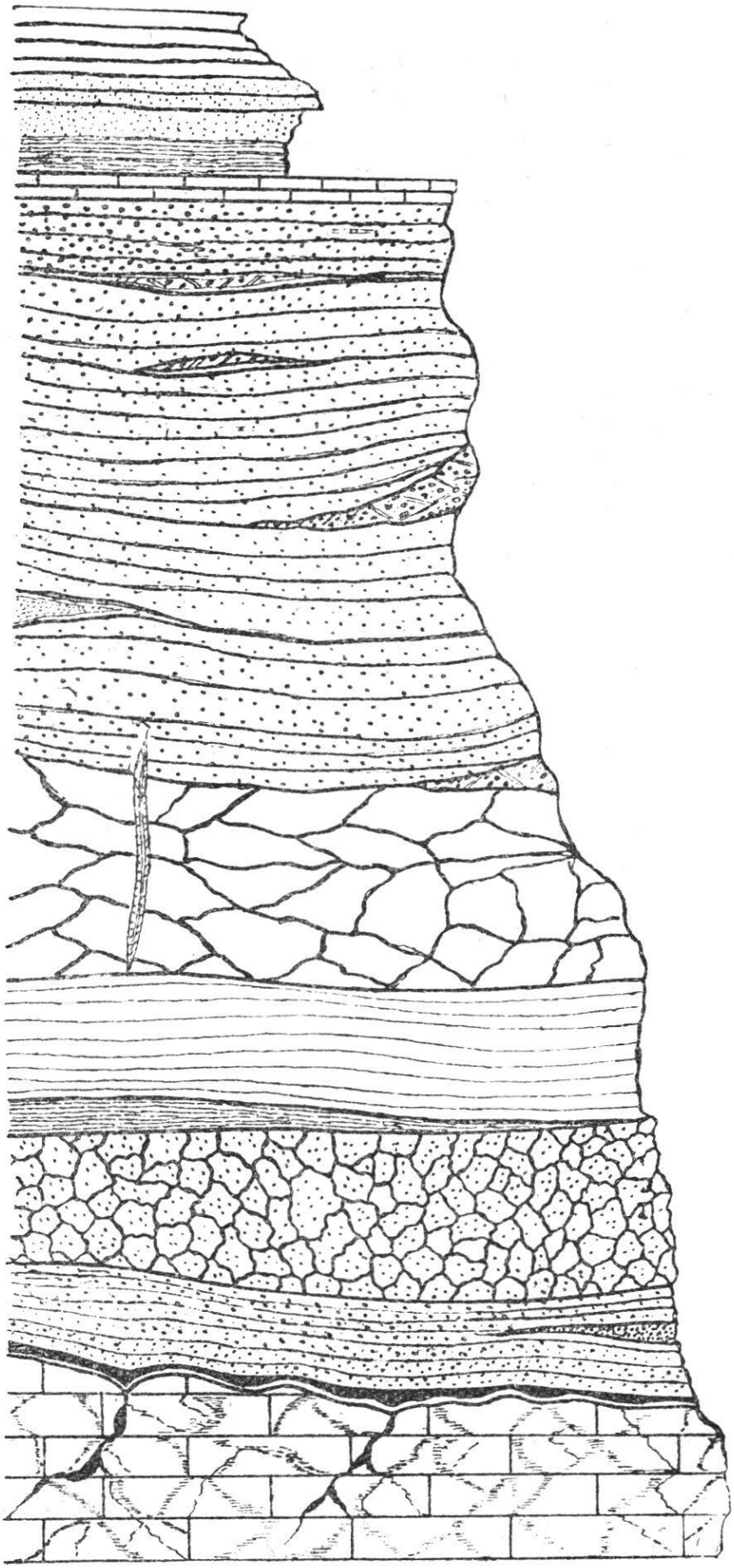


Fig. 12



Coupe générale du Sidérolithique suisse.

(Vallée de Delémont: puits vers la Gare).



Echelle : 1/1000. Fig. 13.

En résumé, la sidérolification est une action constante et puissante de l'altération superficielle des continents.

Elle se réalise essentiellement par des dissolutions et des transformations chimiques. Les sels solubles sont en général enlevés, les autres sont concentrés par accumulation des résidus. Ce travail complexe, lent ou plus ou moins rapide, continu ou par à-coups répétés est étroitement dépendant des milieux géographiques et géologiques et il se réalise, avec des intensités variables, chaque fois que les conditions influentes ne sont pas arrêtées par les conditions restrictives. La variété des faciès sidérolithiques résulte de la lutte entre ces deux groupes de conditions et aussi des transformations que peuvent subir dans la suite les premiers résultats de l'altération superficielle. Mais dans tous les cas, le **faciès garde un double cachet géographique et pétrographique.**

Le Sidérolithique proprement dit à bohnerz de la Suisse, du Jura particulièrement, est une forme individualisée, évoluée et ancienne. Il résulte d'une longue série d'actions et de travaux que l'on peut rattacher à deux grandes phases :

1. **La phase de la Latérite,** pendant laquelle sous des conditions climatériques spéciales, les produits sidérolithiques se sont formés, par dissolution et désagrégation des roches suivant un processus plus ou moins comparable à celui qui forme actuellement les latérites des régions tropicales.

2. **La phase du Sidérolithique proprement dit,** caractérisée par un travail lent des eaux d'infiltration sur la latérite primitive. La stratification des dépôts, la formation des pisolithes, la concentration de certains éléments sont les principaux résultats de cette *remise en marche, in situ.*

C'est encore pendant cette seconde phase que l'allure et la répartition géographique des matériaux ont été modifiées, que leur faciès s'est individualisé.

Des causes accidentelles, bouleversements tectoniques, abrasions, eaux souterraines, etc.... ont pu aussi, pendant

cette longue évolution, jouer des rôles divers, influents, restricteurs, etc.... suivant les cas : mais il ne semble pas possible cependant de pouvoir leur attribuer une signification générale.

Enfin, l'évolution du Sidérolithique n'est pas terminée ; elle se poursuit actuellement encore, en même temps que la décalcification qui est la forme atténuée de l'altération superficielle. Les deux actions se confondent et souvent, superposent leurs matériaux et ainsi, des produits récents, actuels, se trouvent mélangés à des matériaux anciens. La latérite du Sidérolithique à bohnerz a dû commencer à se former vers la fin des temps crétaciques et atteindre son maximum de développement durant l'Eocène [1]). Les faunes crétaciques sont inconnues dans les bohnerz, il est vrai, mais leur absence peut s'expliquer par les actions puissantes, en raison de leur longue durée surtout, de *la remise en marche* de la latérite primitive ; les faunes éocènes, par contre, moins longuement attaquées, ont mieux résisté. Par suite, les différentes assises d'un même dépôt ne sont pas nécessairement synchroniques [2]).

Le Sidérolithique suisse ne saurait donc plus être attribué, comme le voulaient les catastrophistes à des bouleversements anormaux et puissants ; c'est au contraire une formation régulière des agents météoriques, de l'eau de pluie en infiltration surtout : *c'est le résultat d'une altération superficielle des roches continentales par voie hydrochimique.*

---

[1]) Voir tableau D.

[2]) Voir la coupe générale, p. 234. Cette coupe donne une assez bonne idée de la stratification des dépôts et permet de reconnaître pourquoi les assises supérieures ne sont peut-être pas synchroniques de celles de la base.