

LE RÔLE DU FER DANS LA FORMATION DES PISOLITES ALUMINEUX AU SEIN DES CUIRASSES BAUXITIQUES LATÉRITIQUES

B. BOULANGE¹ et G. BOCQUIER²

1. Section de Géologie, O.R.S.T.O.M., 24, rue Bayard, 75002 PARIS, FRANCE.
2. Université Paris VII, Laboratoire de Pédologie, Sciences Physiques de la Terre, 2, place Jussieu, Tour 25-24, 75251 PARIS Cedex 05, FRANCE.

RESUME

Dans les bauxites latéritiques de Côte d'Ivoire, on note la présence de faciès pisolitiques alumineux (à boémite et gibbsite), qui résultent d'une succession complexe de transformations à la fois minéralogiques et structurales à partir d'une cuirasse massive alumino-ferrugineuse (à gibbsite, hématite et goéthite). Le rôle du fer est prépondérant dans ces transformations.

I. INTRODUCTION

Une étude récente sur les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire (BOULANGE, 1983) nous a permis de préciser les mécanismes de formation des cuirasses alumino-ferrugineuses parmi lesquelles nous distinguons, sur la base de caractères structuraux :

- des faciès isaltéritiques qui résultent d'une transformation directe isovolumétrique de la roche mère (MILLOT et BONIFAS, 1955) et sont donc à structure conservée;

- des faciès allotéritiques qui résultent d'une transformation indirecte de la roche mère, et dont ils ne conservent pas les structures.

Ces faciès originels à gibbsite, hématite et goéthite peuvent subir, en place, une succession complexe de transformations, à la fois minéralogiques et structurales, qui vont aboutir à la formation de faciès nodulaire puis de faciès pisolitique. Dans ces transformations, le rôle du fer est déterminant.

Dans les faciès pisolitiques nous distinguerons :

- des pisolites simples ou nodules, de forme ronde mais sans cortex, qui sont des nodules relictuels et des nodules "plasmiques".

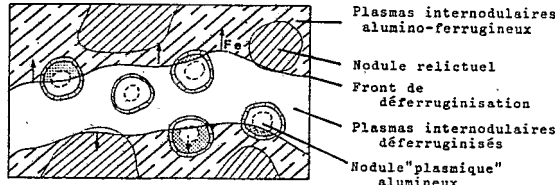
- des pisolites complexes ou concrétions, formés d'un noyau et d'un cortex à zonations concentriques, qui sont des concrétions vraies et des pseudoconcrétions.

II. LA FORMATION DES PISOLITES SIMPLES

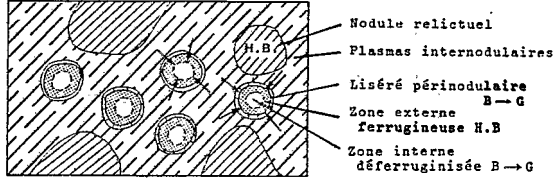
A. Les nodules relictuels

Une cuirasse originelle massive alumino-ferrugineuse, placée en conditions plus hydromorphiques que ne l'exigeait sa formation, est soumise à une bréchification interne (Fig.1). Le long de chenaux de circulation, du fer se concentre de manière centripète, migrant du chenal vers des fragments de cuirasse qui sont ainsi isolés.

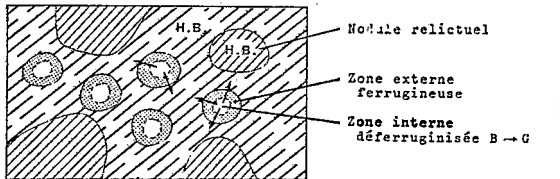
Différenciation transnodulaire
 par propagation d'un front de déferruginisation. Nodules "plasmiques" et plasmas internodulaires deviennent uniquement alumineux.



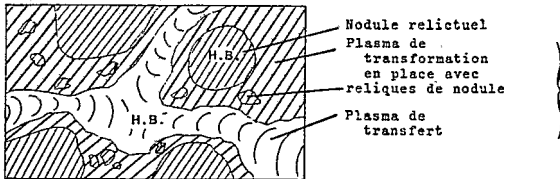
Différenciation périnodulaire
 Autour des nodules "plasmiques" par concentration centripète du fer et formation d'un liséré périnodulaire avec transformation de la boehmite en gibbsite après déferruginisation.



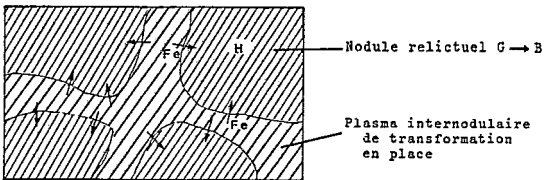
Différenciation intranodulaire
 Individualisation des nodules "plasmiques" à partir des plasmas internodulaires avec concentration centrifuge du fer et transformation de la boehmite en gibbsite.



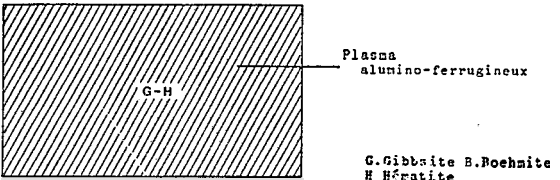
Dégradation centripète
 des nodules relictuels avec formation des plasmas internodulaires



Individualisation des nodules relictuels ferrugino-alumineux
 s'isolant à partir de la cuirasse originelle avec concentration centripète du fer et transformation de la gibbsite en boehmite



Cuirasse originelle



G. Gibbsite B. Boehmite
 H. Hématite

Puis ces fragments de cuirasse sont soumis à des dégradations centripètes, qui se propagent de la périphérie vers le centre. Un transfert de matière se produit vers la zone de circulation à partir des fragments qui diminuent ainsi de volume en nourrissant un plasma internodulaire. Les restes de ces fragments sont des nodules relictuels. Leurs formes de plus en plus arrondies peuvent les faire considérer comme des pisolites que nous appellerons simples en l'absence de cortex.

Dans le cas étudié d'une formation bauxitique à faciès pisolitique de la région de Lakota, ces fragments de cuirasse et nodules relictuels présentent quelques textures lithologiques conservées et sont ainsi en filiation avec une cuirasse originelle.

Cependant on y observe un émiettement des cristaux de gibbsite et la formation d'un plasma jaune à boehmite. Un plasma ferrugineux à hématite imprègnent les plasmas jaunes à boehmite et ensersent les cristaux de gibbsite. Ainsi il apparaît que la cuirasse originelle à gibbsite et hématite a subi une double transformation : envahissement par le fer et formation de boehmite.

La dégradation centripète des nodules relictuels à hématite et boehmite nourrit donc un plasma internodulaire dont les deux constituants principaux hématite et boehmite restent étroitement liés. Localement ce plasma internodulaire présente des structures cutaniques (microlitages, orientations) dues à des réorganisations sur place.

B. Les nodules "plasmiques"

Ce terme de nodules "plasmiques" est utilisé pour bien souligner que ces nodules s'individualisent au sein même du plasma internodulaire. Trois différenciations se succèdent lors de leur individualisation (Fig. 1).

1) Une première différenciation, intranodulaire, se réalise par concentration centrifuge du fer. La zone périphérique s'opacifie, alors que la zone interne s'éclaircit (Fig. 2). Des microanalyses chimiques indiquent pour la première 50% Fe₂O₃ et 50% Al₂O₃, et une proportion relative d'aluminium toujours plus élevée pour la seconde.

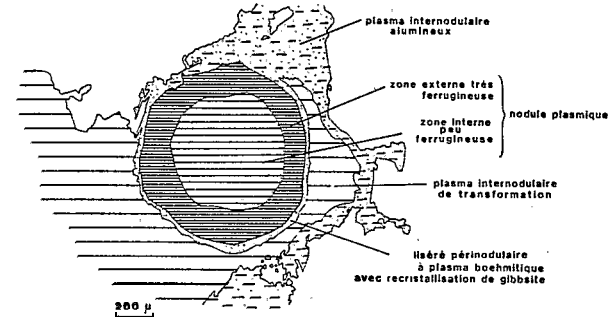


FIGURE 2 : Individualisation d'un nodule "plasmique" dans le plasma internodulaire.

2) Une deuxième différenciation, périnodulaire, se réalise par concentration centripète du fer localisée à la périphérie du nouveau nodule et à l'origine d'un liséré périnodulaire (Fig. 2).

3) Enfin une troisième différenciation, transnodulaire, correspond à la propagation d'un front de déferugination coupant indifféremment nodules et plasma internodulaire (Fig. 1).

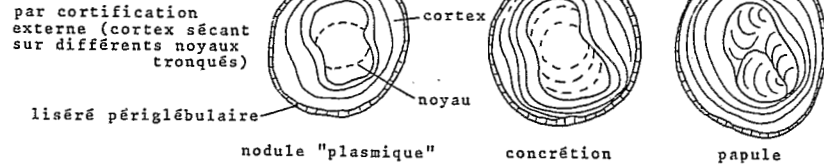
Exemple de pisolite complexe avec plusieurs phases de cortifications septarisations et dégradations



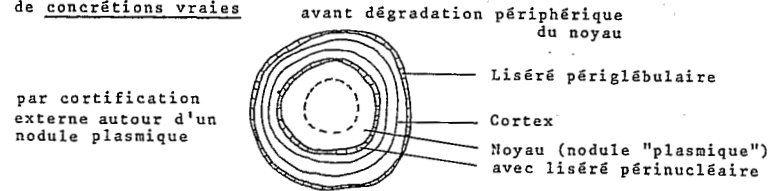
avant cortification et sans dégradation périphérique
 avec dégradation périphérique
 Septarisation ou dégradation linéaire



Individualisation de pseudoconcrétions après dégradation périphérique de différents noyaux



Individualisation de concrétions vraies



par cortification interne dans un nodule "plasmique"

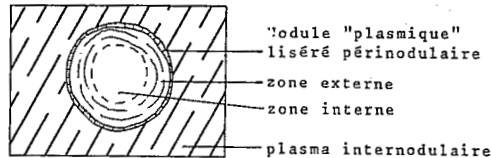


FIGURE 3 : Les différents stades de la cortification à l'origine des pisolites complexes.

Les migrations de fer entraînent donc la déferrugination de certaines zones : les zones internes des nodules "plasmiques", les lisérés périnodulaires, les nodules et les plasmas. Une déferrugination totale ne laisse sur place qu'un plasma boehmitique. La boehmite se déstabilise alors et l'alumine libérée, après un transport aussi court soit-il, reprécipite sous forme de gibbsite.

III. LA FORMATION DES PISOLITES COMPLEXES

A. Les concrétions vraies

Les concrétions vraies se forment directement à partir des nodules "plasmiques" soit par cortification interne, soit par cortification externe (Fig. 3).

1) La cortification interne est une différenciation au sein du nodule mais qui concerne sa zone externe ferrugineuse. Une redistribution lente du fer, centrifuge, s'accompagne d'une réorganisation concentrique du plasma. Il se forme une alternance de zones sombres ferrugineuses et de zones claires moins ferrugineuses (Fig. 4).

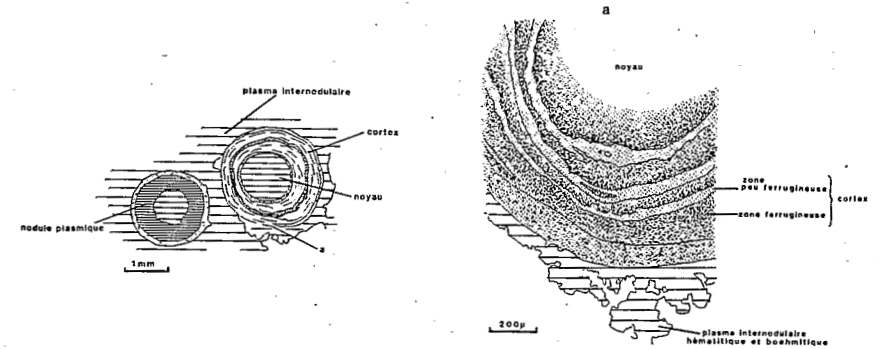
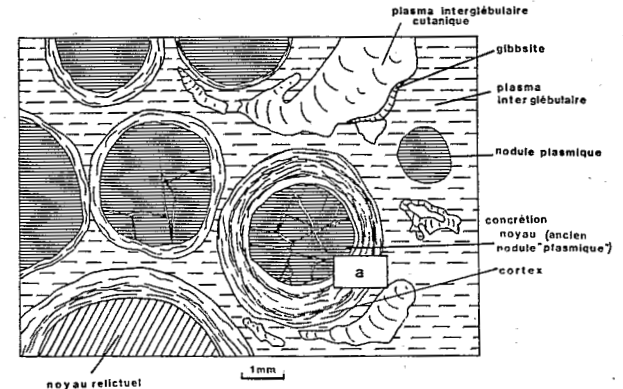


FIGURE 4 : Formation d'une concrétion aluminoferrugineuse par cortification interne dans un nodule "plasmique".

2) La cortification externe se fait par accréation d'un cortex à partir du plasma internodulaire. Dans ce cas le noyau, ancien nodule "plasmique", est sphérique. Noyau et cortex peuvent être séparés par un liséré périnucléaire, ancien liséré périnodulaire. Dans le cortex s'établit comme précédemment une zonation concentrique du plasma (Fig. 5). Un nouveau liséré périnodulaire ou périglébulaire peut se former.



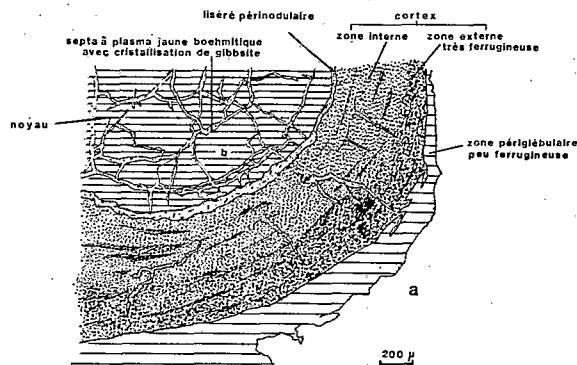


FIGURE 5 : Formation d'une concrétion aluminoferrugineuse par cortification externe autour d'un nodule "plasmique".

Des microanalyses chimiques réalisées dans des concrétions (Fig. 6) montrent que les deux éléments constituant des plasmas sont Fe et Al. La couche externe du cortex est très ferrugineuse (80% Fe_2O_3 - 20% Al_2O_3).

Avant cortification, les nodules sont fréquemment soumis à des dégradations internes qui se propagent radialement à partir de la périphérie et qui donnent naissance aux septa. Ce sont des déferruginisations, qui ne laissent en place qu'un plasma à boémite à partir duquel recristallise la gibbsite.

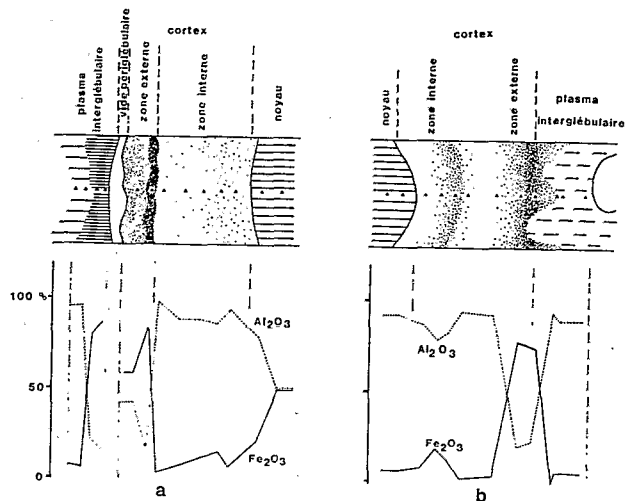


FIGURE 6 : Microanalyses chimiques dans des concrétions aluminoferrugineuses.

B. Les pseudoconcrétions

Les pseudoconcrétions se forment par cortification externe sur tout noyau ayant subi au préalable une dégradation périphérique centripète. Ce noyau peut-être un nodule relictuel, un nodule "plasmique", une concrétion, ou un fragment de plasma cutanique. Dans ce cas le cortex est sécant sur un noyau tronqué. Le liséré périnodulaire est effacé (Fig. 3).

Des concrétions et des pseudoconcrétions de plus en plus complexes peuvent se former avec plusieurs phases de cortifications, de septarisations et de dégradations. En général, chaque cortex peut posséder son propre réseau de septa indépendant des septa du noyau.

A tout moment de leur évolution, ces concrétions et pseudoconcrétions aluminoferrugineuses à hématite et boémite peuvent subir une déferruginisation brutale. Celle-ci progresse le long d'un front traversant nodules, concrétions et plasma, et révèle les structures concentriques et les septa. Elle ne laisse en place qu'un plasma à boémite. Les pisolites sont alors strictement alumineux. En aucun cas on observe alors de nouvelles cortifications.

La déferruginisation des pisolites est une annonce de leur dégradation. La boémite, unique composant, est déstabilisée. L'alumine, mise en mouvement, cristallise en gibbsite, après un transport aussi court soit-il, pour être en fin de compte totalement éliminée.

IV. CONCLUSION

Dans les profils latéritiques, peu d'auteurs abordent le problème de la formation des pisolites qui sont souvent considérés comme résiduels et détritiques par analogie avec les bauxites sédimentaires.

Aux faciès pisolitiques, ferrugineux ou alumineux, est toujours associée la présence de boémite et d'hématite. La transformation de gibbsite en boémite est souvent mentionnée (GORDON *et al.*, 1958; VALETON, 1972; KELLER, 1964).

Les hypothèses les plus nombreuses concernant la formation des cortex envisagent la répétition de phénomènes d'accumulation rythmée par l'alternance de phases d'hydratation et de déshydratation. LACROIX (1913) estime que les pisolites résultent d'un phénomène de concrétionnement par dépôts d'hydrates colloïdaux, qu'ils se sont formés sur place dans un milieu non en mouvement et que le phénomène de concrétionnement est plus fréquent dans les milieux riches en fer. C'est aussi l'interprétation de MEAD (1915) qui, cependant, fait moins intervenir des apports que des mises en solution et dépôts successifs.

Les apports sont considérés comme ferrugineux ou alumineux (BRUCKNER, 1957), strictement ferrugineux (du PREEZ, 1952), la croissance des pisolites s'effectuant sur place par accréation rythmique à partir de dépôts à l'état colloïdal. Pour VALETON (1972), cette croissance est due à la précipitation chimique de solutions d'alumine.

Les processus de formation des pisolites sont décrits avec plus de précision, probablement en raison du rôle du fer, pour les cuirasses ferrugineuses. JONES (1965) avance l'idée d'une différenciation centripète des gléboles. Cette hypothèse est étayée par les travaux de NAHON (1976), NAHON *et al.* (1977), qui montrent que cette mise en solution de plasma s'accompagne d'une recristallisation sur place, avec orientation dans le sens de la dissolution, la formation du cortex débutant au sommet des nodules (MULLER *et al.*, 1981).

Les analyses présentées ici conduisent à envisager la pisolitisation comme résultant effectivement de l'évolution en place d'une cuirasse aluminoferrugineuse, dans un milieu où sont susceptibles de varier, les conditions d'hydratation, de drainage et d'oxydo-réduction.

Et dans ces conditions, il convient de souligner le rôle prépondérant des composés du fer qui commande les différentes structures qui se créent au cours de l'évolution. On distingue une phase de fixation et une phase de migration des oxyhydroxydes de fer. Cela nécessite, à toutes les échelles l'existence de milieux géochimiques opposés les uns plus oxydants, les autres plus réducteurs. Ces milieux se juxtaposent dans l'espace et se succèdent dans le temps.

Aux réorganisations des oxyhydroxydes de fer sont liées des modifications dans la nature des hydroxydes d'alumine. L'accumulation d'hématite est accompagnée d'une transformation de la gibbsite en boehmite. Toute déferuginisation est suivie d'une déstabilisation de la boehmite et de la recristallisation de gibbsite.

REFERENCES

- BOULANGE B. (1983). Les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire. Les faciès, leur transformation, leur distribution et l'évolution du modèle. Thèse Etat, Univ. Paris VII, 341 p.
- BRUCKNER W.D. (1957). Laterite and bauxite profiles of West Africa as an index of rythmical climatic variations in the tropical belt. *Eclogae Geol. Helvetiae*, 50, 2 : 238-256.
- GORDON M., TRACEY J.I., ELLIS M.W. (1958). Geology of the Arkansas bauxite region. *U.S. Geol. Surv. Profess. Papers*, 299, 268 p.
- JONES H.A. (1965). Ferruginous oolites and pisolites. *Journ. Sedim. Petrol.*, 35, 4 : 838-845.
- KELLER W.D. (1964). The origin of high-alumina clay minerals : a review. Ingerson E. et al. *Clays and clay minerals*, New-York : 129-151.
- LACROIX A. (1913). Les latérites de la Guinée et les produits d'altération qui leur sont associés. *Nouv. Arch. Mus.*, 5, 5 : 255-356.
- MEAD W.J. (1915). Occurrence and origin of the bauxite deposits of Arkansas. *Econ. Geol.*, 10 : 28-54.
- MULLER D., BOCQUIER G., NAHON D., PAQUET H. (1981). Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferrallitique à horizons nodulaires du Congo. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.*, Paris, 18, 2 : 87-109.
- NAHON D. (1976). Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires du Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. *Th. Doc. Sc., Strasbourg, Mém. Sci. Géol.*, 44, 232 p.
- NAHON D., MILLOT G. (1977). Géochimie de la surface et formes du relief. V. Enfoncement géochimique des cuirasses ferrugineuses par épigénie du manteau d'altération des roches mères gréseuses. Influence sur le paysage. *Sci. Géol., Strasbourg*, 30, 4 : 275-282.
- PREEZ J.W. du (1954). Notes on the occurrence of oolites and pisolites in Nigerian laterites. *Congr. Geol. Int.*, 19, Alger, 21 : 163-169.
- VALETON I. (1972). Bauxites. *Developments in Soil Sciences*, Vol. I, Elsevier, 226 p.

ABSTRACT

In lateritic bauxites from Ivory Coast, the occurrence of aluminous (boehmitic and gibbsitic) pisolitic facies, are the result of the complex succession of mineralogical and structural transformations from a aluminous-ferruginous (gibbsitic, hematitic and goethitic) massive hardpan. In this transformation, the iron plays a pre-dominating role.