



LATERITES ET LATERITISATION

Apports récents des chercheurs
français

par

R. MAIGNIEN *

Docteur ès sciences

le 2-4-1982

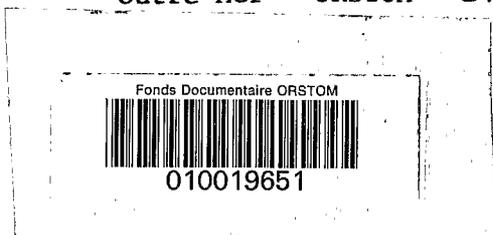
, 101 mm.

Les études sur les latérites relèvent d'une tradition française déjà ancienne. A ce sujet on citera uniquement A. LACROIX (1913) qui a laissé un travail considérable. Travaillant sur la Guinée et Madagascar, il a donné de belles descriptions de ses formations. "L'altération des silicates d'alumine libère de l'alumine libre qui, selon les cas, forme des cristallites d'hydrargillite ou reste amorphe, ou donne de la kaolinite". Cette argile peut s'altérer pour donner une seconde génération d'alumine libre. L'alumine peut migrer car "il existe des paillettes d'hydrargillite à l'emplacement d'anciens minéraux non alumineux". La migration du fer est encore plus marquée ; au voisinage du noyau de roche fraîche, la latérite blanchit avec le départ du fer, puis se teinte en rose, rouge et rouge-brun par mouvement centrifuge de cet élément. Les latérites peuvent être aluminées ou silicatées, ferrugineuses ou non, colorées ou blanches, plus ou moins indurées, en masses continues ou nodulaires, ou meubles en masses terreuses rouges. Il propose une terminologie et une classification qui sont encore d'actualité. Les modalités de l'altération latéritique sont précisées : départ des alcalis et de la silice, oxydation du fer, formation d'hydrate d'alumine, de kaolinite, qui s'accumulent et durcissent. Des données essentielles sont déjà reconnues et cela simplement par des observations du terrain, de plaques minces au microscope, par des analyses totales d'échantillons recueillis le long d'itinéraires effectués à pied et dans des pays inconnus. On doit tirer de son travail une grande leçon d'humilité.

Depuis ces premiers travaux, l'étude des latérites a fait l'objet de nombreuses publications françaises d'où ont été tirées plusieurs synthèses et mises au point :

- Compte-rendu de Recherches sur les latérites - R. MAIGNIEN (1966) ;
- Monographie sur les Sols Ferrallitiques, en particulier le tome I par Y. CHATELIN (1972).

* Inspecteur Général à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer - ORSTOM - 24, rue Bayard - PARIS F 75008.



Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B* 1965-1 Ex: 1

De 1970 à nos jours plus de vingt mémoires de doctorat ès sciences traitent en partie de ce sujet et quatre autres s'achèvent actuellement. Ils s'appuient sur une connaissance de plus en plus précise de la distribution de ces formations grâce à une cartographie qui couvre toute l'Afrique francophone et, aussi, sur l'observation et l'analyse de plus en plus fine des différents faciès reconnus à l'aide d'un appareillage sophistiqué (ultra-microscope, sonde de Castaing, Mössbauer, etc...).

Pour des raisons historiques, les travaux français ont porté principalement sur l'Afrique. Plus récemment ils se sont étendus en Amérique Latine (Brésil, Equateur, Guyane, Vénézuéla), aux Antilles, en Indonésie, en Océanie. Les bilans les plus récents montrent que l'Afrique reste cependant un domaine privilégié de ces études et les leçons qui en sont tirées devraient aider à une meilleure connaissance des latérites au plan mondial.

Parler des latérites oblige à présenter d'abord les limites du sujet ; quelles sont les formations à prendre en compte ? Ce problème a dominé et continue à dominer la plupart des interprétations. Il s'agit surtout d'un problème de définition, car de nombreux mots les caractérisant ont été détournés de leur sens originel, l'interprétation prenant le pas sur les faits ; d'où des contresens, des doubles emplois qui ont compliqué le transfert des connaissances. Ainsi pour les cuirasses et les carapaces qui, dans leur acception originelle correspondent à des degrés différents d'induration et à qui on tend à attribuer des significations génétiques concernant les modes d'accumulations (relatives, absolues), les compositions, les genèses - il n'y aurait de cuirasses que latéritiques -. Tout ceci n'est pas objectif et il est indispensable de revenir aux faits.

Actuellement le consensus le plus général concerne leur origine : ce sont des formations subsuperficielles résultant d'une altération tropicale qui se caractérise par une perte totale des alcalis, plus ou moins de la silice, et, l'accumulation en proportions variées d'oxyhydroxydes de fer, d'alumine, parfois de manganèse, en association ou non avec de la kaolinite.

Ces accumulations sont plus ou moins indurées ; elles peuvent être aussi meubles. Leurs épaisseurs, leurs couleurs, leurs structures, leurs continuités, leurs positions et leurs successions dans les profils sont variées. On ne peut donc appliquer une définition trop restrictive ; tous les faciès doivent être retenus. C'est dans ce sens que doit être compris ce qui suit.

↳ pens de considérer ?

1. DISTRIBUTION DES LATÉRITES EN AFRIQUE FRANCOPHONE.

seuls
territoires ? → La carte ci-jointe dressée par M. PETIT (1981) et complétée d'informations nouvelles au Niger (M. GAVAUD, 1977), au Cameroun (P. BRABANT, 1982), en R.C.A. (P. BOULVERT, 1982) présente l'état actuel des connaissances dans ce domaine. Elle fait état d'une large bande latitudinale qui s'étend du golfe du Bénin au 17° N sur environ 1200 km et des côtes du Sénégal au Sudan. Les périmètres les plus cuirassés se situent à l'ouest aux frontières du Sénégal, Mali, Guinée ; au centre à cheval sur le Mali, le Côte d'Ivoire, la Haute-Volta, le nord Ghana ; à l'est en République Centrafricaine. A Madagascar, les périmètres cuirassés sont extrêmement réduits.

2. LATÉRITES ET MODELES.

A l'exception des zones forestières à climat humide, où les sols Ferrallitiques sont meubles dans leur ensemble et développés sur des modèles "semi-orange", les latérites se distribuent sur des formes relativement planes (horizontales, monoclinales, faiblement ondulées) mais à des altitudes variées :

plus d'exemple

*certes il
y a
parfois
2 ou
3 surfaces?*

du niveau de la mer à plus de 1.600 mètres (Guinée - Nimba). Elles sont pour la plupart très indurées. Elles se groupent en plusieurs surfaces: des surfaces supérieures qui concernent les massifs montagneux, des formes intermédiaires qui font le passage à des surfaces inférieures constituées de bas-plateaux et de plaines (P. MICHEL, 1978).

*vers
servitons
ou chrono-
logique?*

Au Fouta Djalon (Guinée) on reconnaît trois surfaces supérieures : une surface 1.200 mètres (Labe) qui serait Jurassique moyen, une surface 900 mètres (Dongo - Sigon) qui serait anté-Albien, une surface de 600 mètres (Fantara) la plus étendue qui s'achèverait à l'Eocène Inférieur et qui peut être assimilée à la surface Africaine de L. KING. Ces vieux modelés sont fossilisés par une cuirasse bauxitique puissante (10 à 15 mètres), très dure et compacte, dérivant d'altérites ferrallitiques en place, le tout d'une épaisseur dépassant 60 mètres. Du Sénégal au Nigéria cette troisième surface supérieure varie de 1.000 - 800 mètres dans les massifs montagneux et leurs périphéries, à 700 - 500 mètres dans les plaines intérieures, à 300 - 200 mètres dans les régions proches des côtes. Elle s'étend aussi largement au Cameroun, en R.C.A., au Gabon, au Congo.

*deux
surfaces?*

Au Tertiaire,, surtout vers la fin du Pliocène, de nouvelles cuirasses se sont développées sur les collines et les versants des reliefs intermédiaires et sur les bordures des grands bassins sédimentaires. Ces niveaux indurés présentent des faciès variés, mais semblent dériver en partie des formations bauxitiques supérieures, dont elles possèdent des blocs détritiques. Ils sont plus pauvres en alumine et plus riches en fer et, d'autant plus, qu'ils sont plus septentrionaux. En Mauritanie ils sont essentiellement ferrugineux. Les niveaux cuirassés (4 à 6 mètres d'épaisseur) surmontent des altérites kaoliniques épaisses dont la puissance totale atteint 20 à 30 mètres.

*doute
le fer augmente
au nord et à
même quelle
ou l'inverse
plus septentrion-
naux?*

Aux cuirasses précédentes s'opposent des cuirasses de bas de pente, de bas-plateaux, associées aux axes du drainage actuels et se raccordant aux dépôts alluviaux récents. Ce sont des glacis-terrasses d'âge quaternaire. On dénombre un haut, un moyen et un bas glacis. Les hauts et moyens glacis portent des cuirasses ferrugineuses à faciès gravillonnaire qui passent en profondeur, par l'intermédiaire de faciès alvéolaire, à des altérites tachetées ferrallitiques d'environ cinq mètres de puissance. Les formations indurées (2 à 3 mètres d'épaisseur) se localisent de façon privilégiée à l'aval des glacis. Leur extension est plus marquée sur les hauts que sur les moyens glacis ; les premiers sont parfois totalement cuirassés.

Les moyens glacis, mal exprimés en régions humides, (Côte d'Ivoire) sont mieux différenciés et plus étendus en région soudanienne (Haute Volta en particulier) G. GRANDIN, 1976.

Le bas glacis n'est généralement pas cuirassé. On y observe cependant en positions hydromorphes des niveaux concrétionnés et des carapaces ferrugineuses. La présence de manganèse est fréquente. Les altérites sous-jacentes sont peu épaisses (2 à 3 mètres), enrichies en smectites vers les régions sèches. D'après P. MICHEL (1973) la chronologie des niveaux inférieurs serait la suivante :

- altération et cuirassement du haut glacis 780.000 à 530.000 ans,
- altération et cuirassement du moyen glacis 380.000 à 110.000 ans,
- mise en place du bas glacis 40.000 ans à nos jours.

La comparaison de ces différentes formes fait apparaître :

- un gradient chronologique menant des cuirasses bauxitiques anciennes aux indurations ferrugineuses récentes ;
- un gradient latitudinal : les teneurs en fer s'accusant du sud au nord.

3. FACIES LATÉRITIQUES.

Comme déjà signalé ils sont très variés, aussi bien dans leurs expressions morphologiques que dans leur distribution dans les profils et le paysage. Ces faciès concrétisent des états d'évolution plus ou moins poussés et, leur étude, permet de saisir les mécanismes qui interviennent dans leur genèse. Cependant l'hétérogénéité de ces matériaux et, cela à toutes les échelles, freine cette approche. C'est pourquoi il est de plus en plus fait appel aux analyses pétrologiques (G. BOCQUIER et al. 1982). D'autre part ces faciès ont généralement été considérés comme l'expression de conditions stables (au plan des conditions climatiques, des formes du modelé, de la nature de la roche-mère, etc...). Ce n'est qu'à une époque toute récente que l'accent a été mis sur l'analyse des passages entre faciès et c'est également pour cela que les matériaux d'étude sont maintenant prélevés le long de séquences de sols (catena). Il est démontré ainsi que les ensembles d'horizons de latérites ne sont pas stables, qu'ils évoluent, plus ou moins rapidement mais continuellement, en s'ordonnant dans l'espace en "systèmes cuirassés" D. NAHON (1976). Il est donc essentiel de dresser l'inventaire de ces systèmes et, pour cela, étudier les différents faciès latéritiques dans leurs relations avec les horizons qui les encadrent, en allant des plus simples, généralement les plus récents, aux plus complexes qui sont aussi les plus âgés et, ainsi, des altérites aux faciès de transformations.

3.1- Faciès d'altération.

L'altération latéritique se caractérise théoriquement par un départ de matière, alcalis et silice. Elle s'exprime dans deux faciès : un à structure conservée ou isalterite, l'autre à structure effondrée ou alloterite. Dans le premier cas, le squelette, qui donne la cohésion à l'ensemble, est constitué de fins cristaux d'oxy-hydroxydes de fer et (ou) de gibbsite qui pseudomorphosent les feldspaths et les plagioclases en voie de disparition. Il en résulte un matériau cohérent mais fragile, poreux, de faible densité, parfois appelé "pain d'épices", qui sert de structure d'accueil à des produits figurés (kaolinites) ou à des éléments dissous (Si, Al, Fe, etc..) migrant des horizons supérieurs ou des parties amonts de la couverture pédologique. Les éléments dissous s'accumulent, cristallisent en gibbsanes, en ferranes ou se recombinaient entre eux ou avec ceux de la structure d'accueil pour donner une métahalloysite éphémère, puis de la kaolinite. Ainsi les matériaux qui bourrent les vides et les fissures résultent de la combinaison d'un plasma d'altération et d'un plasma de transfert (B. BOULANGE, 1982), l'ensemble se fondant dans un horizon de plus en plus homogène, compact et induré. Ce milieu peut être le siège de nouvelles transformations, de réorganisations, de dissolutions qui condensent, segrègent ou libèrent les différents constituants. En particulier la kaolinite peut se décomposer pour donner de l'alumine et de la silice secondaire, lesquels vont suivre un nouvel itinéraire. Les isalterites sont caractéristiques des milieux très ouverts, donc bien drainés. On les observe aux sommets et en bordure des reliefs accusés.

Dans le second cas, celui de l'alloterite, l'altération est différente. La première substance qui s'installe, à la place des minéraux de la roche, est une masse abondante isotrope, d'abord blanche, puis rapidement colorée en rouge foncé, au sein de laquelle apparaît peu de gibbsite. Puis, cette masse d'altération amorphe donne naissance à de la kaolinite à faciès en "accordéon" et à des produits ferrugineux. A ce stade la structure originelle de la roche s'est effondrée. Le matériau résultant est meuble, plastique. La position de cette lithomarge kaolinitique dans les chaînes de sols - on l'observe en abondance dans les parties médianes et basses des modelés - montre qu'il s'agit d'une formation

formée à partir d'ions en solution (SiO_2 , Al_2O_3) dans les eaux du sol ou dans des gels amorphes reconnus. La réorganisation est totale et il est difficile de mesurer la part respective des altérations en place et du transfert. Mais il est probable que celui-ci est très important, car "la formation directe de kaolinite aux dépens d'un minéral primaire sans apport extérieur de silice et d'aluminium n'a jamais été observé" (J. DELVIGNE, 1965). Ce faciès argileux caractérise un milieu à drainage ralenti.

3.2- Faciès de transformations.

Isaltérites et alloterites se transforment suivant des voies qui leur sont propres, pour les premiers en faciès nodulaires, pour les seconds en faciès argilomorphes et en faciès microagrégés.

a. x Les ~~faciès nodulaires~~ faciès nodulaires résultent d'abord de la division d'une altérite à structure conservée, mais ils peuvent s'individualiser aussi, comme on le verra, à partir d'autres matériaux ferrallitiques. Le mécanisme est toujours le même, il y a apparition de séparations plasmiques qui divisent une masse homogène en volumes de taille de plus en plus fine, suivant un gradient vertical orienté de bas en haut (D. MULLER, 1979). Au fur et à mesure de l'affinement, se développe un cortex ferrugineux, à différenciation centrifuge, constitué essentiellement de goéthite. Le produit final a un aspect pseudo-pisolitique, voire gravillonnaire si des apports secondaires drainant des parties hautes viennent enrichir le nodule. Dans tous les cas le cortex se développe d'abord aux dépens de la partie centrale. Il s'agit donc d'une individualisation en place, d'une transformation "in situ" d'un fond matriciel.

b. x Les faciès argilomorphes apparaissent en bancs plus ou moins épais, subhorizontaux, généralement très ferrugineux et indurés, de couleur foncée (rouge violacé), dépourvu de quartz et à texture fine. Ces bancs s'individualisent par pseudomorphose de niveaux meubles, le plus souvent argileux. La quasi-totalité de l'argile peut être épigénéisée par du fer. Celui-ci cristallise en oxyhydroxydes et présente parfois des taux de substitution en aluminium important (jusqu'à 22 % pour la goéthite) D. NAHON, 1976. "L'aluminium incorporé à la structure de l'hématite et de la goéthite est le résultat de cette épigénie (de la kaolinite), tandis que la silice est évacuée." Celle-ci pourra participer à nouveau et plus loin à une nouvelle synthèse d'argile. Lorsque l'épigénie est partielle, le faciès peut prendre un aspect scoriacé assez spécifique de certaines bauxites. Le plus souvent des cuirasses argilomorphes sont le siège de séparations plasmiques secondaires qui leur confèrent un aspect nodulaire. Les séparations s'ourlent de cernes rubanés ocres qui s'épaississent, s'indurent fortement, se soudent les uns aux autres, tandis que leur coloration devient plus brune. Il en résulte la formation de petits nodules subsphériques, à cortex concentriques, semblables à des oolithes. Mais là encore il s'agit d'une réorganisation en place liée à des transferts de très courtes distances (intra et intercristallins).

On peut penser que les nodules qui s'individualisent directement dans une masse argileuse plastique de latérite relèvent de mécanismes comparables.

c. x Les faciès meubles sont ceux des horizons non indurés de sols ferrallitiques. Ils dérivent directement d'une réorganisation structurale de la lithomarge kaolinitique sans variation granulométrique ou minéralogique notable. Les caractéristiques physiques et notamment les variations de la porosité reflètent cette évolution. Les faciès sont de deux types : des faciès denses et des faciès

microagrégés . Les faciès denses, ont une structure polyédrique nette, correspondant à une microstructure ma-insépique, à porosité faible de type planaire. Les faces des agrégats sont généralement brillantes. Le comportement général est plastique ; la couleur rouge foncé. La structure polyédrique est la conséquence de contraintes internes liées au tassement du profil lors de l'effondrement de l'alloterite.

3.2 Les faciès microagrégés ont un comportement de matériaux sableux malgré des teneurs en argile élevées (40 - 45 %). L'horizon est poreux, friable, non plastique, de couleur rouge ou jaune. Il est constitué par une organisation lâche de microagrégats de kaolinite ferritisée et de grains de quartz. Les quartz sont fissurés, corrodés et montrent des incrustations ferrugineuses. Le plasma se compose de kaolinite associée à des quantités variables d'oxyhydroxydes de fer différenciés en organisations tridimensionnelles stables (CHAUVEL, 1976). C'est la structure de pseudo-sables ou encore structure alliatique ou structure microagrégée, qui caractérise de très nombreux sols ferrallitiques évolués. Cette structure fine peut se réduire à des volumes plus gros (de l'ordre du centimètre), qui se rechargent progressivement en fer, donnant naissance à des taches, à des concrétions, voire à des cuirasses ferrugineuses avec en corrolaire une décoloration du fond matriciel et le tassement de l'assemblage qui se colmate. Cette transformation correspond à une déstabilisation partielle des agrégats par remobilisation du fer en milieu temporairement réducteur et à l'aide de complexants organiques. Il y a microlyse plasmique (J.P. MULLER, 1977). L'ultradessiccation des milieux soudaniens accuse ces mécanismes (CHAUVEL-PEDRO, 1973).

3.3 - Faciès d'accumulation.

Les faciès d'accumulation s'organisent dans toute structure d'accueil, aussi bien dans les structures précédentes que dans des matériaux remaniés (colluvions, alluvions, éluvions). Les éléments en solution (Fe, Si, Al) ou figurés (argiles, limons fins) qui migrent avec les eaux du sol des horizons supérieurs et des parties amont des séquences, s'accumulent, précipitent, cristallisent, se réorganisent dans les diverses formations inférieures (dans les vides, dans les fissures) qu'elles figent (cimentent) et (ou) épigénéisent. On y observe fréquemment des matériaux hérités, restes de roches plus ou moins altérées : les lithoreliques. Au fur et à mesure de l'accumulation, la structure devient plus massive et elle peut s'indurer fortement. Mais elle peut se réorganiser de nouveau par transformation des plasmas, dissolution incongruente, recristallisations d'éléments individualisés et ainsi de suite. Ces réarrangements ont généralement pour effet de rediviser les faciès massifs et de les réduire en nodules de plus en plus fins avec ségrégations et concentrations relatives des constituants originels, avec apparition de structures pisolithiques secondaires zonées fréquentes dans les bauxites de surface. Les séparations plasmiques facilitent la circulation des eaux qui induisent des processus de lessivage ultérieur.

3.4 Faciès de lessivage.

Ces faciès résultent de l'attaque par les solutions du sol des faciès précédents. Il y a déstabilisation des organisations et soustraction de matière sous formes dissoutes, ou figurées. Des vides, des canaux plus ou moins coalescents apparaissent ; la structure devient alvéolaire. Elle peut aussi s'organiser latéralement en structure lamellaire, en particulier en bas de pentes. Quand les ciments de liaison sont détruits, les matériaux résiduels isolés s'ordonnent dans des structures gravillonnaires. Ces structures présentent

ainsi un très bon milieu d'accueil pour des accumulations nouvelles éventuelles.

4. RELATIONS, EQUILIBRES ET MECANISMES DE MISE EN PLACE DES LATERITES.

L'étude des relations entre les faciès latéritiques montre que chaque organisation nouvelle résulte d'une organisation qui la précède laquelle s'oblitére, puis s'efface. Le point de départ est toujours une altération de roche fraîche. La remobilisation constante des constituants rend tous les cas possibles. Chaque paragenèse est le résultat d'apport et de pertes et c'est la somme de ces itérations, répétées dans le temps et dans l'espace, qui amènent les accumulations latéritiques.

Les mécanismes géochimiques sont plus ou moins rapides suivant les constituants et les milieux considérés, d'où il résulte des sélections et des concentrations spécifiques de matériaux, hydroxydes de fer et d'alumine, kaolinites surtout. Le départ des éléments les plus solubles provoque l'accumulation de matériaux résiduels : c'est une accumulation relative ; leurs apports dans une structure d'accueil amène à une accumulation absolue. Ces mouvements différentiels cumulent des migrations verticales et latérales plus ou moins brèves qui concernent l'ensemble de la couverture pédologique et cela à toutes les échelles. Il est courant d'imaginer à ce sujet des transferts à longues distances par les eaux de drainage. L'étude fine de la transformation des plasma montre qu'il s'agit surtout de la somme de transferts élémentaires, inter et intracristallins.

Dans les plasma d'altération, il y a accumulation relative du fer et de l'alumine par rapport à la roche fraîche. Mais les composés ferrugineux et alumineux sont susceptibles ensuite d'accumulations relatives les uns par rapport aux autres. Ainsi il y a accumulation relative du fer de la base des profils à leur sommet par transformation de la goéthite en hématite. De la même façon il y a accumulation relative d'alumine entre gibbsite et boémite. Les accumulations absolues observées dans les plasma sont aussi de plusieurs types (B. BOULANGE, 1982 - communication personnelle).

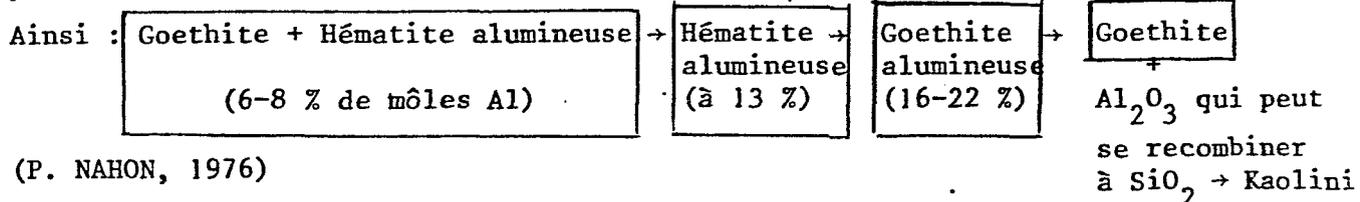
- accumulation absolue de silice et d'alumine à la base des profils avec formation d'halloysite et de kaolinite dont la desilicification ultérieure accuse la concentration alumineuse.

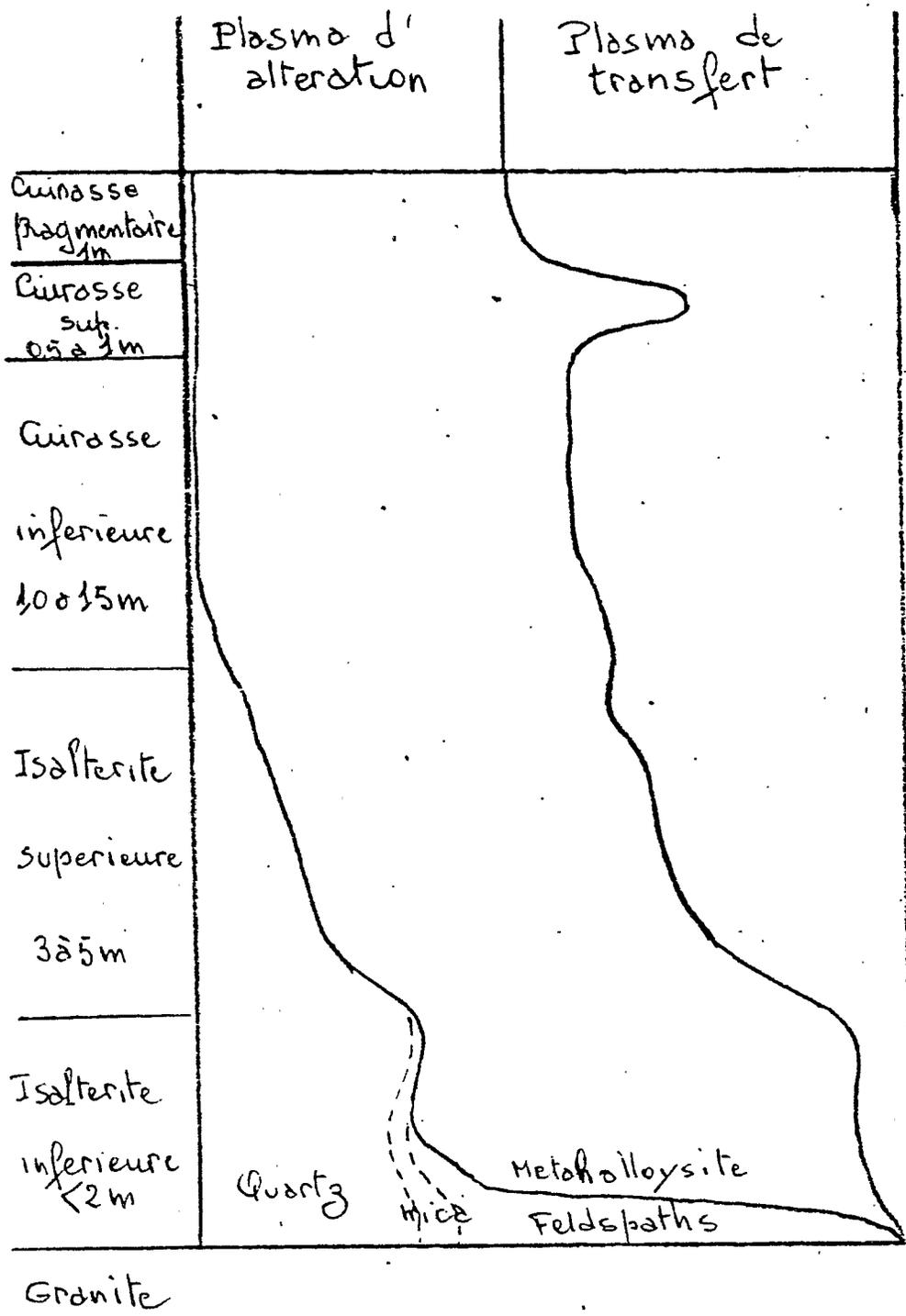
- accumulation absolue de fer et d'alumine, au niveau des nappes phréatiques, avec formation de composés alumino-ferrugineux amorphes qui cristallisent en ferrigibbsitanes zônés.

- accumulation absolue de silice, de fer et d'alumine sous forme de ferriargilanes qui vont évoluer en ferrigibbsitanes.

- accumulation absolue d'alumine lessivée des cuirasses supérieures qui s'individualise en gibbsitanes dans les niveaux inférieurs.

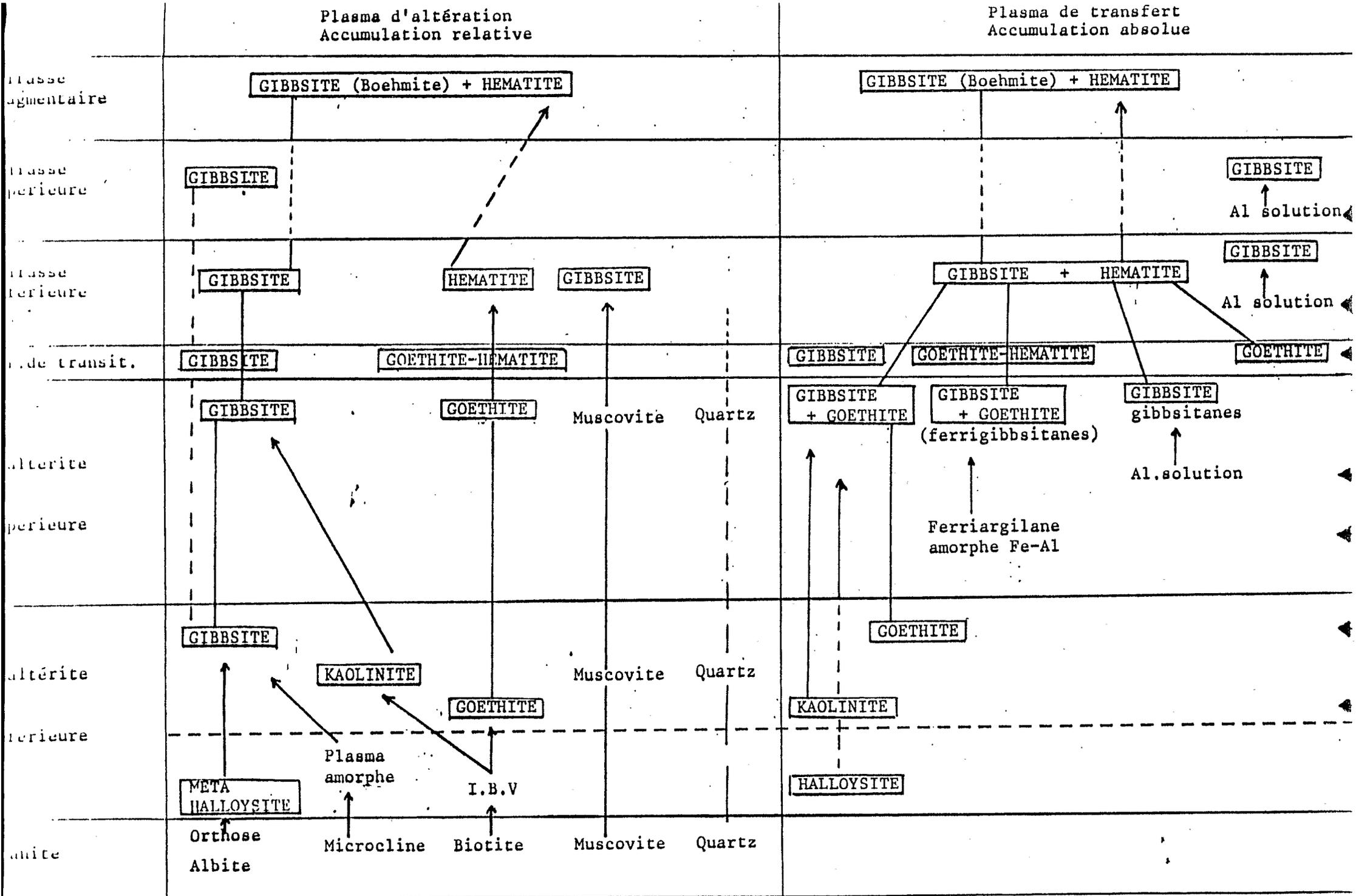
Le transfert et par suite la concentration absolue de l'aluminium peut également se réaliser à travers une suite ferrugineuse évolutive où il y a substitution du fer par l'aluminium.





il n'est tout pas
proche ?

Estimation relative de la répartition
quantitative des plarmas d'alteration
et de transfert - Côte d'Ivoire
sur granite
(d'après B BOULANGE)
1982



Schématisation des évolutions minéralogiques dans la formation bauxitique sur granite du Mont Tato (C.I.) d'après G. BOULANGE. 1978

Les données de la thermodynamique complètent celles de l'observation. Suivant que le niveau considéré est oxydant ou réducteur, les domaines de stabilité des éléments changent. En milieu latéritique intensément drainé la gibbsite et la boehmite se dissolvent. La gibbsite primaire apparaît au front d'altération. Le passage à la boehmite se fait par transformation en place quand le potentiel chimique de l'eau diminue. Par contre le passage inverse se fait par dissolution, transfert et reprécipitation ; il y a redistribution de l'alumine dans l'espace.

Le quartz qui est fortement attaqué en milieu bien drainé, peut se reprécipiter secondairement quand le drainage se ralentit.

Les minéraux aluminosilicatés sont eux aussi rapidement et vigoureusement altérés en milieu bien drainé. Un drainage ralenti freine par contre l'élimination des ions H_4SiO_4 libres qui peuvent se recombinaer à la silice en solution pour donner des argiles. Au front d'altération il y a ainsi un mélange de gibbsite et kaolinite en proportions variées, fonction de la nature de la roche et du drainage. La filiation kaolinite-gibbsite s'observe dès que le drainage s'améliore. Le fer est très sensible aux variations du pH, du EH, de la pression partielle d'oxygène et de la présence de complexants organiques. En milieu oxydant, donc bien drainé, les formes du fer sont moins solubles que celles de l'alumine. Ainsi, au sommet des latérites il y a accumulation relative d'hématite. En milieu réducteur, donc à drainage ralenti, la dissolution par passage de Fe^{3+} en Fe^{2+} , en particulier en présence de matière organique, est très forte (jusqu'à plus de 10.000 fois supérieure à celle en milieu oxydant). La mobilisation et le transfert du fer peut alors être considérable ; une partie va se redéposer rapidement et cristalliser en goethite, l'autre va rester en transit et s'accumuler aux exutoires, à la partie aval des modelés. Dans les mêmes conditions de drainage ralenti, le fer peut former avec l'alumine des composés amorphes mixtes qui s'accumulent dans les vides et peuvent se réorganiser en oolithes zonées. (B. BOULANGE, 1982 - communication personnelle).

L'accumulation du fer dans les horizons du sol est la cause principale de leur induration (R. MAIGNIEN, 1966), surtout quand il y a épigénie. Mais la propriété de la kaolinite d'adsorber du fer limite cet effet, d'autant que ces liaisons sont relativement stables. On distingue deux types de combinaison (H. FRIPIAT et al. 1954) :

- des complexes ordonnés consistant en l'empilement face à face de feuillets de kaolinite et d'oxyde de fer. La surface spécifique de l'argile est saturée avec environ 12 % de Fe_2O_3 . Pour des teneurs supérieures, le fer cristallise en petites particules qui peuvent nourrir des concrétions ou épigéniser la kaolinite. Les complexes ordonnés peuvent migrer par lessivage et se déposer dans les vides où ils forment des ferriargilanes.

- des complexes désordonnés qui correspondent à des assemblages bords-faces très lâches et qui ne montrent pas de limite de saturation par le fer. Cette organisation "alliatique" (pseudo-sable) caractérise les milieux désaturés et bien drainés à l'opposé des précédents. Le fer bloque l'activité de la kaolinite qui ne peut plus migrer.

5. BILANS GLOBAUX ET EVOLUTION DES PAYSAGES LATÉRIQUES.

Ainsi, les latérites évoluent lentement dans le temps en s'ordonnant dans l'espace. Départs et accumulations déterminent des associations qui s'organisent en faciès. A la surface des profils et à l'amont des formations, il y a perte de matière ; le milieu est éluvial. Dans les niveaux sous-jacents les produits mobilisés viennent se mêler aux produits de l'altération des roches fraîches et cet ensemble va se transformer vers de nouvelles organisations,

lesquelles vont s'altérer à leur tour et ainsi de suite. Ces effets se répercutent indéfiniment dans le paysage où chaque système nouveau dérive d'un système plus ancien suivant un axe d'orientation oblique, de haut en bas, parallèle aux versants. Ces derniers correspondent donc à des "unités géochimiques évolutives" (P. NAHON, 1976).

Tout au long des modelés les niveaux indurés sont autant de relais qui jallonnent le transit du fer, de l'alumine et de la silice de la surface des continents aux océans. A l'échelle géologique le bilan est globalement négatif. Il a pour conséquence un enfoncement lent du paysage latéritique qui se détruit dans ses parties les plus anciennes et se réorganise dans les plus récentes. "L'enfoncement se réalise aux dépens du matériau frais de la roche qui s'altère à la base. L'évacuation du matériel usé se fait au sommet des profils par les agents extérieurs de l'érosion et à l'aval par les solutions" (P. NAHON, 1976). Les systèmes les plus anciens s'effacent peu à peu et peuvent même disparaître. Ainsi les paysages actuels ne livrent qu'une tranche de leur évolution, d'où les difficultés de leur étude.

Au plan des bilans, il y a en Afrique de l'Ouest une différence profonde entre les cuirasses bauxitiques des surfaces supérieures qui ont concentré alumine et fer par l'altération d'une grande épaisseur de roches au cours de très longues périodes géologiques et les cuirasses ferrugineuses beaucoup plus minces des niveaux inférieurs qui correspondent à des périodes de plus en plus brèves et qui surmontent des altérites de faible épaisseur. Ces dernières indurations résultent surtout de la reprise et de la réorganisation de matériaux issus des niveaux sus-jacents, car la nature et l'épaisseur des altérites actuelles ne permettent pas d'expliquer les quantités énormes de fer concentrées dans ces cuirasses. Le rôle important de ces héritages est précisé par les résultats obtenus en Haute Volta (B. KALOGA, 1982).

Les transferts d'un niveau à l'autre se font plus sous formes figurées qu'en solutions. Ils sont principalement le résultat d'actions mécaniques. Il y a démantèlement par effondrement des anciennes latérites. Les débris qui s'accumulent sur les niveaux inférieurs sont repris globalement pour donner de nouvelles cuirasses. Suivant les conditions climatiques la destruction des latérites s'effectue selon des modes variés :

- sous climat forestier humide, il y a incision et dissolution de la masse ; on passe à des croupes convexes à sols gravillonnaires.

- sous climat sec le démantèlement s'effectue à partir des rebords ; les altérites sous-jacentes sont déblayées et la cuirasse s'effondre (G. GRANDIN, 1976). De toute façon, les épandages latéraux restent toujours très limités et ne dépassent pas la centaine de mètres.

La comparaison de deux régions écologiquement semblables, le centre Haute Volta et le bassin de la Bénoué (Cameroun) illustre particulièrement bien l'importance des héritages dans le cuirassement des sols. Chez le premier il y a continuation de l'évolution de vieilles altérites latéritiques qui sont restées en place et les sols sont cuirassés à tous les niveaux ; au Cameroun, vieilles altérites et cuirasses ont été déblayées lors de l'effondrement des grès de Garoua, les sols d'altération actuelle sont très peu et seulement sporadiquement cuirassés.

Ainsi un paysage latéritique se présente comme "une cascade de phénomènes échelonnés, une évolution sans retour en arrière, dont les résultats ne

s'effacent que lentement lorsque les conditions morpho-climatiques permettent l'intervention sans concurrence des mécanismes géochimiques d'accumulation et d'induration de l'alumine et des oxydes de fer" (G.GRANDIN, 1976). Il ne peut être interprété qu'à travers son histoire.

6. FACTEURS DE FERTILITE ET UTILISATION DES SOLS LATÉRITIQUES.

Cette information fait l'objet du chapitre X de la synthèse ORSTOM sur les Sols Ferrallitiques qui a été présentée au dernier Congrès International de la Science du Sol à New Delhi par son auteur J. BOYER (1982). Donc, on n'insistera pas sur le sujet qui mériterait à lui seul tout un congrès. On peut cependant rappeler les points essentiels qui orientent l'utilisation des sols latéritiques, à savoir :

- le problème de la profondeur utile pour les plantes.
- celui de la texture, de la structure, de la compacité qui influencent la pénétration des racines.
- les caractères hydriques favorables aux cultures.
- les caractéristiques chimiques de la fertilité : teneurs, équilibres, dynamismes de l'azote, du soufre, du Phosphore, du Potassium, du Calcium, du Magnésium, de l'Aluminium échangeable, des Oligo-éléments.
- les valeurs critiques, les échelles de fertilité, les limitations agricoles.

On remarquera l'importance donnée aux caractéristiques physiques, surtout en régions tropicales où l'influence de la saison sèche introduit des contraintes importantes au développement.

7. CONCLUSIONS.

Il est difficile en quelques pages de présenter les aspects variés qui ont été abordés sur les latérites par les chercheurs français. On peut regretter par exemple de n'avoir pas traité, des concentrations supergènes de manganèse, des filiations entre éléments majeurs et éléments mineurs. Mais ces données peuvent être trouvées dans les mémoires de J.M. WACKERMANN (1973) G. GRANDIN (1976), B. BOULANGE (1982) en particulier. De même, on peut trouver des renseignements sur l'utilisation des latérites en Génie Civil sur la recherche de ressources en eau auprès du B.R.G.M., etc... Le domaine des latérites est extrêmement vaste et intensément parcouru. Sans vouloir être exhaustif, on a voulu présenter les contributions les plus récentes des géologues et des pédologues français à ce sujet, espérant ainsi apporter une contribution que l'on espère intéressante à ce séminaire.

R. MAIGNIEN.

Bondy, le 7 Avril 1982

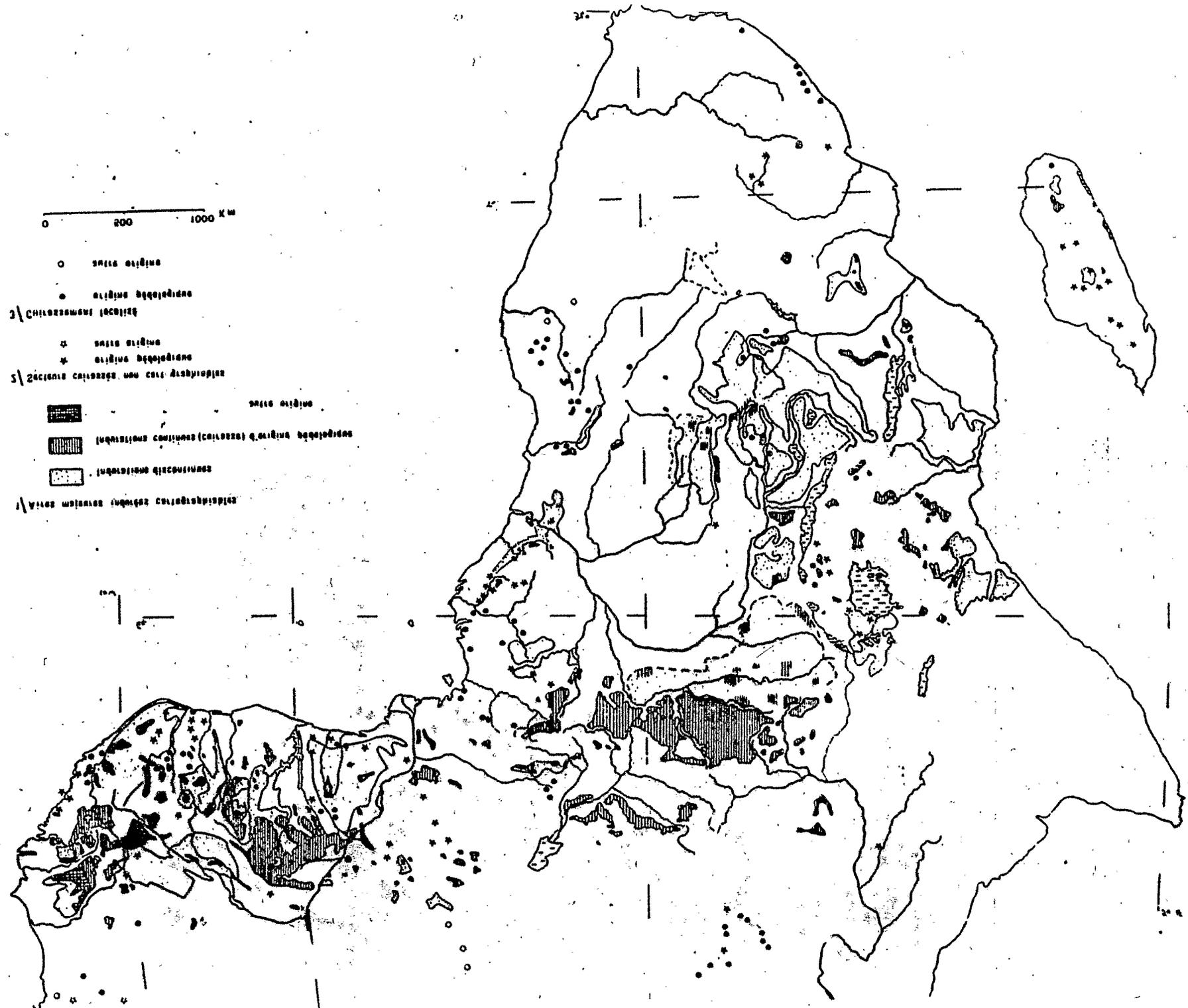
BIBLIOGRAPHIE

- BOCQUIER G. (1976) - Synthèses et Perspectives. Migration et accumulation de l'alumine et du fer. Bull. Soc. Geol. Fr., 7, 1, 69-74.
- BOCQUIER G. et al. (1982) - Transferts, modes d'accumulation, transformations minéralogiques et complexité du développement historique de profils latéritiques. C.R. Seminar Lateritic Proc. Sao Paulo, juillet 1982.
- BOULANGE B. et al. (1975) - Le rôle de l'argile dans la migration et l'accumulation de l'alumine dans certaines bauxites tropicales. C.R. Acad. Sci. Fr. Paris, 280, D, 2183-2186.
- BOULET R. (1974) - Toposéquences de sols Tropicaux en Haute Volta. Equilibres et déséquilibres pédobioclimatiques. Mém. ORSTOM Fr. (82), 272.
- BOULVERT Y. (1971) - Un type de modelé cuirassé en R.C.A. Sols et Géomorphologie. ORSTOM. Multigr. Bangui, 67.
- BOURGEAT F. (1970) - Sols sur socle ancien à Madagascar. Mém. ORSTOM Fr. (57), 335.
- BRABANT P. (1978) - Carte pédologique de BERE (Cameroun) - Notice explicative n° 75 ORSTOM Fr., 107 p. 2 cartes 1/100.000.
- CHAUVEL A. (1977) - Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Trav. Doc. ORSTOM Fr. (62), 532 p.
- DELVIGNE J. (1965) - La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. Mém. ORSTOM. Fr. (13), 177 p.
- FAUCK R. (1972) - Les sols rouges sur sables et grès d'Afrique occidentale. Mém. ORSTOM, Fr. (61), 257 p.
- FRIPIAT J.J. et GASTUCHE M.C. (1952) - Etude physico-chimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de fer trivalent. Publ. INEAC. Serv. Sci., 54, 60 p.
- FRITZ B. et TARDY Y. (1973) - Etude thermodynamique du système gibbsite, quartz, kaolinite, gaz carbonique. Application à la genèse des podzols et des bauxites. Sci. Geol. Bull. Strasbourg, Fr., 4, 339-367.
- GAVAUD M. (1977) - Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. Trav. Doc. ORSTOM, Fr. (76), 102 p.
- GRANDIN G. (1976) - Aplanissements cuirassés et enrichissement des gisements de manganèse - dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest - Mém. ORSTOM, Fr. (82), 275 p.
- HUMBEL F.X. (1976) - L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. Caractéristiques et comportements en relation avec le régime hydrique et les bioclimats. Mém. Thèse Sci. Paris VI Fr., 306 p.
- LACROIX A. (1913) - Les latérites de Guinée et les produits d'altération qui leur sont associés. Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat. V, 255-356.
- LENEUF N. (1959) - L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites de Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Mém. Thèse Sci. Paris, Fr, 210 p.

- LEPRUN J.C. (1979) - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale sèche. Genèse. Transformations. Dégénération
Thèse Sc. Strasbourg, Fr, 221 p.
- MAIGNIEN R. (1966) - Compte rendu de recherches sur les latérites - UNESCO
Rech. Ress. Nat., IV, 155 p.
- MAIGNIEN R. (1966) - Induration des horizons de sols ferrallitiques. Cah.
ORSTOM, Fr., Série Pedo., IV, 4.
- MICHEL P. (1978) - Cuirasses bauxitiques et ferrugineuses d'Afrique occidentale.
Aperçu chronologique. Trav. Doc. Géogr. Tro. n° 33 C.E.G.E.T. Fr.
- MILLOT G. (1971) - Géochimie des altérations. Bull. Serv. Carte Geol. Als. Lorr.,
24, 181-217.
- MULLER D. (1979) - Contribution à l'étude de la différenciation des horizons
nodulaires de sols ferrallitiques Congolais sur granito-gneiss.
Thèse 3ème cycle, PARIS VII, 118 p.
- MULLER J.P. (1977) - Microstructuration des structichrons rouges ferrallitiques
à l'amont de modelés convexes (Centre Cameroun). Cah. ORSTOM Fr.,
sér. Pedol. Vol. XI, 3, 239-258.
- NAHON D. (1976) - Cuirassements ferrugineux et encroûtements calcaires au
Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs, géochimie,
structures, relais et coexistence. Thèse Sc. Aix-Marseille III? 232 p.
- NALOVIC Lj. (1974) - Recherches géochimiques sur les éléments de transition dans
les sols. Trav. et Doc. ORSTOM, Fr, (66), 235 p.
- PAQUET H. (1969) - Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altéra-
tions et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons
contrastées. Thèse Sc. Strasbourg, 210 p.
- PEDRO G. (1964) - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochi-
mique des roches cristallines. Thèse Sc. Paris, 344 p.
- PEDRO G. et al. (1975) - Sur la nécessité et l'importance d'une distinction
fondamentale entre type et degré d'altération. Application au
problème de la définition de la ferrallitisation. C.R. Acad. Sci.
Paris, Fr, 280, D, 823-828.
- PETIT M. (1982) - Essai de cartographie mondiale du cuirassement. Univ. Paris
Val de Marne, 11 p.
- SIEFFERMANN G. (1973) - Lessols de quelques régions volcaniques du Cameroun.
Variations pédologiques et minéralogiques du milieu équatorial au
milieu tropical. Mém. ORSTOM, Fr, (66), 183 p.
- SOLS FERRALLITIQUES (Les).
- T 1. Historique, développement des connaissances et formation des concepts
actuels. Y. CHATELIN (1972). Coll. Init. Doc. Tech. ORSTOM, Fr, (20)
98 p.
 - T 3. L'altération. Y. CHATELIN (1974). Coll. Init. Doc. Tech. ORSTOM, Fr.,
(24), 144 p.
 - T 4. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques.
P. DE BOISSEZON, C. MOUREAUX, G. BOCQUEL, G. BACHELIER (1973).
Coll. Init. Doc. Tech. ORSTOM, Fr, (22), 146 p.
 - T 10. Facteurs de fertilité et utilisation des sols. J. BOYER (1982).
Coll. Init. Doc. Tech. ORSTOM, Fr, sous presse

TARDY Y. (1969) - Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mem. Serv. Cart. Geol. Als. Lorr. 31, 199 p.

WACKERMANN J.M. (1975) - L'altération des massifs cristallins basiques en zone tropicale semi-humide. Etude minéralogique et géochimique des arènes du Sénégal oriental. Mem. Thèse Sc. Strasbourg, 373 p. .



0 200 1000 KM

- зграда острва
- острва безградска
- 2) Силеозамени јасује
 - ✱ зграда острва
 - ✱ острва безградска
- 3) Застава савеза или савез државија
 - зграда острва
 - ▨ (информацио савезна) (савезна) држава безградска
 - ▤ информацио државина
- 4) Улица највиша информат савездржавија

