

DIFFÉRENTS PROCESSUS DE CUIRASSEMENT EN A. O. F.

par

R. MAIGNIEN

Centre de Pédologie de Hamm

Le cuirassement des sols en milieu tropical a souvent été confondu ou intimement lié aux phénomènes de latéritisation.

Dans cette courte note, nous allons montrer qu'il n'en est rien, et que si le milieu latéritique est favorable aux processus de cuirassement, il n'en est cependant pas spécifique.

Dans l'acception française du terme, la latéritisation est considérée comme un phénomène d'évolution pédologique très fortement et très profondément poussé, avec souvent individualisation d'alumine.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ des colloïdes est toujours inférieur à 2. Le complexe absorbant a un faible pouvoir de rétention. Les teneurs en matières organiques sont généralement faibles, celles-ci se décomposant rapidement. On y observe souvent la présence d'horizons concrétionnés ou complètement indurés.

Pris dans ce sens, la latéritisation caractérise un sous-groupe de sols.

Le cuirassement de certains horizons dans les sols tropicaux est un phénomène beaucoup plus particulier qui intéresse essentiellement le dynamisme des hydroxydes.

En milieu tropical et équatorial, les hydroxydes qui peuvent se mobiliser assez facilement, sont entraînés par les eaux de percolation, se concentrent à certains niveaux dans les sols et provoquent souvent leur induration.

Dans une communication récente, D'HOORE (1) expose en détail les conditions théoriques nécessaires à l'accumulation des sesquioxides à certains niveaux dans les sols.

Il distingue deux types d'accumulation :

- une accumulation absolue où une quantité de sesquioxides est importée dans le système;
- une accumulation relative où la quantité absolue de sesquioxides reste constante, mais une partie des éléments d'accompagnement est exportée.

Rapproché de l'observation, nous constatons qu'en pratique, seule l'accumulation relative semble caractériser assez généralement le milieu latéritique.

L'altération latéritique, en agissant durant des millénaires — pour certains points d'A.O.F. probablement depuis la fin du Tertiaire — a permis l'accumulation de masses énormes d'hydroxydes qui se sont concrétionnées.

Ce phénomène de dissolution ne peut être mieux comparé qu'à celui qui a présidé à la formation des argiles plastiques du Bassin Parisien.

En milieu latéritique, les éléments les plus facilement mobilisables sont entraînés. Il ne reste généralement que les hydroxydes qui, à leur tour, peuvent être partiellement entraînés, l'alumine, élément le moins mobile subsistant le plus longtemps. Ceci explique pourquoi les cuirasses bauxitiques s'observent généralement sur les parties les plus anciennes des complexes latéritiques.

Souvent quand ces niveaux d'enrichissement relatif sont mis à nu par érosion, il se produit une certaine induration. Mais ce durcissement dépasse rarement le stade carapace. Ces horizons s'attaquent facilement au marteau et un fort durcissement n'est valable ordinairement que sur quelques centimètres d'épaisseur en surface, probablement par dessiccation.

Pour qu'il y ait vraiment induration, il est nécessaire que les hydroxydes (surtout le fer) soient remis en mouvement, concentrés en certains points et partiellement cristallisés.

On peut remarquer que le phénomène d'accumulation relative n'exclut pas en pratique une certaine mise en mouvement des hydroxydes. Ceci n'est qu'une question de degré d'évolution et explique pourquoi les surfaces affleurantes de ce type présentent souvent un aspect de cuirasse absolue; d'où les difficultés pour les distinguer l'une de l'autre par simple observation superficielle.

Mais si l'on tient compte de leur vitesse d'évolution, nous devons très nettement les séparer.

Alors que, dans les premiers cas, l'accumulation demande des millénaires, dans le second, au contraire, elle peut être très rapide et ne réclamer pour se produire que quelques décades.

Ce dynamisme qui est à notre échelle humaine, est de beaucoup le plus important. Il se déroule sous nos yeux, et nous pouvons intervenir dans sa marche. L'accumulation relative, intimement liée au climat et à la roche mère est un phénomène à très longue échéance sur lequel il nous est difficile d'intervenir.

Les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'il puisse y avoir cuirassement sont les suivantes :

- présence d'une source d'hydroxydes;
- mobilisation et transport de ceux-ci;

— concentration et induration.

Les sources d'hydroxydes sont très variées. Ce peut être :

- une roche mère sédimentaire riche en hydroxydes libres, cas assez commun qui s'observe au Sénégal sur Continental Terminal et au Niger sur Continental Intercalaire.
- l'altération plus ou moins poussée d'une roche riche en minéraux alumineux et ferrugineux.

Ici se place le cas de l'altération latéritique qui, détruisant les silicates, libère ainsi des quantités énormes d'hydroxydes. Mais dans les sols ferrugineux tropicaux, l'individualisation peut être suffisamment forte pour libérer de fortes quantités de fer et de manganèse. Ce phénomène peut également s'observer, mais à un degré moindre, en région subaride.

Les cuirasses sur roches basiques, riches en minéraux lourds, seront plus épaisses que sur roches acides.

- une ancienne cuirasse en voie d'altération.

Ce cas est peut-être actuellement le plus généralement répandu.

En protégeant les anciennes surfaces contre les agents d'érosion, les cuirasses se sont trouvées dans bien des cas amenées en relief, dominant plaines, bas plateaux et vallées qui sont menacés par des apports possibles d'hydroxydes.

La mise en mouvement de ces hydroxydes implique une mobilisation de ceux-ci.

Dans l'état actuel des recherches, il semble bien que, sous l'action de l'évolution de la matière organique, liée intimement à la vie microbienne, il se forme dans les horizons de surface des sols, des éléments vecteurs qui complexent les hydroxydes permettant leur mise en solution et leur entraînement.

BETREMIEUX a pu de la sorte créer une véritable cuirasse miniature au laboratoire.

Ainsi s'explique pourquoi les cuirasses qui ont longtemps été considérées comme irréversibles, peuvent s'altérer à la suite de l'installation de la végétation. Les apports organiques amènent une dissolution des ciments et un ameublissement de la masse.

Actuellement, dans la région de Dalaba (Guinée Française), on peut observer de beaux massifs forestiers sur d'anciennes cuirasses subhorizontales en voie d'altération. Le changement de climat peut ici être incriminé, puisque toute cette région présente des phénomènes de cuirassement intenses.

L'observation des profils de sol montre bien l'action dissolvante de la matière organique. Les racines profitent du moindre interstice pour pénétrer plus profondément la masse. Les solutions du sol à leur tour les pénètrent et amènent un ameublissement progressif de toute la partie supérieure de la cuirasse qui prend souvent un aspect colluvionné.

La mobilisation est favorisée par la réduction du milieu.

Les hydroxydes mis en solution sont dans la plupart des cas entraînés. Cet entraînement se fait généralement très simplement par gravité.

Là encore, il a été montré que les phénomènes de remontée directe par évaporation n'ont pas l'importance que l'on a voulu leur donner. Ils demandent, en effet, pour agir, des conditions spéciales de texture et d'humidité que l'on n'observe généralement que dans les zones d'épandage.

L'évaporation peut jouer en surface sur quelques centimètres, voire quelques décimètres. Elle explique en partie le durcissement à l'air des cuirasses relatives lorsqu'elles sont mises à nu par érosion.

Mais elle ne peut expliquer la remontée sur plusieurs mètres des quantités énormes d'hydroxydes que l'on peut observer dans certaines cuirasses.

L'affleurement de celles-ci est dû uniquement à l'action de l'érosion qui, décapant les horizons supérieurs, a amené en surface l'horizon d'accumulation (5).

L'erreur dans l'étude des cuirasses a été de les étudier en affleurement. On ne pouvait savoir au départ qu'il s'agissait de profils tronqués.

L'entraînement des hydroxydes se fait soit dans un sens vertical, soit plus fréquemment par lessivage oblique ou latéral.

L'importance des mouvements obliques dans les sols tropicaux explique la nécessité dans l'étude des cuirasses d'étudier leur formation à travers des chaînes de sols.

Ainsi est expliqué le danger que représentent les anciens reliefs cuirassés proches des zones basses actuellement exploitables.

Ces plaines, ces bas-plateaux représentent les endroits naturels où les solutions d'hydroxydes viennent se concentrer.

Si ces solutions ne peuvent s'éliminer, à un moment ou à un autre, elles finiront par s'immobiliser et cuirasser le milieu.

Ainsi toutes causes diminuant, le drainage favorisera l'accumulation des hydroxydes.

Ces causes peuvent prendre des formes très variées.

I. — Une topographie plane, en empêchant l'écoulement des eaux, présente un facteur très favorable. Le manque d'écoulement des eaux dans un tel relief se caractérise par un aspect réticulé à la surface des sols.

L'influence d'une topographie plane est d'autant plus active que les précipitations sont plus faibles. En effet, un déficit dans la pluviométrie empêche le débordement de l'eau des cuvettes, et par suite la création d'un réseau hydrographique qui drainera la zone considérée.

Il faut cependant que les précipitations soient suffisantes pour permettre une évolution suffisamment poussée de la matière organique qui complexe les hydroxydes.

L'optimum entre ces deux pôles semble correspondre aux pluviométries du climat soudano-guinéen.

II. Tout niveau de base limitant la circulation des eaux favorise l'accumulation des solutions d'hydroxydes.

Ce rôle est rempli généralement par les cours d'eau. La nappe phréatique liée à ceux-ci, dont la profondeur varie en fonction des saisons, limite le drainage des solutions du sol, surtout en période de crues. En plus, ces nappes permettent la diffusion des sesquioxides mobilisés à travers toute la masse imprégnée, amenant finalement un cuirassement plus ou moins prononcé des alluvions préexistantes.

Ceci s'observe couramment dans les plaines alluviales de Haute Guinée, ainsi qu'au Soudan et en Haute Volta.

III. La présence d'une roche mère plus ou moins imperméable dans les sols, en limitant le drainage permet l'accumulation des hydroxydes immédiatement au-dessus d'elle.

Ce phénomène courant s'observe au contact des grès dans le Massif du Fouta-Djalou et de ceux des environs de Bamako (Soudan Français). Quand la roche est légèrement perméable, il peut y avoir imprégnation au contact.

IV. Le lessivage du sol qui amène la formation d'un horizon argileux plus ou moins imperméable en profondeur, crée des conditions favorables au concrétionnement et cuirassement. Ce phénomène est surtout sensible en saison des pluies quand le sol est gorgé d'eau.

Nous avons pu étudier des phénomènes de ce genre dans la région de Lébé en Haute Guinée.

De même, nous pensons que les sols ferrugineux tropicaux fortement lessivés doivent pour une grande part leur concrétionnement et leur cuirassement à des phénomènes d'engorgement consécutifs à la formation d'un horizon d'accumulation argileuse.

Un phénomène vient limiter très sensiblement la concentration des hydroxydes dans les sols. Il s'agit des phénomènes d'absorption par les surfaces actives des éléments texturaux des sols.

De nombreux travaux de laboratoire montrent que les argiles en particulier, peuvent fixer des quantités d'hydroxydes parfois importantes.

On peut ainsi s'expliquer pourquoi certains sols qui contiennent de fortes proportions de fer libre restent meubles, alors que d'autres contenant des quantités relativement faibles peuvent être fortement indurés.

« Quand l'immobilisation, explique D'HOORE, se passe en présence de quantités suffisantes d'argile, l'énorme surface électro-

statiqnement chargée de ces minéraux va absorber une partie de ce fer mobile avant son immobilisation complète. »

Dans ce cas particulier, il se forme des petits agrégats très stables, encore appelés pseudo-sables, qui viennent ameublir le milieu.

Ces phénomènes d'absorption dépendent du type d'argile et du drainage.

Ces phénomènes se produisent essentiellement en milieu bien drainé.

En milieu hydromorphe, les sesquioxydes ont une tendance très nette à s'expurger du complexe argileux. Nous savons d'ailleurs qu'un milieu réducteur est nécessaire à la mobilisation des hydroxydes.

C'est ainsi que les eaux qui suintent des sols hydromorphes sont toujours plus chargées en sesquioxydes que les eaux de percolation d'un sol bien drainé.

Ces faits se matérialisent lorsque l'on observe un profil de sol en saison des pluies. Les solutions drainantes s'oxydent fortement au contact de l'air et en sols hydromorphes on peut remarquer de grandes traînées de couleur rouille riches en fer.

En pratique, nous pouvons généraliser en disant que toute action d'hydromorphie dans les sols constitue un facteur favorable à la mobilisation et l'accumulation des sesquioxydes.

Nous pouvons préciser davantage en remarquant qu'une hydromorphie temporaire et d'engorgement sera beaucoup plus active dans l'intensité de ces phénomènes qu'une hydromorphie permanente avec écoulement de la nappe.

Dans le premier cas, le concrétionnement primera toute autre forme de cuirassement, dans le second ce seront des formes alvéolaires.

Pour qu'il puisse y avoir cuirassement, l'accumulation doit être suivie d'une immobilisation des sesquioxydes, ce qui amène généralement l'induration du milieu.

Remarquons que cette immobilisation peut créer elle-même la concentration. C'est ainsi que doivent se former certaines concrétions et certaines raies indurées dans les sols lessivés.

Sous quelle forme et comment se produit cette immobilisation ?

Lorsque l'on passe en revue les différents aspects morphologiques des assemblages indurés, on remarque que l'on peut les ramener à trois formes générales :

- les hydroxydes forment un squelette plus ou moins dur donnant la rigidité à l'ensemble. Les cavités sont généralement remplies de produits argileux très peu colorés.
- les hydroxydes forment des concrétions d'aspect divers noyées au milieu de produits meubles parfois fortement colorés.
- les hydroxydes cimentent ou imprègnent des éléments préexistants ou en formation.

En réalité, on peut observer tous les intermédiaires possibles. Mais il semble que chacune de ces formes corresponde à un mécanisme qui lui soit propre.

Dans le premier cas, par exemple, il y aura surtout prédominance de mouvement de lessivage dans la masse (lessivage soit par les eaux de percolation, soit par les fluctuations d'un niveau hydrostatique).

Dans le second, les actions d'hydromorphie paraissent primordiales.

Le dernier correspond à des zones de réception en milieu oxydant.

Souvent ces phénomènes se superposent ou se succèdent dans un ordre qui peut varier, ces variations pouvant résulter soit d'un changement climatique, résultant des modifications dans le pédoclimat du lieu considéré (changement de climat, d'utilisation du sol, du niveau hydrostatique, etc.).

Ainsi s'expliquent les variétés de formes que présentent les horizons cuirassés.

L'examen méticuleux de ces formes, de leur succession, permet de retrouver en grande partie l'histoire de ces cuirasses. Les mêmes règles appliquées à l'étude des roches sont valables, et présentent souvent un très grand intérêt.

A titre d'exemple, parmi les éléments primaires des cuirasses on reconnaît souvent :

- une carapace latéritique plus ou moins évoluée et partiellement noyée dans des ciments secondaires;
- des concrétions plus ou moins bien individualisées et cristallisées, ou des gravillons ferrugineux ou alumineux provenant du démantèlement d'anciennes cuirasses;
- des anciens éléments texturaux des sols : sables, galets...;
- des débris de roche mère plus ou moins altérés, ou une ancienne zone de départ, etc.

Le problème se complique davantage pour les cuirasses de plus en plus anciennes. Ces masses plus ou moins concrétionnées, plus ou moins indurées continuent en effet d'évoluer avec le temps.

Avec les variations climatiques annuelles, il y a remise en mouvement périodique des hydroxydes, lessivage, concentration et nouvelle immobilisation à travers toute la masse qui se tasse lentement.

Les cuirasses deviennent ainsi de plus en plus compactes surtout dans les horizons supérieurs.

Ce tassement général provenant de l'entraînement des éléments les plus mobiles, explique l'aspect souvent colluvionné que l'on observe dans la masse même de nombreuses cuirasses. Les exemples sont nombreux et s'observent particulièrement bien sur roches litées

(Région de Kindia, Guinée Française) ou lorsque l'on peut suivre un filon quartziteux (Massif de N'Diass, Sénégal).

Cette remise en mouvement périodique des hydroxydes se fait sentir avec le plus d'intensité dans la partie supérieure de cuirasses affleurantes.

Ces horizons de surface sont généralement très compacts, presque imperméables, très riches en fer. Ils présentent un aspect feuilleté assez caractéristique. On y observe souvent des grains de quartz d'aspect clastique, même sur cuirasse latéritique. Souvent cet horizon fortement induré est surmonté d'un niveau à gravillon presque pur.

Nous pensons que le peu de végétation qui reste accroché aux surfaces cuirassées, permet une attaque suffisante des hydroxydes de fer pour qu'il puisse y avoir dissolution, mobilisation et entraînement.

La faible quantité de complexant organique ne permet pas un grand parcours, et très rapidement l'immobilisation se produit.

Bientôt les niveaux inférieurs sont imperméabilisés par les dépôts ferrugineux, et l'on observe une prédominance du lessivage oblique en surface.

Les solutions enrichies en hydroxydes sont entraînées vers les petites dépressions qu'elles colmatent créant ainsi les mares si caractéristiques des « Bové » du Fouta-Djalón.

Les ciments ferrugineux sont dissous les premiers et libèrent les parties les plus résistantes qui, fortement remaniées par l'érosion superficielle, finissent par prendre la forme de pisolithes.

Par contre, la concentration des solutions riches en sesquioxydes dans les mares d'hivernage amène souvent la formation de véritables oolithes, formées par le dépôt de couches concentriques d'hydroxydes autour d'un noyau formé assez souvent par un petit grain de quartz.

Certains plateaux latéritiques anciens ont eu leurs hydroxydes dissous et lessivés avec une telle intensité qu'il reste actuellement une roche dont l'enrichissement en alumine est tel qu'il justifie une exploitation (Plateau de Dabola, Guinée Française).

Par contre, cette altération des surfaces cuirassées peut être suffisamment poussée pour que le niveau supérieur ait atteint la zone initiale de départ qui se trouve imprégnée d'hydroxydes. Cette observation représente le cas général des plateaux cuirassés les plus anciens du Fouta-Djalón.

A la suite de modifications dans le milieu sol, les complexes solubles de sesquioxydes peuvent s'immobiliser.

La disparition des facteurs permettant la mise en solution des hydroxydes provoque cette immobilisation.

Pour D'HOORE, l'immobilisation se fait par absorption physique sur les surfaces actives, par oxydation des ions bivalents, par destruc-

tion biologique ou autre des complexants organiques, par floculation des hydroxydes colloïdaux, déshydratation et cristallisation.

Nous ne pensons pas que l'on doive considérer les sesquioxydes absorbés sur les surfaces actives comme immobilisés. Cette fixation résulte principalement des réactions d'échange entre le complexe absorbant du sol et les molécules complexes solubles de sesquioxydes.

Une simple modification du milieu en détruisant l'équilibre amènera la fixation ou la libération de sesquioxydes mobiles. En effet, la forme la plus probable de fer mobile, en particulier, est la molécule complexe (6).

L'immobilisation des hydroxydes implique une forme de fixation beaucoup plus stable.

Nous pensons que le retour aux formes minérales est obligatoire ainsi qu'un début de cristallisation.

Les facteurs amenant l'immobilisation nous paraissent être :

- la destruction des complexants organiques;
- l'oxydation du milieu;
- la dessiccation.

En règle générale, l'immobilisation commence généralement par la destruction des complexants organiques.

Il se forme probablement alors des solutions de sesquioxydes qui peuvent soit précipiter, soit floculer.

Ainsi le passage brusque d'un milieu réducteur à un milieu oxydant favorisera la précipitation des solutions ferrugineuses.

Nous avons souvent observé dans des alluvions de cours d'eau des niveaux cuirassés, en milieu humide toute l'année, immédiatement au contact avec le niveau d'étiage de la nappe phréatique. Les phénomènes de dessiccation ne peuvent expliquer dans ce cas l'induration du milieu.

Les formes observées sont celles d'agglomérats de pisolithes très durs, dont la grosseur dépasse souvent celle du poing.

En milieu mieux drainé, il y aura plutôt dessiccation des dépôts colloïdaux, suivie à la longue de cristallisation.

Cette immobilisation minérale des hydroxydes amène donc généralement l'induration du milieu.

Cette induration dépend :

- de la quantité d'hydroxydes qui peut s'immobiliser;
- de l'oxydation du milieu;
- du degré d'évolution de l'ensemble.

En pratique, l'induration dépend non seulement de la quantité d'hydroxydes, mais également de la texture du milieu où le phénomène a lieu.

Même si on néglige les phénomènes d'absorption par les argiles, la nature texturale du sol est d'une grande importance.

Ainsi un sol argilo-sableux se cuirassera plus facilement qu'un sol sableux ou franchement argileux pour des mêmes quantités d'hydroxydes.

De même un sol à texture hétérogène se cuirassera plus facilement qu'un sol très homogène.

Souvent, le cuirassement fait apparaître une hétérogénéité du milieu qui n'était pas apparente de prime abord.

Cette hétérogénéité du milieu peut également se faire sentir dans le potentiel d'oxydo-réduction.

L'examen attentif des cuirasses montre que les dépôts ferrugineux se produisent de préférence dans les parties les plus meubles, donc les plus oxydées.

Une cuirasse jeune sera toujours beaucoup moins dure qu'une vieille cuirasse. Le vieillissement des minéraux favorise leur cristallisation et par suite leur dureté (1).

Suivant la forme sous laquelle se fait l'immobilisation, l'induration du milieu est plus ou moins prononcée.

Ainsi quand l'immobilisation se fait par précipitation, l'induration est presque immédiate, sans qu'il y ait un stade de dessiccation.

Si, par contre, l'immobilisation se fait par floculation, il y aura dépôt de films colloïdaux sur les parties préexistantes du sol sans qu'il s'ensuive une induration obligatoire. Suivant l'intensité de la dessiccation qui agira sur ces dépôts et la durée de cette action, on constatera un phénomène de vieillissement (déshydratation, polymérisation, cristallisation), l'induration passant alors par des stades de dureté croissants.

Ces deux cas extrêmes correspondent à des milieux bien caractérisés : le premier correspond aux sols hydromorphes; le second à des sols parfaitement drainés.

En pratique, les cas sont beaucoup moins bien tranchés et on peut observer tous les intermédiaires possibles.

En résumé, les facteurs favorisant les phénomènes de cuirassement en un lieu donné sont les suivants :

- présence d'une quantité suffisante d'hydroxydes;
- destruction des complexants permettant la mise en solution de ceux-ci;
- manque de matériel absorbant et en particulier d'argile en milieu bien drainé;
- milieu oxydant, avec modification du potentiel d'oxydo-réduction au cours d'un cycle.

On retrouve, mais sous une forme plus élargie les conditions jugées par de nombreux auteurs comme indispensables aux phénomènes de cuirassement :

- climat tropical à saisons bien tranchées;
- topographie plane;
- disparition du couvert végétal.

En effet, le climat règle d'une façon générale le potentiel d'oxydo-réduction des sols. Sous climat tropical, même en sol bien drainé, les fortes précipitations amènent une réduction nettement prononcée du milieu. Nous avons souvent observé dans des sols du type « dior » au Sénégal, sols très sableux (95 % de sable), un marbrage assez caractéristique en hivernage, représentant des actions partielles d'hydromorphie.

Mais les variations du potentiel d'oxydo-réduction du sol peuvent dépendre d'autres facteurs :

- fluctuation d'une nappe phréatique;
- excès de matériau carboné dans certains bas-fonds;
- engorgement consécutif à une accumulation argileuse;
- niveau imperméable, etc.

De même, une topographie plane est un des facteurs limitant le drainage. Nous avons vu qu'il pouvait y en avoir d'autres.

Enfin, la disparition du couvert végétal en limitant les apports organiques au sol, limite la production des complexants permettant la mise en mouvement des hydroxydes. Nous devons préciser que non seulement la quantité globale des débris organiques est importante, mais également les propriétés du milieu où se produit son évolution.

Ainsi sous pédoclimat forestier, les complexants formés paraissent plus stables et plus durables que sous savane.

Nous insistons sur le fait que les sols ne présentent pas toujours en eux-mêmes tous les facteurs indispensables à leur cuirassement.

Ce n'est souvent que par leur situation à travers une chaîne de sols que ces phénomènes sont possibles.

Les facteurs favorables que nous avons donnés plus haut étendent considérablement les possibilités de cuirassement dans les sols tropicaux.

Nous pouvons ainsi expliquer la formation de cuirasse dans des milieux aussi différents que sous grande forêt ou en zone subaride.

Nous avons étudié une cuirasse en formation sous grande forêt dans la région de N'Zérékoré, région où il tombe plus de 2.000 mm d'eau annuellement, en bordure d'un bas-plateau drainant presque uniquement par lessivage oblique. La cuirasse se forme près de la rupture de pente, là où le drainage s'améliore. Les phénomènes d'oxydation y sont beaucoup plus intenses.

Cette cuirasse se forme en milieu latéritique. Elle a l'aspect alvéolaire assez caractéristique de l'accumulation relative. Le cuirassement se produit par dépôts d'hydroxydes sur les éléments pré-

existants. Il y a superposition de films qui durcissent sous l'action combinée de l'oxydation et la dessiccation du milieu.

Des exemples identiques ont été observés au Gabon et en Guyane.

Nous pouvons expliquer d'une façon identique, la constitution interne des cuirasses de plateaux.

Une coupe à travers ceux-ci montre que la cuirasse est beaucoup plus épaisse en bordure, là où les phénomènes d'oxydation prédominent. Au centre, si on a la chance d'observer une coupe, on constate que la cuirasse est beaucoup moins épaisse, et que très rapidement les phénomènes de réduction prédominent (Plateau de Dabola par exemple). Souvent même les niveaux sous-jacents à la cuirasse peuvent être tellement lessivés que les horizons peuvent avoir presque complètement disparu. Ainsi se forment les grottes et les effondrements caractéristiques de certaines régions du Fouta-Djalon.

Les éléments lessivés viennent se déposer dans la masse même de la cuirasse en bordure de plateau, augmentant ainsi l'épaisseur et l'induration de celle-ci.

Dans le nord Ferlo (Sénégal) où il pleut moins de 400 mm d'eau par an, nous avons observé en sols brun rouge subarides la formation de concrétions très dures et la cimentation de celles-ci en cuirasse par action d'hydromorphie.

Les eaux qui drainent une vaste cuvette, lessivent le peu de fer mobilisable de ces sols et viennent se concentrer dans les parties les plus basses pour donner naissance à des mares d'hivernage.

Les phénomènes de cuirassement s'observent en bordure de la mare à la base des profils de sols.

La mobilisation du fer est très intense en saison des pluies.

Elle permet une imprégnation et une concentration de toutes les parties basses.

Dès l'installation de la saison sèche qui est très brutale, il y a oxydation rapide du milieu et dessiccation. Les solutions ferrugineuses se déposent, et il se forme des concrétions qui se nourrissent chaque année d'un nouvel apport. Parfois il se produit une cimentation de toute la masse avec formation de cuirasse.

Ces phénomènes de cuirassement se produisent en bordure des sols brun rouge et des sols hydromorphes, là où les variations d'humidité sont les plus brutales.

En sols ferrugineux tropicaux, pour des pluviométries de l'ordre de 750-900 mm, le lessivage de l'argile est suffisamment intense pour que son accumulation dans l'horizon B amène en hivernage des phénomènes d'engorgement intense.

L'individualisation du fer qui est fort poussée dans ces sols permet sa mise en mouvement et sa concentration dans cet horizon inférieur. Il y a d'abord formation de concrétions plus ou moins durcies, puis formation d'une véritable cuirasse à la suite de la cimentation de l'ensemble.

Ainsi chaque fois qu'une quantité suffisante d'hydroxydes pourra migrer et se concentrer en certains points, il y aura danger de cuirassement.

Les conditions optima se trouvent réunies en pays de savane soudano-guinéenne. C'est dans ces régions que l'on observe les phénomènes de cuirassement les plus intenses et où ils sont les plus étendus.

En forêt, les précipitations sont généralement trop fortes pour que le cuirassement ait lieu. Il y a décomposition continue de matière organique avec formation de complexants qui permettent un lessivage des sesquioxides. Les phénomènes de dissolution des cuirasses y sont surtout représentés.

De plus l'altération des roches est généralement assez poussée pour que les quantités d'argiles formées soient suffisantes pour fixer le fer libéré sur les surfaces actives.

Mais que la forêt disparaisse, la diminution dans la formation des complexants organiques, la diminution de l'altération amenant une formation moindre d'argile, liées à une expurgation du fer toujours aussi intense, amèneront rapidement des phénomènes de concrétionnement et de cuirassement.

Inversement en régions sèches, la libération des hydroxydes n'est généralement pas suffisante pour former le matériau nécessaire à la formation des cuirasses. Mais que l'on se trouve en présence d'une quantité importante d'hydroxydes et le cuirassement devient possible.

En résumé et en zone de savane surtout, toute partie basse, mal drainée, dominée par des reliefs pouvant libérer facilement des hydroxydes sera menacée de cuirassement.

Or il faut bien constater que ces régions basses, humides une bonne partie de l'année sont actuellement très recherchées pour la mise en valeur des pays tropicaux (principalement culture du riz).

Il faut donc être très prudent dans le choix de tel périmètre. Rechercher s'il n'y a pas actuellement cuirassement, et surtout étudier si les façons d'assainissement ne provoqueront pas un jour ou l'autre ces phénomènes.

En particulier il faudra toujours surveiller de très près l'évolution de la matière organique, faciliter le drainage, lutter contre l'érosion sur les hautes terrasses surtout et protéger d'une manière active les reliefs environnants.

BIBLIOGRAPHIE

1. D'HOORE, J. — *Essai de classification des zones d'accumulation de sesquioxides libres sur des bases génétiques*. 1952. Comité Régional de l'Afrique Centrale pour la Conservation et l'Utilisation des Sols. Conférence Constitutive de Yangambi (Congo belge), 15-18 décembre 1952.
2. BETREMIEUX, R. — *Étude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols*. Ann. Agro., n° 3, pp. 193-295, 1951.
3. BASTISSE, E. M. — *Essai sur le rôle des complexes colloïdaux en pédologie et en physiologie végétale*. Thèse Paris, 1949.
4. AUBERT, G. — *Observations sur la dégradation des sols et la formation de la cuirasse latéritique dans le nord-ouest du Dahomey (A. O. F.)*. 4^e Congrès International de la Science du Sol, Trans. Vol. III, pp. 127-128.
5. AUBERT, G. — *Observations sur le rôle de l'érosion dans la formation de la cuirasse latéritique*. Bull. Agri. Congo Belge, vol. XL, n° 2, Com. 66, pp. 1383-1386, juin 1949.
6. D'HOORE, J. — *Les composés du fer dans les sols. Quelques notes concernant leur composition, leur rôle, leur étude et leur importance*. Bull. Agri. Congo Belge, vol. XL, n° 1, pp. 66-85, mars 1949.
7. DION, H. G. — *Iron oxide removal from clay and its influence on base exchange properties and X ray diffraction patterns of the clays*. Soil Sc., pp. 411-424, 1944.

RÉSUMÉ

Le cuirassement des sols en milieu tropical ne peut pas être confondu avec les phénomènes de latéritisation.

La latéritisation, dans l'acception française du terme, est un phénomène d'évolution pédologique très fortement poussé et caractérise un sous-groupe de sols.

Le cuirassement de certains horizons dans les sols tropicaux intéresse essentiellement le dynamisme des hydroxydes.

La latéritisation n'exclut pas cependant une certaine mise en mouvement des hydroxydes, ce qui explique pourquoi les surfaces affleurantes de ce type présentent souvent un aspect de cuirasse absolue; mais l'accumulation demande dans ce cas des millénaires, tandis qu'elle peut être très rapide et ne réclamer que quelques décades dans le cas du cuirassement.

Les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'il puisse y avoir cuirassement sont :

- présence d'une source d'hydroxydes;
- mobilisation et transport de ceux-ci;
- concentration et induration.

Les cuirasses qui ont été longtemps considérées comme irréversibles, peuvent s'altérer à la suite de l'installation de la végétation. Les apports organiques amènent une dissolution des ciments et un

ameublissement de la masse (Ex. : Massifs forestiers de Dalaba en Guinée Française, sur ancienne cuirasse).

La matière organique a une action dissolvante sur les hydroxydes. Ceux-ci mis en solution sont entraînés par gravité soit dans un sens vertical, soit plus fréquemment par lessivage oblique ou latéral.

C'est ce qui explique le danger que représentent les anciens reliefs cuirassés proches des zones basses où les solutions d'hydroxydes viennent se concentrer et, en s'immobilisant, cuirasser le milieu.

Une topographie plane, en empêchant l'écoulement des eaux, présente un facteur favorable.

Tout niveau de base limitant la circulation des eaux favorise au contraire l'accumulation des hydroxydes.

La présence d'une roche plus ou moins imperméable dans les sols, permet l'accumulation des hydroxydes immédiatement au-dessus d'elle.

Le lessivage du sol amène la formation d'un horizon argileux plus ou moins imperméable en profondeur et crée ainsi des conditions favorables au concrétionnement et au cuirassement.

Par contre, les phénomènes d'absorption par les surfaces actives des éléments texturaux des sols, viennent limiter très sensiblement la concentration des hydroxydes dans les sols, notamment par les argiles.

Ces phénomènes dépendent alors du type d'argile et du drainage.

Toute action d'hydromorphie dans les sols constitue un facteur favorable à la mobilisation et à l'accumulation des sesquioxydes. Pour qu'il puisse y avoir cuirassement, il faut que l'accumulation soit suivie d'une immobilisation.

Celle-ci peut se produire de différentes façons, ce qui explique les variétés de formes que présentent les horizons cuirassés.

Les facteurs favorisant les phénomènes de cuirassement sont les suivants :

- présence d'une quantité suffisante d'hydroxydes;
- destruction des complexants permettant la mise en solution de ceux-ci;
- manque de matériel absorbant et en particulier d'argile en milieu bien drainé;
- milieu oxydant avec modification du potentiel d'oxydo-réduction au cours d'un cycle.

On retrouve en somme, mais sous une forme plus élargie, les conditions jugées indispensables par de nombreux auteurs :

- climat tropical à saisons bien tranchées;
- topographie plane;
- disparition du couvert végétal.

Les facteurs favorables, cités plus haut, étendent considérablement les possibilités de cuirassement dans les sols tropicaux, ce qui explique par exemple la formation de cuirassement dans des milieux aussi différents que sous grande forêt et en zone subaride.

Ainsi, une cuirasse en formation a été étudiée sous grande forêt dans la région de N'Zérékoré, et des exemples identiques ont été observés au Gabon et en Guyane.

Dans le Nord Ferlo (Sénégal), il a été observé en sols brun rouge subarides, la formation de concrétions très dures et la cimentation de celles-ci en cuirasse par action d'hydromorphie.

En résumé, toute partie basse mal drainée, en région de savane surtout, dominée par des reliefs pouvant libérer facilement des hydroxydes, sera exposée au cuirassement.

Or, ces régions basses et humides sont très recherchées notamment pour la culture du riz. Il faut donc être prudent dans le choix des périmètres de culture, rechercher s'il n'y a pas menace de cuirassement, essayer de l'éviter en facilitant le drainage, en luttant contre l'érosion des hautes terrasses et protéger les reliefs environnants.

SUMMARY

MODES OF CRUST FORMATION IN FRENCH WEST AFRICA

Crust formation is often mistaken or associated with laterisation.

Laterisation, as accepted in the french language, is a phenomenon of soil evolution carried very far with deep alterations, sometimes with separation of alumina.

Crust formation in certain tropical soil horizons concerns solely the dynamism of hydroxides.

Laterisation does not exclude however any hydroxide translocation, which explains that certain emerging surfaces have the appearance of crusts; but in this case accumulation requires thousands of years whereas in crust formation it may be comparatively very fast requiring sometimes only decades.

The conditions for crust formation are :

- a supply of hydroxides;*
- their mobilisation and translocation;*
- concentration and hardening.*

Crusts, which have long been considered as irreversible, may weather when colonized by vegetation. Organic matter has a dissolving action on the cements and breaks up the crusts (e. g. : The Dalaba forest in French Guinea on an old crust).

Organic matter dissolves the hydroxides. Those solubilized are carried away by gravity either vertically or, as happens more often, obliquely or laterally. This explains why an old crusted relief is a danger to adjacent low-lying land where hydroxides may accumulate and, on immobilization, crust up the soil.

Level lying land by preventing run-off is a favourable factor.

A base level impeding water on the contrary favours hydroxide accumulation.

An impervious rock layer in the soil favours hydroxide accumulation immediately above it.

Leaching by forming an impervious clay layer produces conditions favourable to concretioning and crusting.

On the other hand, adsorption by the active surfaces of structural elements of the soil considerably limit the concentration of hydroxides; as in the case of clays.

These phenomena are then conditioned by the types of clays and drainage.

Any waterlogging favours mobilisation and accumulation of sesquioxides. Immobilization of hydroxides is a necessary requirement for crust formation.

Immobilization may be produced variously; which explains the variety shown by crust horizons.

Factors favoring crust formation are as follows :

- sufficient supply of hydroxides;
- destruction of the complexing agents, allowing their solubilization;
- absence of adsorbing agents and specially of clays in well drained soils;
- oxydizing medium with modification of the oxydo-reduction potential during a cycle.

On the whole, but with a wider meaning, one meets hereby the requirements considered to be essential by many authors :

- tropical climate with sharply defined seasons;
- level land;
- absence of vegetal cover.

The favourable factors mentioned above, extend considerably the possibilities of crust formation, which explains for instance, crust formation under tall forest in sub-arid zones.

A crust in the process of formation has been studied under tall forest in the region of N'Zerekore; other such cases have been recorded in the Gaboon and in Guiana.

In Northern Ferlo (Senegal), in a brown-red soil the formation of very hard concretions has been observed with their cementing together under conditions of waterlogging.

In short, any low lying land, specially in savannah regions, surrounded by higher ground capable of supplying hydroxides, is exposed to crust formation.

But, moist low lying lands are much appreciated specially for rice cultivation. Surrounding land should therefore be carefully considered, and examined as to whether they might not produce crusts; the prevention of their formation should be attempted by draining, by controlling erosion of the higher ground and the conservation of the surrounding relief.

Afrique Occidentale Française

DIFFÉRENTS PROCESSUS DE CUIRASSEMENT EN A. O. F.

par

R. MAIGNIEN

Centre de Pédologie de Hann

Extrait des *Comptes Rendus de la 2^e Conférence Interafricaine des Sols,*
Léopoldville, 9 - 14 août 1954, pages 1469 à 1486, document n° 116