

T H È S E S

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ
de

STRASBOURG

pour
obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

par

R. M A I G N I E N

1ère THÈSE : CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU CUIRASSEMENT DES SOLS EN GUINÉE FRANÇAISE

2ème THÈSE : LES SAVANES TROPICALES D'AFRIQUE OCCIDENTALE FRANÇAISE

soutenues le

devant la Commission d'Examen

Monsieur S. GOLDSZTAUB : PRÉSIDENT

Monsieur G. LEMEE : Deuxième Thèse

Monsieur G. MILLOT : Rapporteur

Monsieur G. AUBERT : Membre Invité

PREMIERE ET DEUXIEME PARTIES

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE STRASBOURG

DOYEN : H.J. MARESQUELLE, Professeur de Biologie végétale.

DOYENS HONORAIRES : A. DANJON, A. KIRRMANN, P. LACROUTE.

PROFESSEURS HONORAIRES : Ed. BAUER - P. de BEAUCHAMP - L. BOUNOURE - H. CARTAN -
Cl. CHABAUTY - A. DANJON - Ch. EHRESMANN - M. FRECHET - H. GAULT -
L. HACKSPILL - R. HOCART - A. KIRRMANN - P.L'HERITIER -
A. LICHNEROWICZ - L. NEEL - H. OLLIVIER - G. RIBAUD - R. ROMANN -
E. TERROINE - E. THIRY - H. VILLAT - Et. WOLFF.

PROFESSEURS :

G. CERF	T.	Analyse supérieure
H. WEISS	T.	Physico-Chimie des Hydrocarbures
G. HUGEL	T.	Chimie du Pétrole
R. BONNET	T.	Chimie biologique
H.J. MARESQUELLE	T.	Biologie végétale
A. ROUSSEL	T.	Calcul différentiel et intégral et Théorie des fonctions
H. FORESTIER	T.	Chimie générale
Ch. SADRON	T.	Physicochimie Macromoléculaire
J. ROTHE	T.	Physique du Globe
A. HEE		Botanique
P. LACROUTE	T.	Astronomie
J. VIVIEN	T.	Zoologie et Embryologie expérimentale
L. BOISSELET	T.	Chimie analytique du Pétrole
A. MAILLARD	T.T.P.	Chimie
S. GORODETZKY	T.	Physique générale et Physique Nucléaire
L. SACKMANN	T.T.P.	Mécanique des Fluides
J. BYE	T.	Chimie minérale et Chimie physique
R. LOMBARD	T.	Chimie organique
Melle PEREY M.	T.	Chimie nucléaire
Ph. PLUVINAGE	T.	Physique théorique
S. GOLDSZTAUB	T.	Minéralogie et Pétrographie
G. LEMEE	T.T.P.	Biologie végétale
P. JOLY	T.	Biologie générale
J. DENY	T.	Mécanique rationnelle
Mme HEE A.		Physique du Globe
H. BENOIT	T.	Physique générale
J.L. KOSZUL	T.	Topologie
P. CUER	T.	Physique générale et Physique Corpuscu- laire.
G. VIAUD	T.	Psycho-Physiologie
G. MILLOT	T.	Géologie et Paléontologie

PROFESSEURS (suite)

R. LECOLAZET.....		Physique du Globe
H. SAUCIER		Minéralogie
R. ROHMER	T.T.P.	Chimie P.C.B.
Melle GILLET S.		Paléontologie
Melle GAGNIEU A.		Botanique
R. THOM		Mathématiques
S. NIKITINE		Physique expérimentale
F. STUTINSKY	T.	Physiologie générale.

MAITRES DE CONFERENCES ET CHARGES DE COURS :

B. WURTZ	Chimie Biologique
J. PARROD	Chimie
J. BRENET	Chimie Physique
G. OURISSON	Chimie
B. MALGRANGE	Méthodes Mathématiques de la Physique
Fr. STEPHAN	Zoologie
Cl. LEVI	Biologie générale
A. COCHE	Chimie nucléaire
A. HEROLD	Chimie
R. CERF	Physique
J. BOSCHER	Mécanique des Fluides
A. SIGOT	Zoologie
A. DELUZARCHE	Chimie
J. COGNE	Géologie
M. BERGER	Mathématiques
R. WEY	Minéralogie
J. WUCHER	Physique expérimentale
J. YOCCOZ	Physique mathématique

SECRETAIRE : G. SAINT-PE

A V A N T - P R O P O S

Lorsque, en 1946, jeune pédologue, je débarquai pour la première fois en AFRIQUE OCCIDENTALE FRANCAISE, il était généralement admis que les cuirasses se formaient en surface soit par remontées des sesquioxides métalliques, soit par de simples processus de dessiccation. Aussi quel ne fut pas mon étonnement lorsque je me trouvai à GUERINA (Casamance) devant un profil où, manifestement, se constituait à plus de 6 mètres de profondeur, par accumulation de matériaux lessivés des horizons supérieurs du sol, une cuirasse bien individualisée. L'étude des sols ferrugineux tropicaux m'apprit alors que ce phénomène était assez constant, et qu'il ne se trouvait donc pas lié obligatoirement aux processus de ferrallitisation - on disait alors latéritisation. Vers la même époque, il me fut possible d'avoir connaissance des idées de MOHR et PENDLETON qui considéraient les concrétions et les cuirasses comme des produits illuviaux. Cependant bien des faits d'observation pouvaient s'interpréter par une remontée de sesquioxides. Il m'apparut donc nécessaire d'étudier en détail les différents mécanismes possibles du cuirassement des sols.

Un premier point fut acquis lorsque l'étude de l'érosion superficielle montra que la mise à l'affleurement des cuirasses résultait du décapage des horizons meubles de surface. Les cuirasses affleurantes étaient donc le sommet de profils tronqués.

Ce fut au cours d'une mission à travers l'OUEST AFRICAIN (Mission O.E.C.E., 1947 - Dr L.T. ALEXANDER (U.S.A.), Dr J. D'HOORE (CONGO BELGE), Dr. C. BLOOMFIELD (GRANDE BRETAGNE)), que je fus amené à entrevoir l'importance des phénomènes de lessivage oblique, et du facteur temps dans les processus de cuirassement. J'eus alors la possibilité de comparer deux massifs montagneux situés approximativement en mêmes régions climatiques, dont l'un, le FOUTA-DJALLON à l'Ouest montrait un cuirassement généralisé de ses sols,

alors que l'autre, le Massif de JOOS (NIGERIA) à l'Est, ne présentait que quelques niveaux indurés. Or il se trouve que ce dernier est recouvert de coulées basaltiques récentes, plus ou moins profondément altérées, qui ne se cuirassent qu'en bordure des épanchements. Ces faits faisaient apparaître l'importance des accumulations latérales.

En recherchant ces mêmes phénomènes au FOUTA-DJALLON, je fus amené à constater que l'extension du cuirassement s'y trouve liée aux lessivages des sesquioxides constitutifs des cuirasses fossiles situées sur les reliefs les plus élevés. Les matériaux mobilisés viennent s'accumuler en cuirasses dans les niveaux inférieurs. Ces résultats acquis, il me fut possible de trouver des exemples simples, sans apports extérieurs ou anciens qui permettent de préciser la réalité de l'hypothèse avancée.

Le travail présenté ici est la somme de 12 années de recherches sur le terrain, au cours desquelles j'ai été amené à parcourir l'AFRIQUE OCCIDENTALE FRANÇAISE des Côtes du Sénégal à la Cuvette Tchadienne et des confins Mauritaniens au Golf du Bénin. La variété du Pays Guinéen m'a permis de limiter volontairement cette étude, dont les conclusions peuvent être étendues aux régions Acofiennes voisines.

Avant de commencer l'exposé de mes recherches, je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ne m'ont ménagé ni leurs conseils, ni leurs encouragements.

Ma gratitude va aux maîtres qui m'ont formé et notamment à Monsieur S. HENIN, Directeur du Laboratoire des Sols du Centre National de la Recherche Agronomique, à qui je dois mes connaissances sur la physique du sol ; à Monsieur R. CHAMINADE, Professeur à l'Institut National Agronomique, qui m'a initié à la Chimie des Sols ; à Monsieur H. ERHART, Professeur de Pédologie à Strasbourg, qui a su m'intéresser à la connaissance des sols tropicaux.

Je dois une particulière reconnaissance à Monsieur G. AUBERT, Professeur de Pédologie à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, qui fut mon initiateur à la Pédologie. Lors de nombreuses tournées communes, au cours desquelles il m'a fait profiter de sa grande expérience du terrain,

il a su m'inculquer sa foi et son enthousiasme en la recherche. C'est grâce à lui qu'il m'a été possible de regrouper et de coordonner les données nécessaires à cette étude.

Je tiens à remercier :

Monsieur S. GOLDSZTAUB, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg de l'honneur qui m'a fait en acceptant de présider mon Jury.

Monsieur G. LEMEE, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg d'avoir bien voulu accepter de faire partie de mon Jury.

Monsieur G. MILLOT, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg d'avoir accepté la tâche ingrate de rapporter mon travail. Il ne m'a jamais ménagé ses conseils, et je lui dois la forme définitive de mon exposé.

Les différentes missions au cours desquelles je fus amené à penser le problème du cuirassement des sols ont été effectuées dans le cadre de mes activités à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Je prie Monsieur le Professeur R. COMBES, Membre de l'Institut, qui m'a orienté vers la rédaction de cette étude et m'a accordé toutes les facilités de travail, de trouver ici l'expression de ma profonde et respectueuse reconnaissance.

Je remercie également Monsieur J.J. JUGLAS qui, nouveau Directeur de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, a bien voulu m'accorder sa confiance et me maintenir dans le chemin tracé par son prédécesseur.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur ROSSIN et Monsieur TRINTIGNAC pour les facilités matérielles et les encouragements qu'ils m'ont toujours prodigués.

Une aide précieuse m'a été accordée par tous mes camarades pédologues, tant sur le terrain que dans les laboratoires. C'est souvent au cours de fructueuses discussions avec eux, que je fus amené à préciser mes idées.

Je remercie Messieurs OLLAT et PINTA, et le personnel de leurs sections, de l'aide qu'ils m'ont apportée en me facilitant l'exécution de certaines

analyses chimiques ou minéralogiques des cuirasses.

Mes remerciements vont à mon excellent camarade F. FOURNIER grâce à qui, au cours d'une tournée fort pénible en saison des pluies, j'ai pu entrevoir l'importance de l'évolution du modelé dans les processus de cuirassement.

J'exprime ma reconnaissance à mes camarades du Centre de Pédologie de Hann ; à Monsieur Y. DOMMERGUES qui a bien voulu se charger des études microbiologiques liées à mon travail, à Monsieur F. DUGAIN qui n'a jamais ménagé sa peine pour m'aider dans l'obtention des résultats analytiques.

Je n'aurais garde d'oublier mes collaborateurs Africains qui m'ont apporté leur concours tant sur le terrain qu'en laboratoire, et à qui je dois de grandes satisfactions morales.

Enfin je tiens à exprimer tous mes remerciements aux Membres du Service Cartographique de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans la mise au net de mes croquis, à Madame DUGAIN et Mademoiselle Th. PIERRE qui se sont chargées du travail, parfois bien ingrat, de dépouillement de mes minutes.

Je ne saurais nommer ici tous ceux qui, à quelque titre, m'ont aidé à vivre ou à travailler au cours de mes tournées. Que tous, personnels des Services techniques ou administratifs, ou d'organismes privés, sachent quelle reconnaissance je leur garde. Qu'ils en trouvent ici l'expression.

I N T R O D U C T I O N

En régions tropicales, la réunion de certaines conditions pédogénétiques provoquent une évolution particulière des sols, qui se traduit par la mise en place dans leur profil d'un horizon d'accumulation, plus ou moins induré, d'oxydes et d'hydroxydes de fer et d'alumine, avec souvent du manganèse et parfois du titane. La position de cet horizon, son épaisseur, sa morphologie ne sont pas des constantes spécifiques.

En Afrique Occidentale Française, ce processus d'évolution se retrouve, à peu près sans discontinuité, des Côtes de l'Atlantique à la Cuvette Tchadienne. Les cuirasses observées sont parfois à un stade sénile de leur évolution. Elles reflètent un milieu pédogénétique actuellement disparu. Mais ces processus se poursuivent encore activement de nos jours, et il paraît exister d'étroites relations entre les phénomènes passés et présents. La principale difficulté de ce travail a été la recherche d'exemples simples, contemporains, isolés de toutes influences extérieures et anciennes.

L'étendue des sols cuirassés et cuirasses en affleurements fait de la Guinée Française un terrain d'études particulièrement fructueux. Le pays montre les traces de processus de cuirassement extrêmement poussés au cours des périodes passées. Il reste actuellement un centre de cuirassement intense. La variété du milieu naturel offre des possibilités de confrontation nombreuses entre les facteurs et les processus de cuirassement. L'observation des faits a aussi amené à séparer ces derniers phénomènes de ceux de la ferrallitisation. Sans doute s'il est encore trop tôt pour rendre hommage aux auteurs qui ont, les premiers, fait la distinction entre ces processus, trop souvent encore, ceux-ci se trouvent étroitement liés lors de l'interprétation des résultats, les cuirasses étant considérées comme conséquence de la ferrallitisation des roches. Il en résulte une confusion de termes, qui fait, de la "latérite" un sujet fort controversé.

Au cours de cette étude, je montrerai que le cuirassement se trouve lié essentiellement au dynamisme du fer, de l'alumine et quelquefois du manganèse, dans les sols, et que, par conséquent, il n'est spécifique ni d'un groupe de sol, ni d'un type d'altération. Ce dynamisme est un phénomène extrêmement banal qui se retrouve en toute région suffisamment humide du globe. En régions tropicales, il atteint une telle intensité que l'on assiste à une redistribution presque complète de ces produits à travers les sols. En milieu ferrallitique, l'individualisation poussée des différents oxydes favorise le cuirassement. Mais, dans d'autres milieux chaque fois, qu'une quantité suffisante d'hydroxydes se trouve libérée, se complexe, migre, il y a possibilité de cuirassement.

Le plan adopté est le suivant :

Dans la première partie, je définirai les termes employés et ferai une historique du problème posé. Puis je décrirai les différents constituants des cuirasses, lesquels détermineront les méthodes d'études employées. Je terminerai cette première partie par une description du milieu naturel Guinéen.

La seconde partie sera consacrée à l'étude des faits sur les échantillons et les profils cuirassés. Je la compléterai par des données sur leur composition chimique et leur constitution minéralogique.

La troisième partie me permettra de développer un essai d'interprétation, lequel m'amènera à étudier le développement du cuirassement dans le paysage. Je ferai ensuite l'inventaire des différents mécanismes applicables aux processus de cuirassement et je terminerai cette étude par quelques considérations sur les cycles de cuirassement au cours des périodes passées, que j'illustrerai par l'interprétation d'une région cuirassée au Fouta Djallon.

P R E M I E R E P A R T I E

M E T H O D E S D ' E T U D E S E T M I L I E U N A T U R E L

C H A P I T R E I

D E F I N I T I O N S E T H I S T O R I Q U E

I. DEFINITION

A. - TERMINOLOGIE -

Le cuirassement d'un sol est l'ensemble des processus pédogénétiques qui amène à la formation d'horizons indurés, par accumulation de différents oxydes de fer, d'alumine et parfois de manganèse. De tels horizons sont appelés : horizons cuirassés.

Les cuirasses sont plus spécifiquement les niveaux indurés amenés en affleurement.

Suivant le degré d'induration, les pédologues Français ont l'habitude de distinguer :

- les cuirasses "sensu stricto", fortement durcies, qui se cassent difficilement, tout en pouvant être façonnées au marteau ;
- les carapaces, qui marquent un degré moindre de l'induration, et qui se coupent facilement à la pioche.

Les difficultés à donner des critères plus précis de distinction entre ces deux termes, amènent à n'employer, au cours de cette étude, que celui de cuirasse, tout en signalant les différents degrés d'induration. La recherche de termes plus spécifiques apparaît un peu spécieuse, car tous les intermédiaires entre horizons fortement et peu durcis, sont observables. Souvent, seuls les premiers centimètres mis en affleurement sont suffisamment indurés pour justifier le nom de cuirasse. Cette formation enlevée, on passe à un second niveau, plus meuble, mais encore cohérent, où l'induration

est à peine amorcée. A l'opposé, il est possible d'observer des amas métalliques compacts, très durcis, isolés au milieu de corps friables. En fait l'hétérogénéité du matériau complique considérablement la notion d'induration. Celle-ci doit être appliquée à l'ensemble de la formation et (ou) à des niveaux bien individualisés.

A la base de l'échelle, le début de l'induration est lié à la cohérence et à la stabilité du matériau. Sur le terrain, l'appréciation reste encore très empirique, et peut varier d'un observateur à l'autre, suivant que l'on étudie l'échantillon sec ou humide. Un horizon est considéré ici, comme induré, lorsque la cohérence devient sensible et se maintient en milieu humide. Cette notion peut être reprise au laboratoire où la résistance au délitage dans l'eau, bien qu'imparfaite, reste un des meilleurs tests pour apprécier ce début d'induration.

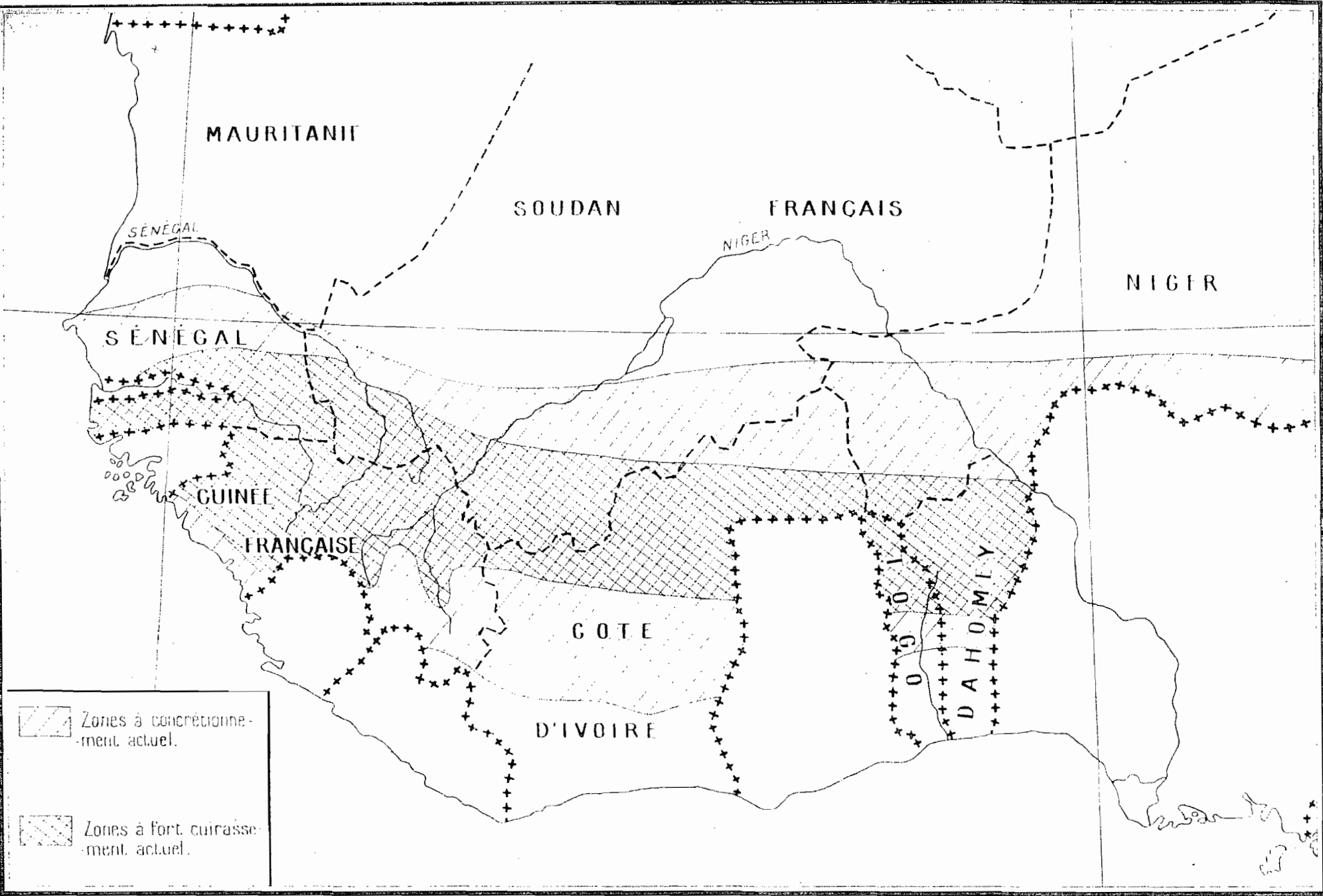
Une concrétion est un noyau induré, formé "in situ", de forme et de taille variables, noyé dans le solum. La forme est généralement arrondie, et dépasse rarement 5 cm dans la plus grande longueur. L'acception est essentiellement pédogénétique.

L'horizon concrétionné est un niveau du sol où s'individualisent et se développent des concrétions, qui deviennent parfois les constituants dominants, cela suivant deux lignes d'évolution :

- dans le sens de l'individualisation et de l'induration ;
- dans le sens du pourcentage par rapport à la terre totale.

Leur cimentation provoque la formation d'horizons concrétionnés cuirassés.

Aux concrétions s'opposent les gravillons qui sont des matériaux indurés, le plus souvent très durs, arrondis, remaniés, d'origine soit résiduelle, soit détritique. Les gravillons sont parfois nourris secondairement, et présentent alors un cortex. On observe des gravillons ferrugineux, les plus communs, des gravillons manganifères assez fréquents, des gravillons alumineux plus rares. L'accumulation mécanique de ces produits donne naissance à des niveaux gravillonnaires. Leur cimentation provoque la formation d'horizons cuirassés.



Carte 1

Remarque : Les termes croûtes et encroûtement sont réservés plus spécifiquement aux accumulations calcaires.

B. - FAITS GENERAUX D'OBSERVATION -

1. Généralité du phénomène de cuirassement en AOF ; sa variété -

a - sur le plan géographique, le cuirassement des sols est un phénomène commun que l'on observe dans des pays aussi variés que le Sénégal, le Soudan, le Niger, la Haute-Volta, la Guinée, la Côte d'Ivoire et le Dahomey.

b - sur le plan pédologique sa généralité et sa variété sont extrêmement grandes.

- Ces processus s'observent dans des sols appartenant à des groupes génétiquement fort différents. Les cuirasses ferrallitiques sont les plus fréquemment signalées. Mais on en rencontre aussi couramment en sols ferrugineux tropicaux, dans de nombreux types de sols hydromorphes, parfois même, mais alors plus rarement, en sols subarides.

- A travers les profils de sols, les horizons cuirassés montrent une multiplicité de formes très grande :

Le cuirassement peut s'implanter à des profondeurs extrêmement différentes. En sols non tronqués, la profondeur n'atteint parfois que quelques décimètres, mais elle peut aussi dépasser plusieurs mètres, parfois plus de 10 mètres.

Le gisement des cuirasses peut être continu ; il intéresse et envahit tout un territoire. Il peut également être sporadique et se développer en bancs, taches et auréoles.

- La morphologie des échantillons est extrêmement variée. Cette variété est particulièrement sensible dans la gamme des couleurs observées : teintes unies ou bariolées, avec parfois prédominance des teintes claires blanches, gris-jaunâtre, mais plus souvent encore des teintes foncées brunes et même noires, avec éclat métallique, en passant par toutes les tonalités des rouges et des mauves.

- Les milieux de formation possèdent des caractéristiques très larges. Les processus de cuirassement s'observent aussi bien sous climat sahélien aride, peu développés il est vrai, que sous climat guinéen humide. L'optimum se situe en régions de climats soudano-guinéens.

- Les cuirasses s'imposent sur des modelés et dans des positions topographiques variables, la prédominance allant aux formes subhorizontales. En Guinée Française, on les trouve sur les plateaux, dans les plaines, dans les vallées, sur les glacis et en bas de pente à des cotes excessivement variables, parfois au niveau de la mer, mais aussi, près de DALABA, à plus de 1400 m d'altitude.

- Variétés également dans les peuplements végétaux que supportent ces formations, depuis les pseudo-steppes sahéliennes jusqu'à la forêt ombrophile de Côte d'Ivoire, en passant par le milieu particulièrement favorable des savanes soudanaises.

Il apparaît alors à peu près impossible d'interpréter ces formations comme spécifiques de certains milieux naturels. En particulier, il a souvent été tenté de les rattacher aux périodes paléoclimatiques. Ces essais très intéressants à l'échelon local, deviennent beaucoup plus aléatoires quand on tente de les généraliser à tout un territoire. Les conditions de formation des cuirasses sont beaucoup moins étroites qu'on le supposait il y a quelques années. Les processus de cuirassement sont liés à des réactions physico-chimiques et biologiques caractéristiques de certains pédoclimats. A ce titre elles définissent des faciès. D'autre part, il existe des interactions très sensibles entre les cuirasses anciennes et les phénomènes de cuirassement actuels. C'est ainsi que les cuirasses fossiles, dont certaines se maintiennent depuis, au moins le Tertiaire, continuent actuellement à évoluer et contribuent à enrichir les niveaux inférieurs en oxydes. La superposition de ces phénomènes, liés à une certaine hystérésis de ceux-ci par rapport aux variations des conditions du milieu naturel, provoque une généralisation du cuirassement des sols en régions tropicales. Pour la compréhension de ces phénomènes, il est alors indispensable de faire une nette discrimination entre les processus actuels et l'évolution et la dégradation des cuirasses fossiles. Le problème se résume ainsi : comment, à

travers la multiplicité des facteurs de la genèse des sols cuirassés, peut-on déterminer les éléments spécifiques des processus de cuirassement ?

2. Son étendue - Ses limites -

L'étendue des zones cuirassées en AOF est considérable. J'ai pu observer des formations fossiles extrêmement riches en fer, à faciès de cuirasses dans la région d'AKJUCHT en Mauritanie. Des niveaux dits "latéritiques" ont été décrits dans les régions septentrionales du Territoire du Niger, à plus de 20° de latitude Nord. Vers le Sud, on trouve des niveaux cuirassés jusqu'à la côte du Golf du BENIN. Pratiquement les traces de cuirassement s'observent partout en AOF. Mais au milieu de vestiges plus ou moins anciens s'individualisent des zones de cuirassement privilégiées où celui-ci se poursuit activement, à l'époque actuelle. Ces régions correspondent approximativement aux limites du domaine climatique soudano-guinéen, qui forme une bande prenant en écharpe d'Afrique Occidentale, entre le 7ème et le 15ème parallèle. On y observe des périmètres où les cuirasses paraissent en équilibre avec le milieu naturel ; d'autres où elles sont en voie de disparition progressive ; d'autres enfin se cuirassant avec intensité.

En ce qui concerne les régions étudiées, celles le plus menacées par le cuirassement sont, d'une façon générale :

- à la limite savane-forêt, toute zone en voie de déboisement, située sur des roches riches en fer, en alumine ou en manganèse ;
- tout modelé mal drainé, se situant au voisinage de reliefs pouvant enrichir le milieu en oxydes, principalement sous climat soudano-guinéen.

La Guinée Française se place au centre même de ces conditions favorables :

a - En Basse Guinée, la forêt mesophile a presque partout disparu. Au Fouta Djallon, la forêt montagnarde à Parinari excelsa Sabiné n'existe plus qu'à l'état de bouquets relicts. La savane forestière de Haute Guinée est fortement attaquée par l'homme. Seule la Guinée Forestière montre encore de beaux peuplements de forêts ombrophiles dont la dégradation est cependant fortement amorcée sur ses franges.

b - De nombreuses régions sont mal drainées ou régulièrement inondées :

- dépressions intérieures du Fouta Djallon (Kollum) ;
- hautes vallées inondables du Niger et de ses affluents ;
- nombreux seuils rocheux dans les vallées;
- sols se dispersant et se colmatant facilement;

3. Importance du phénomène -

Le cuirassement des sols présente une importance considérable tant sur le plan scientifique^{que} sur le plan pratique.

a - Du point de vue pédologique, l'induration des horizons enrichis en oxydes et hydroxydes est l'un des faits les plus marquants de la genèse des sols tropicaux. La formation de ces horizons marque une étape dans l'évolution de ces derniers, car elle modifie leur dynamisme et détruit l'équilibre avec le milieu de formation. Les conséquences sont extrêmement graves lorsque le cuirassement se produit à faible profondeur. On assiste à la dégradation de la végétation, à l'érosion accélérée des horizons meubles, qui provoque l'affleurement des horizons cuirassés, et modifie les propriétés hydriques du milieu. Le cuirassement introduit un caractère de discontinuité, souvent brutal, très caractéristique. Lors de la mise en place des matériaux constitutifs, les liaisons entre les horizons d'un même profil restent assez nettes. Mais dès que l'induration apparaît, une discontinuité, qui est souvent proportionnelle au degré d'induration, s'impose entre l'horizon cuirassé et les horizons voisins, qui fait parfois penser à des formations chronologiquement différentes.

Cette discontinuité morphologique se répercute profondément sur le dynamisme du sol. Le drainage se trouve modifié. Il y a rupture de celui-ci au niveau de l'horizon cuirassé, et il en résulte des modifications sensibles dans l'évolution de la matière organique, avec formation de produits de dégradation de couleur noire, très acides. D'autre part la saturation en eau des horizons de surface se trouve favorisée, d'où il résulte une susceptibilité accrue aux phénomènes d'érosion hydrique.

Le dynamisme des différents oxydes qui domine la genèse des sols cuirassés, pose une série de problèmes fort importants sur les formes d'évolution de ces différents produits, sur les conditions et les facteurs de leur

mobilisation, de leur transport et leur accumulation, sur les mécanismes et les formes de l'induration.

La présence de sesquioxides de fer et d'alumine confère aux sols tropicaux des propriétés particulières. Aucune d'elles, prise séparément, n'est spécifique du milieu cuirassé, mais leur somme est très caractéristique. En particulier, les relations qui se manifestent entre l'évolution de la matière organique sous l'action des microorganismes du sol, et la mobilisation des différents oxydes, permettent d'expliquer l'importance et l'intensité des processus de cuirassement en régions tropicales. Un milieu réducteur favorise la mobilisation du fer, et d'une façon générale, de tout métal dont les combinaisons réduites sont plus solubles que les formes oxydées. Inversement un milieu oxydant facilite l'immobilisation de ces produits, et par suite, le cuirassement. C'est pourquoi dans les formes juvéniles, les profils qui se cuirassent ont un horizon humifère peu épais et de faible importance.

Dans de nombreux cas les oxydes de fer et de manganèse ont une origine extérieure aux profils. Ils proviennent des formations voisines d'où ils sont lessivés, et s'accumulent dans des matériaux préexistants qu'ils cimentent. La genèse de ces cuirasses est difficile à préciser si l'on s'en tient à l'examen des seuls profils. Il est nécessaire d'étudier l'environnement, et de préciser ainsi la masse de produits propices au cuirassement qui peut être fournie par un paysage donné.

Les sesquioxides, en particulier ceux de fer, jouent un rôle fort important sur les propriétés d'échange des "colloïdes" du sol, par leurs actions particulières sur les surfaces actives des argiles. Ils interviennent de la formation de la structure de pseudo-sable qui caractérise de nombreux sols ferrallitiques. Ils limitent la capacité d'échange du complexe absorbant du sol. Ils immobilisent l'acide phosphorique sous une forme à peu près inaccessible aux végétaux.

Une conséquence fort intéressante du cuirassement est la fossilisation des formes du relief qui permet la conservation des surfaces d'érosion, des terrasses et glacis de prédimonts qui subsistent comme des vestiges d'époques révolues. Il est probable que certaines de ces surfaces sont tertiaires,

peut être même, les plus anciennes du Crétacé supérieur, ce qui devrait permettre leur utilisation pour l'étude géologique du Tertiaire et du Quaternaire.

b - Sur un plan plus pratique, les conséquences du cuirassement sont également considérables.

Un cuirassement à faible profondeur limite le volume de terre accessible aux racines des végétaux, et, l'épaisseur de travail des instruments aratoires.

Le rôle des cuirasses sur le régime hydrique des sols influe leur fertilité, car le pourcentage d'eau est fréquemment le facteur limitant de cette dernière. Les modifications dans l'évolution de la matière organique abaissent les teneurs en azote, et diminuent la stabilité structurale des horizons superficiels.

Le cuirassement des sols, en transformant les conditions écologiques du milieu naturel réduit la croissance des végétaux, et provoque des transformations dans la composition de leurs peuplements. On observe une sélection des espèces adaptées à des conditions rustiques, qui peuvent supporter aussi bien un excès d'humidité en saison des pluies, que des conditions d'extrême aridité en saison sèche (certaines Cyperacées). L'action du milieu cuirassé apparaît plus nettement encore sur l'aspect physiognomique du paysage végétal. Les groupements végétaux s'établissent en petits bouquets isolés au milieu de grandes surfaces herbeuses parcourues régulièrement par les feux courants. Le début du cuirassement des sols se matérialise ainsi par la formation de clairières herbacées qui empiètent peu à peu sur les peuplements arborés primitifs. La physiognomie de la strate arborée est en relation avec les conditions très rudes du milieu. Elle présente un aspect tassé, avec des troncs tourmentés, remplis de noeuds, et dont l'écorce est noircie par le feu. Cet aspect caractéristique provient du faible développement en profondeur du système racinaire qui s'étale à la surface des cuirasses. A un stade avancé de l'affleurement, les arbres sont faiblement ancrés dans le sol, et facilement renversés par les vents violents de tornades.

Dans un pays où les roches dures, affleurantes, sont rares, les cuirasses ont été, et sont encore souvent utilisées comme matériau de construction. La définition primitive de la "latérite" d'après BUCHANAN (1807) avait cette acception. Quelques monuments anciens sont bâtis avec ce matériau (mégolithes de KOUPEMTOUM au Sénégal). Actuellement le développement des constructions en béton a fait regresser son utilisation, mais il reste l'un des produits essentiels de compactage des routes.

La formation à travers le paysage de vastes zones cuirassées et dénudées pose de graves problèmes, quant à l'utilisation des ressources hydrauliques des territoires. Les cuirasses non démantelées, ont un rôle à peu près inexistant en tant que roche magasin. L'eau ruisselle sur ces surfaces peu protégées par la végétation qui donnent naissance à des écoulements du type torrentiel. Le coefficient de ruissellement tend partout vers 1, avec des temps "rise et "lag" extrêmement brefs. La protection des bassins versants contre l'érosion, la reconquête des surfaces cuirassées par la végétation, sont autant de problèmes qui conditionnent l'utilisation des eaux des régions tropicales.

L'importance économique des cuirasses comme sources de minerais (fer, alumine, manganèse) provoque l'intérêt de protections minières. Déjà les anciens habitants les utilisaient pour en extraire le fer. On retrouve un peu partout en Afrique Noire des traces de laitier, et quelques fours fonctionnent encore actuellement en Guinée Française (région de BEYLA). Sur un plan industriel plusieurs gisements sont exploités, et l'extraction des bauxites (Iles de LOOS, FRIA, COGON) et du minerai de fer (KALOUN) est l'un des plus surs espoirs économiques de ce Territoire. Enfin plusieurs flats diamantifères ont été découverts dans des niveaux cuirassés (région de FERKESSEDOUGOU, Côte d'Ivoire).

C. - LA CUIRASSE, HORIZON PEDOLOGIQUE -

Les niveaux cuirassés font-ils partie des sols ; sont-ils des horizons particuliers de ceux-ci ? Cette question, souvent posée, semble parfois encore être controversée. Il paraît donc nécessaire de préciser le point de vue développé dans cette étude.

En fait, par leur genèse, les cuirasses sont intimement liées au dynamisme des sols tropicaux. Des études détaillées montrent qu'elles sont sous la dépendance des mêmes facteurs qui règlent l'évolution des sols, et qu'elles participent à certains cycles naturels au même titre que ceux-ci.

Qu'est-ce qu'un sol ?

DEMOLON (1948) définit celui-ci comme "la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche-mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques".

A la vue des connaissances actuelles sur les sols tropicaux, cette définition demande à être légèrement modifiée. En effet, si l'on considère des sols à horizons durcis (cuirasses, croûtes calcaires, "pens" américains, etc..), la notion de structure meuble se trouve mise en défaut. On peut d'ailleurs remarquer que l'induration extrême d'un horizon cuirassé par exemple, correspond toujours à un stade sénile de l'évolution du sol, qui peut agir en tant que matériau originel donnant naissance à un nouveau sol. D'autre part, de nombreuses cuirasses ne doivent leur importance qu'à des apports extérieurs au profil proprement dit, à la suite de processus de lessivages obliques à travers une chaîne de sols.

Il apparaît donc que l'on puisse modifier la définition de DEMOLON de la façon suivante :

" Le sol est une formation naturelle de surface, d'épaisseur variable, résultant de la transformation d'un matériau originel en place sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques".

L'étude du sol se fait à travers son profil. Toujours d'après DEMOLON (1948) "on nomme profil, une section verticale, allant de la surface à la roche-mère dans son état inaltéré. Ce profil représente la résultante des processus ayant concouru à la formation du sol. Il reflète l'histoire du sol considéré".

L'action des différents facteurs physiques, chimiques et biologiques sur le matériau originel de départ, qui, d'après JENNY (1941) peut être considéré théoriquement comme un milieu isotrope, provoque l'apparition d'une

anisotropie qui se matérialise par la formation d'une succession de couches plus ou moins tranchées appelées horizons. (A ne pas confondre avec un niveau d'origine stratigraphique).

"Le profil pédologique, dit encore DEMOLON, résulte de mouvements internes de substances variables avec les conditions du milieu". D'une façon générale, on distingue des horizons A, encore appelés éluviaux qui correspondent aux horizons humifères et lessivés ; des horizons B d'accumulation appelés illuviaux. Le matériau ayant donné naissance au sol est appelé C. Chacun de ces horizons peut être séparé en A₀, A₁, A₂ ... B₁, B₂.. Souvent, les horizons B sont complétés d'un signe qui indique le type d'accumulation : Bca par exemple pour une accumulation calcaire.

Le problème ainsi posé, il reste à savoir si les cuirasses sont les résultantes de processus ayant concouru à la formation du sol, et, par conséquent, représentent des horizons spécifiques du profil. La morphologie de certains profils de sols en voie de cuirassement montre d'une façon frappante certaines liaisons entre les différents horizons, liaisons d'ailleurs confirmées par les résultats analytiques. Il se produit un passage plus ou moins continu d'un horizon à l'autre, sans caractère trop net de discontinuité dans la composition chimique par exemple. Certains minéraux inaltérables du matériau originel (tourmaline, zircon, rutile, staurotite), présents dans tous les horizons, peuvent préciser l'origine autochtone de ces sols. Par contre, l'étude de la répartition de ces minéraux à travers les différents horizons est beaucoup moins probante, car il peut se produire des enrichissements préférentiels dus aux phénomènes d'éluviation de certains éléments particulièrement mobiles. Malheureusement, dans la plus grande majorité des cas, les processus de cuirassement se produisent dans un matériau plus ou moins remanié, parfois même dans des alluvions où une certaine stratigraphie apparaît. Dans la plupart des sols fortement évolués, le cuirassement crée un caractère de discontinuité. Une simple étude morphologique du profil est alors incapable de préciser de façon absolue les liaisons entre cuirasse et horizons voisins.

L'étude de la genèse de ces formations apporte la réponse au problème posé. En appliquant à l'étude des sols en voie de cuirassement, la notion

d'horizons ABC, ce qui implique les seuls mouvements verticaux des solutions du sol, les cuirasses apparaissent dans de nombreux cas comme des éléments surajoutés. Très souvent, en effet, on ne peut expliquer par des simples mouvements d'éluviation, l'importance des phénomènes d'accumulation à travers le profil. Les hydroxydes proviennent, le plus souvent, des sols voisins par translation latérale. Ce mouvement des hydroxydes à travers le paysage est lié aux processus de lessivage oblique des solutions du sol. C'est pour cette raison entre autres que la notion de "chaîne de sol" (catena) est d'un tel intérêt dans l'étude des phénomènes de cuirassement.

Introduite pour la première fois par MILNE (1935) sous le nom de catena, comme unité cartographique, cette notion fait intervenir l'action de la topographie et du drainage sur la répartition des types de sols le long des pentes, successions généralement constantes, pour une zone considérée d'un même paysage géologique. Cette notion, qui n'était au départ qu'un artifice cartographique, a peu à peu pris une signification pédogénétique (BUSHNELL, 1942 ; GREENE, 1945). Actuellement, l'entité d'une chaîne de sols implique une entière dépendance génétique entre les sols situés le long d'un même profil de pente, le matériau originel restant identique à lui-même. Elle est basée sur le principe d'association, fait que deux ou plusieurs types de sols se retrouvent couramment ensemble dans des positions relatives qui sont déterminées par l'altitude, l'inclinaison et l'orientation. Il y a interdépendance des sols les uns par rapport aux autres. Aux mouvements verticaux des solutions du sol qui déterminent, dans une certaine mesure, les horizons éluviaux et illuviaux, se superposent des mouvements obliques de ces solutions à travers les sols s'étageant le long des pentes.

Ces processus permettent d'expliquer la formation d'un grand nombre de cuirasses par concentration dans certains horizons de sols situés en contre-bas, des solutions d'hydroxydes lessivés des reliefs plus élevés. Les mouvements obliques se matérialisent au bas des pentes par des suintements d'eau fortement ferrugineuse.

La formation des cuirasses est donc intimement liée au dynamisme des solutions du sol, lequel est propre à chaque type de sol. Elle se trouve sous la dépendance du degré d'évolution de ceux-ci et à ce titre les

cuirasses en sont partie intégrante. Elles sont soumises aux lois qui régissent la formation et l'évolution du sol. Elles sont sensibles aux variations apportées aux facteurs de formation (variations climatiques, dégradation de la végétation, utilisation par l'homme). Ce ne sont pas des matériaux inertes, mais un matériau en perpétuelle évolution avec des périodes d'exacerbation suivies de périodes de repos.

Au même titre que les sols, les cuirasses prennent naissance, évoluent en fonction des facteurs du milieu, atteignent un certain stade d'équilibre avant de participer à un nouveau cycle d'évolution quand l'équilibre vient à être rompu.

Si l'individualisation des hydroxydes des minéraux des roches, qui dépend du type d'altération et de la composition de la roche, demande pour se produire des périodes de temps parfois considérables, le dynamisme des hydroxydes libérés est un phénomène beaucoup plus rapide qui se place dans le cadre de l'évolution pédologique.

D'autre part, il existe des interréactions excessivement précises entre la genèse d'un horizon cuirassé et l'évolution ultérieure du profil où le phénomène prend naissance. Par exemple, la mise en place d'une cuirasse compacte provoque des processus d'hydromorphie dans les horizons de surface avec apparition de produits organiques riches en complexants d'hydroxydes. Il en résulte une dissolution partielle des ciments de sesquioxides dans la partie supérieure de la cuirasse, produits qui viennent imprégner les niveaux sous-jacents et les colmatent. Le développement de ce niveau imperméable favorise la circulation oblique des solutions du sol et par suite l'extension du cuirassement dans le paysage. Au contraire, si le drainage se maintient, les produits complexés peuvent être exportés au loin, avec disparition progressive de l'horizon cuirassé et installation d'une végétation arborée faisant suite à l'approfondissement du sol.

En résumé, ces différents processus confirment et précisent la notion de cuirasse en tant qu'horizon pédologique d'un sol.

D. - CUIRASSEMENT ET FERRALLITISATION -

Le cuirassement des sols en milieu tropical a souvent été confondu ou intimement lié aux phénomènes de ferrallitisation. En fait, il n'en est rien. Si le milieu ferrallitique est favorable aux processus de cuirassement, il n'en est cependant pas spécifique.

AUBERT G. (1954) indique "les deux phénomènes, processus physique de cuirassement et processus physico-chimique de ferrallitisation sont nettement différents, le premier pouvant jouer sur des matériaux uniquement enrichis en hydroxydes de fer et de manganèse et non d'aluminium".

"Le processus de latéritisation ou de ferrallitisation, qui définit les sols latéritiques, est constitué par un ensemble de phénomènes qui aboutissent à une altération extrêmement poussée de la roche-mère du sol et une individualisation des éléments tels que silice et oxydes et hydroxydes et hydrates métalliques, en particulier de fer, d'aluminium, de manganèse et de titane ; ces derniers se maintiennent ou s'accumulent dans un horizon de surface ou de faible profondeur, la silice étant en partie entraînée à la base du profil". Certains caractères chimiques des sols ferrallitiques comme leur richesse en hydroxydes se retrouvent dans toutes les cuirasses. Mais ainsi que le signale AUBERT, "ces caractéristiques se retrouvent également dans d'autres sols qui en diffèrent cependant par leur structure".

D'autre part, certains sols non ferrallitiques montrent des processus de cuirassement prononcés : sols ferrugineux tropicaux, certains sols hydromorphes, parfois même des sols subarides (MAGNIEN, 1954). A l'opposé, des sols franchement ferrallitiques comme en Basse Côte d'Ivoire ou en Guinée Forestière, ne montrent aucun signe de cuirassement.

En résumé, le milieu ferrallitique favorise le cuirassement en enrichissant le sol en hydroxydes (enrichissement relatif), mais le cuirassement peut également jouer sur tout matériau contenant suffisamment d'hydroxydes mobilisables.

On constate donc que le terme "latérite" appliqué à toute formation indurée riche en sesquioxydes métalliques n'est pas en totalité justifié.

Pourquoi donc est-il encore si couramment employé par les pédologues anglo-saxons et par les géologues ? Si l'on remonte à la création du terme par BUCHANAN en 1807, on constate que cet auteur désigne par "latérite" une formation de surface, partiellement indurée, pouvant se façonner facilement et servant de matériau de construction après durcissement à l'air. Dans l'esprit de BUCHANAN, il semble s'agir d'un matériau assez mal défini, servant à la fabrication des briques (later = brique - cf. LACROIX, 1913), car pour désigner une formation fortement indurée, riche en fer, l'auteur emploie le terme de "ore" (minerai). Pourtant "latérite" a été traduit par "qui ressemble à la brique", et ce nom a été largement étendu à toute formation rouge plus ou moins indurée, riche en sesquioxydes, observée sous climat tropical.

D'après PENDLETON (1936) qui rejette toute définition chimique de la latérite, le matériau décrit par BUCHANAN sous ce nom, est un horizon illuvial, riche en oxyde de fer, à structure cellulaire ou pisolithique dont le degré de dureté permet de la façonner facilement pour être employé dans la construction. Cet auteur indique, d'autre part, qu'il est regrettable que BUCHANAN ait donné un terme lithologique à un matériau décrit comme une argile ferrugineuse. Une définition chimique ou minéralogique devient alors très difficile, la composition du matériau pouvant varier fortement, même si le caractère essentiel reste la richesse en hydroxydes. Les chercheurs anglo-saxons ont donc réservé au terme "latérite" une définition purement physique et morphologique. Dans ce sens, la définition de DU PREEZ (1949) est une des meilleures : "la latérite est une masse ou vésiculaire, ou concrétionnée, ou vermiculaire ou pisolithique, ou plus ou moins massive, se composant essentiellement d'oxyde de fer avec ou sans quartz clastique, et contenant de faibles quantités d'aluminium et de manganèse. Elle est de dureté variable, mais généralement se casse et se façonne facilement au marteau".

Cette définition semble beaucoup trop statique. Une définition morphologique ne peut avoir de valeur que si elle désigne un matériau relativement constant en aspect et en composition. Or, les cuirasses observées en de nombreux points du globe montrent des constitutions extrêmement

variées : essentiellement ferrugineuses, ou alumineuses, ou argileuses, parfois truffées de quartz clastique, mais parfois aussi de néoformation. Elles peuvent être également manganifères et très souvent également ne plus contenir de silice cristallisée. Une bonne définition d'un tel matériau doit être essentiellement génétique. Celle de BUCHANAN ne s'y prêtant guère, certains auteurs, SCONVENIOR (1930), puis VINE (1954) ont proposé de supprimer purement et simplement le mot "latérite" de la terminologie pédologique. C'est actuellement la tendance des pédologues français travaillant outre-mer. Le mot "latéritisation" qui caractérise un phénomène d'altération des roches silicatées est même de plus en plus remplacé par celui de ferrallitisation plus expressif.

Pour BOTELHO DA COSTA (1949), le terme de "ferrallitisation" semble très utile, car il se rapporte à des caractéristiques essentielles et considérablement stables qui affectent plusieurs propriétés physiques et physico-chimiques des sols. Il peut donc être employé pour la sous-division des sols minéro-organiques à un niveau de généralisation élevé.

En conclusion, on peut distinguer :

- des processus pédogénétiques se caractérisant principalement par l'altération des roches à minéraux silicatés, en régions chaudes et humides du globe, et appelé ferrallitisation ou latéritisation ;
- des phénomènes de cuirassement qui, favorisés en milieu ferrallitique, peuvent également se produire dans tout matériau enrichi en hydroxydes.

On observe ainsi des cuirasses ferrugineuses, alumineuses, manganifères suivant l'élément constitutif prédominant. Les caractéristiques génétiques essentielles du sol apparaissent à un niveau plus élevé : par exemple, sol fortement ferrallitique à cuirasse alumino-ferrugineuse.

II. HISTORIQUE

Faire l'historique du problème de cuirassement des sols tropicaux, et, plus particulièrement de celui des sols de GUINEE FRANCAISE, revient jusqu'à une période très récente à étudier l'évolution de nos connaissances sur la latérite.

Ce nom a été créé, en 1807 par BUCHANAN, au cours d'un de ses voyages à travers les Indes. Le mot vient de later qui en latin signifie brique. D'une acception assez étroite à l'origine, le terme s'est progressivement étendu à toute formation indurée ou non, de couleur rouge ou brune, observée sous les tropiques, puis aux sols de ces mêmes pays possédant grossièrement les caractéristiques chimiques de ces matériaux. Actuellement, ce terme possède une telle généralité qu'il n'a, pour ainsi dire, plus aucune signification pédologique.

Depuis BUCHANAN, de nombreux chercheurs se sont penchés sur l'étude de ces formations. Plusieurs historiques ont été rédigés dont le plus récent, celui de DU PREEZ (1949), tient surtout compte des travaux anglo-saxons.

1 - Les premières études ont été essentiellement géologiques et minéralogiques. A cette période des environs de 1900 doivent être associés les noms de RICHTHOFEN (1860), OLDHAM (1893), BAUER (1898), CHAUTARD et LEMOINE (1908), ARSANDEAUX (1909), VAN BEMELLEN (1910), FERMOR (1911), HARRISON (1910-11), LACROIX (1913), HOLMES (1914), etc..

Déjà des premiers essais d'interprétation ont été proposés, en particulier en relation avec l'action de différents facteurs :

- de la végétation - KOPPEN, LANG, RICHTHOFEN (cf. LACROIX, 1913)
- des bactéries - HOLLAND (1903)
- des fluctuations de la nappe phréatique - CAMPBELL (1917),
HARRISON
- de l'alternance de saisons sèches et humides - MAC LA REN (1908),
LACROIX (1913)
- la topographie plane - SIMPSON (1912), LACROIX (1913), HOLMES

Sur la composition de ces formations, l'attention à tout d'abord été

attirée par la richesse de ces matériaux en hydroxydes, et de nombreuses classifications de cette époque ont été basées sur les teneurs respectives en ces éléments. Pour NEUSTRUEV (cf. LACROIX, 1913), une latérite doit contenir plus de 86 % de Fe_2O_3 . FERMOR (1911) porte cette limite à 90 %. LACROIX tient compte des teneurs totales en oxydes hydratés. Il distingue :

- des latérites vraies contenant plus de 90 % d'hydroxydes totaux,
- des latérites silicatées contenant de 90 à 50 % d'hydroxydes,
- des argiles latéritiques contenant de 10 à 50 % d'hydroxydes.

Il qualifie les latérites de quartzifères lorsqu'elles renferment du quartz de néoformation. Dès 1903, HOLLAND signale la nécessité de présence d'aluminium pour considérer le matériau comme une véritable latérite.

2 - A partir de 1920, les études sur le problème des latérites se développent largement. Les méthodes pédologiques commencent à être de plus en plus employées.

Pour HARRASSOWITZ (1930), les latérites sont caractéristiques du climat tropical, et elles se forment sous climat de savane. Il distingue quatre zones de bas en haut :

- la roche fraîche,
- une zone d'altération primaire avec de la kaolinite,
- l'horizon latéritique proprement dit,
- la zone de surface avec incrustations et concrétions ferrugineuses.

Par la suite, une longue discussion s'engage sur la nécessité d'un horizon intermédiaire entre la roche-mère et la zone indurée. ERHART (1935) en particulier, affirme qu'une cuirasse latéritique doit obligatoirement présenter un horizon de passage avec la roche-mère. Pour cet auteur, les sols à hydrates d'alumine ne peuvent dater que d'une formation forestière.

MARTIN et DOYNE en 1927 insistent sur l'importance du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dans les argiles des latérites. Une latérite caractéristique doit montrer un rapport inférieur à 1,33. Le fer est regardé comme un élément non essentiel du milieu latéritique. Jusque vers cette époque, il était admis que les niveaux indurés des latérites se formaient par remontée capillaire des hydroxydes. MOHR (1932) change ces vues, développées par HARRASSOWITZ (1930) en particulier, qui limitait les latérites aux zones de savanes.

Il rejette l'hypothèse de la formation des cuirasses par remontées des solutions d'hydroxydes. Il y a lessivage suivi d'une accumulation. Ces constatations sont reprises et développées par PENDLETON (1930) qui considère la latérite comme un horizon illuvial et rejette toute définition chimique.

Sir John HARRISON (1933), apporte à son tour une contribution importante quant à la connaissance de la décomposition des roches en milieu tropical et les relations entre cuirasses et roches sous-jacentes. Citons encore les travaux de BENNETT (1930), MARBUT (1930), FOLLET SMITH (1931), HARDY (1931), SENSTIUS (1931), FOX (1933), SCAETTA (1933-41), LOMBART (1937), BAYENS (1938), ALLISON (1942), GREENE (1945), CHARTER (1949), PRESCOTT (1952) etc... Il est à peu impossible de les nommer tous.

3 - Pourtant ce n'est que tout récemment que l'on a commencé à séparer les deux processus de latéritisation et de cuirassement. Dès 1950, je précisais que "ces deux phénomènes souvent confondus, devaient être nettement séparés. Le cuirassement est un phénomène différent de celui de la latéritisation. Il provient de la cimentation et du durcissement des solutions d'hydroxydes qui fixent les différents éléments texturaux du sol. S'il est favorisé en milieu latéritique, il n'en est cependant pas spécifique". Depuis, les travaux de d'HOORE (1949-54) sur les zones d'accumulation d'hydroxydes dans les sols tropicaux sont venus confirmer cette façon de voir. Enfin des prospections nombreuses (LAPLANTE (1954), RIQUIER (1954), AUBERT (1948-54), MAIGNIEN (1946-56) etc..), des expérimentations de laboratoire sur les conditions du mouvement des hydroxydes dans les sols, d'HOORE (1949), BLOOMFIELD (1951-53-56), HENIN (1945-54) BETREMIEUX (1951-56)), sur l'action des microorganismes (DOMMERGUÉS), sur les formes microcristallines des oxydes hydratés des cuirasses (KUBIENA (1956), ALEXANDER L.T.(1956)) viennent chaque jour préciser davantage les conditions du cuirassement des sols tropicaux.

Les géographes ROUGERIE et LAMOTTE (1953), le géomorphologue TRICART (1956), apportent à leur tour une contribution importante à ces études.

En GUINEE FRANCAISE, il faut remonter en 1821 pour que BERTHIER signale la présence au FOUTA-DJALLON de minerais ferrugineux, riches en aluminium

présentant des analogies certaines avec l'alumine hydratée des Baux. Toutefois, il faut attendre les travaux de CHAUTARD (1908) d'abord, puis de LACROIX (1913) ensuite, pour avoir une idée plus précise du problème de la latérite en GUINEE.

CHAUTARD (1908) dans son étude sur "La Géographie physique et la Géologie du Fouta-Djallon et de ses abords orientaux et occidentaux" distingue trois types de latérites :

- la latérite "stricto sensu," roche où se manifeste l'atération latéritique typique au sens de MAX BAUER.
- les latérites "sensu lato," tout produit de décomposition où la présence d'argile est manifeste et où il est parfois impossible de mettre en évidence de l'alumine libre.
- les conglomérats ferrugineux qui sont divers produits de deshydratation des latérites détritiques ou des argiles. Les cavités du squelette d'hydrate de fer sont remplies ou simplement tapissées de latérite.

LACROIX (1913) qui s'est longuement penché sur l'étude des produits d'altération des roches en GUINEE FRANCAISE donne de la latérite la définition suivante :

"les produits de décomposition de toute roche silicatée alumineuse, caractérisés au point de vue chimique par la prédominance des hydroxydes d'alumine et de fer, avec généralement de l'oxyde de titane, après élimination plus ou moins complète des autres éléments de la roche fraîche : alcalis, chaux, magnésie et silice".

Sa classification est basée, d'une part, sur la composition chimique des matériaux constitutifs, et d'autre part, sur leurs formes minéralogiques. Il distingue ainsi : des latérites vraies, des latérites siliceuses, des argiles latéritiques suivant les pourcentages d'hydroxydes, chacun de ces types étant subdivisé d'après la forme minéralogique de l'hydroxyde ou de l'argile : gibbsite, bauxite, kaolinite, etc... LACROIX a également minutieusement étudié les différentes phases de l'altération des roches acides et basiques de GUINEE. On peut signaler en particulier son étude sur la transformation des feldspaths en gibbsite cristalline ; la décomposition des syénites néphéliniques des Iles de Loos, donnant des produits d'altération pauvres en fer et où souvent l'hydrargillite est accompagnée de silicates

hydratés. Tous ses mémoires restent encore à l'heure actuelle, l'une des bases principales pour l'étude de l'altération des roches sous climat tropical. De même ses conclusions sur les conditions du milieu nécessaires à la latéritisation : topographie plane, drainage déficient, saisons sèches et humides bien tranchées, restent valables sur un plan très général.

Il faut attendre ensuite les années 1936-38 pour trouver de nouveaux ouvrages généraux sur la question du cuirassement en GUINEE FRANCAISE. En particulier, de CHETELAT (1938) dans son "étude sur le modelé latéritique de l'Ouest de la Guinée Française" développe la genèse des différentes formes topographiques liées au milieu latéritique. Il rejette "comme devant être appliqué à cette formation (couche dure superficielle) dans un sens général, le mot ferrugineux. En effet, la cuirasse peut être très riche en alumine et ne contenir que des traces de fer".

Il faut préciser que de CHETELAT ne tient compte que des formations indurées de surface dans un but uniquement minier.

Vers la même époque, de la BOUGLISE (1936) fait une étude du gisement de fer d'origine latéritique de la presqu'île de Kaloum. Il développe l'histoire du gisement, sa nature, son extension du point de vue du géologue. Depuis, les études minières des différents gisements de fer et d'alumine se sont fortement étendues (JULIAN (1938) ; FURON (1943) etc..)

SABOT (1952), dans une étude récente fait appel à de nombreux exemples guinéens. Les transformations isovolumétriques dans les phénomènes de latéritisation et de bauxitisation font l'objet des travaux de MILLOT et BONIFAS (1955). On peut encore citer les différentes études de JACQUES FELIX et BETREMIEUX (1948) sur les comparaisons entre sols de savanes et sols de forêts ; celles de BELLOUARD (1949) sur les terrasses cuirassées de HAUTE GAMBIE, de SCHNELL (1948-1949), d'AUBREVILLE (1948-1949) sur les relations entre la végétation et les cuirasses ; de SUDRES (1947), de PORTERES (1952) sur l'action de l'homme dans la dégradation des sols ; de POUQUET (1955), de TRICART (1957) sur la géomorphologie du FOUTA DJALLON ; de ROUGERIE (1953), de LAMOTTE (1953) sur les différents niveaux cuirassés de HAUTE GUINEE et des MONTS NIMBA.

L'étude proprement pédologique du cuirassement des sols n'a été abordée, en GUINEE FRANCAISE que tout récemment. En 1946, AUBERT effectue les premières observations pédologiques. J'ai pu prendre cette question dès 1950, en particulier dans les régions de PITA, DALABA et LABE (MAIGNIEN, 1954-1956).

C H A P I T R E 2

LES CONSTITUANTS DES CUIRASSES

La connaissance des constituants des cuirasses est un problème déjà fort avancé. Il a été le premier abordé, et, plus récemment, l'application des méthodes thermodynamiques, l'examen des minéraux aux rayons X et au microscope électronique ont permis de reconnaître et de préciser la nature des principaux constituants cryptocristallins.

Il est possible de classer les produits constitutifs de cuirasses en éléments principaux qui ont un rôle essentiel dans la formation des horizons indurés, et, en éléments secondaires, indifférents au processus lui-même. Les premiers sont représentés essentiellement par des oxydes et hydroxydes d'aluminium, de fer, souvent de manganèse, parfois de titane ; par de la silice et fréquemment des argiles. Les seconds constituent les éléments texturaux des sols en place, produits résiduels ou clastiques.

I. CONSTITUANTS PRINCIPAUX

A. - OXYDES ET HYDROXYDES -

1. Aluminium

Cet élément s'observe dans les horizons cuirassés sous formes d'oxydes et d'hydroxydes. Les formes hydratées sont les plus fréquentes.

a - Gibbsite - ce minéral porte parfois aussi le nom d'hydrargillite. Il a pour formule : $\gamma \text{ Al}_2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ ou encore $\gamma \text{ Al}(\text{OH})_3$. C'est donc un

trihydrate d'aluminium

- Il cristallise dans le système monoclinique.
- Sa température de décomposition se situe entre 300-350°, et son point isoélectrique varie de pH 4,8 à pH 5,2 suivant la dilution du milieu de formation et la vitesse de cristallisation (SCHUYLENBORGH, 1950).
- Sa densité est de 2,44
- Ses caractéristiques optiques, en lame mince, sont les suivantes :
Biaxe + ; $2V = 60^\circ$
Extinction maximum = 45°
Allongement $\pm$
 $n = 1,59$; biréfringence $n_g - n_p = 0,022$ (avec teinte maximum jaune paille du 1er ordre).
Il se présente souvent en lamelles ou en fibres et montre de nombreuses macles polysynthétiques (1 0 0)
- Dans les cuirasses, on trouve la gibbsite souvent en lames homogènes, non maclées, ayant une structure microgranulitique de petites dimensions (de CHETELAT, 1938). Ce type paraît provenir de solutions chargées d'alumine, car on observe fréquemment des pisolithes ayant des craquelures concentriques remplies de gibbsite grenue.

b - Boehmite - Ce minéral a pour formule $\gamma \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ou encore $\gamma \text{AlO}(\text{OH})$. C'est donc un monohydrate.

- Il cristallise dans le système orthorhombique.
- Sa température de décomposition se situe à 430°
- Sa densité est de 3,06.
- La reconnaissance de ce corps se fait uniquement par des méthodes physiques (rayons X, thermobalance, analyse thermique différentielle), car les cristaux sont très petits, et il est impossible de les examiner par des méthodes optiques.

L'examen aux rayons X donne des raies très caractéristiques :

6,11	,	100
3,16	,	65
2,35	,	53

Ce minéral est rare dans les cuirasses de GUINEE.

c - Diaspore - Sa formule est α $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ou α Al O (OH)

C'est donc également un monohydrate.

- Il cristallise dans le système orthorhombique.
- Sa température de décomposition se situe à 450°
- Sa densité est de 3,4
- Son examen en lame mince en fait un biaxe +
l'angle $2V = 84^\circ$
- Son extinction maximum est de 0° dans la zone perpendiculaire à $h^1 (010)$.
- Son allongement est positif et négatif.
 $n = 1,725$ et $n_g - n_p = 0,048$. Il est parfois coloré et polychroïque.

Il se présente, soit en lamelles, soit en sections ovales. On observe quelques macles (100) .

La boehmite et le diaspore ont été trouvés dans les bauxites françaises (J. de LAPPARENT, 1930). Du diaspore a été signalé en GUINEE PORTUGAISE (WEISSE, 1952):

A basse température et sous des conditions hydrothermales, il se forme de la boehmite et de la gibbsite. Le diaspore n'apparaît qu'à la suite d'une élévation de température et de pression (contacts avec coulées basaltiques, BRINDLEY, 1951):

d - Corindon - Ce minéral a pour formule α Al_2O_3 . C'est donc un oxyde.

- Il cristallise dans le système rhomboédrique.
- Son point isoélectrique se situe à pH 2,3
- Sa densité est de 3,98
- En place mince son angle d'extinction est égal à 0° .
Son allongement est positif
 $n = 1,765$; la biréfringence $n_g - n_p = 0,009$ est très faible.
Il présente souvent des anomalies optiques.

Il se présente sous forme de tables hexagonales ou de grains.

- Ce corps se rencontre uniquement dans les cuirasses qui ont été cuites par des verres éruptifs.

e - On observe fréquemment dans les cuirasses, des produits aluminés, d'aspect plus ou moins amorphe, qui n'apparaissent pas cristallisés au microscope polarisant. Ces produits ont été improprement appelés alumogels (LACROIX, 1913). En fait il s'agit d'agrégats cryptocristallins qui sont désordonnés et qui donnent à l'examen optique l'apparence de l'isotropie. C'est une isotropie par comparaison. En lame mince et en lumière naturelle, ils apparaissent plus ou moins mélangés à des hydroxydes de fer, les teintes allant du blanc gris au rouge brun en passant par le jaune ocre. On peut leur attribuer la formule suivante Al_2O_3, H_2O

n varie de 1,54 à 1,51.

L'examen aux rayons X de ces pâtes fait apparaître la présence sous forme cryptocristalline de Boehmite en particulier, et parfois même de Gibbsite.

f - Enfin, pour mémoire, on peut signaler une seconde forme trihydratée, obtenue seulement en laboratoire à la Bayérite de formule $Al_2O_3, 3 H_2O$.

Ce corps de densité $d = 2,49$, fait également partie du système monoclinique. Mais son point isoélectrique se situe entre pH 6,2 et 7,4. Sa température de décomposition est également de 150° , comme chez la Gibbsite.

2. Fer -

Cet élément se présente dans les cuirasses également sous formes d'hydroxydes et d'oxydes.

a - Lépidocrocite - Ce minéral a pour formule $\gamma Fe_2O_3, H_2O$ ou $\gamma Fe O (OH)$. C'est donc un monohydrate.

- Sa structure cristalline est isomorphe avec celle de la boehmite (orthorhombique).

- Sa température de décomposition se situe à 250°

- Son point isoélectrique est à pH 5,4

- Sa densité $d = 3,97$.

- La lépidocrocite se présente sous forme de cristaux extrêmement

petits très difficiles à observer par les méthodes optiques. Ceux-ci présentent une face d'aplatissement g_1 (0 1 0), qui est également un plan de clivage parfait.

- Les cristaux sont d'une belle couleur rouge vif. La poussière est jaune orangée.

- Le polychroïsme est affort fort :

n_g jaune brun, n_m jaune orange, n_p jaune clair (GOLDSZTAUB, 1935).

- Ce minéral n'a encore jamais été rencontré dans les cuirasses. Il est obtenu au laboratoire. En particulier l'oxychlorure de fer se transforme par pseudomorphose en lépidocrocite.

b - Goethite (GOLDSZTAUB, 1935) - Ce minéral a pour formule $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ou $\alpha\text{FeO}(\text{OH})$. Il représente donc la seconde forme monohydratée.

- La structure cristalline de la goethite est similaire de celle du diaspre (orthorhombique).

- Sa température de décomposition se situe comme pour la lépidocrocite à 250° .

- Son point isoélectrique est à pH 3,2 (SCHUYLENBORGH, 1950).

- Sa densité d varie de 3,8 à 4,4, sa dureté = 5.

- Ses caractéristiques optiques sont les suivantes :

biaxe négatif. L'angle de ses axes $2V$ varie de 0° à 26°

Son extinction maximum est égale à 0°

Sa réfringence maximum $n_g = 2,40$ et sa réfringence minimum $n_p = 2,26$. Sa birefringence $n_g - n_p = 0,140$, avec une coloration brun-rougeâtre. Sa dispersion est très forte.

- Les faces planes présentent un éclat adamantin submétallique souvent mat. Les cristaux épais sont noirs. La poussière est jaune-claire.

- Par chauffage la goethite se transforme par pseudomorphose en oligiste.

- Les formes cristallines sont obtenues au laboratoire par vieillissement de gels ou de sels d'oxydes ferriques basiques (WEISSER, 1934). Les sels les plus ferriques donnent de la goethite par hydrolyse faible (BRINDLEY, 1951).

- Ce minéral se rencontre fréquemment dans les cuirasses. Très souvent

les agrégats cryptocristallins de goethite retiennent de l'eau en quantité variable en donnant des produits rouges, dont la composition peut se rapporter à $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ et qui portaient anciennement le nom de Limonite.

c - Magnétite - Ce corps a pour formule Fe_3O_4

- Il cristallise dans le système cubique et fait partie du groupe des spinelles.

- C'est un minéral opaque, de densité $d = 5,20$

- Il se présente soit en cristaux, soit en grains?

- Sa couleur en lumière réfléchie oblique varie de noire à grise.

- Il a un éclat gris acier bien caractéristique

- On le rencontre souvent en association avec l'hématite

- Il est très ubiquiste.

- Ses propriétés ferromagnétiques sont fortes.

- Son origine dans les cuirasses est essentiellement résiduelle.

d - Maghémite - La maghémite a pour formule $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$. C'est un oxyde rare.

- Sa densité d est égale à 4,90

- Elle se transforme lentement en hématite à 400° C

- Elle a des propriétés magnétique probablement par altération de la magnétite.

- Sa couleur est brune claire.

Elle a été trouvée dans la carapace de la Minière de CONAKRY (MILLOT).

e - Hématite - Ce minéral a pour formule Fe_2O_3

- Sa densité d est égale à 5,26

- Son point isoélectrique est à pH 2,6 (SCHUYLENBORGH, 1950).

- C'est un minéral opaque. Sa couleur en lumière réfléchie oblique est rouge.

- Elle cristallise dans le système rhomboédrique hexagonal, et est isomorphe avec le corindon.

- L'hématite se présente sous forme lamellaire, grenue ou pulvérulente. Son éclat peut être brillant ou terreux.

- Translucide, elle montre une couleur rouge.
- Elle se forme par altération des minéraux ferreux.
- C'est un minéral très commun dans les cuirasses.

f - Ilménite - Ce minéral a pour formule FeTiO_3 . C'est un minéral résiduel dans les cuirasses.

- Sa structure est très semblable à celle de l'hématite mais le réseau est plus grand.

- Ce corps est faiblement ferromagnétique.
- Le fer peut être remplacé par le magnésium et le manganèse.
- En lumière réfléchie oblique, sa couleur varie de gris à noire.
- Elle se présente à l'état naturel sous forme de cristaux ou de grains.
- Son éclat est submétallique : noir de fer.

3. Oxydes auxiliaires -

a - Titane -

L'examen en plaque mince ne permet de déceler la présence de titane que sous forme de rutil, d'anatase ou d'ilménite (de CHETELAT, 1931). Il est impossible de déclarer, par ce moyen, l'existence de titane à l'état d'hydrate (LACROIX, 1913). Ce corps est fréquent dans les cuirasses de GUINEE, mais toujours en faibles quantités.

b - Manganèse -

Cet élément est fréquent dans de nombreux sols cuirassés. Il forme de nombreux complexes pseudo-solubles avec les produits de décomposition de la matière organique. Il se concentre très facilement en concrétions, et recouvre très souvent d'un mince film brillant de bioxyde de manganèse de couleur noir violacé, les roches basiques en voie de décomposition.

B. - SILICE -

L'analyse chimique des horizons cuirassés laisse toujours apparaître de

la silice en plus ou moins grande quantité. Celle-ci peut atteindre des pourcentages élevés (plus de 50 %). La silice se trouve sous forme de silice libre et sous forme de silice combinée dans les silicates. Dans ce paragraphe, il ne sera traité que de la silice libre.

Dans les cuirasses, la silice libre s'observe essentiellement sous forme de quartz. En sols tropicaux, les argiles, au sens granulométrique (particules dont le diamètre est inférieur à 2μ), contiennent parfois des quantités considérables de silice libre - jusqu'à plus de 60 %. Ceci se constate encore, mais d'une façon beaucoup moindre, pour les éléments dont le diamètre est inférieur à 1μ . Il s'agit surtout de quartz cryptocristallin.

De nombreux auteurs signalent dans certaines cuirasses où roches en voie d'altération en milieu tropical, la présence de silice de néoformation (POUQUET, 1954 ; DECRAENE, 1954). DE CHETELAT (1938) pour sa part n'a jamais observé de quartz secondaire de recristallisation dans les cuirasses de l'Ouest de la Guinée.

Généralement, la silice sous forme de quartz est la forme la plus commune dans les cuirasses de GUINÉE. Il a très souvent une origine détritique. Quelques auteurs, comme DECRAENE (1954), pensent que la majorité de ces grains de quartz peuvent être aussi de néoformation. D'autre part MILLOT (communication orale) a observé que l'altération des feldspaths pouvait donner de la Gibbsite et du Quartz, qui expliquerait la présence de ce dernier minéral de néoformation dans les horizons supérieurs des sols ferrallitiques cuirassés. D'HOORE (1954) a montré que l'augmentation relative de la silice dans les horizons de surface des sols tropicaux provenait, pour une part importante, de l'incinération des chaumes de graminées qui sont très siliceux. La chaleur dégagée par les feux de brousse - environ 850° dans la masse même des pailles MASSON (1949) - est suffisante pour transformer cette silice en quartz.

En pratique, il est difficile de préciser l'origine du quartz, et son pourcentage à travers les différents horizons dans les sols cuirassés.

S'il y a néoformation de silice, le lieu de genèse ne coïncide généralement pas avec l'horizon en voie de cuirassement qui tend à fossiliser

les produits obtenus. Mais ces nouveaux corps peuvent se corroder ultérieurement, soit à la suite d'une altération ferrallitique, soit par simple usure mécanique.

Caractéristiques optiques des différentes formes cristallisées de la silice :

- Quartz - (SiO_2). C'est un minéral incolore, à cassure couchoïdale. Il donne ses formes de cristallisation dans certaines inclusions et géodes.

- Sa densité est de 2,67 et sa dureté égale à 7.

- Il cristallise dans le système rhomboédrique. C'est un uniaxe positif, à birefringence faible (gris du 1^{er} ordre).

$n_g = 1,553$ et $n_p = 1,544$.

- Cristobalite - Ce minéral a également pour formule SiO_2 . Il cristallise dans le système Q (C). Ce corps montre des macles polysynthétiques.

- Sa birefringence est faible et égale à 0,003.

- Sa réfringence est égale à 1,486.

Il est souvent associé à la tridymite.

- Calcedoine , de formule SiO_2 , est un biaxe $\pm$.

- Son angle $2V = 10^\circ$ à 40° .

- Elle se présente sous forme de sphéroïdes ou de fibres. Son extinction est égale à 0° .

- Sa birefringence est inférieure à 0,009

$n_g = 1,536$.

- Quand l'allongement est positif, c'est de la quartzine

- Quand l'allongement est négatif, c'est de la calcédonite.

La calcédoine s'observe fréquemment dans les concrétions et les produits secondaires (lithomarge, géodes), de CHETELAT (1938).

- C. - ARGILES -

Ces minéraux, finement cristallisés, se retrouvent très fréquemment dans les horizons cuirassés. Ils sont formés par l'empilement de tétraèdres

de silice, et d'octaèdres de Al_2O_3 , en combinaison avec de nombreux éléments, principalement du potassium et du magnésium.

Il est assez délicat de reconnaître la présence de ces silicates par la méthode des lames minces ou par l'interprétation des résultats d'une analyse totale. En particulier, il y a de grosses difficultés à séparer la silice libre de la silice combinée. D'autre part, certains hydroxydes, plus particulièrement ceux du fer, se fixent avec facilité sur les surfaces actives de ces minéraux, troublant ainsi leur détermination. Il est souvent nécessaire de procéder à une déferritisation préalable, opération qui doit être très douce si l'on ne veut pas déformer le réseau cristallin de l'argile. Il est possible de transformer les argiles par élévation de température, ce qui provoque des pertes de poids, de volume, des absorptions ou des pertes de chaleur, d'où il résulte toute une série de techniques analytiques. La reconnaissance de ces minéraux se fait couramment aussi par l'étude des diagrammes de poudre des rayons X : et par examen au microscope électronique. Il est souvent nécessaire de combiner plusieurs de ces méthodes pour arriver à des déterminations convenables.

Dans les sols cuirassés, fortement évolués, la silice combinée se trouve surtout sous forme de Kaolinite, plus rarement d'hallowaysite et d'illite .

1. Kaolinite -

Cette forme d'argile est ^{la} plus couramment rencontrée en sols tropicaux, cuirassés ou non.

Sa composition est la suivante $(\text{OH})_4 \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$

- La kaolinite est constituée d'un niveau de tétraèdres SiO_4 lié à un niveau d'octaèdres à coeur d'Al.

- L'équidistance des feuillets est de $7 \text{ \AA}$

- La forme microcristalline "idéale" est pseudo-hexagonale. Ces pseudo-hexagones sont formés d'un certain nombre de feuillets étroitement accolés entre lesquels l'hydratation est possible.

- En lame mince, cette argile montre des formes en lamelles hexagonales avec clivage (0 0 1).

- L'extinction maximum est égale à 0° . L'allongement est positif.

- La réfringence est égale à 1,564. La biréfringence est faible
 $n_g - n_p = 0,006$.

- Les lamelles sont parfois colorées et polychroïques quand la Kaolinite contient du fer.

- Du point de vue chimique, son hydratation H_2O est égale à 1 %

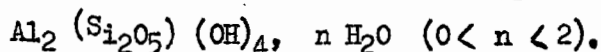
- Sa capacité d'échange en base est faible : 7 à 15 meq %.

Ce minéral présente une faible altération en milieu acide. C'est un minéral néogène qui se forme, en milieu tropical, lorsque les conditions de drainage sont favorables. La formation préférentielle de la Kaolinite dans ces milieux, provient de la faible concentration en ions des solutions du sol. La présence d'ions basiques s'oppose à la naissance de la Kaolinite. Ce n'est qu'après leur élimination que ce minéral peut se former. Cette argile est relativement stable en milieu ferrallitique. Cette stabilité a pu faire penser à WAEGEMANS (1949) que la Kaolinite correspondait au climax du milieu latéritique. Cependant son examen au microscope électronique révèle la présence de cristaux parfois plus ou moins altérés (FRIPIAT, 1954).

Cette altération se produit toujours à l'intérieur de lamelles et jamais sur les bords des hexagones. De telles formes sont courantes dans les horizons supérieurs des sols cuirassés (D'HOORE, 1954). D'autre part, certains résultats analytiques de LACROIX (1913) semblent montrer que l'altération de la Kaolinite est possible en milieu tropical.

2. Halloysite -

- La formule de cette argile est approximativement :



- C'est un minéral cryptocristallin qui se présente le plus souvent sous forme pulvérulente. Il se trouve ordinairement associé à la Kaolinite.

- Sa réfringence varie de 1,47 à 1,57.

- La distance entre deux feuillets peut atteindre 10 Å

- Sa structure est celle d'une kaolinite présentant une couche d'eau entre deux feuillets.

- Au microscope, elle présente l'allure de tubes correspondants à l'enroulement de feuillets élémentaires de Kaolinite.

- Son hydratation peut atteindre 10 %. Cette eau est très labile et s'échappe facilement pour donner de la métahalloysite à équidistance de 7 Å. Cette réaction est irréversible.

Dans cette transformation, la capacité d'échange qui pour l'alloysite est de 15-40 meq %, tombe à 7-15 meq %.

- Ce minéral s'altère assez rapidement en milieu acide.

3. Illites -

Les illites ont pour formule $(OH)_2 Al_2 Si_4 -x Al_x O_1' O$
(0,5 0,8). $\begin{matrix} \downarrow \\ K \end{matrix} x$

- La capacité d'échange varie de 20 à 40 meq %.

- Ses teneurs en H_2O^+ sont égales à 1-2 %

- Les teneurs en potasse atteignent 4 à 6 %

Les illites sont des micas extrêmement menus. Les variations de la teneur en eau et en potasse sont la conséquence de cette taille extrêmement fine.

On les reconnaît toujours par rayons X

- Ces minéraux sont instables en milieu acide.

- On les trouve comme produits hérités de la roche-mère ou comme une étape d'altération dans une zone de départ, ce qui explique que ces minéraux s'observent généralement dans les cuirasses jeunes ou celles formées sur produits peu altérés.

II. CONSTITUANTS SECONDAIRES

A côté des constituants principaux des horizons cuirassés se superposent toute une série de produits secondaires qui, s'ils contribuent à la morphologie et à la composition des horizons cuirassés, n'ont souvent qu'un rôle accessoire dans le dynamisme de la mise en place de ces formations. Dans ce sens, l'un des corps les plus abondants est le quartz dans sa nature résiduelle. Ce minéral ne se présente d'ailleurs pas seulement comme le résidu de l'altération d'une roche riche en quartz, mais également comme un élément constitutif ou textural d'un matériau de réception (niveau de

galets par exemple).

On peut aussi fréquemment observer dans les horizons cuirassés des débris de roches plus ou moins altérées qui apparaissent comme figées au milieu de la masse indurée. Parfois même ces débris de roches peuvent être d'anciens blocs de cuirasses démantelées. Le matériau de réception où se produit l'accumulation des constituants principaux peut aussi être une véritable roche. On assiste à une pénétration des solutions du sol à travers un matériau plus ou moins poreux, et quelquefois à une véritable épigénie de certains minéraux, comme cela se produit dans les grès du FOUTA DJALLON où en certains niveaux, les ciments siliceux se trouvent remplacés par un ciment ferrugineux.

En résumé, tous les mélanges de constituants secondaires sont possibles. Et si ces corps ne contribuent pas d'une façon essentielle à la genèse de ces formations, leur étude apporte néanmoins de précieux renseignements quant à l'origine et l'histoire du cuirassement dans un site considéré.

C H A P I T R E 3

M E T H O D E S D ' E T U D E S

L'étude des processus de cuirassement impose :

- 1 - L'observation et la caractérisation des phénomènes "in situ"
- 2 - des études de laboratoire

Ces études permettent en particulier :

- de définir les échantillons ;
- de préciser leur stade d'évolution et leur histoire ;
- de comparer les échantillons entre eux ;
- de déterminer les relations entre les horizons d'un même profil ou d'une même chaîne de sols.

3 - Des essais de pédogénèse expérimentale pour confirmer les relations déduites de l'analyse.

En pédologie, l'étude du sol en place est la base de tout travail. L'examen du profil fournit les données essentielles autour desquelles gravitent toutes les recherches. On n'insistera jamais assez sur l'importance d'une bonne observation sur le terrain.

I. OBSERVATIONS

Il est possible de distinguer entre les études sur le terrain qui sont le plus souvent qualitatives, des études de laboratoire qui permettent de chiffrer les données de l'observation. En A.O.F. où les conditions de

prospections sont rendues fort pénibles du fait des températures élevées et de l'intensité des précipitations:

- il est fréquemment impossible de procéder à des mesures sur place. On limite celles-ci à l'essentiel, c'est-à-dire au profil, en réservant pour le laboratoire, tout ce qui concerne l'étude des échantillons.

A. OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN -

- Le premier problème qui se pose est la nécessité de localiser l'observation. Cela n'est pas toujours facile. Le réseau routier est très lâche, et la plupart des observations se font en dehors des voies carrossables. On manque généralement de points de repère, et dans bien des cas, il faut avoir recours à un chainage rapide du chemin parcouru.

Le relevé d'après les cartes topographiques actuelles, n'est pas toujours aisé. L'échelle (1/200.000) et le manque de détail ne s'y prêtent guère. Cependant, depuis ces dernières années, la photographie aérienne est venue apporter un document de travail excessivement précis et intéressant, et il en est fait largement usage. Actuellement, le territoire de la GUINEE est entièrement couvert par plusieurs missions aériennes. L'étude, en vision stéréoscopique, des régions à prospector permet de se faire, de prime abord, des idées fort précises sur la topographie, les affleurements rocheux, les types de végétation et souvent même sur les principaux types de sols. En particulier, le cuirassement des sols s'observe avec facilité. Les limites des affleurements cuirassés sont très nettes. En cartographie, ces documents photographiques sont exploités systématiquement. D'autre part, l'examen des photographies aériennes indique les zones les plus intéressantes à prospector, permet de préciser les voies de pénétration et apportent donc un gain de temps appréciable.

- Un second point important à préciser est la datation de l'observation.

Dans les régions étudiées, à saisons bien tranchées, cette précision est d'une extrême importance, non seulement pour la signification des peu-

lements végétaux, mais également pour la valeur de l'échantillonnage. Les fortes variations climatiques provoquent des modifications écologiques considérables : fluctuation d'une nappe phréatique par exemple, variation d'un niveau de base pour le drainage, variations de l'acidité pH qui dépasse souvent plus de une unité, évolution au cours de l'année de l'activité biologique influant sur les teneurs en carbone, azote, etc... Ces variations impliquent l'étude des processus contemporains de formation et d'évolution des sols, notion mise en valeur tout récemment encore par A.A. RODE, I.N. SKRYNNIKOVA et E.A. AFANASSIEVA (1946). Il est indispensable d'en tenir compte dans l'interprétation des résultats analytiques fournis par les échantillons prélevés.

- Ces points acquis, il est indispensable alors de caractériser le milieu.

Généralement, l'étude sur documents, qui précède toute prospection, permet de préciser un certain nombre de données sur le climat, la topographie, la végétation etc.. Mais celle-ci demande à être complétée à l'échelon local, le réseau d'observations météorologiques étant très lâche en A.O.F. Or, le cuirassement des sols, dans ses processus actuels, s'étudie essentiellement à l'échelle du site, dont il convient de préciser, dans la mesure du possible, les conditions spécifiques.

1. Climat -

Quand cela est possible, les études du microclimat et surtout du climat du sol sont abordées : températures et humidités à différentes profondeurs et sous différentes conditions.

2. Topographie -

On s'attache plus spécialement aux mesures des variations de pourcentage de pente et des décrochements de reliefs, en relation avec la mise en place du cuirassement dans le paysage.

3. Géologie -

La reconnaissance des différentes formations géologiques qui donnent naissance aux sols, pose un problème souvent difficile à résoudre par nos seuls moyens. D'une part, l'épaisseur des sols, l'intensité des phénomènes d'altération et de cuirassement masquent d'une façon presque parfaite les roches fraîches sous-jacentes ; d'autre part, la profondeur du front d'altération, le remaniement plus ou moins prononcé des horizons meubles de surface rend d'une complexité extrême l'étude des relations sols/matériau originel. On observe, cependant, dans certains cas, quelques relations assez précises entre roches fraîches et cuirasses : intensité du cuirassement par exemple, richesse en tel ou tel élément, débris de roches figés par des imprégnations d'hydroxydes, etc..

D'une façon générale, une collaboration étroite avec les géologues est toujours efficace.

4. Hydrographie -

Cette étude est particulièrement importante. Elle permet de déterminer les conditions et l'intensité du drainage naturel, les niveaux de base, les directions privilégiées d'évacuation des eaux sauvages qui orientent l'érosion des sols, la circulation des eaux souterraines, toutes causes qui influent sur les mouvements des hydroxydes dans le sol.

5. Végétation -

Le cuirassement présente d'étroites relations avec l'évolution de la matière organique restituée au sol par la végétation. La caractérisation de celle-ci est un excellent reflet de l'évolution des sols. L'aspect des peuplements végétaux dans le paysage, les différentes associations permettent de préciser, dans une certaine mesure, l'intensité et le sens des phénomènes de cuirassement. L'étude de l'enracinement des plantes apporte, de plus, des précisions importantes quant à la texture physique des niveaux indurés et à leur régime hydrique.

6. Autres facteurs biologiques -

L'action des termites influe considérablement sur la reprise de la

végétation à la surface des cuirasses. Ces animalicules provoquent des remontées parfois très appréciables d'éléments fins, enrichis en chaux et en acide phosphorique, éléments qui participent à la formation de sols secondaires et qui permettent le développement de certains peuplements végétaux caractéristiques (CHEVALIER, 1949). Les vers à terre, surtout dans les plaines basses inondables, contribuent à un remaniement fort important des horizons de surface des sols qu'ils homogénéisent.

7. Erosion -

Il est utile de préciser le type, l'intensité, l'étendue des phénomènes d'érosion hydrique qui agissent sur les sols en voie de cuirassement ; de déterminer les zones de décapage et d'épandage ; de définir le rôle des actions humaines dans la marche de ce phénomène. Sur ce dernier point, en particulier, il semble que trop souvent, on ait voulu rechercher une action anthropique à l'origine de tout phénomène d'érosion. Sans nier cette action qui est actuellement considérable dans le Massif du FOUTA-DJALLON, l'érosion naturelle, en milieu tropical, peut atteindre une très forte intensité qui contrebalance en partie l'altération chimique profonde. La plupart des sols sont fortement remaniés dans leurs horizons de surface, et ceci d'une façon presque générale. Dans certains cas, l'érosion ne doit pas seulement être considérée comme un facteur de dégradation, mais également comme un facteur de formation des sols (MAIGNIEN, 1948).

8. Actions anthropiques -

L'étude des phénomènes de cuirassement actuels implique de préciser de façon suffisamment fine les modes d'utilisation du sol par l'homme. Ces utilisations provoquent dans la plupart des cas de profondes modifications qui peuvent avoir une influence sensible sur le dynamisme de l'induration, en particulier par son action sur la vie microbienne.

Le maximum de ces données recueillies sur place, permettent de faire des rapprochements utiles entre les différents facteurs du milieu, la formation et l'évolution du cuirassement dans les sols étudiés. Ces éléments précisent les caractéristiques d'identité et de corrélation entre ces différents processus.

- L'étude du milieu étant succinctement esquissée, il importe ensuite d'étudier le cuirassement dans le paysage. Du fait que le cuirassement intéresse non seulement un type de sol particulier, mais généralement tout un ensemble caractéristique d'un milieu donné, il devient nécessaire de déterminer l'étendue du phénomène, son intensité et son développement en fonction du modelé. L'étude des affleurements, leurs différents niveaux, leur épaisseur, leur origine, leur cause, leur évolution (extension, dégradation), leur surface, apportent autant de faits qui précisent le problème à résoudre.

- Ces données générales acquises, l'étude pédologique du profil commence.

1. Choix du profil -

Ce choix est très important. Trop souvent, en effet, le chercheur est attiré par le cas particulier et néglige ce qui est général. Il convient d'étudier un profil caractéristique du mode de cuirassement. Il faut reconnaître que cela n'est pas toujours très facile. Les affleurements de cuirasse heureusement ne manquent pas. Mais il s'agit, dans la majorité des cas, d'affleurements naturels qui représentent déjà un aspect particulier d'évolution. Les meilleures coupes restent les tranchées de chemin de fer malheureusement rares, les tranchées de routes, les carrières. Enfin, les puits indigènes, quand ils ne sont pas cimentés, et surtout les puits de prospections minières sont, en règle générale, le point de départ de toute étude du cuirassement. Les difficultés se posent essentiellement en pays fortement cuirassé. Quand on étudie ces processus à leur début, quand l'induration des horizons en voie de cuirassement n'est pas encore très poussée, il est relativement facile de creuser des tranchées pour l'examen des profils. Ce sont ces premiers stades qu'il importe de saisir pour bien comprendre l'amorce du phénomène.

2. Description du profil -

Cette description se fait suivant les méthodes habituelles aux pédologues :

- reconnaissance des différents horizons, leur nombre, leur succession, leur épaisseur ;

- étude du matériau originel qui a donné naissance au sol ; mode d'altération, remaniements, éléments étrangers au profil ;

- description de chaque échantillon : couleur d'après un code (code expolaire de CAILLEUX et TAYLOR), matière organique (quantité, degré de transformation), texture, structure (type, grosseur, degré de structuration, stabilité, macroassemblages, pores, etc..), les éléments indurés (formes, dureté, relations avec le solun), enracinement (horizons pénétrés, intensité), éléments divers pouvant caractériser le profil (niveau hydrostatique, colmatage, etc..)

3. Etude de la chaîne de sols -

Cette étude permet de préciser la mise en place des horizons cuirassés dans l'espace et à travers les différents types de sols.

Il convient de noter :

- sa position dans le paysage ;
- sa longueur, sa pente ;
- les niveaux de base (ravins, rivières, seuils, etc..);
- puis décrire les différents profils caractéristiques qui se succèdent le long de la chaîne ;
- enfin étudier les interférences qui peuvent s'observer entre ces profils.

4. Prélèvements d'échantillons -

D'une façon générale, on prélève autant d'échantillons que d'horizons reconnus. Ces échantillons sont toujours pris sur une coupe fraîche ou rafraîchie. Si les horizons sont trop épais, la partie inférieure est seule prélevée.

Quand il est possible d'exécuter un premier triage sur place, il est préférable de le faire, car le transport qui s'effectue généralement dans des conditions difficiles, provoque en tout ou en partie la destruction de la structure, avec homogénéisation d'éléments d'un même horizon, parfois très

différents. Par exemple, si l'on réalise l'échantillonnage d'une cuirasse alvéolaire, on constate que le squelette induré limite des cavités remplies de produits meubles facilement entraînables. Quand l'induration est peu prononcée, les chocs lors du transport provoquent un mélange des différents éléments entre eux dont l'analyse ne donne alors qu'une idée fort imparfaite. Il est donc indispensable, dans le cas considéré, de procéder à un premier triage sur place.

De 500 à 1000 g d'échantillon sont prélevés dans chaque cas, quantité généralement suffisante pour les différentes méthodes analytiques que ces échantillons doivent subir.

Voici quelques mesures simples et rapides qui peuvent être faites sur place :

- mesure de l'humidité par la méthode Bouyoucos, modifiée par HENIN
- mesure du pH soit par colorimétrie, soit au pHmètre portatif.

Il est souvent utile également de prélever des échantillons d'eaux soit de drainage, soit de ruissellement. Ces échantillons sont recueillis dans des bouteilles en matière plastique.

B. OBSERVATIONS ET MESURES DE LABORATOIRE -

Dès l'arrivée des échantillons au laboratoire, ceux-ci sont séchés à l'air libre et à l'ombre.

- Les échantillons meubles subissent une préparation qui consiste en un tamisage au tamis de 2 mm, après avoir été écrasés au mortier. Durant cette opération, il faut faire très attention de ne pas détruire les édifices même faiblement indurés par les hydroxydes. Il est d'ailleurs préférable de toujours conserver intacte une partie des échantillons. On détermine la couleur de la terre fine séchée à l'air, ainsi que celle des éléments minéraux du refus, ordinairement constitué de concrétions ou de gravillons. La cotation des couleurs se fait d'après le code. Ainsi traités, les échantillons sont prêts pour l'analyse.

- Les échantillons fortement indurés sont généralement traités de

façon différente. Sauf si l'on veut étudier la morphoscopie des éléments résiduels (généralement le quartz) on ne les écrase pas. On les décrit le plus minutieusement possible en notant en particulier :

- la couleur des différents éléments constitutifs et leur répartition ;
- les variations dans les formes de structure (pisolithique, scoriacée, etc..)
- les degrés d'induration des différentes phases observables.

Cet examen se complète souvent par l'observation à la loupe bino-culaire qui permet l'étude de la microstructure de ces échantillons suivant les méthodes mises au point par KUBIENA (1939). Ces observations peuvent être plus poussées encore et faire l'objet d'études microscopiques par la méthode des plaques minces. L'examen minéralogique des cuirasses a été ainsi étudié en détail par de nombreux chercheurs parmi lesquels il faut citer pour la GUINEE : LACROIX (1913), de CHETELAT (1938), JEREMINE (1939), et plus récemment L.T. ALEXANDER (1956), BONIFAS (1955), MILLOT (1955).

Si la fabrication des plaques minces est relativement facile dans des cuirasses fortement indurées, il n'en est pas de même pour les édifices faiblement évolués. De plus, l'examen microscopique est rendu très difficile par la présence de nombreux minéraux fortement altérés, de minéraux micro ou cryptocristallin à peu près indéterminables par ces méthodes. Cependant, celles-ci permettent de se faire des idées très précises sur la mise en place relative des différents constituants (expurgation ferrallitique, imprégnations secondaires, etc..). Elles sont, à ce point de vue, fort utiles.

II. ETUDES ANALYTIQUES

Ces études consistent à préciser et à chiffrer les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques des échantillons.

A. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES -

Elles complètent l'examen morphologique et sont généralement difficiles à chiffrer, les valeurs obtenues étant le plus souvent relatives. Ceci se complique encore du fait de l'hétérogénéité des échantillons. En effet, une des caractéristiques essentielles des échantillons de cuirasses est la ségrégation plus ou moins poussée des différents éléments constitutifs. La détermination de valeurs moyennes est souvent sans grand intérêt, et il est préférable de connaître les valeurs extrêmes des éléments individualisés.

Une des premières valeurs à préciser est l'induration de l'échantillon. Cette induration étant liée à la cohérence du squelette d'hydroxydes, il est préférable de déterminer les mesures sur l'échantillon global :

- résistance à l'écrasement ;
- stabilité et résistance à la dispersion ;
- densité apparente et densité réelle dont le rapport donne une idée de l'arrangement de l'édifice.

Il est parfois également utile de mesurer la dureté des hydroxydes individualisés, ce qui permet de préciser certaines relations avec les degrés d'hydratation ou de cristallisation de ces matériaux.

Ceci étant, il est indispensable d'isoler chaque constituant en vue de son analyse. La forte induration de certaines cuirasses rend difficile cette opération. Différentes méthodes peuvent être employées qui sont normalement appliquées à l'étude des roches :

- broyage et triage à la main ;
- méthode de séparation aux liqueurs lourdes ;
- méthodes magnétiques, etc...

Les mesures de sensibilité magnétique appliquées à l'étude de l'évolution des hydroxydes du sol semblent devoir apporter un certain nombre de données intéressantes (LE BORGNE, 1954). D'après des travaux récents, cette sensibilité paraît liée au degré d'oxydation des éléments texturaux du sol (essentiellement les éléments fins). Elle se trouve liée au potentiel d'oxydo-réduction, dont le rôle est important dans le dynamisme du cuirassement des sols.

B. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES -

Voici succinctement décrites, les principaux modes d'attaques chimiques employés pour ce travail. Ordinairement ces attaques se font :

- soit sur un échantillon moyen quand l'horizon est relativement meuble ;
- soit sur un élément individualisé ;
- soit sur des parties fines inférieures à 1 μ

L'attaque par différents solvants, de ces échantillons, doit permettre au moyen de l'analyse des solutions obtenues, d'acquérir une connaissance du matériau aussi proche que possible de la réalité dynamique du processus de formation. Quand le matériau est homogène, le problème est relativement facile à résoudre. Ainsi les particules < 1 μ sont attaquées généralement par fusion alcaline. Mais cette méthode trop brutale ne donne aucune précision quant aux hydroxydes de fer adsorbés sur les argiles et est incapable de séparer la silice libre de la silice des silicates. Le problème se complique davantage lorsque l'on traite des échantillons de cuirasses. En effet, on peut y trouver des minéraux résiduels difficilement altérables, des minéraux de néoformation, des apports extérieurs étrangers à la formation de l'horizon induré. Il s'agit d'exécuter alors une série d'attaques spécifiques qui ont la propriété de séparer la plupart de ces éléments.

J'ai utilisé de préférence la méthode de HARRISSON (1933) modifiée par BAEYENS (1938) dite méthode aux trois acides. La grande majorité des sels, des oxydes et des silicates sont digérés et le reliquat est formé presque essentiellement par la silice du quartz.

Parmi d'autres méthodes couramment employées, citons :

- les dosages du fer libre ;
- les mesures du pH ;
- différentes méthodes permettant de caractériser la matière organique ;
- le dosage des éléments échangeables etc...

C. CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES -

Celles-ci ont déjà été précisées dans une certaine mesure lors de l'examen des plaques minces. Mais la présence d'oxydes hydratés cryptocristallins, d'agrégats terreux, limite ces investigations. Fort heureusement, de nouvelles méthodes permettent de résoudre en grande partie ce problème : les argiles et les différents oxydes hydratés sont déterminés à la thermobalance, par analyse thermique différentielle, par l'étude des diagrammes de rayons X.

Enfin, l'utilisation du microscope électronique permet de préciser la forme et la structure d'argiles tropicales et leur comportement vis-à-vis des sesquioxydes de fer.

Aucune de ces méthodes n'est spécifique, mais la convergence des résultats permet de connaître avec suffisamment de précision, les matériaux analysés. Toutes ces méthodes se complètent. Et si elles ne sont pas employées systématiquement sur tous les échantillons, leur application à certains cas bien caractérisés apporte une contribution importante à la compréhension des processus de cuirassement dans les sols.

III. ESSAIS DE PEDOGENESE

La connaissance du matériau et de son milieu permet d'interpréter certains faits et d'avancer des hypothèses qu'il est nécessaire de vérifier sur le terrain et même mieux, par des essais expérimentaux, au laboratoire. Si de nombreux points sont acquis, le domaine des études liées à la pédogénèse reste très vaste.

Voici brièvement signalés, les sujets les plus couramment étudiés actuellement :

- étude de l'adsorption des hydroxydes de fer sur les argiles (FRIPIAT - D'HOORE, 1954).

- altération artificielle des minéraux (CAILLIERE - HENIN - BIROT)
- transformation et synthèses des argiles (CAILLIERE - HENIN)
- étude des complexants pseudo-solubles des sesquioxides en relation avec la silice (BASTISSE), la matière organique (BLOOMFIELD), les fermentations du sol (BETREMIEUX) ;

Enfin, un certain nombre de chercheurs ont pu reproduire au laboratoire des processus typiquement pédologiques (HENIN - BETREMIEUX), tels que :

- migration du fer et du manganèse ;
- formation artificielle des cuirasses ;
- création de niveaux de gley.

Ainsi se trouvent précisés chaque jour davantage les principaux phénomènes caractéristiques du dynamisme des sols, qui permettent une interprétation valable du cuirassement en milieu tropical.

C H A P I T R E 4

LE MILIEU NATUREL

I. CADRE GEOGRAPHIQUE

La GUINEE FRANCAISE fait administrativement partie du groupe des Territoires de l'Afrique Occidentale Française.

Elle est limitée : au nord par la GUINEE PORTUGAISE et le territoire du SENEGAL ; au nord et à l'est par le SOUDAN FRANCAIS ; à l'est par la COTE d'IVOIRE ; au sud et au sud-est par la République du LIBERIA et les possessions Britanniques de SIERRA LEONE ; à l'ouest par la Côte de l'Atlantique.

La GUINEE FRANCAISE s'étend du 12°30 au 8° de latitude nord et du 16° au 8° de longitude ouest, suivant une large bande d'orientation ouest-nord-ouest, est-sud-est. Sa surface totale est de 245.000 km².

Le territoire se divise en quatre grandes régions naturelles :

- la Basse Guinée qui forme une bande étroite parallèle à la côte ;
- la Moyenne Guinée qui comprend le Massif du FOUTA DJALLON et ses abords ;
- la Haute Guinée, qui s'ouvre sur le SOUDAN et où se développent les larges vallées du NIGER et de ses affluents ;
- la Guinée Forestière dans le sud-est du pays, région d'altitude moyenne, fortement accidentée.

II. FACTEURS CLIMATIQUES

Les éléments du climat sont parmi les principaux facteurs de la pédogénèse. Deux aspects sont à considérer : le climat atmosphérique, et le climat du sol. Le premier implique la connaissance de tous les éléments météorologiques : températures, vent, évaporation, humidité, précipitations, insolation, etc.. du plus grand nombre de points possibles. Leurs sommes permettent de caractériser un certain nombre de climats atmosphériques.

Le climat du sol, ou pédoclimat, diffère du climat atmosphérique en ce sens qu'il est en partie une conséquence de celui-ci, il dépend également des matériaux sur lesquels les éléments météorologiques agissent. L'interférence de ces deux facteurs impose au pédoclimat une originalité qui dépend de l'évolution même du sol. Par exemple un sol rouge n'absorbe pas les mêmes radiations qu'un sol noir, et l'albedo différent, de ces deux types de sols, modifie de façon appréciable les caractéristiques climatiques au voisinage du sol (BERNARD, 1949). D'autre part le sol, du moins dans ses horizons proches de la surface, est le siège d'une activité biologique intense : action des racines sur les teneurs en eau, protection des végétaux contre l'insolation, l'évaporation, réactions endo ou exothermiques liées à la vie microbienne et aux processus physico-chimiques. Il s'établit ainsi un équilibre entre les conditions atmosphériques, les activités biologiques et tous les processus pédogénétiques en général qui donnent au pédoclimat son originalité.

Lorsque l'on passe du milieu atmosphérique au matériau originel qui donne naissance au sol, on constate de profondes variations dans les caractéristiques du milieu, et l'on peut distinguer plusieurs variétés de climats que MOHR et VAN BAREN (1954) schématisent de la façon suivante :

Climat	{	climat	{ climat atmosphérique normal	} bioclimat de la biosphère
		atmosphérique	{ climat près de la surface du sol	
		climat du sol	{ climat du sol à activité biologique	
			{ climat du sol sans activité biologique	

Les connaissances sur les éléments du pédoclimat en GUINEE FRANCAISE sont encore trop fragmentaires pour qu'il soit possible de synthétiser les principaux types. Aussi avant de donner quelques valeurs caractéristiques, il semble préférable de décrire succinctement les principaux bioclimats guinéens, suivant les données appliquées par AUBREVILLE (1949) - relation climat atmosphérique x végétation - dont les aires correspondent approximativement aux grands groupes de sols de GUINEE.

Il est possible de distinguer deux grandes catégories de climats, l'une qui correspond au domaine de la forêt humide, l'autre à celui des forêts sèches.

A. - CLIMAT TROPICAL HUMIDE OU GUINEEN FORESTIER (GF) -

Il couvre toute la Guinée Forestière.

Ce climat se caractérise par une grande uniformité de la température et de l'humidité atmosphérique dans le temps et dans l'espace. La pluviosité est élevée.

- Caractéristiques générales :

- température moyenne annuelle 24°5 à 27°2

Amplitudes thermiques toujours faibles et même souvent très faibles.

En règle générale le minimum de la température moyenne mensuelle se situe au mois d'août. Un second minimum a lieu ordinairement en janvier. Un premier maximum absolu s'observe entre février et avril. Un second maximum relatif se situe presque toujours en novembre.

- la tension moyenne annuelle de la vapeur d'eau est très élevée
20 mm.

la variation annuelle de la tension moyenne mensuelle est très faible : 2,4 à 3,5 mm.

la tension moyenne mensuelle passe presque toujours par deux maxima et deux minima.

- le déficit de saturation moyen annuel est faible et le plus souvent très faible.

Les variations sont faibles à très faibles.

- L'indice pluviométrique est élevé ou très élevé, parfois considérable.

Il est, en général, supérieur à 2.000 mm. Il n'y a qu'une seule saison vraiment sèche, Les mois très pluvieux sont au nombre de 7 à 9. La saison sèche est courte 1 à 2 mois.

En GUINEE FORESTIERE s'individualisent deux types de sous-climats particuliers :

a - Le sous climat Tomien (GF to), qui couvre le pays Tomas . C'est un climat de régions montagneuses. Il existe une courte saison sèche de 2 à 3 mois, qui ne compte qu'un mois vraiment sec en janvier. Pendant ce mois, l'harmattan, vent sec et chaud, y fait sentir son influence.

b - Le sous-climat Kissien (GF ks), qui couvre la HAUTE GUINEE du Sud-Ouest, à relief accidenté, d'altitude moyenne (300 à 600 m.). C'est une région de pluies tropicales à un seul maximum net en septembre. Il se distingue du climat Tomien par une saison sèche plus longue qui compte 2 à 3 mois secs.

PLUVIOMETRIE MENSUELLE, MOYENNES SUR 20 à 27 ANS
SUIVANT LES STATIONS

MOIS	MACENTA	N'ZEREKORE	BEYLA	KISSIDOUGOU	GUEKEDOU
JANVIER	9,4	19,2	8,4	12,0	10,9
FEVRIER	44,6	41,1	38,3	20,3	25,8
MARS	138,9	126,5	117,4	79,0	117,9
AVRIL	163,1	148,7	156,4	139,3	165,0
MAI	192,8	177,8	187,1	225,7	254,8
JUIN	252,5	202,2	217,5	296,5	275,8
JUILLET	496,7	224,3	233,4	271,2	278,0
AOÛT	578,2	297,0	264,3	322,5	370,3
SEPTEMBRE	402,1	339,1	286,5	317,0	367,5
OCTOBRE	250,4	226,8	177,4	276,5	278,5
NOVEMBRE	153,9	86,8	85,0	116,6	147,4
DECEMBRE	50,3	30,8	25,7	16,3	33,7
TOTAL ...	2.732,9	1.920,3	1.797,4	2.092,9	2.325,6

B. - CLIMAT SOUDANO-GUINEEN (SG)

C'est un des climats types de l'Afrique Tropicale. Cette zone climatique qui couvre la majorité du territoire de la GUINEE est prolongée jusqu'à l'Atlantique par les aires des climats guinéen-maritime et guinéen-foutanien qui peuvent être considérés comme des variétés maritime et montagnarde du climat soudano-guinéen.

Toujours d'après AUBREVILLE , les caractéristiques principales de ce climat sont les suivantes :

- température moyenne annuelle 24° 5 à 28°2
 " " mensuelle, min. ... 21° à 27°
 max. ... 26° à 32°

Amplitudes thermiques faibles.

En général, il existe deux minima, le premier se situe ordinairement en janvier et le second en août.

- la tension de vapeur d'eau moyenne est faible : annuellement, 14,9 à 17 mm.

les variations annuelles : 9,5 à 12,7 mm. sont fortes

les minima se situent en janvier et les maxima entre avril et septembre.

- le déficit de saturation moyen annuel est fort 7 à 12 mm.

les variations annuelles sont également fortes et même très fortes : 7 à 17 mm. Le maximum se situe ordinairement en février.

- l'indice pluviométrique est moyen à élevé : 950 à 1.750 mm. Il n'existe qu'une saison des pluies dont le maximum se situe généralement en août-septembre. Ordinairement, la saison sèche est de durée moyenne (4 à 5 mois), la saison des pluies moyenne (5 mois), plus rarement peut atteindre 7 mois.

a - Climat guinéen-maritime (Gm) : Les caractéristiques du climat soudano-guinéen se retrouvent, mais la proximité de l'Océan accentue le contraste entre saison sèche et saison des pluies. Au mois de mai, il y a apparition brutale des pluies de mousson qui s'arrêtent brusquement en

en novembre. Il en résulte une très nette atténuation de la tension en vapeur d'eau et des variations du déficit de saturation.

- Caractéristiques générales :

- Température moyenne annuelle 25°5
amplitude thermique faible 3 à 4°5
maxima absolus en avril-mai - minima en août
- Tension de la vapeur d'eau moyenne annuelle 19 à 20,5 mm forte à très élevée.
Variation annuelle : très faible à CONAKRY : 2,1 mm
faible à BOKE : 5,5 mm.
minima absolus en janvier.
- déficit de saturation moyen annuel faible à moyen : 4,4 à 5,5 mm.
variation annuelle faible ou moyenne : 4 à 6,2 mm.
- Indice pluviométrique très élevé et souvent considérable 1.950 à 4.500 mm.
Certaines stations (CONAKRY, KAROULIMA) reçoivent plus d'un mètre d'eau au cours des pluies des mois de juillet et août.
Indices de saisons pluviométriques : 5-1-6, 5-2-5 plus rarement 6-1-5.

b - Climat guinéen-foutanien (Gf) : C'est un type de sous-climat montagnard du climat soudano-guinéen. Il se caractérise, pendant la saison des pluies, par un arrosage intense des pluies de mousson et pendant la saison sèche, par l'influence desséchante de l'harmattan. Ces deux saisons sont bien contrastées ; cependant des brouillards de montagne modèrent l'aridité de la saison sèche.

- Caractéristiques générales :

- Température moyenne annuelle 20°4 à 23°2
amplitude thermique faible ou moyenne 4°7 à 6°
deux minima en décembre et en août (absolu) - Maxima - (absolu) en mars-avril et en octobre-novembre.
Présence d'une saison fraîche durant de 6 à 7 mois, correspondant

à la fin de la saison des pluies et au début de saison sèche.

- Tension de vapeur d'eau moyenne annuelle : 10 à 15 mm.

Variation annuelle également moyenne : 12,9 à 17 mm.

- Déficit de saturation moyen annuel : 6 à 7 mm.

Variation annuelle forte à très forte : 8 à 11,4 mm.

- Indice pluviométrique très élevé : 1.800 à 2.050 mm.

Indice de saison pluvieuse : 6-2-4. Donc durée moyenne de la saison sèche et assez longue de la saison des pluies.

STATIONS TYPES

- CLIMAT SOUDANO-GUINEEN KOUROUSSA : 403 m. alt. 10°38' lat. 9°52' long. -

MOIS	PLUIES	TEMPERATURE	TENSION VAPEUR EAU	DEFICIT SATURATION
JANVIER	6	23,8	9	11,9
FEVRIER	11	26,8	11	12,8
MARS	13	23,7	10,1	10
AVRIL	72	28,8	16,6	8,5
MAI	113	28,2	18,7	6,9
JUIN	231	25,8	17,3	5,5
JUILLET	273	24,7	17,1	3,8
AOUT	305	24	17,2	2,9
SEPTEMBRE	345	24,9	17,9	3,2
OCTOBRE	176	25,9	17,6	4,9
NOVEMBRE	22	25,1	14,7	7,3
DECEMBRE	5	22,8	10,3	9,7
MOYENNE ANN.	1.571	25°8	14,9 mm.	7,3 mm.

CLIMAT GUINEEN MARITIME BOKE : 49 m. alt. 10°56' lat. 14°18' long.

MOIS	PLUIES	TEMPERATURE	TENSION VAPEUR D'EAU	DEFICIT SATURATION
JANVIER	1	24,5	16	6,8
FEVRIER	0	25,4	18,1	5,9
MARS	0	26,5	18,5	7,2
AVRIL	6	28	20	8
MAI	80	27,9	20,6	7,3
JUIN	328	25,7	21,5	3
JUILLET	635	24,8	21,4	1,8
AOUT	772	23,7	20	1,8
SEPTEMBRE	578	24,6	20,7	2,3
OCTOBRE	446	25,2	21,4	2,4
NOVEMBRE	73	25,1	21,4	2,3
DECEMBRE	3	24,1	17,3	5
MOYENNE ANN.	2,942 mm	25°5	19,1 mm	4,4 mm

CLIMAT GUINEEN FOUTANIEEN MAMOU : 758 m. alt. 10°22' lat. 12°05' long.

MOIS	PLUIES	TEMPERATURE	TENSION VAPEUR D'EAU	DEFICIT SATURATION
JANVIER	4	22,4	9,8	10,3
FEVRIER	8	24	11,9	10,2
MARS	32	25,6	13,9	10,5
AVRIL	117	25,7	16,2	8,3
MAI	187	24,6	17,4	5,5
JUIN	278	23,1	17	4
JUILLET	313	22,2	16,9	3
AOUT	436	21,7	16,8	2,5
SEPTEMBRE	373	22,3	17	3
OCTOBRE	346	22,4	16,9	3,2
NOVEMBRE	63	22,4	14,8	5,3
DECEMBRE	8	21,6	11,6	7,5
MOYENNE ANN.	2,065 mm	23°2	15,1 mm	6 mm

ECHELLES DE QUALIFICATIONS BIOCLIMATOLOGIQUES DES ELEMENTS

METEOROLOGIQUES

		Saison
Saisons thermiques	(Un ou plusieurs mois à température moyenne comprise entre inférieure à)	20°-23° assez fraîche 15°-20° fraîche 10°-15° assez froide 10° froide
Amplitude thermique de la température moyenne mensuelle at	(Exceptionnelle Très forte Forte Moyenne Faible Très faible)	15° 11°-15° 7°-11° 5°-7° 3°-5° 3°
Tension de la vapeur d'eau moyenne annuelle ou mensuelle fa, fm	(Très élevée Forte Moyenne Faible)	20 mm 15-20 10-15 10
Amplitude de la tension de la vapeur d'eau moyenne mensuelle af	(Excessive Très forte Forte Moyenne Faible Très faible)	15 mm 10-15 7-10 5-7 3-5 3
Déficit de saturation moyen annuel ou mensuel Ds, Dsm et amplitude du déficit de saturation moyen mensuel a Ds	(Excessif Très fort Fort Moyen Faible Très faible)	15 mm 10-15 7-10 5-7 3-5 3
Indice pluviométrique I	(Considérable Très élevé Élevé Moyen Faible Très faible Subdésertique Désertique)	2.500 mm 1.800-2.500 1.400-1.800 1.000-1.400 600-1.000 400- 600 200- 400 200

Durée de la sécheresse comptée en nombre de mois écologiquement secs (30 mm)	(Excessive	10-12 mois
	(Très longue	8- 9
	(Longue	7
	(Assez longue	6
	(Moyenne	4- 5
	(Courte	3
	(Très courte	1- 2
	(Nulle	0
Durée de la saison de grande pluviosité, comptée en nombre de mois très pluvieux (100 mm)	(Très longue	10-12 mois
	(Longue	7- 9
	(Assez longue	6
	(Moyenne	5
	(Courte	3- 4
	(Très courte	1- 2
	(Nulle	0

(D'après AUBREVILLE (1949) : "Climats, Forêts et Désertification
de l'Afrique Tropicale").

QUELQUES DONNEES SUR LES ELEMENTS DES PEDOCIMATS EN GUINEE FRANCAISE

-:-:-:-

La multiplicité des facteurs qui influent sur le climat du sol montre la complexité de la notion de pédoclimat. Le manque de données ne permet pas de le mesurer comme une entité. Mais il est possible d'isoler et de chiffrer un certain nombre de caractéristiques : températures, teneurs en eau, composition de l'atmosphère du sol, qui introduisent à la connaissance des pédoclimats.

1. Température -

La température du sol a pour principale origine l'absorption des radiations solaires qui lui parviennent, d'où l'importance de la couverture du sol. Ces faits se trouvent concrétisés par les diagrammes ci-joints déterminés par DEMONBYNE au Centre de Recherches Agronomiques de BAMBEY (Sénégal), par COINTEPAS à la Station de SEFA en CASAMANCE, et par GEURTZ à ADIOPODOUME (Côte d'Ivoire).

On constate, comme en pays tempérés, que les fluctuations de la température s'amortissent rapidement avec la profondeur, et montrent toujours un léger déphasage dans le temps. Mais les intensités sont d'un tout autre ordre de grandeur. En particulier en régions de savane, sur sol nu, l'inso-lation se fait sentir à plus de 1 mètre de profondeur.

L'action de la couverture du sol est d'une extrême importance, car elle maintient l'activité microbiologique à un degré normal. En sol nu, les températures atteintes limitent presque entièrement la vie microbienne. Sur certaines cuirasses des températures de plus de 70° ont été mesurées.

A TIANGEL BORI (Guinée Française), par une journée peu ensoleillée (Avril 1951), les résultats suivants ont été obtenus (D'HOORE, 1954) :

	<u>profondeur</u>	<u>8 h.</u>	<u>11 h.</u>	<u>14 h.</u>
Cuirasse dénudée	1 cm	26°8	44°0	53°5
	10 cm	27°5	31°7	36°8
Cuirasse sous végétation herbacée	1 cm	24°7	41°5	50°4
	10 cm	27°8	32°9	40°1
	20 cm	27°5	33°4	41°1
bosquet arbustif	1 cm	21°6	22°7	26°9
	10 cm	23°0	22°9	24°8
	20 cm	23°8	23°8	25°4
température de l'air		22°2	28°3	36°0

La couleur du sol joue également un rôle très sensible. C'est ainsi que si le rayonnement apparaît à peu près identique suivant les sols, l'absorption est d'autant plus forte que le sol est plus foncé et plus rouge comme le montrent les tableaux suivants.

1. - 1955 - Températures moyennes annuelles à 15 h. (C.R.A. de BAMBEY)

-:-:-:-

	<u>Janvier</u>	<u>Juin</u>	<u>Août</u>
Sol dior, beige grisâtre + 20 cm	38°	44°	35°
0 cm	38°	53°	35°
Sol dek, brun foncé + 20 cm	40°	44°	35°
0 cm	53°	54°	37°

2. - Températures moyennes annuelles du 1/7/1955 au 1/7/1956 (COINTEPAS) à SEFA (Casamance), sur sol ferrugineux tropical lessivé de couleur beige

t° moyenne de l'air sous abri	27°2
t° moyenne sous culture d'arachide - 10 cm	31°
- 60 cm	30°5
- 110 cm	30°8
t° moyenne sous forêt sèche	- 10 cm
- 60 cm	26°0
	26°6

3. - Températures moyennes mensuelles (Mars 1956) à ADIOPODOUME sur sol rouge (GEURTZ).

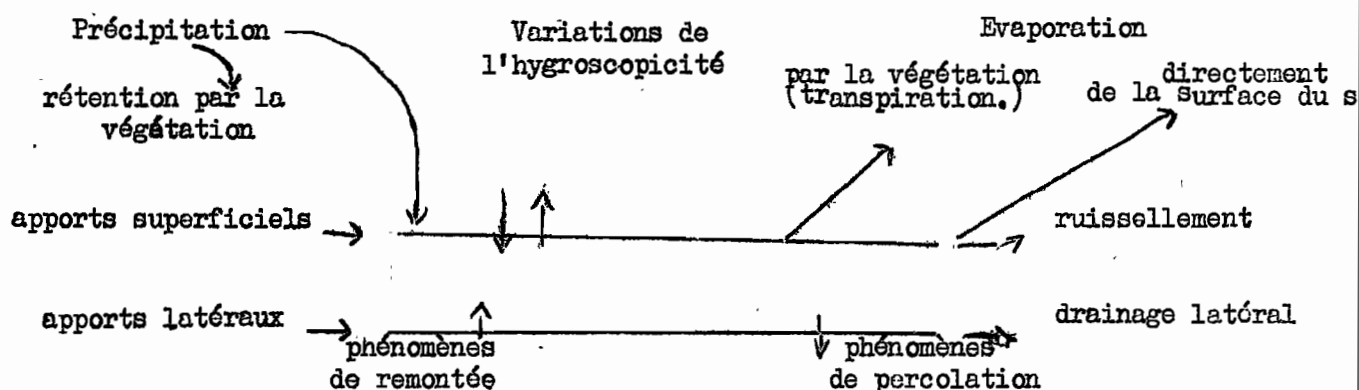
profondeur	moyenne maximum		moyenne minimum	
	sol nu	couverture morte	sol nu	couverture morte
+ 8 cm		50°		18°8
+ 6 cm		50°		20°6
+ 4 cm		47°		22°9
+ 2 cm		33°7		25°1
0	50°	30°4	23°6	26°2
- 5 cm	39°3	28°8	25°7	27°0
- 10 cm	37°8	28°5	26°6	27°1
- 20 cm	34°9	28°9	28°2	27°2
- 30 cm	32°9		28°8	

En résumé la température du sol est toujours fort élevée en profondeur 25 à 35°. Les variations dans les horizons de surface sont surtout fonction de la couverture. Elles sont excessives en sol nu pour s'amortir avec la profondeur. A partir de 2 mètres ces variations deviennent négligeables (RIQUIER, 1954).

2. Humidité du sol -

La connaissance du bilan hydrique est essentiel pour la compréhension des processus d'évolution des sols tropicaux. En particulier les mouvements de l'eau dans les sols permettent de préciser les conditions de mobilisation des constituants des cuirasses. Le bilan hydrique dépend, dans une large mesure, du régime des précipitations. Cependant les apports latéraux ou de surface (drainage oblique, mouvements de nappes phréatiques, inondations) modifient ceux dûs aux seules conditions climatiques. D'autre part les processus d'évapotranspiration fort importants sous les climats tropicaux, contribuent pour une large part à l'économie en eau des sols.

MOHR et VAN BAREN (1954) ont résumé les gains et les pertes en eau par le schéma ci-après :



a - Rôle du régime de précipitations en pays Guinéen -

En dehors des quantités totales d'eau précipitées qui de 1.500 mm en moyenne en HAUTE GUINEE, dépassent 4.000 mm en BASSES GUINEE, et de la répartition annuelle en deux saisons bien tranchées plus ou moins longues, trois caractéristiques des précipitations influent de façon essentielle le bilan hydrique des sols :

- la quantité d'eau tombée en une seule fois ;
- l'intensité des précipitations ;
- la répétition de ces dernières.

Ce sont ces données résumées, dans le tableau ci-joint qui règlent le processus du drainage et de ruissellement des sols.

En GUINEE FRANCAISE les saisons sèches se caractérisent par une insolation intense qui, liée à une forte ventilation par vents secs et chauds (harmattan), provoque une évaporation excessive à la surface du sol.

Evaporation en mm - Moyennes quotidiennes 1954.

-:-:-:-

MOIS	KANKAN	CONAKRY	LABE	MANOU	MACENTA
JANVIER	8,0	9,5	9,5	6,3	2,1
FEVRIER	8,1	4,3	8,5	7,0	2,4
MARS	6,1	5,3	10,2	6,8	1,6
AVRIL	4,9	4,8	6,6	3,6	1,5
MAI	4,2	3,4	4,7	2,5	1,5
JUIN	2,5	1,8	2,1	1,5	1,1
JUILLET	2,0	1,3	1,6	0,9	0,9
AOUT	1,8	1,2	1,3	0,7	0,8

SERVICE^MMETEOROLOGIQUE FEDERAL DE L'A.O.F.

NOMBRE DE JOURS DE FORTES PLUIES

Moyennes sur la période 1920-1949

GUINEE	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	
<u>CONAKRY</u>	50 mm	0	0	0,03	0,03	0,45	12,38	16,25	16,55	13,31	10,93	10,45	10,14	120,52
359,5 (12/8/1933)	100 mm	0	0	0	0	0,03	10,75	12,59	11,48	10,97	10,24	0	0	6,07
précipitation maximum	200 mm	0	0	0	0	0	0,31	10,10	10,03	0	0	0	0	0,44
<u>DABOLA</u>	50 mm	0,04	0	0	0,14	0,43	0,32	0,64	11,44	10,58	10,31	10,08	0	13,98
135,0 (14/8/1922)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0	10,15	10,04	0	0	0	0,19
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>FORECARTAH</u>	50 mm	0	0	0	0,07	0,57	0,88	13,78	15,37	12,33	10,85	10,17	0,04	114,06
247,0 (3/9/1931)	100 mm	0	0	0	0	0	0	10,04	10,59	11,22	10,54	10,15	0	2,54
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	10,11	10,12	0	0	0	0,23
<u>KANKAN</u>	50 mm	0	0,03	0,14	0,21	0,11	0,41	0,53	11,48	11,00	10,34	10,03	0	4,78
171,0 (1/9/1933)	100 mm	0	0,03	0	0,03	0	0	0	10,21	10,17	10,21	10,03	0	0,68
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>KINDIA</u>	50 mm	0	0	0	0,07	0,23	0,37	0,87	11,10	10,77	10,17	10,07	0	3,65
132,5 (8/9/1939)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0	10,03	0	0	0	0	0,03
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>LABE</u>	50 mm	0	0	0,04	0,04	0,21	0,43	0,75	11,18	10,75	10,39	10,04	0	3,83
165,0 (20/7/1937)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0,07	10,07	10,04	0	0	0	0,18
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>MALI</u>	50 mm	0	0	0	0,12	0,44	0,40	0,64	11,88	10,61	10,38	10,43	0	4,90
167,0 (22/4 et 18/5/1923)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0,03	10,17	10,13	0	0	0	0,38
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>MAMOU</u>	50 mm	0	0,07	0,04	0,18	0,42	0,32	0,61	11,20	10,36	10,28	10,10	0,04	4,12
170,0 (1/5/1931)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0	10,17	10,10	0	0	0	0,27
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>PITA</u>	50 mm	0	0	0	0,11	0,22	0,50	11,04	11,07	10,57	10,14	10,11	0,04	3,80
138,0 (17/8/1948)	100 mm	0	0	0	0	0	0	10,07	10,04	10,07	0	0	0	0,18
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>SIGUIRI</u>	50 mm	0	0	0	0	0,14	0,39	0,79	11,21	11,00	10,18	10,04	0,04	3,79
179,8 (23/7/1939)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0,07	10,04	10,07	0	0	0	0,18
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>TELIBELE</u>	50 mm	0	0	0	0,15	0,35	0,69	11,85	12,54	10,85	10,35	10,12	0	6,90
164,5 (27/6/1924)	100 mm	0	0	0	0	0	0	10,12	10,12	10,31	10,08	0	0	0,63
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

L'action protectrice de la végétation importante en périodes humides, disparaît à peu près complètement en saison sèche, en raison de sa nature caducifoliée (sauf pour la forêt humide) et du fait des feux de brousse.

Il en résulte pour les sols, une humidité excessive en saison des pluies, avec colmatage, diminution du drainage et ruissellement de surface intense. Dans les horizons de surface, l'humidité dépasse le plus souvent la capacité des sols pour l'eau, d'où il découle des mouvements de percolation de haut en bas très prononcés.

En saison sèche, au contraire, le dessèchement est intense et l'humidité des sols devient inférieure à celle de leurs points de flétrissement. Il se forme une croûte en surface qui limite les phénomènes de remontées (HALLAIRES, 1953). L'épaisseur de la croûte, qui tamponne l'évaporation, atteint une valeur critique caractéristique des sols considérés.

	CAYOR	MOYENNE CASAMANCE	PLATEAU DE LABE
Teneurs en argile % ...	2-4 %	12-20 %	25-30 %
épaisseur de la croûte.	30-40 cm	100-150 cm	30-50 cm

En résumé, on observe, à l'intérieur des profils, la mise en place d'horizons à saturation permanente, en saison des pluies, et, en saison sèche, un déficit prononcé en eau. Dans ces conditions, les facteurs qui régissent les mouvements de l'eau dans le sol sont :

- en saison des pluies ceux qui règlent l'écoulement en sols saturés ;
- en saison sèche, exclusivement, ceux qui influent les mouvements en sols non saturés. Les périodes de transition, excessivement brèves, peuvent être négligées.

Les caractéristiques hydrodynamiques d'un sol sont :

- la vitesse de filtration, la porosité totale, le coefficient de perméabilité, la hauteur capillaire (HALLAIRE, 1953). Si l'on compare les valeurs de ces différentes données aux caractéristiques des précipitations guinéennes, on constate qu'elles ne sont pas suffisantes pour assurer la percolation de la lame pluviale. Il en résulte un ruissellement important à la surface du

sol. Des études sur parcelles d'érosion, dont quelques résultats sont ci-joints, montrent qu'au Sénégal, en sols sableux à 95 %, une pluie de tornade de 22 mm est suffisante pour saturer l'horizon de surface. A SEFA ces valeurs s'abaissent à 15-20 mm d'eau. A KINDIA, une pluie de 24,1 mm, tombée en 30 minutes, provoque un ruissellement de 22 % en parcelles nues, pour un sol dont la capacité au champ est de l'ordre de 15-16 % en moyenne, et la pente de 7 %.

b - Mouvements de l'eau dans les sols Guinéens -

L'intensité du ruissellement, confirme la saturation eu eau des horizons superficiels des sols guinéens pendant la saison des pluies. Les mouvements des solutions du sol sont donc ^{sous} la seule dépendance de la pression hydrostatique et de la gravité. Il en résulte des mouvements généralisés de haut en bas. Dans les sols tropicaux la mise en place fréquente d'un horizon à drainage déficient en profondeur, provoque l'addition, aux seuls mouvements verticaux "per descensum", de mouvements obliques et latéraux parallèlement à la surface. Ces mouvements sont d'autant plus prononcés que la pente motrice est plus forte et les horizons profonds plus imperméables. En général en sols saturés prédominent les translations obliques. Ces faits se concrétisent par des suintements d'eau notables au bas des pentes à l'intérieur des profils, la formations de renards dans les sols lessivés, la structure feuilletée des cuirasses.

Les causes limitant le drainage en profondeur, et favorisant les mouvements obliques de l'eau en profondeur sont très diverses :

- formation d'un horizon argileux en sols lessivés ;
- niveau édaphique imperméable (grès quartziteux, argiles, etc.) ;
- engorgement d'un horizon hydromorphe.

C'est en particulier l'importance des mouvements obliques de l'eau à travers les sols qui amène à développer la notion de "chaîne de sols".

Lorsque le sol n'est plus saturé, le potentiel capillaire seul agit. HALLAIRE (1953) a montré que lors des cycles de dessèchement-réhumectation, le débit des mouvements de l'eau est donné par l'évaporation. Il y a remontée. Mais ce débit ne peut dépasser une certaine valeur, car il se forme une croûte en surface qui tend à se mettre en équilibre d'hygroscopicité, avec l'atmosphère et où l'eau ne diffuse qu'à l'état de vapeur. Dans les sols tropicaux où les profils hydriques présentent un gradient vertical d'hétérogénéité dû à la présence d'une cuirasse, le débit tend vers une valeur telle qu'à chaque niveau l'évaporation maximum est égale à la diffusion maximum de l'horizon inférieur. La diffusion capillaire des horizons cuirassés étant beaucoup plus faible (texture grossière) que celle des horizons meubles superficiels, il en résulte la formation d'une croûte, non seulement en surface, mais également dans la partie supérieure de l'horizon cuirassé. Les remontées capillaires se trouvent fortement limitées. Le développement des racines dans les horizons superficiels accentue ce dessèchement.

En résumé, les mouvements de l'eau par remontées capillaires sont à peu près négligeables, par suite de la brutalité du dessèchement et de l'hétérogénéité des matériaux constitutifs des horizons des sols tropicaux.

Un cas à considérer est celui de la réhumectation du sol à partir de la mise en place d'un plan d'eau à l'intérieur des profils. Il est possible de vérifier que la frange capillaire ne peut excéder une certaine hauteur de l'ordre de 30 cm pour des sables, et qui ne dépasse pas 100-150 cm dans les argiles. Pour que ces processus de remontées aient un effet appréciable, il est nécessaire que le sol reste constamment humide et que le plan d'eau se maintienne à un certain niveau (c'est le cas de certaines alluvions).

c - Bilan Hydrique -

En dehors des pertes par ruissellement superficiel, le bilan hydrique dépend : du pouvoir de rétention du sol, de sa perméabilité, de l'importance de l'évaporation soit en surface, soit par le canal de la végétation. Des mesures physiques permettent de préciser quelques valeurs critiques des sols : capacité au champ, perméabilité, point de flétrissement, etc... Les quantités d'eau fournies aux sols étant supérieures à leur capacité de rétention, il est possible de déterminer les quantités d'eau qui sont exportées hors des profils. Le drainage d'un sol se mesure expérimentalement en cases lysimétriques. Mais de telles expériences sont extrêmement rares en AFRIQUE NOIRE. Voici quelques résultats tirés des valeurs obtenues par FAURE sur les cases lysimétriques du C.R.A. de BAMBEY qui fonctionnent depuis quelques années déjà.

- Résultats obtenus en 1955 : Pluviométrie de 650 mm.

Deux types de sols : Dior (sol ferrugineux peu lessivé, (	{ 4 répétitions.
très sableux)	
Dek (sol hydrocalcimorphe brun plus argileux)	

Dans les deux types de sols, le drainage débute le 29 Août, et se poursuit jusque fin juin. 330 mm d'eau sont déjà tombés depuis le 5 juin, date de la première pluie. Le drainage hors du sol débute après une forte pluie de 160 mm.

Sous culture de mil, les quantités d'eau recueillies ont été les suivantes :

- sol Dior = 870 litres $\pm 6 \%$	surface des cases 4 m ² , profondeur 2 m.
- sol Dek = 680 litres $\pm 6 \%$	

- Dans le dior, 400 litres ont drainé le premier jour. Puis, les quantités ont diminué régulièrement jusqu'à fin décembre (200, 100, 50, 25 litres, etc..) chaque fois après une forte pluie. Les eaux recueillies sont chargées en colloïdes argileux et en fer ; perte de l'ordre de 1 % par an de particules $\leq 2 \mu$

- En sol Dek, le rythme du drainage est identique, mais les eaux

recueillies sont limpides.

- Bilan de l'eau : chaque case a reçu 2.600 litres d'eau. Avant que tout drainage devienne effectif, le sol retient ou évapore 1.320 litres d'eau. Pendant la période de drainage, il tombe 1.280 litres, dont 600 à 900 percolent hors du sol. Donc 1/3 (dior) ou 1/4 (dek) de l'eau précipitée draine sous le climat de BAMBEY. La moitié des précipitations, soit 1.300 litres environ est évaporée pendant la saison des pluies - (très ensoleillée). Le reste s'évapore pratiquement entièrement pendant la saison sèche (évaporation atmosphérique et évapotranspiration).

	dior en %	dek
point de flétrissement	1,9	2,3
humidité en saison sèche	0,2	0,5
capacité de rétention	5,5	9,0
humidité en place après 70 mm d'eau	7,5	11,0
humidité 4 jours plus tard	3,1	3,3

Ces sols se saturent donc très facilement. L'effet croûte étant négligeable en saison des pluies et la végétation bien développée, les pertes par évaporation sont très fortes. La formation d'une croûte dès l'apparition de la saison sèche permet d'expliquer l'évaporation à cette époque par le canal de la végétation qui peut se maintenir jusqu'en décembre.

La plupart de ces résultats se sont confirmés en 1956. Cependant l'observation ne durant que depuis 4 ans, il ne faut considérer ces chiffres que comme des ordres de grandeur qui demanderont à être précisés pendant plusieurs années encore.

En l'absence de données plus complètes, il est intéressant de calculer le drainage d'après l'indice de HENIN (1945). L'évaporation E peut être exprimée par la formule :

$$E = \frac{P}{1 + \gamma P^2}$$

où le coefficient traduisant l'action globale des facteurs régissant l'évaporation est égal à :

$$\gamma = \frac{I}{0,15 T - 0,13}$$

ce qui, pour une température moyenne annuelle de 25°C donne $\gamma = 0,276$

Le drainage annuel D est donné par la formule :

$$D = \frac{\gamma P^3}{1 + \gamma P^2}$$

d'où les valeurs suivantes :

- Mamou 200 mm
- Kankan 170
- Conakry 400

En les rapprochant des valeurs obtenues à BAMBEY, on remarque que ces valeurs apparaissent beaucoup trop faibles, puisque pour MAMOU par exemple, et en prenant 1/4 de l'eau précipitée drainant hors du profil, cela représente presque 500 mm. Pratiquement même, je pense que ces quantités d'eau drainant en dehors du profil sont beaucoup plus fortes, de l'ordre de 750 à 1.000 mm, cela en se rapportant aux données de l'évaporation et aux types de précipitations très intenses. On peut donc estimer pour le FOUTA DJALLON, au minimum un drainage moyen de l'ordre de 500 mm d'eau par an.

Quelques points critiques de l'humidité des
sols en A.O.F.

-:-:-

	<u>BAMBEY</u>	<u>SEFA</u>	<u>KINDIA</u>
humidité moyenne en saison sèche	0,2-0,6 %	1-1,2 %	4-7 %
humidité moyenne en saison des pluies	7,5-11 %	18-20 %	15-28 %
point de flétrissement	1,9-2,3 %	2 %	2- 5 %
capacité au champ	5,5- 9 %	12 %	15-25 %
effet croûte	75 - 100 cm	80 - 100 cm	10 cm
pluviométrie	650 mm	1.250 mm	2.100 mm

Voici également quelques données obtenues par COINTEPAS (1956) à SEFA (Casamance), en saison des pluies :

- l'humidité au champ après ressuyage est de l'ordre de 12-13 % en surface, ce qui confirme les mesures d'humidité équivalente.

- l'humidité en profondeur à partir de 50 cm varie peu lorsque l'hivernage est établi, et se situe aux alentours de 18-20 % ;

- une étude sur le terrain, aussitôt après une pluie, révèle un blocage de l'infiltration et un engorgement vers 40-50 cm de profondeur. Les horizons de 40 à 60-80 cm restent constamment à un point voisin de la saturation pendant toute la saison des pluies.

3. Atmosphère du sol -

Le volume de l'atmosphère du sol est fonction de la porosité totale et de l'humidité du sol (air + eau = porosité). L'analyse des gaz du sol montre toujours, par rapport à la composition de l'air, une diminution des teneurs en O_2 et un accroissement important des teneurs en CO_2 . Ce dégagement de gaz carbonique se trouve lié à l'activité microbienne. Sa mesure sert à mesurer cette activité. La consommation de l'oxygène de l'atmosphère du sol provoque l'apparition de phénomènes de réduction.

L'examen de ces quelques données fait apparaître certaines caractéristiques de la pédogénèse tropicale :

- Les variations de températures et d'humidité sont excessives en surface, dans l'année et dans l'espace suivant la couverture végétale. En profondeur ces valeurs toujours élevées sont constantes.

- Le ruissellement est toujours important et les mouvements de l'eau à travers les sols sont surtout obliques .

- L'atmosphère du sol est chargée de CO_2 et a de fortes tendances réductrices pendant la saison des pluies quand l'activité microbienne est optimum.

CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES DE QUELQUES SOLS FORESTIERS DE GUINEE

En basse et Moyenne Guinée, d'après DOMERGUES, les sols forestiers se rattachent au groupe des sols à nitrification peu intense ou nulle. Ces sols se subdivisent eux-mêmes en sols à cellulolyse intense (TIMBIS-MADINA, DALARA, GANGAN) et sols à cellulolyse moyenne (KAKOULIMA) ou faible (KALOUIM). Ces forêts s'opposent aux forêts tropicales sèches du Sénégal qui nitrifient intensément mais sont caractérisées par un taux d'uréase et de saccharase ainsi qu'un dégagement en CO₂ nettement plus faibles.

Lieu de prélèvement : Forêts de Guinée - Date de prélèvement : Avril 1956

Parcelle de traitement	N° échant.	Azote !chroc.	Beij. ! indi.	Ni- ! treux	Cell. ! aérobies	Uréase	Saccha- ! rase	CO ₂	C %	N %	pH
<u>Forêt classée du Kaloum</u>											
forêt	G ₁	0	370	60	150	11,8	14,1	95	9,94	2,60	4,5
forêt	G ₂	0	40	50	450	7,2	8,3	53	7,80	1,71	4,9
forêt	G ₃	0	70	40	380	8,0	8,0	40	8,19	1,36	4,8
Mangrove	G ₄	0	0	30	30	1,3	3,7	32	8,33	3,35	4,9
Bordure de Mangrove	G ₅	0	2.320	30	610	3,4	6,8	37	9,5	2,02	4,8
<u>Forêt du Kakoulima</u>											
altitude 800 m	G ₆	0	0	20	510	22,5	31,5	93	14,04	2,76	-
altitude 600 m	G ₇	0	110	20	680	5,8	13,8	36	6,24	0,76	5,1
altitude 500 m	G ₈	0	70	10	220	3,1	7,6	32	3,32	0,64	5,1
altitude 400 m	G ₉	0	10	1	710	7,7	4,7	21	3,34	2,07	5,5
<u>Forêt de Timbis-Madina</u>	G ₁₀	0	20	30	1.840	5,7	19,5	44	4,39	1,06	4,8
<u>D A L A B A</u>											
Jardin Chevalier Pinus Khasys	G ₁₁	0	400	3	3.860	2,5	19,0	55	4,13	2,80	4,5
Thé	G ₁₂	0	0	2	1.080	1,8	7,4	26	4,68	0,78	4,9
Forêt primaire d'altitude	G ₁₃	0	10	4	1.650	6,0	57,5	84	13,26	1,61	5,5
<u>Forêt classée de Gangan</u>	G ₁₄	10	0	0	2.860	11,5	34,4	53	10,92	0,60	5,0

PHENOMENES DE REDUCTION DANS LES SOLS
INFLUENCE DE L'HUMIDITE DU SOL SUR LA PRODUCTION D'ACIDES VOLATILS

Les phénomènes réducteurs (se traduisant par la combustion incomplète du glucose et l'apparition d'acides volatils en quantité variable) apparaissent à partir d'humidité relativement faible.

- 10 à 15 % pour les sols sablonneux.
- 18 % pour les sols humifères de bas-fond moyennement argileux
- 25 % pour les sols très riches en argile et en matière organique.

Le sol n'a pas besoin d'être submergé pour que les phénomènes de réduction se déclenchent. Il suffit que le sol draine mal, ce qui se traduit en saison des pluies dans de nombreux sols (DOMMARGUES).

SOLS SABLEUX DE DUNE (A) (3)		SOLS HYDROMORPHES DE DAROU (D H) (3)		SOL ROUGE FAIBLEMENT LATÉRITEQUE (S F) (3)	
HUMIDITE	ACIDES VOLATILS FORMES	HUMIDITE	ACIDES VOLATILS FORMES	HUMIDITE	ACIDES VOLATILS FORMES
0,1 (sec à l'air)	0,4	0,7 (sec à l'air)	0,3	1,0 (sec à l'air)	0,4
5,1	0,4	5,7	0,6	6,0	0,6
10,1	0,4	10,7	1,0	11,0	2,6
15,1	0,6	15,7	3,1	16,0	6,6
20,1	1,7	20,7	5,5	21,0	7,3
25,1	2,4	25,7	5,0	26,0	7,9
30,1	4,2	30,7	5,7	31,0	8,5
40,1	3,3	40,7	6,8	41,0	7,7
50,1	3,9	50,7	7,3	51,0	7,6
60,1	3,7	60,7	7,2	61,0	8,2
70,1	3,7	70,7	7,2	71,0	8,9
80,1	3,7	80,7	9,7	81,0	8,6
Point de flétrissement : 0,3 % (pF = 4,2)		Point de flétrissement : 3,5 % (pF = 4,2)		Point de flétrissement : 4,5 % (pF = 4,2)	

III. LES ROCHES - LEURS PRODUITS D'ALTERATION

LES SOLS

A. - STRATIGRAPHIE GUINEENNE -

Les grandes lignes de la stratigraphie des formations géologiques de la GUINEE FRANCAISE sont maintenant assez bien connues.

D'après MARVIER (1953) on peut distinguer :

1. Un Précambrien largement représenté en HAUTE GUINEE en GUINEE FORESTIERE et en BASSE GUINEE. Il est subdivisé en :

a - Dahoméen de HAUTE GUINEE étudié par OBERMULLER (1941). Il est constitué des gneiss hybrides et surtout des migmatites dans lesquelles on rencontre des intercalations de quartzites à minéraux.

En BASSE GUINEE, DELAIRE (1956) rattache au Dahoméen une série de gneiss et de migmatites qui forment une bande de 80 km à l'Ouest des formations primaires du FOUTA DJALLON.

b - Le Précambrien moyen est représenté en HAUTE GUINEE par la série du Simandou d'âge Atacorien. Cette série est constituée essentiellement de quartzites à magnétite, d'amphibolites et de micaschistes à micas.

Le Birrimien apparaît au Nord dans le Bassin du HAUT NIGER et se termine à l'Ouest par une longue chaîne de roches vertes (chaîne du Niandan Banié).

En BASSE GUINEE, au Sud de KINDIA, affleurent des schistes à muscovites et amphiboles, des quartzites, des micaschistes et des amphibolites qui seraient du Birrimien inférieur.

c - Le Précambrien supérieur est à peine ou peu métamorphisé. Il n'a été que très faiblement plissé, et, est postérieur à la mise en place des granites.

Le Tarkwaïen affleure dans le Massif de KEDOUGOU à l'extrémité Nord de la GUINEE.

Le Falémien forme une bande étroite orientée N-S dans le Nord du Pays. La série de la Rockell (SIERRA LEONE), retrouvée en BASSE GUINEE

à l'Est de FORECARIAH est rattachée au Falémien.

Les granites du Précambrien moyen forment de gigantesques batholites qui affleurent au milieu des formations birriniennes. Ces dernières se présentent parfois en lambeaux paraissant flotter sur le granite.

Au socle précambrien doivent être également rattachés les gneiss gabbroïques et les péridotites formant le Mont KAKOULIMA et la Presqu'île du KALOUM.

2. Le Primaire dont la puissance est de l'ordre du millier de mètres constitue les plateaux tabulaires du FOUTA DJALLON. Il est constitué de grès horizontaux, siliceux, qui prolongent, en GUINEE, ceux du SOUDAN. Les niveaux datés sont du Gothlandien. Celui-ci est représenté dans l'Ouest du Territoire par des schistes noirs, ardoisiers, pyriteux, à graptolithes, et des schistes siliceux, clairs, azoïques. Dans les régions de KINDIA, LABE, GAOUAL, il affleure sur tous les plateaux cuirassés de plus de 400 m d'altitude, et, à l'Est, de la route KINDIA, GAOUAL, sur les plateaux de plus de 700-800 m, où il est représenté par des schistes verdâtres.

On ne connaît pas de Dévonien caractérisé en GUINEE FRANCAISE bien que cette formation se trouve nettement définie à BAFATA (Guinée Portugaise). Les schistes et les grès schisteux supérieurs du FOUTA DJALLON sont parfois assimilés à ce niveau.

Les séries primaires sont traversées par des venues éruptives basiques (dolérites) que l'on observe en sills à presque tous les niveaux, surtout dans les schistes gothlandiens, et plus rarement en dykes dans les grès. Les sills atteignent parfois 200 mètres d'épaisseur, et recouvrent de nombreux plateaux qu'ils ont protégés des effets de l'érosion. Les dolérites n'ont guère métamorphisé les grès, mais ont une action plus importante sur les schistes, en donnant naissance à des cornéennes à mica. L'âge des dolérites est inconnu. Les venues seraient postérieures aux grès ordoviciens et, probablement, la limite inférieure de leur mise en place serait postérieure au Wesphalien.

Tous ces grès sont fortement fracturés suivant des lignes perpendiculaires d'orientation N-E et N-W, que suivent les rivières.

3. Le Secondaire et le Tertiaire n'ont pas été reconnus jusqu'à ce jour. Mais de nombreuses surfaces d'érosion cuirassées datent probablement de la fin du Crétacé.

4. Le Quaternaire est représenté par des dépôts de vases en bordure de la Côte, par des dépôts alluvionnaires qui ont formé les plaines du NIGER et de ses affluents, par des éboulis de pentes. La plupart de ces formations ont été plus ou moins touchées par les phénomènes de cuirassement, et fortement remaniées au cours de plusieurs cycles d'érosion.

B. - LES ROCHES -

La GUINEE FRANCAISE, de par sa constitution géologique, présente une gamme de roches extrêmement variées. Les roches à minéraux silicatés sont pour la plupart profondément décomposées, et sont recouvertes d'un épais manteau de produits d'altération plus ou moins remaniés. Aussi est-il souvent difficile de relier un type de sol à une roche-mère donnée. Cependant il apparaît nécessaire de décrire succinctement les principales roches, d'indiquer leurs différents faciès, ainsi que leur répartition, qui déterminent dans une certaine mesure les possibilités d'extension des phénomènes de cuirassement.

1. Roches Eruptives -

a - Granites :

Ces roches sont largement représentées en BASSE GUINEE, entre la Presqu'île du KALOUM et la SIERRA LEONE, dans le Sud-Ouest de la HAUTE GUINEE et en GUINEE FORESTIERE. Des intrusions acides importantes se sont également développées au Nord du pays BASSARI en HAUTE GAMBIE.

- Basse Guinée -
.....

Le faciès le plus commun est un granite monzonitique à biotite et muscovite. Il affleure sur une vaste zone à l'Est de COYAH, dans la région de MAREBAYA. A l'Est dans le KABITAYE se développe une phase porphyroïde de ce granite. Le type moyen est un granite porphyroïde calco-alcalin à biotite. Près de MALA, à la frontière de la Sierra Leone un granite alcalin limite, à muscovite, représente un autre type de ce granite.

En règle générale, ces granites se trouvent étroitement associés aux gneiss desquels la distinction est souvent difficile par suite de la présence de nombreux termes de passage.

- Haute Guinée :
.....

Le type calco-alcalin à biotite, à biotite et amphibole est le plus répandu. Il s'agit de roches calco-sodiques formées essentiellement d'un feldspath potassique (orthose ou microcline), d'un plagioclase plus basique (15-30 % d'An), de quartz, et d'un minéral coloré, biotite ou amphibole. Ces granites présentent fréquemment des faciès de variations : ou bien l'orthose n'existe qu'en petites inclusions dans les plagioclases plus basiques que celui du type moyen (40 % d'An) ou bien la proportion de biotite ou d'amphibole augmente.

Une partie du Mont GUIANIIOGHA et des montagnes voisines est constituée d'un granite leucocrate plus riche en microcline qu'en plagioclase. Dans toute cette région le mica se rencontre rarement dans ces roches, même les pegmatites en contiennent peu ou en sont dépourvues. Toutes ces roches se trouvent étroitement associées aux gneiss.

On distingue une autre série de granites qui se présentent en batholites homogènes de dimensions réduites, probablement post-Birrimien. Ces granites sont surtout représentés par deux groupes pétrographiques :

- des granites à tendance alcaline où la proportion de feldspaths potassiques domine le plagioclase.

- des granites monzonitiques, semblables aux granites à biotite et à biotite et amphibole.

- Guinée Forestière :
.....

Ce sont également les faciès à biotite et à biotite et amphibole qui

dominant, et qui sont comparables à ceux de HAUTE GUINEE. Les faciès à biotite et amphibole, à tendance alcaline, sont cependant plus nets et plus fréquents dans le N.E. Par contre se développent des granites à hypers-
thène et magnésiens qui paraissent complètement absents dans le N.E. Guinéen. Ceux-ci sont assez abondants dans le pays de MACENTA et surtout celui de MAHANA.

- Flanc Nord du Fouta Djallon ;

Comme partout en GUINEE, on distingue deux séries de granites :

- Une série attribuée au Birrimien, représentée par le type Baoulé. C'est un granit calco-alcalin. Au centre du Massif de SARAYA le faciès est leucocrate et le grain fin. Le granite de ILIMEL0, à l'Ouest du Massif passe à une grano-diorite à microcline.

- Une série qui serait post-Birrimienne, du type Boudoukou. Ce sont pour la plupart des grano-diorites (BANDAFASSI et MAGNANKANTI) à biotite et amphibole formant des petits massifs circonscrits à contours discordants.

COMPOSITION CHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE DE QUELQUES GRANITES (*)

	1	2	3	4	5
SiO ₂	70,40	72,52	68,30	67,96	62,90
Al ₂ O ₃	14,35	14,10	15,58	15,20	15,38
Fe ₂ O ₃	2,00	1,57	1,80	1,54	1,50
FeO	0,62	0,70	1,85	2,12	4,00
MgO	0,65	0,51	1,32	1,41	3,10
CaO	1,90	1,36	3,85	3,10	4,50
Na ₂ O	3,78	3,01	2,35	3,60	4,85
K ₂ O	4,93	5,10	3,40	3,48	1,80
TiO ₂	0,10	0,36	0,30	0,70	0,80
P ₂ O ₅	0,13	0,01	0,10	0,15	0,22
H ₂ O ⁺	1,23	0,40	0,10	0,32	0,70
H ₂ O ⁻	0,35	0,10	0,70	0,19	0,10
Quartz	25,32	32,10	31,02	24,78	13,44
Orthose	28,91	30,02	20,02	20,57	10,56
Ab.	31,96	25,15	19,91	30,39	40,87
An.	7,56	6,67	18,35	14,46	15,01
Corindon	-	1,12	1,33	0,20	-
SiO ₃ Ca	0,35	-	-	-	2,32
SiO ₃ Mg	1,60	1,30	3,30	3,50	7,70
Magnétite	1,62	1,16	2,55	2,09	2,09
SiO ₃ Fe	-	-	1,58	1,45	4,88
Illménite	0,15	0,76	0,62	1,37	1,52
He	0,96	0,80	-	-	-
Apatite	0,34	-	0,34	0,34	0,68

- (*) - 1. Granit de Saraya : granite calco-alcalin, faciès granulitique
2. Granit de Farmoreah : granite calco-alcalin à biotite
3. Granit du Mt Oursa : terme plus basique que le précédent.
4. Granit de Mafing : granite calco-alcalin à biotite et amphibole.
5. Granit de Illimalo : grano-diorite tendant vers diorite quartzifère.

b - Syénites -

Ce groupe de roches, bien individualisé, est représenté par les syénites néphéliniques des Iles de LOOS. On y distingue deux sous-groupes :

- les syénites à aegyrine, les plus sodiques et pauvres en chaux.
- les syénites à amphiboles noires, un peu plus calciques et magnésiennes.

c - Diorites et Gabbros -

A ce groupe peuvent être rattachées les roches vertes qui forment la bordure Est de la chaîne du NIANDAN en HAUTE GUINEE. Ce sont des gabbros des dolérites, des andésites plus ou moins métamorphisées, la plupart profondément saussuritisées et ouralitisées, difficiles à déterminer.

Beaucoup plus représentatives de la GUINEE sont les dolérites. Elles forment un groupe pétrographique homogène. Ce sont des roches gris-noires, un peu verdâtre, très dures, dont le grain est visible généralement à l'oeil nu. Les plagioclases en baguettes aplaties sont moulés par des cristaux de pyroxènes. C'est généralement un labrador à 55-70 % d'anorthite. Le pyroxène est souvent de l'augite, parfois accompagné d'hypersthène avec formation d'édifices micropegmatitiques. Le pyroxène est, en général un peu ouralitisé et parfois même transformé en chlorite. Enfin on reconnaît un peu de biotite, et du quartz, presque toujours de la magnétite, de l'illménite ou de la pyrite, parfois de la calcite secondaire. L'olivine est rare. Certaines dolérites contiennent en petites quantités du quartz qui moule les feldspaths ou qui forme avec eux des édifices micropegmatitiques (JEREMINE, 1936). Au contact des grès et des schistes la dolérite prend une texture de plus en plus fine, et passe finalement à une roche

foncée compacte, à cassure couchoïdale.

Les dolérites sont extrêmement communes au FOUTA DJALLON, mais toujours plus importantes dans l'Est que dans l'Ouest du pays. Elles donnent naissance à de vastes plateaux cuirassés qui dominent en corniches les dépressions. Ces roches sont également largement représentées dans le S.E. de la HAUTE GUINEE et à la limite de la GUINEE FORESTIERE.

Une partie du Mont KAKOULIMA est constituée de Gabbros. C'est une augite et bronzite. La structure est subophitique. Le plagioclase est un labrador (An 55). L'augite abondante, est en petit grain.

d - Pyroxénolites -

On rencontre quelques rares affleurements de talc-schistes très altérés renfermant quelques cailloux isolés de pyroxénites, sporadiquement à l'Est de la HAUTE GUINEE et en GUINEE FORESTIERE.

e - Péridotite -

La Presqu'île du KALOUM est un énorme dyke de péridotite qui s'enracine dans le Massif du KAKOULIMA. Cette péridotite est une dunite formée d'un péridot ($\text{SiO}_4\text{Fe}_2, 3 \text{SiO}_4\text{Mg}_2$), à structure épigranulaire dont les grains sont entourés d'antigorite, avec quelques grains de spinelle noire.

COMPOSITION DE QUELQUES ROCHES ERUPTIVES DE GUINEE

d'après LACROIX

		Syénite Néphélinique	Diabase	Péridotite
			—	—
SiO ₂	.....	56,88	51,27	40,01
Al ₂ O ₃	.....	22,60	12,36	2,54
Fe ₂ O ₃	.....	0,97	3,29	1,00
FeO	.....	2,19	6,16	11,70
Cr ₂ O ₃	.....	—	—	0,16
MgO	.....	0,56	13,26	39,90
CaO	.....	1,33	10,66	1,68
Na ₂ O	.....	8,30	1,60	1,07
K ₂ O	.....	5,57	0,41	0,52
TiO ₂	.....	0,29	0,70	—
P ₂ O ₅	.....	—	0,11	—
H ₂ O ⁺		0,98	—	1,10
Insoluble	.....	0,34	—	—
		Ile de KASSA	Mt. BONGOUROU	Mt. KAKOULIMA

2. Roches Métamorphiques -

Ces roches sont très variées, et forment un ensemble extrêmement complexe où sont étroitement associées roches phylliteuses métamorphiques, roches cristallisées plus ou moins gneissiques. Ces dernières sont souvent associées aux granites dont elles se distinguent difficilement,

a - Groupe des Gneiss -

- En Basse Guinée ces roches ont été étudiées fort en détail -
.....
DELAIRE (1956). Ce sont les gneiss de MOREAH. On y distingue :

- des gneiss à deux micas, calcol-alcalins, à structure granoblastique dans la région de DUBREKA et aux pieds du KAKOULIMA.

- des gneiss à biotite et parfois amphibole dans les régions de FARMOREAH et de FORECARIAH.

- des gneiss à biotite à apports feldspathiques assez diffus dans la région de COYAH.

- des embréchites à biotite avec feldspaths lités, ocellés et amygdalés dans la région de FARMOREAH, dans la zone côtière et dans la région de KAMELEA.

- Haute Guinée et Guinée Forestière -

Ces deux régions étudiées par GOULOUBINOV (1938) et OBERMULLER (1941), se trouvent étroitement associées. On y distingue :

- des gneiss d'injection. Ce sont surtout des gneiss à biotite et amphibole, injectés par des granites plus ou moins leucocrates. Les principaux affleurements se trouvent à BOUE, dans le prolongement de la chaîne du NLANDAN, à BANIE dans le MENIEN et sur le MILO au Sud de MARIGUEDOUGOU. Ces roches forment des lambeaux d'importance variable, souvent à très grande extension dans la chaîne du SIMANDOU et ses prolongements.

OBERMULLER (1941) a distingué deux types de gneiss à biotite suivant la présence ou l'absence de feldspaths potassiques. Les gneiss à microcline sont fort abondants et se rencontrent un peu partout, tandis que les gneiss francs le sont moins et ne se rencontrent que dans l'Ouest de la chaîne de SIMANDOU

- des gneiss à pyroxène. Ils ne se différencient pas souvent à

l'oeil nu des gneiss ordinaires. Ce sont des roches gris-verdâtres, finement litées, peu ferrifères. Le pyroxène est généralement de l'augite.

A ces formations on peut associer des affleurements d'amphibolites le plus souvent à pyroxène au contact ou dans les prolongements géographiques des dolérites.

COMPOSITION DE QUELQUES GNEISS

	1	2	3
SiO ₂	65,55	74,55	50,60
Al ₂ O ₃	19,30	14,85	17,52
TiO ₂	0,12	0,18	0,70
FeO	2,93	0,70	6,50
Fe ₂ O ₃	0,42	0,22	1,25
MnO	-	0,05	0,15
CaO	4,05	2,88	13,57
MgO	1,40	0,68	6,85
Na ₂ O	3,82	1,40	1,40
K ₂ O	1,66	3,62	0,62
P ₂ O ₅	0,14	-	0,21
H ₂ O ⁺	0,74	0,52	0,62
H ₂ O ⁻	0,16	0,17	0,05
Quartz	24,44	44,96	2,64
Orthose	9,82	21,41	3,66
Albite	32,28	11,83	11,83
Anorthite	19,19	14,30	39,64
Al ₂ O ₃ libre	4,17	3,37	-
Hypersthène			
SiO ₂ , FeO ...	4,83	0,90	5,90
SiO ₂ , MgO ...	3,50	1,70	10,48
Magnétite	0,61	0,32	1,81
Ilménite	0,23	0,34	1,33
Apatite	0,33	-	0,48
Diopside			
2SiO ₂ , FeO, CaO			7,03
2SiO ₂ , MgO, CaO			14,36
Pyrite			0,38

- | | |
|---|--|
| 1. Gneiss à biotite (composition d'une grano-diorite) | } Haute-Guinée et
Guinée Forestière |
| 2. Gneiss mylonitisé à biotite peu abondante | |
| 3. Gneiss amphibolitique à pyroxène | |

b - Groupe des micaschistes, des schistes, des grès et quartzites
plus ou moins métamorphisés -

- En Basse Guinée, ils forment une grande pénéplaine dans la région de MOUSSAYA-MAMBIA. On y distingue :

- des micaschistes à muscovite et biotite qui constituent quelques rares affleurements.
- des quartzites assez fréquents, en blocs, sur toute la bande des schistes de MARAMPA. Ce sont des quartzites à magnétite et amphibole.
- des schistes fortement altérés, à muscovite, séricite et amphibole, assez souvent ferrugineux.
- quelques amphibolites et pyroxénites qui complètent la série.

La série de la Rockell est moins métamorphisée. Elle comprend :

- les grès de TABAN qui sont grossiers, feldspathiques, roses ou verdâtres à ciment siliceux, avec presque toujours un peu de muscovite.
- une série schisteuse qui forme une vaste pénéplaine à la limite de la Sierra Léone, constituée d'argiles silicifères vertes, noirâtres ou rougeâtres.

- Haute Guinée et Guinée Forestière -
.....

Le groupe comprend des faciès fortement métamorphiques à l'Ouest. Les faciès faiblement métamorphiques se développent surtout vers l'Est dans le Bassin de SIGUIRI.

Les faciès fortement métamorphiques comprennent des quartzites, des micaschistes et des amphibolites.

- Quartzites - Ce sont des quartzites micacés, blancs, roses, associés à des séritoschistes. Ils se rencontrent sur le Bafing dans la région de KOTOMARI-BAGUI au N.W de FARANNAH. Ces quartzites se rapprochent de ceux de la chaîne du SIMANDOU et des Monts NIMBA en GUINÉE FORESTIÈRE. Ils sont très sporadiques vers l'Est. On en rencontre de grands lambeaux dans la région de MACENTA. Ils sont souvent accompagnés de petites quantités de micaschistes et de schistes arkosiques. Les quartzites à magnétite sont formés de lits alternés de quartz et de minerais de fer, et se débitent facilement en plaquettes.

- Micaschistes - Ces roches sont relativement rares et se présentent
oooooooooooo

comme des faciès de bordure des arkoses schisteuses au contact des granites. Les principaux affleurements sont ceux du Mont BOUGOUROU KOUROU et du Mont KONINGHERA. Ce sont des roches grises à noires, rarement verdâtres, parfois rubéfiées. Elles sont constituées essentiellement de biotite, de quartz avec un peu de feldspath et parfois de la muscovite et du grenat.

- Amphibolites - Ne forment en général, que des lambeaux de
faible étendue en bordure des granites, au contact des schistes ou des roches vertes. Ces roches sont constituées de hornblende verte moulant des plagioclases. Les feldspaths sont souvent saussuritisés et la hornblende épigénisée en chlorite et épidote.

Les faciès peu métamorphiques sont représentés essentiellement par des arkoses schisteuses que l'on retrouve presque partout dans le Bassin de SIGUIRI. Ce sont des roches noires, gris-noires ou verdâtres. Elles sont parfois compactes mais plus souvent ont un débit phylliteux. Ces arkoses sont accompagnées de schistes argileux. Tout cet ensemble est fortement altéré.

- Abords Nord du FOUTA DJALLON -
.....

Le groupe est représenté par :

- les grès du BOUNDOU constitués de grès bruns ou roses quartziteux, surtout feldspathiques à la limite du SENEGAL et de la GUINEE.

- les schistes de la FALEME où des niveaux de schistes francs, écailleux ou esquilleux, verts ou violets, alternent avec des niveaux durs, silicifiés et avec des niveaux gréseux à grains très fins, bruns foncés, roses vifs, verdâtres.

3. Roches Sédimentaires -

a - Roches sédimentaires anciennes -

Ce sont les grès et schistes du Fouta-Djallon. Ces formations sont d'âge primaire. La découverte de Monograptus priodon a permis de dater une série Gothlandienne qui contribue à la reconnaissance, avec quelques doutes cependant, d'une antérieure Ordovicienne et d'une supérieure peut être

Dévonienne.

- Ordovicien -
.....

Cette série est caractérisée par un faciès essentiellement gréseux. La série très uniforme de grès blancs ou roses, atteint une grande épaisseur. On y trouve des niveaux de grès micacés blancs légèrement phylliteux. Mais le plus souvent, ce sont des grès grossiers, bien cimentés pour la plupart, avec lits de conglomérats. Ils montrent une stratification entrecroisée. Etant presque uniquement siliceux, ces grès ne subissent pas la ferrallitisation. Ils affleurent sur de vastes étendues en formant le paysage ruiniforme et les falaises qui caractérisent une grande partie du pays FOULAH. Une tendance à la schistosité apparaît vers la partie supérieure de la série.

- Gothlandien -
.....

Cette série est caractérisée par des schistes à Monograptus. Elle débute par un changement brutal de faciès faisant suite aux grès siliceux. Sur les grès, reposent en concordance des schistes blancs à kaolin qui deviennent de plus en plus foncés jusqu'aux schistes noirs pyriteux et graphiteux, fossilifères. Des lentilles et des couches de quartzites à cubes de pyrite peuvent être inclus dans ces schistes. Ceux-ci sont bien développés surtout vers le Nord du FOUTA-DJALLON et en pays BOVE.

Ils sont en général fortement altérés et cuirassés en surface.

Au-dessus des schistes Gothlandiens repose toute une série litée avec prédominance de faciès gréseux et quartziteux. Le cuirassement y est très développé. Ces grès sont souvent fortement ferruginisés en surface. Cette série se développe surtout au centre des formations schisteuses du pays BOVE. Les venues doléritiques qui traversent ces formations ont provoqué un métamorphisme de contact très réduit, de l'ordre de quelques centimètres. Il y a transformation de grès en quartzite parfois vert, à éclat vitreux avec souvent apparition de pyrite.

Les roches métamorphiques du CAP VERGA se distinguent très nettement de cet ensemble. Des assises schisteuses et litées, riches en quartz, paraissent avoir subi un métamorphisme intense au contact des gabbros et

dolérites en donnant une roche à quartz, cordiérite, sillimanite, anthophyllite et orthose.

b - Roches sédimentaires récentes -

En dehors des sédiments actuels, les formations sédimentaires récentes sont essentiellement localisées au Nord du FOUTA-DJALLON. Elles constituent le Continental Terminal argilo-gréseux, d'âge mio-pliocène. Cette série vient s'appuyer sur les premiers contreforts du Fouta Djallon (schistes et quartzites). Elles se développent largement vers le Nord du Sénégal dont elle constitue toute la couverture orientale. Les éléments qui la composent sont des sables plus ou moins argileux, blancs, jaunes, rouges ou bariolés. Intercalés dans les sables, des horizons argileux jaunâtres déterminent plusieurs niveaux hydrostatiques locaux. La surface se cuirasse très facilement. Il se forme une couche dure protectrice, riche en fer, dont l'épaisseur peut atteindre quelques mètres. Plusieurs niveaux d'érosion apparaissent qui ont souvent laissé en arrière des buttes témoins (régions de TAMBACOUNDA), surmontées d'un niveau cuirassé.

Enfin, il est nécessaire de signaler toutes les cuirasses qui surmontent et protègent d'anciens reliefs subhorizontaux. Ces formations, très étendues, recouvrent une grande partie du pays Guinéen. Les complexes cuirassés, qui protègent les parties subhorizontales du relief, montrent partout des lambeaux de cuirasses antérieurs au creusement des vallées. Les niveaux les plus alumineux s'observent généralement sur les surfaces supérieures. Ils appartiennent aux plus anciennes surfaces d'érosion. Des terrasses et surfaces inférieures cuirassées indiquent les différents stades du creusement des vallées, conservés par fossilisation du relief. En règle générale, les cuirasses ferrugineuses sont plus développées sur les reliefs, inférieurs

C. - PRODUITS DE DECOMPOSITION DES ROCHES -

Les produits de la décomposition des roches sont principalement liés aux phénomènes de ferrallitisation qui caractérisent l'évolution de la

grande majorité des sols de GUINEE FRANCAISE. D'après AUBERT (1954) "Le processus de ferrallitisation est constitué par un ensemble de phénomènes qui aboutissent à une altération extrêmement poussée de la roche-mère du sol, et à une individualisation des éléments tels que silice, oxydes, hydroxydes et hydrates métalliques, en particulier de fer, d'aluminium, de manganèse et de titane ; ces derniers se maintiennent ou s'accumulent dans un horizon de surface où de faible profondeur, la silice étant plus ou moins partie, entraînée à la base ou hors du profil".

1. Altération des différents minéraux des roches -

a - Quartz -

Ce minéral considéré comme particulièrement stable en milieu tempéré, s'altère d'autant plus profondément sous climats tropicaux que la ferrallitisation est plus prononcée. En sols ferrugineux tropicaux, la dissolution est peu poussée et passe inaperçue. Elle est déjà très sensible en milieu faiblement ferrallitique. Elle prend une importance exceptionnelle dans les sols fortement altérés de la zone forestière. Dans ces dernières régions, même les plus gros cristaux de quartz sont atteints. Ceux-ci sont pénétrés d'abord par des solutions ferrugineuses qui par ébranlement mécanique réduisent le bloc en poussière. Les particules fines sont ensuite dissoutes par les solutions ferrallitisantes et disparaissent plus ou moins complètement. Il semble se produire un certain équilibre entre dissolution du quartz sous l'action des processus de ferrallitisation, et la composition de la roche. Par exemple les dolérites légèrement quartziférées donnent des produits de décomposition où toute trace de quartz a disparu. Les granites et les gneiss donnent d'abord des arènes plus ou moins argileuses, très riches en quartz. Si l'épaisseur d'altération est suffisante le quartz finit par disparaître. Mais les filons restent généralement, peu attaqués, et s'éparpillent à la surface du sol. Les schistes sériciteux de la région de KINDIA se transforment en bauxite sans trace de quartz.

L'intensité des phénomènes de dissolution est fonction de la quantité d'ions basiques qui entrent dans la composition des solutions d'altération. Elle dépend donc de la composition de la roche, mais, également, et surtout, des conditions de drainage. SCHAUFELBERGER (1953), MILLOT (1949) ont montré

le rôle pilote essentiel des cations dans l'orientation des néoformations argileuses. A partir d'un certain stade de l'altération, le quartz ne semble plus pouvoir que difficilement, ^{s'altérer} ce qui tend à prouver un certain équilibre entre l'intensité de l'altération et la quantité de quartz dissout. Ces processus sont liés à l'évolution même du sol et à leur situation dans le profil. Le quartz qui paraît stable dans les horizons de surface des sols tropicaux ferrallitiques, s'altère toujours profondément en profondeur.

b - Feldspaths -

En GUINEE FRANCAISE, les feldspaths sont toujours rapidement et profondément altérés. Quand le milieu est normalement drainé, on n'observe jamais de kaolinisation. Il y a passage direct du minéral frais à un mélange d'alumine et de silice, ce dernier constituant étant le plus souvent entraîné par les eaux de percolation. Quand le drainage se ralentit la kaolinisation des feldspaths apparaît. Ce sont les conditions d'altération qui pilotent la néoformation des minéraux d'altération beaucoup plus que le minéral qui fournit les éléments, encore que, fréquemment, ces derniers peuvent provenir d'ailleurs.

Les différents stades de l'altération des feldspaths ont été minutieusement étudiés par LACROIX (1913), de CHATELAT (1938), MILLOT et BONIFAS (1955).

En BASSE GUINEE, où les conditions de drainage sont généralement bonnes de par la topographie accidentée et le rythme climatique, les feldspaths s'altèrent en silice et alumine. En GUINEE FORESTIERE, l'humidité presque permanente (rôle de la forêt, saison sèche brève) donne la priorité aux processus de kaolinisation. La HAUTE GUINEE où les conditions d'humidité sont moins poussées prosède des deux phénomènes. Dans la région de DABOLA, par exemple, l'altération donne, tout d'abord, aux gneiss et aux granites un aspect pourri, avec ébranlement de la masse. Il se forme ensuite une arène sablo-argileuse où les minéraux leucocrates se trouvent isolés au milieu d'une pâte meuble, de couleur jaune rouille, produit de la décomposition des micas noirs, des amphiboles etc.. Plus haut, les feldspaths s'altèrent à leur tour en kaolin, et l'ensemble se transforme en un limon ocre-rouge contenant de nombreux grains de quartz.

En conclusion, les produits de l'altération des feldspaths dépendent de la richesse en cations des solutions imprégnantes et de la plus ou moins grande quantité de silice libérée. Il se formera soit de l'alumine, et de la silice, soit de la kaolinite, soit, plus souvent encore, un mélange de ces corps.

c - Feldspathoïdes -

L'altération est encore plus rapide que celle des feldspaths. On passe brusquement, et, semble-t-il, directement à un mélange d'alumine et de produits kaolinitiques. La silice et les cations se trouvent entièrement dissouts et entraînés. Quand la syénite est faiblement altérée, la néphéline reste à peu près intacte, malgré l'apparition de trainées troubles. Quand l'altération passe au stade "pierre ponce" la matière du feldspathoïde a presque complètement disparu, en laissant des vides, alors que le squelette des feldspaths est conservé par des lamelles de gibbsite (MILLOT et BONIFAS, 1955).

d - Micas -

L'altération très rapide pour la biotite est beaucoup plus lente pour la muscovite.

- Biotite -
.....

Ce minéral est un des premiers à subir l'action des processus d'altération. On assiste tout d'abord à un double phénomène de gonflement et d'éclatement des lames d'une part, et de départ de fer d'autre part. D'après BIROT (1950-1951-1954), "ce phénomène se produit pour une gamme assez étendue de pH. Elle n'est pas le privilège des milieux acides". C'est la circulation du fer qui provoque l'ébranlement du minéral. Ce mode d'altération est particulièrement sensible dans le cas des granites et des gneiss. On assiste au début à une ferruginisation intense. Les hydrates de fer viennent se placer entre les feuillets de biotite. Puis l'ensemble se réduit en une poudre fine, plus ou moins kaolinitique, en mélange avec des hydrates de fer pulvérulents ou parfois légèrement concrétionnés.

- Muscovite -
.....

L'altération de ce minéral est très lente. Dans certains profils profonds de COTE D'IVOIRE sur gneiss (région de SASSANDRA), on observe des lamelles de muscovite jusque dans les horizons superficiels. C'est un des derniers minéraux à disparaître. Son altération donne naissance d'abord à des hydromicas, puis brusquement, à des produits kaolinitiques, enfin à de l'hydrate d'alumine et de la silice.

- Séricite -
.....

Dans les grès sériciteux du FOUTA DJALLON, il se produit une transformation rapide de la séricite en hydrate d'alumine avec formation de bauxite.

e - Pyroxènes, Amphiboles, Chlorite et Périclase -

Ces minéraux s'altèrent très rapidement. Ils sont parmi les premiers constituants des roches à disparaître. Les hydrates de fer sont libérés et jalonnent les clivages et les flancs des cristaux. Il se forme une trame résistante, où l'on reconnaît la structure du minéral, qui enserme des produits pulvérulents jaunes et rouges. Ces pseudomorphoses sont très friables et se réduisent facilement en un mélange de produits alumineux imbibés d'hydroxydes de fer (LACROIX, 1913 ; MILLOT & BONIFAS, 1955).

f - La magnétite, l'ilménite, la tourmaline, le zircon, le rutile etc.. sont très résistants et se retrouvent ordinairement dans les sols à l'état résiduel.

g - Argiles -

La kaolinite domine presque exclusivement dans les formations argileuses de GUINEE. On trouve cependant quelques produits montmorillonitiques lors de l'altération de cipolins. Mais ces formations sont très rares dans la zone étudiée.

En sols ferrugineux tropicaux les argiles kaolinitiques sont stables. En milieu ferrallitique, la kaolinite peut être aussi relativement stable,

mais lorsque les conditions de drainage s'améliorent, elle peut s'altérer profondément en silice et alumine, après rupture des feuillets. Dans la région de SIGUIRI, LACROIX (1913) a montré que "l'altération des schistes micacés constitue une transformation des micas en kaolinite par perte des alcalis et fixation d'eau, avec production d'hydrate défini de fer et d'alumine, celui de l'alumine résultant, probablement, de la destruction de la kaolinite". D'HOORE (1954) constate qu'en sols de savane la végétation herbacée attaque partiellement la kaolinite en mobilisant la silice pour la constitution de ses tissus. Il signale également que la présence de kaolinite attaquée (examen au microscope électronique) est toujours liée à la présence de gibbsite. SEGALEN (1956) arrive aux mêmes conclusions.

2. Altération des roches -

L'altération des minéraux amène la décomposition des roches qu'ils constituent. Deux cas sont à considérer suivant les conditions du drainage - bon ou mauvais - . Ces dernières dépendent du climat, de la topographie, de la structure des roches ou de plusieurs de ces facteurs associés.

- Un bon exemple d'altération en milieu bien drainé est donné par celle des dolérites en MOYENNE GUINEE.

On observe un passage brutal, dont l'épaisseur ne dépasse pas 1 cm, entre la roche fraîche et la roche profondément altérée. La dolérite apparaît tout d'abord piquetée de petites taches brunes, produits ferrugineux pulvérulents de l'altération des pyroxènes. Puis la roche blanchit à la suite de l'ébranlement des feldspaths. Des petites lames de gibbsite se disposent sur les clivages des feldspaths. L'altération passe ensuite au stade "pierre ponce" quand la matière des feldspaths a complètement disparu. La roche très légère, de couleur ocre-jaune, n'est plus constituée que d'alumine, plus ou moins imprégnée de sesquioxydes de fer.

Ce type d'altération se retrouve sur syénite et dunite.

- Il est cependant possible d'observer l'altération de dolérite en milieu mal drainé (bordure de la route LABE-MALI, à la descente des Hauts Plateaux). L'altération se produit sur plus de deux mètres d'épaisseur.

La roche fraîche, qui est une dolérite quartzifère, passe à une arène blanchâtre où les plagioclases subissent un début de kaolinisation. Des raies d'imprégnation et de dépôts ferrugineux et manganifères s'individualisent le long des diaclases. Puis apparaissent des poches argileuses rouges, avec des taches manganifères. Le tout donne naissance à un sol rouge brun, argileux. La précipitation du manganèse indique une certaine concentration en cations alcalins, qui accentue la kaolinisation.

Mais, d'une façon générale, la structure des dolérites, qui permet un drainage normal, favorise la formation de "pain d'épice".

- Par contre les granites, les gneiss, les schistes subissent préférentiellement une altération du type kaolinitique, et cela d'autant plus fortement que l'on s'enfonce en GUINEE FORESTIERE. L'altération se produit toujours sur une assez grande épaisseur, au moins 50 cm, parfois plusieurs mètres. Elle débute par un démantèlement mécanique dû à la pénétration d'eau plus ou moins chargée de fer. Les minéraux ferromagnésiens donnent des produits pulvérulents, ferrugineux, riches en kaolinite. La roche a une couleur rouille bien caractéristique. Puis elle blanchit, et il se forme une arène avec de nombreux grains de quartz, où les feldspaths se kaolinisent peu à peu et enrichissent le milieu en argile. Celle-ci prend une couleur rouge, par suite de l'adsorption du fer sur les surfaces actives, et donne naissance à un sol rouge ferrallitique. Si le drainage vient à s'accélérer, par suite d'un abaissement du front d'altération, il est possible d'observer l'altération de la kaolinite en alumine et silice, cette dernière se trouvant exportée. De tels exemples peuvent s'étudier en GUINEE FORESTIERE, au poste 5 de SEREDOU.

- L'altération des grès siliceux du FOUTA DJALLON est surtout d'ordre physique. On assiste à une dissolution plus ou moins complète des ciments siliceux. Il se produit une imprégnation ferrugineuse qui provoque l'ébranlement de la masse et détruit la cohésion des grès qui se trouvent réduits en sables. Ceux-ci sont alors fréquemment déblayés par les eaux de ruissellement. Le Fer peut également se déposer dans les diaclases qui se trouvent fossilisées, et souvent, amenées en relief.

- L'altération des formations argilo-sableuses du Continental Terminal

qui se situent à la limite des zones d'altération ferrallitiques consiste essentiellement en une individualisation du fer et du manganèse qui tendent à se concentrer en des minéraux bien définis. Le quartz est peu ou pas attaqué.

En résumé, les processus d'altération qui président à la formation des sols en GUINEE FRANCAISE, amènent à l'individualisation :

- de sesquioxydes de fer et d'alumine, d'oxydes de manganèse ;
- de silice sous des formes résiduelles ou de néoformation ;
- d'argiles principalement kaolinitique ;
- de débris éluviaux, alluviaux ou colluviaux de roches ou de minéraux plus ou moins altérés.

Les phénomènes de dissolution des cations alcalins et alcalino-terreux, de la silice, de certains sesquioxydes finissent par provoquer un effondrement généralisé des matériaux altérés. Il se produit des cisaillements et des tassements. Le modelé tourmenté de la GUINEE, le régime des précipitations contribuent, à leur tour, à un remaniement des produits (érosion, glissements de terrain, colluvionnement). Il en résulte un mélange complexe des différents constituants qui ne présentent finalement plus qu'une origine très lointaine avec les roches qui leur ont donné naissance. Les sols se développant sur ce matériau, il est facile de comprendre les difficultés rencontrées à rechercher des relations entre ceux-ci et les roches sous-jacentes. C'est une des raisons qui a amené à remplacer la notion de roche-mère par celui plus explicite de matériau originel.

D. - LES SOLS -

Les sols évolués de la GUINEE FRANCAISE sont, d'après la classification pédologique française, à rattacher à 4 sous-ordres (AUBERT, 1956).

- Le sous-ordre ferrallitique ;
- Le sous-ordre ferrugineux tropical
- Le sous-ordre hydromorphe
- Le sous-ordre halomorphe.

Les sols ferrallitiques, ferrugineux tropicaux et hydromorphes intéressent particulièrement cette étude, car ils se cuirassent avec facilité.

1. Sols Ferrallitiques -

Ces sols représentent la grande majorité des sols observés en GUINEE FRANCAISE . Ils sont ordinairement très profonds, de couleur rouge, parfois beige, et leurs horizons organiques sont, en général, peu épais.

La caractéristique essentielle de ces sols est la présence d'alumine libre, dans un horizon au moins de leur profil. Cette alumine se trouve ordinairement sous forme de gibbsite. Elle provient de l'altération des minéraux aluminos-silicatés des roches.

Suivant que le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est inférieur à 1,3, ou compris entre 1,3 et 2, on distingue les sols fortement et faiblement ferrallitiques.

2. Sols ferrugineux tropicaux -

Ce sont des sols qui se rencontrent au N et N-E du Territoire Guinéen qu'ils limitent. Ils se développent largement vers le SENEGAL et le SOUDAN.

Les sols ferrugineux tropicaux sont beaucoup moins épais que les sols ferrallitiques (≤ 250 cm). Ils sont ordinairement de couleur claire (beige ou ocre) et leur horizon de matière organique est toujours assez bien développé (25-30 cm), même si les teneurs en valeurs absolues sont faibles.

Ces sols sont généralement plus ou moins lessivés. Ce lessivage porte sur le fer d'abord puis sur l'argile. Il en résulte la formation fréquente, en profondeur, d'un horizon colmaté qui favorise la ségrégation et la concrétions des sesquioxydes de fer. Les sols ferrugineux ne contiennent pas ou alors très peu, d'alumine libre. Leur argile constitutive est du type kaolinitique. Le fer migre avec beaucoup de facilité à travers ces sols, d'où leur nom.

3. Sols hydromorphes -

Ce sous-ordre groupe tous les sols dont la morphologie est marquée de

façon essentielle par l'eau. Les sols hydromorphes sont extrêmement variés. Leur classification est basée sur la durée d'action de l'eau, le rythme de cette action, et le nombre d'horizons atteints (AUBERT, 1954).

Ces sols ont ordinairement des horizons superficiels extrêmement riches en matière organique, dont le rapport C/N est toujours élevé et supérieur à 17 .

Les sesquioxydes de fer y migrent avec facilité, et les phénomènes de concrétionnement et de cuirassement y sont communs. Les principaux sols hydromorphes guinéens se développent sur les surfaces mal drainées (plateaux, cuvettes), et dans les plaines et vallées alluviales. Cependant des conditions locales d'hydromorphie peuvent apparaître à la suite de conditions topographiques (replats), ou édaphiques (niveau imperméable) favorables.

Il faut enfin signaler les horizons cuirassés qui affleurent à peu près partout en GUINEE et qui font l'objet de cette étude.

IV. TOPOGRAPHIE ET MODELE

La GUINEE FRANCAISE tranche très nettement sur l'ensemble de l'A.O.F. par son relief beaucoup plus accusé. Les plus hauts sommets, comme les monts NIMBA qui terminent à l'Est la dorsale guinéenne atteignent au Pic RICHARD MOLLARD l'altitude de 1.855 mètres.

Les hauteurs du FOUTA-DJALLON sont plus des hauts plateaux que de véritables montagnes, et leur structure tabulaire contribue à accentuer ce caractère. Les altitudes sont médiocres (1.000 à 1.200 m. en moyenne) avec deux régions culminantes, au Nord à MALI (1.515 m) et au Sud vers DALABA (1.425 m). Au sud de cet ensemble s'étalent les plateaux du BENNA dont l'altitude varie de 700 à 900 mètres. En HAUTE GUINEE, l'altitude moyenne atteint 500 mètres dans la plaine du NIGER près de KOUROUSSA, pour s'abaisser à 450 . vers KANKAN. Seuls quelques petits inselbergs de granit viennent rompre la monotonie du paysage.

En GUINEE FORESTIERE, le relief devient plus accidenté, les altitudes

pouvant atteindre 700 mètres et parfois plus de 1.000 mètres. On y trouve de nombreux massifs et chaînes de montagne : chaîne du Simandou et du G'Bing (1.458 m. au pic THIO) qui s'étend du Nord au Sud, à l'Ouest de BEYLA, et se termine par les Monts NIMBA; la chaîne du ZIAMA, de direction N-NE, S-SW qui culmine au Mont BARO à 1.350 mètres etc..

De nombreux îlots de massifs isolés dont l'altitude varie de 700 à 1.300 mètres se rencontrent dans le centre, l'Ouest et le Nord de cette région.

Signalons encore en BASSE-GUINEE, à l'Est de CONAKRY, le mont KAKOULIMA qui domine de 1.007 mètres la plaine côtière fortement envasée.

Le modelé, d'une façon générale et sauf en ce qui concerne la région forestière, est fortement influencé par le cuirassement des sols.

- En BASSE GUINEE, on observe une plaine côtière basse, plus ou moins ennoyée en saison des pluies. Cette plaine est adossée aux collines schisteuses du pays BOVE à l'Ouest, et aux falaises gréseuses du FOUTA-DJALLON et du BENNA plus au Sud. La monotonie de ces basses plaines est rompue par les avancées rocheuses du CAP VERGA et de la Presqu'île du KALOUM. Toute la côte est fortement envasée, la vase étant plus fine au Nord de la Presqu'île du KALOUM qu'au Sud. Cette zone vaseuse se continue à l'intérieur par des bas coteaux sableux, très faiblement vallonnés, qui portent des peuplements végétaux denses fortement dégradés par l'homme. Ces coteaux viennent s'adosser aux éboulis de pente des falaises du FOUTA-DJALLON et du BENNA.

Le modelé de toute cette zone conserve l'empreinte de la forêt (surfaces molles et arrondies).

Vers DUBREKA, les gneiss et granits forment de petites buttes arrondies accentuant l'impression de déforestation récente.

- Le modelé du FOUTA-DJALLON est essentiellement celui de Hauts Plateaux à surfaces tabulaires très souvent cuirassées. La nature gréseuse du socle, les intrusions doléritiques en sills, accusent un aspect de modelé en gradins.

Ces grès sont fortement diaclasés et donnent un aspect de tassili assez caractéristique. De vastes compartiments ont subi des décrochements les uns

par rapport aux autres de l'ordre parfois de 250 m. Il se constitue ainsi de très hautes falaises donnant une configuration en "châteaux forts" dont les parois verticales peuvent dépasser 400 à 500 mètres de hauteur. Tout le long de ces falaises, on trouve un chaos de roches formées par l'accumulation d'éboulis provenant du recul de la falaise.

- Le modelé de l'Ouest de la GUINEE dans ses rapports avec les cuirasses a été longuement étudié par de CHETELAT (1938).

Dans les environs de GAOUAL et en Pays BASSARIS, les schistes redressés quand ils ne sont pas cuirassés, donnent un modelé de chaînons à crêtes aiguës avec des versants très découpés. Quand ils sont cuirassés, ils donnent une surface légèrement ondulée.

Les dolérites forment souvent des chaos constitués de grosses boules noyées dans des produits d'altération rouges et ont alors un modelé vallonné. Sur leurs bordures, les sills doléritiques forment des falaises très caractéristiques qui tranchent sur le paysage. Ces abrupts présentent souvent un débit grossièrement colonnaire avec prismes irréguliers qui s'amoncellent à leurs pieds, formant d'immenses éboulis chaotiques.

Le fort cuirassement de ces dolérites les protègent efficacement contre les processus d'érosion et accentue le modelé tabulaire.

Dans la région de PITA, on observe un modelé d'ennoyage, les grès ruinformes surgissant au milieu de sédiments d'origine douteuse.

- en HAUTE GUINEE, les grès horizontaux du FOUTA-DJALLON font place à des affleurements granitiques souvent couronnés de venues éruptives, produisant des bords bien caractérisés en surface, et, sur les bordures, des défilés prismatiques.

Les granites donnent un modelé en dôme quand ils ne sont pas cuirassés.

Vers l'Est, le pays devient plus monotone. On observe de vastes étendues cuirassées à peine ondulées, interrompues de temps à autre par des petits pointements granitiques. Dans cet ensemble, le NIGER et ses affluents ont creusé de larges vallées qui se développent vers le N-E. On y distingue plusieurs niveaux de terrasses, généralement trois, souvent bien conservés

par le cuirassement des sols.

- La GUINEE FORESTIERE est essentiellement une région éruptive et métamorphique qui présente l'aspect typique de pays granitique. Le modelé est arrondi, et ce caractère est accentué par la présence de la forêt. Souvent des falaises doléritiques à parois verticales font saillies au-dessus du paysage, surtout vers le Nord. La présence de dômes granitiques dénudés est également caractéristique de cette région.

Ces différentes formes du modelé de la GUINEE FORESTIERE ont été étudiés en détail par OBERMULLER (1941). Quand le substratum est formé de roches cristallophylliennes, le modelé se modifie. Ces roches sont pour la plupart redressées. Les quartzites à grande cohésion donnent un relief à profil dissymétrique, les pendages ayant généralement une direction Ouest. Les gneiss ont un modelé intermédiaire entre celui des quartzites et des granits. Le profil est doux, mais avec de nombreux changements de pente, en escalier.

V. HYDROGRAPHIE

Le FOUTA-DJALLON joue le rôle de chateau d'eau pour la majorité des fleuves guinéens. En négligeant les eaux drainées au Sud de la GUINEE FORESTIERE et qui ne représentent qu'une part infime dans l'hydrographie du territoire, l'écoulement des eaux se partage entre quatre directions privilégiées :

- Les versants Ouest du FOUTA-DJALLON qui s'écoulent directement vers la mer ;

- Le bassin supérieur de la GAMBIE qui draine une faible surface au Nord de la Guinée ;

- Le bassin du SENEGAL, qui par le BAFING et ses affluents, collecte les eaux des versants Nord-Est.

- Le bassin du NIGER qui draine les versants Est du FOUTA-DJALLON, toute la HAUTE-GUINEE, et la majeure partie de la GUINEE FORESTIERE.

Voici la liste de ces cours d'eau avec leurs principaux affluents :

A. - OUEST GUINEE -

Du Nord au Sud :

- la TOMINE qui se prolonge en GUINEE PORTUGAISE sous le nom de RIO CORUBAL ;
- le COGON avec son affluent le LINGOUROU, qui prend le nom de RIO POGON quand il forme son estuaire envasé;
- le Rio NUNEZ ;
- le FATALA ou RIO PONGO ;
- le KONKOURE avec ses deux principaux affluents la KAKRIMA et le BADI ;
- les rivières du Sud qui forment un vaste delta envasé vers BENTY;
- la KOLIENTE faisant frontière, pendant une grande partie de son cours, avec la SIERRA LEONE.

B. - LA GAMBIE -

Elle n'est représentée en GUINEE FRANCAISE que par la partie supérieure de son cours. Elle fait une vaste boucle vers le Nord avant de rejoindre le territoire du SENEGAL dans la région de KEDOUGOU.

C. - LE BAFING -

Il forme au SOUDAN le fleuve SENEGAL, en mêlant ses eaux à celles du BAKOY. Il prend sa source près de MAMOU. Il draine la majorité des eaux qui s'écoulent sur les versants Est du FOUTA-DJALLON. Son principal affluent est la TENE qui prend sa source vers DALABA sur les Hauts-Plateaux. La direction générale d'écoulement du BAFING est N-NE.

D. - LE NIGER -

Il prend sa source au SE de FARANAH. Après un vaste détour vers le NW,

il traverse la HAUTE-GUINEE suivant une direction générale W-SW, E-NE et pénètre dans le territoire du SOUDAN peu après avoir traversé SIGUIRI.

Ses principaux affluents sont :

- sur la rive gauche, principalement le TINKISSO qui forme une grande boucle vers le Nord après avoir pris sa source au Sud de DABOLA. Il rejoint le Niger peu avant SIGUIRI.

- sur la rive droite, le MAFOU, le NIANDAN, et le MILO qui écoulent les eaux de la GUINEE FORESTIERE et ont une direction générale SN.

La plupart de ces cours d'eau présentent, du moins dans leur partie supérieure, certaines caractéristiques qui dépendent de la constitution structurale du FOUTA-DJALLON. Le cours supérieur atteint le cours moyen par une série de gradins et terrasses. Les chutes sont nombreuses et l'eau circule souvent au fond de véritables câtons suivant le réseau de fractures. Le cours moyen montre des biefs beaucoup plus longs où les chutes sont remplacées par des rapides. Les rivières de l'Ouest forment dans leur cours inférieur de vastes estuaires ou deltas fortement envasés, où les marées se font sentir loin à l'intérieur des terres.

Par suite de l'écoulement extrêmement rapide des eaux de pluies à la surface du sol, les fleuves guinéens, sauf sur les Hauts-Plateaux, ont un régime torrentiel. A considérer seulement le régime du fleuve KONKOURE, on constate que le débit passe de $10 \text{ m}^3/\text{seconde}$ à son niveau d'étiage, à plus de $3.000 \text{ m}^3/\text{seconde}$ en période de crue au pont du KONKOURE. Les débits solides de ces rivières sont très mal connus. Certains auteurs ont même pu penser que ceux-ci étaient inexistantes. En pratique, ces rivières ne charrient pas de grosses alluvions. Cela tient à la nature des roches traversées. Les grès s'effritent en sables. Les biefs ayant une pente d'écoulement faible, les gros matériaux sont arrêtés facilement. Il serait nécessaire, dans ce cas, de mesurer les transports de fond (mouvements de sables par saltation). En comparant ces données à celles obtenues en parcelles pour la mesure de l'érosion hydrique, on a constaté que le débit solide était maximum, non en période de pointe de crue, mais dans les quelques heures qui suivent les tornades en début et en fin de saison des pluies. Par la suite, les phénomènes de ruissellement et d'érosion s'abaissent considéra-

blement pour devenir presque nuls à la suite du développement du tapis herbacé.

Il serait donc nécessaire de mesurer les variations du débit solide au cours de l'année avant d'apporter des conclusions définitives à ce problème. En effet, en début de saison des pluies, on remarque toujours que les eaux charriées par les rivières sont très boueuses, mais qu'elles s'éclaircissent considérablement en cours d'hivernage.

Toutes ces conditions d'écoulement des eaux sont actuellement étudiées en détail en GUINEE FRANCAISE : MAYONKOURE - FETORE- MILO (Service Hydrologique ORSTOM).

VI. FACTEURS BIOLOGIQUES

A. - VEGETATION (d'après AUBREVILLE)

Les peuplements végétaux reconnus en GUINEE FRANCAISE correspondent approximativement aux quatre régions bioclimatiques décrites par AUBREVILLE. Ce sont :

- les forêts mésophylles de BASSE GUINEE ;
- la forêt montagnarde du FOUTA-DJALLON ;
- la savane arborée soudano-guinéenne en HAUTE-GUINEE ;
- la forêt hygrophile de GUINEE FORESTIERE;

Sous l'action de l'homme, du pacage et surtout des foux courants annuels, les peuplements primitifs sont de plus en plus réduits. La GUINEE FORESTIERE reste relativement peu attaquée, bien que la pénétration par l'homme y soit depuis quelques années fort active. Parmi ces peuplements végétaux, on observe tous les faciès de dégradation, de la forêt jusqu'aux associations herbacées pyrophiles caractéristiques des affleurements cuirassés. AUBREVILLE (1947) a créé un terme spécial pour désigner cette évolution des peuplements liés au cuirassement à partir du mot foulah : boval, c'est la bovalisation

(dénudation des surfaces).

1. La GUINEE FORESTIERE est le domaine de la Forêt Equatoriale -

Le type moyen est une forêt très dense à couvert étroitement fermé. Les plus hautes cimes culminent vers 45 mètres de hauteur et parfois plus (50 à 60 m). On y observe un mélange d'arbres de toutes tailles et de tous âges. Les arbres ont le plus souvent un houppier peu volumineux par rapport à la hauteur des fûts. Parfois, au contraire, on observe des frondaisons majestueuses chez les très grands arbres qui dominent l'étage moyen de la forêt. Les fûts libres se caractérisent par leur grande hauteur et leur rectitude. Leur base porte généralement des contreforts. Le feuillage est persistant ou dans certaines formations caducifolié. Le jeune feuillage est souvent rougeâtre. Des lianes de toutes catégories, et très abondantes, pullulent dans ces formations. Les branches des arbres et parfois les fûts sont littéralement recouverts de nombreux épiphytes. Le tapis herbacé est absent ou très maigre, sauf dans les clairières. La composition botanique de cette forêt est très hétérogène et très variable.

La dégradation de la forêt par l'homme est en GUINEE FRANCAISE extrêmement brutale. Les peuplements arborés sont remplacés d'une façon exclusive par des peuplements herbacés qui sont la proie des feux de brousse pendant la courte saison sèche. Le feu est certainement la raison essentielle de la non transformation de la forêt en savane arborée dans ces régions.

2. Forêt FOUTANIEENNE -

Le massif du FOUTA-DJALLON est entouré partout de savanes boisées soudano-guinéennes jusqu'à une altitude de 800 mètres environ. A partir de cette altitude, ces peuplements sont remplacés graduellement par une forêt dense qui est actuellement excessivement dégradée. Elle ne subsiste plus que sur les crêtes de montagne. Cette forêt est remarquable par la prédominance du sougué (Parinari excelsa sabine), caractéristique par sa puissante cime hémisphérique très feuillue et garnie de lichens. Sous l'action probablement de l'homme, cette forêt a été remplacée par des broussailles où abondent les espèces de brousse secondaire de la forêt dense humide, et

surtout par une prairie claire à graminées. Parfois aussi, elle a totalement disparu lorsqu'elle était installée sur des cuirasses.

"Les conditions d'aridité de la région considérée font penser qu'il s'agit fort probablement d'une survivance d'un passé écologique inconnu, mais plus humide, qui fait comprendre la facilité de dégradation de cette forêt" (AUBREVILLE, 1949).

3. Le domaine SOUDANO-GUINEEN se caractérise par des peuplements de savane excessivement variés dont les formes primitives sont généralement des forêts sèches à fûts tourmentés et dont le sous-bois est constitué d'associations de grandes graminées.

Parmi ces formations, on peut distinguer des forêts sèches et des savanes forestières.

4. Forêts sèches -

En HAUTE GAMBIE, s'individualise une forêt dense à sous-bois de bambous (Oxythenanthera abyssinica). La futaie est constituée d'assez grands arbres espacés pouvant atteindre 15-20 mètres de hauteur. Le sous-bois est formé irrégulièrement par de hautes touffes de bambous, et par des arbustes et sous arbrisseaux disséminés (Combretum). Ils se développent très souvent sur des sols ayant subi des phénomènes de cuirassement en profondeur. Ce type de forêt est apparenté à la forêt sèche dense de l'Ouest de la GUINEE FRANCAISE à Pterocarpus erinaceus et Parkia biglobosa.

En BASSE GUINEE Occidentale, dans la région de TELIMELE-GAOUAL, s'observent de beaux massifs, à Pterocarpus erinaceus et Parkia biglobosa. La futaie de 15-18 mètres de haut est fermée et composée en très grande partie par les deux espèces. D'autres espèces soudano-guinéenne sont en mélange. Le sous-bois arbustif et sarmenteux est compact. Les lianes sont nombreuses. On y observe par tache des touffes de bambous. La futaie passe parfois au peuplement à Erythrophleum guineense.

Sur les contreforts du FOUTA-DJALLON, fortement dégradés par l'homme, on retrouve souvent des lambeaux de forêts à Anogeissus leiocarpus. Elles se mélangent facilement à toutes les grandes formations forestières des

pays à longue saison sèche (par exemple à Isoberlinia en HAUTE GUINEE)

5. Savanes forestières -

Les forêts à Isoberlinia et Uapaca (sau-somon) constituent les plus beaux peuplements des régions de savanes boisées de HAUTE GUINEE. Elles sont pauvres en espèces dominantes : deux Isoberlinia (Doka et Dalzielli) et un seul Uapaca (U. Somon). Le type de savane forestière est presque exclusif. Ces peuplements envahissent généralement les terrains de cultures abandonnées. Ils sont caractéristiques du domaine soudano-guinéen dont la pluviométrie est de l'ordre de 1.300 - 1.500 mm.

A partir de KANKAN en HAUTE GUINEE, se développent des savanes boisées à Butyrospermum Parkii (Karité), subspontanés dans les terrains de cultures.

La plupart de ces forêts sèches ont fait place à des savanes arborées qui deviennent dominantes dans le domaine soudano-guinéen et ses variantes maritimes. Ces savanes sont plus ou moins hautes suivant leur degré de dégradation. Les peuplements herbacés où dominent les Andropogonées qui constituent presque exclusivement le sous-bois, sont presque chaque année, en saison sèche, la proie des feux courants. Les peuplements sont, en règle générale, très mélangés. Parmi les types les plus communs, il faut citer : les savanes à Lophira alata en BASSE GUINEE, en GUINEE FORESTIERE, qui indiquent toujours un degré avancé de la dégradation des sols ; les savanes à Terminalia macroptera, à Daniella Oliveri, à Pterocarpus erinaceus, à Afrormosia laxiflora, à Sterculia setigera et à Bombax costatum aux confins de la GUINEE et du SENEGAL ; enfin, les nombreuses jachères à Guiera senegalensis et à Combretum glutinosum dans ces mêmes régions . Les savanes très basses à Syzygium guineense var. macrocarpa sont typiques des régions fortement cuirassées du FOUTA-DJALLON. Enfin, pour mémoire, on peut signaler les peuplements plus spécifiques de mangroves le long de la côte envasée, et, en arrière, de ceux-ci d'immenses peuplements de palmiers à huile (Eleis guineense).

B. - ACTIONS ANTHROPIQUES -

Cette action est partout très sensible, aussi bien sur la végétation que sur l'évolution des sols :

- action directe dans la destruction du couvert végétal, dans la destruction de la structure du sol par les façons culturales ;
- action indirecte dans l'apparition de l'érosion, l'affleurement des cuirasses, le tarissement des sources, etc.. ;

Sauf en GUINEE FORESTIERE où la forêt tropicale humide primitive n'est attaquée qu'en bordure des savanes et autour des grands Centres, partout ailleurs l'homme a imprimé son empreinte sur la végétation.

Les grandes zones de peuplement se situent pour la GUINEE, au FOUTA-DJALLON, où la densité d'habitants au km² peut atteindre 60, et, le long de la bande côtière. En HAUTE-GUINEE, quelques grands centres Malinkés se sont développés sur les rives du NIGER et de ses affluents (KOUROUSSA, KANKAN, DINGUIRAYE, etc...). Mais ce sont généralement des peuplements très concentrés qui marquent le reflet d'un passé guerrier. De grandes zones se trouvent encore actuellement presque complètement dépourvues de population. Il est généralement admis que ce dépeuplement date de l'époque de SAMORI.

En GUINEE FORESTIERE, quelques grands Centres se sont créés à la lisière nord de la forêt : MACENTA, N'ZEREKORE, KISSIDOUGOU, etc.. pour profiter des échanges entre la savane et ces régions.

En grande majorité, la plupart des peuplades conquérantes sont d'origine nomade (Malinkés, Foulahs). Comme la plupart des peuples islamisés, ce sont de grands destructeurs d'arbres. Leur principale activité est l'élevage. La fixation de ces tribus, qui est un fait historique, a contribué pour une part essentielle à la destruction de la végétation primitive et corrélativement, à la dégradation des sols. Ces races pratiquent traditionnellement des cultures itinérantes avec longues jachères. Mais par suite des poussées démographiques, la régénération naturelle est de plus en plus réduite. Les méthodes culturales du type extensif ne sont plus en équilibre avec le pays, et il s'ensuit une perte de fertilité des sols et

une dégradation de ceux-ci par érosion hydrique. De nombreuses zones se trouvent ainsi complètement perdues pour l'homme. Cette action destructrice s'est particulièrement fait sentir au FOUTA-DJALLON. La sylve primitive a presque totalement disparu des pentes et des sommets. A la forêt primitive à Parinari a fait place une savane de plus en plus dégradée où les espèces pyrophiles sont dominantes (Lophira alata, Hymenocardia acida, Syzygium guineense, etc..). Sur les Hauts Plateaux et sur les sols les plus meubles (Plateau des TIMBI, du LABE) se sont développés des peuplements herbacés où dominent les Loudetia que l'on considère comme un faciès de dégradation ultime de la forêt primitive.

Généralement, là où la forêt a disparu, s'observent les zones les plus cuirassées et ceci est d'autant plus prononcé que la déforestation est plus ancienne. Sur les Hauts Plateaux du FOUTA DJALLON, la grande majorité des taches cuirassées représentent l'extension d'anciens champs de culture. Les traces de ceux-ci se retrouvent encore actuellement jusque dans les parties les plus dégradées. Les Africains recherchent de préférence les pentes d'origine doléritique aux plateaux gréseux ou cuirassés, pour la culture du riz de montagne, puis du fonio (Digitaria exilis). Les sols doléritiques sont souvent partiellement cuirassés en profondeur. Au fur et à mesure que l'érosion hydrique agit sur les pentes, par entraînement des éléments meubles les plus fins, il y a augmentation relative des éléments grossiers. Les pierres "poussent" dans les champs. Un épierrage est nécessaire, et l'on observe ainsi, au milieu des terrains en culture, des petits tas de cailloux dont le nombre va en augmentant au fur et à mesure que le sol s'érode. La présence, sur de nombreuses cuirasses affleurantes, de ces petits tas permet de se faire une idée assez exacte de l'extension ancienne des champs de culture dans ces régions. Cette mise à nu des cuirasses, consécutive de la mise en culture des pentes est un fait historique. Les vieux paysans se rappellent bien souvent avoir cultivé dans leur jeunesse, des zones actuellement incultes.

Cette dégradation est également due, pour une grande part, à l'action des troupeaux. Le FOUTA DJALLON est un des grands centres d'élevage en A.O.F. Le bétail, pour le Foulah, comme pour beaucoup de pasteurs est plus un signe de richesse qu'une possibilité de revenu. C'est le nombre de têtes de bétail qui compte et non son état sanitaire. Il s'ensuit un développement

considérable du troupeau et une surcharge progressive des paturages avec destruction des jeunes recrues forestiers. Ces processus de dégradation sont accélérés par les feux de brousse qu'allument les pasteurs pour favoriser la repousse herbacée en saison sèche.

Le rôle des feux courants est toujours fortement discuté, et certains y trouvent même plus d'avantages que d'inconvénients. Mais les avantages mis en avant (destruction des parasites par exemple) ne représentent que des solutions de facilité à courte vue qui hypothèquent l'avenir. Les feux de brousse marquent d'une empreinte très forte toute la végétation :

- feux de débroussement ;
- feux pastoraux ;
- feux provoqués par les chasseurs pour rabattre le gibier ;
- feux provoqués par les enfants et souvent même aussi par les grandes personnes pour se distraire, etc...

On peut rappeler que des études récentes ont montré (MASSON, 1949) que les feux de brousse n'avaient qu'une action physique très faible sur le sol. La chaleur dégagée ne pénètre pas suffisamment celui-ci pour provoquer une deshydratation irréversible des sesquioxides.

Les actions les plus sensibles des feux de brousse se font sentir sur :

- l'évolution de la flore microbienne du sol (DOMMERGUES, 1957) ;
- la destruction des sources de matière organique ;
- l'enrichissement en silice des horizons de surface des sols (D'HOORE, 1954) par insolubilisation de la silice contenue dans les pailles ;
- la sélection des espèces pyrophiles (CHEVALIER, 1949, AUBREVILLE, 1949) ;
- la destruction du couvert végétal qui protège le sol contre l'érosion (cf. essais érosion du Bureau des Sols de l'A.O.F.).

En pratique donc, la majorité des actions sur le sol sont indirectes, mais elles contribuent à modifier considérablement le milieu.

Il n'est pas possible cependant d'affirmer que les phénomènes de "bovalisation" sont sous la seule dépendance d'actions humaines. Si l'homme accélère ces processus, ceux-ci apparaissent comme faisant partie de phénomènes naturels. La mise à l'affleurement des cuirasses que supportent les

vieilles surfaces tertiaires et les pentes qui dévalent de ces plateaux, est dans la plupart des cas un phénomène pédologique dont l'évolution a débuté avant l'apparition de l'homme. Les facteurs les plus nets dans cette mise à nu des cuirasses paraissent se trouver dans les changements du niveau de base de la nappe phréatique et dans l'érosion naturelle, accélérée par certaines conditions climatiques (précipitations intenses et répétées). Le feu reste actuellement un des grands responsables de l'accélération de ce décapage.

C. - AUTRES ORGANISMES -

De CHELELAT (1938), a signalé que "les conditions limites du milieu dans lequel la latéritisation est possible, peuvent être envisagées pour justifier l'hypothèse des microorganismes".

Toute une série d'études prouve l'importance des phénomènes biologiques dans les processus de cuirassement des sols. BETREMIEUX (1951) a montré que le dynamisme du fer et du manganèse dans les sols était lié pour une part importante à leur activité fermentescible. D'HOORE (1949) a été un des premiers à attirer l'attention sur l'importance des complexants organiques dans la mise en mouvement des hydroxydes, etc.. Il apparaît donc que la connaissance du milieu biologique du sol peut apporter une contribution essentielle à la compréhension des phénomènes de cuirassement. Malheureusement, l'étude microbiologique des sols guinéens en est encore à son début. Quelques mesures de flores totales que j'ai effectuées ont montré la nette prédominance des organismes anaérobies sur les aérobie, et cela même en sol particulièrement bien drainé. Depuis DOMMERGUES (1957) a abordé ce problème d'une manière plus systématique dont on attend avec grand intérêt les résultats (silico-bactéries, décomposition de la matière organique, action du CO_2Ca , etc..) - (cf. tableau.).

L'action des termites est un peu mieux connue. Ces insectes peuvent remonter au-dessus des niveaux indurés des éléments meubles en suffisamment grande quantité pour permettre la création d'un nouveau sol. Ils contribuent également à une remontée, dans les horizons de surface, de certains éléments

tels que le carbonate de calcium et l'acide phosphorique (BOUYER, 1949) ERHART, (1951) considère comme essentielle la présence d'une activité des termites dans la constitution des cuirasses. Il se base pour cela sur certaines formes cuirassées alvéolaires qui rappellent la structure des termitières. Quand on examine d'un peu près le problème, on s'aperçoit que si les termites circulent effectivement à travers les niveaux indurés comme à travers tout horizon des sols, ils y creusent des galeries qui n'ont rien de particulièrement spécifiques. On remarque que la construction des termitières se fait par apports successifs de petites boulettes de terre imprégnées de salive, et, quelquefois, de petits gravillons ferrugineux dont le diamètre excède rarement un ou deux millimètres. Un examen de ces gravillons montre qu'ils sont tout à fait semblables à ceux des sols environnants où ils ont été prélevés. Il ne semble donc pas que les termites aient une importance considérable dans la formation des cuirasses.

Parmi les nombreuses espèces reconnues en Afrique, les plus remarquables observées en GUINEE FRANCAISE sont : (CHEVALIER, 1949)

- les Bellicositermes natalensis Hov. qui construisent de hautes termitières en forme de cathédrales ;
- les Eutermes fungifaber Spost. qui édifient de véritables peuplements de termitières champignons si caractéristiques des bové guinéens ;
- les Odontotermes vulgaris Hov. qui tracent de nombreuses galeries à la surface du sol.

Tous ces animalicules s'attaquent aux bois, pailles et à toute matière végétale. Ils contribuent à la destruction des apports organiques du sol.

Il faut mentionner enfin, l'action importante des vers de terre dans certains sols alluviaux. Ils remanient fortement les horizons de surface, et forment au pied de chaque touffe d'herbe des petites buttes de terre très fertiles qui ont une grande influence sur le drainage et sur les caractéristiques du sol quand elles sont aussi nombreuses que celles que l'on observe dans les bas-fonds de GUINEE.

DEUXIÈME PARTIE

LES SOLS CUIRASSÉS, ÉCHANTILLONS ET PROFILS

C H A P I T R E 5

E C H A N T I L L O N S D E C U I R A S S E S

Lorsque l'on parcourt la GUINEE FRANCAISE, il est peu de sites où la surface du sol ne soit parsemée de quelques débris de cuirasses. Les carrières et les tranchées montrent pour la plupart, à des degrés plus ou moins avancés, les traces de processus de cuirassement. Il est donc extrêmement facile de prélever des échantillons. Mais cette facilité présente aussi quelques inconvénients. L'hétérogénéité du matériau cuirassé rend à peu près impossible la description de tous les cas rencontrés. Aussi est-on obligé de faire un choix parmi les échantillons les plus représentatifs.

I. EXEMPLES ETUDIES

A. - Entre le Plateau de LINSAN et la Ville de MAMOU, km 45, en bordure de la route -

Le bowal supérieur présente des blocs cuirassés, parallélépipédiques, ordinairement de grosses tailles qui reposent sur la surface cuirassée du sol. Les dimensions varient de quelques centimètres à plusieurs décimètres. Les blocs les plus petits sont arrondis. Extérieurement ils sont tous de couleur foncée, brun-rouge à brun-noire. Les échantillons sont fortement indurés et se cassent difficilement au marteau. La structure est pisolitique. Des concrétions ou des gravillons de couleur rouge à brun sont cimentés par une pâte plus claire, jaune-rouge à rouille, moins indurée, parfois friable. Des petits canalicules dont les parois sont tapissées de films ferrugineux et où sont englobés des grains de quartz clastiques, parcourent ces édifices. L'assemblage est compact et la densité apparente élevée.

Par place s'individualisent des amas ferrugineux, qui aggravent l'induration.

B. - Route de MAMOU à DALABA ; km 30 ; carrière à gauche de la route -

Des faciès variés peuvent être observés :

- dans la partie supérieure, de nombreux gravillons de couleur brun-noire, extrêmement durs et denses, à cassure colorée de brun-violacé, et à structure finement scoriacée, se trouvent en mélange avec de gros blocs cuirassés, provenant du démantèlement de la cuirasse inférieure.

- cette cuirasse forme un niveau continu, de plus de 2 mètres d'épaisseur, de couleur brun-rouge à rouge. L'induration est assez forte, et diminue vers le bas. La cuirasse se casse assez facilement au marteau. Elle se trouve constituée de nombreuses concrétions rouges, arrondies, très indurées, dont la taille excède rarement 2 cm. Ces concrétions se trouvent cimentées par une pâte assez concentrée, de couleur rouge à jaune, beaucoup moins indurée. Par place, cette pâte forme des petites alvéoles de couleur plus claire blanchâtre à jaune ocre, qui contiennent des particules terreuses meubles, facilement déblayées par les eaux de ruissellement. Cet ensemble est traversé de diaclases qui limitent des blocs de plusieurs tonnes et le long desquelles se déposent des films ferrugineux bruns très durcis.

- au-dessous, les diaclases et les canalicules s'anastomosent en canaux plus importants qui donnent à la cuirasse un faciès franchement alvéolaire. Les couleurs sont plus éclatantes et plus bariolées : rouges, jaunes, blanchâtres. Des produits meubles, ocres à grisâtres, remplissent les interstices. Le squelette est peu induré, et il est possible de le briser à la main.

- plus bas encore, la trame cuirassée devient plus diffuse et de moins en moins continue. Elle finit par donner des amas nodulaires, faiblement indurés, dont la grosseur moyenne est de 5 cm en moyenne. Ils sont de couleur jaune rouille et se trouvent isolés au milieu d'une masse argileuse à argilo-sableuse rouge. Parfois, des amas de fer, fortement durcis, de couleur brun-noire s'individualisent en grosses concrétions. Ces dépôts prennent ainsi la forme de plaquette le long des lignes de moindre résistance,

où circule l'eau. Ce niveau présente, par place, des taches, peu durcies de couleur noire, dues à des dépôts de manganèse.

C. - Route de PITA à MAMOU, carrière en face de l'embranchement de DARALABE -

Ici aussi de nombreux faciès peuvent être observés :

- en surface s'étalent de nombreux débris de cuirasse pisolithique dense, de couleur brun-rouge à bruno, fortement indurés.
- au-dessous la cuirasse, à morphologie identique, se trouve démantelée en gros blocs, de plus de un mètre de diamètre.
- puis vers le bas s'observent des plaquettes rouges, de 1 à 5 cm d'épaisseur et de tailles variables, de couleur rouille à rouge, peu denses, poreuses, peu indurées, formées par l'imprégnation ferrugineuse d'écailles de produits d'altération en "pain d'épice" des dolérites. Parfois ces plaquettes deviennent extrêmement dures, prennent une couleur brune foncée métallique, et sont très compactes quand le fer épigénise toute la masse. Certaines écailles surtout dans les zones proches de la roche fraîche, se recouvrent de dépôts manganifères noirs.
- des blocs de dolérite fraîche se trouvent figés au milieu d'une cuirasse alvéolaire rouge-brune, assez indurée, le tout noyé dans une masse argileuse rouge.
- enfin de nombreuses écailles de "pain d'épice", faciès d'altération des dolérites, peu indurées, légères, poreuses, constituées presque uniquement d'un squelette de gibbsite complètent cet ensemble très complexe dont l'épaisseur atteint 6 mètres.

D. - LABE - Carrière à gauche, en sortant de la ville par la route de PITA -

- Le sol en surface est gravelleux et très érodé.
- puis sur 40 cm d'épaisseur s'observent des gravillons nombreux, bruns, très durcis, partiellement dissouts par les eaux de percolation. Ces produits, libres entre eux, se trouvent plus ou moins mélangés à de gros blocs de cuirasse pisolithique roulés du sommet de la colline.
- la cuirasse sous-jacente, assez continue, est bien indurée surtout

vers son sommet. Elle se casse facilement au marteau. La structure est alvéolaire, avec des noyaux plus ferrugineux, plus rouges et plus durcis que la masse où ils se trouvent individualisés. Ces concrétions se retrouvent dans les niveaux sous-jacents jusque vers 8 mètres de profondeur. La cuirasse est de couleur ocre-rouge à ocre-rose, et dans l'ensemble, assez claire. Le squelette induré est généralement blanchi le long des canalicules.

- vers le bas, l'induration tend à disparaître rapidement par transformation du squelette continu en des amas nodulaires isolés les uns des autres. La couleur devient également plus uniformément rouge. On y observe encore quelques concentrations de concrétions pisolithiques, brun-rouges, bien durcies dans un ensemble plus argileux.

E. - DALABA - Bowal supérieur aboutissant au Mont TINKISSA -

- Les blocs de cuirasses mis en affleurement constituent une roche poreuse, à structure scoriacée, de couleur générale rose, assez fortement indurés. Par places, cette surface se trouve recouverte de dépôts de films, brun-noirs, formant une sorte de cortex. Parfois également des accumulations de gravillons ferrugineux arrondis se trouvent cimentés par une pâte plus claire, assez durcie, très riche en alumine. Dans l'ensemble, le faciès le plus commun est celui d'un ancien "pain d'épice" partiellement dissout et imprégné de solutions ferrugineuses.

F. - KINDIA - Station Centrale I.F.A.C. -

Les échantillons sont, là encore, très variés d'aspect :

- près du Cercle, les débris sont constitués par des amas de sables quartzeux, cimentés par une pâte ferrugineuse rouge violacée. Le tout est assez friable.

- en bordure du TOUGANDE, la cuirasse prend un faciès oolithique très peu commun. Les oolithes sont de couleur blanche ou rose. La taille excède rarement 5 à 6 mm. Elles se trouvent cimentées par une pâte de

couleur rouge à rouge violacée. Parfois on assiste à une inversion des couleurs. Il est facile d'observer les dépôts concentriques de sesquioxides qui donnent naissance à ces oolithes. L'ensemble est très durci.

- dans une carrière ouverte sur le flanc de la colline du DJUNIA, c'est l'aspect bauxitique qui domine. Les roches sont poreuses, généralement de structure scoriacée, de couleur rose à rouge, et sont peu indurées. Elles se cassent facilement au marteau. La densité est faible. Certains échantillons sont plus blanchis que d'autres; parfois, au contraire, on observe des dépôts ferrugineux de couleurs rouge-brunes, plus durcis le long des diaclases qui, dans l'ensemble, sont parallèles à la pente du terrain. De nombreux blocs, de couleur rose légèrement violacée sont constitués de petites plaquettes riches en alumine qui marquent la trace des schistes sériciteux qui ont donné naissance aux bauxites. Le litage primitif se suit grossièrement à travers les échantillons.

G. - A proximité des chutes du KINKON (PITA), s'observent fréquemment des débris de grès plus ou moins épigénéisés par du fer. Celui-ci se met en place dans les niveaux de moindre résistance et contribue au démantèlement de la masse siliceuse qui est déblayée par les eaux. Il ne subsiste plus qu'un squelette ferrugineux, où se trouvent englobés de nombreux grains de quartz, de couleur ocre-jaune à brune, fortement indurés, à structure vaguement feuilletée.

- Des faciès identiques s'observent sur tous les affleurements gréseux du FOUTA-DJALLON. Souvent il se forme de véritables brèches à ciment ferrugineux.

H. - Cuvette de FELLO BANTAN -

Deux faciès principaux peuvent être observés près des effondrements qui se situent au centre de la cuvette :

- une cuirasse à structure pisolithique, moyenne durcie domine la formation. La couleur extérieure est brune mais sur les cassures dominant les rouges et ocre-rouilles. Les noyaux de couleur plus foncée que la pâte sont aussi toujours plus indurés que cette dernière. L'épaisseur est de

50 cm environ.

- La cuirasse sous-jacente prend une structure feuilletée très caractéristique. Le squelette essentiellement ferrugineux est moyennement induré. Il forme des petites alvéoles aplaties horizontalement. Les couleurs dominantes sont jaune-rouges et ocre-rouilles. Les alvéoles contiennent des particules terreuses, de couleur claire, friables et facilement entraînées par les eaux.

I. - LABE, en bordure de la route du SENEGAL, à droite après le terrain d'aviation -

La cuirasse domine en corniche un ravin d'érosion. Le déblayage des formations meubles sous-jacentes a provoqué des effondrements par porte à faux.

- en surface la cuirasse a un aspect compact. Elle est fortement indurée et la couleur générale est brune. La structure est finement pisolitique. De nombreux petites concrétions ferrugineuses, de couleur rouille à noirâtre se trouvent noyées dans une pâte ocre-rouille durcie. Le long des diaclases s'observent des dépôts ferrugineux brillants, bruns. A l'intérieur de la masse la circulation des eaux amène la formation de petits canaux vermiculés, et provoque, soit un blanchissement des matériaux voisins, soit au contraire, un dépôt de films ferrugineux concentriques.

- au-dessous la cuirasse apparaît beaucoup moins indurée. Elle est de moins en moins concrétionnée avec la profondeur, sur une épaisseur visible de 150 cm. Le tout est constitué de trainées rouges, à structure vaguement vacuolaire et feuilletée, moyennement durcies. Des zones de blanchiment indiquent le sens de la circulation des eaux.

J. - TIANGEL BORI -

C'est une immense cuvette entièrement cuirassée sur la route GUINEE-SENEGAL.

- en bordure du marigot, les blocs cuirassés sont essentiellement ferrugineux, de couleur brune. La structure est feuilletée à alvéolaire assez

lache. Le squelette fortement induré enrobe de nombreux grains de quartz clastiques. Par place, il cimente des blocs de dolérite, plus ou moins altérés, entourés d'un cortex ferrugineux.

- la presque totalité de la surface de la cuvette est recouverte d'un tapis de débris cuirassés dont l'épaisseur dépasse plusieurs décimètres. Ces débris assez fins et bien triés en bordure du marigot, deviennent de plus en plus grossiers et hétérogènes en s'approchant des collines. Aux pieds de celles-ci on observe des amas de gravillons très durcis, arrondis par usure mécanique, parfois recouverts d'une pellicule ferrugineuse. Leur coupe montre les traces d'anciens blocs cuirassés, à structure scoriacée fine, de couleur brune-violacée. Parfois, au contraire, il s'agit de dépôts successifs de films ferrugineux autour d'un grain de quartz. La taille moyenne varie de 1 à 3 cm. Les dépôts sous forme de traînées montrent très nettement le rôle du ruissellement des eaux superficielles dans le transport et le tri de ces gravillons.

- sur les pentes de la colline, les blocs deviennent plus massifs moins roulés. Ils sont toujours de couleur brune. Ce sont des débris à structure pisolitique, qui atteignent fréquemment la taille d'un poing, et où se trouvent inclus des morceaux de dolérites, plus ou moins altérés et imprégnés de fer.

- près du sommet, les blocs basculés prennent une taille considérable. Ils ont parfois plus de 1 mètre de diamètre. Ils sont très durcis, surtout en surface ; de couleur brune foncée.

- Le bowal qui surmonte ces collines est plus ou moins effondré, à modelé subhorizontal. Il montre à sa surface des blocs identiques aux précédents, éparpillés sur ^{un} niveau induré à faciès scoriacé, de couleur plus claire, rouge à rose-rouille, et paraissant bien enrichi en alumine. Il présente l'aspect d'un "pain d'épice" d'altération de dolérite, plus ou moins fossilisé par des imprégnations et des épigénies ferrugineuses.

K. - Route TAMBA COUNDA - GUINEE ; km 50 environ, bordure de la terrasse supérieure dominant la GAMBIE -

Le pays est partout cuirassé. Les blocs de cuirasses sont très durcis, riches en fer, et de couleur brune foncée.

- en surface, la structure pisolithique est presque exclusive. La pâte ferrugineuse est de couleur jaune rouille à brune. Elle est fortement indurée. Les pisolithes, de 1 à 2 cm de diamètre, sont généralement plus rouges, mais également très durcis.

- au-dessus la cuirasse prend souvent un faciès feuilleté caractéristique. Le squelette est bien induré, ferrugineux, et tassé dans le sens vertical. On a parfois l'impression de states empilées les unes sur les autres. Les alvéoles aplaties contiennent des produits terreux, friables, de couleur ocre-rouille à beige.

- puis la cuirasse prend une structure nodulaire. Le squelette n'est plus continu. Les grosses concrétions sont allongées dans le sens vertical, sont de couleur ocre-rouille à rouge, et faiblement durcies. On les brise à la main.

L. - Route de KEDOUGOU - SATABOUGOU, en bordure de la rivière GAMBIE

Les niveaux indurés sont observés dans les alluvions, assez complexes du fleuve. Ces alluvions sont constituées de bancs à stratification entrecroisée de sables, d'argile et de galets.

Les échantillons cuirassés présentent les faciès suivants :

- galets quartziteux cimentés par une pâte ferrugineuse brune formant un squelette alvéolaire durci.

- sables cimentés en grès à ciment ferrugineux, assez friables.

- plaquettes ferrugineuses, excessivement durcies, de couleur brune foncée presque noire, entre des bancs argileux.

- cuirasse à squelette alvéolaire brun-rouge, à alvéoles ocre-jaunes dans les sédiments argilo-sableux.

Tous ces niveaux indurés sont sporadiques et discontinus.

M. - KANKAN - Station Rizicole de BORDO

Les faciès cuirassés varient fortement lorsque l'on passe de la terrasse supérieure au lit moyen du MILO.

- sur la terrasse supérieure, la cuirasse très durcie, compacte, a une structure ordinairement pisolithique. Elle est de couleur brun-rouge, à brun-noire en surface. La coupe présente des teintes plus bariolées et éclatantes.

A sa partie inférieure cette cuirasse passe à une structure nodulaire. Elle est beaucoup moins durcie. On observe, par place, des passages à des faciès feuilletés.

- sur la terrasse moyenne, les cuirasses montrent des dépôts de gravillons ferrugineux libres entre eux, très durcis, de couleur brune foncée. Dans les zones à drainage déficient, les gravillons sont cimentées en blocs aplatis horizontalement qui sont excessivement durs. Le ciment est une pâte ferrugineuse ocre-jaune.

- en bordure de la basse terrasse, la cuirasse est peu indurée de structure alvéolaire assez lâche. Le squelette ocre-rouge à ocre-rouille est peu durci. Il renferme dans ses alvéoles légèrement aplaties, des produits terreux ocre-jaunes.

- dans les alluvions récentes, on observe des niveaux nombreux de gravillons ferrugineux, fortement indurés, de couleur brune et recouverts d'une patine terreuses. Ils se trouvent ordinairement légèrement blanchis sur leurs pourtours, et souvent recouverts d'une mince pellicule argileuse blanchâtre. En certains points, ces gravillons sont cimentés secondairement par une pâte ferrugineuse ocre-jaune à brune, très durcie, en blocs arrondis, de 5 à 10 cm de diamètre en forme d'agglomérats. D'autres niveaux sableux sont transformés en grès à ciment ferrugineux, généralement assez friables. Quelques faciès alvéolaires, plus ou moins diffus, se développent en bordure du lit mineur dans les alluvions sablo-argileuses. Le squelette, de couleur brun-rouille, est le plus souvent assez lâche et l'induration variable. Ces quelques faciès sont excessivement communs dans les alluvions actuelles du NIGER et de ses affluents (BOKORO, LOGHOROMBO, BANIE, TINKISSO, BALLAY) - (MAGNIEN et VEROT, 1950).

N. - SEREDOU - Station du Quinquina - GUINEE FORESTIERE -

- en bordure de la route menant au poste 5, sur la plaine haute

550 mètres, on rencontre dans les sols de nombreuses concrétions rouges à jaune-rouilles, assez bien durcies, mais pouvant encore être coupées avec les ongles, et dont les dimensions n'excèdent pas 1 à 2 cm de diamètre.

Par place, l'arène argileuse résultant de l'altération des granites hybrides sous-jacents, se trouve imprégnée de solutions ferrugineuses qui cimentent le tout, en une masse à faciès de cuirasse. En bordure du marigot, l'arène devient plus argileuse, plus épaisse. Il se produit une ségrégation du fer qui donne un aspect bariolé à l'horizon. Il se met en place un vague squelette de couleur rouge, faiblement induré, à structure alvéolaire, parfois pisolithique quand les concrétions deviennent très nombreuses. Les couleurs rouges et rouilles dominent.

- au poste 5, à plus de 1.000 mètres d'altitude, la cuirasse est presque partout en voie d'altération. Elle prend là aussi des aspects variés :

- gravillons fortement durcis, bruns à rouges, noyés dans les sols.
- écailles de dolérites altérées et ferruginisées, de couleur rouge, rouille, rose, généralement peu durcies, poreuses, à structure ordinairement scoriacée.
- arènes d'altération des granites, plus ou moins figées et fossilisées par imprégnation ferrugineuse. La trame des minéraux altérés est parfois bien conservée. On observe des passages à la structure scoriacée pour les cuirasses les plus alumineuses.
- cuirasses pisolithiques, fortement ferrugineuses, de couleur foncée dans les bruns et brun-rouges, très durcies, en blocs, résiduels sur les sommets.

0. - Route de NZEREKORE à MAN, à la frontière de la GUINEE et de la COTE d'IVOIRE -

- Des concrétions rouges brunes à rouge-violacées, d'induration variable, mais dont la plupart s'écrasent entre les doigts, sont à peine individualisées au milieu de produits argileux de couleur rouge.

II. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET MINERALOGIQUES

DES ECHANTILLONS DE CUIRASSES

Ce bref aperçu de quelques échantillons montre l'extrême hétérogénéité du matériau cuirassé. Cependant à travers celle-ci, il est possible de dégager des caractéristiques assez spécifiques.

A. - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES -

1. Induration -

Le premier aspect caractéristique du matériau cuirassé est son induration. Lorsque l'on examine les différents échantillons prélevés en GUINEE, on constate que tous les degrés d'induration sont représentés, depuis des produits presque neubles, à peine cohérents, jusqu'aux blocs les plus durs, qui se cassent difficilement sous le choc du marteau.

L'appréciation de l'induration pose un certain nombre de problèmes. En particulier, à quel moment peut-on considérer qu'un matériau est induré ? La notion d'induration implique une certaine résistance tant à une action physique, qu'à une action plus typiquement physico-chimique. Il semble que l'on puisse considérer le début de l'induration dès qu'un échantillon cohérent reste stable au contact de l'eau. Il est possible qu'il puisse se déliter partiellement, mais son squelette se conserve.

On distingue parfois deux stades dans le degré de dureté des échantillons : un stade carapace se coupant à la bêche et se cassant facilement à la main ;

: un stade cuirassé, beaucoup plus durci, qui se façonne néanmoins au marteau.

Ces données restent assez imprécises. Aussi il ne sera parlé ici que de degrés d'induration des cuirasses "sensu lato". Mais ces degrés sont difficiles à chiffrer. Les cuirasses ont rarement une structure homogène et continue, aussi, il est indispensable de déterminer la taille minimum des échantillons sur laquelle seront effectuées ces mesures. Suivant les prises on obtient des variations de valeurs excessives. Par exemple, dans

le cas d'une cuirasse alvéolaire, il est possible d'apprécier l'induration du squelette, des particules meubles qui remplissent les cavités, du matériau dans son entier. Après plusieurs essais, il semble que les meilleures données soient fournies par la mesure de l'induration globale.

Les techniques physiques : résistances à l'écrasement, à la pénétration, à la rupture, ne donnent pas de valeurs reproductibles, aussi l'appréciation de l'induration est-elle réduite à des méthodes sommaires et très simples comme la résistance à la pénétration d'une bêche, à la rupture entre les mains, ou aux chocs du marteau. A ce point de vue, on peut distinguer 4 principaux degrés :

- cuirasses faiblement indurées qui se cassent à la main ;
- cuirasses moyennement indurées qui se façonnent à la bêche ;
- cuirasses bien indurées qui éclatent au marteau ;
- cuirasses fortement indurées quand le marteau tend à rebondir.

La dureté des échantillons cuirassés dépend de plusieurs facteurs :

- la nature des constituants ;
- leur assemblage ;
- leur degré de vieillissement.

1 - Les constituants des cuirasses ont des duretés très différentes :

Parmi les plus durs, on peut noter :

- hématite	dureté	6
- corindon	"	9
- quartz	"	7
- calcédoine	"	6

Mais de nombreux oxydes et hydroxydes se trouvent dans les cuirasses sous des formes pseudo ou cryptocristallines à dureté mal définie. Celle-ci dépend alors de forces de liaisons entre les différentes molécules ; elle se trouve liée, le plus souvent à la deshydratation. La présence d'argile contribue à la diminution de l'induration du matériau cuirassé.

Malgré ces quelques données, très sommaires, il est possible d'avancer quelques règles :

- plus les teneurs en sesquioxides sont élevées, plus l'induration est forte.

- la dureté croît avec les teneurs en fer ;
- les cuirasses les moins hydratées sont aussi les plus dures.

2 - La dureté de l'échantillon découle aussi, en grande partie, de l'assemblage des différents constituants entre eux.

- les cuirasses à assemblage compact sont plus indurées que les cuirasses à assemblage lâche ;

- les cuirasses à composition homogène sont plus dures que les cuirasses hétérogènes où les différents constituants sont ségrégués.

- la présence de corps étrangers, qui apportent des éléments de discontinuité à la phase indurée contribue à diminuer la résistance de l'ensemble.

3 - La dureté dépend également du degré de vieillissement de la masse. Sans tenir compte des phénomènes de tassement qui se produisent généralement au cours de l'évolution des cuirasses, on peut constater que pour un même type de cuirasses, les plus anciennes sont également les plus dures. Ce fait résulte des phénomènes de cristallisation qui se produisent à partir des gels mixtes plus ou moins stables, et de la deshydratation du complexe qui augmente les forces de cohésion. Cependant, le degré de cristallisation des éléments constitutifs dépend souvent plus du mécanisme de dépôt que de l'âge. Ainsi les cuirasses formées par précipitation sont plus indurées que les cuirasses formées par floculation des hydroxydes.

2. Structure -

La structure des cuirasses est extrêmement variable. Elle résulte des différents modes d'assemblage, des constituants entre eux. En règle générale, les dépôts se font de façon irrégulière avec formation d'un matériau hétérogène. Quelquefois cependant, certaines cuirasses se trouvent formées presque exclusivement d'un seul élément constitutif. Ceci est le cas des bauxites fortement alumineuses ou de cuirasses fortement ferrugineuses. Ces faciès présentent une structure homogène bien caractérisée.

Les échantillons peuvent se ramener à trois assemblages principaux :

- les éléments indurés forment un squelette ;
- les éléments indurés sont des concrétions ;
- les éléments indurés cimentent des éléments préexistants.

Ces types d'assemblage présentent cependant une grande variabilité corrélative soit de la forme et de la grosseur des produits qui entrent en jeu, soit de l'intensité du phénomène de cuirassement.

En se basant sur la classification des différentes structures de roches sédimentaires de DENAYER (1951), on peut ramener les échantillons de GUINEE aux formes suivantes :

- Structure homogène ou continue. Elle caractérise en milieu cuirassé essentiellement des roches cohérentes. C'est le cas de certains grès du FOUTA-DJALLON dont le ciment siliceux a été épigénisé par le fer des solutions du sol (environs de PITA). Découlant du même processus, les schistes légèrement gréseux des environs de TELIMELE donnent des plaquettes très homogènes riches en fer.

Une structure identique résulte de la cimentation par des solutions ferrugineuses de poches sableuses (KINDIA, Station Centrale IFAC).

- Structure hétérogène ou discontinue : Elle représente la majorité des formes cuirassées. On peut distinguer :

1 - des structures de roches meubles, montrant une structure graveleuse bien caractérisée. Des exemples nombreux s'observent sur les vieux bovés du Nord du FOUTA-DJALLON, vers SERIBA-KIFFAYA. L'horizon de surface meuble et graveleux est formé par l'accumulation de gravillons ferrugineux, plus rarement un peu alumineux, arrondis, fortement remaniés et triés par le ruissellement. C'est le cas également des sols en voie de concrétionnement fortement érodés de HAUTE-GUINEE et de GUINEE FORESTIERE (BELLOUARD, 1949).

2 - des structures de roches cohérentes :

a) Parmi elles, les formes conglomératiques sont extrêmement courantes :

- elles peuvent avoir l'apparence de véritables brèches dans les horizons supérieurs des cuirasses fortement remaniées et recimentées, formes très communes dans les cuirasses de bas de pente, en pays gréseux.

- elles sont quelquefois aussi poudinguiformes. C'est le cas de certains niveaux alluvionnaires riches en galets cimentés par des solutions d'hydroxydes.

b) Plus caractéristiques, sont les structures vacuolaires observées dans les alluvions homogènes. La cuirasse est formée d'un squelette, assez lâche, durci, qui est le plus souvent ferrugineux, beaucoup moins souvent alumineux, squelette qui limite des cavités renfermant des substances terreuses, de couleur plus claire, riches en silice. Les substances meubles sont facilement entraînées par l'eau, et l'on observe le plus souvent un squelette induré avec ses alvéoles vides. C'est la forme commune des cuirasses dites "de nappe" ou "de galerie".

c) Les structures noduleuses sont aussi très fréquentes. Elles résultent de la cimentation par les hydroxydes de nodules plus ou moins bien développés. Cette structure devrait plutôt être appelée pseudo-conglomératique puisqu'elle résulte des mêmes processus de formation que les formes conglomératiques.

Les nodules ou grosses concrétions sont ou ferrugineuses, ou alumineuses, avec tous les termes de passage entre ces deux éléments. Il en est de même pour les ciments, bien que le ciment ferrugineux soit plus courant.

Quand on casse ces cuirasses, on constate que les grosses concrétions présentent souvent la structure de l'ancienne roche-mère plus ou moins transformée par altération. C'est le cas des bauxites de FRIGUIAGBE formées à partir des schistes à séricite. Les nodules sont fortement alumineux et d'une forme légèrement aplatie. Leur cassure laisse apparaître l'ancienne stratification du schiste où souvent des paillettes de séricite sont conservées.

4 - La structure scorifiée ou spongieuse est surtout caractéristique du milieu ferrallitique. Ce type de cuirasse est souvent fortement alumineux. Le fer imprègne les parties plus ou moins spongieuses et tapisse les cavités. C'est une forme commune qui a souvent été décrite. (de CHETELAT, 1938, CASTAGNOL, 1949). Elle s'observe, de préférence dans les cuirasses formées à partir de roches basiques ou fortement alumineuses. Le matériau est plus massif.

- Structures ordonnées : Ce sont principalement les structures lamellaires, pisolithiques et oolithiques.

- La structure lamellaire est fréquente dans les cuirasses formées

sur faibles pentes en bordure des zones de drainage. Ces cuirasses présentent un aspect feuilleté caractéristique, et sont principalement ferrugineuses. De très beaux types de cette structure peuvent être observés sur les cuirasses de la cuvette de TIANGEL-BORI. Sur les hauteurs du FOUTA-DJALLON, les cuirasses formées par lessivage oblique présentent cet aspect (FELLO BATAN, LABE).

-- les véritables structures pisolithiques et oolithiques sont plus rares. Il faut signaler cependant que sont souvent appelés pisolithes des gravillons plus ou moins arrondis (usure par l'eau ou dissolution), nourris secondairement et recouverts d'une mince pellicule de sesquioxides. Ce dernier type de structure est alors excessivement fréquent. Il résulte de la cimentation de gravillons ou de concrétions et passe souvent à la structure noduleuse. Ces cuirasses se développent dans les zones d'épandages et dans les régions fortement érodées. On observe cependant de véritables structures pisolithiques et oolithiques soit alumineuses, soit ferrugineuses ou manganifères. Souvent d'ailleurs, les films concentriques de fer et d'alumine se succèdent. En règle générale, quand la pisolithe ou l'oolithe est constituée d'un élément, le ciment est composé d'un autre. C'est ainsi qu'à FOULAYA (IFAC) on trouve des échantillons de cuirasses dont les pisolithes sont fortement alumineuses, cimentées par un ciment beaucoup plus ferrugineux et inversement. Ce type de cuirasse donne les bauxites les plus pures, parfois complètement blanches. Ces formations présentent des gisements complexes par poches au milieu de dépôts hétérogènes plus ou moins cuirassés, qui indiquent une circulation intense de l'eau lors de la sédimentation. Les faciès pisolithiques ou oolithiques vrais se retrouvent également à la surface des vieilles formations cuirassées, en taches, là où le remaniement superficiel par l'eau a pu se produire et où s'étalent des cuvettes marécageuses en saison des pluies. (bové dominant les TIMBI, dépression de la KOLOUN, etc ...)

3. Couleur -

La couleur des cuirasses peut aller du blanc jusqu'au noir, avec de nombreux termes intermédiaires dans les ocres, rouges et bruns principalement. Certaines cuirasses présentent des taches et trainées violettes ; d'autres, riches en phosphore, sont de couleur verte. Il y a donc une grande variété de couleurs avec dominante dans les rouges et les bruns. Un même

échantillon peut présenter dans le détail toute une gamme de teinte variant généralement autour d'une couleur principale : blanche, rouge, brune ou noire.

La pigmentation des couleurs est due essentiellement aux oxydes de fer plus ou moins hydratés et parfois aussi au manganèse. WAEGEMANS et HENRY (1954), ont précisé qu'à "l'exception des colorations extrêmes qui répondent à de l'hématite rouge (Fe_2O_3) lorsqu'il s'agit du 7,5 R du code de MUNSELL et à la goethite ou lépidoocrocite jaune ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$) qui répond à la coloration 2,5 Y, il ne semble pas exister de relations constantes entre la coloration des latosols et leur indice d'hydratation".

Ces auteurs ont, d'autre part, montré qu'il n'y avait pas de relation entre la coloration des latosols et leur teneurs en oxydes de fer libre. La nature granulométrique de l'échantillon n'intervient pas. Ils concluent que "la coloration de ces échantillons est une propriété de surface qui ne peut être exprimée par une détermination analytique globale". Cette coloration dépend en dernier ressort des conditions du milieu présent ou passé.

En milieu réducteur, les composés du fer donnent une coloration gris-noire. Le manganèse donne généralement une couleur noire à aspect velouté. Il est probable que la couleur violette de certaines cuirasses est liée à la présence de ce corps. L'alumine, à l'état pur, est de couleur blanche. Mais dans les cuirasses, elle se trouve souvent mélangée au fer pour donner des teintes roses. La silice est blanchâtre quand elle est à l'état fin. Elle s'imprègne souvent d'hydroxydes de fer pour prendre une couleur rouge à rouille. Les argiles adsorbent presque toujours du fer et prennent le plus généralement une couleur rouge franc. C'est le mélange de ces différents corps, qui donne la coloration aux cuirasses.

Les couleurs ocres, rouges, brunes et noires étant dues essentiellement aux oxydes de fer plus ou moins hydratés, il est séduisant de vérifier s'il existe certaines relations entre la présence de ces corps et la couleur des échantillons. Il ne paraît pas exister de relation quantitative entre les différents degrés d'hydratation et la couleur. La coloration peut tout au plus indiquer la présence probable de tel ou tel corps. Par exemple, la couleur rose blanchâtre C 61-18 de l'échelle de TAYLOR et CAILLEUX, indique la présence d'alumine. Les cotations F et H 14-16-18 du même code indiquent généralement la présence d'hématite et de goethite. Se basant sur cette idée,

de CHETELAT a mis au point une méthode simple qui peut être utilisée sur le terrain et qui permet d'évaluer rapidement les teneurs en fer et en alumine des cuirasses sans quantités appréciables de quartz. Les échantillons sont au préalable broyés, puis chauffés à environ 700°. La deshydratation des hydroxydes de fer donne une couleur homogène qui est en relation avec les teneurs en ce métal. Cette méthode ne peut pas être employée pour les cuirasses riches en manganèse ou en chrome. Pratiquement, cette méthode est applicable seulement dans la recherche des teneurs en fer. En effet, la grande majorité des cuirasses renferme des quantités appréciables d'éléments étrangers - (de la silice, par exemple) qui viennent troubler la coloration du milieu. En particulier, en employant la méthode de de CHETELAT, il m'a été impossible de trouver une relation satisfaisante en comparant des échantillons broyés et chauffés à 1.000° à leurs teneurs en Fe_2O_3 . On peut tout au plus, observer un déplacement général B-C-D 46-64 aux H-F 16-24 en passant par le groupe D-E 20-40 quand les teneurs en Fe_2O_3 augmentent. Le premier groupe correspond grossièrement à des teneurs inférieures à 7 %, le second à des teneurs d'environ 10-20 %, le troisième à des teneurs supérieures à 35 %.

En conclusion, l'appréciation de la couleur des cuirasses ne peut donner qu'une idée très grossière de la composition des hydroxydes et oxydes constitutifs. Elle permet, cependant, de se faire une idée sur le degré d'évolution des cuirasses et sur leur milieu de formation. Les cuirasses ferrugineuses sont d'abord rouges ou ocre dans leurs premiers stades, puis en vieillissant, elles deviennent de plus en plus foncées vers les bruns, pour devenir parfois presque noires. Au contraire, les cuirasses alumineuses s'éclaircissent en vieillissant, par suite de l'expurgation du fer qu'elles contiennent.

Les cuirasses ferrugineuses formées en milieu mal drainé sont plus foncées (brunes) que les cuirasses formées en milieu oxydant (rouges). Les cuirasses dites "de nappe" formées par action d'une nappe phréatique sont de couleurs généralement brunes, alors que les cuirasses ferrallitiques vraies sont de couleur rouge.

4. Densité -

Il est indispensable de distinguer le poids spécifique de la densité

RELATIONS ENTRE LES TENEURS EN Fe_2O_3 ET LA COULEUR APRES GRILLAGE

A 1.000 °

<u>Teneurs en Fe_2O_3</u>	<u>Couleur</u>	<u>Cotation</u>
2,53	Jaune rouge	D 58
3,03	"	C 56
3,54	Brun très pâle	C 64
3,67	"	B 54
3,73	Jaune rouge	D 58
3,91	"	C 56
3,99	Rouge	F 28
4,07	"	F 18
4,23	"	D 38
4,23	Jaune rouge	D 53
4,63	Brun très pâle	C 64
5,10	Jaune rouge	C 56
5,35	"	C 46
6,15	"	C 63
6,07	Brun très pâle	C 46
6,58	Jaune rouge	C 46
6,71	"	D 58
7,98	Rouge	D 38
9,26	"	D 38
9,30	"	E 38
9,82	"	E 38
10,54	"	E 36
11,42	"	D 38
12,41	Jaune rouge	D 58
12,58	"	D 36
13,01	Rouge	E 36
13,42	"	E 26
13,97	"	E 36
14,14	"	D 38
16,21	"	E 36
18,28	"	E 38
17,88	"	F 18
21,96	Brun rouge	E 34
21,96	Rouge	D 38
30,34	"	H 38
40,16	Rouge foncé	H 16
40,88	"	H 18
41,52	Brun rouge	F 24

apparente des cuirasses. Le poids spécifique, qui peut varier dans d'assez larges proportions, dépend de la composition chimique. Ainsi, il augmente avec les teneurs en fer et diminue avec l'augmentation des teneurs en alumine. Les formes oxydées sont toujours plus denses que les formes hydratées. Toutes choses étant égales par ailleurs, les cuirasses ferrugineuses anciennes sont généralement plus denses que les cuirasses récentes.

TABLEAU DE LA DENSITE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DES CUIRASSES

Gibbsite	: 2,44	Goethite	: 4,2
Bayerite	: 2,49	Magnétite	: 5,2
Böhmite	: 3,06	Magnetite	: 4,9
Diaspore	: 3,4	Hematite	: 5,26
Corindon	: 3,98	Quartz	: 2,65
Bauxite ///	2,55	Calcédoine	: 2,6
Lepidocrocite	3,96	Argiles	: 1,8 à 2,5

La détermination de la densité apparente des cuirasses est intéressante. Elle permet, connaissant la composition des cuirasses de déterminer approximativement le volume des différents assemblages qui déterminent la structure. La connaissance de ce volume donne des valeurs intéressantes sur le lessivage par les eaux de certains constituants, et sur l'action de l'atmosphère du sol sur les surfaces, plus ou moins actives des cuirasses. En particulier, SABOT (1952) a constaté "que la lithomarge formée à partir des dolérites, a pour densité apparente $d = 1,3$ au lieu de 1,8 à 2,5 pour une argile ordinaire. Lorsque l'on plonge cet échantillon dans l'eau, il se produit un dégagement abondant de bulles gazeuses. Il est probable que le gaz contenu dans les vides est un facteur important de l'évolution d'un horizon en voie de cuirassement. En particulier, les teneurs en CO_2 de l'atmosphère du sol doivent jouer un certain rôle dans l'alcalinisation du milieu par la formation de carbonates".

Quelques tendances générales peuvent être dégagées de la comparaison de la densité apparente de différents types de cuirasses :

- dans les horizons superficiels du sol, les cuirasses ont une densité apparente plus forte qu'en profondeur :

	Densité réelle	Densité Apparente	Rapport
1. Cuirasse surface, noyaux isolés par agrégats terreux sur dolérite	3,10	2,23	1,39
2. Noyaux indurés, même profil, mais dans limon rouge	3,06	2,03	1,50
3. Bauxite sur bowal plus ou moins altéré (Timbo)	2,71	1,79	1,51
4. Grès ferruginisé avec manganèse (KINDIA).	2,88	2,10	1,37
5. Cuirasse feuilletée avec un peu de quartz, quelques concrétions	3,28	2,05	1,60
6. - idem -	2,97	1,90	1,56
7. Cuirasse ferrugineuse, compacte, forte- ment évoluée	2,76	2,16	1,27
8. Cuirasse de nappe (foncée) avec nombreux quartz	3,05	1,90	1,60
9. Gneiss altéré	2,84	2,29	1,24
10. Gneiss moins altéré	2,99	2,68	1,11
11. Cuirasse manganifère (vieille surface)..	3,32	2,68	1,14
12. Cuirasse sur Birrimien (schistes ferruginisés)	2,77	2,69	1,02
13. Cuirasse de nappe	3,01	1,80	1,67
14. Gneiss altéré et ferruginisé	2,61	1,80	1,55
15. Cuirasse feuilletée sur Continental Terminal	3,10	2,17	1,42
16. Bauxite sur schiste sériciteux	2,73	1,80	1,51
17. Cuirassement finement alvéolaire; Hydromorphie dans altération doléritique	2,96	2,10	1,40
18. Bauxite avec cortex ferrugineux	2,88	2,30	1,25
19. Roche basique cuirassée en écailles concentriques ferruginisées	3,01	2,20	1,36
20. Sur Birrimien cuirasse gravillonnaire (compacte)	2,99	2,52	1,18
21. Agglomérat de gravillons ferrugineux (savane)	3,58	1,90	1,88
22. Cuirasse pisolithique (fer) à ciment bauxitique	3,21	2,33	1,37
23. Cuirasse alvéolaire compacte ferrugineuse	3,16	2,46	1,28
24. Granit altéré	2,76	2,30	1,18

- les cuirasses anciennes plus tassées, sont plus denses que les cuirasses récentes ;

- plus la structure est lâche, plus la densité est faible pour une même composition. Les cuirasses cimentées sont plus denses que les cuirasses alvéolaires, et, celles-ci, que les cuirasses de nappe, toutes choses étant égales par ailleurs.

B.- COMPOSITION CHIMIQUE -

Dans la grande majorité des cas l'extrême hétérogénéité du matériau induré oblige à l'analyse globale d'échantillons suffisamment gros pour représenter un cas moyen.

1. Résultats analytiques -

Ces résultats se rattachent pour la plupart aux exemples précédemment décrits auxquels il a semblé bon d'ajouter quelques données obtenues en Guinée par d'autres chercheurs.

- 1 - Ile de KASSA (GUINEE FRANCAISE) cuirasse sur Syénite néphélinique (LACROIX)
- 2 - Mt BOUGOUROU (GUINEE FRANCAISE) cuirasse sur Diabase (LACROIX)
- 3 - Cuirasses ferrugineuses, moyenne de 25 échantillons.
- 4 - Minerais de fer du FOUTA (BERTHIER)
- 5 - Gravillons sur bowal (LABE, GUINEE FRANCAISE)
- 6 - Cuirasse gravillonnaire (LABE)
- 7 - Cuirasse scoriacée (LABE)
- 8 - Cuirasse alvéolaire de nappe (BALLAY, GUINEE FRANCAISE)
- 9 - Concrétions sur gneiss (GBAN, GUINEE FRANCAISE)
- 10 - Concrétions (dolérites) (MACENTA)
- 11 - Cuirasse compacte (Terrasse supérieure du MILO - KANKAN)
- 12 - Cuirasse alvéolaire (Terrasse moyenne du MILO - KANKAN)
- 13 - Gravillons - SINTHIOU MALEME (SENEGAL)
- 14 - Cuirasse du Continental Terminal -(TAMBACOUNDA, SENEGAL)

COMPOSITION DE QUELQUES CUIRASSES EN %

	<u>H₂O</u>	<u>SiO₂</u>	<u>Al₂O₃</u>	<u>Fe₂O₃</u>	<u>Insolubles</u>
1.	33,71	0,37	57,12	7,41	0,30
2.	32,0	1,3	60,19	3,91	1,40
3.	10,18	-	4,80	83,50	
4.	11,4	2,8	8,7	77,20	
5. La 21	10,13	10,35	22,72	41,56	11,80
6. La 33	11,40	12,05	19,71	40,16	16,55
7. La 46	9,53	21,80	22,92	11,42	33,30
8. La 53	6,70	15,95	16,62	13,97	47,00
9. Gu 51	12,48	15,75	22,31	36,83	12,35
10. Gu 123	10,12	19,45	22,06	38,42	9,15
11. Gu 20	8,04	18,98	13,44	23,50	35,91
12. Gu 210	8,04	24,72	12,12	41,80	12,65
13. Sinthiou	7,0	10,10	13,8	54,8	11,2
14.	7,8	9,8	17,23	49,35	13,6

Premier fait déjà connu, les cuirasses se caractérisent par une prédominance des sesquioxydes de fer ou (et) d'alumine. Ces corps sont en mélange suivant des proportions qui varient très largement. C'est ainsi que dans le cas de l'exemple n° 3, les teneurs en Fe₂O₃ dépassent 80 %, avec moins de 5 % d'Al₂O₃, alors que dans celui de l'échantillon n° 2, les teneurs en alumine avoisinent 60 % pour moins de 4 % de Fe₂O₃.

2. Interprétation suivant les auteurs classiques -

Les différences dans la composition des cuirasses ont amené LACROIX (1913) à proposer la classification suivante :

- les latérites proprement dites qui contiennent plus de 90 % de sesquioxydes (Fe et Al) ;
- les latérites argileuses : 90 à 50 % de sesquioxydes ;
- les kaolins et les argiles latéritiques : de 50 à 10 % ;
- les kaolins et argiles : moins de 10 %

De CHETELAT (1938) sépare ce qu'il nomme les vraies latérites, qui contiennent moins de 10 % de silice combinée, en 3 groupes, en faisant abstraction des particules clastiques quartzifères :

- cuirasses alumineuses ou bauxitiques, contenant plus de 50 % d'alumine avec des teneurs en fer inférieures à 20 % :

- a - bauxites latéritiques : véritables minerais d'alumine

- b - latérites bauxitiques.

- cuirasses latéritiques normales dont les teneurs en oxydes de fer et d'alumine se compensent :

- a - bauxites ferrugineuses - les teneurs en fer dépassent 20 %

- b - latérites ferrugineuses dont les teneurs en oxydes de fer sont supérieures à celles de l'alumine.

- cuirasses éminemment ferrugineuses comprenant les minerais de fer d'origine latéritique dont les teneurs en Fe_2O_3 sont supérieures à 55 %

Cette classification est valable dans la mesure où l'on considère le matériau latéritique dans son entier, qu'il soit induré ou non, ainsi que l'a fait LACROIX (1913). Mais si l'on ne considère que les cuirasses, on constate que les teneurs supérieures à 90 % de sesquioxydes ne correspondent qu'à des gisements très limités à caractère minier. La classification de de CHETELAT ne peut donc s'appliquer que dans cette optique.

Si l'on se rapporte à la plupart des résultats obtenus, il est possible de remarquer que la limite de 10 % de silice combinée s'élève à plus de 20 % dans certaines cuirasses et gravillons fortement indurés (n° 7 et n° 12 par exemple). Ces matériaux seraient donc à classer dans la catégorie des latérites argileuses.

3. Vues générales -

La classification des échantillons de cuirasse apparaît comme un problème très ardu. Aucune valeur caractéristique ne se dégage. Dans le cas des matériaux indurés à classer parmi les latérites argileuses de LACROIX, il est difficile de tenir compte des proportions relatives de Fe_2O_3 et d' Al_2O_3 si l'on ne distingue pas pour ce dernier sesquioxyde la part revenant à l'alumine individualisée de celle se trouvant liée à la silice. La séparation analytique de ces deux formes n'a pas encore été résolue d'une façon parfaite. Aussi d'HOORE (1953) calcule théoriquement les teneurs en Al_2O_3 libre à partir des pourcentages en silice combinée. Il s'appuie sur

le critère que l'argile de ces matériaux se trouve principalement sous forme de kaolinite. Il applique la formule suivante :

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ libre} = \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ total} - (\text{SiO}_2 \text{ silicates} \times 0,849).$$

En appliquant cette relation aux résultats donnés ci-dessus on obtient le tableau suivant :

	Al_2O_3 total	Al_2O_3 combinée (calculé)	Al_2O_3 libre
1.	57,13	0,31	56,82
2.	60,19	1,10	59,09
3.	4,80	0	4,80
4.	8,70	2,37	6,43
5.	22,72	8,78	13,94
6.	19,71	10,23	9,48
7.	22,52	18,50	4,42
8.	16,62	13,54	3,08
9.	22,31	13,37	8,94
10.	22,06	15,49	7,93
11.	13,44	26,11	-12,67
12.	12,12	18,36	- 6,24
13.	13,8	8,57	5,23
14.	17,23	8,32	8,91

Les valeurs négatives de Al_2O_3 libre peuvent s'expliquer soit par une libération de silice facilement altérable, soit, plus probablement, par la présence de minéraux alumino-silicatés non complètement décomposés.

A partir de ces quelques données, on peut avancer certaines relations qui se trouvent explicitées dans les diagrammes ci-joints ;

- Il existe une relation directe entre les quantités d'eau combinée et les teneurs en alumine libre qui augmentent parallèlement, ce qui tendrait à faire admettre qu'Al se trouve surtout sous une forme résiduelle d'altération.

- Le quartz est rare dans les cuirasses alumineuses.

- Pour des cuirasses à induration à peu près identique, les teneurs en Fe_2O_3 sont approximativement inversement proportionnelles aux teneurs en insolubles.

- Les cuirasses riches en quartz sont surtout ferrugineuses.

- Les sesquioxides de fer apparaissent hydratés d'une façon à peu près constante, quelles que soient leurs teneurs.

C. - CONSTITUTION MINÉRALOGIQUE -

La connaissance de la constitution minéralogique des cuirasses fait actuellement l'objet de nombreuses recherches. S'il n'est pas toujours facile de préciser la signification pédogénétique de ces constituants, du moins est-il maintenant possible de les identifier et de déterminer grossièrement leurs proportions dans les niveaux cuirassés.

Déjà LACROIX (1913), puis de CHETELAT (1938) ont apporté une contribution importante à cette connaissance. L'examen en plaque mince vient d'être repris récemment par MILLOT et BONIFAS (1955-1956) qui complètent ces études par des méthodes thermodynamiques et de rayons X. CASTAGNOL (1940) s'est attelé à la détermination des produits ségrégés. Il a montré que les matériaux de couleur blanche et rose indiquent la présence d'alumine ; les couleurs rouges et brunes celle d'oxydes de fer, les couleurs noires de manganèse.

Echantillons ---	Masse ---	Ségrégation ---
Bauxite de Guinée (roche brun clair)	Essentiellement gibbsite	
Bauxite des Indes (roche gris blanchâtre)	pratiquement uniquement du diaspore	
Bauxite du Nyasaland	gibbsite	brun rougeâtre à gris noir, lépidocrocite, ilménite
Bauxite ferrugineuse cuite par dyke basal- tique	masse blanche : boehmite	brun-rougeâtre prati- quement hématite pure
Bauxite ferrugineuse très cuite par basalte	masse grise : princi- palement corindon, boehmite moyen un peu de titane	noir : principalement hématite, un peu de corindon et maghémite brun : hématite, un peu de boehmite
Bauxite ferrugineuse noire très cuite par dyke	masse noire : hématite avec boehmite et un peu anatase	brun rougeâtre : principalement hématite un peu de boehmite
Roche noire grisâtre en mélange avec bauxite cuite par champ de laves	principalement halloysite, beaucoup de TiO_2 , quartz grossier	noir : halloysite beaucoup de titane, quartz.

- Résultats empruntés à BRINDLEY (1951)

En ce qui concerne plus spécialement la GUINEE, les analyses de quelques échantillons déjà décrits donnent les résultats suivants :

LABE	La 34	horizon marquant le début du cuirassement	Kaolinite 60 % Gibbsite 15 % Goethite 7 %
	La 36	cuirasse à structure alvéolaire légèrement feuilletée	Kaolinite 55 % Gibbsite 22 % Goethite 10 %
	La 37	cuirasse nodulaire	Kaolinite 62 % Gibbsite 15 % Goethite 8 %
	La 45	concrétionnement intense	Kaolinite 50 % Hydroxydes de fer et d'alumine, présence d'un produit à 14 Å non déterminé.
	La 46	cuirasse alvéolaire légèrement feuilletée	Kaolinite environ 62 % Hydroxydes de fer et d'Al, éventuellement illite.
BALLAY	La 53 b	concrétions durcies	Kaolinite Boehmite Goethite environ 6 %
	La 56	cuirasse alvéolaire fortement indurée (cuirasse de nappe)	Kaolinite 67 % Hydroxydes d'Al sous forme monohydratée (diaspore !) Goethite environ 8 %
GUEKEDOU	Gu 133	horizon bariolé à concrétions peu durcies (cuirasse de nappe)	Kaolinite 33 % Quartz important Mica peu Goethite 24 % hématite peu
KANKAN	Gu 210	cuirasse pisolithique (terrasse supérieure)	Kaolinite 25 % Mica très peu Goethite 14 % Hématite
MACENTA	Gu 124	ferruginisation d'arène granitique	Kaolinite 25 % Gibbsite Goethite un peu de Quartz

FARANNAH	Gu 381	gravillons de surface	Kaolinite 34 % Goethite Gibbsite Mica très peu
DABOLA	Gu 390	cuirasse sur gneiss	Kaolinite 32 % Goethite 45-50 % Quartz.

Les pourcentages sont très approximatifs.

Ces résultats font toujours apparaître des quantités importantes de kaolinite, presque constamment de la goethite et fréquemment de la gibbsite. La présence de quartz apparaît toujours comme résiduelle ou détritique. Ces données rejoignent les résultats de SCHAUFELBERGER (1955).

REPARTITION DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DANS 15 ECHANTILLONS
DE CUIRASSE

Kaolinite	15
Gibbsite	6
Boehmite	2
Diaspore	1
Goethite	12
Hydroxydes de fer non déterminés	3
Minéraux phylliteux ...	5

D. - CONCLUSIONS -

L'étude des échantillons permet de caractériser avec précision les cuirasses. Ces matériaux sont extrêmement hétérogènes pour la plupart. Deux éléments, plus constants, peuvent être retenus : l'induration et la richesse en sesquioxydes.

Ces faits obligent à élargir considérablement la définition des cuirasses : ce sont des roches tropicales de néoformation, plus ou moins indurées, généralement superficielles, composées essentiellement de sesquioxydes de fer et d'alumine en proportions variables, avec en mélange de la

kaolinite.

Quelques règles peuvent être déduites :

	Cuirasses alumineuses	Cuirasses ferrugineuses
site	niveaux supérieurs	surtout niveaux inférieurs
induration	faible à moyenne	moyenne à forte et même très forte
couleur	blanc-rosé à rouge	rouille à brun foncé
densité	faible	forte
structure	surtout scoriacée	très variée : pisolithique, alvéolaire, feuilletée.
composition chimique	fortement hydratée > 20% peu d'insoluble	faiblement hydratée # 10% beaucoup d'insoluble
constitution minéralogique	Gibbsite surtout Goethite Kaolinite peu Quartz pas ou peu et alors clastique.	Kaolinite) Goethite) surtout Hématite fréquent Gibbsite variable Quartz souvent important, résiduel et clastique. minéraux phylliteux

Les données fournies par les échantillons sont très limitées quant à la connaissance de leur genèse. Dans ce but, il est nécessaire d'étudier les relations entre les échantillons et les formations qui leur ont donné naissance, ce qui revient à aborder l'étude des cuirasses à travers les profils de sols.

C H A P I T R E 6

DESCRIPTIONS DES PROFILS CUIRASSES

Les horizons cuirassés s'observent dans des profils de sols appartenant à des groupes génétiques parfois fort éloignés. Afin d'exposer les faits dans un ordre logique, la description de profils suivra la classification pédologique adoptée en AFRIQUE OCCIDENTALE FRANCAISE :

- Sols Ferrallitiques ;
- Sols Ferrugineux Tropicaux ;
- Sols Subarides . Bien que hors des régions décrites, il a semblé indispensable d'ajouter quelques exemples observés dans les zones plus sèches du Sénégal, qui permettent d'éclairer un certain nombre de faits.
- Sols Hydromorphes ;
- Sols sur cuirasses ;
- Sols colluviaux et alluviaux.

Dans chaque sous ordre considérés les profils seront décrits en suivant les degrés d'induration croissante.

I. SOLS FERRALLITTIQUES

A. - Route de NZEREKORE à DIEKE (GUINEE FORESTIERE), km 30, sous forêt hygrophile, secondarisée en une brousse dense, assez haute -

- 0 litière organique mal décomposée de 2 à 3 cm d'épaisseur.
- 0 - 8 cm horizon ocre-rouge, un peu brúnatre, peu humifère, nombreux débris de quartz et de gneiss à biotite plus ou moins altéré et ferruginisé ; texture gravello-argileuse ; structure grume-

leuse ; nombreuses racines traçantes.

- 8 - 50 cm horizon ocre-rouge un peu plus clair, paraissant lessivé ; pas de gravillons, quelques concrétions rouges, individualisées, non durcies ; texture plus argileuse ; structure de pseudo-sable.
- 50 - 120 cm horizon rouge avec débris de gneiss en voie de décomposition ; texture argileuse ; structure grossièrement polyédrique ; quelques grosses racines.
- 120 - 250 cm arène argileuse où alternent, lit par lit, des minéraux blanchâtres ou verdâtres avec des niveaux d'argile rouge ; les grains de quartz sont décomposés ; on y observe quelques paillettes de mica.
- plus de 250cm gneiss à biotite.

B. - Route de SEREDOU à MACENTA - FORET DU ZIAMA - au sommet du col après la Station -

- Forêt hygrophile, sous-bois peu dense.

- 0 litière organique grossière, posée directement sur le sol.
- 0 - 20 cm horizon gris, assez bien humifère ; nombreux gravillons bruns durcis ; quelques débris de granite plus ou moins décomposés et roulés, texture gravillo-argileuse ; structure grumeleuse ; nombreuses racines.
- 20 - 75 cm horizon de couleur plus claire, jaune-ocre ; nombreuses pisolithes durcies de couleurs rouges à jaunes ; texture argilo-finement sableuse ; structure de pseudo-sable ; nombreuses petites racines qui se limitent à cet horizon.
- 75 - 110 cm horizon de couleur rouge un peu violacé ; petits débris de quartz en voie d'altération, de couleur blanc-rouille, friable ; pisolithes en formation, rouges extérieurement, jaunes sur leur coupe, s'isolent facilement du solum, très faiblement durcies ; texture argileuse ; structure faiblement polyédrique.

110 - 165 cm arène argileuse ; le quartz se transforme en petites particules poussiéreuses, blanchâtres ; les feldspaths donnent des produits argileux colorés en jaune et rouge ; les minéraux ferro-magnésiens fournissent une matière meuble violacée. Les éléments blancs forment des trainées qui englobent des poches rouges argileuses.

170 cm et plus granite à amphibole.

C. - Route de FARANNAH à DABOLA, km 2

- Végétation de savane forestière, fort dégradée.

- 0 - 20 cm pas de litière organique à la surface du sol ; horizon de couleur rouge, brune, légèrement grisâtre ; faiblement humifère ; nombreux gravillons bruns durcis ; texture limono-sableuse ; structure faiblement grumeleuse ; nombreuses petites racines.
- 20 - 55 cm horizon légèrement jauni ; encore assez meuble, avec nombreuses petites concrétions, brunes à l'extérieure, jaunâtres à l'intérieur, durcies, en voie de cimentation par une pâte argileuse ocre jaune et blanchâtre ; les pisolithes sont recouvertes par une patine argileuse.
- 55 - 75 cm horizon cuirassé, de couleur plus rose que ci-dessus, avec des concrétions beaucoup plus grosses, de couleur brune, jaunâtres intérieurement, cimentées par une pâte de couleur rose, imprégnées de blanc qui donne par place des pisolithes roses-rouges, moins durcies, bien individualisées ; quelques tâches jaunâtres, plus friables contiennent des grains de quartz en voie de dissolution.
- 75 - 200 cm horizon rouge, beaucoup moins durci, surtout vers le bas ; nombreuses concrétions brun-rouges, durcies ; le ciment, à texture finement sableuse, est de couleur ocre-rouge, encore faiblement durci ; nombreux minéraux et cailloux de quartz friable, partiellement altérés.

- 200 - 230 cm horizon rouge ; concrétions moins durcies, certaines se coupent à l'ongle ; le ciment est plus argileux, de couleur rouge-foncé ; les concrétions se distinguent par leur forme, mais non par leur couleur ; le quartz est beaucoup moins abondant ; quelques taches diffuses, brun-jaunâtres, avec un peu de quartz à l'intérieur, montrent le début de formation des concrétions.
- 230 - 280 cm horizon rouge ; texture argileuse ; structure bien prismatique ; un peu de mica blanc.

280 cm et plus arène argileuse d'altération de gneiss à mica blanc.

D. - Route de MAMOU à KINDIA, km 5 -

- Végétation excessivement dégradée.

- 0 - 80 cm horizon gris ; humifère ; très gravelleux, nombreux gravillons bruns, très durcis, libérés entre eux avec des débris de quartz, le tout dans une masse terreuse ; texture sablo-argileuse ; structure faiblement grumeleuse ; nombreuses racines herbacées.
- 80 - 170 cm Cuirasse très indurée ; masse de couleur générale rouge brique avec tâches violacées, plus durcies, riches en quartz ; quelques tâches blanchâtres à jaune ocre, plus diffuses ; structure scoriacée à pisolithique, dense en surface, devient plus lâche avec la profondeur, où s'observent des noyaux allongés horizontalement, et forment un squelette mal défini à structure alvéolaire aplatie.
- 170 - 220 cm horizon de couleur rouge brique, contenant de nombreux noyaux durcis, rouges violacés ; tâches diffuses blanches à jaunes friables, beaucoup plus nombreuses.
- 220 - 270 cm horizon de passage, les noyaux sont de moins en moins nombreux, mais toujours assez fortement indurés.
- 270 - 300 cm horizon analogue au précédent, mais les noyaux violacés et blancs, encore bien individualisés, ne sont plus durcis.

300 - 340 cm horizon rouge, à larges tâches grises, blanchâtres et ocre assez mal limitées, texture argileuse; nombreux grains de quartz altérés.

340 cm et plus arène argileuse d'altération des gneiss, couleurs très bariolées, où l'on observe la trace des lits de minéraux originels.

E. - Route N°ZEREKORE à MACENTA, km 4 -

- forêt hygrophile dégradée, à recrû arbustif dense, coupe en bordure d'un léger replat.

0 - 25 cm horizon brun-grisâtre ; bien humifère ; nombreux débris organiques en surface ; texture graveleuse avec nombreux débris de quartz et gravillons ferrugineux durcis, de couleur brune foncée ; ensemble poreux ; chevelu radiculaire dense.

25 - 52 cm horizon brun-rouge ; texture argulo graveleuse, avec nombreux quartz grossiers ; structure peu développée.

52 - 155 cm horizon cuirassé ; moyennement induré ; bariolé de rouge, de rouille et de jaune ; structure alvéolaire légèrement aplatie dans le sens horizontal ; les alvéoles sont remplies de matériaux terreux, plus clairs ; le squelette de sesquioxides montre des imprégnations, des concentrations et des dépôts de films ferrugineux, qui englobent de nombreux grains de quartz ; ce squelette se concentre fortement en bordure du replat, où la cuirasse est plus indurée et prend une couleur plus foncée.

155 - 195 cm arène argilo-graveleuse, imprégnée de sesquioxides en tâches et trainées diffuses non durcies.

195 cm et plus gneiss altéré.

F. - DUBREKA - Bas plateau dominant la Mangrove au lieu-dit "Concession F.A.O. -

- 0 - 45 cm horizon gris noir ; assez fortement humifère ; texture graveleuse, avec nombreuses concrétions ferrugineuses fortement indurées, de couleur brune ; structure à tendance grumeleuse, assez poreuse ; chevelu racinaire abondant.
- 45 - 135 cm cuirasse alvéolaire, bien indurée ; couleur générale très claire, presque blanche extérieurement ; cette couleur est donnée par des dépôts terreux lessivés ; sur les cassures le squelette apparaît assez fortement ferrugineux ; il est de couleur ocre-rose (alumine ! silice !) et contient de nombreux minéraux de quartz peu décomposés ; les alvéoles sont bien développées (quelques centimètres de diamètre), et contiennent des produits terreux, friables, presque blancs.
- 135 - 235 cm horizon d'altération ; arène peu argileuse ; très claire ; les produits d'altération sont presque blancs ; il reste beaucoup de muscovite non altérée.
- 235 cm et plus gneiss leucocrate, riche en quartz.

G. - Route N'ZEREKORE à BEYLA -

- forêt dégradée du Massif du BERO - pente 30 %

- 0 - 20 cm horizon brun foncé ; texture argileuse avec quelques concrétions ferrugineuses durcies, de même couleur ; petits débris de dolérite altérée et ferruginisée.
- 20 - 60 cm horizon brun, avec concrétions ferrugineuses ocre-brunes de 1 à 2 cm de diamètre ; assez indurées ; morceaux de dolérite ferruginisée de forme allongée.
- 60 - 170 cm horizon brun-rouge, texture argileuse avec très nombreux fragments de dolérite altérée en surface et présentant un noyau central de roche fraîche.
- 170 - 290 cm horizon brun-rouge avec produits violacés friables ; texture argileuse ; un peu de quartz altéré ; banc de quartz à 2 mètres.
- 290 - 320 cm horizon à faciès "pain d'épice" ; avec taches de couleur

violacée

320 et plus roche fraîche ; dolérites passant à des amphibolites
s'altérant en boules.

H. - Route KOLENTE - KINDIA, tranchée à 200 m de la rivière -

- végétation excessivement dégradée.

- 0 - 25 cm horizon gris-brun ; humifère ; très graveleux avec concrétions brunes durcies et débris de cuirasse.
- 25 - 250 cm horizon cuirassé, fortement induré, de couleur générale rouge-brune ; structure pisolithique bien développée, très compacte ; quelques diaclases obliques limitent de gros blocs qui se trouvent recouverts d'une pâtre ferrugineuse brune ; à la base de l'horizon l'induration diminue, surtout pour le ciment qui englobe les concrétions ; le ciment est alors de couleur plus claire, ocre-rouge.
- 250 - 350 cm horizon en voie de cuirassement ; de couleur rouge ; nombreuses concrétions brun-rouges, bien arrondies, déjà fort durcies, au milieu d'argile rouge ; par place, il y a formation d'un squelette ocre-rouge, assez induré, à structure alvéolaire fine.
- 350 - 420 cm horizon bariolé où s'individualisent des concrétions qui amorcent l'induration ; grandes trainées diffuses blanches.
- 420 - 600 cm horizon rouge ; argileux ; à structure prismatique assez bien développée.
- 600 - 650, 700 cm horizon d'altération en écaille des dolérites, faciès "pain d'épice" de couleur ocre-jaune, poreux, faible densité.
- 700 et au delà boules de dolérites altérées et fraîches, avec dépôts mangani-
fères entre les écailles faiblement altérées.

I. - Route de MAMOU - DALABA, km 30 -

- forêt montagnarde dégradée.

- 0 - 10 cm horizon gris-noir ; humifère ; texture gravelleuse, avec nombreuses concrétions ferrugineuses, fortement indurées, brun-noires.
- 10 - 25 cm horizon brun ; encore humifère ; toujours très gravelleux ; produits terreux ocre-bruns ; structure à tendance nuciforme ; nombreuses petites racines.
- 25 - 50 cm horizon ocre-rouille ; fortement gravillonnaire ; attaque superficielle de la cuirasse ; blocs de cuirasses alvéolaires ; parfois très massives, isolés dans une masse terreuse argilo-graveleuse.
- 50 - 250 cm horizon fortement cuirassé, très compact, vers sa partie supérieure où domine la structure pisolithique de couleur rouge et brune, puis un peu plus bas s'impose la structure scoriacée, et la cuirasse est de couleur rose-rouge ; à la base, la structure devient alvéolaire, avec parfois des dépôts manganifères noirs ; mais l'ensemble apparaît plus bariolé avec des couleurs rouges, ocres, roses, jaunes, violacées et noires.
- 250 - 375 cm horizon moins induré, du type carapace ; structure alvéolaire ; les alvéoles sont plus grandes que précédemment et contiennent des produits friables rouges à ocre-rouges ; le squelette induré est plus clair dans les tons roses ; parfois s'individualisent, le long des diaclases, des plaquettes ferrugineuses, brun-noires très fortement indurées.
- 375 - 475 cm horizon bariolé, où s'individualisent des concrétions et des noyaux de couleur rouge et alors riches en fer, et de couleur blanchâtre et alors fortement alumineux ; assez fortement indurés, au milieu d'une pâte argileuse à structure de pseudo-sable, de couleur ocre-rouge.
- 475 - 625 cm horizon d'argile rouge ; à structure faiblement prismatique.
- 625 - 675 cm altération en écailles des dolérites ; faciès "pain d'épice" couleur ocre jaune.

700 cm et plus dolérite fraîche.

J. - LABE - Route du Sénégal, km 2 -

- végétation herbacée ; pente 2 à 3 %

- 0 - 13 cm horizon brun fortement érodé, très gravillonnaire, de 5 à 10 cm d'épaisseur. Les gravillons bien individualisés ont subi un début de remaniement. Ils sont noyés au milieu d'éléments terreux sablo-argileux.
- 13 - 150 cm Cuirasse sous-jacente de 50 à 150 cm d'épaisseur. Nombreuses concrétions ferrugineuses de couleur rouille à noirâtre, noyées dans un ciment très durci de couleur ocre rouille. Circulation intense du fer dans les diaclases avec dépôts en films brillants et formation de canaux vermiculés à travers la masse.
- 150 - 275 cm Carapace sous-jacente. Devient de moins en moins gravillonnaire avec la profondeur (épaisseur indéterminée, mais de plus de 3 mètres). Masse limono-argileuse rouge créant une trame vaguement vacuolaire et feuilletée, assez durcie. Dans les alvéoles, éléments terreux ocre jaune à ocre rouge pouvant s'éliminer facilement par entraînement mécanique. La couleur s'éclaircit fortement en bordure des zones de circulation des eaux, avec lessivage notable du fer. L'induration de la trame diminue avec la profondeur, et l'on passe à une argile bariolée caractéristique avec trainées et noyaux légèrement indurés.

K. - Route LELOUMA - TELIMELE, en bordure du bowal Diré -

- Végétation très dégradée.

En surface, blocs de cuirasses de taille variable de 1 cm à plus de 100 cm ; généralement à structure pisolithique, très indurés, de couleur brun-noire extérieurement et rouge à tâches jaunâtres et rouilles intérieurement ; souvent dépôts

de fer sous forme de films bruns, formant cortex, de plusieurs millimètres d'épaisseur, parfois au contraire, on assiste à une dissolution du fer, la roche prend une structure scoriacée et s'éclaircit.

- 0 - 150 cm Cuirasse indurée, mais poreuse : structure scoriacée, de couleur rouge à rose, parfois presque blanche ; nombreuses geodes tapissées d'alumine, faciès de bauxite.
- 150 - 200 cm cuirasse indurée, de couleur bariolée, rose, rouge, rouille, brune ; nombreux noyaux de concentration de fer ; vermicules nombreux où se déposent des films ferrugineux bruns ; taches de dissolution plus claires, moins compactes, plus poreuses à structures à tendance scoriacée.
- 200 - 225 cm cuirasse indurée, rouge à rose ; faciès "pain d'épice" imprégné de solutions ferrugineuses, processus de dissolution avec passage à la structure scoriacée.
- 225 - 260 cm faciès "pain d'épice" d'altération de dolérites, couleur ocre-jaune.
- vers 300 cm dolérite fraîche.

L. - LABE, sortie de la ville vers PITA -

- végétation très dégradée - culture de foins -

- 0 - 15cm horizon gris ; légèrement humifère ; très gravillonnaire, gravillons bruns, très indurés ; quelques blocs de cuirasse roulés ; texture sablo-argileuse ; structure à tendance grumelleuse ; poreux ; nombreuses racines herbacées.
- 15 - 40 cm horizon gris-jaunâtre, encore légèrement humifère ; paraît lessivé ; très gravillonnaire, avec de grosses concrétions dont le ciment est en voie de dissolution, de couleur ocre-beige, les gravillons sont rouges à violets sur leur coupe, et très durcis. Les deux premiers horizons paraissent remaniés sur place.
- 40 - 130 cm horizon ocre à ocre-rouille, très concrétionné en place ; les

concrétions sont recouvertes d'une patine ferrugineuse, ocre-jaune qui indique une certaine intensité des processus d'hydromorphie ; les concrétions sont libres entre elles ; leurs cassures montrent des couleurs variées : rouge, violet, rose ; traînées meubles ocre blanches à ocre-rouilles.

130 - 200 cm horizon cuirassé, structure alvéolaire avec des noyaux plus ferrugineux, plus rouges, plus durcis, isolés dans le tout ; ces noyaux se retrouvent jusque dans l'argile rouge sous-jacente ; la couleur générale de la cuirasse varie de ocre-rouge à ocre-rose ; le squelette induré est généralement plus clair le long des canalicules.

200 à 500-550 cm horizon en voie de cuirassement, beaucoup moins induré que le précédent ; la couleur assez claire vers le haut, rougit avec la profondeur ; quelques noyaux de concrétions indurées, se trouvent individualisés dans la masse argileuse de couleur ocre-beige, à structure de pseudo-sable ; des matériaux terreux pénètrent de la surface jusqu'à cet horizon par l'intermédiaire de canalicules et de diaclases.

500-550 à 650 cm horizon rouge ; argileux ; avec traînées jaunâtres et des concrétions durcies, jaunes brunes ; s'isolant les unes des autres, très petites, essentiellement ferrugineuses et mangani-fères.

650 à 750-800 cm horizon bariolé, légèrement plus rouge, avec des tâches plus ou moins diffuses, de couleur ocre-jaune ; texture argileuse ; structure de pseudo-sable, avec quelques canalicules ; les traînées suivent ces dernières ; quelques tâches violettes, légèrement indurées, marquent les traces de la roche mère.

750-800 à plus de 900 cm - argile rouge, avec débris de plus en plus nombreux de schistes sériciteux fortement altérés.

Cette simple énumération de quelques profils cuirassés en sols ferral-

litiques, permet d'expliciter certaines relations entre l'intensité des phénomènes de cuirassement et les facteurs du milieu naturel.

1. Rôle du climat -

D'une façon générale le cuirassement augmente des régions forestières aux régions de savanes d'une part, et, des zones à végétation primitive peu dégradée à celles intensément exploitées par l'homme.

Ces données sont classiques et bien connues (cf. profils 1, 2, 3, 4). Cependant, deux autres facteurs interviennent qui modifient ces tendances générales : la nature des roches et les conditions du drainage.

2. Influence des roches -

Les roches agissent sur le cuirassement des sols par leur composition chimique et leur structure.

- Composition des roches :

L'importance des niveaux indurés est conditionnée par la richesse en minéraux facilement altérables, surtout en minéraux ferro-magnésiens. Les sols sur gneiss à biotite et amphiboles sont plus cuirassés que ceux sur gneiss leucocrates à mica blanc. Les sols sur gneiss et granites sont moins cuirassés que ceux sur dolérites et (ou) amphibolites.

- Structure des roches :

La structure conditionne le drainage. La structure foyaitique commune aux dolérites, roches basiques, et aux syénites néphéliniques, roches acides, amène un type d'altération identique, en "pain d'épice" (gibbsite). Le drainage est très favorisé dans ces formations. Par contre dans le cas de l'altération des roches granito-gneissiques, il se forme des arènes argileuses qui limitent le drainage. Ce ne sont, cependant, que deux aspects de l'altération pseudomorphique. Ils ont néanmoins leur importance puisque le premier oriente la formation des cuirasses à structure scoriacée, tandis que le second favorise la mise en place des structures alvéolaires.

L'influence des roches sur la morphologie des profils ferrallitiques cuirassés se trouve schématisée dans le tableau ci-joint:

Granites - gneiss

Dolérites - amphibolites

profil :

- horizon superficiel grisâtre, faiblement humifère - souvent lessivé - nombreux gravillons ferrugineux fortement indurés débris de quartz
- horizon induré plus ou moins durci, atteignant rarement une très forte induration, structure le plus souvent alvéolaire, parfois aplatie horizontalement - structure scoriacée dans les cuirasses anciennes, cuirasse lâche.
- couleurs dominantes vives : rouges, rouille, parfois violettes. Ces taches forment ordinairement des noyaux indurés en leur centre - traînées rouge à ocre-rouille, moyennement indurées, qui forment une trame, et qui donnent la rigidité à l'ensemble. Les cavités sont remplies de produits terreux de couleur claire : jaune à rouille.
- épaisseur : jamais importante, dépasse rarement deux mètres.
- les transitions avec les horizons voisins ne sont jamais brutales.
- horizon sous-jacent, plus argileux, morphologie générale assez

- horizon superficiel, brun noir plus humifère - gravillons souvent très nombreux, la plupart bien arrondis peu ou pas de quartz.
- horizon induré généralement fortement durci - structure pisolitique dominant vers le haut, passant à la structure scoriacée, puis nodulaire vers le bas - cuirasse compacte
- couleurs dominantes plus foncées : rouges, brun-rouges. Dans les cuirasses anciennes riches en alumine les couleurs sont plus claires : blanches, roses. A la base de l'horizon les couleurs sont plus bariolées. Taches et traînées rouges foncées à roses ou brunes à brun-noires.
- épaisseur beaucoup plus importante, dépasse quelquefois 10 mètres.
- transitions souvent très brutales, horizons bien individualisés.
- Horizon sous-jacent argileux, de couleur rouge foncée. Les concrètes

semblable au précédent, mais non induré. Couleurs bariolées et éclatantes en tâches et traînées mal individualisées. Structure polyédrique à prismatique montrant des faces de décollement consécutives au tassement de la masse.

Epaisseur considérable 1 à 5 mètres.

- horizon d'altération

arène plus ou moins argileuse, A la base on observe la trace des minéraux originels.

Imprégnations importantes par les solutions ferrugineuses.

Epaisseur parfois considérable jusqu'à plus de 5-6 mètres. Passage progressif à la roche fraîche.

crétions peuvent encore s'individualiser, mais sont moins indurées, et de couleur plus foncée. Elles disparaissent avec la profondeur. Structure finement poreuse. Matériau truffé de nombreux petits canalicules et pores tubulaires. Surfaces de décollement ferruginisées, lisses et brillantes.

Epaisseur plus considérable encore, souvent plus de 5 mètres.

- horizon d'altération

ocre-rouille, très peu dense et poreux, faciès "pain d'épice" constitué essentiellement d'un squelette de gibbsite qui conserve la forme des feldspaths disparus. Imprégnations ferrugineuses plus ou moins importantes.

Ecailles concentriques autour de la roche fraîche.

Passage brutal en quelques millimètres.

3. Conditions du drainage -

Les caractéristiques du drainage se trouvent conditionnées par la structure des roches (cf. paragraphe précédent) et par la position topographique (cf. profils 5 et 6).

- un drainage normalement assuré limite le cuirassement. Quand celui-ci se produit, il y a prédominance des faciès scoriacés (profil 11). Les couleurs sont claires (rose à rouge). Les teneurs en argiles sont faibles. Ces cuirasses sont alors fortement alumineuses et contiennent peu de quartz.

- un drainage déficient favorise le cuirassement même en région où ces phénomènes sont peu prononcés. Les formes sont ordinairement diffuses. La structure alvéolaire est dominante. Ces cuirasses sont surtout ferrugineuses et contiennent fréquemment du quartz. Les teneurs en argile sont fortes.

II. SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

Les sols ferrugineux tropicaux s'observent essentiellement en HAUTE GUINEE et jouxtent aux limites Nord du territoire. Ils se développent largement vers le SENEGAL et le SOUDAN. L'étude du cuirassement en sols ferrugineux tropicaux portent principalement sur le groupe des sols ferrugineux lessivés. Les cuirasses de ce type observées dans les régions Nord du FOUTA-DJALLON présentent un stade sénile d'évolution. Aussi il a semblé préférable de choisir quelques exemples dans les régions méridionales du SENEGAL qui permettent un exposé des faits plus didactique.

A. - OUROUR - Route de KAOLACK à GOSSAS -

- savane arborée, assez fortement dégradée par l'homme - Topographie plane.

- 0 - 30 cm horizon beige grisâtre ; assez humifère ; texture sableuse , structure nuciforme à tendance grumeleuse, peu développée ; horizon légèrement durci dans sa partie supérieure ; assez compact ; cohésion faible.
- 30 - 50 cm horizon beige grisâtre, plus clair ; texture sableuse ; structure nuciforme bien développée, de grosseur moyenne, cohésion faible ; poreux.
- 50 - 125 cm horizon ocre-beige, légèrement marbré de gris, texture sableuse un peu argileuse ; structure nuciforme, massive ; assez poreux par pores tubulaires.

125 - 155 cm horizon ocre avec marbrures et traînées de couleur rouille s'individualisent vers le bas en tâches diffuses légèrement durcies en leur centre, de couleur plus rouge, essentiellement ferrugineuses ; texture sablo-argileuse ; structure polyédrique massive, mal développée ; horizon colmaté.

155 et plus formation argilo-gréseuse du Continental Terminal.

B. - DAROU, à l'est de la route KAOLACK - NIORO du RIP -

- savane forestière légèrement dégradée - Topographie plane.

0 - 25 cm horizon de couleur gris beige ; légèrement humifère ; texture finement sableuse ; structure nuciforme de taille moyenne, horizon légèrement durci.

25 - 48 cm horizon de couleur beige ; texture plus sableuse ; structure nuciforme moins bien développée ; agrégats friables, assez poreux.

48 - 70 cm horizon beige, texture sablo-argileuse ; macrostructure grossièrement prismatique ; horizon durci et légèrement colmaté.

70 - 120 cm horizon beige clair, avec nombreuses tâches et concrétions ferrugineuses durcies surtout vers le sommet, couleur brun-rouille, taille inférieure à 1 cm ; texture sablo-argileuse ; macrostructure prismatique mal développée, pseudo-sable.

120 - 130 cm horizon fortement concrétionné, de couleur rouille, concrétions bien individualisées et fortement durcies, non cimentées entre elles, essentiellement ferrugineuses ; texture argilo-sableuse.

130 cm et plus grès argilo-sableux du Continental Terminal. A son sommet on observe encore quelques grosses traînées ferrugineuses légèrement durcies qui se fondent en profondeur avec les tâches bariolées de la formation

C. - Route GOUDIRY - TAMBACOUNDA, km 5 environ -

- savane arborée à sous-bois de bambous -
- modelé extrêmement plat. Nombreuses cuvettes mal drainées.

- 0 - 30 cm horizon gris-noir, assez riche en matière organique ; texture sableuse faiblement argileuse ; structure à tendance grumeleuse, peu développée, peu stable ; chevelu radiculaire abondant dans les quelques centimètres supérieurs.
- 30 - 62 cm horizon blanchâtre ; finement sableux ; non structuré, qui ressemble à de la farine ; fortement lessivé.
- 62 - 85 cm horizon ocre-beige avec des traînées et des tâches rouilles, ferrugineuses, plus ou moins diffuses, légèrement durcies ; texture argilo-sableuse ; structure nuciforme nette ; pseudo-sable.
- 85 - 150 cm horizon concrétionné, de couleur rouille ; nombreuses pisolithes ferrugineuses, cimentées par endroit en cuirasses très durcies, le tout au milieu de matériau argilo-sableux, de couleur ocre.
- 150 cm et plus passage progressif au Continental Terminal, qui vers son sommet contient encore quelques grosses concrétions ferrugineuses, un peu moins indurées.

D. - BELE-MARATIOL au Nord de TAMBACOUNDA -

- savane arborée peu dégradée à Sterculia, Bombax et Lannea.
- bordure d'une ravine d'érosion.

- 0 - 15 cm horizon gris clair ; un peu humifère ; texture sablo-graveleuse ; structure grumeleuse peu développée et peu stable ; nombreux débris de cuirasse.
- 15 - 30 cm horizon cuirassé, assez durci, formé de gros blocs (5-10 cm de diamètre) cimentés dans une pâte ferrugineuse brune, contenant de nombreux grains de quartz non corodés ; les blocs ont une structure pisolithique.

- 30 - 105 cm cuirasse beaucoup moins indurée, se brise assez facilement; squelette ferrugineux rouge brun à ocre-rouille, à structure alvéolaire avec nombreux canalicules subverticaux, recouverts de films ferrugineux; encore quelques noyaux fortement indurés.
- 105 - 165 cm cuirasse gréseuse (imprégnation ferrugineuse du Continental Terminal), peu indurée, assez friable, comportant surtout vers son sommet quelques gros nodules ferrugineux durcis.
- 165 cm et plus jusque vers 350 cm, le concrétionnement et le durcissement des tâches ferruginisées, plus ou moins diffuses diminuent graduellement pour faire place aux grès argileux à tâches rouges et violettes.

E. - GUERINA - BASSE CASAMANCE -

- savane forestière très dense.
- Bas plateau bien drainé.

- 0 - 45 cm horizon gris noirâtre devenant plus clair vers 30 cm; assez humifère; texture sablo-argileuse; texture nuciforme bien développée à tendance grumeleuse en surface; légèrement durci.
- 45 - 80 cm horizon beige; texture sableuse; peu structuré, à tendance nuciforme, légèrement durci.
- 80 - 120 cm horizon beige, légèrement rougi avec des marbrures rouges; texture sableuse faiblement argileuse; structure polyédrique peu développée; quelques rares concrétions petites, durcies, de couleur brun-rouille, ferrugineuses.
- 120 - 160 cm horizon ocre-beige, avec des tâches et des traînées ferrugineuses peu durcies, et plus ou moins bien individualisées; quelques traînées mal délimitées, blanchâtres; texture argilo-sableuse; structure grossièrement nuciforme à prismatique, peu développée.
- 160 - 350 cm horizon prenant le faciès du Continental Terminal mais vers

le bas les tâches ferrugineuses s'anastomosent en trainées qui donnent de grosses concrétions assez durcies.

350 - 425 cm horizon cuirassé, moyennement induré ; structure alvéolaire un peu aplatie ; squelette ferrugineux englobant de nombreux grains de quartz texturaux ; les alvéoles contiennent des produits argileux blanc-grisâtres.

425 cm et plus passage brutal à l'ancien niveau d'une nappe phréatique actuellement disparue ; horizon blanchi très sableux.

L'examen des profils 1, 2, 3 et 4 montre la marche du cuirassement à travers les sols ferrugineux tropicaux lessivés.

On assiste tout d'abord à un lessivage de l'argile qui s'accumule dans un horizon B vers 125-150 cm de profondeur. Cet horizon est fortement colmaté, et, pendant la saison des pluies, il s'y réalise des conditions d'hydromorphie bien prononcées. A ce niveau s'individualisent des tâches et concrétions ferrugineuses, qui s'enrichissent par l'apport des eaux de percolation. L'intensité de l'accumulation ferrugineuse finit par amener la cimentation des concrétions en un niveau cuirassés, bien induré.

Pendant ces processus, les horizons superficiels meubles s'amincissent par érosion hydrique, et les horizons cuirassés finissent par affleurer, tout en étant déjà attaqués à leur sommet.

Le profil 5 présente un cas un peu différent. Les bonnes conditions du drainage, liées à une topographie plus accidentée, permettent un lessivage du sol plus prononcé. Dans les 160 cm supérieurs s'individualise un sol ferrugineux lessivé avec quelques concrétions. Les solutions ferrugineuses se trouvent entraînées plus profondément et viennent s'accumuler au niveau de la nappe phréatique où elles s'immobilisent en une cuirasse alvéolaire.

En BASSE CASAMANCE, FAUCK (1952) a montré qu'il existait deux niveaux cuirassés profonds que l'on pouvait relier à des abaissements successifs de la nappe phréatique proche de la surface du sol, qui se rattachent aux abaissements de base du fleuve Casamance.

L'étude du cuirassement en sols ferrugineux tropicaux montre l'importance essentielle du lessivage du fer à travers les horizons d'un même

profil et des niveaux hydrostatiques plus ou moins temporaires qui s'établissent dans ceux-ci, et qui provoquent l'immobilisation des sesquioxides de fer entraînés.

III. SOLS SUBARIDES

Plusieurs cas de cuirassement actuel en sols subarides, ont pu être observés dans le FOUTA TORO (pluviométrie de l'ordre de 500-400 mm/an).

A. - Route de GLIDI - LAGBAR, km 6 -

- vaste cuvette de plusieurs kilomètres de diamètre
- topographie plane (< 1 % de pente)
- végétation de pseudo-steppe à bois armés.

Profil observé à proximité d'une mare d'hivernage.

- 0 - 15 cm horizon brun foncé ; texture sablo-argileuse, avec bien visibles, de gros grains de quartz roulés ; structure nuciforme assez massive, feuilletée sur les 2 premiers centimètres ; cohésion forte ; poreux.
- 15 - 38 cm horizon brun-roux, couleur assez homogène avec cependant quelques marbrures plus claires ; texture légèrement plus argileuse ; structure nuciforme grossière peu développée.
- 38 - 70 cm horizon bariolé ; avec nombreuses taches rouges assez bien individualisées ; d'autres taches de couleur rouille sont plus diffuses ; elles se trouvent enrobées dans une masse argileuse de couleur gris-acier ; structure cubique massive ; cohésion forte ; nombreux pores tubulaires.
- 70 - 110 cm horizon très fortement concrétionné ; concrétions durcies ; couleur rouille, recouvertes extérieurement d'un mince pellicule blanchâtre, au milieu d'une pâte argileuse beige avec des taches rouges et rouilles ; les concrétions forment un édifice compact et sont étroitement imbriquées les unes

dans les autres ; vers le bas les concrétions sont plus petites et moins nombreuses, le milieu est aussi plus argileux.

110 cm et plus argile de couleur beige à rouille, très compacte avec tâches plus claires blanc-grisâtres ; encore quelques poches remplies de concrétions.

B. - Forage de YARE-LAO -

Dans des conditions identiques aux précédentes, on observe plusieurs profils de sol, où l'horizon concrétionné se trouve également cimenté en cuirasse.

L'étude pédogénétique des sols de cette région montre qu'ils appartiennent au groupe des sols brun-rouges subarides. La proximité des mares provoque dans les sols voisins, la formation de niveaux hydrostatiques temporaires pendant la saison des pluies. Ce sont ces actions d'hydromorphie qui amènent le concrétionnement et le cuirassement. Le phénomène est donc identique à celui observé en sols ferrugineux tropicaux. Seules, les causes de l'hydromorphie sont différentes. Cependant on est frappé par l'importance du concrétionnement ferrugineux dans ces sols subarides. Les conditions climatiques ne peuvent à elles seules expliquer une telle concentration du fer. Celle-ci est une conséquence d'apports latéraux, ainsi qu'il sera démontré un peu plus loin.

IV. SOLS HYDROMORPHES

La GUINEE FRANCAISE possède une gamme variée de sols hydromorphes dont beaucoup sont cuirassés. Les phénomènes d'hydromorphie qui influent les processus de cuirassement ont pour principales origines :

- un engorgement par les eaux de percolation ;
 - un colmatage par des nappes phréatiques ou (et) des eaux d'inondation ;
- qui règlent l'ordre d'exposition des faits décrits ci-après.

A. - Route de LABE à MAMOU, km 1 -

- végétation herbacée de Loudetia

- Plateau à pente faible (<1 %), très mal drainé.

- 0 - 25 cm horizon gris-noir ; organique ; texture argilo-finement sableuse ; structure particulière à tendance grenue assez stable ; chevelu racinaire très abondant.
- 25 - 70 cm horizon (J 41) ; riche en matière organique ; texture finement sableuse à limoneuse ; structure fondue vaguement nuciforme ; larges fentes verticales tous les 10-15 cm ; nombreuses racines.
- 70 - 80 cm horizon gris-blanchâtre (C 90) ; texture argileuse ; horizon colmaté ; fentes verticales.
- 80 - 110 cm horizon blanchi avec des traînées gleyeuses ; texture argileuse ; horizon fortement colmaté, très humide.
- 110 - 130 cm horizon ocre-jaune (D 68), avec tâches et marbrures diffuses, rouilles ; texture finement sableuse, moins colmaté.
- 130 - 185 cm horizon bariolé, à fond argileux, grisâtre et traînées et tâches ocre-rouilles et rouges ; faiblement durcies ; se coupant facilement à l'ongle ; les produits les plus rouges sont au centre des tâches.
- 185 - 200 cm horizon de couleur plus rouge (E 56 - 58), durci ; le squelette vaguement feuilleté, de couleur rouille, contient des matériaux noduleux très petits, durcis, (J 36) ; tâches rouges diffuses (E 16), finement limoneuses ; traînées argileuses blanchâtres (B 91).
- 200 cm et plus grosses concrétions en forme de poupées, orientées verticalement, de couleur brun-rouille à rouge (H 18 à F 46), définissent un squelette de plus en plus lâche avec la profondeur ; canalicules remplis d'argile grise (B 90) ; traînées rouilles, assez durcies, se cassant à la main ; puis éluvions schisteuses beiges claires.

- en saison des pluies, une nappe temporaire se dispose dans le profil

jusqu'à 80 cm de la surface. Elle se maintient très avant dans la saison sèche (mi-décembre) vers 130-150 cm, puis disparaît jusqu'à la nouvelle saison des pluies vers juillet.

- Le cuirassement est peu prononcé dans ce profil. Il n'atteint qu'une vingtaine de centimètres d'épaisseur au sommet de l'horizon cuirassé. Le squelette d'hydroxydes dont l'induration se prolonge plus en profondeur, correspond à l'évolution normale d'un sol ferrallitique. Cependant les influences de l'hydromorphie se répercutent jusqu'à la surface du sol, par l'accumulation en particulier de matière organique.

B. - Route de LABE à MARKALA, km 3 -

- sommet d'un ensellement en forme de cuvette (pente ≤ 1 %)
- végétation herbacée : Loudetia dominants

- 0 - 6 cm horizon humifère ; brun-noir, avec tâches de couleur crème, limoneuses (cendres d'écobuage) ; texture limoneuse finement sableuse ; structure particulaire ; peu cohérent ; assez poreux ; chevelu racinaire abondant.
- 6 - 30 cm horizon noir foncé (H 72) ; très riche en matière organique ; texture limoneuse finement sableuse ; structure fondue ; macrostructure en prismes de 10-15 cm de diamètre ; peu stable.
- 30 - 50 cm horizon beige grisâtre (C 72), non humifère ; texture finement sableuse ; horizon lessivé ; cohérence faible ; structure fondue à vagues tendances nuciformes ; quelques racines ;
- 50 - 67 cm horizon légèrement plus clair dans son ensemble, mais avec des petites tâches de quelques millimètres de diamètre, de couleur ocre-rouille, légèrement durcies, s'écasant entre les doigts, ne se coupant que difficilement à l'ongle ; début de structure nuciforme ;
- 67 - 80 cm horizon concrétionné ; pâte argileuse de couleur ocre rouille (C 58) ; concrétions rouilles à rouges (J. 36), très durcies, ne se cassant qu'au marteau, taille moyenne inférieure à 1cm ;

- 80 - 130 cm pâte ocre-jaune peu durcie, légèrement argileuse (J 36) beaucoup moins concrétionnée ; les concrétions sont moins durcies ; des tâches rouges (F 16) se développent vers le bas en formant un vague squelette qui contient des produits argileux gris blanchâtres.
- 130 - 220 cm horizon bariolé ; plus argileux ; tâches rouges (F 16) légèrement durcies (se coupent à l'ongle), à forme nodulaire légèrement aplatie (longueur 2-3 cm, épaisseur 1 cm), le tout dans une pâte argileuse gris blanchâtre (B 90).
- 220 cm et plus horizon encore plus argileux ; tâches rouges plus diffuses, plus grosses, moins durcies, marquant le passages aux éluvions schisteuses.
- le concrétionnement est beaucoup mieux prononcé que dans l'exemple précédent. Il provient d'une meilleure localisation des actions d'hydromorphie dans le profil.

C. - Route de TIMBI - TOUNI à TELIMELE, km 1 -

- zone légèrement déprimée,
- végétation herbacée : jachère à fonio

- 0 - 20 cm horizon de couleur brune foncée ; bien humifère ; texture argileuse ; structure grumeleuse, bien travaillée par les racines qui donnent un feutrage organique abondant.
- 20 - 30 cm horizon dans l'ensemble identique au précédent, mais moins structuré, plus compact ; microstructure polyédrique avec un léger colmatage.
- 30 - 42 cm horizon gris beige ; encore humifère ; avec tâches et trainées ferrugineuses qui tendent à se concentrer en concrétions encore peu durcies ; texture argileuse ; structure polyédrique, finement poreuse ; nombreux petits pores tubulaires.
- 42 - 48 cm horizon beige-ocre ; avec nombreuses concrétions tendant à former un squelette continu, essentiellement ferrugineux de couleur rouge à rouille, déjà bien durcies ; texture

très argileuse ; nombreux pores tubulaires.

- 48 - 130 cm horizon d'argile bariolée à taches ferrugineuses plus ou moins bien délimitées ; parfois assez durcies, mais se coupant toujours assez facilement à l'ongle.
- 130 - 150 cm horizon devenant beaucoup plus ferrugineux, de couleur rouille, avec un début d'individualisation de concrétions ferrugineuses, petites, arrondies en pisolithes et très durcies.
- 150 cm et plus nappe phréatique, niveau fortement concrétionné en pisolithes ferrugineuses.
- Ici l'action d'hydromorphie, extrêmement localisée dans le profil, se prolonge plus longuement dans le temps, que dans les deux exemples précédents. Les sesquioxides immobilisés sont essentiellement ceux de fer. L'immobilisation de manganèse est moins apparente. Toutes les concrétions prennent une morphologie caractéristique. Elles sont de couleur ocre-jaune, et résultent de dépôts de pellicules ferrugineuses qui nourrissent secondairement les matériaux texturaux du sol (débris de roches, concrétions ou squelette déjà induré). Souvent les cuirasses formées suivant ce mécanisme prennent un faciès de brèches ou de conglomérats.
 - On assiste également à une induration brutale des produits immobilisés, et cela même en milieu humide. D'une façon générale, ce type d'hydromorphie temporaire conduit au concrétionnement des oxydes précédemment individualisés. Les différents matériaux constitutifs du sol, et plus particulièrement les sesquioxides tendent à se ségréger puis à se concentrer en concrétions et cuirasses. Il se produit une simple redistribution de ces produits.
 - Ce sont des processus identiques, mais beaucoup moins intenses qui président à la formation des argiles bariolées (mottled clay). On arrive à ces conclusions :
 - Quand les actions d'hydromorphie sont diffuses et peu intenses, il y a formation d'argile tachetée à traînées lâches, mal individualisées qui donnent éventuellement naissance à une cuirasse alvéolaire.
 - Quand l'hydromorphie est intense et bien localisée, il y a apparition

de tâches nettement individualisées qui peuvent passer ultérieurement au stade concrétions pisolithiques.

D. - Route de GUEKEDOU à KISSIDOUGOU , km 11 -

- végétation herbacée de Panicées
- terrasse moyenne.

- 0 - 22 cm (Gu 131), horizon de couleur gris noir, très humifère, texture argilo-sableuse, structure grumeleuse à tendance polyédrique ; nombreuses racines.
- 22 - 45 cm (Gu 132), horizon de couleur beige, lessivé, quelques tâches ferrugineuses diffuses et rares ; texture limono-sableuse ; pseudo-sable ; structure nuciforme.
- 45 - 150 cm (Gu 133), horizon bariolé, se durcissant à sa base sur 10cm (134), nombreuses tâches et traînées rougeâtres noyées dans matrix argileuse de teinte beige.
- 150 - 210 cm (Gu 135), horizon devenant sableux, avec tâches ferrugineuses non durcies, beaucoup moins nombreuses, éléments jaunâtres et ocre plus abondants ; texture limono-sableuse à sablo-limoneuse.

E. - Plaine de BALLAY - Rive droite du BAFING -

- végétation herbacée (Vitiver - Andropogonées)
- Alluvions récentes.

- 0 - 20 cm horizon gris-brun (D 61) ; bien humifère ; texture limono-sableuse, structure grumeleuse moyennement développée ; cohésion faible ; nombreuses racines de Graminées.
- 20 - 48 cm horizon brun (E 63) ; encore humifère ; texture limoneuse, faiblement sableuse ; structure nuciforme assez bien développée ; cohésion faible.
- 48 - 85 cm horizon brun, plus clair (B 62) ; texture limono-sableuse ; structure légèrement tassée horizontalement ; cohésion faible.

- 85 - 97 cm horizon de même couleur, mais avec de nombreuses concrétions très durcies, bien délimitées, de 1 à 2 cm de diamètre, non soudées entre elles, englobant des grains de quartz grossier.
- 97 - 150 cm horizon identique au précédent, mais les concrétions toujours très nombreuses et bien délimitées sont moins durcies ; nombreuses tâches et traînées formant un début de cuirasse peu durcie.
- 150 - 200 cm cuirasse compacte très durcie, essentiellement ferrugineuse avec de nombreux quartz anguleux provenant du démantèlement des grès ; les parties les plus dures sont de couleur brun-rouge (E 36 - 38) à brun-noirâtre (H 24 et 21) et forment un squelette à structure alvéolaire et englobant des produits meubles, jaunâtres (B 61) à ocre-jaunes (D 58).
- 200 - 310 cm horizon cuirassé beaucoup moins durci, formé essentiellement de traînées durcies de couleur ocre-rouille à ocre-jaune formant une trame ; l'ensemble a un faciès alvéolaire légèrement feuilleté, avec de nombreux grains de quartz dans le squelette.
- 310 - 450 cm horizon argilo-gréseux, bariolé de traînées rouilles ou rouges, faiblement durcies, au milieu d'une argile gris-blanchâtre, contenant peu de quartz.
- 450 à plus de 650 cm, arène très sableuse, s'attaquant facilement au marteau ; imprégnation ferrugineuse de couleur rouille.
- niveau d'étiage à 600 cm. En période de crue, le BAFING déborde largement dans la plaine.

F. - Plaine de BOKORO au N-O de KOUROUSSA -

- végétation herbacée de milieux régulièrement inondés.

- 0 - 20 cm horizon gris-noir, très humifère ; texture limoneuse ; structure grumelleuse assez bien développée et stable ; quelques traînes ferrugineuses de couleur ocre-rouille le long des racines, accumulations nombreuses de tortillons de

vers de terre.

- 20 - 48 cm horizon beige ; texture légèrement plus argileuse ; quelques traînées et tâches ferrugineuses ocres, à contours assez diffus ; quelques concrétions durcies.
- 48 - 80 cm horizon concrétionné ; pisolithes durcies au milieu d'une masse terreuse limono-argileuse, de couleur beige ; les concrétions sont cimentées, en des masses informes dont le diamètre varie de quelques centimètres à 10 cm, par une pâte ferrugineuse ocre-rouille.
- 80 - 90 cm horizon cuirassé durci ; cuirasse à structure pisolithique vers le haut, qui devient rapidement alvéolaire avec la profondeur ; squelette induré de couleur ocre-rouge ; produits argileux et terreux blancs bleuâtres à ocre-rouilles fortement bariolés ; quelques petites pisolithes de quelques millimètres de diamètre en voie de formation, de couleur rouge.
- 90 - 100 cm horizon moins durci ; masse argileuse gris bleuâtre à blanchâtre ; traînées ocre-rouges en voie de cuirassement ; quelques petites concrétions individualisées durcies.
- 100 cm nappe phréatique.

G. - Plaine du MILO, face à la Station Rizicole de BORDO, en bordure d'un bras mort, près du hameau de BOURIBARE -

- végétation herbacée.

- 0 - 40 cm horizon gris-noir ; bien humifère ; texture limono-sableuse ; structure grenue, moyennement développée.
- 40 - 70 cm horizon blanc grisâtre ; texture limono-sableuse ; structure peu développée à tendance nuciforme ; quelques traînées et concrétions ferrugineuses peu durcies, de couleur rouille.
- 70 - 90 cm horizon concrétionné ; concrétions ferrugineuses, brun-

rouilles, fortement durcies, formant des agglomérats de la grosseur du poing ; argile complètement lessivée ; on observe de minces films argileux déferruginisés sur les concrétions.

- 90 - 185 cm horizon argileux, beige clair, avec nombreuses concrétions plus ou moins durcies, de couleur rouge ; vers le bas de l'horizon, l'argile devient bariolée avec des tâches jaunes et bleuâtres qui indiquent des propriétés réductrices.
- vers 190 cm nappe phréatique.

H. - Plaine de LOGORAMBO- Rive gauche de la rivière IEME à hauteur du village -

- 0 - 5 cm horizon grisâtre ; moyennement humifère, fortement érodé en surface ; texture limono-sableuse ; structure à tendance grumeleuse peu développée ; quelques trames ferrugineuses, brunes, le long des racines.
- 5 - 40 cm horizon beige ; texture limono-sableuse, un peu de pseudo-sable ; structure faiblement développée, particulière ; quelques traînées et petites tâches de couleur ocre non durcies.
- 40 - 135 cm horizon blanchâtre ; avec nombreuses tâches ocres, non durcies vers le haut, mais qui s'indurent nettement vers 100 cm ; texture limono-argileuse ; tendance à la structure polyédrique.
- 135 - 180 cm horizon sableux, transformé en grès à ciment ferrugineux par imprégnation et induration de sesquioxydes de fer ; couleur ocre-rouge ; sables très grossiers.
- 180 - 210 cm horizon conglomératique ; de couleur rouge foncée ; faciès de cuirasse peu indurée, à structure alvéolaire ; pisolithes indurées, rouges sur leur pourtour, noires en leur centre, cimentées par une pâte de couleur ocre ; l'ensemble est peu durci, et se casse facilement à la main ; tâches blanchâtres plus limoneuses.

210 cm niveau d'étiage de la rivière.

I. - Terrasse supérieure du MILO à KANKAN, face à BORDO -

Cette cuirasse est formée, partie sur les alluvions anciennes du MILO, partie sur les schistes arkosiques Birrimiens.

Elle est fortement indurée, et épaisse de 2 à 4 mètres. Elle est morphologiquement très compacte en surface. Des filons de quartz ou de galets plus ou moins roulés, traversent parfois cet ensemble. Les couleurs les plus fréquentes sont les brunes, les rouges. La structure est pisolithique vers le sommet, et devient vermiculaire vers le bas.

A cette cuirasse fait suite, une carapace à faciès alvéolaire de couleurs plus bariolées et éclatantes, où l'on distingue parfois les restes de schistes plus ou moins altérés de couleur violette. La structure alvéolaire passe quelquefois à la structure feuilletée. L'épaisseur peut dépasser 2 mètres. L'induration et l'individualisation des matériaux ségrégés diminuent avec la profondeur.

L'étude des 6 derniers profils montre l'influence de la nappe phréatique sur le cuirassement des sols alluviaux. Comme pour les premiers sols hydromorphes décrits, c'est le battement du niveau hydrostatique qui règle l'étendue du processus. Lorsque cette action agit à travers plusieurs horizons, les formes sont ordinairement diffuses, et la structure alvéolaire est dominante. Quand elle se trouve plus localisée ce sont les faciès pisolithiques qui sont les plus fréquents.

Un autre facteur oriente la morphologie des cuirasses qui est la nature texturale de l'horizon où s'effectue l'induration. Dans les alluvions argileuses on assiste à la mise en place préférentielle des formes pisolithiques. Dans les alluvions à texture moyenne (sablo-argileuses à limono-sableuses), ce sont les formes alvéolaires qui dominent. Dans les alluvions à texture grossière (sables, cailloutis, galets), il y a formation de grès, brèches et conglomérats à ciment ferrugineux.

Le développement du cuirassement dans les formations alluviales est assez spécial. On l'observe en bordure des rives, le long des anciens bras morts, et, également aussi, à proximité des côteaux cuirassés.

En règle générale, ces types de cuirasse sont essentiellement ferrugineux. Le quartz fréquent, s'y trouve sous forme clastique, et ne paraît pas corodé.

V. SOLS SUR CUIRASSES

Fréquemment, les cuirasses anciennes donnent naissance à de nouveaux sols. Elles agissent comme un matériau originel. Elles ne sont donc pas irréversibles, contrairement à une opinion souvent exprimée (GREENE, 1930).

A. - Face à DALABA, en bordure de l'ancienne route du KONKOURE -

- la surface cuirassée ancienne supporte un magnifique peuplement forestier pionnier qui contribue au démantèlement et à l'altération de la cuirasse.

- 0 - 2 cm litière de matière organique grossière, en voie de décomposition ; action intense de la faune du sol.
- 2 - 10 cm horizon brun foncé, très humifère ; texture limono-sableuse ; structure grumeleuse ; aspect d'un véritable terreau ; très nombreuses racines ; gravillons et blocs cuirassés fortement altérés.
- 10 - 27 cm horizon bariolé brun-rouge et ocre-rouille, légèrement argileux ; les débris de cuirasse plus abondant sont fortement hydratés et ébranlés par des solutions ferrugineuses qui les pénètrent et les font éclater ; le ciment ferrugineux est dissout ; les blocs cuirassés deviennent poreux, prennent une structure scoriacée ; les produits bruns disparaissent pour faire place à des matériaux de couleur rose-blanchâtre et qui indiquent un enrichissement relatif en alumine.
- 27 cm et plus cuirasse indurée ancienne, fortement ferruginisée, où domine le faciès "pain d'épice".

B. - UENDOU -

- surface cuirassée fossile dominant les TIMBI -

- La forêt montagnarde à Parinari a entièrement reconquis la formation.

- 0 - 1 cm litière de matière organique grossière en voie de décomposition et qui repose directement sur le sol.
- 1 - 3 cm horizon brun - gris-foncé, fortement humifère ; l'humus commence à bien se mélanger à l'argile ; nombreuses racines.
- 3 - 10 cm horizon brun-gris plus clair ; assez argileux ; encore un peu humifère, nombreux blocs de cuirasses isolés, en voie de dissolution ; quelques grosses racines.
- 10 - 32 cm horizon beige-ocre, avec nombreux blocs de cuirasses isolés, de la grosseur du poing, des produits terreux y pénètrent par de petites diaclases.
- 32 cm et plus cuirasse fortement indurée ; faciès "pain d'épice" imprégné de solutions ferrugineuses ; les matériaux terreux sont entraînés en profondeur par les eaux de percolation.

C. - UENDOU, à 200 mètres du village -

- recré arbustif clair.

La cuirasse primitive a complètement disparu. Quelques blocs épars de cuirasse fortement altérés, subsistent par endroits. Le sill doléritique affleure à la surface du sol.

D. - Route de N'ZEREKORE à DIEKE -

- végétation de Forêt hygrophile plus ou moins dégradée par l'homme.

Sur de nombreux sommets subsistent quelques blocs de cuirasses, profondément altérés, et en voie de disparition. Ils reposent à la surface des sols fortement ferrallitiques, souvent légèrement gravillonnaires, mais qui ne montrent aucune tendance actuelle au cuirassement.

Ces quelques exemples montrent l'action intense de la végétation sur

l'altération des anciens niveaux indurés, amenés en affleurement. La matière organique semble agir surtout par son action dissolvante vis-à-vis des ciments ferrugineux. Les racines complètent cette action par le démantèlement mécanique de l'ensemble.

VI. CUIRASSES COLLUVIALES ET ALLUVIALES

Ces cuirassement résultent de la cimentation de produits primitivement cuirassés et remaniés. Pour les cuirasses colluviales le transport se fait par gravité ; pour les cuirasses alluviales, par les eaux.

A. - Station I.F.A.C. - DALABA, route Ouest -

- végétation herbacée : jachère à fonio

- 0 - 20 cm horizon jaune-beige ; texture sablo-limoneuse, structure nuciforme peu développée, horizon fortement érodé en surface.
- 20 - 55 cm horizon beige ; quelques petites concrétions rouges, peu indurées ; texture argileuse ; structure plus nettement nuciforme.
- 55 - 80 cm horizon beige, légèrement rougi, avec nombreuses taches rouges assez bien individualisées, mais non durcies ; texture argileuse ; structure à tendance polyédrique peu nette.
- 80 cm et plus colluvions de gravillons ferrallitiques, mêlés à des blocs cuirassés à structure pisolithique, à des boules de dolérites plus ou moins altérées et ferruginisées, le tout faiblement cimenté par pâte ocre-rouille, où s'observent de nombreux grains de quartz.

- Le long de la tranchée de la route, on observe ainsi sous des sols variés (rouges, beiges, jaunes) des poches remblayées par des éboulis de cuirasse qui ont roulé du sommet fortement cuirassé. Ces blocs, dont certains atteignent plusieurs tonnes sont partiellement cimentés entre eux (MAGNIEN, 1952).

B. - TIANGEL BORI - à mi-pente de la colline boisée.

- végétation : savane arbustive claire.

0 - 15 cm nombreux blocs de cuirasses, arrondis, mêlés à des gravillons, le tout repris par des racines herbacées.

plus de 15 cm agglomérats de blocs de cuirasses de structure variée (pisolithique, scoriacée, "pain d'épice", boules de dolérites plus ou moins altérées), partiellement cimentées par des solutions ferrugineuses brunes.

- L'aspect superficiel de ces cuirasses colluviales rappelle fréquemment celui de niveaux cuirassés en place, en voie d'altération. Il s'en distingue cependant par le fait que dans le cas des cuirasses colluviales, il y a formation de poches de grandeurs variées. D'autre part, les passages avec les formations sous-jacentes sont toujours brutaux.

C. - Plaine de BOROTO (HAUTE GUINEE) -

0 - 30 cm horizon grisâtre ; assez humifère ; texture limoneuse assez fine ; structure peu développée, particulière ; tendance à se prendre en masse et à durcir ; des traînées ferrugineuses ocre-rouilles, marquent la trace des racines.

30 - 35 cm niveau gravillonnaire ; gravillons ferrugineux bien arrondis par usure mécanique, très indurés ; taille moyenne : 1 cm de diamètre, partiellement cimentés, par des sesquioxides de fer qui imprègnent des produits terreux assez grossiers où domine le quartz clastique.

35 - 55 cm horizon gris-brun ; avec nombreuses taches ocres, un peu durcies, et qui montrent le début de formation de concrétions ; texture argileuse ; structure fondue ; horizon plus ou moins colmaté.

60 cm niveau de la nappe phréatique.

- l'horizon de gravillons se caractérise par un tri extrêmement poussé de ceux-ci. Il n'existe aucune relation pédogénétique avec les niveaux

voisins. Les gravillons qui se sont déposés comme les autres matériaux alluviaux, se comportent comme de simples constituants texturaux. La nature grossière de ceux-ci favorise la cimentation sous forme conglomératique.

- Il est parfois difficile de trancher sur l'origine des cuirasses rencontrées dans des alluvions. S'agit-il de cuirasses alluviales ou de cuirasses formées sur place en milieu hydromorphe ?

L'observation des faits permet d'avancer certaines règles discriminatives :

- une cuirasse hydromorphe se forme toujours dans l'horizon immédiatement supérieur au niveau d'étiage de la nappe phréatique. Une cuirasse alluviale s'observe à n'importe quel niveau.
- en milieu hydromorphe un changement de texture provoque des variations dans la morphologie des cuirasses formées. Il n'en est pas de même pour les cuirasses alluviales.
- les concrétions d'une cuirasse formée par action d'hydromorphie montrent des dépôts de films ferrugineux concentriques autour de nucléons. Dans une cuirasse alluviale les gravillons sont souvent légèrement altérés et usés extérieurement ; de plus ils se trouvent en mélange avec des produits terreux sans passages continus.

Aucun de ces critères n'est absolu, mais leur convergence fournit de fortes présomptions quant à l'origine des cuirasses formées dans les alluvions.

C H A P I T R E 7

C O M P O S I T I O N S C H I M I Q U E S D E S P R O F I L S C U I R A S S É S

Plutôt que de donner une série de tableaux résumant les résultats analytiques obtenus lors de l'étude des profils cuirassés, il a semblé préférable de grouper quelques données en tenant compte du degré d'évolution du cuirassement.

I. SOLS FAIBLEMENT CUIRASSES

A. - SOL FERRALLITIQUE DE GUINEE FORESTIERE (cf. profil I. A)

R E S U L T A T S A N A L Y T I Q U E S

	<u>Gu 81</u>	<u>Gu 81</u>	<u>Gu 82</u>	<u>Gu 82</u>	<u>Gu 83</u>	<u>Gu 83</u>	<u>Gu 84</u>	<u>Gu 85</u>
	terre fine	graviers	terre fine	graviers	terre fine	graviers	total	total
pH	5,0		4,9		5,1		5,7	8,3
terre fine.	52,20		30,70		64,75			
graviers...		47,80		69,30		35,25		
C	2,68		0,73					
N	0,24		0,09					
Humus	0,021		0,03					
H ₂ O+	10,25	12,01	9,14	7,21	12,61	11,84	11,42	0,71
Insolubles	52,48	20,08	42,18	6,64	40,25	33,05	42,80	82,50
SiO ₂ combin.	22,02	21,40	22,30	32,20	19,14	18,25	15,01	10,20
Al ₂ O ₃	9,72	13,52	19,92	9,29	19,75	23,42	25,79	1,43

suite

	<u>Gu 81</u>	<u>Gu 81</u>	<u>Gu 82</u>	<u>Gu 82</u>	<u>Gu 83</u>	<u>Gu 83</u>	<u>Gu 84</u>	<u>Gu 85</u>
	terre fine	graviers	terre fine	graviers	terre fine	graviers	total	total
Fe ₂ O ₃	4,60	32,48	6,53	43,76	8,35	14,77	4,41	3,32
TiO ₂	0,40	0,31	0,41	0,99	0,67	0,42	0,48	0,21
P ₂ O ₅	0,42	0,09	0,39	0,46	0,19	0,14	0,36	0,30
CaO	0,13	0,13	0,15	0,10	0,23	0,13	0,13	0,21
MgO		0,04	0,10	0,07	0,05	0,05	0,06	0,16
K ₂ O	0,20	0,34	0,54	0,10	0,42	0,33	0,38	0,28
Na ₂ O	0,16	0,16	0,14	0,09	0,12	0,14	0,11	0,14

B. - SOL ALLUVIAL CUIRASSE DU PAYS KISSIEN (cf. profil IV. D)

RESULTATS ANALYTIQUES

	<u>Gu 131</u>	<u>Gu 132</u>	<u>Gu 133</u>	<u>Gu 133</u>	<u>Gu 134</u>	<u>Gu 134</u>	<u>Gu 135</u>
	tf	tf	tf	gr	tf	gr	tf
pH	5,7	5,1	5,2		5,4		5,3
Tf	97,25	93,00	53,00		84,50		98,50
gr	2,75	7,00		47,00		15,50	1,50
C.	2,60	1,08					
N.	0,14	0,09					
Humus	0,26	0,05					
H ₂ O+	9,15	7,08	8,60	8,92	9,80	10,00	10,40
Insolubles ..	68,40	66,70	52,30	37,61	38,02	29,38	66,70
SiO ₂ combin.	11,92	12,08	14,42	18,81	20,83	21,84	26,88
Al ₂ O ₃	7,63	9,48	14,20	16,74	17,29	18,47	7,87
Fe ₂ O ₃	2,38	3,09	7,46	17,71	12,05	20,98	7,79
TiO ₂	0,45	0,37	0,45	0,23	0,24	0,22	0,35
P ₂ O ₅	0,02	0,28	0,49	0,47	0,62	0,15	0,16
CaO	0,28	0,23	0,28	0,26	0,23	0,16	0,13
MgO	0,23	0,10	0,12	0,11	0,10	0,09	0,12
K ₂ O	0,84	1,06	0,82	1,28	0,74	0,66	0,62
Na ₂ O	0,29	0,30	0,30	0,40	0,25	0,22	0,26

C. - SOL DE PLATEAU EN VOIE DE CUIRASSEMENT - LABE - (cf. profil IV. A)

RESULTATS ANALYTIQUES

1. Analyse mécanique (% de terre fine séchée à 105°)

Horizons	terre fine	sables grossiers	cailloux fins	cailloux moyens	argile	humus	matière organique	carbone	azote	C/N	pH
La 41	100	5,10	15,7	23,6	31,2	0,30	13,45	7,8	0,15	52,7	5,4
La 42	100	3,6	19,3	22,7	32,8	0,07	9,0	5,2	0,29	17,9	5,7
La 43	100	1,4	15,7	24,1	54,2	0,02	2,0	1,2	0,07	16,7	5,45
La 44	100	3,1	14,4	30,9	47,4	0,02	0,8	0,5	0,09	5,4	5,55
La 45	92,0	6,7	17,0	37,0	35,1	0,01	0,3	0,2	0,02	9,0	5,65
La 46	75,0	5,3	17,8	40,2	30,6	-	-	-	-	-	5,55
La 47	18,0	4,7	13,6	25,0	21,0	-	-	-	-	-	5,7
La 48	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8

2. Analyses chimiques ; attaque triacide (%)

Horizons	H ₂ O+	Insolubles	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O
La 41 tf	20,11	28,10	17,20	19,55	4,63	0,12	0,08	0,41	-
La 42 tf	19,20	43,20	10,75	19,43	6,07	0,40	0,07	0,16	-
La 43 tf	9,92	48,40	14,55	23,12	3,91	0,17	-	-	-
La 44 tf	9,80	49,70	13,50	21,99	6,15	0,26	0,09	0,42	0,01
La 45 tf	7,20	48,45	21,10	17,62	5,35	0,23	0,08	0,42	0,08
La 46 tf	9,00	36,40	21,80	23,74	7,98	0,38	0,10	0,33	0,08
La 46 gr	9,53	33,30	21,80	22,92	11,42	0,06	0,33	0,48	0,04
La 47 tf	12,66	36,40	23,60	19,49	3,99	0,62	0,14	0,33	0,05
La 47 gr	12,33	18,50	17,50	26,92	21,96	0,42	0,19	0,16	0,05
La 48 tf	5,13	25,20	23,50	26,48	13,42	0,50	0,21	0,33	-
La 48 gr	10,80	21,75	20,25	28,26	17,88	0,46	0,13	0,25	-

A partir de ces données analytiques, il est possible de calculer les teneurs en Al₂O₃ libre, en posant comme hypothèse que la silice combinée se trouve principalement sous forme kaolinitique.

	Al_2O_3 combinée	Al_2O_3 libre	Fe_2O_3 total	SiO_2 libre	Silice combinée	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
Gu 81	18,69	- 8,97	4,60	10,56	11,46	2,0
Gu 81 gr	18,16	- 4,64	32,48	5,46	15,94	2,0
82	18,93	+ 0,99	6,53		22,30	
82 gr	27,33	- 18,04	43,76	21,24	10,96	2,0
83	16,24	+ 3,51	8,35		19,14	
83 gr	15,40	+ 7,93	14,77		18,15	
84	12,74	+ 13,05	4,41		15,01	
85	8,65	-	3,32		10,20	
Gu 131	10,12	+ 2,49	2,38		11,92	
132	10,25	+ 0,77	3,09		12,08	
133	12,24	+ 1,96	7,46		14,42	
133 gr	15,96	+ 0,78	17,71		18,81	
134	16,68	- 0,39	12,05	0,45	20,38	2,07
134 gr	18,54	- 0,07	20,98	0,08	21,76	1,99
135	22,82	- 14,95	7,79	17,60	9,28	2,0
La 41	14,60	+ 4,95	4,63		17,20	
42	9,12	+ 10,31	6,07		10,75	
43	12,35	+ 10,77	3,91		14,55	
44	11,46	+ 10,53	6,15		13,50	
45	17,91	- 0,29	5,35	0,34	20,76	
46	18,50	+ 5,24	7,98		21,80	
46 gr	18,50	+ 4,42	11,42		21,80	
47	20,03	- 0,54	3,99	0,68	22,92	
47 gr	14,85	+ 12,07	21,96		17,50	
48	19,95	+ 6,53	13,42		23,50	
48 gr	18,46	+ 9,80	17,88		20,25	

Les valeurs négatives de Al_2O_3 correspondent à un surplus de silice libre. En effet, si l'on calcule le rapport $K_1 = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ on trouve des valeurs très supérieures à 2, ce qui est anormal en milieu tropical humide bien drainé. On peut calculer ces quantités de silice libre à partir du déficit en Al_2O_3 . Par différence, on obtient la silice combinée dans la kaolinite:

$$\begin{array}{c} \text{silice (combinée + libre)} \\ \text{mesurée} \end{array} - \begin{array}{c} \text{silice libre} \\ \text{calculée} \end{array} = \text{silice (kaolinite)}$$

Le calcul de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ donne alors pour chaque cas considéré des valeurs peu différentes de 2 (kaolinite), ce qui confirme le bien-fondé de l'hypothèse.

On peut donc considérer que dans le cas d'analyses triacides pour

toute valeur calculée positive d'alumine libre, les teneurs en silice dite combinée correspondent en totalité à la fraction argileuse, sinon il faut admettre que silice libre et alumine libre varient dans les mêmes proportions. Ce raisonnement n'est théoriquement valable que pour des sols fortement ferrallitisés et évolués sur place.

Des teneurs élevées en silice combinée correspondent soit à la présence de minéraux alumino-silicatés plus ou moins altérés, soit à celle d'argiles illitiques. Ces faits se rencontrent normalement dans les sols ferrallitiques jeunes où ceux formés à partir de matériaux originels peu évolués. On peut cependant indiquer que la présence de silice libre paraît fréquemment liée à la présence de kaolinite.

La comparaison des valeurs analytiques aux caractéristiques morphologiques des sols faiblement cuirassés permet de préciser quelques données :

1. Les phénomènes de cuirassement en concrétions ou en niveaux indurés se produisent dans des horizons variables (en surface pour Gu 6 ; en profondeur pour Gu 13.).

- Ces sols ont une faible épaisseur, qui ne dépasse pas 2 mètres ;
- Les phénomènes d'individualisation et d'induration des horizons cuirassés sont peu poussés (cuirasses faiblement à moyennement durcies) ;
- Les horizons indurés sont peu épais - quelques dizaines de centimètres.

2. L'apparition du concrétionnement ou du cuirassement correspond à une augmentation notable des teneurs en Fe_2O_3 total.

- Dans les premiers stades de ces processus, l'alumine se comporte comme un corps secondaire, et semble indifférent ;
- Parfois la silice libre semble jouer un rôle dans l'induration ;
- En sols ferrallitiques, le concrétionnement est lié à un abaissement des teneurs en eau combinée. Ceci n'apparaît cependant pas dans le cas des cuirasses formées en sols hydromorphes.

- Mode d'accumulation des hydroxydes -

D'HOORE (1953) considère que l'accumulation des sesquioxydes résulte

de deux processus bien distincts :

- de l'importation de sesquioxydes dans le milieu : accumulation absolue ;
- de l'exportation de non sesquioxydes : accumulation relative.

Afin de distinguer ces deux modes d'accumulation, il divise la partie minérale et solide du sol en trois groupe de constituants :

- GROUPE A. - Les constituants qui s'accumulent ou qui s'accumuleront : d'une part des oxydes libres de fer, d'alumine, de manganèse, de titane, etc.. et d'autre part, de ces mêmes éléments encore liés sous forme de minéraux altérables, mais qui lors de l'évolution future du sol se transformeront normalement en sesquioxydes libres.

- GROUPE B. - Les constituants exportables :

- les éléments solubles dans l'eau, sels, silice, etc..
- les éléments encore liés sous forme de minéraux altérables, mais qui lors, de l'évolution future du sol, se transformeront normalement en éléments solubles.

- GROUPE C. - Les constituants stables, minéraux peu altérables tels que le quartz, les minéraux lourds résiduels.

En partant de ces données, et en tenant compte d'un facteur de correction qui permet d'exprimer les résultats sur matériel anhydre, il est facile de calculer A, B et C et d'en donner une représentation graphique.

	Facteur de correction	A	B	C
Gu 81	1,114	16,39	25,15	58,46
81 gr	1,136	52,60	24,59	22,81
Gu 82	1,100	29,43	24,18	46,39
82 gr	1,077	58,20	34,65	7,15
Gu 83	1,114	32,04	27,71	44,83
Gu 83 gr	1,134	43,78	23,13	37,47
Gu 84	1,128	34,60	17,13	48,27
Gu 85	1,007	4,99	12,51	83,07
Gu 131	1,100	11,50	13,26	75,24
Gu 132	1,076	13,92	14,32	71,76
Gu 133	1,094	24,18	18,61	57,21
133 gr	1,097	38,04	20,71	41,25

suite

	Facteur de correction	A	B	C
Gu 134	1,108	32,77	25,11	42,12
134 gr	1,111	44,07	23,29	32,64
Gu 135	1,116	17,86	7,71	74,43
La 41	1,251	30,24	34,61	35,15
La 42	1,237	31,54	15,03	53,43
La 43	1,110	30,00	16,28	53,72
La 44	1,108	31,17	13,77	55,06
La 45	1,077	24,73	23,09	52,18
La 46	1,098	34,82	25,22	39,96
46 gr	1,105	37,94	25,27	36,79
La 47	1,144	26,86	31,50	41,64
47 gr	1,140	55,72	23,19	21,09
La 48	1,054	42,05	31,39	26,56
48 gr	1,121	51,72	23,40	24,38

II. SOLS A CUIRASSES ACTUELLES

Voici deux exemples de sols fortement cuirassés, de formation
actuelle :

A. - SOL CUIRASSE DE PLATEAU - LABE (I. J.)

	H ₂ O	Insol.	SiO ₂ combi.	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	
La 21 tf	12,06	51,00	11,15	18,03	6,71	0,12	0,10	0,25	-	
La 21 gr.	10,13	11,80	10,35	22,72	41,52	0,42	0,11	0,16	0,03	
La 22 cuir.	15,00	12,00	9,10	22,44	40,88	0,24	0,05	0,25	0,06	
La 23 carap.	12,00	9,75	20,50	25,51	30,34	0,15	0,05	0,16	0,02	
	T.f	S.g	S.f	Limon	Argile	M.O.	Humus	C	N	pH
La 21 tf	46,7	6,3	26,7	43,74	19,4	0,91	0,12	0,53	0,125	5,45

B. - SOL A CUIRASSE DE NAPPE - BALLAY (IV. D)

RESULTATS ANALYTIQUES

1. Analyses mécaniques (% de terre fine séchée à 105°)

Horizons	Terre fine	Sables grossiers	Sables fins	Limon	Argile	Humns	Matière Organique	C	N	C/N	pH
La 51	100	24,9	20,6	14,6	34,1	0,04	3,15	1,8	0,11	16,3	4,8
La 51 bis	100	25,9	22,7	34,3	13,8	0,01	1,6	0,9	0,05	17,4	5,0
La 52	95,1	29,6	28,6	10,9	29,8	0,015	0,6	0,35	0,03	13,3	5,15
La 53	63,0	30,1	25,1	13,0	28,4	0,008	0,55	0,3	0,02	13,3	5,3
La 53 bis	47,0	32,4	24,6	13,9	24,9	0,013	0,33	0,2	0,015	18,6	5,4
La 54 cuirasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La 55	14,0	13,2	44,2	18,9	19,9	0,014	-	-	-	-	6,2
La 56	30,1	15,2	24,6	17,7	40,7	0,011	-	-	-	-	5,8
La 57	35,0	14,0	19,9	19,4	41,4	0,011	-	-	-	-	5,5
La 58	96,0	67,3	9,0	5,5	18,0	-	-	-	-	-	5,8

2. Analyses chimiques ; attaque triacide (%)

Horizons	Fraction	Perte au feu	Insoluble	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂ /R ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
La 51	terre fine	8,40	54,40	15,55	15,43	4,07	0,82	1,71	0,30	0,17
La 51 bis	" "	5,40	60,15	14,90	14,07	3,75	0,87	1,80	0,38	0,16
La 52	" "	4,93	68,80	12,50	12,25	2,55	0,87	1,73	0,20	0,07
La 53	" "	4,46	66,50	13,90	11,15	3,03	1,02	2,12	0,62	0,16
La 53 refus 2 mm		6,70	47,00	15,95	16,62	13,97	0,54	1,63	0,81	0,19
La 53 bis terre fine		4,80	62,50	14,30	14,17	4,23	0,80	1,71	0,11	0,22
La 53 bis refus 2 mm		9,26	42,90	12,00	13,98	21,96	0,35	1,53	0,06	0,15
La 54 cuirasse		9,96	46,34	8,94	13,68	20,64	0,25	1,11	0,05	-
La 55 terre fine		8,00	48,7	17,75	15,4	9,82	0,73	1,95	0,08	0,11
La 55 refus 2 mm		8,13	34,40	19,25	17,96	18,28	0,55	1,83	0,06	0,19
La 56 terre fine		8,40	41,60	19,10	19,66	9,26	0,68	1,65	0,08	0,16
La 56 refus 2 mm		9,26	24,55	25,75	23,07	16,21	0,68	1,89	0,11	0,23
La 57 terre fine		9,06	31,77	23,93	24,28	10,54	0,71	1,67	0,08	0,16
La 57 refus 2 mm		8,00	33,00	23,45	23,41	9,30	0,74	1,70	0,09	0,13
La 58 terre fine		3,06	75,60	9,80	8,18	4,23	0,82	2,03	0,09	0,26

Ces données permettent de calculer les valeurs suivantes.

	Insoluble	SiO ₂ comb.	Al ₂ O ₃ comb.	Al ₂ O ₃ libre	Fact. correct.	A	B	C
21	51,00	11,15	9,46	+ 8,56	1,137	28,12	13,90	57,98
21	11,80	10,35	8,76	+13,94	1,111	71,37	15,53	13,10
22	12,00	9,10	10,18	+12,26	1,176	74,46	11,43	14,11
23	9,75	20,50	8,27	+17,24	1,136	63,44	25,49	11,07
51	54,40	15,53	13,20	+ 2,23	1,091	21,27	19,38	59,35
51 bis	60,15	14,90	12,65	+ 1,46	1,057	18,83	17,60	63,57
52	68,80	12,50	10,61	+ 1,64	1,051	15,55	11,85	72,30
53	66,50	13,90	11,80	- 0,35	1,046	14,83	15,62	69,55
53	47,00	15,95	13,54	+ 3,08	1,071	32,76	16,91	50,33
53 bis	62,50	14,30	12,14	+ 2,03	1,050	19,32	15,06	65,62
53 bis	42,90	12,00	10,18	+ 3,80	1,102	39,60	13,13	47,27
54	46,34	8,94	7,59	+ 6,09	1,110	38,09	10,45	51,46
55	48,70	17,75	15,06	+ 0,34	1,086	27,38	19,74	52,88
55	34,40	19,25	16,34	+ 1,62	1,088	39,42	23,16	37,42
56	41,60	19,10	16,21	+ 3,45	1,091	31,53	23,09	45,38
56	24,55	25,75	21,86	+ 1,21	1,102	43,28	29,67	27,05
57	31,77	23,93	20,31	+ 3,97	1,099	38,26	26,83	34,91
57	33,00	23,45	19,90	+ 3,51	1,086	35,52	28,65	35,83
58	75,60	9,80	8,32	- 0,86	1,031	12,79	9,27	77,94

L'examen des deux diagrammes ci-joints précisent l'évolution déjà signalée en sols faiblement cuirassés. L'accumulation se trouve liée aux mouvements des sesquioxides qui se redistribuent après individualisation, et s'effectue donc sur un mode d'accumulation absolue. L'accumulation relative ne s'observe qu'entre les roches fraîches et les horizons d'altération.

Il est fort probable que s'il avait été possible de suivre l'altération dans le profil La 2, on aurait obtenu une droite dirigée vers B (ligne pointillée). L'orientation de cette courbe se retrouve d'ailleurs dans les horizons d'altération dérivant de matériaux peu évolués même quand il n'y a pas cuirassement.

L'étude des diagrammes explicite les mécanismes suivants :

1er diagramme :

- 1 à 2 : on observe une faible accumulation relative qui marque le passage du stade carapace au stade cuirasse. Il y a entraînement mécanique des matériaux argileux par les eaux de percolation.

- 2 à 3, marque le passage de l'horizon en voie de cuirassement aux concrétions. On assiste à une légère dissolution des hydroxydes (ciment) qui libèrent des noyaux indurés.

- 3 à 4, il y a une augmentation fort importante de matériaux inertes, qui fait suite à un lessivage des oxydes dans un milieu enrichi en matière organique. L'érosion superficielle accentue ce phénomène.

Les teneurs élevées en alumine libre (calculée) signalent un milieu fortement ferrallitique. Le cuirassement suit les mouvements du fer.

2ème diagramme :

Deux processus pédogénétiques se superposent :

- il y a un lessivage suivi d'une accumulation des sesquioxydes de fer dans les horizons supérieurs du profil.

- en profondeur, il se produit un enrichissement par action d'une nappe phréatique.

Ces mécanismes se trouvent bien marqués sur le deuxième diagramme :

- 1 à 3, lessivage des hydroxydes de fer et des cations.

- 4 à 7, accumulation des hydroxydes. Le rapprochement des points 5 et 7 aux points 4 et 6 signale une concentration absolue sous forme de concrétions dans des horizons meubles à peine enrichis.

- 8 à 9, on assiste à l'accumulation des cations lessivés de la surface.

- 9 à 14 marque l'accumulation absolue des oxydes constitutifs. Chaque crochet indique une concentration en des points privilégiés.

Lorsque l'on compare cette accumulation avec le point 15 (matériau originel), on a une indication sur l'enrichissement en hydroxydes par la nappe phréatique. La direction de la courbe est nettement absolue, et montre une accumulation de produits exotifs au profil. Les teneurs en alumine libre sont très faibles. Dans ce type de cuirassement, il peut arriver que l'on obtienne des valeurs en Al libre négatives. Elles correspondent à la présence d'argiles à rapport $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ à 2 ou à celle de

roches silicatées faiblement altérées, matériaux texturaux des alluvions où se produit le cuirassement. Les formules utilisées ne sont donc pas à généraliser. Elles sont valables et présentent un intérêt certain lorsque l'évolution pédologique est bien définie (sols ferrallitiques, sols ferrugineux tropicaux).

En rapprochant ces résultats de ceux obtenus sur les sols faiblement cuirassés, il est possible de compléter les données formulées dans le paragraphe précédent :

- la ferrallitisation ne semble apporter que peu de modifications dans la marche du cuirassement.

- une augmentation d'intensité dans les phénomènes de cuirassement correspond presque toujours à une augmentation des teneurs en fer.

- l'alumine reste dans l'ensemble indifférente.

- l'épaisseur des horizons indurés croît avec le cuirassement.

- l'induration suit cette évolution.

- les horizons cuirassés, tout en évoluant par leur base, peuvent être déjà attaqués en leur sommet. Il y a dissolution des ciments, et libération de gravillons.

- les cuirasses s'épaississent ordinairement ^{par} en-dessous où s'immobilisent les sesquioxides lessivés des horizons supérieurs.

- le cuirassement accuse l'érodibilité des horizons meubles superficiels (cf. analyses mécaniques).

III. CUIRASSES ANCIENNES

Elles sont pour la plupart affleurantes, et sont plus ou moins démantelées. Elles ont été souvent étudiées, et leurs caractéristiques analytiques sont bien connues.

Voici deux exemples de cuirasses d'origine fort différente :

A. - CUIRASSES SUR SYENITES NEPHELINIQUES DES ILES DE LOOS -
(MILLO et BONIFAS, 1955)

RESULTATS ANALYTIQUES

<u>H₂O+</u>	<u>H₂O-</u>	<u>SiO₂</u>	<u>Fe₂O₃</u>	<u>FeO</u>	<u>Al₂O₃</u>	<u>MnO</u>	<u>TiO₂</u>	<u>MgO</u>	<u>CaO</u>	<u>Na₂O</u>	<u>K₂O</u>
1. Bauxite ferrugineuse.											
23,30	0,60	5,45	22,70	0,20	44,70	0,08	1,40	-	0,20	-	-
2. Bauxite peu concrétionnée											
30,65	0,20	0,45	6,40	0,55	57,90	0,07	2,15	-	0,40	-	-
3. "Pierre ponce"											
29,10	0,40	3,30	7,20	0,80	55,30	0,15	1,75	-	0,20	-	-
4. Syénite faiblement altérée											
3,10	1,00	57,40	2,90	0,60	21,50	0,14	0,60	0,45	0,36	4,00	8,10
5. Syénite intacte											
1,35	0,20	57,23	4,96	1,50	17,50	0,40	0,70	1,15	2,60	4,05	7,00

B. - CUIRASSES SUR LA TERRASSE SUPERIEURE DU MILO à KANKAN -
(cf. profil IV. I.)

RESULTATS ANALYTIQUES

<u>H₂O+</u>	<u>Insolu</u>	<u>SiO₂</u>	<u>Al₂O₃</u>	<u>Fe₂O₃</u>	<u>TiO₂</u>	<u>P₂O₅</u>	<u>CaO</u>	<u>MgO</u>	<u>K₂O</u>	<u>Na₂O</u>
Gu 210 total cuirassé										
10,49	6,58	19,83	12,47	47,00	0,86	0,32	0,13	0,10	0,24	0,09
Gu 210 concrétionné										
8,04	12,65	24,72	12,12	41,80	0,66	0,12	0,18	0,11	0,38	0,10
Gu 210 total										
5,21	15,28	18,92	14,19	38,20	0,86	0,15	0,15	0,12	0,20	0,09
Gu 211 concrétionné										
5,21	7,81	21,24	11,68	51,00	0,74	0,12	0,10	0,22	0,74	0,12

Ces résultats permettent de calculer les valeurs suivantes :

	<u>Facteur correctif</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
1.	1,303	88,18	5,31	-
2.	1,441	93,54	6,46	-
3.	1,410	89,46	10,54	-
4.	1,031	25,91	74,09	-
5.	1,013	24,67	75,33	6,51

Al_2O_3 combinée	Al_2O_3 libre	Facteur correctif	A	B	C
	Gu 210 total cuirassé				
16,83	- 4,36	1,117	66,42	26,24	7,34
	Gu 210 concrétionné				
20,98	- 8,86	1,144	61,68	23,85	14,47
	Gu 211 total				
16,06	- 1,87	1,180	61,82	20,15	18,03
	Gu 211 concrétionné				
18,03	- 6,35	1,084	67,94	23,60	8,46

Pour les syénites, la comparaison des points correspondant aux différents faciès d'altération, montre, ainsi qu'on devait s'y attendre, une accumulation relative d'autant plus parfaite qu'il n'y a pas d'insoluble. Cependant lorsque l'on passe aux horizons cuirassés, on constate une diminution des teneurs en A consécutive à une augmentation des teneurs en kaolinite. Les diminutions des teneurs d'alumine sont consécutives à un apport exotif (accumulation absolue).

Pour la terrasse supérieure du MILO, le manque de données sur la nature du matériau originel, empêche de chiffrer l'enrichissement absolu. Mais l'étude des différentes valeurs calculées, précise l'importance des processus pédogénétiques liés à ce type de cuirassement. Les teneurs en Al libre calculées sont négatives. Les rapports SiO_2 combinée/ Al_2O_3 combinée donnent des valeurs très nettement différentes. Il apparaît donc que les calculs proposés ne sont pas valables dans le cas étudié. Ils indiquent la présence de minéraux alumino-silicatés non complètement décomposés, ce qui exclut tout processus poussé de ferrallitisation originelle. Il y a eu imprégnation ferrugineuse d'un matériau alluvial peu évolué.

En résumé, on constate que les vieilles cuirasses, qui n'ont pas encore subi un trop fort démantèlement mécanique, montrent une concentration de plus en plus poussée des sesquioxides et cela quelle que soit la roche mère.

- L'épaisseur devient parfois considérable en bordure de la zone de drainage naturel ;

- Le fer tend à se lessiver de ses complexes, et cela d'autant plus intensément, que les niveaux hydrostatiques sont plus profonds. Les cuirasses bauxitiques sont résiduelles. Le fer s'accumule dans les zones basses.

- L'imprégnation des horizons d'altération par les sesquioxides qui est liée à l'abaissement du niveau de base, les fossilisent partiellement et complique leurs interprétation analytiques.

C H A P I T R E 8

CONSTITUTIONS MINÉRALOGIQUES DES PROFILS CUIRASSES

Il n'a pas été matériellement possible d'étudier la constitution minéralogique de tous les horizons échantillonnés. Cette étude a été volontairement limitée aux profils dont les caractéristiques pédogénétiques sont bien connues.

I. PROFILS D.1 et D.2

Suivant la topographie, ces sols sont plus ou moins bien drainés. Il en résulte des phénomènes d'hydromorphie en profondeur qui influent profondément le cuirassement.

Les données globales fournies par les analyses thermopondérales, thermodifférentielles et aux Rayons X sont les suivantes (valeurs approchées) :

Profil La 3	La 34 horizon marquant le début du cuirassement	Kaolinite 60 %
		gibbsite environ 15 %
		goethite " 7 %
	La 36 horizon cuirassé à structure alvéolaire légèrement feuilleté	kaolinite 55 %
		gibbsite environ 22 %
		goethite " 10 %
	La 37 horizon cuirassé nodulaire peu durci	kaolinite 62 %
		gibbsite environ 15 %
		goethite " 8 %

Profil La 4	La 41 horizon de surface, très organique	kaolinite quantité importante de colloïdes hydroxydes de fer et d'alumine
	La 45 début du cuirassement intense concrétionnement	kaolinite environ 50 % hydroxydes de fer et d'alumine présence d'un produit à 14 °
	La 46 cuirasse alvéolaire légèrement feuilletée	kaolinite environ 62 % hydroxydes de fer et d'alumine présence éventuelle d'illite

L'étude particulière des résultats donnés par chaque méthode permet de préciser les caractéristiques suivantes :

A. - THERMOEALANCE -

- La 34 - La 36 - La 37.

20 - 200° = eau hygroscopique
alumine colloïdale (gels)

200 - 400° = hydroxydes de fer et d'alumine
gibbsite et goethite.

au-dessus de 400° = pertes de poids de la kaolinite.

- La 41

100 - 400° = alumine colloïdale en grande abondance
au-dessus de 400° ; kaolinite.

- La 46

idem La 36.

B. - ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE -

Sur les échantillons La 34 - 36 - 37 - 46, les crochets caractéristiques de la kaolinite apparaissent particulièrement bien. Le crochet dû au départ d'eau des hydroxydes est également bien marqué, Seule diffère la courbe de l'échantillon La 41 qui laisse apparaître un départ d'eau abondant vers 150°/.

L'analyse thermique différentielle précise donc les données de la thermobalance.

C. - RAYONS X -

La 36 - La 36 - La 37.

	équidistance	écart réticulaire	argile
raies 1	2,44	7,20 Å	kaolinite
2	3,63	4,87	gibbsite
3	3,98	4,45	kaolinite
4	4,25	4,15	" + goethite
5	4,99	3,55	"
6	6,95	2,58	"

La 41, La 46

2,45	7,18 Å	kaolinite
3,65	4,85	gibbsite
3,98	4,45	kaolinite
4,25 (très faible)	4,15	goethite
5	3,56	kaolinite.

L'ensemble de ces résultats confirme la nature fortement ferrallitique de ces sols, qui se caractérisent par :

- une formation importante de kaolinite
- une individualisation et une accumulation relativement importante de gibbsite dans l'horizon cuirassé
- une pauvreté assez prononcée du matériau originel en fer
- des apports obliques importants de ce produit avec accumulation sous forme de goethite au niveau des cuirasses.

Dans le profil La 4, l'apparition de phénomènes d'hydromorphie temporaire en profondeur, fait ressortir une individualisation plus intense

de la goethite dans l'horizon cuirassé, alors que les horizons humifères semblent particulièrement pauvres en cet élément.

Le rapprochement de ces données à celles de l'analyse chimique indique que les minéraux constitutifs se sont formés en milieu acide fortement organique, dessaturé en bases par suite d'un mauvais drainage.

II. PROFILS D. 5, D. 4 et D. 9

Les échantillons étudiés correspondent à des profils alluviaux à horizons cuirassés.

Le cuirassement est du type absolu par enrichissement en fer.

Les échantillons La 51, 53 bis et 56 ont été prélevés dans la plaine de BALLAY ; l'échantillon Gu 133 à quelques kilomètres de GUEKEDOU ; l'échantillon 210 sur la terrasse supérieure dominant la vallée du MILO à KANKAN.

Les résultats globaux des différentes analyses physiques sont les suivants :

La 51	horizon humifère de surface	kaolinite
		hydroxydes d'alumine
		hydroxydes de fer = goethite 9 %
La 53 bis	horizon à concrétions durcies	kaolinite
		hydroxydes d'alumine (boehmite ?)
		goethite environ 6 %
La 56	horizon cuirassé bien durci	kaolinite environ 67 %
		hydroxydes d'alumine sous forme monohydratée (diaspore ?)
		goethite environ 8,5 %

les résultats quantitatifs sont exprimés sous toute réserve.

Gu 133	horizon bariolé à concrétions peu durcies	kaolinite environ 33 % quartz quantité importante mica très peu goethite 24 %, un peu d'hématite
Gu 210	cuirasse affleurante	kaolinite environ 25 % mica très peu goethite = environ 14 % hématite.

Caractéristiques des courbes :

A. - THERMOBALANCE -

La 51 :

20 - 200° = eau hygroscopique

200 - 380° = goethite + un peu de gibbsite.

à partir de 400 ° : perte de poids de la kaolinite + boehmite dont
la présence n'est pas confirmée par les rayons X

Gu 133 :

20 - 200° = eau hygroscopique

200 - 400° = hydroxydes de fer et d'alumine

au-dessus de 400 ° kaolinite.

B. - ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE -

Les crochets de la kaolinite apparaissent toujours aussi nettement.

C. - RAYONS X -

La 51

<u>équidistance</u>	<u>écart réticulaire</u>	
2,46	7,15 Å	kaolinite
4	4,43	"
4,25 (très faible)	4,15	goethite
5	3,55	kaolinite

	<u>équidistance</u>	<u>écart réticulaire</u>	
Gu 133	2,48	7,1	kaolinite
	4,25	4,15	goethite
	4,98	3,56	kaolinite
	6,65	2,68	goethite

Les raies pointillées sont celles du quartz qui est en grande abondance (courbe de thermobalance très aplatie).

Le cuirassement dans ces trois types de profils est essentiellement lié à des apports d'hydroxydes, principalement de fer sous forme de goethite dans les échantillons jeunes, avec apparition d'hématite dans les cuirasses plus anciennes.

La présence de quartz et de mica, indique un milieu non ferrallitique. Les alluvions sont figées par le cuirassement.

III. ECHANTILLONS A. 5 et A. 3

La comparaison de ces échantillons permet d'étudier l'influence de la roche-mère sur le cuirassement.

Gu 124 horizon d'altération en voie de ferruginisation sur granite mélanocrate = à 4 km de MACENTA
sol rouge en voie de concrétionnement.

Gu 381 et 384 - horizon de surface et horizon d'altération d'un sol concrétionné sur gneiss observé au sud de DABOLA.

Gu 390 cuirasse supérieure sur gneiss entre DABOLA et FARANNAH, très durcie, structure feuilletée. Accumulation ferrugineuse à la surface d'un bowal.

Résultats globaux des analyses :

Gu 124	altération ferrallitique de granite mélanocrate	kaolinite environ 25 % gibbsite
--------	---	------------------------------------

		goethite : petites quantités quartz
Gu 381	horizon de surface	kaolinite environ 34 % goethite gibbsite mica très peu.
GU 384	horizon profond début horizon d'altération	kaolinite 25 % goethite prédomine sur gibbsite quartz.
Gu 390	cuirasse supérieure	kaolinite environ 32 % goethite 45 à 50 % quartz.

Caractéristiques des courbes

A. - THERMOBALANCE -

- Gu 384 et Gu 390 :

20 -200° = eau hygroscopique

200 -400° = hydroxydes de fer et d'alumine

au-dessus de 400° : kaolinite.

Les courbes font apparaître des éléments (hydroxydes et argiles) particulièrement bien individualisés, ce qui confirme la nature cristalline des minéraux formés dès le début de l'évolution.

B. - ANALYSES THERMIQUES DIFFERENTIELLES -

Les données confirment celles de la thermobalance, en particulier, pour le fer (goethite).

C. - RAYONS X -

- Gu 384

Equidistance	écart réticulaire	
3,66	4,85	gibbsite
4,25	4,15	goethite
6,65 (faible)	2,68	goethite

Les raies de la kaolinite sont très faible par suite de la présence du fer.

- Gu 390	4,25	4,15	goethite
	6,65	2,68	goethite

Les raies de la kaolinite sont également très faibles.

Sur roches acides ordinairement l'influence de la roche-mère se fait sentir par une individualisation du fer plus poussée que d'alumine. C'est le contraire de ce qui se passe en milieu ferrallitique pour les roches basiques. La ferrallitisation semble limitée par l'excès de quartz.

Les cuirasses affleurantes montrent des phénomènes d'enrichissement secondaire par le fer qui migre avec les eaux de percolation.

La composition de ces cuirasses n'a souvent qu'un lointain rapport avec les formations originelles sous-jacentes. Il y a redistribution superficielle des constituants de l'horizon cuirassé cimentés par le fer, ce qui explique la présence de gros débris de quartz et surtout de mica en Gu 381.

L'ensemble des résultats obtenus montre que les caractéristiques pédogénétiques règlent très tôt la nature cristalline des minéraux individualisés. L'évolution ultérieure apporte peu de changements dans la constitution minéralogique, si ce n'est une augmentation de taille des minéraux formés (gibbsite, goethite, etc.). Il est nécessaire que les conditions du milieu se modifient profondément pour assister à la formation de nouvelles formes cristallines.

On peut également constater que les phénomènes de cuirassement sont parfois tout à fait indépendants des types d'altération. Les cuirasses sont une des conséquences du dynamisme des sesquioxides dont le fer, corps

particulièrement mobile en milieu tropical est l'élément le plus constant. Il n'y a cuirassement que s'il y a eu mouvements des sesquioxides. Les enrichissements relatifs de matériaux particulièrement stables ne sont que des productions résiduelles liées aux processus d'altération et de dégradation.

T H È S E S

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ
de

STRASBOURG

pour
obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

par

R. M A I G N I E N

1ère THÈSE : CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU CUIRASSEMENT DES SOLS EN GUINÉE FRANÇAISE

2ème THÈSE : LES SAVANES TROPICALES D'AFRIQUE OCCIDENTALE FRANÇAISE

soutenues le

devant la Commission d'Examen

Monsieur S. GOLDZTAUB : PRÉSIDENT

Monsieur G. LEMÉE : Deuxième Thèse

Monsieur G. MILLOT : Rapporteur

Monsieur G. AUBERT : Membre Invité

TROISIÈME PARTIE

T R O I S I E M E P A R T I E

I N T E R P R E T A T I O N D E S P H E N O M E N E S D E C U I R A S S E M E N T

C H A P I T R E 9

P R E S E N T A T I O N D'U N E S S A I D' I N T E R P R E T A T I O N

I. CUIRASSEMENT ET MIGRATION DIFFERENTIELLE DES ELEMENTS

CONSTITUTIFS

L'étude morphologique, chimique et minéralogique des profils montre que l'individualisation d'un horizon cuirassé résulte de la concentration et de l'induration, à ce niveau, de différents oxydes ; hydroxydes et hydrates d'aluminium, de fer et parfois de manganèse. L'accumulation découle de deux processus déjà signalés :

- il y a exportation des produits les plus mobiles : c'est une accumulation relative ;
- il y a importation de sesquioxydes mobilisés : c'est une accumulation absolue.

La concentration des différents oxydes constitutifs des horizons cuirassés découle donc de leur vitesse différentielle de mobilisation et de migration.

Le manganèse, corps extrêmement mobile, en milieu tropical humide, est généralement exporté hors des profils. Le fer mobilisé, a une vie beaucoup plus brève, qui le fait se déposer avec facilité. L'aluminium se comporte surtout comme un corps résiduel. Il en résulte que l'accumulation de l'aluminium est principalement du type relatif, alors que celle du fer et du manganèse toujours du type absolu.

Les translations se font par l'intermédiaire des mouvements de l'eau dans les sols. L'étude du bilan hydrique des sols guinéens montre une percolation des solutions, dirigée de haut en bas, soit verticalement le long d'un profil, soit plus souvent encore latéralement ou obliquement à travers plusieurs sols (cf. chapitre 4). Il en résulte une redistribution des oxydes considérés tant à travers les profils, qu'entre les sols qui se succèdent le long d'une pente. Quand les phénomènes de lessivage prédominent (milieu bien drainé), il se produit un enrichissement des corps résiduels. Quand le drainage devient déficient on assiste à une accumulation de produits exotifs. Le milieu ferrallitique permet seul une accumulation relative d'alumine. Les accumulations de fer, du type absolu, ont une origine beaucoup plus large (ferrallitisation, ferruginisation, hydro-morphie, altération d'anciennes cuirasses).

Théoriquement un profil ferrallitique devrait montrer la succession d'horizons suivante : de haut en bas :

1. horizon alumineux
2. horizon argileux
3. horizon ferrugineux
4. horizon manganifère.

En pratique, dans le cas d'une accumulation relative qui exige un bon drainage, le fer et le manganèse se trouvent exportés presque totalement hors des profils (cas des gisements de bauxite). Lorsque le drainage est déficient, les phénomènes de kaolinisation l'emportent sur les processus d'individualisation de l'alumine. Le fer et le manganèse tendent à se concentrer sur place.

Mais ces profils se trouvent, la plupart du temps, compliqués d'apports obliques ou latéraux de produits exotifs, qui en GUINEE FRANCAISE sont représentés principalement par des oxydes de fer. Ces corps viennent se superposer sur les constituants texturaux du sol en place qu'ils cimentent. Ces phénomènes se produisent en n'importe quel horizon qui dépend de la circulation des solutions du sol. De plus, il résulte de ces apports la formation d'un niveau hydrostatique qui amène une redistribution de sesquioxydes lesquels tendent à se concentrer sous formes de concrétions ou

de squelettes plus ou moins continus suivant les conditions physico-chimiques du milieu de réception.

Ainsi, à la succession d'horizons à travers les profils, se superpose une succession de zones d'accumulation entre les sols d'un paysage donné, qui provoque l'extension des cuirasses dont la composition est fonction de l'intensité de la mobilisation des différents oxydes mis en jeu. Les reliefs les plus élevés sont lessivés et subissent un enrichissement relatif en produits résiduels (alumine, quartz) ; les surfaces mal drainées des niveaux inférieurs se trouvent enrichis de façon absolue en argile, fer et manganèse.

En résumé, deux éléments règlent la répartition des constituants des cuirasses dans l'espace :

1. Les facteurs de la mobilisation des sesquioxides ;
2. les mouvements de l'eau dans les sols.

II. FORMATION DE L'HORIZON CUIRASSE

La formation d'un horizon cuirassé dans un sol implique l'immobilisation à un niveau donné, d'une quantité suffisante de sesquioxides (fer et alumine) pour en provoquer l'induration. Ce résultat nécessite que les sesquioxides passent par une série de stades que l'on peut classer dans l'ordre suivant :

1. individualisation
2. mobilisation
3. migration
4. concentration
5. immobilisation
6. induration.

Cette succession d'opérations s'effectue soit à travers un même profil de sol (cuirassement en sols ferrallitiques, quelquefois en sols ferru-

gineux), soit plus souvent, à travers une chaîne de sols. Dans un cas comme dans l'autre ce sont les conditions du drainage qui règlent la marche des phénomènes.

A. - CUIRASSEMENT A TRAVERS LE PROFIL DE SOL -

Les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'un sol puisse se cuirasser sont :

- qu'il contienne suffisamment de sesquioxydes mobilisés
- qu'un de ses horizons possède la propriété d'immobiliser ces corps.

1. - Quantités de sesquioxydes mobilisés -

Les teneurs en sesquioxydes qui peuvent ~~peuvent~~ participer au cuirassement d'un horizon découlent des relations entre :

- la composition du matériau originel
- et
- le type d'altération.

Dans le cas de roches à minéraux alumino-silicatés, il est nécessaire de faire appel aux processus de ferrallitisation qui individualisent l'alumine. La présence de ce matériau est presque exclusive de ces phénomènes.

Le fer a une origine beaucoup plus large par suite de la facilité d'altération des minéraux ferrugineux. De plus, de nombreux sédiments et, particulièrement, les cuirasses fossiles contiennent en fortes proportions des oxydes de fer non combinés, facilement mobilisables.

Ces corps se trouvent plus ou moins entraînés, suivant leur degré de mobilisation, et les quantités d'eau qui percolent à travers les profils et vers les profils voisins. Ces mécanismes entraînent une sélection des produits accumulés.

2. - Propriétés d'immobilisation d'un horizon -

Ces propriétés découlent des facteurs qui régissent l'immobilisation

des sesquioxydes (cf. chapitre 11).

En bref, elles se trouvent liées :

- à l'évolution même du sol : horizon d'accumulation, engorgement temporaire, évolution de la matière organique, concentration en bases alcalines et alcalino-terreuses ;

- aux variations de textures et de structures qui influent l'oxydation ;

- à la position topographique qui règle l'intensité du drainage.

Le nombre de combinaisons entre ces différents facteurs conditionne la variété des profils cuirassés.

B. - EXTENSION DU CUIRASSEMENT DANS LE PAYSAGE -

L'extension du cuirassement dans un paysage donné dépend :

- des possibilités pour les sols de se cuirasser par eux-mêmes ;
- des possibilités d'enrichissement en sesquioxydes par apports latéraux ;

En sols ferrallitiques les processus de cuirassement découlent, principalement, du premier phénomène. Il en est en partie de même pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Mais le développement en étendue des horizons cuirassés résulte essentiellement des possibilités d'apports exotifs.

Les conditions théoriques et pratiques de la migration et de la concentration des sesquioxydes sont conditionnées par le modelé général du pays. On assiste à un équilibre entre le modelé normal et l'extension des phénomènes de cuirassement. Ces derniers restent liés aussi bien à l'échelle du profil qu'à celui du paysage à la présence d'une source d'hydroxydes d'un moyen de translation et d'un niveau de réception.

1. - sources de sesquioxydes -

L'origine des sesquioxydes est extrêmement variée : ils peuvent résulter de l'altération des roches, de l'évolution des sols, du démantèlement de cuirasses fossiles. Ce dernier facteur, en particulier, condi-

tionne l'exceptionnelle extension du cuirassement en GUINEE FRANCAISE.

2. - Migration des sesquioxydes -

Les translations résultent de l'association d'un agent de transport et d'un milieu favorable au maintien de la mobilité des sesquioxydes.

- agents de transport :

L'eau joue un rôle essentiel : eau de percolation, de lessivage oblique, de nappe phréatique. Elle permet la mise en solution des complexes de fer et d'alumine dans les conditions physico-chimiques du milieu sol ; la dispersion de l'argile et de certains hydrates ; le transport mécanique des constituants meubles.

La gravité est le second facteur du mouvement des sesquioxydes aussi bien par son action sur l'eau, que sur le colluvionnement.

Enfin la végétation contribue pour une part non négligeable à la restitution en surface, des produits prélevés par les racines.

- milieux favorables :

Ces milieux se trouvent conditionnés par les propriétés qui maintiennent les sesquioxydes sous une forme mobilisée. Ils résultent en particulier :

1. d'un excès d'humidité, qui favorise les phénomènes de réduction.
2. de l'action biologique des sols : peuplements végétaux et vie microbienne.
3. du drainage dont l'importance dépend de la texture, de la structure et de la pente motrice.

3. - Horizons de réception -

Ces niveaux se trouvent liés :

- à la proximité d'une source de sesquioxydes ;
- aux propriétés physico-chimiques et biologiques qui provoquent l'immobilisation. Ce sont principalement :

1/ l'oxydation du milieu :

L'oxydation est fonction de l'aération du sol. Elle dépend de l'assemblage des constituants du sol, donc de la texture, de la structure et des teneurs en eau.

- texture et structure :
.....

Toute variation vers l'augmentation des particules grossières favorise l'immobilisation. Ces processus sont particulièrement nets dans les alluvions hétérogènes. Les niveaux grossiers se trouvent cimentés en grès, conglomérats, pouddings à ciments ferrugineux. Un très bel exemple est fourni par la coupe des alluvions de la GAMBIE observée en bordure de la route KEDOUGOU SATADOUGOU.

Le dépôt de films ferrugineux à l'emplacement d'anciennes racines, le long des alvéoles et des canaux qui parcourent les horizons déjà cuirassés, découle du même phénomène.

- drainage :
.....

L'aération du sol peut provenir d'un départ accéléré de l'eau de percolation. Ce phénomène est habituel en bordure des axes de drainage naturel. D'une façon générale tout accident de terrain qui provoque un abaissement du niveau de base amène l'aération des sols, ce qui favorise l'immobilisation des sesquioxides. Ces processus président à la formation des "cuirasses de galerie". Pour reprendre l'exemple du cuirassement dans les alluvions de la HAUTE GAMBIE, on observe que l'accumulation s'impose en bordure de la rive du lit mineur sur une largeur qui n'excède pas 10 à 15 mètres. La répartition des cuirasses sur le plateau de LABE qui forment des alvéoles autour des ravins d'érosion découle du même phénomène.

L'augmentation du drainage en bordure des décrochements de relief permet d'expliquer l'énorme épaisseur des cuirasses fossiles qui dominent, en corniches de plus de 10 mètres de hauteur, les dépressions qui collectent les eaux de ruissellement. L'appel des eaux de percolation, l'aération du milieu provoquent une accumulation de sesquioxides exceptionnellement forte. Ces phénomènes déterminent la forme biseautée des cui-

rasses qui s'implantent actuellement en bordure des zones de drainage.

2/ Manque de matériau organique -

Le manque de matériau organique diminue considérablement l'activité microbienne, et, corrélativement les teneurs en CO_2 dans l'atmosphère du sol. Il en résulte une plus grande oxygénation, et, par suite, l'immobilisation des sesquioxydes se trouve facilitée. Les complexants organiques du fer et de l'alumine disparaissent en libérant les sesquioxydes qui se déposent.

La diminution des teneurs en matière organique est imputable à plusieurs processus de dégradation :

- diminution des apports organiques par la végétation :
remplacement de la forêt par la savane ;
débroussement ; mise en culture.
- accélération de la minéralisation de la matière organique :
augmentation du drainage ;
travail du sol - amendements.
- décapage des horizons humifères par l'érosion.

3/ Adsorption du fer sur les argiles -

En milieu saturé, la kaolinite adsorbe l'hydroxyde de fer avec formation d'une structure désordonnée où chaque hydroxyde engendre une nouvelle surface sur laquelle se fixe un nouvel hydroxyde (FRIPIAT, 1952). Ces phénomènes contribuent à la formation de pseudo-sables. Il en découle une amélioration du drainage, donc de l'aération, ce qui facilite l'immobilisation des sesquioxydes sur les microconcrétions déjà formées (concrétionnement par dégradation de la forêt).

4/ Dessiccation -

Qu'elle soit liée à une accélération du drainage à des processus d'évapotranspiration, ou plus simplement à des facteurs atmosphériques, la dessiccation des sols contribue pour une part importante au cuirassement des sols dans des conditions excessivement variées. Elle explique

la plus grande intensité de ces phénomènes sous bioclimat de savane que sous bioclimat forestier:

- sous savane : en saison des pluies il y a mobilisation et lessivage intense des sesquioxides ; en saison sèche, le manque d'eau provoque une immobilisation brutale avec cuirassement généralisé.

- sous forêt les conditions atmosphériques moins brutales, l'humidité constante, favorisent la mobilisation et l'exportation des sesquioxides. Le cuirassement est très réduit.

La concentration des racines des peuplements végétaux en des niveaux bien définis, y provoquent l'appel de sesquioxides, qui s'immobilisent partiellement avec l'abaissement des teneurs en eau sous l'effet de l'évapotranspiration. Le concrétionnement ferrugineux en sols de savane est une conséquence de ce phénomène. Il est particulièrement intense sous savane herbeuse (Plaine du DIANI - GUINEE FORESTIERE).

5/ Milieu déjà cuirassé -

Les milieux déjà cuirassés présentent des conditions extrêmement favorables à l'immobilisation des sesquioxides : aération, manque de matériau organique, surfaces actives d'hydroxydes, etc.. Il en résulte que la présence d'un horizon cuirassé constitue un danger non seulement par sa nature propre, mais encore par l'orientation qu'il donne au dynamisme des sesquioxides du sol. Il amorce une réaction en chaîne.

La superposition des phénomènes de cuirassement actuels sur d'anciennes cuirasses est l'un des aspects de ces processus qui contribue à la complexité et l'hétérogénéité des formations indurées.

C. - RELATIONS ENTRE LA MORPHOLOGIE DES HORIZONS CUIRASSES ET LE MILIEU DE FORMATION -

1. Rôle des sesquioxides immobilisés -

Les sesquioxides immobilisés dans un matériau textural préexistant jouent trois rôles :

- ils cimentent les particules texturales ;
- ils imprègnent les formations en place ;
- ils se concrétionnent.

a - Cimentation :

La cimentation se produit en règle générale, dans des éléments grossiers. On l'observe rarement quand les particules texturales du sol ont un diamètre moyen inférieur à 0,2 mm. Les granules texturaux sont, ou des éléments primaires tels que les sables, les graviers, les cailloux ; ou des éléments secondaires comme des concrétions, des gravillons, des blocs de cuirasses. Il peut arriver qu'un sol primitivement constitué de particules fines puisse se cimenter à la suite du concrétionnement d'un de ses horizons. C'est le cas particulier des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions qui se cuirassent en bordure des plateaux (Est SENEGAL).

b - Imprégnation :

Ce processus se produit dans un matériau de texture moyenne à assez fine (sables fins, limons, sables argileux, argiles sableuses). Les formes d'imprégnation sont plus ou moins diffuses et suivent les voies de moindre résistance. Elles indiquent souvent de faibles variations texturales invisibles à l'œil. L'analyse mécanique montre que le squelette, formé de produits imprégnés, est constitué de particules plus grossières que les matériaux meubles voisins. Parfois l'imprégnation se complète d'une épigénie partielle de certains minéraux. Les ciments siliceux des grès du FOUTA DJALLON se trouvent ainsi souvent remplacés par des hydroxydes de fer. Des phénomènes du même ordre s'observent sur schistes (TELIMELE). Ces processus se traduisent de façon caractéristique, par une dissolution assez forte de la silice et un ébranlement mécanique de la masse. Le squelette ferrugineux est seul conservé. Il se forme une roche ferrugineuse, plus ou moins carverneuse, où se devine le litage originel.

c - Concrétionnement :

Le concrétionnement se produit par précipitation, concentration ou dépôts de films de sesquioxides autour de noyaux constitués de corps exc-

sivement variés. Les concrétions tiennent de l'imprégnation et de la cimentation, mais le phénomène est beaucoup plus concentré, d'où il résulte que les produits formés restent individualisés les uns par rapport aux autres. Parfois la cimentation secondaire de ces concrétions provoque la formation d'une cuirasse.

Le concrétionnement peut également se réaliser par ségrégation des sesquioxides dans un horizon à tendance hydromorphe, riche en ces produits.

On peut signaler enfin, pour mémoire, les liaisons entre argiles et hydroxydes de fer dans la formation des pseudo-sables.

Ces trois types de cuirassement correspondent surtout à des formes d'accumulation absolue qui se trouvent liées aux mouvements du fer. L'alumine y contribue parfois dans certains cas particuliers (cuirasses à oolithes alumineuses de KINDIA).

Il reste à signaler le cas où les cuirasses sont constituées de matériaux peu mobiles. Elles sont ordinairement fortement alumineuses et l'on y retrouve fréquemment la trace des minéraux préexistants (cuirasse relative). Un excellent exemple de ce type est fourni par les horizons à faciès "pain d'épice" plus ou moins imprégnés de sesquioxides de fer que l'on observe sur les plus hauts bœvé (DALABA). Souvent des phénomènes de tassements et de dissolutions secondaires ont partiellement effacé les traces du matériau originel. Dominant les TIMBI, les cuirasses qui reposent sur les grès montrent encore nettement la structure des schistes qui leur ont donné naissance.

2. Facteurs de la morphologie des horizons cuirassés -

La morphologie des horizons cuirassés dépend :

- du mode de formation ;
- des propriétés physico-chimiques du milieu de formation ;
- de la quantité de sesquioxides accumulés ;

a - Mode de formation :

- Accumulation relative :

.....
La forme la plus courante de l'accumulation relative est la

structure scorinaée. Le squelette est fortement bauxitique, de couleur claire (blanc à rosé) et les cavités sont partiellement remplies de linon rouge avec imprégnations ferrugineuses secondaires. L'aspect morphologique est très semblable, à la couleur près, à celui d'une neulière.

On observe fréquemment une épigénie du matériau primitif dont la structure est partiellement conservée. Le départ des produits les plus solubles qui précise l'origine relative de ces cuirasses, est confirmé par des phénomènes de tassement, de cisaillement et de pseudo-colluvionnement que l'on constate dans la masse. Les bauxites formées à partir de schistes sériciteux montrent souvent le jeu des phyllites à la suite de mouvements de masse (FRIGUIAGBE).

- Accumulation absolue ;
.....

La morphologie des cuirasses absolues dépend essentiellement des propriétés physico-chimiques du milieu de formation.

Ces cuirasses sont ferrugineuses parfois manganifères.

En pratique les distinctions entre cuirasses absolues et cuirasses relatives ne sont pas aussi tranchées. En milieu ferrallitique les constituants alumineux du sol sont fréquemment enrichis secondairement par des apports obliques de sesquioxides de fer. Le modelé de colline des régions forestières où se situe de façon préférentielle la ferrallitisation, favorise ces phénomènes.

b - Propriétés physico-chimiques -

- Degré de saturation en bases alcalines et alcalino-terreuses
.....

En sols acides à complexe absorbant désaturé, les formes observées sont surtout diffuses et d'imprégnation. Il peut se réaliser les types suivants :

- cimentation plus ou moins complète d'un matériau meuble ;
- imprégnations avec formation de cuirasses de type alvéolaire ("cuirasses de nappe") ;
- cuirasses feuilletées dans le cas d'apports importants de sesquioxides de fer par lessivage oblique.

En sols mieux saturés, et surtout riches en cations alcalino-terreux, les oxydes de fer et de manganèse ont tendance à se grouper en concrétions (CASTAGNOL, 1940). Les cuirasses pisolithiques et nodulaires appartiennent à ce groupe. Parfois les dépôts d'oxydes se produisent autour d'un noyau de roche en voie d'altération, qui crée dans son voisinage immédiat une concentration suffisante en alcalino-terreux pour provoquer la précipitation. Ces processus peuvent être observés dans les sols/micaschistes en GUINEE FORESTIERE (route BOOLA-UZEREKORE).

- Texture :
.....

En milieu argileux et colmaté prédominent les formes arrondies. En milieu meuble, à tendance sableuse, ou graveleuse, se réalisent les formes d'imprégnation diffuses. En milieu à texture moyenne (sablo-argileuse à argilo-sableuse) se forment des cuirasses plus ou moins alvéolaires.

c - Quantités d'hydroxydes accumulés -

La plus ou moins grande netteté des formes rencontrées dépend de la quantité d'hydroxydes accumulés, et de la plus ou moins grande vitesse d'évolution des phénomènes d'immobilisation. Un milieu riche en hydroxydes est souvent corrélatif d'un milieu partiellement saturé. Il tend à donner des formes arrondies. Un milieu pauvre en sesquioxydes donne plutôt des formes d'imprégnation. De même, plus le phénomène d'immobilisation est brutal, plus les formes sont concentrées (cuiassement dans les plaines alluviales de HAUTE GUINEE).

En résumé, à travers les différents faciès cuirassés observés, il est possible de tirer certaines conclusions pédogénétiques.

III. INFLUENCE DES FACTEURS DU MILIEU SUR LE CUIRASSEMENT

DES SOLS

A. - FACTEURS DU MILIEU ET EVOLUTION DU CUIRASSEMENT

1. Climat -

En GUINEE FRANCAISE, les régions à climat soudano-guinéen présentent les conditions optima pour la mise en mouvement, l'accumulation et l'induration des sesquioxydes de fer. C'est en région de savane que s'observent les phénomènes de cuirassement les plus importants en intensité et en étendue.

- sous forêt hygrophile, l'humidité du sol est ordinairement trop forte pour amener le cuirassement. La formation continue de complexants organiques, le drainage permanent, provoquent le lessivage des hydroxydes. Les phénomènes de dissolution prédominent. L'altération des roches en milieu constamment humide se caractérise par une kaolinisation intense qui permet l'adsorption des hydroxydes libérés non exportés.

- avec la disparition de la forêt se produit une modification importante du bioclimat. La formation des complexants organiques suit le rythme des saisons. Les processus de kaolinisation ralentissent avec la dessiccation du milieu, alors que l'individualisation du fer reste toujours importante. Il en résulte un concrétionnement et un cuirassement généralisé des sols.

- en régions sèches, le manque d'humidité ralentit la libération des différents oxydes et le développement de la végétation. Les phénomènes de cuirassement sont peu intenses.

2. Topographie -

Toutes les causes qui entravent le drainage, favorisent l'accumulation des sesquioxydes et par suite le cuirassement.

La topographie plane, qui limite l'écoulement des eaux, crée un facteur excessivement favorable. L'influence de cette forme de modelé est d'autant plus accusée que les précipitations sont plus faibles. Ces dernières doivent être cependant suffisantes pour permettre la mise en solution des hydroxydes. L'optimum se situe sous climat soudano-guinéen.

Les niveaux de base qui limitent la circulation des eaux favorisent

l'accumulation des solutions du sol. Ce rôle se trouve généralement rempli par les cours d'eau. Les nappes phréatiques reliées à ces derniers ralentissent le drainage en période de crues. On assiste à une diffusion des hydroxydes à travers les sols imprégnés avec cuirassement des matériaux préexistants. (Plaines alluviales de HAUTE GUINEE).

Le rôle du niveau de base peut être rempli par un seuil quelconque, généralement rocheux (MAINGIEN, 1953).

La présence d'une roche plus ou moins imperméable en profondeur limite le drainage et provoque une accumulation au-dessus d'elle (grès et schistes subhorizontaux du FOUTA DJALLON).

Le lessivage du sol qui amène la formation d'un horizon argileux profond, crée également des conditions favorables au concrétionnement et au cuirassement (sols ferrugineux tropicaux lessivés).

3. Végétation -

Ce facteur influe le cuirassement par son rôle sur le pédoclimat et l'activité biologique des sols.

Sous climat tropical, les plantes herbacées se montrent plus actives dans la mobilisation des oxydes et hydroxydes que les peuplements forestiers. Sous forêt, la quantité de fer mobile se limite aux couches superficielles: le fer provient surtout de la décomposition des débris végétaux - sous peuplement graminéens la quantité de fer mobilisé reste importante jusqu'à 40-50 cm. La mobilisation du fer est en relation avec l'activité radiculaire (D'HOORE, 1954). A cet égard, les différentes graminées n'agissent pas toutes avec la même intensité.

Il s'établit ainsi des relations entre les peuplements végétaux et le cuirassement des sols qui les supporte. Sous forêt hygrophile les phénomènes de cuirassement sont rares. Le concrétionnement apparaît déjà fortement sous forêt secondarisée. Sous végétation de savane le cuirassement devient prépondérant.

Inversement la présence de niveaux indurés à plus ou moins grande profondeur dans les sols influe la répartition de la végétation. Il se produit

une sélection des plantes au profit des espèces rustiques pyrophiles qui peuvent supporter des conditions d'aridité comme d'extrême humidité (Cyperacées, Loudetia, rundinacea) CHEVALIER (1949), SCHNELL (1949)). Sous climat soudano-guinéen, les peuplements de bambous (Oxythenanthera abyssinica) sont fréquemment liés à la présence d'une cuirasse ferrugineuse à moins d'un mètre de profondeur. La dominance d'Hymenocardia acida, de Syzygium guineense est presque toujours en relation avec les milieux cuirassés. Plus que la présence ou l'absence d'espèces spécifiques, le cuirassement influe la multiplication de tels ou tels peuplements et surtout influe leur aspect physionomique (répartition en bosquets, tassement de la strate arborée).

4. Matériau original -

Les relations entre roches fraîches sous-jacentes et horizons indurés sont peu nettes et prêtent à confusion,

En GUINEE FRANCAISE, les cuirasses bauxitiques s'observent aussi bien sous grès phylliteux, schistes à séricite que sur dolérites et syénites néphéliniques. Les cuirasses ferrugineuses se développent sur n'importe quelle formation édaphique.

Plus que la composition globale des cuirasses, ce sont les éléments résiduels (minéraux, débris de roches plus ou moins altérés et en place) qui fournissent les meilleurs critères d'interprétation. Le problème doit souvent être limité à l'étude des relations entre roches fraîches et possibilités d'individualisation d'hydroxydes. En fait toute présence en altitude de formations riches en sesquioxides (roches en voie d'altération cuirasses fossiles, sols ferrallitiques ou ferrugineux) offrent, avec une forte probabilité, la possibilité de processus de cuirassement aux niveaux inférieurs.

L'interréaction des différents facteurs étudiés oriente le développement du cuirassement dans une région donnée. Dans les sols, les horizons cuirassés suivent le profil des niveaux hydrostatiques.

En résumé la formation d'horizons indurés s'amorce dans les sols situés dans les conditions suivantes :

- en zones à végétation dégradée ; à la limite de la forêt hygrophile et de la savane ; sur les hautes terrasses des fleuves africains.
- en bordure des zones de drainage naturelles (piémonts) éboulis, décrochement de pente, rives, etc..), des ravins d'érosion.
- à proximité de reliefs fortement cuirassés.

L'étude du cuirassement dans une région donnée impose donc la prospection des - zones hautes pouvant être la source de sesquioxides

- des accidents topographiques qui orientent la marche du lessivage des sols ;
- des dépressions et modelés subhorizontaux où les différents oxydes peuvent s'accumuler et s'indurer.

B. - FACTEURS DU MILIEU ET COMPOSITION DES CUIRASSES -

1. Climat -

Le climat influe sur la composition des cuirasses par son action sur l'altération des roches. Sous climat de type soudanien, les cuirasses actuellement formées sont essentiellement ferrugineuses. En milieu d'altération ferrallitique, les cuirasses contiennent toujours des quantités notables d'alumine individualisée.

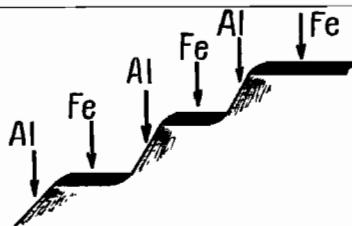
2. Topographie -

C'est là un des facteurs qui influent le plus profondément sur le cuirassement actuel. La topographie oriente les mouvements des hydroxydes dans le paysage. Ces mouvements jouent surtout sur le fer. L'alumine est faiblement mobilisée. Elle reste le plus souvent sur place.

Les cuirasses liées aux mouvements obliques dans les sols sont essentiellement ferrugineuses, riches en matériaux texturaux préexistants, parfois alumineux, et en produits clastiques (quartz surtout).

Les cuirasses situées aux côtes les plus élevées contiennent des pourcentages élevés de produits peu mobilisables (alumine) ; les cuirasses inférieures sont toujours enrichies en fer. D'une façon générale, tous

les niveaux cuirassés à forte circulation d'eau sont appauvris en fer et manganèse. Dans le gisement de bauxite du DOUNIA(KINDIA), les pentes fortement lessivées sont pauvres en fer, contrairement aux replats qui se trouvent bovalisés.



3. Végétation -

La végétation influe sur la composition des cuirasses par son action sur la mobilisation des hydroxydes.

Elle libère certains produits organiques mal connus qui ont une action dissolvante sélective vis-à-vis de ceux-ci (BLOOMFIELD, 1955). L'action de la microflore sur les débris organiques amène la formation de complexants et d'un milieu favorable à la migration des différents oxydes principalement de fer (BETREMIEUX, 1951). Elle maintient certaines conditions d'humidité qui influent le dynamisme des sols (ferrallitisation, ferruginisation, kaolinisation). Il en résulte que les peuplements forestiers favorisent la formation de cuirasses alumineuses et argileuses, et, les peuplements graminéens, la formation de cuirasses ferrugineuses.

4. Matériau original -

L'influence de la roche sous-jacente sur la composition des cuirasses apparaît particulièrement dans le cas de sols autochtones : par exemple, en milieu ferrallitique, la présence d'alumine dans une cuirasse formée à partir de minéraux alumino-silicatés. Mais la nature de la roche n'influe pas la répartition des constituants à travers les profils. C'est l'évolution pédogénétique du sol qui agit. En particulier les conditions du drainage et la durée des processus modifient considérablement les relations

entre la composition du matériau originel et celle des horizons cuirassés en dérivant.

a - drainage :

Le drainage influe le dynamisme des sols à horizon cuirassé. Il règle le type d'altération des roches et influe les variations du potentiel d'oxydo-réduction. Par suite l'individualisation et la mobilisation des sesquioxides se trouvent liées aux conditions d'humidité du sol.

En milieu ferrallitique bien drainé on assiste à une forte individualisation de l'alumine et du fer, ce dernier corps étant partiellement exporté hors du profil.

En milieu ferrallitique mal drainé ce sont les phénomènes de kaolinisation qui prédominent.

En sols ferrugineux les variations des conditions de réduction et d'oxydation favorisent la mobilisation et l'immobilisation successives du fer qui tend à se concentrer en cuirasse.

b - âge :

Parmi les facteurs qui modifient les relations entre la composition du matériau originel et celle des cuirasses, la durée d'évolution est un des plus importants. La vitesse d'évolution est fonction de différents facteurs (climat et drainage en particulier) (RIQUIER, 1956). Elle est liée aux possibilités d'altération, à la solubilité relative des différents matériaux constitutifs, à leur lessivage. Avec l'âge, on assiste à une concentration sur place de plus en plus poussée des produits résiduels. C'est ainsi que les cuirasses formées sur les plus anciennes surfaces d'érosion sont généralement plus alumineuses que celles formées sur modelé plus récent. Pour une formation considérée les faciès ferrugineux sont toujours plus récents que les faciès alumineux.

IV. SUR LE PROFIL A HORIZON

CUIRASSE

L'importance des apports exotifs dans la constitution des horizons cuirassés permet de mieux comprendre les discussions qui ont porté et portent encore sur "le profil latéritique".

Deux positions s'affrontent :

1. la plus ancienne considère les niveaux cuirassés comme des horizons de surface, formés par remontées de sesquioxides provenant de l'altération d'une roche sous-jacente, par l'intermédiaire d'une zone de transition.

2. la plus récente interprète les cuirasses comme des horizons illuviaux. Les sesquioxides lessivés des horizons supérieurs viennent s'accumuler en profondeur, au contact d'un niveau hydrostatique. Il n'y a pas obligatoirement un horizon de passage sous-jacent.

Ces interprétations ne font en aucun cas appel à des apports extérieurs aux profils.

Si l'on se rapporte aux faits d'observation, on constate que les types de profils sur lesquels porte la discussion sont aussi fréquents l'un que l'autre, et qu'il est également possible d'observer de nombreux termes de passage entre ces deux extrêmes. Les positions prises résultent d'extrapolation trop poussée à partir de quelques faits pédologiques

Plusieurs données viennent infirmer une définition trop stricte du profil à horizon cuirassé :

- les cuirasses affleurantes font partie d'un profil tronqué ;
- les phénomènes de cuirassement ne découlent pas uniquement des processus de latéritisation (ferrallitisation) ;
- ils se trouvent fréquemment compliqués d'apports exotifs.

Le profil latéritique "sensu stricto", d'après la définition anglo-saxonne peut être représenté par la succession d'horizons suivante , de bas en haut : (HARRASSOWITZ, 1930)

- roche fraîche
- zone d'altération ("lithomarge")
- horizon argileux bariolé plus ou moins oxydé
- horizon cuirassé.

Pendant fort longtemps ce profil a été considéré comme "le profil type" ce qui a amené les chercheurs à étudier les relations entre cuirasses et roches fraîches sous-jacentes, et à interpréter les faits dans l'optique de la première hypothèse. Les études portaient essentiellement sur les affleurements naturels, sur les coupes de carrières et de tranchées. Or il se trouve que ces profils se situent surtout en régions accidentées qui correspondent pour la plupart, à un bioclimat forestier, où les phénomènes de ferrallitisation sont dominants. Les conclusions valables en partie pour de tels milieux ont été élargies systématiquement à toutes les formations indurées.

Les régions à topographie subhorizontale, bien que fortement cuirassées, ont été beaucoup moins étudiées, par suite du manque de coupes naturelles et du peu de voies de pénétration. Le climat beaucoup plus sec semblait y abolir tout processus de ferrallitisation. On a donc été amené à imaginer deux phases, une phase forestière humide pour l'altération des roches, et une phase plus sèche de savane pour l'induration, hypothèse qui implique obligatoirement la présence d'un horizon de transition entre la cuirasse et la roche-mère. Or beaucoup de cuirasses observées en régions soudanaises manquent d'horizons de passage. La structure étant le plus souvent pisolithique, ces cuirasses ont été pour la plupart qualifiées d'alluviales.

L'application des techniques pédologiques, permet de préciser la genèse de ces formations, en particulier en étudiant le concrétionnement en sols ferrugineux tropicaux lessivés. Elles montrent :

1. que les cuirasses sont mises à l'affleurement par décapage des horizons meubles superficiels.

2. que les cuirasses ne dérivent pas obligatoirement de l'évolution du matériau sous-jacent.

Ce dernier problème revient à discuter de la notion de "roche-mère". Très récemment encore, on considérait la roche fraîche non altérée, sous-jacente, comme le matériau donnant directement naissance au sol. Il a été démontré depuis que ce dernier se développe sur des produits fortement évolués et remaniés de l'altération des roches en place. On a donc substitué la notion de "matériau originel" à celle de "roche-mère". Cette notion

est particulièrement fructueuse en régions tropicales humides où les zones d'altération atteignent des épaisseurs considérables. La dissolution des minéraux facilement altérables provoque des tassements et des cisaillements dans toute la masse, qui, accusés par des apports latéraux, créent un caractère de discontinuité par rapport à la roche fraîche. En sols ferrallitiques, fortement altérés, le passage paraît généralement continu. En sols ferrugineux tropicaux beaucoup moins épais les horizons meubles superficiels semblent le plus souvent surajoutés sur du matériau plus ou moins induré. Mais même en sols ferrallitiques, les relations entre horizons ne sont pas toujours aussi nettes que semble le montrer la morphologie des profils (VAN BAREN, 1954). Le faciès "pierre ponce", niveau d'altération des dunites du KALOUM se trouve déjà enrichi de 60 % de fer drainant des parties supérieures du sol (MILLOT G. et BONIFAS, 1955).

L'individualisation des horizons cuirassés découle du dynamisme des sesquioxydes propres à chaque type de sol. Ils doivent leur origine aux produits d'altération. Mais ceux-ci ne sont pas forcément sous-jacents. C'est par l'étude du cuirassement à travers les sols que l'on peut trouver des relations de causes à effets entre cuirasses et matériau originel. La migration des sesquioxydes par mouvements verticaux et obliques provoque le cuirassement aussi bien en sols autochtones que dans des matériaux allochtones. Dans le cas particulier où les constituants des sols sont peu altérables (galets, sables quartziteux) on n'observe aucun horizon de passage entre la cuirasse et l'horizon immédiatement inférieur. Ce fait est particulièrement net sur les grès siliceux (FOUTA-DJALLON - SOUDAN) où la cuirasse semble posée directement sur ces formations. Il est impropre de dénommer ces cuirasses "alluviales" puisque l'immobilisation des sesquioxydes et l'induration se produisent en place. Seul le matériau peut être parfois allochtone (cuirassement dans des alluvions, des éluvions ou des colluvions).

Inversement la présence d'un horizon de transition sous la cuirasse n'implique pas obligatoirement une origine autochtone. Certains sols allochtones composés de produits encore altérables peuvent posséder un horizon cuirassé par apports exotifs sous lequel un horizon d'altération crée une

continuité apparente du profil (alluvions sur schistes birrimiens).

D'une façon générale, en GUINEE FRANCAISE, la plupart des sols sont fortement remaniés dans leurs horizons superficiels. Les phénomènes d'érosion hydrique, de tassements, d'effondrements, les mouvements de masse, la reprise des matériaux meubles par les micro et macroorganismes (termites, vers de terre), l'action des racines, contribuent à un brassage des horizons du sol qui leur confère un aspect colluvionné.

Il apparaît donc impossible de définir "le type de sol à horizon cuirassé". La mise en place des sesquioxydes s'effectue en n'importe quel horizon, dans n'importe quel matériau qui sont fonction du type de sol. Dans ce sens la présence d'un horizon cuirassé ne peut servir de critère de classification à un échelon élevé.

V. ESSAI DE CLASSIFICATION DES SOLS A HORIZONS CUIRASSES

La classification proposée est d'optique pédologique. Elle s'appuie sur les caractéristiques génétiques et les données morphologiques du sol en place.

Le premier critère retenu est la caractérisation du sol en place au niveau le plus élevé (sous-ordre, grand groupe) suivant la classification française appliquée aux sols tropicaux (AUBERT G. 1954).

1. Sols Ferrallitiques
2. Sols Ferrugineux tropicaux
3. Sols Subarides
4. Sols Hydromorphes
5. Sols Alluviaux
6. Sols Colluviaux.

Le second critère s'appuie sur l'origine des sesquioxydes ;

1. sesquioxydes libérés sur place par évolution même du sol
2. sesquioxydes exotifs en pseudo-solution

3. sesquioxydes accumulés sous une forme déjà indurée.

Le troisième critère tient compte du processus d'accumulation ;

1. accumulation relative
2. accumulation absolue.

Le quatrième critère considère les différents facteurs qui règlent l'intensité des processus d'accumulation :

- le drainage et les caractéristiques des migrations
 - percolation
 - lessivage oblique
 - actions de nappe.
- les propriétés physico-chimiques et biologiques du milieu d'accumulation ;
- la composition du matériau originel.

Ces différents critères ne sont pas tous indépendants les uns des autres. Ils se trouvent plus ou moins étroitement liés, ce qui limite le nombre de types considérés.

L'application de ces données amène à dresser le tableau suivant :

1. - SOLS FERRALLITIQUES -

1.1. Horizon cuirassé constitué de sesquioxydes individualisés dans le profil.

1.1.1. Accumulation relative

- milieu bien drainé
 1. Cuirasse généralement riche en alumine ; structure scoriacée dominante ; horizon proche de la surface du sol, induration moyenne.
- milieu à drainage déficient
 2. Cuirasse alumino-ferrugineuse très argileuse ; structure pisolithique à finement alvéolaire généralement aplatie, horizon proche de la surface du sol. Induration faible. Argile bariolée.

1.1.2. Accumulation absolue

- milieu bien drainé

3. adsorption du fer sur la kaolinite, pseudo-sable

- milieu mal drainé

4. cuirasse alumino plus ou moins ferrugineuse et argileuse; structure alvéolaire à nodulaire - la position dépend du niveau hydrostatique - induration forte.

1.2. Cuirasses formées de sesquioxydes exotifs en pseudo-solution

1.2.2. Accumulation absolue

- milieu bien drainé

5. cuirasse alumino-ferrugineuse, dépôts de films ferrugineux sur le squelette primitif, nombreux éléments clastiques ; parfois affleurante ; induration forte.

- milieu mal drainé

6. lessivage, blanchiment, cuirasses pisolithiques alumineuses, assez rares sur les plateaux.

2. - SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX -

2.1. Horizon cuirassé constitué de sesquioxydes libérés sur place.

2.1.2. Accumulation absolue

- milieu bien drainé

7. Sols ferrugineux très lessivés à cuirasse au niveau d'une nappe phréatique profonde. Cuirasse alvéolaire, essentiellement ferrugineuse ; induration forte.

- milieu à drainage déficient

8. sols ferrugineux lessivés à concrétions et cuirasses ferrugineuses, structure pisolithique, profondeur vers 150 cm

2.2. Horizon cuirassé formé de sesquioxydes exotifs

2.2.2. Accumulation absolue

- lessivage oblique

9. Cuirasse de "bas de pente", ferrugineuse, nombreux éléments clastiques ; structure feuilletée, souvent affleurante, induration très forte.

- action d'un niveau hydrostatique

10. Cuirasse de plateaux, ferrugineuse ; structure pisolithique à feuilletée, profondeur faible, induration forte (proche de la précédente).

3. - SOLS SUBARIDES -

3.2. Apports ferrugineux et (ou) manganifères exotifs

3.2.2. Accumulation absolue

- Lessivage oblique

11. cuirasse rare, essentiellement ferrugineuse, parfois manganifère ; structure pisolithique à nodulaire - niveaux liés aux actions d'hydromorphie.

4. - SOLS HYDROMORPHES -

4.1. Horizon cuirassé constitué de sesquioxydes individualisés sur place.

4.1.2. Accumulation absolue

- milieu mal drainé - engorgement

12. cuirasses ferrugineuses, structure nodulaire, ou alvéolaire ; l'intensité du cuirassement dépend de la composition du matériau originel et du battement de la nappe phréatique.

4.2. Horizon cuirassé constitué par apports exotifs en solutions

4.2.2. Accumulation absolue

13. "Cuirasses de nappe" essentiellement ferrugineuses, avec nombreux éléments clastiques - la profondeur est fonction des niveaux d'hydromorphie - induration de moyenne à forte.

La structure dépend des propriétés physico-chimiques des horizons de réception

texture fine	structure pisolithique
texture moyenne	structure alvéolaire
texture grossière	cimentation en grès, conglomérats, brèches.

5. - SOLS ALLUVIAUX -

5.3.2. Sesquioxides accumulés sous forme solide.

14. Gravillons, cuirasses gravillonnaires.

6. - SOLS COLLUVIAUX -

6.3.2. Sesquioxides accumulés sous forme solide

15. cuirasses colluviales cimentées lorsque la pente devient inférieure à 8 %.

En résumé seuls les sols ferrallitiques peuvent donner des cuirasses relatives qui sont pour la plupart fortement alumineuses.

Toutes les autres sont ou ferrugineuses, ou parfois, manganifères. Quelques cas de cuirasses alumineuses pisolithiques, donc absolues, ont pu être observées en GUINEE FRANCAISE (KINDIA, TIMBI, TOUGUE).

L'interprétation des sols à horizons cuirassés amène donc à étudier les phénomènes de cuirassement à travers le paysage.

C H A P I T R E 10

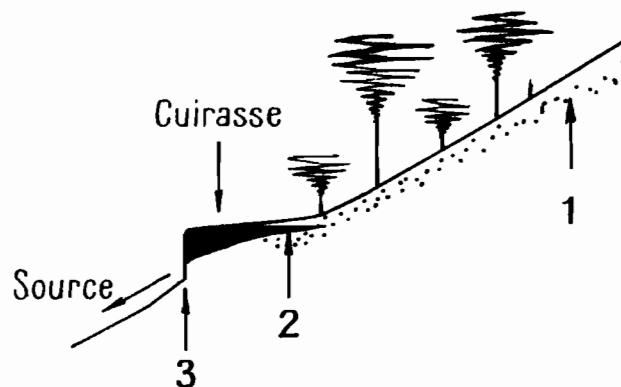
APPLICATIONS : LES CHAINES DE SOLS CUIRASSES

I. DESCRIPTIONS DES PROFILS CUIRASSÉS A TRAVERS LES CHAINES DE SOLS

I.a - MILIEU FERRALLITIQUE

A. - Région de N'ZEREKORE, route de MACENTA, km 4 -

La chaîne de sols étudiée se développe le long du profil en travers d'une colline. La pente varie de 15 et 20 %, et se termine par un léger replat. La végétation est une forêt hygrophile secondarisée à sous-bois arbustif dense.



- Profil n° 1 -

- 0 - 18 cm horizon gris brun ; bien humifère ; texture argilo-graveleuse ; nombreux gravillons alumino-ferrugineux brun-rouge, bien indurés ; débris de quartz.
- 18 - 55 cm horizon ocre-rouge ; texture argilo-sableuse, structure à tendance nuciforme peu développée, tâches rouges assez diffuses, légèrement indurées.

- Profil n° 2 cf. profil I. E -

- Profil n° 3 -

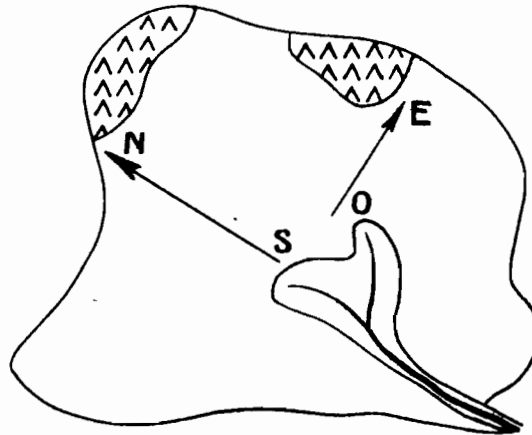
- 0 - 10 cm horizon gris brun, fortement érodé, avec nombreux gravillons ferrugineux et débris de quartz ; texture graveleuse.
- 10 - 205 cm horizon cuirassé, moyennement induré, de couleur rouille à brun-rouge ; structure alvéolaire assez compacte vers le haut de l'horizon, devient plus lâche avec la profondeur, où un aplatissement général lui confère un faciès feuilleté ; nombreux débris de quartz dans le squelette ; pâte argilo-sableuse ocre-rouille dans les alvéoles.
- 205 - 220 cm nombreux gros nodules ferrugineux de couleur rouge à rouille ; faiblement durcis, contenant beaucoup de quartz ; dans une arène argilo-sableuse très blanchie, traînées ferrugineuses rouilles formant un vague squelette ; les matériaux meubles sont déblayés amenant l'horizon cuirassé en porte à faux.
- 220 cm suintent de source.

La distance totale entre les 3 profils est d'environ 200 mètres.

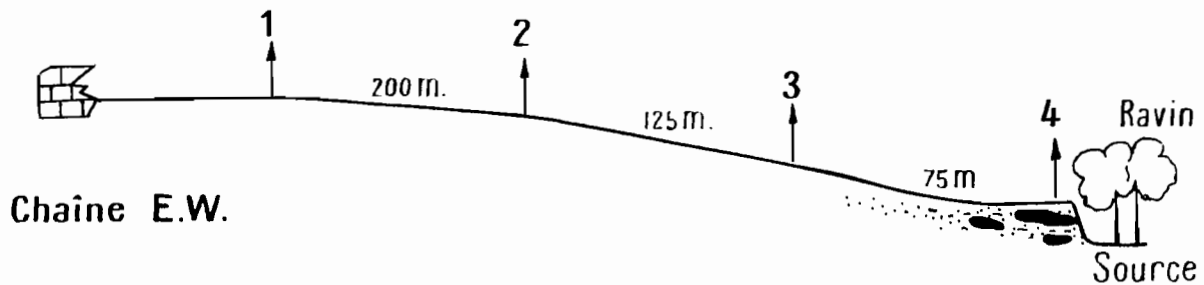
B. - FELLO-BANTAN - Hauts Plateaux du FOUTA-DJALLON -

Le territoire étudié forme une cuvette à pentes peu marquées. En son centre, plusieurs ravines d'érosion convergent pour amorcer le réseau hydrographique. La végétation est essentiellement herbacée. Les deux chaînes

de sols décrites suivent des directions perpendiculaires E-O et N-S qui
représentent des lignes de plus grande pente.



- chaîne Est-Ouest -



- Profil n° 1 observé près du sommet de la colline, proche des affleu-
rements de grès. Végétation herbacée très rase, pente inférieure à 1 %.
Légère érosion en nappe en surface.

- 0 - 3 cm horizon de couleur beige faiblement grisâtre, décapté par une érosion hydrique en nappe, texture limoneuse finement sableuse, structure nettement feuilletée.
- 3 - 35 cm horizon de couleur identique, limono faiblement argileux, structure nuciforme fine, friable, cohésion faible, moyennement structuré, quelques pores tubulaires, moyennement poreux, racines de graminées assez nombreuses, quelques petits gravillons de ϕ 1 cm rares.
- 35 - 57 cm horizon de couleur beige ocre, avec quelques petites taches ocre-rouille dont le diamètre n'excède pas 1 mm, très faiblement durci, structure nettement nuciforme, bien structuré, cohésion moyenne, édifice assez meuble, pores non tubulaires, pseudo-sables.
- 57 - 72 cm couleur un peu plus ocre, mais toujours dans les beiges, plus argileux, quelques taches rouilles légèrement durcies, un peu plus grosses que ci-dessus. Structure nuciforme à tendance polyédrique, cohésion moyenne, nombreux pores, tubulaires ou non.
- 72 - 77 cm carapace faiblement durcie formée de concrétions ocre-rouille, ne se coupant pas à l'ongle, mais s'attaquant facilement au marteau.
- au-dessous grès légèrement imprégné de fer.
ces grès sont partiellement digérés en surface. La carapace se formant au contact d'un niveau imperméable créé par le grès.

- Profil n° 2 à 200 m en contre-bas du premier, sous une jachère de 2 à 3 ans où dominent de grandes Andropogonées.

- 0 - 1 cm feutrage de mousse. A₀
- 1 - 17 cm horizon de couleur beige grisâtre, texture limono-sableuse, structure grumeleuse à particulaire, horizon légèrement colmaté en surface, un peu durci, cohésion faible, structure faiblement développée, nombreuses racines.

- 17 - 55 cm horizon de couleur beige tendant vers le brun, texture lino-
no-sableuse, structure à tendance grumeleuse, faiblement
nuciforme, peu développée, cohésion faible, quelques taches
et marbrures de couleur plus sombre indiquant une hydromor-
phie partielle.
- 55 - 85 cm horizon de couleur beige clair, texture linono-argileuse,
structure nuciforme, un peu anguleuse, assez bien structuré,
cohésion moyenne, nombreux pores surtout non tubulaires.
- 85 - 100 cm horizon identique, mais avec nombreuses tâches et début de
concrétions jaune ocre à ocre rouille, légèrement durcies,
se coupant assez facilement à l'ongle, texture un peu plus
argileuse, structure grossièrement polyédrique.
- 100 - 103 cm nombreuses concrétions très durcies de couleur brun noir,
tailles assez petites, légèrement allongées horizontalement
Ø inférieur à 1 cm.

puis grès.

- Dans l'horizon de surface s'observent des apports colluviaux fins assez
nets. Légèrement plus haut que le profil étudié, s'observent déjà la
formation de petites rigoles, les éléments arrachés viennent se déposer
un peu plus bas. A la partie inférieure du profil, les grès formant un
niveau imperméable créent des phénomènes d'hydromorphie.

- Profil n° 3 à 125 m du n° 2, en contre-bas. Végétation identique.

- 0 - 17 cm horizon de couleur brun gris, linono-sableux (apport par
érosion), structure à tendance particulaire, horizon légè-
rement durci avec érosion en nappe en surface ; cohésion
faible ; nombreux pores.
- 17 - 55 cm horizon beige assez foncé, texture linono-argileuse, struc-
ture nuciforme bien développée, cohésion moyenne, peu de
pores, quelques taches très diffuses de couleur rouille.
- 55 - 78 cm horizon identique, mais de couleur plus claire, texture
beaucoup plus argileuse, horizon plus compact que ci-dessus.

- 78 à plus de 115 cm nombreuses taches et traînées ocre-rouille à ocre rouge, très légèrement durcies, se coupant facilement à l'ongle, horizon prenant la morphologie d'une carapace sans en avoir la dureté, rappelle un horizon d'argile bariolée.
- On peut remarquer un apport important de fer sur une grande épaisseur qui provoque un début de stade carapace.

- Profil n° 4 à 75 m du précédent, toujours en contre-bas. Début d'un ravin d'érosion avec petite source.

- jachère à fonio, avec nombreuses Panicées et Rubiacées.
- Pente variant de 3 à 5 %.

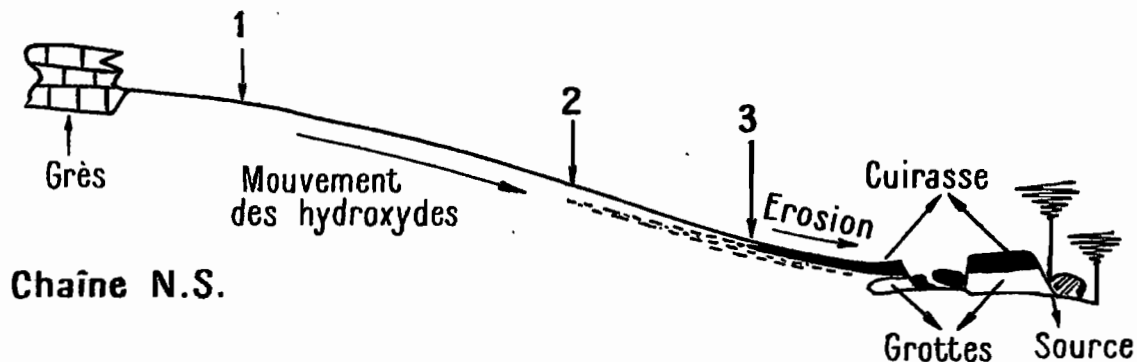
- 0 - 40 cm horizon de couleur gris beige, limono-argileux, structure nuciforme à grenue, assez bien structuré, cohésion moyenne, pseudo-sable donnant pores non tubulaires ; nombreuses racines, à action mécanique certaine.
- 40 - 65 cm horizon de couleur gris-brun, un peu plus argileux, structure nuciforme assez fondue, cohésion moyenne, agrégats petits à moyens, édifice plus compact que ci-dessus, quelques pores tubulaires, racines beaucoup moins nombreuses.
- 65 - 90 cm horizon de couleur plus claire, dans les tons beiges, texture argileuse, structure nuciforme à polyédrique, moyennement structuré, cohésion forte, édifice assez compact.
- 90 - 120 cm horizon de couleur beige, assez clair, avec taches blanc-grisâtre légèrement plus argileuses, taches et début de concrétions dont le diamètre moyen est de 1 cm, moyennement délimitées, se coupant facilement à l'ongle. Les parties centrales sont plus rouges. Structure plus nettement polyédrique, cohésion forte, édifice un peu moins compact, pores dans l'ensemble non tubulaires.
- 120 - 160 cm horizon de couleur dans l'ensemble plus claire que ci-dessus blanc-grisâtre, argileux, structure nettement polyédrique, nombreuses taches et traînées, déjà fortement durcies, dont le diamètre avoisine 2 à 3 cm, de couleur ocre rouille à rouge, se coupant difficilement à l'ongle, mais se cassant

assez bien au marteau. Cohésion moyenne, pores non tubulaires.

- 160 - 180 cm horizon dans l'ensemble identique au précédent, mais concrétions beaucoup plus durcies en poches, tendant par endroits à se cimenter pour donner une cuirasse.
- 180 - 220 cm horizon à fond argileux blanc grisâtre, assez plastique, avec taches et concrétions ocre jaune à ocre rouille foncé, bien durcies, très grandes, devenant plus diffuses avec la profondeur. L'eau suinte.

L'étude de cette chaîne de sol montre la formation dans les sols situés à un niveau inférieur d'un début de cuirasse déjà bien caractérisée. Les hydroxydes sont lessivés le long de la pente à l'intérieur des sols. Le lessivage est facilité par le niveau imperméable de grès. Les constituants s'accroissent aux niveaux inférieurs, là où un certain enrichissement en argile par lessivage oblique provoque l'apparition de phénomènes d'hydromorphie. Il n'y a pas formation à proprement parler d'une cuirasse continue, mais de poches indurées au milieu d'un matériau moyennement durci. Dans le cas considéré un lessivage de l'ordre de 400 m de long n'est pas suffisant pour amener la formation d'un horizon cuirassé continu.

- Chaîne Nord-Sud -



- Le profil n° 1 est très peu épais. On n'observe que 20 cm de sol sablo-limoneux, à structure particulière, très dégradé par l'érosion, au-dessus des grès plus ou moins imprégnés de fer.

Entre les profils n° 1 et n° 2 se développe toute une série de sols très semblables à ceux précédemment décrits le long de la chaîne de sol O-E.

- Le profil n° 2 se situe en bordure du centre de la cuvette là où l'eau commence à mal drainer. Le cuirassement commence à devenir très important. La pente est de l'ordre de 2 à 3 %. La végétation herbacée est très dense et épaisse :

- 0 - 28 cm horizon de couleur gris brun avec chevelu de racines très abondant - nombreuses traînées rouilles le long des racines; texture limono-argileuse, structure bien grumeleuse, assez fine, bien structurée, cohésion moyenne. Structure peu stable se détruisant facilement.
- 28 - 60 cm horizon de couleur gris noirâtre, texture limoneuse, paraît beaucoup moins argileux, structure nuciforme assez bien développée, peu stable, cohésion moyenne à faible, encore quelques traînées rouilles le long des racines, celles-ci toujours très nombreuses.
- 60 - 82 cm horizon de couleur beige, plus argileux, structure nuciforme avec tendance à donner des éclats, cependant assez bien structuré, cohésion de moyenne à forte, nombreux pores non tubulaires, provenant de l'édifice assez lâche ; encore nombreuses racines.
- 82 - 107 cm horizon de couleur plus claire, argileux, structure nuciforme donnant quelques angles, plus massive, cohésion plus faible, quelques taches diffuses de couleur plus sombre assez nombreuses et quelques petites taches ocre-jaune, non durcies, indiquant une certaine hydromorphie, nombreux pores, édifice assez poreux.
- 107 - 130 cm horizon ocre jaune à nombreuses taches et traînées ocre-

rouille déjà individualisées mais très peu durcies, ces parties durcies paraissent plus limoneuses que la masse qui est limono-argileuse. Les parties colorées sont généralement plus rouges en leur centre. Structure nuciforme assez bien développée, cohésion moyenne, édifice assez poreux.

130 - 180 cm aspect d'argile bariolée. Le fond est une masse blanc grisâtre assez argileuse formant des canalicules plus argileux et plus blancs sur les parois, de couleur blanc ocre, vers le centre, et alors assez poreux, le tout faisant trame sur de grosses taches et traînées plus ou moins individualisées, de couleur ocre rouille à ocre rouge déjà légèrement durcies. Les parties les plus claires se coupent facilement à l'angle, les plus rouges beaucoup plus durcies offrent déjà une bonne résistance. Si cet horizon est mis à nu par érosion, il durcit partiellement en surface par deshydratation en donnant une carapace.

- Le profil n° 3 est situé en bas de pente, près des affleurements de la carapace. Les actions d'hydromorphie sont très poussées en surface, où l'horizon prend un aspect d'accumulation de matière organique mal décomposée.

- 0 - 7 cm horizon de couleur brun noir, de très faible densité, partiellement aspect de tourbe, structure grenue, bien structuré, grosseur de grain de riz, assez stable, cohésion moyenne à faible, nombreuses racines, paraît assez limoneux.
- 7 - 38 cm horizon brun, limoneux, structure nuciforme peu développée, peu stable, cohésion de moyenne à faible, faiblement poreux, quelques pores tubulaires, nombreuses racines pseudomycélium de couleur crème par place (cendres !).
- 38 - 62 cm horizon de couleur beige ocre, texture plus argileuse, structure nuciforme tendant vers polyédrique, assez bien développée, cohésion moyenne à un peu plus poreuse que précédemment encore quelques petites racines.
- 62 - 85 cm horizon bien tranché du précédent, couleur généralement

identique mais plus ocre, avec nombreuses petites taches ocre rouille à ocre brun, assez durcies, se coupant difficilement à l'ongle, dans l'ensemble assez petites de 1 à 2 cm, argileux, pas de structure définie.

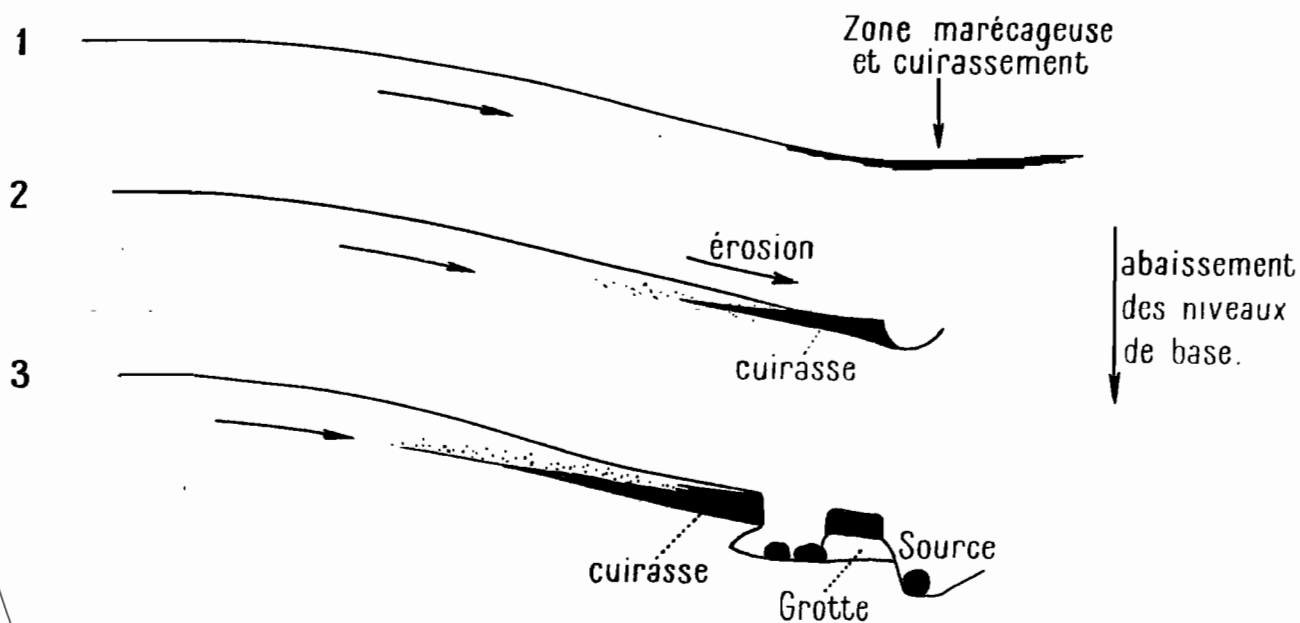
85 - 110 cm on passe ensuite à l'argile bariolée (mottled clay), mais beaucoup moins argileux que précédemment, les taches sont mieux individualisées ainsi que les concrétions qui sont de couleur ocre rouille à ocre-rouge, assez bien durcies, mais se coupant encore à l'ongle. Prend nettement l'aspect d'une carapace.

- plus bas, la cuirasse affleure à la suite d'une érosion en rigole intense.

- en coupe la cuirasse apparaît sur plus de 2 mètres d'épaisseur. La partie supérieure, sur 80 cm environ, est assez compacte, durcie, à structure pisolithique. La partie inférieure a une structure vacuolaire et dépasse rarement en dureté le stade carapace. En bordure du ravin central, la partie supérieure de la cuirasse prend une structure feuilletée caractéristique d'un apport par lessivage oblique.

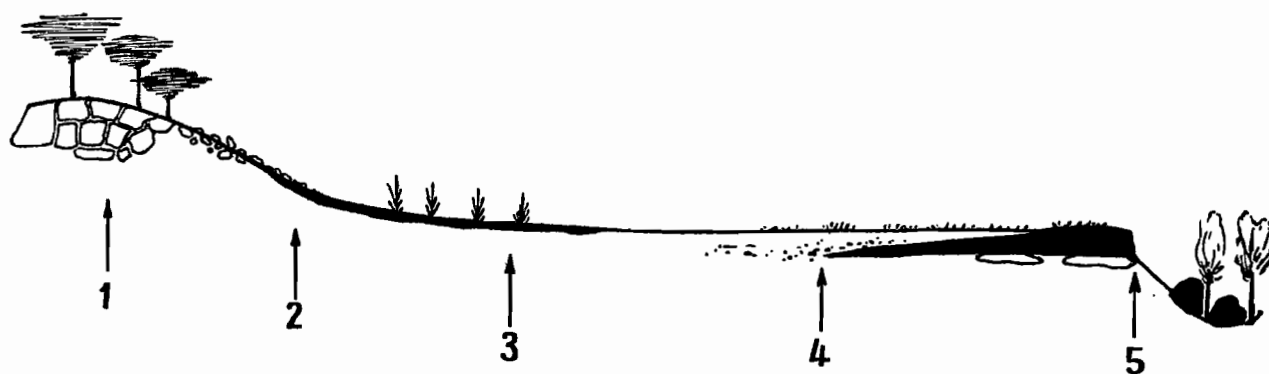
L'action de l'érosion hydrique est très caractéristique tant sur le déblaiement des parties meubles superficielles du sol, que sur l'enlèvement des parties indurées sous-jacentes aux cuirasses. Il se forme des grottes, qui finissent par s'effondrer. Les niveaux fortement indurés restent en surplomb. Les éléments démantelés roulent au fond des ravins.

Dans le cas étudié la formation des cuirasses indurées demande un lessivage à travers plus de 700 m de sol le long de la pente. L'accumulation joue sur l'épaisseur de l'horizon enrichi qui dépasse souvent deux mètres. On peut schématiser la mise en place de la cuirasse et la formation du modelé par les schémas suivants :



C. - LABE - Plaine s'étendant à l'Ouest de LABE, après le terrain d'aviation, à droite de la route du SENEGAL -

La chaîne de sol étudiée se développe entre le foulasse KOURADAMBOU perché sur une colline où subsistent quelques Parinari de la forêt montagnarde primitive, ainsi que l'indique le nom du village, et un ravin d'érosion qui collecte les eaux de ruissellement. Entre ces formations distantes de 600 mètres environ, s'étend une plaine à faible pente qui supporte une végétation herbacée rase.



- Profil n° 1 -

Cuirasse fossile, démantelée, fortement reprise par la végétation. Nombreux blocs de cuirasse, brun-rouges, fortement indurés, à structure pisolithique et scoriacée servant aux indigènes à limiter les jardins familiaux (tapades).

La cuirasse sous-jacente est de couleur plus claire, rose à rouge, fortement indurée, plus typiquement scoriacée et rappelle le faciès de dissolution d'un horizon "pain d'épice" d'altération des dolérites.

- profil n° 2 -

Cuirasse colluviale formée par la cimentation partielle de blocs de cuirasses à faciès variés. Le ciment ferrugineux est de couleur ocre-rouille.

- Profil n° 3 -

0 - 5 cm horizon organique noir, formé d'un chevelu radicaire très envahissant qui participe à la dissolution des ciments ferrugineux ; nombreux gravillons rose-rouges à rouge-violacés ; très indurés ; partiellement dissouts et isolés dans la matière organique. Les racines pénètrent la masse cuirassée par les canalicules ; nombreuses taches et traînées ocre-brunes le long des racines ; cet horizon organique s'arrache comme un tapis ce qui le rapproche d'un "ranker".

plus de 5 cm cuirasse brune-foncée ; ciment ferrugineux ocre-rouille, structure feuilletée, assez tassée ; très indurée ; l'eau suinte entre les différents feuillets.

- Profil n° 4 -

0 - 25 cm horizon très riche en matière organique de couleur brun noir (F 41), avec un chevelu abondant de racines de graminées, texture limoneuse finement sableuse, structure finement particulaire à tendance grumeleuse.

25 - 70 cm horizon toujours riche en matière organique, de couleur plus foncée, noire (J 10), nombreuses racines de graminées, mais chevelu moins abondant, texture finement limoneuse, structure nuciforme un peu anguleuse, cohésion moyenne, macrostructure prismatique donnant des colonnes de 10 à 15 cm de diamètre.

70 - 80 cm horizon de couleur gris blanchâtre (C 90) , humide, texture argileuse, structure à tendance polyédrique, assez compacte avec cependant de nombreux pores sans qu'il y ait formation de pseudo-sable, aucune tache, quelques traînées peu visibles, grisâtres.

80 - 130 cm horizon ocre beige (D 72), argileux avec de nombreuses traînées jaune rouille (D 68) mal délimitées, non durcies, dont la partie centrale est légèrement limoneuse. Vers le sommet de cet horizon, entre 80 et 110 cm, on observe un

léger blanchissement de couleur gris acier, l'horizon étant alors argileux et très compact (aspect de gley). Les fentes verticales donnant des colonnes prismatiques s'arrêtent à ce niveau.

- 130 - 185 cm horizon bariolé à fond argileux grisâtre avec des traînées et taches ocre rouille et rouges faiblement durcies se coupant facilement à l'ongle. Les parties les plus rouges se situent vers le centre de ces taches.
- 185 - 200 cm horizon de couleur rouille (E 56 à E 58) formant une pâte durcie avec de nombreux éléments noduleux très petits (quelques mm) très durcis de couleur brun rouge foncé (J 36) nombreuses taches limoneuses rouges (E 16) durcies et traînées plus argileuses gris blanchâtre (B 90).
- 220 cm et plus horizon bariolé présentant de nombreuses traînées brun rouille à rouge (H 118 à F 46), durcissant légèrement à l'air (se coupant à l'ongle) et formant une trame, avec les canalicules remplis d'argile grise (B 90).

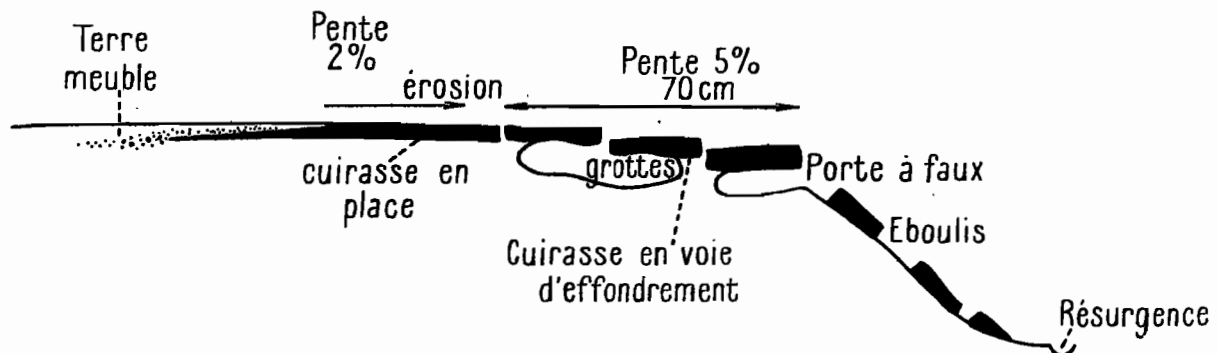
- Par la suite, le sol devient plus meuble, limono-argileux avec des nodules allongés de 2 à 5 cm, ferrugineux, assez durcis, de plus en plus rares avec la profondeur.

La morphologie se modifie très sensiblement lorsque l'on examine les profils situés en contre-bas et plus proches du ravin. Les horizons meubles de surface deviennent moins épais. Le concrétionnement des horizons inférieurs s'intensifie avec la formation d'un niveau cuirassé déjà très durci, mais encore mince, et situé plus près de la

la surface (65 cm environ). Au fur et à mesure que l'on se rapproche du ravin, l'horizon en voie de cuirassement devient de plus en plus épais. La cimentation envahit tout l'horizon pour donner finalement une cuirasse épaisse de 50 à 150 cm.

L'érosion hydrique qui est très active en bordure du ravin arrache les horizons meubles de surface et fait affleurer la cuirasse.

- Profil n° 5 - cf. Profil I. J. -



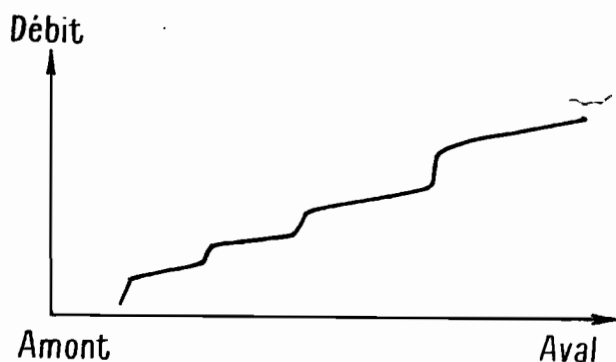
Le périmètre de mise à l'affleurement de la cuirasse demande à être étudié en détail. En amont du profil n° 5, le long de la pente de 2 % se produit un décapage des horizons meubles de surface sous l'effet de l'érosion en nappe, puis en rigoles. A moins de 50 mètres de la corniche qui domine le ravin, la pente s'accroît jusqu'à 5 % et la cuirasse se morcèle en donnant des blocs polygonaux dont le diamètre atteint 100 à 200 m. Ces blocs jouent les uns par rapport aux autres. Il se forme des failles et des décrochements. Des rejets peuvent atteindre 10 cm et la largeur 20 cm. On constate fréquemment que ces failles communiquent avec des grottes sous-jacentes aux cuirasses.

En saison des pluies, les eaux de ruissellement s'engouffrent dans les diaclases qui morcellent les niveaux fortement indurés. Elles circulent latéralement à travers les horizons inférieurs plus meubles, et il

se forme de véritables cours d'eau souterrains, invisibles de la surface du sol. La circulation souterraine des eaux provoque un déblaiement sous la cuirasse, des horizons moins indurés. On assiste à la formation de réseaux de grottes qui communiquent entre elles par des couloirs souterrains et des siphons, parfois sur plusieurs centaines de mètres. Quand le porte à faux devient trop important, par rapport à l'induration des cuirasses, il se produit des effondrements qui contribuent à la mise en place du modelé propre aux pays cuirassés.

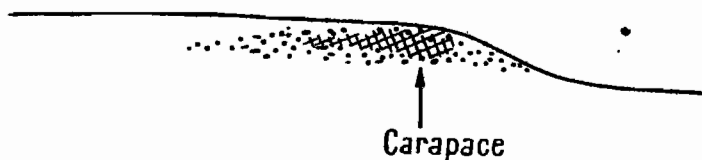
Sur les Plateaux du LABE et des TIMBI, existe toute une série de réseaux de galeries souterraines par rapport aux cuirasses. Certaines de ces galeries sont remplies par des sédiments alluviaux. Les eaux y circulent pendant la saison sèche. Il est possible de suivre une orientation directement de la surface du sol. Ces lignes sont jalonnées par des zones déprimées le long desquelles on observe d'énormes panneaux de cuirasses, basculés ou effondrés. Ce sont les "wendou" des Foulah qui de quelques mètres peuvent atteindre plusieurs centaines et parfois même plus de mille mètres de diamètre.

En période pluvieuse, les eaux de ruissellement convergent vers ces dépressions pour former des petits étangs ou pour se perdre brusquement à la faveur d'une diaclase. Les eaux réapparaissent à l'air libre sous forme de résurgences dans le cours des rivières. Le débit de ces dernières subissent des augmentations brutales.



Dans l'exemple de chaîne de sol décrit ci-dessus, la cuirasse plus ou moins démantelée domine en corniche un ravin droit et encaissé de près

de 10 mètres de profondeur. A 2 km du lieu d'observation, toujours en bordure de la route du SENEGAL, la cuirasse moins évoluée donne un modelé plus nou. Les ravins où l'érosion régressive est intense, sont plus larges et moins profonds.

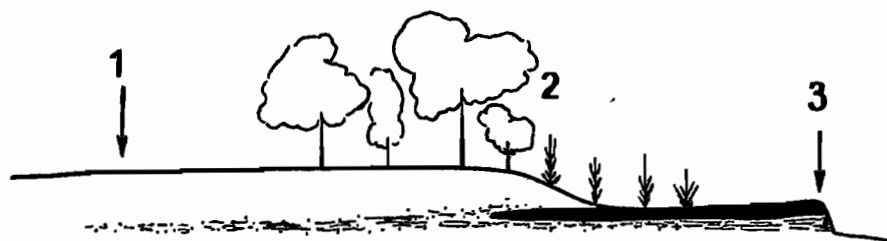


On constate qu'il existe ainsi des relations extrêmement nettes entre la formation du modelé en escalier, propre aux pays cuirassés, et le degré d'induration des cuirasses.

I. b - MILIEU FERRUGINEUX TROPICAL

La chaîne étudiée a été observée en bordure de la route SENEGAL-GUINEE, à 10 km au sud du pont sur la GAMBIE à travers des sols ferrugineux lessivés à concrétions ferrugineuses.

Le modelé est extrêmement plat, et la pente excède rarement 1 % vers l'Est. La végétation est représentée par une savane arborée à sous-bois de bambous, et tapis d'Andropogonées. De nombreuses clairières trouent ces peuplements. Leur centre est généralement déprimé et forme des mares d'hivernage.



- Sous forêt, le profil n° 1 est typiquement un sol ferrugineux lessivé à concrétions, dont l'horizon d'accumulation se situe entre 125 et 170 cm de profondeur. Il est fortement argileux et très riche à sa base en concrétions ferrugineuses bien durcies, mais encore individualisées. La morphologie du profil est identique à celle du sol déjà décrit dans les environs de GOUDIRY.

- En bordure de la clairière à 100 m du précédent, le profil n° 2 est beaucoup moins épais.

- 0 - 20 cm horizon gris noir, à texture sablo-argileuse, structure à tendance grumeleuse peu stable, chevelu radiculaire assez abondant.
- 20 - 50 cm horizon beige blanchâtre, texture sablo-argileuse, très poreux, structure peu développée, particulière, à sa base l'horizon se colore très fortement en rouille.
- 50 - 72 cm horizon fortement concrétionné, concrétions ferrugineuses très durcies, encore isolées les unes des autres, au milieu d'une masse terreuse de couleur ocre rouille, argilo-sableux, par place fortement ferruginisé.
- 72 - 110 cm horizon cuirassé, cuirasse à aspect feuilleté, essentiellement ferrugineuse, déjà fortement indurée, les concrétions sont beaucoup plus rares.
- 110 - 200 cm Continental Terminal fortement imprégné de solutions ferru-

gineuses qui lui donnent l'aspect d'une cuirasse assez lâche. L'induration diminue fortement avec la profondeur.

- Près de la mare, la coupe de la cuirasse n° 3 qui affleure en cet endroit montre une structure feuilletée. Cette cuirasse très durcie est essentiellement ferrugineuse. En surface, sur une faible épaisseur 10 à 20 cm, celle-ci étant d'ailleurs très irrégulière, elle est constituée par l'agglomérat de concrétions très durcies cimentées par une pâte ferrugineuse. L'aspect feuilleté se développe sur plus de 150 cm. A la base, on passe à des formes arrondies grossières à nouveau non cimentées entre elles, avant de retrouver la formation du Continental Terminal.

Tout le pays présente un aspect réticulé dû à la présence de cuvettes mal drainées. Le cuirassement des sols de cette région est en relation avec le développement de clairières naturelles, qui définit la bowaliation.

La structure feuilletée des cuirasses qui se forment en bordure des zones de drainage, caractérise des apports importants par lessivage oblique.

Les processus de cuirassement en sols ferrugineux tropicaux sont particulièrement bien développés lors d'enrichissements latéraux en sesquioxides de fer. Ces types de cuirasses qui correspondent approximativement aux zones climatiques soudano-guinéennes sont extrêmement courantes, et s'imposent dans des matériaux très variés.

I. c - MILIEU SUBARIDE

- FORAGE DE YARE-LAO -

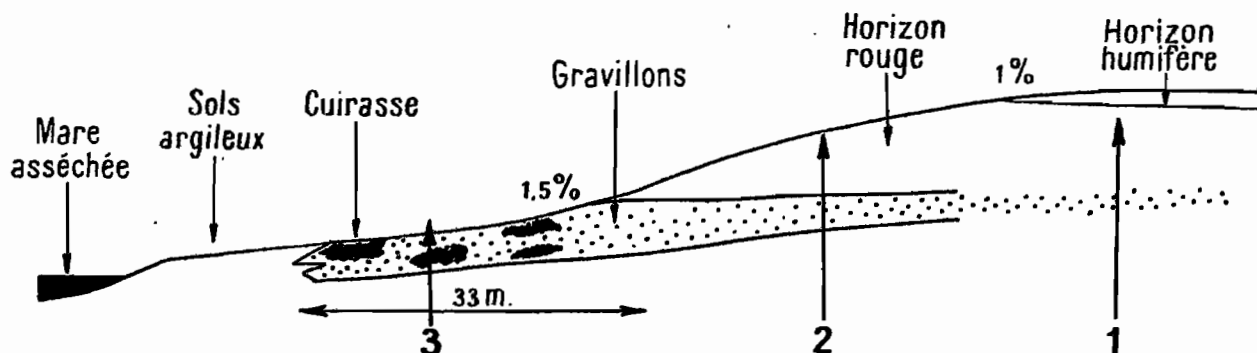
Le modelé est très aplati, et les pentes dépassent rarement 2-3 %.

Le climat est du type sahel-soudanien.

La végétation est une pseudo-steppe à bois armés.

Les sols sont typiquement des sols brun-rouges subarides (MAGNIEN, 1956), formés sur Continental Terminal.

La chaîne de sols décrite a été étudiée perpendiculairement à la rive d'une mare d'hivernage, desséchée à l'époque de l'observation.



- Profil n° 1 -

- 0 - 25 cm horizon de couleur gris beige légèrement humifère, à texture très sableuse avec de nombreux sables grossiers, structure grumeleuse peu développée. Le premier cm présente une structure feuilletée liée à une érosion en nappe assez importante, cohésion très faible, quelques pores, nombreuses racines.
- 25 - 56 cm horizon de couleur brun rouge, paraît encore légèrement humifère, texture identique à ci-dessus, structure nuciforme légèrement fondue, cohésion faible à moyenne à l'état sec ; nombreux petits pores.
- 56 - 105 cm horizon ocre roux, très faiblement durci, texture sableuse,

structure plus nettement nuciforme, cohésion de faible à moyenne, édifice assez lâche avec nombreux pores.

105 cm et plus - ocre-jaune, toujours très sableux dans l'ensemble, avec quelques taches assez diffuses plus rouges paraissant de texture plus fine.

- au profil caractéristique de sol brun rouge se superposent de faibles actions d'hydromorphie en profondeur. Ces actions ont d'ailleurs dans le passé, dû être beaucoup plus fortes, car, en certains points, s'observe un petit horizon gravillonnaire, en place, dont la formation est probablement d'origine hydromorphe.

- ces sols s'érodent en donnant de grandes plages stériles de couleur rousse. Ces plages sont de textures plus argileuses et représentent l'horizon B qui a été mis à nu. Des nodules calcaires signalent l'emplacement d'anciennes termitières arasées par l'érosion.

Tous ces caractères montrent l'emprunte d'une phase ancienne plus humide. Les sols présentent d'ailleurs un léger déphasage vers les types ferrugineux tropicaux.

- Le profil n° 2 a été érodé jusqu'à l'horizon B -

après un horizon roux légèrement grisâtre, s'observe l'horizon roux caractéristique des sols brun-rouges, puis

....

un horizon concrétionné, formé de nombreuses concrétions non cimentées entre elles, noyées dans une masse argilo-sableuse rouge. Les concrétions de couleurs brunes ferrugineuses ^{sont} recouvertes d'une patine de texture argileuse et de couleur blanchâtre, à aspect nettement hydromorphe.

- Le profil n° 3 est concrétionné -

Les concrétions se cimentent par endroits pour donner une cuirasse très durcie, à ciment ferrugineux de couleur brune, surtout dans la partie supérieure du profil fortement desséché.

La partie inférieure encore humide présente la morphologie de l'horizon gravillonnaire du profil n° 2.

La succession de sols explique par elle-même la mise en place des formations indurées.

Le fer qui se trouve individualisé lors de la formation des sols brun-rouges est lessivé le long des faibles pentes, et vient s'accumuler en bordure des bas-fonds dans les zones à hydromorphie temporaire où il se trouve concrétionné.

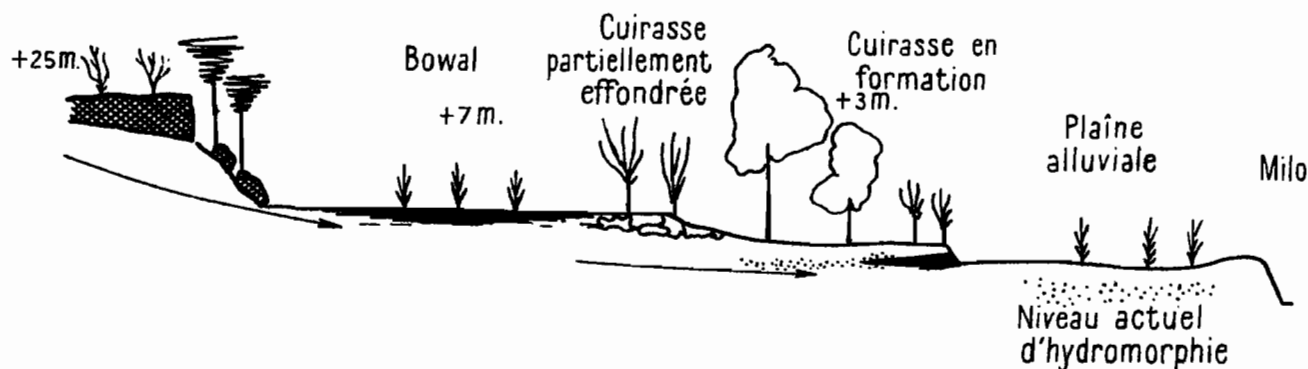
De tels exemples sont peu fréquents, et se rapprochent des cuirasses hydromorphes.

I.d - MILIEUX HYDROMORPHES

- Chaîne de sols étudiée près de KANKAN, en bordure de la plaine qui borde le MILO, affluent du NIGER.

- Le climat est soudano-guinéen.

- La végétation fortement dégradée passe de la savane arbustive, à la savane parc à Karité et aux peuplements herbacés partiellement inondables.



La vallée où s'étagent 3 niveaux de terrasses bien visibles est dominée :

1. par un plateau, ancien niveau d'érosion, fortement cuirassé sur plus de 5 mètres d'épaisseur. Cette cuirasse est très compacte et de texture scorifiée.

2. La terrasse + 7 m est complètement envahie par le cuirassement. Elle est déjà partiellement démantelée en bordure, et plus ou moins ennoyée, par les dépôts arrachés par l'érosion du plateau voisin.

3. La terrasse + 3 m ne présente des phénomènes de cuirassement qu'en bordure des alluvions récentes là où les hydroxydes, amenés par lessivage oblique, s'immobilisent (probablement par oxydation). Le cuirassement ne dépasse pas le stade carapacé.

4. Les alluvions récentes portent des sols hydromorphes bien humifères qui présentent des phénomènes d'individualisation intense du fer immédiatement au-dessous de ces horizons avec accumulation et début de gravillonnement.

II. DONNÉES ANALYTIQUES -

Si l'on se rapporte aux résultats analytiques profils précédemment

décrits (cf. chapitre 7), on constate que les accumulations par mouvements latéraux portent principalement sur le fer. L'aluminium est surtout un matériau résiduel. Le problème du cuirassement à travers les chaînes de sols revient donc à faire le bilan des mouvements du fer. Ceci est extrêmement difficile car les accumulations se font à la fois par mouvements verticaux et mouvements obliques. Le décapage des horizons superficiels ne permet souvent pas de préciser sur quelle épaisseur de matériaux les phénomènes de lessivage se sont effectués. Cependant sur certaines formations fortement évoluées, et pauvres en hydroxydes, l'intensité du cuirassement est fréquemment sans commune mesure avec les profils, et ne peut s'expliquer par les seuls mouvements verticaux. C'est le cas des cuirasses sur grès.

Les teneurs en Fe_2O_3 des différents horizons du profil La 4 (IV. A) sont les suivantes :

N°	41	42	43	44	45	46	47	48
Profondeur	0				130	cn		220 cn
Fe_2O_3	4,63	6,07	3,91	6,15	5,81	15,20	24,37	21,02
	éluviation					illuviation		

Ces valeurs donnent des teneurs d'environ 5 % pour les 130 cm supérieurs, et de 20 % pour les 50 cm inférieurs, chiffres qui sont fort éloignés de ceux trouvés dans le matériau originel 3 à 5 % (éluvions schisto-gréseuses). Il est donc nécessaire de faire intervenir des apports obliques à travers une chaîne de sol.

Lorsque l'on étudie les variations de la composition des cuirasses dans le paysage, on constate que celles-ci portent plus sur les quantités de constituants mis en jeu que sur leur constitution minéralogique. En reprenant les exemples de FELLO-BANTAN et du LABE, on remarque que les cuirasses formées possèdent rapidement une composition chimique qui reste semblable à elle-même le long de la pente. En particulier les teneurs en Fe_2O_3 , avoisinent 40-44%. Mais si l'on compare les quantités de fer qui contribuent à la mise en place de ces formations, on calcule que pour une

cuirasse dont la densité apparente moyenne est de 2,10, il faut par dm² de surface, 1 kg de Fe₂O₃ pour constituer un horizon induré à son début de cuirassement, et 14 kg pour les parties les plus cuirassées. Il en résulte donc un apport 14 fois supérieur.

Un aspect particulier du problème du cuirassement par apports obliques est de préciser l'origine des sesquioxydes. Dans le cas de FELLO-BANTAN, il a été indiqué que dans les éluvions schisto-gréseuses, la formation d'horizons indurés ne devenait appréciable qu'après un lessivage à travers au moins 400 m de sols.

Sur le LABE, en certains points, les cuirasses envahissent tout le paysage. Il est difficile alors d'admettre une extension du cuirassement par simple lessivage et accumulation des sols en place. Il est nécessaire de faire intervenir des apports exotifs, résultant de l'altération des formations fossiles indurées en relief, actuellement en voie de disparition et qui s'appauvrissent en fer.

On arrive donc à considérer deux types de chaînes de sols :

- les chaînes monogéniques lorsque les processus d'évolution se réalisent à travers des sols appartenant au même groupe ;
- les chaînes polygéniques lorsque ces mécanismes se produisent entre des sols génétiquement fort différents.

Ces notions permettent d'apporter une explication satisfaisante aux phénomènes de cuirassement qui se développent en régions soudaniennes, dans toutes les dépressions mal drainées.

III. MISE A L'AFFLEUREMENT DES CUIRASSES

A. - MORPHOLOGIE DES CUIRASSES AFFLEURANTES -

Les cuirasses affleurantes sont de couleurs plus sombres que les cuirasses en place dans leur profil. Les couleurs dominantes sont les rouges-foncés, les bruns et brun-noirs. Elles résultent principalement d'un enrichissement secondaire en fer, parfois en manganèse.

Les cuirasses massives sont pour la plupart recouvertes d'une mince pellicule, à patine brillante, résultant de la remontée d'oxydes de fer ou de manganèse, ou du dépôt de ces mêmes produits en surface. Ces accumulations provoquent souvent un colmatage dans les horizons supérieurs des surfaces. Ils les rendent imperméables, et il en résulte un ruissellement des eaux sauvages qui contribuent au décapage et au polissage des matériaux superficiels.

Fréquemment aussi, l'altération des horizons indurés affleurants provoque la formation d'un horizon gravillonnaire, dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres. La multiplication des gravillons provient :

- ou de l'attaque superficielle des cuirasses pisolithiques dont les ciments sont dissous;
- ou de déblayage d'anciens sols concrétionnés dont les matériaux meubles sont entraînés par érosion hydrique.

Tous ces produits se trouvent plus ou moins partiellement remaniés, entraînés et triés, lors de leur mise en place. Ils sont partiellement repris par la végétation, et mélangés à des éléments terreux ; ils indiquent le départ d'un nouveau cycle d'évolution des sols. Sous l'action agressive des racines de Cypéracées et de Graminées pyrophiles, il se forme un horizon de matière organique mal décomposée, de couleur noire, très acide, d'aspect tourbeux. Les produits résiduels de décomposition attaquent fortement les différents sesquioxides, principalement ferrugineux, qui se trouvent partiellement exportés. Dissolutions et dépôts sont souvent concomitants. Tous ces mécanismes contribuent à la formation d'une morphologie commune qui masque les faciès cuirassés primitifs. Ces derniers ne peuvent être observés que par l'examen des profils cuirassés dans leur intégrité.

B. - CAUSES DE LA MISE A L'AFFLEUREMENT - (FOURNIER, 1957)

L'agent de la mise en affleurement des horizons cuirassés est l'érosion hydrique sous ses différentes formes. Il y a entraînement mécanique

des matériaux meubles superficiels sous l'action des eaux de ruissellement, qui amène un enrichissement relatif en particules grossières. Celles-ci peuvent être secondairement reprises en masse par des sesquioxides.

L'érosion doit être considérée sous deux aspects :

- l'érosion géologique normale ;
- l'érosion accélérée qui découle des actions anthropiques.

Les recherches récentes sur l'érosion des sols en A.O.F. montrent qu'à la suite des déboisements et des mises en culture du sol, l'érosion normale s'accélère. On constate des pertes en terre de l'ordre de 5 à 20 mm par an lorsque la pente dépasse 3-5 % (FOURNIER, 1957). Le décapage des matériaux meubles de surface est un phénomène particulièrement rapide qui trouve en lui-même sa catalyse. De nombreux faits montrent qu'en GUINEE FRANCAISE, la déforestation effective ne remonte qu'à 3 à 4 siècles. Un simple calcul montre que cette période de temps est suffisante pour amener l'entraînement de 1 à 3 mètres de terre meuble. Cet ordre de grandeur permet d'expliquer la mise à l'affleurement de nombreux horizons cuirassés de formation subactuelle.

L'intervention de l'homme sur l'accélération des processus d'érosion résulte :

- de la déforestation qui dénude le sol et le met en contact direct avec les agents atmosphériques.
- du travail du sol qui en diminue sa stabilité, et par suite, sa résistance aux agents érosifs.

SEFA - CASAMANCE

	<u>Pente</u>	<u>Ruissellement moyen</u>		<u>Dégradation spécifique</u>	
		1954	1955	1954	1955
jachère	2 %	33,3 %	19,9 %	1.257	560,3 t/km ²
riz	2 %	47,0 %	49,3 %	1.728	2.712,6 "
stripping	1 %		22,0 %		1.150
riz	1,3 %		23,2 %		610
arachide	1,3 %		17,8 %		1.494
engrais vert	1,3 %		14,2 %		698
engrais vert	1,6 %		26,1 %		1.420
jachère	1,5 %		19,5 %		977

Pluviométrie 1954 : 1.303 mm - 1955 : 1.395 mm

Cependant, si actuellement, les influences anthropiques ont un rôle considérable dans la mise à l'affleurement, elles n'ont pas toujours agi avec la même intensité. En de nombreuses régions d'Afrique Noire, l'emprise humaine sur la végétation est relativement récente. On peut la situer aux époques de diffusion de l'Islam. Or de nombreuses surfaces d'érosion cuirassées ont une origine beaucoup plus lointaine qui remonte pour certaines au moins, à la fin du Tertiaire. Les abaissements successifs des niveaux de base (disparition des seuils, effondrements, affaissements), les changements climatiques récents sont autant de facteurs qui ont influencé la mise à l'affleurement. Et il ne faut pas voir systématiquement dans celle-ci une empreinte humaine. Sous forêt hygrophile, qui protège cependant bien les sols, les phénomènes d'érosion sont actuellement très sensibles. Ils se placent à l'échelle géologiques (SCHNELL, 1949).

C. - FORMES DE L'EROSION HYDRIQUE - (FOURNIER, 1957) -

Les formes les plus fréquemment observées en A.O.F., et plus particulièrement en GUINEE FRANCAISE sont celles de l'érosion en nappe (sheet erosion). Cette forme est très insidieuse. Elle ne modifie pas sensiblement le modelé général. Les matériaux les plus fins sont entraînés en loin, parfois jusqu'à la mer, où ils donnent naissance aux dépôts vaseux de mangrove. L'érosion en nappe affecte les horizons les plus meubles.

Quand les horizons d'accumulations argileuses sont atteints, l'érosion en rigoles (rill erosion), fait son apparition, et elle se poursuit jusqu'à la mise à l'affleurement des horizons indurés. Les rigoles ne sont jamais très profondes, 10 à 20 cm au maximum. Leur coupe en travers a la forme d'un V. Elles prennent naissance à la suite d'une brutale variation du niveau qui oriente le ruissellement. Il se forme des petites falaises de 10 à 20 cm de hauteur. Les rigoles progressent par érosion régressive. En tête se produisent des sapements par suite d'un approfondissement dû à des mouvements tourbillonnaires. Si les horizons non indurés sont suffisamment épais, les rigoles s'approfondissent et atteignent plusieurs mètres de hauteur (FELLO-BANTAN). Elles sont parfois l'amorce de ravines d'érosion - (gully erosion). Mais ces formes qui président à la mise en place du

modélé, sont relativement rares, lors de la mise à l'affleurement. Les horizons cuirassés limitent ces mécanismes car ils résistent fortement à l'érosion hydrique. Il se développe alors des nappes ravinantes qui amènent le décapage de tranches complètes de sols jusqu'au contact des cuirasses.

Ainsi toute cuirasse affleurante représente la partie supérieure d'un profil tronqué.

IV. LE MODELE DES PAYS A SOLS CUIRASSES

Les facteurs normaux du modelé en régions tropicales humides sont les mêmes que ceux qui régissent l'évolution des sols (climat, roches-mères, végétation etc...). La mise en place du modelé résulte de l'action des facteurs climatiques sur les facteurs édaphiques. En milieu tropical humide, les réactions chimiques qui participent à l'altération des roches provoquent la libération des sesquioxides qui vont permettre le cuirassement. Celui-ci représente donc une seconde forme de l'évolution du modelé. Il se superpose ^{aux} ~~sur~~ les formes qui favorisent la mise en place.

A. - FORMES DU MODELE FAVORABLE AU CUIRASSEMENT DES SOLS -

Le modelé influe le cuirassement parce qu'il oriente le mouvement des eaux de percolation à travers les sols.

Les seuls modelés normaux favorables à un cuirassement généralisé sont ceux qui sont liés aux structures tabulaire et monoclinale. Cependant toute autre forme de modelé, dont la pente est inférieure à 8 % peut être susceptible d'être cuirassée. Dans ce cas, le développement des cuirasses est limité en surface, comme en pays schisteux, dans la région de GAOUAL par exemple.

1. Structure tabulaire -

Ces modelés sont liés à l'ancienne surface tertiaire, aux formes

structurales des grès subhorizontaux et des sills doléritiques du FOUTA-DJALLON, à la pénéplaine sur roches éruptives et métamorphiques de HAUTE GUINEE, aux terrasses anciennes et récentes, aux plaines d'inondation. Ce modelé classique se caractérise par la formation, sous l'action de l'érosion, de vallées en corniches, que dominent de hautes falaises fortement cuirassées. Le recul de celles-ci se fait par sapement à la base des formations plus meubles avec accumulation d'éboulis de piedmont. Les vallées se terminent par des escarpements marqués généralement par une chute d'eau. Souvent des buttes témoins sont laissées en avant du front d'attaque. La hauteur des escarpements est fonction des niveaux de bases et de l'intensité du cuirassement. Le FOUTA-DJALLON montre, à ce point de vue, des formes bien caractérisées. Celles-ci tiennent plus de la structure des grès que de la présence de cuirasses. La conservation de ce modelé est plus nette sur les sills doléritiques qui se trouvent en intrusion entre les bancs gréseux horizontaux. Ces sills fortement cuirassés par suite de leur richesse en fer, montrent un beau modelé tabulaire où les corniches dominent le paysage.

Des différences dans la résistance à l'érosion ont permis la formation de replats structuraux, souvent cuirassés secondairement.

2. Structure monoclinale -

Ce modelé est lié à la formation sur des couches structurales dont la pente atteint quelques degrés, d'une cuirasse superficielle très indurée. Les couches dures ferruginisées en surface, tendent à rester en saillie en produisant des formes asymétriques de "Cuesta". Le revers qui représente la surface structurale, est constitué, dans la plupart des cas, par un glacis de piedmont à faible pente. Ce sont ces formes qui, actuellement, se cuirassent le plus intensément. Le front d'attaque de l'érosion est souvent très festonné, et laisse en arrière de nombreuses buttes témoins.

Ces formes se rattachent très souvent au modelé tabulaire par le canal d'éboulis de pente plus ou moins cimentés. Ce sont typiquement des cuirasses de bas de pentes.

3. Structures diverses -

Il se forme dans certains paysages très accidentés sur les pentes inférieures à 8 %, des successions de cuirassés suspendues qui peuvent être plus ou moins isolées par érosion des formations meubles environnantes. Il y a inversion de relief et isolement de buttes témoins. Chaque replat se trouve cuirassé. A la Station I.F.A.C. de DALABA, on peut observer 7 cuirasses s'étageant le long de sept replats sur éboulis de pente.

B. - ROLE DES CUIRASSES DANS LA CONSERVATION DES FORMES -

Le cuirassement protège les formations sous-jacentes plus meubles contre l'érosion. Il crée une coiffe protectrice de pente faible ou nulle qui permet le développement du modelé propre aux structures tabulaires ou monoclinales : falaises, cuestras, buttes-témoins, ressauts, etc.. Quand la coiffe protectrice disparaît, le modelé propre aux formations sous-jacentes se développe. C'est ainsi qu'en GUINEE FORESTIERE, on retrouve sur certains sommets, les restes de l'ancienne pénéplaine cuirassée sub-horizontale. Quand la cuirasse a disparu, le modelé de colline des zones forestières tropicales se développe. De même, en HAUTE GUINEE, des dômes granitiques présentent à leur sommet, les restes d'une ancienne surface cuirassée actuellement démantelée. Ces dômes surgissent au milieu des formations sédimentaires actuelles, dont le modelé horizontal a favorisé le cuirassement.

La résistance à l'érosion des cuirasses, a provoqué dans bien des cas, des inversions de relief. Mais contrairement à ce qui se passe en pays tempéré, ce sont les roches les plus facilement altérables qui se trouvent amenées en relief. En effet, cette facilité d'altération est liée à la présence de minéraux silicatés riches en fer et en alumine. La libération de ces éléments favorise le cuirassement, et, par suite, protège ces formations contre les processus d'érosion. Ce mécanisme a été étudié en détail dans la région de BOUDOUKOU (Côte d'Ivoire) où les schistes fortement cuirassés se trouvent dominer les roches éruptives acides (BONNAULT, 1938). Des exemples identiques sont fréquents en région de schistes Birrimiens basiques, ou d'intrusions doléritiques.

En résumé, la conservation des formes propres aux régions cuirassées,

multiplie celles-ci dans le paysage pour les rendre dominantes.

C. - EVOLUTION DU MODELE ET CUIRASSEMENT -

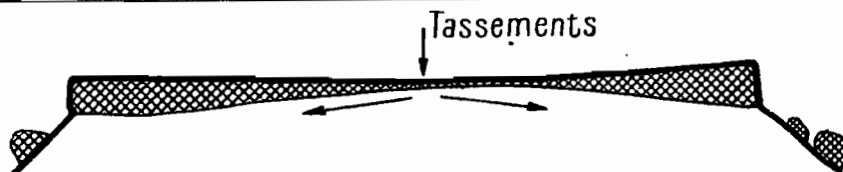
Le problème est beaucoup plus complexe que celui esquissé plus haut. La mise en place du modelé oriente les phénomènes de cuirassement. Mais ceux-ci agissent à leur tour pour multiplier les formes tabulaires et monoclinales. Ces deux phénomènes sont concomitants et étroitement mêlés. Il se produit des réactions en chaîne, chaque phénomène favorisant l'autre et vice-versa. Deux facteurs interviennent qui sont liés d'une part, au mécanisme du modelé, et, d'autre part aux processus de cuirassement.

1. abaissement du niveau de base -

Ce processus provoque une série de réactions qui influent sur la mise en place des cuirasses et la formation du modelé.

- il accuse le drainage, ce qui intensifie l'appel des solutions enrichies en sesquioxides ;
- il accélère l'érosion, qui met à nu les cuirasses ;
- il amène un soutirage des horizons meubles sous-jacents aux niveaux indurés qui s'effondrent.

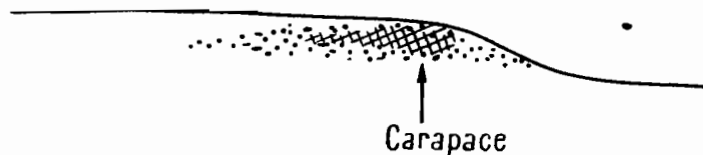
Il se forme des vallées étroites et encaissées que dominent en corniches les horizons cuirassés mis à l'affleurement. Au fur et à mesure que l'érosion affouille le niveau de base, l'appel des hydroxydes devient plus important et il en résulte une augmentation des phénomènes de cuirassement. Les cuirasses qui bordent les vieilles surfaces d'érosion atteignent des épaisseurs considérables, parfois plus de 10 mètres. Une série de coupes à travers les plateaux montre la forme biseautée des gisements qui s'amincissent en s'éloignant de zone de drainage maximum.



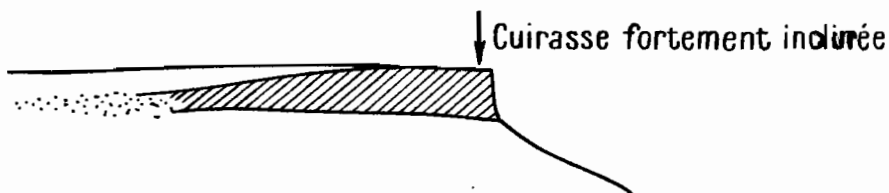
Plus l'abaissement du niveau de base est important, plus le cuirassement est intense.

2. Quantités de sesquioxydes pouvant être accumulés -

Il existe également une relation étroite entre l'intensité du cuirassement dans les zones à drainage maximum et les quantités de sesquioxydes entraînés. Quand les quantités d'hydroxydes individualisés et entraînés sont faibles, le cuirassement est peu intense. L'érosion provoque alors un modelé beaucoup plus mou, où des ressauts à peine amorcés indiquent l'emplacement des lieux privilégiés du cuirassement.



Le cuirassement ne dépasse pas le stade carapace. Les différences de résistance à l'érosion provoquent cependant une série de décrochements en marches d'escalier très atténués. Au contraire, quand les apports d'hydroxydes sont importants les ressauts s'accroissent pour donner finalement de véritables corniches qui dominent les vallées.



Ainsi, abaissement du niveau de base et accumulation des sesquioxydes interfèrent pour donner un modelé qui est plus ou moins accentué suivant l'induration du cuirassement final. De très bons exemples peuvent être

observés sur le plateau du LABE. L'induration n'est pas uniquement sous la dépendance des quantités de sesquioxydes totaux accumulés. Elle dépend aussi de leur nature, cristalline, et de leur état de vieillissement, ce qui fait que, les cuirasses les plus résistantes à l'érosion sont les cuirasses ferrugineuses, et que les cuirasses anciennes sont plus indurées que les cuirasses récentes.

Il arrive parfois que les sources d'hydroxydes viennent à tarir. (changement climatique, déblayage de formation anciennement cuirassée). Il se produit un arrêt dans le cuirassement. Les niveaux indurés peuvent être repris par les agents pédologiques et disparaître. L'érosion pénètre alors les horizons faiblement indurés. Le modelé devient moins accusé.

Dans la région de KOROGHO (Côte d'Ivoire) on assiste actuellement à la disposition d'anciennes surfaces d'érosion qui n'ont pas été envahies complètement par le cuirassement. On observe, côte à côte, les traces de l'anciennes cuirasse de bordure fortement indurée, formant corniche et, des modelés de colline propres aux régions humides dans les zones intérieures du plateau.



Les corniches cuirassées indiquent l'orientation du réseau hydrographique subséquent originel, les pentes molles et les vallées qui les attaquent, le réseau obséquent en voie de formation.

En résumé il existe une relation nette entre la mise en place du

modèle normal à un climat considéré et la formation des cuirasses. L'étude des différentes formes liées à celle de la mise en place des cuirasses dans un paysage, du type et de l'intensité de cuirassement, permet de reconstituer l'histoire d'une région donnée.

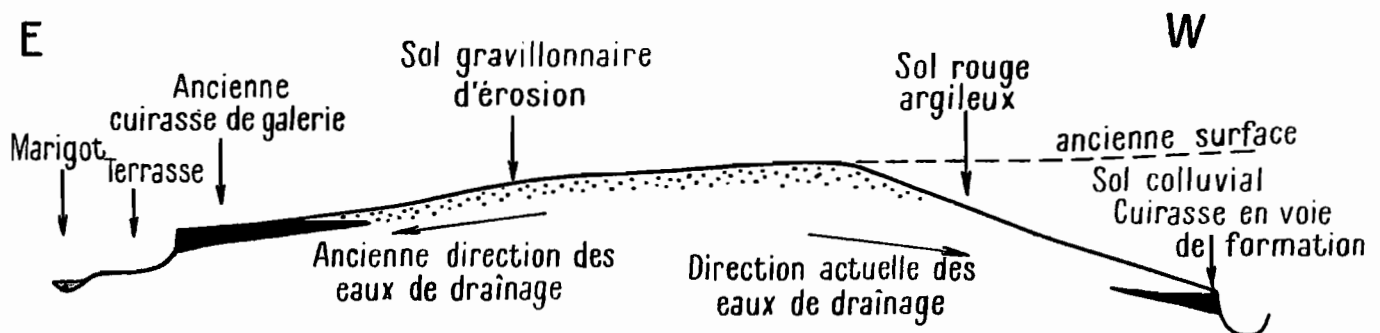
D. - DESCRIPTION DE QUELQUES TYPES DE CUIRASSEMENT CARACTERISTIQUES LIES A DES VARIATIONS DE NIVEAU DE BASE -

1. GUINEE FORESTIERE - Route de N'ZEREKORE à DIEKE à 4 km de BAMOU-

Sur un bas plateau formé de sols rouges fortement ferrallitiques, où les phénomènes de concrétionnement sont intenses et qui est le vestige d'une ancienne surface d'érosion légèrement inclinée à l'Est, on observe près du marigot, une ancienne cuirasse de galerie de 2 à 3 mètres d'épaisseur, suffisamment durcie pour former une marche d'escalier bien caractérisée, qui domine une petite terrasse. A l'Ouest s'implante actuellement un réseau hydrographique dont le niveau de base est à une cote inférieure à celui situé à l'Est. Il en résulte une inversion dans le sens de l'érosion, et de la circulation des eaux, qui provoque :

- un décapage des horizons gravillonnaires et une mise à nu des argiles rouges ;

- la mise en place d'une nouvelle cuirasse ferrugineuse de galerie à 2,50 m de profondeur en bordure du marigot ouest, dans des sols collu-



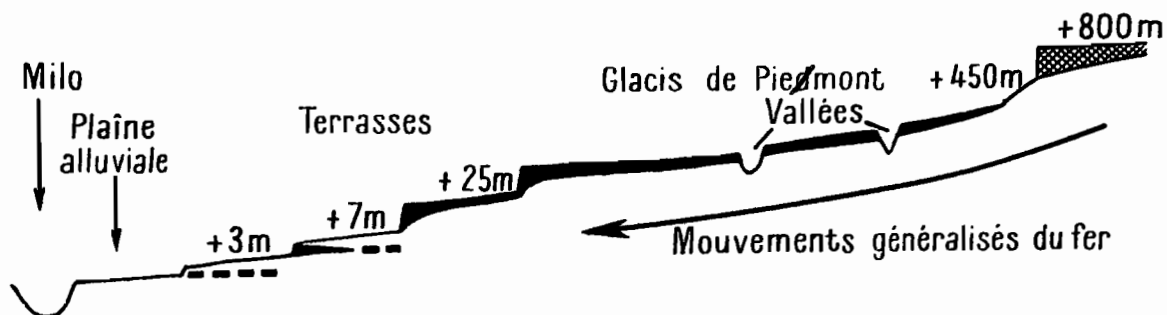
2. En HAUTE-GUINEE, dans la région de KANKAN, on observe la succession suivante :

- vers la cote 800 m l'ancienne surface tertiaire montre une cuirasse très épaisse souvent de plus de 10 m sur ses bords, enrichie en alumine à la suite du lessivage en fer. L'horizon cuirassé pénètre fortement la zone d'altération.

- ce plateau domine un glacis de piedmont qui s'abaisse progressivement vers la vallée du Niger, en passant de la cote 450 m à la cote 35 m.

Cette surface est profondément cuirassée et érodée. La cuirasse y est peu épaisse (1 à 2 m), essentiellement ferrugineuse, très riche en éléments clastiques. C'est une cimentation généralisée de tout le paysage par le fer provenant de la dissolution des cuirasses de l'ancienne surface. L'érosion a fortement travaillé cette forme du relief et laissé toute une série de buttes témoins.

- En bordure du NIGER, on observe une série de trois terrasses (+ 25 m, + 7 m, + 3 m). La plus ancienne est entièrement envahie par le cuirassé-ment. L'érosion l'a amenée en surface en de nombreux points. La terrasse moyenne montre un cuirassement beaucoup moins intense, en forme de biseau seulement visible le long des décrochements. Les horizons meubles de surface sont partiellement érodés. La terrasse la plus récente est constituée de sols lessivés où s'observe en profondeur une forte individualisation du fer avec formation de taches faiblement indurées.



3. Sur les Hauts Plateaux du FOUTA-DJALLON -

L'étude d'un profil en long entre le mont TINKISSA et la rivière TENE, sur la Station Régionale I.F.A.C. montre la succession suivante :

- A 1.300 m culmine le Mont TINKISSA qui est un vaste plateau subhorizontal bowalisé, actuellement en voie de démantèlement. La cuirasse a un "faciès" pain d'épice" imprégné de fer. Elle s'est développée à partir d'un sill doléritique.

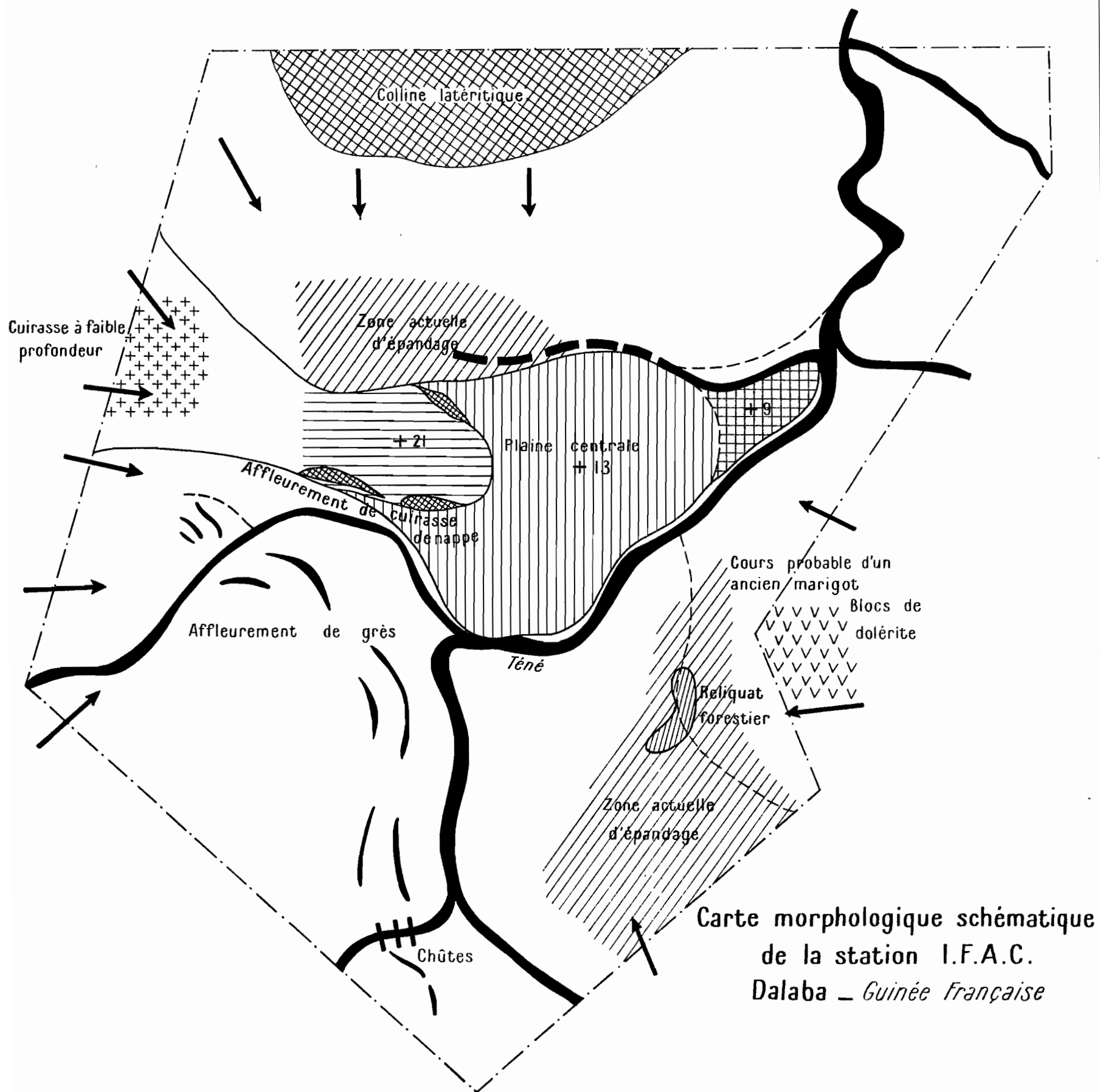
- Lui succède une pente qui en 1.200 m de longueur environ, atteint l'altitude de 1.150 m. On y observe une série de 6 replats où les éboulis sont recimentés en cuirasses colluviales suspendues.

- entre 1.150 et 1.145, se développe un bowal qui représente une ancienne cuirasse de bas de pente. L'érosion l'a fortement attaquée et a isolé une petite butte-témoin, partiellement effondrée vers la vallée. Toute cette cuirasse est reconquise par la végétation. Actuellement se met en place une nouvelle cuirasse de bas de pente (5 % de pendage) essentiellement ferrugineuse qui supporte une végétation herbacée. Elle se termine en biseau en bordure de la terrasse (+ 13) 1.100 m - constituée de sols peu évolués.

L'étude morphologique et pédologique de la Plaine Centrale de la Concession I.F.A.C. permet de se faire également une idée assez précise de son histoire. Cette plaine est un ancien bassin de réception des produits arrachés au plateau du Mont TINKISSA, plateau entièrement décapé. On y observe trois niveaux aux cotes 9 m, 13 m et 21 m par rapport au 0 de la Concession. Chacun de ces replats correspond à une période de sédimentation. On peut donc les assimiler à des terrasses. A chaque disparition d'un seuil en aval de la Station, a correspondu une activité accrue de l'érosion, suivie, lorsqu'un équilibre était atteint, d'un nouveau remblaiement.

L'étude pédologique des sols vient confirmer cette interprétation ;

- à la cote + 21 m, les sols les plus anciens montrent la présence en profondeur d'une ancienne cuirasse de nappe, très durcie, riche en quartz clastique et essentiellement ferrugineuse. Les sols sont bien évolués. La cuirasse affleure en bordure de replat par suite de l'action de l'érosion hydrique.



- la terrasse + 13 m possède des sols faiblement lessivés, avec début d'action de nappe en profondeur (taches ocre peu durcies vers 150-200 cm).

- à la cote + 9 m, les sols sont jeunes, indifférenciés et ne possèdent pas d'horizons bien définis.

M^t Tinkissa
+1330m.

Replats

Butte témoin

+1145

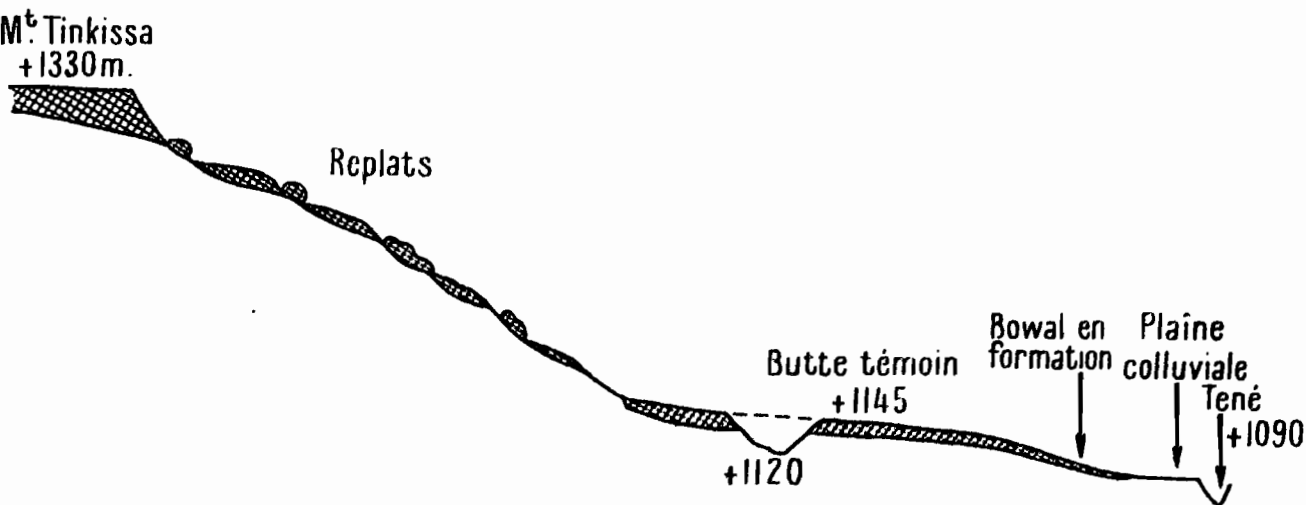
+1120

Bowl en
formation

Plaine
colluviale

Téné

+1090



C H A P I T R E 11

INVENTAIRE DES MECANISMES POSSIBLES DU CUIRASSEMENT DES SOLS

L'étude des faits tant morphologiques qu'analytiques exposés dans les chapitres précédents, prouve la réalité des processus de translation et d'accumulation des oxydes et hydroxydes dans la formation des horizons cuirassés. Le cuirassement se trouve donc dominé par le dynamisme de ces constituants dans les sols tropicaux. Il est possible de schématiser les différentes phases de l'évolution des matériaux constitutifs de cuirasse de la façon suivante en partant de l'altération des roches.

- individualisation des oxydes et hydroxydes ;
- mobilisation ;
- translation ;
- accumulation et immobilisation ;
- induration.

Ces différentes phases amènent à la redistribution des constituants et à leur concentration en cuirasses.

I. INDIVIDUALISATION DES MATERIAUX DU CUIRASSEMENT

A. - OXYDES ET HYDROXYDES -

L'individualisation de l'alumine, du fer et du manganèse résulte des processus d'altération des minéraux des roches (cf. chapitre 4, paragraphe II.). Les conditions physico-chimiques des milieux où ces phénomènes se réalisent, orientent la constitution minéralogique des nouveaux produits

formés.

Au laboratoire SCHUYLENBORGH (1949) a montré qu'il était possible d'obtenir :

- de la Lépidocrocite γ FeOOH par oxydation et précipitation d'une solution de sulfure de fer par $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;
- de la goethite α FeOOH par oxydation d'une solution de carbonate acide de fer.

Les conditions de l'individualisation influent considérablement le pH du point isoélectrique des principaux produits amphotères formés.

- les produits formés à partir de solutions diluées ont un point isoélectrique plus bas que ceux formés à partir de solutions concentrées ;
- la deshydratation a un effet très important sur l'abaissement du point isoélectrique ;
- plus les produits sont bien cristallisés, plus bas est leur point isoélectrique.

POINTS ISOELECTRIQUES DES PRINCIPAUX OXYDES ET HYDROXYDES

Goethite α FeOOH	3,2
Lépidocrocite γ FeOOH	5,4
Hématite α Fe_2O_3	2,1
Hydroxyde ferrique amorphe	8,5
Hydrargillite $\text{Al}(\text{OH}_3)$	4,3
Hydroxyde d'alumine amorphe	8,3

Ces quelques données laissent supposer que dans les sols les conditions de formation des hydroxydes ont une grande importance sur le comportement futur de ces derniers. Suivant l'acidité pH du sol par rapport aux points isoélectriques des produits formés, les phénomènes de sorption vis-à-vis des surfaces du sol portant des charges différentes seront plus ou moins prononcés.

En pratique, l'analyse des résultats obtenus sur des cuirasses guinéennes montre la prédominance de goethite, de gibbsite et de kaolinite.

B. - ARGILES -

La kaolinite est le minéral argileux le plus fréquent. L'illite est plus rare, et apparaît plutôt comme un minéral transitoire.

Partant des idées de CORRENS (1940), les expériences de CAILLERE et HENIN (1950-52-54-56) conduisent à conclure que "la genèse des minéraux argileux peut se comprendre en admettant la formation, soit d'une couche octaédrique sur laquelle viendront se fixer les éléments marquants pour former le cristal primitif, soit d'une couche tétraédrique sur laquelle se fixe une couche octaédrique. Le premier mécanisme est le plus général. Il implique tout d'abord la constitution de la première couche cristalline, puis, dans une deuxième phase, son association avec les éléments complémentaires. C'est en particulier le caractère plus ou moins électropositif de l'hydroxyde qui réglera cette seconde étape, et l'on conçoit alors aisément que les minéraux magnésiens apparaissent dans les conditions de pH plus élevées que les silicates alumineux correspondants, ainsi qu'on l'observe dans la nature".

Comme le mécanisme se passe à l'échelle de l'ion, il est nécessaire d'admettre une dissolution complète de l'alumine, puis de la silice au niveau de l'altération. L'édification d'un feuillet de kaolinite doit mettre en présence des octaèdres isolés ou à peine orientés avec des tétraèdres isolés ou à peine orientés dans un milieu acide et faiblement saturé. Ces processus expliquent qu'en sols ferrallitiques un bon drainage favorise l'individualisation des sesquioxydes et un départ de silice. Le fer qui se mobilise avec facilité, se trouve entraîné avec les eaux de percolation, et on constate une augmentation relative des teneurs en alumine. En milieu à hydromorphie quasi permanente, la formation de kaolinite devient dominante. Ce sont donc les conditions du drainage, liées à la composition et à la structure de la roche qui conditionnent la nature minéralogique des produits de néosynthèse. La profondeur de l'horizon d'altération influe cette orientation. Il ne faut pas faire de confusion entre les époques successives de la formation des profils et le mécanisme ionique de la synthèse des phyllites.

II. MOBILISATION

A. - FORMES DE MIGRATION DES OXYDES ET HYDROXYDES -

L'étude des formes de migration des hydroxydes dans les sols a fait au cours des dernières années, l'objet de nombreuses recherches. Celles-ci ont surtout porté sur le fer et le manganèse. Les formes de migration de l'alumine sont moins connues.

Les différentes formes du fer dans les sols, ne sont pas toutes favorables à son déplacement :

- l'ion ferrique est à peu près insoluble aux conditions de pH des sols tropicaux ;

- l'ion ferreux a une solubilité appréciable mais qui ne peut se conserver qu'en milieu réducteur. Cette forme de migration s'observe en sols hydromorphes ;

- sous forme "colloïdale" le déplacement du fer est possible, mais cette forme est très sensible aux électrolytes ;

- en raison de sa charge électro-négative le fer peut se fixer énergiquement sur l'argile qu'il accompagne lors des phénomènes de lessivage.

- les ions ferriques et ferreux ont la possibilité de s'associer à certaines substances courantes dans les sols, en donnant des ions complexes électronégatifs, indifférents à l'argile et moins sensibles aux électrolytes. Ces combinaisons sont essentielles dans le processus de migration du fer et de l'alumine ;

- le fer peut migrer sous forme de bicarbonate dans certaines conditions.

B. - COMPLEXANTS DES CONSTITUANTS OXYDES -

Deux grands groupes de substances interviennent dans la formation des complexes pseudo-solubles :

- les acides siliciques dont la présence est liée directement à l'altération des roches ;

- les produits organiques résultant de l'activité biologique des horizons de surface des sols.

Le complexe se définit comme un composé chimique, constitué par un ion métallique à charge positive et un ion organique ou inorganique à charge négative. Le composé est soluble dans l'eau, et dans cette solution l'activité de l'ion métallique est très réduite (SCHMIDT - cf. BETREMIEUX, 1951).

En milieu acide ($\text{pH} = 2,5$), les corps suivants sont capables de donner des complexes avec le fer ferrique :

- les radicaux ayant un groupement carboxyle et un groupement OH en position α ;
- les acides à deux groupements carboxyles ;
- les acides inorganiques tels que l'acide orthophosphorique qui ont une structure analogue à celle des hydroxy-acides organiques.

Les complexes ferri et ferrosiliciques ont été étudiés en détail par DEMOLON et BASTISSE (1938 - 1942 - 1944) qui ont réalisé leur synthèse et étudié leurs conditions de formation et leurs propriétés. Ces produits ont été trouvés dans les sols par électrodialyse. Ils se forment en milieux concentrés mais peuvent subir de fortes dilutions .

Pour BASTISSE (1946 - 1949), les anions organiques capables de dissimuler le fer et le manganèse, et, en général, les hydroxydes métalliques sont surtout des polyacides et des acides-alcools. Parmi ces derniers, les hydroxy-acides donnent avec Fe et Mn des complexes particulièrement peu dissociés et très stables. Ces acides existent dans les végétaux et dans les produits de leur décomposition (acide lactique).

Le principal rôle de mobilisation doit être attribué aux résidus organiques de la fermentation.

- Rôle de la matière organique -

L'humus dispersé peptise les sesquioxydes de fer dans un large intervalle de pH et permet leur migration par percolation (CASTAGNOL, 1942). Cette action de la matière organique se traduit d'ailleurs par l'apparition de phénomènes plus complexes, mais qui contribuent également à la mise en solution des sesquioxydes.

Voici quelques résultats obtenus sur des sols guinéens :

▼ Action d'une solution d'acide humique sur l'horizon d'altération
d'une dolérite contenant 16 % de fer libre

-:-:-

C/N acide humique = 15,4

Solution de 2,8 gr d'acide humique/litre dans de l'eau faiblement
alcaline. 30 cc. de solution dans 20 gr. de sol

Fe_2O_3

percolation 3,25 mgr

1,75 mgr

contact 2,73 mgr

eau légèrement alcaline 0,14 mgr

BLOOMFIELD (1954), en faisant percoler des extraits de feuilles à
travers des colonnes de terre, a déterminé des actions plus ou moins sélec-
tives des produits obtenus vis-à-vis des différents sesquioxides. Pour
certains extraits, l'alumine peut être plus mobilisée que le fer. LOSSAINT
(1952) arrive à des résultats du même ordre en employant des extraits de
litières organiques.

- Rôle de l'acidité organique -

La décomposition de la matière organique entraîne toujours une acidi-
fication du sol qui accroît la solubilité de la silice et des hydroxydes
peu solubles (alumine, fer, manganèse). Cette acidité organique peut amener
des variations de pH qui, en sols peu tamponnés, atteignent parfois 2 unités.

- Rôle de l'activité biologique -

Les phénomènes biologiques qui participent à la décomposition de la
matière organique des sols influent fortement sur la mobilisation des
sesquioxides. Les réactions qui découlent de l'activité des micro-organis-
mes du sol sont de deux sortes :

- apparition de phénomènes de réduction liés à la vie des micro-
organismes ;

- processus de dissolution par les résidus de fermentation avec
formation de complexes pseudo-solubles.

BETREMIEUX (1951) a étudié en détail le mécanisme de ces différents phénomènes dans leurs interréactions vis-à-vis de l'évolution du fer et du manganèse. Il a montré que les processus de réduction liés à l'activité microbienne sont d'une grande importance sur l'évolution des éléments susceptibles de prendre des formes réduites plus solubles que les formes oxydées correspondantes. C'est le cas du fer et surtout du manganèse. L'aluminium ne participe pas à ce phénomène. L'étude expérimentale de ces réactions met en évidence le rôle essentiel des processus d'oxydo-réduction. "La migration des éléments dissous, après réduction, est assurée par des résidus de la fermentation grâce à la formation d'ions complexes organiques".

Les variations du facteur redox sont intimement liées à l'activité microbienne des sols. Tout facteur favorisant la décomposition influe sur ce potentiel d'oxydo-réduction. Quand la circulation normale de l'air dans les sols est insuffisante, les microorganismes sont contraints d'utiliser d'autres sources d'oxygène, en particulier celle des oxydes ferriques, d'où réduction.

"La constitution physique du sol n'intervient que pour fixer le niveau de base des conditions d'oxydo-réduction et régler l'ampleur de leurs modifications dues à l'activité microbienne, elle-même déterminée par les quantités de matière organique consommables". La constitution chimique du milieu est plus importante. Elle forme la quantité d'éléments susceptibles d'être mobilisés et contribue à régler l'intensité des migrations". (BETREMIEUX, 1951).

Les microorganismes réducteurs des formes ferriques sont peu spécifiques et hétérotrophes : Bacillus circulans, B. polymixa, Escherichia, Aerobacter, Paracolonobacterium.

Les deux tableaux ci-joints montrent les variations de la densité des ferrobactéries à travers quelques profils de sols de GUINEE FRANCAISE, ainsi que les phénomènes d'oxydation et de réduction du fer dans des dépôts aqueux prélevés sur cuirasses également en GUINEE.

PHENOMENES D'INDIVIDUALISATION, d'OXYDATION et de REDUCTION
DU FER DES DEPOTS AQUEUX SUR CUIRASSE - AOUT 1955
(région de KOUNARA - SERIBA)

BACTERIES

Echantillons	Caractéristiques	Densité au gr. des bactéries responsa- bles de :			pH
		la précipi- tation du fer organique (3ème jour)	de la réduc- tion Fe^{+++} en Fe^{++} (9ème jour)	de la réduc- tion des sul- fates (9ème jour)	
M 1	Dépôt ferrugi- neux et orga- nique dans eau sur bowal	10.000	12.000	30	5,4
M 2	Mat. organique dans eau sur bowal	16.000	500	90	5,8
M - A	Dépôt ferrugi- neux dans eau de suintement de cuirasse (échantillon liquide)	20.000	20	0	5,6
M - B	Film irrigé sur eau stagnante de cuirasse (échantillon liquide)	20.000	0	0	5,6
M - C	Pellicule fer- rugineuse et organique for- mant film sur cuirasse	20.000	3.200	0	5,6

ALGUES SUR MILIEU CHU N° 11

Provenance	N°	densité des algues exprimée :	
		en nombre de colo- nies par gramme de sol	en pourcentage des grains fertiles
GUINEE	M 1		100 % 48 jours
GUINEE	M 2		100 % 48 jours
GUINEE	M A	675 / cm ³	
GUINEE	M B	0 / cm ³	
GUINEE	M C	-----	100 % 25 jours

VARIATION DE LA DENSITE DES FERRO-BACTERIES DANS QUELQUES PROFILS
DE SOLS

Lieu du Prélèvement	Profondeur	N° échant.	Bactéries minérales du fer	Bactéries ferro-réductrices	Particularités remarquables du profil
<u>SOTUBA</u>					
Sol ferrugineux tropical lessivé	0 - 10cm	SOR 50	80.000	310	
	40cm	52	1.900	50	
	60cm	53	2.000	50	début de concrét.
	80cm	54	900	10	concrétionnement
<u>SOTUBA</u>					
Même type pédologique	0 - 10cm	SOR 10	160.000	2.800	
	60cm	12	1.800	10	
	80cm	13	70	10	début de concrét.
	100cm	14	120	20	concrétionnement
<u>TIMBIS-MADINA</u>					
Sol "Hollandé"	0 - 50cm	Ti 20	11.500	20	
Sol beige ferrallitique à hydromorphie temporaire de surf.	30cm	22	1.600	0	
	70cm	23	100	0	
	170cm	24	50	0	concrétionnement
<u>TIMBIS-MADINA</u>					
Sol "Dantari" (haut de pente)	0 - 5cm	Ti 70	108.000	180	
	20cm	72	1.000	20	
Sol beige ferrallitique érodé	70cm	73	70	2	
	110cm	74	40	2	
	180cm	75	100	5	concrétionnement
<u>TIMBIS-MADINA</u>					
Sol "Dantari" (bas de pente)	0 - 5cm	Ti 81	155.000	110	
	40cm	82	700	13	
Sol beige ferrallitique	80cm	83	2.600	12	
	120cm	84	3.000	0	concrétionnement
<u>Km 35 route DALABA</u>					
<u>MAMOU</u>					
Sol rouge ferrallitique cuirassé	0 - 5cm	G 140	725.000	4.400	
	350cm	141	500	170	
	450cm	142	330	20	concrétionnement
	600cm	143	180	8	argile rouge
	800cm	144	200	14	zone altération de la dolérite
<u>I.F.A.C.</u>					
Sol beige latéritique sous ananas	0 - 5cm	G 170	207.000	700	
	50cm	171	17.000	70	horizon lessivé
	120cm	172	3.000	40	accumulation du fer

Si les phénomènes de réduction se trouvent principalement liés à l'activité biologique des sols, les phénomènes d'oxydation semblent surtout découler de réactions d'ordre chimique.

Il ne faut cependant pas négliger l'action de certains transporteurs d'oxygène vivant en anaérobiose et qui permettent d'expliquer la précipitation de sesquioxides de fer en milieu aqueux (mangrove à palétuviers, par exemple, en BASSE GUINEE). On peut également observer dans les eaux qui circulent sur les "bové" en saison des pluies, la présence de petites algues libérant des bulles d'oxygène et sur lesquelles se déposent des hydroxydes de fer. Cette observation est à rapprocher de la présence dans les boues noires de certaines algobactéries qui contribuent à l'oxydation du fer :

- Chlamidobacteries avec Spherotilus natans, Leptothrix ochracea
- Caulobactéries avec Gaillonella.

A côté des composés humiques du sol qui sont, en partie, une mise en réserve de la matière organique, se forme toute une série de substances plus ou moins fugaces, produits de la décomposition de la litière végétale et résidu de l'activité microbienne. BETREMIEUX (1951) indique que "ces corps très labiles apparaissent comme jouant un rôle très important dans les phénomènes de migration des sesquioxides tant de fer et d'alumine que de manganèse". Ces sesquioxides sont fortement dissous par ces complexes organiques électronégatifs, beaucoup plus que par les acides minéraux à concentration égale. La mobilisation n'intervient donc pas par les ions H^+ , qui caractérisent l'acidité du milieu, mais par l'association d'anions organiques qui jouent un rôle plus ou moins spécifique.

La source principale de fer solubilisé, à la suite de la décomposition de la matière organique par les microorganismes, est essentiellement fournie par les oxydes et hydroxydes. Cependant, les minéraux ferrières peuvent subir directement une attaque notable dans les mêmes conditions.

ELEMENTS SOLUBILISES PAR ACTION DE LA FERMENTATION DE GLUCOSE

en mg/100 g - d'après BETREMIEUX (1951)

	<u>Durée Essai</u>	<u>SiO₂</u>	<u>Fe₂O₃</u>	<u>Al₂O₃</u>	<u>CaO</u>	<u>MgO</u>	<u>K₂O</u>
Glauconie	5	216	108	2,4	444	27,2	39,9
Phlogopite	6	343	61,5	128	69,4	305	227,0
Orthose	6	34	-	8,5	54,4	4,8	35,2
Hématite	6	-	690	-			
Bauxite	6	43	6,5	62,5			

La fermentation des protéines dans le sol provoque la formation dans la solution drainante riche en Fe₂O₃ d'un précipité bleu verdâtre, analogue à du carbonate ferreux. On peut concevoir que le fer réduit migre sous une forme bicarbonatée (hydrocarbonate, protobicarbonatée) suffisamment soluble (7 g/l). Quand la solution arrive dans un milieu plus aéré, elle se dégaze et le bicarbonate se transforme en carbonate moins soluble qui s'oxyde et s'hydrolyse en hydroxyde ferrique.

En résumé :

- l'abaissement de la pression d'oxygène et du pH favorisent la réduction et la dissolution de l'oxyde ferrique et de manganèse ;
- les conditions inverses provoquent l'oxydation et la précipitation.

Cependant la présence de complexants permet au fer ferreux et ferrique de se maintenir plus ou moins en solution dans des conditions physico-chimiques, où sous forme de cations, ils seraient précipités. Ces complexes ont une vie plus ou moins longue. Celle-ci détermine la durée de migration.

Les phénomènes d'oxydo-réduction n'interviennent pas dans la nobilisation de l'alumine. Les produits de dégradation de la matière organique donnent naissance avec elle à des complexes pseudo-solubles. Mais ceux-ci après floculation, ne se dispersent généralement pas et présentent une grande stabilité. Ceci explique la faible mobilité de l'aluminium, même en milieu ferrallitique.

C. - FORMES INDIRECTES DE MIGRATION DU FER : ADSORPTION SUR LA KAOLINITE -

Les hydroxydes de fer, en raison de leur charge électropositive, sont énergiquement fixés par l'argile qu'ils accompagnent dans tous ses déplacements. Au cours de divers processus d'évolution, le fer adsorbé peut à nouveau s'individualiser. Il se trouve ainsi transporté indirectement d'un point à un autre.

Le point isoélectrique de l'hydroxyde ferrique colloïdal correspond à une valeur du pH égale à 7,15. Comme dans la majorité des sols tropicaux le pH est généralement inférieur à cette valeur, les surfaces à charges négatives fixent l'hydroxyde qui, lui, est chargé positivement. Mais, il a été signalé, que le point isoélectrique des principaux sesquioxydes formés dépendait dans une large mesure, des conditions de formation. Les forces attractives des surfaces argileuses dépendront donc des différences de pH entre ces matériaux. Ces dernières se trouvent liées aux types de sols considérés. Les sols ferrallitiques, bien drainés, pauvres en bases alcalines et alcalino-terreuses, acides, possèdent des forces attractives considérables vis-à-vis de presque tous les hydroxydes de fer. Les sols ferrugineux moins acides, beaucoup moins bien drainés en profondeur, montrent une tendance à libérer le fer sous forme de taches et de concrétions. Ces phénomènes se trouvent encore plus accusés en sols hydromorphes.

FRIPIAT et GASTUCHE (1952) ont étudié en détail les combinaisons possibles de la kaolinite avec les oxydes de fer +++ (goethite, lépidocrocite, oxyde ferrique). Ils arrivent aux conclusions suivantes :

- l'oxyde de fer qui recouvre les surfaces des kaolinites naturelles se présente sous deux formes fonctionnant de façons différentes ;
- il existe deux genres de combinaison kaolinite-oxyde de fer, de structure et de propriétés bien distinctes ;
- la formation de l'un ou l'autre type dépend de la nature de la kaolinite de départ ;
- la nature des bords des feuillets de kaolinite est probablement la cause de ces différences.

Ils distinguent des complexes ordonnés et des complexes désordonnés :

- les premiers possèdent une structure résultant de l'empilement partiel des pseudo-hexagones de kaolinite suivant l'axe C et leur coordina-

tion par l'intermédiaire de l'oxyde. La courbe reliant la surface spécifique à ces combinaisons en contenu en Fe_2O_3 passe par un maximum vers 12 %. Pour les teneurs supérieures, un phénomène de saturation des surfaces se produit avec formation de particules extrêmement petites d'oxyde pur.

- les seconds sont formés d'agrégats désordonnés de particules de kaolinite soudées par l'intermédiaire de l'oxyde de fer.

La surface spécifique de ces combinaisons croît linéairement en fonction de la teneur en Fe_2O_3 , sans qu'aucun phénomène de saturation n'apparaisse.

Ces deux espèces de complexes sont obtenues de la façon suivante :

- les complexes désordonnés se forment à partir de kaolinite ayant subi un traitement acide ($\text{pH} = 2,5$) et sur laquelle se fixe soit de la goethite, de la lépidocrocite ou de l'oxyde de fer hydraté;

- les complexes ordonnés se forment à partir de kaolinite ayant subi un traitement neutre et sur laquelle se fixe α ou γ FeO OH .

En comparant les résultats fournis par l'étude des complexes ordonnés à ceux qui découlent des courbes de répartition de l'oxyde de fer dans les fractions fines des sols congolais, D'HOORE (1954) a constaté que la valeur de 12 % en Fe_2O_3 paraît correspondre à la saturation de la surface des argiles en oxydes. Au-dessus de ces pourcentages, il se forment les concrétions.

Ces conclusions confirment le point de vue signalé ci-dessus, à savoir: que l'intensité de fixation des hydroxydes et oxydes sur les argiles dépend essentiellement du milieu de formation qui définit le type de sol (roche-mère, type d'altération). En milieu fortement altéré et lessivé, les argiles sont principalement du type kaolinite H. Le point de vue iso-électrique des hydroxydes formés est nettement abaissé, d'où une tendance au concrétionnement. Au contraire, en milieu de saturation permanente, quand les processus de lessivage ne l'emportent pas sur la libération des cations alcalins et alcalino-terreux, il y a tendance à la formation de kaolinite M et à l'individualisation d'hydroxydes dont le point isoélectrique a un pH relativement élevé. Les phénomènes d'adsorption prédominent.

Ainsi, suivant les conditions du milieu sol, un pourcentage plus ou moins important d'hydroxydes de fer peut migrer en liaison avec la kaolinite.

D. - MOBILISATION DE LA KAOLINITE -

La kaolinite migre très facilement à l'état dispersé. Sa capacité d'échange en bases est faible (7-15 meq %), et les sols tropicaux sont faiblement saturés (souvent moins de 1 meq %). Ces caractéristiques, liées à la pauvreté en matière organique de synthèse, favorisent la dispersion de l'argile sous l'action de l'eau.

III. MIGRATIONS

Le déplacement des matériaux mobilisés dépend des mouvements de l'eau dans les sols. L'absorption radiculaire peut également jouer un rôle non négligeable en prélevant en profondeur des produits qui sont restitués par la suite à la surface du sol.

A. - MOUVEMENTS DE L'EAU DANS LES SOLS - (cf. Chapitre 2, paragraphe)

On peut résumer les données déjà exposées de la façon suivante :

- les mouvements dans les sols tropicaux humides sont orientés de haut en bas soit verticalement, soit plus souvent encore latéralement ou obliquement ;

- les processus de remontées par évaporation à la surface du sol sont très limités. Ils sont principalement le fait des phénomènes d'évapotranspiration du couvert végétal.

B. - IMPORTANCE DU TRANSPORT -

a - Facteurs -

- le transport dépend en premier lieu du régime et des caractéristiques des précipitations. Une pluie fine et continue draine plus facilement qu'une pluie brutale et intense. En milieu guinéen les conditions optima du drainage se situent en période de mousson ;

- le transport dépend en second lieu de la perméabilité des sols.

Celle-ci est fonction de la texture, de la structure et de la résistance à la dispersion.

PERMEABILITE EN FONCTION DE LA TAILLE DES GRAINS
(MOHR et VAN BAREN, 1954)

5	-	2 mm	.....	3.000
2	-	1	.....	636
1	-	0,5	.....	178
0,5	-	0,2	.....	30,6
0,2	-	0,1	.....	6,36
0,1	-	0,05	.....	1,7

- le transport dépend enfin du maintien des conditions de mobilisation des produits entraînés. Ces conditions se trouvent réunies en période de mousson lorsque le sol est saturé d'humidité et protégé par la végétation.

b. Bilan -

- le drainage vertical est considérable en GUINEE, de l'ordre de 400 à 600 mm/an ;

- le drainage oblique est proportionnel à la pente motrice. Les faits d'observation montrent que pour les pentes supérieures à 8 %, la vitesse de circulation est suffisamment forte pour limiter les phénomènes de cuirassement. Pour des pentes inférieures, la circulation plus lente favorise le cuirassement.

Le drainage oblique dépend également de l'imperméabilité plus ou moins prononcée des horizons inférieurs. Si l'on considère un sol dont $D = 200$ mm/an, et en estimant à 50 % la quantité d'eau qui se perd en profondeur, pour une surface de un hectare, dans une région où la pluviométrie annuelle est de 2000 mm, on calcule que 10.000 tonnes d'eau participent au lessivage oblique. Ces valeurs sont d'ailleurs bien en-deçà des quantités qui drainent réellement.

Ces phénomènes se concrétisent par des suintements d'eau le long des profils, et l'apparition de renards dans les horizons lessivés. Ils expliquent également l'importance du réseau hydrographique souterrain.

- les processus d'imprégnations latérales sont liées aux fluctua-

tions des niveaux des nappes phréatiques suspendues. Ils dépendent des caractéristiques de ces battements (durée, rythme), et de la texture des alluvions.

La quantité de matériaux transportés varie considérablement suivant l'époque étudiée. Il est difficile d'en dresser le bilan. Quelques mesures effectuées au FOUTA-DJALLON (Novembre 1956) sur le petit marigot de NINGUELANDE donnent les teneurs moyennes suivantes :

- eau courante 70 mgr/l de Fe_2O_3
- dépôts ferrugineux sur algues ... 4,4 " " "

CHARREAU (1956) signale des valeurs de la résistivité oscillant entre 7 et 63, 25 Mohm.

Les résultats obtenus sur l'activité oxydo-réductrice des eaux recueillies sur les cuirasses, confirment la réalité de ces transports (cf. paragraphe précédent).

On est beaucoup moins renseigné encore sur le bilan du transport des minéraux argileux. La fréquence des sols lessivés en argile montre l'importance de ces phénomènes.

ANALYSE MECANIQUE DE QUELQUES SOLS TYPIQUES en % de terre séchée à 105°

		Terre fine	sables grossiers	sables fins	Linon	Argile	Matière Organi.
La 41		100	5,1	15,7	23,6	31,2	13,5
La 42		100	3,6	19,3	22,7	32,8	9,0
La 43	Labé	100	1,4	15,7	24,1	54,2	2,0
La 44	éluvions	100	3,1	14,4	30,9	47,4	0,8
La 45	schisteuses	92,0	6,7	17,0	36,9	35,1	0,3
La 46		75,0	5,3	16,8	40,2	30,6	0,3
La 47		18,0	34,7	13,6	25,0	21,0	-
IRHO 161	Sol	100	26,1	65,8	1,1	5,7	0,3
IRHO 162	ferrugineux	100	17,0	73,7	3,7	7,0	0,2
IRHO 163	lessivé	100	23,4	52,5	2,1	21,7	0,1
IRHO 164	Darou	100	20,4	54,5	3,7	21,4	-
La 101		100	59,3	22,8	8,9	10,2	1,2
La 102	Pita	100	59,5	22,0	5,5	12,4	0,8
La 103	sur grès	100	44,5	20,5	15,6	20,9	0,8
La 104		93	38,5	27,5	16,2	18,4	0,6
La 105		27	53,3	21,8	5,5	15,6	-

FAURE (information orale) signale qu'en sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior, à BAMBEY, Sénégal), le lessivage de l'argile hors des profils est annuellement de 1 ‰.

C. - LONGUEUR DES TRANSLATIONS -

a. Sens vertical -

La profondeur des horizons d'accumulation, et par suite, les distances parcourues par les sesquioxides, sont très variables. Elles dépendent des types de sols, et de leur position topographique. Ce sont les facteurs qui limitent le drainage (niveau imperméable, horizon colmaté, accumulation argileuse) et ceux qui provoquent l'immobilisation (oxydation, destruction des complexants organiques...) qui règlent la longueur des transports.

PROFONDEUR DU NIVEAU DE CUIRASSEMENT DANS DIFFERENTS TYPES DE SOLS

- En BASSE CASAMANCE : à Bignona - Sol ferrugineux lessivé : accumulation immédiatement au-dessus de la nappe phréatique entre 4 et 6 mètres.
à Guérina - Sol rouge faiblement ferrallitique, idem, mais accumulation entre 5 et 6 mètres.
au Cap-Roxo - Sol rouge faiblement ferrallitique : accumulation juste au-dessus du niveau de la mer, vers 8 à 10 mètres.
- EST SENEGAL : En moyenne dans les sols ferrugineux lessivés, le cuirassement se situe vers 150-250 cm de profondeur.
- HAUTS PLATEAUX DU FOUTA-DJALLON : Sols fortement ferrallitiques, riches en matière organique, cuirassement vers 150-200 cm.
- PLAINE DE BALLAY : Sols alluviaux, cuirassement vers 200-400 cm.
- Vers FARANNAH : Sols ferrallitiques sur gneiss ou sur granites, concrétionnement et cuirassement vers 150-250 cm.

b. Lessivage oblique -

Les distances parcourues sont parfois considérables. Comme pour les

mouvements verticaux, ces phénomènes sont limités par le maintien des conditions de solubilité des hydroxydes.

- A FELLO-BANTAN (région de PITA), le cuirassement fait son apparition au bout de 400 mètres de translation, et devient important après 700 mètres.

- Sur les TIMBI (Hauts-Plateaux), le cuirassement devient effectif entre 500 et 3.000 mètres suivant l'importance des apports latéraux. Le voisinage d'anciens niveaux cuirassés ou de roches facilement altérables (dolérites) abrège les distances parcourues.

- En région subaride (FOUTA TORO), près de LAGBAR, l'accumulation se produit après un lessivage oblique de plus de 2.000 mètres.

Mais il est souvent difficile d'apprécier la longueur des translations en sols évolués, où les cuirasses finissent par envahir tout le paysage. En régions ferrallitiques se superpose aux apports obliques, une individualisation très poussée des sesquioxides sur place. Cependant les cuirasses de bas de pente, les cuirasses de vallées, doivent leur origine surtout à des accumulations exotives. Il en est en partie de même pour les cuirasses d'alluvions.

Il est possible de calculer grossièrement la vitesse de mise en place d'une cuirasse formée par apports extérieurs. En considérant des solutions du sol contenant 5 mgr/litre de Fe_2O_3 (ordre de grandeur donné par BLOOMFIELD, 1955), 50 kg de fer total par hectare et par an peuvent être mobilisés et migrer. Si l'on considère une cuirasse de densité apparente égale à 2,5 (valeur plutôt faible), ce sont par année 100 dm^3 de sol qui peuvent se cuirasser à la suite du lessivage de un hectare. En un siècle sur un bassin de 1 km une cuirasse de 1000 m^2 et de 1 mètre d'épaisseur aura la possibilité de se mettre en place.

IV. IMMOBILISATION

A. - MECANISME -

Les matériaux cuirassés sont presque toujours oxydés. Les processus d'oxydation sont les premiers mécanismes qui président à leur immobilisation.

STARKEY et HARBORSON (cf. BETREMIEUX, 1951) ont montré que :

- le fer, réduit et dissous par les microorganismes, s'oxyde à l'air, et peut précipiter. Le phénomène résulte uniquement de l'augmentation de la teneur en oxygène ;

- l'oxydation du fer en solution, ne provoque pas forcément sa précipitation ; Fe^{+++} peut rester en solution grâce à ses combinaisons avec des radicaux organiques. Quand ces radicaux disparaissent à la suite de l'activité microbienne, les formes ferriques se déposent peu à peu. Il semble qu'il faille attribuer peu d'importance à une oxydation du fer liée à la vie microbienne ;

- Fe^{+++} engagé dans des complexes peu ou pas ionisés comme α -hydroxy-acide est plus facilement oxydé que le fer ferreux ionisé. Les complexes minéraux de Fe^{++} s'oxydent aussi facilement, surtout à l'état de grande dilution ;

- la quantité d'anions protecteurs nécessaires pour complexer une même quantité de fer est plus grande pour Fe^{+++} que pour Fe^{++} . Ces quantités sont proportionnelles à la valence (BASTISSE, 1949).

Pour BLOOMFIELD (1953), il existe deux formes de complexes de fer dans les sols. La partie la moins stable (80 % en moyenne) précipite lorsqu'elle est exposée à l'air ou lorsque le pH croît. La partie plus stable ne précipite pas même après une exposition prolongée à l'air à pH 9.

En résumé, quand la tension en oxygène croît, le fer ferreux tend à se réoxyder, et cela d'autant plus facilement qu'il est plus parfaitement complexé. A pH supérieur à 2,5, le fer ionisé précipite lorsque la solution du sol ne contient pas assez de substances protectrices pour complexer le fer. Au fur et à mesure de la destruction de ces produits, le fer ferrique se dépose peu à peu. La précipitation est totale quand la totalité de complexants a disparu.

Ces résultats de laboratoire rejoignent les faits d'observations sur le terrain. On observe en particulier que :

- le fer ne précipite jamais dans un milieu riche en matière organique. Les minéraux ferrugineux y sont fortement corrodés ;

- la limite supérieure des cuirasses est, en général, plus tranchée que la limite inférieure. Vers le haut, les modifications physico-chimiques

(tension en oxygène, pH etc..) qui caractérisent les horizons meubles bien drainés favorisent une précipitation brutale des sesquioxides plus ou moins complexés. A la base les dépôts sont progressifs et diffus, car ils se trouvent liés à la destruction des complexes organiques qui libèrent peu à peu les formes oxydées.

Le rôle des microorganismes dans la précipitation du fer ferrique, ne joue que sur la disparition des complexants organiques. Leur rôle en tant que transporteur d'oxygène paraît limité. L'action des petites algues, si abondantes dans les eaux qui parcourent les bords en saison des pluies, est beaucoup plus sensible. Il se produit des dépôts d'hydroxydes de fer sur les thalles, et formation de pellicules indurées ocre-jaunes.

La température a une influence bien caractérisée sur tous ces phénomènes, ce qui confirme l'action microbienne. Elle explique pourquoi le fer précipite plus vite et en milieu moins oxydant dans les sols tropicaux que dans les sols tempérés.

Lors de la présence de fer réduit sous forme bicarbonatée, l'augmentation de la tension en oxygène dans les sols permet la transformation en carbonate moins solubles qui s'hydrolyse facilement et précipite. BETREMIEUX (1951) signale que ce type d'évolution peut compromettre partiellement la stabilité de certaines combinaisons complexes initialement ferreuses.

L'immobilisation du manganèse participe à un mécanisme différent. Ce corps se réduit facilement et migre sous forme peu ionisée. Il ne manifeste aucune tendance à se déposer sous une forme oxydée supérieure. BETREMIEUX (1951) pense que la formation du complexe manganoux n'entraîne pas un abaissement suffisant du potentiel normal apparent du système $Mn^{(2+n)} + ne \rightleftharpoons Mn^{++}$ pour permettre l'oxydation de Mn à l'air. Dans les sols, l'oxydation chimique de Mn^{++} ne se réalise de façon marquée que pour des pH alcalins. Le manganèse précipite sous forme d'hydroxyde manganoux qui s'oxyde à l'air. Ce mécanisme permet d'expliquer les précipitations de Mn : au contact des roches calcaires et sur les surfaces d'altération des roches basiques.

Dans certains horizons humifères (types hydromorphes de pays arides), la production de gaz carbonique est suffisante pour provoquer cette préci-

pitation sous formes de petites pisolithes - Mn^{++} précipite sous forme de carbonate, puis, quand la tension en CO_2 diminue, le carbonate s'hydrolyse ou se transforme en hydrate manganoux qui s'oxyde et précipite.

De toute façon, le manganèse en solution est beaucoup plus stable que le fer ferreux, et il s'élimine des sols avec beaucoup de facilité.

Si dans le cas du fer ferreux, les bactéries transporteurs d'oxygène ne semblent jouer qu'un rôle très réduit, il en est tout autrement pour le manganèse. Certains champignons peuvent également participer à ce processus (BROMFIELD et SKERNE, 1954).

Un facteur indirect, mais non négligeable de l'immobilisation des matériaux transportés est la dessiccation. Celle-ci agit :

- en concentrant les solutions du sol au-dessus du seuil de solubilité des différents complexes. Ce mécanisme contribue en partie à la précipitation des sesquioxides en fin de saison des pluies ;
- elle limite l'activité microbienne, et par suite la production de complexants organiques ;
- elle provoque la floculation des solutions d'hydroxydes et leur vieillissement.

L'évaporation au niveau des racines est souvent suffisante pour amener, dans certains horizons, l'immobilisation des constituants oxydés. Le rapprochement des variations du bilan hydrique des sols tropicaux et des périodes actives d'évolution des hydroxydes montre que ces processus se réalisent presque uniquement en période de grande humidité (saison des pluies, inondation). En saison sèche il se produit une latence de ces mécanismes qui peut rendre certaines réactions irréversibles (cristallisation par exemple).

B. - CAUSES -

Les causes de l'immobilisation découlent de son mécanisme.

1. Augmentation de la tension d'oxygène -

L'augmentation de la tension d'oxygène découle de l'aération du milieu sol qui est fonction de la texture, de la structure et de l'humidité. Elle

se trouve également liée à l'activité biologique.

- Texture du sol -

Toute variation de la texture vers l'augmentation des matériaux grossiers favorise l'immobilisation. Ce phénomène est particulièrement bien marqué dans les alluvions hétérogènes. Les niveaux les plus grossiers sont transformés en grès, conglomérats, poudingues et brèches à ciments ferrugineux. L'aération du milieu influe également la formation de dépôts ferrugineux le long des racines. De même dans les sols où le cuirassement est déjà amorcé, les sesquioxides se déposent de façon préférentielle le long des alvéoles et canaux qui les parcourent.

2. Action du drainage -

L'aération du milieu peut provenir d'un départ accéléré de l'eau de percolation. C'est le phénomène habituel qui se produit le long des axes de drainage naturel. D'une façon générale, tout accident de terrain qui provoque un abaissement du niveau de base, améliore l'aération du milieu et favorise l'immobilisation des hydroxydes. Ces processus président à la formation des cuirasses de "galerie". De même la répartition des cuirasses actuellement en formation sur le plateau de LABE, sous forme d'auréoles autour des ravines d'érosion qui collectent les eaux de ruissellement, découle du même phénomène.

L'augmentation du drainage en bordure des décrochements de relief, explique l'épaisseur énorme de certaines cuirasses anciennes. L'appel des eaux de percolation et l'aération du milieu provoquent une accumulation exceptionnellement forte de sesquioxides en ces endroits particuliers. Ces phénomènes déterminent la coupe biseautée des cuirasses qui s'implantent actuellement le long des zones de drainage naturel.

3. Manque de matériau organique -

Le manque de matière organique diminue considérablement l'activité de la vie microbienne, et, corrélativement, les teneurs en gaz carbonique de l'atmosphère du sol. Il en résulte une plus grande oxygénation du milieu, d'où une tendance à l'immobilisation des sesquioxides mobilisés.

La diminution des teneurs en matière organique peut être imputable à plusieurs processus de dégradation :

- diminution des apports organiques par la végétation :
remplacement de la forêt par la savane ;
déboisement, mise en culture.
- accélération de la minéralisation de la matière organique :
augmentation du drainage ;
travail du sol.
- décapage des horizons humifères par l'érosion.

Tous ces processus qui modifient l'activité microbienne, provoquent une augmentation sensible de la tension en O_2 de l'atmosphère du sol.

4. Adsorption sur les argiles -

En milieu saturé, la kaolinite H adsorbe l'hydroxyde de fer avec formation d'une structure désordonnée où chaque hydroxyde engendre une nouvelle surface sur laquelle se fixe un nouvel hydroxyde (FRIPIAT, 1952). Des phénomènes identiques ont été signalés et étudiés par BLOOMFIELD (1955). Il peut y avoir adsorption d'ions ferreux sur des ions ferriques. De tels assemblages possèdent une capacité infinie d'adsorption.

Les assemblages désordonnés contribuent à la formation du pseudo-sable. Il en résulte une amélioration du drainage, donc de l'aération, avec possibilité d'immobilisation par simple précipitation sur les microconcrétions déjà formées. On peut admettre un mécanisme de ce type dans la formation des concrétions lors de la disparition de la forêt.

5. Dessication -

Qu'elle soit liée à une accélération du drainage, à des phénomènes d'évapotranspiration, ou plus simplement encore à des facteurs atmosphériques, la dessication des sols contribue pour une part importante à l'immobilisation des sesquioxides dans des conditions excessivement variées. Ces phénomènes expliquent la plus grande intensité des processus de cuirassement sous climat de savane que sous climat forestier :

- sous savane, en saison des pluies, il y a mobilisation et lessivage intense ; en saison sèche, on assiste à une immobilisation brutale par

manque d'eau, avec un cuirassement généralisé;

- sous forêt les conditions atmosphériques moins brutales, l'humidité constante, favorisent la mobilisation des sesquioxides et l'exportation l'emporte sur l'immobilisation.

- la dessiccation qui provoque l'aération du sol amène la formation de cuirasses dites "de nappe" dans les zones de battement de nappes phréatiques dans les alluvions.

- Enfin, la concentration des racines^{en} des niveaux bien définis, permet non seulement l'accumulation des sesquioxides, mais également par leur action sur la diminution de l'humidité du milieu, une immobilisation plus ou moins partielle de ceux-ci. Le concrétionnement des sols de savane découle de ce processus. Ce concrétionnement est particulièrement intense sous végétation herbacée, immédiatement après la disparition de la forêt.

6. Milieu cuirassé -

Par leur structure physique (nombreux pores et canalicules), les milieux déjà cuirassés sont particulièrement favorables aux processus d'immobilisation. Les cuirasses possèdent en elles-mêmes le maximum de facteurs favorables à l'immobilisation des sesquioxides : aération, manque de matière organique, surfaces actives d'hydroxydes, etc... Il en résulte que la présence d'un horizon cuirassé dans un paysage donné constitue un danger, non seulement par sa nature propre, mais surtout par l'orientation qu'il tend à donner au dynamisme des sesquioxides du sol. Il amorce une réaction en chaîne.

La superposition des phénomènes de cuirassement actuels sur les anciennes cuirasses est l'un des aspects de ces processus, qui contribue à la complexité et l'hétérogénéité des formations indurées.

V. INDURATION

A. - FAITS CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES -

La comparaison des formes minéralogiques et des pourcentages de ses-

quioxydes dans des cuirasses ayant atteint des stades différents d'induration ne donne pas de résultats bien nets. On peut, par exemple, observer des cuirasses contenant de 15 à 20 % de sesquioxydes parfaitement indurés, alors que des horizons en contenant plus de 70 % peuvent rester meubles (Cas de la couche C du gisement de minerais de fer de CONAKRY).

De même, des cuirasses formées de minéraux cryptocristallins peuvent se montrer plus durcies que des cuirasses contenant des hydroxydes bien cristallisés. D'autre part, si la deshydratation du milieu semble indiquer une certaine tendance au durcissement, ce fait n'est pas généralisable.

Il apparaît que, plus que dans la composition chimique et minéralogique des cuirasses, il faille rechercher l'origine de l'induration dans un assemblage ordonné et continu des différents éléments constitutifs entre eux.

B. - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES CUIRASSES FORTEMENT INDUREES -

ALEXANDER L.T. et ses collaborateurs (1956) ont montré que :

- les cuirasses dures sont généralement denses. Elles ont peu de pores. L'augmentation de la densité provient soit d'un apport extérieur, soit du tassement du matériau à la suite du lessivage d'éléments solubles.

- la deshydratation semble augmenter l'induration. Mais cela n'est pas absolu.

Ces conclusions n'indiquent que des tendances.

Certaines cuirasses très poreuses, du type alvéolaire, peuvent être beaucoup plus dures que certaines cuirasses plus compactes.

Il semble que l'induration globale du matériau soit sous la dépendance :

- d'un assemblage plus ou moins continu des éléments constitutifs ;
- de l'état de vieillissement de ces éléments, de leur état de cristallisation, et plus que de cet état, de la taille des cristaux.

L'examen morphologique et microscopique de différentes cuirasses montre toujours la présence de films plus ou moins épais, très durs, qui recouvrent les cavités et les canalicules qui parcourent le matériau induré (D'HOORE, 1954). Ces films sont le plus souvent ferrugineux et le degré

d'induration semble lié aux teneurs en fer de ces pellicules.

D'autres fois, les éléments indurés montrent des phénomènes de pseudo-morphose à partir des minéraux préexistants. C'est le cas de la formation des cuirasses sur dolérites. Les plagioclases ont leur squelette conservé partiellement par la mise en place de fins cristaux de gibbsite qui conservent la rigidité à l'ensemble. Sur ce squelette cohérent, viennent se déposer secondairement des sesquioxydes de fer, soit sous forme de pellicules, soit sous forme de pâte qui cristallisent par vieillissement. Les phénomènes de tassement et d'effondrement postérieurs contribuent, en concentrant l'ensemble, à accroître l'induration de toute la masse.

Le degré d'induration des cuirasses jeunes dépend fortement du mode d'immobilisation des sesquioxydes :

- quand l'immobilisation se fait par précipitation, l'induration est presque immédiate, sans que l'on constate un stade de dessiccation. On observe tout au plus une légère rétractation de l'ensemble avec formation de craquelures qui se nourrissent secondairement.

- si, par contre, l'immobilisation se fait par floculation, cas le plus général, il y a dépôts de films "colloïdaux" sur les parois des canalicules sans que l'on constate une induration obligatoire. C'est ainsi qu'en saison des pluies, on observe fréquemment une gelée, riche en fer, qui tapisse les interstices (grande richesse en algues). Suivant l'intensité de la dessiccation qui agit sur ces dépôts et la durée de cette action, il se produit un phénomène de vieillissement de la pâte qui se cristallise lentement, les minéraux hydratés s'orientant les uns sur les autres.

Mais l'induration précède généralement ce vieillissement qui ne fait que la stabiliser. On peut supposer que la dessiccation du milieu provoque une augmentation notable de l'attraction des molécules avec adsorption sur les surfaces déjà formées. Le dépôt successif de gaines qui s'emboîtent les unes dans les autres, donne une résistance supérieure à celle d'une accumulation homogène.

Les deux cas extrêmes décrits ci-dessus correspondent à des milieux pédogénétiques bien définis. Le premier est lié à des phénomènes d'hydromorphie, le second à des dépôts par oxydation en milieu bien drainé. Mais la majorité des cas ^{est} ~~sont~~ pratiquement beaucoup moins bien tranchés et tous les intermédiaires entre ces deux processus peuvent être observés. En

conclusion, c'est le squelette qui provoque surtout l'induration.

C. - ESSAI D'INTERPRETATION -

A la vue de ces différentes données, il est possible d'interpréter le mécanisme de durcissement des formations enrichies en sesquioxides à la suite de la disparition de la forêt. On observe souvent sous forêt, à faible profondeur, dans la zone d'action privilégiée des racines, un horizon d'accumulation d'hydroxydes. La structure de cet horizon est légèrement feuilletée. Il présente la morphologie d'une cuirasse, sans en avoir l'induration. On constate, cependant, que cette structure partiellement alvéolaire est provoquée par la mise en place d'un squelette de sesquioxides légèrement plus cohérent que l'ensemble. Cet horizon, découpé en briques et mis à l'air, durcit suffisamment pour être utilisé dans la construction. Mais l'induration n'est jamais très forte. On observe que la dessiccation provoque la formation en surface de films ferrugineux, qui cimentent peu à peu l'ensemble. C'est la remise en mouvement des hydroxydes libres sous l'action des agents atmosphériques (évaporation) qui provoque cette redistribution vers la surface. Cette action ne joue que sur de faibles quantités d'hydroxydes préalablement mobilisés sur place. D'autre part, les mouvements vers la surface par tension capillaire sont très limités ; pratiquement l'induration ne se produit que sur 1-2 cm d'épaisseur en surface. Ce phénomène est constant sur toutes les coupes exposées à l'air. La concentration des sesquioxides vers les surfaces affleurantes est liée aux mouvements capillaires de l'eau du sol. L'immobilisation l'emportant sur la mobilisation, les hydroxydes intervenant dans le périmètre d'action de ces processus sont rapidement utilisés, et le phénomène s'arrête. A N'ZEREKORE les matériaux cuirassés employés pour la construction de la résidence ne montrent pas au bout de 30 ans d'exposition à l'air, de transformations appréciables.

Sous l'action des agents naturels, la mise à nu des horizons enrichis en sesquioxides provoque une induration beaucoup plus poussée et prononcée. En effet, l'affleurement de ces niveaux fait suite à des phénomènes d'érosion. Il ne se fait donc pas brutalement. Des peuplements végétaux, généralement herbacés, s'implantent sur ces horizons et y provoquent une mobili-

sation intense des sesquioxides constitutifs. Cette mobilisation suivie de lessivage, produit une imprégnation des horizons sous-jacents. Il en résulte une concentration excessivement forte en fer dans les horizons proches de la surface, horizons qui se colmatent. Des gravillons se trouvent libérés, dans les horizons superficiels. Ces gravillons se cimentent plus ou moins partiellement, à la suite d'apports obliques.

Donc contrairement au premier cas considéré, la végétation permet à l'accumulation de se poursuivre. Il en résulte une plus grande possibilité d'induration, par la formation secondaire de films et de cortex autour des éléments déjà cohérents de ces sols.

C H A P I T R E 12

LES CYCLES DE CUIRASSEMENT EN GUINEE FRANCAISE

I. DISPARITION DES NIVEAUX INDURES

L'étude de la formation des sols juvéniles sur cuirasses mises à l'affleurement, celle de l'évolution du modelé en régions cuirassées, prouvent que ces niveaux peuvent être repris par les agents de la décomposition des roches, et participer à un nouveau cycle d'évolution. Au même titre que toute autre formation pétrographique superficielle, les cuirasses sont appelées à disparaître plus ou moins rapidement. Même si l'on se place à l'échelle des temps pédologiques, la notion d'irréversibilité des cuirasses, sur laquelle de nombreux auteurs ont tant insisté, n'est qu'une simple vue de l'esprit (GREENE, 1950). A l'échelle humaine un examen superficiel des horizons indurés les fait apparaître comme relativement stables. Cependant des études détaillées montrent que les ciments ferrugineux évoluent rapidement; que des formations arborées peuvent s'établir sur les cuirasses et les aneublir plus ou moins profondément; que les agents de l'érosion déblaient avec intensité les formations démantelées. On assiste, même sous forêt hygrophile à une évolution sensible du modelé (SCHNELL, 1949).

A. - LES FAITS -

La disparition des niveaux cuirassés est : soit une conséquence de la mise à l'affleurement, soit, ^{un} résultat d'un changement dans l'évolution du sol en voie de cuirassement.

1. Disparition des cuirasses affleurantes -

Les cuirasses mises à l'affleurement sont ordinairement hors d'atteinte des fluctuations des niveaux hydrostatiques du sol. Elles représentent un horizon relativement aride. Le milieu est poreux, oxydant, et les sesquioxides bien cristallisés s'hydratent difficilement. Ces caractéristiques sont une conséquence de l'abaissement des niveaux de base qui ont amené l'apparition de l'érosion accélérée, et par suite, la mise à l'affleurement des horizons les plus résistants. Les peuplements végétaux sont pauvres et mal développés. Dans de telles conditions les phénomènes de désagrégation l'emportent sur ceux de l'altération.

a - Etude de l'évolution d'un horizon induré en voie de disparition (cf. profils V A et B).

Les cuirasses mises en relief deviennent la proie de phénomènes normaux de l'érosion. Il se produit des effondrements par sapement à la base des formations meubles sous-jacentes aux horizons indurés avec souvent des mouvements de masse le long des pentes (FOURNIER, 1956). Il en résulte un effritement en blocs plus ou moins grossiers des niveaux durcis, qui déboulent le long des pentes pour former à leurs pieds des amas chaotiques. Cette action jointe à l'usure mécanique des débris par les eaux sauvages provoque la formation de gravillons et de matériaux fins qui se trouvent entraînés au loin. En Août 1955, j'ai observé des dépôts de paillettes d'hématite, dans des rigoles d'érosion qui s'étaient formées à la base de cuirasses fossiles, suspendues, en voie de démantèlement (région de SERIBA).

b - Etude de l'échantillon de cuirasse en voie de disparition -

L'examen morphologique et minéralogique des assemblages indurés montre que les processus de dégradation physique et de lessivage l'emportent très nettement sur les processus de rehydratation et de resilicication (ALEXANDER 1956). Dans les premiers stades, il y a prédominance des mécanismes de décomposition physique sur les réactions chimiques. On assiste tout d'abord au déblaiement par les eaux de percolation des matériaux les plus fins et meubles qui remplissent les alvéoles du squelette ; puis à un ébranlement de la masse indurée qui se réduit en débris de plus en plus fins, et qui

se trouvent à leur tour entraînés par les eaux de ruissellement.

2. Changements dans l'évolution d'un sol cuirassé -

Il peut arriver, lorsque les conditions du milieu naturel se trouvent modifiées que des sols en voie de cuirassement évoluent vers la disparition de leurs niveaux indurés. Les exemples de sols forestiers formés sur cuirasses à DALABA et à UENDOU sont typiques à cet égard.

Dans un premier stade, la végétation herbacée s'implante par l'intermédiaire du moindre interstice où se sont accumulés des produits meubles, terreux. Le tapis herbacé amène peu à peu la formation d'un horizon d'humus brut qui possède une action de dissolution intense vis-à-vis des ciments ferrugineux. La cuirasse se trouve ainsi partiellement ameublie en surface, et la formation de ce microsol, souvent enrichi de matériaux terreux apportés par les termites, permet le développement de peuplements arbustifs d'abord, puis arborés ensuite. Les racines ligneuses complètent le démantèlement, le milieu s'ameublit et s'approfondit. Les nouvelles conditions écologiques (humidité permanente) favorisent les processus d'altération chimique. Ces derniers sont d'autant plus intenses que les débris de cuirasses se trouvent plus intimement mélangés à la masse meuble et humifère.

En GUINEE FORESTIERE, les cuirasses fossiles ont presque partout disparu. On observe quelquefois sur les reliefs les plus élevés, la présence de blocs de cuirasses plus ou moins pourris, vestige de l'ancien niveau induré. Les blocs effondrés le long des pentes, se délitent en une masse friable, riche en gravillons durcis, qui se mélangent aux sols actuels; Les solutions du sol participent à la dissolution presque complète des ciments ferrugineux, ce qui provoque l'ébranlement des cuirasses dont les matériaux résiduels subissent un enrichissement relatif en alumine. Dans un stade ultime, ces derniers produits se trouvent à leur tour dissous et entraînés vers les niveaux inférieurs où ils participent à l'évolution des sols. Ces processus peuvent se réaliser sur des horizons cuirassés non affleurants. Ils amènent la formation de sols gravillonnaires.

B. - CONSEQUENCES DE L'EVOLUTION REGRESSIVE DES CUIRASSES -

1. Fossilisation des horizons cuirassés -

Une des conséquences les plus importantes de l'abaissement des niveaux de base, est un approfondissement progressif du front de cuirassement. Les conditions nouvelles d'humidité ralentissent l'intensité de l'altération des roches sous-jacentes et amènent peu à peu l'induration du sol presque jusqu'au contact de la roche fraîche. Les imprégnations ferrugineuses prennent le pas sur tout autre processus et fossilisent les sols dans leur stade d'évolution. C'est ainsi qu'il est extrêmement fréquent d'observer dans les cuirasses anciennes de blocs de roches, plus ou moins altérés entourés d'un cortex ferrugineux qui les a figés dans leur état d'altération. Les "bove" qui culminent sur les Hauts Plateaux du FOUTA DJALLON supportent des cuirasses constituées d'un squelette de gibbsite imprégné d'oxydes de fer qui sont les formes fossilisées des horizons d'altération en "pain d'épice" des dolérites. Il en est de même pour les cuirasses bauxitiques formées à partir des schistes sériciteux qui montrent les traces des minéraux primitifs.

Toutes ces formations indurées ont protégé les formes du modelé contre les facteurs de l'érosion normale (cf. Chapitre 10). Il en résulte en premier lieu un enrichissement de ses reliefs en matériaux résiduels (les plus beaux gisements de bauxite se trouvent sur ces formations), et, en second lieu, une inversion de relief bien caractérisée.

Le faciès actuel des cuirasses fossiles est fonction du type d'évolution qui a contribué à leur formation, et des fluctuations écologiques qu'elles ont eu à supporter. Les cuirasses fossiles fortement alumineuses dérivent obligatoirement des sols ferrallitiques. La conservation des faciès ferrugineux exclut toute influence prolongée d'un milieu forestier équatorial.

2. Influence de l'évolution régressive sur le cuirassement des niveaux inférieurs -

Suivant les conditions écologiques du milieu de dégradation des cuirasses, les produits du démantèlement et de la dissolution participent à plusieurs processus :

- ils amènent l'accumulation d'éboulis de pente ;
- ils contribuent à la mise en place de grandes plages d'épandage de gravillons ;

- ils contribuent à la formation de cuirasses de bas de pente et de cuirasses de nappes ferrugineuses ;
- ils sont exportés par drainage jusqu'aux océans.

Ainsi se constitue dans le paysage une succession de faciès cuirassés dont l'étude permet de reconstituer l'histoire de leur mise en place et par suite d'ancrer des essais stratigraphiques.

II. CYCLES DE CUIRASSEMENTS

L'étude de la formation et de l'évolution des horizons cuirassés en sols guinéens montrent que ces phénomènes sont liés aux cycles des sesquioxides. Un cycle est complet lorsque partant de l'individualisation des matériaux constitutifs qui dérivent de l'altération d'une roche, on aboutit à leur nouvelle individualisation après être passé par un stade cuirassé. Ce sont les conditions pédogénétiques de chaque stade du cycle des oxydes et hydroxydes qui règlent la marche du phénomène de cuirassement.

A. - CONDITIONS PEDOGENETIQUES DES DIFFERENTS STADES DU CUIRASSEMENT DES SOLS -

1. Individualisation des constituants -

a - Altération des minéraux des roches -

La libération de l'alumine en quantité importante est obligatoirement liée à des phénomènes de ferrallitisation. Pratiquement, ces derniers se réalisent en milieu tropical guinéen dès que les précipitations dépassent 1.200 mm/an. La libération du fer est intense. Mais celle-ci peut aussi se réaliser en climat beaucoup plus sec. Elle devient appréciable dès l'isohyète 500 mm.

En dehors de ces facteurs climatiques, les conditions du drainage pilotent la structure minéralogique des minéraux de néoformation.

b - Evolution de sédiments contenant des oxydes non combinés -

Le cas le plus fréquent est celui des formations argilo-sableuses du Continental Intercalaire et Terminal qui affleurent largement au NIGER, DAHOMEY, SOUDAN et SENEGAL. Les conditions physico-chimiques qui orientent l'individualisation du fer contenu dans ces sédiments sont extrêmement larges. Le fer se trouve déjà libéré sous climat soudano-sahélien. Cette libération devient intense en régions climatiques soudaniennes et guinéennes

c - Dégradation des cuirasses fossiles -

La libération des sesquioxydes se trouve conditionnée par les facteurs qui règlent la décomposition de ces niveaux. Ceux-ci sont optimum sous les climats soudanais et guinéens. Les peuplements végétaux et particulièrement les associations herbacées des savanes ont une influence considérable sur la dissolution des sesquioxydes ferrugineux.

2. Mobilisation -

Les conditions de mobilisation des différents oxydes sont extrêmement variables suivant les matériaux considérés :

L'alumine est un corps particulièrement stable, même en milieu ferralitique. Cependant sous peuplements forestiers hygrophiles il finit par être plus ou moins partiellement mobilisé. Mais la durée d'existence de ses complexes pseudo-solubles est brève.

Le fer et surtout le manganèse sont extrêmement mobilisables et les conditions de cette mobilisation sont très variées. Elles dépendent des conditions d'humidité du milieu (réduction) et de l'évolution de la matière organique (formation de complexants pseudo-solubles).

En résumé :

- en climat soudano-sahélien, la mobilisation porte uniquement sur le manganèse, puis sur le fer. La durée des formes mobilisées sont fugaces ;

- en climat soudanien et soudano-guinéen, le manganèse se trouve exporté au loin. Le fer est intensément mobilisé surtout sous l'influence des peuplements herbacés. Mais il a une durée de vie assez courte qui le fait se déposer avec facilité.

- en climat guinéen humide, l'alumine se trouve partiellement

mobilisée, mais ses complexes sont peu stables. Le fer est fortement mobilisé et exporté au loin, ou adsorbé sur des argiles. Il se trouve fréquemment entraîné jusqu'aux océans.

3. Translations -

Les mouvements des constituants des cuirasses dépendent de l'humidité des sols et de la gravité. Ils résultent donc de la conjonction entre la nature des précipitations et le modelé.

- en régions sèches, les transports ont lieu sous forme d'éboulis le long des pentes ;

- en régions tropicales humides les "mouvements se font soit sous forme solide (cuirasses colluviales), soit sous des formes pseudo-solubles par mouvements obliques et latéraux (cuirasses de bas de pente, cuirasses de nappe) ;

- en régions équatoriales, les conditions hydriques provoquent un transport jusqu'à la mer.

4. Concentrations -

L'accumulation des matériaux transportés dépend du modelé et du drainage interne des sols.

- en région sahélienne le régime des précipitations ne permet pas la constitution d'un réseau hydrographique. L'eau et par suite les produits entraînés s'accumulent dans des cuvettes ;

- en région soudanaise, le modelé est celui de bas plateaux subhorizontaux et de vastes plaines d'alluvionnement mal drainées. La concentration du fer s'impose dans tous les sols (sols ferrugineux tropicaux) ;

- en région guinéenne, qui est par excellence le domaine de la forêt humide, le modelé est celui des collines où les sols sont ordinairement bien drainés. Les processus de lessivage l'emportent sur l'accumulation.

5. Immobilisation -

Les phénomènes d'immobilisation sont antagonistes de ceux de la mobilisation.

- en région sèche l'immobilisation se produit rapidement et brusquement après l'arrêt de précipitations ;

- il en est de même en toute région tropicale sèche ou humide. En particulier les régions soudanaises qui présentent des conditions de mobilisation extrêmement larges en saison des pluies, voient celles-ci s'arrêter brusquement avec l'apparition de la saison sèche. Ces facteurs climatiques se trouvent accusés par la disparition des peuplements herbacés sous l'action des feux de brousse, et, l'abaissement des nappes phréatiques liées aux fluctuations du régime des rivières ;

- sous forêt hygrophile la saturation permanente du sol, le renouvellement continu du stock organique limitent les processus d'immobilisation des sesquioxydes.

6. Induration -

L'induration des horizons enrichis en sesquioxydes résulte de phénomènes de dessiccation, d'oxydation et de précipitation. Ces derniers se trouvent liés au dessèchement du sol qui amène la concentration des solutions à la destruction des complexants organiques qui ne sont que faiblement renouvelés en saison sèche. Il s'ensuit que l'induration suit ordinairement l'immobilisation.

On assiste donc à un antagonisme entre les processus de libération, de mobilisation et de transports des différents oxydes constitutifs, et les processus d'accumulation, d'immobilisation et d'induration.

Les premiers se trouvent favorisés en milieux humides qui supportent des peuplements végétaux denses, et dont le modelé est accusé. Les seconds découlent des conditions inverses propres aux milieux de savanes.

Lorsque les conditions climatiques sont accusées : milieu tropical sec, ou milieu équatorial humide, les phénomènes de cuirassement ne peuvent se réaliser car l'un ou l'autre des groupes de processus d'évolution prédomine. Pour qu'un sol puisse se cuirasser, il est indispensable que le cycle des constituants de cuirasses puisse se réaliser complètement. Ces conditions se trouvent remplies dans les régions à climat tropical humide. Mais certaines conditions locales : présence d'un matériau riche en sesquioxydes libres, végétation dégradée, modelé plus ou moins accusé, fluctuations d'un niveau hydrostatique, viennent élargir l'éventail des conditions du cuirasse-

ment des sols, qui explique l'extension de ces formations en GUINEE FRANCAISE et plus généralement en A.O.F.

B. - BILAN DU CUIRASSEMENT DES SOLS EN GUINEE FRANCAISE -

Les cuirasses se répartissent différemment dans les sols suivant les régions où se réalise leur mise en place.

1. Sols ferrallitiques -

a - Zones forestières humides -

D'une façon générale les sols sont peu ou pas cuirassés. Ce sont pour la plupart des sols ferrallitiques rouges ou beiges, avec ou sans concrétions. Les horizons entièrement indurés sont rares, et dans ce cas, les sols où ces phénomènes se produisent correspondent à des accidents topographiques (profil I. E) ou à des actions d'hydromorphie temporaire (profil I. F).

On observe néanmoins, sur les plus hauts reliefs, les traces d'une ancienne surface d'érosion cuirassée, actuellement disparue presque partout.

b - Zones forestières sèches, savanes boisées -

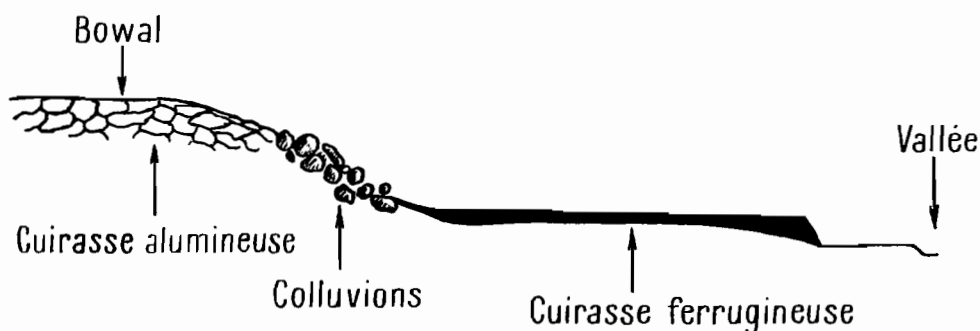
Les sols sont pour la plupart fortement cuirassés. On observe fréquemment plusieurs surfaces d'érosion qui ont orienté des cycles de cuirassement.

- en régions accidentées, donc bien drainées (DALABA, MAMOU, KINDIA), les cuirasses qui s'étendent sur les niveaux les plus élevés et qui, par conséquent, sont les plus anciennes, sont toujours fortement alumineuses. Les teneurs en fer deviennent de plus en plus fortes au fur et à mesure que les cuirasses se succèdent le long des pentes vers les niveaux inférieurs.

Les cuirasses alumineuses se situent au sommet des collines et sur les hauts boyés. Elles sont pour la plupart fortement démantelées, et parfois partiellement remaniées. Leurs gisements qui intéressent des surfaces quelquefois importantes sont extrêmement complexes. On y observe des effondrements, des cisaillements, des glissements d'horizons les uns par rapport aux autres. La structure dominante est scoriacée. Leur puissance peut atteindre et même dépasser 15 à 20 mètres.

Les niveaux inférieurs forment des bas plateaux, des glacis de pied-monts, de vastes cuvettes dont les pentes cuirassées ne dépassent pas 8 %. Elles donnent un modelé en escalier assez bien caractérisé qui fait suite à des formes monoclinales. Très résistantes à l'emprise de l'érosion hydrique, elles sont généralement presque complètement dénudées, et supportent en saison des pluies des peuplements graminéens. Elles sont essentiellement ferrugineuses, et elles contiennent de nombreux matériaux clastiques. Leur structure est ordinairement feuilletée. Leurs épaisseurs ne sont jamais fortes. Ces cuirasses sont dominantes dans le pays de MEDINA-OULA, TOUGUE, SERIBA.

Cuirasses alumineuses et cuirasses ferrugineuses se succèdent l'une aux autres par des zones d'éboulis qui passent à des cuirasses colluviales.



Cette succession très constante en MOYENNE GUINEE s'explique par la mobilisation différentielle des sesquioxydes sous l'influence du drainage oblique. Le fer facilement mobilisé est lessivé des formations hautes qui s'enrichissent en matériaux résiduels (alumine). Il s'accumule dans les parties basses pour former les bové inférieurs.

- en régions planes et mal drainées (pente inférieure à 7-8 %), sur les plateaux des TIMBI, du LABE, par exemple, le cuirassement des sols est plus spécifique. On observe toujours d'anciens reliefs cuirassés où dominent les faciès alumineux. Dans les sols actuels formés de matériaux meubles, les cuirasses s'imposent en bordure des zones de drainage naturel : bordures de ravins, de vallées. Les cuirasses forment des auréoles autour de ces sites, mais l'extension des mécanismes de lessivage oblique à partir des reliefs fossiles amène peu à peu l'extension du cuirassement sur toutes les surfaces topographiques monoclinales. Le fer exotif se

superpose ~~sur~~ les produits ferrallitiques de l'évolution des sols. Les structures les plus fréquentes sont les structures pisolithiques, alvéolaires fines et feuilletées. L'épaisseur excède rarement 150 à 200 cm. On observe des effondrements qui collectent les eaux sauvages (WENDOUD des Foulah).

Les horizons cuirassés des sols actuels ne sont pas visibles de la surface du sol, sauf en limite des décrochements de relief où ils se trouvent mis à l'affleurement.

2. Sols ferrugineux tropicaux -

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés sont fréquemment cuirassés. Ils forment des bas plateaux subhorizontaux qui dominent les vallées par des corniches ferrugineuses indurées avec formation du modelé en escaliers. Le fer qui circule facilement à travers ces sols se concentre dans les dépressions qui orientent le mouvement des solutions du sol. Il en résulte un cuirassement généralisé de toutes les zones déprimées, avec extension progressive dans le paysage. Ce développement provoque la disparition des peuplements arborés. Dans les stades ultimes d'évolution les plateaux ferruginisés se trouvent entièrement dénudés (régions nord de la GUINÉE). En bordure des plateaux entaillés par la GAMBIE et ses affluents, se développent des niveaux cuirassés importants qui dominent les vallées. Sur les surfaces tabulaires s'amorcent des petites clairières où la cuirasse affleure. Vers le Sud, les clairières se multiplient et finissent par se joindre. On n'observe plus que des bouquets arborés relictifs au milieu de grandes surfaces herbeuses. Plus au Sud encore vers KIFFAYA - SERIBA, les horizons cuirassés affleurent partout. Quelques peuplements arbustifs et arborés subsistent sur les parties démantelées et anéanties.

La majorité de ces cuirasses sont ferrugineuses. Leur structure est pisolithique ou feuilletée.

3. Sols subarides -

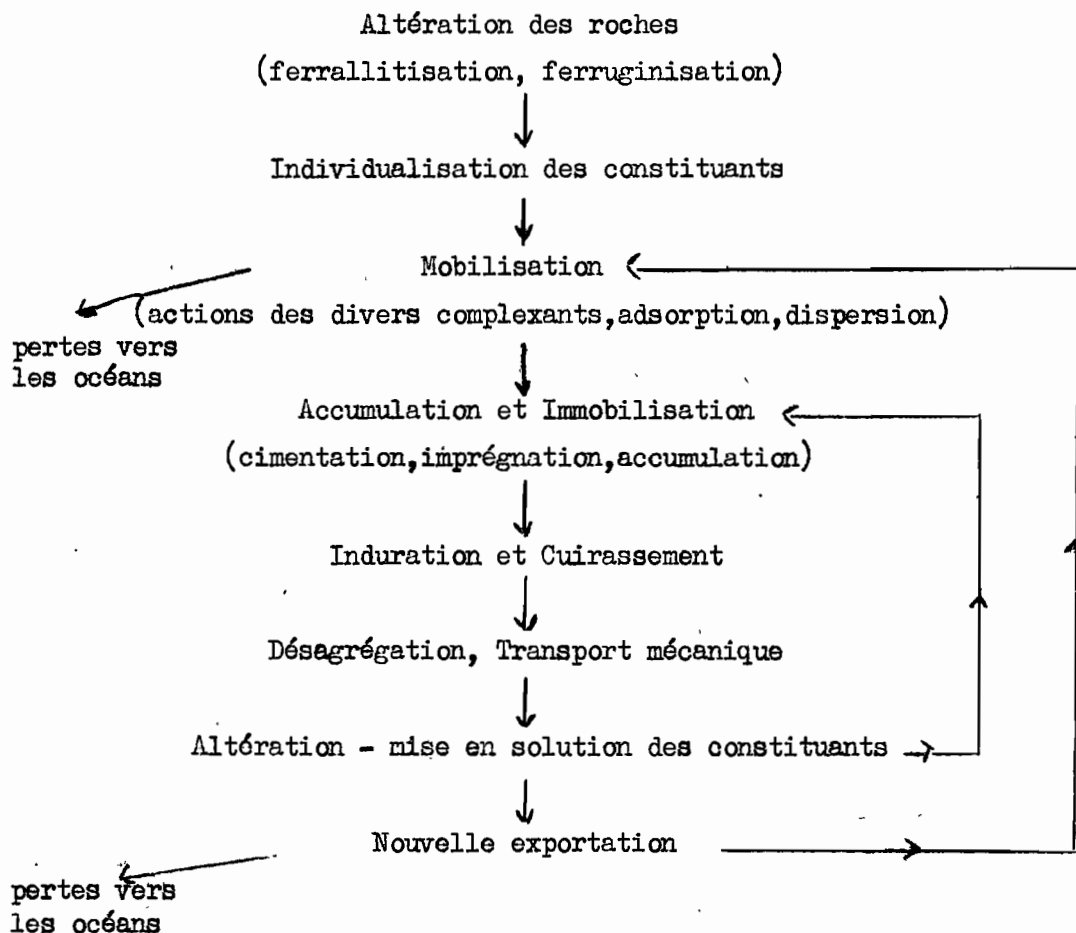
Les quelques cuirasses observées se développent uniquement en bordure des zones d'accumulation des eaux superficielles autour desquelles, elles forment des bancs en auroles. - Elles sont rarement affleurantes.

4. Sols hydromorphes -

Les sols hydromorphes sont fréquemment cuirassés. Les cuirasses s'étendent en bordure du lit mineur des rivières. Elles sont souvent appelées "cuirasses de galeries". Les faciès ferrugineux, à structure alvéolaire sont dominants. En HAUTE GUINEE, les terrasses successives, très largement cuirassées qui jalonnent la vallée du NIGER et de ses affluents, présentent d'excellents exemples de ce type d'évolution.

C. - SCHEMA GENERAL DU CUIRASSEMENT EN GUINEE FRANCAISE -

Il est possible de schématiser la marche des processus de cuirassement de la façon suivante :



- quand la libération des sesquioxydes est supérieure aux pertes par drainage vers les océans, il y a extension du cuirassement (FOUTA DJALLON).

- si les phénomènes de mobilisation et de lessivage prédominent, il n'y a pas formation de cuirasses, ou bien on assiste à la disparition des anciens niveaux cuirassés (GUINEE FORESTIERE, certains points de BASSE GUINEE).

- lorsque les processus de lessivage des reliefs sont accusés, mais que le drainage des zones déprimées est déficient, il se produit un glissement du cuirassement vers les sols situés aux niveaux inférieurs (HAUTE GUINEE- N. FOUTA DJALLON.

En définitive, ce sont les équilibres entre les différents facteurs de l'évolution des sesquioxydes qui règlent les possibilités de cuirassement en sols tropicaux. Il est parfaitement concevable d'admettre que les différents oxydes puissent vivre en circuit fermé, lorsqu'une quantité suffisante d'entre eux se trouve individualisée. Il n'est pas nécessaire dans ce cas de faire intervenir des phénomènes d'altération des roches. Ceci prouve le bien fondé de l'hypothèse formulée au début de ce travail; le cuirassement des sols n'est pas obligatoirement lié aux processus de ferrallitisation.

Le drame actuel au FOUTA DJALLON est que l'altération ferrallitique des roches alumino-silicatées a une origine qui remonte probablement au Crétacé, et s'est poursuivie pendant fort longtemps. Il s'est ainsi constitué une accumulation énorme de sesquioxydes, facilement mobilisables, sur les reliefs les plus élevés, qui contribue actuellement au cuirassement des sols situés sur les bas niveaux. Ces données permettent d'interpréter l'extension des phénomènes de cuirassement en GUINEE FRANCAISE, extension qui déborde largement l'intensité de libération des constituants par altération des minéraux des roches. Aussi, les régions les plus cuirassées (N et N-E de la GUINEE) sont aussi les plus sèches ;

- les cuirasses s'observent sur toutes formations, même fortement siliceuses, les matériaux constitutifs ayant le plus souvent une origine exotique.

III. EVOLUTION DU CUIRASSEMENT EN GUINEE FRANCAISE

ESSAI STRATIGRAPHIQUE

L'étude des affleurements de cuirasses ferrallitiques partiellement stabilisées au Nord du pays guinéen (Région de GAOUAL - BASSARIS) permet d'admettre une extension beaucoup plus septentrionale du bioclimat forestier humide actuellement limité à quelques points de BASSE GUINEE et à la GUINEE FORESTIERE. De même, la présence de lambeaux de cuirasses plus ou moins démantelées dans les plus hauts reliefs de GUINEE FORESTIERE, indique l'emprise ancienne de climats plus secs. De ces faits s'impose la réalité des fluctuations climatiques qui ont affecté les phénomènes de cuirassement en GUINEE FRANCAISE au cours des temps passés. D'autres arguments : botaniques (SCHNELL, 1949), zoologiques (LAMOTTE, 1946), paléontologiques (CORBEIL, 1946) confirment ces variations. Il est possible de les préciser par l'étude chronologique de la mise en place des différents horizons cuirassés, des caractéristiques physico-chimiques des niveaux indurés, en relation avec le modelé du pays.

A. - DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES -

SCHNELL (1949) dans son étude sur "La végétation et la flore des monts NIMBA" a fait un essai de synthèse des périodes climatiques du Quaternaire Africain en partant des données recueillies au KENYA par LEAKEY (1937), en Afrique Centrale et Australe par MORTELMANN (1946), dans les Bassins du NIGER par URVOY (1935) au SOUDAN et NIGER. Ce dernier auteur a pu, en étudiant la géomorphologie des différentes terrasses du NIGER, déduire les successions climatiques suivantes :

H₁ , 1ère période humide : formation des latérites et creusement des vallées majeures ;

S₁ , 1ère période sèche : durcissement des cuirasses qui se développent dans le fond des vallées majeures ;

H₂ , 2ème période humide : creusement des vallées actuelles dans le fond des vallées majeures ; les vallées actuelles sont ainsi dominées par des terrasses pourvues d'une cuirasse.

S₂ , 2ème période sèche, avec invasion dunaire ;

H_3 , 3ème période humide, avec phase de recreusement des vallées mineures ;

Epoque actuelle, moins humide que les H , et plus humide que les S .

H_1 correspondrait au Rissien, S_1 au Chéleén, H_2 au Würmien, S_2 à l'optimum post glaciaire et H_3 à la récurrence post-glaciaire de l'Europe Centrale. H_1 serait également contemporain du Kamassien de l'Afrique Centrale, et H_2 du Gamblien.

L'étude de la structure des Monts NIMBA permet à SCHNELL (1949) d'envisager les périodes suivantes :

- Période I : climat humide, creusement des grandes vallées quaternaires (vallées majeures), dépôts d'alluvions sur de vastes surfaces au pied de la montagne, régime probablement forestier ;

- Période II : durcissement en cuirasses ferrugineuses des dépôts de piedmont et des fonds de vallée : climat xérothermique, absence de forêt dense ;

- Période III : nouvelle phase humide, retour de la forêt dense, creusement des vallées mineures qui entaillent le fond des anciennes vallées et les plateaux piedmont à cuirasse.

Il assimile H_1 d'URVOY à la phase I du Nimba qui serait du Kamassien, donc paléolithique inférieur. La période II serait l'équivalent de S_1 et par suite paléolithique moyen. La première partie de la phase III correspondrait à H_2 et H_3 donc au Gamblien (paléolithique supérieur), et la seconde au dessèchement récent reconnu par URVOY.

La découverte d'objets paléolithiques anciens dans des cuirasses ferrugineuses de la région de PITA (CORBEIL, 1946) et d'outils néolithiques épais sur la surface des cuirasses par de CHETELAT (1938), fait penser à SCHNELL que la phase de durcissement se place entre ces deux périodes. C'est donc admettre implicitement que toutes les cuirasses sont fossiles, ce qui va à l'encontre de cette étude.

B. - ESSAI CHRONOLOGIQUE -

Cet essai s'appuie sur des données recueillies en HAUTE GUINEE lors

d'études sur les phénomènes de cuirassement dans les vallées alluviales du HAUT NIGER et de ses affluents, et au FOUTA DJALLON. Il reprend en partie les résultats obtenus par PELISSIER et ROUGERIE (1953) dans le Bassin de SIGUIRI.

Il est possible de distinguer successivement :

1. sur les reliefs les plus élevés, à modelé tabulaire, une cuirasse très puissante, dont l'extension a dû être considérable car on en retrouve les traces à travers toute l'Afrique Occidentale Française. La puissance de cette formation, sa composition chimique où domine l'alumine indique l'emprise du climat forestier très humide pendant une période excessivement longue.

2. A un niveau inférieur (parfois de plusieurs centaines de mètres), une surface monoclinale, également très étendue parfois isolée en buttes témoins, sur laquelle il m'a été possible de distinguer des formes polygéniques. Cette surface est liée, au moins, à deux abaissements des niveaux de base.

Les cuirasses qui fossilisent ces surfaces sont en générale moins ferrallitisées que les précédentes, et se trouvent fréquemment incrustées de dépôts ferrugineux d'origine exotique. Elles dominent en corniche le lit majeur des fleuves africains.

3. Les vallées montrent ordinairement une succession de trois terrasses . A KANKAN on distingue :

- une terrasse supérieure + 25 mètres, toujours profondément altérée et ferrallitisée, transformée secondairement en cuirasses ;
- une terrasse moyenne + 7 mètres qui supporte des sols évolués actuels, partiellement cuirassés et démantelés sur leurs bordures. On y observe de nombreux affleurements ferrugineux ;
- une terrasse inférieure + 3 mètres où les sols sont moins évolués et qui ne montrent que l'amorce de phénomènes de cuirassement par imprégnations ferrugineuses le long des décrochements de relief.

De ces faits, et en s'appuyant sur l'interprétation des processus de ferrallitisation et de cuirassement, on peut schématiser les variations climatiques anciennes dans la région de KANKAN de la façon suivante :

1. Mise en place du modelé tabulaire (pénéplanisation, pédiplanisation). Climat à caractères xerothermiques.

2. Profonde ferrallitisation de cette première surface d'érosion, formation des surfaces monoclinales. Lessivage des matériaux les plus mobiles vers les niveaux inférieurs. Climat forestier équatorial, humide.

3. Cuirassement généralisé des surfaces tabulaires et monoclinales. Lessivage du fer amenant un enrichissement relatif en alumine sur les reliefs les plus élevés et la formation de cuirasses ferrugineuses vers les dépressions. L'intensité des phénomènes de lessivage et de cuirassement, le modelé subhorizontal, laissent supposer un climat type soudanais sud actuel.

4. Creusement des vallées moyennes. Régime humide mais probablement, à températures moins élevées que celles des climats équatoriaux actuels, car la ferrallitisation des roches est peu poussée. Accumulation du fer vers les niveaux inférieurs.

5. Cuirassement de la terrasse supérieure. Passage à un climat plus sec.

6. Creusement de la terrasse supérieure. Ferrallitisation prononcée des sols alluviaux de cette terrasse. Régime forestier équatorial.

7. Cuirassement de la terrasse moyenne. Processus portant uniquement sur la redistribution du fer, très intense d'ailleurs. Climat soudanais.

8. Creusement de la terrasse moyenne. Ferrallitisation peu poussée. Climat légèrement plus humide du type soudano-guinéen.

9. Cuirassement peu prononcé de la terrasse inférieure. Sols ferrugineux tropicaux indiquant un climat à peu près identique au climat actuel.

10. Creusement de la terrasse inférieure avec formation des plaines alluviales actuelles. Période humide soudano-guinéenne identique à 8.

11. Période actuelle qui montre un dessèchement de l'ordre de 150 à 200 mm/an, vieux de 3 à 4.000 ans. Actuellement on assiste à une légère reprise de l'érosion.

La synchronisation avec les tableaux dressés par URVOY et SCHNELL est assez bonne si l'on ne considère que les fluctuations liées à la for-

mation des vallées actuelles. L'étude des surfaces d'érosion supérieures montre qu'il est possible d'aller en détail plus avant dans le temps jusqu'au moins au Tertiaire et probablement même au Crétacé (G.MILLOT, 1948).

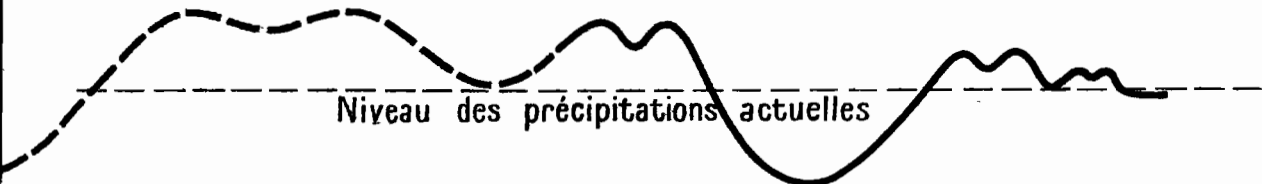
assin du Niger (Urvoy)	H1 S1 H2 S2 H3 dessèchement récent										
Nimba Schnell)	I II III dessèchement récent										
ute Guinée Maignien)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
riations de écipitations après Wayland) Afrique ntro-Orientale											
Période Xérothermique	Climat équatorial	Climat tropico- soudanais	Climat équatorial	Climat tropical soudano- sahélien	Climat humide forestier	Climats tropicaux soudanais et sou- dano-guinéen.					

Tableau synoptique synchronisant l'évolution pédologique en Guinée Française.

C O N C L U S I O N S G E N E R A L E S

1. Le cuirassement des sols est un processus extrêmement commun en GUINEE FRANCAISE. Il est lié au dynamisme des différents oxydes présents dans les sols.

2. Les cuirasses se développent dans les régions chaudes tropicales du globe. Elles ne dépendent pas d'un climat particulier de celles-ci, mais du pédoclimat. A ce titre, elles caractérisent un faciès.

3. La migration et la concentration des éléments constitutifs sont liées aux mouvements de l'eau dans les sols. Il en résulte un transport généralisé de haut en bas, en particulier, le long des pentes faisant apparaître l'importance des processus de lessivage oblique.

4. L'accumulation est de deux types. Elle résulte :

- soit d'un enrichissement relatif des matériaux les moins mobiles à la suite du départ des matériaux plus mobiles (cas de la plupart des cuirasses alumineuses) ;

- soit d'un apport d'oxydes dans un matériau de réception privilégié. C'est une accumulation absolue portant principalement sur le fer.

5. L'intensité du cuirassement dépend :

- des possibilités de mobilisation dont l'évolution de la matière organique est un des facteurs essentiels (importance de l'activité biologique) ;

- des conditions physico-chimiques du milieu de réception, plus particulièrement des variations du potentiel d'oxydo-réduction qui découlent des rapports sol/eau.

6. L'affleurement des cuirasses entre dans le cadre normal de l'érosion

des horizons neubles superficiels des sols. Il se produit naturellement à l'échelle des temps géologiques. Il est actuellement fortement accéléré par l'influence humaine.

7. Le cuirassement des sols en GUINEE FRANCAISE est un phénomène extrêmement ancien dont on retrouve les traces depuis probablement le Tertiaire. Il se continue activement de nos jours. La résistance de ces formations indurées aux phénomènes d'érosion a provoqué des inversions de reliefs caractéristiques où dominent les formes du modelé tabulaire et du modelé monoclinale. Il en résulte que les niveaux les plus élevés sont également les plus anciens.

8. Les différences de vitesses de mobilisation et de migration entre les éléments constitutifs des cuirasses provoquent dans le temps des variations de leur composition. Les cuirasses anciennes sont toujours plus alumineuses que les cuirasses actuelles, toutes choses étant égales par ailleurs.

9. Les cuirasses anciennes surélevées sont actuellement les principales sources d'hydroxydes qui contribuent au cuirassement des sols situés aux cotes inférieures, même en régions tropicales sèches.

10. Il résulte de l'ensemble de ces conclusions que l'évolution du modelé est d'une importance essentielle dans la formation actuelle des horizons cuirassés. Il oriente le mouvement des hydroxydes de haut en bas, lesquels fossilisent les formes monoclinales et tabulaires qui se trouvent multipliées dans le paysage.

11. La conservation des niveaux cuirassés permet de retrouver en GUINEE les traces d'un certain nombre de surfaces d'érosion anciennes. On peut distinguer :

- une surface tabulaire, la plus ancienne, probablement Tertiaire ;
- une surface monoclinale polygénique (au moins deux cycles) faisant suite à celle-ci ;
- puis une succession de 3 niveaux de base subhorizontaux se raccordant à trois terrasses alluviales.

12. Du point de vue paléoclimatique, la prédominance des formes cui-

rassées en GUINEE indique la persistance de climats tropicaux et équatoriaux depuis le Tertiaire.

Le développement du cuirassement correspond essentiellement à des conditions pédogénétiques propres au climat soudanien. Il indique par rapport aux phénomènes de ferrallitisation, un certain déphasage vers les climats plus secs à saisons bien tranchées.

Les caractéristiques morphologiques et minéralogiques des cuirasses précisent les conditions pédogénétiques du milieu originel de formation.

Ces conclusions se trouvent concrétisées dans l'interprétation des cuirasses qui participent au paysage d'un petit bassin versant étudié sur les Hauts Plateaux du FOUTA DJALLON à MADINA TOKOSSORE près de TIMBI MADINA, exemple bien caractéristique.

La disposition des cuirasses observées sur le bloc diagramme ci-joint montre l'évolution du cuirassement au cours des temps passés.

- La surface tabulaire originelle, presque entièrement démantelée, culmine à 890 mètres. Son faciès cuirassé est essentiellement alumineux.

- Après une zone d'éboulis s'observe une surface polygénique monoclinale, isolée en deux saillants. Un premier cycle s'est imposé vers 845 mètres et le second, à pentes plus accusées, s'ennoie vers 800 mètres sous des dépôts argilo-sableux qui constituent la plaine actuelle. Les faciès cuirassés sont également alumineux, mais ils sont fréquemment incrustés de dépôts ferrugineux secondaires qui marquent l'influence du lessivage oblique à travers ces sols.

- Le cheminement des sesquioxydes apparaît clairement dans les affleurements en tête de sources et en bordure des terrasses. Deux séries de cuirasses se mettent en place :

- a - une cuirasse de nappe subactuelle, le long de la FETIDRE, qui se trouve partiellement mise à nu par érosion, et est, par place, effondrée en "wendou". Les faciès ferrugineux sont dominants.

- b - une cuirasse de plateau, qui se développe dans les sols mal drainés de la plaine centrale. Une succession de petites dépressions jalonne l'amorce d'un réseau hydrographique souterrain. Cette cuirasse

affleure près de l'ext^utoire, à l'altitude 770 mètres. L'érosion régressive y est très intense.

Le faciès est celui d'un horizon induré de sol ferrallitique, enrichi secondairement en fer par lessivage oblique (MAGNIEN, 1957).(*)

(*) Carte pédologique et Carte d'utilisation des terres du Secteur Pilote des TIMBI - Rapport ORSTOM, 1957.

B I B L I O G R A P H I E

- AGAFONOFF (V.) - L'étude des sols des Colonies Françaises, 1929, - Rev. Bot. Appli. et Agr. Trop. IX, n° 95.
- AFANASSIENA (E.A.), RODE (A.A.), SKYNNIKOVA (I.N.) - L'étude des processus contemporains de formation des sols, 1956 - C.R. 6ème Cong. Int. Sc. Sol PARIS, V, p. 175.
- ALBRECHT (W.A.) - Soil Sc. 1941, n° 51, p. 213.
- ALEXANDER (L.T.), HENDRICKS (S.B.) et FAUST (G.) - Occurrence of gibbsite in some soil forming materials, 1942 - Proc. Soil Sc. Soc. America, 6, p. 52-57.
- ALEXANDER (L.T.), CADY (J.G.), WHITTIG (L.D.), DEVER (R.F.) - Mineralogical and chemical changes in the hardening of laterite, 1956 - C.T. 6ème Cong. Inter. Sc. Sol PARIS - Vol. E, p. 67.
- ANNUAIRE HYDROLOGIQUE DE LA F.O.M., 1949 à 54. O.R.S.T.O.M. PARIS.
- ALLISON (L.E.) et SCARSETH (G.D.) - A biological reduction method for removing free iron oxides from soils and colloid clays, 1942 - Jl. Amer. Soc. Agron. 34 p. 616-23.
- ARDEN (T.V.) - The solubility products of ferrous and ferrosic hydroxides, 1950 - J. Chem. Soc. p. 882-885.
- ARSANDAUX (H.) - Contribution à l'étude des latérites, 1909 - C.R. Acad. Sci. PARIS, t. 149, P. 1082, à 1084.
- ARSANDAUX (H.) - Nouvelle contribution à l'étude des latérites - 1910 - C.R. Acad. Sc. PARIS, t. 150, p. 1698-1701.
- ARSANDAUX (H.) - Contribution à l'étude de l'altération des roches silicatées alumineuses dans les régions intertropicales, 1913, Bull. Soc. Fr. Miner. PARIS, t. 36, p. 70-110.
- AUBERT (G.) - Les sols de la France d'Outre-Mer, 1941, PARIS, Impr. Nat., 90 p. XIV pl.
- AUBERT (G.) - Les sols des régions tropicales de la F.O.M., 1944, Conf. Nat. Agr. Territoires F.O.M. - PARIS, 11 p.
- AUBERT (G.), DUBOIS (J.) et MAIGNIEN (R.) - Les sols à arachides au Sénégal, 1946, Rapport I.G.A. DAKAR.

- AUBERT (G.) - Sur le rôle de la cuirasse ferrugineuse comme roche-mère de nouveaux sols, 1948 - Comm. Conf. Sols Trop. ROTTERDAM
- AUBERT (G.) - Les sols d'A.O.F., 1948 - Encyclopédie coloniale
- AUBERT (G.) - Observations sur le rôle de l'érosion dans la formation de la cuirasse latéritique, 1949 - Bull. Agr. Congo Belge, n° 2, p. 1383-6
- AUBERT (G.) - Observations sur la dégradation des sols et la formation de la cuirasse latéritique dans le Nord-Ouest du Dahomey (A.O.F.), 1950 - C.R. 4ème Congr. Inter. Sc. Sol, AMSTERDAM, vol. III, p. 123-128.
- AUBERT (G.) - Les sols hydromorphes d'A.O.F., 1954 - C.R. 5ème Cong. Int. Sc. Sol LEOPOLDVILLE.
- AUBERT (G.) - Les sols latéritiques, 1954 - Conf. Générale - 5ème Cong. Inter. Sc. Sol - LEOPOLDVILLE.
- AUBERT (G.) - La classification des sols utilisée dans les territoires tropicaux de l'Union Française, 1954 - II Conf. Int. Afri. Sols, LEOPOLDVILLE n° 51.
- AUBREVILLE (A.) - Erosion et "Bovalisation" en Afrique Noire Française - Agr. Trop. 1947, n° 7-8, p. 339-357.
- AUBREVILLE (A.) - Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique Tropicale, 1949 - Soc. Edit. Geog. Marit. Colon. PARIS, 1 vol. 351 p.
- AUFRERE (L.) - La signification de la latérite dans l'évolution climatique de la Guinée, 1932 - Bull. Assoc. Geog. Franc. p. 95-97.
- AUFRERE (L.) - La géographie de la latérite, 1936 - C.R. Sc. Soc. Biogéog. t. XIII p. 3-11.
- BACHELIER (G.) et LAPLANTE (A.) - Sur l'origine et la formation des cuirasses dites "latéritiques" dans l'Adamaoua (N- Cameroun), 1953 - C.R. Ac. Sc. t. 237, p. 1277-1279.
- BAEYENS (J.) - Les sols de l'Afrique Centrale, spécialement du Congo Belge, 1938 - BRUXELLES - Public. INEAC, 375 p.
- BAEYENS (J.) - Les méthodes d'examen des sols tropicaux et subtropicaux, 1947 - p. 320-324.
- BAREN van (F.A.) et KIEL (H.) - The mineralogy of an apparently autochthonous soil profiles in A.E.F., 1954 - C.R. 5ème Cong. Int. So. Sol, LEOPOLDVILLE II p. 16.
- BARBIER (G.) - Bull. Ass. Franc. Et. Sol, 1936, n° 2, p. 283-287.
- BARBIER (G.) - Ann. Agro. 1938, n° 1, p. 34

- BASTISSE (E.M.) - Rôle vecteur de divers anions, 1946 - Ann. Agro. n° 4, p. 434-456,
- 1945 - Ann. Agro. n° 1, p. 30-56.
- BASTISSE (E.M.) - Essais sur le rôle des complexes colloïdaux en pédologie et en
Physiologie végétale, 1949 - PARIS - thèse.
- BASTISSE (E.M.) - Recherches sur les conditions théoriques et pratiques permettant
le maintien de l'assimilabilité de l'acide phosphorique dans les
terres latéritiques, 1950 - Ann. Agro. Série A, n° 6, p. 748-761
- BASTOS de MACEDO (J.M.) - Note on the development of ferralitic soils from acid and
basic rocks, 1955 - C.R. 5ème Cong. Int. Sc. Sol - LEOPOLDVILLE,
V, p. 32.
- BAUER (M.) - Beitrag zur geologie der seyschellen, 1898 - Neues Jahrbuch f;
Miner. u. Petr. 163 p.
- BAVER (L.D.) - Soil Physics, LONDON, p. 212-220
- BELLOUARD (P.) - Erosion des sols du Sénégal Oriental, du Soudan occidental et du
Fouta-Djallon, 1949, GOMA, Bull. Agro. Congo Belge, n° 71, p.1299-
1308.
- BEMMELEN Van (J.M.) - Beitrag zur Keuntrus der Verwitterungs produkts der silikate
in Ton-Vulkanischen und Laterit-Boden, 1904 - Zutich Anorgan w.
Allg. Chemie, 42 : 265-314.
- BERNARD (E.A.) - Sur diverses conséquences de la méthode du Bilan d'énergie pour
l'évapotranspiration des cultures ou des couvertures végétales
naturelles, 1956 - Sols africains - Vol. 4, n° 1, p. 105-120.
- BERTHIER (P.) - Examen du fer forgé par les nègres du Fouta-Djallon (Haut-Sénégal)
et des minéraux desquels ils le retirent, 1820 - Ann. Minér. PARIS
1ère série, t. V, p. 129-34.
- BESAIRIE (H.) - Altération des roches et formation des sols à Madagascar, 1937 -
Bull. A.F.E.S. t. III, P. 15-20.
- BETREMIEUX (R.) - Etude Expérimentale de l'Evolution du fer et du manganèse dans les
sols, 1951 - Ann. Agro. Série A, n°3 , p. 193-295
- BETREMIEUX (R.) - Influence du plan d'eau sur la précipitation d'éléments minéraux
dans le sol, 1956 - C.R. Acad. Sc. p. 816-818.
- BIROT (P.) - Résultats de quelques expériences sur la désagrégation des roches
cristallines, 1947 - C.R. Séances Ac. Sc. Geog. Phys. p. 745-747.
- BIROT (P.) - Note sur la désagrégation des roches cristallines, 1950 - Rev.
Géomorph. Dynam. p. 271-276.
- BIROT (P.) - Sur la désintégration granulaire des roches cristallines, 1951 -
C.R. Séan. Ac. Sc. PARIS, p. 1305.

- BIROT (P.) - Désintégration des roches cristallines sous l'action des sels - 1954 - C.R. Séan. Ac. Sc. PARIS CCXXXVIII.
- BISHOP (D.W.) - The formation of laterite, 1937 - Geol. Mag. Vol. LXXIV, p.442-445.
- BLONDEL (F.) - Sur les terres rouges et les phénomènes d'altération des roches en Indochine Française, 1927 - C.R. Acad. Sc. PARIS - t. 185, p.73-75
- BLONDEL (F.) - Les gisements de fer de l'A.O.F., 1952 - 19ème Cong. Géol. int. ALGER, t. 1, p. 5-34.
- BLOOMFIELD (C.) - Experiments on the mechanism of gley formation, 1951 - Jl. Soil Sci. II, p. 1966-211.
- BLOOMFIELD (C.) - A study of podsolisation, 1953 - I and II, Jl Soil Sc. IV, p.5-23
- BLOOMFIELD (C.) - The movement of sesquioxides and clay in the soil, 1955 - Sols Africains, Vol. III, n° 4, p. 488-506.
- BODIN (L.) - Contribution à l'étude des granits birrimiens dans le Précambrien de l'A.O.F. - 1951 - Bull. Dir. Mines A.O.F. DAKAR, 113 p. fig: tab.
- BONIFAS (M.) et MILLOT (G.) - Bilan géochimique dans l'altération latéritique de quelques roches de Guinée (A.O.F.), 1956 - C.R. Séan. 6ème Cong. Inter. Sc. Sol PARIS Comm, V
- BONNET (J.A.) - The nature of lateritization as revealed by chemical, physical and mineralogical studies of a lateritic soil profil from Puerto-Rico 1939 - Soil Sc. Vol. 48, p. 25-40.
- BONNAULT - Le rôle de la latérite dans les formes du relief des environs de Boudoukou (Côte d'Ivoire), 1938 - Bull. Serv. Mines A.O.F. DAKAR, n° 2 p. 51-52.
- BORDET (P.) - Présence de latérites fossiles dans l'Atakor du Hoggar, 1951 - C.R. Soc. GEol. Fr. PARIS, p. 97.
- BOSAZZA (V.L.) - The petrography and petrology of South African Clays - Parktown, JOHANNESBURG, Barkley Road 39, p. 313.
- BOTELHO da COSTA (J.V.) et AZEVEDO (A.L.) - Characteristics and distribution of some soil groups of Angola, 1949 - Bull. Agro. Congo Belge, n° 1, p.253-278.
- BOTELHO da COSTA (J.V.) et AZEVEDO (A.L.) - Os solos de Angola, junta des investigações do Ultramar, 1952 - LISBOA,
- BOTELHO da COSTA (J.V.) - Aspects des relations sol-eau-plantes, 1954 - Conf. Gén. 5ème Congr. Int. Sc. Sols, LEOPOLDVILLE, Vol. I.
- BOUGLISE de la - Le Gisement de fer de CONAKRY, 1936 - Mines Col. N° 495.

- BOUYER (S.) - Contribution à l'étude agrologique des sols du Sénégal, 1949 - Bull. Agro Congo Belge, n° 1, vol. XL, p. 887-1020.
- BRAMAO (L.), CADY (J.G.) et HENDRICKS (S.B.) - The determination of halloysite and its use in the study of red soils - 1950 - C.R. Séan 4ème Cong. Int. Sc. Sols, Vol. I, p. 313.
- BRINDLEY (G.W.) - X Ray identification and crystal structures of clay minerals, 1951, LONDON, The Mineralogical Society, p. 245.
- BROMFIELD (S.M.) - 1954 J. Soil Sc. 5, p. 129
- BRUGIERE (J.M.) - Les argiles faiblement latéritiques à concrétions ferrugineuses de la Vallée du Niari (Moyen-Congo), 1954 - 5ème Cong. Int. Sc.Sol, LEOPOLDVILLE, V 50, p. 5.
- BRYNMOR (J.) - Lateritic Ironstone in Sokoto Province, Farm and Forest, vol. IV, n° 1.
- BUCHANAN - Journey from Madras through the countries of Mysore, Canara and Malabar, 1807 - LONDON, t. II, p. 441
- BUSHNELL (T.M.) - Some aspects of the soil catena concept, 1943 - Proc. Soil Sc. Soc. America n° 7, p. 466-76
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.) - Application de l'analyse thermique différentielle à l'étude des argiles du sol, 1942 - Ann. Agro. 17, p. 23-72.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.) - Quelques remarques sur la synthèse des minéraux argileux, 1950 - Trav. 4th Int. Cong. Soil Sc. I, 86-88.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.) - Mécanisme d'évolution des minéraux phylliteux, 1950 - Trav. 4 th Int. Cong. Soil Sc. I, 96-98.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.) - Sur l'hydratation de divers silicates et hydroxydes 1950 - AMSTERDAM, 4ème Cong. Int. Sc. Sol, Vol. III, p. 28-29.
- CAILLERE (S.) - Action de la chaleur sur les minéraux des argiles, 1950 - AMSTERDAM, 4ème Cong. Int. Sc. Sol, vol. III, 56-63.
- CAILLERE (S.), BIROT (P.), et HENIN (S.) - Formation d'un minéral argileux par altération expérimentale d'un gabbro, 1952 - C.R. Séan. Ac. Sc. PARIS, p. 2104.
- CAILLERE (S.), BIROT (P.) et HENIN (S.) - Etude expérimentale du mécanisme de la désagrégation de quelques roches éruptives et métamorphiques, 1954 - C.R. 5ème Cong. Int. Sci. Sol, Léopoldville, vol. II, p. 18, 21.
- CAILLERE (S.), HENIN (S.) et ESQUEVIN (J.) - Essai de cinétique chimique de la formation des minéraux argileux, 1956 - C.R. 4ème Cong. Int.Sc. Sol PARIS? I, p. 159-163.

- CAILLEUX (L.) et TAYLOR - Code Expolaire des Couleurs - Boubée, PARIS
- CALTON (W.E.) - The catena in relation to the classification of East African Soils, 1954, 5ème Cong. Int. Sc. Sol, LEOPOLDVILLE, V, 10.
- CAMPBELL (J.M.) - Laterite ; Its origine, structure and minerais, Min Mag. 17, 1917, p. 67-77, 128-9, 171-9 et 220-9.
- CARTES DU SERVICE GEOLOGIQUE DE L'A.O.F. (1/500.000è) et notices explicatives.
Dakar E - CONAKRY E et W - KINDIA W - DABOLA E - KANKAN E et W - GUINEE FORESTIERE.
- CASTAGNOL (E.M.) et PHAN-GIA-TU - Etude des principaux types de latérites d'Indochine 1940 - Ext. Bull. Eco. Indoch. fasc. 2, p. 35.
- CASTAGNOL (E.M.) - Le sol - étude théorique et pratique - 1942 - Imp. Ext. Orient. Hanoi, p. 244, T, Photo.
- CHAMINADE (R.) - Influence de l'humus sur l'assimilabilité des engrais phosphatés dans un sol latéritique, 1947 - C.R. Conf. Péd. Méditer. p. 222-25.
- CHAMINADE (R.), SEGALIN (P.) et VISTELLE (R.) - Influence de l'humus sur l'évolution de l'acide phosphorique dans un sol latéritique, 1947 - Ann. Agro. p. 530-5.
- CHARREAU (C.) - Note sur quelques études faites sur les sols de la C.G.O.T. - 1953 - Rapport I.G.A. - DAKAR.
- CHAUTARD (J.) et LEMOINE (P.) - Sur la genèse de certains minerais d'alumine et de fer. Décomposition latéritique, 1908 - C.R. Ac. Sc. t. CIX, VI, p. 239-42.
- CHAUTARD (J.) et LEMOINE (P.) - Sur le phénomène de latéritisation, 1908 - Bull. Soc. Géol. Fr. PARIS, t. VIII, p. 35-38.
- CHERMETTE (A.) - La Bauxite dans la chaîne du Niandan Bonié (Haute Guinée), 1949 Chron. Mines Col. PARIS, n° 161, p. 194-5.
- CHETELAT (E.de) - Le modelé latéritique de l'Ouest de la Guinée Française, 1938 - Rev. Géog. Phys. Géol. dyn. PARIS, 120 pages.
- CHEVALIER (A.) - Sur la dégradation des sols tropicaux causée par les feux de brousse et sur les formations végétales régressives qui en sont la conséquence, 1929 - C.R. Acad. Sc. t. 188, p. 84-86
- CHEVALIER (A.) - Les cuirasses latéritiques, 1948 - R B A p. 49-66
- CHEVALIER (A.) - Points de vue nouveaux sur les sols d'Afrique Tropicale, sur leur dégradation et leur conservation, 1949 - Bull. Agr. Congo Belge n° 2, p. 1057-92.
- CLAISSE (G.) - Etude de l'altération de la charnockite de Man (Côte d'Ivoire), 1953 Ann. Agro. Série A, p. 45-52.

- COINTEPAS (J.P.) - Parcelles expérimentales d'érosion de Séfa (Casanance), 1956 - Rapport C.G.O.T.
- CORBEIL (R.) - Industries Paléolithiques en Guinée Française (Pita), 1945 - Conf. int. Africanistes de l'Ouest, DAKAR, IFAN.
- CORIN (F.) - Note sur l'association du quartz avec les latérites, 1948 - Bull. Serv. Géol. Congo Belge, n° 4, p. 73-74.
- CORBENS (C.W.) - Die chemische Verwitterung der Silikate, 1940 - Die Naturwissenschaften, 28, p. 369-76.
- DEB (B.C.) - The movement and precipitation of iron oxides in podzol soils, 1949 - Jl. Soil Sc. I, p. 112-22.
- DEB (B.C.) - The estimation of free iron oxides in soils and clays and their removal, 1950 - Jl. Soil Sc. , I, 2, p. 212-220.
- DECRAENE (A.) - La fertilité des latosols du N-E du Congo Belge et ses relations avec la morphologie des profils pédologiques - La latéritisation 1954 - Conf. Inter. Afric. Sols, LEOPOLDVILLE, n° 17, 25 p.
- DELAIRE - Notice explicative de la carte géologique Conakry E et W - Serv. Féd. Mines A.O.F. - DAKAR.
- DE LEENHEER (L.) - Introduction à l'étude minéralogique des sols du Congo Belge, 1944 - I.N.E.A.C., série Sc. n° 25, 45 p.
- DEMOLON (A.) - Recherches Physico-chimiques sur la terre à brique envisagée comme milieu naturel, 1926 - Thèse PARIS.
- DEMOLON (A.) et BASTISSE (E.M.) - Sur quelques complexes colloïdaux du fer et de l'aluminium - 1938 - Ann. Agr. n° 1, p. 6-33
1942 - C.R. Acad. Sc. T. CCXV, p. 188.
- DEMOLON (A.) et BASTISSE (E.M.) - Rôle vecteur de la silice - 1944, Ann. Agr. n° 4, p. 265-96
- DEMOLON (A.) - La dynamique du sol, 1948 - Dunod PARIS, 4ème édit.
- DEMOLON (A.) et AUBERT (G.) - Sur la capacité de production des sols en Afrique Equatoriale et Tropicale, 1952 - C.R. Ac. Sc. PARIS, 234, p. 689-692.
- DENAEYER (M.E.) - Tableau de pétrographie, 1951 - Laranne Edit. PARIS, 111 p.
- D'HOORE (J.) - Les composés du fer dans le sol. Quelques notes concernant leur composition, leur rôle, leur étude, leur importance, 1949 - 1ère Conf. Afric. Sol. Bull. Agric. Congo Belge, n° 1, p. 66-85.
- D'HOORE (J.) - L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux, 1954 - I.N.E.A.C., série Sc. N° 62, 131 p.

- D'HOORE (J.) , FRIPIAT (J.J.) et GASTUCHE (M.C.) - Quelques remarques sur les oxydes de fer fixés sur les argiles tropicales, 1954 - LEOPOLDVILLE, Conf. Int. Afric. Sols. n° 13.
- D'HOORE (J.) - Clay mineral and gibbsite crystals as clues to the mode of formation of ancient sesquioxides accumulation zone, 1954 - LEOPOLDVILLE, C.R. 5ème Cong. Int. Sc. Sol V., 7.
- D'HOORE (J.), et CROEGAERT (J.) - Signification de la fraction limoneuse dans quels sols congolais, 1954 - LEOPOLDVILLE, Conf. Int. Afric. Sols n° 85, 10 p.
- D'HOORE (J.) - Le facteur humain et l'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux, 1954 - 2ème Conf. Int. Afric. Sols, LEOPOLDVILLE n° 12, 15 p.
- D'HOORE (J.) - Etude statistique des teneurs en Fe_2O_3 libre sur limon et argile pour les sols de trois régions naturelles du Congo Belge, 1954 - 2ème Conf. Int. Afric. Sols LEOPOLDVILLE, n° 14, 15 p.
- DIETRICH (W.G.) - Die Dynamik der Boden den Feuchten Tropen Isebondere von West Africa eine Auswertung der Vorliegen den Schriftums, 1941 - BERLIN Druck von Linke - 1941, 125 p. Traduction française par le B.I.S.
- DION (H.H.) - Iron oxide removal from clays and its influence on base exchange properties and X ray diffraction patterns of the clays, 1944 - Soil Sc. n° 58.
- DIXEY (F.) - Lateritisation in Sierra Leone, 1920 - LONDON Geol. Mag. vol. LVII n° 671, p. 211-220.
- DOMMERGUES (Y.) - Etude de la biologie des sols des forêts tropicales sèches et de leur évolution après défrichement, 1956 - PARIS, C.R. 6ème Cong. Inter. Sc. Sol PARIS V-98.
- DOMMERGUES (Y.) - Rapport annuel 1956 - Centre de Pédologie de HANN-DAKAR - ORSTOM
- DOYNE (H.C.) - Studies in tropical soils. Increase in acidity with depth, 1935 - Jl. Agr. Sc. n° 25, p. 192-197.
- DRESCH (J.) - Pénéplaines africaines, 1947 - Ann. Géog. T. LVI, p. 125
- DROSDOFF (M.) et TRUOG (E.) - Transact. 3rd Cong. Soil Sc. Oxford 1935, vol. I, p. 92-95.
- DUBOIS (J.) - Esquisse des différents types de sols de la moitié sud du Sénégal 1949 - Bull. Agr. Congo Belge, n° 1, p. 575-617.
- DUCHAUFOR (Ph.) - Humus actif et humus inerte. Recherches expérimentales sur la minéralisation de l'humus forestier, 1953 - Ann. Ecole Nle Eaux & Forêts, XIII - 2, p. 402-53.

- DUCHAUFOR (Ph.) - Données récentes sur l'évolution de la matière organique dans le sol, 1955 - Bull. Soc. Pharm. NANCY.
- DUCHAUFOR (Ph.) et POCHON (J.) - Note sur la biologie des humus forestiers, 1955 - Ann. Inst. Pasteur, PARIS, n° 23, 115 p.
- DUCHAUFOR (Ph.) et MANGENOT (F.) - Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus, 1956 - Ann. Agr. Série A, n° 2, p. 159-181.
- DU PREEZ (J.W.) - Laterite. A general discussion with a description of Nigerian occurrences, 1949 - Bull. Agr. Congo Belge, XL, 1, p. 53-66.
- DU PREEZ (J.W.) - Notes on the occurrence of oolites and pisolithes in Nigerian Laterites, 1952 - Cong. Géol. Inter. XIX, ALGER
- EDELMANN (C.H.) et SCHUFFELEN (A.C.) - On the origin of some clay minerals in soils 1947 - Conf. Pédo. Méditer. MONTPELLIER, p. 109-114.
- EDELMAN (C.H.) - The isoelectric formation of lateritic soils, 1950 - C.R. 4ème Cong. Int. Sc. Sol, vol. I, p. 308-310.
- EICHENER (A.) - Die Entstehung der Roterde und laterite, 1927 - Z. Pflanz. Düng, p. 1-13
- ERHART (H.) - Concentration en ion H dans quelques terres latéritiques de Madagascar - 1926 - R.B.A. - t. VI, n° 54, p. 88-92.
- ERHART (H.) - Traité de pédologie - Tome I, 1935, STRASBOURG, in 8° - 260 p.
- ERHART (H.) - Les latérites du Moyen Niger et leur signification paléoclimatique 1943 - C.R. Ac. Sc. PARIS, t. 217, p. 379-381.
- ERHART (H.) - Sur l'importance des phénomènes biologiques dans la formation des cuirasses ferrugineuses en zone tropicale, 1951 - C.R. Ac. Sc. PARIS, t. 233, p. 804.
- ERHART (H.) - Sur le rôle des cuirasses termitiques dans la géographie des régions tropicales, 1951 - C.R. Ac. Sc. PARIS, 233, p. 966.
- FAUCK (R.) - Quelques aspects de la conservation du sol et de l'eau aux U.S.A. 1955, Bureau des Sols - DAKAR, 32 p.
- FAUCK (R.) - Erosion et mécanisation, 1956 - Bureau des Sols - DAKAR
- FAURE (J.) - Etude de quelques sols hydromorphes à engorgement temporaire de la région de Bargny (Sénégal), 1954 - Conf. Int. Afr. Sols II, B, 17 p.
- FERMOR (L.L.) - What is laterite ?, 1911 - Geol. Mag. V, n° 8, p. 454-62, 507-16 et 559-66.
- FOURNIER (F.) - Influence des facteurs climatiques sur l'érosion du sol. Estimation des transports solides effectués en suspension par les cours d'eau, 1953 - Assoc. Int. Hydrologie, n° 38, tome III, p. 283-8.

- FOURNIER (F.) - Les parcelles expérimentales. Méthode d'étude expérimentale de la Conservation du sol, de l'érosion, du ruissellement, 1954 - Rapport ORSTOM n° 1623.
- FOURNIER (F.) - Les facteurs de l'érosion du sol par l'eau en A.O.F., 1955 - C.R. Acad. Agr. PARIS.
- FOURNIER (F.) - Les formes et types d'érosion du sol par l'eau en A.O.F., 1956 - C.R. Acad. Agr. PARIS.
- FOX (C.S.) - Bauxite and Aluminous Laterite, 1932 - LONDRES, 2ème édit. 80 p.
- FOX (C.S.) - Laterite and Lateritic Soils, 1933 - The Indian Forester, p. 630-635.
- FOX (C.S.) - The dissolubility of quartz, 1936 - Geol. Survey of India, vol. LXIX, p. 4.
- FOX (C.S.) - Buchanan's laterite of Malabar and Kanera, 1936 - Geol. Survey of India, p. 389-422.
- FRIPIAT (J.J.) et GASTUCHE (M.C.) - Etude Physico-chimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de fer trivalent, 1952 - Publ. INEAC - Serv. Scient. n° 54.
- FRIPIAT (J.J.) - Quelques caractéristiques thermiques des complexes synthétiques kaolinite/oxyde de fer trivalent, 1953 - Ac. Royale Belge, XXXIX, p. 890.
- FRIPIAT (J.J.) , GASTUCHE (M.C.) et COUVREUR (J.) - 1954 - LEOPOLDVILLE, C.R. 5ème Cong. Inter. Sc. Sol :
Nature de la fraction argileuse des sols du Congo Belge et du Ruanda-Urundi, II, 25, 9 p.
- " Les argiles des sols du Haut-Ituri - V 51.
- " Les argiles des sols de la vallée de la Ruzizi - V. 45.
- " Les argiles des sols de la vallée du Mosso - V 44.
- FRIPIAT (J.J.) , FOCAN (A.) , GASTUCHE (M.C.) et COUVREUR (J.) - 1954, LEOPOLDVILLE 5ème Cong. Inter. Sc. Sol :
Les argiles des sols de la région de Kaniama V, 56, 8 p.
- " Les argiles des sols de l'Uelé, V 43.
- FRIPIAT (J.J.) et MARCOUR (M.) - Estimation quantitative du contenu en kaolinite, illite, et montmorillonite dans les sols, 1954 - 5ème Conf. Int. Sols, Léopoldville, T. II, p. 1325.
- FURON (R.) - Le gisement de fer de Conakry (Guinée Française), 1936 - Rev. Gén. Sc. PARIS, n° 12, p. 355.
- FURON (R.) - Géologie de la Guinée Française, 1943 - Bur. Et. Géol. Mines Col. PARIS, n° 19, 47 p.

- FURON (R.) - Géologie de l'Afrique, 1950 - Ed. Payot, 350 p. 34 fig.
- GASTUCHE (M.C.), DELVIGNE (J.) et FRIPIAT (J.J.) - Altération chimique des kaolinites 1954 - C.R. 5ème Cong. Int. Sc. Sol - LEOPOLDVILLE, II, 26, 19 p.
- GAUTHIER (E.F.) - Remarque sur la morphologie du Fouta-Djallon, 1932 - Bull. Ass. Géog. Fr. p. 83-87.
- GEE (J.C. de) - Preliminary oxidation potential determination in a "Sawah" profil near Bogor (Java), 1950 - C.R. 4ème Cong. Int. Sc. Sol, Vol. I, p. 300-303.
- GLANGEAUD (J.) - Evolution des minéraux résiduels et notamment du quartz dans les sols autochtones en Afrique occidentale Fr., 1941 - C.R. Ac. Sc. PARIS, t. 212, p. 862-864.
- GLENN (H.) - Biological oxidation of iron in soil, 1950 - Nature, 4229, p. 871-72
- GOLDSZTAUB (S.) - Etude de quelques dérivés de l'oxyde ferrique ; détermination de leur structure, 1935 - Bull. Soc. Fr. Minéral. Janv. Févr. p. 6-76, fig. 19.
- GOLOUBINOW (R.) - Les bauxites de Tougué, 1938 - Bull. Serv. Mines A.O.F. n° 1, page 77-80.
- GOLOUBINOW (R.) - Notice explicative et carte géologique au 1/500.000è de la feuille Kankan-Est (Guinée Française) - Serv. Mines A.O.F., DAKAR.
- GOLOUBINOW (R.) et NICKLES (M.) - Notice explicative et carte géologique au 1/500.000 de la feuille Kankan-Ouest (Guinée Française) - Serv. Mines A.O.F. DAKAR.
- GREENE (H.) - Classification and use of tropical soils, 1945 - Proc. Soil Sc. Soc. America, vol. 10, p. 392-396.
- GREENE (H.) - Soil formation and water movement in the Tropics, 1947 - Soils and Fertilizers, vol. 10, p. 253-256.
- GREENE (H.) - So called irreversible laterization, 1950 - Trans. IVth Int. Cong. Soil Sc., t. 2, p. 175-177.
- GRIM (R.E.) - Clay mineralogy, 1954 - Mc Graw Hill, New-York
- HALLAIRE (M.) - La diffusion capillaire de l'eau dans le sol, 1953 - Ann. Agr. PARIS Série A, n° 2.
- HALLAIRE (M.) - La diffusion de l'eau dans le sol sous les deux formes, liquide et vapeur, au voisinage de la surface d'évaporation, 1956 - C.R. 6ème Cong. Int. Sc. Sol PARIS I, p. 337-44.
- HANISSET (P.) et WAEGEMANS (G.) - Solubilisation des sesquioxides de fer libres du sol, 1949 - C.R. Ac. Sc. PARIS CCXXIX, p. 1168-70.

- HARDY (F.) - Studies on tropical soils. Identification and approximate estimation estimation of sesquioxides components by adsorption of ilizarn, 1931 - J. Agr. Sc. 21 , p. 150-66.
- HARDY (F.) et FOLLET SMITH (R.R.) - Studies in Tropical soils, 1931 - Jl. Agr. Sc. vol. XXI, p. 150-66 et 739-61.
- HARRASSOWITZ (H.) - Laterit material und Versuch Erdgeschichtlicher Auswertung Fortschr. Geol. Paläont. 4, heft, 14, p. 253-266.
- HARRASSOWITZ (H.) - Böden der Tropischen Region Laterit und Allitischer (Lateritischer) Rotleum, 1930 - E. Blanck's Handbuck. Bodenlehre, BERLIN, vol. III, p. 362-436.
- HARRISON (J.B.) - The Katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions 1933 - Imp. Bur. Soil, Sc. F. Hardit edit. 79 p.
- HEINZELIN (J. de) - Sols Paléosols et Désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du Bassin du Congo, 1952 - I.N.E.A.C. 168 p.
- HENIN (S.) et GODARD (M.) - Relation entre l'évaporation, la température et l'indice d'aridité, 1944 - C.R. Ac. Sc. 219, p. 559
- HENIN (S.) et TURC (L.) - Comparaison entre diverses formules reliant l'écoulement et les précipitations, 1945 - C.R. Ac. Sc. 221, p. 760.
- HENIN (S.) - Precipitations et déficit d'écoulement, 1945 - Ass. Fr. Avancement Sci. Mémoires S.H.F. 1948, vol. I, p. 9-11.
- HENIN (S.) - La formation des argiles et la pédologie, 1947 - C.R. Conf. Pédo. Mediter. p. 97-108.
- HENIN (S.) et LE BORGNE (E.) - Sur les propriétés magnétiques des sols et leurs interprétations, 1954 - C.R. Séan. 5ème Cong. Int. Sc. Sol, LEOPOLDVILLE, vol. II.
- HOCART (R.) et LAPPARENT (J. de) - Le léverrière des formations latéritiques de l'A.O.F., 1939 - C.R. Ac. Sc. t. 208, p. 1465-1467
- HOLLAND (Th.) - On the constitution, origin and deshydratation of laterite, 1903 - Géol. Mag. VI, n° 10, p. 59-69.
- HOYOS (A.) et ALIAS (L.) - Contribution à l'étude des concrétions latéritiques de la Guinée Continentale Espagnole, 1956 - C.R. 6ème Cong. Int. Sc. Sol PARIS, Vol. F, V, p. 62.
- HUBERT (H.) - Les coulées diabasiques de l'A.O.F., 1914 - C.R. Ac. Sc. PARIS, 159, n° 26, p. 1007-9.
- HUBERT (H.) - Les diabases du Fouta-Djallon et leurs phénomènes de contact, 1917 - C.R. Ac. Sc. PARIS, 169, p. 434-437.

- HUBERT (H.) - L'interprétation de la nature lithologique du sous-sol en A.O.F. par l'examen sur le terrain des formations latéritiques, 1939 - Bur. Etud. Géol. Mines Col. PARIS, n° 12, p. 39-57.
- HUMBERT (H.) - The genesis of laterite, 1948 - Soil Sc. 65, p. 281-90
- IMPERIAL BUREAU OF SOIL SCIENCE - Laterite and Laterite Soils, 1932 - LONDON, Comm. Techn. n° 24.
- JACQUES FELIX (H.) - La vie et la mort du Lac Tchad, 1947 - Bull. Agr. S.T.A.T., n° 3
- JACQUES FELIX (H.) et BETREMIEUX (R.) - Etude de quelques sols tropicaux, 1948 - Bull. Agro. Congo Belge, vol. 15, n° 1, p. 171-193.
- JEFFRIES (C.P.) - A method for preparing soil for petrographic analysis, 1941 - Soil Sc. 11, p. 431-435.
- JENNY (H.) - Factors of soil formation, 1941 - Mc Graw Hill - New-York, 281 p.
- JENNY (H.), GESSEL (S.P.) et BINGHAM (F.T.) - Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions, 1949 - Jl. Soil Sc. LXVIII, p. 419-32.
- JEREMINE (E.) - Notes sur quelques dolérites de Guinée, 1936 - Bull. Soc. Min. Fr. p. 392-395.
- JODOT (P.) - Etude de quelques roches latéritiques de la vallée du Niger, 1933 - Bull. Soc. Géol. Fr. III 5è série, p. 619-658.
- JOFFRE (J.S.) - Pedology, 1941 - 2nd Edit. 662 p. Rutgers Union Press. New-Brunswick - N.-Jersey.
- JULIAN (Ed.) - Les mines en Guinée Française, 1938 - N-S - CASABLANCA, n° 33, 3 p.
- KELLEY (W.D.) - Mattern's papers on "the law of soil colloidal behaviour", 1943 - Soil Sc. 56, p. 443-456.
- KELLOG (Ch.E.) - Preliminary suggestions for the classification and nomenclature of great soil group in tropical and equatorial regions, 1949 - Com. Bur. Soil Sc. Tech. comm. n° 46, p. 76-85.
- KELLOG (Ch. E.) et DAVOL (F.D.) - An exploratory study of soil group in the Belgian Congo, 1949 - I.N.E.A.C. Série Sc. n° 46, 73 p.
- KELLOG (Ch.E.) - Tropical Soils, 1950 - C.R. 4ème Cong. Int.Sc. Sol, I, p. 266-276.
- KEMMER (G.H.) et PENDLETON (R.L.) - The nature and relationships of laterite and earthy iron ores and their parent ultramafic rock, 1944 - J. Amer. Soc. Agr. 36, 1025.
- KILLIAN (C.) et SCHNELL (R.) - Observations sur les formations végétales et les sols humifères correspondants des Monts Benna et du Fouta-Djallon (Guinée Fr.), 1947 - C.R. Conf. Pédo. Médit. p. 356-357.

- KOUTLER-ANDERSON et MATTSO (S.) - The laws of Soil Colloidal Behavior, 1942 - Ann. Agr. Coll. Sweden, 10, p. 241-57.
- KUBIENA (W.L.) von - Micropedology, 1939 - Ann. Iowa - U.S.A. Collegiate Press, 243 p.
- KUBIENA (W.L.) von - Zur Mikromorphologie der braunen und roten Tropenlerden, 1950 - 4ème Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 304-307.
- KUBIENA (W.L.) von - Rubefizierung und Laterisierung (zu chres Unterscheidung durch mikromorphologische Merkmale), 1956 - C.R. 6ème Cong. Int. Sc. Sol PARIS, V, 39, p. 253.
- KULP et TRITES - Differential thermal analysis of natural hydrous ferric oxides, 1951, Ann. Mineral. 36, p. 23-44.
- KUNIN (R.) - Determination of iron in soils and silicates by the mercurous nitrate method, 1943 - Soil Sc. 55, p. 457
- LACROIX (A.) - Les syénites néphéliniques des Iles de Loos (Guinée Française), 1905 - C.R. Ac. Sc. PARIS, p. 984-8.
- LACROIX (A.) - Les latérites de la Guinée Française et les produits d'altération qui leur sont associés - 1913 - Nouv. Arch. Mus. Hist. Natu. 5ème série, p. 255-356.
- LACROIX (A.) - Les produits d'altération des roches silicatées alumineuses et en particulier les latérites de Madagascar, 1914 - C.R. Acad. Sc. PARIS, CLIX, p. 617-22.
- LACROIX (A.) - Les phénomènes d'altération superficielle des roches silicatées alumineuses des pays tropicaux, 1934 - Bur. Et. Géol. Min. Colo. n° 2, p. 19-47.
- LAMOTTE (M.), LECLERC (J.C.) et RICHARD-MOLLARD (J.) - Niveaux et Cycles d'érosion dans le massif du Nimba (Haute-Guinée Française), 1949 - C.R. Ac. Sc. PARIS, t. 228, p. 1510-12.
- LAMOTTE (M.) et ROUGERIE (G.) - Les cuirasses ferrugineuses allochtones. Signification paléoclimatique et rapport avec la végétation, 1953 - C.R. Réunion African. W. Abidjan, p. 89-90.
- LAPLANTE (A.) - Les sols rouges latéritiques formés sur les basaltes anciens au Cameroun, 1954 - 5ème Cong. Int. Sc. Sol, LEOPOLDVILLE, V, 26, 4 p.
- LAPPARENT (J.de) - Les bauxites de la France Méridionale, 1930 - Mém. Serv. Cart. Géol. FRANCE, 187 p.
- LAPPARENT (J.de) - Les minerais des bauxites françaises, 1930 - Bull. Soc. Franc. Mines, t. 53, n° 1-6, p. 255-73.
- LAPPARENT (J.de) - La décomposition latéritique du granite dans la région de Macenta (Guinée Française) - L'arénisation pré-tropicale et prédésertique en

- A.O.F. - 1939 - C.R. Ac. Sc. PARIS, 208, p. 1767-1769 et 209, p.7
- LAUDELOUT (H.) et DUBOIS (H.) - Microbiologie des sols latéritiques de l'Uélé, 1951 - I.N.E.A.C., série Sc. n° 50, 36 p.
 - LAUDELOUT (H.), D'HOORE (J.) et FRIPIAT (J.J.) - Influence des microorganismes sur certaines propriétés physico-chimiques des sols de Yangambi, 1953 Bull. Agr. Congo Belge, XV, I, p. 339-54.
 - LAUDELOUT (H.) et MEYER (J.) - Les cycles d'éléments minéraux et de la matière organique en forêt équatoriale Congolaise, 1954 - LEOPOLDVILLE, 5ème Cong. Int. Sc. Sol, I, 3, 5 p.
 - LEGOUX (P.) - Esquisse géologique de l'A.O.F., 1939 - Bull. Serv. Mines A.O.F. DAKAR, n°4.
 - LEMOINE (P.) - La latéritisation et ses rapports avec la genèse de quelques minerais d'alumine, de fer et de certains gites aurifères, 1908 - Bull. Ind. Minier, 37 p.
 - LOMBARD (J.) - Remarques sur la structure des latérites en Oubangui-Chari, 1934 Chron. Mines Col. PARIS, n° 30, I-8, p. 288-289.
 - LOMBARD (J.) - Les altérations superficielles en Afrique Equatoriale Française, 1937 Chron. Mines Col. PARIS, n° 60, p. 168-71
Conf. Museum Hist. Nat. 21/4/37, p. 58-74.
 - LOSSAINT (P.) - Résultats expérimentaux sur le rôle des litières forestières dans la solubilisation du fer, 1956 - C.R. C.I.S.S. PARIS, Comm. II.
 - MAC EVAN (D.M.C.) - Some notes on the recording and interpretation of X Ray diagrams of soil clay, 1949 - Jl. Soil Sc. I, 1, p. 90-103.
 - MAC KENSIE (R.C.) - Nature of free iron oxides in soil clays, 1949 - Nature, CLXIX 4161, p. 244.
 - MAC LAREN (M.) - On the origin of certain laterites, 1906 - Geol. Mag. V, n° 3, p. 536-47.
 - MAIGNIEN (R.) et VEROT (P.) - Les sols de vallées de Haute-Guinée, Rapport ORSTOM n° 33, 1950.
 - MAIGNIEN (R.) - C.R. Tournées en Guinée Française, 1956 et Rapport Annuel 1950-56 ORSTOM
 - MAIGNIEN (R.) - Etudes Pédologiques en Guinée Française, 1953 - Ann. IFAC, n°5, 48p.
 - MAIGNIEN (R.) - Différents Processus de cuirassement en A.O.F., 1954 - IIème Conf. Afric. Sols - LEOPOLDVILLE, n° 116, p. 1468-86.
 - MAIGNIEN (R.) - Formation de cuirasses de plateaux, région de Labé, Guinée Française 1954, 5ème Cong. Int. Sc. Sol - LEOPOLDVILLE, V 1, p. 13.

- Maignien (R.) - Cuirassement en sols de plaine-Ballay (Guinée Française), 1954 - 5ème Cong. Int. Sc. Sol - LEOPOLDVILLE VII, p. 19.
- Maignien (R.) - De l'importance du lessivage oblique dans le cuirassement des sols en A.O.F. 1956 - 6ème Cong. Int. Sc. Sol, PARIS V, 76, p. 463.
- Marbut (C.F.) - Soils of Africa, 1923 - Amer. Geogr. Soc. Res. Série n° 13, p.115-21
- Marbut (C.F.) - Morphology of Laterites, 1932 - C.R. 2ème Cong. Int. Sc. Sol, MOSCOU 1930, 5, p. 72-80.
- Marshall (C.E.) - The colloïd chemistry of the silicate minerals, 1949 - Acad. Press Inco. New-York, 195 p.
- Marshall (C.E.) - The electrochemistry of the clay minerals in relations to pedology 1950 - Trans. 4th, Int. Cong. Sc. Sol, I, p. 71-82.
- Martin (F.J.) et Doyne (H.C.) - Laterite and lateritic soils in Sierra Leone, 1927 et 1930 - J. Agric. Sc., 17, p. 530-47 et 20, p. 135-43.
- Martin (F.J.) et Doyne (H.C.) - Notes on West African Soils quoted in laterite and laterite soils, 1930 - Imp. Bur. Soil Sc. Tech. Comm. n° 24, 24 p.
- Martonne (Em.de) - Traité de Géographie Physique, 1935 - Armand Collin 5ème Edit. 3 vol. 496 p.
- Marvier (L.) - Notice explicative de la carte géologique d'ensemble de l'A.O.F. 1953 - Bull. Dir. Mines A.O.F. DAKAR, n° 16.
- Masson (H.) - La température du sol au cours d'un feu de brousse au Sénégal, 1949 - Bull. Agro. Congo Belge, XL, 2 p. 1933.
- Mattson (S.) - The laws of soil colloïdal behavior :
 1930 - Soil Sc. 30 , p. 459-95
 1931 - Soil Sc. 31 , p. 57-77
 1932 - Soil Sc. 34 , p. 209-240
 1935 - Ann. Agr. Coll. Sweden , Uppsala, 2, p. 115-34.
- Mattson (S.) et Gustafsson (Y.) - Laws of soil colloïdal behavior, 1937 - Ann. Agr. Coll. Sweden Uppsala, 4, p. 1-54.
- Merrill (G.P.) - A treatize on rocks, rock weathering and soils, 1897 - The Mac Millian New-York, 411 p.
- Merwe (C.R. Van der) - Grey ferruginous lateritic soils, 1936 - 3ème Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 303-306.
- Merwe (C.R. Van der) - Ground water lateritic soils, 1950 - 4ème Cong. Int. Sc. Sol V. II, p. 172-174.
- Merwe (C.R. van der) et Heystek (H.) - Clay minerals of South African - Soils groups laterites and related soils - 1952 - Soil Sc. LXXIV, p.383-401.

- MEULENBERGH (J.) - L'Afrique Centrale, terre qui se régénère, 1947 - C.R. Conf. Péd. Médit.
- MILLOT (G.) - Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses, 1949 - Ext. Géol. Appli. Prosp. Min. t. II, n° 2, 3, 4, 352 p.
- MILLOT (G.) - Comparaison des indications de la pédologie et de la géologie au sujet de la genèse des minéraux argileux, 1950 - 4ème Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 37-40.
- MILLOT (G.) et BONIFAS (M.) - Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de latéritisation et bauxitisation, 1955 - Bull. Serv. Carte Géol. Alsace-Lorraine, T. 8, fasc. I.
- MILNE (G.) - Some suggested units of classification and mapping particularly for East African Soils, 1935 - Soil Res. 4, p. 183-98.
- MILNE (G.) - Composite units for the mapping of complex soil associations, 1937 - 3ème Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 345-347.
- MOHR (E.C.J.) - Tropical soils farming processes and the development of Tropical soils, 1930 - Trans. by Pendleton. Coll. Agric. Philippines
- MOHR (E.C.J.) - Soils of Equatorial regions, 1932 - Edward Brothers Inc. Ed.
- MOHR (E.C.J.) et BAREN (F.A. van) - Tropical Soils, 1954 - Interscience Publishers LONDON, p. 498.
- MORRISON (C.G.T.) - The catena concept and the classification of tropical soils, 1949, Bur. Soil Sc. Tech. Comm. n° 46, p. 124-128.
- MORROW-CAMPBELL (J.) - Laterite, its origin, structure and minerals, 1917 - Mineral magaz. n° 17.
- MORTELMANS (G.) - Préhistoire et Quaternaire du Sud du Bassin du Congo, 1946 Session extraordinaire des Sociétés Belges de Géologie, BRUXELLES
- NAGELSCHMIDT (G.) - The mineralogy of soil colloids, 1944 - Imp. Bur. Soil Sc. Tech. Comm. n° 42.
- NIKIFOROFF (C.C.) - Weathering and soil formation, 1935 - 3ème Cong. Int. Sc. Sol vol. I, p. 324-326.
- OBERMULLER (A.) - Description pétrographique et Etudes géologiques de la région forestière de la Guinée Française, 1941, - Bull. Serv. Mines, DAKAR, n° 5.
- ORCEL (J.) - L'emploi de l'analyse thermique différentielle dans la détermination des constituants, des argiles, des latérites et bauxites, 1935 - C.R. Cong. Int. Min. Métal. Géol. Appl. PARIS, p. 359-73.

- PALLISTER (J.W.) - Erosion levels and laterite in Buganda Province (Uganda), 1952 - C.R. Cong. Géol. Int. ALGER;
- PELISSIER (P.) et ROUGERIE (G.) - Problèmes morphologiques dans le bassin de Siguiri Haut-Niger - 1953 - Bull. IFAN, DAKAR, t. XV, n° 1, 47 p.
- PENDLETON (R.L.) - On the use of the term laterite, 1936 - American Soil Survey. Ass. Bull. 17 p. 102-108.
- PENDLETON (R.L.) et SHARASUVANA - Analysis and profile notes of some laterite soils and soils with iron concretions of Thailand, 1942 - Soil Sc. 54 n° 1, p. 1-25.
- PENDLETON (R.L.) - The classification and mapping of tropical soils, 1942 - Comm. Bur. Soil Sc. - Tech. Comm. 46, p. 93-97.
- PENDLETON (R.L.) - What is laterite, 1943 - Farm and Forest 4, 12, p. 177-202.
- PENDLETON (R.L.) et SHARASUVANA - Analysis of some siamese laterites, 1946 - Soil Sc. n° 62, p. 423-40.
- PENMAN (H.L.) - Recent Rothamsted studies in natural evaporation, 1950 - Landbouwkundig, Tijdschrift 62, n° 3, p. 166-78.
- PERNET (R.) - Influence des divers peuplements de reboisement sur la régénération des sols à Madagascar, 1954 - LEOPOLDVILLE, 2ème Conf. Afric. Sols, n° 86.
- POLYNOV (B.B.) - The cycle of weathering, 1937 - London Ann. Mines
- PORTERES (R.) - Les successions linéaires dans les agricultures primitives de l'Afrique et leur signification - 1952 - Sols Afric. II, I, p. 14
- POUQUET (J.) - Altération de dolérite de la Presqu'île du Cap Vert (Sénégal) et du plateau du Labé (Fouta-Djallon), 1954 - Bull. Ass. Géog. Fr. n° 245-246, p. 173-182.
- PRESCOTT (J.A.) et PENDLETON (R.L.) - Laterites and lateritic soils, 1952 - Comm. Bur. Soil Sc. Tech. Comm. n° 47, 51 p.
- PRESCOTT (J.A.) - Laterite and lateritic soils, 1930, Nature, p. 724-725.
- REFORMATSKY (N.) - Quelques notes sur les latérites et les roches ferrugineuses de l'ouest de la Colonie du Niger français, 1935 - Bull. Soc. Geol. France, V, p. 575-90.
- RIQUIER (J.) - Essai de classification des sols latéritiques de Madagascar selon la topographie, 1951 - Mém. Inst. Sc. Madagascar, fasc. I, p. 113-26.
- RIQUIER (J.) - Formation d'une cuirasse ferrugineuse et manganifère en région latéritique, 1954, C.R. 5ème Cong. Int. Sc. Sol - LEOPOLDVILLE

- RIQUIER (J.) - Les sols sur alluvions récentes et anciennes du Lac Alaotra - Madagascar, 1956 - C.R. 5ème Cong. Int. Sc. Sol, V, 541.
- ROBINSON (G.W.) - Laterite and laterite soils, 1922 - Imp. Bur. Soil S6. Tech. Comm. n° 24, 30 p.
- ROBINSON (G.W.) - Soils, their origin, constitution and classification, 1949 - Lardon, 3ème édit. Thomas Marby and Co, Ed. - 573 p.
- ROQUES (M.) - Le Précambrien de l'Afrique Occidentale française, 1948 - Bull. Soc. Géol. France - 5ème série, t. XVIII - p. 589-628.
- ROUCHET (M.J. du), HENIN (S.), ROBICHET (O.) - Altération expérimentale d'un schiste comparaison avec un granit. C.R. Ac. Sc. 30/11/53, p. 1437.
- ROUGERIE (G.) et LAMOTTE (M.) - Niveaux d'érosion et surface d'aplanissement de la dorsale Guinée, 1953 - C.R. 5ème Réun. Afr. W, Abidjan, p. 91
- RUHE (R.J.) - Erosion Surfaces of report of Central African interior high plateaux 1954 - I.N.E.A.C., Serv. Sc. n° 59.
- SABOT (J.) - Les latérites, 1952 - Comm. Cong. Int. Geol. ALGER, p. 181
- SCAETTA (H.) - Rôle des cuirasses latéritiques dans l'évolution ultérieure des sols sous-jacents, 1938 - C.R. Soc. Biogéog. t. 15, n° 126, p. 26-27
- SCAETTA (H.) - Sur la genèse et l'évolution des cuirasses latéritiques, 1938 - C.R. Soc. Biogéog. t. 15, n° 125, p. 14-18.
- SCAETTA (H.) - Les cuirasses sub-aériennes, 1938 - C.R. Soc. Biogéog. t. 15, n° 126, p. 289.
- SCAETTA (H.) - Les types climatiques de l'A.O.F. Leurs rapports avec l'évolution du sol tropical, 1939 - La météorologie, 3ème série, n° 19, p. 39-48.
- SCAETTA (H.) - Rôle de la forêt humide en Côte d'Ivoire dans la captation des poussières atmosphériques et la reconstitution des colloïdes argileux du sol, 1941 - C.R. Ac. Sc. t. 212 - p. 273-276.
- SCAETTA (H.) - Sur un phénomène d'expurgation oblique du sol tropical en Afrique occidentale, 1939 - C.R. Ac. Sc. PARIS, t. 208, p. 912-914.
- SCAETTA (H.) - Observations sur l'origine et la constitution des sols de l'A.O.F. 1940 - Ann. Agr. t. 10, n° 1, p. 101-126.
- SCAETTA (H.) - Limites boréales de la latéritisation actuelle en Afrique Occidentale, 1941 - C.R. Ac. Sc. PARIS, t. 212, p. 129-130.
- SCAETTA (H.) - Evolution des sols et de la végétation dans la zone des Latérites en Afrique Occidentale, 1941 - C.R. Ac. Sc. PARIS, t. 212, p. 169-171.

- SCAETTA (H.) - Sur la régénération des oblites intertropicales. Principes nouveaux sur la reconstitution minérale des sols des pays chauds, 1941 - C.R. Ac. Sc. T. 212, p. 445-447.
- SCHAUFELBERGER (P.) - Was ist Laterit, 1953 - Geochim. Cosmochim. Acta, 3, 47-52.
- SCHMELEN (L.A.) - A method of determining free Al oxide in silicate mixtures and its application to the study of clays, 1928 - Trans. Ceram. Res. Inst. MOSCOU, 14, p. 1-24.
- SCHNELL (R.) - Observation sur l'instabilité de certaines forêts de la Haute-Guinée en rapport avec le modelé et la nature du sol, 1948 - Conf. Afric. Sol. GOMA, n° 37, p. 671-676.
- SCHNELL (R.) - Végétation et Flore des Monts Nimba, 1949 - PARIS, thèse.
- SCHUYLENBORGH (J. Van) et SANGER (A.M.H.) - The electrokinetic behaviour of iron and aluminium hydroxides and oxides, 1949 - Rec. Trav. Chim. Pays-Bas, 68, p. 999-1010.
- SCHUYLENBORGH (J. van) - The electrokinetic behaviour of the sesquioxides hydrates and its bearing on the genesis of clay mineral, 1950 - C.R. 4ème Cong. Int. Sc. Sol, 1, p. 89-92.
- SCHUYLENBORGH (J. van) et SANGER (A.M.H.) - On the origin of clay minerals in the soils, 1950 - Landbouwk - Tijdschr, 62, 347-358.
- SCRIVENOR (J.B.) - Laterite, 1930 - Geol. Mag. vol. 57, p. 24-28.
- SEGALEN (P.) - Etude des sols dérivés des roches volcaniques basiques de Madagascar, 1957 - Thèse PARIS -ORSTOM.
- SENSTIUS (N.W.) - Latérites und polar migration gerlands beitrage zur geophysic, 1931 - Koppen Band I, n° 32, p. 134-140.
- SHERMAN (H.D.) - Hawaiian ferruginous laterite crusts, 1950 - Pacific Sc. n° 4, p. 314-322.
- STEPHENS (C.G.) - A review of recent works on Australian tropical and subtropical soils, 1949.
- STREMMER (H.) - Laterite und Terra Rossa als alluvials horizonte humoses Waldboden, 1915 - Geol. Rundschau. n° 5, p. 480-94.
- SUDRES (J.) - La dégradation des sols du Fouta-Djallon, 1947 - Agron. Trop., Mai-Juin.
- TESSIER (F.) - Agès des phosphates et des latérites des phosphatés de l'Ouest du plateau de Thiès (Sénégal) - 1950 - C.R. Acad. Sc. PARIS, t. 230, p. 981-983.
- TESSIER (F.) - Contribution à la stratigraphie de la Partie W du Sénégal, 1952 - Bull. Dir. Mines A.O.F., DAKAR, n° 14.

- TESSIER (F.) - Oolites ferrugineuses et fausses latérites dans l'Est de l'A.O.F.
1954- Ann. Inst. Hautes Et. DAKAR, t. I, 16 p.
- TKATCHENKO - Remarques sur les processus de latéritisation en terres grises,
1936 - Bull. Econ. Indoch. HANOI, Mars-Avril, p. 167-182.
- TOUCHEBEUF (de), LUSSIGNY (P.) et RODIER (J.) - Etude de l'évaporation sur les
surfaces d'eau libre en Afrique Noire Française, 1952 - Ann. Hydro.
F.O.M. 1954 - p. 11-28.
- TRICARD (J.) - Un nouvel instrument au Service de l'agronome. Les cartes géomor-
phologiques, 1956 - Sols Africains, vol. 4, n° 1, p. 67-101.
- TROCHAIN (J.) - Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal, 1941 - Ann.
IFAN, n° 2, DAKAR.
- TURC (L.) - Le bilan d'eau des sols, 1955 - Ann. Agro. Série A, n° 1, p. 5-131.
- URBAIN (P.) - Introduction à l'étude pétrographique et géochimique des roches
argileuses, 1937 - Actualité Sc. Ind. 499, Hermann PARIS, 61 p.
- VAGELER (P.) - Die Entstehung der Laterits Mitt. d. Deutsche Landw. Gesellsch,
1938.
- VAGELER (P.) - Grundriss der Tropischen und Subtropischen Bodenkund, 1938 - 2ème
Edit. BERLIN, 252 p.
- VINE (H.) - Nigerian soils in relations to parent materials, 1949 - Comm. Bur.
Sol Sc. Tech. Comm. n° 42, p. 22-29.
- VINE (H.) - Latosols of Nigeria and some related soils, 1954 - LEPOLDVILLE,
5ème Cong. Int. Sc. Sol, n° 16, 14 p.
- WAEGEMANS (G.) - Latéritisation et Latérites, 1949 - Centre Col. Doc. et Cong. Rech.
Chim. BRUXELLES.
- WAEGEMANS (G.) et VANDERSTAPPEN (R.) - Anthigenèse, altération des minéraux argileux
et latéritisation dans les régions intertropicales, 1950 - C.R.
4ème Cong. Int. Sc. Sol, vol. III, p. 145-149.
- WAEGEMANS (G.) - La latéritisation, 1950 - III. Cong. Nat. Sc. BRUXELLES.
- WAEGEMANS (G.) - Introduction à l'étude de la latéritisation et des latérites du
Centre Africain, 1951 - Bull. Agr. Congo Belge, n° 42, p. 13-56.
- WAEGEMANS (G.) - Latérites et bauxites, 1951- Bull. Agr. Congo Belge, n° 1, 8 p.
- WAEGEMANS (G.) - Latérites pisolithiques et scoriacées, 1952 - Bull. Agr. Congo Belge,
n° 2, 16 p.
- WAEGEMANS (G.) - Les latérites de Gimbi (Bas Congo), 1954 - I.N.E.A.C. - série Sc;
n° 60, 27 p.

- WAEGEMANS (G.) et HENRY (S.) - La couleur des latosols en relation avec leurs oxydes de fer, 1954 - C.R. 5ème Cong. Int. Sc. Sol, II, 21, 5 p.
- WEISSE (G. de) - Notes sur quelques types de latérites de la Guinée Portugaise, 1952 Cong. Int. Géol. ALGER, p. 171.
- WEISSER (H.B.) et MILLIGAN (N.D.) - X ray studies on the hydrous oxides III, 1934 Jl. Phys. Chem. 38, pl. 1175-1182.
- WESEMAEL (J.C. Van) et LEHR (J.J.) - The influence of salts on the solubility of phosphate in iron rich soils, 1954 - LEOPOLDVILLE, 5ème Cong. Int. Sc. Sol. II, 4, 7 p.

PAYSAGES DE REGIONS CUIRASSEES

Bowal avec Termitières Champignons
environ de SERIBA



Cuirasse de bas de pente
BAMAKO



Piedmonts cuirassés
vers TOUGUE



Cuirasse en forme de pont
FELLO-BANTAN



PAYSAGES CUIRASSES

Bowalisation dans la région de SERIBA
Chaque clairière marque l'enplacement d'une cuirasse



SERIBA
Surface tabulaire
ancienne cuirasse.



MAMOU
Surface monoclinale
cuirassée



KOROGHO
Bas Plateau
cuirassé



MORPHOLOGIE DE CUIRASSES

Cuirasses feuilletée
FELLO-BANTAN



Cuirasse alvéolaire
FELLO-BANTAN



Cuirasse phylliteuse sur grès
BAMAKO



Ecailles d'altération de dolérite ferruginisée
DARALABE



ACTION DES RACINES SUR LE DEMANTELEMENT DES CUIRASSES

Anisophylla Laurina
sur une cuirasse colluviale
DALABA



Combretum sur cuirasse phylliteuse
BAMAKO



Parkia biglobosa arraché
par une tornade - SERIBA
Remarquer le système traçant

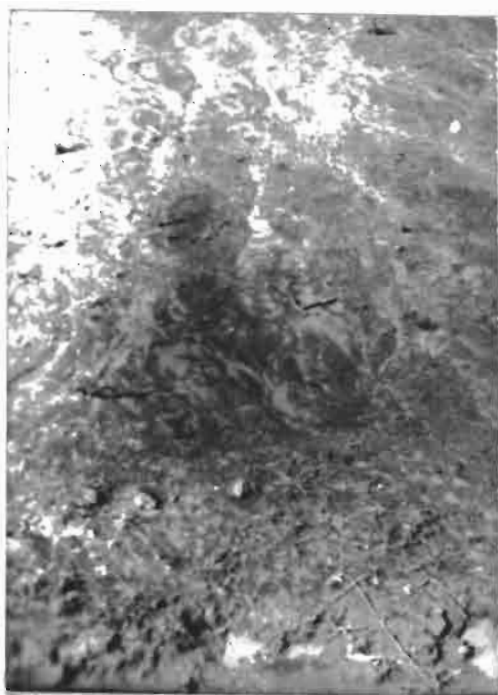


Bombax et Combretum sur cuirasso de pente
BAMAKO



EROSION DE SOLS CUIRASSES

Erosion en nappe
TIMBI



Erosion en nappe ravinante
TIANGEL BORI



Ravine d'érosion avec affleurement de
cuirasse
FELLO - BANTAN



Amorce d'une ravine d'érosion
environ de PITA

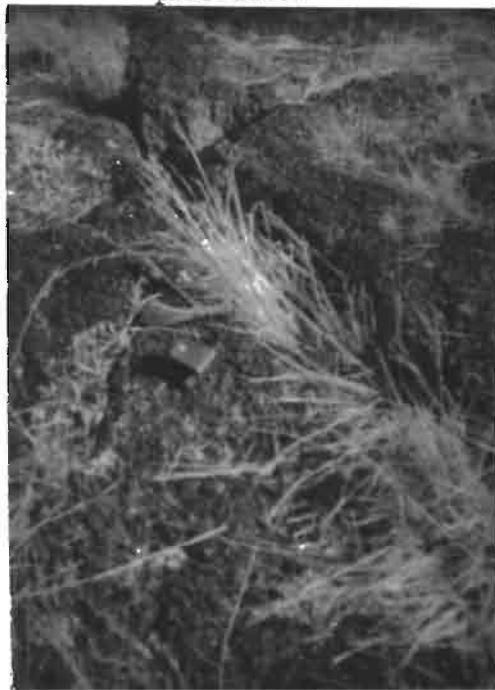


FORMATION DU MODELE

LABE
Cuirasse affleurante
en porte à faux



LABE
Polygonation de la cuirasse
précédente



LABE
amorce d'effondrement
par soutirage au vide



LABE
Effondrement en tête de
ravin d'érosion



T A B L E D E S M A T I E R E S

	Page
AVANT-PROPOS	1
INTRODUCTION	5

P R E M I E R E P A R T I E

M E T H O D E S D ' E T U D E S E T M I L I E U N A T U R E L

CHAPITRE PREMIER - DEFINITIONS ET HISTORIQUE

I. DEFINITIONS	7
II. HISTORIQUE	24

CHAPITRE SECOND - LES CONSTITUANTS DES CUIRASSES

I. CONSTITUANTS PRINCIPAUX	30
II. CONSTITUANTS SECONDAIRES	41

CHAPITRE TROISIEME - METHODES D'ETUDES

I. OBSERVATIONS	43
II. ETUDES ANALYTIQUES	50
III. ESSAIS DE PEDOGENESE	54

CHAPITRE QUATRIEME - LE MILIEU NATUREL

I. CADRE GEOGRAPHIQUE	56
II. FACTEURS CLIMATIQUES	57
III. LES ROCHES - LEURS PRODUITS D'ALTERATION - LES SOLS	77
IV. TOPOGRAPHIE ET MODELE	98
V. HYDROGRAPHIE	101
VI. FACTEURS BIOLOGIQUES	104

DEUXIEME PARTIE

LES SOLS CUIRASSES : ECHANTILLONS ET PROFILS

	Page
<u>CHAPITRE CINQUIEME - ECHANTILLON DE CUIRASSES</u>	
I. EXEMPLES ETUDIES	113
II. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET MINERALOGIQUES DES ECHANTILLONS DE CUIRASSES	123
<u>CHAPITRE SIXIEME - DESCRIPTIONS DES PROFILS CUIRASSES</u>	
I. SOLS FERRALLITIQUES	143
II. SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX	151
III. SOLS SUBARIDES	162
IV. SOLS HYDROMORPHES	163
V. SOLS SUR CUIRASSES	173
VI. CUIRASSES ALLUVIALES ET COLLUVIALES	175
<u>CHAPITRE SEPTIEME - COMPOSITIONS CHIMIQUES DES PROFILS CUIRASSES</u>	
I. SOLS FAIBLEMENT CUIRASSES	178
II. SOLS A CUIRASSE ACTUELLE	184
III. CUIRASSES ANCIENNES	188
<u>CHAPITRE HUITIEME - CONSTITUTION MINERALOGIQUE DES PROFILS CUIRASSES</u>	
I. PROFILS D.1 et D.2	192
II. PROFILS D.5 , D.4 et D.9	194
III. PROFILS A.5 et A.3	196

TROISIEME PARTIE

INTERPRETATION DES PHENOMENES DE CUIRASSEMENT

CHAPITRE NEUVIEME - PRESENTATION D'UN ESSAI D'INTERPRETATION

I. CUIRASSEMENT ET MIGRATION DIFFERENTIELLE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS ..	200
II. FORMATION DE L'HORIZON CUIRASSE	202
III. INFLUENCE DES FACTEURS DU MILIEU SUR LE CUIRASSEMENT DES SOLS	212

	Page
IV. SUR LE PROFIL A HORIZON CUIRASSE	218
V. ESSAI DE CLASSIFICATION DES SOLS A HORIZONS CUIRASSES	222
 <u>CHAPITRE DIXIEME</u> - APPLICATION : LES CHAINES DE SOLS CUIRASSES	
I. DESCRIPTION DES PROFILS CUIRASSES A TRAVERS LES CHAINES DE SOLS	227
II. DONNEES ANALYTIQUES	248
III. MISE A L'AFFLEUREMENT DES CUIRASSES	250
IV. LE MODELE DES PAYS A SOLS CUIRASSES	254
 <u>CHAPITRE ONZIEME</u> - INVENTAIRE DES MECANISMES POSSIBLES DU CUIRASSEMENT DES SOLS	
I. INDIVIDUALISATION DES MATERIAUX DU CUIRASSEMENT	264
II. MOBILISATION	267
III. MIGRATION	275
IV. IMMOBILISATION	279
V. INDURATION	285
 <u>CHAPITRE DOUZIEME</u> - LES CYCLES DE CUIRASSEMENT EN GUINEE FRANCAISE	
I. DISPARITION DES NIVEAUX INDURES	290
II. CYCLES DE CUIRASSEMENT	294
III. EVOLUTION DU CUIRASSEMENT EN GUINEE FRANCAISE - ESSAI STRATIGRAPHIQUE	303
 CONCLUSIONS GENERALES	 308
 BIBLIOGRAPHIE	 312