

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE MER

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG
INSTITUT DES SCIENCES
GÉOLOGIQUES

ROGER MAIGNIEN

DOCTEUR ÈS SCIENCES

Directeur de recherches à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer
Chef du Centre Pédologique de DAKAR

LE CUIRASSEMENT DES SOLS
EN
GUINÉE
AFRIQUE OCCIDENTALE

EXTRAIT DES MÉMOIRES DU SERVICE DE LA CARTE GÉOLOGIQUE
D'ALSACE ET DE LORRAINE - 1958 N° 16 - 1, RUE BLESSIG - STRASBOURG

1958

**OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE MER**

**UNIVERSITÉ DE STRASBOURG
INSTITUT DES SCIENCES
GÉOLOGIQUES**

ROGER MAIGNIEN

DOCTEUR ÈS SCIENCES

**Directeur de recherches à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer
Chef du Centre Pédologique de DAKAR**

**LE CUIRASSEMENT DES SOLS
EN
GUINÉE
AFRIQUE OCCIDENTALE**

**EXTRAIT DES MÉMOIRES DU SERVICE DE LA CARTE GÉOLOGIQUE
D'ALSACE ET DE LORRAINE - 1958 N° 16 - 1, RUE BLESSIG - STRASBOURG**

1 9 5 8

AVANT-PROPOS.

Lorsque, en 1946, jeune pédologue, je débarquai pour la première fois en Afrique Occidentale Française, 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 Guérina (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 constant, et qu'il ne se trouvait donc pas lié obligatoirement aux processus de ferrallitisation — on disait alors latéritisation. Vers la même époque, j'eus 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.

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), j'entrevis 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, l'un le Fouta Djallon à l'Ouest montrait un cuirassement généralisé de ses sols, l'autre, le Massif de Joos (Nigéria) à l'Est, ne présentait que quelques niveaux indurés. Or, 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 Mauritanien 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 Aoefiennes voisines.

Avant de commencer l'exposé de mes recherches, je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont donné leurs conseils, et 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, Maître de Recherches au C.N.R.S., 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; il fut mon initiateur à la Pédologie. Lors de nombreuses tournées communes, il m'a fait profiter de sa grande expérience du terrain, il a su m'inculquer sa foi et son enthousiasme en la recherche. Grâce à lui, 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, Président de mon Jury, qui m'a conseillé pour la partie minéralogie.

Monsieur G. LEMÉE, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, membre de mon Jury, qui a bien voulu m'orienter vers mon second sujet.

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. DOMMERMUES, 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 J. 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.

INTRODUCTION

En régions tropicales, la réunion de certaines conditions pédogénétiques provoque une évolution particulière des sols. Elle 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 ainsi amené à séparer ces derniers phénomènes de ceux de la ferrallitisation. 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 une 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, 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 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 définis les termes employés et fais un historique du problème posé. Puis je décris les différents constituants des cuirasses, lesquels déterminent les méthodes d'études employées. Je termine cette première partie par une description du milieu naturel guinéen.

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

Dans la troisième partie, je développe un essai d'interprétation, lequel m'amène à étudier le développement du cuirassement dans le paysage. Je fais ensuite l'inventaire des différents mécanismes applicables aux processus de cuirassement et je termine par quelques considérations sur les cycles de cuirassement au cours des périodes passées.

PREMIERE PARTIE

METHODES D'ETUDES ET MILIEU NATUREL

CHAPITRE PREMIER.

DEFINITIONS

A. - TERMINOLOGIE

Le *cuirassement* d'un sol est l'ensemble des processus pédogénétiques qui provoque 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;

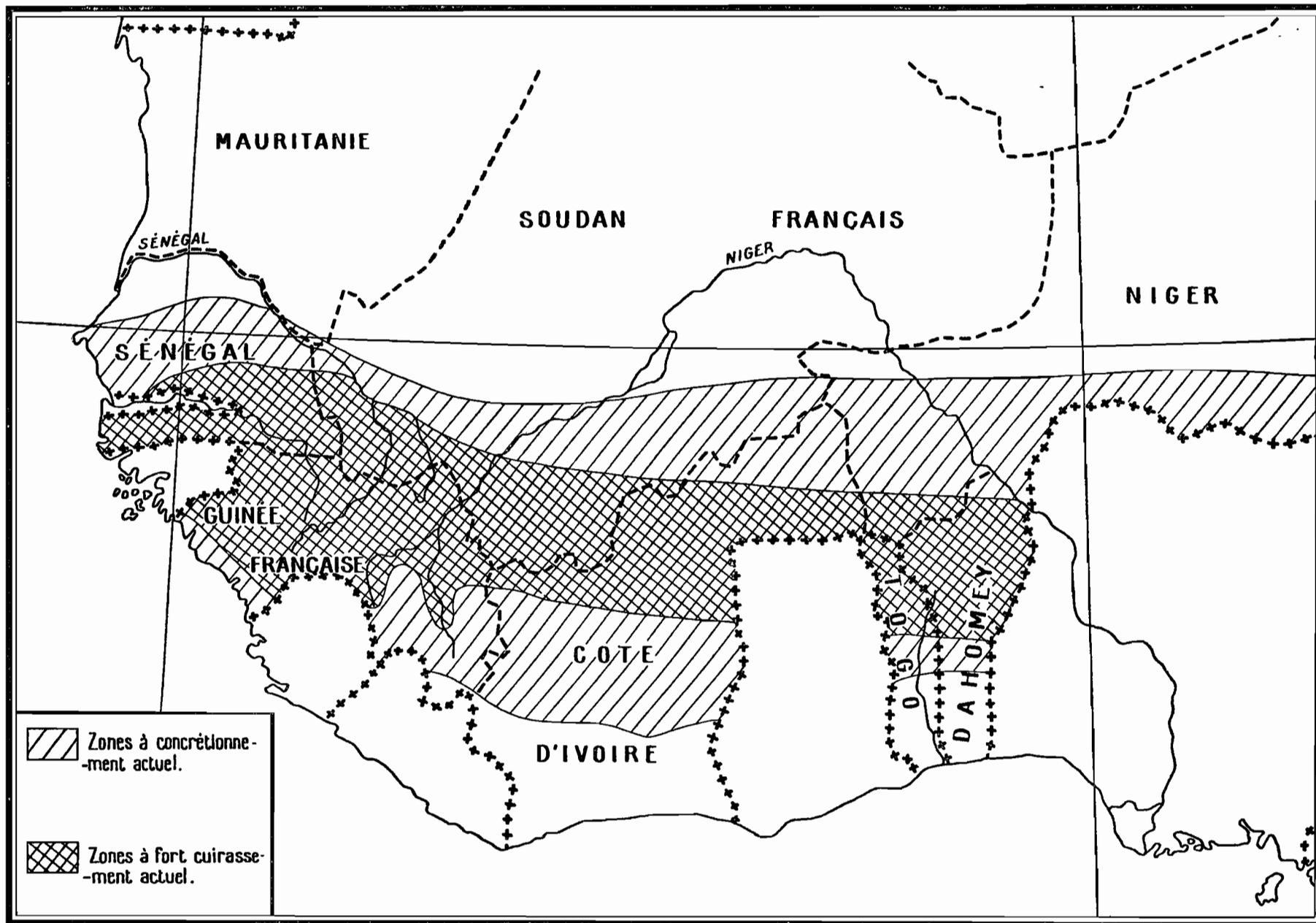
— les *carapaces*, qui marquent un degré moindre de l'induration, et qui se coupent facilement à la pioche.

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 spéculative, tous les intermédiaires entre horizons fortement et peu durcis étant observables. 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 empirique, et varie d'un observateur à l'autre, suivant que l'on étudie l'échantillon sec ou humide. Un horizon est considéré 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 le 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 pédogénétique.

RÉPARTITION DU CUIRASSEMENT ACTUEL EN AFRIQUE OCCIDENTALE



Carte I

L'*horizon concrétionné* est un niveau du sol où s'individualisent et se développent des concrétions, qui deviennent parfois les constituants dominants, 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, 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.

Remarque: Les termes «croûte» et «encroûtement» sont réservés spécifiquement aux accumulations calcaires.

B. - FAITS GENERAUX D'OBSERVATION

1. GENERALITE DU PHENOMENE DE CUIRASSEMENT EN A.O.F. SA VARIETE.

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, la généralité et la variété sont extrêmement grandes.

— Ces processus s'observent dans des sols appartenant à des groupes génétiques 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 s'implante 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, où ils sont 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 va 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 variées, parfois au niveau de la mer, mais aussi, près de Dalaba, à plus de 1400 mètres 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 à peu près impossible d'interpréter ces formations comme spécifiques de milieux naturels particuliers. On a souvent tenté de les rattacher aux périodes paléoclimatiques. Ces essais intéressants à l'échelon local, deviennent plus aléatoires quand on tente de les généraliser à un territoire. Les conditions de formation des cuirasses sont moins étroites qu'on pouvait le supposer 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 interréactions sensibles entre les cuirasses anciennes et les phénomènes de cuirassement actuels. Les cuirasses fossiles, dont certaines se maintiennent depuis au moins le Tertiaire, continuent 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. Il est indispensable de faire une 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, déterminer les éléments spécifiques des processus de cuirassement?

2. ETENDUE ET LIMITES DU CUIRASSEMENT.

L'étendue des zones cuirassées en A.O.F. est considérable. J'ai pu observer des formations fossiles extrêmement riches en fer, à faciès de cuirasses, dans la région d'Akjoucht 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 Bénin. Pratiquement les traces de cuirassement s'observent partout en A.O.F. Mais au milieu de vestiges plus ou moins anciens, s'individualisent des zones de cuirassement privilégiées où celui-ci se poursuit activement. Ces régions correspondent approximativement aux limites du domaine climatique soudano-guinéen, qui forme une bande prenant en écharpe l'Afrique Occidentale, entre le 7° et le 15° 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, les 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 de ces conditions favorables:

a) En Basse-Guinée, la forêt mesophile a presque partout disparu. Au Fouta Djallon, la forêt montagnarde à Parinari excelsa Sabine n'existe qu'à l'état de bouquets relictés. 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 les franges.

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

- dépressions intérieures du Fouta Djallon (Kollun);
- 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 PHENOMENE.

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 des sols. 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 brutal, 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 se limite au niveau de l'horizon cuirassé, d'où il résulte des modifications sensibles dans l'évolution de la matière organique. D'autre part, la saturation en eau des horizons de surface est favorisée. Les phénomènes d'érosion hydrique se trouvent accusés.

Le dynamisme des différents oxydes qui domine la genèse des sols cuirassés, pose une série de problèmes importants sur les formes d'évolution de ces 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 sesquioxydes 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 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 faciès juvéniles, les profils qui se cuirassent ont un horizon humifère peu épais et de faible importance.

Souvent 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 en s'en tenant à l'examen des seuls profils. Il est nécessaire d'étudier l'environnement, et d'évaluer la masse de produits propices au cuirassement qui peut être fournie par un paysage donné.

Les sesquioxydes, en particulier ceux de fer, jouent un rôle important sur les propriétés d'échange des « colloïdes » du sol, par leurs actions sur les surfaces actives des argiles. Ils interviennent dans 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 intéressante du cuirassement est la fossilisation des formes du relief qui permet la conservation des surfaces d'érosion, des terrasses et des glacis de piémont qui subsistent comme 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 doit permettre leur utilisation pour l'étude géologique du Tertiaire et du Quaternaire.

b) Sur un plan 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 sur leur fertilité, car le pourcentage d'eau est fréquemment le facteur limitant. 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 d'espèces adaptées qui supportent un excès d'humidité en saison des pluies, et des conditions d'extrême aridité en saison sèche (Cypéracées). 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 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 faciès tassé, avec des troncs tourmentés, remplis de nœuds. L'écorce est noircie par le feu. Cette allure 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 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 Koupentum 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 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) justifie l'intérêt de prospections minières. Déjà les anciens habitants les utilisaient pour en extraire le fer. On retrouve partout en Afrique Noire des traces de laitier, et quelques fours fonctionnent encore actuellement en Guinée Française (région de Beyla). 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 sûrs espoirs économiques de ce Territoire. Enfin des 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, semblant parfois encore controversée, il paraît nécessaire de préciser le point de vue développé dans cette étude.

Par leur genèse, les cuirasses sont intimement liées au dynamisme des sols tropicaux. Des études détaillées montrent qu'elles sont sous la dépendance des facteurs mêmes 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, «pans» américains, etc...), la notion de structure meuble est mise en défaut. On remarque d'ailleurs que l'induration extrême d'un horizon cuirassé correspond toujours à un stade sénile de l'évolution du sol, qui peut agir en tant que matériau original et donner 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 lessivage oblique à travers une chaîne de sols.

Il est possible de 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.

Le problème posé, il reste à savoir si les cuirasses sont les résultantes de processus ayant concouru à la formation du sol, et, par conséquent, représentant des horizons spécifiques du profil. La morphologie de certains profils de sols en voie de cuirassement montre d'une façon

frappante les liaisons entre les différents horizons, liaisons d'ailleurs confirmées par les résultats analytiques. Il se produit un passage plus ou au moins continu d'un horizon à l'autre. Certains minéraux inaltérables du matériau originel (tourmaline, zircon, rutile, staurotite), présents dans tous les horizons, précisent l'origine autochtone de ces sols. Par contre, l'étude de la répartition de ces minéraux à travers les différents horizons est moins probante, car il peut se produire des enrichissements préférentiels dus aux phénomènes d'éluviation de certains éléments particulièrement mobiles. Malheureusement, les processus de cuirassement se produisent fréquemment dans un matériau plus ou moins remanié, parfois même dans des alluvions où la stratigraphie apparaît. Une étude morphologique du profil est alors incapable de préciser de façon absolue les liaisons entre cuirasse et horizons voisins.

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 souvent comme des produits surajoutés. On ne peut expliquer par des simples mouvements d'éluviation, l'importance des phénomènes d'accumulation à travers le profil. Les hydroxydes proviennent ordinairement des sols voisins par translation latérale. Ce mouvement des hydroxydes à travers le paysage est lié au lessivage oblique des solutions du sol. C'est pour cette raison 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 était au départ 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 à travers les sols s'étageant le long des pentes.

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

La formation des cuirasses est donc intimement liée au dynamisme des solutions du sol, lequel est propre à chaque type. Elle se trouve sous la dépendance du degré d'évolution de celle-ci. Les cuirasses en sont partie intégrante. Elles sont sensibles aux variations apportées aux facteurs de formation (variations climatiques, dégradation de la végétation, utilisation par l'homme). C'est un matériau en perpétuelle évolution. Au même titre que les sols, les cuirasses naissent, évoluent en fonction des facteurs du milieu, atteignent un stade d'équilibre avant de participer à un nouveau cycle d'évolution quand l'équilibre est rompu.

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

D'autre part, il existe des interréactions précises entre la genèse d'un horizon cuirassé et l'évolution ultérieure du profil où le phénomène prend naissance. 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 des ciments de sesquioxydes 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 l'extension du cuirassement dans le paysage.

Au contraire, si le drainage se maintient, les produits complexés sont exportés au loin. Il y a disparition progressive de l'horizon cuirassé et installation d'une végétation arborée qui fait suite à l'approfondissement du sol.

En résumé, ces différents processus confirment et précisent la notion de cuirasse *horizon pédologique*.

D. - CUIRRASSEMENT 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 franchements 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, 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 totalement justifié.

Pourquoi donc est-il encore si couramment employé? 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 indurée, riche en fer, l'auteur emploie le terme de «ore» (minerai). Pourtant «latérite» est traduit par «qui ressemble à la brique», et ce nom est 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 qui se façonne facilement. Cet auteur indique 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 difficile, la composition du matériau variant fortement, même si le caractère essentiel reste la richesse en hydroxydes. Les chercheurs anglo-saxons ont donc réservé au terme «latérite» une définition 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 néanmoins 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 manganifères et très souvent également ne plus contenir de silice cristallisée. La définition d'un tel matériau doit être 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, créé par G. W. ROBINSON (1949).

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».

Il est donc possible de distinguer:

— des processus pédogénétiques se caractérisant *principalement* par l'altération des roches à minéraux silicatés, en régions chaudes et humides du globe, et appelée 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.

CHAPITRE II.

HISTORIQUE

Faire l'historique du problème de cuirassement des sols tropicaux, et, plus particulièrement de celui des sols de Guinée Française, revient 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 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 — KÖPPEN, 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 LARREN (1908), LACROIX (1913)
- la topographie plane — SIMPSON (1912), LACROIX (1913), HOLMES (1914).

Sur la composition de ces formations, l'attention a d'abord été attirée par la richesse des matériaux en hydroxydes, et les classifications de cette époque sont basées sur les teneurs respectives en ces éléments. Pour NEUSTRUEV (cf. LACROIX, 1913), une latérite contient plus de 86% de Fe_2O_3 . FERMOR (1911) porte cette limite à 90%. LACROIX tient compte également 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 que la présence de l'aluminium est indispensable 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 plus employées.

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

- 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) affirme : une cuirasse latéritique doit obligatoirement présenter un horizon de passage avec la roche-mère ; 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 SiO_2/Al_2O_3 dans les argiles des latérites. Une latérite caractéristique montre un rapport inférieur à 1,33. Le fer est un élément non essentiel du milieu latéritique. Jusque vers cette époque, il est admis que les niveaux indurés des latérites se forment par remontée capillaire des hydroxydes. MOHR (1932) change ces vues, développées par HARRASSOWITZ (1930) en particulier, qui limite 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 profonde. 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 une contribution importante quant à la connaissance de la décomposition des roches en milieu tropical et des relations entre cuirasses et roches sous-jacentes. Il faut encore citer 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 impossible de les nommer tous.

3. — Pourtant ce n'est que récemment que l'on a commencé à séparer les 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 matériaux 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 de nom-

breuses prospections [LAPLANTE (1954), RQUIER (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 (DOMMERGUES), sur les formes microcristallines des oxydes hydratés des cuirasses [KUBIENA (1956), ALEXANDER L. T. (1956)] viennent préciser chaque jour davantage les conditions du cuirassement des sols tropicaux. Les géographes ROUGERIE et LAMOTTE (1953), le géomorphologue TRICART (1956), apportent une contribution importante à ces études.

En Guinée Française, en 1821, BERTHIER signale la présence de minerais ferrugineux, riches en aluminium au Fouta Djallon, présentant des analogies certaines avec l'alumine hydratée des Baux. Toutefois, il faut attendre les travaux de CHAUTARD (1908), puis de LACROIX (1913), pour avoir une idée plus précise du problème de la latérite en Guinée.

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 déshydratation des latérites détritiques ou des argiles. Les cavités du squelette d'hydrate de fer sont remplies ou simplement tapissées de latérite.

LACROIX (1913) 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.»

La classification est basée, d'une part, sur la composition chimique des matériaux constitutifs, et d'autre part, sur leurs formes minéralogiques. Il distingue: 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 Guinée. 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. Ses mémoires restent, à l'heure actuelle, des bases précieuses pour l'étude de l'altération des roches sous climat tropical. Ses conclusions sur les conditions du milieu nécessaires à la latéritisation: topographie plane, drainage déficient, saisons sèches et humides tranchées, sont toujours valables.

Il faut attendre ensuite les années 1936-38 pour trouver de nouveaux ouvrages généraux sur la question du cuirassement en Guinée Française. 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), le mot ferrugineux. En effet, la cuirasse peut être très riche en alumine et ne contenir que des traces de fer». De CHETELAT ne tient compte que des formations indurées de surface.

Vers la même époque, de la BOUGLISE (1936) étudie le gisement de fer d'origine latéritique de la presqu'île de Kaloum, son histoire, sa nature, son extension. Depuis, les études minières des gisements de fer et d'alumine se sont fort développées (JULIAN (1938); FURON (1943), etc...)

SABOT (1952), dans ses rapports, 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 citer également 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 (1946-1949) et d'AUBREVILLE (1948-1949) sur les relations entre la végétation et les cuirasses; de SUDRES (1947) et de PORTÈRES (1952) sur l'action de l'homme dans la dégradation des sols; de POUQUET (1955) et de TRICART (1957) sur la géomorphologie du Fouta Djallon; de ROUGERIE (1953) et de LAMOTTE (1953) sur les différents niveaux cuirassés de Haute Guinée et des Monts Nimba.

L'étude proprement pédologique du cuirassement des sols n'a été abordée que récemment. En 1946, AUBERT effectue les premières observations pédologiques. J'ai pu aborder cette question dès 1950, dans les régions de Pita, Dalaba et Labé (MAIGNIEN, 1954-1956).

CHAPITRE III.

LES CONSTITUANTS DES CUIRASSES

La connaissance des constituants des cuirasses est un problème fort avancé. Il a été le premier abordé, et 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 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 le nom d'hydrargillite. Il a pour formule: $\gamma \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ou encore $\gamma \text{Al}(\text{OH})_3$. C'est un trihydrate d'aluminium.

— 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*. — La boehmite est un monohydrate de formule $\gamma \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ou encore $\gamma \text{AlO}(\text{OH})$.

— 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.

La boehmite est rare dans les cuirasses de Guinée.

c) *Diaspore*. — Sa formule est $\alpha \text{ Al}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ ou $\alpha \text{ Al O (OH)}$. C'est donc également un monohydrate.

Il se présente, soit en lamelles, soit en sections ovales.

La boehmite et le diaspore ont été trouvés dans les bauxites françaises (J. DE LAPPARENT, 1930). Du diaspore a été signalé en Guinée 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 $\alpha \text{ Al}_2\text{O}_3$.

Il montre 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 alumineux, 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 compensation. En lame mince et en lumière naturelle, ils apparaissent plus ou moins mélangés à des hydroxydes de fer. Les teintes vont du blanc gris au rouge brun en passant par le jaune ocre. On peut leur attribuer la formule $\text{Al}_2\text{O}_3, n\text{H}_2\text{O}$ (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, et parfois même de Gibbsite.

f) Enfin, pour mémoire, on peut signaler une seconde forme trihydratée, obtenue seulement en laboratoire: la *Bayérite*, de formule $\alpha \text{ Al}_2\text{O}_3, 3 \text{H}_2\text{O}$.

2. FER.

Cet élément se présente sous formes d'hydroxydes et d'oxydes.

a) *Lépidocrocite*. — Ce minéral a pour formule $\gamma \text{ Fe}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ ou $\gamma \text{ Fe O (OH)}$. C'est un monohydrate.

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

— La lépidocrocite se présente sous forme de cristaux extrêmement petits, très difficiles à observer par les méthodes optiques.

— Elle n'a encore jamais été rencontrée dans les cuirasses de Guinée. Elle est obtenue au laboratoire. En particulier l'oxychlorure de fer se transforme par pseudomorphose en lépidocrocite.

b) *Goéthite* (GOLDSZTAUB, 1935). — Ce minéral a pour formule $\alpha \text{ Fe}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ ou $\alpha \text{ FeO OH}$. Il est la seconde forme monohydratée.

— La structure cristalline de la goéthite est similaire de celle du diaspore (orthorhombique).

— Par chauffage la goéthite 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 goéthite par hydrolyse faible (BRINDLEY, 1951).

— Ce minéral se rencontre fréquemment dans les cuirasses. Très souvent les agrégats cryptocristallins de goéthite retiennent de l'eau en quantité variable en donnant des produits rouges, dont la composition peut se rapporter à $Fe_2O_3, x H_2O$ qui portaient anciennement le nom de Limonite.

c) *Magnétite*. — Ce corps a pour formule Fe_3O_4 .

— Il se présente soit en cristaux, soit en grains.

C'est un minéral résiduel dans les cuirasses.

d) *Maghémite*. — La maghémite a pour formule γFe_2O_3 . C'est un oxyde rare.

Elle a été trouvée dans la carapace de la Minière de Conakry (BONIFAS, 1958).

e) *Hématite*. — L'hématite a pour formule Fe_2O_3 .

Elle se présente sous forme lamellaire, grenue ou pulvérulente. Son éclat est brillant ou terreux.

— C'est un minéral commun dans les cuirasses.

f) *Ilménite*. — Ce minéral a pour formule $FeTiO_2$. Elle est résiduelle dans les cuirasses.

— 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 rutile, d'anatase ou d'ilménite (de CHETELAT, 1931). Il est impossible de déceler, par ce moyen, l'existence de titane à l'état d'hydrate (LACROIX, 1913). Ce corps est fréquent dans les cuirasses de Guinée, mais toujours en faibles quantités.

b) *Manganèse*. — Cet élément est fréquent dans de nombreux sols cuirassés. Il forme des complexes pseudo-solubles avec les produits de décomposition de la matière organique. Il se concentre facilement en concrétions, et recouvre 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 fait toujours apparaître de la silice en plus ou moins grande quantité. Les pourcentages peuvent atteindre 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 les cuirasses ou des 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.

La silice sous forme de quartz est la forme la plus commune dans les cuirasses de Guinée. Le quartz a souvent une origine détritique. Quelques auteurs, comme DECRAENE (1954), pensent que ces grains peuvent être de néoformation. MILLOT (communication orale) a observé que l'altération des feldspaths pouvait donner de la Gibbsite et du Quartz, ce qui explique 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, 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. 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.

C. — ARGILES.

Ces minéraux, finement cristallisés, se retrouvent 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 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 et troublent 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 une série de techniques analytiques. La reconnaissance de ces minéraux se fait également 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'hallowite et d'illites.

1. KAOLINITE.

Cette forme d'argile est la plus courante en sols tropicaux, cuirassés ou non.

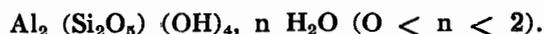
Sa composition est $(OH)_4 Al_2Si_2O_5$.

— 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.

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. Il est relativement stable en milieu ferrallitique. Cette stabilité fait penser à WÆGEMANS (1949) que la kaolinite correspond au climax du milieu latérique. Cependant l'examen au microscope électronique révèle la présence de cristaux parfois plus ou moins altérés (FRIPAT, 1954). L'altération se produit toujours à l'intérieur de lamelles et jamais sur les bords des hexagones. Ces formes sont courantes dans les horizons supérieurs des sols cuirassés (D'HOORE, 1954). Les résultats analytiques de LACROIX (1913) et de SEGALÉN (1956) montrent 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.

— Il s'altère rapidement en milieu acide.

3. ILLITES.

Les illites ont pour formule $(\text{OH})_2 \text{Al}_2 \text{Si}_4 - x \text{Al} x \text{O}_{10} \quad (0,5 < x < 0,8)$.



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 altérés.

II. CONSTITUANTS SECONDAIRES

A côté des constituants principaux des horizons cuirassés, se superpose 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 des débris de roches plus ou moins altérées qui apparaissent figés au milieu de la masse indurée. Parfois ces débris de roches sont d'anciens blocs de cuirasses démantelées. Le matériau de réception où se produit l'accumulation peut être aussi une roche. Il y a pénétration des solutions du sol à travers le matériau plus ou moins poreux, et quelquefois une épigénie de certains minéraux, comme cela se produit dans les grès du Fouta Djallon, où les ciments siliceux se trouvent remplacés par du fer.

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.

CHAPITRE IV.

LE MILIEU NATUREL

I. CADRE GEOGRAPHIQUE

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

Elle est limitée: au nord par la Guinée Portugaise et le territoire du Sénégal; au nord et à l'est par le Soudan Français; à l'est par la Côte d'Ivoire; au sud et au sud-est par la République du Libéria et les possessions Britanniques de Sierra Léone; à l'ouest par la Côte de l'Atlantique.

La Guinée Française 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. Leur somme permet de caractériser un certain nombre de climats atmosphériques.

*) La Guinée Française est devenue indépendante sous le nom de République de Guinée depuis le 28 septembre 1958.

CARTE POLITIQUE DE LA GUINÉE FRANÇAISE



Carte II

Le climat du sol, ou pédoclimat, diffère du climat atmosphérique en ce sens que s'il est en partie une conséquence de celui-ci, il dépend également des matériaux sur lesquels les éléments météorologiques agissent. L'interférence de ces facteurs impose au pédoclimat une originalité qui dépend de l'évolution même du sol. Il s'établit un équilibre entre les conditions atmosphériques, les activités biologiques et tous les processus pédogénétiques qui confèrent 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 atmosphérique	Climat atmosphérique normal Climat près de la surface du sol	
Climat			Bioclimat de la biosphère
	Climat du sol	Climat du sol à activité biologique Climat du sol sans activité biologique	

Les connaissances sur les éléments du pédoclimat en Guinée Française 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 \times végétation — dont les aires correspondent approximativement aux grands groupes de sols de Guinée.

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.

En Guinée Forestière 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-Guinée 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 A 27 ANS,
SUIVANT LES STATIONS.

en mm

<u>Mois</u>	<u>Macenta</u>	<u>N'Zerekore</u>	<u>Beyla</u>	<u>Kissidougou</u>	<u>Guekedou</u>
Janvier	9,4	19,2	8,4	12,0	10,9
Février	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
Décembre	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 Guinée 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. C'est un climat typiquement tropical qui se caractérise par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide tranchée.

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

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.

STATIONS TYPES.

TABLEAU I.

Climat soudano-guinéen Kouroussa: 403 m. alt., 10°38' lat., 9°52' long.

<u>Mois</u>	<u>Pluies</u>	<u>Température</u>	<u>Tension vapeur d'eau</u>	<u>Déficit saturation</u>
Janvier	6	23,8	9	11,9
Février	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
Août	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
Décembre	5	22,8	10,3	9,7
Moyenne annuelle	1.571 mm	25,8°	14,9 mm	7,3 mm

TABLEAU II.

Climat guinéen maritime Boké: 49 m. alt., 10°56' lat., 14°18' long.

<u>Mois</u>	<u>Pluies</u>	<u>Température</u>	<u>Tension vapeur d'eau</u>	<u>Déficit saturation</u>
Janvier	1	24,5	16	6,8
Février	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
Août	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
Décembre	3	24,1	17,3	5
Moyenne annuelle ...	2.942 mm	25,5°	19,1 mm	4,4 mm

TABLEAU III.

Climat guinéen foutanien Mamou: 758 m. alt., 10°22' lat., 12°05' long.

<u>Mois</u>	<u>Pluies</u>	<u>Température</u>	<u>Tension vapeur d'eau</u>	<u>Déficit saturation</u>
Janvier	4	22,4	9,8	10,3
Février	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
Août	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
Décembre	8	21,6	11,6	7,5
Moyenne annuelle ...	2.065 mm	23,2°	15,1 mm	6 mm

QUELQUES DONNEES SUR LES ELEMENTS DES PEDOCLIMATS EN GUINEE FRANÇAISE.

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.

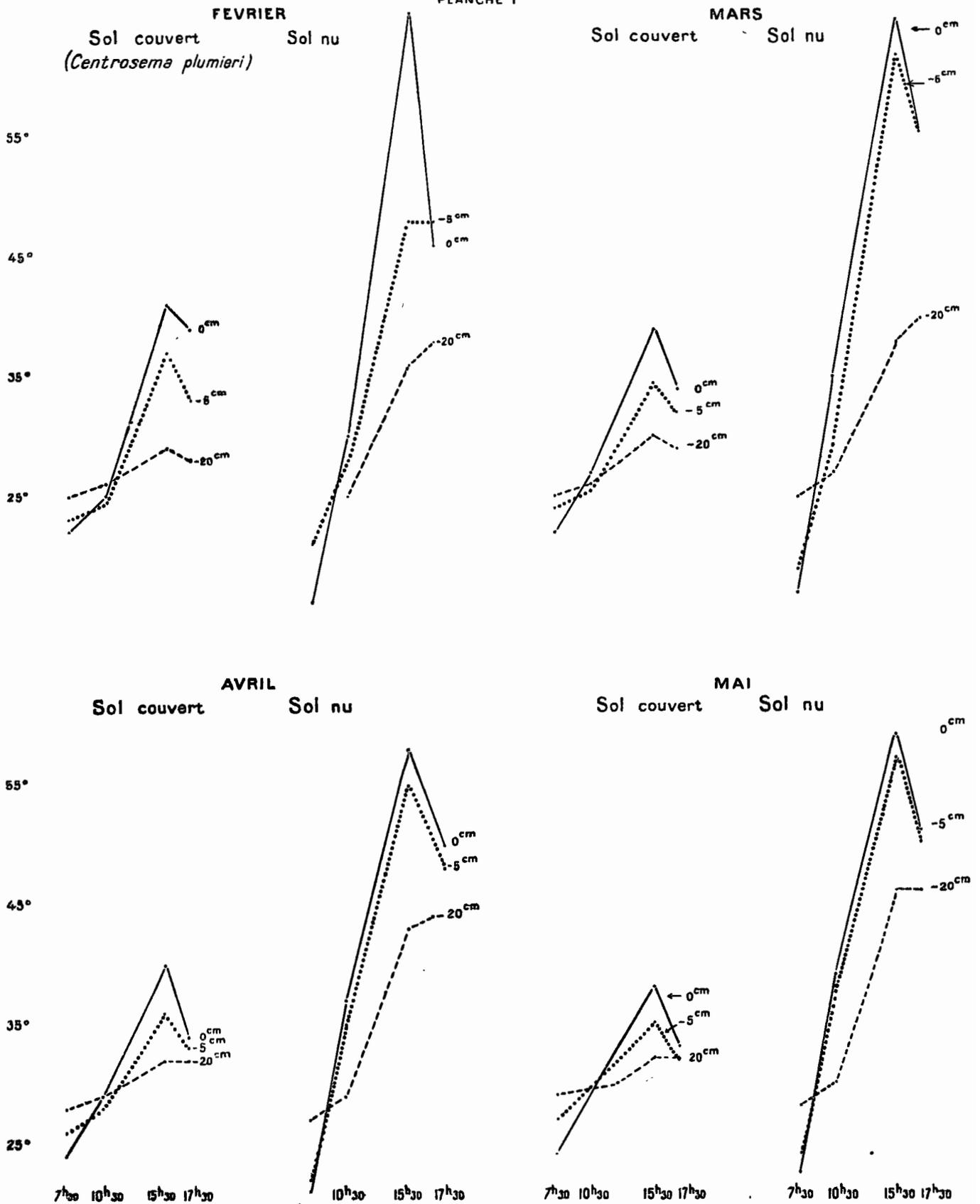
1. TEMPERATURE.

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 Séfa 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, en sol nu, l'insolation se fait sentir à plus de 1 mètre de profondeur.

VARIATIONS DE LA TEMPERATURE A DIFFERENTES PROFONDEURS
 C.R.A. BAMBEY D'APRES DEMONBYNE
 PHYSIONOMIE D UN JOUR MOYEN

PLANCHE I



Sol couvert
 (*Centrosema plumieri*)

Sol nu

MARS
 Sol couvert Sol nu

55°

45°

35°

25°

55°

45°

35°

25°

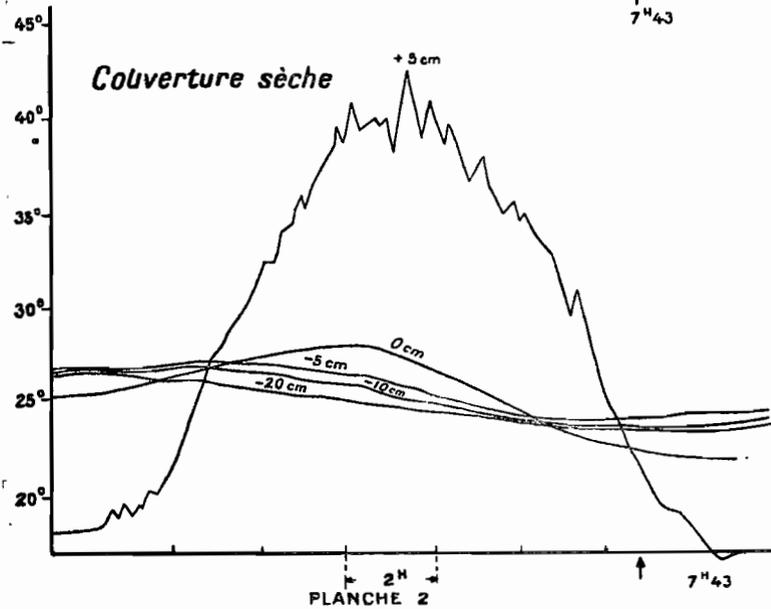
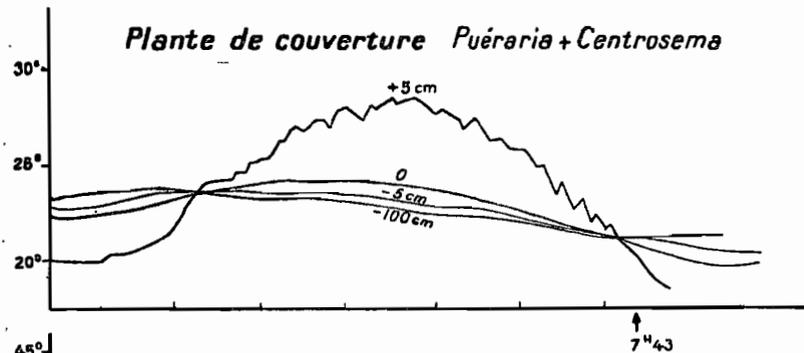
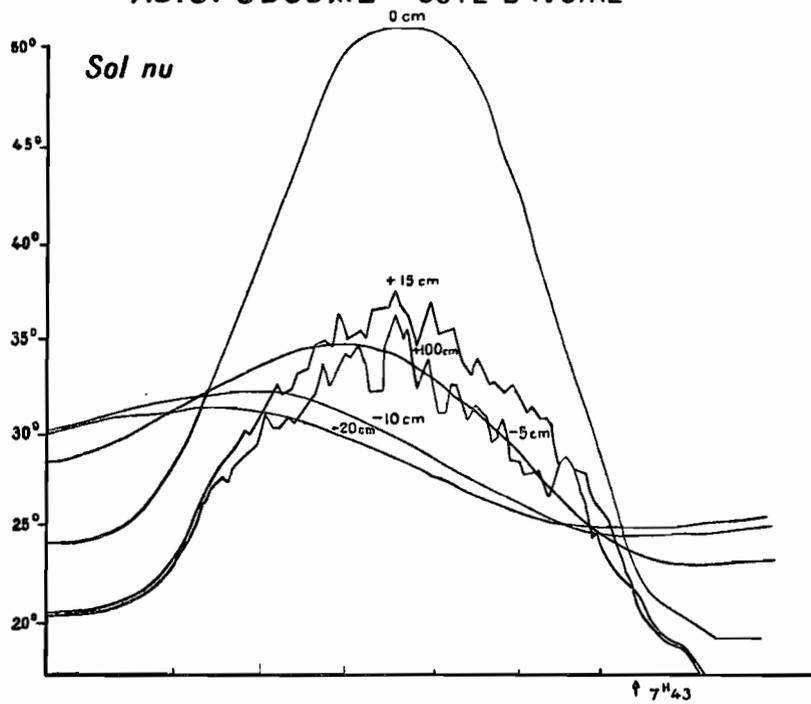
7h30 10h30 15h30 17h30

10h30 15h30 17h30

7h30 10h30 15h30 17h30

7h30 10h30 15h30 17h30

VARIATION DE LA TEMPERATURE DU SOL A DIFFERENTS NIVEAUX
 EN FONCTION DE LA COUVERTURE (Journée du 31-12-1952)
 ADIOPODOUME COTE D'IVOIRE



D'après GEURTZ

L'action de la couverture du sol est d'une extrême importance. Elle maintient l'activité microbiologique à un degré normal. En sol nu, les températures 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), D'HOORE (1954) a obtenu les résultats suivants.

TABLEAU IV.

Variations de la température à différentes profondeurs.

	<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.

TABLEAU V.

1955 — Températures moyennes annuelles 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°

TABLEAU VI.

*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		31,0°
— 60 cm		30,5°
— 110 cm		30,8°
t° moyenne sous forêt sèche — 10 cm		26,0°
— 60 cm		26,6°

TABLEAU VII.

*Températures moyennes mensuelles (mars 1956) à Adiopodoume
sur sol rouge (GEURTZ).*

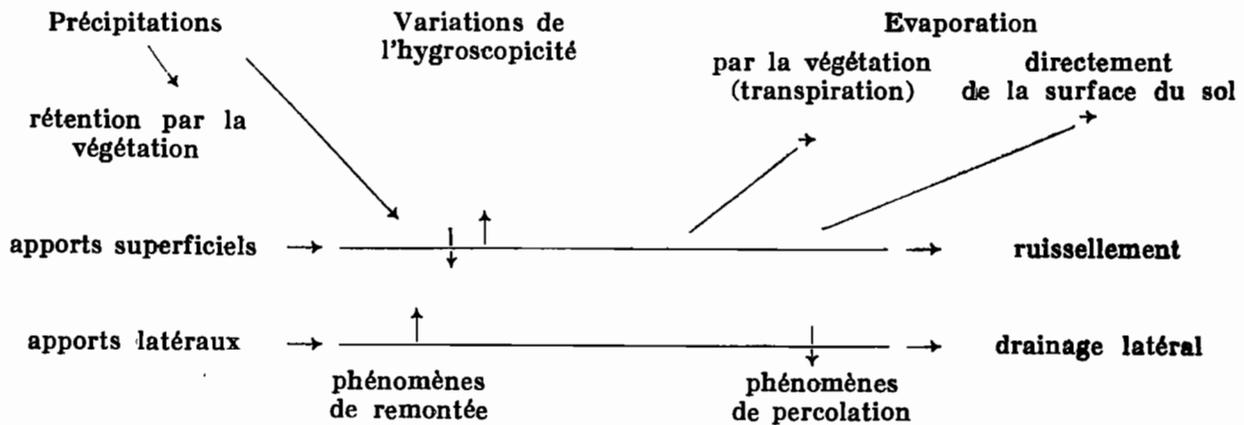
Profondeur	Moyenne maximum		Moyenne minimum	
	Sol nu	Couverture morte	Sol nu	Couverture morte
+ 8 cm		< 50,0°		18,8°
+ 6 cm		< 50,0°		20,6°
+ 4 cm		47,0°		22,9°
+ 2 cm		33,7°		25,1°
0	< 50,0°	30,4°	23,6°	26,2°
— 5 cm	39,3°	28,8°	25,7°	27,0°
— 10 cm	37,8°	28,5°	26,6°	27,1°
— 20 cm	34,9°	28,9°	28,2°	27,2°
— 30 cm	32,9°		28,8°	

En résumé, la température du sol est toujours 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. HUMIDITE DU SOL.

La connaissance du bilan hydrique est essentielle pour la compréhension des processus d'évolution des sols tropicaux. Les mouvements de l'eau dans les sols permettent de préciser les conditions de mobilisation des constituants des cuirasses. Le bilan hydrique dépend du régime des précipitations. Cependant les apports latéraux ou de surface (drainage oblique, mouvements de nappes phréatiques, inondations) modifient ceux dûs aux conditions climatiques. D'autre part, les processus d'évapotranspiration, importants sous les climats tropicaux, contribuent 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-Guinée, dépassent 4.000 mm en Basse-Guinée, et de la répartition annuelle en deux saisons bien tranchées plus ou moins longues, trois caractéristiques des précipitations influent sur 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 de drainage et de ruissellement des sols.

En Guinée Française 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.

TABLEAU VIII.

Service Météorologique Fédéral de l'A.O.F.

Nombre de jours de fortes pluies.

Moyenne sur la période 1920 - 1949.

Guinée		Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Conakry	50 mm	0	0	0,03	0,03	0,45	2,38	6,25	6,55	3,31	0,93	0,45	0,14	20,52
359,5 (12/8/1933)	100 mm	0	0	0	0	0,03	0,75	2,59	1,48	0,97	0,24	0	0	6,07
	précipitation maximum 200 mm	0	0	0	0	0	0	0,31	0,10	0,03	0	0	0	0,44
Dabola	50 mm	0,04	0	0	0,14	0,43	0,32	0,64	1,44	0,58	0,31	0,08	0	3,98
135,0 (14/8/1922)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,04	0	0	0	0,19
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Forecariah	50 mm	0	0	0	0,07	0,57	0,88	3,78	5,37	2,33	0,85	0,17	0,04	14,06
247,0 (3/9/1931)	100 mm	0	0	0	0	0	0,04	0,59	1,22	0,54	0,15	0	0	2,54
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0,12	0	0	0	0,23
Kankan	50 mm	0	0,03	0,14	0,21	0,21	0,41	0,93	1,48	1,00	0,34	0,03	0	4,78
171,0 (1/9/1933)	100 mm	0	0,03	0	0,03	0	0	0,21	0,17	0,21	0,03	0	0	0,68
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kindia	50 mm	0	0	0	0,07	0,23	0,37	0,87	1,10	0,77	0,17	0,07	0	3,65
132,5 (8/9/1939)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0,03
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Labé	50 mm	0	0	0,04	0,04	0,21	0,43	0,75	1,18	0,75	0,39	0,04	0	3,83
166,0 (20/7/1937)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0,07	0,07	0,04	0	0	0	0,18
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mali	50 mm	0	0	0	0,12	0,44	0,40	0,64	1,88	0,61	0,38	0,43	0	4,90
167,0 (22/4 et 18/5/1923)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0,08	0,17	0,13	0	0	0	0,38
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamou	50 mm	0	0,07	0,04	0,18	0,42	0,32	0,61	1,20	0,86	0,28	0,10	0,04	4,12
170,0 (1/5/1931)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0,10	0	0	0	0,27
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pita	50 mm	0	0	0	0,11	0,22	0,50	1,04	1,07	0,57	0,14	0,11	0,04	3,80
138,0 (17/8/1948)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0,07	0,04	0,07	0	0	0	0,18
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Siguiri	50 mm	0	0	0	0	0,14	0,39	0,79	1,21	1,00	0,18	0,04	0,04	3,79
179,8 (23/7/1939)	100 mm	0	0	0	0	0	0	0,07	0,04	0,07	0	0	0	0,18
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Telimété	50 mm	0	0	0	0,15	0,35	0,69	1,85	2,54	0,85	0,35	0,12	0	6,90
164,5 (27/6/1924)	100 mm	0	0	0	0	0	0,12	0,12	0,31	0,08	0	0	0	0,63
	200 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLEAU IX.

Evaporation en mm — Moyennes quotidiennes 1954.

<u>Mois</u>	<u>Kankan</u>	<u>Conakry</u>	<u>Labé</u>	<u>Mamou</u>	<u>Macenta</u>
Janvier	8,0	9,5	9,5	6,3	2,1
Février	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
Août	1,8	1,2	1,3	0,7	0,8

L'action protectrice de la végétation importante en période humide, 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 une humidité excessive des sols en saison des pluies, avec colmatage, diminution du drainage et ruissellement de surface intense. Dans les horizons de surface, l'humidité dépasse la capacité des sols pour l'eau. Il en découle des mouvements de percolation de haut en bas prononcés.

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

TABLEAU X.

	<u>Cayor</u>	<u>Moyenne Casamance</u>	<u>Plateau de Labé</u>
Teneurs en argile %	2-4%	12-20%	25-30%
Epaisseur de la croûte	30-40 cm	100-150 cm	30-50 cm

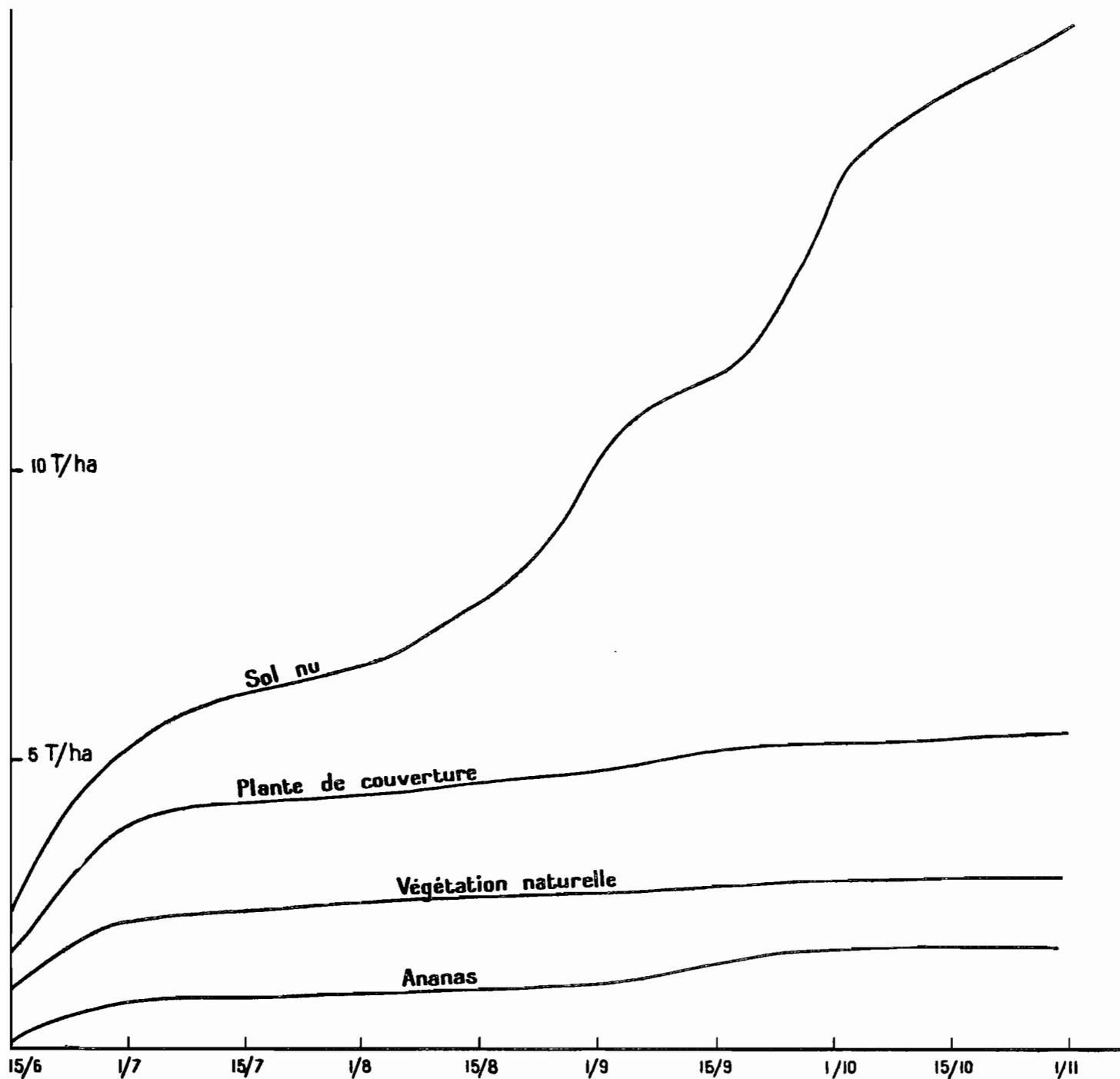
En résumé, on observe, à l'intérieur des profils, en saison des pluies, la mise en place d'horizons à saturation permanente, et, en saison sèche, un déficit en eau. Dans ces conditions, les facteurs qui régissent les mouvements de l'eau dans le sol sont:

- en saison des pluies ceux qui régissent l'écoulement en sols saturés;
- en saison sèche, exclusivement, ceux qui influent sur les mouvements en sols non saturés.

Les périodes de transition, excessivement brèves, peuvent être négligées.

Parcelles Erosion - Station Centrale IFAC - Kindia 1956

Courbes Cumulatives (d'après DUGAIN)



Graphique n° 1

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 y a un ruissellement important à la surface du sol. Les études sur parcelles d'érosion (FOURNIER, 1954) 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 Séfa, 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) *Mouvement de l'eau dans les sols guinéens.* — L'intensité du ruissellement confirme la saturation en eau des horizons superficiels des sols guinéens pendant la saison des pluies. Les mouvements des solutions du sol sont 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 formation de renards dans les sols lessivés, la structure feuilletée des cuirasses.

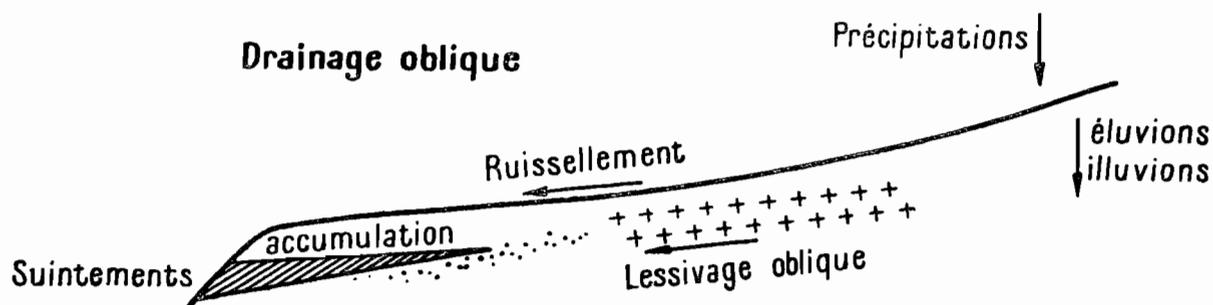


Fig.1

Les causes limitant le drainage en profondeur, et favorisant les mouvements obliques de l'eau 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 agit seul. 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 faibles (texture grossière) que celle des horizons meubles superficiels, il y a formation d'une croûte, non seulement en surface, mais également dans la partie supérieure de l'horizon cuirassé. Ces remontées capillaires se trouvent limitées. Le développement des racines dans les horizons superficiels accuse le 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 n'excède pas 30 cm dans les sables, et ne dépasse pas 100-150 cm dans les argiles. Pour que les processus de remontée aient un effet appréciable, il est nécessaire que le sol reste humide et que le plan d'eau se maintienne à un niveau constant (c'est le cas dans 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 précisent 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 exposées 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, très sableux)	4 répétitions.
Dek (sol hydrocalcimorphe brun, plus argileux)	

Dans les deux types de sols, le drainage débute le 29 août, et se poursuit jusque fin septembre. 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 septembre (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 $< 2 \mu$.

— *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).

TABLEAU XI.

Points caractéristiques de l'humidité des sols à Bambey.

	<u>Dior en %</u>	<u>Dek</u>
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 :

$$\gamma = \frac{1}{0,15 T - 0,13}$$

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 $\frac{1}{4}$ de l'eau précipitée drainant hors du profil, on trouve 500 mm. Pratiquement même, je pense que ces quantités d'eau drainant en dehors du profil sont 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. On peut donc estimer pour le Fouta Djallon, au minimum, un drainage moyen de l'ordre de 500 mm d'eau par an.

TABLEAU XII.

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

	<u>Bambey</u>	<u>Séfa</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. ATMOSPHERE 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 O₂ et un accroissement important des teneurs en CO₂. Ce dégagement de gaz carbonique se trouve lié à l'activité microbienne. Sa mesure sert à calculer cette activité. La consommation de l'oxygène de l'atmosphère du sol provoque l'apparition de phénomènes de réduction.

TABLEAU XIII.

Quantité de CO₂ dégagée en 7 jours.
mgr de CO₂ pour 100 gr de sol (DOMMERGUES).

	<u>CO₂</u>	<u>pH</u>
<i>Forêt classée du Kaloum:</i>		
Forêt	95	4,5
Forêt	53	4,9
Forêt	40	4,8
Mangrove	62	4,9
Bordure de Mangrove	37	4,8
<i>Forêt du Kakoulima:</i>		
800 m	93	—
600 m	36	5,1
500 m	32	5,1
400 m	21	5,5
<i>Forêt de Timbi-Madina</i>	44	4,8
<i>Forêt du Gangan</i>	53	5,0

En résumé l'examen de ces données fait apparaître certaines caractéristiques de la pédogénèse tropicale:

— Les variations de température et d'humidité sont excessives en surface, dans l'année 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 CO₂ et a de fortes tendances réductrices pendant la saison des pluies quand l'activité microbienne est optimum.

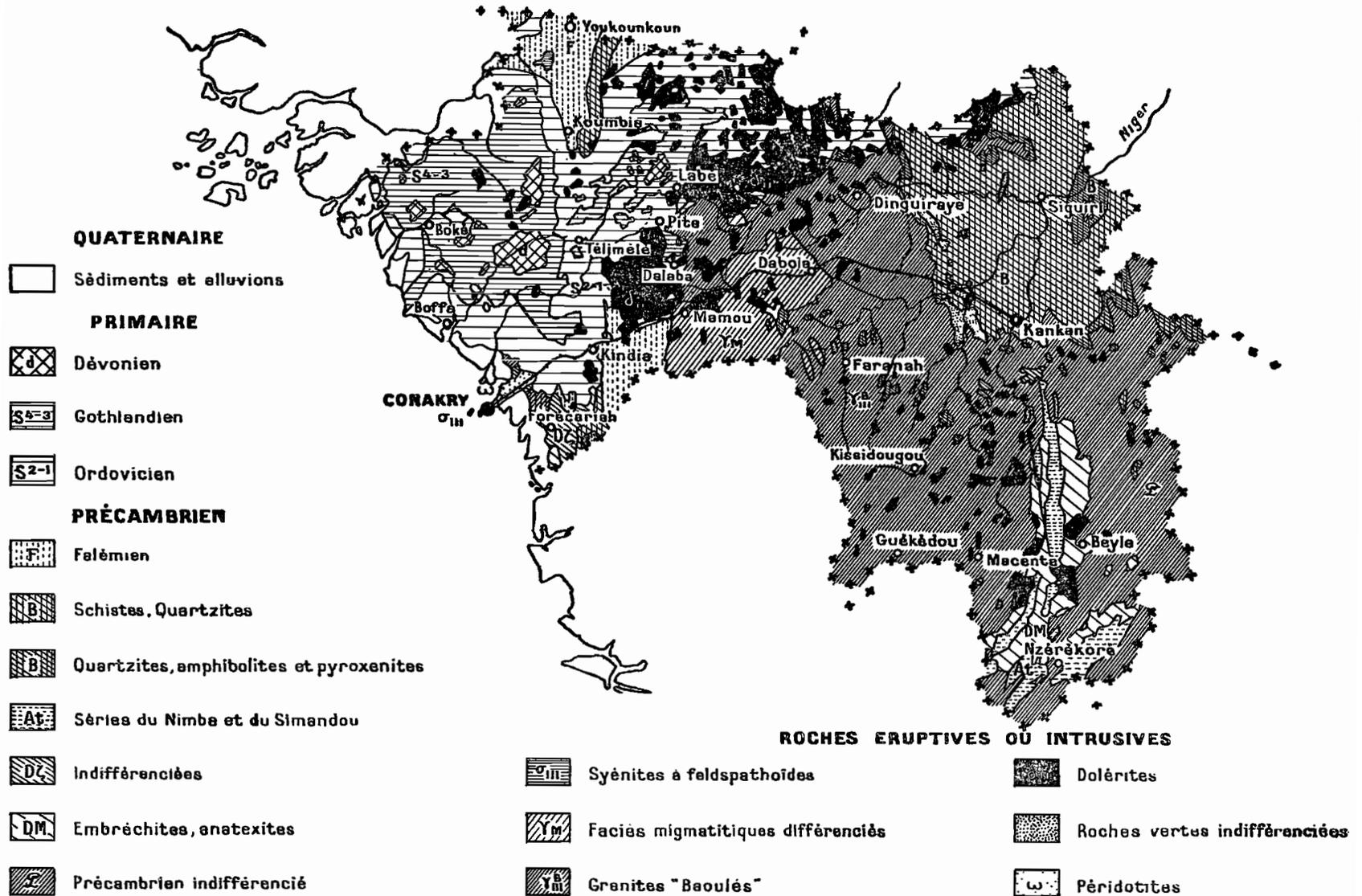
III. LES ROCHES - LEURS PRODUITS D'ALTERATION - LES SOLS.

A. — STRATIGRAPHIE GUINEENNE.

Les grandes lignes de la stratigraphie des formations géologiques de la Guinée Française sont assez bien connues.

D'après MARVIER (1953) on peut distinguer:

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA GUINÉE FRANÇAISE



Carte III

1. PRECAMBRIEN.

Le Précambrien est largement représenté en Haute-Guinée, en Guinée Forestière et en Basse-Guinée. Il est subdivisé en :

a) *Dahoméen* de Haute-Guinée étudié par OBERMULLER (1941), constitué de gneiss hybrides et surtout de migmatites dans lesquelles on rencontre des intercalations de quartzites à minéraux.

En Basse-Guinée, 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-Guinée par la série du Simandou d'âge *Atacorien*. Cette série est constituée 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-Guinée, 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 métamorphosé. 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 Guinée.

Le Falémien forme une bande étroite orientée N-S dans le Nord du Pays. La série de la Rockell (Sierra Léone), retrouvée en Basse-Guinée à l'Est de Forecariah est rattachée au Falémien.

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

Au socle précambrien doivent être également rattachés les gneiss gabroïques et les périodites formant le Mont Kakoulima et la presqu'île du Kaloum.

2. LE PRIMAIRE.

Le Primaire dont la puissance est de l'ordre du millier de mètres forme les plateaux tabulaires du Fouta Djallon. Il est constitué de grès horizontaux, siliceux, qui prolongent, en Guinée, 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, Labé, 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 Guinée Française bien que cette formation se trouve 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, et donnent 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 Wespalien.

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.

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.

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.

COMPOSITION DE QUELQUES ROCHES DE GUINEE.

La Guinée Française, 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.

1. ROCHES ERUPTIVES.

a) *Granites*. — Ces roches sont largement représentées en Basse-Guinée, entre la presqu'île du Kaloum et la Sierra Léone, dans le Sud-Ouest de la Haute-Guinée et en Guinée Forestière. Des intrusions acides importantes se sont également développées au Nord du pays Bassari en Haute-Gambie.

TABLEAU XIV.

Composition chimique et minéralogique de quelques granites.*

	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
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. Granite de Saraya granite calco-alkalin, facès granulitique.
2. Granite de Farmoreah granite calco-alkalin à biotite.
3. Granite du Mont Oursa terme plus basique que le précédent.
4. Granite de Mafing granite calco-alkalin à biotite et amphibole.
5. Granite de Illmalo 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-Guinée. Ce sont des gabbros; des dolérites, des andésites plus ou moins métamorphisées, la plupart profondément saussuritisées et ouralitisées, difficiles à déterminer.

Les dolérites sont beaucoup plus représentatives.

Elles 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-Guinée et à la limite de la Guinée Forestière.

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 petits grains.

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-Guinée et en Guinée Forestière.

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 (SiO_4Fe_2 , $3\text{SiO}_4\text{Mg}_2$), à structure épigranulaire dont les grains sont entourés d'antigorite, avec quelques grains de spinelle noir.

TABLEAU XV.

*Composition de quelques roches éruptives de Guinée
d'après LACROIX.*

	<u>Syénite Néphélinique</u>	<u>Diabase</u>	<u>Péridotite</u>
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 <i>Kassa</i>	Mt. <i>Bongourou</i>	Mt. <i>Kakoulima</i>

2. ROCHES METAMORPHIQUES.

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.

TABLEAU XVI.

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) | |
| 2. Gneiss mylonitisé à biotite peu abondante | Haute-Guinée
et Guinée Forestière |
| 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;
- 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 grossiers, feldspathiques, roses ou verdâtres à ciment siliceux, avec presque toujours un peu de muscovite;
- une série schisteuse, 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 Siguri.

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

Abords Nord du Fouta Djallon.

Le groupe est représenté par :

- les grès du Boundou constitués de grès bruns ou roses quartziteux, surtout feldspathiques;
- les schistes de la Falémé où des niveaux de schistes francs, alternent avec des niveaux durs, silicifiés et avec des niveaux gréseux à grains très fins.

3. ROCHES SEDIMENTAIRES.

a) *Roches sédimentaires anciennes.* — Ce sont les *grès et schistes* du Fouta Djallon.

L'Ordovicien est caractérisé par un faciès essentiellement gréseux. Ce sont des grès grossiers, bien cimentés pour la plupart, avec lits de conglomérats. Ils montrent une stratification entrecroisée.

Le Gothlandien est caractérisé par des *schistes à Monograptus*. 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. Ceux-ci sont bien développés surtout vers le Nord du Fouta Djallon et en pays Bové. Ils sont en général fortement altérés et cuirassés en surface.

Au-dessus des schistes Gothlandiens, repose une série litée avec prédominance de faciès gréseux et quartziteux. Le cuirassement y est très développé. Ces grès sont souvent fortement ferruginisés en surface.

Les roches métamorphiques du Cap Verga se distinguent 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 localisées au Nord du Fouta Djallon. Elles constituent le Continental Terminal argilo-gréseux, d'âge mio-pliocène. 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.

C. — PRODUITS DE DECOMPOSITION DES ROCHES.

Les produits de la décomposition des roches sont liés aux phénomènes de ferrallitisation qui caractérisent l'évolution de la grande majorité des sols de Guinée Française. «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 ou de faible profondeur, la silice étant plus ou moins partie, entraînée à la base ou hors du profil.» (AUBERT, 1954.)

1. ALTERATION DES DIFFERENTS MINERAUX DES ROCHES.

a) *Quartz*. — Ce minéral considéré comme 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 sensible en milieu faiblement ferrallitique. Elle prend une importance exceptionnelle dans les sols fortement altérés de la zone forestière. Dans ces 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 dissoutes par les solutions ferrallitisantes et disparaissent plus ou moins complètement. Il se produit un équilibre entre la dissolution du quartz sous l'action des processus de ferrallitisation, et la composition de la roche. Les dolérites légèrement quartzifères 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 disparaît. Mais les filons restent 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 de la composition de la roche, 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 s'altère difficilement, ce qui tend à prouver un 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 est stable dans les horizons de surface des sols tropicaux ferrallitiques, s'altère intensément en profondeur.

b) *Feldspaths*. — En Guinée Française, les feldspaths sont 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 est 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 étudiés par LACROIX (1913), de CHATELAT (1938), MILLOT et BONIFAS (1955).

En Basse-Guinée, où les conditions de drainage sont généralement bonnes, les feldspaths s'altèrent en silice et alumine. En Guinée Forestière, l'humidité permanente (rôle de la forêt, saison sèche brève) donne la priorité aux processus de kaolinisation. La Haute-Guinée, où les conditions d'humidité sont moins poussées, procède des deux phénomènes. Dans la région de Dabola, 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 sont isolés au milieu d'une pâte meuble, de couleur jaune rouille, produit de la décomposition des micas noirs et des amphiboles. Plus haut, les feldspaths s'altèrent à leur tour en kaolin, et l'ensemble se transforme en un limon ocre-rouge qui contient de nombreux grains de quartz.

En résumé, 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 forme soit de l'alumine, et de la silice, soit de la kaolinite, soit, plus souvent encore, un mélange de ces minéraux.

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 dissous et entraînés. Quand la syénite est faiblement altérée, la néphéline reste à peu près intacte, malgré l'apparition de traînées 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 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 Côte 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 kaoliniques, 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 Péridots.* — 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 friables et se réduisent facilement en un mélange de produits aluminés imbibés d'hydroxydes de fer (LACROIX, 1913; MILLOT et 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 Guinée. 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 kaoliniques sont stables. En milieu ferrallitique, la kaolinite est aussi relativement stable, mais lorsque les conditions de drainage s'améliorent, elle s'altère 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. SEGALÉN (1956) arrive aux mêmes conclusions.

2. ALTERATION DES ROCHES.

L'altération des minéraux provoque la décomposition des roches qu'ils constituent. Deux cas sont à considérer suivant les conditions du drainage. 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 celui des dolérites en Moyenne Guinée.

On observe un passage brutal (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 cli-vages 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 dunité.

— Il est possible d'observer l'altération de dolérite en milieu mal drainé (bordure de la route Labé-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 favorise le drainage, amène à la formation de « pain d'épice ».

— Par contre les granites, les gneiss, les schistes subissent une altération du type kaolinique, et cela d'autant plus fortement que l'on s'enfonce en Guinée Forestière. L'altération se produit toujours sur une assez grande épaisseur, au moins 50 cm, parfois plusieurs mètres. Elle débute par un démantèlement mécanique. 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 devient rouge, par suite de l'adsorption du fer sur les surfaces actives et, si le drainage vient à s'accélérer (abaissement du front d'altération), on observe l'altération de la kaolinite en alumine et silice, et cette dernière se trouve exportée.

— 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 fréquemment déblayés par les eaux de ruissellement. Le fer peut se déposer dans les diaclases qui se trouvent fossilisées et amenées en relief.

— L'altération des formations argilo-sableuses du Continental Terminal qui se situent à la limite des zones d'altération ferrallitique consiste 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 Guinée Française, 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 kaolinitiques;
- 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 des matériaux altérés. Il se produit des cisaillements et des tassements. Le modelé tourmenté de la Guinée, 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 constituants qui ne présentent finalement plus qu'une origine lointaine avec les roches qui leur ont donné naissance; ce qui explique les difficultés rencontrées à rechercher des relations entre sols et roches sous-jacentes.

D. — LES SOLS.

Les sols évolués de la Guinée 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 Guinée Française. 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 alumino-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 vers le Sénégal et le Soudan.

Les sols ferrugineux tropicaux sont moins épais que les sols ferrallitiques (< 250 cm). Ils sont 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 plus ou moins lessivés. Le lessivage porte sur le fer d'abord puis sur l'argile. Il en résulte la formation, en profondeur, d'un horizon colmaté qui favorise la ségrégation et la concrétion des sesquioxydes de fer. Les sols ferrugineux ne contiennent pas, ou alors très peu, d'alumine libre. Leur argile constitutive est du type kaolinique. Le fer migre avec facilité à travers ces sols, d'où leur nom.

3. SOLS HYDROMORPHES.

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

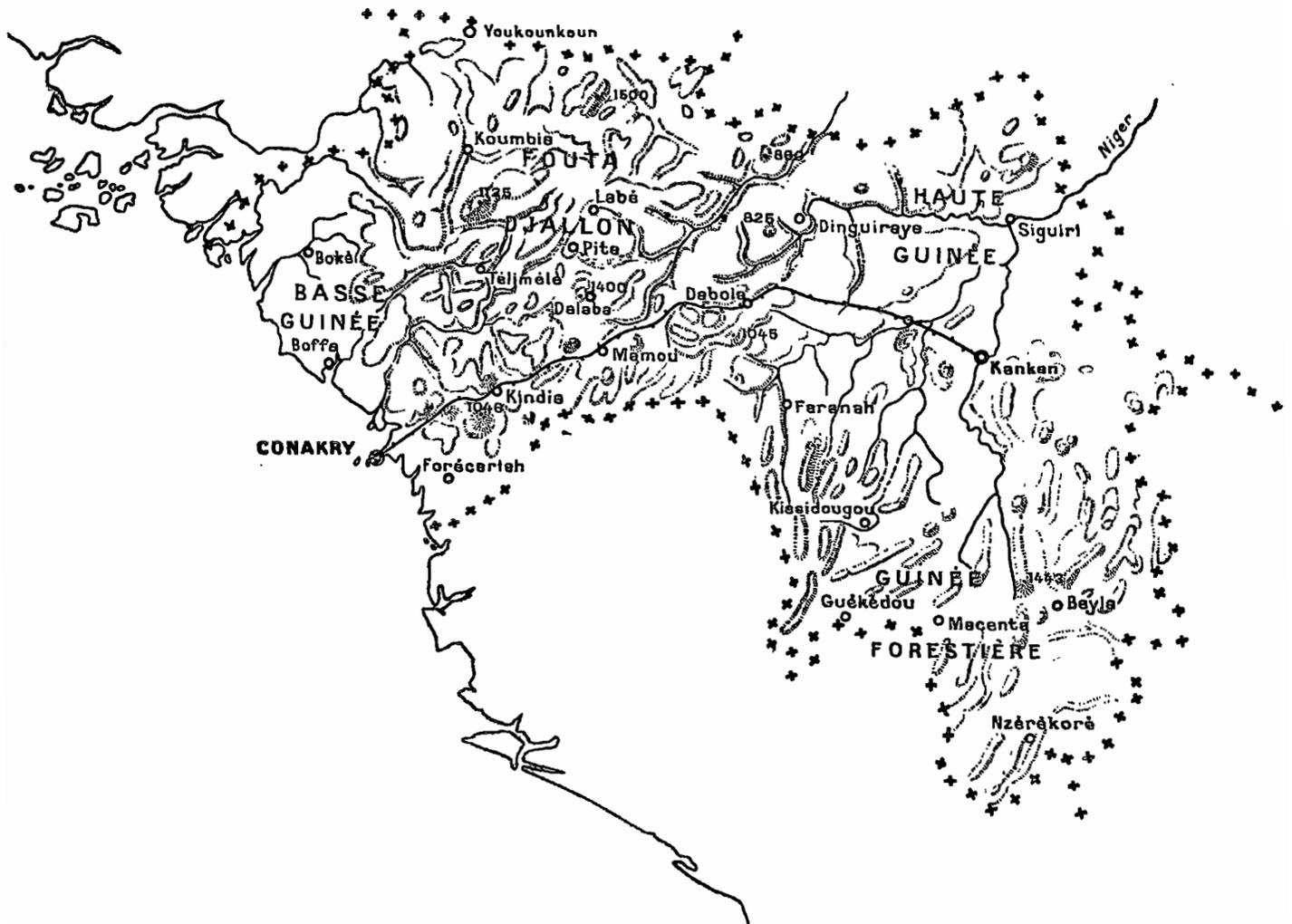
Il faut enfin signaler les horizons cuirassés qui affleurent à peu près partout en Guinée et qui font l'objet de cette étude.

IV. TOPOGRAPHIE ET MODELE

La Guinée Française tranche nettement sur l'ensemble de l'A.O.F. par son relief plus accusé. Les plus hauts sommets, comme les monts Nimba, qui terminent à l'Est la dorsale guinéenne, atteignent au Pic Richard-Mollard 1.855 mètres.

Les hauteurs du Fouta Djallon sont plus des hauts-plateaux que de véritables montagnes, et leur structure tabulaire accentue 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-Guinée, 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 granite viennent rompre la monotonie du paysage.

CARTE PHYSIQUE DE LA GUINÉE FRANÇAISE



Carte IV

En Guinée Forestière, le relief devient plus accidenté, les altitudes pouvant atteindre 700 m et parfois plus de 1.000 m. On y trouve de nombreux massifs et chaînes de montagne: chaîne du Simandou et du G'Bing (1.458 m au pic Thio), les Monts Nimba, la chaîne du Ziama (Mont Baro à 1.350 m), etc... De nombreux îlots de massifs isolés, dont l'altitude varie de 700 à 1.300 m, se rencontrent dans le Centre, l'Ouest et le Nord de cette région.

Signalons encore en Basse-Guinée, à l'Est de Conakry, le mont Kakoulima, qui domine de 1.007 mètres la plaine côtière 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-Guinée, on observe une plaine côtière basse, plus ou moins ennoyée en saison des pluies. Cette plaine s'étend au pied des collines schisteuses du pays Bové à l'Ouest, et des falaises gréseuses du Fouta Djallon et du Benna plus au Sud. La monotonie de ces plaines est rompue par les avancées rocheuses du Cap Verga et de la Presqu'île du Kaloum. Toute la côte est envasée. Cette zone vaseuse se continue à l'intérieur par des bas-côteaux sableux, faiblement vallonnés, qui viennent s'adosser aux éboulis de pente des falaises de Fouta Djallon et du Benna.

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

Vers Dubreka, les gneiss et granites forment de petites buttes arrondies qui accentuent l'impression de déforestation récente.

— Le modelé du Fouta Djallon est essentiellement celui de hauts-plateaux à surfaces tabulaires souvent cuirassées. La nature gréseuse du socle, les intrusions doléritiques en sills, accusent un aspect de modelé en gradin. Ces grès sont fortement diaclasés et donnent un aspect de tassilli 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». 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 Guinée, 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 aigues 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 leurs produits d'altération rouges et ont alors un modelé vallonné. Sur leurs bordures, les sills doléritiques forment des falaises caractéristiques qui tranchent sur le paysage. Ces abrupts présentent un débit grossièrement colonnaire avec prismes irréguliers qui s'amoncellent à leurs pieds, formant d'immenses éboulis chaotiques. Le cuirassement de ces dolérites les protège efficacement contre les processus d'érosion.

Dans la région de Pita, on observe un modelé d'ennoyage. Les grès ruiniformes surgissent au milieu de sédiments d'origine douteuse.

— En Haute-Guinée, les grès horizontaux du Fouta-Djallon font place à des affleurements granitiques souvent couronnés de venues éruptives, produisant des bovés bien caractérisés en surface, et, sur les bordures, des délits 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, bien conservés par le cuirassement des sols.

— La Guinée Forestière est 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.

Ces différentes formes du modelé de la Guinée Forestière ont été étudiées 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 granites. Le profil est doux, mais avec de nombreux changements de pente, en escalier.

V. HYDROGRAPHIE

Le Fouta-Djallon joue le rôle de château d'eau pour la majorité des fleuves guinéens. En négligeant les eaux drainées au Sud de la Guinée Forestière et qui ne représentent qu'une part infime de l'hydrographie du territoire, l'écoulement des eaux se partage en 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 Sénégal, 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-Guinée, et la majeure partie de la Guinée Forestière.

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

A. — OUEST GUINEE.

Du Nord au Sud:

- la Tominé qui se prolonge en Guinée 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 Konkouré avec ses deux principaux affluents la Kakrima et le Badi;
- les rivières du Sud qui forment un delta envasé vers Benty;
- la Kolenté faisant frontière avec la Sierra Léone.

B. — LA GAMBIE.

Elle n'est représentée en Guinée Française que par la partie supérieure de son cours. Elle fait une vaste boucle vers le Nord avant de rejoindre le territoire du Sénégal dans la région de Kédougou.

C. — LE BAFING.

Il forme au Soudan le fleuve Sénégal, 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 Téné. La direction générale d'écoulement 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-Guinée suivant une direction W-SW, E-NE et pénètre au Soudan peu après avoir traversé Siguiri.

Ses principaux affluents sont :

— sur la rive gauche, le Tinkisso qui forme une 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 Guinée Forestière et ont une direction 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 canyons 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 des estuaires ou deltas 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. Le fleuve Konkouré a un débit qui passe de 10 m³/seconde au niveau d'étiage, à plus de 3.000 m³/seconde en période de crue au pont du Konkouré. Les débits solides de ces rivières sont mal connus. Elles ne charient pas de grosses alluvions. Les biefs ont une pente d'écoulement faible et 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 constate que le débit solide est maximum, non en pointe de crue, mais dans les quelques heures qui suivent les tornades en début de saison des pluies. Les phénomènes de ruissellement et d'érosion s'abaissent ensuite considérablement pour devenir presque nuls lors du développement du tapis herbacé. En début de saison des pluies, les eaux charriées sont très boueuses. Elles s'éclaircissent considérablement en cours d'hivernage. Il serait nécessaire de mesurer les variations du débit solide au cours de l'année avant d'apporter des conclusions définitives sur les matériaux chariés.

Toutes ces conditions d'écoulement des eaux sont actuellement étudiées en détail en Guinée Française: Mayonkouré - Fétoré - Milo (Service Hydrologique ORSTOM).

VI. FACTEURS BIOLOGIQUES

A. — VEGETATION (d'après AUBREVILLE).

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

- les forêts mésophiles de Basse-Guinée;
- la forêt montagnarde du Fouta-Djallon;
- la savane arborée soudano-guinéenne en Haute-Guinée;
- la forêt hygrophile de Guinée Forestière.

Sous l'action de l'homme, du pacage et surtout des feux courants annuels, les peuplements primitifs sont de plus en plus réduits. La Guinée Forestière 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.

La Guinée Forestière 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. Des lianes de toutes catégories pullulent dans ces formations. Les branches des arbres et parfois les fûts sont 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 Guinée Française 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. FORET FOUTANIENNE.

Le massif du Fouta-Djallon est entouré de savanes boisées soudano-guinéennes jusqu'à une altitude de 800 mètres environ. A partir de cette altitude, ces peuplements sont remplacés 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*). 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.

3. LE DOMAINE SOUDANO-GUINEEN.

Le domaine soudano-guinéen 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 qui sont la proie annuelle des feux de brousse.

B. — ACTIONS ANTHROPIQUES.

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

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

Les grandes régions de peuplement se situent au Fouta Djallon, où la densité d'habitants au km² atteint 60, et le long de la bande côtière. En Haute-Guinée, quelques centres Malinkés se sont développés sur les rives du Niger et de ses affluents (Kouroussa, Kankan, Dinguiraye, etc...). Ce sont des peuplements concentrés. De grandes zones se trouvent encore actuellement complètement dépourvues de population.

En *Guinée Forestière*, les villes sont implantées à la lisière nord de la forêt : Macenta, N'Zérékoré, Kissidougou, etc...

En majorité, les 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 à la destruction de la végétation primitive et à la dégradation des sols. Ces races pratiquent traditionnellement des cultures itinérantes avec longues jachères. 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 par érosion hydrique. De nombreuses zones se trouvent ainsi perdues pour l'homme. Cette action destructrice se fait particulièrement sentir au Fouta-Djallon. La sylvie 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 Labé) se sont développés des peuplements herbacés où dominent les *Loudetia* que l'on considère comme un faciès de dégradation ultime de la forêt primitive.

Les zones les plus cuirassées s'observent généralement là où la forêt a disparu, et ceci est d'autant plus prononcé que la déforestation est plus ancienne. Sur les Hauts-Plateaux du Fouta-Djallon, la majorité des taches cuirassées représente l'extension d'anciens champs de culture. Les traces des travaux culturels se retrouvent jusque dans les parties les plus dégradées. Cette mise à nu des cuirasses, consécutive à la culture de pentes, est un fait historique.

Cette dégradation est due également 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. Il s'ensuit un développement anormal du troupeau et une surcharge progressive des pâturages 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 fortement discuté.

MASSON (1949) a montré que les feux de brousse n'ont qu'une action physique faible sur le sol. La chaleur dégagée ne pénètre pas en profondeur. Elle ne joue aucun rôle dans la deshydratation irréversible des sesquioxides.

Les actions les plus sensibles se font sentir sur:

- l'évolution de la flore microbienne du sol (DOMMERMUES, 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.).

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, a souvent débuté avant l'apparition de l'homme. Les facteurs de la mise à nu des cuirasses paraissent se trouver dans les changements de niveau de base et dans l'érosion naturelle. Le feu reste actuellement un des responsables de l'accélération de ce décapage.

C. — AUTRES ORGANISMES.

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

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 est lié pour une part importante à leur activité fermentescible. D'HOORE (1949) a été l'un des premiers à attirer l'attention sur l'importance des complexants organiques dans la mise en mouvement des hydroxydes, etc... La connaissance du milieu biologique du sol apporte une contribution essentielle à la compréhension des phénomènes de cuirassement. Malheureusement, l'étude microbiologique des sols guinéens en est à ses débuts. Quelques mesures de flores totales que j'ai effectuées ont montré la nette prédominance des organismes anaérobies sur les aérobies, et cela même en sol bien drainé. DOMMERMUES (1957) a abordé ce problème d'une manière systématique (silico-bactéries, décomposition de la matière organique, action du CO_2Ca , etc...).

TABLEAU XVII.

Caractéristiques biologiques de quelques sols forestiers de Guinée.

En Basse- et Moyenne-Guinée, d'après DOMMERGUES, 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, Dalaba, Gangan) et sols à cellulolyse moyenne (Kakoulima) ou faible (Kaloum). Ces forêts s'opposent aux forêts tropicales sèches du Sénégal qui nitrifient intensément, mais sont caractérisées par un taux d'uréase et de sacchase ainsi qu'un dégagement en CO₂ nettement plus faibles.

Lieu de prélèvement: Forêts de Guinée — Date de prélèvement: Avril 1956.

<u>Parcelle de traitement</u>	<u>N° éch.</u>	<u>Azote chroc.</u>	<u>Beij. indi.</u>	<u>Ni- treux</u>	<u>Cell. aéro- bies</u>	<u>Uré- ase</u>	<u>Sac- cha- rase</u>	<u>CO₂</u>	<u>C %</u>	<u>N %</u>	<u>pH</u>
		par gr/sol	par gr/sol	par gr/sol	par gr/sol	mg %	mg %	mg %			
<i>Forêt classée du Kaloum:</i>											
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	62	8,33	3,35	4,9
Bordure de Mangrove ..	G ₅	0	2.320	30	610	3,4	6,8	37	9,3	2,02	4,8
<i>Forêt du Kakoulima:</i>											
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	3,82	0,64	5,1
Altitude 400 m	G ₉	0	10	1	710	7,7	4,7	21	3,04	2,07	5,5
<i>Forêt de Timbi-Madina ..</i>	G ₁₀	0	20	30	1.840	5,7	19,5	44	4,89	1,06	4,8
<i>DALABA:</i>											
<i>Jardin Chevalier:</i>											
Pinus Khasya	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
<i>Forêt classée du Gangan ..</i>	G ₁₄	10	0	0	2.860	11,5	34,4	53	10,92	0,60	5,0

TABLEAU XVIII.

*Phénomènes de réduction dans les sols.
Influence de l'humidité 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 (DOMMERMUES).

Sols sableux de dune		Sols hydromorphes de Darou		Sol rouge faiblement latéritique	
(A)	(3)	(D H)	(3)	(S F)	(3)
Humidité	Acides volatils formés nl soude N/10 50 gr	Humidité	Acides volatils formés	Humidité	Acides volatils formés
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)	

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 à une remontée, dans les horizons de surface de carbonate de calcium et d'acide phosphorique (BOUYER, 1949). ERHART (1951), considère la présence d'une activité des termites comme essentielle dans la constitution des cuirasses. Il se base sur certaines formes cuirassées alvéolaires qui rappellent la structure des termitières. Lorsque l'on examine d'un peu près le problème, on s'aperçoit que si les termites circulent à travers les niveaux indurés comme à travers tout horizon des sols, ils y creusent des galeries qui n'ont rien de spécifique. La construction des termitières se fait par apports successifs de boulettes de terre imprégnées de salive, et, quelquefois, de petits gravillons ferrugineux dont le diamètre excède rarement un ou deux millimètres. L'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, sinon en ameublissant le milieu.

Parmi les nombreuses espèces reconnues en Afrique, les plus remarquables observées en Guinée Française 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 animalcules 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 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 Guinée.

DEUXIEME PARTIE

LES SOLS CUIRASSES: ECHANTILLONS ET PROFILS

CHAPITRE V.

ECHANTILLONS DE CUIRASSES

Il est peu de sites en Guinée Française où la surface du sol ne soit parsemée de quelques débris de cuirasses. Les carrières et les tranchées montrent pour la plupart, les traces de processus de cuirassement. Il est donc extrêmement facile de prélever des échantillons. Mais cette facilité présente aussi des inconvénients. L'hétérogénéité du matériau cuirassé rend impossible la description de tous les cas rencontrés. On est obligé de faire un choix parmi les échantillons les plus représentatifs.

I. EXEMPLES ETUDIÉS

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-noir. Les échantillons sont fortement indurés et se cassent difficilement au marteau. La structure est pisolithique. Des concrétions ou des gravillons de couleur rouge à brune 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* A *DALABA*, km 30, CARRIÈRE A GAUCHE DE LA ROUTE.

Des faciès variés peuvent être observés:

— Dans la partie supérieure, de nombreux gravillons de couleur brun-noir, 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 sont 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 environ. 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-noir s'individualisent en grosses concrétions. Ces dépôts prennent aussi la forme de plaquettes 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 A MAMOU, CARRIERE 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 brune, 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 brun-foncé 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-brun, 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 complexe dont l'épaisseur atteint 6 mètres.

D. — LABE, CARRIERE A GAUCHE, EN SORTANT DE LA VILLE PAR LA ROUTE DE PITA.

— Le sol en surface est graveleux et très érodé.

— Puis sur 40 cm d'épaisseur s'observent des gravillons nombreux, bruns, très durcis, partiellement dissous 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 plus uniformément rouge. On y observe encore quelques concentrations de concrétions pisolithiques, brun-rouge, bien durcies dans un ensemble plus argileux.

E. — DALABA, BOWAL SUPERIEUR ABOUTISSANT AU MONT TINKISSA.

— Les blocs de cuirasses mis en affleurement constituent une roche poreuse, à structure scoriacée, de couleur générale rose, assez fortement indurée. Par places, cette surface se recouvre de dépôts de films, brun-noir, formant un cortex. Parfois également des accumulations de gravillons ferrugineux arrondis se trouvent cimentées par une pâte claire, assez durcie, riche en alumine. Dans l'ensemble, le faciès le plus commun est celui d'un ancien « pain d'épice » partiellement dissous et imprégné de solutions ferrugineuses.

F. — KINDIA, STATION CENTRALE I.F.A.C.

Les échantillons sont très variés d'aspect :

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

— En bordure du Tougandé, 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-violacé. 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 Dounia, c'est l'aspect bauxitique qui domine. Les roches sont poreuses, 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-brun, plus durcis le long des diaclases qui, dans l'ensemble, sont parallèles à la pente du terrain. De nombreux blocs, de couleur rose légèrement violacé 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. — PROXIMITE DES CHUTES DU KINKON (PITA).

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, de couleur ocre-jaune à brune, fortement indurés, à structure vaguement feuilletée, où se trouvent englobés de nombreux grains de quartz.

— 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 sont observables près des effondrements qui se situent au centre de la cuvette :

— Une cuirasse à structure pisolithique, moyennement durcie domine la formation. La couleur extérieure est brune, mais sur les cassures dominant les rouges et ocre-rouille. 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 a une structure feuilletée caractéristique. Le squelette essentiellement ferrugineux est moyennement induré. Il forme des petites alvéoles aplaties horizontalement. Les couleurs dominantes sont jaune-rouge et ocre-rouille. 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*, A DROITE APRES 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 pisolithique. De nombreuses petites concrétions ferrugineuses, de couleur rouille à noirâtre sont 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 blanchiment des matériaux voisins, soit au contraire, un dépôt de films ferrugineux concentriques.

— Au-dessous, la cuirasse est 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 traînées rouges, à structure vaguement vacuolaire et feuilletée, moyennement durcies. Des zones de blanchiment signalent le sens de la circulation des eaux.

J. — *TIANGEL BORI*.

C'est une immense cuvette entièrement cuirassée, sur la route Guinée-Sénégal.

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

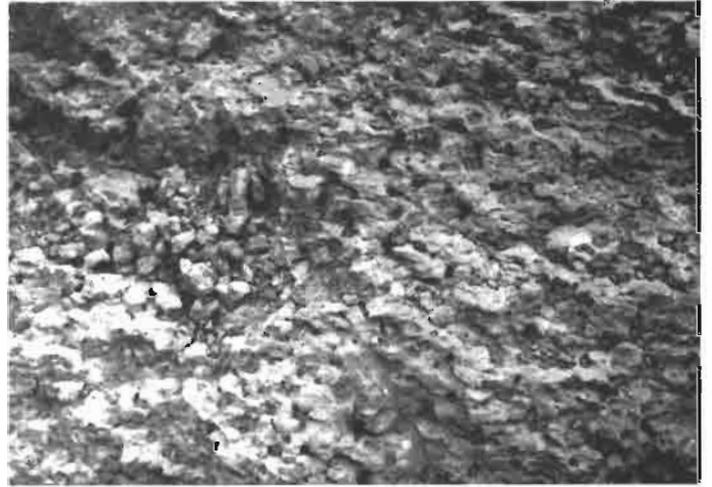
— La presque totalité de la surface de la cuvette est recouverte d'un tapis de débris cuirassés dont l'épaisseur dépasse plusieurs décimètres. Ces débris assez fins et bien triés en bordure du marigot, deviennent de plus en plus grossiers et hétérogènes en s'approchant des collines. Au pied de celles-ci, 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 brun-violacé. 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 nettement le rôle du ruissellement des eaux superficielles dans le transport et le tri de ces gravillons.

MORPHOLOGIE DES CUIRASSES.

Cuirasses feuilletée, Fello-Bantan.



Cuirasse alvéolaire, Fello-Bantan.



Cuirasse phylliteuse sur grès, Bamako.



Ecailles d'altération de dolérite ferruginisée, Daralabe.



— Sur les pentes de la colline, les blocs sont plus massifs et moins roulés. Ils sont de couleur brune. Ce sont des débris à structure pisolithique, qui atteignent fréquemment la taille d'un poing, et où se trouvent inclus des morceaux de dolérite, 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 brun foncé.

— 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 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 *TAMBACOUNDA - GUINEE*; KM 50 ENVIRON, BORDURE DE LA TERRASSE SUPERIEURE DOMINANT LA *GAMBIE*.

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

— 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 plus rouges, mais également très durcis.

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

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

L. — ROUTE DE *KEDOUGOU - SATADOUGOU*, EN BORDURE DE LA RIVIERE *GAMBIE*.

Les niveaux indurés sont observés dans les alluvions 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 brun foncé presque noire, entre des bancs argileux.

— Cuirasse à squelette alvéolaire brun-rouge, à alvéoles ocre-jaune 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-noir en surface. La coupe présente des teintes plus bariolées et éclatantes.

A sa partie inférieure, la cuirasse passe à une structure nodulaire. Elle est moins durcie. On observe 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 brun-foncé. Dans les zones à drainage déficient, les gravillons sont cimentés 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 lâche. Le squelette ocre-rouge à ocre-rouille est peu durci. Il renferme dans ses alvéoles légèrement aplaties, des produits terreux ocre-jaune.

— Dans les alluvions récentes, on observe des niveaux nombreux de gravillons ferrugineux indurés, de couleur brune et recouverts d'une patine terreuse. Ils se sont 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, 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 lâche et l'induration variable. Ces quelques faciès sont excessivement communs dans les alluvions actuelles du Niger et de ses affluents (Bokoro, Loghorombo, Banié, 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-rouille, 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, est imprégnée de solutions ferrugineuses qui cimentent le tout, en une masse à faciès de cuirasse. En bordure du marigot, l'arène est plus argileuse, plus épaisse. Il se produit une ségrégation du fer qui donne un aspect bariolé à l'horizon. Un vague squelette de couleur rouge, faiblement induré, à structure alvéolaire, parfois pisolithique quand les concrétions deviennent très nombreuses, se met en place. 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 a des aspects variés:

— Gravillons fortement durcis, bruns à rouges, noyés dans les sols.

— Ecailles 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 souvent bien conservée. On observe des passages à la structure scoriacée pour les cuirasses les plus alumineuses.

— Cuirasses pisolithiques, ferrugineuses, de couleur foncée dans les bruns et brun-rouge, très durcies, en blocs résiduels sur les sommets.

O. — ROUTE DE NZEREKORE A MAN, A LA FRONTIERE DE LA GUINEE ET DE LA COTE D'IVOIRE.

— Des concrétions rouge-brun à rouge-violacé, 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

Les descriptions précédentes montrent l'extrême hétérogénéité du matériau cuirassé. A travers celle-ci, il est cependant possible de dégager des caractéristiques spécifiques.

A. — CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

1. INDURATION.

Le premier aspect caractéristique du matériau cuirassé est son induration. L'examen d'échantillons prélevés en Guinée montre que tous les degrés d'induration sont présents, depuis des produits presque meubles, à peine cohérents, jusqu'aux blocs les plus durs, qui se cassent difficilement sous le choc du marteau.

Les techniques physiques: résistance à l'écrasement, à la pénétration, à la rupture, ne donnant pas de valeurs reproductibles, l'appréciation de l'induration se réduit à des méthodes sommaires et très simples: la résistance à la pénétration d'une bêche, à la rupture entre les mains, ou aux chocs du marteau. On distingue ainsi quatre 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.

1. *Nature des Constituants:*

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 sommaires, il est possible d'avancer certaines règles:

- Plus les teneurs en sesquioxydes 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. *Assemblages:*

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

3. *Degrés de vieillissement:*

La dureté dépend du degré de vieillissement de la masse. Sans tenir compte des phénomènes de tassement qui se produisent au cours de l'évolution des cuirasses, on constate 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-elles 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. C'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 *Guinée* aux formes suivantes:

- Structure homogène ou continue. Elle caractérise en milieu cuirassé des roches cohérentes. C'est le cas de certains grès de Fouta-Djallon dont le ciment silicieux a été épigénisé par le fer des solutions du sol (environs de *Pita*). Découlant du même processus, les schistes légèrement gréseux des environs de Télimélé 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 groupe la majorité des formes cuirassées. On peut distinguer:

1. — Des structures de roches meubles, montrant une structure graveleuse. Des exemples nombreux s'observent sur les vieux bords du Nord du Fouta-Djallon, vers Sériba-Kiffaya. L'horizon de surface meuble et graveleux est formé par l'accumulation de gravillons ferrugineux, plus rarement alumineux, arrondis, fortement remaniés et triés par le ruissellement. C'est également le cas des sols en voie de concrétionnement fortement érodés de Haute-Guinée et de Guinée Forestière (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, 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 il subsiste un squelette induré avec ses alvéoles vides. C'est la forme commune des cuirasses dites «de nappe» ou «de galerie».

c) Les structures nodulaires 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 Friguiagbé 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.

d) — La structure scoriacée 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 Bantan, Labé).

— Les véritables structures pisolithiques et oolithiques sont plus rares. Des gravillons plus ou moins arrondis (usure ou dissolution), nourris secondairement et recouverts d'une mince pellicule de sesquioxydes sont souvent appelés pisolithes. Ce dernier type de structure est 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 pourtant de véritables structures pisolithiques et oolithiques soit alumineuses, soit ferrugineuses ou manganifères. Souvent les films concentriques de fer et d'alumine se succèdent. Parfois, quand la pisolithe ou l'oolithe est constituée d'un élément, le ciment est composé d'un autre. A Foulaya (IFAC), on trouve des cuirasses dont les pisolithes sont fortement alumineuses et cimentées par une pâte plus ferrugineuse 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'étaient des cuvettes marécageuses en saison des pluies. (Bové dominant les Timbis, dépression de la Koloun, etc...)

3. COULEUR.

La couleur des cuirasses varie du blanc au noir, avec de nombreux termes intermédiaires dans les ocres, rouges et bruns principalement. Certaines cuirasses présentent des taches et traînées 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 teintes variant généralement autour d'une couleur principale: blanche, rouge, brune ou noire.

La pigmentation des couleurs est due 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 lépidocrocite jaune (Fe_2O_3, H_2O) 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 leurs 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-noir. Le manganèse donne 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 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 sont dues essentiellement aux oxydes de fer plus ou moins hydratés. 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 la présence d'hématite et de goethite.

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 rouges ou ocres dans leurs premiers stades, puis, en vieillissant, elles deviennent de plus en plus foncées vers les bruns, pour devenir 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 couleur brune, alors que les cuirasses ferrallitiques vraies sont de couleur rouge.

TABLEAU XIX.

Relations entre les teneurs en Fe_2O_3 et la couleur après grillage à 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

4. DENSITE.

Il est indispensable de distinguer la densité réelle de la densité apparente des cuirasses. La densité réelle, qui varie dans d'assez larges proportions, dépend de la composition chimique. Elle 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 plus denses que les cuirasses récentes.

TABLEAU XX.

Tableau de la densité des éléments constitutifs des cuirasses.

Gibbsite	2,44	Goethite	4,2
Bayerite	2,49	Magnétite	5,2
Boehmite	3,06	Maghemite	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 instructive. Elle permet, connaissant la composition des cuirasses, de mesurer approximativement le volume des différents assemblages qui déterminent la structure. Ce volume donne des valeurs intéressantes sur le lessivage de certains matériaux, et sur les surfaces actives des cuirasses.

La comparaison de la densité apparente de différents types de cuirasses permet de dégager quelques tendances générales :

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

— Les cuirasses anciennes 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.

TABLEAU XXI.

Comparaison entre la densité réelle et la densité apparente des cuirasses.

	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 (<i>Kindia</i>).....	2,88	2,10	1,37
5. Cuirasse feuilletée avec un peu de quartz, quelques concrétions	3,28	2,05	1,60
6. Cuirasse feuilletée avec un peu de quartz, quelques concrétions	2,97	1,90	1,56
7. Cuirasse ferrugineuse, compacte, fortement 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 pisolitique (fer) à ciment bauxitique	3,21	2,33	1,37
23. Cuirasse alvéolaire compacte, ferrugineuse	3,16	2,46	1,28
24. Granite altéré	2,76	2,30	1,18

B. — COMPOSITION CHIMIQUE.

Dans la majorité des cas, l'extrême hétérogénéité du matériau induré oblige à l'analyse globale d'échantillons suffisamment gros pour représenter un cas moyen.

1. RESULTATS 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 (Guinée Française), cuirasse sur Syénite néphélinique (LACROIX).
2. Mt Bougourou (Guinée Française), cuirasse sur Diabase (LACROIX).
3. Cuirasses ferrugineuses, moyenne de 25 échantillons.
4. Minerais de fer du Fouta (BERTHIER).
5. Gravillons sur bowal (Labé, Guinée Française).
6. Cuirasse gravillonnaire (Labé).
7. Cuirasse scoriacée (Labé).
8. Cuirasse alvéolaire de nappe (Ballay, Guinée Française).
9. Concrétions sur gneiss (Gban, Guinée Française).
10. Concrétions (dolérites), (Macenta).
11. Cuirasse compacte (Terrasse supérieure du Milo-Kankan).
12. Cuirasse alvéolaire (Terrasse moyenne du Milo-Kankan).
13. Gravillons - Sinthiou Malème (Sénégal).
14. Cuirasse du Continental Terminal - (Tambacounda, Sénégal).

TABLEAU XXII.

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 sesquioxides de fer ou (et) d'alumine. Ces corps sont en mélange suivant des proportions variables. Dans l'exemple n° 3, les teneurs en Fe₂O₃ dépassent 80%, avec moins de 5% d'Al₂O₃; dans l'échantillon n° 2, les teneurs en alumine avoisinent 60% pour moins de 4% de Fe₂O₃.

2. INTERPRETATION 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 trois 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 %.

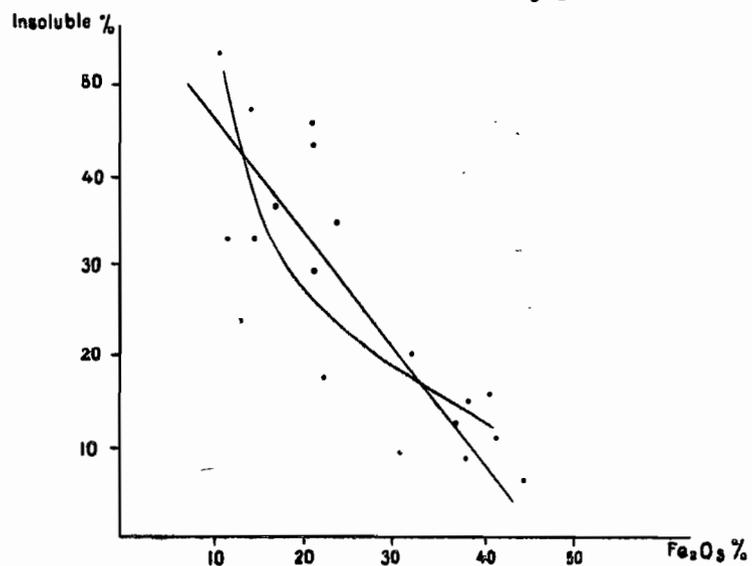
Cette classification est valable si l'on considère le matériau latéritique dans son entier, qu'il soit induré ou non, ainsi que l'a fait LACROIX (1913). Si l'on ne considère que les seules cuirasses, on constate que les teneurs supérieures à 90 % de sesquioxydes ne correspondent qu'à des gisements très limités.

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en silice combinée s'élèvent à plus de 20 % dans certaines cuirasses et gravillons fortement indurés (n° 7 et n° 12 par exemple). Ces matériaux sont donc à classer dans la catégorie des latérites argileuses.

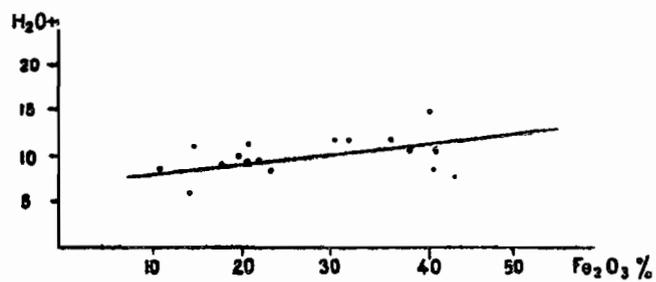
3. VUES GENERALES.

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'alu-

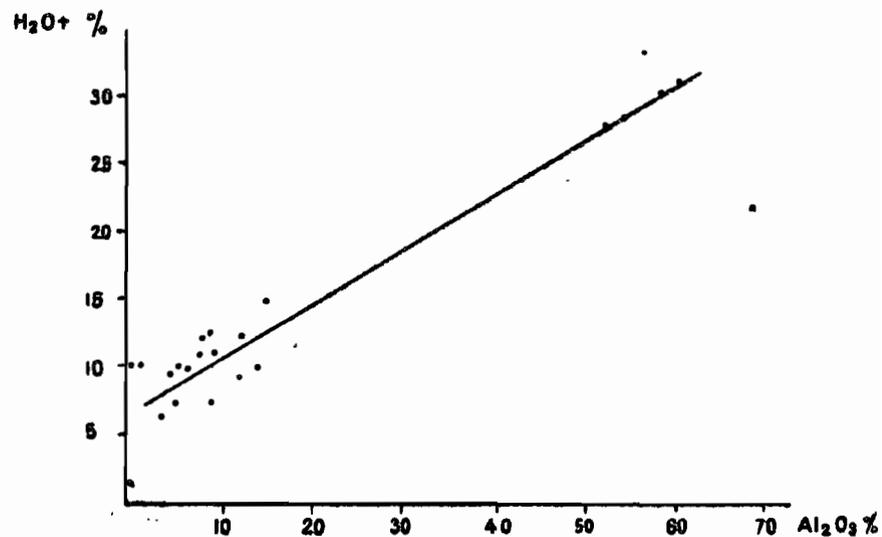
ANALYSE GRAPHIQUE DE LA RELATION ENTRE Fe_2O_3 ET INSOLUBLES



ANALYSE GRAPHIQUE DE LA RELATION ENTRE H_2O+ ET Fe_2O_3



ANALYSE GRAPHIQUE DE LA RELATION ENTRE H_2O+ ET Al_2O_3



mine 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-t-il théoriquement les teneurs en Al_2O_3 libre à partir des pourcentages en silice combinée. Il s'appuie sur le critère suivant: l'argile de ces matériaux se trouve sous forme de kaolinite. Il applique la formule suivante:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ libre} = \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ total} - (\text{SiO}_2 \text{ silicates} \times 0,849).$$

Cette relation donne le tableau suivant:

TABLEAU XXIII.

Teneurs en alumine libre.

	<u>Al_2O_3 total</u>	<u>Al_2O_3 combiné (calculé)</u>	<u>Al_2O_3 libre</u>
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 s'expliquent 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 données, certaines relations se trouvent explicitées:

— Il existe une relation directe entre les quantités d'eau combinée et les teneurs en alumine libre qui augmentent parallèlement, ce qui tend 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 sesquioxydes 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 thermopondérales et de rayons X. CASTAGNOL (1940) s'est attelé à la détermination des produits ségrévés. Il a montré que les matériaux de couleur blanche et rose indiquent la présence d'alumine; les couleurs rouges et brunes celles d'oxydes de fer, les couleurs noires de manganèse.

TABLEAU XXIV.

Nature minéralogique des produits ségrévés.

<u>Echantillons</u>	<u>Masse</u>	<u>Ségrégation</u>
Bauxite de Guinée (roche brun clair)	Essentiellement gibbsite	
Bauxite des Indes (roche gris blancheâtre)	Pratiquement uniquement du diaspore	
Bauxite du Nyassaland	Gibbsite	Brun rougeâtre à gris noir, lépidocrocite, ilménite
Bauxite ferrugineuse cuite par dyke basaltique	Masse blanche: boehmite	Brun rougeâtre, pratique- ment hématite pure
Bauxite ferrugineuse très cuite par basalte	Masse grise: principale- ment corindon, boehmite moyen, un peu de titane	Noir: principalement hé- matite, un peu de corin- don et maghémite Brun: hématite, un peu de boehmite
Bauxite ferrugineuse noire très cuite par dyke	Masse noire: hématite avec boehmite et un peu ana- tase	Brun rougeâtre: principa- lement hématite, peu de boehmite
Roche noire grisâtre en mé- lange 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 la Guinée, les analyses de quelques échantillons déjà décrits donnent les résultats suivants:

TABLEAU XXV.

Constitution minéralogique de quelques cuirasses.

<i>Labé</i>	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
<i>Ballay</i>	La 53b	Concrétions durcies	Kaolinite Boehmite Goethite environ 6%
	La 56	Cuirasse alvéolaire fortement indurée (cuirasse de nappe)	Kaolinite 67% Hydroxydes d'Al sous forme monohydratées (diaspore!) Goethite environ 8%
<i>Guékédou</i>	Gu 133	Horizon bariolé à concrétions peu durcies (cuirasse de nappe)	Kaolinite 33% Quartz important Mica peu Goethite 24% Hématite peu
<i>Kankan</i>	Gu 210	Cuirasse pisolithique (terrasse supérieure)	Kaolinite 25% Mica très peu Goethite 14% Hématite
<i>Macenta</i>	Gu 124	Ferrugination d'arène granitique	Kaolinite 25% Gibbsite Goethite Un peu de Quartz
<i>Farannah</i>	Gu 381	Gravillons de surface	Kaolinite 34% Goethite Gibbsite Mica très peu
<i>Dabola</i>	Gu 390	Cuirasse sur gneiss	Kaolinite 32% Goethite 45 - 50% Quartz

Les pourcentages indiqués sont très approximatifs.

Ces résultats font apparaître des quantités importantes de kaolinite, presque constamment de la goethite et fréquemment de la gibbsite. Le quartz est résiduel ou détritique. Ces données rejoignent les résultats de SCHAUFELBERGER (1955).

TABLEAU XXVI.

Répartition des principaux constituants dans 15 échantillons 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. Cependant deux éléments constants sont à retenir: l'induration et la richesse en sesquioxydes. Ces faits obligent à élargir 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.*

TABLEAU XXVII.

Tableau résumant les caractéristiques des cuirasses alumineuses et ferrugineuses.

	<u>Cuirasses alumineuses</u>	<u>Cuirasses ferrugineuses</u>
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 $\cong 20\%$, peu d'insoluble	Faiblement hydratée $\neq 10\%$, beaucoup d'insoluble
Constitution minéralogique	Gibbsite surtout Goethite Kaolinite peu Quartz pas ou peu et alors clastique	Kaolinite } surtout Goethite } Hématite fréquente Gibbsite variable Quartz souvent important, résiduel et clastique Minéraux phylliteux

CHAPITRE VI.

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 suit la classification pédologique adoptée en Afrique Occidentale Française:

- 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 considéré, les profils sont décrits en suivant les degrés d'induration croissante.

I. SOLS FERRALLITIQUES

A. — ROUTE DE NZEREKORE A DIEKE (*GUINEE FORESTIERE*), KM 30, SOUS FORET HYGROPHILE, SECONDARISEE EN UNE BROUSSE DENSE, ASSEZ HAUTE.

- 0 cm: Litière organique mal décomposée de 2 à 3 cm d'épaisseur.
- 0 — 8 cm: Horizon ocre-rouge, un peu brunâtre, peu humifère, nombreux débris de quartz et de gneiss à biotite, plus ou moins altérés et ferruginisés; texture gravelo-argileuse; structure grumeleuse; 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 250 cm: Gneiss à biotite.

B. — ROUTE DE *SEREDOU* A *MACENTA* - *FORET DU ZIAMA* -
AU SOMMET DU COL APRES LA STATION.

— Forêt hygrophile, sous-bois peu dense.

- 0 cm: 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 gravelo-argileuse; structure grumeleuse; nombreuses racines.
- 20 — 75 cm: Horizon de couleur rouge un peu violacée, 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 violacée, 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 traînées qui englobent des poches rouges argileuses.
- 170 cm et plus: Granite à amphibole.

C. — ROUTE DE *FARANNAH* A *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-brun, 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'extérieur, 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 rose-rouge, moins durcies, bien individualisées; quelques taches 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-rouge, 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-jaunâtre, 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 A KINDIA, km 5.

— Végétation excessivement dégradée.

- 0 — 80 cm: Horizon gris; humifère; très graveleux, 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 taches violacées, plus durcies, riches en quartz; quelques taches 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 formant un squelette mal défini à structure alvéolaire aplatie.
- 170 — 220 cm: Horizon de couleur rouge brique, contenant de nombreux noyaux durcis, rouge-violacé; taches 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 taches grises, blanchâtres et ocres, 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 minéraux originels.

E. — ROUTE N'ZEREKORE A 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 brun-foncé; ensemble poreux; chevelu radulaire dense.
- 25 — 52 cm: Horizon brun-rouge; texture argilo-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 sesquioxydes montre des impré-

gnations, 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 sesquioxydes en taches et traînées diffuses non durcies.

195 cm et plus: Gneiss altéré.

F. — DUBREKA — BAS PLATEAU DOMINANT LA MANGROVE AU LIEUDIT «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 A BEYLA.

— Forêt dégradée du Massif du Béro - 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-brun 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 cm et plus: Roche fraîche; dolérite passant à des amphibolites s'altérant en boules.

H. — ROUTE KOLENTE - KINDIA, TRANCHEE A 200 m DE LA RIVIERE.

— 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-brun; structure pisolithique bien développée, très compacte; quelques diaclases obliques limitent de gros blocs qui se trouvent recouverts d'une patine 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-rouge, bien arrondies, déjà fort durcies, au milieu d'argile rouge; par place, il y a formation d'un squelette ocre-rouge, assez induré de couleur plus foncée.
- 350 — 420 cm: Horizon bariolé où s'individualisent des concrétions qui amorcent l'induration; grandes traînées diffuses blanches.
- 420 — 600 cm: Horizon rouge; argileux; à structure prismatique assez bien développée.
- 600 — 650,
700 cm: Horizon d'altération en écailles 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 manganifères entre les écailles faiblement altérées.

I. — ROUTE DE MAMOU - DALABA, km 30.

— Forêt montagnarde dégradée.

- 0 — 10 cm: Horizon gris-noir; humifère; texture graveleuse, avec nombreuses concrétions ferrugineuses, fortement indurées, brun-noire.
- 10 — 25 cm: Horizon brun; encore humifère; toujours très graveleux; produits terreux ocre-brun; structure à tendance nuciforme; nombreuses petites racines.
- 25 — 50 cm: Horizon ocre-rouille; fortement gravillonnaire; attaque superficielle de la cuirasse; blocs de cuirasse alvéolaire parfois très massive, 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-rouge; le squelette induré est plus clair dans les tons roses; parfois s'individualisent, le long des diaclases, des plaquettes ferrugineuses, brun-noir, 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 SENEGAL, 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 traînées et noyaux légèrement indurés.

K. — ROUTE *LELOUMA - TELIMELE*, EN BORDURE DU BOWAL DIRE.

— 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 taches 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 «pains 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 fonio.

- 0 — 15 cm: Horizon gris; légèrement humifère; très gravillonnaire, gravillons bruns, très indurés; quelques blocs de cuirasse roulés; texture sablo-argileuse; structure à tendance grumeleuse; 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-blanc à ocre-rouille.
- 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, jaune-brun, s'isolant les unes des autres, très petites, essentiellement ferrugineuses et manganifères.
- 650 à 750-800 cm: Horizon bariolé, légèrement plus rouge, avec des taches plus ou moins diffuses, de couleur ocre-jaune; texture argileuse; structure de pseudo-sable, avec quelques canalicules; les traînées suivent ces dernières; quelques taches 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 énumération de quelques profils cuirassés en sols ferrallitiques explicite certaines relations entre l'intensité des phénomènes de cuirassement et les facteurs du milieu naturel.

1. ROLE DU CLIMAT.

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 A, B, C, D). 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 favorisé. 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:

TABLEAU XXVIII.

Caractéristiques des profils cuirassés sur différentes roches.

<u>Granites — gneiss</u>	<u>Dolérites — amphibolites</u>
Profil:	
— <i>Horizon superficiel</i> , grisâtre, faiblement humifère — souvent lessivé — nombreux gravillons ferrugineux fortement indurés, débris de quartz.	— <i>Horizon superficiel</i> , brun-noir, plus humifère — gravillons souvent très nombreux, la plupart bien arrondis, peu ou pas de quartz.
— <i>Horizon induré</i> 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.	— <i>Horizon induré</i> généralement fortement durci — structure pisolithique dominante vers le haut, passant à la structure scoriacée, puis nodulaire vers le bas — cuirasse compacte.
Couleurs dominantes vives: rouge, rouille, parfois violet. Ces taches forment ordinairement des noyaux indurés en leur centre — traînées rouges 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.	Couleurs dominantes plus foncées: rouge, brun-rouge. 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-noir.
Epaisseur: jamais importante, dépasse rarement deux mètres.	Epaisseur beaucoup plus importante, dépasse quelquefois 10 mètres.
Les transitions avec les horizons voisins ne sont jamais brutales.	Transitions souvent très brutales, horizons bien individualisés.
— <i>Horizon sous-jacent</i> , plus argileux, morphologie générale assez semblable au précédent, mais non induré. Couleurs bariolées et éclatantes en tâches et traînées mal individualisées.	— <i>Horizon sous-jacent</i> argileux, de couleur rouge foncé. Les concrétions peuvent encore s'individualiser, mais sont moins indurées et de couleur plus foncée. Elles disparaissent avec la profondeur.

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.

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 E et F).

— Un drainage normalement assuré limite le cuirassement. Quand celui-ci se produit, il y a prédominance des faciès scoriacés (profil K). 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. Les 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 en Haute-Guinée et jouxtent aux limites Nord du territoire. Ils se développent largement vers le Sénégal et le Soudan. L'étude du cuirassement en sols ferrugineux tropicaux porte principalement sur le groupe des sols ferrugineux lessivés. Les cuirasses de ce type observées dans les régions Nord du Fouta-Djallon sont à un stade sénile d'évolution. Il a semblé préférable de choisir quelques exemples dans les régions méridionales du Sénégal qui permettent un exposé des faits plus didactique.

A. — *OUROUR, ROUTE DE KAOLACK A 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'individualisant vers la base en taches diffuses légèrement durcies en leur centre, de couleur plus rouge, essentiellement ferrugineuses; texture sablo-argileuse; structure polyédrique massive, mal développée; horizon colmaté.
- 155 cm et plus: Formation argilo-gréseuse du Continental Terminal.

B. — *DAROU, A 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 taches 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 taches 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 taches 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 *Lanea*.

— 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 corrodés; 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 taches ferruginisées, plus ou moins diffuses diminuent graduellement pour faire place aux grès argileux à taches 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; structure 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 trainées ferrugineuses peu durcies, et plus ou moins bien individualisées; quelques trainées 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 taches 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 texturaux de quartz; les alvéoles contiennent des produits argileux blanc-grisâtre.
- 425 cm et plus: Passage brutal à l'ancien niveau d'une nappe phréatique actuellement disparue; horizon blanchi, très sableux.

L'examen des profils A, B, C et D 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 taches et concrétions ferrugineuses, qui s'enrichissent par l'apport des eaux de percolation. L'intensité de l'accumulation ferrugineuse amène la cimentation des concrétions en un niveau cuirassé, bien induré. Pendant ces processus, les horizons superficiels meubles s'amincissent par érosion hydrique. Les horizons cuirassés finissent par affleurer et sont attaqués à leur sommet.

Le profil E 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 profondément et s'accumulent au niveau de la nappe phréatique où elles s'immobilisent en une cuirasse alvéolaire.

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 provoquent l'immobilisation des sesquioxydes 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 *GBIDI-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, de couleur rouille, recouvertes extérieurement d'une 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 taches plus claires blanc-grisâtre; 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-rouge 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 Guinée Française possède une gamme variée de sols hydromorphes dont beaucoup sont cuirassés. Les phénomènes d'hydromorphie qui influent sur 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 A 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 taches et marbrures diffuses, rouilles; texture finement sableuse; moins colmaté.
- 130 — 185 cm: Horizon bariolé, à fond argileux, grisâtre et traînées et taches ocre-rouille et rouges; faiblement durcies; se coupant facilement à l'ongle; les produits les plus rouges sont au centre des taches.
- 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); taches 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 beige-clair.

— 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 A 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 taches de couleur crème, limoneuses (cendres d'éco-buage); texture limoneuse finement sableuse; structure particulière; 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 taches de quelques millimètres de diamètre, de couleur ocre-rouille, légèrement durcies, s'écrasant 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 1 cm.

- 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-blanchâtre.
- 130 — 220 cm: Horizon bariolé; plus argileux; taches 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; taches rouges plus diffuses, plus grosses, moins durcies, marquant le passage 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 A TELIMELE, km 1.

— Zone légèrement déprimée.

— Végétation herbacée: jachère à fonio.

- 0 — 20 cm: Horizon de couleur brun-foncé; 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 taches et traînées 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 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, se prolonge plus longtemps dans le temps, que dans les deux exemples précédents. Les sesquioxides immobilisés sont essentiellement ceux de fer. L'immobilisation de manganèse est moins apparente. Les concrétions prennent une morphologie caractéristique. Elles sont de couleur ocre-jaune, et résultent du dépôt 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 conglomerats.

— On assiste également à une induration brutale des produits immobilisés, et cela même en milieu humide. Ce type d'hydromorphie temporaire conduit au concrétionnement des oxydes précédemment individualisés. Les différents matériaux constitutifs du sol, et plus particulièrement les sesquioxydes tendent à se ségréger, puis à se concentrer en concrétions et cuirasses.

— 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 naissance à une cuirasse alvéolaire.

— Quand l'hydromorphie est intense et bien localisée, il y a apparition de taches nettement individualisées qui passent ultérieurement au stade concrétions pisolithiques.

D. — ROUTE DE GUEKEDOU A KISSIDOUYOU, 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 taches ferrugineuses diffuses et rares; texture limono-sableuse; pseudo-sable; structure nuciforme.
- 45 — 150 cm: (Gu 133), horizon bariolé, se durcissant à sa base sur 10 cm (134), nombreuses taches et traînées rougeâtres noyées dans matrix argileuse de teinte beige.
- 150 — 210 cm: (Gu 135), horizon devenant sableux, avec taches ferrugineuses non durcies, beaucoup moins nombreuses, éléments jaunâtres et ocres 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 trainées 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-jaune (D 58).
- 200 — 310 cm: Horizon cuirassé beaucoup moins durci, formé essentiellement de trainées 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 trainées 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; imprégnations ferrugineuses 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 grumeleuse assez bien développée et stable; quelques trainées 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 trainées et taches 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 blanc-bleuâtre à ocre-rouille 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; trainées ocre-rouge en voie de cuirassement; quelques petites concrétions individualisées durcies.
- 100 cm: Nappe phréatique.

G. — PLAINE DU *MILO*, FACE A LA STATION RIZICOLE DE *BORDO*, EN BORDURE D'UN BRAS MORT, PRES 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 trainées et concrétions ferrugineuses peu durcies, de couleur rouille.
- 70 — 90 cm: Horizon concrétionné; concrétions ferrugineuses, brun-rouille, 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 RIVIERE *IEME*,
A 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 trainées et petites taches de couleur ocre, non durcies.
- 40 — 135 cm: Horizon blanchâtre; avec nombreuses taches 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-foncé; 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; taches blanchâtres plus limoneuses.
- 210 cm: Niveau d'étiage de la rivière.

I. — TERRASSE SUPERIEURE DU *MILO* A *KANKAN*, FACE A *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 bruns, 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 six 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, les faciès pisolithiques sont les plus fréquents.

La nature texturale de l'horizon où s'effectue l'induration, oriente la morphologie des cuirasses. Dans les alluvions argileuses, les formes sont surtout pisolithiques. Dans les alluvions à texture moyenne (sablo-argileuses à limono-sableuses), les formes alvéolaires 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 coteaux cuirassés.

Ces types de cuirasse sont essentiellement ferrugineux. Le quartz, fréquent, s'y trouve sous forme clastique, et n'est pas corrodé.

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 (GREENE, 1930).

A. — FACE A 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 abondants 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. — UENDOÛ.

- Surface cuirassée fossile dominant les Timbis.
- 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 isolés de cuirasse; en voie de dissolution; quelques grosses racines.
- 10 — 32 cm: Horizon beige-ocre, avec nombreux blocs de cuirasses isolées, 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. — UENDOÛ, A 200 m DU VILLAGE.

- Recrú 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 A 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 cuirassements 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 une 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 - A MI-PENTE DE LA COLLINE BOISEE.

— 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 cimentés 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 les cuirasses colluviales forment des poches de grandeurs variées. D'autre part, les passages aux 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-rouille 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 des 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 ainsi que les autres matériaux alluviaux, se comportent comme de simples constituants texturaux. Leur nature grossière favorise la cimentation sous forme conglomératique.

— Il est parfois difficile de trancher sur l'origine des cuirasses rencontrées dans des alluvions. Sont-elles alluviales ou formées sur place en milieu hydromorphe?

L'observation des faits apporte quelques 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 nucleus. 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. Leur convergence précise l'origine des cuirasses formées dans les alluvions.

CHAPITRE VII.

COMPOSITIONS CHIMIQUES DES PROFILS CUIRASSES

I. SOLS FAIBLEMENT CUIRASSES

Plutôt que de grouper une série de tableaux résumant les résultats analytiques obtenus lors de l'étude des profils cuirassés, il a semblé préférable de fournir quelques données qui tiennent compte du degré d'évolution du cuirassement.

A. — SOL FERRALLITIQUE DE GUINEE FORESTIERE (cf. profil I, A).

TABLEAU XXIX.

Résultats analytiques.

	Gu 81	Gu 81	Gu 82	Gu 82	Gu 83	Gu 83	Gu 84	Gu 85
	terrefine	graviers	terrefine	graviers	terrefine	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 combiné	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
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).

TABLEAU XXX.

Résultats analytiques.

	Gu 131 terrefine	Gu 132 terrefine	Gu 133 terrefine	Gu 133 graviers	Gu 134 terrefine	Gu 134 graviers	Gu 135 terrefine
pH	5,7	5,1	5,2	—	5,4	—	5,3
Terre fine	97,25	93,00	53,00	—	84,50	—	98,50
Graviers	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 combiné	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).

TABLEAU XXXI.

Résultats analytiques.

1. *Analyse mécanique* (% de terre fine séchée à 105°).

Horizons	Terre fine	Sables gross.	Sables fins	Limon	Argile	Humus	Matière organ.	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	34,7	13,6	25,0	21,0	—	—	—	—	—	5,7
La 48	7,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,8

2. *Analyses chimiques; attaque triacide (%)*.

Horizons	H ₂ O+	Inso- lubles	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	—

Ces données permettent de calculer les teneurs en Al₂O₃ libre.

TABLEAU XXXII.

Teneurs en Al₂O₃ libre et en silice combinée.

	Al ₂ O ₃ combinée	Al ₂ O ₃ libre	Fe ₂ O ₃ total	SiO ₂ libre	Silice combinée	SiO ₂ Al ₂ 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 $K_i = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 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.

$$\text{silice (combinée + libre) mesurée} - \text{silice libre calculée} = \text{silice (kaolinite)}$$

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.

Les teneurs élevées en silice combinée correspondent soit à la présence de minéraux alu-mino-silicatés plus ou moins altérés, soit à celle d'argiles illitiques. Ces faits se rencontrent normalement dans les sols ferrallitiques jeunes ou ceux formés à partir de matériaux originels peu évolués. On peut signaler 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 précise 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 deux 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 groupes de constituants:

Groupe A. — Les constituants qui s'accumulent ou qui s'accumuleront: d'une part les 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.

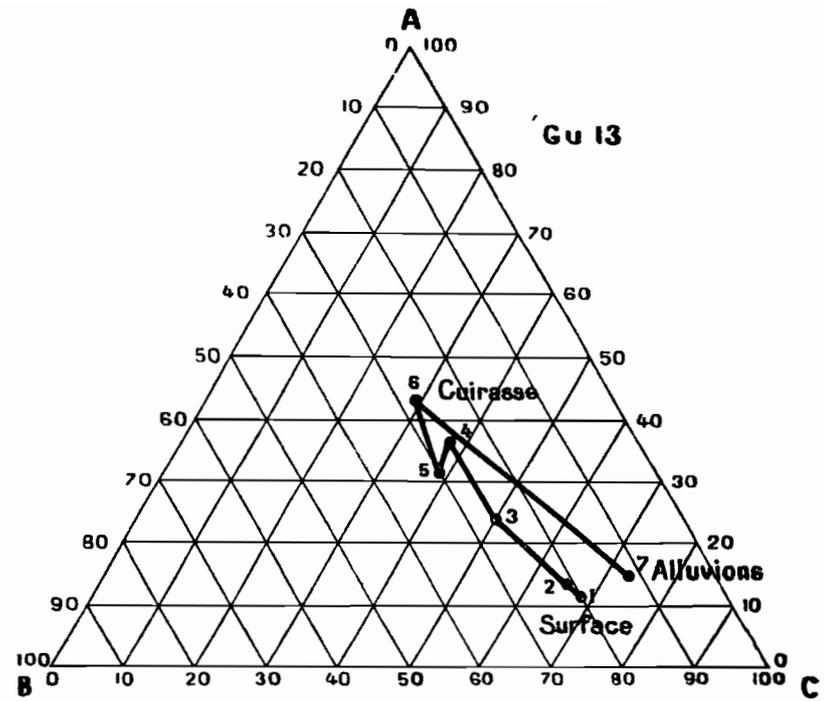
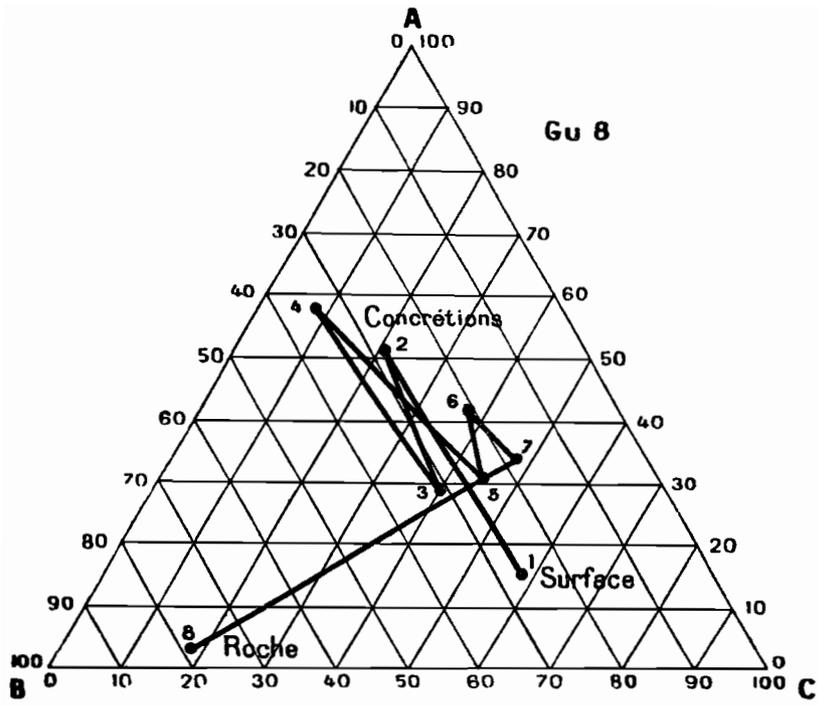
Groupe C. — Les constituants stables, minéraux peu altérables tels que le quartz, les minéraux lourds résiduels.

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.

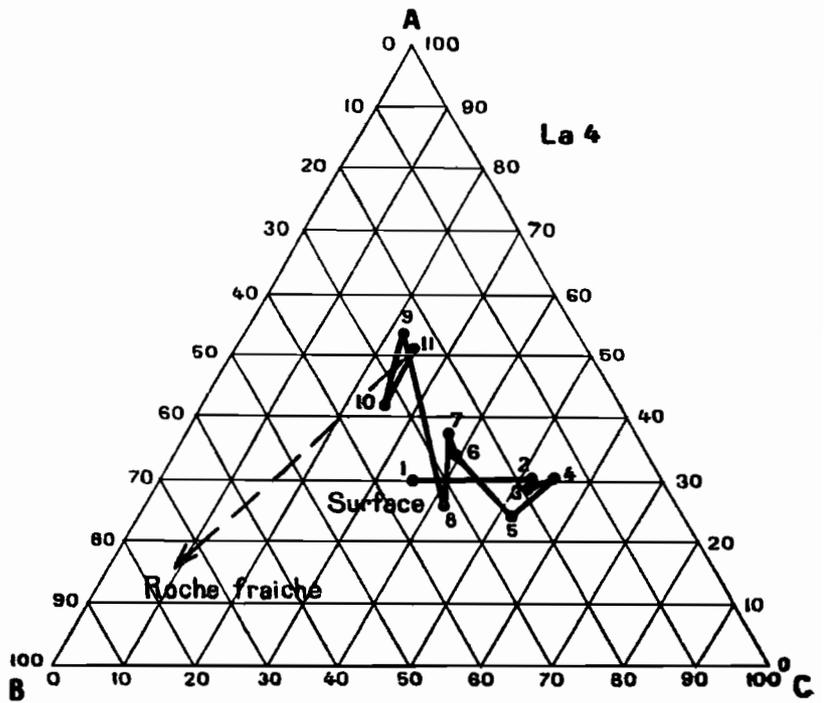
TABLEAU XXXIII.

Valeurs calculées des trois groupes de constituants des cuirasses.

	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
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



**REPRÉSENTATION GRAPHIQUE
DU MOUVEMENT DES CONS-
TITUANTS DES SOLS CUIRASSÉS**



1. L'exemple I. A (Gu 8) est typique de phénomènes de concrétionnement en sol ferrallitique jeune:

— de 8 à 7 se concrétisent les processus d'altération ferrallitique (départ de bases, de silice et accumulation relative de sesquioxydes);

— les points 7, 5 et 3 correspondent à la composition moyenne des horizons en voie de cuirassement. Il se produit un faible lessivage de l'argile qui se traduit par une translation vers B;

— les points 6, 4 et 2 matérialisent les concrétions formées dans les horizons précédents. La translation vers A signale une accumulation absolue des sesquioxydes (fer);

— l'horizon de surface (point 1) montre un enrichissement relatif en matériaux résiduels (quartz), résultant de la migration des sesquioxydes et de l'argile.

2. L'exemple IV D (Gu 13) est celui d'un cuirassement dans des alluvions.

Il se produit un apport absolu de fer de plus en plus prononcé vers la base du profil (points 2, 3, 4, 5, 6) marqué par une direction des courbes vers A. Le cuirassement est optimum au niveau d'étiage de la nappe phréatique. Dans les horizons superficiels du profil il y a lessivage de sesquioxydes qui s'accumulent en profondeur. Le voisinage des points matérialisant la composition du sol en surface et dans l'alluvion non évoluée, montre que les sesquioxydes ont surtout une origine extérieure en profil.

3. L'exemple IV B (La 4) est plus complexe. C'est un sol ferrallitique à drainage déficient.

— De 1 à 2, 3, 4 et 5 il y a un lessivage de bases et une augmentation de l'insoluble (SiO_2) dû à la pratique de l'écobuage.

— La translation vers B signale un lessivage de l'argile (5, 6, 7 et 8) et des constituants oxydés.

— Les points 9, 10 et 11 marquent le cuirassement par une accumulation de sesquioxydes.

Le matériau originel est une éluvion schisteuse. Si on rapproche sa composition de celle des schistes sériciteux lui ayant donné naissance, on obtient une droite dirigée vers B qui indique une altération ferrallitique prononcée.

II. SOLS A CUIRASSES ACTUELLES

Voici deux exemples de sols fortement cuirassés, de formation actuelle:

A. — SOL CUIRASSE DE PLATEAU - LABE (I. J.).

TABLEAU XXXIV.

Résultats analytiques.

	H ₂ O	Insol.	SiO ₂ comb.	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.).

TABLEAU XXXV.

Résultats analytiques.

1. *Analyses mécaniques* (% de terre fine séchée à 105°).

Horizons	Terre fine	Sabl. gross.	Sabl. fins	Li-mon	Ar-gile	Hu-mus	Mat. org.	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	Inso-luble	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	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	48,70	17,75	15,40	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.

TABLEAU XXXVI.

Valeurs calculées d'Al₂O₃ libre et des groupes de constituants.

	<u>Inso-</u> <u>luble</u>	<u>SiO₂</u> <u>comb.</u>	<u>Al₂O₃</u> <u>comb.</u>	<u>Al₂O₃</u> <u>libre</u>	<u>Fact.</u> <u>correct.</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	
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

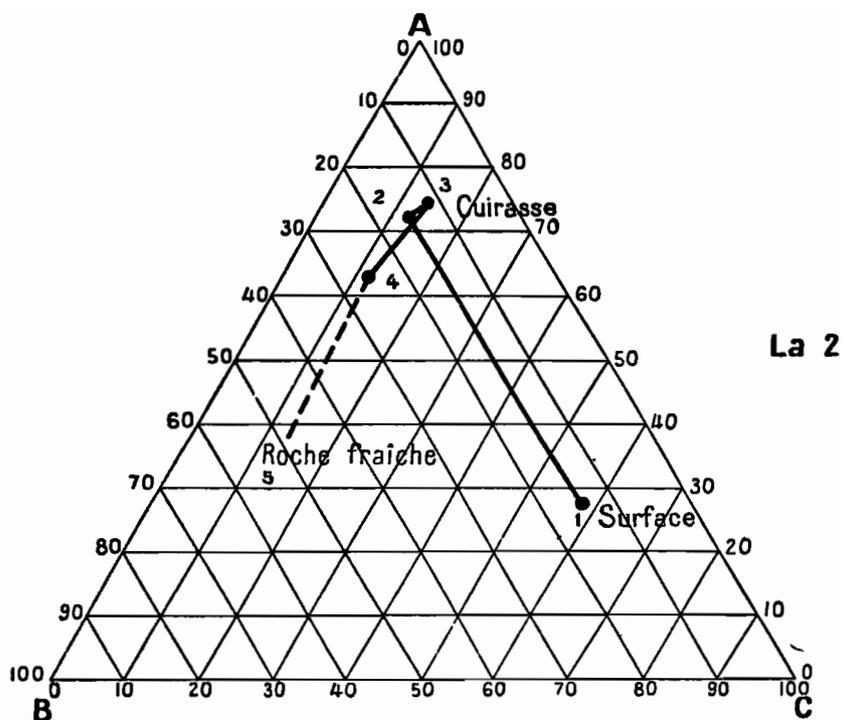
L'examen des deux diagrammes ci-joints précise l'évolution déjà signalée en sols faiblement cuirassés. L'accumulation se trouve liée aux mouvements des sesquioxydes qui se redistribuent après individualisation, et s'effectue donc sur un mode d'accumulation absolue. L'accumulation relative ne s'observe 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.

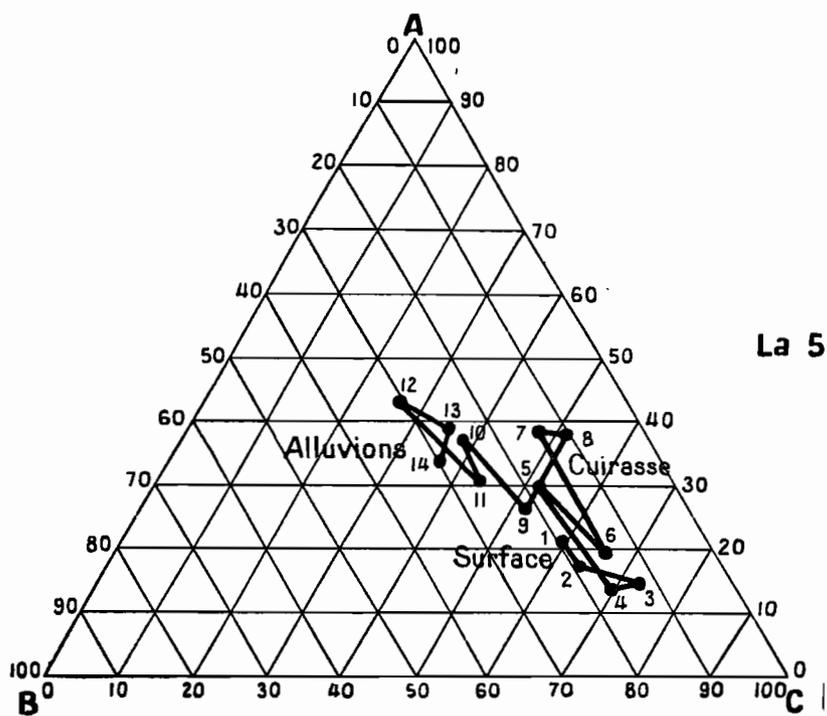
L'étude des diagrammes explicite les mécanismes suivants:

1^{er} diagramme:

— 4 à 3: 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.



REPRÉSENTATION GRAPHIQUE
DU MOUVEMENT DES
SOLS CUIRASSÉS



— 3 à 2 marque le passage de l'horizon en voie de cuirassement aux concrétions. Il y a une légère dissolution des hydroxydes (ciment) qui libèrent des noyaux indurés.

— 2 à 1, l'augmentation importante de matériaux inertes, 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) indique un milieu fortement ferrallitique. Le cuirassement suit les accumulations du fer.

2° 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 la nappe phréatique.

Ces mécanismes se trouvent bien explicités 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 marque la concentration absolue sous forme de concrétions dans des horizons meubles à peine enrichis;

— 8 à 9, accumulation des cations lessivés de la surface;

— 9 à 14 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. Il peut arriver que l'on obtienne des valeurs en Al libre négatives. Elles correspondent à la présence d'argiles à rapport $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} > 2$ ou à celle de roches silicatées faiblement altérées, matériaux texturaux des alluvions où se produit le cuirassement.

En rapprochant ces résultats de ceux obtenus sur les sols faiblement cuirassés, on complète les données formulées dans le paragraphe précédent:

— La ferrallitisation apporte peu de modifications dans la marche du cuirassement.

— Une augmentation d'intensité dans les phénomènes de cuirassement correspond à une augmentation des teneurs en fer.

— L'alumine reste indifférente.

— L'épaisseur des horizons indurés croît avec le cuirassement.

— L'induration suit cette évolution.

— Les horizons cuirassés, tout en évoluant par leur base, sont 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 sesquioxydes 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. Leurs caractéristiques analytiques sont bien connues.

Voici deux exemples de cuirasses d'origine différente :

A. — CUIRASSES SUR SYENITES NEPHELINIQUES DES ILES DE LOOS (MILLOT et BONIFAS, 1955.)

TABLEAU XXXVII.

Résultats 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

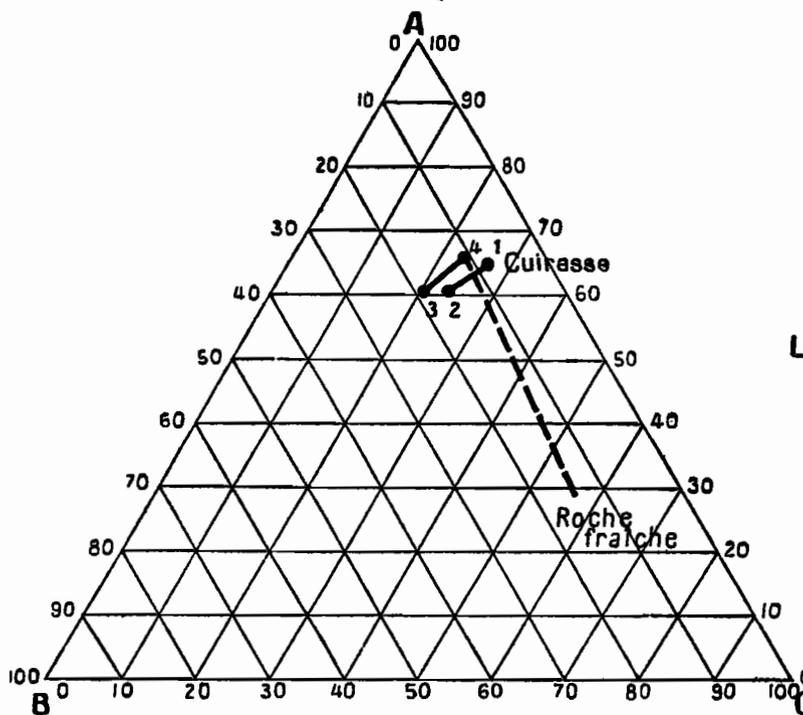
B. — CUIRASSES SUR LA TERRASSE SUPERIEURE DU MILO A KANKAN (cf. profil IV. I.).

TABLEAU XXXVIII.

Résultats analytiques.

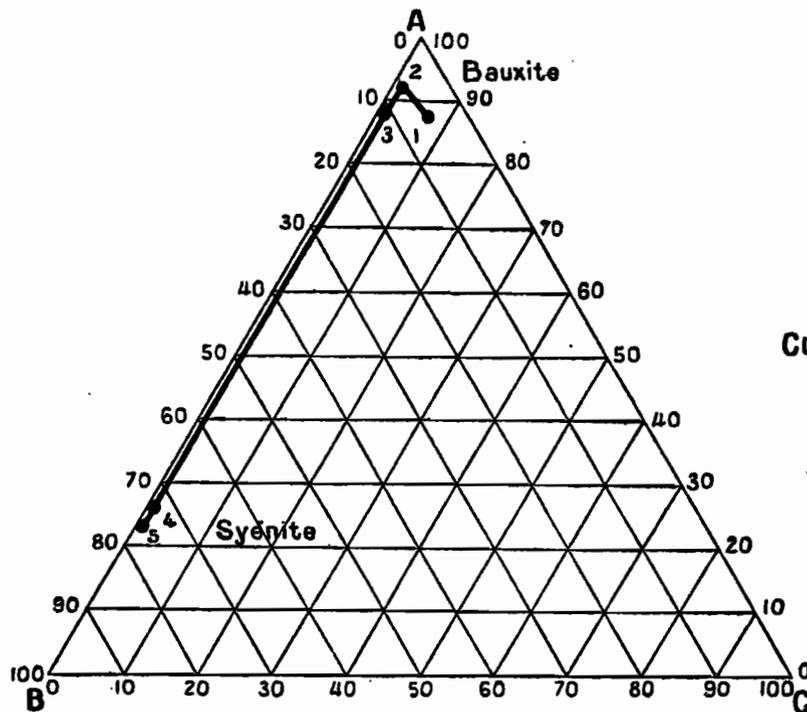
<u>H₂O+</u>	<u>Insol.</u>	<u>SiO₂</u>	<u>Al₂O₃</u>	<u>Fe₂O₃</u>	<u>TiO₂</u>	<u>P₂O₅</u>	<u>CaO</u>	<u>MgO</u>	<u>K₂O</u>	<u>Na₂O</u>
Gu 210 total cuirassé										
10,49	6,58	19,83	12,47	47,00	0,86	0,32	0,13	0,10	0,24	0,09
Gu 210 concrétionné										
8,04	12,65	24,72	12,12	41,80	0,66	0,12	0,18	0,11	0,38	0,10
Gu 211 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 :



La 21

**REPRÉSENTATION GRAPHIQUE
DU MOUVEMENT DES
SOLS CUIRASSÉS**



**Cuirasse sur
Syénite**

TABLEAU XXXIX.

	<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

<u>Al₂O₃ combinée</u>	<u>Al₂O₃ libre</u>	<u>Facteur correctif</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
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
G 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 sesquioxydes consécutive à une augmentation des teneurs en kaolinite. La diminution des teneurs en alumine résulte d'un apport exotif (accumulation absolue probable d'argile).

Pour la terrasse supérieure du MILO, le manque de données sur la nature du matériau original 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 SiO₂ combinée/Al₂O₃ combinée donnent des valeurs nettement différentes. Les valeurs calculées indiquent la présence de minéraux aluminosilicatés non complètement décomposés, ce qui exclut tout processus poussé de ferrallitisation originelle. Il y a imprégnation ferrugineuse d'un matériau alluvial peu évolué.

En résumé, les vieilles cuirasses n'ayant pas subi un fort démantèlement mécanique, montrent une concentration de plus en plus poussée des sesquioxydes quelle que soit la roche mère.

— L'épaisseur devient considérable en bordure de la zone de drainage naturel.

— Le fer se lessive 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 par les sesquioxydes, liée à l'abaissement du niveau de base, fossilise partiellement les horizons d'altération et complique leur interprétation.

CHAPITRE VIII.

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. CUIRASSEMENT EN SOLS FERRALLITIQUES MAL DRAINÉS

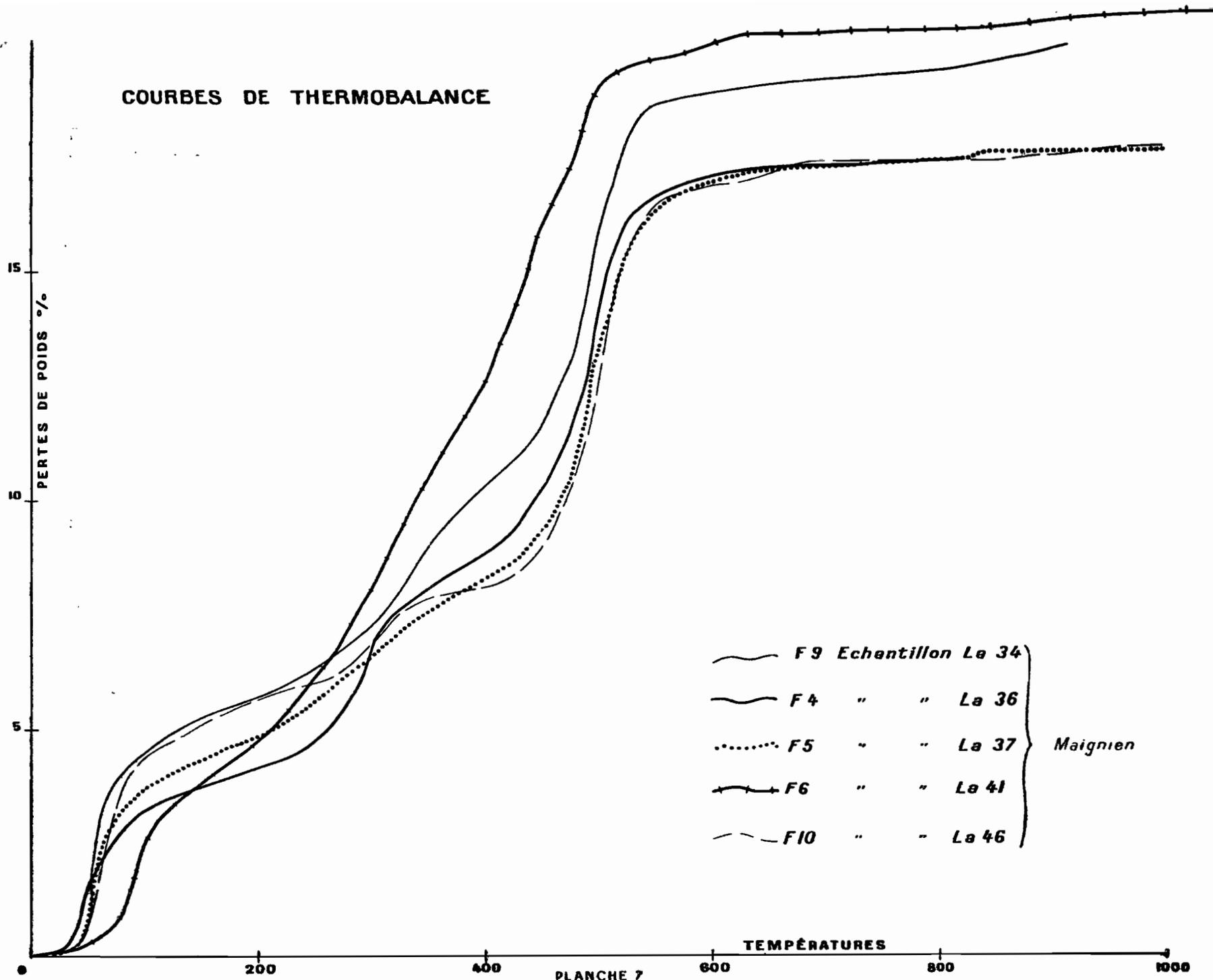
Suivant la topographie, ces sols sont plus ou moins bien drainés. Il en résulte des phénomènes d'hydromorphie en profondeur qui influent profondément sur le cuirassement.

Les données globales fournies par les analyses thermodifférentielles, thermopondérales et aux Rayons X sont les suivantes (valeurs approchées):

TABLEAU XL.

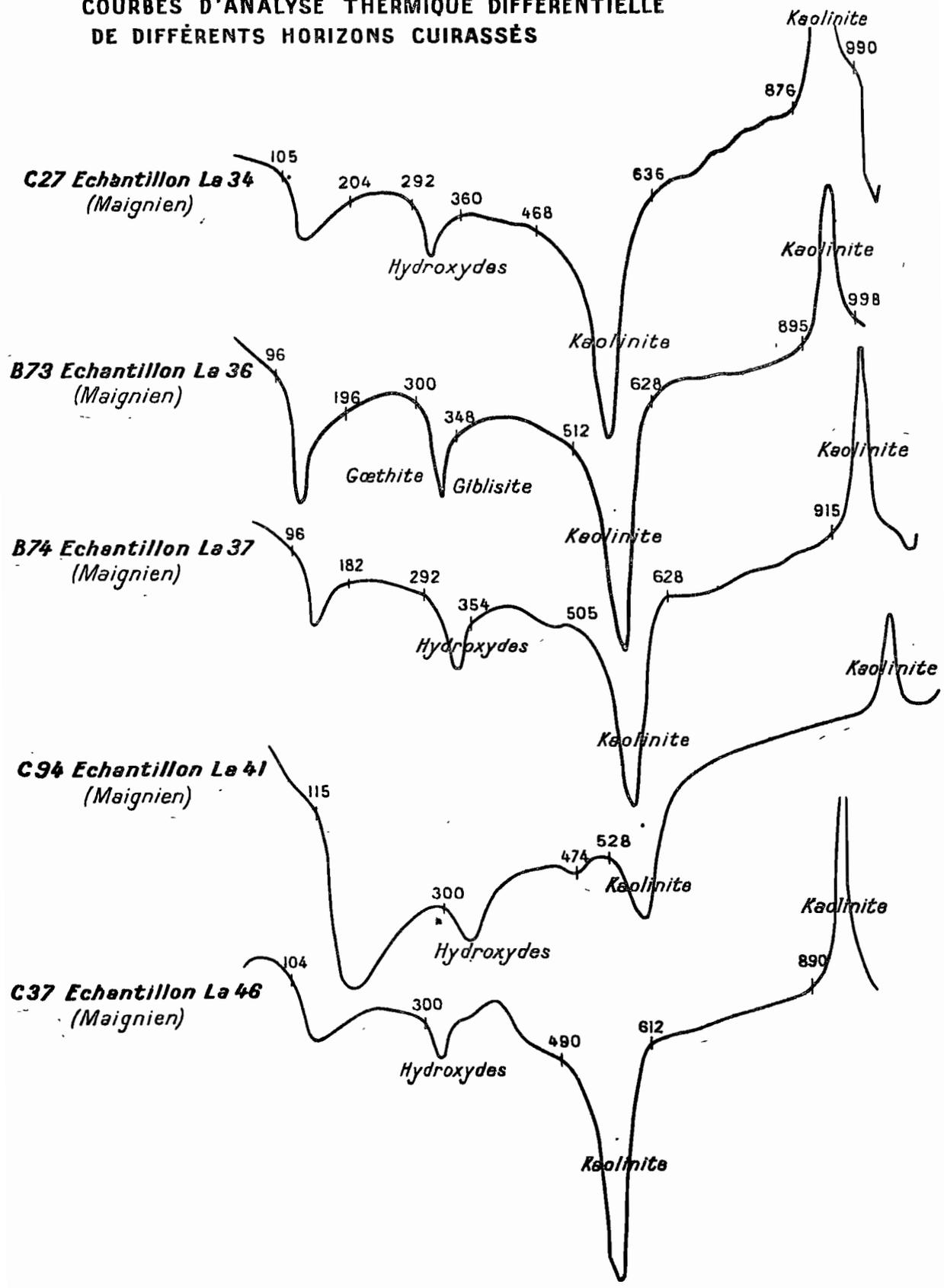
Profil La 3	}	La 34 horizon marquant le début du cuirassement	kaolinite 60% gibbsite environ 15% goethite environ 7%
		La 36 horizon cuirassé à structure alvéolaire légèrement feuilletée	kaolinite 55% gibbsite environ 22% goethite environ 10%
		La 37 horizon cuirassé, nodulaire, peu durci	kaolinite 62% gibbsite environ 15% goethite environ 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 Å
		La 46 cuirasse alvéolaire légèrement feuilletée	kaolinite environ 62% hydroxydes de fer et d'alumine présence éventuelle d'illite

COURBES DE THERMOBALANCE



- F9 Echantillon La 34
 - F4 " " La 36
 - F5 " " La 37
 - + F6 " " La 41
 - - F10 " " La 46
- Maignien

COURBES D'ANALYSE THERMIQUE DIFFÉRENTIELLE
DE DIFFÉRENTS HORIZONS CUIRASSÉS



L'étude des résultats donnés par chaque méthode précise les caractéristiques suivantes:

A. — THERMOBALANCE.

- 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 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°.

C. — RAYONS X.

La 36 — La 36 — La 37.

	<u>Distance</u>	<u>Ecart réticulaire</u>	<u>Argile</u>
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 des résultats confirme la nature 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 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 montre que les minéraux constitutifs se sont formés en milieu acide fortement organique, dessaturé en bases par suite d'un mauvais drainage.

II. CUIRASSEMENT PAR ACTION DE NAPPE PHREATIQUE

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 Guékédou; l'échantillon 210 sur la terrasse supérieure dominant la vallée du Milo à Kankan.

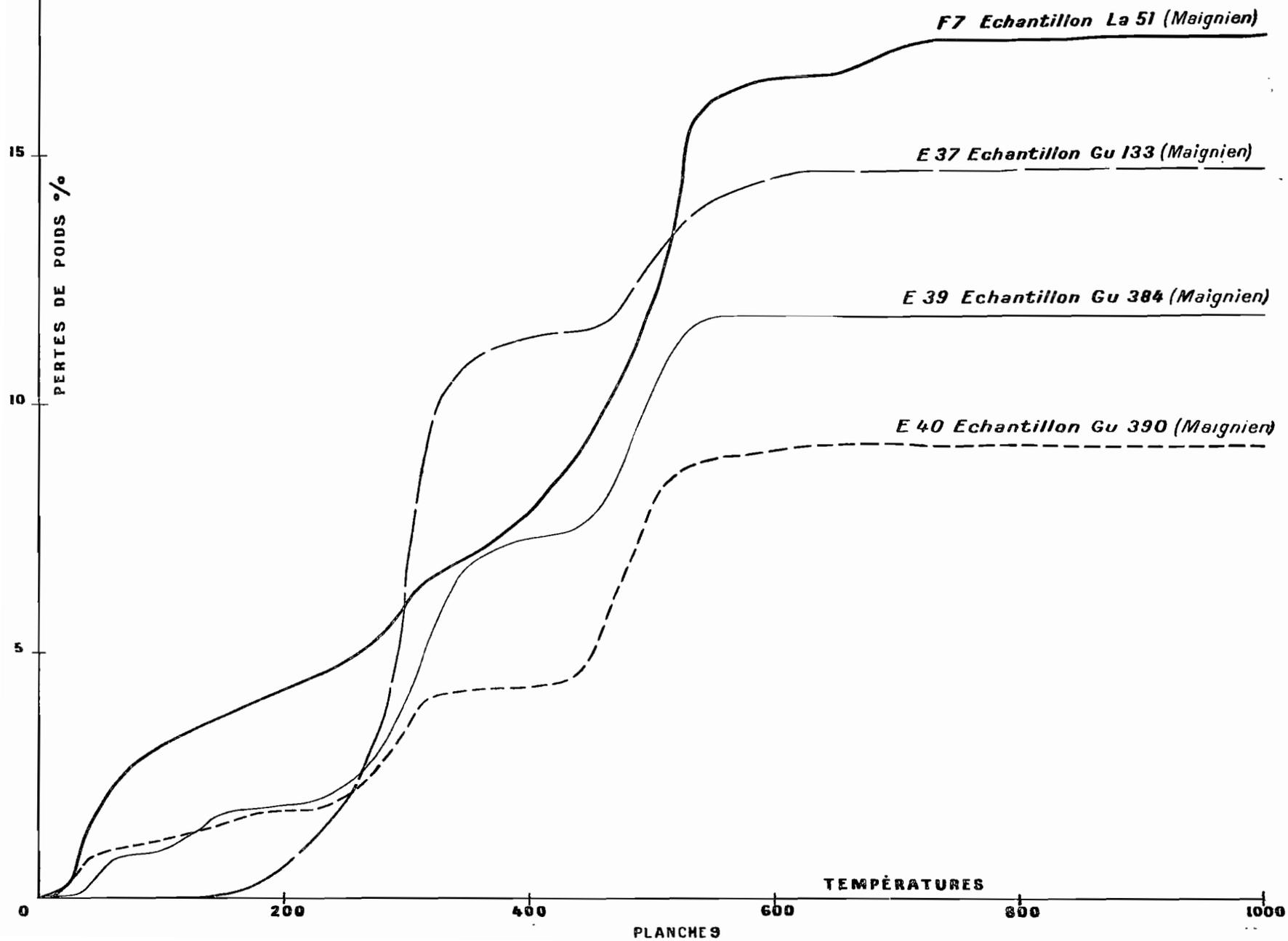
Les résultats globaux des différentes analyses physiques sont les suivants:

TABLEAU XLI

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%
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

Les résultats quantitatifs sont exprimés sous toute réserve.

COURBES DE THERMOBALANCE



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 nettement.

C. — RAYONS X.

La 51:

	<u>Ecart réticulaire</u>	<u>Distance</u>	
	2,46	7,15 Å	kaolinite
	4,00	4,43	»
	4,25 (très faible)	4,15	goethite
	5,00	3,55	kaolinite
Gu 133:	2,48	7,10	»
	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 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.

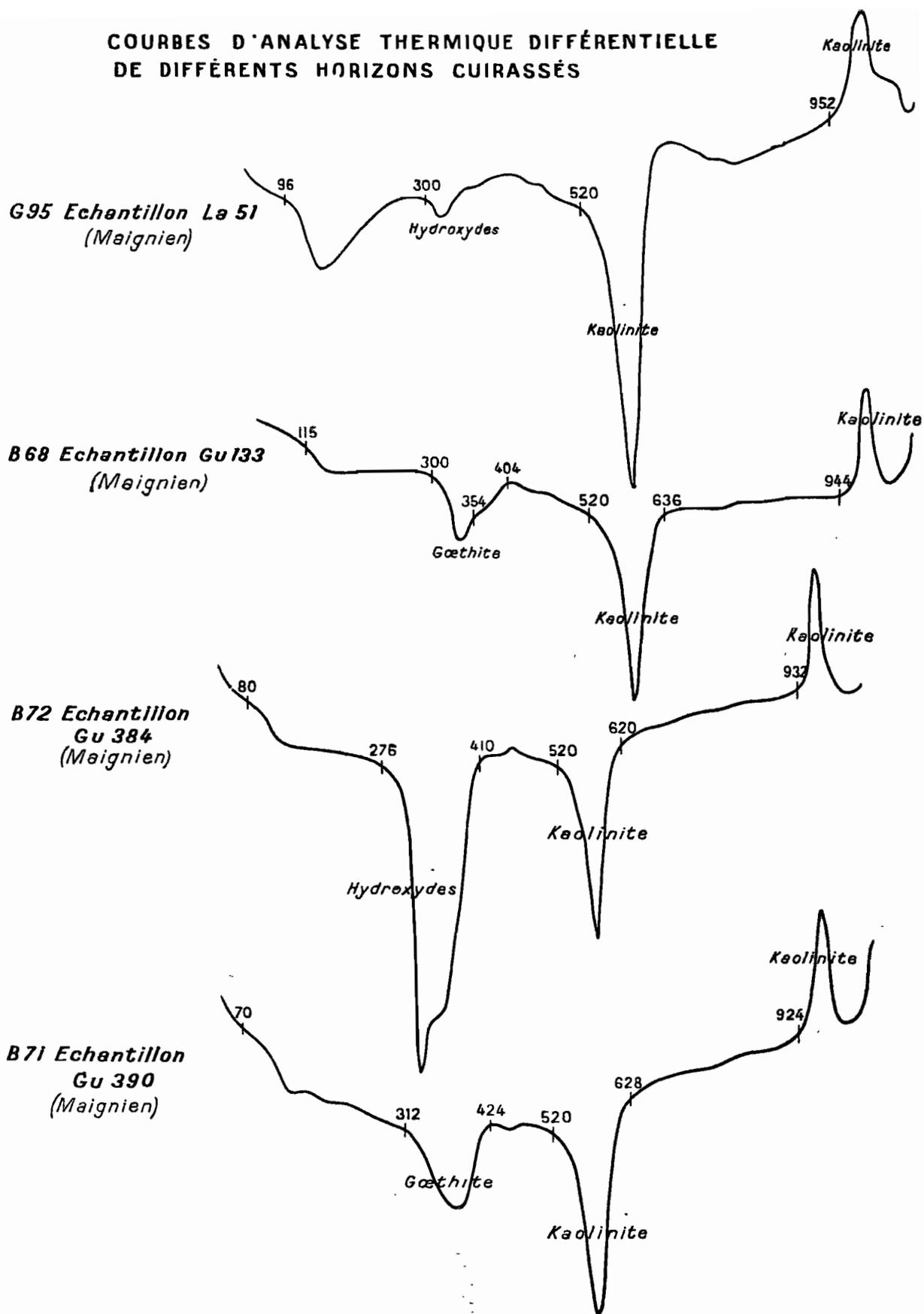
La présence de quartz et de mica indique un milieu non ferrallitique. Les alluvions sont figées par le cuirassement.

III. CUIRASSEMENT EN SOLS FERRALLITIQUES BIEN DRAINES

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.

COURBES D'ANALYSE THERMIQUE DIFFÉRENTIELLE
DE DIFFÉRENTS HORIZONS CUIRASSÉS



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:

TABLEAU XLII.

Gu 124	altération ferrallitique de granite ménalocrate	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. — ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE.

Les données précisent celles de la thermobalance, en particulier, pour le fer (goethite).

C. — RAYONS X.

— Gu 384

<u>Equidistance</u>	<u>Ecart réticulaire</u>	
3,66	4,85	gibbsite
4,25	4,15	goethite
6,65 (faible)	2,68	goethite

— Gu 390	4,25	4,15	goethite
	6,65	2,68	goethite

Les raies de la kaolinite sont également très faibles.

Sur roches acides l'influence de la roche-mère se fait sentir par une individualisation plus poussée du fer que de l'alumine. Pour les roches basiques, c'est le contraire.

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 des cuirasses n'a souvent qu'un lointain rapport avec les formations originelles sous-jacentes. Il y a remaniement superficiel des constituants de l'horizon cuirassé cimentés par le fer, 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, 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 amener l'apparition de nouvelles formes cristallines.

Les phénomènes de cuirassement sont indépendants des types d'altération. Ils découlent du dynamisme des sesquioxydes 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 mouvements des sesquioxydes. Les enrichissements relatifs de matériaux particulièrement stables (alumine, quartz) ne sont que des productions résiduelles liées aux processus d'altération ou de dégradation.

TROISIEME PARTIE

INTERPRETATIONS DE PHENOMENES DE CUIRASSEMENT

CHAPITRE IX.

PRESENTATION D'UN ESSAI D'INTERPRETATION

I. CUIRASSEMENT ET MIGRATION DIFFERENTIELLE DES MATERIAUX 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 :

- 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 en 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 Guinée Française 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, qui dépendent de la circulation des solutions du sol, se produisent en n'importe quel horizon. 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 forme 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 et 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 sont enrichies 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 sesquioxydes.**
- 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 sesquioxydes (fer et alumine) pour en provoquer l'induration. Ce résultat nécessite que les sesquioxydes 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 ferrugineux), 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. — QUANTITES DE SESQUIOXYDES MOBILISES.

Les teneurs en sesquioxydes qui 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. — PROPRIETES 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 sur 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 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 des cuirasses fossiles. Ce dernier facteur, en particulier, conditionne l'exceptionnelle extension du cuirassement en Guinée Française.

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.

Milieus favorables:

Ces milieux sont 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 RECEPTION.

Ces niveaux sont associés :

- à la proximité d'une source de sesquioxides;
- aux propriétés physico-chimiques et biologiques qui provoquent l'immobilisation. Ce sont principalement :

3. - 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 nets dans les alluvions hétérogènes. Les niveaux grossiers sont cimentés en grès, conglomérats, poudingues à ciments ferrugineux. Un très bel exemple est fourni par la coupe des alluvions de la Gambie observée en bordure de la route Kédougou-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 et 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 Labé qui forment des auréoles autour des ravins d'érosion, découle du même phénomène.

L'augmentation du drainage en bordure des décrochements de relief explique l'énorme épaisseur des cuirasses fossiles qui dominent en corniches de plus de 10 mètres les dépressions collectant 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 cuirasses qui s'implantent actuellement en bordure des axes de drainage.

3. - 2. — MANQUE DE MATERIAU ORGANIQUE.

Le manque de matériau organique diminue considérablement l'activité microbienne, et, corrélativement, les teneurs en CO₂ dans l'atmosphère du sol. Il en résulte une plus grande oxygénation, et l'immobilisation des sesquioxides se trouve facilitée. Les complexants organiques du fer et de l'alumine disparaissent en libérant les sesquioxides 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. - 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 (FRIPAT, 1952). Ces phénomènes contribuent à la formation de pseudo-sables. Il y a 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).

3. - 4. — DESSICATION.

Qu'elle soit liée à une accélération du drainage, à des processus d'évapotranspiration, ou plus simplement à des facteurs atmosphériques, la dessication des sols favorise leur cuirassement 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 sesquioxydes; 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 sesquioxydes. Le cuirassement est très réduit.

La concentration des racines des végétaux en des niveaux définis, y provoque l'appel de sesquioxydes, 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 - Guinée Forestière).

3. - 5. — MILIEU DEJA CUIRASSE.

Les milieux déjà cuirassés présentent des conditions extrêmement favorables à l'immobilisation des sesquioxydes: aération, manque de matériau organique, surfaces actives d'hydroxydes, etc... 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 sesquioxydes du sol. Il amorce une réaction en chaîne.

La superposition des phénomènes de cuirassement actuels sur d'anciennes cuirasses est un aspect 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. ROLE DES SESQUIOXYDES IMMOBILISES.

Les sesquioxydes 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 matériaux primaires tels que les sables, les graviers, les cailloux; ou des matériaux secondaires comme des concrétions, des gravillons, des blocs de cuirasses. Il peut arriver qu'un sol primitivement constitué de particules fines se cimente à la suite du concrétionnement d'un de ses horizons. C'est le cas des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions qui se cuirassent en bordure des plateaux (Est Sénégal).

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 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 (Télimélé). 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 caverneuse, où se devine le litage originel.

c) *Concrétionnement*. — Le concrétionnement se produit par précipitation, concentration ou dépôts de films de sesquioxydes autour de noyaux constitués de corps excessivement 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 sesquioxydes 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 à des formes d'accumulation absolue qui sont 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 sesquioxydes de fer que l'on observe sur les plus hauts bovés (Dalaba). Souvent des phénomènes de tassements et de dissolutions secondaires ont partiellement effacé les traces du matériau originel. Dominant les Timbis, les cuirasses qui reposent sur les grès montrent encore nettement la structure des schistes qui leur ont donné naissance.

2. FACTEURS DE LA MORPOLOGIE DES HORIZONS CUIRASSES.

La morphologie des horizons cuirassés dépend :

- du mode de formation;
- des propriétés physico-chimiques du milieu de formation;
- de la quantité de sesquioxydes accumulés.

a) *Mode de formation:*

Accumulation relative. — La forme la plus courante de l'accumulation relative est la structure scoriacée. Le squelette est bauxitique, de couleur claire (blanc à rosé), et les cavités sont partiellement remplies de limon rouge avec imprégnations ferrugineuses secondaires. L'aspect morphologique est semblable, à la couleur près, à celui d'une meulière.

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 dans la masse. Les bauxites formées à partir de schistes sériciteux montrent souvent le jeu des phyllites à la suite de mouvements de masse (Friguiagbé).

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 sesquioxydes 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 se réalise les types suivants:

- cimentation plus ou moins complète d'un matériau meuble;
- imprégnations avec formation de cuirasses du type alvéolaire («cuirasses de nappe»);
- cuirasses feuilletées dans le cas d'apports importants de sesquioxydes de fer par lessivage oblique.

En sols mieux saturés, et surtout riches en cations alcalino-terreux, les oxydes de fer et de manganèse tendent 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 en alcalino-terreux suffisante pour provoquer la précipitation. Ces processus s'observent dans les sols à micaschistes en Guinée Forestière (route Boola-N'Zérékoré).

Texture. — En milieu argileux et colmaté, prédominent les formes arrondies. En milieu meuble, à tendance sableuse ou graveleuse, se réalisent des 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 faciès sont concentrées (cuirassement dans les plaines alluviales de Haute-Guinée).

III. INFLUENCE DES FACTEURS DU MILIEU SUR LE CUIRASSEMENT DES SOLS

A. — FACTEURS DU MILIEU ET EVOLUTION DU CUIRASSEMENT.

1. CLIMAT.

En Guinée Française, 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 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-Guinée.)

Le rôle du niveau de base peut être rempli par un seuil généralement rocheux (MAIGNIEN, 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. VEGETATION.

Ce facteur influe sur 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 peuplements graminéens la quantité de fer mobilisée reste importante jusqu'à 40 à 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 des relations entre les peuplements végétaux et le cuirassement des sols qui les supportent. Sous forêt hygrophile, les phénomènes de cuirassement sont rares. Le concrétionnement apparaît déjà fortement sous forêt secondarisée. Sous végétation de savane, le cuirassement est prépondérant.

Inversement, la présence de niveaux indurés à plus ou moins grande profondeur dans les sols influence la répartition de la végétation. Il se produit une sélection des plantes au profit des espèces rustiques pyrophiles qui supportent des conditions d'aridité comme d'extrême humidité (Cypéracées, *Loudetia arundinacea*, CHEVALIER [1949], SCHNELL [1949]). Sous climat soudano-guinéen, les peuplements de bambous (*Oxythenthera 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 sur la multiplication de tels ou tels peuplements et surtout sur leur aspect physionomique (répartition en bosquets, tassement de la strate arborée).

4. MATERIAU ORIGINEL.

Les relations entre roches fraîches sous-jacentes et horizons indurés sont peu nettes et prêtent à confusion.

En Guinée Française, les cuirasses bauxitiques s'observent aussi bien sur grès phylliteux, schistes à sérécite 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 sur l'origine de ces niveaux. Le problème se limite à l'étude des relations entre les roches fraîches et les possibilités d'individualisation des hydroxydes. Toute présence en altitude de formations riches en sesquioxides (roches en voie d'altération, cuirasses fossiles, sols ferrallitiques ou ferrugineux) offre 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 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 s'accumulent et s'indurent.

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'aluminium individualisé.

2. TOPOGRAPHIE.

C'est un des facteurs qui influe 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 et reste le plus souvent en place.

Les cuirasses liées aux mouvements obliques dans les sols sont essentiellement ferrugineuses. Elles sont riches en matériaux texturaux préexistants, parfois alumineux, et en produits clastiques (quartz surtout).

Les cuirasses situées aux cotes 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 en manganèse. Dans le gisement de bauxite du Dounia (Kindia), les pentes fortement lessivées sont pauvres en fer, contrairement aux replats qui se trouvent bovalisés.

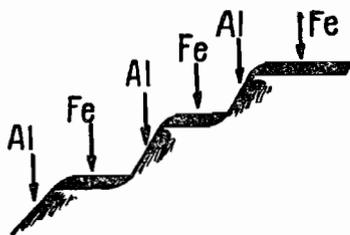


Fig.2

3. VEGETATION.

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 diffé-

rents oxydes, principalement de fer (BETREMIEUX, 1951). Elle maintient certaines conditions d'humidité qui influent sur le dynamisme des sols (ferrallitisation, ferruginisation, kaolinisation). Il en découle que les peuplements forestiers favorisent la formation de cuirasses alumineuses et argileuses, et les peuplements graminéens, la formation de cuirasses ferrugineuses.

4. MATERIAU ORIGINEL.

L'influence de la roche sous-jacente sur la composition des cuirasses apparaît surtout bien dans le cas de sols autochtones. (En milieu ferrallitique, l'alumine dérive de minéraux aluminosilicatés.) Mais la nature de la roche n'influe pas sur 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.

a) *drainage*. — Le drainage influe sur le dynamisme des sols à horizon cuirassé. Il règle le type d'altération des roches et modifie les variations du potentiel d'oxydo-réduction. L'individualisation et la mobilisation des sesquioxydes se trouvent ainsi 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 de 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, il y a une concentration sur place de plus en plus poussée des produits résiduels. 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 jeunes que les faciès alumineux.

IV. SUR LE PROFIL A HORIZON CUIRASSÉ

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 sesquioxydes 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 sesquioxydes 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 suivants, 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 moins étudiées par suite du manque de coupes naturelles et du peu de voies de pénétration. Le climat plus sec semblant y abolir tout processus de ferrallitisation, on a 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, le passage paraît généralement continu. En sols ferrugineux tropicaux moins épais, les horizons meubles superficiels semblent 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 sesquioxides 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 sesquioxides 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. Le fait est particulièrement net sur les grès siliceux (Fouta-Djallon - Soudan) où la cuirasse est posée directement sur ces formations. Il est impropre de dénommer ces cuirasses «alluviales» puisque l'immobilisation des sesquioxides et l'induration se produisent en place. Seul le matériau est 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, possèdent 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 Guinée Française, 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 sesquioxides s'effectue en n'importe quel horizon, dans n'importe quel matériau, fonction du type de sol. Dans ce sens la présence d'un horizon cuirassés ne peut servir de critère de classification à un échelon élevé.

V. ESSAI DE CLASSIFICATION DES SOLS A HORIZONS CUIRASSÉS

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. Sesquioxydes accumulés sous forme solide.

14. Gravillons, cuirasses gravillonnaires.

6. — SOLS COLLUVIAUX.

6.3.2. Sesquioxydes accumulés sous forme solide

15. cuirasses colluviales, cimentées lorsque la pente devient inférieure à 8%.

En résumé, seuls les sols ferrallitiques donnent des cuirasses relatives qui sont fortement alumineuses. Toutes les autres sont ou ferrugineuses, ou parfois, manganifères. Cependant quelques cas de cuirasses alumineuses pisolithiques, donc absolues, ont été observés en Guinée Française (Kindia, Timbi, Tougué).

CHAPITRE X

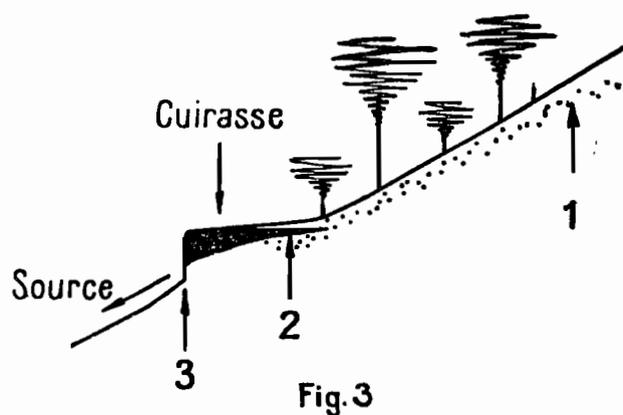
APPLICATIONS = LES CHAINES DE SOLS CUIRASSES

I. DESCRIPTION DE PROFILS CUIRASSES A TRAVERS LES CHAINES DE SOLS

I a. MILIEU FERRALLITIQUE

A. — REGION 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 à 20%, et se termine par un replat. La végétation est une forêt hygrophile secondaire à sous-bois arbustif dense (fig. 3).



— Profil n° 1.

- 0 — 18 cm: Horizon gris-brun; bien humifère; texture argilo-graveleuse; nombreux gravillons alu-
mino-ferrugineux brun-rouge, bien indurés; débris de quartz.
- 18 — 55 cm: Horizon ocre-rouge; texture argilo-sableuse, structure à tendance nuciforme peu déve-
loppée; taches 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 pro-
fondeur, 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, con-
tenant beaucoup de quartz; dans une arène argilo-sableuse très blanche, traînées fer-
rugineuses rouilles formant un vague squelette; les matériaux meubles sont déblayés
amenant l'horizon cuirassé en porte à faux.
- 220 cm: Suintement de source.

La distance totale entre les trois profils est de 200 mètres.

B. — FELLO-BANTAN - HAUTS-PLATEAUX DU FOUTA-DJALLON.

Le territoire forme une cuvette à pentes peu marquées. Au centre, plusieurs ravines d'éro-
sion convergent pour amorcer le réseau hydrographique. La végétation est essentiellement her-
bacée. Les deux chaînes de sols décrites suivent des directions perpendiculaires E-O et N-S qui
représentent des lignes de plus grande pente.

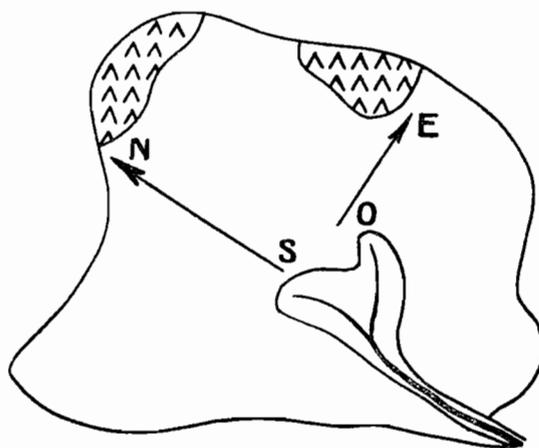
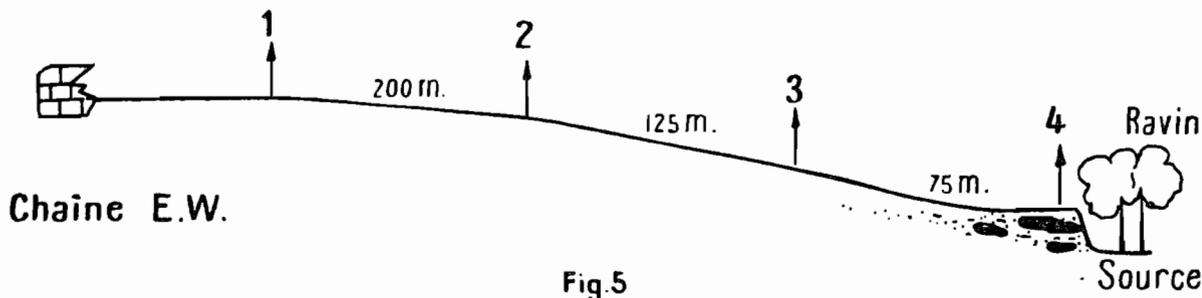


Fig. 4

— Chaîne Est-Ouest (fig. 5).



— Profil n° 1, observé près du sommet de la colline, proche des affleurements de grès. Végétation herbacée rase, pente inférieure à 1%. Légère érosion en nappe en surface.

- 0 — 3 cm: Horizon de couleur beige faiblement grisâtre, décapé 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 A.
- 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 limono-sableuse; structure à tendance grumeleuse, faiblement nuciforme, peu développée, cohésion faible; quelques taches et marbrures de couleur plus sombre indiquant une hydromorphie partielle.
- 55 — 85 cm: Horizon de couleur beige clair; texture limono-argileuse; structure nuciforme, un peu anguleuse, assez bien structuré, cohésion moyenne, nombreux pores surtout non tubulaires.
- 85 — 100 cm: Horizon identique, mais avec nombreuses taches 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, ϕ inférieur à 1 cm.

puis: Grès.

— Dans l'horizon de surface s'observent des apports colluviaux fins. Légèrement en amont du profil étudié, se forment des petites rigoles, et les matériaux arrachés viennent se déposer un peu plus bas. A la partie inférieure du profil, les grès forment un niveau imperméable et 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; limono-sableux (apport par érosion); structure à tendance particulière; horizon légèrement durci avec érosion en nappe en surface; cohésion faible; nombreux pores.

17 — 55 cm: Horizon beige assez foncé; texture limono-argileuse; structure 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 remarque un apport important de fer sur une grande épaisseur qui provoque un début de carapace.

— *Profil n° 4*, à 75 m du précédent, toujours en contre-bas. Début d'un ravin d'érosion, avec une 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'une cuirasse 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'accumulent aux niveaux inférieurs, là où l'enrichissement en argile par lessivage oblique provoque l'apparition de phénomènes d'hydromorphie. Il n'y a pas formation 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 — fig. 6

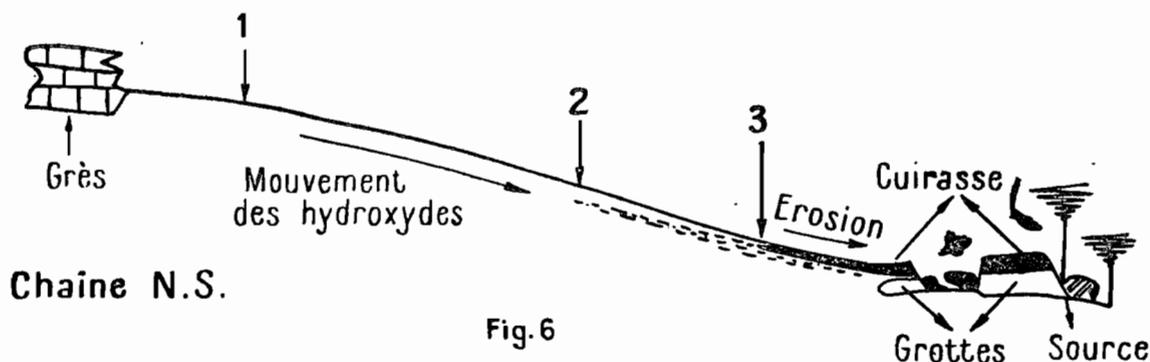


Fig. 6

— Le profil n° 1 est peu épais. On n'observe que 20 cm de sol sablo-limoneux, à structure particulière très dégradée par l'érosion, au-dessus des grès plus ou moins imprégnés de fer.

Entre les profils n° 1 et n° 2, se développe 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 où l'eau commence à mal drainer. Le cuirassement devient important. La pente est de 2 à 3%. La végétation herbacée est 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 structuré, peu stable, se détruisant facilement, cohésion moyenne.
- 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'ongle, 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 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 base d'une rigole d'érosion.

En coupe, la cuirasse a plus de 2 mètres d'épaisseur. La partie supérieure (sur 80 cm), est compacte, durcie, à structure pisolithique. La partie inférieure a une structure vacuolaire et ne dépasse pas en dureté le stade carapace. En bordure du ravin central, la partie supérieure de la cuirasse a une structure feuilletée, caractéristique d'un apport par lessivage oblique.

L'action de l'érosion hydrique est 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 s'effondrent. Les niveaux fortement indurés restent en surplomb. Les produits démantelés roulent au fond des ravins.

Dans le cas étudié, la formation des cuirasses nécessite un lessivage le long de la pente à travers plus de 700 m de sol. L'accumulation joue sur l'épaisseur de l'horizon enrichi qui dépasse deux mètres.

On peut schématiser la mise en place de la cuirasse et la formation du modelé par les schémas suivants :

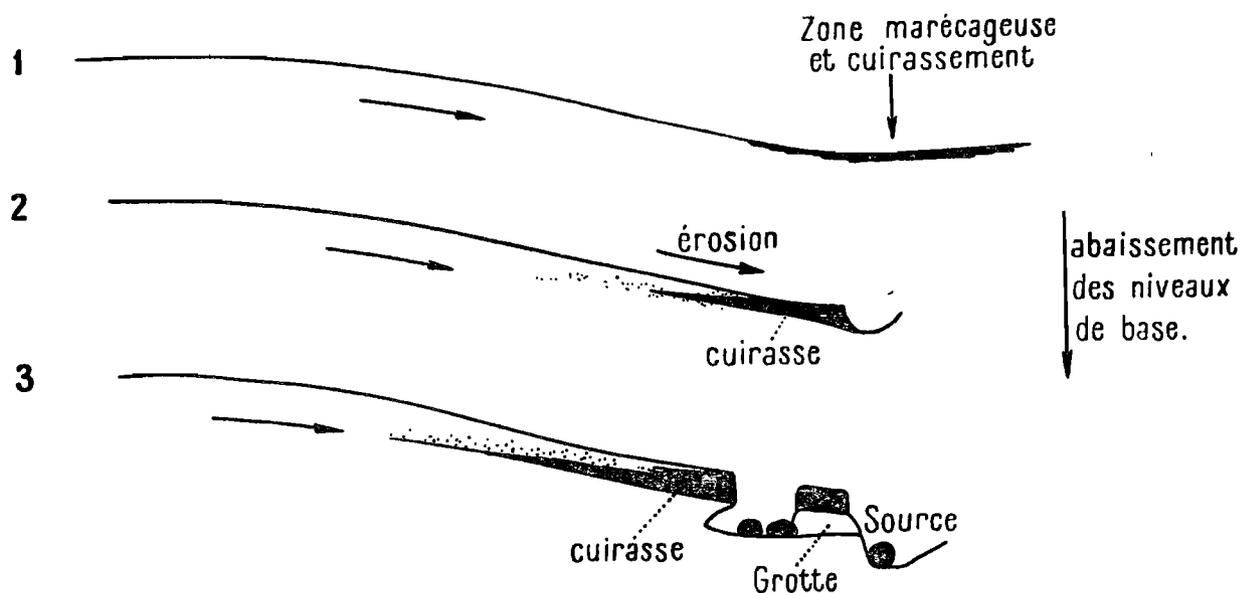


Fig. 7

C. — *LABE*, PLAINE S'ÉTENDANT A L'OUEST DE *LABE*, APRES LE TERRAIN D'AVIATION, A DROITE DE LA ROUTE DU *SENEGAL*, fig. 8

La chaîne de sol étudiée se développe entre le foulasso Kouradambou, perché sur une colline où subsistent quelques *Parinari* de la forêt montagnarde primitive, 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.

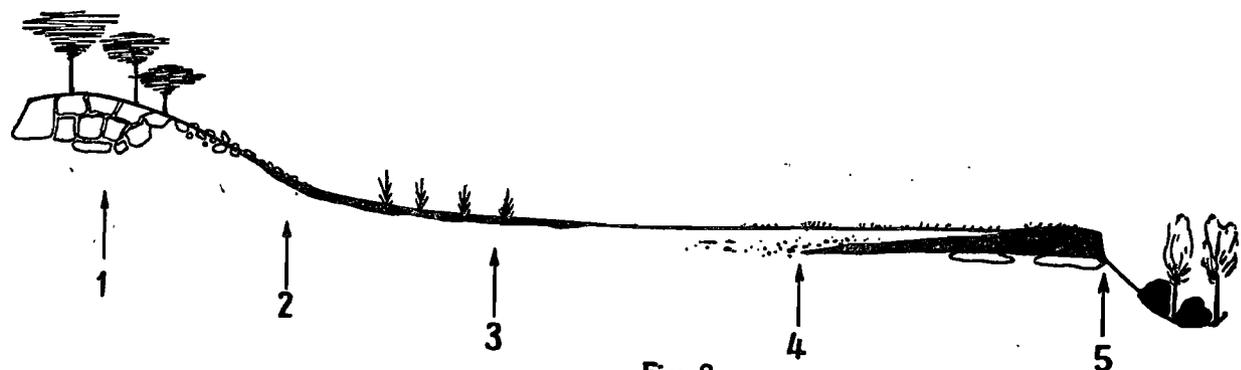


Fig. 8

— Profil n° 1.

Cuirasse fossile, démantelée, reprise par la végétation. Nombreux blocs de cuirasse, brun-rouge, 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. 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-rouge à rouge-violet; très indurés; partiellement dissouts et isolés dans la matière organique. Les racines pénètrent la masse cuirassée par les canalicules; nombreuses taches et traînées ocre-brun le long des racines; cet horizon organique s'arrache comme un tapis ce qui le rapproche d'un «ranker».

plus de 5 cm: Cuirasse brun foncé; 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 particulière 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 blanchiment 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 des canalicules remplis d'argile grise (B 90).

Plus bas, le sol devient 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 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, amenant la formation d'un niveau cuirassé déjà durci, mais encore mince, et situé plus près de la surface (65 cm environ). Au fur et à mesure que l'on se rapproche du ravin, l'horizon en voie de cuirassement devient plus épais. La cimentation envahit tout l'horizon pour donner finalement une cuirasse épaisse de 50 à 150 cm.

L'érosion hydrique, très active en bordure du ravin, arrache les horizons meubles de surface et fait affleurer la cuirasse.

— Profil n° 5 — cf. Profil I. J.

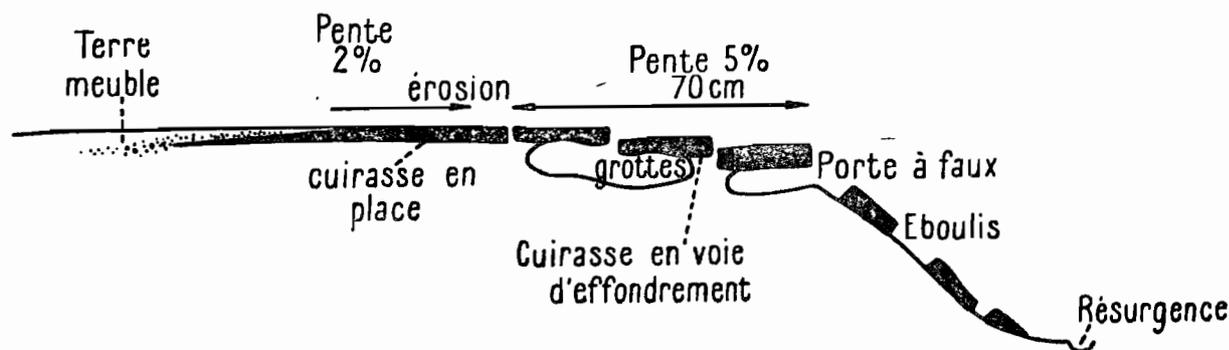


Fig. 9

Le périmètre de mise à l'affleurement de la cuirasse demande à être étudié en détail (fig. 9). 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. À moins de 50 mètres de la corniche qui domine le ravin, la pente s'accroît jusqu'à 5% et la cuirasse se morcelle en blocs polygonaux dont le diamètre atteint 100 à 200 cm. Ces blocs jouent les uns par rapport aux autres. Il se forme des failles et des décrochements. Certains rejets atteignent 10 cm à 20 cm de largeur. On constate fréquemment que ces diaclases communiquent avec des grottes sous-jacentes aux cuirasses.

En saison des pluies, les eaux de ruissellement s'engouffrent dans ces fentes. Elles circulent latéralement à travers les horizons inférieurs plus meubles, et il se forme des cours d'eau souterrains, invisibles de la surface du sol. La circulation souterraine des eaux déblaie sous la cuirasse, les horizons moins indurés. Il se forme un réseau de grottes qui communiquent entre elles par des couloirs souterrains et des siphons, parfois sur plusieurs centaines de mètres. Quand le porte-à-faux est 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 Labé 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 leur 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 subit des augmentations brutales (fig. 10).

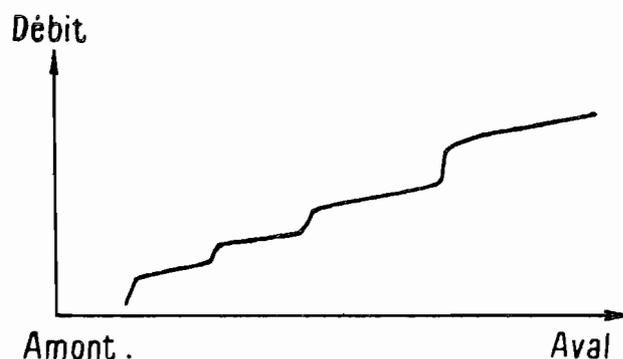


Fig. 10

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 Sénégal, la cuirasse moins évoluée donne un modelé plus mou. Les ravins où l'érosion régressive est intense, sont plus larges et moins profonds (fig. 11).

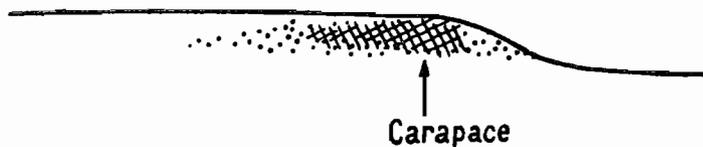


Fig. 11

On constate qu'il existe ainsi des relations causales 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 Sénégal—Guinée, à 10 km au sud du pont sur la Gambie, à travers des sols ferrugineux lessivés à concrétions ferrugineuses (fig. 12).

Le modelé est extrêmement plat, et la pente excède rarement 1% vers l'Est. La végétation est 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.

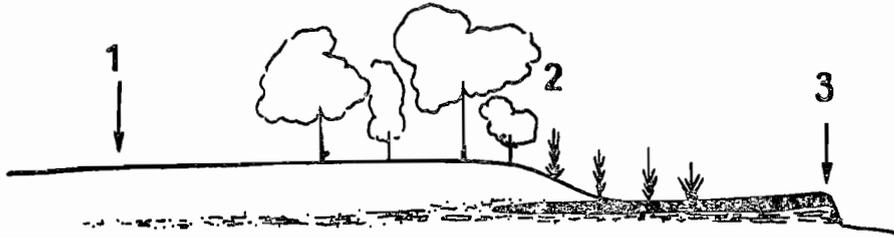


Fig. 12

— 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 riche à sa base en concrétions ferrugineuses durcies. 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 racinaire 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 indurée, les concrétions sont beaucoup plus rares.
- 110 — 200 cm: Continental terminal imprégné de solutions ferrugineuses qui lui donnent l'aspect d'une cuirasse assez lâche. L'induration diminue avec la profondeur.

— Près de la mare, la coupe de la cuirasse n° 3 qui affleure, montre une structure feuilletée. Cette cuirasse très durcie est essentiellement ferrugineuse. En surface, sur une faible épaisseur (10 à 20 cm), elle est constituée par l'agglomérat de concrétions 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, 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 définissent la bowalisation.

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 sesquioxydes de fer. Ces cuirasses qui correspondent approximativement aux zones climatiques soudano-guinéennes sont courantes et s'imposent dans des matériaux variés.

I. c — MILIEU SUBARIDE.

— Forage de Yaré-Lao (fig. 13).

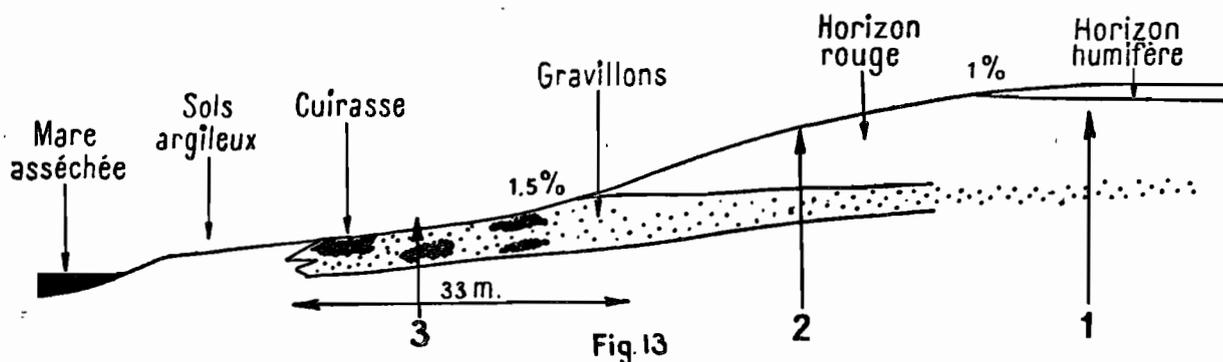
Le modelé est très aplati, et les pentes dépassent rarement 2-3%.

Le climat est du type sahélo-soudanien.

La végétation est une pseudo-steppe à bois armés.

Les sols sont des sols brun-rouge 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.

PAYSAGES CUIRASSES.

Bowalisation dans la région de Sériba.
Chaque clairière
marque l'emplacement d'une cuirasse.



Sériba. - Surface tabulaire, ancienne cuirasse.



Mamou. - Surface monoclinale cuirassée.



Korogho. - Bas plateau cuirassé.



- 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 dû être, dans le passé, beaucoup plus fortes, car, en certains points, on 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'empreinte 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-rouge, 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-rouge se lessive le long des faibles pentes, et vient s'accumuler en bordure des bas-fonds dans les zones à hydromorphie temporaire où il se concrétionne.

De tels exemples sont peu fréquents et se rapprochent des cuirasses hydromorphes.

Id. MILIEUX HYDROMORPHES

Chaîne de sols étudiée près de Kankan, en bordure de la plaine qui borde le Milo, affluent du Niger (fig. 14).

Le climat est soudano-guinéen.

La végétation fortement dégradée, passe de la savane arbustive à la savane parc à Kariké et aux peuplements herbacés partiellement inondables.

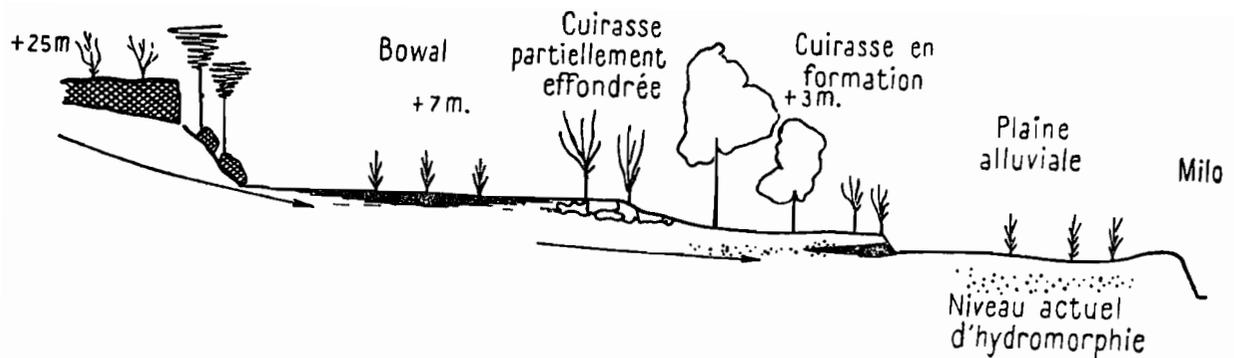


Fig. 14.

La vallée où s'étagent trois niveaux de terrasses est dominée:

1. Par un plateau, ancien niveau d'érosion, fortement cuirassé sur plus de 5 mètres d'épaisseur. Cette cuirasse est compacte et de texture scoriacée.
2. La terrasse + 7 m est complètement envahie par le cuirassement. Elle est 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 intenses d'individualisation du fer immédiatement au-dessous de ces horizons, avec accumulation et début de concrétionnement.

II. DONNEES ANALYTIQUES

Si l'on se rapporte aux résultats analytiques des profils précédemment décrits (cf. chap. 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 évoluées, et pauvres en hydroxydes, l'intensité du cuirassement est fréquemment sans commune mesure avec l'épaisseur des profils, et ne peut s'expliquer par les seuls mouvements verticaux. C'est le cas des cuirasses sur grès.

TABLEAU XLIII.

Teneurs en Fe_2O_3 des différents horizons du profil La 4 (IV. A):

N°	41	42	43	44	45	46	47	48
Profondeur	0				130 cm			220 cm
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.

Les variations de la composition des cuirasses dans le paysage portent plus sur les quantités de constituants mis en jeu que sur leur constitution minéralogique. En reprenant les exemples de Félo-Bantan et du Labé, on remarque que les cuirasses 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%. 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 dm^2 de surface 1 kg de Fe_2O_3 pour constituer un horizon induré à son début de cuirassement, et 14 kg pour les parties les plus cuirassées. Il y a un apport 14 fois supérieur.

Un aspect particulier du problème de cuirassement par apports obliques est de préciser l'origine des sesquioxydes. Dans le cas de Fello-Bantan, la formation d'horizons indurés ne devient appréciable qu'après un lessivage à travers 400 m de sols. Sur le Labé, 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 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 le rouge foncé, les bruns et brun-noir. Elles résultent principalement d'un enrichissement secondaire en fer, parfois en manganèse.

Les cuirasses massives sont 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. Ils les rendent imperméables. Le ruissellement des eaux sauvages décape et polit les 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 les différents sesquioxydes, principalement ferrugineux, qui se trouvent partiellement exportés. Dissolution 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 toute leur épaisseur.

B. — CAUSES DE LA MISE A L'AFFLEUREMENT (FOURNIER, 1957).

L'agent de la mise à l'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 sesquioxydes.

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 rapide qui trouve en lui-même sa catalyse. En Guinée, 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 explique la mise à l'affleurement d'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 diminue sa stabilité, et par suite, sa résistance aux agents érosifs.

TABLEAU XLIV.

Ruissellement à SEFA-CASAMANCE.

	Pente	Ruissellement moyen		Dégradation spécifique	
		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 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. Il ne faut donc pas rechercher systématiquement une empreinte humaine. Sous forêt hygrophile, qui protège cependant bien les sols, les phénomènes d'érosion sont également très sensibles. Ils se placent à l'échelle géologique (SCHNELL, 1949).

C. — FORMES DE L'ÉROSION HYDRIQUE (FOURNIER, 1957).

Les formes les plus fréquemment observées en A.O.F., et plus particulièrement en Guinée sont celles de l'érosion en nappe (sheet erosion). Cette forme est insidieuse. Elle ne modifie pas sensiblement le modelé général. Les matériaux les plus fins sont entraînés au 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), apparaît, et elle se poursuit jusqu'à la mise à l'affleurement des horizons indurés. Les rigoles ne sont jamais profondes, 10 à 20 cm au maximum. Leur coupe en travers est en V. Elles prennent naissance lors 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 mouvements tourbillonnaires. Si les horizons non indurés sont suffisamment épais, les rigoles s'approfondissent et atteignent plusieurs mètres de hauteur (Fello-Bantan). Elles sont l'amorce de ravines d'érosion - (gully erosion). Mais ces formes qui président à la mise en place du modelé sont rares lors de la mise à l'affleurement. Les horizons cuirassés limitent ces mécanismes, car ils résistent 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 est 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. Les réactions chimiques qui participent à l'altération des roches provoquent la libération des sesquioxydes qui vont permettre le cuirassement. Celui-ci représente donc une seconde forme de l'évolution du modelé. Il se superpose aux formes qui favorisent la mise en place.

A. — FORMES DU MODELE FAVORABLE AU CUIRASSEMENT DES SOLS.

Le modelé influe sur le cuirassement en orientant 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 tabulaires et monoclinales. Cependant toute forme de modelé dont la pente est inférieure à 8%, est susceptible d'être cuirassée. Dans ce cas, le développement des cuirasses se limite à ces surfaces, comme en pays schisteux (région de Gaoual) par exemple.

1. STRUCTURE TABULAIRE.

Ces modelés sont liés à l'ancienne surface tertiaire, aux formes structurales des grès sub-horizontaux et des sills doléritiques du Fouta-Djallon, à la pénéplaine sur roches éruptives et métamorphiques de Haute-Guinée, 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 cuirassées. Le recul de celles-ci se fait par sapement à la base des formations meubles avec accumulation d'éboulis de piémont. Les vallées se terminent par des escarpements marqués, généralement par une chute d'eau. Des buttes témoins sont laissées en avant du front d'attaque. La hauteur des escarpements est fonction des niveaux de base 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 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 indurée. Les couches dures, ferruginisées en surface, restent en saillie en produisant des formes asymétriques de «Cuesta». Le revers qui représente la surface structurale, est constitué par un glacis de piémont à faible pente. Ce sont ces formes qui se cuirassent le plus intensément. Le front d'attaque de l'érosion est très festonné, et laisse en arrière de nombreuses buttes témoins.

Ces formes se rattachent 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 accidentés sur les pentes inférieures à 8%, des cuirasses suspendues qui sont plus ou moins isolées par érosion des formations meubles environnantes. Il y a inversion de relief et isolement de buttes témoins. Chaque replat est cuirassé. A la Station I.F.A.C. de Dalaba, on observe sept cuirasses s'étageant le long de sept replats sur des 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, cuervas, buttes-témoins, ressauts, etc... Quand la coiffe protectrice disparaît, le modelé propre aux formations sous-jacentes se développe. C'est ainsi qu'en Guinée Forestière, on retrouve sur certains sommets, les restes de l'ancienne pénéplaine cuirassée subhorizontale. Quand la cuirasse a disparu, le modelé de colline des zones forestières tropicales se développe. De même, en Haute-Guinée, 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 provoque des inversions de relief. Mais contrairement à ce qui se passe en pays tempéré, ce sont les roches les plus facilement altérables qui sont amenées en hauteur. La 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 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 cuirassés dominent 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 (fig. 27).

- Il accuse le drainage, et intensifie l'appel des solutions enrichies en sesquioxydes;
- 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 est 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 des zones de drainage maximum.

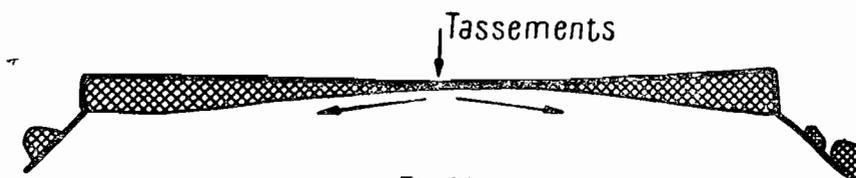


Fig. 15

Plus l'abaissement du niveau de base est important, plus le cuirassement est intense.

2. QUANTITES DE SESQUIOXYDES POUVANT S'ACCUMULER.

Il existe 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 un modelé plus mou, où des ressauts à peine amorcés indiquent l'emplacement du cuirassement (fig. 16).

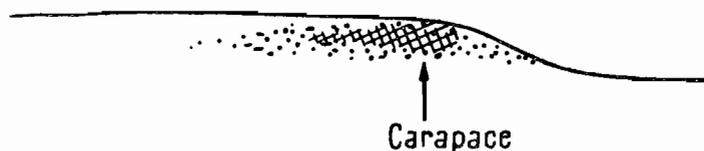


Fig. 16

Le cuirassement ne dépasse pas le stade carapace. Les différences de résistance à l'érosion provoquent une série de décrochements en marches d'escalier atténuées. Au contraire, quand les apports d'hydroxydes sont importants, les ressauts s'accroissent pour donner finalement des corniches qui dominent les vallées (fig. 17).

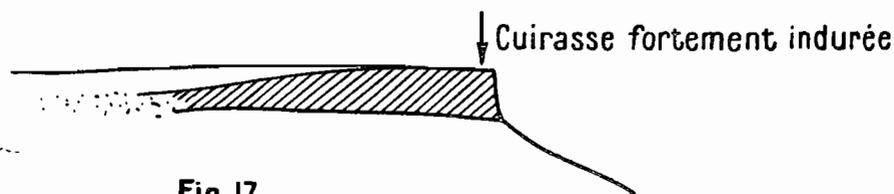


Fig. 17

Ainsi, abaissement du niveau de base et accumulation des sesquioxydes interfèrent-ils pour donner un modelé qui est plus ou moins accentué suivant l'induration du cuirassement final. De très bons exemples s'observent sur le plateau du Labé. 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. Les cuirasses les plus résistantes à l'érosion sont les cuirasses ferrugineuses, et 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 sont repris par les agents pédologiques et disparaissent. L'érosion pénètre les horizons faiblement indurés. Le modelé est moins accusé.

Dans la région de Korogho (Côte-d'Ivoire), on assiste actuellement à la disparition d'anciennes surfaces d'érosion qui n'ont pas été envahies complètement par le cuirassement. On observe, côte à côte, les traces de l'ancienne cuirasse de bordure fortement indurée, formant corniche, et des modelés de colline propres aux régions humides dans les zones intérieures du plateau (fig. 18).



Fig. 18

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 y a une relation nette entre la mise en place du modelé normal pour un climat considéré et la formation des cuirasses. L'étude des différentes formes liée à celle de la mise en place des cuirasses dans un paysage, du type et de l'intensité du 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 A DIEKE A 4 km DE BAMOU (fig. 19).

Sur un bas plateau formé de sols rouges 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 colluviaux sableux.

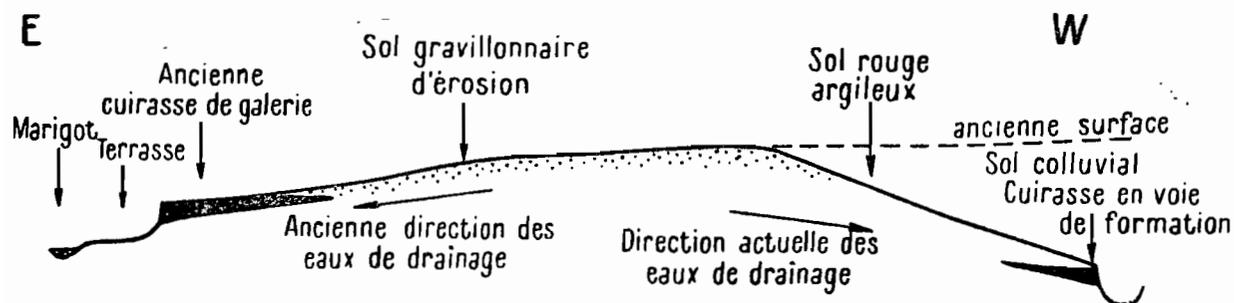


Fig 19

2. En HAUTE-GUINEE, dans la région de KANKAN, on observe la succession suivante (fig. 20):

— Vers la cote 800 m, l'ancienne surface tertiaire montre une cuirasse épaisse souvent de plus de 10 m sur ses bords, enrichie en alumine à la suite du lessivage du fer. L'horizon cuirassé pénètre la zone d'altération.

— Ce plateau domine un glacis de piémont 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, riche en éléments clastiques. Il y a une cimentation de tout le paysage par le fer provenant de la dissolution des cuirasses de l'ancienne surface. L'érosion a fortement travaillé cette forme de relief et laissé une série de buttes témoins.

— En bordure du Niger, on observe trois terrasses (+ 25 m, + 7 m, + 3 m). La plus ancienne est entièrement envahie par le cuirassement. L'érosion l'a amenée en surface en de nombreux points. La terrasse moyenne montre un cuirassement moins intense, en forme de biseau, 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.

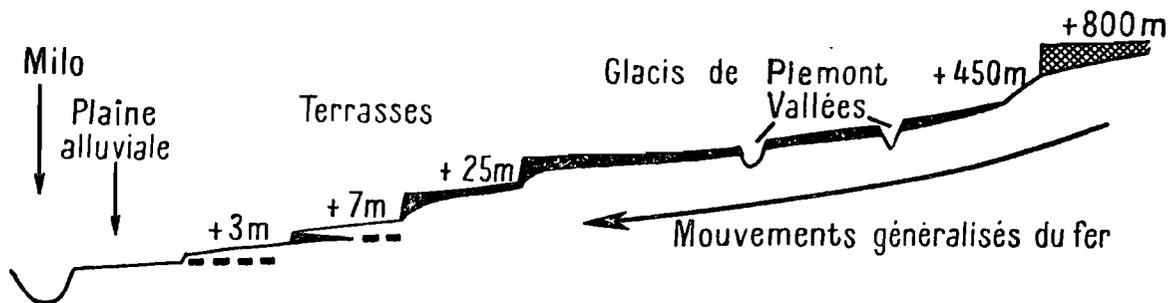


Fig. 20

3. HAUTS-PLATEAUX DU FOUTA-DJALLON (fig. 21).

L'étude d'un profil en long entre le mont Tinkissa et la rivière Téné, 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, en voie de démantèlement. La cuirasse a un faciès «pain d'épice», imprégné de fer. Elle dérive d'un sill doléritique.

— Lui succède une pente qui, en 1.200 m de longueur environ, atteint l'altitude de 1.150 m. On observe une série de 6 replats où les éboulis sont recimentés en cuirasses colluviales suspendues.

— Entre 1.150 et 1.145 m, se développe un bowal qui est une ancienne cuirasse de bas de pente. L'érosion l'a fortement attaquée et a isolé une 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 une idée assez précise de son histoire. Cette plaine est un ancien bassin de réception des produits arrachés au plateau du Mont Tinkissa. 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 les assimiler à des terrasses. A chaque disparition d'un seuil en aval de la Station, correspond une activité accrue de l'érosion, suivie, lorsque l'équilibre est atteint, d'un nouveau remblaiement.

L'étude pédologique des sols confirme cette interprétation :

— à la cote + 21 m, les sols les plus anciens montrent la présence en profondeur d'une ancienne cuirasse de nappe durcie, riche en quartz clastique, ferrugineuse. Les sols sont bien évolués. La cuirasse affleure en bordure de replat par érosion hydrique;

— la terrasse + 13 m possède des sols faiblement lessivés, avec début d'action de nappe en profondeur (taches ocres peu durcies vers 150-200 cm);

— à la cote + 9 m, les sols sont jeunes, indifférenciés et ne possèdent pas d'horizons bien définis.

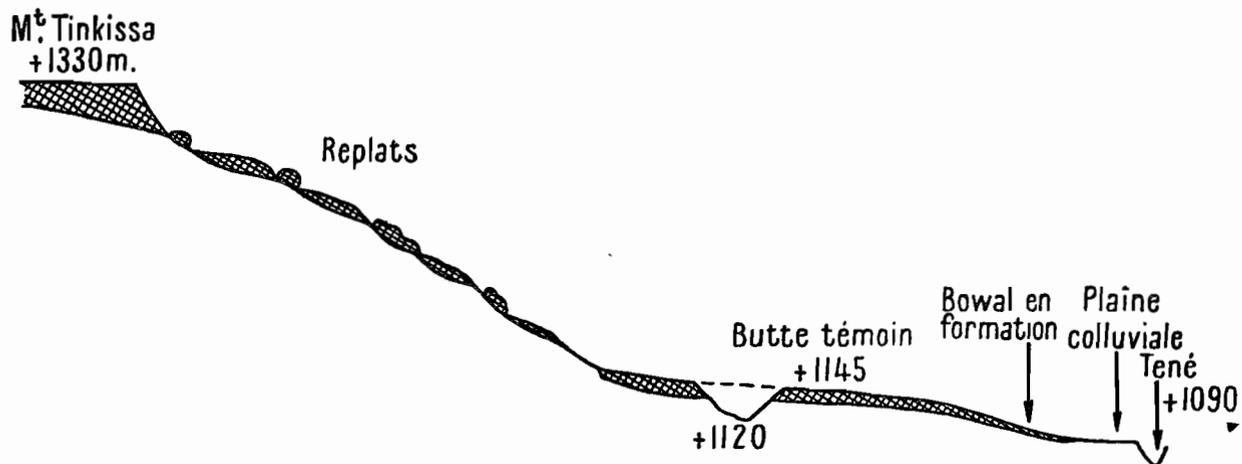
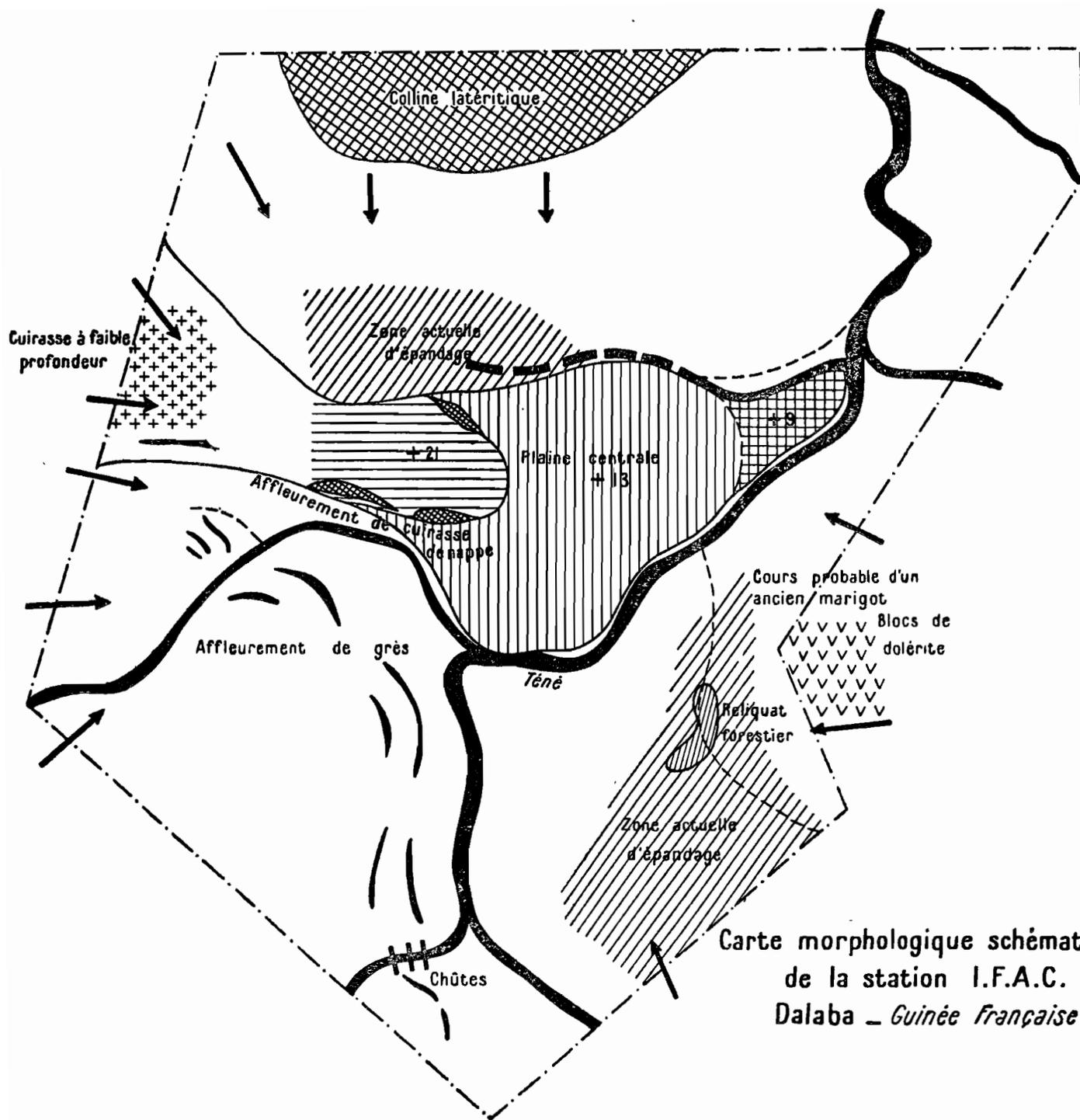


Fig. 21



Carte morphologique schématique
de la station I.F.A.C.
Dalaba - Guinée française

Carte V

CHAPITRE XI.

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 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:

- 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 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 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$;

— de la goethite α FeOOH par oxydation d'une solution de carbonate acide de fer.

Les conditions de l'individualisation influent considérablement sur 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 déshydratation a un effet très important sur l'abaissement du point isoélectrique;

— plus les produits sont bien cristallisés, plus bas est leur point isoélectrique.

TABLEAU XLV.

Points isoélectriques 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 leur comportement futur. 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 cuirasses guinéennes montre la prédominance de goethite et de gibbsite.

B. — ARGILES.

La kaolinite est le minéral argileux le plus fréquent. L'illite est plus rare, et apparaît comme un minéral transitoire.

Partant des idées de CORRENS (1940), les expériences de CAILLÈRE 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 des 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 par 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 sur 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-positive, le fer se fixe 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 (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 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:

TABLEAU XLVI.

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 ₂ O ₃
Percolation	3,25 mg
Contact	1,75 mg
Eau légèrement alcaline	2,73 mg
	0,14 mg

BLOOMFIELD (1954), en faisant percoler des extraits de feuilles à travers des colonnes de terre, a déterminé des actions plus ou moins sélectives des produits obtenus vis-à-vis des différents sesquioxydes. Pour certains extraits, l'alumine est plus mobilisée que le fer. LOSSAINT (1952) arrive à des résultats du même ordre en utilisant des extraits de litières organiques.

Rôle de l'acidité organique:

La décomposition de la matière organique entraîne toujours une acidification du sol qui accroît la solubilité de la silice et des hydroxydes peu solubles (alumine, fer, manganèse). Cette acidité organique amène des variations de pH qui, en sols peu tamponnés, atteignent parfois deux 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 sesquioxydes. Les réactions qui découlent de l'activité des micro-organismes 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 interractions 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*, *Paracolobacterium*.

Les deux tableaux ci-joint montrent les variations de la densité des ferrobactéries à travers quelques profils de sols de Guinée, ainsi que les phénomènes d'oxydation et de réduction du fer dans des dépôts aqueux prélevés sur cuirasses.

TABLEAU XLVIII.

Variation de la densité des ferro-bactéries dans quelques profils de sols.

Lieu de prélèvement	Pro- fondeur	N° échant.	Bactéries minérali- satrices du fer	Bactéries ferro- réduc- trice	Particularités remarquables du profil
<i>Sotuba</i>					
Sol ferrugineux tropical lessivé 0 -	10 cm	SOR 50	80.000	310	
	40 cm	52	1.900	50	
	60 cm	53	2.000	50	début de concrétion.
	80 cm	54	900	10	concrétionnement
<i>Sotuba</i>					
Même type pédologique	0 - 10 cm	SOR 10	160.000	2.800	
	60 cm	12	1.800	10	
	80 cm	13	70	10	début de concrétion.
	100 cm	14	120	20	concrétionnement
<i>Timbi-Madina</i>					
Sol «Hollandé».	0 - 55 cm	Ti 20	11.500	20	
	30 cm	22	1.600	0	
	70 cm	23	100	0	
	170 cm	24	50	0	concrétionnement
<i>Timbi-Madina</i>					
Sol «Dantari» (haute de pente) 0 -	5 cm	Ti 71	108.000	180	
	20 cm	72	1.000	20	
	70 cm	73	70	2	
	110 cm	74	40	2	
	180 cm	75	100	5	concrétionnement
<i>Timbi-Madina</i>					
Sol «Dantari» (bas de pente) 0 -	5 cm	Ti 81	155.000	110	
	40 cm	82	700	13	
	80 cm	83	2.600	12	
	120 cm	84	3.000	0	concrétionnement
<i>Km 35 route Dalaba-Mamou</i>					
Sol rouge ferrallitique cuirassé 0 -	5 cm	G 140	725.000	4.400	
	350 cm	141	500	170	
	450 cm	142	330	20	concrétionnement
	600 cm	143	180	8	argile rouge
	800 cm	144	200	14	zone altération de la dolérite
<i>I.F.A.C.</i>					
Sol beige latéritique sous ananas 0 -	5 cm	G 170	207.000	700	
	50 cm	171	17.000	70	horizon lessivé
	120 cm	172	3.000	40	accumulation du fer

TABLEAU XLVII.

Phénomènes d'individualisation, d'oxydation et de réduction du fer des dépôts aqueux sur cuirasse - août 1955. DOMMERGUES.

(Région de Koundara-Seriba.)

Bactéries.

<u>Echan-</u> <u>tillons</u>	<u>Caractéristiques</u>	<u>Densité au gr des bactéries responsables de</u>			<u>pH</u>
		<u>La précipi-</u> <u>tation du fer</u> <u>organique</u> <u>(3^e jour)</u>	<u>De la réduc-</u> <u>tion Fe+++</u> <u>en Fe++</u> <u>(9^e jour)</u>	<u>De la réduc-</u> <u>tion des</u> <u>sulfates</u> <u>(9^e jour)</u>	
M 1	Dépôt ferrugineux et organique dans eau sur bowal	10.000	12.000	30	5,4
M 2	Matière organique dans eau sur bowal	16.000	500	90	5,8
M A	Dépôt ferrugineux dans eau de suintement de cuirasse (échantillon liquide)	20.000	20	0	5,6
M B	Film irrisé sur eau stagnante de cuirasse (échantillon liquide)	20.000	0	0	5,6
M C	Pellicule ferrugineuse et organique formant film sur cuirasse	20.000	3.200	0	5,6

Algues sur milieu CHU n° 11.

<u>Pro-</u> <u>venance</u>	<u>N°</u>	<u>Densité des algues exprimée:</u>	
		<u>En nombre de colonies</u> <u>par gramme de sol</u>	<u>En pourcentage</u> <u>des grains fertiles</u>
Guinée ...	M 1		100% 48 jours
Guinée ...	M 2		100% 48 jours
Guinée ...	M - A	675	
Guinée ...	M - B	0	
Guinée ...	M - C		100% 25 jours

Si les phénomènes de réduction se trouvent principalement liés à l'activité biologique, 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 sesquioxydes de fer en milieu aqueux (mangrove à palétuviers, en Basse-Guinée). On peut également observer dans les eaux qui circulent sur les «bové» en saisons des pluies, la présence de petites algues libérant des bulles d'oxygène et sur lesquelles se déposent des hydrates de fer. Cette observation est à rapprocher de la présence dans les boues noires de certaines algobactéries qui contribuent à l'oxydation du fer:

- Chlamidobactéries 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 sesquioxydes tant de fer et d'alumine que de manganèse.» Les sesquioxydes 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 ferrifères peuvent subir directement une attaque notable dans les mêmes conditions.

La fermentation des protéines dans le sol provoque la formation dans la solution drainante riche en Fe_2O_3 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'hydroxyde en hydroxyde ferrique. (BETREMIEUX, 1951.)

En résumé:

- l'abaissement de la pression d'oxygène et du pH favorise 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. Elle détermine la durée de migration.

Les phénomènes d'oxydo-réduction n'interviennent pas dans la mobilisation 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 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 le point isoélectrique des principaux sesquioxydes formés dépend, dans une large mesure, des conditions de formation. Les forces attractives des surfaces argileuses dépendent 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, tendent 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 coordination par l'intermédiaire de l'oxyde. La courbe reliant la surface spécifique à ces combinaisons passe par un maximum vers 12% de Fe_2O_3 . 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 (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 forme des concrétions.

Ces conclusions confirment le point de vue signalé ci-dessus, à savoir: que l'intensité de fixation des hydroxydes sur les argiles dépend 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 iso-électrique des hydroxydes formés est 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 migre en liaison avec la kaolinite.

D. — MOBILISATION DE LA KAOLINITE.

La kaolinite migre 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 joue également 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 4, paragraphe 2).

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 limités. Ils sont principalement le fait des phénomènes d'évapo-transpiration.

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;

— 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, 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 semblent 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 l'importance du réseau hydrographique souterrain. Les processus d'imprégnations latérales sont liés aux fluctuations du niveau 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 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 Ninguélandé donnent les teneurs moyennes suivantes:

- eau courante 70 mg/l de Fe_2O_3
- dépôts ferrugineux sur algues 4,4 g de Fe_2O_3

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.

TABLEAU II.

Analyse mécanique de quelques sols typiques en % de terre séchée à 105°.

	Terre fine	Sables grossiers	Sables fins	·Limon	Argile	Matière organique
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	100	3,1	14,4	30,9	47,4	0,8
La 45 éluvions	92,0	6,7	17,0	36,9	35,1	0,3
La 46 schisteuses	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 ferrugi-	100	17,0	73,7	3,7	7,0	0,2
IRHO 163 neux lessi-	100	23,4	52,5	2,1	21,4	0,1
IRHO 164 vé, Darou	100	20,4	54,5	3,7	21,7	—
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, Bam-bey, 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 Sénégal:* 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 m de translation, et devient important après 700 mètres.

— Sur les Timbis (Hauts-Plateaux), le cuirassement est effectif entre 500 et 3.000 m 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 envahissent le paysage. En régions ferrallitiques une individualisation poussée des sesquioxides sur place se superpose aux apports obliques. 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 mg/litre de Fe_2O_3 (ordre de grandeur donné par BLOOMFIELD, 1955), 50 kg de fer total par hectare et par an peuvent se mobiliser et migrer. Pour une cuirasse de densité apparente égale à 2,5 (valeur plutôt faible), 100 dm³ de sol par année peuvent se cuirasser à la suite du lessivage de un hectare. En un siècle pour un bassin versant de 1 km², une cuirasse de 1000 m² et de 1 mètre d'épaisseur a la possibilité de se mettre en place.

IV. IMMOBILISATION

A. — MECANISME.

Les matériaux cuirassés sont toujours oxydés. Les processus d'oxydation sont les premiers mécanismes qui président à leur immobilisation.

1. FER.

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. La précipitation est totale quand la totalité des 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 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 sesquioxydes 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 que parcourent les bovins en saison des pluies, est beaucoup plus sensible. Il se produit des dépôts d'hydrates de fer sur les thalles, et il se forme des pellicules indurées ocre-jaune.

La température a une influence notable 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 permet la transformation en carbonate moins soluble 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.

2. MANGANESE.

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 manganéux n'entraîne pas un abaissement suffisant du potentiel normal apparent du système $\text{Mn}^{(2+n)} +$

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 manganéux 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 précipitation sous forme 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 manganéux 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 sesquioxydes 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'OXYGENE.

L'augmentation de la tension d'oxygène 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 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 sur la formation de dépôts ferrugineux le long des racines. De même dans les sols où le cuirassement est déjà amorcé, les sesquioxydes se déposent de façon préférentielle le long des alvéoles et des canaux qui les parcourent.

Action du drainage.

L'aération 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 Labé, 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 sesquioxydes en ces endroits particuliers. Ces phénomènes déterminent la coupe biseauté des cuirasses qui s'implantent le long des zones de drainage naturel.

2. MANQUE DE MATERIAU 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 sesquioxydes 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,
débroussement, 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.

3. ADSORPTION SUR LES ARGILES.

En milieu acide, 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 y a 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.

4. 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 à l'immobilisation des sesquioxydes 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, qui provoque un cuirassement généralisé;

— sous forêt, les conditions atmosphériques moins brutales, l'humidité constante, favorisent la mobilisation des sesquioxydes. L'exportation l'emporte sur l'immobilisation.

La dessication amène la formation dans les alluvions de cuirasses dites «de nappe» dans les zones de battement des nappes phréatiques.

La concentration des racines en des niveaux définis, permet non seulement l'accumulation des sesquioxydes, 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.

5. MILIEU CUIRASSE.

Par leur structure physique (nombreux pores et canalicules), les milieux cuirassés sont particulièrement favorables aux processus d'immobilisation. Les cuirasses possèdent en elles-mêmes le maximum de facteurs favorables à l'immobilisation des sesquioxydes: aération, manque de matière organique, surfaces actives d'hydroxydes, etc... 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 sesquioxydes 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 sesquioxydes dans des cuirasses ayant atteint des stades différents d'induration ne donne pas de résultats nets. On observe, par exemple, des cuirasses contenant de 15 à 20% de sesquioxydes parfaitement indurés, alors que des horizons en contenant plus de 70% restent meubles (couche C du gisement de minerais de fer de Conakry).

De même, des cuirasses formées de minéraux cryptocristallins se montrent plus durcies que des cuirasses contenant des hydroxydes bien cristallisés. D'autre part, si la déshydratation du milieu semble indiquer une certaine tendance au durcissement, ce fait n'est pas généralisable.

Il apparaît qu'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 déshydratation semble augmenter l'induration. Mais cela n'est pas absolu.

Ces conclusions n'indiquent que des tendances. Certaines cuirasses poreuses, du type alvéolaire sont 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 matériaux 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 des cuirasses montre toujours la présence de films plus ou moins épais, durs, qui recouvrent les cavités et les canalicules qui parcourent le matériau induré (D'HOORE, 1954). Ces films sont 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 pâtes 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 la 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. 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 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 moins bien tranchée et on observe tous les intermédiaires entre ces deux processus. En conclusion, c'est le squelette qui provoque l'induration.

C. — ESSAI D'INTERPRETATION.

A la vue de ces données, il est possible d'interpréter le mécanisme de durcissement des formations enrichies en sesquioxydes à la suite de la disparition de la forêt. On observe souvent sous forêt, à faible profondeur, dans la zone de prospection 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. Cette structure partiellement alvéolaire est provoquée par la mise en place d'un squelette de sesquioxydes 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. 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. Ce phénomène est constant sur toutes les coupes exposées à l'air. La concentration des sesquioxydes 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'Zérékoré 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 sesquioxydes provoque une induration 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 et provoquent une mobilisation intense des sesquioxydes constitutifs. Cette mobilisation suivie de lessivage, produit une imprégnation des horizons sous-jacents. Il en résulte une concentration excessivement forte du fer dans les horizons proches de la surface, horizons qui se colmatent.

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 des sols.

ACTION DES RACINES SUR LE DEMANTELEMENT DES CUIRASSES.

Anisophylla Laurina
sur une cuirasse colluviale
Dalaba.



Parkia biglobosa arraché par une tornade, Sériba.
Remarquer le système traçant.



Combretum sur cuirasse phylliteuse, Bamako.



Bombax et *Combretum* sur cuirasse de pente, Bamako.



CHAPITRE XII.

LES CYCLES DE CUIRASSEMENT EN GUINEE FRANÇAISE

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 s'établissent sur les cuirasses et les ameublissent 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 d'évolution du sol.

1. DISPARITION DES CUIRASSES AFFLEURANTES.

Les cuirasses mises à l'affleurement sont ordinairement hors d'atteinte des fluctuations des niveaux hydrostatiques. Elles représentent un horizon relativement aride. Le milieu est poreux, oxydant, et les sesquioxydes bien cristallisés s'hydratent difficilement. Ces caractéristiques sont une conséquence de l'abaissement des niveaux de base qui amène l'apparition de l'érosion accélérée, et la mise à l'affleurement des horizons les plus résistants. Les peuplements végétaux sont pauvres et mal développés. Les phénomènes de désagrégation l'emportent sur ceux d'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 avec souvent des mouvements de masse le long des pentes (FOURNIER, 1956). Il se réalise 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 Sériba).

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 nettement sur les processus de rehydratation et de resilication (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 qui se trouvent à leur tour entraînés par les eaux de ruissellement.

2. CHANGEMENTS DANS L'EVOLUTION D'UN SOL CUIRASSE.

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 et terreux. Le tapis herbacé amène, peu à peu, la formation d'un horizon d'humus brut qui possède une action de dissolution intense sur les ciments ferrugineux. La cuirasse est ainsi partiellement ameublie en surface, et la formation de ce microsols, souvent enrichi de matériaux terreux apportés par les termites, permet le développement de peuplements arbustifs d'abord, arborés ensuite. Les racines ligneuses complètent le démantèlement; le milieu s'ameublisse 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 Guinée Forestière, 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, et provoquent 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 se réalisent aussi 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 CUIRASSES.

Une des conséquences importantes de l'abaissement des niveaux de base, est l'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 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. Il est fréquent d'observer dans les cuirasses anciennes, des blocs de roches altérés, entourés d'un cortex ferrugineux qui les a figés dans leur état d'altération. Les «bové» 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 ont protégé les formes du modelé contre les facteurs de l'érosion normale (cf. chapitre 10). Il en résulte un enrichissement en matériaux résiduels (les plus beaux gisements de bauxite se trouvent sur ces formations), et une inversion de relief 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 alumineuses dérivent obligatoirement des sols ferrallitiques. La conservation des faciès ferrugineux exclut toute influence prolongée d'un milieu forestier équatorial.

2. INFLUENCE DE L'EVOLUTION REGRESSIVE SUR LE CUIRASSEMENT DES NIVEAUX INFERIEURS.

Suivant les conditions écologiques du milieu de dégradation des cuirasses, les produits du démantèlement et de la dissolution participent à plusieurs processus:

- l'accumulation d'éboulis de pente;
- la mise en place de plages d'épandage de gravillons;
- la formation de cuirasses de bas de pente et de cuirasses de nappes ferrugineuses;
- l'exportation 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'amorcer 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. 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 se réalise également 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 au Niger, Dahomey, Soudan et Sénégal. 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. La 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 optima 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 ferrallitique. Cependant sous peuplements forestiers hygrophiles il est 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 de l'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 herbacées. 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 est fréquemment entraîné jusqu'aux océans.

3. TRANSLATIONS.

Le mouvement des constituants dépend de l'humidité des sols et de la gravité. Il résulte 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 sous forme solide (cuirasses colluviales) et 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 les produits entraînés s'accumulent dans les 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, le modelé est celui des collines et 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 des précipitations;
- il en est de même en toute région tropicale sèche ou humide. 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 sont 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 résulte de phénomènes de dessiccation, d'oxydation et de précipitation. Ces derniers sont 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 l'immobilisation.

On assiste donc à un antagonisme entre les processus de libération, de mobilisation et de transports des oxydes constitutifs, et les processus d'accumulation, d'immobilisation et d'induration.

Les premiers sont favorisés en milieux humides à peuplements végétaux denses, et à modelé accidenté. 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 se réalisent pas, car l'un ou l'autre des groupes de processus d'évolution prédomine. Un sol se cuirasse quand le cycle des constituants se réalise entièrement. Ces conditions sont remplies dans les régions à climat tropical humide. Mais certains facteurs locaux (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 cuirassement des sols, qui explique l'extension de ces formations en Guinée, et plus généralement en A.O.F.

B. — BILAN DU CUIRASSEMENT DES SOLS EN GUINEE.

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.* — Les sols sont peu ou pas cuirassés. Ce sont 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.

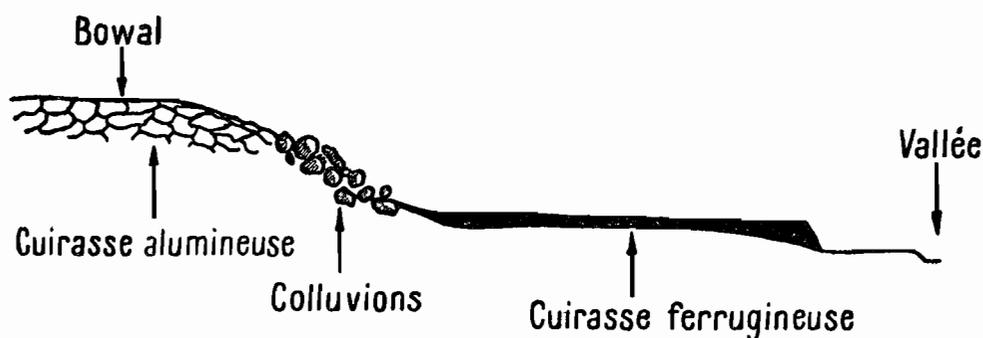
b) *Zones forestières sèches, savanes boisées.* — Les sols sont fortement cuirassés. On observe plusieurs surfaces d'érosion qui ont orienté les cycles de cuirassement:

— en régions accidentées (Dalaba, Mamou, Kindia), les cuirasses qui s'étendent sur les niveaux les plus élevés et qui, par conséquent, sont les plus anciennes, sont fortement alumineuses. Les teneurs en fer augmentent 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 bornés. Elles sont, pour la plupart, fortement démantelées, et parfois partiellement remaniées. Leurs gisements qui intéressent des surfaces importantes sont complexes. On y observe des effondrements, des cisaillements, des glissements d'horizons les uns sur les autres. La structure dominante est scoriacée. Leur puissance atteint et même dépasse 15 à 20 mètres.

Les niveaux inférieurs forment des bas plateaux, des glacis de piémonts, des cuvettes dont les pentes cuirassées ne dépassent pas 8%. Elles donnent un modelé en escalier bien caractérisé qui fait suite à des formes monoclinales. Elles sont généralement 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 Médina-Oula, Tougué, Sériba.

Cuirasses alumineuses et cuirasses ferrugineuses succèdent les unes aux autres par des zones d'éboulis qui passent à des cuirasses colluviales.



Cette succession constante en Moyenne Guinée 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 cuirasses inférieures :

— en régions planes et mal drainées (pente inférieure à 7-8%), sur les plateaux des Timbis du Labé, par exemple, le cuirassement des sols est plus spécifique. On observe 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. 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 aux produits ferrallitiques de l'évolution des sols. Les structures les plus fréquentes sont les structures pisolithiques, alvéolaires fines et feuilletées. L'épaisseur n'excède pas 150 à 200 cm. On observe des effondrements qui collectent les eaux sauvages (Wendou 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. Il y a 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 son extension progressive dans le paysage. Ce développement provoque la disparition des peuplements arborés. Dans les stades ultimes d'évolution, les plateaux ferruginisés se trouvent 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 des surfaces herbeuses. Plus au Sud encore, vers Kiffaya - Sériba, les horizons cuirassés affleurent partout. Quelques peuplements arbustifs et arborés subsistent sur les parties d'émantelées et ameublées. La majorité de ces cuirasses sont ferrugineuses. Leur structure est pisolithique ou feuilletée.

3. SOLS SUBARIDES.

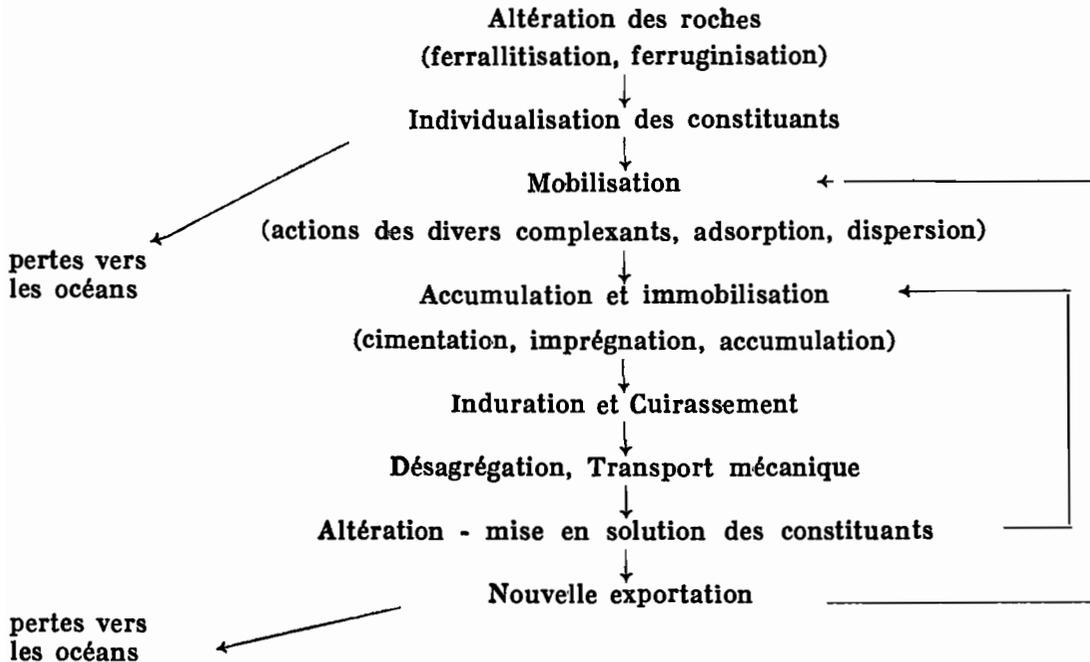
Les quelques cuirasses observées se développent en bordure des zones d'accumulation des eaux superficielles autour desquelles elles forment des bancs en auréoles. — Elles sont rarement affleurantes.

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-Guinée, les terrasses successives, très largement cuirassées qui jalonnent la vallée du Niger et de ses affluents, sont d'excellents exemples de ce type d'évolution.

C. — SCHEMA GENERAL DU CUIRASSEMENT EN GUINEE.

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 (Guinée Forestière, certains points de Basse-Guinée);

— 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-Guinée - N. Fouta-Djallon).

En définitive, ce sont les équilibres entre les 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 inter-

venir 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 aluminosilicatées a une origine qui remonte probablement au Crétacé, et s'est poursuivie pendant fort longtemps. Il s'est 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 Guinée Française, extension qui déborde largement l'intensité de libération des constituants par altération des minéraux des roches. Ainsi

- les régions les plus cuirassées (N et N-E de la Guinée) sont aussi les plus sèches;
- les cuirasses s'observent sur toutes formations, même siliceuses. Les matériaux constitutifs ont souvent une origine exotique.

III. EVOLUTION DU CUIRASSEMENT EN GUINEE FRANÇAISE

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 plus septentrionale du bioclimat forestier humide, actuellement limité à quelques points de Basse-Guinée et à la Guinée Forestière. De même, la présence de lambeaux de cuirasses sur les hauts reliefs de Guinée Forestière indique l'emprise ancienne de climats plus secs. Ces faits imposent la réalité de fluctuations climatiques qui ont affecté les phénomènes de cuirassement 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 horizons cuirassés, des caractéristiques physico-chimiques des niveaux indurés, en relation avec le modelé du pays.

A. — DONNEES 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 au Niger. Ce dernier auteur a pu, en étudiant la géomorphologie des différentes terrasses du Niger, déduire les successions climatiques suivantes:

- H₁, 1^{re} période humide: formation des latérites et creusement des vallées majeures;
- S₁, 1^{re} période sèche: durcissement des cuirasses qui se développent dans le fond des vallées majeures;
- H₂, 2^{me} 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, 2^{me} période sèche, avec invasion dunaire;
- H₃, 3^{me} période humide, avec phase de recreusement des vallées mineures;
- Epoque actuelle, moins humide que les H, et plus humide que les S;
- H₁ correspondrait au Rissien, S₁ au Chéleén, H₂ au Würmien, S₂ à l'optimum post-glaciaire et H₃ à la récurrence post-glaciaire de l'Europe Centrale. H₁ serait également contemporain du Kamassien de l'Afrique Centrale, et H₂ du Gambien.

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 piémont et des fonds de vallée: climat xéothermique, 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 piémont à cuirasses.

Il assimile H_1 d'URVOY à la phase I du Nimba qui serait du Kamasien, donc paléolithique. 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 Gambien (paléolithique supérieur), et la seconde au dessèchement récent reconnu par URVOY.

Pour SCHNELL, la découverte d'objets paléolithiques anciens dans des cuirasses ferrugineuses de la région de Pita (CORBEIL, 1946) et d'outils néolithiques épars sur la surface des cuirasses par de CHETELAT (1938), amène à penser que la phase de durcissement se place entre ces deux périodes. Il admet donc 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-Guinée 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 PÉLISSIER et ROUGERIE (1953) sur 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, indiquent l'emprise du climat forestier humide, pendant une période excessivement longue.

2. A un niveau inférieur (parfois de plusieurs centaines de mètres), une surface monoclinale, également 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 du niveau de base.

Les cuirasses qui fossilisent ces surfaces sont moins ferrallitisées que les précédentes. Elles se trouvent fréquemment incrustées de dépôts ferrugineux d'origine exotique. Elles dominent en corniches le lit majeur des fleuves africains.

3. Les vallées montrent une succession de trois terrasses. A Kankan on distingue :

— une terrasse supérieure + 25 mètres, 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 ne montrent que l'amorce de phénomènes de cuirassement par imprégnations ferrugineuses le long des décrochements de relief.

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 xéothermiques.

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, probablement, à températures moins élevées que celles des climats équatoriaux actuels. 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 par 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. 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 (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 formation 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).

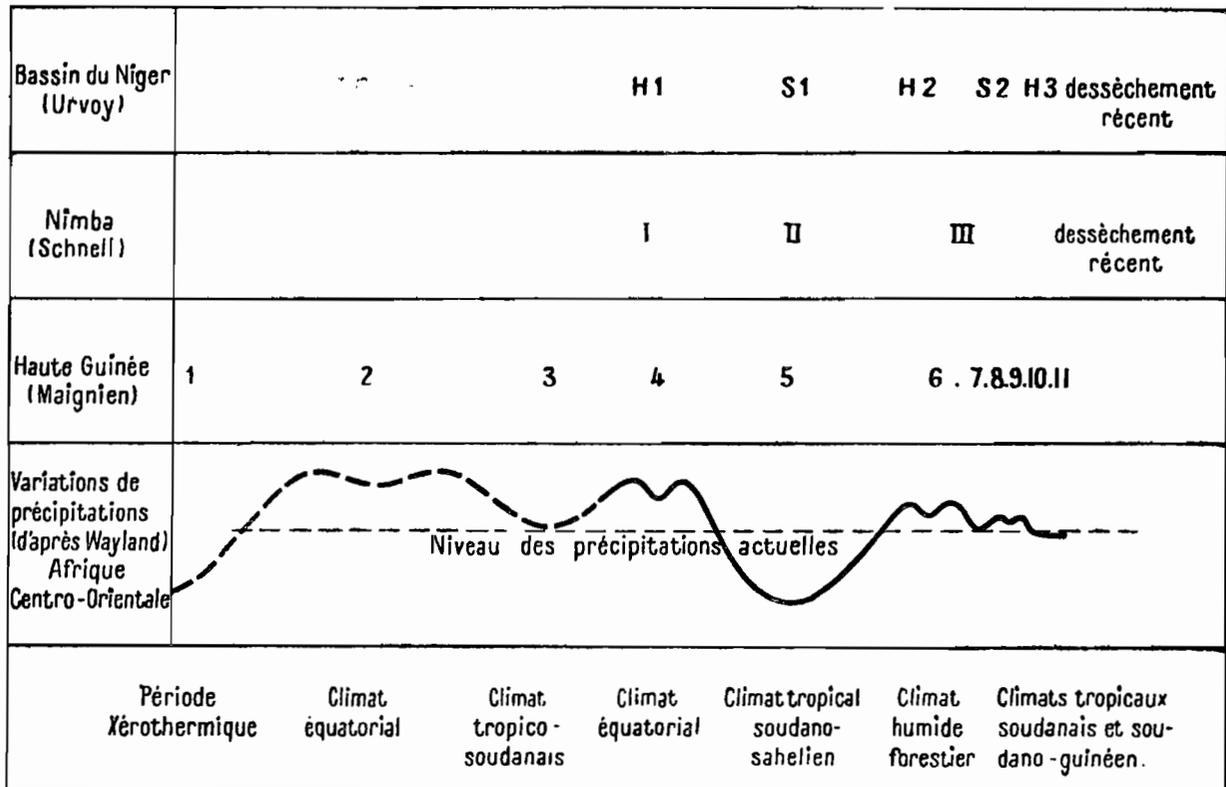


Tableau synoptique synchronisant l'évolution pédologique en Guinée Française.
Graphique 2

CONCLUSIONS

En régions tropicales, la réunion de certaines conditions pédologiques provoque une évolution particulière des sols qui se traduit par la mise en place dans leur profil d'un horizon plus ou moins induré où s'accumulent oxydes, 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.

Le cuirassement des sols résulte de l'évolution des différents oxydes de fer et d'alumine. Il n'est spécifique ni d'un groupe de sols particuliers, ni d'un type d'altération propre au milieu tropical. Le dynamisme des sesquioxydes est un phénomène banal qui s'observe en toute région suffisamment humide du globe. En Guinée, il atteint une telle intensité, que l'on assiste à une redistribution complète de ces produits à travers les sols, avec concentration et induction en certains niveaux.

Les données exposées montrent que la ferrallitisation et le cuirassement ne découlent pas obligatoirement l'un de l'autre. Il est nécessaire de séparer ces phénomènes. Chaque fois que des sesquioxydes s'individualisent, migrent, se concentrent, il y a possibilité de cuirassement. Le milieu ferrallitique est favorable au cuirassement dans la mesure où il libère des quantités suffisantes de sesquioxydes. Mais encore que tous les sols ferrallitiques ne soient pas cuirassés, d'autres milieux participent à ces phénomènes: sols ferrugineux tropicaux, sols subarides, sols hydromorphes, anciennes cuirasses.

L'examen des faits d'observation (échantillons de cuirasses et profils de sols), l'étude des compositions chimiques et des assemblages minéralogiques montrent que les phénomènes de cuirassement suivent la concentration des sesquioxydes (gibbsite et goethite principalement). La présence de kaolinite est fréquente. Les concentrations résultent de deux processus:

1. De l'importation des sesquioxydes dans l'horizon:
C'est une accumulation absolue.
2. De l'exportation de divers constituants:
C'est une accumulation relative.

Le premier cas est le plus général. Il englobe les cuirasses ferrugineuses et manganifères. Le deuxième est celui des cuirasses alumineuses. On constate donc que si ces dernières sont une conséquence de l'évolution ferrallitique des sols, les cuirasses ferrugineuses ont une origine beaucoup plus large.

L'étude du bilan des sesquioxydes constitutifs des horizons cuirassés des sols tropicaux montre que:

- l'aluminium est principalement un matériau résiduel;
- le fer a une origine souvent extérieure au profil.

Ce dernier élément contribue donc essentiellement au cuirassement des sols. Il se produit une cimentation des produits texturaux sous des formes variées que l'on peut ramener à trois:

1. Le fer édifie des concrétions plus ou moins individualisées.
2. Le fer forme un squelette continu plus ou moins lâche.
3. Le fer imprègne et épigénise les constituants originels du sol.

Les sesquioxydes de fer proviennent fréquemment des formations voisines. Il se produit un transport généralisé des reliefs les plus élevés vers les niveaux inférieurs, par l'intermédiaire des solutions du sol, qui percolent par mouvements verticaux, obliques ou latéraux. L'étude du bilan hydrique des sols guinéens confirme que les processus de drainage l'emportent sur les phénomènes de remontée par tension capillaire sous l'effet de l'évaporation.

Ces données sont concrétisées dans l'étude des «chaînes de sols» (catena). Le fer se comporte comme un corps mobile, l'aluminium est beaucoup plus stable. La concentration des sesquioxydes de fer, dans les profils les plus bas, résulte du lessivage des sols les plus élevés. Corrélativement les teneurs en aluminium augmentent dans les sols ferrallitiques situés aux cotes supérieures. Les cuirassements résultent donc de la vitesse de migration différentielle de ces différents sesquioxydes.

L'extension du cuirassement dans un paysage est sous la dépendance

- des possibilités des sols à se cuirasser par eux-mêmes;
- des possibilités d'enrichissement en sesquioxydes par apports latéraux.

En sols ferrallitiques, les processus de cuirassement résultent du premier phénomène. Il en est de même, parfois, pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Mais le développement en surface des cuirasses est surtout la conséquence d'apports latéraux. 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, comme ceux-ci permettent la conservation des formes favorables.

Le cuirassement est lié, à l'échelle du profil comme à celui du paysage, à la présence d'une source de sesquioxydes, d'un moyen de translation et d'un niveau de réception. Ce sont les conditions d'humidité qui règlent les possibilités d'évolution des phénomènes.

Les cuirasses s'édifient normalement à l'intérieur des profils. La mise à l'affleurement se fait par érosion hydrique qui décape les horizons meubles de surface. Une cuirasse affleurante est la partie supérieure d'un profil tronqué. Elle représente un stade sénile d'évolution.

Ainsi se constitue un cycle de sesquioxydes, qui, suivant l'intensité des phénomènes de mobilisation et d'immobilisation, suivant les types de lessivages ou d'accumulation, permet la formation ou la disparition des horizons cuirassés dans les sols. Ces cycles sont conditionnés par les caractéristiques du milieu naturel. Quand la libération des sesquioxydes est supérieure aux

perles par drainage vers les océans, il y a extension du cuirassement dans le paysage. Quand les phénomènes de mobilisation et de lessivage prédominent, ou il n'y a pas de formation de cuirasse, ou bien on assiste à la disparition des anciens niveaux cuirassés.

Il est ainsi parfaitement concevable que des sesquioxydes puissent vivre en circuit fermé, dès que l'altération des roches en a provoqué une libération suffisante. C'est le cas du Fouta-Djallon où l'altération ferrallitique qui a débuté avant le Tertiaire, se poursuit activement. Les variations climatiques n'ont pas été suffisantes pour masquer ces processus. Il s'est constitué, sous forme de cuirasse, une accumulation énorme de sesquioxydes sur les surfaces les plus anciennes, qui ont été amenées en altitude par inversion de relief. Ces niveaux fossiles sont une source de cuirassement pour les sols en contre-bas.

Ces faits permettent d'interpréter l'intensité des phénomènes de cuirassement actuels en Guinée Française, intensité qui est sans commune mesure avec la vitesse de libération des sesquioxydes par ferrallitisation ou ferruginisation. Ainsi, les régions les plus cuirassées sont aussi les moins humides. De même, les cuirasses s'observent sur toutes formations, même fortement siliceuses, les sesquioxydes constitutifs ayant une origine exotique.

TABLE DES MATIERES

	Pages
Avant-propos	5
Introduction	9
PREMIERE PARTIE.	
METHODES D'ETUDES ET MILIEU NATUREL.	
<i>Chapitre premier.</i> — DEFINITIONS	13
<i>Chapitre second.</i> — HISTORIQUE	23
<i>Chapitre troisième.</i> — LES CONSTITUANTS DES CUIRASSES.	
I. Constituants principaux	27
II. Constituants secondaires	31
<i>Chapitre quatrième.</i> — LE MILIEU NATUREL.	
I. Cadre géographique	33
II. Facteurs climatiques	33
III. Les roches. — Leurs produits d'altération. — Les sols	51
IV. Topographie et modelé	64
V. Hydrographie	67
VI. Facteurs biologiques	69
DEUXIEME PARTIE.	
LES SOLS CUIRASSES: ECHANTILLONS ET PROFILS.	
<i>Chapitre cinquième.</i> — ECHANTILLONS DE CUIRASSES.	
I. Exemples étudiés	77
II. Caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques des échantillons de cuirasses	83
<i>Chapitre sixième.</i> — DESCRIPTIONS DES PROFILS CUIRASSES.	
I. Sols ferrallitiques	99
II. Sols ferrugineux tropicaux	107
III. Sols subarides	110
IV. Sols hydromorphes	111
V. Sols sur cuirasses	117
VI. Cuirasses alluviales et colluviales	118

	Pages
<i>Chapitre septième.</i> — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES PROFILS CUIRASSES.	
I. Sols faiblement cuirassés	121
II. Sols à cuirasse actuelle	127
III. Cuirasses anciennes	132
<i>Chapitre huitième.</i> — CONSTITUTION MINÉRALOGIQUE DES PROFILS CUIRASSES.	
I. Cuirassement en sols ferrallitiques mal drainés	135
II. Cuirassement par action de nappes phréatiques	139
III. Cuirassement en sols ferrallitiques bien drainés	141
TROISIÈME PARTIE.	
INTERPRÉTATION DES PHÉNOMÈNES DE CUIRASSEMENT.	
<i>Chapitre neuvième.</i> — PRÉSENTATION D'UN ESSAI D'INTERPRÉTATION.	
I. Cuirassement et migration différentielle des éléments constitutifs	147
II. Formation de l'horizon cuirassé	148
III. Influence des facteurs du milieu sur le cuirassement des sols	155
IV. Sur le profil à horizon cuirassé	158
V. Essai de classification des sols à horizons cuirassés	160
<i>Chapitre dixième.</i> — APPLICATION: LES CHAINES DE SOLS CUIRASSES.	
I. Description des profils cuirassés à travers les chaînes de sols	165
II. Données analytiques	178
III. Mise à l'affleurement des cuirasses	179
IV. Le modelé des pays à sols cuirassés	182
<i>Chapitre onzième.</i> — INVENTAIRE DES MÉCANISMES POSSIBLES DU CUIRASSEMENT DES SOLS.	
I. Individualisation des matériaux du cuirassement	189
II. Mobilisation	191
III. Migration	198
IV. Immobilisation	201
V. Induration	205
<i>Chapitre douzième.</i> — LES CYCLES DE CUIRASSEMENT EN GUINÉE FRANÇAISE.	
I. Disparition des niveaux indurés	209
II. Cycles de cuirassement	211
III. Evolution du cuirassement en Guinée française. — Essai stratigraphique	217
Résumé et conclusions générales	221
Bibliographie	229

BIBLIOGRAPHIE.

- AGAFONOFF (V.) 1929. — *L'étude des sols des Colonies Françaises*. — Rev. Bot. Appl. et Agr. Trop. IX, n° 95.
- APANASSIENA (E. A.), RODE (A. A.), SKYNNIKOVA (I. N.) 1956. — *L'étude des processus contemporains de formation des sols*. — C. R. 6^e Cong. Int. Sc. Sol, Paris, V, p. 175.
- ALBRECHT (W. A.) 1941. — *Soil Sc.*, n° 51, p. 213.
- ALEXANDER (L. T.), HENDRICKS (S. B.), FAUST (G.) 1942. — *Occurrence of gibbsite in some soil forming materials*. — Proc. Soil Sc. Soc. America, 6, p. 52-57.
- ALEXANDER (L. T.), CADY (J. G.), WHITTIG (L. D.), DEVER (R. F.) 1956. — *Mineralogical and chemical changes in the hardening of laterite*. — C. R. 6^e 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.) 1942. — *A biological reduction method for removing free iron oxides from soils and colloid clays*. — *Jl. Amer. Soc. Agron.*, 34, p. 616-23.
- ARDEN (T. V.) 1950. — *The solubility products of ferrous and ferrosic hydroxides*. *J. Chem. Soc.*, p. 882-885.
- ARSANDAUX (H.) 1909. — *Contribution à l'étude des latérites*. — C. R. Acad. Sci., Paris, t. 149, p. 1082 à 1084.
- ARSANDAUX (H.) 1910. — *Nouvelle contribution à l'étude des latérites*. — C. R. Acad. Sc., Paris, t. 150, p. 1698-1701.
- ARSANDAUX (H.) 1913. — *Contribution à l'étude de l'altération des roches silicatées alumineuses dans les régions intertropicales*. — *Bull. Soc. Fr. Miner. Paris*, t. 36, p. 70-110.
- AUBERT (G.) 1941. — *Les sols de la France d'Outre-Mer*. — Paris, Impr. Nat., 90 p., XIV pl.
- AUBERT (G.) 1944. — *Les sols des régions tropicales de la F.O.M.* — Conf. Nat. Agr. Territoires F.O.M., Paris, 11 p.
- AUBERT (G.), DUBOIS (J.) et MAIGNIEN (R.) 1946. — *Les sols à arachides au Sénégal*. — Rapport I.G.A. Dakar.
- AUBERT (G.) 1948. — *Sur le rôle de la cuirasse ferrugineuse comme roche-mère de nouveaux sols*. — Comm. Conf. Sols Trop. Rothamsted.
- AUBERT (G.) 1948. — *Les sols d'A.O.F.* — Encyclopédie coloniale.
- AUBERT (G.) 1949. — *Observations sur le rôle de l'érosion dans la formation de la cuirasse latéritique*. — *Bull. Agr. Congo Belge*, n° 2, p. 1383-6.
- AUBERT (G.) 1950. — *Observations sur la dégradation des sols et la formation de la cuirasse latéritique dans le Nord-Ouest du Dahomey (A.O.F.)*. — C. R. 4^e Congr. Inter. Sc. Sol, Amsterdam, vol. III, p. 123-128.
- AUBERT (G.) 1954. — *Les sols hydromorphes d'A.O.F.* — C. R. 5^e Cong. Int. Sc. Sol, Léopoldville.
- AUBERT (G.) 1954. — *Les sols latéritiques*. — Conf. Générale. — 5^e Cong. Inter. Sc. Sol, Léopoldville.
- AUBERT (G.) 1954. — *La classification des sols utilisée dans les territoires tropicaux de l'Union Française*. — 2^e Conf. Int. Afri. Sols, Léopoldville, n° 51.
- AUBREVILLE (A.) 1947. — *Erosion et «Bovalisation» en Afrique Noire Française*. — *Agr. Trop*, n° 7-8, p. 339-357.
- AUBREVILLE (A.) 1949. — *Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique Tropicale*. — Soc. Edit. Géog. Marit. Colon. Paris, 1 vol., 351 p.
- AUFRERE (L.) 1932. — *La signification de la latérite dans l'évolution climatique de la Guinée*. — *Bull. Assoc. Géog. Franç.*, p. 95-97.
- AUFRERE (L.) 1936. — *La géographie de la latérite*. — C. R. Sc. Soc. Biogéog., t. XIII, p. 3-11.
- BACHELIER (G.) et LAPLANTE (A.) 1953. — *Sur l'origine et la formation des cuirasses dites «latéritiques» dans l'Adamaoua (N-Cameroun)*. — C. R. Ac. Sc., t. 237, p. 1277-1279.

- BAEYENS (J.) 1938. — *Les sols de l'Afrique Centrale, spécialement du Congo Belge.* — Bruxelles, Public. INEAC, 375 p.
- BAEYENS (J.) 1947. — *Les méthodes d'examen des sols tropicaux et subtropicaux.* — P. 320-324.
- BAREN VAN (F. A.) et KIEL (H.) 1954. — *The mineralogy of an apparently autochthonous soil profiles in A.E.F.* — C. R. 5^e Cong. Int. Sc. Sol, Léopoldville II, p. 16.
- BARBIER (G.) 1936. — Bull. Ass. Franç. Et. Sol, n° 2, p. 283-287.
- BARBIER (G.) 1938. — Ann. Agro., n° 1, p. 34.
- BASTISSE (E. M.) 1946. — *Rôle vecteur de divers anions.* — Ann. Agro. n° 4, p. 434-456; 1945 - Ann. Agro. n° 1, p. 30-56.
- BASTISSE (E. M.) 1949. — *Essais sur le rôle des complexes colloïdaux en pédologie et en physiologie végétale.* Paris, thèse.
- BASTISSE (E. M.) 1950. — *Recherches sur les conditions théoriques et pratiques permettant le maintien de l'assimilabilité de l'acide phosphorique dans les terres latéritiques.* — Ann. Agro. Série A, n° 6, p. 748-761.
- RASTOS DE MACEDO (J. M.) 1955. — *Note on the development of ferrallitic soils from acid and basic rocks.* — C. R. 5^e Cong. Int. Sc. Sol. Léopoldville, V, p. 32.
- BAUER (M.) 1898. — *Beitrag zur Geologie der Seyschellen.* — Neues Jahrbuch f. Miner. u. Petr. 163 p.
- BAVER (L. D.) — *Soil Physics*, London, p. 212-220.
- BELLOUARD (P.) 1949. — *Erosion des sols du Sénégal Oriental, du Soudan occidental et du Fouta-Djallon.* — GOMA, Bull. Agro. Congo Belge, n° 71, p. 1299-1308.
- BEMMELN VAN (J. M.) 1904. — *Beitrag zur Keuntris der Verwitterungsprodukte der silikate in Ton-Vulkanischen und Laterit-Boden.* — Zutich Anorgan. w. Allg. Chemie, 42: 265-314.
- BERNARD (E. A.) 1956. — *Sur diverses conséquences de la méthode du bilan d'énergie pour l'évapotranspiration des cultures ou des couvertures végétales naturelles.* — Sols africains. — Vol. 4, n° 1, p. 105-120.
- BERTHIER (P.) 1820. — *Examen du fer forgé par les nègres du Fouta-Djallon (Haut-Sénégal) et des minéraux desquels ils le retirent.* — Ann. Minér. Paris, 1^{re} série, t. V, p. 129-34.
- BESAIKIE (H.) 1937. — *Altération des roches et formation des sols à Madagascar.* — Bull. A.F.E.S. t. III, p. 15-20.
- BETREMIEUX (R.) 1951. — *Etude Expérimentale de l'Evolution du fer et du manganèse dans les sols.* — Ann. Agro., Série A, n° 3, p. 193-295.
- BETREMIEUX (R.) 1956. — *Influence du plan d'eau sur la précipitation d'éléments minéraux dans le sol.* — C. R. Acad. Sc., p. 816-818.
- BIROT (P.) 1947. — *Résultats de quelques expériences sur la désagrégation des roches cristallines.* — C. R. Séances Ac. Sc. Geog. Phys., p. 745-747.
- BIROT (P.) 1950. — *Note sur la désagrégation des roches cristallines.* — Rev. Géomorph. Dynam., p. 271-276.
- BIROT (P.) 1951. — *Sur la désintégration granulaire des roches cristallines.* — C. R. Séan. Ac. Sc. Paris, p. 1305.
- BIROT (P.) 1954. — *Désintégration des roches cristallines sous l'action des sels.* — C. R. Séan. Ac. Sc., Paris, CCXXXVIII.
- BISHOP (D. W.) 1937. — *The formation of laterite.* — Geol. Mag., Vol. LXXIV, p. 442-445.
- BLONDEL (F.) 1927. — *Sur les terres rouges et les phénomènes d'altération des roches en Indochine Française.* — C. R. Acad. Sc. Paris, t. 185, p. 73-75.
- BLONDEL (F.) 1952. — *Les gisements de fer de l'A.O.F.* — 19^e Cong. Géol. int. Alger, t. 1, p. 4-34.
- BLOOMFIELD (C.) 1951. — *Experiments on the mechanism of gley formation.* — JI. Soil Sci. II, p. 1986-211.
- BLOOMFIELD (C.) 1953. — *A study of podsolisation.* — I and II, JI Soil Sc. IV, p. 5-23.
- BLOOMFIELD (C.) 1955. — *The movement of sesquioxides and clay in the soil.* — Sols Africains, Vol. III, n° 4, p. 488-506.
- BODIN (L.) 1951. — *Contribution à l'étude des granits birrimiens dans le Précambrien de l'A.O.F.* — Bull. Dir. Mines A.O.F., Dakar, 113 p., fig. tab.
- BONIFAS (M.) et MILLOT (G.) 1956. — *Bilan géochimique dans l'altération latéritique de quelques roches de Guinée (A.O.F.).* — C. R. Séan. 6^e Cong. Inter. Sc. Sol, Paris, Comm. V.
- BONNET (J. A.) 1939. — *The nature of lateritization as revealed by chemical, physical and mineralogical studies of a lateritic soil profil from Puerto-Rico.* — Soil Sc. Vol. 48, p. 25-40.
- BONNAULT, 1938. — *Le rôle de la latérite dans les formes du relief des environs de Boudoukou (Côte d'Ivoire).* — Bull. Serv. Mines A.O.F. Dakar, n° 2, p. 51-52.
- BORDET (P.) 1951. — *Présence de latérites fossiles dans l'Atakor du Hoggar.* — C. R. Soc. Géol. Fr., Paris, p. 97.

- BOSAZZA (V. L.). — *The petrography and petrology of South African Clays.* — Parktown, Johannesburg, Barkley Road 39, p. 313.
- BOTELEHO DA COSTA (J. V.) et AZEVEDO (A. L.) 1949. — *Characteristics and distribution of some soil groups of Angola.* — Bull. Agro. Congo Belge, n° 1, p. 253-278.
- BOTELEHO DA COSTA (J. V.) et AZEVEDO (A. L.) 1952. — *Os solos de Angola, junta das investigações do Ultramar.* — Lisboa.
- BOTELEHO DA COSTA (J. V.) 1954. — *Aspects des relations sol-eau-plantes.* — Conf. Gén. 5° Congr. Int. Sc. Sols, Leopoldville, Vol. I.
- BOUGLISE DE LA, 1936. — *Le Gisement de fer de Conakry.* — Mines Col, N° 495.
- BOUYER (S.) 1949. — *Contribution à l'étude agrolologique des sols du Sénégal.* — Bull. Agro Congo Belge, n° 1, vol. XL, p. 887-1020.
- BRAMAO (L.), CADY (J. G.) et HENDRICKS (S. B.) 1950. — *The determination of halloysite and its use in the study of red soils.* — C. R. Séan. 4° Cong. Int. Sc. Sols, Vol. I, p. 313.
- BRINDLEY (G. W.) 1951. — *X Ray identification and crystal structures of clay minerals.* — London, The Mineralogical Society, p. 245.
- BROMFIELD (S. M.) 1954. — *J. Soil Sc.* 5, p. 129.
- BRUGIERE (J. M.) 1954. — *Les argiles faiblement latéritiques à concrétions ferrugineuses de la Vallée du Niari (Moyen-Congo).* — 5° Cong. Int. Sc. Sol, Leopoldville, V 50, p. 5.
- BRYNMOR (J.). — *Laterite Ironstone in Sokoto Province.* — Farm and Forest, vol. IV, n° 1.
- BUCHANAN, 1807. — *Journey from Madras through the countries of Mysore, Canara and Malabar.* — London, t. II, p. 441.
- BUSENELL (T. M.) 1943. — *Some aspects of the soil catena concept.* — Proc. Soil Sc. Soc. America n° 7, p. 466-76.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.) 1942. — *Application de l'analyse thermique différentielle à l'étude des argiles du sol.* — Ann. Agro. 17, p. 23-72.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.) 1950. — *Quelques remarques sur la synthèse des minéraux argileux.* — Trav. 4th Int. Cong. Soil Sc. I, 86-88.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.) 1950. — *Mécanisme d'évolution des minéraux phylliteux.* — Trav. 4th Int. Cong. Soil Sc. I, 96-98.
- CAILLERE (S.) et HENIN (S.) 1950. — *Sur l'hydratation de divers silicates et hydroxydes.* — Amsterdam, 4° Cong. Int. Sc. Sol, Vol. III, p. 28-29.
- CAILLERE (S.) 1950. — *Action de la chaleur sur les minéraux des argiles.* — Amsterdam, 4° Cong. Int. Sc. Sol, vol. III, 56-63.
- CAILLERE (S.), BIROT (P.) et HENIN (S.) 1952. — *Formation d'un minéral argileux par altération expérimentale d'un gabbro.* — C. R. Séan. Ac. Sc. Paris, p. 2104.
- CAILLERE (S.), BIROT (P.) et HENIN (S.) 1954. — *Etude expérimentale du mécanisme de la désagrégation de quelques roches éruptives et métamorphiques.* — C. R., 5° Cong. Int. Sc. Sol. Léopoldville, vol. II, p. 18-21.
- CAILLERE (S.), HENIN (S.) et ESQUEVIN (J.) 1956. — *Essai de cinétique chimique de la formation des minéraux argileux.* — C. R. 4° Cong. Int. Sc. Sol, Paris, I, p. 159-163.
- CAILLEUX (L.) et TAYLOR. — *Code Expolaire des Couleurs.* — Boubée, Paris.
- CALTON (W. E.) 1954. — *The catena in relation to the classification of East African Soils.* — 5° Cong. Int. Sc. Sol, Léopoldville, V, 10.
- CAMPBELL (J. M.). — *Laterite; its origine, structure and minerals.* — Min. Mag. 17, 1917, p. 67-77, 128-9, 171-9 et 220-9.
- Cartes du Service Géologique de l'A.O.F. (1/500.000°) et notices explicatives.* — Dakar E - Conakry E et W - Kindia W - Dabola E - Kankan E et W - Guinée Forestière.
- CASTAGNOL (E. M.) et PHAN-GIA-TU, 1940. — *Etude des principaux types de latérites d'Indochine.* — Ext. Bull. Eco. Indoch. fasc. 2, p. 35.
- CASTAGNOL (E. M.) 1942. — *Le sol — étude théorique et pratique.* — Imp. Ext. Orient. Hanoi, p. 224, T, Photo.
- CHAMINADE (R.) 1947. — *Influence de l'humus sur l'assimilabilité des engrais phosphatés dans un sol latéritique.* — C. R. Conf. Péd. Méditer., p. 222-25.
- CHAMINADE (R.), SEGALIN (P.) et VISTELLE (R.) 1947. — *Influence de l'humus sur l'évolution de l'acide phosphorique dans un sol latéritique.* — Ann. Agro., p. 530-5.
- CHARREAU (C.) 1953. — *Note sur quelques études faites sur les sols de la C.G.O.T.* — Rapport I.G.A. — Dakar.

- CHAUTARD (J.) et LEMOINE (P.) 1908. — *Sur la genèse de certains minerais d'alumine et de fer, Décomposition latéritique.* — C. R. Ac. Sc. t. CLX, VI, p. 239-42.
- CHAUTARD (J.) et LEMOINE (P.) 1908. — *Sur le phénomène de latéritisation.* — Bull. Soc. Géol. Fr., Paris, t. VIII, p. 35-38.
- CHERMETTE (A.) 1949. — *La Bauxite dans la chaîne du Niandan Banié (Haute-Guinée).* — Chron. Mines Col., Paris, n° 161, p. 194-5.
- CHETELAT (E. de) 1938. — *Le modelé latéritique de l'Ouest de la Guinée Française.* — Rev. Géog. Phys. Géol. dyn. Paris, 120 pages.
- CHEVALIER (A.) 1929. — *Sur la dégradation des sols tropicaux causée par les feux de brousse et sur les formations végétales régressives qui en sont la conséquence.* — C. R. Acad. Sc. t. 188, p. 84-86.
- CHEVALIER (A.) 1948. — *Les cuirasses latéritiques.* — R B A, p. 49-66.
- CHEVALIER (A.) 1949. — *Points de vue nouveaux sur les sols d'Afrique Tropicale, sur leur dégradation et leur conservation.* — Bull. Agr. Congo Belge n° 2, p. 1057-92.
- CLAISSE (G.) 1953. — *Etude de l'altération de la charnockite de Man (Côte d'Ivoire).* — Ann. Agro., Série A, p. 45-52.
- COINTEPAS (J. P.) 1956. — *Parcelles expérimentales d'érosion de Séfa (Casamance).* — Rapport C.G.O.T.
- CORBELL (R.) 1945. — *Industries Paléolithiques en Guinée Française (Pita).* — Conf. int. Africanistes de l'Ouest, Dakar, Ifan.
- CORIN (F.) 1948. — *Note sur l'association du quartz avec les latérites.* — Bull. Serv. Géol. Congo Belge, n° 4, p. 73-74.
- CORBENS (C. W.) 1940. — *Die chemische Verwitterung der Silikate.* — Die Naturwissenschaften, 28, p. 369-76.
- DEB (B. C.) 1949. — *The movement and precipitation of iron oxides in podzol soils.* — Jl. Soil Sc. I, p. 112-22.
- DEB (B. C.) 1950. — *The estimation of the free iron oxides in soils and clays and their removal.* — Jl. Soil Sc., 1, 2, p. 212-220.
- DECRÆNE (A.) 1954. — *La fertilité des latosols du N-E du Congo Belge et ses relations avec la morphologie des profils pédologiques.* — *La latéritisation.* — Conf. Inter. Afric. Sols, Léopoldville, 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.) 1944. — *Introduction à l'étude minéralogique des sols du Congo Belge.* — I.N.E.A.C., série Sc. n° 25, 45 p.
- DEMOLON (A.) 1926. — *Recherches Physico-chimiques sur la terre à brique envisagée comme milieu naturel.* — 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.) 1944. — *Rôle vecteur de la silice.* — Ann. Agr. n° 4, p. 265-96.
- DEMOLON (A.) 1948. — *La dynamique du sol.* — Dunod, Paris, 4^e édité.
- DEMOLON (A.) et AUBERT (G.) 1952. — *Sur la capacité de production des sols en Afrique Equatoriale et Tropicale.* — C. R. Ac. Sc. Paris, 234, p. 689-692.
- DENAYER (M. E.) 1951. — *Tableau de pétrographie.* — Lamarre Edlt., Paris, 111 p.
- D'HOORE (J.) 1949. — *Les composés du fer dans le sol. Quelques notes concernant leur composition, leur rôle, leur étude, leur importance.* — 1^{re} Conf. Afric. Sol. Bull. Agric. Congo Belge, n° 1, p. 66-85.
- D'HOORE (J.) 1954. — *L'accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux.* — I.N.E.A.C., série Sc. N° 62, 131 p.
- D'HOORE (J.), FRIPIAT (J. J.) et GASTUCHE (M. C.) 1954. — *Quelques remarques sur les oxydes de fer fixés sur les argiles tropicales.* — Léopoldville, Conf. Int. Afric. Sols. n° 13.
- D'HOORE (J.) 1954. — *Clay mineral and gibbsite crystals as clues to the mode of formation of ancient sesquioxides accumulation zone.* — Léopoldville, C. R. 5^e Cong. Int. Sc. Sol V., 7.
- D'HOORE (J.) et CROEGAERT (J.) 1954. — *Signification de la fraction limoneuse dans quelques sols congolais.* — Léopoldville, Conf. Int. Afric. Sols, n° 85, 10 p.
- D'HOORE (J.) 1954. — *Le facteur humain et l'accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux.* — 2^e Conf. Int. Afric. Sols Léopoldville n° 12, 15 p.
- D'HOORE (J.) 1954. — *Etude statistique des teneurs en Fe₂O₃ libre sur limon et argile pour les sols de trois régions naturelles du Congo Belge.* — 2^e Conf. Int. Afric. Sols, Léopoldville, n° 14, 15 p.
- DIETRICH (W. G.) 1941. — *Die Dynamik der Boden in den feuchten Tropen insbesondere von West-Afrika; eine Auswertung des vorliegenden Schrifttums.* — Berlin, Druck von Linke; 125 p. Traduction française par le B.I.S.
- DION (H. H.) 1944. — *Iron oxide removal from clays and its influence on base exchange properties and X ray diffraction patterns of the clays.* — Soil Sc. n° 58.

- DIXEY (F.) 1920. — *Lateritisation in Sierra Leone.* — London Geol. Mag. vol. LVII n° 671 p. 211-220.
- DOMMERMUES (Y.) 1956. — *Etude de la biologie des sols des forêts tropicales sèches et de leur évolution après défrichement.* — Paris C. R., 8° Cong. Inter. Sc. Sol, Paris, V-98.
- DOMMERMUES (Y.) 1956. — *Rapport annuel.* — Centre de Pédologie de Hann-Dakar - Orstom.
- DOYNE (H. C.) 1935. — *Studies in tropical soils. Increase in acidity with depth.* — Jl. Agr. Sc. n° 25, p. 192-197.
- DRESCH (J.) 1947. — *Pénéplaines africaines.* — Ann. Géog., T. LVI₄ p. 125.
- DROSDOFF (M.) et TRUOG (E.). — *Transact. 3rd Cong. Soil Sc. Oxford 1935, vol. I, p. 92-95.*
- DUBOIS (J.) 1949. — *Esquisse des différents types de sols de la moitié sud du Sénégal.* — Bull. Agr. Congo Belge, n° 1, p. 575-617.
- DUCHAUFOUR (Ph.) 1953. — *Humus actif et humus inerte. Recherches expérimentales sur la minéralisation de l'humus forestier.* — Ann. Ecole Nle Eaux et Forêts, XIII. 2, p. 402-53.
- DUCHAUFOUR (Ph.) 1955. — *Données récentes sur l'évolution de la matière organique dans le sol.* — Bull. Soc. Pharm. Nancy.
- DUCHAUFOUR (Ph.) et POCHON (J.) 1955. — *Note sur la biologie des humus forestiers.* — Ann. Inst. Pasteur, Paris, n° 23, 115 p.
- DUCHAUFOUR (Ph.) et MANGENOT (F.) 1956. — *Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus.* — Ann. Agr. Série A, n° 2, p. 159-181.
- DU PREEZ (J. W.) 1949. — *Laterite. A general discussion with a description of Nigerian occurrences.* — Bull. Agr. Congo Belge, XL, 1, p. 53-66.
- DU PREEZ (J. W.) 1952. — *Notes on the occurrence of oolites and pisolithes in Nigerian Laterites.* — Cong. Géol. Inter. XIX, Alger.
- EDELMANN (C. H.) et SCHUFFELEN (A. C.) 1947. — *On the origin of some clay minerals in soils.* — Conf. Pédo. Méditer. Montpellier, p. 109-114.
- EDELMANN (C. H.) 1950. — *The isoelectric formation of lateritic soils.* — C. R. 4° Cong. Int. Sc. Sol, vol. I, p. 308-310.
- EICHENER (A.) 1927. — *Die Entstehung der Roterde und laterite.* — Z. Pflanz. Düng., p. 1-13.
- ERHART (H.) 1926. — *Concentration en ion H dans quelques terres latéritiques de Madagascar.* — R.B.A., t. VI, n° 54, p. 88-92.
- ERHART (H.) 1935. — *Traité de pédologie.* — Tome I, Strasbourg, in-8°, 260 p.
- ERHART (H.) 1943. — *Les latérites du Moyen-Niger et leur stgnification paléoclimatique.* — C. R. Ac. Sc. Paris, t. 217, p. 379-381.
- ERHART (H.) 1951. — *Sur l'importance des phénomènes biologiques dans la formation des cuirasses ferrugineuses en zone tropicale.* — C. R. Ac. Sc. Paris, t. 233, p. 804.
- ERHART (H.) 1951. — *Sur le rôle des cuirasses termitiques dans la géographie des régions tropicales.* — C. R. Ac. Sc. Paris, 233, p. 966.
- FAUCK (R.) 1955. — *Quelques aspects de la conservation du sol et de l'eau aux U.S.A.* — Bureau des Sols, Dakar, 32 p.
- FAUCK (R.) 1956. — *Erosion et mécanisation.* — Bureau des Sols, Dakar.
- FAURE (J.) 1954. — *Etude de quelques sols hydromorphes à engorgement temporaire de la région de Bargny (Sénégal).* — Conf. Int. Afr. Sols II, B, 17 p.
- FERMOR (L. L.) 1911. — *What is laterite?* — Geol. Mag. V, n° 8, p. 454-62, 507-16 et 559-66.
- FOURNIER (F.) 1953. — *Influence des facteurs climatiques sur l'érosion du sol. Estimation des transports solides effectués en suspension par les cours d'eau.* — Assoc. Int. Hydrologie, n° 38, tome III, p. 283-8.
- FOURNIER (F.) 1954. — *Les parcelles expérimentales. Méthode d'étude expérimentale de la Conservation du sol, de l'érosion, du ruissellement.* — Rapport Orstom, n° 1623.
- FOURNIER (F.) 1955. — *Les facteurs de l'érosion du sol par l'ear l'eau en A.O.F.* — C. R. Acad. Agr. Paris.
- FOURNIER (F.) 1956. — *Les formes et types d'érosion du sol par l'eau en A.O.F.* — C. R. Acad. Agr. Paris.
- FOX (C. S.) 1932. — *Bauxite and Aluminious Laterite.* — Londres, 2° édit., 80 p.
- FOX (C. S.) 1933. — *Laterite and Lateritic Soils.* — The Indian Forester, p. 630-635.
- FOX (C. S.) 1936. — *The dissolubility of quartz.* — Geol. Survey of India, vol. LXIX, p. 4.
- FOX (C. S.) 1936. — *Buchanan's laterite of Malabar and Kanera.* — Geol. Survey of India, p. 389-422.

- FRIPIAT (J. J.) et GASTUCHE (M. C.) 1952. — *Etude physico-chimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de fer trivalent.* — Publ. INEAC. — Serv. Scient. n° 54.
- FRIPIAT (J. J.) 1953. — *Quelques caractéristiques thermiques des complexes synthétiques kaolinite/oxyde de fer trivalent.* — Ac. Royale Belge, XXXIX, p. 890.
- FRIPIAT (J. J.), GASTUCHE (M. C.) et COUVREUR (J.) 1954. — Léopoldville, C. R. 5° 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. — Léopoldville, 5° 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.) 1954. — *Estimation quantitative du contenu en kaolinite, illite et montmorillonite dans les sols.* — 5° Conf. Int. Soils, Léopoldville, T. II, p. 1325.
- FURON (R.) 1936. — *Le gisement de fer de Conakry (Guinée Française).* — Rev. Gén. Sc. Paris, n° 12, p. 355.
- FURON (R.) 1943. — *Géologie de la Guinée Française.* — Bur. Et. Géol. Mines Col. Paris, n° 19, 47 p.
- FURON (R.) 1950. — *Géologie de l'Afrique.* — Ed. Payot, 350 p., 34 fig.
- GASTUCHE (M. C.), DELVIGNE (J.) et FRIPIAT (J. J.) 1954. — *Altération chimique des kaolinites.* — C. R. 5° Cong. Int. Sc. Sol. Léopoldville, II, 26, 19 p.
- GAUTHIER (E. F.) 1932. — *Remarque sur la morphologie du Fouta-Djallon.* — Bull. Ass. Géog. Fr., p. 83-87.
- GÉE (J. C. de) 1950. — *Preliminary oxidation potential determination in a «Sawah» profil near Bogor (Java).* C. R. 4° Cong. Int. Sc. Sol, Vol. I, p. 300-303.
- GLANGEAUD (J.) 1941. — *Evolution des minéraux résiduels et notamment du quartz dans les sols autochtones en Afrique occidentale Fr.* — C. R. Ac. Sc. Paris, t. 212, p. 862-864.
- GLENN (H.) 1950. — *Biological oxidation of iron in soil.* — Nature, 4229, p. 871-72.
- GOLDSZTAUB (S.) 1935. — *Etude de quelques dérivés de l'oxyde ferrique; détermination de leur structure.* — Bull. Soc. Fr. Minéral. Janv.-Févr., p. 6-76, fig. 19.
- GOLOUBINOW (R.) 1938. — *Les bauxites de Tougué.* — Bull. Serv. Mines A.O.F., n° 1, p. 77-80.
- GOLOUBINOW (R.) — *Notice explicative et carte géologique au 1/500.000° 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.
- GRENE (H.) 1945. — *Classification and use of tropical soils.* — Proc. Soil Sc. Soc. America, vol. 10, p. 392-396.
- GREENE (H.) 1947. — *Soil formation and water movement in the Tropics.* — Soils and Fertilizers, vol. 10, p. 253-256.
- GREENE (H.) 1950. — *So called irreversible laterization.* — Trans. IVth Int. Cong. Soil Sc., t. 2, p. 175-177.
- GRIM (R. E.) 1954. — *Clay mineralogy.* — Mc Graw Hill, New-York.
- HALLAIRE (M.) 1953. — *La diffusion capillaire de l'eau dans le sol.* — Ann. Agr. Paris, Série A, n° 2.
- HALLAIRE (M.) 1956. — *La diffusion de l'eau dans le sol sous les deux formes, liquide et vapeur, au voisinage de la surface d'évaporation.* — C. R. 8° Cong. Int. Sc. Sol, Paris I, p. 337-44.
- HANISSET (F.) et WAEGEMANS (G.) 1949. — *Solubilisation des sesquioxides de fer libres du sol.* — C. R. Ac. Sc. Paris, CCXXIX, p. 1168-70.
- HARDY (F.) 1931. — *Studies on tropical soils. Identification and approximate estimation of sesquioxide components by adsorption of alizarine.* — J. Agr. Sc. 21, p. 150-66.
- HARDY (F.) et FOLLET SMITH (R. R.) 1931. — *Studies in Tropical soils.* — II. 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.) 1930. — *Böden der tropischen Region Laterit und Allitischer (Lateritischer) Rotleum.* — E. Blanck's Handbuch. Bodenlehre, Berlin, vol. II, p. 362-436.
- HARRISON (J. B.) 1933. — *The Katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions.* — Imp. Bur. Soil, Sc. F. Hardit edit., 79 p.
- HEINZELIN (J. de) 1952. — *Sols Paléosols et Désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du Bassin du Congo.* — I.N.E.A.C., 168 p.

- HENIN (S.) et GODARD (M.) 1944. — *Relation entre l'évaporation, la température et l'indice d'aridité.* — C. R. Ac. Sc. 219, p. 559.
- HENIN (S.) et TURC (L.) 1945. — *Comparaison entre diverses formules reliant l'écoulement et les précipitations.* — C. R. Ac. Sc. 221, p. 760.
- HENIN (S.) 1945. — *Précipitations et déficit d'écoulement.* — Ass. Fr. Avancement Sci. Mémoires S.H.F. 1948, vol. I, p. 9-11.
- HENIN (S.) 1947. — *La formation des argiles et la pédologie.* — C. R. Conf. Pédo. Mediter, p. 97-108.
- HENIN (S.) et LE BORGNE (E.) 1954. — *Sur les propriétés magnétiques des sols et leurs interprétations.* — C. R. Séan. 5^e Cong. Int. Sc. Sol, Léopoldville, vol. II.
- HOGART (R.) et LAPPARENT (J. DE) 1939. — *Le léverrière des formations latéritiques de l'A.O.F.* — C. R. Ac. Sc., t. 208, p. 1465-1467.
- HOLLAND (Th.) 1903. — *On the constitution, origin and deshydratation of laterite.* — Géol. Mag. VI, n° 10, p. 59-69.
- HOYOS (A.) et ALIAS (L.) 1956. — *Contribution à l'étude des concrétions latéritiques de la Guinée Continentale Espagnole.* — C. R. 6^e Cong. Int. Sc. Sol, Paris, Vol. F, V, p. 62.
- HUBERT (H.) 1914. — *Les coulées diabasiques de l'A.O.F.* — C. R. Ac. Sc. Paris, 159, n° 26, p. 1007-9.
- HUBERT (H.) 1917. — *Les diabases du Fouta-Dallon et leurs phénomènes de contact.* — C. R. Ac. Sc. Paris, 169, p. 434-437.
- HUBERT (H.) 1939. — *L'interprétation de la nature lithologique du sous-sol en A.O.F. par l'examen sur le terrain des formations latéritiques.* — Bur. Etud. Géol. Mines Col. Paris, n° 12, p. 39-57.
- HUMBERT (H.) 1948. — *The genesis of laterite.* — Soil Sc. 65, p. 281-90.
- IMPERIAL BUREAU OF SOIL SCIENCE, 1932. — *Laterite and Laterite Soils.* — London, Comm. Techn., n° 24.
- JACQUES FÉLIX (H.) 1947. — *La vie et la mort du Lac Tchad.* — Bull. Agr. S.T.A.T., n° 3.
- JACQUES FÉLIX (H.) et BETREMIEUX (R.) 1948. — *Etude de quelques sols tropicaux.* — Bull. Agro. Congo Belge, vol. 15, n° 1, p. 171-193.
- JEFFRIES (C. P.) 1941. — *A method for preparing soil for petrographic analysis.* — Soil Sc. 11, p. 431-435.
- JENNY (H.) 1941. — *Factors of soil formation.* — Mc Graw Hill, New-York, 281 p.
- JENNY (H.), GESSEL (S. P.) et BINGHAM (F. T.) 1949. — *Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions.* — J. Soil. Sc. LXVIII, p. 419-32.
- JEREMINE (E.) 1936. — *Notes sur quelques dolérites de Guinée.* — Bull. Soc. Min. Fr., p. 392-395.
- JODOT (P.) 1933. — *Etude de quelques roches latéritiques de la vallée du Niger.* — Bull. Soc. Géol. Fr., III, 5^e série, p. 619-658.
- JOFFRE (J. S.) 1941. — *Pedology.* — 2nd Edit., 662 p. Rutgers Union Press. New-Brunswick - N.-Jersey.
- JULIAN (Ed.) 1938. — *Les mines en Guinée Française.* — N-S - Casablanca, n° 33, 3 p.
- KELLEY (W. D.) 1943. — *Mattson's papers on «the law of soil colloidal behaviour».* — Soil Sc. 56, p. 443-456.
- KELLOG (Ch. E.) 1949. — *Preliminary suggestions for the classification and nomenclature of great soil group in tropical and equatorial regions.* — Com. Bur. Soil Sc. Tech. comm., n° 46, p. 76-85.
- KELLOG (Ch. E.) et DAVOL (F. D.) 1949. — *An exploratory study of soil group in the Belgian Congo.* — I.N.E.A.C. Série Sc., n° 46, 73 p.
- KELLOG (Ch. E.) 1950. — *Tropical Soils.* — C. R. 4^e Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 266-276.
- KEMMER (G. H.) et PENDLETON (R. L.) 1944. — *The nature and relationships of laterite and earthy iron ores and their parent ultramafic rock.* — J. Amer. Soc. Agr. 36, 1025.
- KILLIAN (C.) et SCHNELL (R.) 1947. — *Observations sur les formations végétales et les sols humifères correspondants des Monts Benna et du Fouta-Djallon (Guinée Fr.).* — C. R. Conf. Pédo. Médit., p. 356-357.
- KOUTLER-ANDERSON et MATTSON (S.) 1942. — *The laws of Soil Colloidal Behavior.* — Ann. Agr. Coll. Sweden, 10, p. 241-57.
- KUBIENA (W. L.) VON, 1939. — *Micropedology.* — Ann. Iowa - U.S.A. Collegiate Press, 243 p.
- KUBIENA (W. L.) VON, 1950. — *Zur Mikromorphologie der braunen und roten Tropenerden.* — 4^e Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 304-307.
- KUBIENA (W. L.) VON, 1956. — *Rubefizierung und Laterisierung (zu ihrer Unterscheidung durch mikromorphologische Merkmale).* — C. R. 8^e Cong. Int. Sc. Sol, Paris, V, 39, p. 253.
- KULP et TRITES, 1951. — *Differential thermal analysis of natural hydrous ferric oxides.* — Ann. Mineral. 36, p. 23-44.
- KUNIN (R.) 1943. — *Determination of iron in soils and silicates by mercurous nitrate method.* — Soil Sc. 55, p. 457.

- LACROIX (A.) 1905. — *Les syénites néphéliniques des Iles de Loos (Guinée Française)*. — C. R. Ac. Sc. Paris, p. 948-8.
- LACROIX (A.) 1913. — *Les latérites de la Guinée Française et les produits d'altération qui leur sont associés*. — Nouv. Arch. Mus. Hist. Natu. 5^e série, p. 255-356.
- LACROIX (A.) 1914. — *Les produits d'altération des roches silicatées alumineuses et en particulier les latérites de Madagascar*. — C. R. Acad. Sc. Paris, CLIX, p. 617-22.
- LACROIX (A.) 1934. — *Les phénomènes d'altération superficielle des roches silicatées alumineuses des pays tropicaux*. — Bur. Et. Géol. Min. Colo., n^o 2, p. 19-47.
- LAMOTTE (M.), LECLERC (J. C.) et RICHARD-MOLLARD (J.) 1949. — *Niveaux et Cycles d'érosion dans le massif du Nimba (Haute-Guinée Française)*. — C. R. Ac. Sc. Paris, t. 228, p. 1510-12.
- LAMOTTE (M.) et ROUGERIE (G.) 1953. — *Les cuirasses ferrugineuses allochtones. Signification paléoclimatique et rapport avec la végétation*. — C. R. Réunion African. W. Abidjan, p. 89-90.
- LAPLANTE (A.) 1954. — *Les sols rouges latéritiques formés sur les basaltes anciens au Cameroun*. — 5^e Cong. Int. Sc. Sol, Léopoldville, V, 26, 4 p.
- LAPPARENT (J. DE) 1930. — *Les bauxites de la France Méridionale*. — Mém. Serv. Cart. Géol. France, 187 p.
- LAPPARENT (J. DE) 1930. — *Les minerais des bauxites françaises*. — Bull. Soc. Franç. Mines, t. 53, n^o 1-6, p. 255-73.
- LAPPARENT (J. DE) 1939. — *La décomposition latéritique du granite dans la région de Macenta (Guinée Française). L'arénisation pré-tropicale et prédésertique en A.O.F.* — C. R. Ac. Sc. Paris, 208, p. 1767 à 1769 et 209, p. 7.
- LAUDELOUT (H.) et DUBOIS (H.) 1951. — *Microbiologie des sols latéritiques de l'Uélé*. — I.N.E.A.C., série Sc., n^o 50, 36 p.
- LAUDELOUT (H.), D'HOORE (J.) et FRIPIAT (J. J.) 1953. — *Influence des microorganismes sur certaines propriétés physico-chimiques des sols de Yangambi*. — Bull. Agr. Congo Belge, XV, I, p. 339-54.
- LAUDELOUT (H.) et MEYER (J.) 1954. — *Les cycles d'éléments minéraux et de la matière organique en forêt équatoriale Congo*.
- LEGOUX (P.) 1939. — *Esquisse géologique de l'A.O.F.* — Bull. Serv. Mines A.O.F. Dakar, n^o 4. lise. — Léopoldville, 5^e Cong. Int. Sc. Sol, I, 3, 5 p.
- LEMOINE (P.) 1908. — *La latéritisation et ses rapports avec la genèse de quelques minerais d'alumine, de fer et de certains gîtes aurifères*. — Bull. Ind. Minier, 37 p.
- LOMBARD (J.) 1934. — *Remarques sur la structure des latérites en Oubangui-Charl*. — Chron. Mines Col. Paris, n^o 30, 1-8, p. 288-289.
- LOMBARD (J.) 1937. — *Les altérations superficielles en Afrique Equatoriale Française*. Chron. Mines Col. Paris, n^o 60, p. 168-71. Conf. Museum Hist. Nat. 21/4/37, p. 58-74.
- LOSSAINT (P.) 1956. — *Résultats expérimentaux sur le rôle des litières forestières dans la solubilisation du fer*. — C. R. C.I.S.S. Paris, Comm. II.
- MAC EVAN (D. M. C.) 1949. — *Some notes on the recording and interpretation of X Ray diagrams of soil clay*. — Jl. Soil Sc. I, 1, p. 90-103.
- MAC KENSIE (R. C.) 1949. — *Nature of free iron oxides in soil clays*. — Nature, CLXIX, 4161, p. 244.
- MAC LAREN (M.) 1906. — *On the origin of certain laterites*. — Geol. Mag. V, n^o 3, p. 536-47.
- MAIGNIEN (R.) et VEROT (P.) 1950. — *Les sols de vallées de Haute-Guinée*. — Rapport Orstom, n^o 33.
- MAIGNIEN (R.) 1956. — *C. R. Tournées en Guinée Française. — 1950-56: Rapport Annuel*. — Orstom.
- MAIGNIEN (R.) 1953. — *Etudes Pédologiques en Guinée Française*. — Ann. IFAC, n^o 5, 48 p.
- MAIGNIEN (R.) 1954. — *Différents Processus de cuirassement en A.O.F.* — II^e Conf. Afric. Sols. — Léopoldville, n^o 116, p. 1468-86.
- MAIGNIEN (R.) 1954. — *Formation de cuirasses de plateaux, région de Labé, Guinée Française*. — 5^e Cong. Int. Sc. Sol. — Léopoldville, V 1, p. 13.
- MAIGNIEN (R.) 1954. — *Cuirassement en sols de plaine-Ballay (Guinée Française)*. — 5^e Cong. Int. Sc. Sol. — Léopoldville VII, p. 19.
- MAIGNIEN (R.) 1956. — *De l'importance du lessivage oblique dans le cuirassement des sols en A.O.F.* — 6^e Cong. Int. Sc. Sol, Paris V, 76, p. 463.
- MARBUT (C. F.) 1923. — *Sols of Africa*. — Amer. Geogr. Soc. Res. Série n^o 13, p. 115-21.
- MARBUT (C. F.) 1932. — *Morphology of Laterites*. — C. R. 2^e Cong. Int. Sc. Sol, Moscou, 1930, 5, p. 72-80.
- MARSHALL (C. E.) 1949. — *The colloid chemistry of the silicate minerals*. — Acad. Press Inco. New-York, 195 p.

- MARSHALL (C. E.) 1950. — *The electrochemistry of the clay minerals in relations to pedology.* — Trans. 4th, Int. Cong. Sc. Sol, I, p. 71-82.
- MARTIN (F. J.) et DOYNE (H. C.) 1930. — *Notes on west Africteritic soils in Sierra Leone.* — J. Agric. Sc., 17, p. 530-47 et 20, p. 135-43.
- MARTIN (F. J.) et DOYNE (H. C.) 1930. — *Notes on esset African Soils quoted in laterite and laterite soils.* — Imp. Bur. Soil Sc. Tech. Comm. n° 24, 24 p.
- MARTONNE (EM DE) 1935. — *Traité de Géographte Physique.* — Armand Collin, 5° Edit., 3 vol., 496 p.
- MARVIER (L.) 1953. — *Notice explicative de la carte géologique d'ensemble de l'A.O.F.* — Bull. Dir. Mines A.O.F. Dakar n° 16.
- MASSON (H.) 1949. — *La température du sol au cours d'un feu de brousse au Sénégal.* — Bull. Agro. Congo Belge, XL, 2 p., 1933.
- MATTSON (S.). — *The laws of sol colloidal 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 GUSTAFSON (Y.) 1937. — *Laws of soil colloidal behavior.* — Ann. Agr. Coll. Sweden Uppsala, 4, p. 1-54.
- MERILL (G. P.) 1897. — *A treatize on rocks, rock weathering and soils.* — The Mac Millan, New-York, 411 p.
- MERWE (C. R. VAN DER) 1935. — *Grey ferruginous lateritic soils.* — 3° Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 303-306.
- MERWE (C. R. VAN DER) 1950. — *Ground water lateritic soils.* — 4° Cong. Int. Sc. Sol V, II, p. 172-174.
- MERW (C. R. VAN DER) et HEYSTER (H.) — 1952. — *Clays minerals of South African.* — *Soils groups laterites and related soils.* — Soil Sc. LXXIV, p. 3881401.
- MEULENBERGH (J.) 1947. — *L'Afrique Centrale, terre qui se régénère.* — C. R. Conf. Péd. Médit.
- MILLOT (G.) 1949. — *Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentatres argileuses.* — Ext. Géol. Appli. Prosp. Min. t. II, n° 2, 3, 4, 352 p.
- MILLOT (G.) 1950. — *Comparaison des indications de la pédologie et de la géologie au sujet de la genèse des minéraux argileux.* — 4° Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 37-40.
- MILLOT (G.) et BONIFAS (M.) 1955. — *Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de latérisation et bauxitisation.* — Bull. Serv. Carte Géol. Alsace-Lorraine, T. 8, fasc. I.
- MILNE (G.) 1935. — *Some suggested units of classification and mapping particulary for East African Soils.* — Soil Res. 4, p. 183-98.
- MILNE (G.) 1937. — *Composite units for the mapping of complex soil associations.* — 3° Cong. Int. Sc. Sol, I, p. 345-347.
- MOHR (E. C. J.) 1930. — *Tropical soils farming processes and the development of Tropical soils.* — Trans. by Pendleton. Coll. Agric. Philippines.
- MOHR (E. C. J.) 1932. — *Soils of Equatorial regions.* — Edward Brothers Inc. Ed.
- MOHR (E. C. J.) et BAREN (F. A. VAN) 1954. — *Tropical Soils.* — Interscience Publishers, London, 498 p.
- MORRISON (C. G. T.) 1949. — *The catena concept and the classification of tropical soils.* — Bur. Soil Sc. Tech. Comm. n° 46, p. 124-128.
- MORROW-CAMPBELL (J.) 1917. — *Laterite, its origin, structure and minerals.* — Mineral magaz. n° 17.
- MORTELMANS (G.) 1946. — *Préhistoire et Quaternaire du Sud du Bassin du Congo.* — Session extraordinaire des Sociétés Belges de Géologie, Bruxelles.
- NAGELSCHMIDT (G.) 1944. — *The mineralogy of soil colloids.* — Imp. Bur. Soil Sc. Tech. Comm, n° 42.
- NIKIFOROFF (C. C.) 1935. — *Weathering and soil formation.* — 3° Cong. Int. Sc. Sol, vol. I, p. 324-326.
- OBERMULLER (A.) 1941. — *Description pétrographique et Etudes géologiques de la région forestière de la Guinée Française.* — Bull. Serv. Mines, Dakar, n° 5.
- ORCEL (J.) 1935. — *L'emploi de l'analyse thermique différentielle dans la détermination des constituants, des argilles, des latérites et bauxites.* — C. R. Cong. Int. Min. Métal. Géol. Appl., Paris, p. 359-73.
- PALLISTER (J. W.) 1952. — *Erosion levels and laterite in Buganda Province (Uganda).* — C. R. Cong. Géol. Int. Alger.
- PRELISIER (P.) et ROUGERIE (G.) 1953. — *Problèmes morphologiques dans le bassin de Siquiri Haut-Niger.* — Bull. IFAN. Dakar, t. XV, n° 1, 47 p.
- PENDLETON (R. L.) 1936. — *On the use of the term laterite.* — American Soil Survey. Ass. Bull. 17, p. 102-108.
- PENDLETON (R. L.) et SHARASUVANA 1942. — *Analysis and profills notes of some laterite soils and soils with iron concretions of Thailand.* — Soil Sc. 54, n° 1, p. 1-25.

- PENDLETON (R. L.) 1942. — *The classification and mapping of tropical soils.* — Comm. Bur. Soil Sc. — Tech. Comm. 46, p. 93-97.
- PENDLETON (R. L.) 1943. — *What is laterite.* — Farm and Forest 4, 12, p. 177-202.
- PENDLETON (R. L.) 1942. — *The classification and mapping of siamese laterites.* — Soil Sc. n° 62, p. 423-40.
- PENMAN (H. L.) 1950. — *Recent Rothhamsted studies in natural evaporation.* — Landbomokundig, Tijdschrift 62, n° 3, p. 166-78.
- PERNET (R.) 1954. — *Influence des divers peuplements de reboisement sur la régénération des sols à Madagascar.* — Léopoldville, 2° Conf. Afric. Sols, n° 86.
- POLYNOV (B. B.) 1937. — *The cycle of weathering.* — London Ann. Mines.
- PORTERES (R.) 1952. — *Les successions linéaires dans les agricultures primitives de l'Afrique et leur signification.* — Sols Afric. II, I, p. 14.
- POUQUET (J.) 1954. — *Altération de dolérite de la Presqu'île du Cap Vert (Sénégal) et du plateau de Labé (Fouta-Djallon).* — Bull. Ass. Géog. Fr. n° 245-246, p. 173-182.
- PRESCOTT (J. A.) et PENDLETON (R. L.) 1952. — *Laterites and lateritic soils.* — Comm. Bur. Soil Sc. Tech. Comm. n° 47, 51 p.
- PRESCOTT (J. A.) 1930. — *Laterite and lateritic soils, 1930.* Nature, p. 724-725.
- REFORMATSKY (N.) 1935. — *Quelques notes sur les latérites et les roches ferrugineuses de l'ouest de la Colonie du Niger français.* — Bull. Soc. Geol. France, V, p. 575-90.
- RIQUIER (J.) 1951. — *Essai de classification des sols latéritiques de Madagascar selon la topographie.* — Mém. Inst. Sc. Madagascar, fasc. I, p. 113-26.
- RIQUIER (J.) 1954. — *Formation d'une cuirasse ferrugineuse et manganifère en région latéritique.* — C. R. 5° Cong. Int. Sc. Sol — Léopoldville.
- RIQUIER (J.) 1956. — *Les sols sur alluvions récentes et anciennes du Lac Alaotra - Madagascar.* — C. R. 5° Cong. Int. Sc. Sol, V, 541.
- ROBINSON (G. W.) 1922. — *Laterite and laterite soils.* — Imp. Bud. Soil Sc. Tech. Comm. n° 24, 30 p.
- ROBINSON (G. W.) 1949. — *Soils, their origin, constitution and classification.* — Lardon, 3° édité. Thomas Marby and Co, Ed. - 573 p.
- ROQUES (M.) 1948. — *Le Précambrien de l'Afrique Occidentale française.* — Bull. Soc. Géol. France, 5° série, t. XVIII, p. 589-628.
- ROUCHET (M. J. DU), HENIN (S.), ROBICHEZ (O.) — *Altération expérimentale d'un schiste, comparaison avec un granite.* — C. R. Ac. Sc. 30. 11. 53, p. 1437.
- ROUGERIE (G.) et LAMOTTE (M.) 1953. — *Niveau d'érosion et surface d'aplanissement de la dorsale Guinée.* — C. R. 5° Réun. Afr. W, Abidjan, p. 91.
- RUBE (R. J.) 1954. — *Erosion Surfaces of report of Central African interior high plateaux.* — I.N.E.A.C., Serv. Sc. n° 59.
- SABOT (J.) 1952. — *Les latérites.* — Comm. Cong. Int. Geol. Alger, p. 181.
- SCAETTA (H.) 1938. — *Rôle des cuirasses latéritiques dans l'évolution ultérieure des sols sous-jacents.* — C. R. Soc. Biogéog. t. 15, n° 126, p. 26-27.
- SCAETTA (H.) 1938. — *Sur la genèse et l'évolution des cuirasses latéritiques.* — C. R. Soc. Biogéog., t. 15, n° 125, p. 14-18.
- SCAETTA (H.) 1938. — *Les cuirasses sub-aériennes.* — C. R. Soc. Biogéog., t. 15, n° 126, p. 289.
- SCAETTA (H.) 1939. — *Les types climatiques de l'A.O.F. Leurs rapports avec l'évolution du sol tropical.* — La météorologie, 3° série, n° 19, p. 39-48.
- SCAETTA (H.) 1941. — *Rôle de la forêt humide en Côte d'Ivoire dans la captation des poussières atmosphériques et la reconstitution des colloïdes argileux du sol.* — C. R. Ac. t. 212, p. 273-276.
- SCAETTA (H.) 1939. — *Sur un phénomène d'expurgation oblique du sol tropical en Afrique occidentale.* — C. R. Ac. Sc. Paris, t. 208, p. 912-914.
- SCAETTA (H.) 1940. — *Observations sur l'origine et la constitution des sols de l'A.O.F.* — Ann. Agr. t. 10, n° 1, p. 101-126.
- SCAETTA (H.) 1941. — *Limites boréales de la latéritisation actuelle en Afrique Occidentale.* — C. R. Ac. Sc. Paris, 212, p. 129-130.
- SCAETTA (H.) 1941. — *Evolution des sols et de la végétation dans la zone des Latérites en Afrique Occidentale.* — C. R. Ac. Sc. Paris, t. 212, p. 169-171.
- SCAETTA (H.) 1941. — *Sur la régénération des oolites intertropicales. Principes nouveaux sur la reconstitution minérale des sols des pays chauds.* — C. R. Ac. Sc. T. 212, p. 445-447.

- SCHAUFFELBERGER (P.) 1953. — *Was ist Laterit.* — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 3, 47-52.
- SCHMELEN (L. A.) 1928. — *A method of determining free Al oxyde in silicate mixtures and its application to the study of clays.* — *Trans. Ceram. Res. Inst. Moscou*, 14, p. 1-24.
- SCHNELL (R.) 1948. — *Observation sur l'instabilité de certaines forêts de la Haute-Guinée en rapport avec le modelé et la nature du sol.* — *Conf. Afric. Sol. Goma*, n° 37, p. 671-676.
- SCHNELL (R.) 1949. — *Végétation et Flore des Monts Nimba.* — Paris, thèse.
- SCHUYLENBORGH (J. VAN) et SANGER (A. M. H.) 1949. — *The electrokinetic behaviour of iron and aluminium hydroxides and oxides.* — *Rec. Trav. Chim., Pays-Bas*, 68, p. 999-1010.
- SCHUYLENBORGH (J. VAN) 1950. — *The electrokinetic behaviour of the sesquioxides hydrates and its bearing on the genesis of clay mineral.* — *C. R. 4° Cong. Int. Sc. Sol*, 1, p. 89-92.
- SCHUYLENBORGH (J. VAN) et SANGER (A. M. H.) 1950. — *On the origin of clay minerals in the soils.* — *Landbouwk - Tijdschn.*, 62, 347-358.
- SCRIVENOR (J.B.) 1930. — *Laterite.* — *Geol. Mag.*, vol. 57, p. 24-28.
- SEGALEN (P.) 1957. — *Etude des sols dérivés des roches volcaniques basiques de Madagascar.* — Thèse Paris - Orstom.
- SENSTIUS (N. W.) 1931. — *Latérites und polar migration gerlands beitrug zur geophysic.* — *Koppen Band I*, n° 32, p. 134-140.
- SHERMAN (H. D.) 1950. — *Hawaiian ferruginous laterite crusts.* — *Pacific Sc.* n° 4, p. 314-322.
- STEPHENS (C. G.) 1949. — *A review of recent works on Australian tropical and subtropical soils.*
- STREMMER (H.) 1915. — *Laterite und Terra Rossa als Alluvials-Horizonte humoser Waldboden.* — *Geol. Rundschau*, n° 5, p. 480-94.
- SUDRES (J.) 1947. — *La dégradation des sols du Fouta-Djallon.* — *Agron. Trop.*, Mai-Juin.
- TESSIER (F.) 1950. — *Agés des phosphates et des latéritoïdes phosphatés de l'Ouest du plateau de Thiès (Sénégal).* — *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 230, p. 981-983.
- TESSIER (F.) 1952. — *Contribution à la stratigraphie de la Partie W du Sénégal.* — *Bull. Dir. Mines A.O.F., Dakar*, n° 14.
- TESSIER (F.) 1954. — *Oolithes ferrugineuses et fausses latérites dans l'Est de l'A.O.F.* — *Ann. Inst. Hautes Et. Dakar*, t. I, 16 p.
- TRATCHENKO, 1936. — *Remarques sur les processus de latéritisation en terres grises.* — *Bull. Econ. Indoch. Hanoi, mars-avril*, p. 167-182.
- TOUCHEBEUF (de), LUSSIGNY (P.) et RODIER (J.) 1952. — *Etude de l'évaporation sur les surfaces d'eau libre en Afrique Noire Française.* — *Ann. Hydro. F.O.M.*, 1954, p. 11-28.
- TRICARD (J.) 1956. — *Un nouvel instrument au Service de l'agronome. Les cartes géomorphologiques.* — *Sols africains*, vol. 4, n° 1, p. 87-101.
- TROCHAIN (J.) 1941. — *Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal.* — *Ann. IFAN*, n° 2, Dakar.
- TURC (L.) 1955. — *Le bilan d'eau des sols.* — *Ann. Agro. Série A*, n° 1, p. 5-131.
- URBAIN (P.) 1937. — *Introduction à l'étude pétrographique et géochimique des roches argileuses.* — *Actualité Sc. Ind.* 499, Hermann, Paris, 61 p.
- VAGELER (P.) 1938. — *Die Entstehung des Laterits.* — *Mitt. d. Deutsch. Landw. Gesellsch.*
- VAGELER (P.) 1938. — *Grundriss der Tropischen und Subtropischen Bodenkunde.* — 2° Edit., Berlin, 252 p.
- VINE (H.) 1949. — *Nigerian soils in relations to parent materials.* — *Comm. Bur. Sol Sc. Tech. Comm.* n° 42, p. 22-29.
- VINE (H.) 1954. — *Latosols of Nigeria and some related soils.* — *Léopoldville*, 5° Cong. Int. Sc. Sol, n° 16, 14 p.
- WÆGEMANS (G.) 1949. — *Latérisation et Latérites.* — *Centre Col. Doc. et Cong. Rech. Chim., Bruxelles.*
- WÆGEMANS (G.) et VANDERSTAPPEN (R.) 1950. — *Anthogenèse, altération des minéraux argileux et latéritisation dans les régions intertropicales.* — *C. R. 4° Cong. Int. Sc. Sol*, vol. III, p. 145-149.
- WÆGEMANS (G.) 1950. — *La latérisation.* — III, Cong. Nat. Sc. Bruxelles.
- WÆGEMANS (G.) 1951. — *Introduction à l'étude de la latérisation et des latérites du Centre Africain.* — *Bull. Agr. Congo Belge*, n° 42, p. 13-56.
- WÆGEMANS (G.) 1951. — *Latérites et bauxites.* — *Bull. Agr. Congo Belge*, n° 1, 8 p.
- WÆGEMANS (G.) 1952. — *Latérites pisolithiques et scoriacées.* — *Bull. Agr. Congo Belge*, n° 2, 16 p.
- WÆGEMANS (G.) 1954. — *Les latérites de Gimbi (Bas-Congo).* — *L.N.E.A.C.* — série Sc., n° 60, 27 p.
- WÆGEMANS (G.) et HENRY (S.). — *La couleur des latosols en relation avec leurs oxydes de fer.* — *C. R. 5° Cong. Int. Sc. Sol*, II, 21, 5 p.
- WEISSER (G. DE) 1952. — *Notes sur quelques types de latérites de la Guinée Portugaise.* — *Cong. Int. Géol.*, Alger, p. 171.
- WEISSER (H. B.) et MILLIGAN (N. D.). — *X ray studies on the hydrous oxides III.* — *Jl. Phys. Chem.* 38, pl. 1175-1182.
- WESMAREL (J. C. VAN) et LEHR (J. J.) 1954. — *The influence of salts on the solubility of phosphate in iron rich soils.* — *Léopoldville*, 5° Cong. Int. Sc. Sol. II, 4, 7 p.

Achévé d'imprimer
sur les presses de l'Imprimerie de l'Université
16, rue du Maréchal-Joffre à Strasbourg
Juillet 1959

Dépôt légal
1959, 3^e trimestre

N^o de série:
Imprimeur 80