

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA SÉQUENCE SOLS FERRALLITIQUES ROUGES ET FERRUGINEUX TROPICAUX BEIGES EXAMEN DE PROFILS CENTRAFRICAINS

Y. CHATELIN *

RÉSUMÉ

Sous une pluviométrie de 1 400 mm, au nord-ouest de la République Centrafricaine, s'observent des sols ferrallitiques rouges sur les sommets tabulaires formés par d'anciens aplanissements, et des sols ferrugineux tropicaux beiges sur les versants faiblement drainés. Sur les reliefs abrupts, jeunes, se différencient des sols rouges à évolution ferrallitique traduisant la tendance pédogénétique actuelle des milieux bien drainés. Les sols ferrallitiques rouges se forment par de fortes lixiviations de bases et de silice. L'altération s'effectue sans exportation de fer, et des accumulations ferrugineuses absolues de grande ampleur affectent les horizons supérieurs. Les argiles micacées, par rapport à la kaolinite, ne dépassent pas la proportion de 1 à 9, et il ne subsiste pas d'autres minéraux altérables. Dans les sols ferrugineux tropicaux beiges, des lixiviations de fer s'opèrent, grâce à des conditions partiellement réductrices, dès les horizons d'altération. Des redistributions peuvent donner des accumulations ferrugineuses, moins importantes que celles des sols rouges. Les minéraux micacés atteignent ou dépassent la proportion de 2 à 8 par rapport à la kaolinite dans les argiles, et les fractions plus grossières renferment des minéraux altérables. Les sols ferrugineux tropicaux sont issus de matériaux relativement jeunes couvrant des entailles récentes du relief, évoluant dans des conditions d'hydromorphie partielle qui favorisent la kaolinisation, interdisent la formation d'alumine libre et facilitent l'exportation du fer.

ABSTRACT

In the north-western part of the Central African Republic, which has a rainfall of 1 400 mm, some red Ferrallitic soils are to be found on the tabular summits coming from old erosional surfaces, and some yellowish-brown Ferruginous Tropical soils on the slightly drained valley-sides. On steep young reliefs differentiate some red soils with a ferrallitic evolution expressing the present pedogenetic tendency of the well drained

* Maître de Recherches Principal - Centre de Bangui.

media. Red Ferrallitic soils result from strong lixiviations of bases and silica. The weathering is made without leaching of iron and some abundant ferruginous absolute accumulations are located in the upper horizons. Compared with the kaolin, the micaced clays do not go beyond the proportion of one to nine and it does not remain any other weatherable minerals. In the yellowish-brown Ferruginous Tropical soils some iron leaching take place already in the horizon of weathering, owing to partially reducing conditions. New repartitions can give some less important ferruginous accumulations than those of the red soils. With respect to the kaolin in the clays, the micaced minerals reach or go beyond the proportion of two to eight and the coarser parts contain weatherable minerals. The Ferruginous Tropical soils come from fairly young materials covering recent parts of the relief altering in condition of partial hydromorphy which favour the kaolinisation, prevent the formation of free alumina, and promote the removal of iron.

1 - INTRODUCTION

LE PROBLÈME DE LA DIFFÉRENCIATION DES SOLS ROUGES FERRALLITIQUES ET DES SOLS BEIGES FERRUGINEUX TROPICAUX

En Afrique Occidentale et Centrale, sous climat tropical à saisons alternantes sèches et humides très contrastées, des associations de sols rouges et de sols beiges sont fréquemment observées. Les principales études de ces sols sont dues à MAIGNIEN (1960, 1961), FAUCK (1963, 1964), BOCQUIER et CLAISSE (1963), TOBIAS (1965), SEGALÉN (1967), BOULVERT (1968). L'examen des cartes pédologiques de ces régions d'Afrique montre une grande extension de ces sols.

Pour les auteurs qui viennent d'être mentionnés, les sols rouges sont définis comme ferrallitiques, les sols beiges comme ferrugineux tropicaux. Le Service Pédologique Interafricain a élargi la définition des sols ferrugineux tropicaux pour la carte des sols d'Afrique (D'HOORE 1964). Les sols étudiés ici sont ceux désignés suivant l'acceptation primitive du terme.

Dans la séquence classique, décrite principalement par MAIGNIEN en Afrique Occidentale, puis par BOULVERT en République Centrafricaine, les sols rouges sont distribués sur les parties hautes du paysage, les sols beiges sur des glacis ou versants à pente faible aboutissant au niveau du réseau hydrographique ou des zones d'inondation.

Le processus fondamental de formation des sols rouges, la ferrallitisation, est reconnu sans ambiguïté : les néoformations sont kaolinitiques et parfois gibbsitiques, avec pour corollaire un rapport silice/alumine qui n'excède pas 2, les taux de fer maintenu dans les sols sont élevés. Dans les sols ferrugineux tropicaux, le silicate dominant est la kaolinite, mais la présence d'argiles micacées jointe à l'absence de toute alumine libre élève significativement le rapport silice/alumine au-dessus de 2. La dynamique du fer y paraît également se différencier, par une plus grande mobilité, de celle manifestée dans les sols rouges. Dans l'interprétation de la genèse des sols beiges, SEGALÉN et BOULVERT accordent une importance essentielle à la nature assez quartzeuse du matériau originel et aux processus d'hydromorphie.

L'extension géographique des séquences de sols rouges et beiges correspond en majeure partie à celle de matériaux détritiques attribués au Continental Terminal. Ces matériaux, qui ont trouvé leur composition minéralogique actuelle principalement lors de phases pédogénétiques antérieures à leur mise en place, obscurcissent la dynamique de la silice, des sesquioxydes et des bases, suivant laquelle on pourrait définir le type d'évolution des sols rouges et beiges.

Au nord-ouest du territoire centrafricain, il existe par contre de telles séquences développées sur des roches cristallines ou cristallophylliennes. Elles sont mentionnées dans les travaux de QUANTIN (1965) puis de BOULVERT. Il sera tenté ici de préciser l'évolution des éléments majeurs fournis par des roches mères riches en silicates complexes, dans chaque type de sol. Aux sols rouges et beiges, qui occupent la majeure partie du paysage, seront comparés les sols jeunes de reliefs actifs qui traduisent la tendance évolutive du milieu écologique actuel, en position de bon drainage.

2 - GÉNÉRALITÉS

Les sols étudiés proviennent de la région de Bossangoa pour laquelle BOULVERT (1968) a décrit les séquences topographiques et lithologiques qui, des sols ferrallitiques des positions hautes, conduisent aux sols ferrugineux tropicaux ou vertisols de bas de pente. Les profils qui seront décrits se localisent entre 6° 30' et 6° 45' de latitude Nord, à environ 17° 25' de longitude Est.

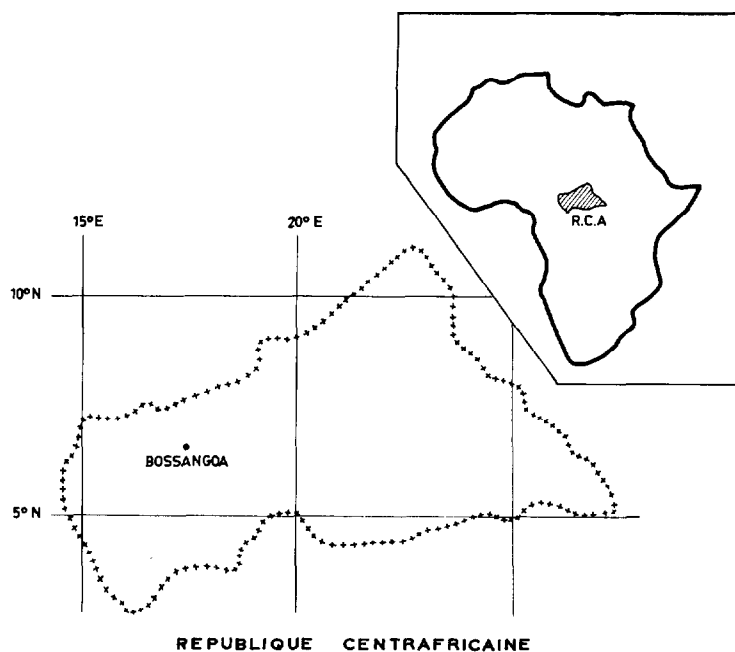


FIG. 1. — Schéma de localisation.

2.1 - LE MILIEU PÉDOGÉNÉTIQUE

2.1.1 - Données écologiques principales

Le climat de cette région appartient au type soudano-guinéen, suivant la terminologie d'AUBREVILLE (1949). Il est caractérisé par un régime typiquement tropical à deux saisons. La période des pluies dure de 7 à 8 mois, avec un maximum marqué au mois d'août. Il lui succède une saison sèche occupant le reste de

l'année, pendant laquelle s'observent les plus hautes températures et l'ensoleillement le plus intense. Le total pluviométrique annuel est de 1 400 mm, la température moyenne est de 26 °C. La plupart des petits cours d'eau conservent un faible débit en saison sèche, alors qu'à 1° plus au Nord seulement ils deviennent franchement intermittents.

La végétation est une savane arborée. Parmi les espèces fréquentes, on peut noter *Burkea africana*, *Lophira alata*, *Anogeissus leiocarpus*, *Terminalia laxiflora* et *T. glauscescens*, *Grewia mollis*, *Combretum hypopilinum*. Dans le tapis graminéen, se trouvent principalement des *Hypparhenia*, *Andropogon* et *Loudetia*. Les belles savanes arborées sont rares en raison de la densité de l'occupation humaine et de la généralisation des brûlis de saison sèche. Les feux de brousse ont favorisé l'extension des espèces les plus pyrophiles, *Hymenocardia acida*, *Annona senegalensis*, *Bridelia ferruginea*, *Sarcocephalus esculentus*. Les principales cultures sont celles du coton, de l'arachide, du manioc, et de produits vivriers secondaires, maïs, sorgho, sésame, haricots. Le système cultural traditionnel est itinérant, et pratique de longues jachères.

2.1.2 - Le cadre géomorphologique

Dans son ensemble, la région de Bossangoa qui appartient à la dorsale précambrienne comprise entre les cuvettes tchadienne et congolaise, montre un relief très adouci à pente générale vers le Nord. Malgré sa stabilité tectonique, cette portion du bouclier africain a connu plusieurs épisodes morphogénétiques qui ont laissé la marque de deux niveaux d'aplanissement et provoqué l'entaille des vallées actuelles.

Du premier cycle d'aplanissement, ne subsistent que quelques buttes-témoins, sommets parfaitement tabulaires, cuirassés, aux contours abruptement découpés. A environ 40 mètres sous ce premier niveau, s'est établie une nouvelle surface qui occupe actuellement la majeure partie du paysage : c'est la surface dite « principale » qui au niveau de Bossangoa est établie approximativement à la cote 520 m. Ce modelé di-cyclique, avec ses buttes cuirassées d'extension restreinte dominant de quelques dizaines de mètres une nouvelle surface aplanie largement étendue, est commun en Afrique Centrale (KING 1967). Ces deux surfaces portent des sols ferrallitiques rouges plus ou moins intensément cuirassés.

Entaillant la surface principale jusqu'à la cote 460 m pour les rivières principales, le réseau hydrographique a développé des vallées évasées, faites de versants ou glacis à pentes régulières assez faibles. Le drainage réduit de ces glacis détermine la formation de sols ferrugineux tropicaux. Le réseau hydrographique a une densité moyenne, nettement plus faible que celle observée sur des roches identiques en régions équatoriales plus humides. Il n'a déposé ici que des placages alluviaux négligeables. Ce n'est qu'à l'arrivée sur les matériaux de comblement de la cuvette tchadienne, plus au Nord, que les bas-fonds hydromorphes s'étalent largement.

En certains endroits subsistent de petits massifs rocheux résiduels, compris en altimétrie entre la cote des buttes-témoins les plus élevées et celle du réseau hydrographique. Ils apparaissent comme des pitons escarpés, à la surface parsemée de chaos rocheux, portant une couverture pédologique jeune, peu développée et discontinue. Au-dessus des buttes-témoins cuirassées, il n'existe plus aucun massif rocheux résiduel, preuve de la perfection du premier aplanissement de cette région.

La Notice de la carte pédologique de Bossangoa (BOULVERT 1968) décrit de façon plus détaillée ces différentes unités géomorphologiques et leur répartition.

2.1.3 - Les roches-mères

Le levé géologique de la région considérée a recensé des gneiss (parfois granitisés, ou migmatites), charnockites (granites à hypersthène), granites, amphibolites (ortho et para), micaschistes variés, quart-

zites (GÉRARD 1963). Les sols qui seront décrits ont pour origine les deux premières catégories citées, gneiss et charnockites.

Les sols rouges et beiges à étudier ont été choisis sur un ensemble de gneiss, roches assez riches en silicates et ferromagnésiens pour que le processus de ferrallitisation puisse s'y exprimer nettement, assez quartzieuses et ne possédant pas un taux de bases trop élevé pour que puissent également s'y développer des sols ferrugineux tropicaux en position basse et non des vertisols.

GÉRARD indique que les gneiss forment la masse principale des formations géologiques des environs de Bossangoa. Leur faciès le plus commun est le faciès à épidote, mais il se rencontre également un faciès à épidote et amphibole. « Les différents types de gneiss sont intimement associés, souvent imbriqués. Les coupes détaillées montrent toujours la coexistence de roches cristallophylliennes de constitution variée ». Pour cette raison, trois échantillons ont été retenus parmi ceux décrits et analysés par GÉRARD, deux sont du faciès à épidote, le troisième est à épidote et amphibole. En donnant au faciès à amphibole une fréquence d'un pour trois, la composition moyenne de ces échantillons sera considérée comme représentative du matériau à l'origine des sols.

Les séquences minéralogiques et les analyses chimiques données par GÉRARD sont reproduites dans le tableau I. Les analyses chimiques n'indiquant que le contenu total de silice, les calculs lithochimiques classiques ont été effectués pour départager silice combinée et quartz ; les taux de quartz sont obtenus avec une précision de quelques % qui est suffisante pour l'exploitation ultérieure des résultats. Le tableau I contient également quelques rapports caractéristiques, silice/alumine, silice/bases, fer/silice, qui seront comparés à ceux des sols. Une remarque s'impose déjà : le rapport silice/alumine qui serait de 3,88 pour un gneiss de composition moyenne, devra s'abaisser considérablement lors de l'évolution pédogénétique pour s'approcher de la valeur repère de 2 qui, à quelques dixièmes près, caractérisera sols rouges et beiges.

Si l'on se réfère aux séquences d'altérabilité différentielle des minéraux comme celle établie par BOWEN (1928), les silicates majeurs des gneiss s'altéreront avec une facilité décroissante dans l'ordre suivant : épidote (Ca) — feldspaths plagioclases (Ca et Na) — amphibole (Ca et Mg) — biotite (Mg et K) — muscovite (K). Les bases entrant dans la composition de ces matériaux sont rappelées en raison du rôle particulier qu'elles peuvent jouer dans la pédogenèse. Il apparaît que calcium et sodium appartiennent aux minéraux les plus altérables, et ce sont eux qui disparaissent effectivement le plus vite des sols. Magnésium et surtout potassium, essentiellement fournis par les minéraux les moins altérables, résistent par contre beaucoup mieux et évoluent de façon grossièrement parallèle. Exprimés en milli-molécules ou en milli-équivalents, le calcium est beaucoup plus abondant dans les roches que magnésium et potassium. L'inverse s'observe dans les sols. L'absence presque complète de feldspaths potassiques dans les gneiss permet de bien suivre le rôle particulier des micas et de leurs dérivés illitiques dans la pédogenèse grâce aux teneurs en potasse. Lorsqu'elles sont mises en évidence dans les sols par les rayons X, les argiles mica-cées peuvent être évaluées quantitativement, tout le potassium pouvant leur être attribué.

Les charnockites ont une composition beaucoup plus irrégulière que celle des gneiss, variant de façon continue d'un pôle basique (composition noritique) à un pôle acide (composition granitique). Les minéraux identifiés par GÉRARD dans ces roches sont : le quartz — des feldspaths variés, potassiques, sodiques et calciques (orthoclases et plagioclases) — des pyroxènes (hypersthène et aussi augite, diopside, diallage) — des amphiboles — la biotite — des minéraux accessoires ou peu abondants, grenat, ilménite, rutile, zircon. Il n'a pas semblé possible de proposer une composition précise pour les charnockites à l'origine de sols étudiés, en raison de la variabilité de ces roches, de l'imprécision du calcul lithochimique lorsqu'abondent des silicates complexes comme pyroxènes et amphiboles, qui peut fausser l'évaluation de la teneur en quartz. Les sols sur charnockites ne seront d'ailleurs pas utilisés pour différencier les pédogenèses des sols rouges et beiges, mais pour préciser les tendances évolutives de sols jeunes manifestement actuels et bien drainés. Il peut cependant être retenu une richesse en bases et en fer beaucoup plus grande pour la

TABLEAU 1

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE ET CHIMIQUE DES GNEISS
(d'après J. GÉRARD)

<i>Séquences minéralogiques</i>				
Ech. Gj 75 : Quartz, muscovite, chlorite, biotite, épidote, oligoclase, oxydes de fer.				
Ech. Gj 145 : Quartz, oligoclase, microcline épisodique, biotite, muscovite, épidote.				
Ech. Gj 137 : Quartz, andésine, biotite, épidote, amphibole verte.				
<i>Composition chimique en %</i>				
	Gj 75	Gj 145	Gj 137	Ech. moy.
Quartz	33,00	35,00	10,00	25,90
SiO ₂ comb.	29,80	31,90	49,50	37,17
Al ₂ O ₃	12,20	16,30	20,20	16,23
Fe ₂ O ₃	10,50	3,55	1,70	5,25
FeO	1,25	1,80	2,80	1,95
CaO	4,20	3,45	5,50	4,38
MgO	1,60	1,20	2,00	1,60
Na ₂ O	1,90	3,50	5,50	3,63
K ₂ O	1,80	1,65	1,35	1,60
TiO ₂	1,00	0,90	0,35	0,75
MnO	0,17	0	0,07	0,08
P ₂ O ₅	0	0,50	0,22	0,24
H ₂ O	2,40	0,45	0,65	1,16
<i>Valeurs caractéristiques</i>				
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ mol.	4,11	3,33	4,20	3,88
SiO ₂ /K ₂ O+MgO mol.	8,37	11,29	13,00	11,03
SiO ₂ /CaO+MgO+K ₂ O+Na ₂ O mol.	3,01	3,21	3,31	3,21
Fe ₂ O ₃ /SiO ₂ comb. Rapport pondéral	0,39	0,17	0,10	0,20
Bases contenues dans l'échantillon moyen, en milli-équivalents = Ca : 156 - Mg : 78 - K : 34 - Na : 116.				

moyenne des charnockites que pour celle des gneiss. L'examen général des sols formés sur charnockites confirme cette richesse en fer, traduite par l'accentuation de la coloration rouge et l'intensité du cuirassement.

2.2 - MÉTHODES EMPLOYÉES

2.2.1 - Choix et description des profils

La comparaison des sols rouges et beiges portera essentiellement sur deux profils étudiés aussi en détail que possible, qui ont été choisis en raison de leur appartenance à une unité morphologique carac-

téristique de la région (fig. 2). Pour confirmer la généralité des caractères des deux profils-types, ou pour apprécier dans une certaine mesure leur variabilité, un deuxième profil sera succinctement examiné pour chaque catégorie de sols.

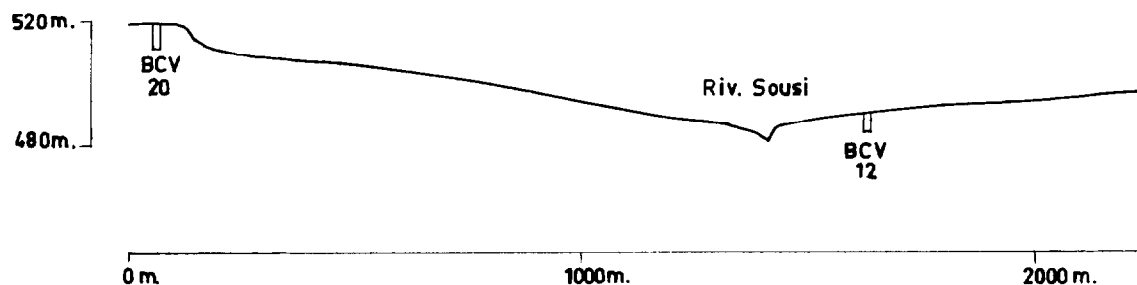


FIG. 2. — Levé topographique entre les profils types des sols rouge et beige.

Les massifs rocheux résiduels sont généralement formés par des quartzites et des charnockites, et non par les gneiss qui sont plus altérables ou moins résistants à l'érosion mécanique. C'est sur un de ces massifs de charnockite qu'a été choisi le profil qui représentera les sols jeunes, actuels, bien drainés. Il ne sera donc pas possible de le comparer directement aux profils rouges et beiges par la même filiation d'une roche unique aux altérations et aux horizons proprement pédologiques. On retiendra de ce profil ses caractères essentiels, la couleur, le bilan silice et alumine dans ses néoformations ou ses héritages, la dynamique du fer.

Les descriptions détaillées des profils, assez longues, sont reportées en annexe. Dans le texte, les profils ne sont décrits que par des définitions rapides de chaque horizon. Il a paru indispensable, pour éviter une phraséologie lourde et sans cesse répétée, d'utiliser une notation des horizons. Les notations couramment usitées sont insuffisantes lorsqu'elles doivent s'appliquer à des sols tropicaux très différenciés que l'on veut décrire jusqu'à leurs horizons d'altération ou leur roche-mère. La définition de certains symboles inhabituels de notation que l'on trouvera employés ici est également donnée en annexe.

2.2.2 - Exploitation des données analytiques

2.2.2.1 - LES SOLS CONSTITUENT DES MATÉRIAUX COMPLEXES dans lesquels *il est difficile de départager les différentes formes d'un même élément et d'établir des formules minéralogiques quantitatives*. Le fer introduit dans ces spéculations des difficultés particulières. Il peut exister sous forme amorphe, fixé aux surfaces des silicates argileux, en oxydes ou hydroxydes cristallisés, ou être inclus dans certains silicates. Les bases alcalines et alcalino-terreuses existent aussi sous des formes assez mal précisées. On pourra cependant, par une approximation suffisante, attribuer tout le magnésium et le potassium présents aux minéraux micacés identifiés qualitativement. En effet, les formes échangeables de potassium et magnésium sont minimales, et ce n'est que dans les sols à minéraux micacés que le contenu potassique et magnésien devient notable.

Employée pour le dosage des éléments totaux des sols, l'attaque au triacide dissout la silice des silicates et respecte les quartz qui se réunissent dans le résidu d'attaque. On peut cependant soupçonner que de faibles quantités de quartz soient solubilisées. Il semble pourtant qu'elles restent presque négligeables par rapport à la silice provenant réellement des silicates à l'exception des sols dans lesquels le quartz est

fortement prépondérant et les silicates peu abondants. En effet, sur les dosages des fractions argileuses en premier lieu, et même sur les dosages des fractions 0-2 mm, on observe une bonne concordance entre le rapport silice/alumine et les déterminations qualitatives qui identifient la kaolinite seule, ou accompagnée de gibbsite ou de silicates à trois couches. Il faut cependant retenir la possibilité d'une faible erreur par excès dans l'attribution de la silice des silicates.

Les argiles des sols ont été déterminées qualitativement par leurs diagrammes de diffraction de rayons X (effectués par M. PINTA dans les laboratoires des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM).

L'appréciation quantitative faite sur ces diagrammes sera confrontée avec celle fondée sur la composition chimique. Bien que très répandues, les illites des sols posent encore le problème de leur nature minéralogique. Elles sont définies comme des argiles ayant un comportement de micas, c'est-à-dire une équidistance stable à 10 Å, mais avec une teneur en potasse inférieure à celle des vrais micas. Le problème reste posé de savoir s'il s'agit d'espèces minérales pures, ou de mélanges, ou d'inter-stratifications de feuillets micacés typiques et de feuillets montmorillonitiques ou vermiculitiques. On leur attribue souvent une couche octaédrique purement alumineuse, mais qui peut aussi être constituée de fer et magnésium. Ce dernier cas paraît exister dans les sols étudiés, en particulier dans les sols beiges dont les taux de magnésium restent en corrélation avec ceux de potassium. Dans le mélange kaolinite, illite et sesquioxydes, le potassium peut être attribué entièrement aux positions interfoliaires de l'illite, et le magnésium dans la mesure où il est assez abondant, à la couche octaédrique. Plusieurs formules possibles seront testées pour évaluer le contenu d'illite. Ce sont celles d'illites dioctaédriques $(\text{Si}_{3,5} \text{Al}_{0,5}) \text{Al}_2 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \text{K}_{0,5}$ à $(\text{Si}_{3,25} \text{Al}_{0,75}) \text{Al}_2 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \text{K}_{0,75}$ et celles d'illites trioctaédriques avec les mêmes substitutions tétraédriques et par conséquent les mêmes quantités de potassium ($x = 0,5$ à $x = 0,75$) mais une couche octaédrique $(\text{Mg}, \text{Fe})_3$. Ces derniers cas ont été calculés suivant la proportion hypothétique d'un Mg pour un Fe. Pour une même quantité de potasse, on obtiendra un poids d'illite de 16 avec la première formule, 11 avec la deuxième, 19 avec la troisième, 13 avec la dernière. Le reste de silice et d'alumine est combiné pour former la kaolinite. Les formules appliquées ne doivent pas laisser d'excès de silice ; un excès d'alumine est acceptable ou non suivant que de l'alumine libre a été qualitativement mise en évidence ou non. Cependant, même avec des calculs bien équilibrés, on ne considérera les chiffres obtenus pour les taux d'illite que comme des ordres de grandeur.

2.2.2.2 - LA COMPOSITION DES DIFFÉRENTES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES peut préciser l'évolution de chaque horizon. Les analyses totales ont été effectuées sur la fraction argileuse 0 - 2 μ et sur la fraction fine totale 0 - 2 mm. Connaissant par l'analyse granulométrique le taux d'argile, il est facile d'établir pour chaque constituant chimique la part apportée à la fraction fine totale par la fraction argileuse et d'obtenir par différence la composition de la fraction limons et sables. On peut retenir schématiquement deux différenciations possibles opposant les fractions argileuse et grossière. Dans un premier cas, la fraction grossière a, par rapport aux argiles, moins de silice et bases pour davantage de sesquioxydes. L'horizon a atteint dans son mode d'évolution un stade très avancé, il exprime une tendance à l'accumulation et au concrétionnement des sesquioxydes. Dans le cas opposé, limons et sables ont davantage de silice et bases par rapport aux sesquioxydes que la fraction argileuse. Le sol n'a pas encore transformé toute sa réserve de minéraux altérables micacés ou autres, proportionnellement plus abondants dans les fractions grossières que dans la fraction fine. Cela accrédiat l'hypothèse de leur origine par héritage et non par néoformation. Pour les minéraux micacés précisément, MILLOT et coll. (1965) ont mis en évidence leur progressive fragmentation lors de l'altération avant leur éventuelle disparition.

Les éléments concrétionnés, cuirasses ou gravillons refusés au tamisage à 2 mm, ont été soumis après broyage aux analyses classiques par rayons X et attaque chimique. En plus des caractères intrinsèques de ces éléments concrétionnés, une confrontation avec la composition de la terre fine qui peut les enrober précisera leur signification génétique.

2.2.2.3 - Pour les profils rouges et beiges qui ont une roche-mère de composition connue, LE BILAN GÉOCHIMIQUE SERA ÉTABLI EN PRENANT LE QUARTZ COMME INVARIANT. Les gains ou pertes de chaque élément seront établis en % de la teneur de la roche en cet élément, après avoir rapporté la composition totale de l'horizon envisagé à la même quantité de quartz que celle de la roche.

Une légère dissolution des quartz peut se produire au cours de l'évolution pédologique et, phénomène inverse, il n'est pas exclu que des néoformations purement siliceuses ne se produisent dans les premières phases de l'altération des silicates. Ces phénomènes sont reconnus de peu d'ampleur, sinon incertains, et par comparaison avec d'autres méthodes, le quartz est apparu comme pratiquement invariant dans la pédogénèse ferrallitique (LELONG 1967).

Particulièrement pour les sols beiges qui se trouvent en bas de pente, il faut envisager la possibilité de perturbations provoquées par les phénomènes de remaniements. On s'accorde généralement à considérer comme autochtones les horizons sous-jacents aux niveaux graveleux ou gravillonnaires. Ces niveaux grossiers apparaissant assez haut dans les sols étudiés, le calcul envisagé s'appliquera sans incertitude à une grande partie des profils. Pour les horizons supérieurs qui pourraient avoir leur teneur en quartz modifiée par des processus mécaniques, le bilan géochimique fera cependant apparaître une continuité certaine par rapport aux horizons inférieurs, avec la même dissociation ou le même parallélisme du sort des éléments majeurs. Il n'apparaît pas possible que la partie supérieure des sols beiges qui se trouvent en bas de pente soit alimentée par translation du matériau des sols rouges de sommets : leurs compositions minéralogiques sont manifestement trop différentes. Il peut se produire, au cours de la pédimentation façonnant un nouveau modelé dans un matériau déjà altéré, un certain brassage des éléments (SEGALEN 1967). Il n'en apparaîtra pas moins une pédogénèse originale de chaque site topographique actuel.

2.2.2.4 - UN CERTAIN NOMBRE DE RAPPORTS CARACTÉRISTIQUES établiront les mobilités relatives des principaux éléments : ce sont les rapports moléculaires de la silice combinée à l'alumine, à la somme des bases, et en raison de leur appartenance à des minéraux micacés résistants, à la somme potasse et magnésium. Le rapport fer/silice combinée sera calculé sur les résultats pondéraux de Fe_2O_3 et de silice de l'analyse, les rapports moléculaires nécessitant trop de décimales pour se départager entre eux. Il a été établi par D'HOORE et coll. (1954) que l'on sature expérimentalement les surfaces de la kaolinite avec 12 % de Fe_2O_3 (par rapport au poids de kaolinite). Cela correspond à un rapport fer/silice de 0,258, le fer concerné devant appartenir à la forme dite libre. On observe en fait très souvent dans les sols la présence d'oxydes ou hydroxydes de fer cristallisés sans qu'il y ait une teneur totale de fer suffisante pour que la saturation théorique de la kaolinite puisse être atteinte. Le chiffre 0,258 ne peut être considéré que comme une simple valeur repère. On retiendra seulement que lorsqu'elle est dépassée, il y a manifestement accumulation, ou maintien préférentiel, du fer par rapport à la silice.

3 - LES SOLS FERRALLITIQUES ROUGES FORMÉS SUR GNEISS

3.1 - MORPHOLOGIE ET CARACTÈRES GÉNÉRAUX

3.1.1 - Description du profil-type

Le profil-type, noté BCO 20, qui représente les sols ferrallitiques, est situé au centre d'une butte de la surface d'aplanissement dite « principale », à l'altitude de 520 m. Il porte une savane moyennement dense, à *Grewia mollis*. L'observation a été faite en saison des pluies, et seule la couleur à l'état humide a pu être notée à l'examen en place.

Le profil comporte quatre horizons majeurs :

- horizon A humifère, partiellement appauvri en argile, contenant un certain taux de gravillons ferrugineux.
- horizon cuirassé B_{cr}
- horizon B_n ayant la structure générale des horizons B meubles, dans lequel s'accumule le fer et se forment les gravillons ferrugineux.
- horizon d'altération C minéralogiquement déjà très évolué mais qui n'a pas l'organisation proprement pédologique (structure, homogénéité texturale de la terre fine). La roche non altérée n'a pu être observée, il est probable qu'elle n'apparaît qu'à une profondeur considérable.

Ces quatre horizons majeurs se décomposent ainsi :

Horizon A

- $A_{1,1 ap}$ de 0 à 8 cm : Argilo-sableux, appauvri en argile. Humifère. Petits gravillons ferrugineux 2,5 YR 3/2 puis 2,5 YR 2,5/4. Prélèv. BCO 201 (0 - 8 cm).
- $A_{1,2 gr}$ de 8 à 26 cm : Argile sableuse. Humifère. Nombreux gravillons. 10 R 3/5. Prélèv. BCO 202 (15 - 20 cm).
- $A_3 gr$ de 26 à 68 cm : Argileux. Moyennement humifère. Très nombreux gravillons. 10 R 3/6. Prélèv. BCO 203 (40 - 50 cm), BCO 203 B : gravillons broyés.

Horizon B_{cr}

- $B_{cr,1}$ de 68 à 136 cm : Cuirasse massive puis pisolithique fortement indurée. 7,5 R 2/2 ; 10 R 3/4, 5 YR 7/8. Prélèv. BCO 204 B (échant. broyé).
- $B_{cr,2}$ de 136 à 260 cm : Carapace à induration moyenne englobant des gravillons plus durs. Mêmes couleurs que le précédent. Prélèv. BCO 205 B (échant. broyé).

Horizon B_n

- $B_{n,1 gr. fe}$ de 260 à 320 cm : Limono-argilo-sableux. Nombreux gravillons. Enrichissement en fer de la terre fine. 10 R 4/6. Prélèv. BCO 206 (à 280 cm), BCO 206 B : gravillons broyés.
- $B_{n,2 fe}$ de 320 à 490 cm : Argileux à limons abondants. Quelques gravillons. Légèrement enrichi en fer. Prélèv. BCO 207 (à 400 cm).

Horizon C

- C de 490 à 700 cm : Argile sableuse. Micas. Friable avec des débris de roche altérés faiblement cohérents. 7,5 YR 5,5/6. Prélèv. BCO 208 (à 650 cm), BCO 208 B : débris cohérents broyés.

On distingue dans l'évolution des éléments concrétionnés trois phases successives de bas en haut : début d'accumulation et formation de gravillons (B_n), développement maximum du concrétionnement dans la cuirasse (B_{cr}) qui soude les gravillons et les rend peu apparents, dégradation et réapparition des gravillons (A). Cette évolution s'accompagne d'une augmentation régulière des taux de fer des gravillons en formation aux formes séniles dispersées dans l'horizon humifère.

3.1.2 - Couleur - Texture - Matière organique

Le tableau 2 réunit les résultats obtenus sur la terre fine séchée et tamisée à 2 mm, et sur les échantillons broyés.

TABLEAU 2

COULEUR, TEXTURE ET MATIÈRE ORGANIQUE DU PROFIL ROUGE BCO 20

Horizon	A _{1,1}	A _{1,2}	A ₃	B _{n,1}	B _{n,2}	C
Echantillon	201	202	203	206	207	208
Profondeur	0-8	15-20	40-50	280	400	650
Couleur sec	5 YR 4/3	2,5 YR 4/4	2,5 YR 4/6	2,5 YR 4/6	2,5 YR 5/7	2,5 YR 5,5/6
Couleur humide	2,5 YR 2,5/2	10 R 3/4	10 R 3/6	10 R 3,5/6	10 R 4/6	10 R 4,5/6
Refus 2 %	6,2	9,2	48,7	23,8	2,9	51,0
Humidité %	1,5	2,4	2,2	2,6	2,4	1,3
Granulométrie compensée						
Argile	24,0	37,3	49,8	26,6	45,5	40,6
Limon	10,0	7,3	9,1	14,2	17,0	—
Limon grossier	12,4	12,8	12,4	13,9	15,4	15,3
Sable fin	40,2	31,4	21,3	20,9	17,4	39,8
Sable grossier	13,2	10,9	7,2	24,1	4,4	4,1
Matière organique						
Matière Organique %	3,81	2,10	1,36			
C/N	15,7	12,4	9,4			
Carb. hum. ‰	1,45	0,34	—			
Carb. fulv. ‰	0,94	1,17	1,46			
Taux hum. %	10,8	12,3	18,4			
Couleur des éléments broyés						
Echantillon	203 B	204 B	205 B	206 B	208 B	
Couleur sec	2,5 YR 3,5/6	2,5 YR 4/6	2,5 YR 4/6	5 YR 4,5/6	2,5 YR 5/7	
Couleur humide	2,5 YR 3/5	2,5 YR 3/5	2,5 YR 3/5	3,25 YR 3/5	10 R 4/6	

La teinte fondamentale du profil est nettement le rouge, à peine atténué dans l'horizon $A_{1,1}$. Pour tous les autres horizons la terre fine sèche est dans la gamme 2,5 YR, la terre humide dans la gamme 10 R. C'est le cas aussi de l'horizon d'altération qui, sur le terrain, avait paru moins rouge. A l'état sec, les valeurs (value) se cantonnent aux chiffres moyens de 4 à 5 ; après humectation, elles s'obscurcissent notablement pour l'horizon A_1 , et d'une unité seulement pour les autres. L'intensité (chroma) s'accroît rapidement de l'horizon $A_{1,1}$ aux horizons minéraux, elle est peu modifiée à l'état humide malgré le changement de gamme. Les éléments concrétionnés broyés restent dans la gamme 2,5 YR à l'état humide comme à l'état sec, ils apparaissent donc moins rouges que la terre fine. Ils s'obscurcissent à l'état mouillé, perdant en moyenne une unité en valeur et intensité.

La texture est marquée par un taux assez élevé d'argile, avec un appauvrissement marqué mais sur une épaisseur très réduite à la partie supérieure. Le coefficient d'appauvrissement par rapport à A_3 est de 2 pour l'horizon $A_{1,1}$ et tombe à 1,3 pour $A_{1,2}$. Le rapport des limons à l'argile est très élevé pour un sol ferrallitique, ce qui n'est pas ici signe d'évolution incomplète mais au contraire très avancée, les mêmes silicates et hydroxydes se groupant dans les deux fractions. L'examen textural garde sa valeur, puisqu'il rend compte d'une propriété physique du sol et d'un certain arrangement des particules élémentaires, mais il ne peut rendre compte, sans être confronté aux analyses chimiques totales, des processus comme l'argilification, le lessivage et l'accumulation. Ainsi, l'horizon $B_{n,1}$ qui est peu argileux au sens granulométrique contient-il davantage de particules silicatées, unies par les sesquioxides, dans les limons et sables que dans l'argile. On peut noter une dominance générale des sables fins sur les sables grossiers, attribuable à la fragmentation des quartz.

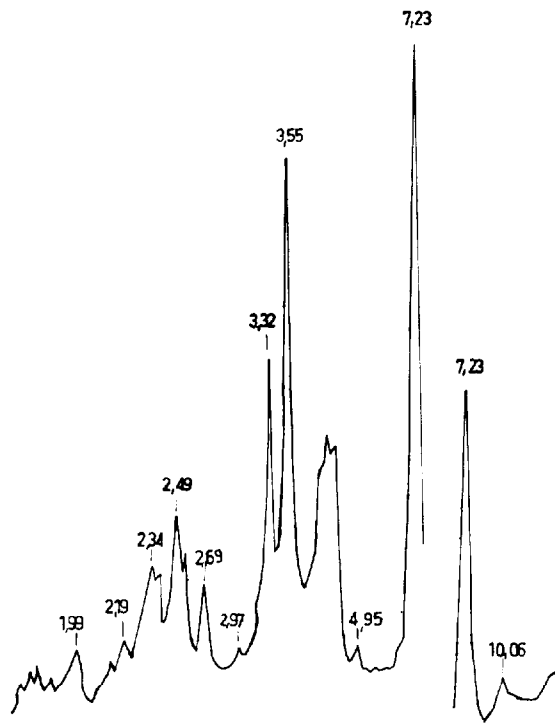
La matière organique est assez abondante et bien évoluée. Il faut noter la répartition classique des acides humiques décroissant avec la profondeur alors qu'augmente le taux d'acides fulviques. De l'horizon $A_{1,1}$ à l'horizon A_3 , le rapport C/N passe de 15 à 9, le taux d'humification de 10 à 18. Ces caractères restent dans les normes habituelles des sols ferrallitiques de savane.

3.2 - LES ARGILES

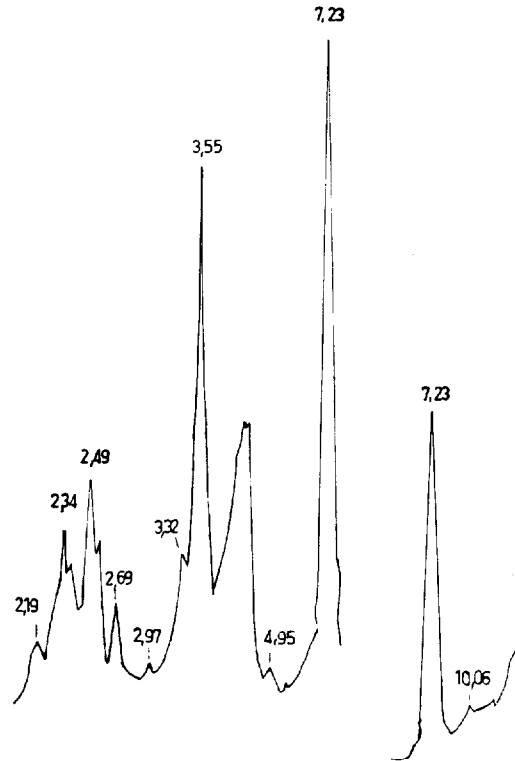
3.2.1 - Les diagrammes de diffraction des rayons X des fractions argileuses des horizons meubles du profil sont reportés dans le tableau 3, à l'exception du diagramme de l'échantillon 207 qui est identique à celui de l'échantillon 206 (horizons $B_{n,1}$ et $B_{n,2}$). Ces diagrammes indiquent une incontestable prépondérance de la kaolinite marquée par les deux pics principaux à 7,23 et 3,55 Å, et les pics secondaires à 2,55, 2,49, 2,38 et 2,34 Å. Les pics, très aigus, indiquent une bonne cristallinité de la kaolinite. L'illite est présente, mais en faible quantité, dans tous les échantillons. Elle est indiquée par les raies à 10,06, 4,95 et 3,32 Å. Ce dernier pic à 3,22 est renforcé par le quartz, principalement pour l'échantillon BCO 201 qui contient le taux assez exceptionnel pour une fraction argileuse de 4,8 % de quartz (analyse chimique). Le taux d'illite s'accroît nettement dans l'horizon d'altération : le diagramme de l'échantillon 208 montre une accentuation sensible des pics caractéristiques.

Il n'apparaît pas de gibbsite dans les diagrammes du profil. La forme principale du fer est l'hématite, bien exprimée par le pic net à 2,69 Å, aussi bien dans l'horizon d'altération que dans les horizons A et B. La goethite reste très secondaire par rapport à l'hématite : elle est difficile à déceler sur les diagrammes de rayons X et n'est que faiblement indiquée par l'analyse thermique différentielle. On peut soupçonner que la forme amorphe du fer n'est pas négligeable, mais elle n'a pas été dosée.

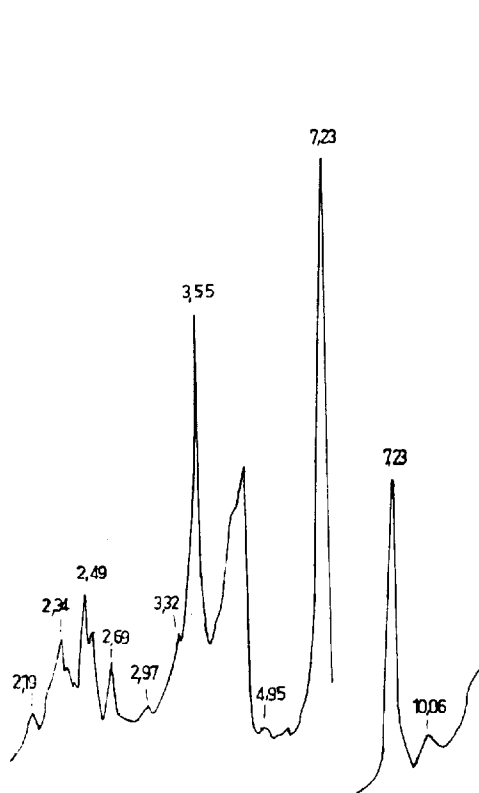
TABLEAU 3
SOL ROUGE BCO 20



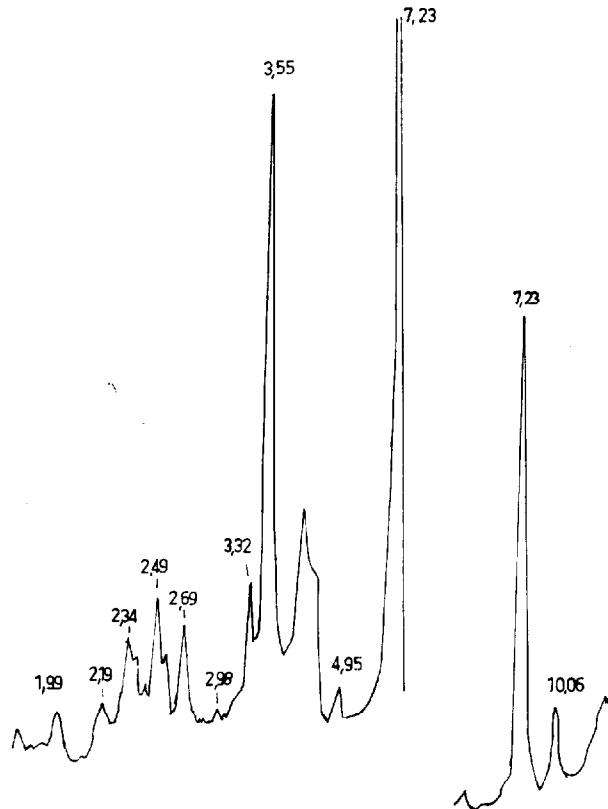
Horizon A_{1,1} Ech. 201



Horizon A₃ Ech. 203



Horizon B_{n,1} Ech. 206



Horizon C Ech. 208

3.2.2 - Composition chimique

La composition chimique de la fraction argileuse (tableau 4) permet une nouvelle évaluation du taux respectif des silicates, kaolinite et illite. Le magnésium présent sert à construire une illite trioctaédrique ;

TABLEAU 4

COMPOSITION CHIMIQUE DES FRACTIONS ARGILEUSES DU PROFIL ROUGE BCO 20

Horizon	A _{1,1}	A ₃	B _{n,1}	B _{n,2}	C
Echantillon	201	203	206	207	208
Perte au feu	17,85	13,45	12,90	11,90	11,50
Résidu	4,85	0,30	0,30	0,20	0,90
SiO ₂ comb.	33,50	38,50	38,55	37,50	35,25
Al ₂ O ₃	27,00	31,50	32,30	32,60	29,50
Fe ₂ O ₃	12,00	12,60	13,00	14,30	19,20
TiO ₂	0,93	0,65	0,60	0,73	0,83
CaO	0,44	0,24	0,31	0,43	0,45
MgO	0,54	0,50	0,29	0,30	0,26
K ₂ O	0,99	1,02	0,72	0,78	0,87
Na ₂ O	0,23	0,21	0,25	0,16	0,16

le potassium qui n'entre pas dans cette première combinaison compose une illite dioctaédrique ; la silice restante combinée à l'alumine donne la kaolinite. Il reste un léger excès d'alumine ; pour l'amener à sa plus faible valeur possible, puisqu'il n'y a pas d'alumine cristallisée dans le profil, les formules retenues pour les deux variétés d'illite sont celles ayant le plus de substitutions tétraédriques que l'on peut accorder aux illites (Si_{3,25} Al_{0,75}). L'alumine qui ne peut être combinée est alors très réduite (0,21 à 0,67 pour 100 g d'argile) ce qui est compatible avec l'absence de gibbsite et la vraisemblance de traces d'alumine amorphe. Ne fait exception dans le profil que l'échantillon 207 qui, ayant un rapport silice/alumine inférieur à 2, laisse obligatoirement au calcul un excès d'alumine (1,87).

Dans le tableau 5 sont reportés les poids calculés d'illites di et trioctaédrique et de kaolinite pour chaque fraction argileuse. La séparation des variétés di et trioctaédriques est un artifice de calcul que l'on peut remplacer en donnant à la couche octaédrique une composition moyenne dans laquelle entrent aluminium, magnésium et fer. Ne considérant que la matière silicatée, on écrira qu'elle se compose ainsi :

- Ech. 201 : 78 % de kaolinite pour 22 % d'illite à formule octaédrique (Al_{1,3} Mg_{0,52} Fe_{0,52})
- Ech. 203 : 80 % de kaolinite pour 20 % d'illite à formule octaédrique (Al_{1,37} Mg_{0,47} Fe_{0,47})
- Ech. 206 : 90 % de kaolinite pour 10 % d'illite à formule octaédrique (Al_{1,48} Mg_{0,39} Fe_{0,39})

- Ech. 207 : 88 % de kaolinite pour 12 % d'illite à formule octaédrique ($Al_{1,5} Mg_{0,37} Fe_{0,37}$)
 — Ech. 208 : 87 % de kaolinite pour 13 % d'illite à formule octaédrique ($Al_{1,6} Mg_{0,3} Fe_{0,3}$)

La précision des calculs ne lève pas l'incertitude des postulats de départ : l'augmentation dans les horizons A du taux d'illite calculée, qui ne s'accompagne pas de variations significatives des diagrammes de rayons X, devra être attribuée à un accroissement du taux de potasse et magnésium lié au cycle des éléments nutritifs du sol. Les horizons B_n et C, isolés des phénomènes biologiques par une épaisse cuirasse fournissent par contre des résultats vraisemblables.

TABLEAU 5

POURCENTAGES CALCULÉS DE KAOLINITE ET D'ILLITE DES FRACTIONS ARGILEUSES DU PROFIL ROUGE BCO 20

Horizon	A _{1,1}	A ₃	B _{n,1}	B _{n,2}	C
Echantillon	201	203	206	207	208
(¹) Illite trioctaédrique %	4,06	3,76	2,18	2,25	1,95
(²) Illite dioctaédrique %	7,49	8,15	6,17	6,72	7,93
Kaolinite %	60,2	70,5	74,2	71,3	65,4
Excès Al ₂ O ₃ %	0,21	0,33	0,62	1,87	0,67

(¹) $(Si_{3,25} Al_{0,75}) (Fe, Mg)_2 O_{10} (OH)_2 K_{0,75}$

(²) $(Si_{3,25} Al_{0,75}) (Al)_2 O_{10} (OH)_2 K_{0,75}$

On retiendra que les argiles des horizons A et B ont tout au plus 10 % de leur matière silicatée constitués d'illite, sans variations semble-t-il (diagrammes rayons X) jusqu'à l'horizon superficiel. Un accroissement significatif de quelques unités % du taux d'illite, apparent dès la base de l'horizon B (éch. 207), se confirme dans l'horizon d'altération (analyse chimique et rayons X). Un tiers à un quart de cette illite est supposée trioctaédrique.

3.2.3 - Capacité d'échange

Les capacités d'échange (tableau 6) ont été mesurées sur la terre fine (0 à 2 mm). Les valeurs obtenues pour les horizons purement minéraux B_n et C sont faibles. Rapportées à la matière silicatée seule (voir tableau 7) elles seraient, en mé/100 g, de 6,2 en C, 12 en $B_{n,2}$ et 9,7 en $B_{n,1}$. Ces chiffres se situent parmi les valeurs que l'on obtient pour des kaolinites pures. Leurs variations, du simple au double, semblent incohérentes, puisque c'est dans l'horizon C le moins évolué qu'est relevé le chiffre le plus faible. On ne retiendra que la faiblesse générale de la capacité d'échange, classique dans les sols ferrallitiques à kaolinite et sesquioxydes prépondérants. Il ne semble pas possible d'en retirer des indications supplémentaires sur les silicates du sol. Une explication peut être donnée à ces faibles valeurs par le blocage des positions d'échange par le fer fixe sur ces silicates.

Compte tenu de la diminution attribuable à l'appauvrissement en argile, la capacité d'échange est manifestement relevée par la matière organique dans les horizons A. Elle ne dépasse pourtant pas 9,6 mé/100 g, chiffre le plus élevé qui est fourni par l'horizon A_{1,1}.

TABLEAU 6

COMPLEXE D'ÉCHANGE DE LA FRACTION 0-2 mm DU PROFIL ROUGE BCO 20

Horizon	A _{1,1}	A _{1,2}	A ₃	B _{n,1}	B _{n,2}	C
Echantillon	201	202	203	206	207	208
Bases échangeables et capacité d'échange en mé/100 g						
Ca	4,86	1,98	1,26	1,06	1,20	1,42
Mg	1,54	0,60	0,22	0,11	0,06	0,11
K	0,38	0,12	0,20	0,12	0,04	0,14
Na	0,22	0,11	0,12	0,12	0,11	0,16
C.E.	9,6	6,8	6,4	5,5	6,9	3,6
Saturation	72 %	41 %	28 %	25 %	20 %	50 %
pH						
pH (H ₂ O)	6,35	5,55	5,30	5,35	5,35	5,15
pH (KCl)	5,45	4,65	4,45	4,25	4,15	4,25

La saturation du complexe d'échange est fortement dépendante des différents types d'horizons influencés ou non par les phénomènes biologiques. Très élevée en surface, elle décroît déjà fortement dans l'horizon A₃. Elle s'abaisse à 20 % dans l'horizon B_{n,2} qui est purement minéral ; c'est un chiffre faible en regard des conditions écologiques de la région. Une remontée sensible de la somme des bases échangeables (et une diminution de la capacité d'échange) relève à 50 % la saturation de l'horizon C. Le calcium est de beaucoup le plus abondant des éléments fixés au complexe d'échange. L'aluminium échangeable n'a pas été dosé, il modifierait probablement de manière sensible les taux de saturation. Les différences entre acidité actuelle et acidité d'échange sont notables : 0,9 unité pH pour les horizons A et C, et 1,1 pour les horizons B_n les plus riches en sesquioxides. Rappelons que des différences de cet ordre sont généralement attribuables à l'aluminium échangeable et font partie des caractères des horizons « oxiques ».

3.2.4 - Richesse en fer

La richesse en fer des fractions argileuses doit être soulignée : elle passe de 12 % dans les horizons A à 13 et 14 dans les horizons B_n et 19 dans les argiles de l'horizon d'altération. Ces pourcentages dépassent largement ceux qui seraient nécessaires à la saturation complète des silicates. La présence d'oxyde de fer non hydraté (hématite) dans tous les horizons doit être soulignée.

3.3 - LIMONS ET SABLES

Limons et sables réunissent, avec le quartz, des silicates et sesquioxydes en quantités souvent élevées (tableau 7) dépassant parfois celles de la fraction argileuse au sens granulométrique du terme. On relève pour les limons et sables des différents horizons la composition suivante :

— A _{1,1} : 63 %	de quartz et 12 %	de silicates et sesquioxydes		
— A ₃ : 37 %		— 13 %	—	—
— B _{n,1} : 21 %		— 50 %	—	—
— B _{n,2} : 28 %		— 24 %	—	—
— C : 32 %		— 24 %	—	—

Ces chiffres s'entendent pour la terre fine de 0 à 2 mm, compte non tenu des éléments grossiers.

Les silicates contenus dans les fractions $> 2\mu$ révèlent une composition pratiquement identique à celle de l'argile, avec même rapport silice/alumine. Seul l'horizon A₃ semble y faire exception, ce qui peut être attribué au contenu relativement faible de silicates qui peut amplifier pour le rapport silicate/alumine une légère erreur analytique. Par contre le fer est toujours proportionnellement beaucoup plus abondant dans les limons et sables que dans l'argile.

On retiendra donc pour tout le profil l'importance des « pseudo-limons » ou « pseudo-sables » agrégés par le fer, particulièrement pour l'horizon B_{n,1}.

Dans les horizons bien évolués du profil, A₁, A₃, B_{n,1} il n'existe pas de réserve de minéraux altérables ; les limons et sables ont un taux d'illite faible par rapport à celui de la kaolinite, comparable à ce qui a été reconnu dans les fractions argileuses. A la base du profil, dans l'horizon B_{n,2} puis dans l'horizon d'altération C, les fractions supérieures à 2μ ont un rapport silice/alumine nettement accru (2,38 puis 2,49) : il existe ici une « réserve » de minéraux altérables incontestables.

3.4 - LES PRODUITS GROSSIERS

3.4.1 - Résidus altérés

Dans l'horizon d'altération subsistent des *résidus altérés* de roche, conservant une faible cohésion. L'analyse leur donne un rapport silice/alumine de 2,17 : ils sont donc plus évolués que les limons du même horizon, et surtout plus riches en fer. Leur cohésion peut être maintenue en particulier par cette légère imprégnation ferrugineuse.

3.4.2 - Produits concrétionnés

Les produits concrétionnés sont un constituant majeur du profil. Les gravillons isolés sont plus riches en fer que les horizons indurés dans leur masse. Les dosages du fer total ont donné les résultats suivants :

— 36 %	de Fe ₂ O ₃	dans les gravillons de B _{n,1}
— 26 %		— à la partie inférieure de la cuirasse
— 30 %		— — supérieure —
— 51 %		— dans les gravillons de A ₃

L'analyse totale a été faite pour les deux échantillons de cuirasse (tableau 7). Le rapport silice/alumine, inférieur à 2, indique un minimum d'alumine libre de 4,4 % pour $B_{cr,2}$ et 8,6 % pour $B_{cr,1}$. Outre le quartz, les minéraux identifiés par l'analyse des rayons X sont ceux de la terre fine, kaolinite, traces d'illite, goethite et hématite, auxquels s'ajoute la gibbsite. Si l'on néglige la part de silice prise par les traces d'illite, les taux de kaolinite seraient respectivement de 39 et 35 %. L'accumulation des sesquioxides reste donc modérée.

TABLEAU 7

COMPOSITION CHIMIQUE RÉPARTIE SUIVANT LES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES. PROFIL ROUGE BCO 20

Horizon	A _{1,1}		A ₃		B _{cr,1}	B _{cr,2}	B _{n,1}		B _{n,2}		C		
Echantillon . .	201		203		204B	205B	206		207		208		
Fraction granulométrique	Argile	Limons + sables	Argile	Limons + sables	Ech. broyé	Ech. broyé	Argile	Limons + sables	Argile	Limons + sables	Argile	Limons + sables	Refus broyé
Perte au feu	4,29	2,56	6,71	1,49	12,20	10,45	3,44	6,11	5,42	2,83	2,28	1,38	3,85
Résidu	1,16	63,64	0,14	37,71	15,55	23,20	0,08	21,12	0,09	28,71	0,17	15,84	16,01
SiO ₂	8,05	2,95	19,20	5,25	16,40	18,40	10,28	16,27	17,11	9,29	7,02	6,11	13,54
Al ₂ O ₃	6,49	2,51	15,71	1,79	22,50	19,00	8,61	13,39	14,87	6,63	5,88	4,16	10,58
Fe ₂ O ₃	2,88	3,37	6,28	3,72	30,25	26,50	3,46	14,54	6,52	4,73	3,82	0,09	4,84
TiO ₂	0,22	0,75	0,32	0,68	0,60	0,60	0,16	0,51	0,33	0,64	0,16	0,23	0,48
CaO	0,10	0,23	0,11	0,12	0,12	0,14	0,08	0,08	0,19	—	0,08	0,01	0,07
MgO	0,10	0,07	0,24	—	0,14	0,11	0,07	0,10	0,13	0,10	0,05	0,12	0,14
K ₂ O	0,23	0,10	0,50	0,10	0,36	0,33	0,19	0,25	0,35	0,40	0,17	0,57	0,62
Na ₂ O	0,05	0,10	0,10	0,09	0,13	0,17	0,06	0,11	0,07	0,13	0,03	0,06	0,10
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,63	1,07	1,65	?	0,66	0,86	1,60	1,21	1,52	1,63	1,43	2,32	1,68
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,10	1,99	2,07	?	1,23	1,64	2,02	2,06	1,95	2,38	2,02	2,49	2,17
Fe ₂ O ₃ /SiO ₂	0,35	1,14	0,32	0,70	1,84	1,44	0,33	0,89	0,38	0,50	0,54	0,01	0,35
SiO ₂ /Somme bases	15,7	5,7	20,7	18,7	23,6	26,6	26,2	32,4	24,0	17,4	21,8	9,8	16,8
SiO ₂ /K ₂ O + MgO	23,3	17,5	27,5	82,2	37,4	49,1	43,2	52,7	39,6	22,9	37,3	11,1	21,5

3.5 - BILAN GÉOCHIMIQUE RAPPORTÉ AU QUARTZ CONSIDÉRÉ COMME INVARIANT

Le tableau 8 donne les pourcentages, en gain ou en perte, de chaque élément par rapport à la roche mère. Ils ont été calculés pour l'horizon d'altération sur la composition globale donnée par le mélange terre fine et débris cohérents, sur la terre fine seule pour les horizons B_n et A, et sur le dosage des échantillons broyés de la cuirasse. Des représentations graphiques sont données dans le tableau 9.

TABLEAU 8

BILAN GÉOCHIMIQUE. GAINS OU PERTES PAR RAPPORT À LA ROCHE-MÈRE EN %. PROFIL ROUGE BCO 20

Horizon	Roche	C		$B_{n,2}$		$B_{n,1}$		$B_{cr,2}$		$B_{cr,1}$		A ₃		A _{1,1}	
Echantillon		208		207		206		205 B		204 B		203		201	
Gains ou pertes		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
H ₂ O	1,16	423.		537.		905.		904.		1650		382.		153.	
Quartz	25,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SiO ₂	37,17		42.		36.		12.		44.		26.		55.		88.
Al ₂ O ₃	16,23		2.6	18.		65.		30.		130.		26.		77.	
Fe ₂ O ₃	7,41		4.5	36.		196.		298.		579.		7.6		66.	
TiO ₂	0,75		6.6	16.		8.		12.	32.			9.3		49.	
CaO	4,38		97.		96.		95.		96.		95.		96.		97.
MgO	1,60		84.		87.		87.		92.		85.		90.		95.
K ₂ O	1,60		31.		58.		66.		77.		63.		74.		91.
Na ₂ O	3,63		95.		95.		94.		95.		94.		96.		98.

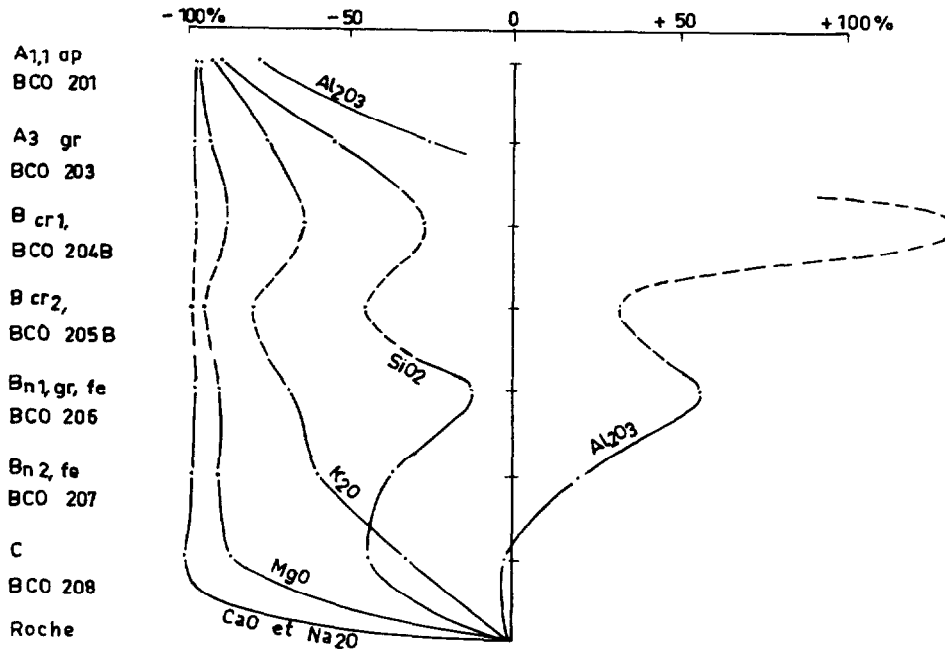
Les éléments dont le sort est le plus simple sont les bases : calcium et sodium sont lixiviés à raison de plus de 95 % du contenu primitif de la roche, dès l'horizon d'altération et sans variations vraiment appréciables jusqu'aux horizons supérieurs. Le potassium décroît beaucoup plus progressivement, il reste encore dans l'horizon $B_{n,1}$ 34 % de la potasse contenue dans la roche. Le magnésium est plus brutalement lixivié, dans de moins grandes proportions cependant que calcium et sodium. Ceci traduit sous une autre forme ce qui a été mis en évidence précédemment, la permanence dans le sol de petites quantités d'argiles mica-cées, plus alumineuses que magnésiennes. Les silicates les plus altérables de la roche, épidote et plagioclases, n'ont presque rien laissé au sol de leur calcium et sodium.

Les éléments majeurs, silice, alumine et fer, se dissocient nettement. Dès l'horizon d'altération, 42 % de la silice combinée de la roche ont été lixiviés, alors que fer et alumine se sont maintenus pratiquement intégralement. A partir de l'horizon C et jusqu'à la partie supérieure du sol, la courbe de l'alumine est

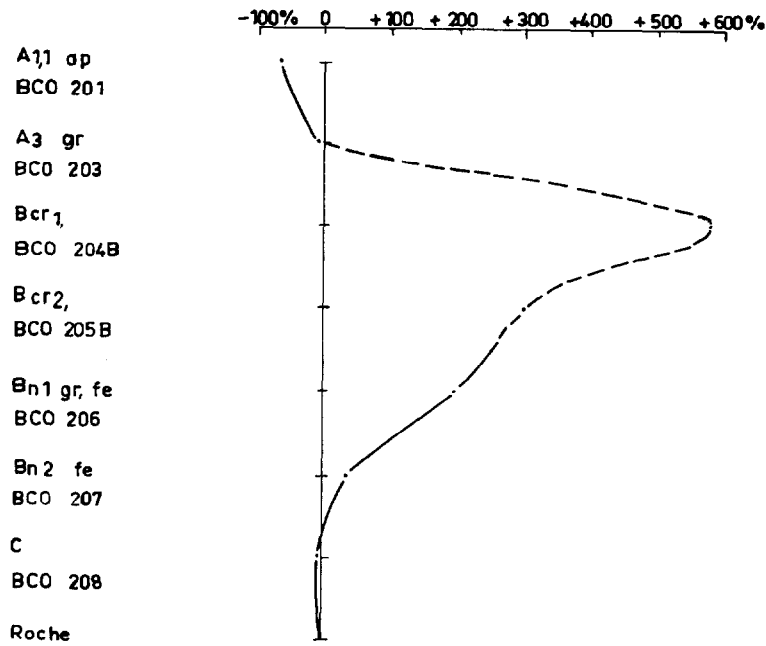
TABEAU 9

BILAN GÉOCHIMIQUE DU SOL ROUGE

Courbe de la silice, alumine, bases



Courbe du fer



En pointillé courbes correspondant aux éléments indurés

fortement décalée par rapport à celle de la silice mais elle reproduit fidèlement ses inflexions, le rapport silice/alumine étant pratiquement constant, à l'exception de la cuirasse où apparaît un peu d'alumine libre. L'alumine paraît donc être restée très stable lors de l'altération, son taux initial dans la roche détermine la quantité de kaolinite qui participera à la pédogenèse. Les accumulations absolues de fer sont évidentes. Relevons deux chiffres : accroissement de 36 % par rapport à la roche dans l'horizon $B_{n,1}$, de 580 % dans la cuirasse $B_{cr,1}$. Nulles dans l'horizon d'altération, fortement positives dans les horizons B_n et B_{cr} , les variations du fer ne prennent de valeurs négatives qu'avec l'« appauvrissement » des horizons A_1 .

Deux remarques conclueront l'examen du bilan géochimique de ce profil. Les lixiviations qui de la roche conduisent à l'horizon C sont très sélectives : elles affectent la presque totalité des bases, près de la moitié de la silice, mais respectent intégralement les sesquioxides. La deuxième remarque concerne l'importance des redistributions de silicates et de fer qui jouent sur des masses considérables. Elles portent la marque de processus purement pédologiques affectant différemment les diverses espèces minérales, et non d'un simple classement granulométrique effectué par triage mécanique.

3.6 - LES RAPPORTS CARACTÉRISTIQUES DE LA SILICE, ALUMINE, FER ET BASES

Ils sont portés dans le tableau 7. Il est inutile de commenter à nouveau les rapports silice/sesquioxides et silice/alumine. Avant d'aborder l'étude des sols beiges qui présenteront des chiffres très différents, il importe de retenir les valeurs caractéristiques des rapports fer/silice et silice/bases.

Toutes les fractions argileuses du profil BCO 20 ont un rapport fer/silice supérieur à 0,32, la valeur la plus élevée est atteinte dans l'horizon d'altération (0,54). Ces chiffres s'accroissent fortement dans les fractions $> 2\mu$, à l'exception des horizons incomplètement évolués C et $B_{n,2}$.

Avec une certaine dispersion due à la faiblesse des quantités de bases dosées, les rapports silice/bases sont très élevés et ils semblent à peine plus faibles dans les limons et sables que dans l'argile (l'écart maximum est observé dans l'échantillon 206).

3.7 - VARIABILITÉ DES CARACTÈRES

Un second profil de sol ferrallitique rouge formé sur gneiss a été étudié. Noté BCO 13, il est situé sur une surface tabulaire séparée de la précédente par plusieurs kilomètres, beaucoup plus étendue que celle qui porte le profil type.

Les différences entre les deux profils sont d'importance secondaire. Le profil BCO 13 a une couleur moins rouge dans ses horizons supérieurs, située dans la gamme 5 YR à l'état sec et 2,5 YR à l'état humide. L'accentuation de la couleur, passant dans les gammes 2,5 YR et 10 R, est nette dans les horizons profonds B_n . La partie supérieure tout au moins des horizons d'altération reste rouge (gamme 3,25 YR aux états sec et humide).

Il n'y a pas dans ce second profil de cuirassement complet d'un horizon, mais le concrétionnement a donné des horizons gravillonnaires denses dans lesquels la terre fine n'atteint pas 40 %. Horizons gravillonnaires et cuirassés passent latéralement de l'un à l'autre avec facilité et les cuirasses affleurent assez souvent sur le plateau considéré.

Ces variations sont mineures, et les caractères principaux des deux profils sont fondamentalement les mêmes. Les argiles du profil 13 sont la kaolinite, l'illite en très petites quantités, l'hématite et la goéthite. Pour l'horizon B_n , le calcul donne 94 % de kaolinite pour 6 % d'illite. Une sensible accentuation du taux d'illite dans l'horizon d'altération apparaît à l'examen des diagrammes de rayons X, et le calcul indique 9 % d'illite pour 91 % de kaolinite. Les fractions argileuses sont riches en fer, les rapports fer/silice sont compris entre 0,32 et 0,36. « Pseudo-limons » et « pseudo-sables » sont abondants, ils renferment proportionnellement davantage de fer que l'argile, pour les mêmes silicates. Le bilan géochimique rapporté à la composition de la roche mère indique de fortes lixiviations de bases et de silice. Dans l'horizon d'altération, prélevé à 500 cm c'est-à-dire moins profondément que dans le profil-type, le fer s'accumule déjà de façon très sensible puisqu'il dépasse de 24 % la proportion de la roche ; il semble par contre y avoir eu un certain départ d'alumine (14 %). Comme dans le profil-type, on assiste de bas en haut à l'évolution progressive des formations concrétionnées. Les gravillons ferrugineux des horizons B_n sont dans leur milieu de formation ; ils s'individualisent dans une terre fine très riche en fer (17 %), leurs formes sont irrégulières et leur induration moyenne. A la partie supérieure des horizons fortement gravillonnaires, les gravillons persistent sous leur forme « achevée » (globuleux, très durs) dans une terre fine moins ferrugineuse (9 %). Il n'y a de formation d'alumine libre vraiment notable que dans ces produits concrétionnés.

4 - LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX BEIGES FORMÉS SUR GNEISS

4.1 - MORPHOLOGIE ET CARACTÈRES GÉNÉRAUX

4.1.1 - Description du profil-type

Le profil-type, désigné par BCO 12, est situé sur un bas de versant à pente régulière assez faible, en contre-bas du profil-type des sols rouges. Il porte une savane à *Burkea africana* et *Terminalia laxiflora*. Il a été observé en saison des pluies à l'état relativement sec. Le profil présente la succession suivante :

- horizon A, humifère, appauvri en argile, sans éléments grossiers
- horizon B, meuble, à structure de tendance massive, avec apparition de quelques gravillons ferrugineux
- horizon gravillonnaire B_{gr} , puis horizon en voie de cuirassement B_{cr}
- horizon tacheté B_t (homologue du B_n des sols rouges, mais marqué par l'hydromorphie)
- horizon d'altération C

Il a été décrit et prélevé ainsi :

Horizon A

- | | |
|-----------------------------|--|
| $A_{1,1\ ap}$ de 0 à 12 cm | : sable argileux, appauvri en argile. Humifère. 10 YR 3,5/1 sec, 3/1 hum. Prélèv.- BCO 121 (0-8 cm) |
| $A_{1,2\ ap}$ de 12 à 18 cm | : sable argileux à argilo-sableux appauvri en argile. Humifère. 10 YR 3,5/2 sec 3/2 hum. Prélèv. BCO 122 (12 - 18 cm) |
| $A_3\ ap$ de 18 à 30 cm | : argilo-sableux légèrement appauvri en argile. Moyennement humifère. 10 YR 4/4 sec, 3,5/3 hum. Prélèv. BCO 123 (20-25 cm) |

Horizon B meuble

- B_1 de 30 à 52 cm : argilo-sableux. Légère imprégnation humifère. 7,5 YR 5/6 sec, 4,5/4 hum. Prélèv. BCO 124 (40 - 45 cm).
- $B_{2\text{ gr}}$ de 52 à 72 cm : argilo-sableux à argile sableuse. Quelques gravillons ferrugineux. Même notation de couleur que le précédent. Prélèv. BCO 125 (60 - 65 cm).

Horizon gravillonnaire et en voie de cuirassement

- B_{gr} de 75 à 105 cm : gravillons bien indurés 2,5 YR 3/2 et 10 R 3/2. Concrétions assez friables 5 YR 5/4 et noires. Terre fine à texture d'argile sableuse 7,5 YR 6/5. Prélèv. BCO 126 (80 - 90 cm), BCO 126 B : gravillons et concrétions broyés.
- B_{cr} de 105 à 200 cm : concrétions de forme scoriacée à induration moyenne puis faible. Débris de roche altérée friable. Terre fine à texture d'argile sableuse, 10 YR 6/2,5. Prélèv. BCO 127 (à 150 cm). BCO 127 B : gravillons et concrétions broyés.

Horizon tacheté B_p

- de 200 à 300 cm : argile limono-sableuse puis sable argilo-limoneux. Concrétions faiblement indurées. Débris de roche altérée friable. Marbrures 2,5 YR. 5/8, 5 YR 6/8, 10 YR 7/3. Prélèv. BCO 128 (à 240 cm), BCO 129 (à 350 cm).

Horizon d'altération C

- de 380 à 450 cm : friable. Sableux. Micas, débris de roche altérée. rose, rouille, beige. Prélèv. BCO 130 (à 400 cm), BCO 130 B : débris altérés broyés.

Il faut noter dans ce profil l'apparition à profondeur relativement faible, dès l'horizon $B_{(cr)}$, de débris grossiers très incomplètement altérés. Beaucoup moins développées que dans les sols rouges, les formations indurées débute, à la base, dans l'horizon tacheté B_p , partiellement hydromorphe dont les taches rouges montrent un léger début de durcissement. Il leur succède un horizon $B_{(cr)}$ formé en grande partie de concrétions et qui évolue probablement vers un cuirassement complet, puis un horizon dans lequel dominant les formes séniles (gravillons fortement indurés).

4.1.2 - Couleur - Texture - Matière organique (Tableau 10)

Les couleurs de ce profil sont plus différenciées que celles du sol ferrallitique. Les horizons A restent, à l'état humide comme à l'état sec, dans la gamme 10 YR ; ils sont gris ou gris-brun, d'intensité (chroma) très faible, avec des valeurs (value) élevées à l'état sec que l'humectation fait descendre de 2 unités. Dans les horizons B meubles, la gamme 10 YR est remplacée à l'état humide par celle de 7,5 YR, l'intensité reste assez faible (chroma de 4 et 5), les valeurs sont élevées ; les qualificatifs pâle et terne s'appliquent bien à ces horizons observés en place. Dans les horizons à gravillons et en cours de concrétionnement (B_{gr} et $B_{(cr)}$) la couleur devient ocre : gammes 7,5 YR pour la terre sèche et 5 YR pour la terre humide, avec une intensité encore assez faible. L'horizon tacheté présente les contrastes assez fort de couleur appartenant aux gammes 10 YR, 5 YR, 2,5 YR ; broyage et homogénéisation laissant à la terre fine une couleur 5 YR. Dans l'horizon d'altération observé en place dominant les teintes peu colorées, rose et beige clair ; le broyage, répartissant les lits de couleur plus rouge, donne à l'ensemble une couleur ocre 5 YR 5,5/3,5.

La couleur est un critère important pour l'identification des sols ferrugineux tropicaux. Le profil étudié est à cet égard très typique, par la succession des couleurs « grise », « beige », et « ocre » (MAIGNIEN 1961).

TABLEAU 10

COULEUR, TEXTURE ET MATIÈRE ORGANIQUE DU PROFIL BEIGE BCO 12

Horizon	A _{1,1}	A _{1,2}	A ₃	B ₁	B ₂	B _{gr}	B _(er)	B _V	B _V	C
Echantillon	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
Profondeur	0-8	12-18	20-25	40-45	60-65	80-90	150	240	350	400
Couleur sec	10 YR 5/1,5	10 YR 5/2	10 YR 5/2,5	10 YR 6/4	10 YR 6/5	7,5 YR 6/5	7,5 YR 6,5/4	6,25 YR 6/6	5 YR 6/3,5	5 YR 5,5/3,5
Couleur humide ...	10 YR 3/1,5	10 YR 3/2	10 YR 3/3	7,5 YR 5,5/4	7,5 YR 5,5/4	5 YR 5/4	5 YR 5/5	5 YR 6/6	5 YR 6/3,5	5 YR 5,5/3,5
Refus 2 mm	—	0,1	1,5	2,8	8,0	71,7	59,8	36,6	39,3	29,1
Humidité %	3,4	3,2	3,3	3,3	3,7	4,1	3,9	1,0	1,4	1,5
Granulométrie compensée										
Argile	19,0	22,5	24,8	29,4	31,8	38,6	39,7	32,9	12,6	7,4
Limon fin	5,1	4,8	4,1	4,3	5,4	6,8	9,2	13,0	17,8	9,8
Limon grossier ...	11,2	9,3	10,3	10,7	11,5	13,5	8,9	11,1	11,0	3,3
Sable fin	51,5	50,6	49,0	43,5	39,9	26,2	31,3	37,8	52,5	58,8
Sable grossier	12,9	12,5	11,5	11,9	11,1	14,6	10,6	5,0	5,9	20,4
Matière organique										
Matière organique %	2,29	2,16	1,69	0,93						
C/N	13,5	12,7	11,6	7,7						
Carb. hum. ‰ ...	1,10	0,34	0,40	—						
Carb. fulv. ‰ ...	0,41	0,79	0,58	0,81						
Taux humif. % ...	11,3	9,0	10,0	15,0						
Couleur des éléments broyés										
Echantillon	126 B	127 B	130 B							
Couleur sec	5 YR 4,5/6	5 YR 4,5/6	7,5 YR 7/3							
Couleur humide ...	5 YR 3,5/4	2,5 YR 3/6	5 YR 5,5/4							

La texture est marquée par un net appauvrissement en argile des horizons A_1 et A_3 , représentant une épaisseur de 30 cm, avec des coefficients d'appauvrissement de 2 à 1,5 par rapport à l'horizon le plus argileux $B_{(cr)}$. L'augmentation du taux d'argile de la terre fine se fait progressivement à travers les horizons B_1 , B_2 , B_{gr} , $B_{(cr)}$, sans que soient observés sur le profil d'enduits ou d'enrobements argileux. Les rapports limon/argile sont assez élevés, ils s'accroissent avec l'appauvrissement en argile. Les sables fins sont toujours plus abondants que les sables grossiers, il en était de même dans le profil de sol rouge mais avec davantage d'irrégularité (influence des « pseudo-sables »).

La matière organique, à l'analyse, paraît très semblable à celle du sol rouge : un peu moins abondante dans les 8 premiers cm du profil beige (mais ce n'est pas une règle générale pour tous les profils beiges), elle présente un rapport carbone/azote et un taux d'humification du même ordre que ceux du profil BCO 20, avec la même inversion, vers la profondeur, de la prédominance des acides humiques ou fulviques. La coloration grise des horizons A, avec ses grandes variations de « valeur » suivant l'humidité, est due à ce que la matière organique n'est associée qu'à de faibles quantités de colloïdes minéraux peu colorés.

4.2 - LES ARGILES

4.2.1 - Diagrammes de rayons X

A l'exception de l'hématite, ce sont les mêmes minéraux argileux que ceux des sols rouges qui sont identifiés par les diagrammes de rayons X (tableau 11), mais avec des proportions différentes. Dans tous les échantillons, la kaolinite bien cristallisée est le minéral prépondérant ; elle est identifiée par les pics principaux à 7,23 et 3,55 Å, et par les pics secondaire, mais encore bien visibles, à 2,55, 2,49 et 2,34 Å. L'illite est beaucoup mieux exprimée que dans les sols rouges : ses pics caractéristiques à 10,06, 4,95 et 3,32 sont aigus et bien développés dans tous les échantillons et plus particulièrement dans l'horizon d'altération.

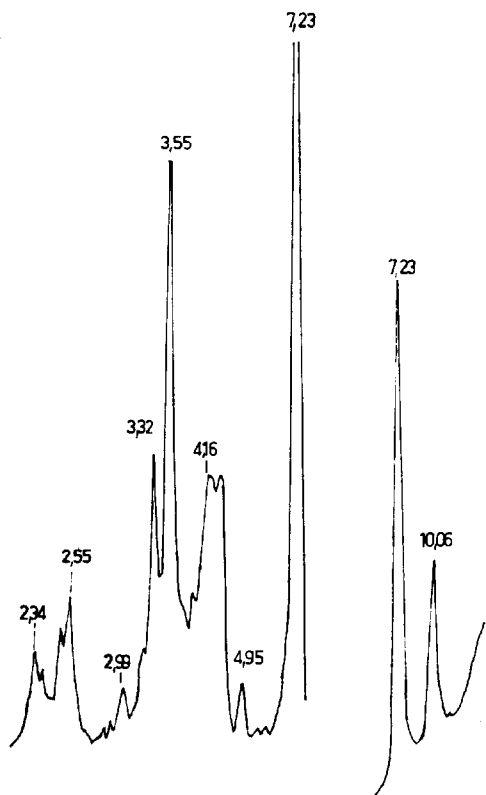
Les hydroxydes sont, à l'inverse, nettement moins marqués que dans les sols rouges. L'hématite ne semble pas devoir exister autrement qu'à l'état de traces et uniquement dans l'horizon C. La goethite elle-même paraît être en faible quantité, elle n'est rendue nettement apparente par le pic à 4,16 Å que pour les horizons de la base du profil, B_V et C. L'analyse thermique différentielle a confirmé sa présence jusqu'aux horizons de surface.

4.2.2 - Composition chimique

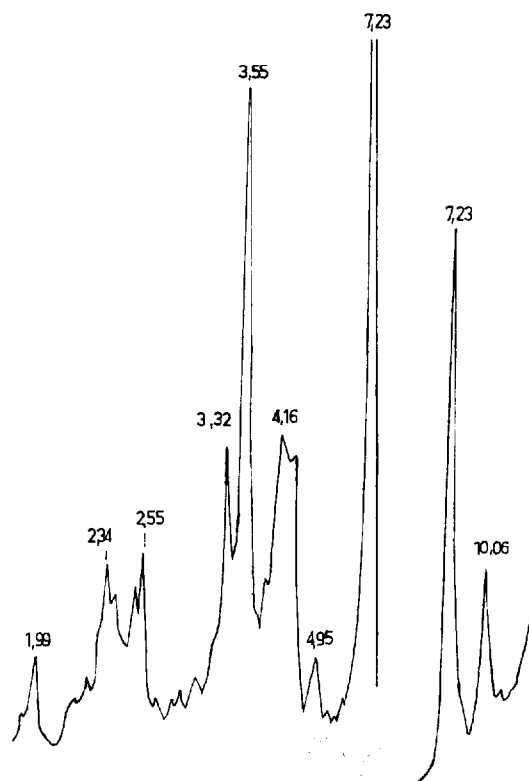
La composition chimique (tableau 12) apporte une confirmation à ces déterminations physiques. Les formules données aux illites doivent être équilibrées de façon à ce que silice et alumine restantes soient dans la proportion qui caractérise la kaolinite : il ne peut y avoir en effet dans ces sols d'alumine libre ni de silice libre autrement qu'en quantités infimes. Il faut également respecter les limites de variabilité accordées aux illites, les substitutions tétraédriques (x) étant comprises entre 0,5 et 0,75.

Dans ces conditions, les échantillons des horizons inférieurs du profil, C, B_V , $B_{(cr)}$, permettent une formule équilibrée. Pour les horizons supérieurs, il apparaît que, de même que pour le profil ferrallitique, les taux de potasse et magnésie sont accrus par les apports de la végétation. Dans le tableau 13, sont indiqués les résultats obtenus pour les horizons C, B_V , $B_{(cr)}$, qui sont équilibrés, et ceux de l'horizon B_{gr} qui, en s'élevant dans le profil, est le premier à être manifestement faussé par la non appartenance aux minéraux micacés de la totalité du magnésium et potassium dosés.

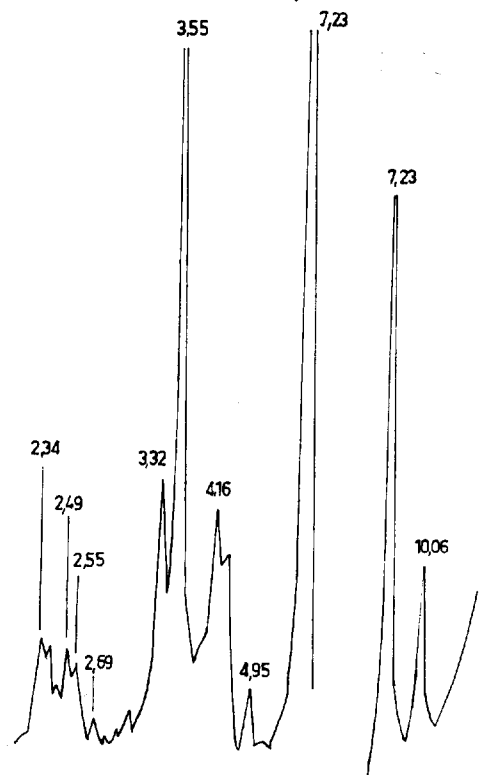
TABLEAU 11
SOL BEIGE BCO 12



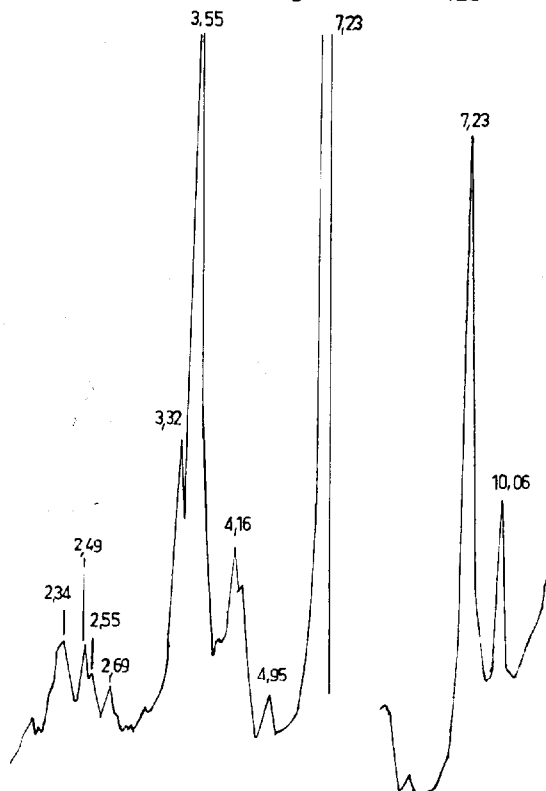
Horizon A₁₂ Ech. 122



Horizon B₂ Ech. 125



Horizon B_v Ech. 128



Horizon C Ech. 130

TABLEAU 12

COMPOSITION CHIMIQUE DES FRACTIONS ARGILEUSES DU PROFIL ROUGE BCO 12

Horizon	A _{1,2}	B ₂	B _{gr}	B _(er)	B _V	C
Echantillon	122	125	126	127	128	130
Perte au feu	11,55	13,30	12,70	12,40	12,10	12,00
Résidu	1,05	1,35	0,35	0,30	0,75	0,90
SiO ₂	42,15	39,40	40,20	41,70	40,70	39,55
Al ₂ O ₃	30,70	31,30	32,20	32,70	30,70	29,00
Fe ₂ O ₃	9,80	9,90	9,70	8,30	11,50	13,70
TiO ₂	0,92	0,90	0,87	0,92	0,95	0,87
CaO	0,12	0,10	0,40	0,12	0,14	0,24
MgO	1,12	0,92	0,73	0,73	0,78	1,19
K ₂ O	1,91	1,73	1,59	1,56	1,38	1,34
Na ₂ O	0,22	0,18	0,18	0,17	0,27	0,20

La matière silicatée seule se distribue d'après les pourcentages et formules suivantes :

- Ech. 126 : 78 % de kaolinite pour 22 % d'illite de formule $(Si_{3,25} Al_{0,75}) (Al_{1,46} Mg_{0,40} Fe_{0,40}) O_{10} (OH)_2 K_{0,75}$. Il y aurait suivant cette formule un excès d'alumine.
- Ech. 127 : 78 % de kaolinite pour 22 % d'illite de formule $(Si_{3,3} Al_{0,7}) (Al_{1,49} Mg_{0,38} Fe_{0,38}) O_{10} (OH)_2 K_{0,7}$.
- Ech. 128 : 75 % de kaolinite pour 25 % d'illite de formule $(Si_{3,455} Al_{0,545}) (Al_{1,52} Mg_{0,36} Fe_{0,36}) O_{10} (OH)_2 K_{0,545}$.
- Ech. 130 : 74 % de kaolinite pour 26 % d'illite de formule $(Si_{3,484} Al_{0,516}) (Al_{1,26} Mg_{0,55} Fe_{0,55}) O_{10} (OH)_2 K_{0,516}$.

Les chiffres obtenus pour l'illite sont considérés comme des valeurs limites (maxima possibles). On observera qu'ils sont à peu près exactement, pour les horizons inférieurs où le calcul a sa plus grande validité, le double de ceux obtenus pour le profil de sol rouge. Il semble également devoir être retenu comme fait significatif que, pour obtenir une formule compatible avec les seuls minéraux identifiés qualitativement ou qui s'en approche le plus possible, il faut donner à l'illite du sol rouge la composition la plus riche possible en alumine ($x = 0,75$) alors que pour le sol beige, dans l'horizon C tout au moins, la composition retenue est pratiquement la plus siliceuse possible ($x = 0,50$). En comparant les profils rouge et beige, apparaît une bonne concordance entre l'importance des diagrammes de rayons X de l'illite et son évaluation chiffrée à partir de la composition chimique.

TABLEAU 13

POURCENTAGES CALCULÉS DE KAOLINITE ET D'ILLITE DES FRACTIONS ARGILEUSES DU PROFIL BEIGE BCO 12

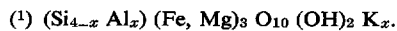
Horizon	B _{gr}	B _(cr)	B _v	C
Echantillon	126	127	128	130
(¹) Illite trioctaédrique %	5,48	5,46	5,75	8,74
(²) Illite dioctaédrique %	12,89	13,57	15,48	12,67
Kaolinite %	67,53	69,53	63,57	61,14
Excès Al ₂ O ₃ %	0,47	0	0	0

Pour le profil de sol beige BCO 12, on retiendra que le taux d'illite paraît stable (rayons X) des horizons A aux horizons B meubles et B concrétionnés, représentant près de 20 % de la matière silicatée, et qu'il s'accroît (rayons X confirmés par l'analyse chimique) de l'horizon B tacheté à l'horizon d'altération jusqu'à un taux de l'ordre de 25 %. Un tiers à un quart de cette illite est supposée trioctaédrique.

4.2.3 - Capacité d'échange

Pas plus que pour le profil de sol rouge, la *capacité d'échange* ne semble pouvoir éclairer le comportement des silicates du sol. Les résultats obtenus sur la terre fine de 0 à 2 mm sont présentés dans le tableau 14. Des incohérences, ou tout au moins des phénomènes qui ne paraissent pas pouvoir être interprétés, se remarquent dans la forte augmentation de la capacité de l'horizon B_(cr) et dans la valeur minimum qui est celle de l'horizon d'altération. Rapportées à la matière silicatée contenue dans chaque fraction 0 - 2 mm, la capacité d'échange en mé/100 g serait de 7,0 en C, 12,3 en B_v, 43,9 en B_(cr), 18,0 en B_{gr} et 23,1 en B₂. Compte tenu du mélange kaolinite-illite, les chiffres de 12 et 18 paraîtraient vraisemblables, la dispersion des autres réduit l'intérêt de cette détermination analytique.

Les bases échangeables, parmi lesquelles domine le calcium, se répartissent avec une assez grande régularité : elles décroissent vers la profondeur et ne se relèvent pas de façon sensible dans l'horizon d'altération. Les taux de saturation suivent la décroissance générale des bases et les irrégularités de la capacité d'échange : leurs valeurs extrêmes sont données par l'horizon ayant la plus forte capacité (B_(cr) apparemment saturé à 17 % seulement) et celui à la capacité d'échange la plus réduite (C, qui serait saturé à 85 %). Par rapport au sol rouge, on peut cependant relever une différence notable pour les horizons humifères dont le taux de bases décroît ici beaucoup moins vite. Les valeurs qui pourront être retenues pour le sol beige sont une saturation de 60 à 70 % dans les horizons humifères, de 30 à 40 % pour les horizons purement minéraux.



Avec $x = 0,516$ pour BCO 130

$x = 0,545$ 128

$x = 0,70$ 127

$x = 0,75$ 126

TABLEAU 14

COMPLEXE D'ÉCHANGE DE LA FRACTION 0-2 mm DU PROFIL BEIGE BCO 12

Horizon	A _{1,1}	A _{1,2}	A ₃	B ₁	B ₂	B _{gr}	B _(cr)	B _V	B _V	C
Echantillon	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
Bases échangeables et capacité d'échange en mé/100 g										
Ca	3,32	3,86	2,96	1,78	1,62	2,26	2,26	1,70	1,26	1,54
Mg	0,92	0,62	0,42	0,32	0,34	0,50	0,98	0,62	0,64	0,86
K	0,42	0,34	0,26	0,24	0,26	0,36	0,28	0,21	0,20	0,21
Na	0,22	0,18	0,16	0,12	0,12	0,12	0,12	0,20	0,12	0,20
C.E.	8,00	6,80	5,30	4,50	7,90	8,20	21,30	7,10	4,00	3,30
Saturation	61 %	73 %	71 %	54 %	29 %	39 %	17 %	38 %	55 %	85 %
pH										
pH (H ₂ O)	6,35	6,05	5,85	5,90	6,10	6,50	6,50	6,85	6,70	6,90
pH (KCl)	5,70	5,30	5,25	5,30	5,50	5,80	5,75	5,85	5,90	5,95

Les différences entre l'acidité actuelle et l'acidité d'échange, plus faibles que pour le sol rouge, restent cependant sensibles : elles sont de 0,6 à 0,7 unité pH de l'horizon de surface à l'horizon B_(cr), de 0,8 à 1 unité pour les horizons inférieurs. D'une façon générale, les pH équivalents à ceux du sol rouge en surface, se maintiennent et même s'accroissent légèrement en profondeur au lieu de s'abaisser nettement comme dans le sol rouge.

4.2.4 - Taux de fer

Les taux de fer appartenant aux fractions argileuses sont nettement plus faibles que dans le sol rouge : inférieurs à 10 % dans les horizons A, B meubles et B concrétionnés, ils se relèvent légèrement en profondeur pour atteindre 13 % dans l'horizon d'altération. Avec des chiffres moins forts, on observe la même variation dans le sens vertical que pour le profil ferrallitique. Compte tenu du fait qu'un peu de fer appartient à l'illite et qu'une part plus notable est cristallisée en goethite, le fer fixé aux particules silicatées paraîtra assez peu abondant.

4.3 - LIMONS ET SABLES

La composition chimique répartie suivant les différentes fractions granulométriques fait l'objet du tableau 15. La terre fine de 0 à 2 mm renferme dans ses limons et sables :

A _{1,2}	: 67 %	de quartz	et 10 %	de silicates	et sesquioxydes
B ₂	: 57 %	—	10 %	—	—
B _{gr}	: 42 %	—	18 %	—	—
B _(cr)	: 41 %	—	17 %	—	—
B _v	: 36 %	—	31 %	—	—
C	: 44 %	—	47 %	—	—

Il apparaît donc, en comparant ces chiffres à ceux de la composition granulométrique, qu'un tiers environ des silicates et sesquioxydes se trouve dans les fractions plus grossières que l'argile, ceci pour les horizons A, B meubles et B concrétionnés. Dans l'horizon tacheté B_v, il y a équivalence entre la somme silicates et sesquioxydes des fractions fines et grossières, et, dans l'horizon d'altération, elle est beaucoup plus faible pour la fraction argileuse que pour limons et sables.

Le fer joue un rôle certain dans l'agrégation des particules grossières non quartzuses, surtout dans les horizons supérieurs A à B_(cr) pour lesquels le rapport du fer aux silicates est notablement plus élevé dans les limons et sables que dans l'argile, moins grand cependant que pour les « pseudo-limons » et « pseudo-sables » du sol rouge.

Ce sont en fait les minéraux altérables qui donnent aux limons et sables du sol beige leur caractère essentiel. S'ils n'ont pas pu être identifiés qualitativement, leur existence est cependant certifiée par une incontestable richesse en bases qui ne s'observait pas pour leurs équivalents granulométriques du sol rouge. Comparés aux fractions argileuses, limons et sables sont incontestablement plus riches en potassium et magnésium, mais aussi en calcium et même sodium qui, dans les argiles, sont à peu près négligeables. Pour souligner ce fait important, rapportons quelques chiffres de l'analyse de la terre fine 0 - 2 mm ; ils concernent les taux de bases de l'horizon B_v pour l'argile et les limons et sables (qui ont le même contenu de silicates + sesquioxydes) :

	0 - 2 μ	2 μ - 2 mm
CaO	0,04	0,26
MgO	0,25	0,83
K ₂ O	0,45	1,25
Na ₂ O	0,08	0,14

Il est important de souligner que si, dans les argiles, ne subsistent que des minéraux micacés (potassiques et magnésiens) des minéraux altérables plus variés persistent encore dans les dimensions supérieures. Les rapports moléculaires silice/somme des bases des limons et sables se rapprochent beaucoup de ceux qui caractérisent les gneiss. Les rapports silice/alumine des fractions 2 μ - 2 mm sont élevés, avec une certaine irrégularité (horizons supérieurs) attribuable à la faiblesse des quantités à doser.

TABLEAU 15
COMPOSITION CHIMIQUE RÉPARTIE SUIVANT LES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES
PROFIL BEIGE BCO 12

Horizon	A _{1,2}		B ₂		B _{gr}			B _(er)			B _v		C		
Echantillon	122		125		126			127			128		130		
Fraction granulométrique	Argi- le	Li- mons + Sa- bles	Argi- le	Li- mons + Sa- bles	Argi- le	Li- mons + Sa- bles	Refus broyé	Argi- le	Li- mons + Sa- bles	Refus broyé	Argi- le	Li- mons + Sa- bles	Argi- le	Li- mons + Sa- bles	Refus broyé
Perte au feu	2,60	2,80	4,24	1,16	1,38	0,61	8,60	1,98	0,77	5,50	3,98	3,22	0,63	2,94	1,51
Résidu	0,23	67,37	0,43	57,52	0,03	11,91	8,38	0,04	16,83	14,08	0,24	36,26	0,04	31,22	12,84
SiO ₂	9,50	2,15	12,56	3,34	4,40	1,58	12,18	6,67	2,39	11,48	13,41	13,24	2,07	13,56	6,53
Al ₂ O ₃	6,92	3,33	9,98	2,52	3,52	1,28	12,54	5,23	1,70	9,26	10,11	8,39	1,52	8,93	4,36
Fe ₂ O ₃	2,21	1,23	3,15	1,65	1,06	1,27	27,78	1,32	1,38	17,34	3,79	4,21	0,71	3,71	1,89
TiO ₂	0,20	0,47	0,28	0,47	0,09	0,11	0,30	0,14	0,16	0,30	0,31	—	0,04	0,43	0,20
CaO	0,02	0,28	0,03	0,09	0,04	0,01	0,11	0,01	0,06	0,11	0,04	0,26	0,01	0,10	0,06
MgO	0,25	0,12	0,29	0,18	0,07	0,04	0,12	0,11	0,11	0,27	0,25	0,83	0,05	1,48	0,50
K ₂ O	0,43	0,43	0,55	0,42	0,17	0,14	0,47	0,24	0,28	0,55	0,45	1,25	0,06	2,00	0,61
Na ₂ O	0,04	0,15	0,05	0,14	0,01	0,02	0,12	0,02	0,06	0,10	0,08	0,14	0,01	0,17	0,72
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,93	0,88	1,77	1,58	1,77	1,27	0,68	1,86	1,57	0,95	1,81	2,02	1,78	2,03	1,98
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,33	?	2,13	2,25	2,11	2,09	1,64	2,16	2,38	2,10	2,25	2,68	2,31	2,57	2,54
Fe ₂ O ₃ /SiO ₂	0,23	0,57	0,25	0,49	0,24	0,80	2,27	0,19	0,57	1,51	0,28	0,31	0,34	0,27	0,28
SiO ₂ /Somme bases..	13,0	2,3	14,2	4,3	14,8	7,7	16,6	17,5	4,8	11,5	16,5	5,4	12,8	3,5	5,0
SiO ₂ /K ₂ O+Na ₂ O ..	14,5	4,7	15,9	6,2	19,1	9,4	25,2	20,0	6,7	15,0	19,9	6,5	15,0	3,8	5,6

4.4 - LES PRODUITS GROSSIERS

4.4.1 - Débris de roche altérée

Les débris de roche altérée à faible cohésion présents dans l'horizon d'altération ont été isolés lors de la préparation de la terre fine. Leur composition, marquée par un rapport silice/alumine élevé et des quantités importantes de bases, est analogue à celle de la fraction 2 μ - 2 mm.

4.4.2 - Éléments concrétionnés

Les éléments concrétionnés sont moins abondants que dans le profil rouge, puisqu'il n'y a pas de cuirasse mais des gravillons, d'apparence sénile dans les horizons B₂ et B_{gr}, en cours de formation dans l'horizon B_(cr), sur une épaisseur relativement réduite.

Les minéraux identifiés dans ces gravillons sont la kaolinite, des minéraux micacés, la goethite, et pour les gravillons de la partie supérieure, la gibbsite. L'analyse chimique indique 29 % de fer pour les gravillons de B_(cr) et 38 % pour ceux de B_{gr} et des taux de silicates élevés. Leur contenu en fer est donc du même ordre que celui des gravillons du sol rouge. La présence de gibbsite dans les gravillons de B_{gr} est confirmée par l'analyse chimique qui donne à l'alumine libre le taux minimum de 4,5 %, alors que dans les gravillons en cours de formation le rapport silice/alumine reste supérieur à 2. Ceci peut confirmer l'hypothèse de remaniements, les gravillons gibbsitiques ne paraissant pas ici dans leur milieu de genèse et ayant pu être apportés.

Les résultats d'analyse des produits grossiers sont inscrits au tableau 15.

4.5 - BILAN GÉOCHIMIQUE RAPPORTÉ AU QUARTZ CONSIDÉRÉ COMME INVARIANT

TABLEAU 16

BILAN GÉOCHIMIQUE - GAINS OU PERTES PAR RAPPORT A LA ROCHE MÈRE EN %
PROFIL BEIGE BCO 12

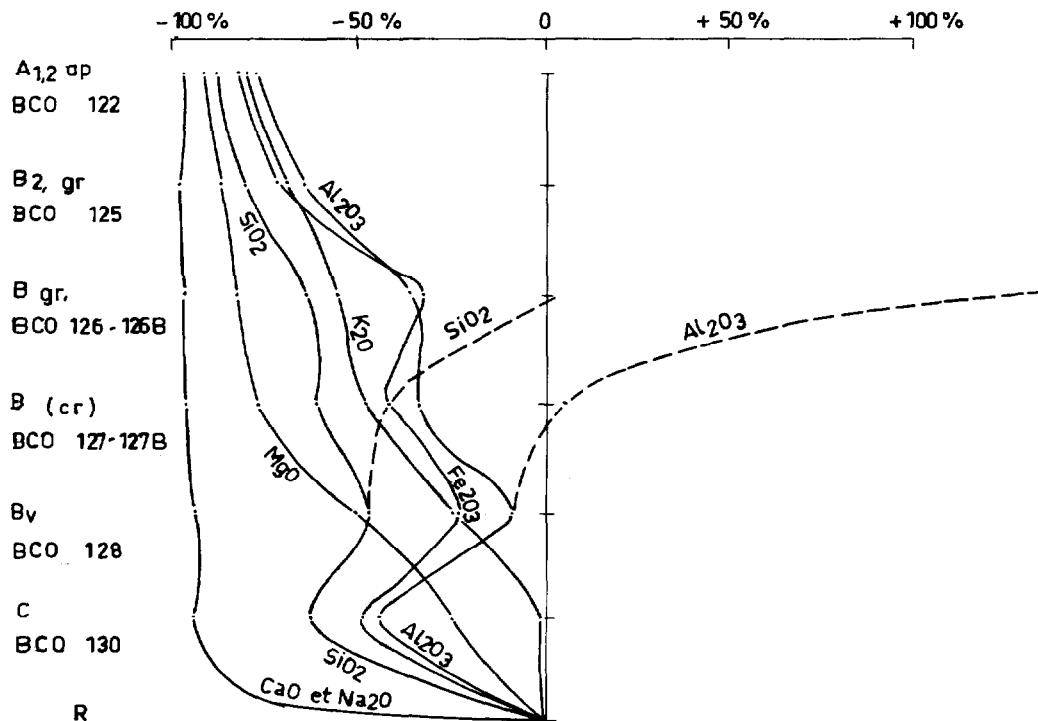
Horizon	Ro- che	C		B _v		B _(cr)				B _{gr}				B ₂		A _{1,2}	
Echantillon....		130		128		127		127 B		126		126 B		125		122	
Gains ou pertes		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
H ₂ O	1,16	156		339		262		771		274		2 187		106		75	
Quartz	25,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SiO ₂	37,17		65,0		49,1		62,6		43,2		65,1	1,1			80,9		88,4
Al ₂ O ₃	16,23		46,4		19,2		34,5	4,9			35,9	138			65,6		78,5
Fe ₂ O ₃	7,41		50,0		23,4		43,9	330			31,9	1 056			71,1		82,3
TiO ₂	0,75		48,0		81,3		37,3		25,3		40,0	22,6			56,0		66,6
CaO	4,38		97,9		95,2		97,2		95,4		97,4		92,0		98,8		97,4
MgO	1,60		25,6		52,5		78,1		68,7		83,1		76,8		87,5		91,8
K ₂ O	1,60		1,8		25,0		49,3		36,2		56,8		9,3		70,6		80,0
Na ₂ O	3,63		96,1		95,8		96,4		94,7		97,5		89,2		97,7		98,0

Gains et pertes de chaque élément par rapport à la roche-mère sont consignés dans le tableau 16, la représentation graphique est donnée au tableau 17. Comme précédemment, ils ont été calculés pour le mélange terre fine et débris encore cohérents de l'horizon C, pour les horizons B et A sur la terre fine seule, et pour les gravillons ferrugineux seuls sans tenir compte de leur enrobage.

De même que pour le sol rouge, calcium et sodium sont lixiviés très rapidement et très complètement dès l'horizon C ; s'il reste parmi les limons des minéraux altérables calciques et sodiques, c'est en proportion faible par rapport au contenu de la roche dont plus de 95 % du calcium et sodium ont disparu. Magnésium et surtout potassium, liés à des minéraux plus résistants, sont beaucoup plus stables et donnent des courbes à décroissance régulière. Il reste 75 % du magnésium de la roche dans l'horizon C, et encore 48 % dans l'horizon B_v. Le potassium est intégralement maintenu dans l'horizon C, et il faut monter dans le profil jusqu'à l'horizon B_(cr) pour observer une réduction de moitié de sa teneur. Les mobilités relatives des bases sont les mêmes que dans le sol rouge, mais l'écart entre les quantités maintenues dans le sol s'est considérablement accru.

TABLEAU 17

BILAN GÉOCHIMIQUE DU SOL BEIGE



En pointillé courbes correspondant aux éléments indurés

Les éléments majeurs, silice, alumine et fer, ne se dissocient pas comme dans la pédogenèse du sol rouge. Dès l'horizon d'altération, la matière silicatée a subi des pertes considérables et l'alumine descend fortement en-dessous de son pourcentage de la roche. Il en est de même du fer, et c'est là une des différences fondamentales qui seront retenues pour différencier les pédogenèses des sols rouges et beiges. Les fluctuations des trois éléments, dans la succession des parties meubles des horizons, se font dans de mêmes proportions. La courbe de l'alumine reproduit les inflexions de celles de la silice, celle du fer également à l'exception de l'horizon B_{gr} . De même que dans le sol rouge, l'horizon d'altération est immédiatement surmonté d'horizons plus riches en silice, alumine et fer, la décroissance de ces éléments s'amorce avec l'horizon B_2 et s'accroît dans les horizons « appauvris ».

Ces proportions sont évidemment fortement modifiées dans les gravillons, principalement ceux de l'horizon B_{gr} qui sont dus à une accumulation massive de fer et même d'un peu d'alumine libre.

En conclusion de ce bilan, on retiendra que le fer est lixivié partiellement dès la base du profil, à l'encontre de ce qui s'observait dans le sol rouge, et que les lixiviations de silice sont importantes mais respectent une bonne part des silicates potassiques et magnésiens.

4.6 - LES RAPPORTS CARACTÉRISTIQUES DE LA SILICE, ALUMINE, FER ET BASES

Des chiffres mentionnés dans le tableau 15, certains méritent d'être à nouveau soulignés. Sur l'ensemble du profil, les rapports silice/alumine sont compris entre 2,11 et 2,33 pour l'argile, et s'élèvent, pour la fraction $2\ \mu - 2\ \text{mm}$ jusqu'à 2,68. Le fer est relativement peu abondant dans les argiles, le rapport fer/silice ne dépasse la valeur repère 0,258 que dans l'horizon tacheté et l'horizon d'altération. Le rapport de la silice à la somme des bases pour les fractions $2\ \mu - 2\ \text{mm}$ varie de 2,3 à 7,7, il reste comparable à celui de la roche (3,21) ; ce rapport s'abaisse notablement dans la fraction argileuse, tout en restant nettement supérieur à ce qui est observé dans le sol rouge.

4.7 - VARIABILITÉ DES CARACTÈRES

Un second profil de sol beige (BCO 16), a été étudié. Il est situé dans la même zone que les précédents, en contrebas du deuxième profil de sol rouge, BCO 13.

Morphologiquement, il se distingue du profil beige type par une plus forte influence de l'hydromorphie et par l'absence d'horizon gravillonnaire. L'horizon B_2 est déjà marqué par de légères taches rouille et noirâtres ; il lui succède immédiatement un horizon tacheté dans lequel les marbrures rouges, sans être vraiment indurées, acquièrent une cohésion élevée après séchage. La couleur des horizons supérieurs A et B meubles est pratiquement identique à celle du profil type ; elle reste cependant dans la gamme 10 YR à l'état humide, alors que les horizons B_1 et B_2 du profil type passaient à la gamme 7,5 YR. Analytiquement, la matière organique des deux profils paraît identique.

Les argiles de ce deuxième profil sont aussi la kaolinite, l'illite, et la goethite en faible quantité. Les pics donnés par l'illite dans les diagrammes de rayons X sont plus accusés que dans le profil type. La composition chimique confirme la plus grande abondance de l'illite : le calcul donne à l'horizon B meuble 27 % d'illite pour 73 % de kaolinite, et pour l'horizon tacheté 33 % d'illite pour 67 % de kaolinite. De même que pour le profil type, on observe la richesse de l'argile en potasse et magnésium, et pour la fraction

2 μ - 2 mm des quantités importantes de calcium s'ajoutant à ces deux premiers éléments. Le rapport silice/bases des limons et sables est du même ordre que celui de la roche. La dynamique du fer est la même que dans le profil type : de très fortes lixiviations sont indiquées par les valeurs basses du rapport fer/silice.

A côté de caractères morphologiques essentiels qui restent constants, les sols beiges présentent des différences dans la présence ou l'absence d'éléments concrétionnés et par la hauteur à laquelle se manifestent les processus d'hydromorphie. Ils conservent les signes d'une évolution incomplète de la matière silicatée, laissant subsister des argiles micacées et des silicates plus complexes dans les fractions grossières de la terre fine. Les lixiviations de fer sont toujours fortes.

5 - ÉTUDE D'UN SOL JEUNE FORMÉ SUR CHARNOCKITE

5.1 - MORPHOLOGIE ET CARACTÈRES GÉNÉRAUX

Les surfaces d'aplanissement ont découpé les charnockites comme les autres roches, mais, entre les ensembles tabulaires qu'elles ont laissé au paysage actuel et le niveau du réseau hydrographique, on n'observe peu ou pas de versants réguliers. L'entaille récente des massifs de charnockites a laissé un système de collines, ou plutôt de pitons, abrupts bien que peu élevés, avec de nombreux blocs de roche en surface. Les matériaux pédologiques des anciennes surfaces n'ont laissé aucun dépôt sur ces reliefs trop activement dégagés par une érosion active : il n'y a pas de débris des fortes cuirasses qui caractérisent les aplanissements anciens sur charnockites ; les sols, morphologiquement peu développés, sont intimement mêlés à des blocs de roches de toutes tailles diversement altérés.

C'est en sommet de l'un de ces pitons, entre de gros blocs de charnockites exposés à la surface, qu'à été observé le profil BCO 22. Il porte une savane arbustive irrégulière, à *Azelia africana* et *Terminalis laxiflora*. Peu développé, ce sol est morphologiquement simple :

- $A_{1,1}$ *ap, gr* de 0 à 9 cm : Argileux, légèrement appauvri en argile. Humifère. Nombreux gravillons ferrugineux. 2,5 YR 2,5/2. Prélèv. BCO 221 (0 - 9 cm).
- $A_{1,2}$ *gr* de 9 à 30 cm : Argileux, humifère. Gravillons plus nombreux. 2,5 YR 3/4. Prélèv. BCO 222 (15 - 25 cm).
- B_{gr} de 30 à 65 cm : Gravillons moyennement indurés 10 R 4/6 à 4/8. Terre fine à texture d'argile, faiblement humifère, 2,5 YR 3/6. Prélèv. BCO 223 (40 - 50), BCO 223 B : Gravillons broyés.
- C à 65 cm : Dalle de charnockite à faible cortex d'altération.

Les gravillons ferrugineux sont anguleux, moyennement ou peu indurés, fissurés. Ils ont les mêmes caractères morphologiques que ceux en cours de formation dans le profil rouge type (horizon B_n) et dans le profil beige type (horizon $B_{(cr)}$), et ne peuvent être confondus avec les gravillons remaniés. Leur couleur est rouille, ils présentent des enduits noirs. Malgré son faible développement, et en l'absence de possibilité d'apports latéraux, ce profil jeune exprime donc une forte tendance au concrétionnement.

La terre fine est à nette dominance rouge, à peine moins accentuée que dans les profils ferrallitiques les plus évolués. De la surface à l'horizon B_{gr} , la terre fine se situe dans les gammes suivantes : 6,25 YR puis

3,25 YR et, après humectation qui accentue la couleur rouge, 5 YR puis 2,5 YR. L'intensité (chroma) est élevée : 4 dès la base de l'horizon A₁, 5 ou 6 dans l'horizon inférieur.

La texture du profil est marquée par de forts pourcentages d'argile, avec léger appauvrissement dans l'horizon superficiel. La matière organique est abondante : elle atteint des pourcentages nettement supérieurs à ceux des profils types rouges et beiges. Son degré d'évolution, indiqué par le rapport carbone/azote et le taux d'humification, est comparable à celui des autres sols. La prépondérance, en surface, des acides humiques sur les acides fulviques, s'inverse en profondeur.

La somme des bases échangeables est sensiblement plus élevée dans ce profil que dans les sols précédemment étudiés, le calcium étant l'élément largement dominant. La capacité d'échange, largement tributaire du contenu organique, est élevée, ce qui ramène le taux de saturation aux valeurs ordinaires des sols de la région : 68 % en surface, 36 % à la base.

TABLEAU 19

GRANULOMÉTRIE, MATIÈRE ORGANIQUE ET COMPLEXE D'ÉCHANGE DU PROFIL ROUGE RÉCENT BCO 22

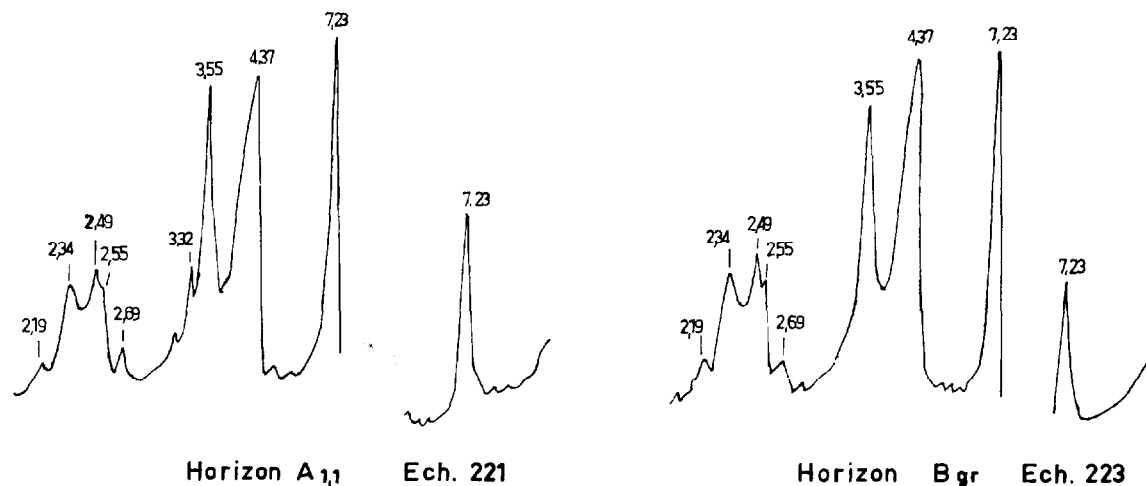
Horizon	A _{1,1}	A _{1,2}	B _{gr}		A _{1,1}	A _{1,2}	B _{gr}
Echantillon	221	222	223		221	222	223
Couleur sec	6,25 YR 3/2	5 YR 3,5/4	3,25 YR 4/6	Argile	49,5	57,9	64,4
Couleur humide	5 YR 2/2	2,5 YR 2,5/4	2,5 YR 3/5	Limon fin	11,7	8,5	6,6
Refus 2 mm	24,2	54,1	59,7	Limon grossier	9,1	7,1	7,6
Humidité	3,9	5,0	5,8	Sable fin	16,3	9,3	5,9
Complexe d'échange en mé/100 g				Sable grossier	13,2	17,0	15,2
Ca	8,36	3,80	2,50	Matière organique			
Mg	1,91	0,76	0,50	Mat. org. %	5,66	3,26	2,16
K	0,66	0,30	0,24	C/N	17,3	12,8	11,1
Na	0,30	0,20	0,16	Carb. hum. ‰	0,82	0,46	—
C.E.	16,3	11,8	9,4	Carb. fulv. ‰	1,21	1,66	1,40
Saturation %	68	42	36	Taux hum. %	6,1	11,2	11,2
Acidité							
pH (H ₂ O)	6,35	5,50	5,60	pH (KCL)	5,40	4,60	4,60

5.2 - ARGILES, « PSEUDO-LIMONS » ET « PSEUDO-SABLES », CONCRÉTIIONS

Les argiles identifiées sont peu nombreuses. Seul silicate, la kaolinite est identifiée par les pics classiques à 7,23, 3,55, 2,55, 2,49, 2,34 Å qui sont d'assez faible importance et laissent supposer une mauvaise cristallisation. Aucune trace d'illite n'est identifiée. Parmi les sesquioxydes, l'hématite est largement prépondérante : elle est bien exprimée par les pics à 2,69 et 2,19 Å. Des traces de goéthite, difficiles à discerner sur les diagrammes de rayons X, ont été confirmées par l'analyse thermique différentielle.

TABLEAU 20

ARGILES DU SOL ROUGE RÉCENT BCO 20



L'analyse chimique (tableau 21) donne aux argiles une composition qui est presque exactement celle de la kaolinite, et des taux de fer relativement peu élevés lorsqu'on les compare à ceux des fractions plus grossières.

La terre fine contient de forts pourcentages de « pseudo-limons » et « pseudo-sables », équivalents à la moitié ou au tiers (pour BCO 201 et 203) de la quantité de silicates et sesquioxydes restant dans la fraction inférieure à 2 μ . Ces éléments sont agrégés par de grandes quantités de fer, et contiennent de l'alumine libre. Ils renferment probablement quelques minéraux altérables, leur rapport silice/somme des bases étant peu élevé.

Les gravillons, isolés de l'horizon B_{gr}, malgré leur faible induration, représentent une forte accumulation de sesquioxydes : 27 % de Fe₂O₃, 12 % d'Al₂O₃ libre. On observe donc très bien dans ce profil la ségrégation progressive des sesquioxydes vers les tailles grossières, principalement pour l'alumine libre, absente dans l'argile, présente en quantités assez faibles dans la fraction 2 μ - 2 cm, et qui devient un constituant important des gravillons.

TABLEAU 21

COMPOSITION CHIMIQUE ET RÉPARTITION SUIVANT LES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES,
PROFIL ROUGE RÉCENT BCO 22

Horizon	A _{1,1}	B _{gr}	A _{1,1}		B _{gr}		
Echantillon	221	223	221		223		
Fractions granulométriques	Argile seule	Argile seule	Argile	Limons + sables	Argile	Limons + sables	Refus broyé
Perte au feu	19,10	15,20	9,45	4,80	3,94	1,64	9,96
Résidu	0,60	0,15	0,29	25,51	0,03	5,56	4,83
SiO ₂	36,55	38,50	18,09	5,51	9,99	1,95	10,83
Al ₂ O ₃	30,50	33,50	15,09	5,66	8,69	2,38	16,41
Fe ₂ O ₃	9,50	9,00	4,70	7,05	2,33	1,99	16,11
TiO ₂	0,65	0,58	0,32	1,28	0,14	0,44	0,44
CaO	0,45	0,43	0,22	0,16	0,10	0,02	0,05
MgO	0,37	0,30	0,18	0,18	0,07	0,04	0,05
K ₂ O	0,39	0,34	0,19	0,11	0,08	0,03	0,05
Na ₂ O	0,13	0,13	0,06	0,07	0,03	0,10	0,07
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,69	1,66	1,69	0,79	1,66	0,78	0,68
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,03	1,95	2,03	1,65	1,95	1,39	1,11
Fe ₂ O ₃ /SiO ₂	0,25	0,23	0,25	1,27	0,23	1,02	1,48
SiO ₂ /Somme bases	25,9	30,7	25,9	9,5	30,7	5,0	44,9
SiO ₂ /K ₂ O+Na ₂ O	45,6	58,0	45,6	16,2	58,0	24,7	95,0

5.3 - LES RAPPORTS CARACTÉRISTIQUES DE LA SILICE, ALUMINE, FER ET BASES

Ils montrent nettement que l'évolution de ce profil est de type ferrallitique et qu'elle a atteint un stade avancé. Pratiquement égal à 2 dans les argiles, le rapport silice/alumine passe dans l'horizon B_{gr} à 1,39 pour « pseudo-limons et sables », et à 1,11 pour les gravillons : ce sont les chiffres les plus bas relevés au cours de cette étude.

Le fer se maintient dans le profil sinon intégralement, ce qui n'est pas vérifiable par suite de l'absence de référence à la composition de la roche-mère, du moins en grande partie : les rapports fer/silice sont du même ordre de grandeur que ceux du sol ferrallitique type.

La disparition des bases peut être considérée comme presque totale : les argiles paraissent entièrement dépourvues des silicates potassiques et magnésiens reconnus dans les autres sols, et seul le rapport silice/bases des fractions $2 \mu - 2 \text{ mm}$ laisse supposer quelques minéraux encore altérables.

6 - CONCLUSIONS

6.1 - LA PÉDOGENÈSE ACTUELLE DES MILIEUX BIEN DRAINÉS

La coexistence de sols ferrallitiques rouges situés sur des reliefs anciens et de sols ferrugineux tropicaux beiges localisés à des surfaces récemment dégagées a posé le problème suivant : les premiers doivent-ils être considérés comme fossiles, et les seconds sont-ils purement l'expression des conditions écologiques actuelles ?

L'observation des sols incontestablement récents de certains reliefs escarpés permet de trancher ce problème pour la région étudiée : en position de bon drainage, il se forme actuellement des sols rouges, ayant tous les caractères de la ferrallitisation, dans lesquels le fer s'accumule facilement dans la terre fine et dans des concrétions ou cuirasses.

Les sols ferrallitiques rouges des aplanissements antérieurs sont incontestablement des sols très anciens, mais rien ne permet de les considérer comme « polygéniques », terme qui signifierait que certains de leurs caractères relèvent de processus spécifiques d'un milieu écologique différent de l'actuel. Certains de leurs constituants peuvent être figés dans un stade que l'on peut dire être celui de la « maturité » ou de la « sénilité », c'est le cas des gravillons ferrugineux de la partie supérieure des profils. Mais l'on observe aussi ces gravillons en cours de formation, souvent dans les mêmes profils qui possèdent aussi des formes « séniles ». On peut affirmer que les sols ferrallitiques rouges, plus ou moins fortement concrétionnés ou cuirassés, tels que ceux qui ont été étudiés, se forment sous climat tropical à saisons alternantes.

La pédogenèse des sols rouges relève d'un milieu de drainage normal et facilement oxydant : les lixiviations sont sélectives, elles affectent essentiellement les bases et, suivant un pourcentage moindre, la silice, mais le maintien du fer est favorisé par son passage facile à l'état oxydé.

Les sols rouges récents fournissent un exemple d'un problème de classification souvent posé par les sols tropicaux. Ils présentent le contraste d'un faible développement morphologique et d'une évolution physico-chimique très avancée. Ce sont des sols que l'on pourrait qualifier de « peu différenciés » (profil A - C), comme de « ferrallitiques » ; ils ne sont ni « eutrophes » ni « pénévoués ».

6.2 - LA PÉDOGENÈSE DES SOLS BEIGES EN MILIEUX DE DRAINAGE RALENTI

Les différences fondamentales observées entre les sols rouges récents à évolution ferrallitique et les sols beiges ne peuvent être attribuées qu'à la position basse de ces derniers, déterminant un bilan hydrique particulier.

Les néoformations donnent naissance dans ces sols à la kaolinite. Il n'y a aucune trace de gibbsite dans les profils étudiés, c'est un caractère reconnu à tous les sols ferrugineux tropicaux. Cela s'inscrit en confirmation du fait, connu depuis les plus anciens travaux (HARRISON 1908, 1933) sur le milieu ferrallitique, que les bas de pente sont favorables aux silicifications alors que la gibbsitisation, si elle n'y est pas obligatoire, est cependant toujours limitée aux positions hautes à fort drainage.

Les sols beiges, formés ici à partir de roches riches en silicates variés, ont conservé des « héritages » importants de minéraux micacés essentiellement. La persistance de silicates contenant des bases relève d'une certaine « jeunesse » des matériaux des entailles récentes du relief et de leur stabilité relative dans un milieu partiellement « confiné ».

Avec l'existence de cette réserve de minéraux altérables la dynamique du fer peut apparaître comme le caractère essentiel opposant les sols beiges aux sols rouges. Il se produit dans les deux catégories de sols des redistributions de fer au bénéfice d'horizons concrétionnés, mais ce qui paraît fondamental est que les sols beiges ont perdu, sur l'ensemble de leur profil, un fort pourcentage du fer fourni par la roche-mère, et que ceci se manifeste non seulement pour les horizons de surface mais dès les horizons d'altération. On ne peut imaginer, à la profondeur à laquelle se constitue le matériau d'altération, d'autre agent de mobilisation du fer qu'un milieu partiellement, ou temporairement, réducteur.

6.3 - LES ACCUMULATIONS ARGILEUSES ET FERRUGINEUSES DES PROFILS

C'est encore aux travaux de HARRISON que l'on peut remonter pour trouver la première mise en évidence d'une succession de niveaux d'argilification différents dans les profils. HARRISON avait remarqué la superposition d'un niveau de « primary laterite » gibbsitique et d'un niveau de « lateritic earth » kaolinitique. La resilicification de la gibbsite est devenue par la suite l'interprétation courante donnée à la succession de certains horizons, du bas vers le haut des profils. Un problème analogue, de plusieurs niveaux d'argilification, se pose pour les sols rouges et beiges.

Dans les sols étudiés, le passage de l'horizon C à la base des horizons B ne se réduit pas à de simples modifications structurales. S'il apparaît déjà pour le sol beige type que le passage de l'horizon d'altération à l'horizon tacheté B_V se fait avec une augmentation du taux des silicates, c'est encore beaucoup plus net pour l'horizon B_n du profil rouge. Une explication valable pour les deux types de sols, doit être recherchée.

Dans le cas du sol rouge, il paraît totalement exclu de faire intervenir un processus d'accumulation argileuse à partir du lessivage d'horizons supérieurs, en raison de la trop grande profondeur des horizons concernés et de la stabilité reconnue aux argiles dans tous les sols ferrallitiques. On ne peut non plus, dans l'un et l'autre cas, supposer des resilicifications, les horizons C fournissant un matériau déjà kaolinitique. Les remaniements n'expliquent pas plus un changement textural, les horizons B_n ou B_V , situés sous les niveaux graveleux et passant progressivement aux horizons C étant toujours considérés comme autochtones.

La distribution des silicates du sol ne semble donc pas devoir être interprétée par des mouvements, verticaux ou latéraux, dans un matériau qui aurait eu au départ une composition uniforme identique à celle des horizons d'altération C. S'il y a bien un seul type de néoformations argileuses (ici essentiellement kaolinitique), il semble que la base des horizons B actuels ait été formée avec de moindres lixiviations que les horizons C. Cela se conçoit assez bien pour les horizons tachetés B_V dont les marbrures traduisent un bilan en eau particulier, et, pour les sols à horizon B_n bien drainé, cela peut être attribué à un conditionnement antérieur à l'état actuel du sol.

S'il y a eu, à certains niveaux du sol, un maximum d'argilification et des lixiviations réduites, il est logique de supposer qu'une partie du fer accumulé dans ces horizons provient d'un simple maintien sur

place. Il n'en reste pas moins que pour justifier les fortes accumulations ferrugineuses des gravillons et cuirasses, il faut faire intervenir des accumulations absolues du fer. Ces transferts, possibles pour le fer, seraient beaucoup moins vraisemblables pour la kaolinite (ou pour l'alumine qui servirait à son élaboration).

Les traits dominants de la pédogenèse des sols rouges et beiges sont bien définissables, mais tous les mécanismes qui ont concouru à établir la morphologie actuelle des profils ne sont pas aisés à reconstituer. Avec l'établissement d'une nouvelle surface commence l'élaboration d'un nouveau sol qui peut hériter d'un matériau déjà altéré et remanié. Au cours du développement géomorphique et pédologique, chaque site voit se modifier son environnement et par conséquent ses conditions hydriques, ses possibilités d'argilification, de lessivage latéral, d'accumulation, d'enlèvements ou d'apports mécaniques.

6.4 - QUELQUES CONSIDÉRATIONS SUR LES CLIMATS, LA MORPHOGENÈSE ET LA PÉDOGENÈSE

Les sols ferrugineux tropicaux étant principalement connus en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale boréale sous des pluviométries assez peu élevées, ceux de la région étudiée pourraient paraître en dehors de leur aire de répartition. Il reste à savoir si c'est la variable climatique seule qui limite leur extension vers le Sud, c'est-à-dire vers les régions plus humides.

Les sols ferrugineux tropicaux occupent des « glacis », unités morphologiques fréquentes des régions à saison sèche longue, et paysage, dans cette partie de l'Afrique, à faibles dénivelées, souvent constitué d'accumulations détritiques continentales. Des cuvettes nigérienne ou tchadienne vers l'équateur, il y a non seulement changement de climat, mais passage d'un ensemble fortement arasé à des reliefs plus développés en altimétrie. L'unité morphologique caractéristique n'est plus le glacis, mais la colline en « demi-orange » (TRICART 1965), dont la base passe brutalement à des bas-fonds plats nettement hydromorphes. Les reliefs à drainage intermédiaire disparaissent presque complètement, et avec eux les sols beiges. Dans la région de Bossangoa, à proximité de la cuvette tchadienne, c'est l'aplanissement général du relief qui a permis la formation des sols beiges. Un peu plus au Sud, avec le développement d'un climat plus humide et un relief plus accentué par l'approche de la dorsale séparant les bassins tchadien et congolais, les sols beiges disparaissent.

La couleur des sols peut être considérée comme un caractère en soi secondaire, mais qui est généralement significatif d'un pédo-climat particulier. Il est frappant de constater que les sols ferrugineux tropicaux dont le drainage « ralenti » signifie un certain engorgement temporaire, sont environnés par des sols rouges, ferrallitiques ou fersiallitiques (MARTIN et coll., 1966). Dans le milieu typiquement équatorial d'Afrique, les sols ferrallitiques rouges des régions à saisons alternées cèdent la place à une majorité de sols jaunes. Des différences fondamentales séparent sols ferrugineux tropicaux et sols ferrallitiques fortement désaturés. Cependant, entre ces sols qui sont souvent engorgés, les premiers pour des raisons topographiques et les seconds à un degré moindre par suite de l'abondance et de la répartition des pluies, un certain rapprochement est suggéré par une couleur beige ou jaune, et non rouge.

7 - ANNEXE

La notation des horizons des sols suivant le schéma A, B, C remonte aux débuts de la science du sol. Elle a été codifiée et assortie de symboles complémentaires par l'U.S.D.A. et l'I.N.E.A.C. De nouvelles modifications ont paru nécessaires pour l'appliquer à des sols très profondément différenciés comme les sols ferrallitiques. Les seules notations employées pour les profils étudiés dans ce texte seront rapidement définies.

Horizon A (humifère, appauvri ou non en argile). Il est subdivisé en A_1 et A_3 . La notation A_2 , désignant un horizon blanchi ou tout au moins décoloré, ne trouve pas à s'appliquer dans les sols étudiés. Lorsque les horizons humifères contiennent plus de 10 % de gravillons ferrugineux, ils reçoivent le symbole complémentaire gr. L'appauvrissement en argile est indiqué par le symbole ap.

Horizon B meuble. Il se subdivise en B_1 (faible imprégnation humifère ou encore un peu appauvri en argile) et B_2 (maximum de différenciation de la couleur, texture, structure). B_3 qui se définit par un changement de couleur ou structure par rapport à B_2 n'apparaît pas dans les profils examinés. Sous les horizons gravillonnaires ou cuirassés, apparaît parfois un nouvel horizon meuble structuré. Il est noté B_n . Les symboles associés aux horizons B meubles sont :

- fe : accumulation ferrugineuse dans la terre fine
- gr : de 10 à 60 % de gravillons ou concrétions.

Horizon B gravillonnaires ou cuirassés. L'horizon B_{gr} contient plus de 60 % de gravillons ou concrétions. On ne présume pas du fait qu'il soit ancien ou récent, formé en place ou remanié.

Cuirasses et carapaces sont désignées par B_{cr} . Lorsque l'induration affecte une partie seulement de l'horizon, on considère qu'il s'agit d'une cuirasse en formation et la notation $B_{(cr)}$ est employée.

Horizon tacheté B_v . Il correspond à la définition du « plinthite ». Marqué par de larges marbrures rouges et beiges, il est considéré comme influencé par des phénomènes d'hydromorphie. Les taches rouges sont faiblement indurées ; un horizon tacheté restant parfaitement meuble serait noté B_v .

Horizon d'altération C. Malgré ce terme d'horizon « d'altération », il peut être minéralogiquement très évolué, mais reste sans structure et souvent hétérogène. Les horizons C des profils étudiés sont, eux, effectivement incomplètement altérés.

Description du profil ferrallitique rouge BCO 20

- | | |
|---------------------------|--|
| $A_{1,1}$ ap de 0 à 8 cm | : Gris-brun 2,5 YR 3/2 puis brun 2,5 YR 2,5/4 (horizon mouillé). Argilo-sableux, humifère. Quelques petits gravillons ferrugineux globuleux ou anguleux brun-violacé 5 R 3/2 fortement indurés. Structure peu exprimée, débit facile. Cohésion moyenne. Passage graduel à : |
| $A_{1,2}$ gr de 8 à 26 cm | : Brun-rougêâtre 10 R 3/5. Argile sableuse, humifère. Gravillons ferrugineux plus abondants que dans le précédent. Même structure peu exprimée que dans le précédent. Passage progressif à : |
| A_3 gr de 26 à 68 cm | : Brun-rouge 10 R 3/6. Argileux, humifère. Abondants gravillons ferrugineux ; taille moyenne 5 mm, certains atteignent 2 cm ; globuleux ou subanguleux ; fortement indurés ; couleur dominante rouille violacé 5 R 3/2, 10 R 3/4, 4/3. Horizon très friable en raison de l'humidité élevée. Porosité assez bonne, pénétration facile des racines. Passage brutal à : |
| $B_{cr,1}$ de 68 à 136 cm | : Cuirasse. Massive jusqu'à 96 cm, puis pisolithique, les pisolithes étant soudés par un ciment ne laissant pas de cavités. Brun-violacé 10 R 3/4, brun-noirâtre 7,5 R 2/2, beige-ocre 5 YR 7/8. Induration forte. Passage distinct à : |

- B_{cr,2}** de 136 à 260 cm : Carapace à induration moyenne, les morceaux détachés au marteau peuvent être rompus à la main. La carapace englobe des gravillons nettement indurés. Mêmes couleurs que dans les précédents, avec de plus fréquents enduits noirâtres. Passage progressif, l'induration s'atténuant à partir de 255 cm à :
- B_{n,1 gr. fe}** de 260 à 320 cm : Ocre-rouge foncé 10 R 4/6 avec quelques fines traînées beige-ocre. Limono-argilo-sableux, avec nombreux gravillons ferrugineux subanguleux et globuleux, moyennement indurés, brun-rouille 10 R 3/6 à brun-ocre 2,5 YR 3,5/5. Taille et nombre des gravillons décroissent progressivement. Passage très progressif à :
- B_{n,2 fe}** de 320 à 490 cm : Brun-rouge 10 R 3/6. Argileux, à limons abondants. Quelques petits gravillons ferrugineux. Passage très progressif par apparition de légères marbrures beiges à la base.
- C** de 490 à 700 cm : Rose 7,5 YR 5,5/6 s'éclaircissant un peu en profondeur avec marbrures beiges irrégulières. Argile sableuse. Friable.

Description du profil ferrugineux tropical beige type BCO 12

- A_{1,1 ap}** de 0 à 12 cm : Gris foncé 10 YR 3,5/1 sec, 3/1 hum. Sable argileux, humifère. Rares fissures. Débit en polyèdres arrondis et en granules. Cohésion assez faible. Porosité bonne due à la texture et à des tubulures très fines. Radicelles nombreuses. Passage distinct à :
- A_{1,2 ap}** de 12 à 18 cm : Gris-beige 10 YR 3,5/2 sec, 3/2 hum. Sable argileux à argilo-sableux, humifère. Pas de faces structurales discernables, apparence massive. Débit facile du polyèdre subanguleux au granule. Cohésion faible à moyenne, plus accentuée que dans le précédent. Passage distinct à :
- A_{3, ap}** de 18 à 30 cm : Beige terne 10 YR 4/4 sec, 3,5/3 hum. Argilo-sableux, humifère. Tendance massive à débit en polyèdres subanguleux de toutes tailles. Cohésion d'ensemble moyenne. Porosité moyenne. Passage graduel à :
- B₁** de 30 à 52 cm : Beige-ocre terne 7,5 YR 5/6 sec, 4,5/4 hum. Argilo-sableux, avec faible imprégnation humifère. Quelques très petits gravillons ferrugineux de quelques mm. Apparence massive, fissures discernables rares. Débit en polyèdres subanguleux de toutes tailles. Porosité moyenne. Passage très progressif à :
- B_{2, gr}** de 52 à 75 cm : Couleur moins terne, plus vive, mais ne donnant pas une notation Munsell sensiblement différente. Argilo-sableux à argile sableuse. Petits gravillons ferrugineux plus nombreux que dans le précédent. Même structure d'apparence massive que le précédent. Passage brutal et assez irrégulier à :
- B_{gr}** de 75 à 105 cm : Horizon gravillonnaire dense. Gravillons ferrugineux globuleux arrondis de 0,5 à 2 cm bien indurés, couleurs de brun à brun-rouille 2,5 YR 3/2, 10 R 3/2. Concrétions plus friables, ocre 5 YR 5/4 et noirâtre à contours moins nets passant à la terre meuble par un cortex plus clair. Quelques fins graviers de quartz. Terre fine à texture d'argile sableuse, ocre clair 7,5 YR 6/5. Passage progressif à :

- $B_{(cr)}$ de 105 à 200 cm : Les éléments indurés sont progressivement moins nombreux. Diminution du nombre des gravillons, augmentation des concrétions de forme scoriacée à induration moyenne puis faible. Présence de débris de roches micacées, altérées, à litage conservé, friables, de couleur rose. Terre fine gris-beige 10 YR 6/2,5 à texture d'argile sableuse. C'est un horizon évoluant vers le concrétionnement et le cuirassement. Passage progressif à :
- B_V de 200 à 380 cm : Horizon marbré. Dominantes rouges, rouille clair 2,5 YR 5/8, ocre clair 5 YR 6/8. Beige-ocre clair 10 YR 7/3 s'accroissant vers la base. Les taches rouges ont une cohésion plus forte que l'ensemble, elles se fragmentent en polyèdres larges. La texture passe d'une argile limono-sableuse à un sable argilo-sableux. Débris de roche altérée. Passage très progressif à :
- C de 380 à 450 cm : Horizon d'altération très friable, rose, rouille et beige, sableux, Micas et débris altérés peu cohérents.

Description du profil jeune rouge BCO 22

- $A_{1,1 ap}$ de 0 à 9 cm : Brun foncé 2,5 YR 2,5/2. Argileux, humifère. Nombreux gravillons ferrugineux, très anguleux, fissurés, d'induration moyenne ou faible, à coloration très hétérogène à rouille vif dominant 10 R 4/6 à 4/8 et enduits noirâtres. Quelques graviers de quartz. Terre fine à structure nuciforme fine bien exprimée. Cohésion moyenne. Forte porosité, enracinement dense. Passage graduel à :
- $A_{1,2 gr}$ de 9 à 30 cm : Brun-rougeâtre 2,5 YR 3/4. Argileux, humifère. Les éléments grossiers, identiques à ceux de l'horizon précédent, sont plus abondants. Structure de la terre fine peu discernable. Passage progressif à :
- B_{gr} de 30 à 65 cm : Horizon gravillonnaire, même type de gravillons que dans les précédents. Quelques blocs de charnockite. Terre fine brun-rouge 2,5 YR 3/6, à texture d'argile, humifère. Passage brutal à :
- R à 65 cm : Dalle de charnockite à cortex d'altération de 2 cm beige-ocre avec enduits noirâtres.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE (A.), 1949. — « Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale ». *Soc. Ed. Geogr. Marit. Col.*, Paris, 351 p.
- BOCQUIER (G.), CLAISSE (G.), 1963. — « Reconnaissance pédologique dans les vallées de la Gambie et de la Koulomtuou (République du Sénégal) ». *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, n° 4, pp. 5-32.
- BOULVERT (Y.), 1968. — « Quelques aspects de l'influence de la topographie et du matériau originel sur la répartition de sols ferrallitiques, sols ferrugineux tropicaux et vertisols dans la région de Bossangoa au nord-ouest de la République Centrafricaine ». *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VI, n° 3/4, pp. 259-275.
- BOULVERT (Y.), 1968. — « Notice explicative. Carte pédologique de l'Ouham. Bossangoa en 4 feuilles au 1/100 000 ». Centre ORSTOM de Bangui, 79 p. *multigr.*

- BOWEN (N.L.), 1928. — « The evolution of igneous rocks », Dover Publ., inc, New-York.
- FAUCK (R.), 1963. — « Le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions ». *Sols afr.*, vol. VIII, n° 3, pp. 383-405.
- FAUCK (R.), 1964. — « Les sols rouges faiblement ferrallitiques d'Afrique Occidentale ». *Congr. Internation. Sci. Sol*, 8, Bucarest, (V. 62), vol. V, pp. 547-557.
- GERARD (J.), 1963. — « Contribution à l'étude géologique et minière de la région de Bossangoa (République Centrafricaine) ». *Inst. Equat. Rech. Et. Géol. Min.*, Brazzaville, 209 p. multigr.
- HARRISON (J.B.), 1933. — « The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions ». *Imp. Bur. Soil Sci.*, Harpenden, 79 p.
- D'HOORE (J.L.), 1964. — « La carte des sols d'Afrique au 1/5 000 000 ». *C.C.T.A., Publ.* n° 93, Lagos, 209 p.
- D'HOORE (J.L.), FRIPIAT (J.J.), GASTUCHE (M.C.), 1954. — « Les argiles tropicales et leur oxyde de fer de recouvrement ». *Conf. Interafr. Sols*, 2, Léopoldville, vol. I, pp. 257-260.
- KING (L.C.), 1967. — « Morphology of the earth ». 2nd ed. Oliver and Boyd, Edimburg, London, 726 p.
- LELONG (F.), 1967. — « Détermination quantitative par voie chimique des constituants minéralogiques de produits argileux d'altération tropicale ». *Bull. Gr. Fr. Arg.*, t. XIX, fasc. 1, pp. 49-67.
- LELONG (F.), MILLOT (G.), 1966. — « Sur l'origine des minéraux micacés des altérations latéritiques. Diagenèse régressive. Minéraux en transit ». *Bull. Serv. Carte Géol. Alsace Lorraine*, 19, 3-4, pp. 271-285.
- MAIGNIEN (R.), 1960. — « Influence ancienne sur la morphologie et la répartition des sols en Afrique Tropicale de l'ouest ». *Int. Congr. Soil. Sci.* 7, Madison, vol. IV, pp. 171-176.
- MAIGNIEN (R.), 1961. — « Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions sud-ouest du Sénégal ». *Sols afr.*, vol. VI, n° 2-3, pp. 113-171.
- MARTIN (D.), SIEFFERMANN (G.), VALLERIE (M.), 1966. — « Les sols rouges du Nord-Cameroun ». *Cah. ORSTOM sér. Pédol.*, vol. IV, n° 3, pp. 3-28.
- MILLOT (G.), LUCAS (J.), PAQUET (H.), 1965. — « Evolution géochimique par dégradation et aggradation des minéraux argileux dans l'hydrosphère ». *Geol. Rundschau*, 55, pp. 1-20.
- QUANTIN (P.), 1965. — « Les sols de la République Centrafricaine ». *Mém. ORSTOM*, n° 16, 113 p.
- TOBIAS (C.), 1965. — « Contribution à l'étude du passage des sols beiges aux sols rouges : étude d'une toposéquence dans la région de Séfa (Casamance) ». Centre ORSTOM, Dakar, 113 p. multigr.
- SEGALEN (P.), 1967. — « Les facteurs de formation des sols ferrugineux tropicaux ». ORSTOM, Réunion annuelle des pédologues, Bondy, 13 p. multigr.
- SEGALEN (P.), 1969. — « Le remaniement des sols et la mise en place de la stone-line en Afrique ». *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VII, n° 1, pp. 113-127, 4 pl. h.-t.
- TRICART (J.), CAILLEUX (A.), 1965. — *Traité de géomorphologie. V. Le modelé des régions chaudes, forêts et savanes.* SEDES, Paris, 322 p.



PHOTO 1. — La surface aplanie ancienne est limitée par un escarpement brutal où s'entassent les blocs de cuirasse.



PHOTO 2. — Au niveau du profil - type des sols rouges, sur la surface ancienne.



PHOTO 3. — Au milieu du versant long et régulier commencent à apparaître les caractères des sols ferrugineux tropicaux. Les feux ont ravagé la végétation.



PHOTO 4. — Le bas de versant, en dessous du profil-type des sols beiges. La végétation est une jachère récente.



PHOTO 5. — Colline à chaos rocheux. De gros blocs de charnockite apparaissent sur la partie haute.



PHOTO 6. — La surface du sol au sommet de la colline précédente, près du profil-type des sols jeunes.