

CONTRIBUTION DES ETUDES GRANULOMETRIQUES
ET MICROSCOPIQUES A L'ETUDE DES MATERIAUX
PEDOLOGIQUES

par

A. CHAUVEL

INTRODUCTION

Pour évaluer les effets des processus de différenciation texturale sur les sols, les pédologues ont fréquemment recours aux données de l'analyse granulométrique.

C'est ainsi que, dans la 7^e approximation (U.S.D.A. 1960-1967), les horizons illuviaux "argilliques" sont caractérisés, en particulier, par le rapport de leur taux d'argile granulométrique à celui de l'horizon A (indice de "lessivage").

C'est ainsi, également, que J.P. MULLER (1970), à la suite d'une étude morphologique et typologique des sols ferrallitiques "appauvris" en argile du Gabon, considère qu'un indice, calculé, lui aussi, à partir des données granulométriques constitue le "seul critère d'appauvrissement applicable à tous les types de profils".

Il importe cependant de rappeler que les résultats de l'analyse granulométrique ne rendent nécessairement compte, ni de la répartition des minéraux secondaires, ni de celle des éléments colloïdaux susceptibles d'être ou d'avoir été déplacés à l'intérieur d'un profil ou d'une toposéquence.

Il y a, à cela, deux raisons :

- d'une part, certains minéraux secondaires (kaolinite, gibbsite) peuvent avoir les dimensions des limons, et non celles des argiles,

(F. LELONG 1967)

- d'autre part, des proportions variables d'éléments de dimensions inférieures à 2μ , contenues dans les horizons, superficiels ou profonds, sont susceptibles d'être immobilisées au sein de particules plus grossières (de 2 à 2.000 μ) suffisamment stables pour résister aux traitements dispersants classiques.

Une telle immobilisation de l'argile constitue un caractère spécifique de nombreux sols tropicaux, et en particulier, des horizons "oxiques" de la 7^e approximation, considérés comme diagnostiques de nombreux sols classés Ferrallitiques dans la classification Française.

Les données granulométriques n'ont donc de signification précise sur le plan de l'interprétation pédogénétique, que dans la mesure où l'on connaît la nature des constituants du sol (monocristaux ou assemblages complexes, minéraux primaires ou secondaires...) auxquels correspondent les fractions granulométriques effectivement séparées.

Pour parvenir à cette connaissance, nous avons appliqué simultanément aux 20 échantillons prélevés dans un profil d'une toposéquence de Casamance les méthodes d'étude granulométrique et micromorphologique.

I. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA TOPOSEQUENCE

La toposéquence étudiée est située à proximité de Salidenié dans la région de Séfa.

Elle correspond à des sols développés sur les formations gréso-argileuses, kaolinisées, profondes, à caractères hérités d'une pédogenèse ancienne (continental Terminal).

Le climat de la région est caractérisé par une saison pluvieuse de 5 mois durant laquelle les précipitations atteignent 1200 mm; elle dure de mai à octobre. Durant la saison sèche, les précipitations sont pratiquement nulles.

La végétation est de type forestier, relativement bien préservée (aucune ancienne défriche ni culture n'est signalée à cet endroit).

La topographie, indiquée sur la coupe ci-jointe (fig n° 1), correspond à la bordure d'un plateau. Elle est caractérisée par des pentes très faibles ($\leq 0,5 \%$) et par une topographie légèrement convexe à l'amont, par des pentes un peu plus marquées ($1,8 \%$) et par une topographie à peine concave à l'aval, se raccordant, par delà un léger thalweg, à une surface sensiblement plane.

La toposéquence s'étend, depuis les sols rouges, classés Ferrallitiques, qui occupent la totalité du plateau, jusqu'aux sols beiges "ferrugineux tropicaux lessivés" situés en contrebas : à l'amont, un profil de sol rouge typique, étudié, en collaboration avec R. FAUCK, jusqu'à près de 15 mètres de profondeur; à l'aval des sols beiges, également typiques, qui se prolongent sur la plus grande partie de la station expérimentale de Séfa; entre les deux, une zone de transition assez étroite qui correspond sensiblement au bas de pente. C'est sur cette zone de transition que se portera plus particulièrement notre attention.

Les morphologies des deux termes extrêmes de la toposéquence ont été étudiées, en détail, par plusieurs pédologues (R. MAIGNIEN 1961, C. TOBIAS 1965, R. FAUCK 1971). On retiendra :

- en ce qui concerne le sol rouge (P...V)

- la profondeur (dans le profil P, aucune discontinuité marquée n'apparaît entre 0,9 m. et 5;
- la variation graduelle de tous les caractères (couleur, texture, structure...)

- la différenciation, à peine perceptible, d'un horizon, compris entre 40 et 90 cm, paraissant plus argileux que les horizons superficiels et profonds,
 - la texture de l'horizon compris entre 90 centimètres et 5 mètres, masquée par une forte friabilité et par la présence de nombreux "granules" qui gardent, après humectation, une cohésion comparable à celle des sables et ne révèlent la nature argileuse de leur ciment qu'après un temps de malaxage.
- en ce qui concerne le sol beige (Y, Z)
- les caractères de différenciation beaucoup plus marqués (couleur, texture, structure...)
 - les limites nettes entre horizons
 - la texture franchement argileuse de l'horizon B, entre 60 et 110 centimètres,
 - la présence de concrétions, faiblement durcies, à plus grande profondeur, qui s'écrasent sous la pression des doigts pour donner de petits éléments polyédriques d'apparence sableuse.
- Les profils de transition présentent des caractéristiques intermédiaires qui varient selon qu'ils se situent plus près des sols rouges ou des sols beiges.

Le profil X est marqué, pour sa part, par des caractéristiques assez semblables à celles du profil de sol beige (Z) jusqu'à 80 - 90 cm et, au delà de cette limite, par l'apparition de nodules, d'abord petits, rares, rouge sombre, faiblement indurés, parfois entourés de taches diffuses blanchâtres, puis plus grands et plus abondants, rouges, friables, de formes contournées, tendant à s'anastomoser vers le bas du profil pour constituer une phase continue dont les vides, en forme de galeries, sont occupés par un matériau beige blanchâtre, composé pour une part^{de} coprolithes.

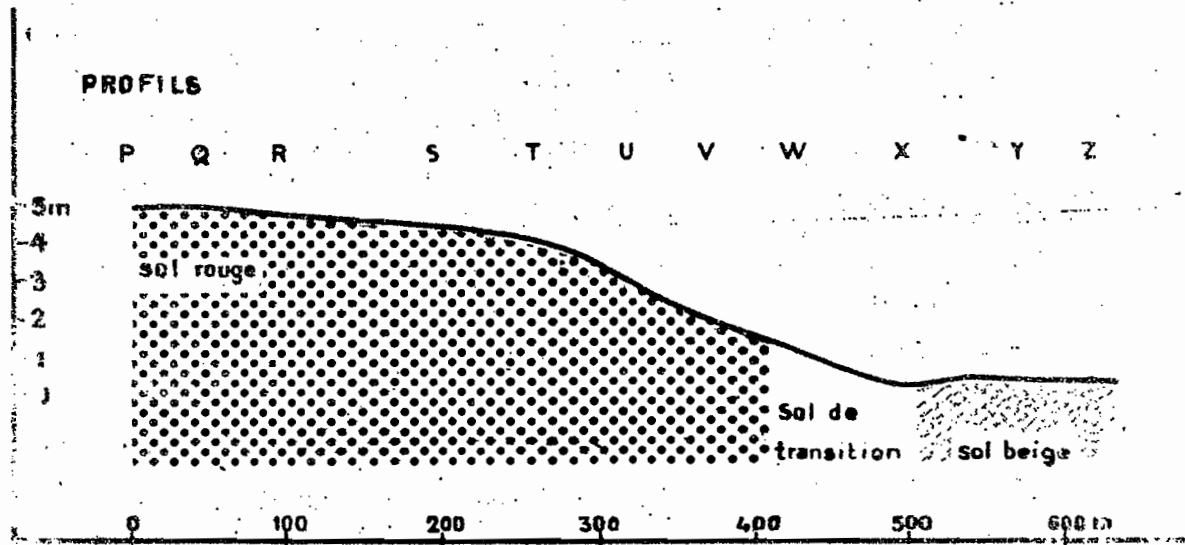
Les principaux caractères de différenciation des profils, discernables entre la surface et 2,5 mètres, sont figurés, de façon schématique, sur la planche n° 1.

L'interprétation de la pédogenèse des profils de transition pose de nombreux problèmes :

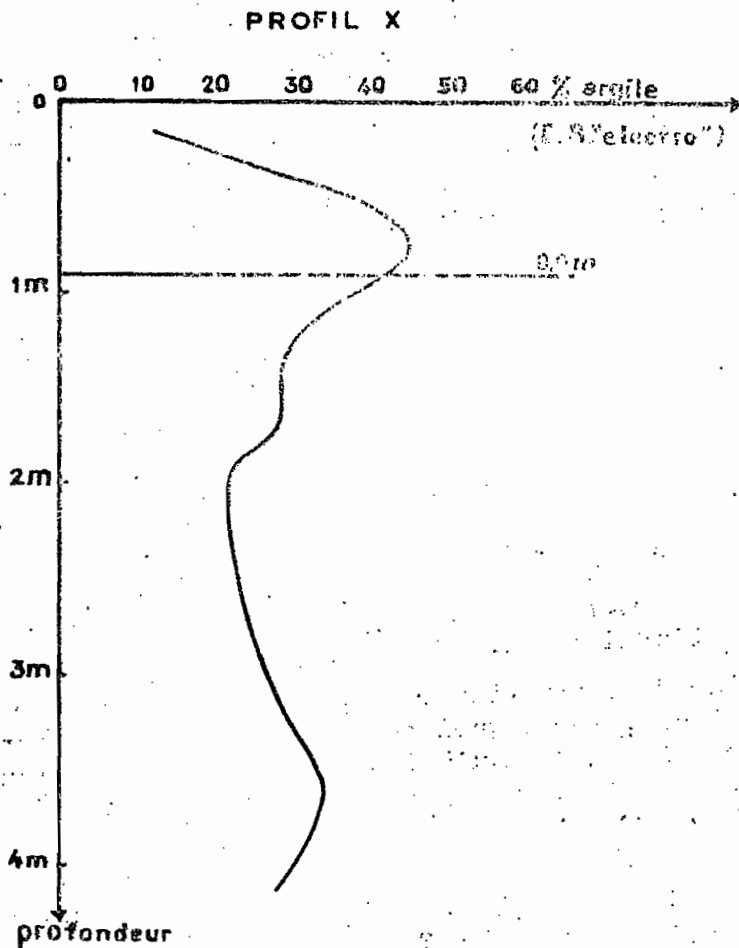
- Y-a-t-il superposition de deux matériaux, beige et rouge, d'origines différentes?
- Les nodules observés à partir de 90 centimètres sont-ils en cours d'individualisation, ou correspondent-ils à des reliques?
- Peut-on parler d'un matériau rouge, unique, marqué par une pédogenèse ancienne, sur lequel se développerait, en amont, un sol rouge actuel, tandis qu'à l'aval, seules les reliques de ce matériau subsisteraient dans un sol marqué par une pédogenèse différente?
- La différenciation des horizons pédologiques, dans les 90 centimètres superficiels, fait-elle intervenir des phénomènes d'éluviation et d'illuviation?

C'est pour tenter de trouver une réponse à certaines de ces questions que nous avons entrepris des études granulométriques et microscopiques.

FIG. N° 1 TOPOSEQUENCE DE SALIKENIÉ



CHIFFRE N° 1 - TAUX D'ARGILE DEMOLON ET BASTISSE



II. ETUDE GRANULOMETRIQUE PRELIMINAIRE

II 1. La méthode utilisée

Un traitement classique de dispersion, inspiré de la méthode de DEMOLON et BASTISSE (1935) a été appliqué au 20 échantillons, prélevés, depuis la surface jusqu'à 4 mètres de profondeur, dans le profil X.

Ce traitement comporte :

- en premier lieu une destruction de la matière organique par peroxydation (5 grammes de sol dans 100 cc d'eau oxygénée "electro" à 20 volumes, à froid, puis à 60° durant 24 heures),
- puis une saturation des argiles par des ions monovalents (3 lavages par une solution de KCl N/10, puis 1 lavage par une solution KCl N/100 et 1 lavage à l'eau distillée,
- puis l'adjonction d'ammoniaque, utilisé comme dispersant, en quantité suffisante pour obtenir un pH voisin de 9 (de 1 à 5 cc. suivant les sols),
- enfin, une agitation mécanique, par retournements, durant 4 heures, préalable à la séparation granulométrique proprement dite.

Le grand avantage de cette méthode vient de ce que l'agressivité des réactifs utilisés est très faible vis à vis des constituants ou ciments de la fraction argileuse. Nous pouvons donc prévoir, d'une part, qu'aucun constituant du sol, mis à part la matière organique, ne sera solubilisé et éliminé au cours de ce traitement, d'autre part que les assemblages les plus stables résisteront à cette attaque et se retrouveront dans les fractions sableuses et limoneuses.

II 2. Application aux échantillons entiers

L'application de cette méthode aux échantillons séchés à l'air et tamisés (sur un tamis à mailles carrées de 2 mm) a permis d'obtenir les taux d'argile figurés sur le graphique N° 1.

Ce graphique fait apparaître un maximum accusé dans la variation verticale des taux d'argile, correspondant à un "ventre", situé immédiatement au dessus de la limite d'apparition des nodules rouges, (90 cm).

Ces indications sont en accord avec l'appréciation de la texture effectuée sur le terrain, qui révélait le caractère plus argileux de l'horizon situé à ce niveau.

Elles pourraient être interprétées comme étant l'indice d'une illuviation de l'argile dans un horizon Bt "argillique" situé entre 60 et 90 centimètres.

Il y a lieu, cependant, de constater que la limite inférieure de cet horizon correspond à une discontinuité dans la morphologie du matériau, marquée par l'apparition des nodules rouges qui se développent à plus grande profondeur.

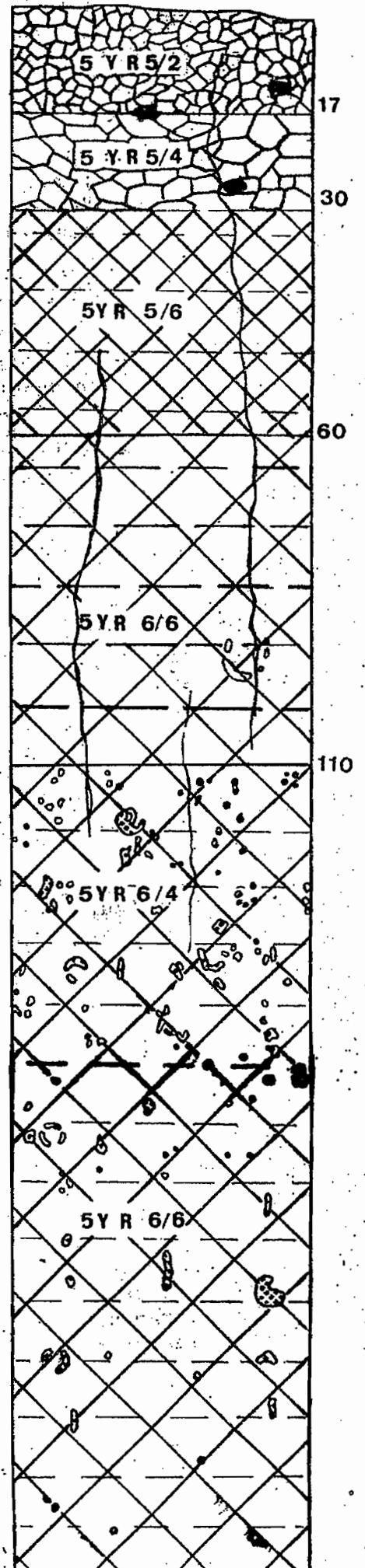
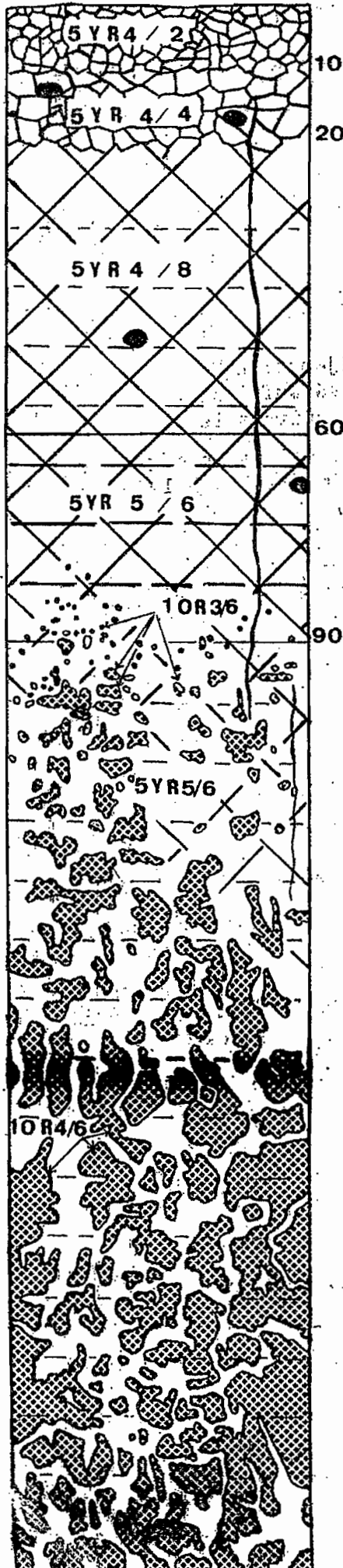
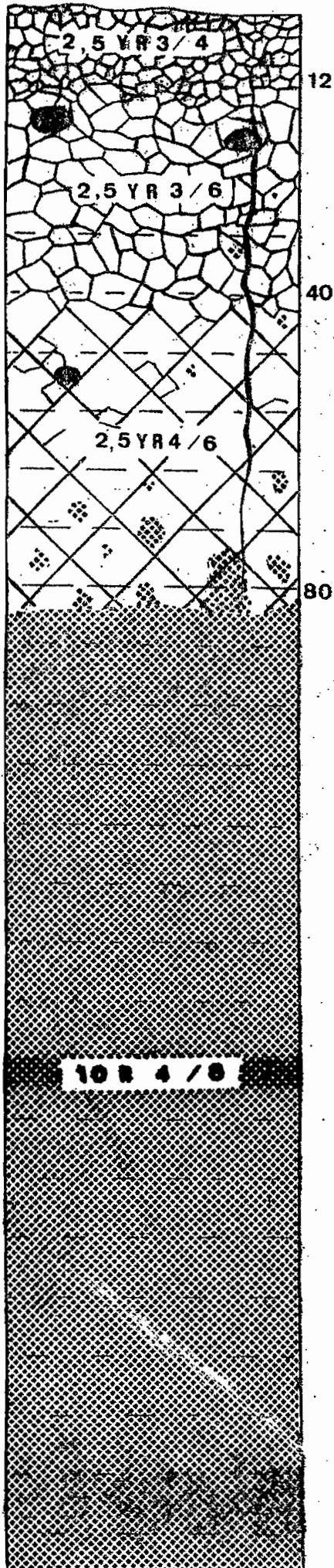
Cette discontinuité se retrouve à l'examen des sables à la loupe binoculaire :

- composés principalement de grains de quartz, lorsqu'ils sont extraits des horizons compris entre 0 et 90 centimètres,

PROFILS P

X

Z



LEGENDE DES SYMBOLES

STRUCTURES

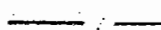


- polyédrique subanguleuse, fine, peu nette
- polyédrique subanguleuse, moyenne, peu nette
- polyédrique à tendance massive
- massive à éclats anguleux
- polyédrique, très fine, peu nette, friable

TEXTURES (appréciées sur le terrain)



argilo-sableuse



argile sableuse



argile



masquée par le caractère friable

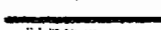
TRANSITIONS

sans trait

graduelle



distincte



nette

VIDES



fentes de retrait



nids d'animaux

- ils contiennent des quantités croissantes de petits éléments rouges, qui s'écrasent plus ou moins facilement sous la pression des doigts, lorsqu'ils sont séparés à partir d'échantillons prélevés à plus grande profondeur.

De telles observations nous ont incité à étudier séparément les caractéristiques texturales des matériaux beige ou rouge.

II 3. Application aux matériaux beiges et rouges séparés manuellement

La séparation a été faite, à l'échelle macroscopique, à partir des mottes de terre, en s'aidant d'un grattoir.

Les quantités de matériau rouge isolé correspondent :

- à 17 % du poids total pour les échantillons prélevés entre 90 et 100 cm.
- de 49 à 56 % du poids total pour les échantillons prélevés entre 100 et 200 cm.
- de 56 à 80 % du poids total pour les échantillons prélevés entre 200 et 300 cm.
- à près de 87 % du poids total pour les échantillons prélevés entre 300 et 400 cm.

Les matériaux beiges et rouges séparés (18 échantillons) ont été soumis à l'analyse granulométrique (méthode "D.B. Electro").

Les taux d'argile obtenus sont récapitulés dans le tableau n°1.

TABLEAU N° 1. TAUX D'ARGILE "D.B. Electro" DANS LES MATERIAUX ROUGES ET BEIGES.

Matériaux Profondeur	BEIGE	ROUGE
de 90 à 200 cm	45 %	7 à 10 %
de 200 à 400 cm	45 %	12 à 22 %

Il ressort de l'examen de ces données :

- que la texture du matériau beige est sensiblement plus argileuse que celle du rouge,
- que cette texture est sensiblement constante et indépendante de la profondeur entre 90 et 4 mètres,
- que le matériau rouge présente, par contre, un taux d'argile, très inférieur.

Tout se passe un peu comme si ce matériau rouge constituait la roche-mère du sol et comme si l'horizon B, compris entre 60 et 90 cm, correspondait à un B d'altération.

Or nous savons que le matériau du continental terminal, sur lequel est développé l'ensemble du profil, est lui-même caractérisé par un degré d'altération très poussé, sur une grande profondeur (absence quasi-complète de minéraux facilement altérables).

Ce n'est donc pas l'altération (sensu stricto) de ce matériau qui peut donner naissance à l'horizon B argileux (60 - 90 cm).

Il est plus vraisemblable de supposer que l'argile est préexistante dans le matériau rouge mais qu'elle y est immobilisée et "masquée".

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons fait appel à des prétraitements plus agressifs.

III. ETUDES GRANULOMETRIQUES COMPAREES : DEFINITION D'UN INDICE DE MOBILITE DE L'ARGILE.

III 1. Les méthodes utilisées : les prétraitements

Ces méthodes ont pour caractéristique commune le fait qu'elles mettent en oeuvre des réactifs dont l'action s'exerce, de façon plus ou moins spécifique, sur les substances susceptibles d'intervenir comme "liants" entre les particules du sol.

Selon les conceptions classiques (FRIPAL et GASTUCHE 1952), les hydrates ferriques peuvent jouer ce rôle de liant entre les particules de kaolinite. Or les réactifs susceptibles de les solubiliser sont acides, réducteurs ou complexants.

III 1.1. Utilisation d'un réactif faiblement acide : méthode "D.B. H2O2 Technique".

Du fait de la présence d'acide phosphorique, utilisé comme stabilisant, l'eau oxygénée "technique" est acide. Son pH est de l'ordre de 0,7; il passe aux environs de 1,5 par dilution dans l'eau distillée (1/5) et s'établit entre 2 et 2,5 au contact du sol au cours de la peroxydation de la matière organique.

Ce traitement, effectué d'abord à température ambiante, puis à chaud, est susceptible de provoquer la solubilisation de faibles quantités d'hydroxydes.

Nous l'avons utilisé comme préalable au traitement DEMOLON et BASTISSE, appliqué dans les mêmes conditions que précédemment.

Ce traitement de peroxydation par l'eau oxygénée "technique" est couramment appliquée dans les laboratoires de série.

III 1.2. Utilisation d'un réactif fortement réducteur en milieu complexant tamponné à pH 3,5 : méthode "JEFFRIES".

Ce traitement fait intervenir l'hydrogène naissant, produit par

l'attaque d'un ruban de magnésium dans un mélange d'acide oxalique et d'oxalate de potassium.

Il peut être appliqué de la manière suivante :

- Placer 5 grammes de terre tamisée dans un tube de centrifugeuse de 100 cc en Pyrex.
- Ajouter 80 cc d'une solution d'oxalate de potassium (103,5 g/l), agiter et porter le tube à une température de 80° environ, au bain-Marie.
- Ajouter alors 20 ml d'une solution d'acide oxalique (95 g/l), agiter et chauffer à 90°.
- Placer un ruban de magnésium pesant environ 0,2 grammes, agiter constamment et maintenir la température entre 90 et 95° durant 3 à 5 minutes.
- Enlever le ruban de Magnésium et ajouter 5 ml de solution d'acide oxalique (95 g/l), continuer à chauffer quelques minutes jusqu'à ce que les argiles (et les sables) deviennent blanches ou grises (si ce résultat n'est pas atteint, il faudra procéder, après lavages à une nouvelle extraction).
- Centrifuger aussitôt et laver le fer solubilisé avec des portions de 50 ml de solution de NaCl à 5 % (usuellement 4 lavages suffisent).
- Poursuivre les lavages à l'alcool (2 fois) puis à l'acétone (2 fois).
- Laisser évaporer l'acétone sur plaque chauffante, puis à l'étuve durant 5 heures et peser l'échantillon (afin de déterminer le poids des substances extraites).
- On procède alors à l'analyse granulométrique selon la méthode classique indiquée plus haut.

III 1.3. Utilisation d'un réactif complexant tamponné

Le réactif utilisé est une solution d'acide oxalique (12,61 g/l) et d'oxalate d'ammonium (24,9 g/l) dans l'eau distillée. Il a été proposé par O. TAMM (1922) pour l'extraction du fer libre.

La réaction étant fortement accélérée par la lumière et, en particulier, par les rayonnements ultra-violet, nous avons choisi d'opérer à l'obscurité, de façon à obtenir le traitement le plus ménagé possible.

On pourra procéder de la manière suivante :

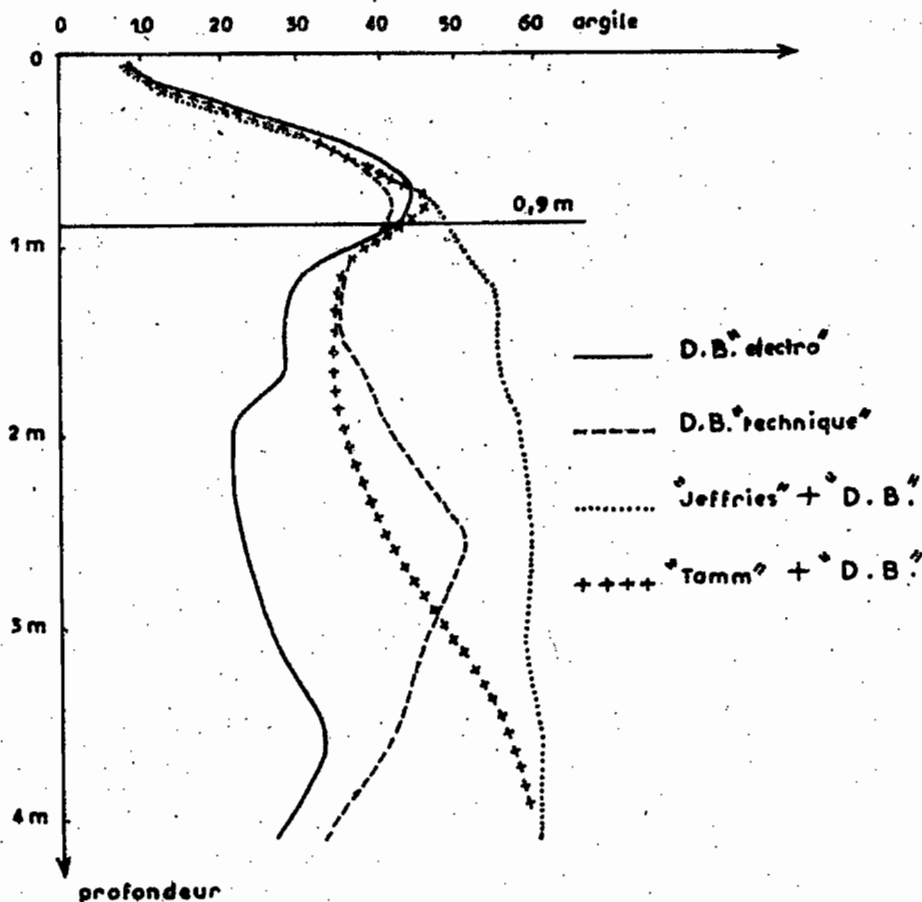
- Peser 5 grammes de terre tamisée dans un tube et le placer dans la centrifugeuse.
- Ajouter alors 90 cc de réactif de "TAMM" et laisser à l'obscurité durant 2 heures.
- Centrifuger immédiatement et séparer le liquide surnageant.
- Renouveler le traitement dans les mêmes conditions.
- Laver alors les produits solubilisés avec des portions de 50 ml de solution de NaCl à 5 % (usuellement 4 lavages suffisent)
- Terminer les lavages à l'alcool et à l'acétone, sécher et peser (pour déterminer le poids des substances extraites).
- On procède alors à l'analyse granulométrique selon la méthode classique indiquée plus haut.

III 2. Application aux échantillons entiers

Sur le graphique n° 2, nous avons figuré :

- d'une part les taux d'argile obtenus après les 3 prétraitements expérimentés,
- d'autre part, ceux obtenus par la méthode classique "D.B. electro", utilisée seule (déjà figurés sur le graphique n° 4)

GRAPHIQUE N° 2
TAUX D'ARGILE OBTENUS APRES DIVERS TRAITEMENTS



Il ressort de l'examen de ce graphique :

- les quatre courbes sont sensiblement confondues de 0 à 0,8 mètre de profondeur.

Les faibles écarts observés à ces niveaux sont attribuables, pour une part, à l'extraction des produits solubilisés par les prétraitements.

Si l'on tient compte de la perte de poids ainsi occasionnée (en supposant qu'elle s'exerce particulièrement sur les éléments de diamètre inférieur à 2μ), on constate que les traitements "TAMM" et "JEFFRIES" donnent des taux d'argile légèrement supérieurs à ceux obtenus par les autres traitements. Signalons, par ailleurs, que les résultats sont reproductibles, d'une répétition à l'autre quelque soit la méthode utilisée.

- que les divergences s'accroissent très fortement au dessous de 0,8 m.

Les écarts observés n'ont plus alors aucune commune mesure avec les quantités de substances extraites et les taux d'argile obtenus après le traitement le plus déferrifiant ("JEFFRIES") se maintiennent à des valeurs sensiblement supérieures aux autres.

Signalons enfin que les résultats obtenus ne présentent une reproductibilité satisfaisante, sur l'ensemble des profondeurs considérées (de 0,8 à 4 m) que dans le cas des traitements "D.B. electro" (écart type pour 4 répétitions voisin de 1) et "JEFFRIES + D.B." (écart type pour 4 répétitions < 0,5). Ces deux méthodes sont donc les seules à donner des taux d'argile qui aient une signification précise, sur l'ensemble du profil étudié.

Nous pensons que cette signification est la suivante :

Les taux d'argile obtenus après traitement "D.B. electro" correspondent à la quantité maximale d'argile susceptible d'être dispersée, sans intervention de traitements mécaniques, brutaux, tels que les ultrasons, ni de réactifs relativement agressifs (acides, réducteurs ou complexants) même à l'état de traces.

Les sables obtenus par cette méthode se présentent, à la loupe binoculaire, comme étant constitués de grains de quartz et de particules complexes de couleur rouge sombre.

Les taux d'argile obtenus après traitement "JEFFRIES" correspondent à la quasi-totalité des constituants du sol dont les dimensions sont inférieures à 2 μ (il convient cependant de tenir compte de l'extraction des produits solubilisés - principalement hydrates ferriques - et de l'enrichissement des fractions fines par microfissuration des quartz - CHAUVEL et PEDRO - 1967). Les sables et limons obtenus par cette méthode sont constitués uniquement par des quartz et par quelques minéraux lourds.

L'écart entre les deux séries de résultats correspond ainsi à l'argile immobilisée, englobée dans des "pseudo-particules" ou dans des "nodules".

Pour caractériser les matériaux étudiés, il convient donc de tenir compte, non seulement de leur teneur en "argile totale" mais encore de la proportion d'argile libre qui peut être exprimée par un "indice de mobilité".

$$I_m = \frac{\% \text{ Argile dispersable (D.B. H2O2 electro)}}{\% \text{ Argile totale ("JEFFRIES")}} \times 100$$

Dans le profil étudié - cet indice est voisin de 80 de 0 à 20 cm.

- compris entre 90 et 95 de 20 à 90 cm.

Il diminue alors progressivement pour atteindre 38 vers 2 m.,

- puis remonte aux environs de 50 vers 3 - 4 mètres.

Ceci signifie que près de la moitié de l'argile contenue dans les horizons profonds est immobilisée et "camouflée" à l'intérieur de pseudo-particules ou de nodules, alors que la presque totalité des éléments argileux contenus dans les horizons de 0 à 0,9 m, manifeste pleinement sa nature argileuse (possibilités de gonflement, de structuration, de migration).

La signification des deux autres traitements expérimentés est moins évidente :

- Le traitement "D.B. H2O2 Technique" assez comparable à celui pratiqué dans les laboratoires de série, n'aboutit à des résultats reproductibles, et comparables aux autres que dans les horizons superficiels; il permet, dans ce cas, de séparer toute l'argile dispersable. Dans les horizons profonds, par contre, les résultats sont très peu reproductibles (écart type ≈ 5), car ce traitement ne permet pas d'obtenir une désagrégation et une dispersion qui correspondent effectivement à un état représentatif de ces matériaux.
- L'interprétation des résultats du traitement "TAMM" ne peut être faite que par référence aux études effectuées sur d'autres sols.
 Dans les sols rouges (profil P) ce traitement peu agressif, se révèle capable de dissocier la presque totalité des pseudo-particules tout en n'extrayant que de faibles quantités d'hydrates ferriques. Appliqué par contre aux concrétions extraites d'un sol beige (profil Z), il n'exerce aucune action de désagrégation. L'utilisation de ce prétraitement permettrait ainsi d'établir une distinction entre les matériaux pseudo-particulaires et ceux en voie de concrétionnement. Dans le profil X, les taux d'argile "TAMM" se rapprochent de ceux obtenus par la méthode JEFFRIES, à mesure que l'on descend dans le profil, dans un matériau de plus en plus uniformément rouge.

Les différents matériaux, rouges et beiges, sont donc caractérisés par l'indice de mobilité relative de leur fraction argileuse, mais encore par la nature des liaisons, plus ou moins vulnérables, qui relie entre elles les particules de Kaolinite.

III.3. Application aux matériaux rouges et beiges séparés manuellement.

Les taux d'argile obtenus par application des traitements "D.B. electro" et "JEFFRIES" aux matériaux rouges et beiges et les indices de mobilité de l'argile qui en sont déduits figurent dans le tableau n° 2

TABLEAU N° 2 = TAUX d'ARGILE "D.B. electro" et "JEFFRIES" et indices de mobilité de l'argile dans les matériaux rouges et beiges.

	ROUGE			BEIGE		
	A % "D.B. electro"	A% "JEFFRIES"	Im	A % "D.B. electro"	A % "JEFFRIES"	Im
de 90 à 100 cm	8,4	49,1	12	46,4	46,9	99
de 100 à 110 cm	9,0	54,1	17	43,0	44,3	97
de 120 à 130 cm	9,3	54,1	17	43,0	48,6	88
de 160 à 170 cm	8,3	52,2	16	38,3	49,7	77
de 190 à 200 cm	7,1	54,3	13	41,8	52,8	77
de 250 à 260 cm	20,2	55,0	37	45,7	57,8	79
de 300 à 310 cm	22,5	53,4	42	38,8	57,0	68
de 350 à 360 cm	22,7	51,3	44	41,0	55,1	80
de 400 à 410 cm	19,1	51,0	37	42,1	52,2	80

Il ressort de l'examen de ce tableau :

- que les taux d'argile "D.B. electro" sont beaucoup plus faibles dans le matériau rouge qu'ils ne le sont dans le matériau beige. Ce résultat est en accord avec l'appréciation totale de la texture qui faisait apparaître les matériaux beiges comme plus argileux,
- que les taux d'argile "JEFFRIES" sont, par contre, assez peu différents, d'un matériau à l'autre; ils sont toutefois sensiblement supérieurs dans le rouge jusqu'à 2 mètres, puis dans le beige de 2,5 à 4 mètres.
Les variations verticales sont peu marquées dans le matériau rouge, plus accentuées dans le beige.
- que les indices d'immobilisation de l'argile sont très largement différents :
 - toujours inférieurs à 50 % dans le matériau rouge, ils y présentent un minimum de 90 à 100 cm et augmentent irrégulièrement en profondeur,
 - toujours supérieurs à 50 % dans le beige, ils y présentent un maximum de 90 à 100 cm.

L'interprétation de la distribution dimensionnelle des sables et limons "vrais", (constitués, dans ce cas, principalement de quartz) ne peut être entreprise, de façon valable, que si le traitement appliqué aboutit à la dissociation totale du matériau.

Dans le cas du profil X, la méthode "JEFFRIES" est la seule parmi celles qui ont été expérimentées, à satisfaire à cette condition. Nous savons cependant qu'elle présente l'inconvénient de fausser la distribution dimensionnelle "vraie", en fragmentant les grains de quartz grossiers les plus incrustés d'oxyde de fer (CHAUVEL et PEDRO 1967).

Il serait donc préférable de faire appel à une méthode plus ménagée qui aboutisse au même résultat sans solubiliser les oxydes de fer incrustés. Cet effet peut être obtenu, dans le cas des sols rouges, par utilisation du réactif de TAMM, mais ^{ce} même réactif ^{est} incapable de dissocier les éléments légèrement indurés, de forme nodulaire, qui caractérisent le profil X.

Il apparaît cependant que les résultats obtenus après traitement "JEFFRIES" suffisent à montrer que la distribution dimensionnelle des quartz ne diffère pas beaucoup des matériaux rouges aux matériaux beiges et que ses variations verticales sont comparables dans les deux types de matériaux (tout au plus peut-on relever un léger déficit de sable grossier, compensé par un faible excès de sables fins et limons grossiers dans le matériau rouge).

Ceci tend à prouver que les deux matériaux, rouge et beige, ont même origine et qu'ils diffèrent surtout par le mode d'association de leurs constituants.

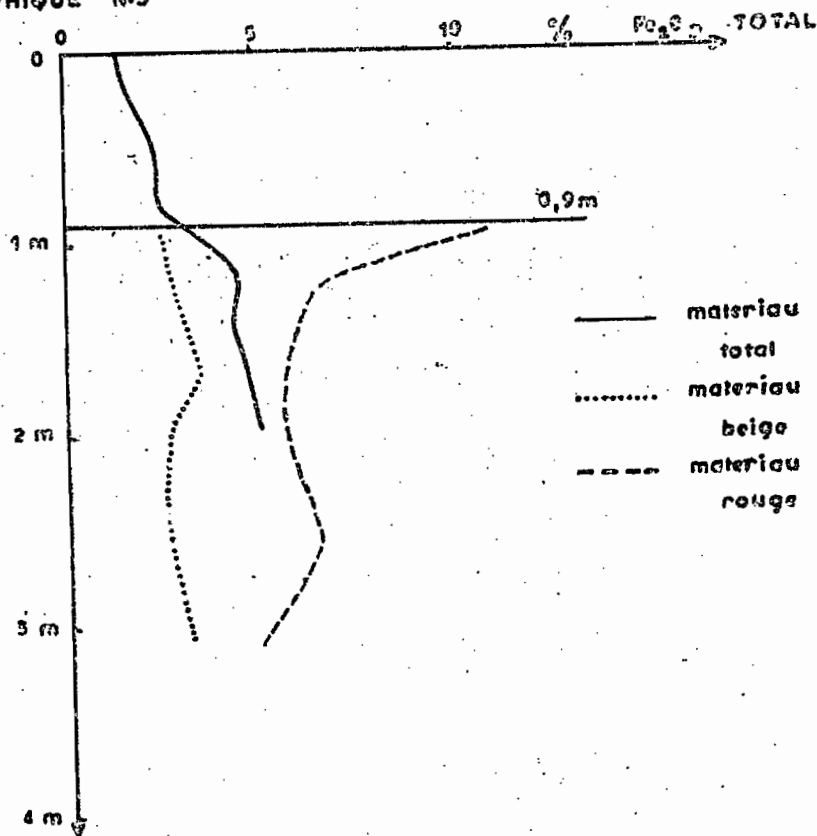
IV. INFLUENCE DES HYDROXYDES DE FER SUR L'INDICE DE MOBILITE DE L'ARGILE.

Différents auteurs, plus particulièrement FRIPIAT et GASTUCHE (1952 - 53) ont montré que les particules de Kaolinite pouvaient être reliées entre elles par des hydroxydes Ferriques.

Il est donc logique de supposer qu'il existe une relation entre la teneur des matériaux en hydroxydes (ou en certaines formes d'hydroxydes) et le degré d'immobilisation de leurs constituants argileux.

Pour le vérifier, nous avons, dans une première phase de travail, procédé à l'analyse du "Fer total" sur l'ensemble des matériaux, rouges et beiges. Les résultats obtenus, exprimés en Fe_2O_3 % sont figurés sur le graphique n° 3.

GRAPHIQUE N°3



Il apparait :

- que les teneurs en Fe_2O_3 sont, en effet, plus élevées dans le matériau rouge, caractérisé par une forte immobilisation de l'argile, qu'elle ne le sont dans le matériau beige, dont l'argile est presque totalement dispersable,
- que dans le matériau rouge, il n'existe cependant pas de relation évidente entre la teneur en Fe_2O_3 et l'indice de mobilité.

Des indices comparables (12 et 13) sont en effet obtenus pour des teneurs en Fe_2O_3 très différentes (10,9 et 5,5), décalées à 90 - 100 cm et 190 - 200 cm. A l'inverse, des matériaux dont les teneurs en Fe_2O_3 sont voisines sont caractérisés par des indices de mobilité différents.

Il semble donc que seule une partie des hydrates ferriques contenus dans le matériau intermédiaire, comme liant entre les particules d'argile, la partie restante servant de "matériau de remplissage".

Ces résultats semblent être confirmés par d'autres manipulations au cours desquelles la dispersion totale de matériaux caractérisés par la faible mobilité de leurs constituants argileux a été obtenue après extraction de quantités de Fe_2O_3 inférieures à 1 % (utilisation du réactif de TAM à l'opacité).

Les données quantitatives actuellement disponibles ne suffisent donc pas à expliquer les variations de la mobilité de l'argile. Plus que les teneurs globales, il semble que ce soit la forme et la répartition des hydroxydes de fer par rapport aux cristallites d'argile qui détermine la résistance des assemblages aux actions dispersantes.

V. ETUDE MICROMORPHOLOGIQUE

Les techniques de la micromorphologie donnent une image de l'état d'association des constituants argileux du sol.

Les observations ont été faites à partir d'une vingtaine de lames minces réalisées, soit à partir de matériaux non perturbés, soit à partir des fractions plus grossières, séparées par l'analyse granulométrique.

Ces lames minces ont été préparées au laboratoire de Géologie de l'O.R.S.T.O.M. sous la direction de J.C. PION et de J.M. WACKERMANN.

L'observation microscopique fait immédiatement apparaître une distinction entre deux types de matériaux bien différents, souvent juxtaposés sur une même lame mince et séparés alors par des limites nettes :

- l'un de ces matériaux est brun rouge en lumière naturelle, rouge vif en lumière polarisée ("matériau rouge")

- l'autre est brun clair en lumière naturelle, beige, jaunâtre, délavé en lumière polarisée ("matériau beige")

V 1. Etude comparée des matériaux

Les différences sont assez peu marquées en ce qui concerne le squelette qui, dans les deux types de matériaux, est constitué exclusivement de grains de quartz hétérogranulaire. Il apparaît cependant que dans le matériau rouge, les sables grossiers, incrustés d'oxyde de fer de coloration rouge sombre, sont généralement très fissurés. On note la présence de quartz en voie de fragmentation dont les éléments anguleux gardent une orientation commune.

Dans le matériau beige, les quartz, de formes très irrégulières, sont répartis dans toute la masse plasmique. Certains quartz grossiers présentent des placages ou des incrustations rouge sombre dont la couleur contraste fortement avec la teinte jaune pâle du plasma; ils sont alors généralement fortement fissurés. Les golfes de corrosion sont nombreux.

- Les différences sont beaucoup plus marquées en ce qui concerne le plasma : celui du matériau rouge est, dans son ensemble, caractérisé par sa couleur vive, par son aspect "dense" qui donne, à l'observation, une impression de relief, par l'abondance des domaines plasmiques anisotropes et par l'existence de séparations plasmiques orientées de façon grossièrement orthogonale, qui ne sont associées ni aux parois des vides, ni aux surfaces des grains détritiques ("Right bimasepic plasmic Fabric, Brewer 1964), mais qui englobent des micro-agrégats de quelques dizaines de μ de diamètre, correspondants à des agrégats primaires ("Primary peds" selon Brewer). Ce matériau est localement pénétré par des galeries emplies de matériau beige.

- Le matériau beige est, par contre, de couleur pâle délavée, sans "relief". Il est caractérisé par la rareté et la discontinuité des domaines à orientation optique préférentielle. Sa structure correspondrait à "l'argillasepic plasmic Fabric" de Brewer.

On y distingue des traînées et des poches gris beige, sans qu'aucune orientation de l'ensemble du matériau ne puisse être discernée. On observe cependant la présence d'inclusions, nettement individualisée dont la microstructure rappelle nettement celle du matériau rouge, bien que les séparations plasmiques y soient moins marquées, laissant place, localement, à des zones de teinte délavée. En dehors de ces inclusions, dont la taille est de l'ordre de la centaine de μ , le plasma beige présente une grande quantité de très petits nodules rouges, disséminés dans la masse; leur diamètre n'excède pas quelques dizaines de μ .

On note la présence de quelques rares "cutans" argileux autour des vides ("Cutans d'illuviation?").

- La séparation entre les matériaux beiges et rouges, souvent nette, est parfois marquée par un liseré de ferriargillans.

Les différences sont également nettes en ce qui concerne les vides

Ceux ci sont régulièrement répartis dans la masse du plasma rouge et s'y inscrivent grossièrement dans la réticulation orthogonale des séparations plasmiques. Ils sont par contre moins abondants et se distribuent de façon hétérogène dans le matériau beige où l'on note la présence de chenaux, de vésicules, de fissures et de vides associés aux grains du squelette.

V 2. Répartition et variations des matériaux dans le profil

L'étude micromorphologique des échantillons prélevés sur l'ensemble du profil révèle :

- que le matériau beige est largement dominant jusqu'à 90 cm,
- qu'il fait place, à plus grande profondeur, à des éléments de matériau rouge d'abord isolés puis anastomosés.

Deux photographies de lames minces, réalisées à partir d'échantillons prélevés à 50 - 60 cm et à 120 - 130 cm sont reproduites, de façon schématique sur la planche n° 2.

On relève - sur la première vue : la dominance de plasma beige, peu dense et la présence d'une inclusion, nettement délimitée de matériau rouge ($\phi \approx 200$).
Les très petits nodules rouges ($\phi \approx 10$) n'ont pas pu être représentés;

- sur la seconde vue : le plasma rouge, orthoréticulé, formant une phase continue mais pénétré de matériau beige.

Les données de l'observation microscopique rejoignent donc celles de l'observation macroscopique dans la mesure où elles distinguent deux types de matériaux différents. Elles mettent cependant l'accent sur l'interpénétration des matériaux :

- Inclusions d'éléments rouges dans le matériau beige, relativement plus abondantes dans les horizons superficiels que dans les horizons compris entre 30 et 90 cm
- pénétration de plasma beige dans la masse du matériau rouge, surtout marquée entre 90 et 200 cm, plus réduite en profondeur.

Elles révèlent également les caractères de différenciation des matériaux :

- présence de rares "cutans argileux" entre 50 et 90 cm,
- plasma rouge plus homogène dans les horizons profonds, tendant à se désorganiser à mesure que l'on monte dans le profil et se chargeant alors en hydroxydes de Fer qui lui confèrent une couleur rouge sombre, plus intense à la périphérie des nodules que dans la masse. On passe progressivement à des éléments isolés, de dimensions variables, disséminés dans la masse du plasma beige.

V 3. Répartition des matériaux dans les fractions granulométriques

L'examen des sables et limons à la loupe binoculaire et l'observation de leur micro-structure, sur lame mince, à l'aide du microscope, révèlent qu'ils sont constitués non seulement de grains de quartz mais encore de petits éléments de matériau rouge, de dimensions très variées, qui peuvent, eux mêmes, englober des grains de quartz. Ces éléments sont particulièrement abondants dans les fractions grossières séparées après traitement "D.B. H₂O₂ electro".

Leur microstructure (dans ce cas) se modifie lorsqu'on se déplace dans le profil de bas en haut :

- en dessous de 2 mètres de profondeur, il s'agit principalement de fragments de matériau rouge, non individualisés,
- plus haut, entre 2 m. et 0,9 m., ces éléments, de forme nodulaire, tendent à se charger d'hydroxydes de fer à leur périphérie et à évoluer ainsi vers des concrétions,
- entre 90 cm et la surface, enfin, les sables et limons comportent encore des éléments de matériau rouge, de dimensions réduites (100 μ) ou microscope (10 μ). Ces derniers correspondent aux "agrégats primaires" ("primary pedo" selon R. BREWER) décelés dans le matériau rouge. Ils ne sont pas directement visibles à l'oeil, mais contribuent à donner au matériau sa coloration rouge (5 YR 4/8 et 5/6).

La constitution des sables et limons est également différente selon le type de pretraitements utilisé :

- dans le cas du traitement "TAMM" on ne retrouve dans les sables que les éléments de forme nodulaire, chargés en hydroxydes de Fer à leur périphérie,
- dans le cas du traitement "JEFFRIES" il ne reste pratiquement dans les sables que des grains de quartz et des minéraux lourds.

Il apparaît ainsi que tous les traitements utilisés ont pour effet de dissocier la quasi-totalité du matériau beige (mis à part quelques inclusions conservées dans les éléments rouges).

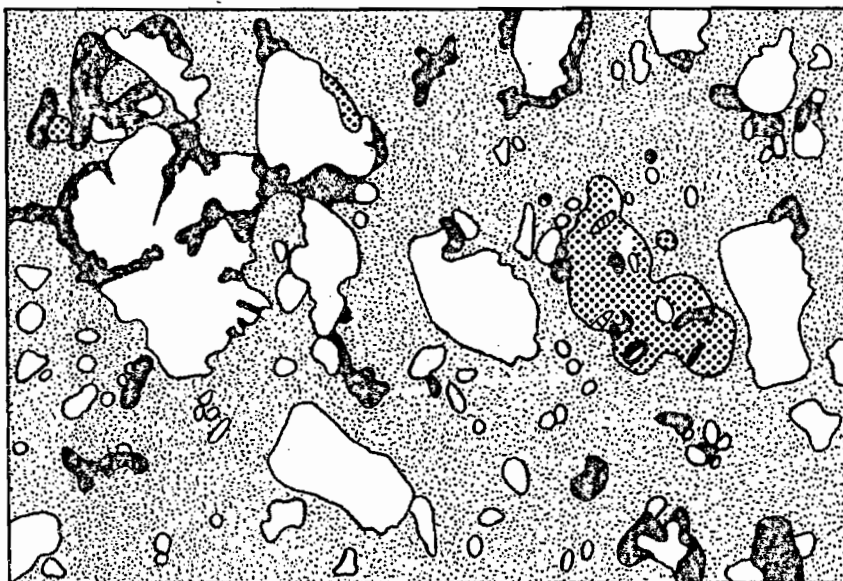
Les différences entre traitements portent essentiellement sur la dissociation du matériau rouge : - faible dans le cas du traitement "D.B. H₂O₂ electro"

- sélective dans le cas du traitement "TAMM"

- totale dans le cas du traitement "JEFFRIES".

PROFIL X-ETUDE MICROSCOPIQUE

(vue en lumière polarisée)



50 - 60 cm

100 μ



VIDE



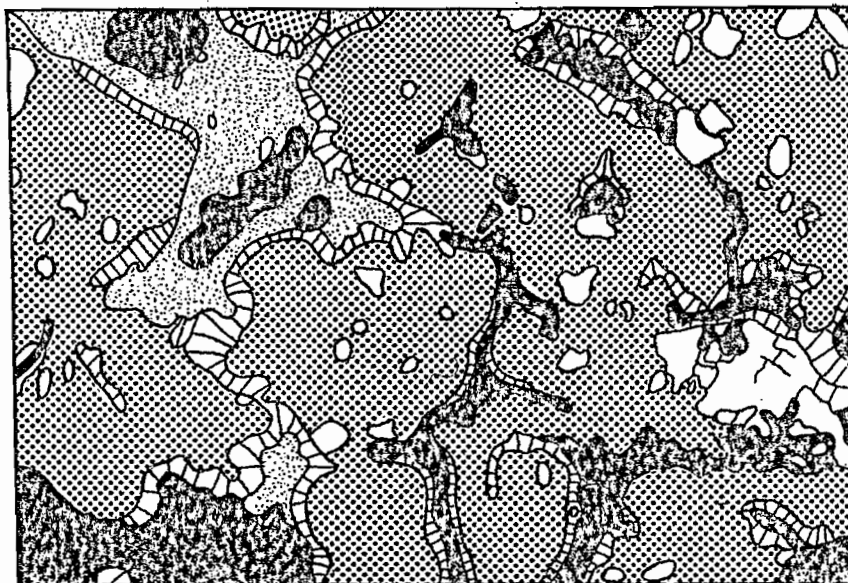
QUARTZ



PLASMA PEU DENSE, "ARGILLASEPIC"



PLASMA DENSE, "BIMASEPIC"



120-130 cm

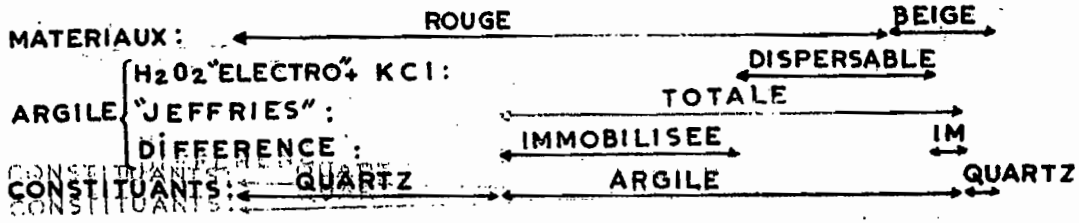
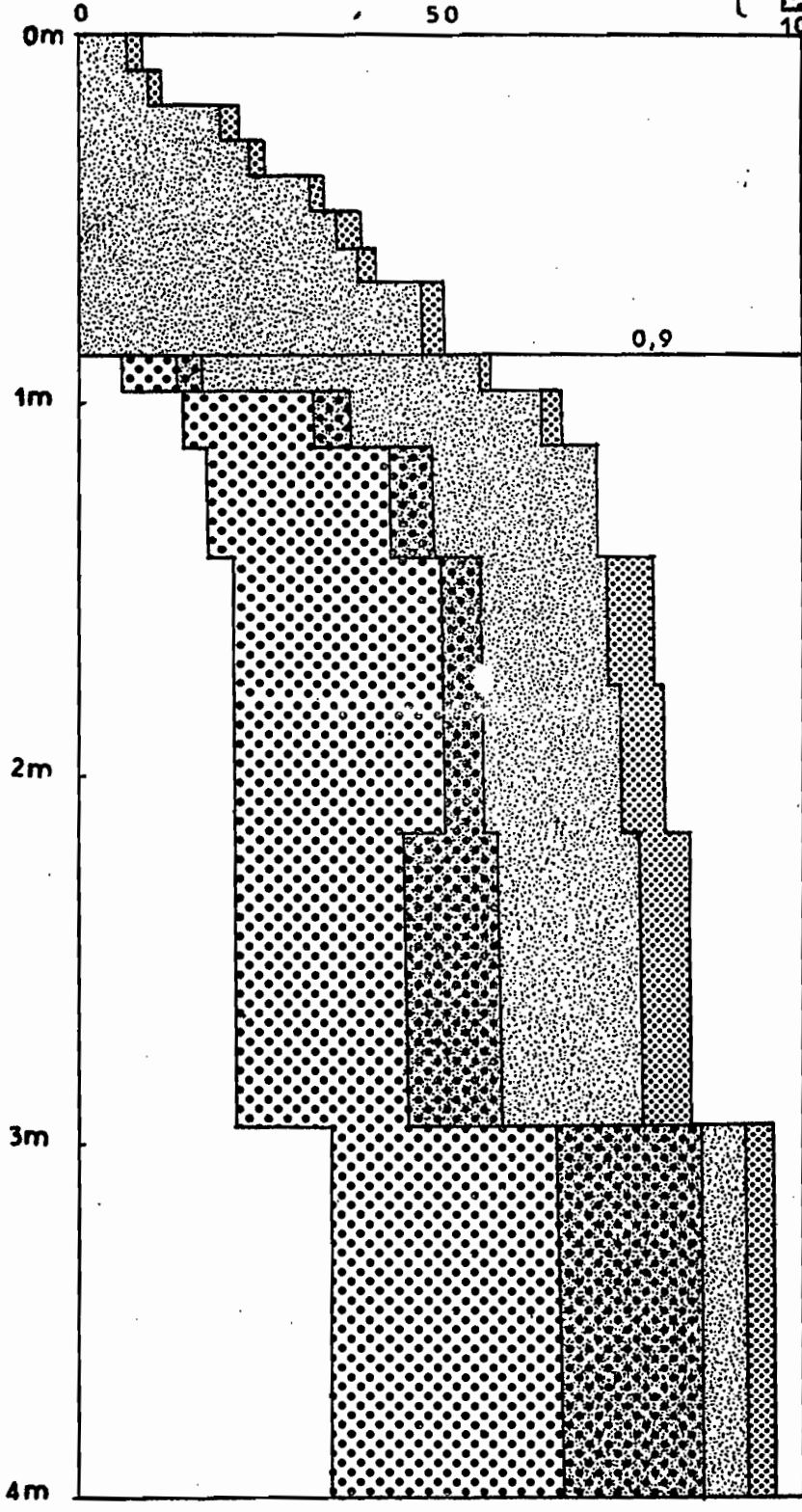
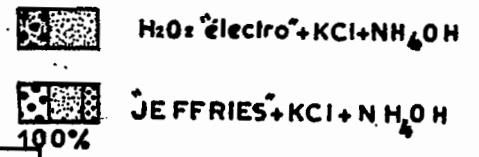
100 μ

SEPARATION MANUELLE DES MATERIAUX



ET ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE CES MATERIAUX

ARGILE



IV. SYNTHESE DES DONNEES GRANULOMETRIQUES ET MICROMORPHOLOGIQUES

L'étude granulométrique a établi une distinction entre :

- l'argile "dispersable" ("D.B. H₂O₂ electro")
- l'argile "totale" ("JEFFRIES")
- l'argile "immobilisée" (obtenue par différence)

L'observation microscopique révèle que les éléments non dissociés sont dans tous les cas constitués par du matériau rouge, sous forme de fragments ou d'inclusions dans le matériau beige.

Sur le graphique ci-joint (pl. 3) ont été figurés :

- les matériaux rouges et beiges, distingués à l'échelle macroscopique et séparés manuellement (limite entre les figurés : gros points et grisé)
- les fractions argileuses "dispersables" et "immobilisés"
 - "dispersable" provenant

(soit du plasma rouge (gros points,
surcharge grisé)
(soit du plasma beige (grisé)
 - "immobilisée" correspondant

(soit au plasma rouge (gros points)
soit à des inclusions de ce plasma
rouge dans le matériau beige (petits
points)
- les constituants primaires (surtout des quartz) issus des matériaux rouges et beiges (blanc)

CONCLUSION

Au cours de cet exposé, nous avons mis l'accent sur les méthodes plus que sur l'interprétation des résultats.

Dans l'état actuel des connaissances, il apparait cependant :

- 1°/ que les données obtenues permettent de caractériser avec plus de précision le comportement physique des matériaux étudiés; "l'indice de mobilité de l'argile" en particulier rend compte des variations de comportement qui ne sont pas décelées par les méthodes d'analyse classique.
Les possibilités d'humectation par l'eau, de gonflement et de structuration des sols sont, en effet, dépendantes non seulement des quantités "d'argile totale" mais de la mobilité relative de cette argile.
- 2°/ que ces données constituent des éléments d'interprétation de la pédogenèse, particulièrement adaptés à l'étude des sols situés à la limite entre le domaine Ferrallitique (caractérisé par une forte immobilisation de l'argile) et le domaine Ferrugineux tropical.
Elles sont susceptibles de nous renseigner sur les processus responsables du blocage, de la libération et/ou de la migration de l'argile, sur le devenir de la fraction quartzeuse, sur l'influence des remontées biologiques, sur le concrétionnement... en un mot, sur la genèse des sols "Ferrugineux tropicaux lessivés", développés sur matériaux kaolinisés profonds, à la limite du domaine Ferrallitique.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - Soil survey staff, 1960 -- Soil classification, 7^e approximation.
U.S.D.A., Washington; 265 p.
- 2 - MULLER (J.P.), 1970 -- Contribution à l'étude des phénomènes
d'appauvrissement.
O.R.S.T.O.M. Libreville, multigr. 141 p.
- 3 - AUBERT (G.), SEGALEN (P.), 1966 -- Projet de classification des sols
ferrallitiques.
Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pedol., IV,
pp 97 - 112.
- 4 - LELONG (F.), 1967 -- Note préliminaire sur les formations
latéritiques de Guyane Française.
"Manière d'être" de la kaolinite et de
la gibbsite; origine des phyllites mica-
cées. C.R. Acad. Sci., 264, pp. 2713-
2716.
- 5 - MAIGNIEN (R.), 1961 -- Le passage des sols ferrugineux tropicaux
aux sols Ferrallitiques dans la région
Sud-Ouest du Sénégal.
Sols Africains, 6, 2, 3, pp. 133-223.
- 6 - TOBIAS (C.), 1965 -- Contribution à l'étude du passage des
sols beiges aux sols rouges.
O.R.S.T.O.M. Dakar, multigr.
- 7 - FAUCK (R.), 1971 -- Les sols rouges sur sables et sur grès
d'Afrique Occidentale.
Thèse Sci., Strasbourg, multigr. 377 p.
- 8 - DEMOLON (A.) et BASTISSE (E.), 1935 -- Sur la dispersion des colloïdes
argileux : application à leur extraction.
Ann. Agro. Nouvelle série, Tome V, p 1.
- 9 - FRIPIAT (J.J.), GASTUCHE (M.C.), 1952 -- Etude physico-chimique des
surfaces des argiles : les combinaisons
de la Kaolinite avec les oxydes de Fer
trivalents. Publ. I.N.E.A.C., n° 54, p 60.
- 10 - CHAUVEL et FAUCK (R.), 1969 -- C.R. Acad. Sci, 269, série D, pp 2080 -
2083.
- 11 - JEFFRIES (C.D.), 1946 -- A rapid method for the removal of free/in
soil prior to petrographic analysis.
Proc, Soil.Sci Soc. Amer., 11, 211.2
iron
- 12 - TAMM (D.), 1922 -- Meddel Stat. Skogs forso Kaust, 19,385.
- 13 - BREWER (R.), 1964 -- Fabric and mineral analysis of soils.
J. WILEY and Sons, New-York, 470 p.

COMITÉ TECHNIQUE DE PÉDOLOGIE

BULLETIN DE LIAISON
DU THEME A

Juin 1972

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE BRAZZAVILLE



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

COMITE TECHNIQUE DE PEDOLOGIE

BULLETIN DE LIAISON
DU THEME A

NUMERO 1.

JUIN 1972.