

OFFICE de la RECHERCHE
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE
OUTRE-MER

ETUDE DES SOLS DE LA REGION DE BASSAR (TOGO)

Un phénomène de lessivage intense dans les sols
comparable à celui démontré par R. BOULET en
Haute-Volta.- Premières réflexions.

A. LE COCQ, pédologue O.R.S.T.O.M.

Juin 1976 - C.E.P.E./C.N.R.S. Montpellier

PLAN

I Généralités

1. introduction
2. le milieu naturel..

II Description sommaire de quelques profils de l'association de sols développés sur schistes.

III Discussion

1. problèmes de morphogénèse
2. problèmes de pédogénèse
3. problèmes de classification .

IV Conclusion.

AVERTISSEMENT

En septembre 1974 Monsieur D. MARTIN, chef du département Afrique Humide passait au Togo pour entre autre discuter des résultats de nos prospections sur le Nord-Ouest du pays (cartographie des sols au 1/1.00.000 de la région de BASSAR). Une note de présentation des sols et des problèmes était faite. C'est cette note qui a été reprise ici en tenant compte des observations de MM. MARTIN, KALOGA, FAURE, LEVEQUE, et AUDRY.

I GENERALITES

1/ Introduction

La spécificité des rapports entre le matériau originel des sols et les roches sur lesquelles on les observe, ne sont pas encore définitivement établis en zone soudano-guinéenne.

Grosso modo, on peut dire que pour les uns, la filiation est actuelle : telle roche donne tel matériau originel puis tels sols, toutes choses étant égales par ailleurs.

Pour d'autres au contraire, la filiation est ancienne et le matériau originel est dans bien des cas un résidu d'une altération inactuelle ayant produit surtout des minéraux argileux du type 1/1. Ce résidu a été modelé et remodelé en diverses formes géomorphologiques (surtout glaciaires) au cours du quaternaire (haut, moyen, bas...).

(L'altération actuelle donnerait plutôt des minéraux argileux de type 2/1.

A notre connaissance, la plupart des travaux qui s'attachent à ce problème portent sur des roches mères cristallophylliennes. Ces roches sont en général très hétérogènes dans cette zone. Si cela présente un avantage sur un plan horizontal (étude des variations sur de courtes distances), c'est aussi un inconvénient : en un point donné, il y a pu y avoir des variations de la composition de la roche sur un plan vertical qui maintenant échappent à l'analyse (LEVEQUE A.). Au Togo, dans le cadre de prospections à but cartographique, nous avons eu à aborder ce même problème

10°

30°

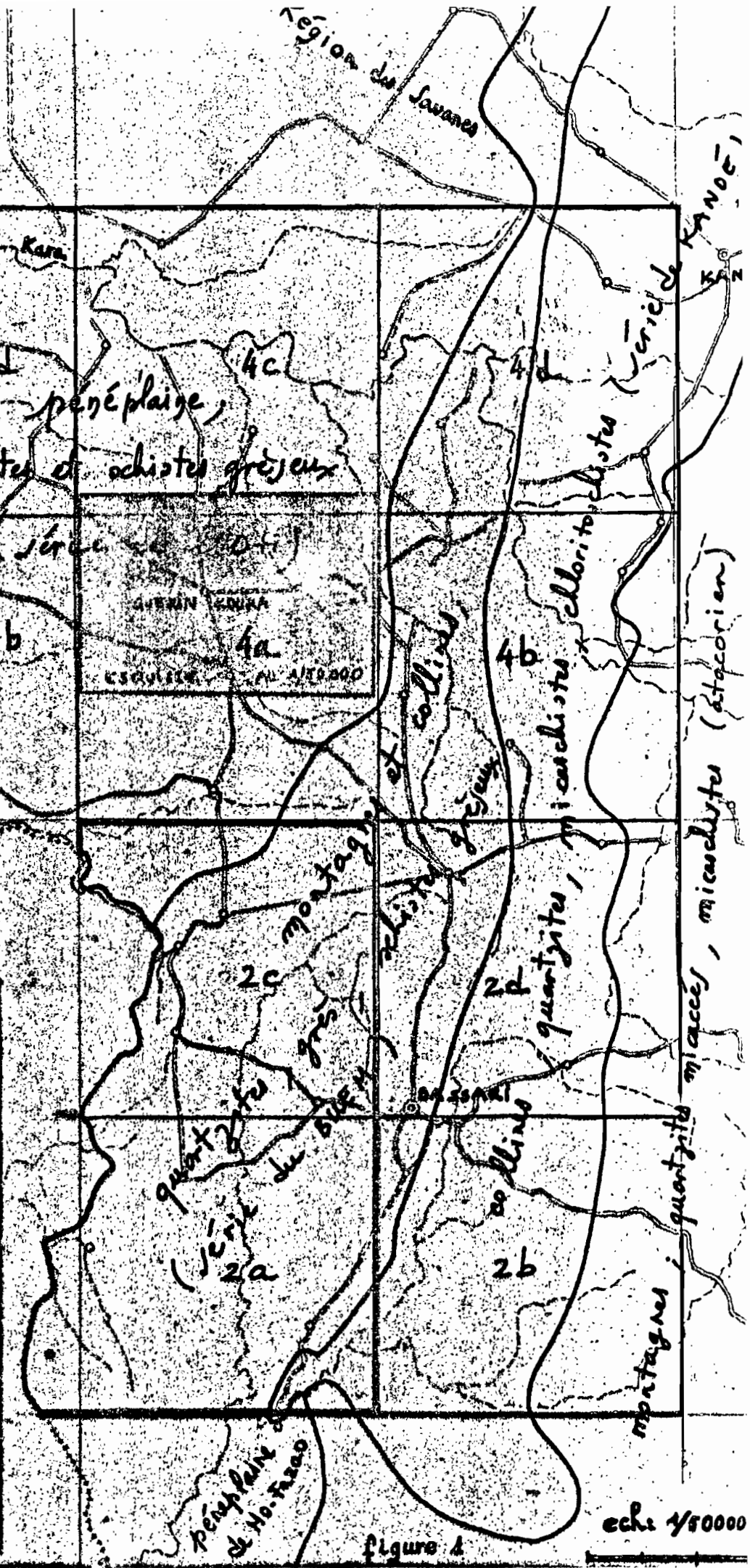
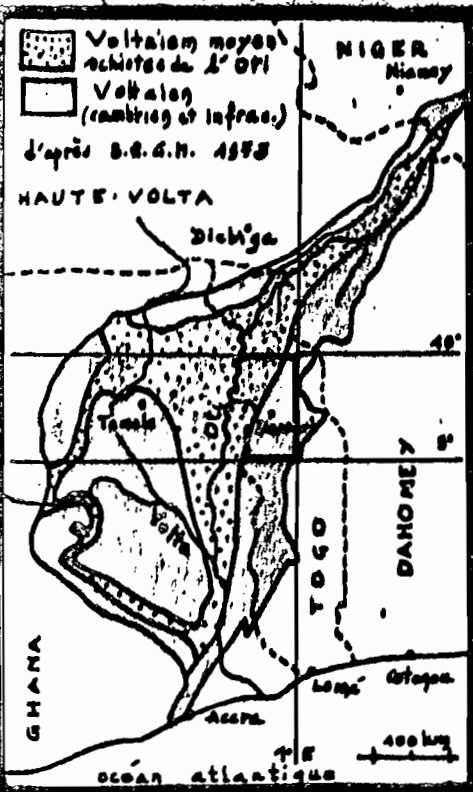


figure 4

eché 1/50000

sur différents types de roches et en particulier sur des roches sédimentaires homogènes : les schistes de l'Oti (Cambrien) qui occupent quelques 7 000 km² au Nord du pays. Cette formation est également étendue au Ghana, plus au Sud-Ouest 43 000 km². Elle se prolonge plus au Nord en se rétrécissant (Nord-Est Dahomey, Sud-Est Haute-Volta) pour se terminer en pointe au Niger (cf. fig. 1.) - 10 000 km².

Il n'empêche que dans la zone géographique considérée les couvertures pédologiques peuvent présenter des ressemblances. C'est le cas notamment pour la granulométrie de nombreux sols : abondance des sables grossiers et des refus à 2mm. En 1971 R. BOULET (1) nous montrait l'importance de ce caractère pour le développement d'un mécanisme de lessivage intense, "total et brutal", à la base des profils de certains sols du Sud de la Haute-Volta, développés sur granite. Il devait en faire plus tard en 1974 une démonstration complète (2). De notre côté au cours des prospections que nous avons faites dans la région de BASSAR (Centre-Ouest-Togo) de 1972 à 1974, nous avons retrouvé plus ou moins exprimées, les manifestations de ce lessivage particulier sur les sols développés sur schistes.

Dans cette région ce processus pédogénétique intéresse plusieurs centaines de km² de sol. D'après les études déjà faites plus au Sud : LEVEQUE 1965 (3)*, ou plus au Nord : F.A.O. 1967 (4), VIENNOT 1969 (5), LEPRUN 1970 (6), il est probable que c'est plusieurs milliers de km² qui sont intéressés. Et dans la mesure où on reconnaît que ce phénomène prend actuellement le pas sur des phénomènes plus classiques tel que lessivage, appauvrissement dans le profil, mouvement du fer etc., il se pose un problème de dénomination, de classification de ces sols. Sans compter que d'un point de vue agronomique et conservation du sol, les conséquences sont extrêmement importantes.

2 / Le milieu naturel

La lithologie est très simple. Il s'agit de roches sédimentaires sensu stricto : schistes vert-jaune clair, en plaquettes avec quelques passées plus sableuses (schistes gréseux). Elles sont quasiment dépourvues de minéraux primaires altérables (quelques plagioclases, chlorites, muscovites). Elles sont imperméables, bien qu'étant plus ou moins redressées dans la zone étudiée.

Les paysage est à première vue, d'une pesante monotonie et contraste avec les formations voisines du Sud-Ouest (schistes, grès et quartzites du Buem). Il a souvent été décrit comme une pénélaine mollement ondulée, constituée de collines surbaissées avec des versants réguliers. Ces versants sont plans, à peine convexes en bas de pente, longs de 2 à 4 km, avec une pente de 2 à 3 %. Ils sont terminés par une petite marche de cuirasse ferrugineuse au-dessus

* Nous n'avons malheureusement pas connaissance des études faites sur les mêmes milieux au Ghana.

grande ligne de partage des eaux

BASSARI NC 31 VII 4 a ech: 1/50000

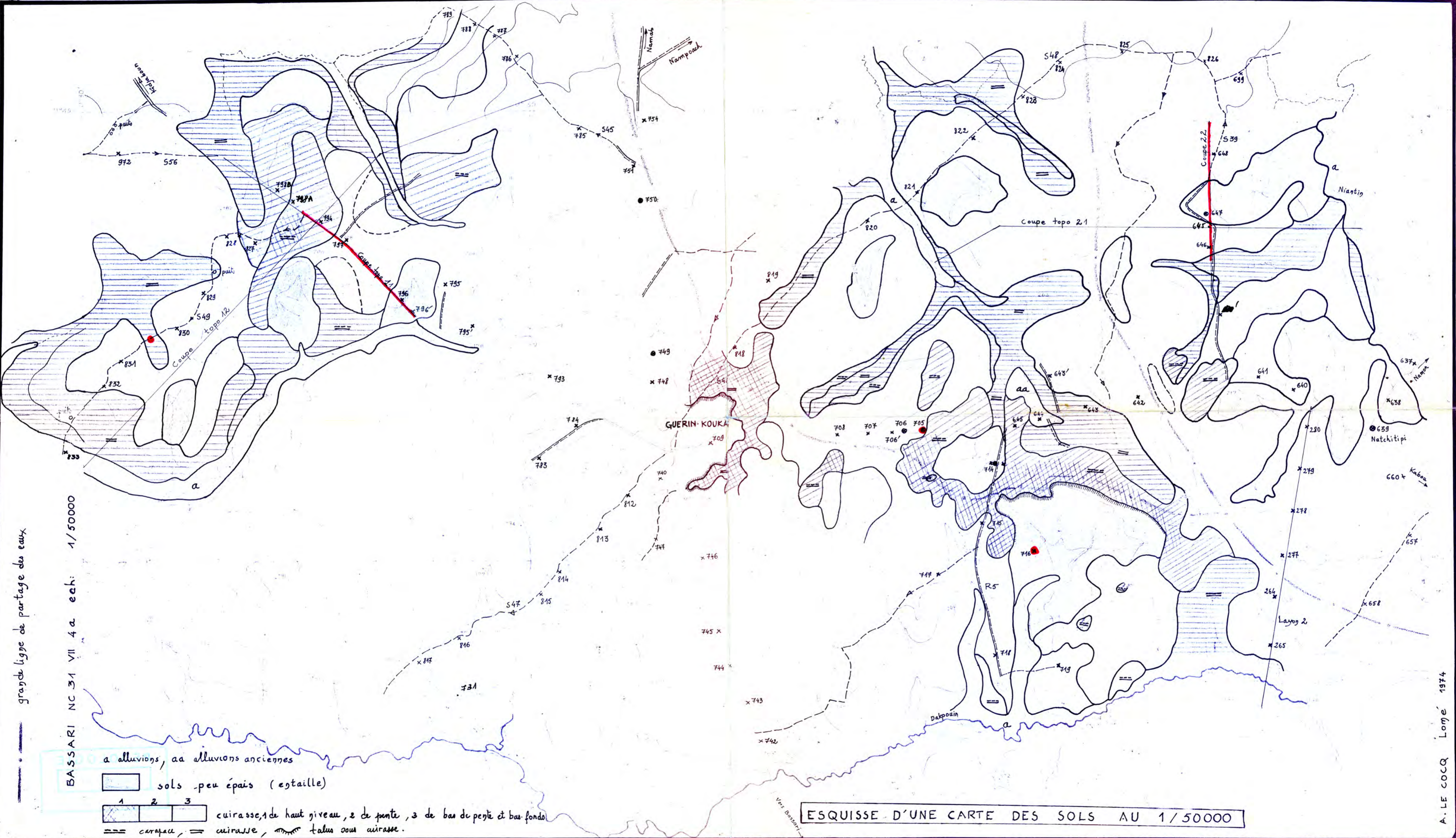
a alluvions, aa alluvions anciennes

□ sols peu épais (estaille)

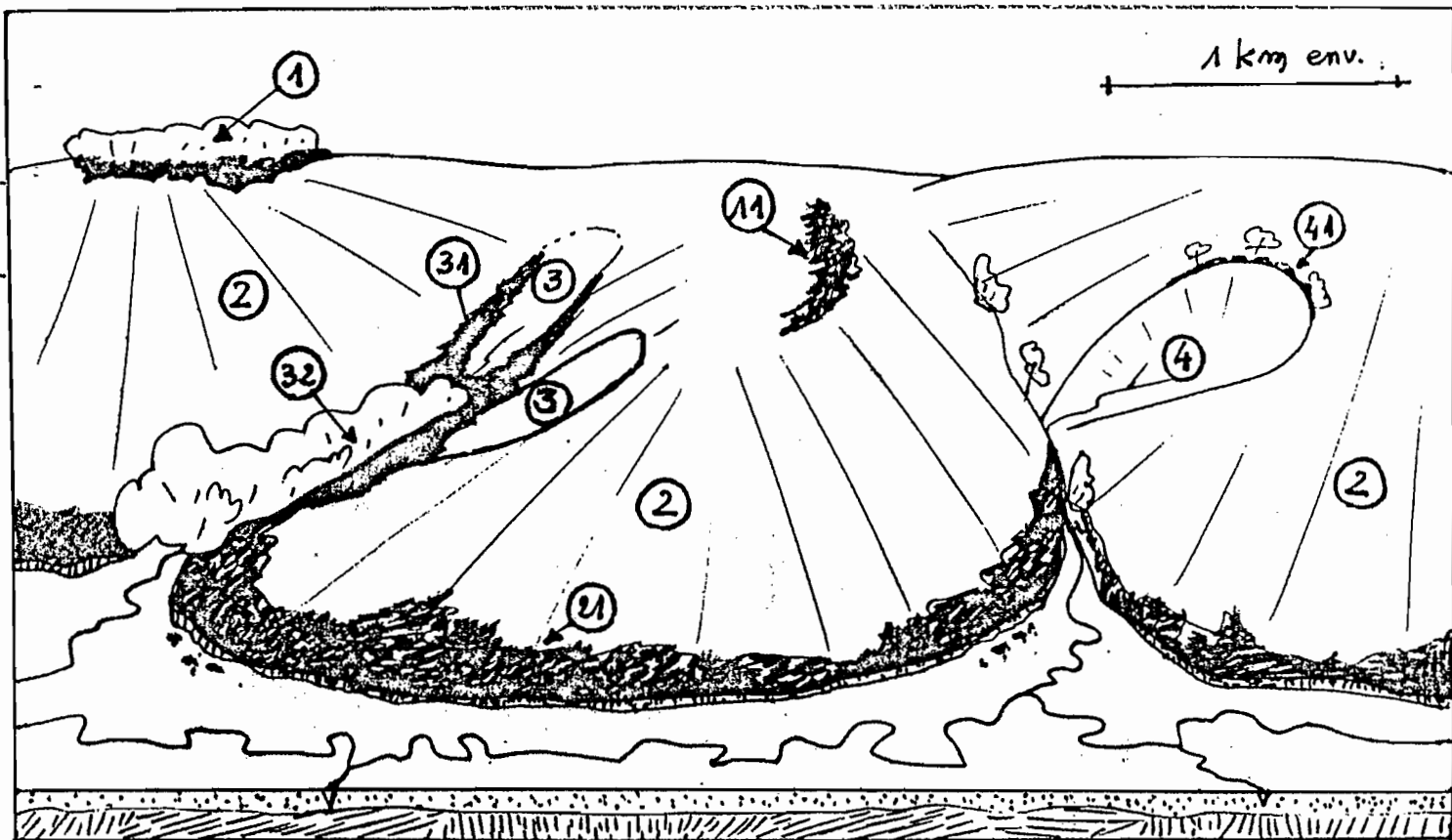
1 2 3
 cuirasse, 1 de haut niveau, 2 de pente, 3 de bas de pente et bas-fonds
 == carreau, = cuirasse, ~ talus ou cuirasse.

ESQUISSE D'UNE CARTE DES SOLS AU 1/50000

A. LE COCQ Lomé 1974



CROQUIS DU PAYSAGE



	éléments du paysage.	horizons de surface	S O L S hor. fins magenta	penage aux schistes
1	sommet de colline, points les plus hauts du paysage. bouquet de savane arborée.	gravier fer. blocs de cuirasse fer. sable	épaisseur 2m. rouge - brun gravier fer. induré - cuirasse ± induré	progressif sur 1 à 3 m. alterite épaisse
11	~	~	~	alterite peu épaisse
2	versant colline, savane arborescente / arboresc. / cultures.	gravier fer. sable	1 m. rouge brun / beige gravier fer. lithochalites. ± induré - corapau induré - cuirasse	rapide sur 0,1 à 0,5 m
21	en bas de pente, savane arborescente	~ et blocs cuir.	~	~
3	petit bassin versant, savane herbacée.	sable	< 1 m induré - cuirasse	brutal aux schistes peu altérés
31		cuirasse et blocs de	~	~
32	entaille dans la cuirasse du bas-fond, galerie forestière / arboresc.			
4	petit bassin versant, savane herbacée	sable / gravier fer. / lithochalites	< 1 m beige	~
41	entaille dans le versant de la colline	blocs de cuirasse fer		

figure 2

d'une étroite vallée alluviale (50 à 200 mètres), entaillée (1 mètre) par le lit sinueux d'un petit marigot qui ne coule que quelques mois par an ; quelques sommets de collines (les plus hauts) sont couronnés par une cuirasse ferrugineuse, souvent démantelée de 1 à 1,5 m d'épaisseur. (cf. fig. 2, croquis du paysage).

Si on regarde plus en détail, on voit que sur les versants de ces collines se dessinent plusieurs petits bassins versants de quelques km² :

- 1°/ les uns ont des versants légèrement concaves qui sont dans un prolongement régulier de ceux de la colline. Sur leur bas de pente afflure une cuirasse ferrugineuse très dure de 1 mètre d'épaisseur. Cette cuirasse est continue dans le fond des parties amont du b.v. (sous une couche de sable lavé). Elle est finement entaillée par un marigot dans les parties avalées. L'entaille est soulignée par une haie d'arbres et d'arbustes.
- 2°/ les autres b. v. ont des versants plans. Ils s'étendent souvent jusqu'à une ligne de crête de la colline et créent à ce niveau une discontinuité bien nette dans la topographie. D'un côté le versant de la colline : plan, légèrement convexe, en aval - versant conséquent ; de l'autre le versant du petit b.v. légèrement concave en amont puis grossièrement plan - versant subséquent. Dans ce deuxième genre de thalweg, les sols sont peu épais et les schistes affleurent à la moindre ravine.

Ces deux éléments apparemment de détail du paysage sont faciles à distinguer à la photographie aérienne et sur le terrain.

Le climat est de régime tropical, type soudanien, avec une saison des pluies courte.

Il pleut 1200 mm d'eau par an en 75 jours. L'essentiel tombe de la fin juillet à mi-septembre. L'évaporation (bac colorado) atteint 2200 mm environ par an, elle est fortement accélérée par les vents du Nord/Nord-Est qui soufflent de Janvier à Mars : l'harmattan. La température moyenne annuelle oscille faiblement autour de 30° (cf. fig.3).

La végétation se présente sous une forme de savane arbustive. Quelques îlots plus denses (savane arborée) peuvent être notés sur les points les plus hauts du paysage associés à une cuirasse ferrugineuse plus ou moins démantelée. Ils comprennent alors : Isobertinia doka. Dans les petits bassins versants décrits ci-dessus il y a peu ou pas d'arbustes (savane herbacée à Andropogon et Hyparrhenia). Dans la deuxième forme, sur les sols peu épais en général, on note Acacia gourmensis. La végétation est régulièrement brûlée chaque année.

Les cultures (mil, sorgho, igname, coton, arachide...) sont relativement denses. Elles se font de préférence sur les sols profonds et non indurés des versants des collines.

PLUVIOMÉTRIE à GUERIN. KOUKA

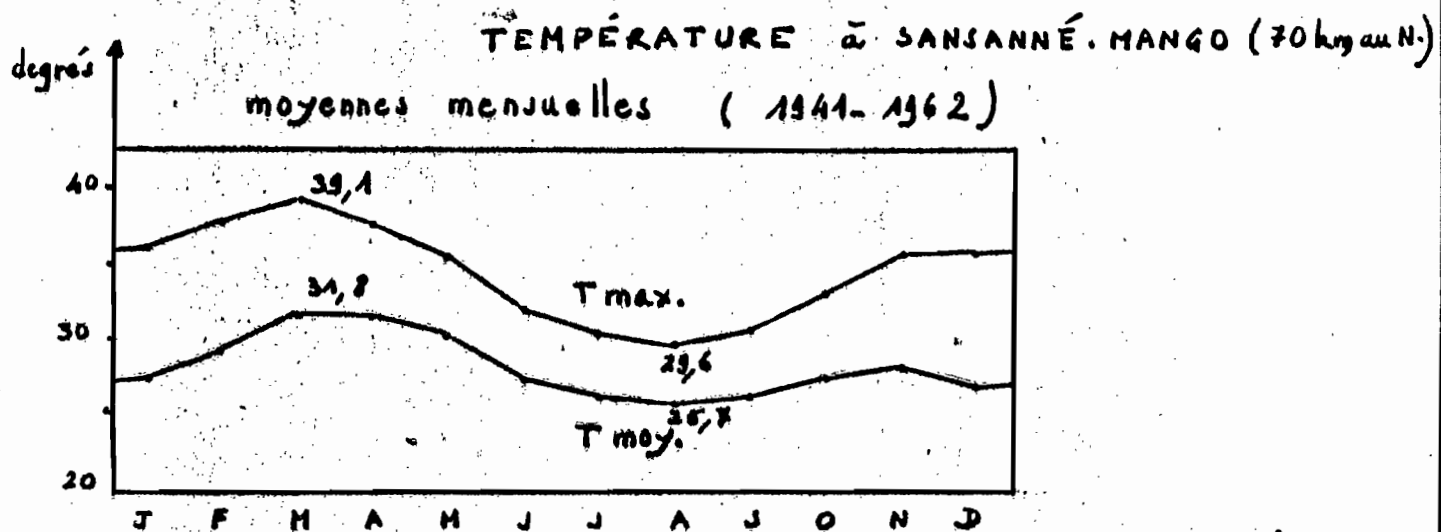
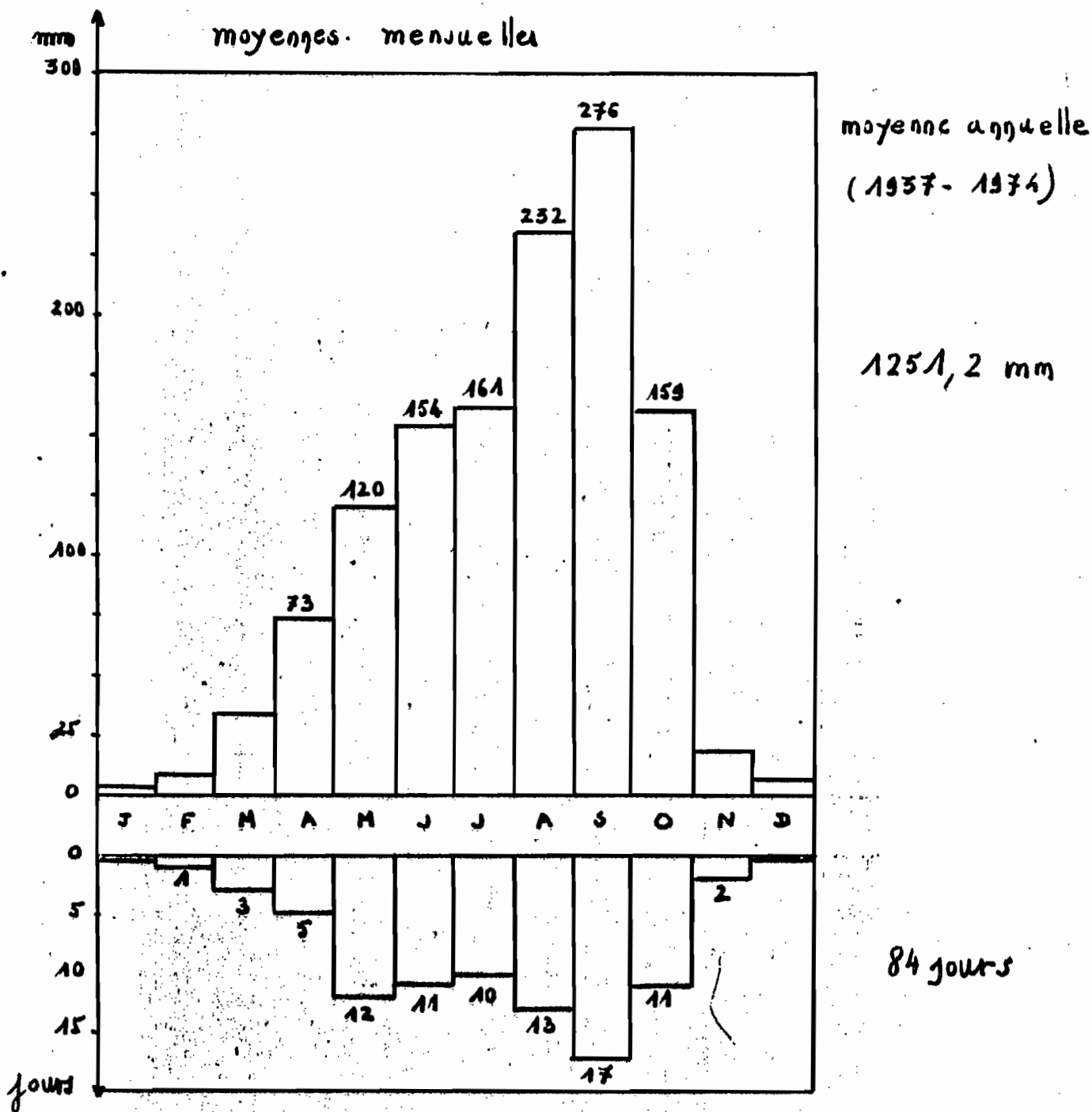


figure 3

II. Description sommaire de quelques profils de l'association de sols sur schistes

Plus de 500 profils de sols issus de schistes ont été décrits au cours des prospections. Leurs associations et leur distribution nous semblent en fin de campagne assez claires. Les rapports avec la topographie sont très étroits et les profils présentés correspondent à différentes parties du paysage qu'il sera facile de replacer les uns par rapport aux autres. Néanmoins il ne s'agit pas de toposéquence au sens habituel. D'une part, parce que la mise en place des fosses n'a pas été basée sur cette technique. D'autre part, parce que pour la tournée, les profils devaient être facilement accessibles. Ainsi nous présentons un profil de sol (n°705) sur un ^{ou} points les plus hauts du paysage (cf. fig. 2 partie 1) dans un endroit et à quelques km de là (cf. carte 1), une séquence de profils qui recoupe à peu près transversalement une colline surbaissée. (partie 2); avec sur son versant Sud-Est un petit bassin versant à sols peu épais (partie 4). Le versant Nord-Ouest aboutit à un petit bas-fond à sol induré sous quelques centimètres de sable. Ce n'est donc pas à proprement parlé un petit bassin versant dessiné sur le flanc de la colline comme on peut en voir un peu plus au Sud-Ouest (cf. carte entre profil n° 830 et 831)

Une deuxième séquence est sommairement présentée. Le dessin du petit bassin versant à sol peu épais, sur le flanc Nord de la colline, y est plus net. Elle coupe le petit bas fond à sol induré au niveau de l'entaille de la cuirasse (partie 32).

A - Près des points les plus hauts du paysage, on note des sols épais (2 à 3m) sur un horizon d'altération plus ou moins épais (1 à 3m) qui passe progressivement à la roche-mère. Les schistes peu ou pas altérés, sont atteints vers 4 à 6 mètres.

Profil n° 705 : route de Guérin-Kouka à Namon; versant de colline; altitude 230 m, sommet ^{ou} culminant à 255m, à 300m de là; blocs de cuirasse affleurant à 50 m de là; haut de pente, pente 1 %; jachère à karité; graviers ferrugineux sur 10 % de la surface (cf. carte n°4) (planche photo. 1)

O à 16cm : A₁ ; frais ; gris-beige foncé ; texture sableuse, graviers (granulo. 0,2 à 2cm) peu nombreux ; très fragile ; très poreux.

- 16 à 25cm : A₂ ; sec ; brun clair (7,5 YR 5,5/6 sec), texture graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux) - plus de 50% de graviers - gangue sableuse ; très fragile ; très poreux.
- 25 à 55cm : AB ; sec ; brun clair (7,5 YR 5,5/6 sec), texture graveleuse (nodules ferrugineux polyédriques plus ou moins émoussés, à arêtes vives, diamètre 0,8cm, durs à très durs, cassure rouge brun foncé, brun à brun-rouge foncé, brun-jaune-beige... ; concrétions ferrugineuses subsphériques, diamètre 0,3cm, très dures, cassure rouge-brun-violacé foncé), gangue sableuse ; très fragile ; très poreux.
- 55 à 85cm : B₁ (A₂')* ; sec ; brun-rouge clair (5YR 4/8 sec, idem humide) à brun-beige clair (7,5 YR 6/4 sec), limites peu nettes, contraste peu marqué ; texture graveleuse (idem), gangue argilo-sableuse ; très fragile ; très poreux ; éléments de terre fine bien décollés des graviers, perforés et à arêtes bien échancrées.
- 85 à 160cm : B₂ ; sec ; brun-rouge à rouge-brun clair (5 YR à 2,5 YR 4/6sec, idem humide), taches brun-jaune, peu nombreuses, petites, peu nettes, peu contrastées ; texture graveleuse (idem), gangue argileuse ; fragile ; très poreux ; éléments de terre fine, décollés, légèrement fendillés.
- 160 à 220cm : B₃ (B₁')* ; frais ; brun-rouge clair (5 YR 5/8), taches brun-jaune à brun-jaune clair (10 YR 5,5/6), nombreuses, petites à moyennes, peu nettes, contrastées ; texture argileuse, rares concrétions ferrugineuses subsphériques ; tendance à structure polyédrique moyenne, faces de débits brun-rouge un peu plus sombre ; friable ; poreux.
- 220 à 290cm : C₁₁ ; frais ; bariolé : brun-rouge, brun-jaune clair (10 YR 6/6), gris clair, limites peu nettes ; contraste marqué à très marqué, faces de débits irrégulièrement brun-rouge clair (5 YR 5/8) ; texture argileuse, quelques graviers (noyaux de schistes incomplètement altérés, peu durs, cassure rouge-brun foncé, à rouge-violet clair) ; structure polyédrique moyenne ; friable ; poreux.

* cf. plus bas la discussion de cette appellation

290 à 330cm : C_{12g} ; frais ; semblable, gris-clair dominant passant au vert bleu clair (5Y 7/1) ; texture argileuse à argilo-limoneuse, graviers peu nombreux (noyaux de schistes).

330 à 400cm : C_{13i} ; frais ; bariolé : brun-rouge clair à brun-jaune clair (10 YR 7/8), gris clair et rouge-brun foncé ; texture argilo-sableuse, graviers nombreux (schistes et schistes gréseux) ; friable ; poreux.

400cm : C₂ ; frais ; schistes gréseux en place, friable.

Classification : profil A₁, A₂, AB, B₁, B₂, B₃, C₁₁, C₁₂, C₁₃, C₂

sol à sesquioxydes
ferrugineux tropical
lessivé
à concrétions
sur schistes et schistes gréseux.

Ce sol est caractérisé par une individualisation poussée des oxydes de fer qui donne aux horizons B leur couleur rouge-brun soutenu. Il est appelé lessivé bien qu'il n'y ait pas d'horizon d'accumulation d'argile. (en B₁ 46,5% ; en B₂ 44,75%). Néanmoins, l'analyse* montre une légère accumulation de fer (fer libre/fer total et fer/argile).

En fait ce fer existe surtout sous forme figurée : concrétions et nodules ferrugineux et définit ainsi le sous-groupe. Nous faisons une différence entre les nodules ferrugineux et les concrétions ferrugineuses. Les premiers sont polyédriques plus ou moins émoussés, à surface rugueuse, au diamètre moyen de 0,8 cm, durs à très durs. Leur cassure est irrégulière à grain hétérogène, de couleur variable entre brun-rouge foncé et brun-jaune-beige avec ou sans taches noires selon les conditions du milieu. Les secondes sont subsphériques légèrement aplaties, à surface régulière généralement lisse et parfois brillante, au diamètre moyen de 0,3 cm, très dures. Elles présentent une cassure nette avec un grain fin, de couleur brun-rouge foncé à rouge-brun-violet foncé, parfois s'y distingue une mince cuticule concentrique plus brune.

Il faut noter que la présence de ces éléments ferrugineux figurés dès les horizons de surface sont en contradiction avec l'éluviation qui s'y fait actuellement (B.KALCGA) Ils sont donc, à ce niveau, nés dans des conditions morpho-pédogénétiques différentes des conditions actuelles.

* Analyse sur terre fine. On trouvera quelques résultats d'analyses en annexe. Ils sont donnés à titre indicatif et n'intéressent pas directement la discussion ci-dessous.

notre propos

est de
l'analyse
(X)

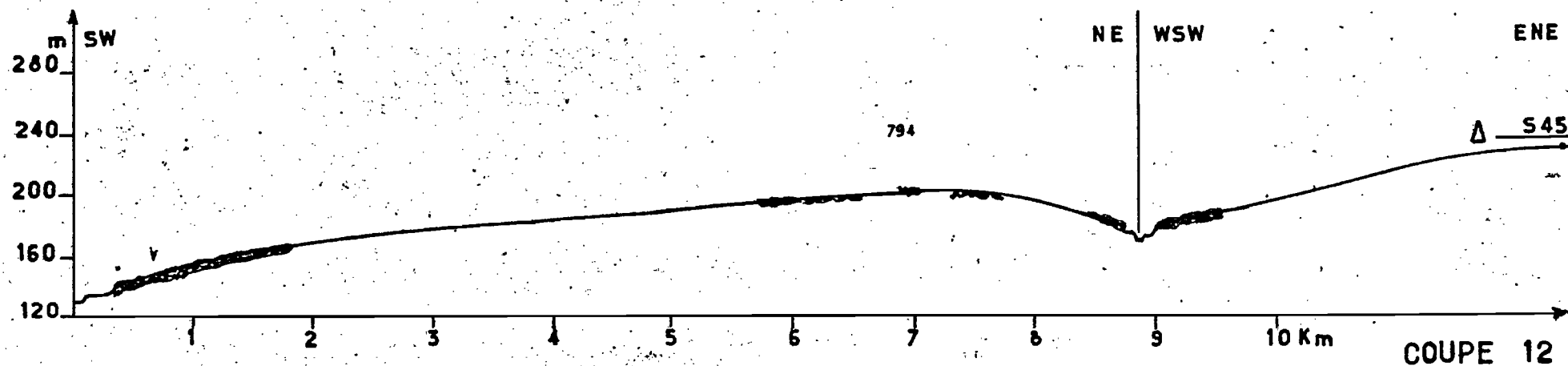
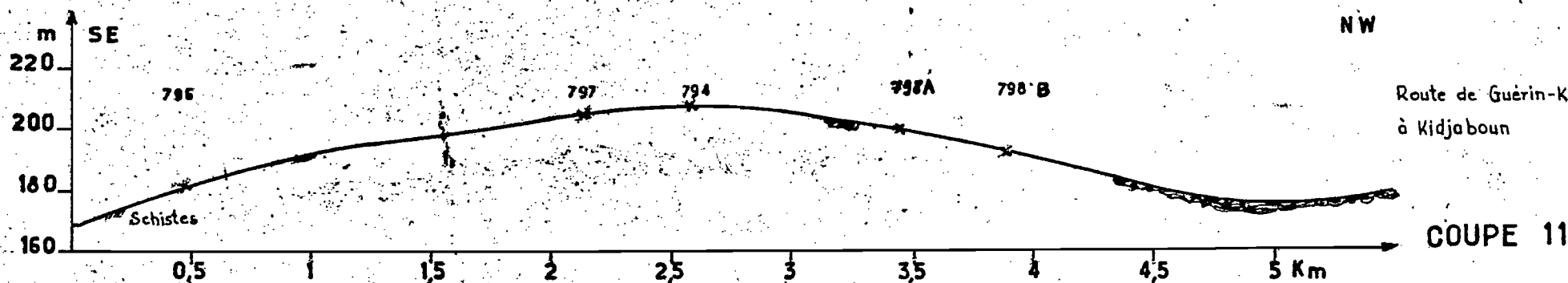
B - Séquence n° 1 (Route de Guérin-Kouka à Kidjaboun) (cf. carte n° 2 et figure n° 4).

a) Sommet de la colline.

Profil n° 794 : altitude 212 m, pente nulle, savane arborée à daniellia et karité.

- 0 à 8cm : A₁₁ ; sec ; beige foncé ; texture sableuse ; structure polyédrique éoussée, moyenne, peu nette ; fragile ; poreux.
- 8 à 17cm : A₁₂ ; sec ; semblable ; texture graveleuse, gangue sableuse ; très fragile ; très poreux.
- 17 à 38cm : AB ; sec ; brun-rouge clair (5 YR 5/6 à 6/6 sec, 5 YR 4/8 humide) ; texture graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux), gangue sablo-argileuse ; très fragile ; très poreux.
- 38 à 90cm : B₂₁ ; sec ; rouge-brun clair (2,5 YR 4/7 à 5/7 sec, 2,5 YR 4/7 humide) à rouge-brun clair (5 YR 6/6 sec), associé aux canaux ; texture graveleuse (idem), gangue argileuse à argilo-sableuse ; très fragile ; très poreux ; éléments de terre fine bien décollés des graviers et à arêtes très échan-crées;
- 90 à 140cm : B₂₂ ; sec ; rouge-brun clair (2,5 YR 4/6 sec) à brun-rouge clair, en relation avec les canaux ; texture graveleuse (nodules et concrétions ferrugineux, quelques nodules à coeur noir, 1 caillou de cuirasse), gangue argilo-sableuse, sans doute pseudo-sables ; fragile ; poreux ; éléments de terre fine décollés des graviers, fendillés, mais à arêtes régulières.
- 140 à 190cm : B₂₃ (A₂) ; sec ; rouge-brun clair à brun-rouge clair (2,5 YR 4/6 à 5 YR 4/6 sec) avec taches brun-jaune clair (10 YR 5/7 sec), nombreuses, moyennes et avec taches noires peu nombreuses, moyennes, ensemble peu fragile et réseau blanchâtre rosé, associé aux canaux, friable, contraste très marqué, limite très nette ; texture graveleuse (nodules et concrétions ferrugineux, nodules à coeur noir nombreux), gangue argilo-sableuse, sans doute pseudo-sable ; peu fragile ; très poreux ; canaux en partie lavés.

LOCALISATION DES PROFILS COUPES TOPOGRAPHIQUES 11-12



Δ Cote du témoin local le plus haut du haut-glacis

— Cuirasse corapace ferrugineuse affleurante ou subaffleurante

Feuille IGN NC31 VII 4a au 1/50.000

Figure n°4

190 à 205cm : C₁₁ ; sec à frais ; brun-rouge à rouge-brun clair (5 YR 5/6 sec), faces de débit un peu plus sombre (5 YR 5/6 sec), très nombreuses, moyennes, nettes à très nettes ; texture argileuse, quelques plaquettes de schistes incomplètement altérés ; structure prismatique fine à moyenne, nette ; peu fragile ; peu poreux.

205 à 220cm : C₁₂ ; frais ; bariolé gris-clair, brun jaune clair, taches brun-rouge à rouge brun-clair ; texture argileuse, schistes peu altérés nombreux.

Classification : profil A₁₁, A₁₂, AB, B₂₁, B₂₂, B₂₃ C₁₁, C₁₂.

Ce profil présente sensiblement la même suite d'horizons que le profil précédent, jusqu'à 2 mètres environ. La différence se situe surtout dans les horizons d'altération qui sont ici beaucoup plus ramassés, plus massifs. De l'hydromorphie s'y révèle.

Un certain nombre de caractères morphologiques sont à souligner :

- la couleur de la matrice des horizons B garde de haut en bas un fond rouge-brun/brun-rouge clair (2,5 YR-5 YR) Mais il s'y développent des taches de plus en plus nombreuses à mesure que l'on va vers le bas, jusqu'à s'anastomoser et former un réseau très contrasté à limites très nettes. Ces taches sont d'abord plus claires que la matrice, puis plus brunes que rouges, puis blanchâtre-rosées. Elles se développent en relation avec les tubulures et les canaux. Dans le réseau blanchâtre la terre fine est friable, il y a des vides (terre fine en partie "déblayée"), comparativement la matrice rouge-brun apparaît à la base plus consolidée qu'au sommet de l'horizon B.

À la loupe (x8) les éléments de terre fine "éclaircis" sont bien décollés des graviers, leurs arêtes sont échancrées, leur masse est fendillée et toute perforée de sorte qu'ils sont plus fragiles que les éléments de terre fine de la matrice rouge-brun qui "collent" aux graviers.

b) Versant Sud-Est de la colline

1. Profil n° 797 : altitude 208 m, haut de pente, pente 2 % ; savane arbustive, néré, karité.

0 à 15cm : A₁ ; sec ; beige foncé ; texture sableuse, graviers peu nombreux ; fragile ; poreux.

15 à 45cm : A₃ ; sec ; brun-beige clair ; texture graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux), gangue sablo-argileuse ; fragile ; très poreux.

45 à 85cm : (A₂)B₂₁ ; sec ; brun clair ; texture graveleuse nodulés à coeur noir), gangue argilo-sablo-limo-neuse ; fragile ; très poreux ; éléments de terre

* pour ne pas parler d'agrégats structuraux, notion à notre avis aléatoire dans ces sols gravillonnaires.

fine bien décollés des graviers, perforés et à arêtes très échancrées.

85 à 125cm : B₂₂(A₂) ; sec ; blanc rosé, taches brun-rouge à rouge-brun clair, très nombreuses, moyennes, très nettes, très contrastées, plus dures formant un réseau par endroit ; texture graveleuse (idem, nodules à coeur noir peu nombreux), gangue argileuse à argilo-limoneuse ; fragile à peu fragile aux endroits les plus rouge-brun ; très poreux ; éléments de terre fine brun-rouge peu décollés, à arêtes échancrées.

125 à 140cm : (A₂)B₂₃ (horizon irrégulier en poches) ; sec ; blanchâtre ; texture graveleuse (plus de 80% de refus à 2mm) (idem), gangue argilo-limono-sableuse (sables fins)* ; très fragile à bouillant ; extrêmement poreux ; graviers lavés dessous avec dépôts de poudre blanchâtre dessus.

140 à 150cm : (B')BC ; sec ; blanchâtre, taches brun clair, petites, nombreuses, peu nettes, contraste marqué ; texture graveleuse (nodules ferrugineux, noyaux à coeur noir nombreux, lentilles schistes incomplètement altérées, quelques concrétions ferrugineuses), gangue argileuse à argilo-limoneuse ; peu fragile ; peu poreux ; aspect compacté, canaux crépis de poudre blanchâtre.

150 à 185cm : C₁ ; sec à frais ; gris-vert-jaune clair, brun-rouge sale sur les faces de débits, taches brun-jaune vif, très nombreuses, nettes, contraste très marqué, correspondant à des lentilles de schistes ; texture argileuse ; structure polyédrique moyenne, peu nette ; peu fragile ; peu poreux ; quelques revêtements correspondant au brun-rouge sale, peu épais, discontinus et peu étendus.

à 185cm / C₂ ; schiste gréseux en plaquettes peu altérées.

Classification : profil A₁, A₃, B₂₁, B₂₂, B₂₃, BC, C₁, C₂.

On a toujours un profil de type ABC mais par rapport au profil précédent, celui-ci apparaît "décoloré", de 45 à 85 cm il est brun clair, de 85 à 125 cm le fond rouge-brun de l'horizon B du profil n° 794 est réduit à des taches par endroit anastomosées en réseau. Elles sont alors bien plus dures que la terre fine blanc rosé.

* L'appréciation de la texture de tels horizons est très approximative sur le terrain, il faut frotter les graviers entre eux pour récupérer un peu de terre fine.

Par ailleurs apparaissent sous l'horizon B₂₂ des poches très graveleuses (plus de 80% de refus à 2mm)²² (les mêmes graviers qu'au dessus) d'où la terre fine a disparu, il ne reste plus que des dépôts (avec beaucoup de sables fins) sur le dessus des graviers alors que le dessous qui constitue en quelque sorte la voûte des canaux, est bien propre. L'horizon suivant 140 à 150cm est ici typique. A part quelques canalicules et vacuoles, il n'y a pas de pores, pas d'interstices entre la terre fine et les graviers, ce qui lui donne un aspect compact. Les parois des canalicules sont tapissées de poudre blanche équivalente à celle couvrant les graviers de l'horizon précédent.

2. Profil n° 796 ; altitude de 180 m, bas de pente, pente 4%, savane arbustive/dégradée avec *Accacia gourmensis*, graviers couvrant 40% de la surface, (Cf. planche photo. 2).

- 0 à 9cm : A₁ ; sec ; gris-beige foncé (10 YR 4/3 sec, 10 YR 3/4 humide) ; texture graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux, lentilles de schistes), gangue sableuse ; très fragile ; très poreux.
- 9 à 22cm : A₂ ; sec ; brun-beige (7,5 YR 4/3 sec, 7,5 YR 3/3 humide) ; texture graveleuse (idem), gangue sableuse ; très fragile ; très poreux.
- 22 à 55cm : A₃(B) ; sec ; brun clair (7,5 YR 5/5 sec) ; texture graveleuse (idem), gangue sablo-argileuse ; très fragile ; très poreux ; graviers lavés dessous.
- 55 à 80 cm : (A₃)C₁₁ ; sec ; vu de dessus : blanchâtre, vu de dessous : gris-brun foncé ; texture graveleuse 95% (schistes, concrétions et nodules ferrugineux), gangue (?) sableuse légèrement argilo-limoneuse ; très fragile à bouillant ; extrêmement poreux.
- à 80cm : passage tranché (cf. photo n° 5 de profil équivalent).
- 80 à 82 min./ 105 max. : (A₃B₃)C₁₂ ; sec ; blanchâtre rosé (7,5 YR 8/2 sec, 7,5 YR à 10 YR 6/5 humide), taches brunes, peu nombreuses, petites, peu nettes, contraste peu marqué ; texture graveleuse (schistes gréseux, nodules ferrugineux, nombreux, schistes et nodules à coeur noir), gangue argilo-sablo-limoneuse ; fragile ; très poreux, aspect compact, canaux crépis de poudre blanche, quelques graviers lavés dessous.
- 82 à 105cm : C₂ ; passage graduel ou tranché à un schiste ou schiste gréseux vert-jaune pâle compact, friable par endroit au sommet, avec de la poudre blanche sur les faces de débit.

Classification : profil A₁, A₂, A₃, C₁₁, C₁₂, C₂.

Vers le bas du versant la pente croît de 1% environ et l'épaisseur du sol diminue. Des morceaux de roche mère * apparaissent dès la surface. La végétation se caractérise par la présence d'*Accacia gourømensis*.

L'horizon majeur est complètement "décoloré". Il n'y a plus de taches, plus ou moins indurées, brun-rouge. En dessous il n'y a plus quelques poches mais un horizon bien caractérisé (55 à 80cm) graveleux et bouillant, quasiment débarassé de sa terre fine (85% de refus).

Enfin on retrouve à la base l'horizon blanchâtre compact mais avec un certain nombre de tubulures (ϕ moyen 0,5mm) qui laissent supposer une porosité encore importante.

3. Suite en bas de pente

En aval du profil n° 796, la pente s'accélère encore avant d'arriver 300 mètres plus bas à un petit marigot. Dans le bas du versant, les schistes affleurent à la faveur de petites ravines.

c) Versant Nord-Ouest de la colline

1. Profil n°798 A : altitude 200cm., $\frac{1}{2}$ haut de pente, pente 2%, savane arbustive à *Daniellia* (Cf. planche photo. 4)

0 à 17cm : A ; sec ; gris-beige ; texture sableuse, graviers très nombreux ; fragile ; très poreux.

17 à 45cm : A₃ ; sec ; brun clair ; texture graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux), gangue sablo-argileuse ; très fragile ; très poreux.

45 à 100cm : (A₂)B₂₁ ; sec ; marbré : brun-rouge foncé, rouge-brun, brun-jaune clair, quelques taches noires, ensemble peu fragile à légèrement cimenté ; réseau blanchâtre, très fragile, à nombreux vides, très poreux.

100 à 150cm : (A₂)B₂₂ ; sec ; semblable à ci-dessus, réseau blanchâtre plus dense avec vides plus importants, "structure" feuilletée ; fragile ; poreux.

150 à 270cm : (B₁)B₂₃ ; sec semblable à ci-dessus, plus brun que rouge, réseaux blanchâtre à limites moins nettes, moins de vides ; gangue argilo-sableuse ; fragile ; poreux.

à 190/200cm : (A₂)B₂₃ ; sec ; horizon en forme de dièdre orienté perpendiculairement à la pente du versant, de graviers (concrétions et nodules ferrugineux) plus ou moins lavés.

270 à 290cm : C₁ ; frais ; gris-vert-jaune clair, taches brun-rouge clair, moyennes à grandes, nombreuses,

* Ces éléments ou lithorelictés sont facilement reconnaissables des éléments ferrugineux par leur forme lentillaire. Il ne peut y avoir de controverse interminable comme avec celles nées de roches cristallophylliennes.

peu nettes, très contrastées, taches brun-jaune clair, petites, peu nombreuses (schistes incomplètement altérés) ; texture argileuse ; structure polyédrique moyenne à grossière peu nette ; peu friable ; peu poreux.

à 300m par place au fond du trou : schistes peu altérés.

Classification : A, A₃, B₂₁, B₂₂, B₂₃, C₁, C₂.

Ce profil n'apparaît pas fondamentalement différent du profil n°794 qui est 500mètres en amont au sommet de la colline. On remarquera cependant

- 1/ l'horizon de transition entre les horizons A et les horizons B est moins rouge et moins argileux (horizon A₃, 17 à 45cm au lieu de AB, 17 à 38 cm)
- 2/ dans les horizons B la matrice colorée est plus ou moins indurée. Corrélativement le réseau blanchâtre est plus développé. Les vides importants dans ce réseau confèrent une très grande porosité ; ce qui n'empêche pas une certaine hydromorphie (temporaire) marquée par les taches noires (et brun-jaune?) .
- 3/ entre la partie la plus poreuse (100-150 cm) et la moins poreuse (150-170cm) des horizons B vient "se ficher" un petit horizon "lavé" où apparemment, le sens de l'écoulement des eaux n'est pas celui de la pente du versant.

Le profil 798 A est donc à la fois plus lessivé et plus induré que le profil 794 . En profondeur on passe probablement plus rapidement aux schistes peu altérés.

2. Profil n°798 B : altitude 192 m, $\frac{1}{2}$ bas de pente (400m en dessous du profil 798 A), pente 2%, savane arborée à Daniella et karité (cf. planche photo. 4)

- 0 à 8cm : A₁ ; frais (pluie la veille) ; gris brun-foncé ; texture sableuse, graviers peu nombreux ; très friable ; poreux.
- 8 à 20cm : A₂ ; sec ; beige ; texture graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux), gangue sableuse ; très fragile ; très poreux.
- 20 à 60cm : (A₂)B₁ ; sec ; brun clair ; texture graveleuse (idém), gangue argilo-sableuse ; fragile ; très poreux ; éléments de terre fine très décollés des graviers, arêtes très échanrées, nombreuses petites pores.
- à 60cm : B₂₁ ; passage graduel à un horizon sec ; brun-rouge foncé, rouge-brun clair, brun foncé, taches noires, induré, et réseau beige clair correspondant aux canaux ; texture graveleuse (noyaux ferrugineux et concrétions), terre fine des canaux sableuse ; peu cimenté.

Un autre profil creusé pour la tournée à coté de celui-ci montre que cet horizon induré n'est pas continu. Entre les blocs de cuirasse on observe :

- 60 à 140cm : (A₂¹)B₂₂² ; brun beige clair (75 YR 7/2 sec , 75 YR 5/6 humide), taches brun-clair, petites, peu nettes, contrastées, nombreuses par plages ; texture graveleuse (idem) , gangue argilo-sablo-limoneuse ; très fragile, un peu moins pour les plages tachetées ; très poreux.
- 140 à 200cm : (A₂¹)B₂₃² ; blanchâtre ; texture graveleuse (idem), gangue idem ; très fragile à bouillant par poches, dans ces poches les graviers ont la face inférieure lavée.
- 200 à 250cm : (B¹)B₃ ; blanchâtre, (10 YR 8/1 sec, 10 YR 7/3 humide) , taches brun clair (75 YR 7/5 sec, 75 YR 5/8 humide), nombreuses, petites à moyennes, peu nettes, contrastées ; texture graveleuse (nodules ferrugineux et lithorelictés de schistes), gangue argilo-limoneuse ; peu fragile ; poreux ; aspect compacté.
- 250 à 280cm : C₁ ; sec à frais ; blanchâtre, taches beige-rosé clair, moyennes à grandes, associées aux faces de débits, peu nombreuses, peu nettes, peu contrastées ; taches brun-jaune vif de schistes incomplètement altérés ; texture argileuse ; structure massive à tendance polyédrique moyenne ; peu friable ; peu poreux.

à 300cm ; probablement schistes peu altérés.

Classification : profil A₁, A₂, B₁, B₂₁-B₂₂, B₂₃, B₃, C₁.

Hormis les blocs de carapace et de cuirasse, le profil est complètement décoloré comme au n° 797. La différence avec ce dernier se situe dans l'épaisseur (horizon C₁ à 250cm au lieu de 150cm), et une altération plus avancée des schistes avec moins de lithorelictés dans les horizons B/C.

3. Suite en bas de pente

200 mètres en aval du profil précédent, la cuirasse affleure ça et là sur le versant. La savane devient arbustive avec un aspect rabougri, dégradé. On arrive au bas-fond sans rupture de pente marquée.

Des observations faites en dehors de cette toposéquence permettent de dire que la cuirasse ferrugineuse, observée quasiment à la surface du sol en bas de pente des versants, occupe tout le bas-fond sous une couche de sable d'un demi mètre d'épaisseur environ. (cf. séquence n° 2)

Cette cuirasse est très dure. Les seules observations disponibles sont faites à partir des puits, remarquablement associés à cette portion du paysage.

L'eau est puisée à l'aide d'une calebasse accrochée au bout d'une tige de mil. Les moins utilisés donnent l'eau jusqu'en février/mars (observation en 1973/1974)

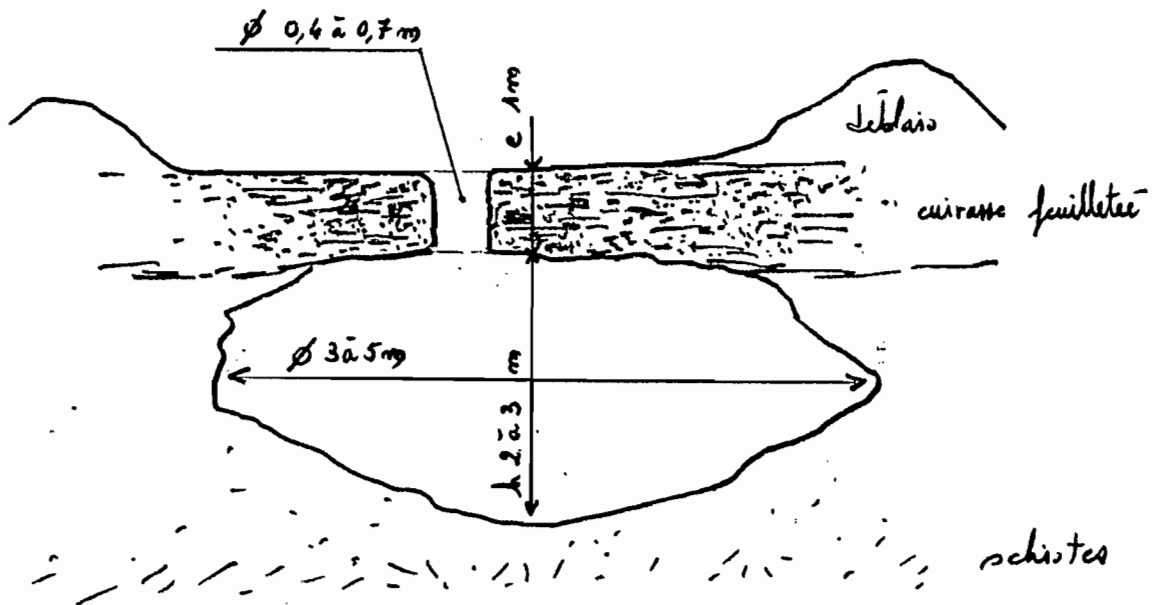


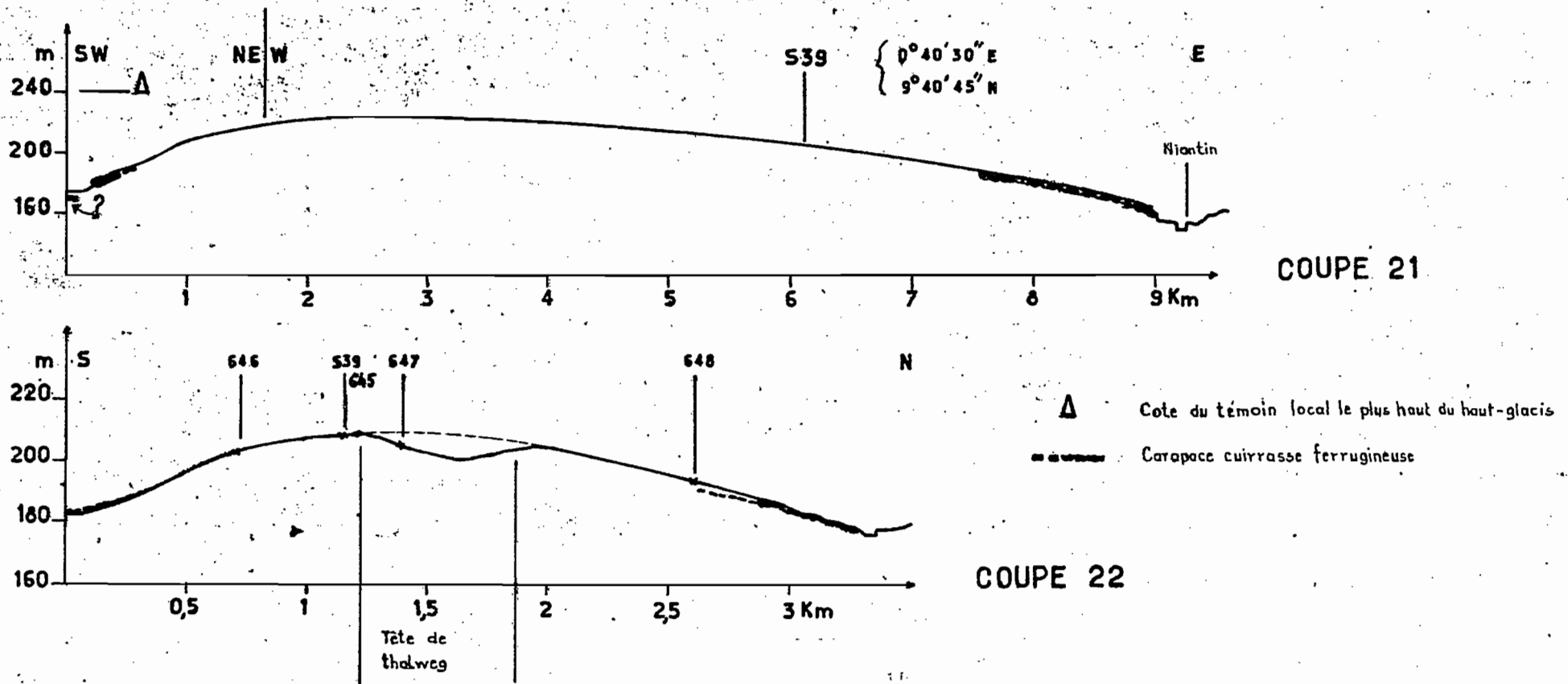
fig.: 5 : Coupe schématique des puits dans les bas-fonds indurés.

Nous n'avons jamais vus de puits récemment ouverts, et le matériau sous-jacent à la cuirasse n'a pu être observé qu'à partir des déblais de curage, ce qui évidemment, n'est pas très bon. Ce matériau est généralement argilo-limono-sableux (sables fins), gris à gris clair, massif ; Il ressemble à ce qu'il y a en profondeur dans les planosols. Il y a souvent des plaquettes de schistes et quelques nodules ferromanganésifères.

C - Séquence n° 2 (Piste de Sadjagati) (cf. carte n°2 et fig. n°6).

Cette séquence recoupe, transversalement comme la première, une colline surbaissée mais, sur l'axe longitudinal de l'interfluve, à une distance plus éloignée du sommet. Elle traverse sur le versant Nord un petit bassin versant à sols peu épais (cf. fig.2 partie 4), le passage est marqué par une petite marche cuirassée (partie 41). Elle aboutit en bas du versant Sud à un petit bas-fond cuirassé (partie 3), au niveau de son entaille (partie 32). Ce versant est induré sur sa moitié aval.

LOCALISATION DES PROFILS-COUPES TOPOGRAPHIQUES 21-22



Feuille IGN NC 31 VII 40 au 1/50.000

Figure 6

a) Profil n° 645 (axe de l'interfluve)

- 0 à 14cm : A ; humide (pluie les jours précédents) ; gris-beige foncé ; texture sableuse, graviers très nombreux ; très friable.
- 14 à 35cm : A₃ ; humide ; brun-beige foncé ; texture graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux), gangue sableuse ; très friable.
- 35 à 105 cm : B₂ ; humide ; marbré : brun-rouge à rouge brun foncé, gris-brun-jaune, taches beige foncé, quelques taches noires ; texture graveleuse (idem), gangue argileuse ; friable.
- 105 à 180cm : (A₂)B₃ ; humide ; marbré idem avec un réseau beige foncé, taches noires nombreuses ; texture graveleuse (idem plus lithorelictés), gangue argileuse ; très friable.
- 180 à 220cm : C₁ ; mouillé ; bariolé : gris beige, brun, brun-jaune (schistes), schistes altérés ; très friable.

Classification : profil : A₁/A₂, A₃, B₂, B₃, C₁.

Ce profil présente des ressemblances avec le profil n° 705 (points hauts du paysage), par son horizon d'altération - couleur, friabilité, progressivité de l'altération - toutefois bien moins épais, et avec le profil n° 798 A par ses horizons B et BC - couleur, texture - ils sont toutefois moins indurés et il y a des lithorelictés dès 1m. (d'où appellation B₃).

b) Profil n° 647 (versant Nord)

Haut de pente, pente 3%, savane herbacée avec quelques arbustes, notamment Accacia gouromensis.

- 0 à 18cm : A₁ ; frais ; gris-beige foncé (10 YR 3/3) ; texture graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux, schistes-lithorelictés), gangue sableuse ; très friable.
- 18 à 30cm : (A₁)B₁C₁ ; frais ; beige-brun clair (7,5 à 10 YR²5/5)¹ ; texture graveleuse (idem), gangue sablo-argileuse (sables fins) ; très friable.
- 30 à 40cm : (A₁)B₂C₁ ; frais ; brun à brun-jaune clair (7,5 à 10 YR 5/6) ; texture graveleuse (plaquettes de schistes désorientées), gangue argilo-limoneuse ; très friable.
- 40 à 140cm : C₂(B¹) ; frais ; schistes peu ou pas altérés, subverticaux, très fragmentés, très fragiles ; de 40 à 80cm, faces de débits plus ou moins recouverts d'un dépôt poudreux blanchâtre.

Classification : profil A_1, B_1C, B_2C, C_2 .

Ce profil est fort semblable au profil n° 797 sans avoir d'horizon "lavé" et "compacté" bien net. En fait la couverture pédologique est réduite et le lessivage attaque les horizons d'altération ou plutôt de fragmentation, des schistes. A noter ici que la texture du schiste est bien plus fine que dans le profil n° 797.

c) Profil n° 646 (versant Sud)

Mi-pente, : pente 2%, savane arborée à karité.

0 à 17cm : A ; frais; beige foncé ; texture graveleuse (concrétions et nodules subanguleux ferrugineux), gangue sableuse; friable.

17 à 50cm : B_1 ; frais; brun clair (7,5 YR 5/7) ; texture graveleuse (idem), gangue argilo-sableuse (sf) ; très friable.

50 à 110cm : B_{21} ; frais; brun-rouge (5 YR 5/5), plages à taches brun-jaune clair et réseau brun-beige clair très friable ; texture graveleuse, gangue argileuse ; friable.

110 à 120cm : $(A_2)B_{22}$; frais ; brun-beige clair ; texture graveleuse (idem) (95%) ; très friable à bouillant.

120 à 200cm : $(B')B_{23}$; frais ; blanchâtre, taches brun, brun-rouge clair, petites, nettes contrastées, très nombreuses ; texture graveleuse, gangue argilo-limono-sableuse (nodules et concrétions ferrugineux) ; peu friable, aspect compacté; quelques plaquettes de schistes incomplètement altérées seulement à la base.

Classification : profil : $A_1/A_2, B_1, B_{21}, B_{22}, B_{23}/B_3$.

Ce profil est très ressemblant au profil 798 A. Les taches et le réseau beige clair est moins important et irrégulièrement réparti au sommet du B, il est par contre dominant à la base. Dans l'ensemble il est moins évidé. La masse brun-rouge est moins cimentée. Il n'y a pas de taches noires.

d) Suite en bas de pente

10cm en aval, des blocs de cuirasse ferrugineuse affleurent. Cela se poursuit jusqu'au thalweg à 400 mètres le là. Plusieurs essais de creusement ont buté sur une cuirasse très dure, comme dans la première version du profil n° 798 B.

La piste de Sadjagati, en traversant le bas-fond, prend appui sur la cuirasse. Quelques mètres en aval du passage, on voit le front d'entaille du marigot. Le décrochement fait 2-3 mètres (1 mètre pour la cuirasse, plus 1-2m pour les matériaux et les schistes sous cuirasse). Sur les

matériaux meubles ainsi mis à jour et entre les blocs de cuirasse démantelée, prend racine une végétation plus fournie que sur les bas de versant des collines environnantes, une sorte de forêt galerie (cf. fig. 2 partie 32). A cet endroit, l'écoulement se fait essentiellement sur la cuirasse (~~débit vitesse~~ estimé à 0,5m/s - observation lors de la tournée 74, en fin de saison des pluies)

III. DISCUSSION

1/ Morphogénèse et différenciation des sols

- Nous avons découpé le paysage en trois grandes parties
1. les points hauts qui se situent dans un plan légèrement ondulé.
 2. les collines surbaissées qui donnent un aspect de pénéplaine.
 3. les petits bassins versants sur les flancs des collines.*

Le soubassement géologique est le même partout. Les petites différences de texture du schiste ne sont pas significatives : un peu plus gréseux au profil n° 705, (1) et au profil n°796 (bas de 3), un peu plus argileux au profil n°647 (3) etc. Néanmoins les couvertures pédologiques présentent des différences essentielles qui se situent -

- entre 1 et 2 au niveau de l'épaisseur et de la nature de l'horizon d'altération.
- entre 2 et 3 au niveau de l'épaisseur des sols et de la quantité de lithorelictes qu'ils contiennent.

Celles-ci apparaissent seulement à la base des profils dans le premier cas (profils n° 798 A, 798 B, 646) alors qu'elles sont abondantes dès la surface dans le second (profils n°796, 797, 647). Corrélativement les éléments ferrugineux figurés sont plus abondants sur les pentes des collines où ils entrent dans des mouvements verticaux et latéraux du fer dans les sols.

D'après la morphologie il ne fait pas de doute que le creusement des petits bassins versants sur le flanc des collines surbaissées est du à un processus morphogénétique (érosion ravinante régressive). Des faits plus démonstratifs que ceux présentés ici permettent de penser qu'il en a été de même pour passer de la "surface" des points hauts aux collines surbaissées. C'est donc à des actions morphogénétiques sur une couverture pédologique, apparentée à celle que l'on voit maintenant par le profil n°705, que l'on doit les différences notées ci-dessus.

Ces actions sont-elles successives et discontinues ou s'agit-il d'une même action plus active à un endroit qu'à un autre pour aboutir à une différenciation en deux formes du paysage?

* Il ne s'agit que de ceux à sols peu épais, ceux à sols indurés apparentés aux précédents, ne sont pas pris en considération dans cette discussion.

- l'affleurement de blocs de cuirasse ferrugineuse, parfois soudés en une petite marche de quelques décimètres d'épaisseur, en continuité avec les accumulations ferrugineuses dans les sols des versants de collines.
- le décrochement de 1 à quelques mètres entre le rebord de la cuirasse ferrugineuse de bas de pente des versants et le talweg des axes de drainage, alors qu'au niveau des petits bassins versants le passage se fait généralement sans discontinuité topographique.
- le fait que les/versants, choisis ici petits pour faciliter l'exposé des faits et leurs interprétations, peuvent s'étendre sur les flancs des collines, se rejoindre, venir télescoper les restes consolidés de la surface des points hauts (cf. carte n°2 profil n°716 au Sud du n°705) et arriver à être la partie du paysage la plus représentée et cela du côté des grands axes de drainage de la région (vallée de l'Oti, Kara, basse vallée de la Katcha).

inclinent à retenir des actions successives et discontinues. Cela implique qu'une partie des éléments ferrugineux figurés des sols des versants de collines préexistant avant l'entaille ait été déblayée ou ait "fondu", ce qui n'est pas toujours évident.

Le paysage semble stabilisé actuellement. L'érosion ravinante est exceptionnelle. On observe surtout une érosion en nappe à la surface des sols et une "érosion" dans les sols à la faveur d'un processus pédogénétique original.

2/ Problèmes de pédogénèse

Si on considère les séquences de sols sur les versants des collines surbaissées (séquence n°1 : profils n°794, 798 A, 798 B ; séquence n°2 : profils n°645, 646) on voit un appauvrissement général en terre fine des horizons de surface et une individualisation extrêmement importante d'oxydes de fer sous forme de concrétions et nodules libres puis soudés en cuirasse de bas de pente.

A côté de ces phénomènes banaux en zone soudanienne on voit de plus se développer du sommet vers le bas des versants un ensemble de caractères morphologiques plus originaux :

- a) une ségrégation de couleur dans une matrice de terre fine argileuse à argilo-sableuse rouge-brun (2,5 à 5 YR 4-5/6-8)
1. taches rouge-brun plus claires que la matrice
 2. taches brun-clair
 3. taches blanc-rosé à beige-clair, puis réseau (profil 798 A)
 4. matrice réduite à l'état de taches plus ou moins indurées (profil n° 798 B , 646)
- b) un départ de terre fine au sommet, puis et surtout, à la base des profils
1. éléments de terre fine ("structuraux") des horizons B décollés des graviers, fendillés, échancrés, perforés.
 2. nombreux vides dans les taches, puis le réseau beige-clair.
 3. différenciation à la base des horizons B de poches, puis d'un horizon continu, de graviers bouillants (plus de 80/90% de refus à 2mm). Le peu de terre fine qui reste se retrouve en "coiffe" sur la face supérieure des graviers alors que la face inférieure est propre. On l'appelera horizon "lavé".
- c) différenciation sous l'horizon précédent d'un horizon blanchâtre avec souvent de nombreuses petites taches brun-clair, peu nettes, également très graveleux mais souvent avec beaucoup de schistes incomplètement altérés (lithorelictés), dense, d'aspect compact. On l'appelera horizon "compacté" (Cf. planche photo. 2).

Si on considère les sols des petits bassins versants (profils n°796, 797 séquence n°1, n°647 séquence n°2) il n'y a pas de ségrégation de couleur suivant un profil latéral, les sols sont dans l'ensemble brun-beige à blanchâtre. Il y a relativement peu d'individualisation d'oxydes de fer,

mais il s'y différencie, dès les hauts de pente, des horizons "lavés" et les horizons "compactés". La différenciation de ces horizons, liée aux ségrégations de couleur le cas échéant, relève d'un mécanisme équivalent à celui démontré par R. BOULET en Haute-Volta (1, 2)

"(Dans des sols ferrugineux tropicaux ou ferrallitiques très évolués - type A, B, C - avec des) redistributions et des concentrations localisées d'hydroxydes métalliques initialement liés à l'argile, phénomènes qui aboutissent au carapacement... se surimpose la différenciation d'un horizon fortement lessivé, très pauvre en plasma qui apparaît à la base du profil, généralement dès le tiers supérieur du versant. D'abord mince et en forme de dièdre ouvert vers l'aval, cet horizon monte dans le profil lorsqu'on descend la pente et finit par remplacer tous les horizons, carapacés ou non... Simultanément se développe, à la base de cet horizon lessivé un horizon, d'accumulation argileux inférieur, compact, hydromorphe. Vers l'aval naissent, dans l'horizon lessivé (préalablement), de nouveaux horizons illuviiaux en forme de langues empilées..."

Ce lessivage profond correspond à une "exportation quasi totale du plasma argilo-ferrugineux". Le squelette ainsi libéré de sa gangue plasmique se réorganise et acquiert des microstructures de dépôt... dans l'horizon B inférieur s'accumulent des particules dont le diamètre va de celui des argiles compris à celui des sables fins inclus, tandis que les horizons en langue sont le siège d'une illuviation particulaire exclusivement argileuse... l'horizon d'accumulation inférieur résulte d'une véritable décantation de particules de taille hétérogène (accumulation verticale) tandis que les horizons en langues sont nourris par des migrations de particules en suspension (accumulation latérale)... Dans les horizons ferrallitiques ou ferrugineux de l'amont la fraction argileuse est constituée de kaolinite pure ou associée à un peu d'illite... Dans les horizons d'accumulation apparaît massivement la montmorillonite qui résulte (pour la plus grande part) de néoformations à partir de produits illuviés... "les mécanismes de lessivage-illuviation..."

progressent de l'aval vers l'amont"... (ils sont) déterminés, dans les cas étudiés, par des causes géomorphologiques - présence d'un impluvium d'appoint constitué par un inselberg, (toposéquence de GARANGO), ou pétrographique (toposéquence de DIEBIGA), particularités qui entraînent toutes deux une percolation accrue ou accélérée au départ". L'horizon de lessivage profond est appelé A_2' , ceux d'accumulations B_2' .

Dans les sols décrits ci-dessus sur les versants des collines surbaissées, on voit le même mécanisme et en partie les mêmes résultats car la "structure" de la couverture pédologique est équivalente :

- En Haute-Volta, sur la toposéquence de DIEBIGA, il s'agit d'un granite leucocrate à gros grain. Il a donné un horizon B de 60 à 80cm rouge homogène, au sein duquel (il y a) de nombreux feldspaths blancs, jaunes... puis un horizon BC d'une cinquantaine de centimètres, puis une arène à structure parfaitement conservée... (De plus) l'ensemble du profil jusqu'à l'horizon BC inclus est parcouru de canaux grossiers (ϕ 2 à 5cm), vides, sinueux sans orientation préférentielle, qui résultent de l'activité biologique"

- Au Togo, le schiste a donné (profils 794, 798 A, 798 B et 645, 646) une couverture pédologique argilo-ferrugineuse (kaolinitique et illitique) extrêmement graveleuse (concrétions et nodules ferrugineux et quelques lithorelictés à la base. Le plasma peut s'en aller il restera une "charpente qui préservera du tassement la porosité créée par le lessivage lui-même". Et plus le lessivage augmentera, plus la porosité s'élèvera et plus la capacité d'entraînement des eaux percolantes sera grande. A la limite on voit également à la base des profils un horizon graveleux "lavé", avec quelques pourcents de terre fine en dépôt sur la face supérieure des graviers, la face inférieure étant bien propre.

Pour R. BOULET, suivant en cela G. BOCCQUIER, ce nouveau squelette sert de piège aux particules transportées soit à la base de l'horizon "lavé" lui-même pour former l'horizon inférieur d'accumulation, soit dans cet horizon "lavé", en aval sur le versant, pour former l'horizon d'accumulation en

langues. Dans les deux cas il s'y produit des néoformations d'argiles. Illuviation et néoformation "remontent" dans le profil et en quelque sorte sur le versant.

Au Togo où nos études ont été moins poussées et faites avec une approche différente (cartographique), mais où nous avons cependant un nombre relativement important d'observations, nous n'avons pas cette deuxième phase du mécanisme :

- les horizons blanchâtres sous-jacents aux horizons lavés ont certes un aspect compact. Il est probable qu'il y ait une certaine décantation d'éléments fins - raisons pour lesquelles nous les avons également dénommés (B'). Mais un premier examen des tranches minces avec M. LAMCOUROUX a montré un entassement de particules claires, essentiellement constituée de limons et de sables fins quartzeux. Il n'y a pas d'argilanes.
- d'autre part ici la transition avec les horizons sous-jacents B₃/BC/ou C, est toujours progressive, alors que dans la toposéquence de DIEBIGA l'horizon illuvial (B') "repose sur l'arène, la transition étant absolument linéaire"
- enfin ces horizons blanchâtres sont différents des maigres horizons d'altération que donnent^{par} endroit les schistes sur les versants des collines (cf. profil n°798 B) ; alors qu'en Haute-Volta les horizons d'accumulation inférieurs "miment la composition et l'organisation des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique qui se forment directement à partir des roches granitiques sur la majeure partie des interfluves"
- en ce qui concerne l'illuviation latérale, les observations:
 - a/ sous la cuirasse de bas-fond qui prolonge celle du bas de pente, par le truchement des déblais de puits (cf. séquence n°1 p.14)
 - b/ sous la cuirasse de bas de pente, au niveau de son entaille par le marigot (cf. séquence n°2 p.16), c'est à dire que le drainage latéral soit limité ou non, n'indiquent pas en bas de pente d'accumulation et donc de néoformation d'argiles identiques à celles que donnent par endroit sur la pente, l'altération directe des schistes.

En résumé dans une couverture pédologique équivalente par sa "structure" et son plasma il y a ici, sur les versants des collines surbaissées, à côté de processus pédologiques banaux^{ls} en zone tropicale soudano-guinéenne tel que l'appauvrissement des horizons de surface et l'individualisation/ redistribution/ cimentation des hydroxydes métalliques, un mécanisme de lessivage intense, intéressant tout le plasma, particulièrement développé à la base de cette couverture, équivalent à celui démontré par R. BOULET. Il donne un horizon éluviaux identique - l'horizon "lavé" ($A_2^!$) -, par contre les produits éluviés ne se retrouvent pas et par suite ne se réorganisent pas en un nouveau type d'argile, ni dans les horizons inférieurs des sols, ni dans les horizons inférieurs en bas de pente. Ils sont en majeure partie exportés du paysage.

Sur les pentes des petits bassins versants qui se dessinent dans le flanc des collines surbaissées, on observe le même mécanisme et les mêmes résultats. La "structure" de la couverture pédologique est semblable même si les composants sont différents (plus de lithorelictés que d'éléments ferrugineux). Par contre le plasma est différent : terre fine plus limoneuse, moins ferrugineuse*, fer à l'état réduit etc.

C'est donc la "structure" qui est primordiale au développement du phénomène.

Des observations sur des alluvions anciennes à galets remaniés corroborent cette conclusion,** (Cf. planche photo. 2).

* Il est en fait difficile de savoir ce qu'il y avait "au départ" le mécanisme étant ici très poussé il ne reste plus, s'il y en a jamais eu, d'horizon B (de première génération) peu lessivé.

** Profil n°966, près de la confluence des rivières Kara et Oti, sur un versant de la haute terrasse, longueur 1km, bas de pente, pente 4% 4%;

45 à 100cm : B_{21} , horizon sec, brun brun-rouge clair (5 YR 4/6) à rouge brun foncé (25 YR 3/6) plus cohérent; texture graveleuse (72% de refus, galets de quartz bien émoussés et bien triés ($L = 2$ à 5 cm, $e = 1$ à 3 cm) nodules ferrugineux, gangue argilo-sableuse pseudosables (35% argile, 11% de fer total); très poreux; fragile.

130 à 140/150cm : B_{23} ($A_2^!$); horizon sec; blanchâtre; texture graveleuse (84% de refus idem), gangue argilo-limono-sableuse (35% argile, 7% de fer total); extrêmement

Néanmoins il nous semble nécessaire d'insister sur les autres conditions de milieu pour que le système fonctionne et surtout qu'il fonctionne intensément à la base des profils.

1 - sur les points hauts du paysage on a la même "structure" (et le même plasma, la même porosité) que dans les sols des versants de collines (profil n° 705) et le système ne fonctionne pas ou un peu ^{seulement} au sommet de l'horizon B. L'explication doit être cherchée dans la différence des profils verticaux de perméabilité. Au profil n° 705 il n'y a pas de discontinuité entre les horizons B et les schistes à cause d'un relativement épais horizon d'altération. Sur les autres parties du paysage on passe aux schistes peu ou pas altérés généralement en moins d'un demi-mètre. Sur la haute terrasse elle-même, nous n'avons pas noté sur 5 mètres d'épaisseur d'alluvions d'horizon "lavé" du fait d'une perméabilité (très élevée) constante. ***

En Haute-Volta sur la toposéquence de DIEBIGA il est nécessaire de faire intervenir simultanément à l'éluviation, une accumulation et une néoformation de montmorillonite au dessus de "l'arène à structure parfaitement conservée" car cette arène issue d'un granite à gros grain est généralement considérée comme très perméable. Au Togo c'est le rabotage des altérites de type ferrallitique au cours de différentes actions morphogénétiques qui fait des schistes peu altérés un plancher imperméable à la base de la couverture pédologique remaniée.

poreux ; très fragile à bouillant.

150 à 160cm : C₁₁ (B') ; horizon sec ; blanchâtre ; texture argileuse (45% d'argile), graviers très nombreux (idem + lithorelictés) ; peu poreux ; fragile.
à 180cm : schistes peu altérés.

***Profil n° 850, en bordure de la rivière Oti ; haute terrasse par endroit cuirassée.

60 à 220cm : horizon sec ; brun-rouge ; texture graveleuse (galets de quartz, nodules ferrugineux), gangue argilo-sableuse ; fragile ; très poreux.

220 à 500cm : horizons semblables plus bruns avec des taches brun-jaune à la base ; très fragile ; très poreux.
schistes à 7 mètres ?

2 - des couvertures pédologiques à "structure" et plasma équivalents à ceux décrits en Haute-Volta ou ci-dessus, avec des horizons profonds à montmorillonite, imperméables sont très fréquents en Afrique de l'Ouest et en particulier dans la partie méridionale du Togo sur le socle cristallophyllien. Cependant, le mécanisme de lessivage intense "total et brutal" n'y semble pas important. A. LEVEQUE qui y a beaucoup travaillé ne l'a pas retenu pour y expliquer la pédogénèse. La morphologie étant assez semblable (pénéplaine) il faut, semble-t-il, chercher l'explication dans une différence de régime hydrique des sols. La quantité de pluie est équivalente à celle de la région de BASSAR, mais la répartition est plus étalée (8 mois à plus de 100mm* au lieu de 5), il s'en suit une couverture végétale beaucoup plus abondante qui freine la vitesse de pénétration de l'eau dans les sols.

En conclusion nous pensons que le mécanisme de lessivage intense, "total et brutal", est également très lié à un régime hydrique des sols, spécifiques: impact brutal sur le sol de quantité d'eau relativement importante**, pénétration dans la couverture pédologique aisée***, un drainage en profondeur

* ce seuil est pris arbitrairement, une étude plus précise de l'intensité des pluies serait nécessaire.

** si ce facteur augmente il peut suppléer un autre facteur peu marqué.

ex₁: sous-sol plus perméable mais en bas de pente (profil n° 796 sur grès schisteux)

ex₂: sous-sol plus perméable mais séquence sous impluvium (toposéquence de GARANGO en Haute-Volta, sous inselberg)

*** Ce qui n'implique pas obligatoirement, à notre avis, un "profil jusqu'à l'horizon BC parcouru de canaux grossiers, vides sinueux, sans orientation préférentielle qui résultent de l'activité biologique" comme le dit R. BOULET. En effet les horizons B de première génération, peu lessivés présentent souvent au Togo, des éléments de terre fine ("structuraux") qui "collent" aux concrétions et nodules ferrugineux. Comparativement aux parties supérieure ou inférieure de B, lessivées, les éléments ne sont pas échanrés, fendillés, perforés, fragiles. La morphologie montre cependant une porosité tubulaire très fine élevée. Inversement dans les sols de la haute terrasse où la porosité est équivalente à celle décrite par R. BOULET et probablement pour la même raison, le mécanisme n'apparaît pas sur les 5 mètres observés.

limité, un drainage latéral possible* .

Ce régime hydrique entraîne plus ou moins d'hydromorphie. Dans le plasma argilo-ferrugineux il y a réduction des oxydes de fer, à l'état ferreux, d'abord en taches puis selon un réseau beige-blanchâtre. Cette réduction correspond sans doute à un affaiblissement des liaisons fer-argile et facilite l'entraînement des fines (processus bien connu(7)). A ce niveau l'éluviatation totale apparaît liée aux parties claires.

C'est à un engorgement plus prolongé que l'on doit la compaction des horizons profonds, blanchâtres avec de petites taches brun-clair, peu nettes et peu contrastées (P.AUDRY)

Cette hydromorphologie reste cependant très temporaire, voire fugace, dans la couverture pédologique elle-même. Elle ne semble pas affecter le développement des racines.

Autres implications du phénomène de lessivage intense

1/ Le front d'altération des schistes sur les versants ~~des~~ des collines est engorgé d'eau peu de temps (1 mois?) et sec pendant plusieurs mois dans l'année (5 à 6 mois). Il s'ensuit que les réactions d'altération fonctionnent en discontinu et sont limitées (cf. également A.LEVEQUE 1965). De plus les produits formés peuvent être déblayés. Les épais horizons d'altération de type ferrallitique comme ceux du profil n° 705 sont donc nés avec un régime hydrique différent, donc un régime climatique différent de l'actuel. Ce qui n'implique pas forcément une quantité de pluies très différente (cf. ci-dessus). D'ailleurs ces variations climatiques ont du être assez faibles car l'évolution du profil n° 705 ne semble pas en avoir été profondément affectée. C'est en fait à la naissance d'une nouvelle forme du paysage - naissance qui peut être liée à de faibles variations climatiques si la forme ancienne est en équilibre instable ou à d'autres causes - que l'on doit un régime hydrique différent dans les couvertures pédologiques, et par suite des altérations différentes.

* nous n'avons pas d'exemple en drainage latéral limité pour contrôler cette conclusion. Peut-être qu'on en trouverait au Ghana où le paysage serait plus aplati.

Ceci est d'autant plus marqué

- que la roche-mère "saine" est imperméable (et peut-être * très pauvre en minéraux primaires altérables)
- que la couverture pédologique ancienne est plus détruite (sols des petits bassins versants par rapport aux sols des versants de collines).

2/ Par sa nature , la quantité de matériau qu'il déplace etc., le mécanisme de lessivage "total et brutal" se différencie de la conception classique du lessivage du fer et de l'argile : phénomène physico-chimique lent ne concernant que des migrations sur de courtes distances "sous forme colloïdale, plutôt finement cristalline, des minéraux argileux et/ou des hydroxydes de fer" (A.LEVEQUE 1965). Ce phénomène qui a donné naissance à la plupart des concrétions et nodules ferrugineux apparaît à présent déphasé par rapport au lessivage "total et brutal". On peut même dire qu'ils s'opposent, le dernier "détruisant" ce qu'a produit le premier**. Il apparaît donc plus sous la forme d'un appauvrissement en terre fine d'une couverture pédologique ancienne. Mais cet appauvrissement s'il concerne des horizons de surface, se développe surtout à partir de la base, puis intéresse toute la couverture. Il se différencie par là de ce qu'on entend généralement par appauvrissement. En conclusion il y aurait peut-être lieu de le considérer comme un phénomène spécifique lié toute fois à la "structure" et au régime hydrique du matériau dans lequel il évolue.

* sur une formation voisine : les micaschistes de la série de Kandé Boukombé - voltaïen inférieur plissé et métamorphique - relativement beaucoup plus riche en minéraux altérables, on observe également le même mécanisme de lessivage intense.

** nous n'irons pas cependant jusqu'à la destruction des accumulations ferrugineuses cuirassées comme le pense J.C. LEPRUN (cité par R. BOULET 1975)

3/ Problèmes de classification en cartographie pédologique

Avec la classification française des sols actuellement en vigueur tous les sols des collines surbaissées décrits ci-dessus (profils n° 794, 798 A, 798 B, 645, 646) se retrouvent classés en sols à sesquioxides de fer, ferrugineux tropicaux, lessivés, à concrétions ou indurés sur schistes.

L'hydromorphie très temporaire, marquée surtout à la base des profils de bas de pente, et apparemment peu gênante pour le développement des racines, n'est à retenir qu'à un niveau très bas de la classification (série).

Dans les études voisines soit plus au Sud (A.LEVEQUE 1965), soit plus au Nord au Togo (F.A.O. 1964) et au Dahomey (VIENNOT 1969) dans des conditions morpho-climatiques équivalentes, * on retrouve les mêmes sols sur schistes, pareillement dénommés.

La classification des sols des petits bassins versants pose quelques problèmes. Généralement la présence d'une quantité encore importante de nodules ferrugineux en font aussi des sols ferrugineux tropicaux, lessivés, même si dans la terre fine l'individualisation et à fortiori le mouvement du fer, est difficile à mettre en évidence.

Mais au Dahomey où ils sont très étendus, M.VIENNOT précise que ce sont des sols jeunes (caractère de série). Dans la plaine du Mo-Fazao où ils sont beaucoup moins fréquents, A.LEVEQUE les considère comme des " faciès de rajeunissement " par érosion, des sols ferrugineux gravillonnaires. Dans l'étude de la Région des Savanes le problème ne se pose pas de la même façon car la classification est fondée sur la "série F.A.O.", néanmoins la faible épaisseur de ces sols est liée à l'érosion et "ils pourraient être classés en sols peu évolués".

* En Haute-Volta (LEPRUN; BOULET 1969), les schistes sont recouverts par des alluvions de la Pendjari/Oti et les sols sont fortement hydromorphes.

Dans toutes ces études on retrouve plus ou moins soulignés les relations entre les sols et la morphologie et les manifestations du lessivage intense décrits ci-dessus.

1. relations entre les sols et les formes du paysage:

- sols ferrugineux épais sur les "pentes des collines formant une zone à peine vallonnée" ; sols ferrugineux jeunes entre un "rebord de plateau concrétionné et la plaine alluviale de la Pendjari" pour M.VIENNOT.
- sols ferrugineux très concrétionnés sur les "pentes des larges ondulations" de la pénéplaine ; sols ferrugineux rajeunis en "bas de pente à une altitude peu supérieure au niveau de base (local)" pour A.LEVEQUE.
- sols ferrugineux épais sur les "plateaux (concrétionnés et) cuirassés" ; sols peu profonds sur les "pentes modérées à fortes (?) entre les plateaux et les zones alluviales" pour la F.A.O.

2. manifestations du lessivage intense:

- "horizon concrétionné, creux, à débit croulant et apparition fréquenté d'un horizon blanchi compact à microporosité faible" surtout présent dans les sols jeunes du Nord-Ouest Dahomey (profil n°JDS 12).
- horizon "très fortement concrétionné, débit croulant, très faible quantité de terre fine blanchâtre", surtout présent dans les sols rajeunis de la région de Mo-Fazao (profil n°1751) ; l'horizon "compacté" apparaît moins nettement : "blanchâtre à gris-verdâtre ...avec un taux d'argile d'altération conservant de nombreux caractères de la roche-mère".
- "bas de profils avec des vides entre les concrétions" dans les sols ferrugineux (série de GBINDA) du Nord-Togo.

Le tableau ci-dessous résume les points de comparaison.

sols ferrugineux tropicaux lessivés à concretion / indurés fins ou moyens, hydromorphes "sols gravillonnaires"	épaisseur mm	horizons profonds (entre B et R.N.)	TOGO			DAHOMÉY	HAUTE VOLTA
			plateau N.O. PAZAO	région GAKINRA	Région des Savanes	Pendjari r. gauche r. droite	
			La Vèque	La Goy	FAO	Vicmot	Leprun
sols "morboux"	> 2,5/3	formation peu perméable à la R.N., altération épaisse "façon ferrallitique"		x			
	1 à 2,5	horizon très lessivé brutal	(x)	x	x		
		horizon argilo limoneux blanchâtre compact		x	(x)		(x)
		horizon argileux gris vert massif	x	(x)		x	
sols peu épais	< 1	horizon très lessivé brutal	x	x	(x)	x	(x)
		horizon blanchâtre compact	(x)	x	x	x	
en rapport avec les sols peu évolués d'érosion			(x)	x	x	x	

Ces différenciations sont dues à un "lessivage oblique au niveau des schistes imperméables", à "un certain déblayage par ruissellement interne au niveau de la base de l'horizon concrétionné", à l'action des "eaux circulant au-dessus de la couche de schistes altérés imperméable".

Ce lessivage oblique correspond au lessivage intense, "total et brutal". Mais c'est un phénomène secondaire et les auteurs ne se sont pas attardés à en démontrer les mécanismes profonds ; de plus il est surtout marqué dans les sols peu épais (jeunes) ; alors que nous pensons à la suite de R. BOULET que c'est

un phénomène très général, qu'il est plus important et plus actif à présent que les phénomènes de ferruginisation et de lessivage s.s. en hydroxyde de fer et argile.

Il conviendrait donc de le prendre en considération à un niveau élevé de la classification. On pourrait avoir ainsi à côté des sols lessivés sensu stricto des sols à lessivage intense ou "total" plus ou moins marqué.

Au cours de nos prospections, nous avons fait trois subdivisions, fondées sur le rapport des couleurs rouge-brun et beige clair.

sols peu lessivés (intensément) : couverture pédologique argilo-ferrugineuse peu "attaquée", couleur rouge-brun dominante (profils n° 705, 794, 798 A, 645)

sols lessivés (intensément) : différenciation nette d'horizons "lavés" et d'horizons "compactés" à la base ; équilibre des couleurs rouge-brun et beige-clair (profils n° 798B, 646)

sols très lessivés (intensément) : idem. - horizons lavés un peu plus importants ; couleur beige clair dominante voire exclusive (profils n° 796, 797, 647)

Le lessivage est d'autant plus intense que la couverture pédologique est plus remaniée par des actions morphogénétiques. Les caractères - passage progressif à la roche-mère ou non, épaisseur et présence de lithorelictés ou non - sont donc plus intéressants à noter que la simple nature de la roche-mère au niveau de la famille.

En résumé, la prise en considération de ces nouveaux critères pédogénétiques et des critères morphogénétiques nous est apparue plus discriminante pour classer les sols au cours de la cartographie à moyenne échelle que nous avons faite. Il est de plus, très probable que ces critères sont du plus grand intérêt pour l'agronomie.

CONCLUSION :

Le processus de lessivage intense "brutal et total" démontré par R. BOULET en Haute-Volta, s'applique aux couvertures pédologiques gravillonnaires issues de schistes sédimentaires primaires. Il intéresse des milliers de km² de terres du Nord-Togo, du Nord-Est Dahomey et très probablement du Nord-Ghana. Toutefois ici, l'illuviation ne se fait pas (ou peu) au niveau des profils ou des versants des collines. La majeure partie du plasma éluvié est exportée hors du paysage. Comme par ailleurs les produits d'altération se forment lentement et/ou sont également exportés, le processus a dans les conditions géologiques, morphologiques et climatiques considérées, un caractère "destructeur". Ainsi, s'il apparaît en continuité avec les processus de lessivage s.s. et d'individualisation des hydroxydes de fer, il entraîne au contraire une discontinuité avec toute pédogénèse ultérieure.

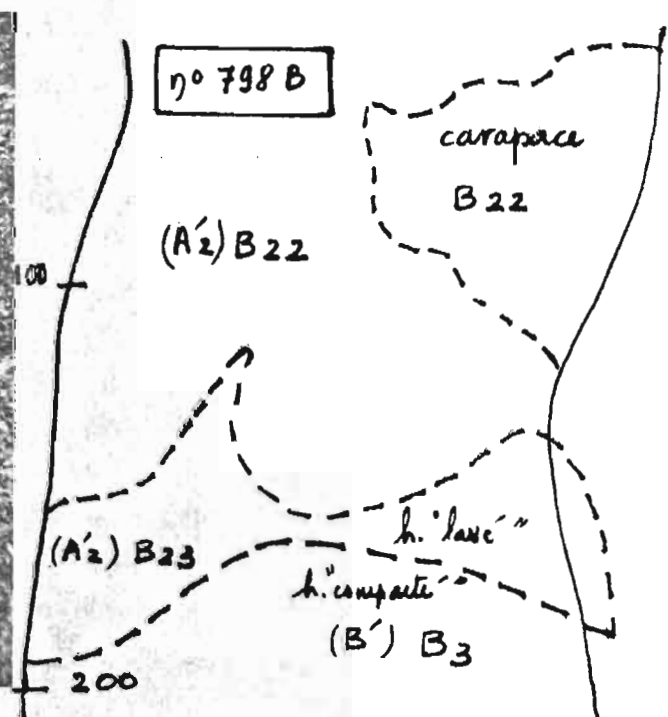
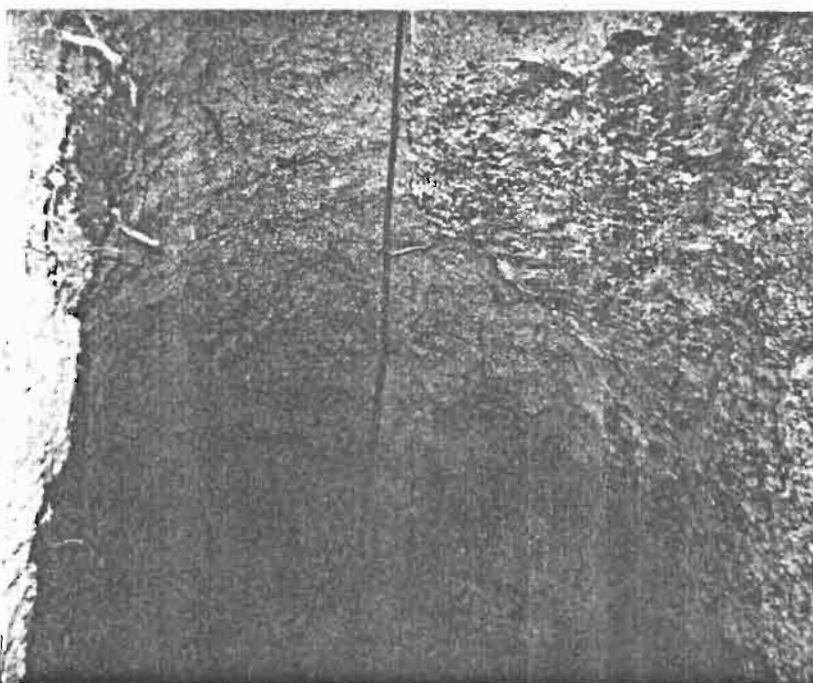
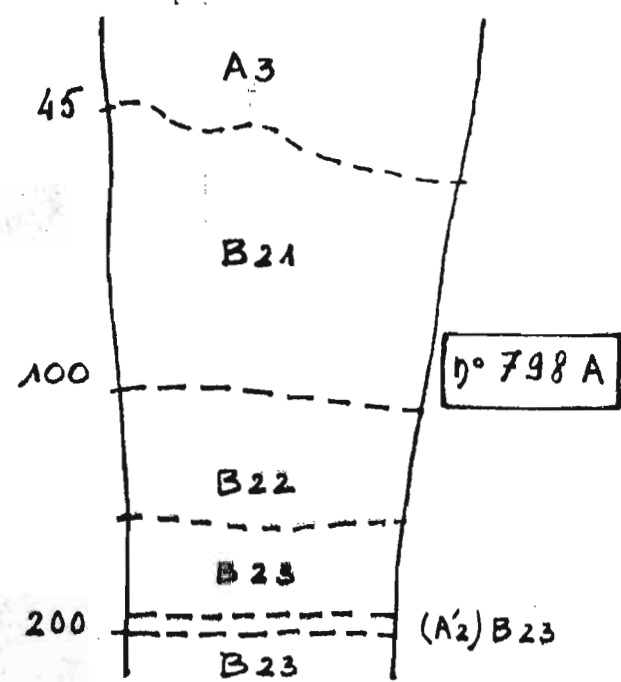
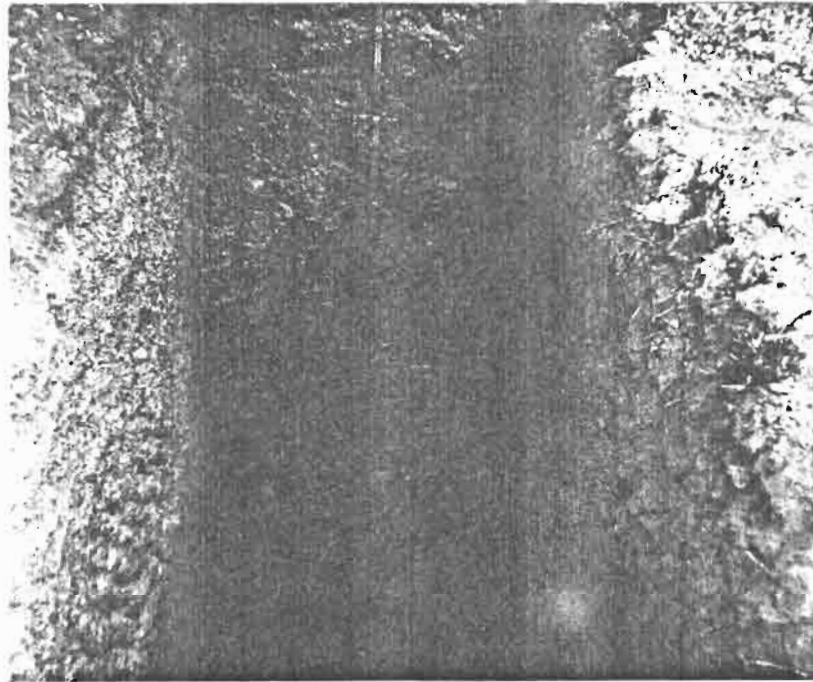
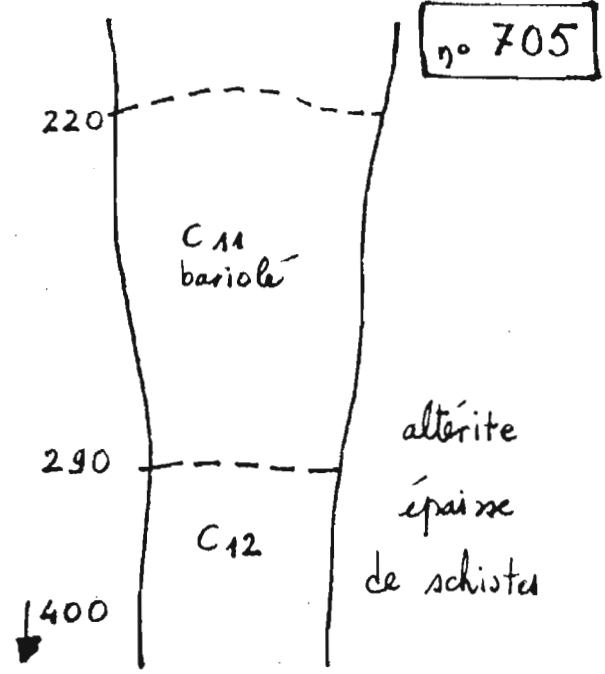
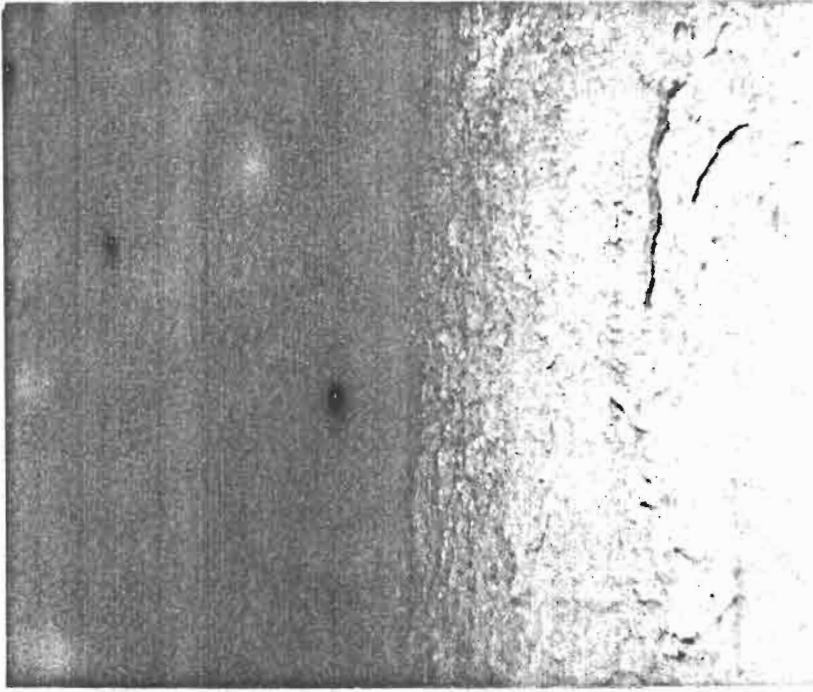
Ce processus se développe à la faveur d'une modification du régime hydrique des sols, conséquence, plus de différentes actions morphogénétiques faisant apparaître un palier imperméable à leur base, que de variations climatiques importantes.

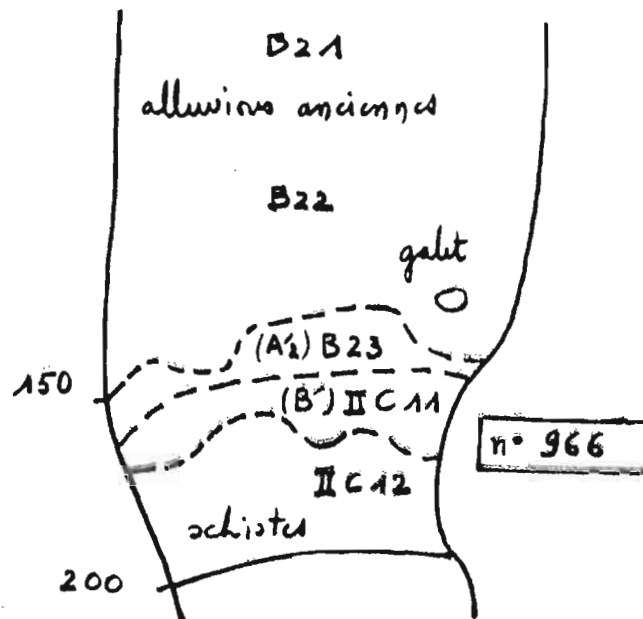
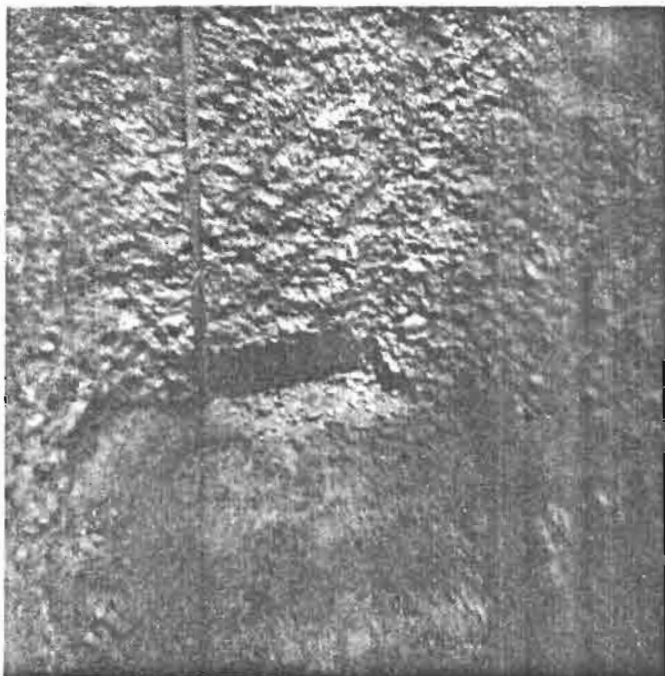
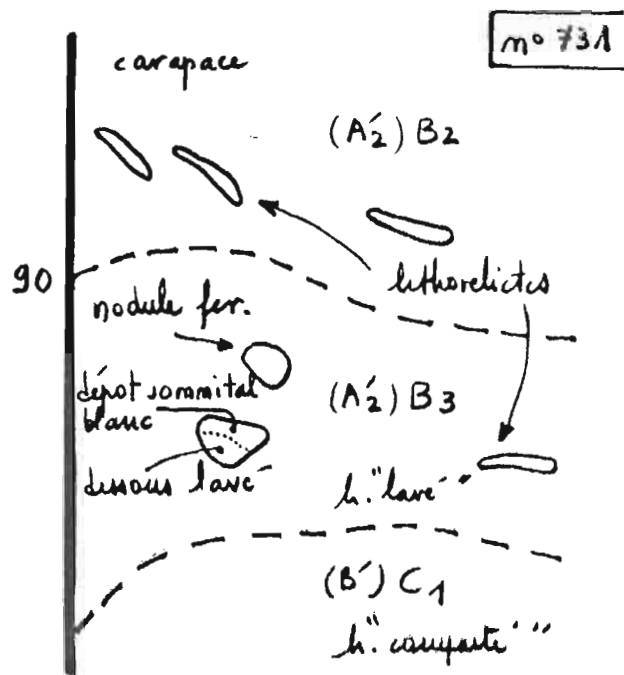
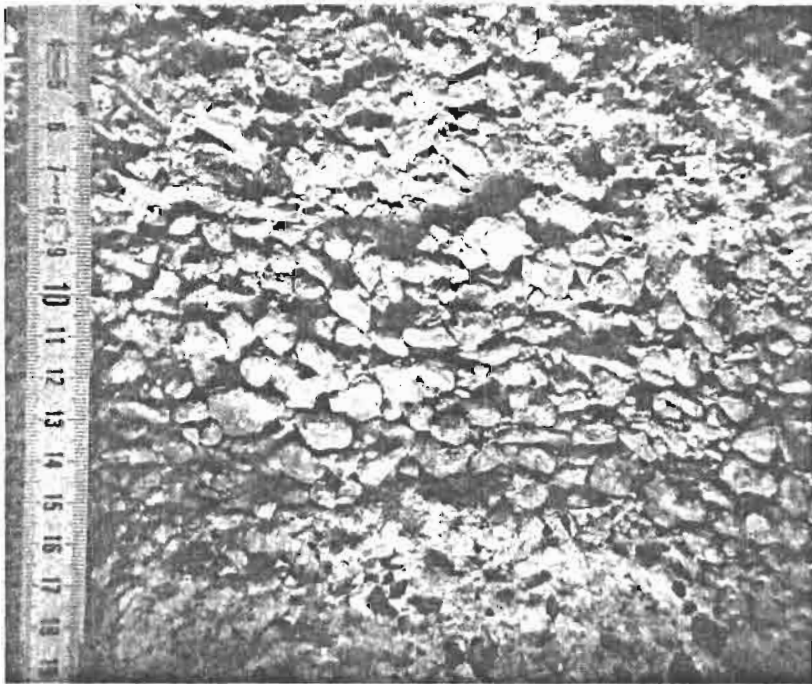
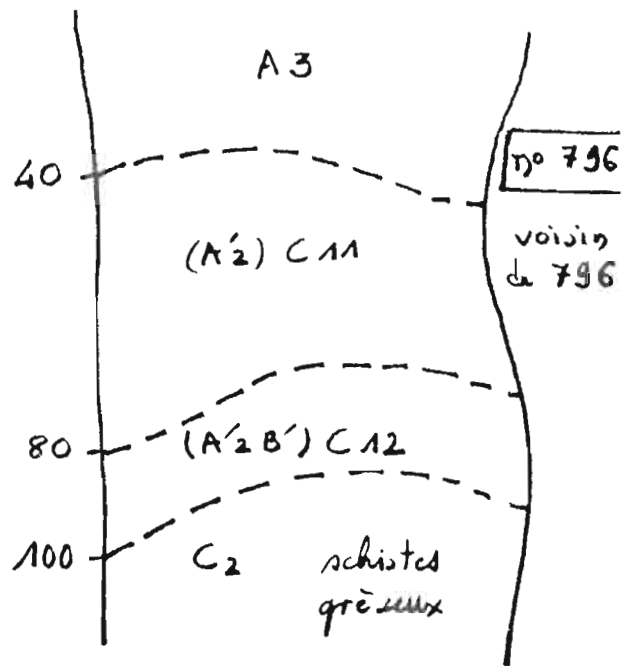
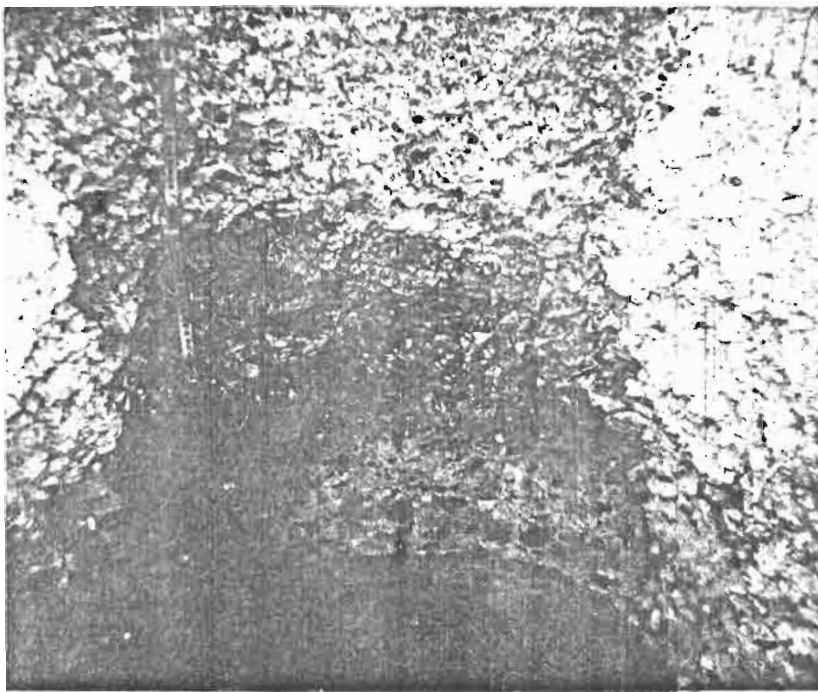
Montpellier, Juin 1976.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BOULET (R.). 1972
 Modalités d'action du lessivage dans les sols tropicaux développés sur granite (Haute-Volta). Etude micromorphologique. In : cah. O.R.S.T.O.M. série Pédo., vol.X, n°4, pp.321-341.
- (2) BOULET (R.). 1975
 Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibres dynamiques et bioclimats - Résumé thèse Doc. Sc. Nat. Fac. Strasbourg 1974. In : cah.O.R.S.T.O.M. série Pédo., vol.XIII, n°1, 1975, pp. 3-6.
- (3) LEVEQUE (A.). 1965
 Etude pédologique au 1/200.000 de la plaine de Mo-Farao (Togo).- O.R.S.T.O.M., Lomé, 1965.- 47p., multigr., 1 carte h.t.
- (4) VIELLEFON (P.), COFFI (O.), SANT'ANNA (R.).1965
 Etudes pédohydrologiques de la région des savanes - carte des sols au 1/50.000.- F.A.O.- O.R.S.T.O.M., Rome, multigr.
- (5) VIENNOT (M.). 1969
 Carte pédologique de reconnaissance du Dahomey au 1/200.000 - feuille de Tanguieta.- O.R.S.T.O.M., Cotonou, 1969.- 72p., multigr., 1carte h.t;
- (6) BOULET (R.), LE PRUN (J.C.). 1969
 Etude pédologique de la Haute-Volta au 1/500.000 - région Est.- O.R.S.T.O.M., Dakar, 1969.- 331p., multigr., 1 carte h.t.
- (7) O.R.S.T.O.M. 1967
 C.R. de la réunion des pédologues O.R.S.T.O.M. consacrée aux sols ferrugineux tropicaux.- Bondy, 6.7 Octobre 1967, 15Op., multigr.
- MARTIN (D.). 1968
 Les sols hydromorphes à pseudogley lithomorphes du Nord-Cameroun.- O.R.S.T.O.M., Yaoundé, 1968.- 85p., multigr.

PLANCHE 1





ECHANTILLON 794		n°	7941	7942	7942	7943	7945	7946	7947
PROFONDEUR voisin de 794		cm	0,20	—	20,50	50,80	80,040	140,190	190,205
GRANULOMETRIE			A	A3	B21	B22	B23	C11	
refus 2 mm	%	6,6	7,4	7,5	6,3	6,6	—	—	—
humidité	%	3,65	1,62	3,83	4,65	3,05	3,46	—	—
argile (A)	%	6,50	11,25	27,75	25,25	28,00	41,50	—	—
limon fin (LF)	%	7,25	14,50	12,00	14,75	19,25	20,75	—	—
limon grossier (LG)	%	11,65	18,45	11,35	13,10	17,50	17,25	—	—
sable fin (SF)	%	38,50	27,80	16,85	16,65	17,50	16,00	—	—
sable grossier (SG)	%	32,70	26,10	30,20	29,60	5,00	1,85	—	—
SG / SF									
LF / A									
texture simplifiée									
MATIERE ORGANIQUE									
Mat. org. totale	%	2,5	0,9	0,7	—	—	—	—	—
Carbone total	%	14,85	5,28	4,22	—	—	—	—	—
Azote total	%	1,11	0,53	0,53	—	—	—	—	—
C/N		13,4	10,0	8,0	—	—	—	—	—
Mat. humiques totales	%	2,72	1,22	0,73	—	—	—	—	—
Acides humiques	%	1,94	0,49	0,13	—	—	—	—	—
Acides fulviques	%	0,78	0,73	0,60	—	—	—	—	—
Mat. hum./ Mat. org.		10,6	13,4	10,0	—	—	—	—	—
Ac. hum./ Ac. fulv.					—	—	—	—	—
CARACTERES PHYSIQUES et HYDRODYNAMIQUES									
Instabilité structurale									
perméabilité	cm/h	3,94	1,26	1,56	3,19	0,71	0,21	—	—
poids spécifique réel									
poids spécifique appar.									
porosité	%								
capacité pour l'air									
indice de drainage									
PF 2,5									
PF 2,8		19,53	30,87	24,97	26,57	37,56	40,99	—	—
PF 3,0									
PF 4,2		6,16	5,41	12,49	14,37	15,56	18,70	—	—
PF 3,0 - PF 4,2		13,40	25,50	15,50	12,20	22,00	22,30	—	—

ANNEXE : RESULTATS ANALYTIQUES

ECHANTILLON

n°

7941 | 7942 | 7943 | 7945 | 7946 | 7947

CARBONATES (CO ₃ Ca)	%						
SALINITE							
Na / T							
conductivité 1/10							
conductivité pâte saturée							

BASES ECHANGEABLES. méq / 100 g		terre fine	2	3	5	6	7
Calcium Ca	%	2,67	0,48	2,29	2,59	1,24	2,11
Magnésium Mg	%	0,73	0,48	0,13	1,69	1,28	4,32
Potassium K	%	0,10	0,04	0,12	0,09	0,04	0,14
Sodium Na	%	0,02	tr.	0,01	0,03	0,04	0,13
Somme S	%	3,52	1,20	3,25	4,40	2,60	6,72
Capacité d'échange T	%	6,20	4,88	8,46	8,50	5,85	14,95
Saturation S/T	%	56	24	38	50	44	39
T / Argile		95,3	43,3	30,4	34,8	14,5	40,8

pH eau		5,1	5,8	5,5	5,9	5,6	5,5
pH Kcl		4,9	4,4	4,4	4,6	4,2	3,9

ACIDE PHOSPHORIQUE							
Total	%						
Assimilable (TRUOG)	%						
Olsen							
N / P ₂ O ₅							

FER libre	%		2,05	4,50	8,59	4,48	3,66
total	%		2,93	7,25	12,82	6,10	5,70
fer libre / fer total	%		70	62	67	73	64
fer / argile			26	26	51	17	14

ELEMENTS TOTAUX (analyse triacide)							
Residu quartzeux	%				46,66		51,60
Si O ₂ combinée	%				13,77		21,38
Al ₂ O ₃	%				13,34		14,70
Fe ₂ O ₃	%				13,76		5,44
Ti O ₂	%				1,11		0,96
Ca	%				1,53		1,58
Mg	%				tr.		tr.
Na ₂ O	%				0,07		0,15
K ₂ O	%				0,28		0,25
P ₂ O ₅	%				-		-
Mn O	%				0,14		0,09
Perte au feu	%				5,16		5,41

Si O ₂ / Al ₂ O ₃ (mol.)					2,96		2,44
Si O ₂ / R ₂ O ₃ (mol.)							

ECHELLES de FERTILITE							
N et pH							
N et P ₂ O ₅							

ECHANTILLON	798 A	n°	7981	7982	7983	7985	7988
PROFONDEUR		cm	0,17	17,45	45,100	200,200	240,240
GRANULOMETRIE			A1	A2	B21	B24	C1
refus 2 mm	%		5,2	7,0	7,5	7,0	0
humidité	%		1,02	1,77	4,21	1,61	4,83
argile (A)	%		6,00	21,75	(16,50)	20,75	47,20
limon fin (LF)	%		15,00	22,25	10,75	17,75	25,25
limon grossier (LG)	%		15,20	15,10	7,10	15,10	13,15
sable fin (SF)	%		17,75	15,75	12,65	17,10	9,10
sable grossier (SG)	%		22,60	22,90	(50,25)	6,85	1,50
					pseudosable ?		
SG / SF							
LF / A							
texture simplifiée							
MATIERE ORGANIQUE							
Mat. org. totale	%		2,6	1,3			
Carbone total	%		14,97	7,15			
Azote total	%		1,20	0,65			
C/N			12,47	11,00			
Mat. humiques totales	%		2,30	1,55			
Acides humiques	%		1,64	0,34			
Acides fulviques	%		1,76	1,21			
Mat. hum. / Mat. org.			8,8	12,5			
Ac. hum. / Ac. fulv.							
CARACTERES PHYSIQUES et HYDRODYNAMIQUES							
Instabilité structurale							
perméabilité	cm/h						
poids spécifique réel							
poids spécifique appar.							
porosité	%						
capacité pour l'air							
indice de drainage							
PF 2,5							
PF 2,8							
PF 3,0							
PF 4,2							
PF 3,0 - PF 4,2							

ECHANTILLON	798 A	n°	7981	7982	7983	7985	7988
CARBONATES (CO ₃ Ca):	%						
SALINITE							
Na / T							
conductivité 1/10							
conductivité pâte saturée							
BASES ECHANGEABLES méq / 100 g terre fine							
Calcium Ca	%	3,02	1,02	1,72	1,40	4,02	
Magnésium Mg	%	0,67	0,14	0,81	1,01	6,10	
Potassium K	%	0,04	0,06	0,12	0,03	0,21	
Sodium Na	%	0,02	0,01	0,02	0,02	0,17	
Somme S	%	3,75	1,23	2,67	2,46	10,50	
Capacité d'échange T	%	5,71	5,70	7,20	5,86	15,53	
Saturation S/T	%	6,6	21	38	63	67	
T / Argile		95	26	44	13	33	
pH eau		6,3	5,1	5,3	5,7	5,9	
pH Kcl		5,3	4,1	4,5	4,4	3,9	
ACIDE PHOSFORIQUE							
Total	%						
Assimilable (TRUOG)	%						
Olsen							
N / P ₂ O ₅							
F E R libre							
total	%			17,46	3,20	3,14	
fer libre / fer total	%		3,73	21,79	4,26	5,04	
fer / argile	%		7,1	8,0	7,5	6,2	
			17	13	14	11	
ELEMENTS TOTAUX (analyse triacide)							
Residu quartzeux	%			37,80	71,83	53,20	
SiO ₂ combinée	%			18,20	13,12	20,53	
Al ₂ O ₃	%			13,42	6,22	10,98	
Fe ₂ O ₃	%			22,40	4,48	4,96	
TiO ₂	%			1,35	1,56	1,24	
Ca	%			1,33	0,30	0,76	
Mg	%			0,25	0,22	0,21	
Na ₂ O	%			0,07	0,05	0,06	
K ₂ O	%			0,34	0,22	0,58	
P ₂ O ₅	%						
MnO	%			0,21	0,09	0,07	
Perte au feu	%			6,30	2,40	5,20	
SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (mol.)				2,3	3,6	3,5	
SiO ₂ / R ₂ O ₃ (mol.)							
ECHELLES de FERTILITE							
N et pH :							
N et P ₂ O ₅							

ECHANTILLON	647	n°	6471	6472	6473	6474	6476	
PROFONDEUR		cm	0,8	8,18	18,30	30,40	40,60	
GRANULOMETRIE			A11	A12	B	BC	(A'2)C	
refus 2 mm		%	5,8	7,9	8,0	5,5	0	
humidité		%	1,39	1,52	1,89	1,86	3,55	
argile (A)		%	11,00	16,75	19,75	19,75	18,50	
limon fin (LF)		%	12,25	17,75	20,00	18,50	42,00	
limon grossier (LG)		%	16,75	18,20	18,25	17,50	16,25	
sable fin (SF)		%	21,40	23,00	19,20	13,25	4,00	
sable grossier (SG)		%	33,60	18,85	19,75	18,60	13,25	
SG / SF								
LF / A								
texture simplifiée								
MATIERE ORGANIQUE								
Mat. org. totale		%	2,62	2,64				
Carbone total		%	15,22	15,32				
Azote total		%	1,21	1,36				
C/N			12,6	11,3				
Mat. humiques totales		%	2,36	3,20				
Acides humiques		%	1,35	1,62				
Acides fulviques		%	1,01	1,58				
Mat. hum./ Mat. org.			8,9	12,1				
Ac. hum./ Ac. fulv.								
CARACTERES PHYSIQUES et HYDRODYNAMIQUES								
Instabilité structurale								
perméabilité		cm/h						
poids spécifique réel								
poids spécifique appar.								
porosité		%						
capacité pour l'air								
indice de drainage								
pF 2,5								
pF 2,8								
pF 3,0								
pF 4,2								
pF 3,0 - pF 4,2								

COMPOSITION 647 n° 6471 6472 6473 6474 6476

CARBONATES (CO₃ Ca) %
 SALINITE
 Na / T
 conductivité 1/10
 conductivité pâte saturée

BASES ECHANGEABLES méq / 100 g terre fine
 Calcium Ca % 4,06 2,00 1,04 0,42 2,95
 Magnésium Mg % 2,43 2,07 1,50 2,27 12,26
 Potassium K % 0,26 0,14 0,24 0,34 0,28
 Sodium Na % 0,07 0,02 0,07 0,05 0,11
 Somme S % 6,82 4,23 2,85 3,08 15,60
 Capacité d'échange T % 9,76 11,40 11,35 12,55 17,60
 Saturation S/T % 69 37 25 24 28
 T / Argile

pH eau 6,00 5,10 5,00 5,10 6,00
 pH Kcl 5,50 4,30 4,20 4,20 3,80

ACIDE PHOSPHORIQUE
 Total ‰
 Assimilable (TRUOG) ‰
 Olsen
 N / P₂ O₅

F E R libre ‰
 total ‰
 fer libre / fer total %
 fer / argile

ELEMENTS TOTAUX (analyse triacide)
 Residu quartzeux %
 Si O₂ combinée %
 Al₂ O₃ %
 Fe₂ O₃ %
 Ti O₂ %
 Ca %
 Mg %
 Na₂ O %
 K₂ O %
 P₂ O₅ %
 Mn O %
 Perte au feu %

Si O₂ / Al₂ O₃ (mol.)
 Si O₂ / R₂ O₃ (mol.)

ECHELLES de FERTILITE
 N et pH
 N et P₂ O₅

ECHANTILLON	n°	6463	6464	6465	6466
CARBONATES (CO ₃ Ca)	%				
SALINITE					
Na / T					
conductivité 1/10					
conductivité pâte saturée					
BASES ECHANGEABLES	még / 100 g terre fine				
Calcium Ca	%	2,83	1,44	2,39	1,91
Magnésium Mg	%	0,76	0,36	0,68	0,89
Potassium K	%	0,06	0,06	0,13	0,05
Sodium Na	%	0,02	0,02	0,03	0,03
Somme S	%	3,67	1,88	3,23	2,88
Capacité d'échange T	%	5,20	6,43	4,25	2,29
Saturation S/T	%	7,0	2,9	7,6	12,5
T / Argile			39,0	16	9
pH eau		6,15	5,30	5,60	5,60
pH Kcl		5,00	4,20	4,85	4,50
ACIDE PHOSPHORIQUE					
Total	%				
Assimilable (TRUOG)	%				
Olsen					
N / P ₂ O ₅					
FER libre	%	1,06	1,60	2,22	3,22
total	%	1,76	2,30	3,28	4,18
fer libre / fer total	%	60,2	69,6	67,6	72,2
fer / argile		18,7	13,9	12,4	15,8
ELEMENTS TOTAUX (analyse triacide)					
Residu quartzeux	%			73,34	71,53
Si O ₂ combinée	%			11,38	11,79
Al ₂ O ₃	%			5,92	8,82
Fe ₂ O ₃	%			3,68	4,32
Ti O ₂	%			1,44	1,50
Ca	%			0,75	0,86
Mg	%			0,02	0,03
Na ₂ O	%			0,05	0,05
K ₂ O	%			0,31	0,38
P ₂ O ₅	%				
Mn O	%			0,08	0,09
Perte au feu	%			2,52	2,45
Si O ₂ / Al ₂ O ₃ (mol.)				3,4	2,5
Si O ₂ / R ₂ O ₃ (mol.)					
ECHELLES de FERTILITE					
N et pH					
N et P ₂ O ₅					