

COMPLEMENT A L'ETUDE DES SOLS DE LA REGION NORD DE BANFORA
(Haute - Volta)

- Les facteurs de la pédogénèse
- Classification et autres problèmes

--:--:--:--

R. MOREAU

-

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE DAKAR-HANN

NOVEMBRE 1967

Introduction

Au moment où nous écrivons ces lignes, les résultats des analyses triacides, argiles et manganèse effectuées à BONDY ne nous sont pas encore parvenues; aussi nous limiterons-nous seulement à quelques considérations sur les facteurs de la pédogénèse dans la région étudiée en avant de la falaise de BANFORA.

Enfin, nous examinerons, en conclusion, quelques problèmes qui se posent pour la classification de ces sols.

I. - LES FACTEURS DE LA PEDOGENESE -

A/ - Le climat

Les deux saisons bien marquées du climat soudano-guinéen déterminent deux phases d'évolution pédogénétique d'intensité bien différente.

Au cours de la saison sèche, tous les phénomènes d'évolution des sols sont pratiquement bloqués, sauf dans les zones assez humides où les phénomènes d'altération peuvent se poursuivre. La saison des pluies correspond à la phase active de la pédogénèse, sous l'effet de l'humidité importante et des températures élevées.

1. - La matière organique est rapidement décomposée. Les teneurs des horizons humifères sont toujours faibles: elles sont généralement de l'ordre de 0,5 à 0,7 %, à l'exception, toutefois, des sols hydromorphes qui présentent une plus grande richesse.

Cette matière organique est bien évoluée: C/N est de l'ordre de 10 à 13; il est légèrement supérieur dans le cas des horizons de surface contenant des débris de pailles mal décomposés, ou des débris charbonneux restant après les feux de brousse.

2. - L'altération jouit de conditions favorables sur les granodiorites et sur les schistes du birrimien, de même que sur les grès où elle est souvent aidée par la faible cohésion de ces derniers.

Les quelques analyses triacides, effectuées au laboratoire de chimie des sols à DAKAR-HANN sur la fraction fine (0-50 μ) de 9 échantillons, ont donné des valeurs du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ variant de 1,9 à 2,2. A FARAKOBA (Haute-Volta), sur des sols présentant des caractéristiques chimiques assez voisines: capacité d'échange notamment, JENNY a obtenu des valeurs du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ variant de 1,8 à 2,2 sur la terre totale des échantillons et avec des résidus (quartz) dépassant souvent 65 à 70 %. Dans le cas de nos sols, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ varie de 1,5 à 1,8. Ces valeurs indiquent donc que l'altération est assez poussée et se trouve à la limite vers la ferralitisation, mais on peut facilement admettre (et sous réserve de confirmation par les analyses de BONDY) que nous avons bien affaire, ici, à des sols ferrugineux; d'ailleurs, certains caractères, physiques surtout, ne sauraient être attribués à des sols ferralitiques.

L'altération aboutit à la synthèse d'argile essentiellement kaolinique, d'où la faiblesse des valeurs de la capacité d'échange.

La libération du fer est importante: le rapport fer libre/fer total est généralement de l'ordre de 70 à 90 %. Ce fer libre détermine dans une large mesure la couleur jaune à rouge de ces sols. Le fer se fixe sur les argiles jusqu'à saturation de leur surface, d'après D'HOORE celle-ci est atteinte pour un rapport: fer libre/argile = 12 %; au-delà, le fer s'individualise en concrétions. Dans le tableau ci-après, nous avons ordonné un certain nombre d'échantillons en fonction de la valeur de leur rapport fer libre/argile; ces échantillons correspondent à des horizons suffisamment riches en argile (argilo-sableux à argileux). Nous pouvons faire les constatations suivantes :

- l'échelle des couleurs correspond assez bien à la variation du rapport: fer libre/argile. Nous passons ainsi des couleurs jaune - rougeâtre (Hue: 5 YR) à rouge clair (Hue: 2,5 YR) vers 8 %, puis à rouge: (avec des "value" sensiblement plus basses).

- Les valeurs du fer libre % ne suivent que de très loin la progression des couleurs.

- pour des valeurs du rapport: fer libre/fer total supérieures à 12 %, il y a toujours existence de concrétions. Pour les valeurs inférieures, des concrétions peuvent exister aussi, mais elles se trouvent toujours au-dessus d'un horizon à taches de pseudogley; c'est-à-dire qu'elles ont pu s'individualiser à partir de mouvements ascendants des solutions, le fer se concentrant alors en des sites privilégiés. Dans le cas de l'échantillon 252, la proximité des sols riches en gravillons sur une profondeur importante, situés en position surélevée, peut permettre de penser à un apport latéral du fer.

Le manganèse est aussi libéré en quantité importante et il se retrouve à la base de presque tous les profils sous formes de taches ou plus fréquemment, de concrétions (les analyses en cours devraient permettre d'en préciser la répartition).

3. - Le drainage

On peut apprécier le drainage à l'intérieur du sol par l'indice calculé de AUBERT et HENIN :

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

D : drainage annuel

P : pluviométrie annuelle

α : coefficient dépendant de la perméabilité du matériau, il varie de 0,5 (argile) à 2 (sables).

γ : coefficient dépendant de la température moyenne annuelle T

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

Pour les sols de BANFORA, très sableux en surface ($\gamma = 2$) nous obtenons $D = 410$ mm; c'est-à-dire qu'avec une température supérieure à 18° nous serions largement en zone ferrallitique. Cependant le drainage réel est vraisemblablement assez différent de cette valeur du fait de la répartition irrégulière des pluies et de la structure hétérogène des sols. Les horizons sableux superficiels absorbent très facilement l'eau, au-dessous, les horizons plus riches en argile ont une perméabilité très faible; le drainage latéral au sein des matériaux sableux prend le pas sur le drainage vertical en profondeur; il peut être une conséquence du passage brutal entre les deux catégories d'horizons. C'est

Existence de concrétions	Numéro de l'échantillon (Les échantillons groupés dans une même colonne appartiennent au même profil)										Fer libre	Fer libre	Couleur (code Munsell)
											argile %	%	
↑ 5 - 10 % - < 0,5 cm TH	103										6,65	28,8	5 YR 6/8 - Jaune rougeâtre Taches de pseudogley
											6,95	29,4	
↑ 10 - 20 % - 0,5 - 1 cm											7,30	20,6	5 YR 6/6 - Jaune rougeâtre
	83										7,35	21,5	5 YR 6/6 - Jaune rougeâtre
↑ 30 % - < 1 cm											7,40	25,2	5 YR 6/6 - Jaune rougeâtre
→ 20 % - < 1 cm													
↑ 5 - 10 % - = 1 cm													
	16												
TH - 50 %													
	84												
↑ 30 % - < 0,5 cm													
20 % - < 0,5 cm													
20 % - < 1 cm													
TH 50 % - < 1 cm													
	104												
20 % - = 1 cm													
40 % - < 0,5 cm													
TH - 50 %													
30 - 50 % - < 0,5 cm													

TH : Taches d'hydromorphie temporaire

↑ : Mouvement ascendant

→ : Mouvement latéral

30. La circulation de l'eau à la surface et dans le sol

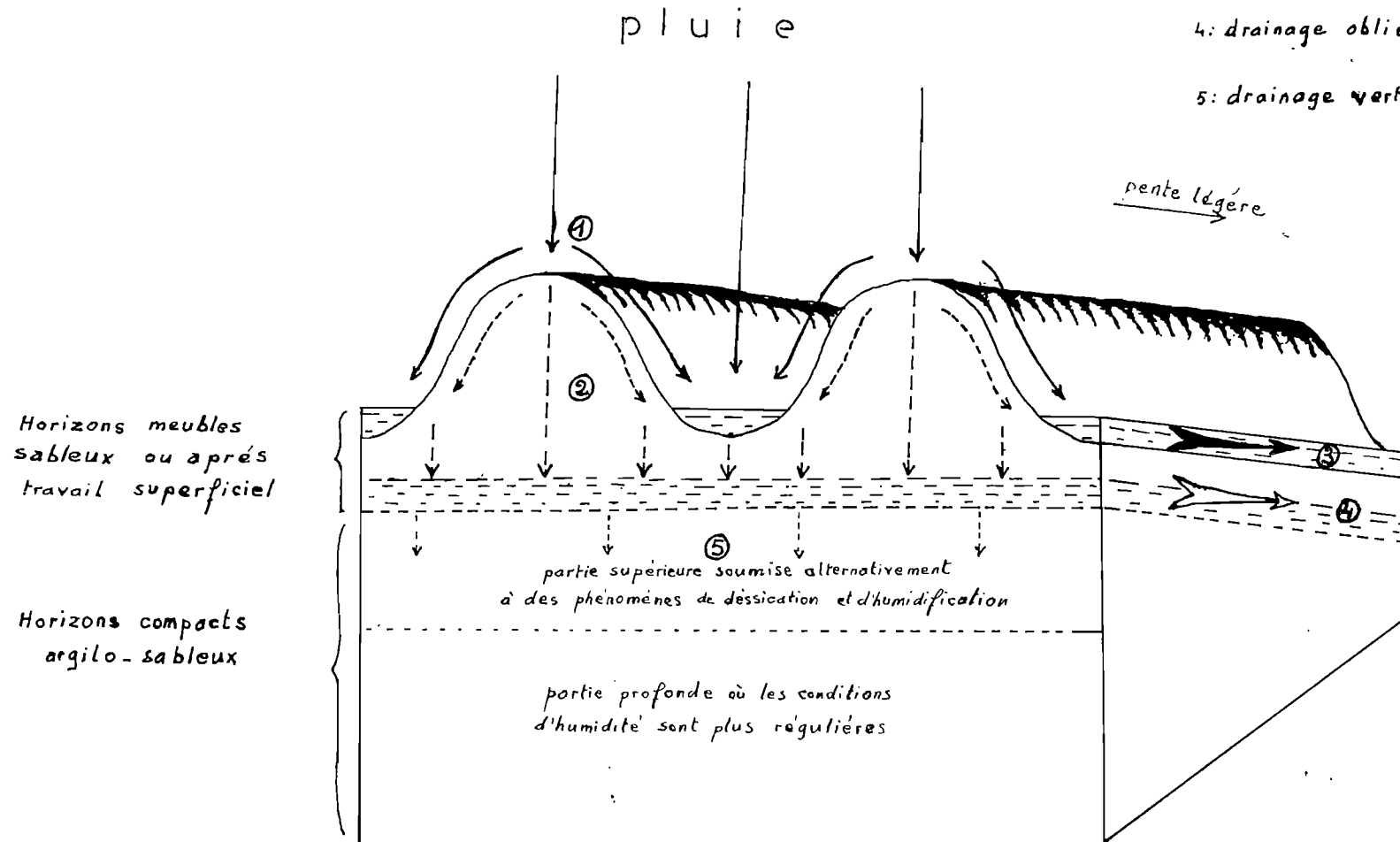
1: ruissellement

2: infiltration

3: drainage en surface

4: drainage oblique

5: drainage vertical



ce que nous avons représenté sur le croquis n° 30. Si la pente très faible est peu favorable au drainage latéral, les horizons sableux peuvent servir, pendant un temps assez long, de réservoir d'eau à partir duquel s'effectue l'humectation lente des horizons profonds. Parmi ceux-ci, les plus proches de la surface sont soumis à des humidifications et à des dessications successives au cours de la saison humide. Ces phénomènes, en favorisant un contact étroit entre les divers constituants du sol, pourraient bien être, pour une part, à l'origine de ces horizons compacts à cohésion forte que l'on rencontre dans tous les profils, sans que ceux-ci soient toujours associés à une augmentation du taux d'argile.

Si l'on se rapporte aux résultats obtenus à la station IRHO de NIANGOLOKO, sur des sols possédant plus de 90 % de sable, cultivés à plat et sur pente de 2,5 %, le ruissellement est de 10 à 12 % de la pluviométrie annuelle. Ceci correspond donc à une infiltration de plus de 1.000 mm; mais une quantité importante de cette eau est perdue par évaporation et drainage latéral. On peut tenter d'apprécier le drainage vertical en profondeur en considérant la quantité d'eau reçue au sommet des horizons riches en argile. Si nous considérons une quantité d'eau en excès, soit 1.000 mm, en appliquant la formule de drainage calculée pour un matériau argileux ($\alpha = 1$); nous obtenons $D = 204$ mm ce qui nous rapproche davantage de la limite vers les zones ferrugineuses.

4. - L'érosion

Nous avons déjà eu l'occasion de parler de ce phénomène dans le tome I du rapport. Nous rappellerons cependant qu'à NIANKOLOGO, sur les parcelles cultivées à plat, l'érosion entraîne plus de 500 T/km² par an.

Les données recueillies sur cette station permettent de préciser quelques caractères de l'action de l'érosion. D'après FOURNIER, on peut retenir les faits suivants :

- L'érosion du sol ne se déclenche que lorsque l'intensité pluviale instantannée atteint et dépasse un certain seuil qui semble être de 2 mm par minute pour la région de NIANKOLOGO.

- Lorsque ce seuil est atteint, il n'y a pas de corrélation entre l'érosion et l'intensité pluviale instantannée maximum; mais l'importance de la perte en terre est plutôt liée à l'abondance des pluies et à leur intensité moyenne calculée en divisant la hauteur d'une averse par sa durée.

- La dégradation annuelle subie par le sol se produit en un laps de temps très court. Pratiquement les 9/10 de la perte en terre surviennent en quelques heures par an: 14 heures en 1956 et 6 heures en 1957, au cours des pluies violentes en Juin, Juillet et Août. Au début et à la fin de la saison des pluies l'érosion est faible; dans le premier cas le sol est sec et non tassé, il est donc très absorbant et diminue le ruissellement; dans le deuxième cas, les particules facilement détachables ont déjà été entraînées, en outre à cette époque la couverture végétale assure une protection plus efficace du sol.

Les sols de BANFORA, comme ceux de NIANGOLOKO situés à moins de 50 km, ont une texture sableuse à la partie supérieure et une structure très instable; les pentes sont de l'ordre de 1 à 2 % (nous savons qu'une pente faible suffit pour que l'érosion puisse se développer). Nous pouvons donc conclure que ces sols sont aussi soumis à une érosion réelle entraînant la perte de plusieurs centaines de tonnes de terre par km² et par an dans les zones les plus susceptibles. Avec la culture convenablement pratiquée en billons, la perte est moindre, mais nous verrons dans un prochain paragraphe, comment elle aboutit à un enrichissement relatif en sables au détriment des fractions fines qui sont facilement entraînées.

B/ - La géologie

Bien que dans la plus grande partie de la région étudiée il n'y ait pas, au sein d'un même profil, de relation génétique directe entre la roche profonde et les matériaux supérieurs sur lesquels se développent le sol, il est cependant évident que ces matériaux dépendent, pour un bon nombre de leurs caractères, de la nature des roches qui leur ont donné naissance, donc de la géologie. Les affleurements sont assez nombreux et ils confèrent alors aux sols qui leur sont associés des caractères particuliers.

1. - Les grès

Ils dominent de leur masse imposante l'ensemble de la région. Le caractère particulièrement sableux de tous ces sols est à rattacher à leur présence.

A proximité de la falaise, où les colluvionnements argilo-sableux à partir du plateau gréseux ont été importants, il est difficile de montrer une

relation directe entre le substratum gréseux et les sols à la surface. Par contre, plus en avant, les apports venus de la falaise ont été moindres, sinon inexistantes, et les affleurements sont nombreux; les sols sont sableux sur une hauteur importante du profil: sols sur matériaux sableux de recouvrement.

L'altération est du type kaolinitique. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dans le matériau tacheté à la base du profil BFA 33 (cf. p. 23^x) est de 2,1 et $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 = 1,8$. Il y a formation d'argile à faible capacité d'échange : $T = 10,15$ méq/100 g et le taux de saturation est particulièrement bas: $S/T = 16$.

2. - Les schistes argileux

Il leur correspond des sols peu évolués d'érosion. Leur texture est essentiellement argileuse et les particules fines sont facilement entraînées par l'érosion; seuls demeurent sur place les éléments grossiers: fragments de schistes encore solides, graviers et petits cailloux de quartz, que l'on retrouve à la surface du sol.

Du fait de leur sensibilité particulière à l'érosion, ces schistes constituent donc eux-mêmes la plus grande partie de la masse du sol. Ils sont de nature essentiellement kaolinitique (d'après des analyses effectuées au laboratoire de géologie de l'Université de Strasbourg). La capacité d'échange T est voisine de 5 méq et le complexe d'échange est pratiquement saturé.

3. - Les granodiorites

Ces roches supportent actuellement des sols gravillonnaires. Le cuirassement y a été important comme en témoigne une butte cuirassée au Nord de LEMOUROUDOUGOU (cf. p. 19^x). Le matériau d'altération que l'on trouve sous les horizons gravillonnaires (BFA 14) possède un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ voisin de 2; l'altération est aussi du type kaolinitique: la capacité d'échange T est voisine de 5 % et le complexe est bien saturé: $S/T = 94$.

Il ressort donc, en conclusion, que le facteur géologie est surtout déterminant pour deux caractéristiques du sol :

- La texture,

- La richesse minérale: taux de saturation en particulier.

Par contre le type d'altération, d'où la nature des argiles contenues dans les sols, ne semble pas marquer de différence suivant la nature des roches.

C/ - La géomorphologie

Elle constitue un facteur essentiel dans la mise en place et l'évolution des sols de cette région située au pied de la falaise de BANFORA.

1. - La mise en place des sols

Il s'agit essentiellement du phénomène de polyphasage.

a. - L'importance du polyphasage

L'observateur est frappé, sur le terrain, par la constance des caractères d'hétérogénéité dans les profils :

- passage brutal des horizons sableux de surface à des horizons beaucoup plus riches en argile, en profondeur.

- présence d'un niveau gravillonnaire au sein de ces horizons plus argileux. Lorsque celui-ci n'est pas visible, dans le profil, il peut généralement être repéré à 2 ou 3 m de profondeur par sondage.

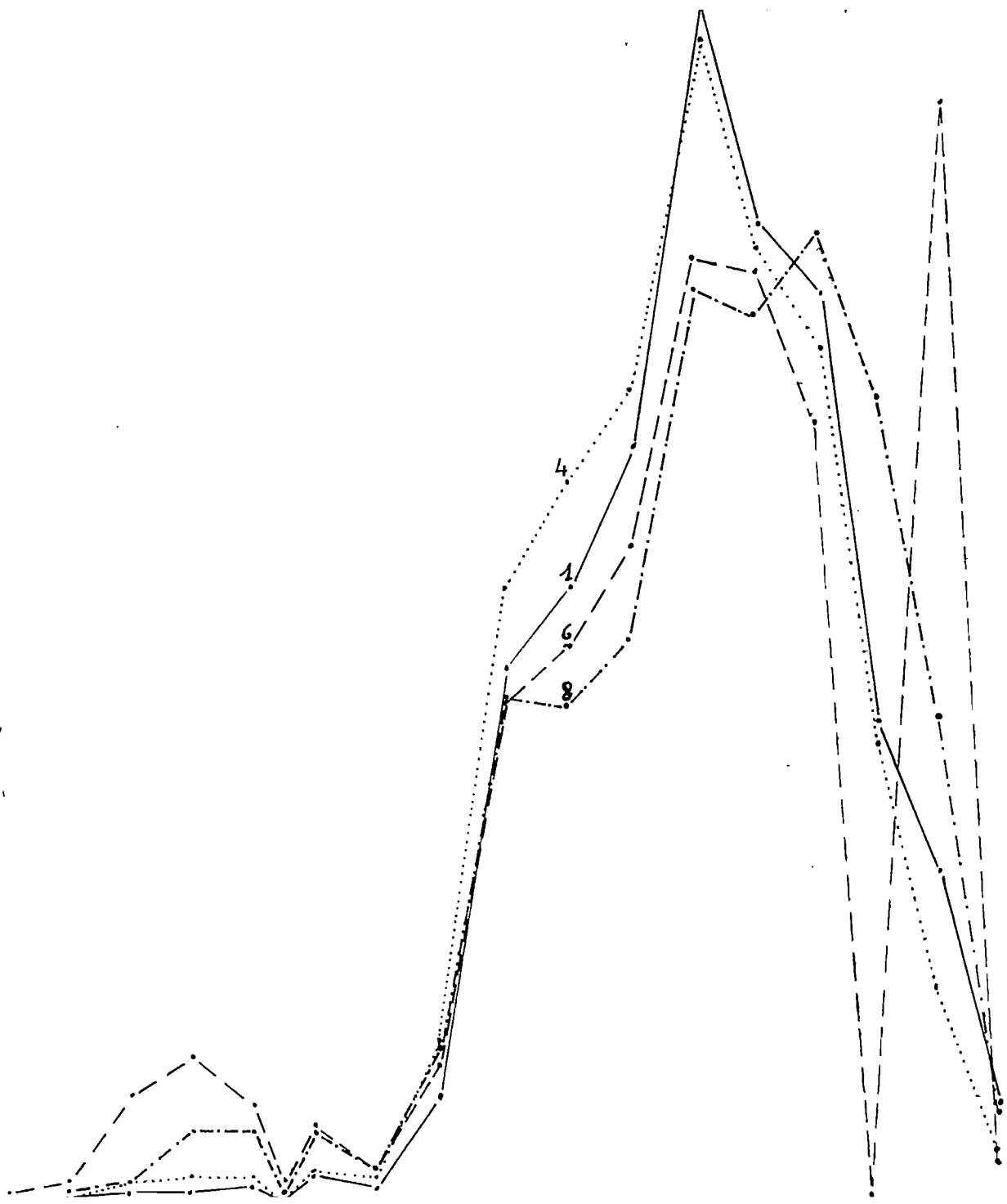
- parfois, cependant, le sondage ne permet pas de déceler un niveau gravillonnaire; il ne faut pas alors en conclure que ce dernier n'existe pas, car le plus souvent il apparaît plus loin au raccord de pente, le long des cours d'eau.

Au laboratoire de nombreux échantillons ont été soumis à l'analyse granulométrique des sables. Ils ont été tamisés sur une gamme de tamis AFNOR n°s 3 à 13 (maille de 2 mm à 0,05 mm). N'étant pas en mesure, pour l'instant, d'entreprendre une étude détaillée par l'exploitation rationnelle des résultats, nous nous contenterons, ici, d'une simple appréciation graphique de ces derniers.

19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

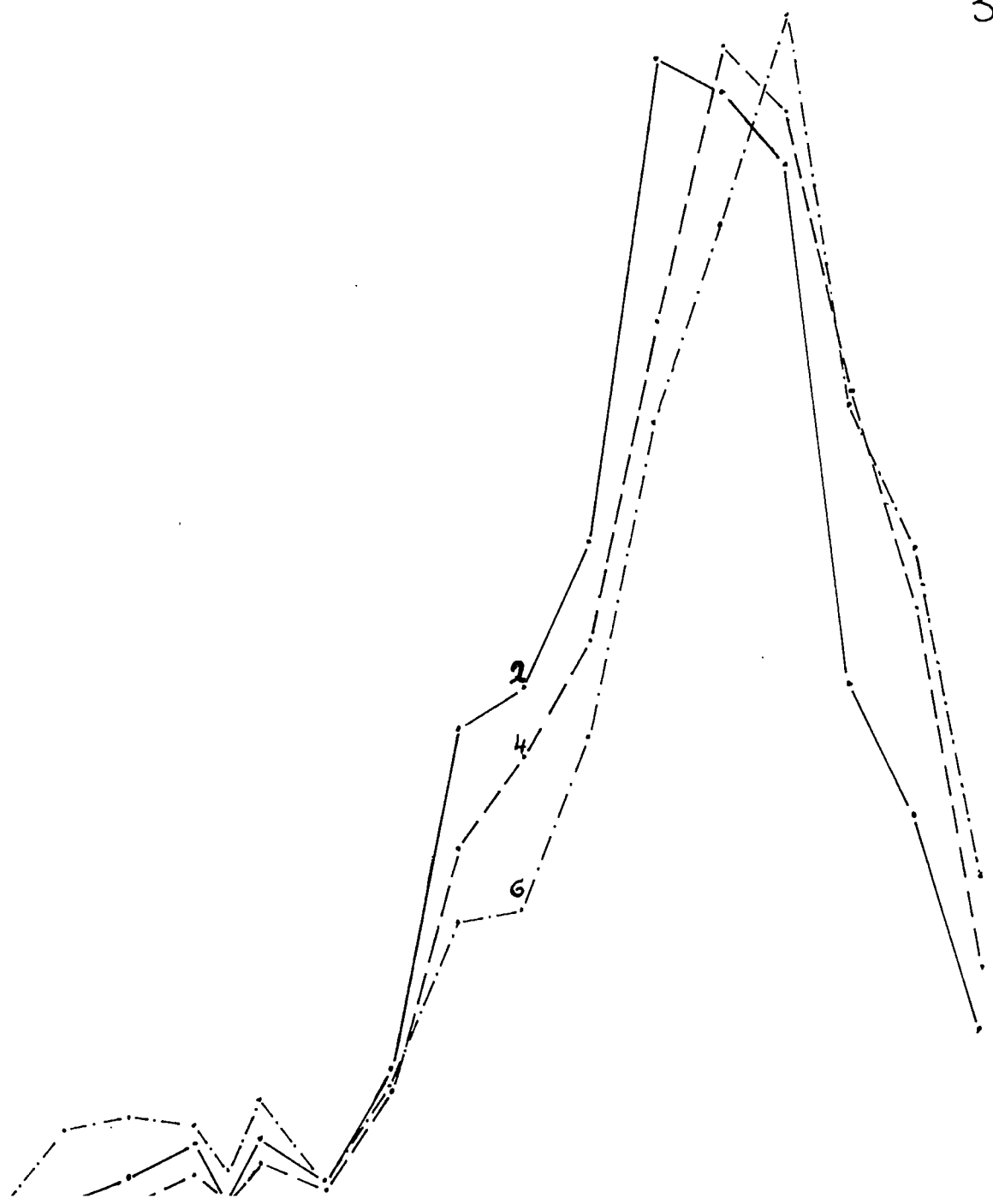
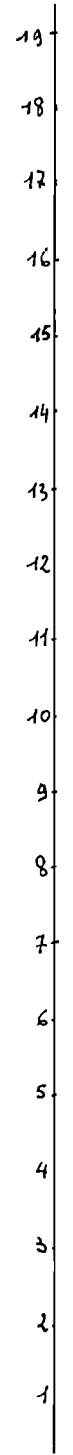
31.a

Sables BFA 1 1
4
6
8 } échantillons



31.6

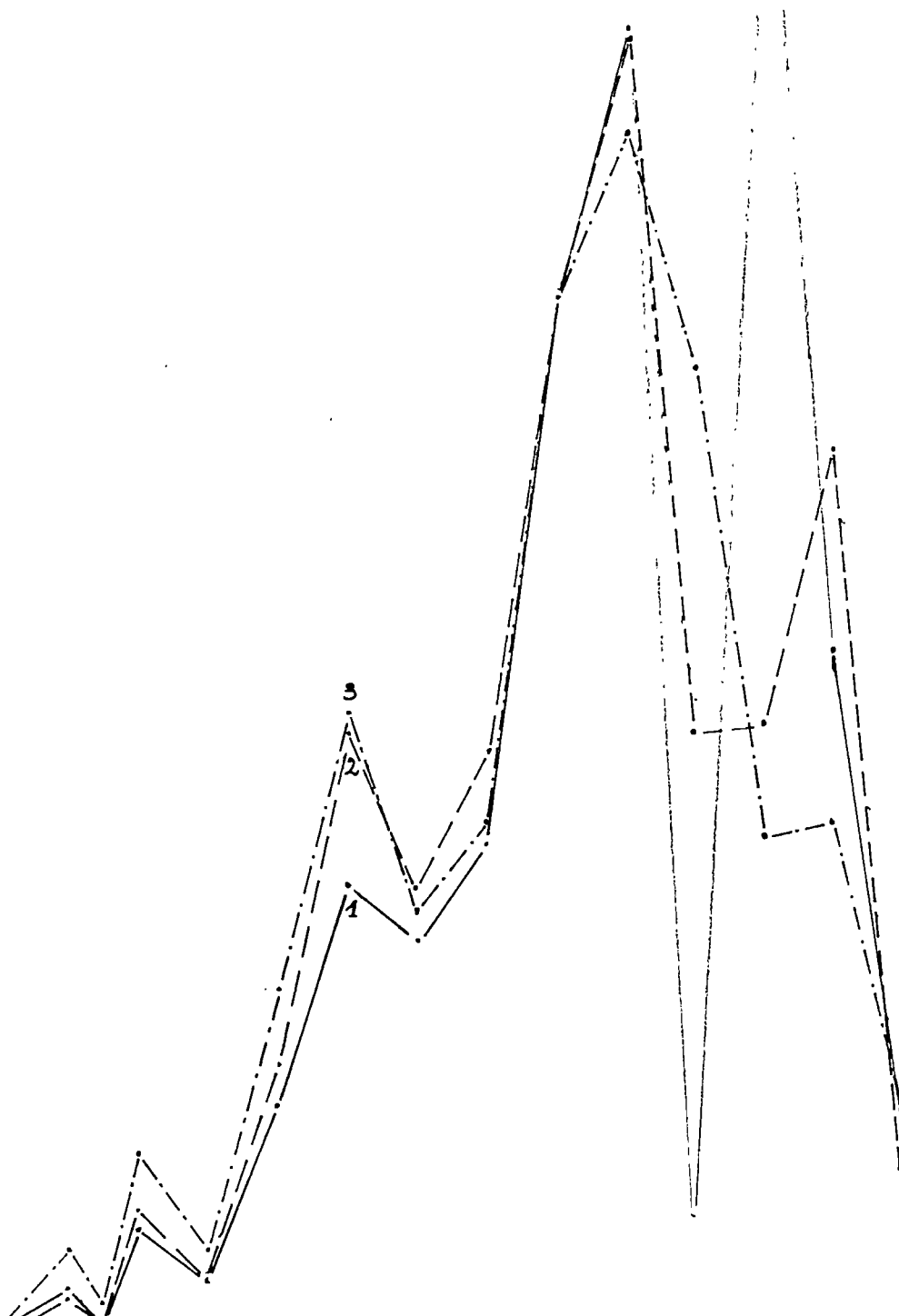
Sables BFA 18 2
4
6



19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

31.c

Sables : BFA 20 1
2
3



Nous avons directement tracé les courbes des fréquences en fonction de l'échelle \propto ; les unités portées sur l'axe des abscisses ne correspondent donc pas à des intervalles identiques entre la dimension des mailles de chaque tamis. Ce fait détermine déjà, dans une certaine mesure, l'allure des courbes; ceci a peu d'importance, puisque, comme nous venons de le dire, nous ne nous proposons pas de déterminer une loi de répartition, mais seulement d'effectuer une comparaison entre les différentes courbes obtenues dans les mêmes conditions.

Les résultats de trois profils seulement sont rapportés ici (graphique 3.1.a, 3.1.b., 3.1.c.). Les courbes révèlent bien une différence sensible dans la répartition des sables; cependant même deux horizons séparés par un niveau gravillonnaire peuvent demeurer assez proche (B.F.A. 184, 186 et 16, 18), ce qui laisse supposer que ces matériaux ont une origine commune.

(Les tamis n°s 10 et 11 qui présentaient des déchirures plus ou moins bien colmatées dans la toile, ne peuvent pas être pris en considération pour un certain nombre d'échantillons: B.F.A. 16, 201).

b.1. - Le processus de mise en place des matériaux polyphasés

Toujours à partir des observations de terrain nous allons tenter de préciser le mécanisme des remaniements et des transports qui ont abouti à la mise en place des matériaux polyphasés. Nous pouvons constater les faits suivants :

- les sommets sont occupés par des lambeaux de cuirasse, des gravillons résiduels et des affleurements, ou bien par des affleurements seuls.
- les gravillons issus du démantèlement de cuirasse se retrouvent, à profondeur variable, à peu près en tous les points de la région.

Deux cas peuvent être distingués d'après la nature du substratum géologique:

- sur les grès (fig. 8a)[¶]

Les affleurements apparaissent, soit à nu: l'érosion arrache alors les grains de quartz et favorise les recouvrements sableux sur les glacis situés plus bas (région de NAFONA, région Centrale), soit recouverts de gravillons et éventuellement de quelques blocs de cuirasses erratiques. A mesure que l'on

¶ Rapport: Etude des sols de la Région Nord de BANFORA (Haute-Volta) Tome I.

s'éloigne du sommet, les gravillons s'enfoncent sous une couche de plus en plus épaisse de matériaux fins. On les retrouve le long des cours d'eau en épandage, au niveau du raccord de pente.

Dans les régions de KARFIGUELA et de BEREGADOUGOU, le niveau gravillonnaire s'enfonce sous un important manteau colluvionnaire de plusieurs mètres d'épaisseur, parfois des gravillons se trouvent dispersés dans la masse. Ce matériau colluvionnaire, au moins dans sa phase la plus récente, serait donc postérieur à la destruction des cuirasses. D'après S. DAVAUD il semble d'ailleurs être le résultat d'un changement de climat: l'absence de triage entre les différentes particules ne s'explique bien que si l'on fait intervenir une mise en place sous des conditions semi-arides. L'érosion reprenant ultérieurement (climat plus humide) a pu facilement attaquer ce matériau meuble; c'est ainsi que le marigot de BEREGADOUGOU a pu s'enfoncer très rapidement d'une dizaine de mètres, sans que le façonnement des versants puisse suivre une évolution correspondante.

- Sur les granodiorites et sur les schistes (fig. 8b)[⊗]

Ces zones sont plus éloignées de la falaise et sont moins touchées par les apports venus de cette dernière. Les gravillons résiduels sont uniformément répartis à la surface du sol sur une épaisseur assez importante (50 à 80 cm). La forme du modelé est celle de croupes arrondies se terminant par un talus de 2 à 3 m en bordure des cours d'eau.

Dans tous les cas, la destruction de la cuirasse, donnant naissance aux gravillons, semble bien être le fait de l'érosion remontante comme le prouvent les quelques buttes témoins cuirassées. Le déblaiement du matériau sous-jacent, l'éboulement des blocs de cuirasse suivi d'une désagrégation en gravillons, enfin le recouvrement par les fractions fines du matériau déblayé en amont: tous ces phénomènes rendent bien compte de la présence du niveau gravillonnaire sur la plus grande partie du territoire, et de son enfoncement progressif vers l'aval.

Cependant trois possibilités sont offertes dans la région :

- le matériau de recouvrement a uniquement pour origine le recule du front d'attaque de la surface topographiquement plus élevée: c'est le cas dans la région de NAFONA. A l'Est où affleurent les grès, le recouvrement est essentiellement sableux, cependant à mesure que l'on descend vers la Komoé, on trouve un matériau argileux de plus en plus épais (en bordure du lit majeur, les

⊗ Rapport: Etude des sols de la Région Nord de BANFORA (Haute-Volta) Tome I.

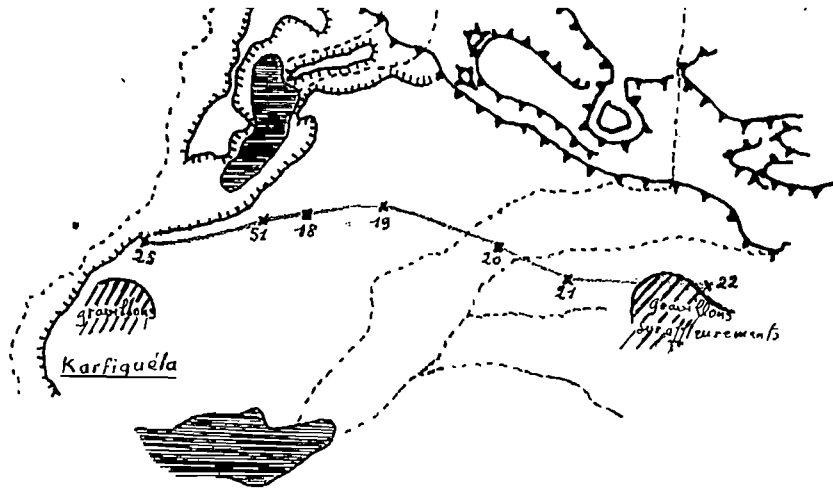
gravillons qui avaient disparu réapparaissent). Mais partout le recouvrement sableux est important.

- le matériau de recouvrement a deux origines: le recul du front d'attaque mais aussi un apport latéral. C'est ce qui s'est vraisemblablement produit dans la région de BEREGADOUGOU, les colluvionnements à partir de la falaise ont submergés l'ensemble. Le démantèlement de la cuirasse a alors pu être ralenti par la diminution de la dénivellation entre les deux surfaces, ce qui permet d'expliquer pourquoi les gravillons subsistent encore sur la face Est des affleurements au Sud de BEREGADOUGOU, alors qu'ils ont disparu à l'Ouest où l'érosion est plus vive.

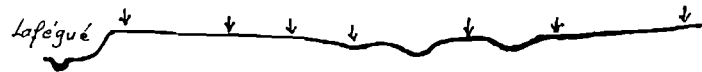
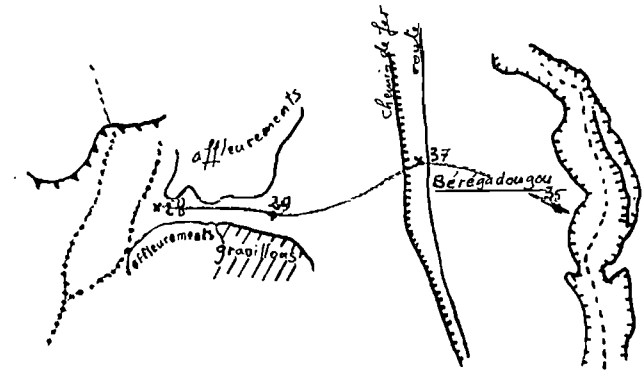
- le matériau de recouvrement a été inexistant, ou bien il a été ultérieurement enlevé. C'est ce que nous voyons dans la région de LEMOUROUDOUGOU et sur toute la zone à granodiorites. Quelle hypothèse retenir ?

- le démantèlement de la cuirasse sur place, sans déplacement de blocs ou presque, peut être envisagé sur des formations fournissant des matériaux d'altération meubles qui cèdent facilement à l'érosion; surtout si la cuirasse qui les surmonte est de faible épaisseur et elle-même peu résistante, s'effondrant dès qu'une zone dégagée (de moindre résistance) apparaît à sa partie inférieure. On pourrait d'ailleurs, ainsi, expliquer la régularité des formes du modelé: le travail de l'érosion ayant été relativement aisé, rapide et régulier.

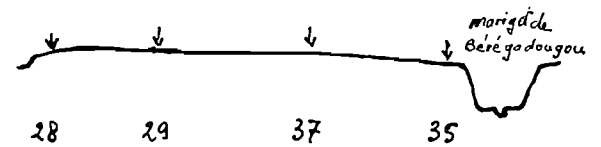
- la butte témoin au Nord de LEMOUROUDOUGOU montre, cependant, une cuirasse assez épaisse 100 à 150 cm (d'ailleurs l'importance des horizons gravillonnaires ne permet pas de penser qu'il puisse en être autrement dans cette zone). Cette butte est limitée par un talus de 4 à 5 m au-dessus de la surface avoisinante. Le déblaiement a donc été important. On peut alors penser qu'après la mise en place de la "Stone line" de gravillons, et peut être même pour une part, au cours de celle-ci, le matériau de recouvrement essentiellement constitué d'éléments fins aurait été entraîné vers les zones basses. Il y aurait donc eu une "fonte" du matériau superficiel, duquel ne subsiste plus que les éléments sableux tels que l'on peut les voir en légers recouvrements à la surface et à la partie supérieure des gravillons. Il est alors normal de considérer que le même processus aurait joué sur les zones gréseuses voisines où la quantité des sables résiduels aurait été beaucoup plus importante en raison de la texture différente du matériau, ce qui expliquerait pourquoi on retrouve toujours ces recouvrements sableux épais même en des points fort éloignés de tout affleurement actuel: (à l'Ouest de NAFONA et TAFILA notamment).



33.a

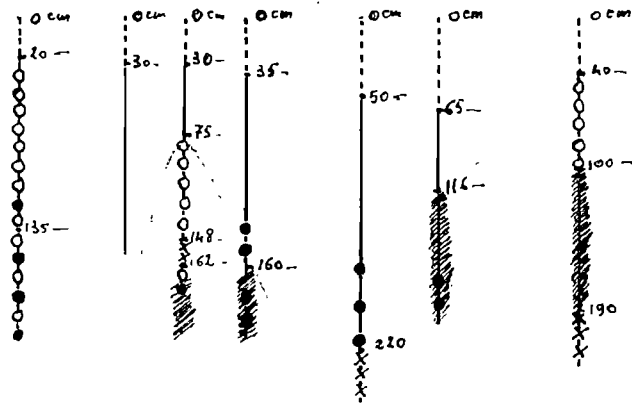


33.b

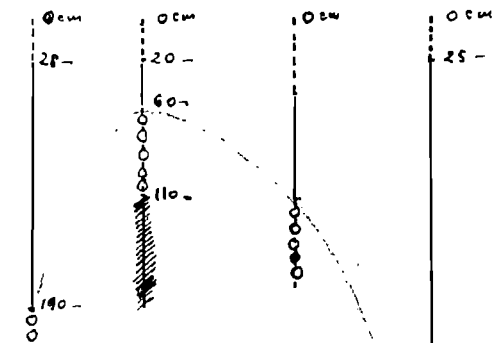


BFA: 25 31 18 19 20 21 22

28 29 37 35



33.c



----- : texture sablonneuse
 ————— : texture argilo-sablonneuse

xxx : gravillons

oooo : concrétions Fe
 ●●●● : concrétions Mn
 // : taches de pseudogley

370

2. - L'évolution des sols

La topographie par son influence sur les mouvements de l'eau est un élément important d'évolution des sols.

a. - Comment cette influence se manifeste-t-elle ?

Nous nous intéresserons, ici, uniquement aux zones de glacis; en effet, dans le cas des sommets (érosion) et des zones basses (hydromorphie) l'influence de la topographie sur l'évolution des sols est particulièrement nette et ne nécessite pas d'explications particulières.

Nous allons donc considérer deux séries de profils choisis sur les grands glacis au pied de la falaise. Dans cette région les pentes s'articulent sur les cours d'eau qui s'écoulent vers le Sud, et les profils retenus constituent une suite grossièrement orientée perpendiculairement à la direction de cet écoulement. Le croquis n° 33.a, montre l'emplacement des profils vers KARFIGUELA et vers BEREGADOUGOU; le graphique 33.b (non à l'échelle) donne l'allure de la topographie; enfin en 33.c nous avons représenté les caractéristiques quant à la texture, et à la présence de concrétions et de taches de pseudogley; trois remarques peuvent alors être notées :

- Dans les zones voisines des dépressions, et semble-t-il suivant une largeur proportionnelle à l'importance de la dénivellation, existent des sols sans concrétion ou avec des concrétions de manganèse, saules, à grande profondeur (B.F.A.: 51, 20, 35). A très grande profondeur (on le voit aussi dans les entailles des cours d'eau) apparaît le matériau tacheté.

- Lorsqu'on s'éloigne des axes de drainage, des concrétions ferrugineuses et, au-dessous, les taches d'hydromorphie temporaire apparaissent plus haut dans les profils. Si l'on joint par une ligne le sommet des horizons à concrétions Fe ou à taches, on s'aperçoit que celle-ci s'abaisse fortement à mesure que l'on approche des dépressions (B.F.A. 51 est près d'un talus de 3 à 4 cm).

- En bordure des zones gravillonnaires, même s'il existe à proximité une dénivellation importante (B.F.A. : 25, 22), il y a des concrétions Fe dès la partie supérieure des horizons assez riches en argile.

b. - La différenciation des sols en fonction de la topographie

Il semble bien que le drainage soit à l'origine de cette différenciation. Il conditionne en effet le pédo-climat et les possibilités de mouvements de certains constituants: argile, fer et manganèse notamment.

- Les mouvements de l'argile

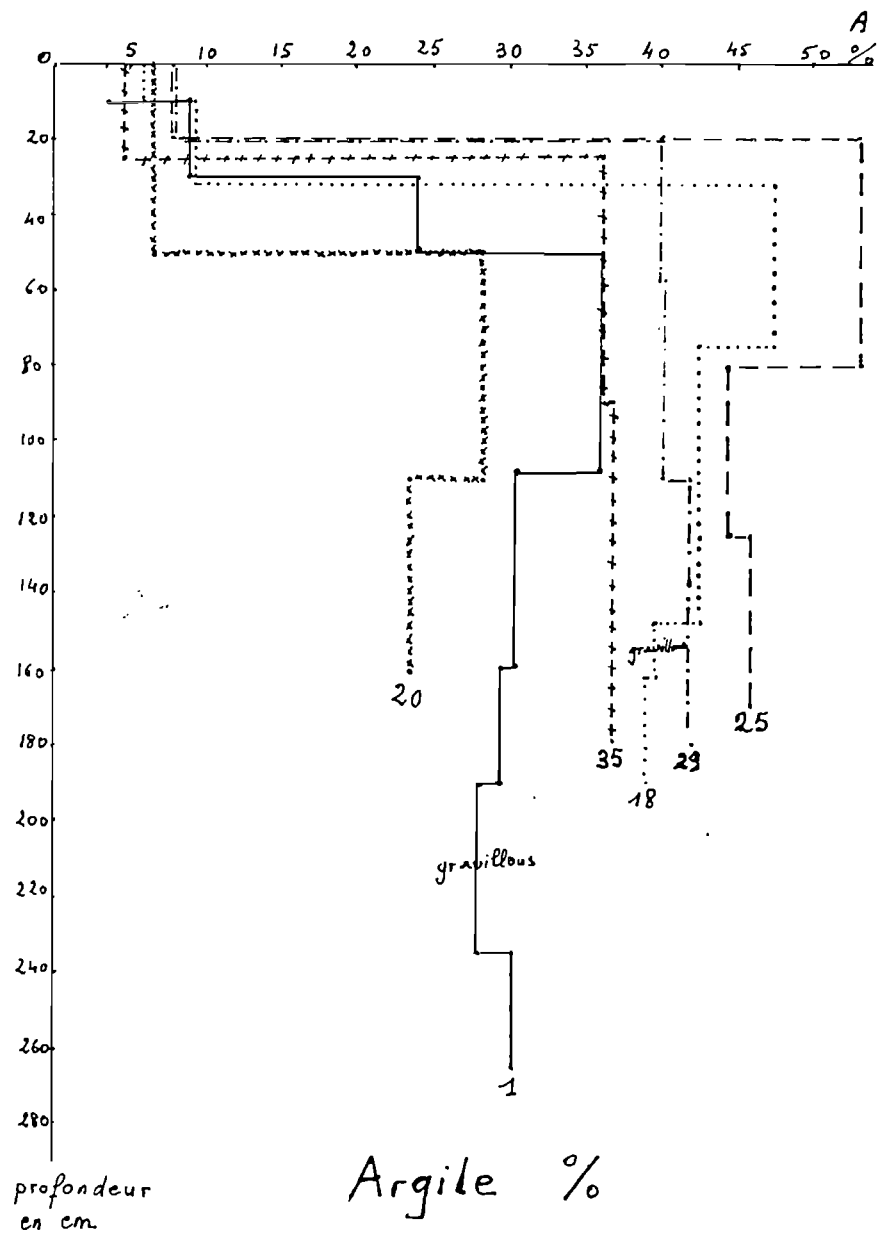
Le pH faiblement acide est normalement favorable à la migration de l'argile en profondeur. Un certain nombre de profils ont un enrichissement en argile à la partie supérieure des horizons argileux (graphique : 32.a : B.F.A. 1, 18, 20, 25), d'autres au contraire révèlent une assez grande constance ou une légère augmentation en profondeur du taux d'argile. Sans que l'on puisse distinctement séparer ces 2 catégories de profils dans l'un ou l'autre des deux groupes cartographiés: lessivés ou non lessivés.

D'où vient donc ce ventre d'argile à la partie supérieure des horizons argileux ? Une réponse simple semble bien difficile à donner en raison de l'origine polyphasée des sols :

- On peut penser qu'il s'agit de la base d'un ancien horizon d'accumulation tronqué en même temps que toute la partie supérieure du sol, puis recouvert de matériaux sableux, ou bien ayant subi un remaniement important en surface, après quoi un appauvrissement en particules fines se serait produit sous l'influence du drainage latéral favorisé par une différence de perméabilité entre les deux matériaux superposés. Peut-être les deux phénomènes se sont-ils d'ailleurs réalisés en même temps ? Mais alors, pourquoi certains profils ne présentent-ils pas d'accumulation d'argile ? Tous les sols de la région de BEREGADOUGOU, en particulier, n'ont pas de ventre d'argile alors que plus au Nord il existe.

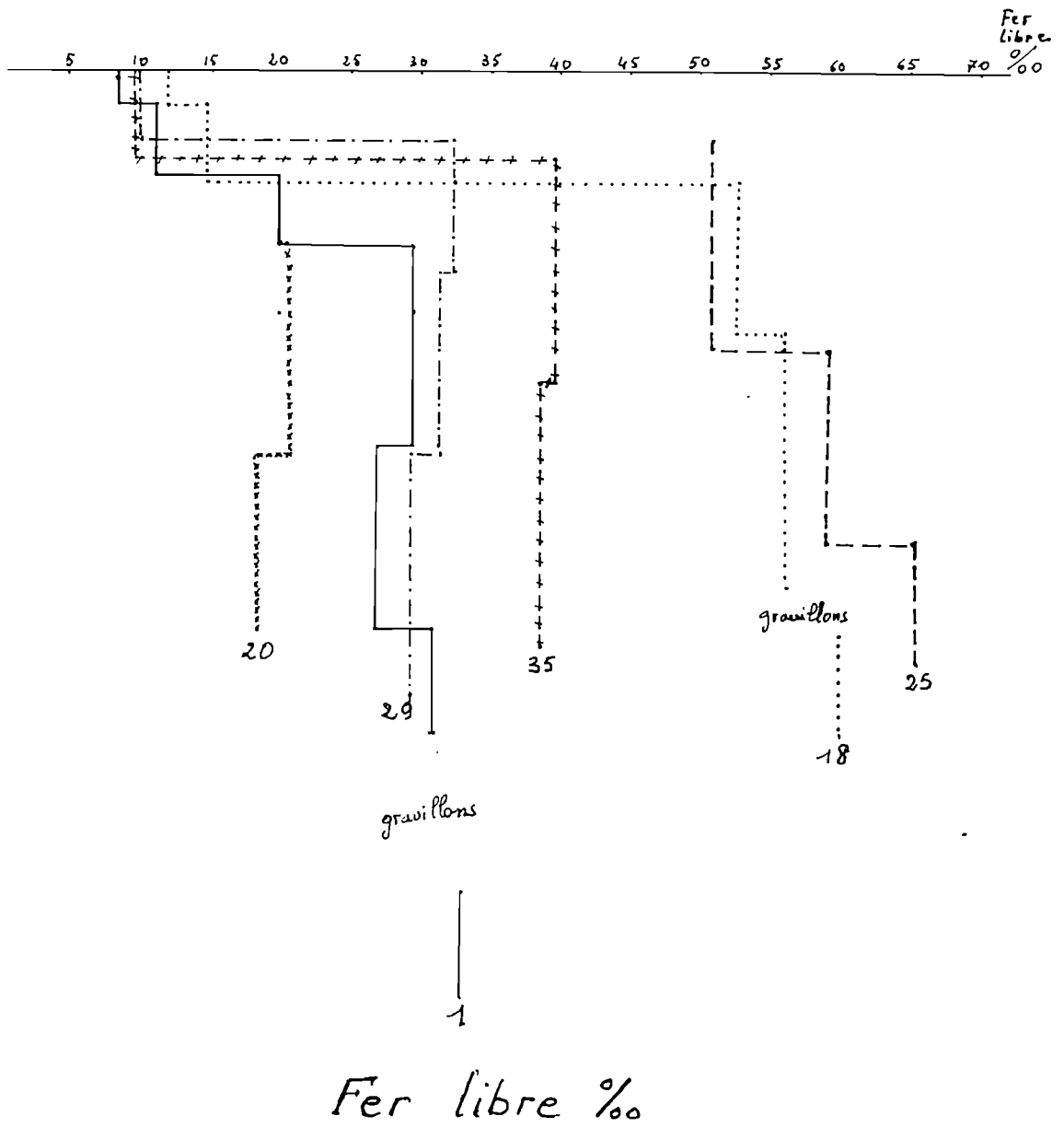
L'accumulation par lessivage dans les profils actuellement en place est incompatible avec le passage brutal entre les horizons sableux et les horizons riches en argile.

Ne s'agirait-il pas alors simplement d'un effet du polyphasage ? : mise en place de matériaux plus ou moins argileux suivant les endroits (facile à admettre pour des colluvionnements) puis recouvrements plus sableux et appauvrissement en argile. Cela n'exclue d'ailleurs pas la possibilité du lessivage mais à lui seul il est incapable de rendre compte des différences texturales qui apparaissent dans les sols.



Argile %

32.a



Fer libre %

32.b

- Les mouvements du fer

Là encore, les faits ne sont pas clairs. Cependant, d'une façon générale, le taux de fer libre augmente vers la profondeur. Il n'y a donc pas de correspondance entre les variations en argile et en fer libre (il semblerait au contraire qu'il y ait assez souvent une variation en sens inverse: graphique B.F.A.: 29, 35, 18, 25).

Lorsque la teneur en fer libre augmente en profondeur, on peut facilement concevoir un lessivage réel du fer; ce phénomène correspond d'ailleurs assez bien aux sols à concrétions ferrugineuses, dits lessivés.

Mais lorsque les teneurs les plus fortes se situent à la partie supérieure, à l'inverse des teneurs en argile (B.F.A. : 38, 35, 29), pouvons-nous conclure, ici encore, à l'effet du polyphasage? Très certainement dans le cas des deux horizons inférieurs du profil B.F.A. 29 (granulométrie des sables), mais au-dessus la proportion de fer libre par rapport au fer total s'est encore accrue: nous ne pouvons certainement pas considérer cela comme le résultat d'une altération plus poussée, mais plutôt d'un enrichissement par apport latéral à partir des zones gravillonnaires ou peut-être même par mouvements ascendants en raison de la proximité du niveau à hydromorphie temporaire.

Pourtant, une chose est sûre: ces sols, où ne se manifeste pas un enrichissement net en fer libre vers la profondeur, correspondent assez bien aux zones les mieux drainées à proximité des cours d'eau (fig. 33c).

- Le pédoclimat

La présence d'une vallée encaissée, nous l'avons vu, se manifeste par un abaissement important de l'horizon à taches de pseudogley; le drainage externe et latéral est aussi plus important. Ainsi en bordure et au voisinage des entailles pratiquées par les cours d'eau, la nappe phréatique se trouve-t-elle plus basse. Au début de la saison sèche elle s'abaisse plus rapidement du fait de la baisse du niveau général des rivières à cette époque. Donc non seulement le drainage des sols est mieux assuré sous l'action du soutirage important des solutions au niveau de la dénivellation, mais aussi, à la fin de la saison sèche, le maintien de l'humidité au moins pendant un certain temps, par mouvements ascendants des solutions, n'est pas possible. Le pédoclimat est alors relativement plus sec et, étant donné la faible quantité des matières humiques, la mobilisation du fer ne peut que difficilement s'effectuer. Le man-

ganèse, au contraire, plus facilement mobilisé (BETREMIEUX), peut être mis en mouvement malgré les conditions peu favorables; on le retrouve alors sous forme de concrétions noires à la base des profils.

Vers l'intérieur des interfluves, où le drainage est déficient et où l'humidité persistera encore pendant un certain temps après la fin des pluies, les sols sont plus ou moins engorgés pendant une partie de la saison des pluies et sans doute à plusieurs reprises au cours de cette saison. Ces conditions sont beaucoup plus favorables à la mise en mouvement du fer et à son dépôt en profondeur dans les horizons présentant généralement une meilleure porosité, au-dessus du niveau de la nappe temporaire à partir de laquelle peuvent d'ailleurs se nourrir les concrétions par remontée des solutions au début de la saison sèche. Le manganèse moins facilement immobilisé est généralement entraîné hors du profil, ou bien il ne se retrouve qu'à grande profondeur sous forme de taches noires.

Les zones gravillonnaires surélevées constituent des sources de fer qui peuvent enrichir les sols situés en contre-bas. Le fait est particulièrement net dans le cas du profil B.F.A. 22 qui se trouve sur une pente à 30 m en aval d'affleurements gréseux gravillonnaires; les concrétions friables (30 %) apparaissent dès 40 cm, beaucoup plus nettement que dans le profil 25 qui présente une couleur de fond plus rouge.

Conclusion

Il ressort donc que si la géomorphologie est un facteur pédogénétique essentiel dans cette région soumise à des remaniements variés et nombreux, il s'avère très difficile d'en préciser l'influence exacte, en raison même de la complexité qu'elle a contribué à établir.

On peut, malgré tout, assez facilement imaginer les phases les plus récentes de l'évolution géomorphologique. Après la formation de la grande surface d'érosion des 300 m trois phases ont dû se succéder :

1° - érosion et dissection de la surface; l'abaissement du niveau général des nappes favorisant alors l'induration en cuirasse.

2° - dépôts et alluvionnement au fond des vallées. A cette période peut aussi correspondre la mise en place des colluvions en avant de la falaise.

3° - reprises d'érosion avec encaissement des cours d'eau dans leurs alluvions anciennes et entailles profondes dans les colluvions au pied de la falaise: marigct de BEREKADOUYOU.

Le démantèlement des cuirasses, commencé lors de la première phase, s'est poursuivi avec une intensité variable au cours des phases suivantes; il arrivera à son terme lorsque les quelques buttes cuirassées subsistant encore auront disparu.

Ces trois phases d'évolution récente ont été aussi reconnues par les Géologues du B. R. G. M., et par BRAMMER lors de sa tournée en Haute-Volta.

D/ - La végétation et la faune.

1. - La végétation

Nous avons vu combien elle a été modifiée par l'homme. La végétation climacique ne subsiste plus que sur quelques bastions où la culture ne peut être entreprise.

La végétation arbustive favorise la désagrégation des lambeaux cuirassés sur lesquels elle s'implante.

Les rcniers occupant les meilleures terres assez humides, ont un système racinaire très dense qui représente une quantité appréciable de matière végétale incorporée au sol. *Impérata cylindrica* se développe abondamment dans les horizons sableux, ses nombreux rhizomes et ses fines racines qui s'enfoncent en profondeur constituent aussi un apport non négligeable de matière organique.

Les plantes cultivées; mil, sésame, coton, arachide, possèdent des caractéristiques variables quant au développement de leurs racines et à la quantité et qualité de matière organique qu'elles sont susceptibles de fournir; de même aussi, elles assurent une protection du sol plus ou moins efficace contre l'érosion.

De toute façon, la mise en culture diminue toujours le stock de matière organique. Les débris végétaux, essentiellement herbacés, évoluent très vite dans les horizons sableux; enfin le plus souvent, ceux qui se trouvent à la surface du sol sont instantanément minéralisés sous l'action des feux de brousse.

Sur les zones hydromorphes, le tapis herbacé dense et l'évolution plus lente permettent le maintien de teneurs plus importantes en matière organique.

Les plantes puisent les éléments nutritifs en profondeur puis les redistribuent en surface, elles favorisent le maintien des bases à la partie supérieure du sol: ainsi, dans ces sols qui se développent sur des matériaux ayant déjà subi une altération assez poussée aussi bien en profondeur qu'en surface, on peut constater une augmentation sensible du pH et du taux de saturation à la partie supérieure.

2. - La faune

Nous avons remarqué que dans les zones basses, occupées par les rizières, le piétinement, causé par le bétail lors de ses passages pour aller s'abreuver, peut être très important et perturber sur une épaisseur appréciable les horizons de surface.

Nous avons rencontré assez peu de termitières cathédrales au cours de la prospection. Est-ce à cause d'une texture trop sableuse des horizons supérieurs ? En tous cas, lorsqu'elles existent, elles sont sur des sols ne possédant que des horizons sableux peu épais. La surface du sol autour de la termitière a, d'ailleurs, toujours une forte proportion d'argile. La termitière constitue en quelque sorte un point d'accumulation des matériaux argileux, à partir duquel le ruissellement enrichit les surfaces voisines en éléments fins. Dans une certaine mesure et sur une échelle tout à fait locale, l'action des termites s'oppose à la dégradation superficielle des sols.

E/ - L'homme

Son action s'exerce par l'intermédiaire de la culture intensive qu'il pratique sur la plupart des terres présentant une quelconque valeur agricole. Les surfaces en jachères sont peu importantes.

La culture sur billons, pratiquée ici, est un moyen efficace de lutte contre l'érosion (voir tableau p: 90^{III}); d'autant plus que souvent ces billons sont fermés par des levées transversales.

Pourtant, la mise en culture des sols facilite et accélère leur dégradation superficielle; surtout si ces sols possèdent déjà une texture assez sableuse (il ne faut d'ailleurs pas, à ce propos, négliger la présence des recouvrements sableux).

Encore une fois rapportons-nous à des observations de terrain:

- Au Nord de BEREADOU, vers la station de pisciculture, les sols non cultivés, sur matériaux argilo-sableux de colluvionnement, portent une végétation arbustive et des graminées en assez grand nombre; ces dernières sont détruites tous les ans par le feu au cours de la saison sèche: le sol est donc laissé à nu au moment des pluies. Les profils sont peu sableux en surface et l'on voit très bien l'effet de l'érosion en nappe qui déchausse les touffes d'herbes.

- Plus au Sud, dans les zones cultivées, sur des matériaux de même type, les horizons sableux sont très nets à la partie supérieure.

La culture en billons favorise bien l'appauvrissement en éléments fins. Nous pouvons encore ici rapporter quelques résultats obtenus à NIAN-GOLOKO et résumés par FOURNIER dans le tableau ci-après.

Analyse granulométrique de la terre érodée (1956)

	Analyse Granulométrique			Evaluation quantitative (tonnes par km ²)		
	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Sable	Limon	Argile
Culture à plat	76,4	10,9	10,9	345,2	49,4	49,4
Culture à plat	77,2	9	12,5	418,1	48,8	67,5
Billons ouverts pente : 0,5 %	47,7	25,8	25,1	50,3	27,3	26,5

Ces résultats sont nets: les billons permettent une perte de terre environ cinq fois moins élevée, mais la perte en éléments fins n'est diminuée que de moitié. Il y a donc un enrichissement relatif en éléments grossiers, sables notamment. Comment peut-on aboutir à un tel résultat ?

Considérons le croquis n° 30. Nous y avons représenté tous les mouvements de l'eau (sous forme liquide) à partir du moment où la pluie atteint le sol :

- La partie supérieure du sol a été travaillée pour former les billons et installer les cultures au début de la saison des pluies; elle constitue alors un matériau meuble. Lorsque la pluie arrive, l'action des gouttes fait éclater les agrégats s'il en existe, et le ruissellement qui se développe sur les flancs des billons entraîne les éléments fins et aussi, suivant sa force, une partie des sables. Une petite fraction de l'eau de pluie s'infiltré sur les adcs.

- L'eau s'accumule entre les billons; en général la pente est faible et les billons sont souvent fermés, aussi la plus grande partie doit-elle s'infiltrer. Les sables entraînés à partir des adcs se déposent par décantation au fond des sillons; les éléments fins colloïdaux sont entraînés par l'eau d'infiltration, mais une partie demeure à la fin de la pluie en formant une pellicule fine au-dessus de la couche sableuse. A la prochaine pluie cette pellicule sera recouverte par une nouvelle couche sableuse et ainsi de suite; on aboutit alors à cet aspect de structure feuilletée que l'on observe fréquemment dans les horizons de culture.

- L'eau qui s'infiltré, directement à partir des adcs ou après ruissellement à partir des sillons, circule assez facilement dans les horizons sableux ou ameublés jusqu'au moment où elle rencontre des horizons plus argileux ou non travaillés, compacts et à perméabilité réduite. Il se produit une accumulation de l'eau à la limite; une grande partie peut être éliminée par drainage latéral en même temps que les fractions de terre fines.

- Une petite partie de l'eau peut cependant pénétrer dans les horizons profonds, mais avec une vitesse très réduite; elle peut aussi favoriser une légère accumulation d'argile à la partie supérieure de ces derniers. Nous avons déjà considéré (page: 5) l'effet probable des humectations et des dessications successives sur la cohésion de ces horizons.

Le processus d'appauvrissement en éléments fins est donc déclenché par l'ameublissement et la présence des billons en surface limitant l'érosion en nappe, capable d'entraîner les éléments les plus grossiers. Il est ensuite facilité à mesure que les horizons superficiels deviennent relativement plus sableux.

F/ - Le temps

Ces sols au pied de la falaise de BANFORA apparaissent relativement jeunes. Si les matériaux sur lesquels ils se développent actuellement ont subi une altération assez ancienne pour être assez poussée, il n'en demeure pas moins vrai que la morphologie des profils correspond à des sols jeunes ou rajeunis.

A l'origine de cette jeunesse se trouve les deux phénomènes classiques se complétant d'ailleurs dans leur action:

- l'érosion (affleurements, sols gravillonnaires)
- les apports (sols sur matériaux polyphasés).

Dans les sols sur matériaux polyphasés surtout, la différenciation morphologique au sein des profils semble être avant tout d'origine stratigraphique; les caractères pédogénétiques ne se superposent que secondairement à ceux-ci, sans jamais en oblitérer la présence.

Nous n'avons pas de repères pour déterminer l'âge de ces sols, ou même des derniers remaniements géomorphologiques importants. Le dégagement du fond de la falaise ne fait pas, non plus, l'unanimité parmi les auteurs, certains le placent uniquement au quaternaire, d'autres le font commencer dès le début du tertiaire.

II. - CLASSIFICATION ET AUTRES PROBLEMES

Nous avons reconnu quatre classes de sols. Les classes des sols minéraux bruts, des sols peu évolués et des sols hydromorphes ne posent pas de problèmes particuliers.

Dans la classe des sols fersiallitiques, parmi les sols ferrugineux nous avons distingué deux groupes: les sols non ou peu lessivés et les sols lessivés.

- Les sols sur matériaux argilo-sableux polyphasés sans concrétions, avec ou sans ventre d'argile, ont été classés en sols non ou peu lessivés jeunes, et cependant la ferrugination des matériaux y est accentuée (teneur en fer libre importante; $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ voisin de 2).

- Les sols sur mêmes matériaux, à concrétions, ont été classés en sols lessivés bien qu'un grand nombre d'entre eux ne présente pas d'accumulation d'argile vers le bas.

Nous nous heurtons donc à deux caractères assez contradictoires, qui sont d'une part la ferruginisation poussée des matériaux, et d'autre part la jeunesse des sols. Les profils sont d'une mise en place récente et les caractères d'évolution qui nous aident normalement pour la classification ont été acquis avant le transport et le dépôt des matériaux sur lesquels évoluent les sols actuels. Ce sont des sols jeunes se développant sur des matériaux ayant déjà subi une ferruginisation poussée, et il n'y a pas de correspondance entre cette dernière (analyses au laboratoire) et les caractères morphologiques des sols où elle se manifeste.

Nous terminerons enfin, en rappelant un problème posé par ces sols. Il s'agit de la baisse importante du taux de saturation en profondeur dans certains profils, alors que l'on ne remarque aucune diminution correspondant du pH eau ou du pH KCl. Manifestement, la totalité des cations échangeables n'a pas été évaluée. Al et Fe n'ont pas été décelés en tant qu'éléments échangeables; peut-être s'agira-t-il de Mn qui semble être en assez grande quantité; mais nous n'avons encore aucun résultat à ce sujet.