

Contribution de l'étude de la composition granulométrique des sables à la connaissance des mouvements de matière dans les sols ferrugineux tropicaux du centre-sud de la Haute-Volta

Bokar KALOGA

*Pédologue ORSTOM,
Services Scientifiques Centraux,
70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy*

RÉSUMÉ

Cette étude de toposéquences fait suite aux levés cartographiques dans les bassins-versants des Voltas Blanche et Rouge (à 1/200 000) et dans le Secteur Centre-Sud de la Haute-Volta (à 1/500 000).

Elle a montré que, dans les sols ferrugineux tropicaux étudiés, les matériaux superficiels meubles situés au-dessus des matériaux ferrugineux se regroupent en une famille relativement homogène caractérisée par son squelette. En particulier, elle se distingue des matériaux ferrugineux sous-jacents par une plus grande richesse en sables fins.

Cette richesse en sables fins n'est pas due à une fracturation quelconque des quartz d'origine pédologique (altération climatique ou mécanique) ou méthodologique (liée aux méthodes de fractionnement des sables).

On démontre que cet enrichissement en sables fins, dépend de la distance aux collecteurs d'eau, et est par conséquent imputable à un processus de transport le long du versant. Ce dernier ne se limite pas à un simple appauvrissement en argile puisque la granulométrie des sables est elle-même fonction de la distance aux collecteurs d'eau.

De plus, la différenciation texturale de l'ensemble des matériaux superficiels meubles (teneurs en argile + limon) est liée aux paramètres de tri des sables, et par là, plutôt à des processus de remaniement qu'à des processus pédogénétiques.

ABSTRACT

This study of toposequence follows a systematic mapping survey of Upper Volta Republic around the Red and white Voltas at a scale of: 1:200 000 and in the South-Central Région at a scale of 1: 500 000.

It shows that in the concerned «sols ferrugineux tropicaux» (ferruginous tropical soils/or Ferric Luvisols) the upper loose materials, overlying the ferruginous ones, form a somewhat homogeneous family characterised by its sandy skeleton. This family differs from the underlying ferruginous materials by a greater fine sands content, not due to any quartz crumbling from weathering or sedimentological methods of sand separation.

It is proved that this enrichment in fine sands is linked with the distance to the thalwegs. So, it's due to a transport process on the slope.

This transport process produces not only clay washing, but influences also the granulometry of sands, as the latter is linked with the distance to the thalwegs.

Moreover, a close relation is observed between the sand sorting parameters and the textural differentiation (clay + silt content) of the whole upper loose materials; so that the latter is rather due to transport processes than to pedogenetic processes.

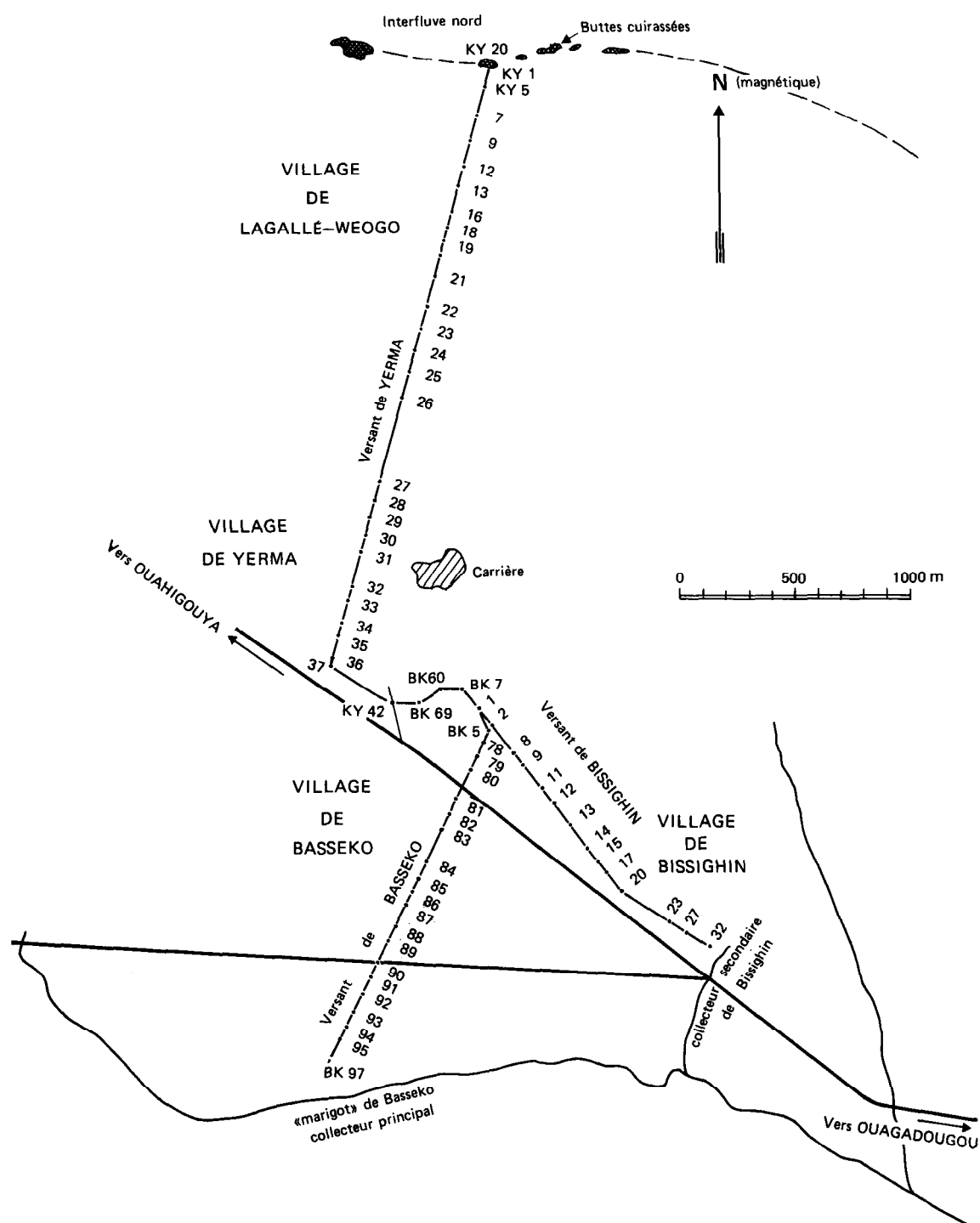


FIG. 1. — Plan de la toposéquence principale.

Avant-propos

BUT DE L'ÉTUDE

Cette approche fait suite aux travaux de cartographie entrepris sur les bassins versants des Voltas Blanche et Rouge, à 1/200 000 et sur le Secteur Centre-Sud de la Haute-Volta (à 1/500 000).

Son but est l'analyse fine des relations pédogénétiques reconnues lors des études antérieures. Parmi ces relations, celles que nous traitons ici concernent les sols développés à partir du manteau kaolinitique, notamment les sols ferrugineux tropicaux. En effet, si nombre de leurs caractères les rattachent au groupe lessivé (sous-groupe à taches et concrétions et sous-groupe induré), par contre leurs répartitions dans le paysage et dans les profils apparaissent peu compatibles avec une telle évolution.

PLAN DE L'ÉTUDE

(a) L'introduction est consacrée à la présentation du matériel et des méthodes d'étude.

(b) Le premier chapitre traite de l'évolution de la granulométrie des sables le long du profil. Celle-ci permet de tester la validité des méthodes utilisées, notamment lorsqu'il s'agit des matériaux imprégnés d'oxydes et d'hydroxydes de fer étudiés ici.

(c) Le deuxième chapitre concerne l'évolution du squelette sableux dans l'espace, c'est-à-dire l'étude de ses relations avec des facteurs de la morphogénèse.

INTRODUCTION

1. Le cadre géomorphologique

Le Secteur Centre-Sud de la Haute-Volta étudié est compris entre les longitudes 0° W et 3° W et les latitudes 11° N et 13° N.

Le schéma géomorphologique de ces régions est un glacis polygénique à longues pentes faibles à très faibles d'où émergent par endroits des lambeaux de surfaces anciennes mieux individualisés et des inselbergs rocheux.

2. Matériel et méthodes

2.1. MÉTHODES D'ÉTUDE SUR LE TERRAIN

Les données des prospections sont réexaminées par la méthode des toposéquences sur des glacis représentatifs de la région. Ces toposéquences sont installées dans le bassin versant de Zagtoui à environ 11 km de Ouagadougou, sur la route de Ouahigouya.

Nous n'étudierons ici que les sols de la toposéquence principale. Elle part de l'interfluve nord du bassin

versant souligné par une ligne de buttes cuirassées vers les collecteurs d'eau. Elle comprend trois parties :

— le versant supérieur ou toposéquence de Yerma : orientée grossièrement Nord-Sud, elle va d'une butte cuirassée de l'interfluve nord à un interfluve secondaire à l'intérieur du bassin (KY20-KY1 à KY37),

— le versant moyen et inférieur en direction du collecteur secondaire de Bissighin ou toposéquence de Bissighin : elle va de l'interfluve secondaire au « marigot » de Bissighin (KY37 à BK32),

— le versant moyen et inférieur en direction du collecteur principal ou toposéquence de Basséko : elle part de la partie supérieure de la toposéquence de Bissighin vers le « marigot » de Basséko (BK 2 à BK 97)

La figure 1 donne le plan de la toposéquence et la figure 2 son profil en long.

Les portions étudiées vont :

- de KY 1 à KY 25 sur le versant de Yerma,
- de BK 7 à BK 32 sur le versant de Bissighin,
- de BK 2 à BK 96 sur le versant de Basséko.

2.2. MÉTHODES D'ÉTUDE AU LABORATOIRE

Pour les matériaux cimentés par les hydroxydes de fer, les sables ont été obtenus après attaque à l'acide chlorhydrique à chaud.

Pour l'interprétation des résultats de la granulométrie des sables, nous avons utilisé :

2.2.1. Les courbes à ordonnées en log. probabilité et abscisses en échelle α (Billy 1954)

La courbe cumulative caractérisant une population normale est une droite entièrement déterminée par la moyenne et l'écart type de la population. Le coefficient angulaire de la droite est inversement proportionnel à l'écart type. Ainsi les courbes représentant les échantillons d'une même famille sédimentologique (même écart type) forment des droites parallèles. Ce type de représentation est parfaitement adapté à la comparaison des échantillons et notamment de ceux d'un profil de sol donné. Il permet le calcul rapide de nombreux paramètres dont entre-autres les suivants que nous avons retenus (fig. 3) :

(a) l'écart type σ déterminé graphiquement par la formule $\sigma_{\alpha} = \frac{\alpha_{84} - \alpha_{16}}{2}$.

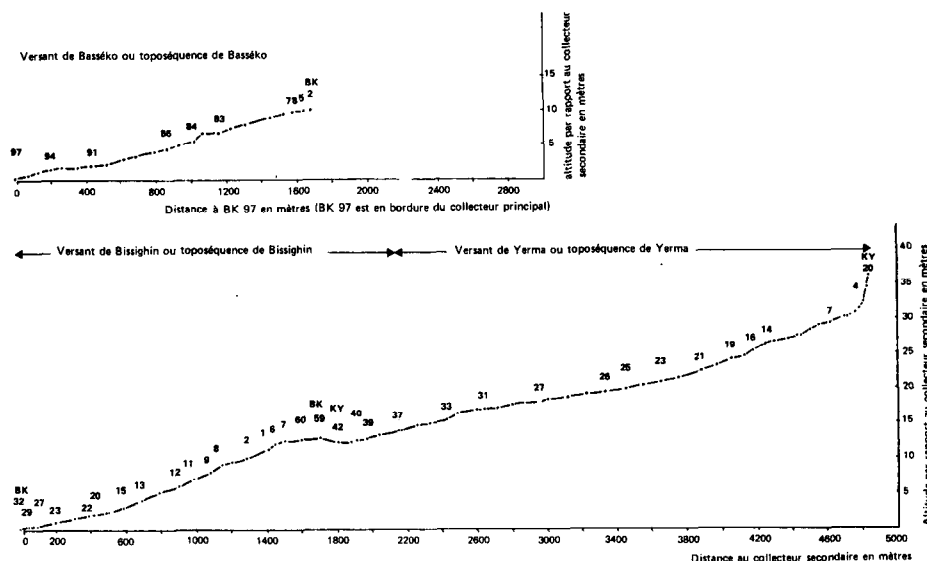


FIG. 2. — Profil en long de la toposéquence principale (pour commodité de représentation la pente est multipliée par 40).

(b) l'indice d'asymétrie A_s déterminé graphiquement par la formule $A_s = \frac{3(\bar{X}_\alpha - Md_\alpha)}{\sigma_\alpha}$.

Il mesure la symétrie de la courbe de fréquence par rapport à l'axe des x en un point dont l'abscisse est celle de la moyenne. Lorsque comme c'est le cas ici, les diamètres sont décroissants de gauche à droite, le signe négatif indique un tri meilleur des sables fins.

(c) l'écart interquartile S_0 ou coefficient de triage de Trask :

$$\log S_0 = \frac{(Q_3 - Q_1)}{2} : 10.$$

Nous remarquons que lorsqu'il ne s'agit que de comparer les tris de populations de sables (c'est-à-dire d'étudier leurs relations sédimentologiques) on peut se contenter de remplacer, dans la représentation graphique des échantillons, les courbes cumulatives par les écarts types des populations. C'est la solution que nous retenons dans le cadre de ce travail.

2.2.2. Les courbes cumulatives semi-logarithmiques (Cailleux et Tricart 1959) : fig. 4

Elles ont servi au calcul rapide des paramètres suivants :

(a) médiane Md : diamètre correspondant à l'ordonnée 50 %,

(b) premier quartile Q_1 : diamètre correspondant à l'ordonnée 25 %,

(c) troisième quartile Q_3 : diamètre correspondant à l'ordonnée 75 %,

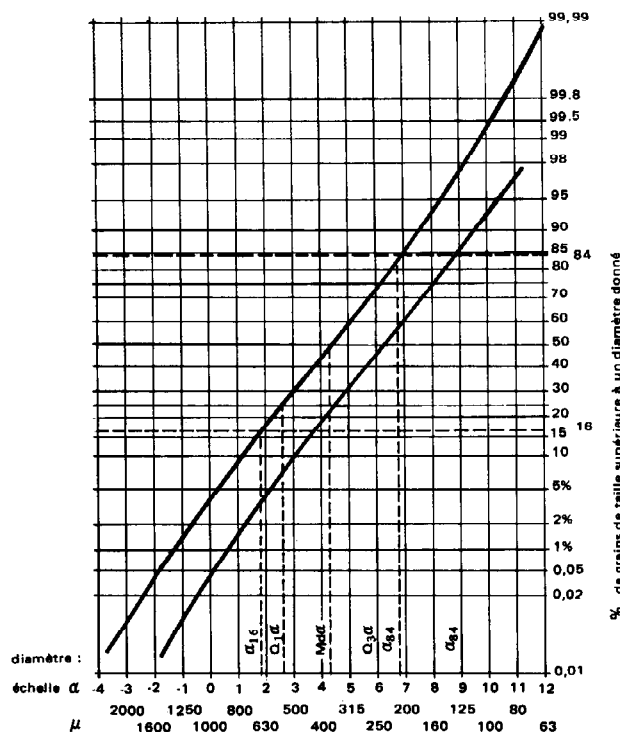
(d) cinquième centile : diamètre correspondant à l'ordonnée 5 %,

(e) $Qdphi$ de Krumbein : demi intervalle d'abscisses entre Q_1 et Q_3 , mesuré avec une bandelette spécialement graduée. Plus $Qdphi$ est grand, plus le sédiment est mal trié,

(e) pente des quartiles Δ : mesuré avec la même bandelette que $Qdphi$, Δ représente la différence algébrique entre Q_1Md et MdQ_3 . Nous avons préféré cette détermination rapide de la pente de quartiles à celle de $Ska = 1/2 (Q_1 + Q_3 - 2Md)$. Remarquons que $\Delta = 2Md - (Q_1 + Q_3) = -2Ska$.

Si Δ est positif les sables fins sont mieux triés que les sables grossiers, et c'est l'inverse si Δ est négatif.

(f) Q_1Md et Q_3Md : mesurés avec la même bandelette que $Qdphi$, ils représentent respectivement les tris des sables grossiers et des sables fins. Plus ils sont grands, moins les sables correspondants sont triés.



- écarts types

$$\sigma_1 = \frac{\alpha_{8.4} - \alpha_{1.6}}{2} = \frac{6.8 - 2.8}{2} = 2.5$$

$$\sigma_2 = \alpha_{8.4} - \alpha_{1.6} = \frac{8.8 - 3.8}{2} = 2.5$$

$\sigma_1 = \sigma_2$: les rapports des fréquences des différentes classes granulométriques restent identiques de l'échantillon 1 à l'échantillon 2. Les deux échantillons ne diffèrent que par leur moyenne : les deux courbes cumulatives sont parallèles.

- moyennes

$$\bar{X}_{e1} = \frac{\alpha_{8.4} + \alpha_{1.6}}{2} = \frac{6.8 + 1.8}{2} = 4.3$$

$$\bar{X}_{e2} = \frac{\alpha_{8.4} + \alpha_{1.6}}{2} = \frac{8.8 + 3.8}{2} = 6.3$$

- indices d'asymétrie

$$A_s = \frac{3(\bar{X}_\alpha - Md_\alpha)}{\sigma}$$

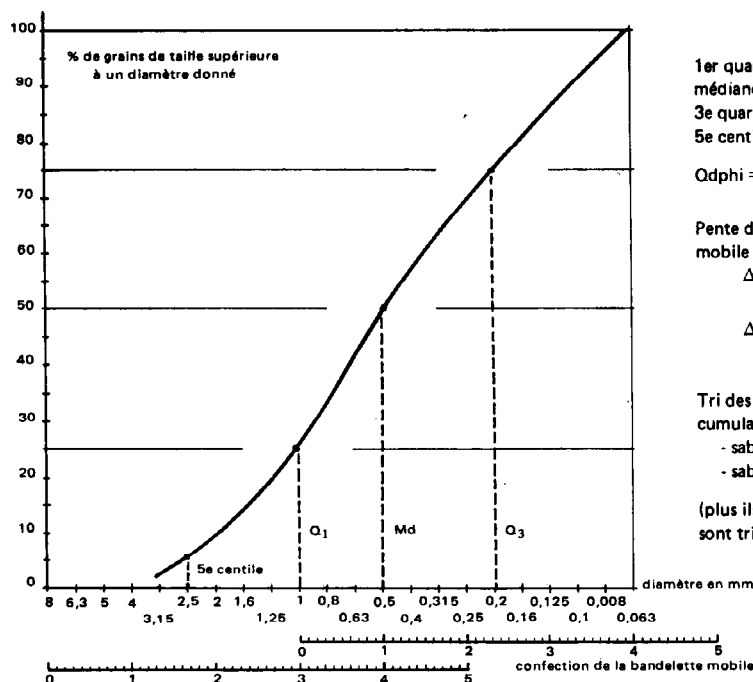
$$A_{s1} = \frac{3(4.3 - 4.3)}{2.5} = 0$$

- coefficient de triage de Trask

$$So \alpha = \left(\frac{Q_3 \alpha - Q_1 \alpha}{2} \right) : 10$$

$$So \alpha_1 = \frac{6.0 - 2.6}{20} = 0.17$$

FIG. 3 — Courbes cumulatives de deux populations de sables, proches de la normalité (ordonnées en échelle de probabilité, abscisses en échelle α) : détermination des paramètres retenus sur deux exemples.



1er quartile $Q_1 = 1000 \mu$

médiane $Md = 500 \mu$

3e quartile $Q_3 = 200 \mu$

5e centile $= 2500 \mu$

$Q_{dphi} = \frac{2.33}{2} = 1,17$ (plus il est petit, mieux les sables sont triés)

Pente des quartiles mesurée avec la bandelette mobile :

$$\Delta = Q_1 Md - Md Q_3 = 1.0 - 1.33 = -0.33$$

$\Delta < 0$: sables grossiers mieux triés

Tri des sables dans la partie centrale de la courbe cumulative, mesuré avec la bandelette mobile :

- sables grossiers $Q_1 Md = 1.0$

- sables fins $Md Q_3 = 1.33$

(plus ils sont petits, mieux les sables correspondants sont triés)

FIG. 4 — Courbe cumulative (coordonnées semilogarithmiques). Détermination des différents paramètres retenus sur un exemple.

2.2.3. Le diamètre moyen des sables

« C'est la somme du produit du pourcentage de chaque fraction de sables par le diamètre moyen de la fraction, divisée par le pourcentage total des sables. Il reste relativement constant pour certaines entités lithologiques (dépôts éoliens par exemple) sur de très larges étendues » (Crægaert, 1954).

3. Le matériel d'étude : les sols

Ce sont les sols du complexe d'altération kaolinique tels que nous les avons caractérisés dans le Secteur Centre-Sud de la Haute-Volta, dans les zones de démantèlement des cuirasses anciennes. « L'hétérogénéité dans la répartition des sols est la règle : nature des matériaux résiduels du cuirassement ancien qui dépend du niveau de la troncature, nature et épaisseur des matériaux de recouvrement... on a de grandes variations dans la nature des sols sur quelques centaines de mètres, ou moins... » (Kaloga, 1969).

On distingue :

(a) des sols squelettiques gravillonnaires ou sableux et gravillonnaires sur cuirasse ou carapace,

(b) des sols à pseudogley hérité : matériaux ferruginisés tachetés ou bigarrés qui, selon l'état de durcissement des taches ferrugineuses sont meubles ou indurés en véritables carapaces. Ils sont sous-jacents à des matériaux sableux ou (et) gravillonnaires de faibles épaisseurs,

(c) des sols ferrugineux tropicaux remaniés à aspect morphologique lessivé sur matériau argilo-sableux ou sablo-argileux. Ces sols comportent en profondeur, soit une cuirasse ou une carapace, soit le matériau tacheté ou bigarré : le passage à ces niveaux ferruginisés se fait souvent ici par l'intermédiaire d'un niveau gravillonnaire, argilo-gravillonnaire, ou à éléments ferrugineux d'aspect nodulaire mais non gravillonnaire (1).

Ces sols ferrugineux ont, dans les parties amont des toposéquences de Bissighin et de Basséko, un aspect peu lessivé (couleur rouge ou ocre), tout en conservant la même différenciation par ailleurs.

(1) Gravillon : élément ferrugineux de forme nodulaire et d'aspect allochtone : forme arrondie ou émoussée, cortex externe bien individualisé et patiné, induration très forte, cassure brun rouge foncé tranchant sur celle des matériaux environnants.

Ils sont hydromorphes et associés à des sols hydromorphes à pseudogley dans les plaines basses.

Le matériau tacheté ou bigarré kaolinique passe progressivement en profondeur à une arène limoneuse sur les faciès surmicacés de la roche mère, sableuse sur les faciès leucocrates.

Les cuirasses et carapaces passent :

— au matériau kaolinique tacheté dans la toposéquence de Yerma, dans la plaine basse de la toposéquence de Bissighin, dans la partie aval et la plaine basse de la toposéquence de Basséko.

— à une argile plus ou moins vertique dans les parties amont et aval de la toposéquence Bissighin, dans la partie amont de la toposéquence de Basséko.

EVOLUTION DU SQUELETTE SABLEUX LE LONG DU PROFIL

Avant de tirer des conclusions d'une étude granulométrique des fractions sableuses de profils de sols comportant des matériaux imprégnés de fer, il faut s'assurer dans quelle mesure, d'une part la ferruginisation, c'est-à-dire l'imprégnation par des oxydes et hydroxydes de fer, d'autre part la libération des sables du ciment ferrugineux par attaque chlorhydrique modifient la granulométrie des sables.

1. Revue bibliographique sommaire

La dégradation de ces carcasses anioniques (squelette silicaté) est susceptible de se réaliser lorsqu'au sein d'un milieu d'attaque, on pourra imaginer la formation d'une liaison cation structural-anion silicaté qui soit plus forte que n'importe quelle liaison du milieu initial (Hénin, Pedro Robert, 1968).

Les liaisons de type Si-O-Mg sont plus stables dans certaines conditions que les liaisons Si-O-Si, et des « réactions du même genre peuvent se produire avec le fer, ce qui permet de mieux comprendre certains phénomènes surprenant à première vue tels, par exemple, que la corrosion et la vulnérabilité des grains de quartz dans les profils latéritiques ou la dégradation accélérée des feldspaths en milieu ferrugineux (Struillou, 1965) » (Hénin, Pedro et Robert, 1968).

Ainsi les matériaux ferruginisés peuvent correspondre à une attaque plus poussée des anions structuraux (squelette silicaté). Le morcellement du quartz peut y être plus poussé.

Fauck (1971) a fait une revue des auteurs qui ont étudié ce problème :

De Coninck et Herbillon (1969) ont indiqué que des quartz se fragmentent dans des alfisols des régions tempérées. Ils considèrent que cette fragmentation est en relation étroite avec le lessivage du fer.

Chauvel et Pédro (1967) ont montré la fragilité des quartz envahis par le fer et la difficulté d'utiliser certaines méthodes granulométriques.

Leneuf (1966) décrit le blanchiment des quartz dans les altérations et la réalité de leur microdivision.

Wackermann (1968) souligne la tendance au déplacement du mode des sables quartzeux vers les tailles limoneuses.

Fauck lui-même (1971) attribue à ces mécanismes de pédogénèse :

(a) la diminution relative de la fraction des sables grossiers dans l'ensemble du profil, mais plus particulièrement marquée dans les horizons C et dans les horizons supérieurs appauvris.

(b) l'augmentation relative de la teneur en sables très fins (tailles comprises entre 50 et 100 μ) dans les horizons C et B, et leur diminution nette et rapide dans les horizons appauvris.

Lorsque de tels mécanismes interviennent, il est impossible de tirer une quelconque conclusion d'ordre morphogénétique de l'étude granulométrique des fractions sableuses de tels matériaux.

L'étude des variations de la granulométrie des sables le long des profils doit nous renseigner sur le rôle que de tels mécanismes ont pu jouer dans l'évolution des matériaux étudiés.

2. Variations de la granulométrie des sables le long des profils : les enseignements des courbes cumulatives en log probabilité

Nous avons signalé que lorsqu'il ne s'agit que de comparer les tris de population normales de sables, c'est-à-dire de savoir qu'ils appartiennent à la même famille sédimentologique, on peut remplacer les courbes cumulatives par les écarts types des populations.

Ainsi, on peut comparer les populations de sables des horizons constitutifs d'un profil donné en portant sur un graphique, en abscisses les écarts types et en ordonnées une épaisseur fictive par horizon. Lorsque ces populations appartiennent à la même famille sédimentologique, les points figuratifs des différents

horizons s'ajustent autour d'une droite perpendiculaire à l'axe des abscisses.

Etant donné que nous n'avons pas à faire à des populations normales, mais à des mélanges de populations, les courbes cumulatives sont des successions d'un certain nombre de segments de droite dont chacun caractérise une population normale de sables. On peut calculer graphiquement les écarts type théorique de ces populations et comparer entre eux les tronçons compris entre les mêmes limites granulométriques.

2.1. TOPOSÉQUENCE DE YERMA

Rappelons que les profils sont constitués de trois types de formations pédologiques qui sont de haut en bas :

(a) les matériaux superficiels meubles non ferruginisés : sableux à argilo-sableux auxquels on rattache les matériaux argilo-gravillonnaires sans justifier cela pour l'instant ;

(b) les matériaux ferruginisés : cuirasses, carapaces, matériaux bigarrés ou tachetés ;

(c) les arènes.

Dans ces trois familles de formations pédologiques et dans un même profil, les sables grossiers (1 600 μ à 630 μ ou même parfois 400 μ) appartiennent à la même famille (même écart type) : il n'y a pas de variations significatives dans les rapports des fréquences des différentes classes granulométriques (fig. 5).

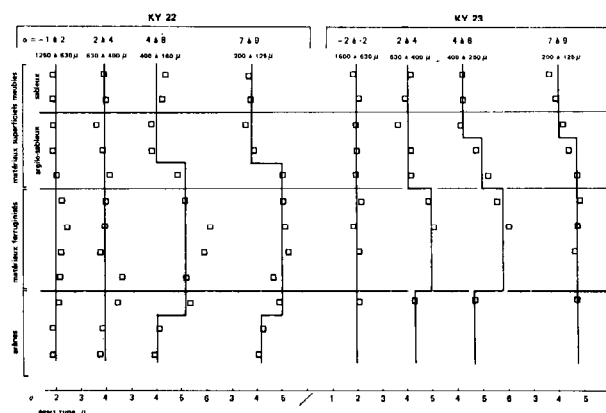


FIG. 5. — Écarts types des différentes populations de sables le long du même profil.

Par contre, par le comportement des sables moyens et fins (500μ ou 400μ à 125μ ou 100μ), ces trois familles de formations pédologiques correspondent à trois familles de squelette sableux. On constate, par rapport aux sables grossiers, une diminution très nette des fréquences des sables moyens et fins dans les niveaux ferruginisés et leur augmentation dans les matériaux superficiels meubles non ferruginisés et dans les arènes. Ainsi le comportement des matériaux superficiels meubles se rapproche-t-il de celui des arènes. Il faut remarquer qu'à cet égard les matériaux argilo-gravillonnaires se rattachent bien aux matériaux superficiels meubles non ferruginisés et non aux matériaux ferruginisés.

Parfois cependant (profil KY 23 fig. 5), les matériaux superficiels meubles se différencient en plus d'une famille par le comportement des sables fins et très fins (taille inférieure à $\alpha = 4$ ou 400μ). Mais les

limites des familles ne sont pas texturales. D'autre part, par le comportement des sables fins, la base des matériaux superficiels meubles se rattache assez souvent aux matériaux ferruginisés.

2.2. TOPOSÉQUENCE DE BISSIGHIN

Pour la plupart des profils étudiés, seuls les matériaux superficiels meubles ont été traités.

On constate (fig. 6) que ces matériaux forment le plus souvent une famille de sables pour les fractions sableuses comprises entre $\alpha = -2$ ($1\,600 \mu$) et $\alpha = 2$ (630μ). Comme dans la toposéquence de Yerma, cette famille comprend également les fractions sableuses correspondantes des matériaux ferruginisés lorsque ceux-ci ont fait l'objet de déterminations (profil BK 5, fig. 6).

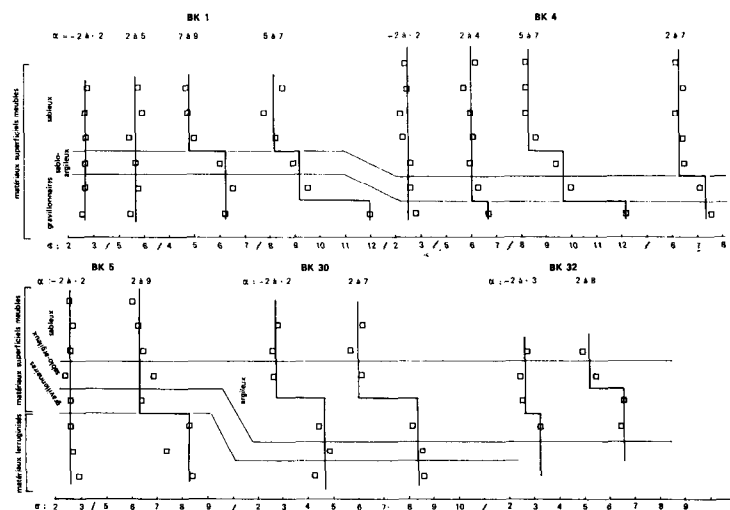


FIG. 6. — Ecartis types des différentes populations de sables le long du même profil.

Par contre, dans la moitié des profils de la plaine basse, les matériaux superficiels meubles constituent deux familles de sables, même pour les fractions grossières comprises entre $1\,600 \mu$ et 400μ ; les limites des familles ne sont pas texturales (fig. 4, profils BK 50 et BK 32).

Sur l'ensemble de la toposéquence, et comme dans celle de Yerma, les matériaux superficiels meubles peuvent constituer, pour les fractions sableuses de tailles inférieures à $\alpha = 5$ (315μ) ou $\alpha = 4$ (400μ),

deux ou trois familles dont les limites ne sont pas toujours texturales.

3. Signification des phénomènes observés

Dans la plupart des profils de sols étudiés, on constate que, des arènes de profondeur aux matériaux de surface, la fraction sableuse grossière ($1\,600 \mu$ à 630μ) des différents horizons constitue une seule famille dans un profil donné.

Par contre, les matériaux ferruginisés sont caractérisés, par rapport aux matériaux superficiels meubles qui les recouvrent et par rapport aux arènes sous-jacentes, par une diminution de la fréquence des sables moyens et fins. Dans la plaine basse de la toposéquence de Bissighin, ce phénomène oppose, dans certains profils, deux familles de matériaux superficiels meubles.

Quelle est la signification d'un tel phénomène ?

3.1. UN FRACTIONNEMENT MÉCANIQUE DES SABLES GROSSIERS ?

Le fractionnement des sables grossiers sous l'action des mécanismes relevant de l'action du fer se traduirait par une augmentation de la fréquence des sables fins et très fins dans les matériaux ferruginisés par rapport aux arènes et aux matériaux superficiels meubles (non imprégnés de fer). Or, on observe le phénomène inverse.

Du reste, quel que soit le processus invoqué, dès lors qu'il suppose que l'augmentation des fréquences des sables fins est imputable à un fractionnement des sables grossiers, on doit observer une diminution des fréquences de ces derniers. Mais nous venons de montrer que des arènes aux matériaux de surface, les fréquences des sables grossiers restent inchangées.

On peut donc dire :

— d'une part que les traitements appliqués pour séparer les sables ne provoquent pas un fractionnement artificiel des sables ;

— d'autre part que l'augmentation de la fréquence des sables fins en surface et dans les arènes n'est due à un fractionnement d'origine pédogénétique des sables grossiers.

3.2. UN APPORT DE SABLES FINS EN SURFACE ?

On pourrait expliquer par là le maintien des rapports des différentes fractions de sables grossiers. Mais, il ne peut pas expliquer à lui seul le fait que le comportement des arènes tend à se rapprocher de celui des matériaux superficiels sableux.

3.3. UNE ALTÉRATION CHIMIQUE PLUS POUSSÉE DANS LES MATÉRIAUX FERRUGINISÉS ?

Si l'on suppose que dans la roche mère la granulométrie des feldspaths est sensiblement la même que celle des quartz, un fractionnement rapide et total des feldspaths altérables se traduirait par leur élimina-

tion de la fraction sables grossiers. Celle-ci sera donc essentiellement constituée de quartz et de feldspaths difficilement altérables qui n'ont pas subi de fractionnement. Les rapports entre les fréquences des différentes classes de sables grossiers restent ainsi les mêmes que dans la roche mère, c'est-à-dire constants, alors que la proportion de l'ensemble de la fraction sables grossiers a diminué au profit de celle des sables fins. Il y a une augmentation des fréquences des sables fins. De la roche à l'arène, il y aurait ainsi, lorsque le quartz n'est pas fractionné, maintien des rapports entre les fréquences des sables grossiers, mais augmentation de la fréquence des sables fins.

Au fur et à mesure que s'exerce l'altération chimique, les fréquences des sables fins diminuent parce qu'ils sont constitués pour une bonne part de minéraux altérables et cette diminution est d'autant plus forte que l'altération chimique est forte, sans cependant atteindre le stade de l'attaque du quartz.

Comment cette théorie s'applique-t-elle aux sols étudiés.

3.3.1. Composition minéralogique de quelques fractions sableuses

Nous avons pu obtenir, pour les profils KY 3 (amont de la toposéquence de Yerma) et BK 6 (amont de la toposéquence de Bissighin) les analyses aux RX des fractions granulométriques suivantes :

- 2 mm à 200 μ (sables grossiers),
 - 200 μ à 50 μ (sables fins),
- dans un certain nombre de prélèvements.

Profil KY 3

Il comprend de bas en haut :

- migmatite mésocrate massive,
- arène faiblement altérée (prélèvements KY 3.28 à KY 3.33),
- arène tantôt blanche (faciès leucocrate), tantôt jaunâtre à taches rouges et violacés (faciès mésocrate) : prélèvements KY 3.27 à KY 3.18,
- arène jaune pâle : prélèvements KY 3.17 à KY 3.13,
- arène jaune pâle à taches blanchâtres et petites plages rouges argileuses : prélèvements KI 3.11 à KI 3.7,
- matériau argileux tacheté : prélèvements KY 3.4 à KY 3.6,
- matériau tacheté durci en une carapace ferrugineuse : prélèvements KY 3.1 à KY 3.3.

Dans les sables grossiers des arènes blanches, le minéral le plus important est le quartz, dominant très largement sur les feldspaths : quartz important, un peu de feldspaths ou quart important, feldspaths (KY 3.23 à 3.18).

Dans les sables fins de ces mêmes matériaux, ce sont les feldspaths qui sont les minéraux les plus importants et qui sont dominants sur le quartz : feldspaths, quartz.

Il en est de même dans l'arène jaune pâle (KY 3.17) et dans la partie inférieure de l'arène jaune pâle à taches blanchâtre et à petites plages rouges (KY 3.11). Mais, dans la partie moyenne de cette dernière (KY 3.9), kaolinite et mica sont dominants sur les feldspaths, eux-mêmes dominants sur le quartz. Dans sa partie supérieure (KY 3.7) et dans le matériau tacheté (KY 3.1 et 3.3), les feldspaths ne sont plus décelables dans la fraction sables fins alors que le quartz est toujours présent.

Profil BK 6

Il comporte de bas en haut la succession de matériaux :

- migmatite altérée (prélèvements BK 6.16 et 6.17),
- matériau argileux (prélèvement BK 6.12 à 6.15) avec passée de pagmatite (BK 6.14),
- matériau argilo-graveleux (BK 6.11),
- matériau gravelo-argileux à quelques éléments ferro-manganifères (BK 6.10),
- carapace ferrugineuse (BK 6.9 à 6.7),
- sols ferrugineux tropical de couleur ocre, sableux en surface, argilo-sableux en profondeur.

Dans la migmatite altérée (BK 6.17) et dans le matériau argileux (BK 6.13), les feldspaths sont les minéraux les plus importants dans les sables fins et sont dominants sur le quartz, alors que c'est le contraire dans les sables grossiers.

Dans les matériaux argilo-graveleux et gravelo-argileux pauvres en feldspaths facilement altérables, le quartz est dominant sur les feldspaths tant dans les sables grossiers que dans les sables fins. Mais on peut remarquer, dans le matériau gravelo-argileux que les feldspaths sont mieux représentés dans les sables fins (quartz important, feldspaths) que dans les sables grossiers (quartz important, un peu de feldspaths).

Dans la carapace, il n'y a plus que des traces de feldspaths dans les sables grossiers (quartz important, traces de feldspaths) alors qu'ils sont mieux représentés dans les sables fins (quartz important, feldspaths).

On constate bien de la base au sommet des deux profils étudiés, le morcellement rapide des feldspaths (dominants dans les sables fins des arènes), puis leur altération (disparition progressive des feldspaths de la fraction sables fins). Cette altération est moins forte en BK 6 qu'en KY 3.

D'une façon générale, on observe en lame mince, dans les arènes kaolinitiques, une microdivision rapide des feldspaths, suivie de leur amorphisation. Par contre, le quartz n'est jamais attaqué.

En résumé, l'allure des courbes cumulatives des fractions sableuses le long des profils s'expliquerait, au moins en partie, par l'allure des processus d'altération des feldspaths. La diminution de la fréquence des sables fins serait un indice d'altération plus forte. C'est ce que nous allons tenter de vérifier.

3.3.2. La granulométrie des sables en tant qu'indice d'altération : comparaison avec le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Nous avons choisi d'étudier le profil KY 23 (situé dans la partie médiane de la toposéquence de Yerma), développé dans une migmatite leucocrate paraissant homogène (pas de perturbation du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) et dans lequel les rapports entre les différentes fractions de sables grossiers ($1\ 600\ \mu$ à $630\ \mu$) restent bien constants le long du profil.

On constate qu'il existe une corrélation de rang positive entre les fréquences des sables moyens et fins et le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$:

- avec la fréquence des sables de tailles comprises entre $630\ \mu$ et $400\ \mu$: $r = 0.7619$ pour $n = 8$ $P > 0.05$,
- avec la fréquence des sables de tailles comprises entre $400\ \mu$ et $250\ \mu$: $r = 0.7857$ pour $n = 8$ $P > 0.05$. Par contre, il n'existe aucune corrélation ($r = 0.0360$) avec la fréquence des sables grossiers ($1\ 600\ \mu$ à $630\ \mu$) puisque celle-ci reste constante le long du profil.

4. Conclusion

L'allure des courbes cumulatives des fractions sableuses le long du profil s'explique au moins en partie par l'allure des processus d'altération des feldspaths et non par une fracturation quelconque des quartz, soit d'origine pédologique, soit par les méthodes de fractionnement des sables.

Les matériaux superficiels meubles non ferruginisés forment une famille qui se distingue de celle des matériaux ferruginisés sous-jacents par une diminution des fréquences des sables fins dans cette dernière.

La différence entre ces deux familles peut-être encore mise en évidence par une comparaison des relations entre l'indice d'asymétrie (As) et le coefficient de triage de Trask (So).

Dans les matériaux superficiels meubles, il existe une corrélation de rang positive entre As et So :

$$r = 0.2992 \text{ pour } n = 77 \text{ } P = 0.01$$

Par contre, dans les matériaux ferruginisés, c'est une corrélation de rang négative qui lie ces deux paramètres :

$$r = 0.8486 \text{ pour } n = 36 \text{ } P < 0.01.$$

Si les populations de sables se rapprochent d'une distribution gaussienne, la diminution du tri des sables fins avec maintien de celui des sables grossiers s'accompagne d'une augmentation de l'indice d'asymétrie et du coefficient de triage. C'est ce qui se produit pour les matériaux superficiels meubles. Par contre, dans les matériaux ferruginisés, les distributions s'écartent beaucoup d'une distribution gaussienne et le calcul de l'indice d'asymétrie par la méthode graphique donne des résultats contradictoires.

C'est également ce que montrent les distributions des diamètres moyens des sables : les diamètres moyens des sables des différents types de matériaux superficiels meubles non ferruginisés constituent respectivement des populations normales, tandis que ceux des différents types de matériaux ferruginisés et des matériaux qui leur sont sous-jacents constituent des populations hétérogènes (fig. 7).

Ainsi, les matériaux superficiels meubles sont plus homogènes que les matériaux ferruginisés et cette homogénéité augmente avec le tri. L'hypothèse d'une action morphogénétique concerne donc surtout ces premiers et le chapitre suivant ne traitera que d'eux.

EVOLUTION DU SQUELETTE SABLEUX DANS L'ESPACE : RELATIONS AVEC LES FACTEURS DE LA MORPHOGENÈSE

Cette étude ne concernera que les matériaux superficiels meubles. On y peut distinguer deux types :

(a) les matériaux constitutifs des horizons supérieurs sableux : l'étude de leurs relations avec les

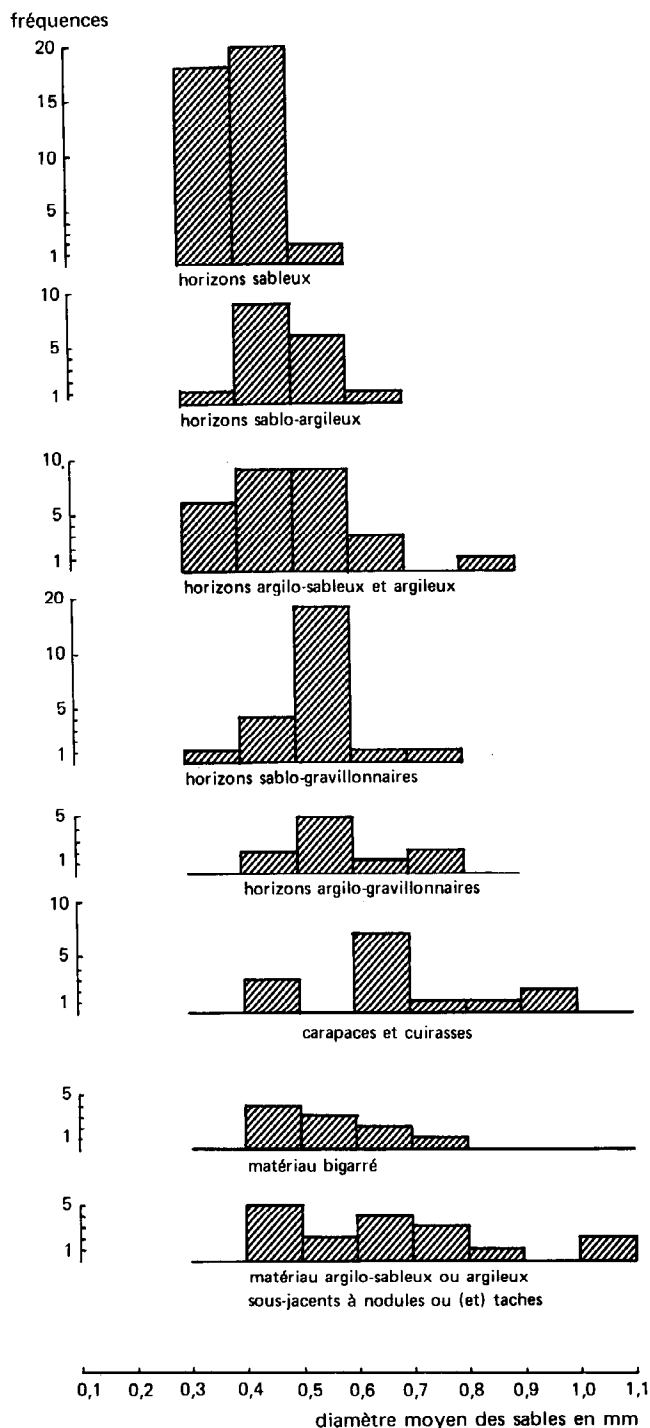


FIG. 7. — Histogrammes des diamètres moyens. Toposéquence KY 1 à BK 32.

facteurs de la morphogenèse est relativement aisée ; il suffit d'étudier l'évolution du squelette sableux en fonction de la distance au collecteur ;

(b) les matériaux constitutifs des horizons inférieurs argilo-sableux ou argilo-sableux gravillonnaires. On ne peut pas leur appliquer le procédé d'étude précédent parce qu'on ne peut pas reconnaître les horizons éventuellement remaniés par la même phase de morphogenèse pour les comparer entre eux. Pour déceler une action éventuelle de la morphogenèse sur ces matériaux, nous avons essayé de voir si celle-ci est responsable de la différenciation texturale de l'ensemble des matériaux superficiels meubles.

1. Evolution des fractions sableuses des horizons de surface en fonction de la distance au collecteur

La différenciation morphologique des profils montre toujours des horizons superficiels sableux au-dessus d'horizons de profondeur plus argileux. Nous cherchons à savoir si cette différenciation est d'origine pédologique ou imputable à des processus de transport. Si les horizons superficiels résultent d'une mise en

place par les agents de la morphogenèse, il doit être possible d'établir une relation entre la granulométrie des sables et la distance au collecteur.

1.1. VARIATIONS DES PARAMÈTRES ÉTUDIÉS PAR TRONÇON DE PENTE

1.1.1. Variations de Q_{dphi} et de $\Delta = (Q_1Md - MdQ_3)$

Rappelons que plus Q_{dphi} est petit, mieux le matériau est trié, et quand Δ augmente, le tri des sables fins s'améliore par rapport à celui des sables grossiers.

La figure 8 montre les variations de Q_{dphi} et de Δ en fonction du logarithme de la distance au collecteur secondaire. Elles divisent le versant en un certain nombre de tronçons de pente :

(a) le flanc de la butte et sa plaine de piémont (KY 1 à KY 25).

(b) la partie amont du versant drainé directement par le collecteur secondaire (BK 7 à BK 8).

(c) la partie moyenne du versant drainé directement par le collecteur secondaire (BK 13 à BK 20).

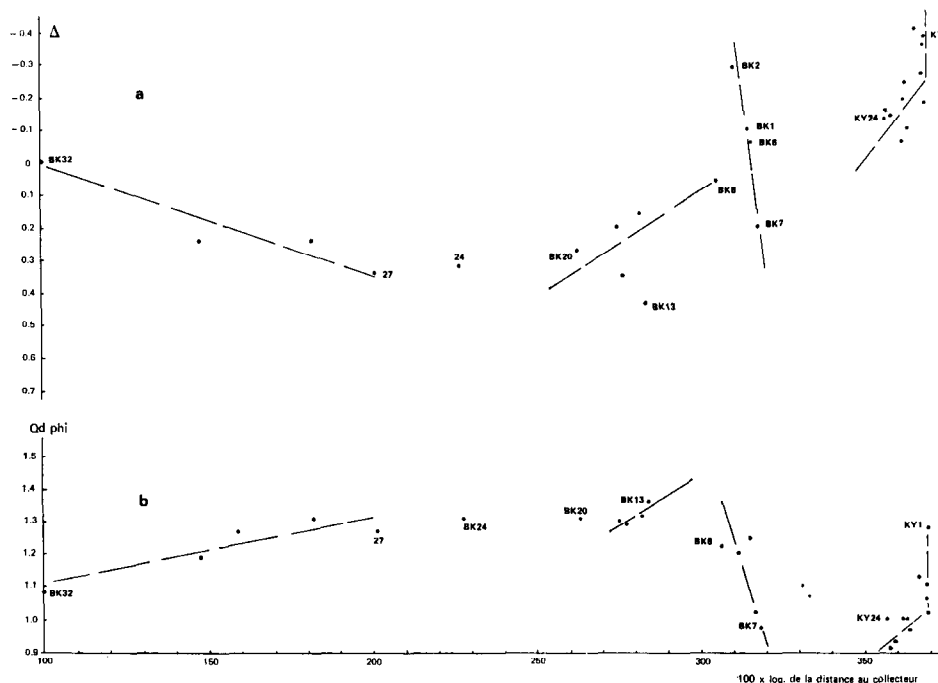


FIG. 8. — a) Variations de $\Delta(Q_1Md - MdQ_3)$ en fonction du log de la distance au collecteur secondaire (horizons A_{11}) ; b) Variations de Q_{dphi} en fonction du log de la distance au collecteur secondaire (horizons A_{11}).

(d) la partie aval du versant drainé directement par le collecteur secondaire (BK 20 à BK 27).

(e) la plaine basse (BK 27 à BK 32).

Sur les tronçons de pente KY 1 à KY 25, BK 13 à BK 20, BK 27 à BK 32, Qdphi diminue (le tri augmente) lorsqu'on descend la pente, très rapidement sur le flanc de la butte, assez rapidement dans la plaine de piémont de la butte et dans la partie moyenne du versant drainé directement par le collecteur secondaire, et moins rapidement dans la plaine basse.

Dans la partie inférieure du versant drainé directement par le collecteur secondaire (BK 20 à BK 27), après la rupture où la pente passe de 1 % environ à 0,5 %, Qdphi reste constant jusqu'à la plaine basse où il diminue à nouveau lorsqu'on descend la pente.

Les variations de Δ suivent en sens inverse celles de Qdphi, sauf dans la plaine basse où Δ diminue comme Qdphi, et sur la partie inférieure du versant (BK 20 à BK 27) où Δ augmente légèrement alors que Qdphi reste constant quand on descend la pente.

Ainsi, le tri des sables fins augmente par rapport à

celui des sables grossiers quand le tri du matériau augmente, sauf dans la plaine basse et en bordure de la plaine basse.

D'autre part, on constate que Δ est négatif sur les deux tronçons de pente amont (sables grossiers mieux triés que les sables fins) et positif sur les autres tronçons de pente (sables fins mieux triés que les sables grossiers).

Sur le versant drainé directement par le collecteur principal (BK 2 à BK 96), les variations de Qdphi et de Δ délimitent deux tronçons de pente (fig. 9) :

(a) BK 2 à BK 86 : Qdphi diminue quand on descend la pente alors que Δ augmente ;

(b) BK 91 à BK 96 : Qdphi reste constant pendant que Δ augmente quand on descend la pente.

Ainsi Qdphi diminue (le tri s'améliore) d'amont en aval jusqu'à la rupture où la pente passe de 1 % environ à 0,5 %. A partir de là, le tri reste constant jusqu'en bordure de la plaine basse. Parallèlement le tri des sables fins s'améliore d'amont en aval par rapport à celui des sables grossiers. On retrouve ainsi le même phénomène que sur le versant drainé directe-

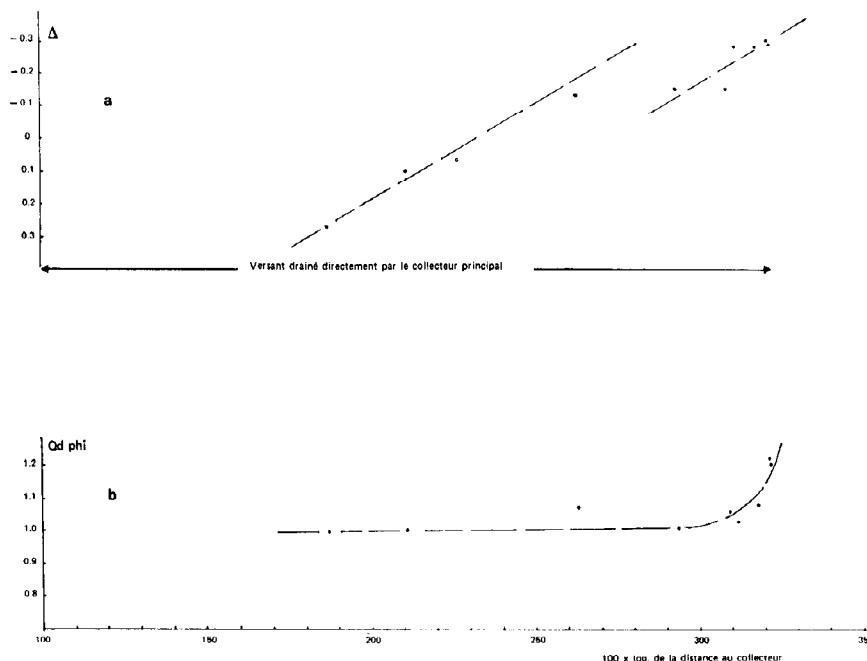


FIG. 9. — a) Variations de $\Delta(Q_1Md - MdQ_3)$ en fonction du log de la distance au collecteur principal (horizons A_{11}) ;
b) Variations de Qdphi en fonction du log de la distance au collecteur principal (horizons A_{11}).

ment par le collecteur secondaire, et comme sur celui-ci, Δ est positif à l'amont (sables grossiers mieux triés) et négatif à l'aval (sables fins mieux triés).

1.1.2. Variations de la taille des sables

La figure 10 montre les variations du premier quartile (Q_1), de la médiane (Md) et du troisième quartile (Q_3), en fonction du logarithme de la distance au collecteur secondaire. Ces variations délimitent trois tronçons de pente :

(a) le flanc de la butte et sa plaine de piémont (KY 1 à KY 25) ;

(b) le versant drainé directement par le collecteur secondaire (partie amont et partie moyenne BK 7 à BK 20) ;

(c) partie inférieure du versant et plaine basse (BK 20 à BK 32).

Sur chacun de ces tronçons de pente, Q_1 diminue d'amont en aval, mais de moins en moins rapidement

du tronçon amont au tronçon aval. Il en est de même pour Md et Q_3 avec cette différence que ces deux paramètres restent constants dans la partie inférieure du versant et dans la plaine basse (BK 20 à BK 32).

Si on considère les variations du 5^e centile (fig. 11), elles délimitent les mêmes tronçons de pente que celles de Q_{dphi} et de Δ . Sur chacun de ces tronçons de pente (sauf le tronçon BK 7 - BK 8), le 5^e centile décroît d'amont en aval, mais moins rapidement dans la plaine basse. Sur le tronçon de pente BK 7 - BK 8, le 5^e centile augmente d'amont en aval.

Sur le versant drainé directement par le collecteur principal (BK 2 à BK 96), les variations du 5^e centile (fig. 11), de Q_1 , Md et Q_3 (fig. 12) délimitent les deux mêmes tronçons de pente que celles de Q_{dphi} et de Δ . Sur chacun de ces tronçons de pente, les valeurs de ces paramètres décroissent d'amont en aval.

À l'échelle du versant drainé directement par le collecteur principal, la taille moyenne des sables, qu'ils soient grossiers ou fins décroît d'amont en aval.

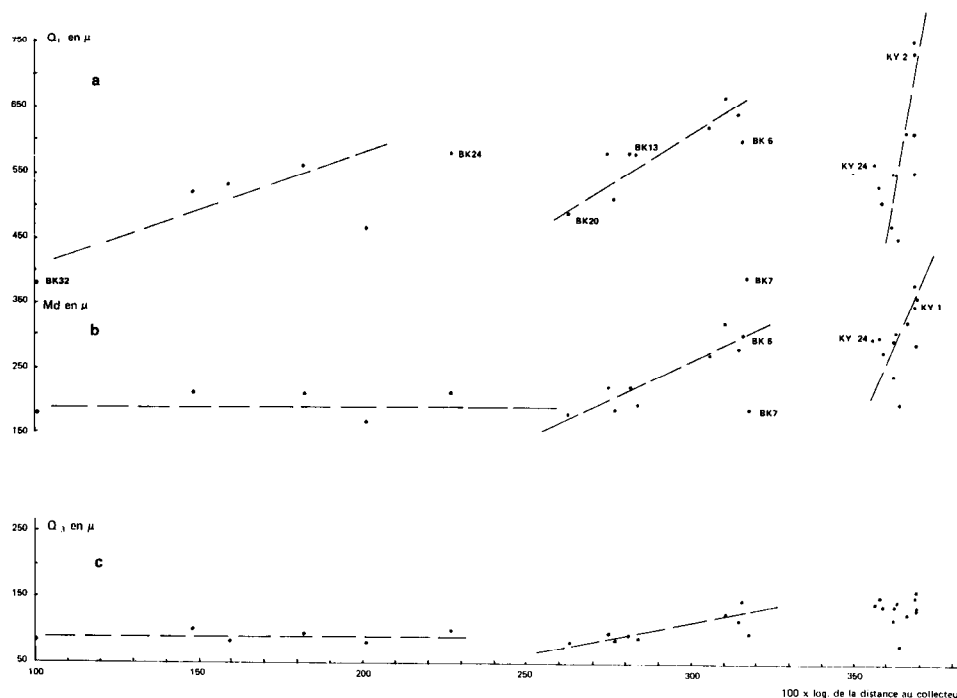


FIG. 10. — Variations de Q_1 , Md et Q_3 en fonction du log de la distance au collecteur secondaire (horizons A₁₁).
a) Variations de Q_1 ; b) Variations de Md ; c) Variations de Q_3 .

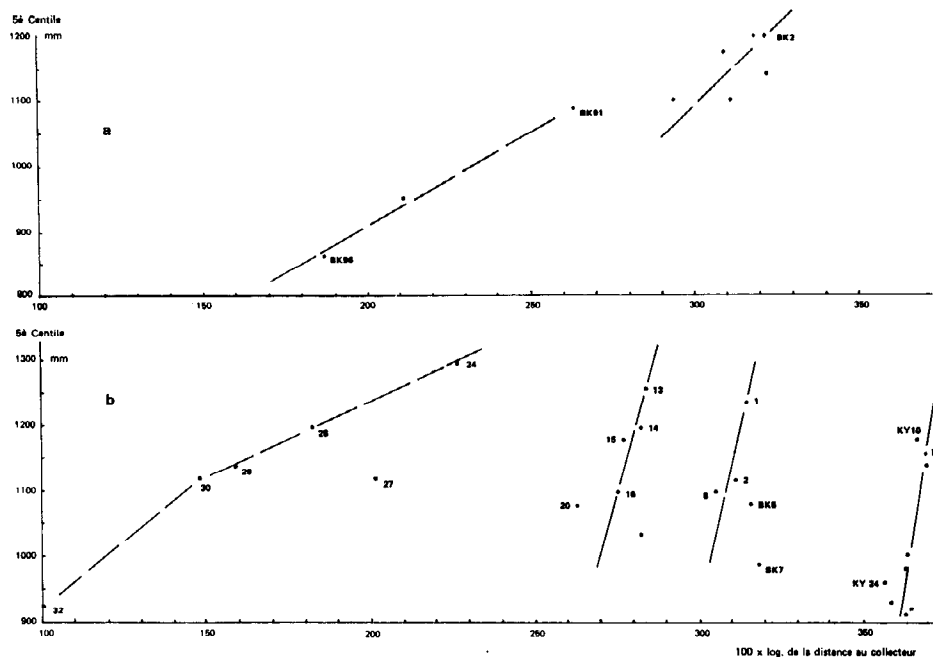


FIG. 11. — a) 5° centile en fonction de la distance au collecteur principal. Versant drainé directement par le collecteur principal ;
b) 5° centile en fonction du log de la distance au collecteur secondaire.

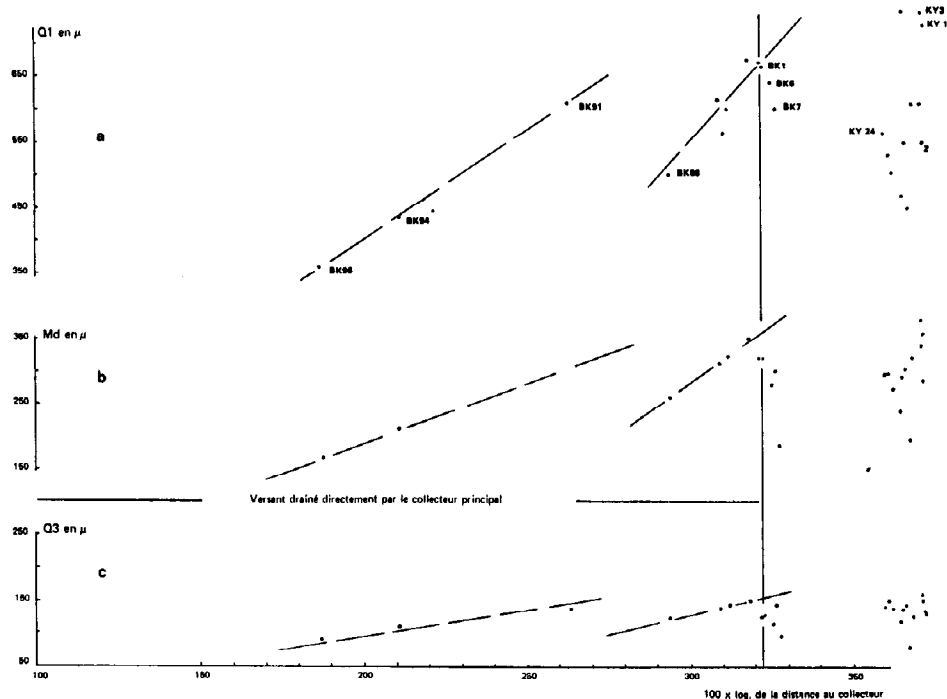


FIG. 12. — Variations de Q_1 , M_d , Q_3 en fonction du log de la distance au collecteur principal (horizons A₁₁).
a) Variations de Q_1 ; b) Variations de M_d ; c) Variations de Q_3 .

1.2. VARIATIONS DES PARAMÈTRES ÉTUDIÉS À L'ÉCHELLE DU VERSANT ENTIER

1.2.1. Variations en direction du collecteur secondaire

On constate que :

(a) Le 5^e centile et le premier quartile ne marquent de variations significatives. Il n'y a pas de corrélation entre ces paramètres et la distance au collecteur.

(b) La médiane (Md) et le troisième quartile (Q₃) décroissent d'amont en aval jusqu'à la rupture de pente en BK 20 (fig. 10). Il existe une corrélation de rang positive entre la distance au collecteur et :

— la médiane : $r = 0.7274$ $n = 27$ $P < 0.001$

— le troisième quartile : $r = 0.6544$ $n = 27$ $P < 0.001$

(c) $\Delta = (Q_1Md - MdQ_3)$ augmente d'amont en aval jusqu'en bordure de la plaine basse, tandis que Qdphi augmente jusqu'à la rupture de pente en BK 20 (fig. 8). Il existe une corrélation de rang négative entre la distance au collecteur et :

— Δ : $r = -0.7526$ $n = 27$ $P < 0.001$

— Qdphi : $r = -0.5159$ $n = 27$ $P < 0.01$

(d) Il existe une corrélation de rang négative entre :

— Q₃ et Qdphi : $r = -0.6937$ $n = 27$ $P < 0.001$

— Md et Qdphi : $r = -0.4608$ $n = 27$ $P < 0.02$ (corrélation beaucoup moins significative qu'avec Q₃)

— Q₁Md (tri des sables grossiers) et la distance au collecteur :

$r = -0.6856$ $n = 22$ $P < 0.001$.

(e) Il n'y a pas de corrélation entre Qdphi et Q₁ et entre Q₃Md (tri des sables fins) et la distance au collecteur.

Ainsi d'amont en aval en direction du collecteur secondaire, on observe une diminution de la taille moyenne des fractions moyennes et fines des sables en même temps qu'une diminution du tri du squelette sableux, une augmentation du tri des sables fins par rapport à celui des sables grossiers. La diminution du tri du squelette sableux est liée à la diminution de la taille moyenne des sables fins.

1.2.2. Variations en direction du collecteur principal

On n'observe aucune variation significative des valeurs des paramètres étudiés si on considère l'ensemble du versant en direction du collecteur principal.

1.3. INTERPRÉTATION DES VARIATIONS DES PARAMÈTRES ÉTUDIÉS

1.3.1. Variations à l'échelle des tronçons de pente

Dans l'étude des variations des différents paramètres en fonction de la distance au collecteur, le tronçon de pente qui va du profil BK 7 au profil BK 8 en direction du collecteur secondaire fait exception. Nous étudierons donc son cas à part.

Sur les autres tronçons de pente, Qdphi diminue (le tri de l'ensemble du squelette sableux s'améliore) lorsqu'on se rapproche du collecteur. Cette amélioration est faible à nulle lorsque la pente s'abaisse à 0,50 % environ, sauf dans la plaine basse du collecteur secondaire où le tri s'améliore assez fortement d'amont en aval, malgré la faiblesse de la pente.

Cette amélioration du tri d'amont en aval est corrélatrice :

— d'une augmentation du tri des sables fins par rapport à celui des sables grossiers, sauf dans la plaine basse où il se produit le phénomène inverse ;

— d'une diminution de la taille moyenne des sables qu'ils soient très grossiers, grossiers ou fins.

Il y a donc, d'amont en aval, à l'échelle de chaque tronçon de pente, une accumulation de sables de plus en plus fins et de mieux en mieux triés. C'est ainsi que les sables fins, moins bien triés que les sables grossiers sur les tronçons de pente amont, deviennent mieux triés que ces derniers sur les tronçons aval. On constate d'autre part, à l'échelle de chaque tronçon de pente que les variations de Q₁Md (tri des sables grossiers) sont mal définies, alors que MdQ₃ (tri des sables fins) diminue d'amont en aval (fig. 13 et 14).

Cependant, dans la plaine basse du collecteur secondaire, Md et Q₃ restent constants d'amont en aval tandis que le 5^e décile et le 1^{er} quartile diminuent, Qdphi (le tri de l'ensemble du squelette sableux) reste constant, Q₁ Md diminue rapidement (le tri des sables grossiers s'améliore rapidement), MdQ₃ reste à peu près constant ou augmente légèrement (le tri des sables fins ne marque pas de variation significative ou diminue légèrement). Il y a accumulation de sables fins non triés. Mais cela n'explique pas l'amélioration du tri des sables grossiers. Il faut faire appel à une mise en place en deux phases :

— une première phase de tri plus efficace où les fractions fines des sables sont éliminées et les fractions grossières mieux triées d'amont en aval,

— une deuxième phase de tri moins efficace, avec accumulation de sables fins non triés.

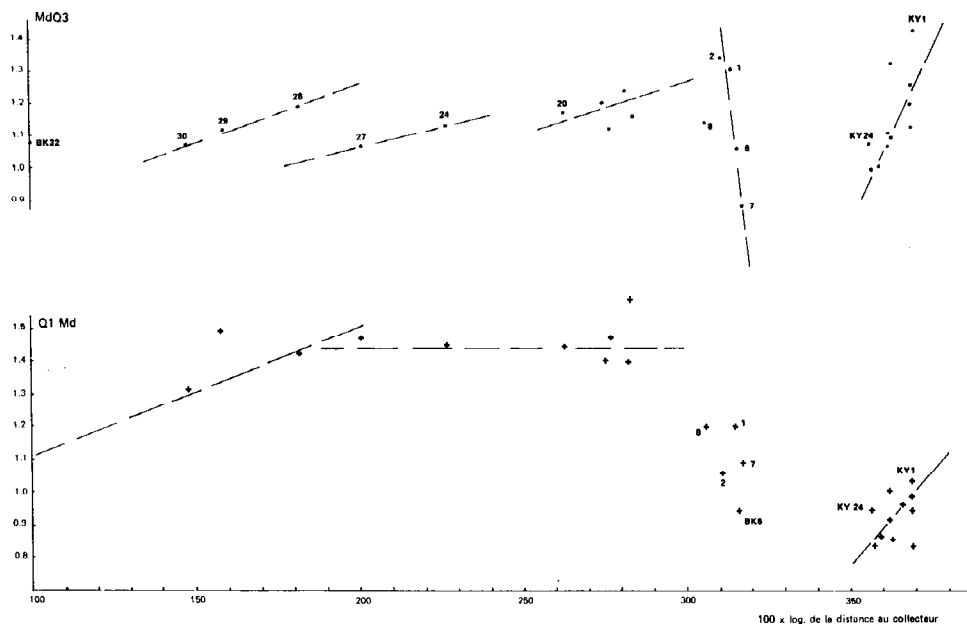


FIG. 13 (en haut). — Variations de MdQ_3 en fonction du log de la distance au collecteur secondaire.

FIG. 14 (en bas). — Variations de Q_1Md en fonction du log de la distance au collecteur secondaire.

Sur le tronçon de pente BK 7 - BK 8, $Qdphi$ augmente au contraire (le tri de l'ensemble du squelette sableux diminue) d'amont en aval, ainsi que la taille moyenne des sables (du 5^e décile au 3^e quartile), tandis que le tri des sables fins diminue par rapport à celui des sables grossiers.

Ces variations sont introduites principalement par les profils BK 7 et BK 8. L'observation à la loupe binoculaire montre que les sables des horizons superficiels de ces profils sont constitués par un mélange de sables éoliens (émoussés picotés ou plus rarement ronds mats) et de sables subanguleux et anguleux non éolisés. L'aspect morphologique de ces sols rappelle par ailleurs celui des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur ensablements éoliens du Nord de la Haute-Volta. Ils ne se différencient de ces derniers que par leur texture beaucoup plus argileuse en profondeur. Cela explique la détérioration du tri des sables fins d'amont (profils BK 7 et BK 6) en aval et l'augmentation de la taille moyenne des sables.

1.3.2. Variations à l'échelle du versant entier

A l'échelle du versant en direction du collecteur secondaire, il y a d'amont en aval :

(a) une diminution de la taille médiane des sables et de la taille moyenne des sables fins (diminution de Md et Q_3) sans variation de celle des sables grossiers (pas de variation de Q_1), d'où une augmentation de l'intervalle d'abscisses Q_1Md (diminution du tri des sables grossiers). Il existe en effet une corrélation de rang négative et hautement significative entre Q_1Md et :

$$- Q_3 : r = -0.8275 \quad n : 27 \quad P < 0.001$$

$$- Md : r = -0.7965 \quad n : 27 \quad P < 0.001$$

mais il n'y a pas de corrélation entre Q_1Md et Q_1 ($r = -0.1639 \quad n = 27 \quad P > 0.10$).

(b) une dégradation du tri des sables grossiers alors qu'on n'observe pas de variation bien définie de celui des sables fins (MdQ_3). L'amélioration de ce dernier par rapport au premier, est traduite par les variations de Δ .

(c) une diminution du tri de l'ensemble du squelette sableux (augmentation de $Qdphi$), principalement imputable à la dégradation du tri des sables grossiers (corrélation de rang négative et très hautement significative entre $Qdphi$ et Q_1Md , beaucoup moins significative entre $Qdphi$ et MdQ_3).

On constate d'amont en aval à l'échelle du versant entier en direction du collecteur secondaire, une accumulation de sables fins dont le tri reste sensiblement constant, mais dont la taille décroît : les rapports entre les classes granulométriques de sables fins restent identiques. C'est là le résultat de l'action d'un courant qui ne transporte que des sables fins et dont « la vitesse (1) diminue peu à peu. Les particules les plus grossières se déposent les premières et la taille maximum des grains qui restent en mouvement décroît. Les rapports entre les classes granulométriques du matériel en mouvement restent identiques à ceux du matériau originel » (Døglas, 1960).

Il y a ainsi, d'amont en aval à l'échelle du versant entier en direction du collecteur secondaire, transport et accumulation de sables fins par un agent de transport dont la vitesse ou la compétence diminue.

L'absence de variations significatives des paramètres étudiés en direction du collecteur principal s'explique par le fait que le façonnement en direction du collecteur secondaire est plus récent et commande la répartition des matériaux étudiés.

1.3.3. Conclusion

Les matériaux constitutifs des horizons superficiels sableux A_{11} ont été différenciés par des processus de morphogénèse. Ces processus se sont déroulés en deux phases :

(a) une phase de transport et d'accumulation de sables fins non triés à l'échelle du versant entier en direction du collecteur secondaire par un agent dont la vitesse ou la compétence diminue d'amont en aval.

(b) une phase de transport et d'accumulation de sables fins de mieux en mieux triés et de plus en plus fins d'amont en aval, sous l'action d'un agent moins puissant que dans la phase précédente, mais dont la vitesse ou la compétence augmente de l'amont vers l'aval.

Les variations du tri des horizons de surface A_{12} en direction du collecteur secondaire suivent celles des horizons A_{11} . Ils constituent donc avec ces derniers une même famille de matériaux quant au mode de différenciation : ils ont été également mis en place par des processus de morphogénèse.

(1) ou la compétence.

2. Relations entre la texture des matériaux et quelques paramètres de tri des sables

Cette étude sera limitée au versant en direction du collecteur secondaire (versant de Yerma et versant de Bissighin).

2.1. TENEURS EN ARGILE+LIMON ET PENTE DES QUARTILES (Δ)

Sur l'ensemble de la toposéquence en direction du collecteur secondaire, les teneurs en argile+limon diminuent quand les valeurs algébriques de Δ augmentent, c'est-à-dire quand le tri des sables fins augmente (fig. 15).

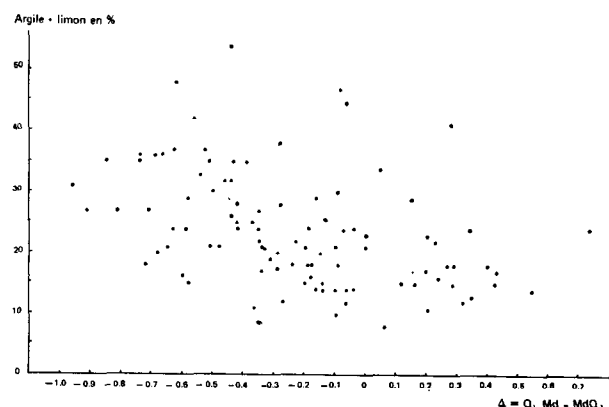


FIG. 15. — Argile+limon en fonction de $\Delta = Q_1Md - MdQ_3$. Ensemble du versant en direction du collecteur secondaire.

On ne constate pas de différences entre les parties supérieure et inférieure du versant. Remarquons que Δ ne fait intervenir que la partie centrale de la courbe cumulative.

2.2. TENEURS EN ARGILE+LIMON ET INDICE D'ASYMÉTRIE (As)

2.2.1. Versant supérieur et partie amont du versant moyen (KY 2 à BK 8)

Nous avons considéré les valeurs absolues de l'indice d'asymétrie. En fait tous les échantillons, excepté trois, ont un indice d'asymétrie positif (sables grossiers mieux triés).

Les teneurs en argile+limon diminuent quand les indices d'asymétrie diminuent (fig. 16) c'est-à-dire quand le tri des sables fins augmente par rapport à celui des sables grossiers.

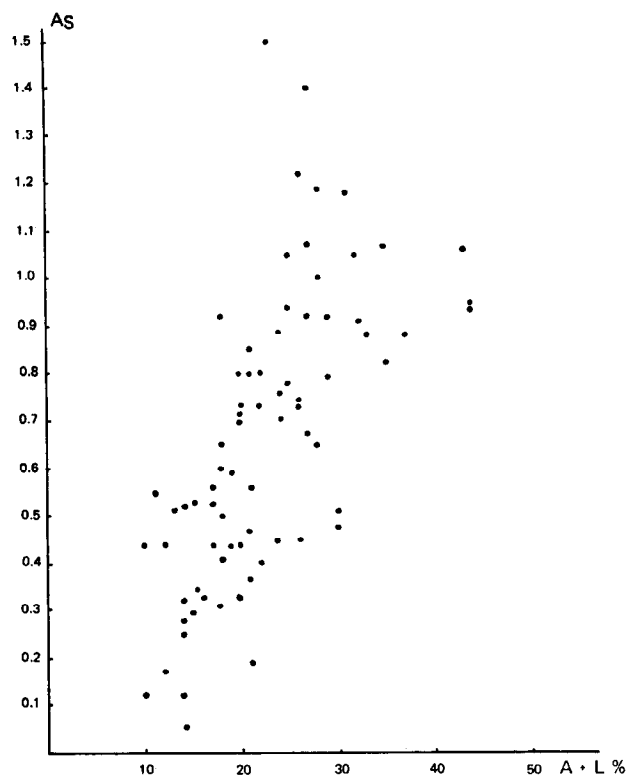


FIG. 16. — Argile+limon en fonction de l'indice d'asymétrie (KY₂ à BK₈).

Le coefficient de corrélation entre l'indice d'asymétrie et la teneur en argile+limon est égale à 0,63 avec une probabilité inférieure à 10^{-9} d'être nul.

On retrouve le même résultat qu'avec Δ .

2.2.2. Partie aval du versant moyen et plaine basse (BK 13 à BK 32)

Il y a deux populations d'indices d'asymétrie : une population de valeurs positives et une population de valeurs négatives.

En considérant la valeur algébrique de A_s , il existe une corrélation de rang positive entre celle-ci et la teneur en argile+limon : $r = 0,5988$ pour $n = 41$ $P < 0,01$.

Cette relation subsiste si on ne considère que les seules valeurs négatives de A_s qui concernent essentiellement la partie supérieure des matériaux superficiels meubles.

Comme sur le versant supérieur, les teneurs en argile+limon diminuent quand le tri des sables fins augmente.

2.3. INTERPRÉTATION DES RELATIONS OBSERVÉES

Les teneurs en argile+limon diminuent quand le tri des sables fins augmente. Ce phénomène intéresse l'ensemble du versant et peut avoir plusieurs significations :

(a) il peut être imputable à la présence des horizons superficiels sableux toujours plus riches en sables fins et toujours plus pauvres en argile+limon. Mais on le retrouve lorsqu'on ne considère que les seuls horizons de profondeur pour lesquels on constate :

— une corrélation de rang négative entre la valeur algébrique de Δ et la teneur en argile+limon : $r = -0,3715$ pour $n = 39$ $P < 0,02$ sur le versant supérieur et la partie amont du versant moyen (KY 2 à BK 8),

— une corrélation de rang positive entre la valeur algébrique de A_s (indice d'asymétrie et la teneur en argile+limon : $r = 0,4337$ pour $n = 39$ $P < 0,01$ sur le versant supérieur et la partie amont du versant moyen (KY 2 à BK 8).

(b) le tri des sables fins est un paramètre d'altération qui différencie entre eux les matériaux superficiels. La diminution signifierait une altération plus forte avec une plus forte proportion d'argile. Mais on n'observe pas de corrélation entre le tri des sables fins et le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ou la teneur en alumine insoluble.

(c) Le tri des sables fins est imputable à un processus d'accumulation absolue ou (et) relative : accumulation absolue de sables fins mal triés et d'argile+limon dans les zones d'accumulation, accumulation relative de sables fins bien triés par départ d'argile+limon dans les zones de transit.

C'est cette interprétation que nous retiendrons étant donné que les deux premières ne peuvent l'être.

Ainsi, les teneurs en argile+limon apparaissent liées plus à des processus de remaniement qu'à des processus de pédogenèse.

CONCLUSIONS

Ce travail a permis de montrer que dans les sols ferrugineux tropicaux du bassin versant étudié, les matériaux superficiels meubles non ferruginisés qui constituent la partie des profils située au-dessus des matériaux ferruginisés (cuirasse, carapace ou matériau bigarré) sont une famille de matériaux homogènes par les caractéristiques du squelette sableux. Cette famille se distingue des matériaux ferruginisés sous-jacents par sa plus grande richesse en sables fins.

Cette richesse en sables fins, plus importante dans les matériaux constitutifs des horizons superficiels sableux, n'est pas due à une fracturation quelconque des quartz soit d'origine pédologique (altération chimique ou mécanique), soit par les méthodes de fractionnement des sables.

On démontre pour les horizons superficiels sableux que cet enrichissement en sables fins dépend de la distance aux collecteurs et est par conséquent imputable à un processus de transport. Ce processus de transport ne se limite pas à un simple appauvrissement en argile, puisque la granulométrie des sables elle-même est fonction de la distance aux collecteurs.

D'autre part, en ce qui concerne la différenciation texturale des matériaux superficiels meubles, on constate que les teneurs en argile + limon sont liées au tri des sables fins et par là plutôt à des processus de remaniement qu'à des processus pédogénétiques (lessivage et accumulation d'argile).

Ainsi, la différenciation texturale des matériaux superficiels meubles relève plus de processus de morphogénèse (transport et remaniement) que de processus de pédogénèse. Ces résultats sont en accord avec ceux que l'observation morphologique suggère.

En effet :

(a) l'épaisseur très irrégulière des matériaux superficiels meubles sur de très faibles distances et parfois dans le même profil (on a noté des variations allant de moins de 10 cm à plus d'un mètre dans la même fosse pédologique et dans une zone plane),

(b) l'existence à la base de certains matériaux superficiels meubles et au-dessus de matériaux ferruginisés tels des cuirasses ou des carapaces de lits graveleux ou (et) gravillonnaires constituant des pièges par excellence pour les solutions ferrugineuses éventuelles migrant de haut en bas, mais non imprégnés par les sesquioxides de fer,

(c) le passage brutal de la cuirasse ou de la carapace aux matériaux superficiels meubles sans induction d'aucune ségrégation ferrugineuse dans ces derniers même dans la zone de contact, sont des caractères difficiles à interpréter dans le concept de la physico-chimie de l'évolution de type ferrugineux tropical lessivé à taches, concrétions, carapace ou cuirasse.

D'autre part sur la pente de plus de 2 km qui va de KY 37 à BK 32 vers le collecteur secondaire, et sur toutes les autres toposéquences du versant de Bissighin, la roche mère dominante est une migmatite hétérogène fortement injectée de pegmatite. Cependant, les matériaux superficiels meubles, contrairement aux matériaux ferruginisés et aux matériaux d'altération sous-jacents à ces derniers, ne contiennent jamais de cailloux ou graviers de quartz, sauf parfois à leur base.

Il faut signaler également que la morphologie des profils de la plaine de piémont de la butte (KY 3 à KY 26) montre que nombre d'entre eux sont d'une manière apparente, des profils tronqués (matériau bigarré affleurant ou subaffleurant).

Cependant, Lévêque (1975), travaillant sur les sols développés dans le granitogneiss du Togo arrive à une conclusion différente de la nôtre. Ces sols comportent :

(a) un niveau superficiel (I) constitué essentiellement de matériaux fins (de taille inférieure à 2 mm) et caractérisé par une forte éluviation d'argile,

(b) un niveau de profondeur moyenne (II) où est concentrée la presque totalité des éléments grossiers du profil (nodules, concrétions, graviers et cailloux de quartz),

(c) un niveau profond (III) constitué par l'altération en place de la roche mère.

Si Lévêque confirme l'intense bouleversement mécanique des matériaux I et II, il pense que cela s'est fait sans déplacement latéral. Il se base sur la présence ou l'absence de relations entre un certain nombre de caractéristiques et la position topographique et entre autres l'absence de relations entre celle-ci et :

(a) les variations de la granulométrie des sables quartzeux en fonction de la profondeur dans la partie remaniée,

(b) le bilan comparatif de la partie remaniée des profils par rapport au niveau III en place (déficit en sables grossiers et fins, excédent en sables de taille moyenne).

Il attribue la différenciation texturale observée à la dynamique des termitières au cours des temps.

L'intérêt du travail est d'avoir réussi à relier d'une part la granulométrie et le tri des sables des horizons appauvris en argile aux facteurs de la morphogénèse

(distance au collecteur, pente), d'autre part les teneurs en argile+limon de l'ensemble des matériaux superficiels meubles à des paramètres de tri des sables.

Manuscrit reçu au Service des Publications le 19 septembre 1977

BIBLIOGRAPHIE

- BILLY (G.), 1954. — Etude des courbes normales de dispersion. Eléments de statistiques à l'usage des naturalistes. Publ. Centre de Documentation Universitaire, Paris.
- CAILLEUX (A.), TRICART (J.), 1959. — Initiation à l'étude des sables et des galets, t. 1, 376 p. Centre de Documentation Universitaire, Paris.
- CHAUVEL (A.), PEDRO (G.), 1967. — Considérations sur l'analyse granulométrique et le problème de la détermination de la constitution minéralogique élémentaire de certains sols tropicaux ; nécessité et limites de la déferrification. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 264 : 2089-2092.
- CONINCK (F. DE), HERBILLON (A.), 1969. — Evolution minéralogique et chimique des fractions argileuses dans des alfisols et des spodosols de la Campine (Belgique). *Pédologie*, vol. XIX, n° 2 : 159-272.
- CROEGAERT (J.), 1954. — Analyse granulométrique. Représentation des résultats. C.R. 2^e Conf. Interafric. des sols, Léopoldville, vol. I : 151-162.
- DOUGLAS (D.J.), 1960. — Sedimentological data for soil mineralogy. C.R. 7^e Cong. Int. Sci. du sol, Madison, vol. VII, 13 : 534.
- FAUCK (R.), 1971. — Contribution à l'étude des sols des régions tropicales. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale. (Thèse Doct. Université de Strasbourg), *Mém. ORSTOM*, n° 61.
- HÉNIN (S.), PEDRO (G.), ROBERT (M.), 1968. — Considérations sur les notions de stabilité et d'instabilité des minéraux en fonction des conditions du milieu ; essai de classification du « système d'agression ». C.R. 9^e Cong. Int. Sci. du sol, vol. 3 : 79-90.
- KALOGA (B.), 1969. — Sols et pédogenèse dans les bassins versants des Voltas Blanche et Rouge. ORSTOM, Centre de Dakar-Hann, 1 vol. 362 p. ronéo.
- KALOGA (B.), 1969. — Etude pédologique de la Haute-Volta, Région Centre-Sud. ORSTOM, Centre de Dakar-Hann, 247 p. ronéo, 1 carte à 1/500 000.
- LENEUF (N.), 1966. — Le processus de lessivage dans les sols ferrallitiques, *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* vol. IV, n° 4 : 25-27.
- LÉVÊQUE (A.), 1976. — Pédogenèse sur le socle granito-gneissique du Togo. Différenciation des sols et remaniements superficiels. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* vol. XIV, n° 1 : 63-72.
- STRUILLLOU (R.), 1965. — Rôle du fer dans l'altération rapide des feldspaths en climat tempéré. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 261 : 485-488.
- WACKERMANN (J.M.), 1968. — Les faciès pétrographiques de la série de Mako dans les régions de Kanéméré et Mamakono (Sénégal Oriental). ORSTOM, Centre de Dakar-Hann, 34 p. *multigr.*