

# Méthode de présentation des résultats de l'analyse granulométrique des sables en vue de leur interprétation pour les sols développés sur le socle granito-gneissique au Togo

A. LÉVÊQUE

*Pédologue de l'ORSTOM  
SSC Bondy (France)*

## RÉSUMÉ

*Les méthodes sédimentologiques d'analyse et d'interprétation des résultats granulométriques se révèlent difficilement transposables au domaine purement pédogénétique. A propos d'une étude générale de l'évolution des sols sur le socle granito-gneissique du Togo, une approche différente fut utilisée pour tenter de résoudre le problème de la signification des remaniements manifestes observés dans les profils.*

*La méthode proposée pour l'interprétation des données texturales des sables, se base sur le calcul, pour chaque classe de ces derniers, d'un « quotient granulométrique ». Celui-ci, sous la forme d'un rapport des pourcentages des sables d'une même classe, d'un horizon ou d'un groupe d'horizons à un autre, permet de suivre entre ceux-ci, l'évolution ou la modification de la granulométrie des minéraux non ou peu altérables.*

## ABSTRACT

*The sedimentological methods of analysis and interpretation of the granulometric results are not easily transposed to the purely pedogenetic field. In reference to a general study of soil evolution on the granitogneissic basement in Togo, a different approach was used in order to try to solve the problem of the meaning of the obvious disturbances observed in the soil profiles.*

*The method proposed for the interpretation of the textural data is based on the calculation of a « granulometric quotient » for each group of sands, which is a relation of sand percentages of one class of a horizon or a group of horizons to another. This enables one to follow, between these quotients, the evolution or the modification of the granulometry of the slightly or no alterable minerals.*

## PLAN

### 1. Introduction

1.1. Situation du problème .....	1
1.2. Les méthodes employées en sédimentologie .....	1
1.3. Les sols du socle granito-gneissique togolais .....	3

### 2. Méthodologie

2.1. Principe de la méthode .....	7
2.2. Présentation des résultats .....	10
2.3. Inconvénients et avantages .....	12

### 3. Technique .....

### 4. Conclusion .....

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Situation du problème

De nombreuses études pédologiques révèlent plus ou moins explicitement, la nécessité de s'assurer que les horizons successifs des profils en cause dérivent tous du même matériau originel. Autrement dit, que ces profils ne sont pas, en réalité, complexes.

Parmi les voies offertes aux tentatives de solution de ce problème, la granulométrie des sables a toujours été utilisée de préférence. Elle ne requiert, en effet, a priori du moins, qu'un matériel simple et peut se prêter à des déterminations de grande série. Tout naturellement, munis des données fournies par le laboratoire, les pédologues se sont, le plus souvent tournés vers les sédimentologues afin d'interpréter leurs résultats.

### 1.2. Les méthodes employées en sédimentologie

La plupart, sinon la totalité des travaux effectués en la matière, sont basés sur l'analyse des courbes cumulatives ainsi que des histogrammes et courbes de fréquences construits à partir des pourcentages des classes granulométriques retenues. Ces résultats, quelque peu bruts servent ensuite à calculer des indices numériques : médiane, quartiles, déciles et autres fractiles. Ceux-ci sont destinés à traduire, d'une façon plus ou moins synthétique, la grossièreté d'une formation. Des indices plus élaborés, tels que  $Q_d$  de KRUMBEIN, hétérométrie de CAILLEUX (He), Sorting Index de TRASK (So), indice d'asymétrie, etc. (CAILLEUX et TRICART, 1959 ; RIVIÈRE, 1967) permettent de préciser les caractères des distributions entre les différentes classes granulométriques plus ou moins arbitrairement définies. Tous ces indices sont malheureusement calculés à partir de rapports établis sur des valeurs correspondant seulement à deux points, trois au plus (pour l'indice d'asymétrie) de la courbe des pourcentages cumulés. Cela entraîne donc une importante perte d'information, un danger certain par suite de l'arbitraire du choix des fractiles et, en tout cas, un très grand risque de synthétisation trop poussée. Il est évident que des distributions granulométriques très différentes, non seulement dans leurs tailles extrêmes, mais également dans leur partie médiane, peuvent présenter des valeurs identiques

pour ces indices. RIVIÈRE (1953) ne se contente pas de se baser sur des rapports établis à partir de valeurs aussi fragmentaires. Il compare la totalité d'une assez grande partie médiane des courbes cumulatives à des « faciès granulométriques » types (parabolique, logarithmique, hyperbolique) qu'il nomme « courbes canoniques théoriques ». Comme le souligne l'auteur, il n'existe pas de solution de continuité entre les faciès extrêmes. L'essentiel de la méthode consiste, après divers artifices graphiques, à estimer la déviation des courbes par rapport au faciès moyen logarithmique et d'en donner une forme mathématique.

DOEGLAS (1955), un peu dans le même esprit a défini une fonction exponentielle de distribution fréquentielle des sédiments. Il se préoccupa, au départ de sa démarche, des limites passablement restrictives des habituels diagrammes triangulaires utilisés par les pédologues entre autres. Il élaborait une représentation graphique (diagramme rectangulaire) où peuvent figurer toutes les classes granulométriques et ce, pour plusieurs prélèvements à la fois. Il n'est pas du propos de cette courte note, de détailler les diverses opérations conduisant au graphique de Doeglas. Nous retiendrons seulement qu'il présente l'inconvénient sérieux, pour le pédologue, de ne pas voir respectée la succession verticale naturelle des prélèvements sur le terrain. Si bien qu'il est extrêmement difficile de saisir l'évolution granulométrique en fonction de la profondeur dans un même profil. D'autre part, l'emploi des pourcentages cumulatifs ne permet pas de se donner une idée suffisamment parlante de l'allure du « profil » d'une classe granulométrique donnée, que l'on voudrait étudier plus précisément. La méthode proposée par cet auteur ne semble donc, pour le domaine concerné, être plus pratique, ni donner plus de résultats que le simple établissement systématique du « profil » de chaque classe granulométrique en fonction de la profondeur et de ses pourcentages respectifs.

On retire de toutes ces démarches graphiques et des calculs dérivés, de précieuses indications quant au degré ainsi qu'au mode de triage des matériaux étudiés. Par différentes méthodes comparatives, les sédimentologues peuvent effectivement porter des diagnostics relativement précis quant à l'origine ainsi qu'au mode de transport des matériaux qu'on leur soumet. Du moins dans un certain domaine : il s'agit, principalement, des formations sédimentaires telles qu'alluvions fluviales, lacustres ou marines, ou bien des dépôts éoliens. GUILLIEN (1954) cependant, s'est servi de la méthode des courbes canoniques de RIVIÈRE pour définir les conditions de dépôt de pentes dans

les régions calcaires du bassin parisien. C'est l'un des rares exemples d'application fructueuse, hors du domaine habituel des sédimentologues, des méthodes élaborées par ceux-ci.

D'assez nombreux pédologues ont tenté de transposer à leur champ d'étude, l'approche sédimentologique. Certains travaux se sont préoccupés de préciser par la notion de famille de matériau originel la classification de leurs sols (FAUCK, 1961 ; HERVIEU, 1966 ; PIAS, 1968 ; SOURDAT et M. DELAUNE, 1970). D'autres ont porté leurs efforts sur l'appréciation de l'hétérogénéité du matériau de leurs profils (FAUCK, 1961 ; KALOGA, 1966) ou même sur la signification pédogénétique des modifications que peut subir la granulométrie (FAUCK, 1971).

On retire de la bibliographie de toutes ces études que, dès qu'il sort du domaine sédimentologique pur (par exemple : classification des matériaux originels de provenance alluviale), le pédologue éprouve des difficultés certaines pour donner une interprétation confiante des résultats de ses calculs d'indices, aussi multiples soient-ils. On voit d'ailleurs très difficilement comment il pourrait en être autrement. En effet, dans le domaine sédimentaire, un des facteurs de transport, puis de dépôt est, le plus souvent, suffisamment puissant et prédominant pour que son action puisse nettement transparaître à travers les divers indices calculés ainsi qu'à l'observation des courbes de distribution. Il n'en est pas de même dans le domaine pédologique où les facteurs de transport et de bouleversement de la granulométrie sont multiples et d'ampleur limitée. Ils sont, d'autre part, susceptibles d'aboutir à des convergences par un nombre considérable de combinaisons de leurs effets : creep, divers types d'érosion, remaniements biologiques, évolution physico-chimique des grains, néoformation de particules, etc.

### 1.3. Les sols du socle granito-gneissique togolais

La « voie sédimentologique » d'interprétation des résultats granulométriques fut également explorée dans le travail en cours sur la pédogenèse du socle granito-gneissique au Togo. Il s'agissait là de préciser le degré de parenté du matériau constitutif des divers horizons des profils.

En quelque position topo-géomorphologique que l'on se trouve, à quelque catégorie de sols que l'on ait à faire, les horizons supérieurs offrent une multitude de symptômes d'un intense remaniement par

rapport aux horizons profonds (le plus souvent : BC, et C). La très grande majorité de ces derniers révèle, en effet, la présence de zones de roche-mère ameublie par l'altération mais encore structurée, ou/et de filons et filonnets de quartz non ou très peu disloqués. Ils sont, avec une certitude absolue, bien en place et dérivés directement de la roche-mère observable en profondeur.

La parenté des horizons supérieurs (A et B en général, parfois seulement une partie de leur ensemble) avec ceux qui leur sont sous-jacents est très loin d'apparaître certaine. En particulier, la présence, à une profondeur plus ou moins importante d'une nappe de gravats (LÉVÊQUE, 1969) surmontée d'un ou de plusieurs horizons de terre fine, autorise largement à penser qu'il y a eu apport de matériaux de recouvrement. Si l'on se réfère aux nombreux travaux sur la morphogenèse des régions tropicales, l'origine de cet apport peut être lointaine et n'entretenir aucune parenté avec les matériaux sous-jacents en place. D'autre part, certains des quartz de cette nappe de gravats présentent parfois de fines stries d'usure mécanique, sans compter la forme arrondie de nombreux nodules ferrugineux. Enfin, même la morphologie de la matrice (ou remplissage de terre fine) est très fréquemment affectée, dans toutes ses composantes, d'une modification profonde et rapide, voire brutale, quand on passe des horizons en place à ceux qui sont plus superficiels.

Signalons au passage, que cette distribution d'ordre granulométrique affecte pratiquement *tous* les sols de la région naturelle étudiée. C'est un phénomène général, qui n'est d'ailleurs pas particulier au Togo mais visible dans toute la partie intertropicale du continent africain. Par ailleurs, certaines observations que nous avons effectuées en France, qui l'ont été d'autre part aux Etats-Unis, en Amérique du Sud, etc., permettent de penser qu'il est mondial.

Adoptant la terminologie de LAPORTE (1962), nous pouvons grouper les horizons constitutifs des profils en *trois niveaux* : ceux-ci sont du sommet à la base :

*Le niveau I*, superficiel, de terre fine, pratiquement dépourvu d'éléments grossiers.

*Le niveau II* réalisant une concentration, parfois importante, aussi bien en puissance qu'en intensité, de ce que nous appellerons ici, « individus granulométriques » de taille plus ou moins grande (pouvant atteindre plusieurs décimètres) et parfois usés mécaniquement (et/ou chimiquement ?) : quartz, nodules et concrétions ferrugineux, fragments plus ou moins ferruginisés de roches diverses. Cette dénomination

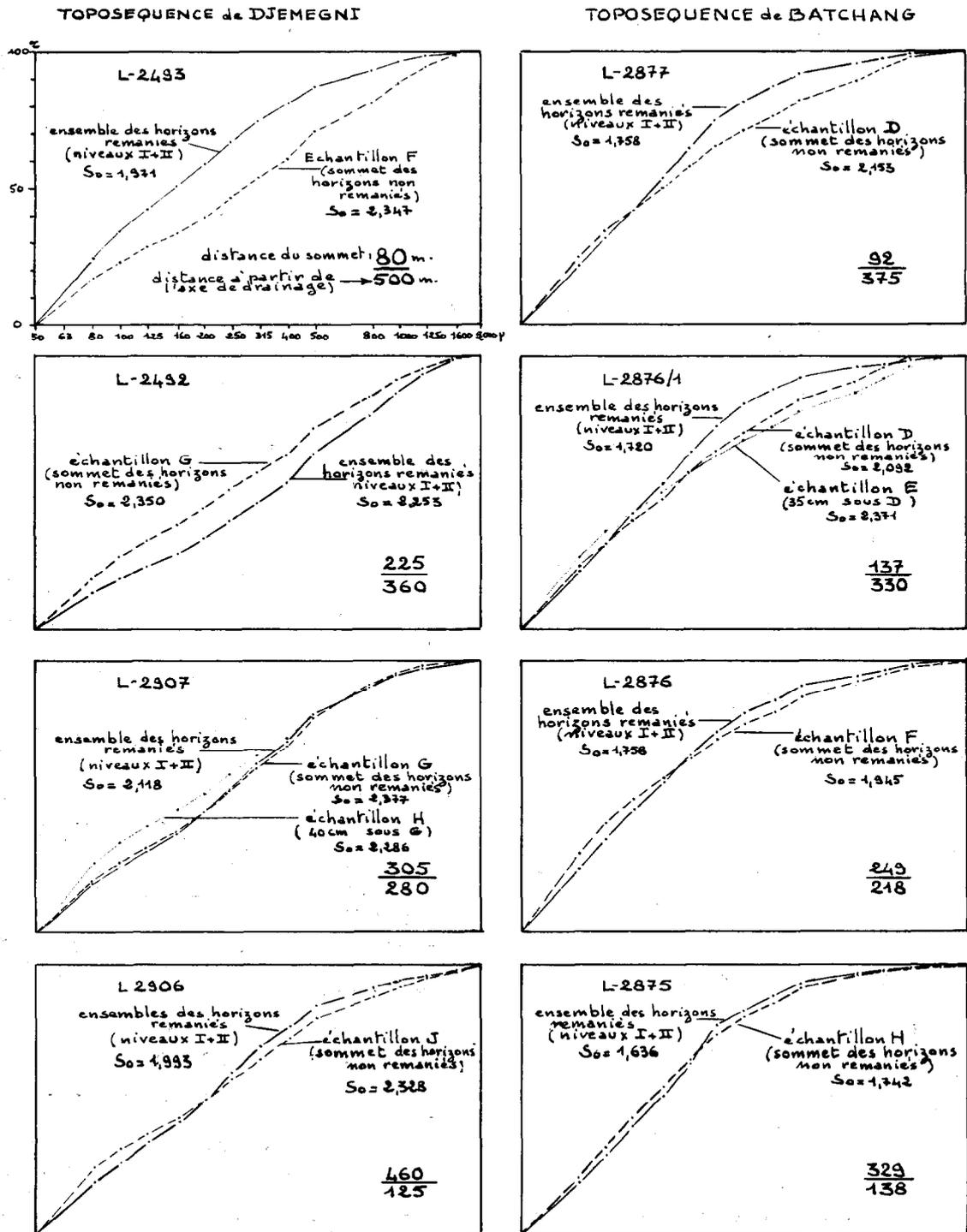


FIG. 1. — Courbes granulométriques cumulatives et indice de mauvais triage de Trask.

d'« individus granulométriques » peut être retenue pour souligner qu'ils ne semblent avoir aucune parenté avec le reste du profil.

Le niveau III enfin, parfaitement en place et ne comprenant, en fait de granulométrie grossière que des filons et filonnets de quartz, des zones de roche-mère encore structurée (dont la fréquence croît, bien entendu, en profondeur) et, parfois, des nodules et concrétions ferrugineux en très faible pourcentage le plus souvent.

Le passage vertical de ces niveaux les uns aux autres, est très souvent extrêmement rapide, comme il a déjà été noté, ce qui renforce l'impression d'allochtonie des niveaux I et II.

Remarquons d'autre part, que le niveau II peut être constitué uniquement, dans ses fractions grossières, de nodules et concrétions ferrugineux sans aucun quartz grossier, ou bien l'inverse, mais ce fait est assez rare.

Les présomptions d'allochtonie qu'entraîne la constatation de cette redistribution granulométrique à l'échelle de chaque profil, sont donc très fortes. L'étude en cours de la pédogenèse de ce socle togolais, dans sa tentative de préciser au mieux les bilans de matières, devait en tenir compte en toute priorité. En ce sens, le travail présenté ne réalise que la tentative d'exploration d'une direction de recherche non pour elle-même, mais pour les indications qu'ont peut en retirer quant au développement des profils.

Pour revenir aux méthodes basées sur les indices de triage dont il est fait état antérieurement, il s'est rapidement avéré que leur application était bien souvent très difficile pour le domaine d'étude envisagé. La raison en est que nous avons ici des roches-mères, le plus souvent gneiss et micaschistes, c'est-à-dire dérivées avant métamorphisme, de matériaux sédimentaires anciens. La granulométrie de leurs quartz reflète leur classement originel à partir des formations détritiques. Le calcul des différents indices montre, en effet, que dès la base des profils, dans les horizons autochtones prouvés avec certitude, le matériau originel des sols présente un triage certain de sa fraction quartzeuse. C'est ainsi que, par exemple, la moyenne des indices de mauvais triage de TRASK (So) est de 1,96 pour les gneiss ; 1,56 pour les micaschistes et seulement de 2,17 pour les roches-mères à caractères plutoniques les plus marqués. Si nous nous en référons à TRASK et à tous les sédimentologues en général, nous avons dans tous ces cas, des matériaux bien triés. D'autre part, les différences entre indices de divers horizons d'un même profil sont généralement

faibles. Leur signification quant à d'éventuels transports différentiels est alors bien difficile à concrétiser. Par ailleurs, et ce fait semble assez important, il arrive que le triage de l'ensemble des horizons remaniés de certains profils soit moins poussé que celui de ses horizons en place : ce phénomène se produit dans 23 % des cas, indépendamment de la situation topogéomorphologique. Une illustration de toutes ces caractéristiques est donnée par la figure 1.

En conclusion, nous pouvons penser que les méthodes sédimentologiques de l'analyse des résultats granulométriques n'apporte guère d'arguments solides au pédologue. Du moins quand celui-ci travaille à des questions de remaniements ou/et de transport à courte distance. A l'échelle de l'interfluve à laquelle se déroulent le plus souvent les événements pédogénétiques, les phénomènes de transport de matériaux ne se traduisent généralement pas par des bouleversements granulométriques bien individualisés. En effet, dans un tel milieu les possibilités de déplacement et de tri sont sans aucune mesure avec les agents, autrement puissants, ayant présidé à la mise en place des roches-mères. Dans de telles conditions, le pédologue transposant la méthode sédimentologique risque bien souvent de ne faire ressortir que les caractéristiques intrinsèques des matériaux originels, au détriment des bouleversements ultérieurs subis par eux.

Devant tous ces aléas, une autre méthode est ici, proposée. Elle est certainement plus longue dans son application, mais tient compte du maximum de particularités pouvant être offertes par la distribution granulométrique des horizons et des profils. Elle permet, dans l'étude des divers horizons, de prendre comme dénominateur commun les caractéristiques du matériau originel en place. Elle conduit donc à isoler la résultante des facteurs, plus ou moins nombreux, ayant modifié la granulométrie de ce dernier.

## 2. MÉTHODOLOGIE

### 2.1. Principe de la méthode

Les classes granulométriques retenues sont au nombre de 15, selon une échelle logarithmique ; leurs limites sont en microns : 2 000, 1 600, 1 250, 1 000, 800, 500, 400, 315, 250, 200, 160, 125, 100, 80, 63 et 50. La régularité de cette échelle est mise en défaut par l'absence de la limite 630, par indisponibilité du tamis correspondant au laboratoire du Centre de

Lomé lorsque fut entrepris ce travail. Pour de nombreux calculs, les deux classes comprises entre 50 et 80 microns ont été regroupées en une seule étant donné l'allure quelque peu erratique des résultats correspondant aux granulométries très fines, prouvée en travaillant sur le même échantillon et avec le même tamis.

En cette approche du problème, les résultats des analyses granulométriques des différents horizons d'un même profil ont été regroupés *niveau par niveau*. Ceci permet d'établir la composition granulométrique sableuse de chaque niveau pris dans son ensemble, c'est-à-dire de chaque partie du profil morphologiquement et « sédimentologiquement » différente des autres.

Il a, en effet, semblé illusoire, du moins dans cette tentative, de vouloir travailler sur la granulométrie de chacun des horizons séparément, ceci pour deux raisons :

— la première en est que le matériau des différents horizons de chaque niveau présente toutes les apparences d'un même processus de mise en place. On ne peut, en effet, généralement, déceler, de la base au sommet d'un même niveau, de discontinuité significative.

— la seconde raison procède du fait que les profils des sols étudiés comportent le plus souvent de nombreux horizons, entraînant la nécessité d'un grand nombre de prélèvements. Par conséquent l'analyse des résultats granulométriques sous-horizon par sous-horizon, ou même simplement pour chaque horizon aurait été sinon impossible, du moins très longue.

En bref, la granulométrie globale de chacun des niveaux remaniés, I et II a été calculée en tenant compte d'une part, de l'épaisseur de la tranche de profil intéressée par chaque prélèvement ainsi que de sa densité apparente. Les résultats granulométriques fournis par le laboratoire pour chaque prélèvement, exprimés en pourcentage de chacune des fractions par rapport à la seule masse des sables ont donc été multipliés par trois coefficients pondérateurs. Ceux-ci sont : le pourcentage de sables par rapport à la terre fine :  $p$ , l'épaisseur en décimètre du sous-horizon (1) dans lequel fut effectué le prélèvement :  $e$ , enfin par la densité apparente de cette partie du profil ou plus précisément, par la quantité de terre fine par unité de volume :  $t$  (puisque l'on doit écarter les fractions plus grossières constituant la nappe de gravats).

(1) Par « sous-horizon », il faut entendre ici, la tranche du profil telle que la délimite la représentativité de chaque prélèvement.

En symbolisant par  $Q_a$  la *quantité* de sable, par sous-horizon, de chaque fraction granulométrique retenue, l'indice  $a$  précisant les limites en microns de celle-ci, et par  $p_a$  son pourcentage absolu donné par le laboratoire, nous aboutissons à la formule suivante :

$$Q_a = p_a \times p \times e \times t.$$

On effectue pour chaque classe granulométrique et pour l'ensemble de chacun des sous-horizons d'un même niveau, la sommation des résultats obtenus. Puis on calcule, en regroupant toutes les classes granulométriques la quantité totale des sables toujours pour cette partie du profil. On peut donc, à la suite de ces deux démarches préliminaires, exprimer pour l'ensemble d'un niveau, le pourcentage, en fonction des seuls sables, représenté par chaque classe granulométrique. La même méthode est applicable à l'ensemble des niveaux [I+II] remaniés ou bien à l'inverse, à une tranche de chacun d'eux si besoin est.

Par ailleurs, nous connaissons (sans avoir à les pondérer puisque nous ne retenons ici qu'un seul prélèvement) les pourcentages de chacune des classes granulométriques de celui des sous-horizons du niveau III (rigoureusement autochtone) qui est le plus élevé dans le profil. En effet, à cet endroit, au contact de ce que l'on peut nommer le recouvrement, l'évolution granulométrique sur place du matériau originel atteint son stade ultime avant les divers bouleversements des remaniements superficiels. Nous pouvons alors établir le rapport, toujours pour chaque classe granulométrique, de ces pourcentages entre les niveaux I et II, I et III, II et III, [I+II] et III. En fait, ce sont surtout les rapports calculés entre l'ensemble des niveaux I+II d'une part et le niveau III d'autre part qui ont fait l'objet de l'analyse la plus complète pour le travail en cours sur la granulométrie de ces sols.

Il est apparu assez convenable de regrouper les niveaux I et II, c'est-à-dire ceux qui sont remaniés, par rapport au niveau III qui ne l'est pas. Certains profils, en effet, ne présentent pas de niveau II, le niveau de terre fine remaniée recouvrant directement le niveau III. D'autres, à l'inverse, ne présentent pas de niveau I, les horizons grossiers affleurant en surface du terrain. Une question peut se poser : pourquoi ne prendre en considération que le sommet du niveau III et ne pas calculer la granulométrie de l'ensemble de ses sous-horizons ? Plusieurs raisons font écarter cette dernière procédure. D'abord, parce que la limite inférieure du niveau III est très imprécise et, d'autre part, bien difficile à atteindre dans nombre

de profils très profonds. Ensuite, parce que très rapidement en profondeur, sous la discontinuité morphologique marquée séparant les niveaux II et III, nous trouvons des zones de plus en plus nombreuses de minéraux primaires tels que ferro-magnésiens, muscovite et surtout feldspaths, du moins quand on travaille sur des sols autres que ferrallitiques, développés sur socle granito-gneissique par exemple. Or la prise en compte dans les analyses granulométriques de ces minéraux disparaissant par altération dans les horizons supérieurs, risque de fausser gravement l'interprétation. Enfin comme il fût souligné précédemment, nous avons à cette partie supérieure du niveau III, l'évolution la plus avancée possible de la granulométrie du matériau original, et en particulier de ses quartz. Il est probable en effet, que le phénomène de division des particules quartzueuses dérivées de la roche-mère, ne soit pas uniquement l'apanage du domaine ferrallitique, mais se produise, en fait, à des degrés divers, dans tous les types d'altération.

Il a donc paru préférable de s'en tenir au sous-horizon supérieur du niveau III afin de se baser sur

un même point de référence morphologique et bien souvent pédogénétique du profil.

Tous ces rapports, établis entre les pourcentages de chaque classe granulométrique, d'un niveau ou d'un ensemble de niveaux à l'autre ont été dénommés : *quotients granulométriques*. Ce sont évidemment ceux qui se basent sur le niveau III, autochtone, bien en place, qui permettent d'obtenir les données les plus utiles quant à la « parenté matérielle » des horizons supérieurs remaniés. Enfin, en portant en abscisses le centre des classes de sables et en ordonnées les valeurs des quotients granulométriques correspondants, nous aboutissons à l'établissement d'une *courbe de quotients granulométriques*, ceci pour chaque couple de niveaux dont la comparaison est souhaitée. Cette présentation graphique nous fournit une appréciation rapide, synthétique mais complète, de l'évolution granulométrique des sables d'un niveau à un autre des profils.

Il ne faut pas se dissimuler que la définition du passage des horizons remaniés à ceux qui sont en place peut être fort délicate. Elle ne peut être effectuée

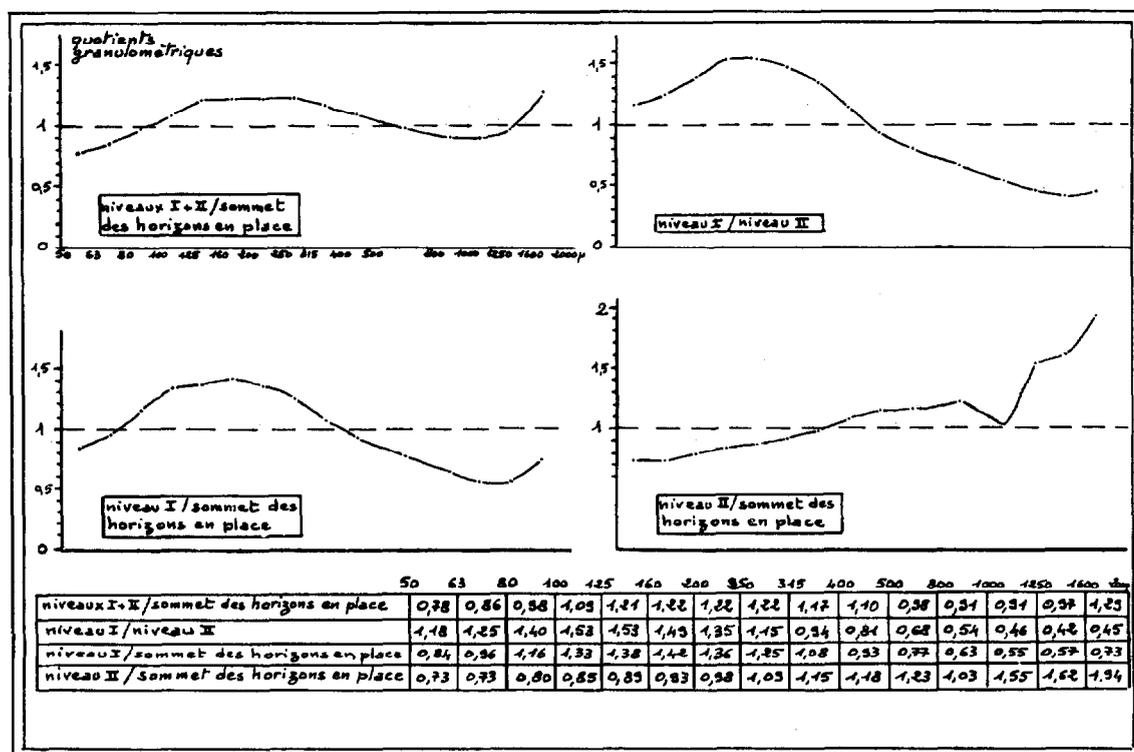


FIG. 2. — Valeurs des quotients pour les différentes classes granulométriques (moyennes de l'ensemble des données).

avec certitude et rapidité que pour autant que le remaniement a incorporé au profil des « individus granulométriques » manifestement étrangers : quartz usés mécaniquement, fragments ferruginisés de roches diverses. La limite inférieure du concrétionnement peut, d'autre part, ne pas marquer le passage au niveau III. Il n'y a aucune raison pour que cette forme d'induration s'arrête, à cet endroit dans le profil. Dans tous ces cas litigieux, le seul recours réside en l'établissement des profils granulométriques classe par classe ainsi qu'en leur observation soigneuse. L'expérience montre, en effet, qu'il est bien rare que le « front de remaniement », en profondeur, ne se traduise pas par un « accident » systématique sur toute la série de courbes ainsi dessinées.

## 2.2. Présentation des résultats

La figure 2 consigne les quotients granulométriques moyens et les courbes qui en sont tracées, calculés à partir de l'ensemble des profils étudiés selon cette méthode au Togo.

Nous pouvons y relever d'ores et déjà deux traits marquants :

(a) l'alignement des points en décroissance ou croissance régulière selon un certain nombre de portions plus ou moins importantes des courbes.

(b) l'individualité marquée, l'une par rapport à l'autre, des courbes des niveaux I/III et II/III.

Une redistribution certaine s'effectue donc à l'échelle du profil non seulement entre le niveau III et l'ensemble des niveaux remaniés, mais également entre ces derniers. Chacun des deux niveaux remaniés, d'autre part, semble résulter d'un phénomène bien particulier puisque leur courbe présente une allure, en moyenne, inverse de l'un à l'autre.

Ces quotients et courbes moyens de la figure 2 ne doivent cependant pas faire ignorer qu'en fait, d'un profil à l'autre la redistribution granulométrique des sables peut varier selon une gamme assez étendue.

L'établissement systématique des courbes granulométriques pour chacun des cent vingt profils environ ainsi analysés a permis leur regroupement en types assez différenciés les uns des autres. La figure 3 présente

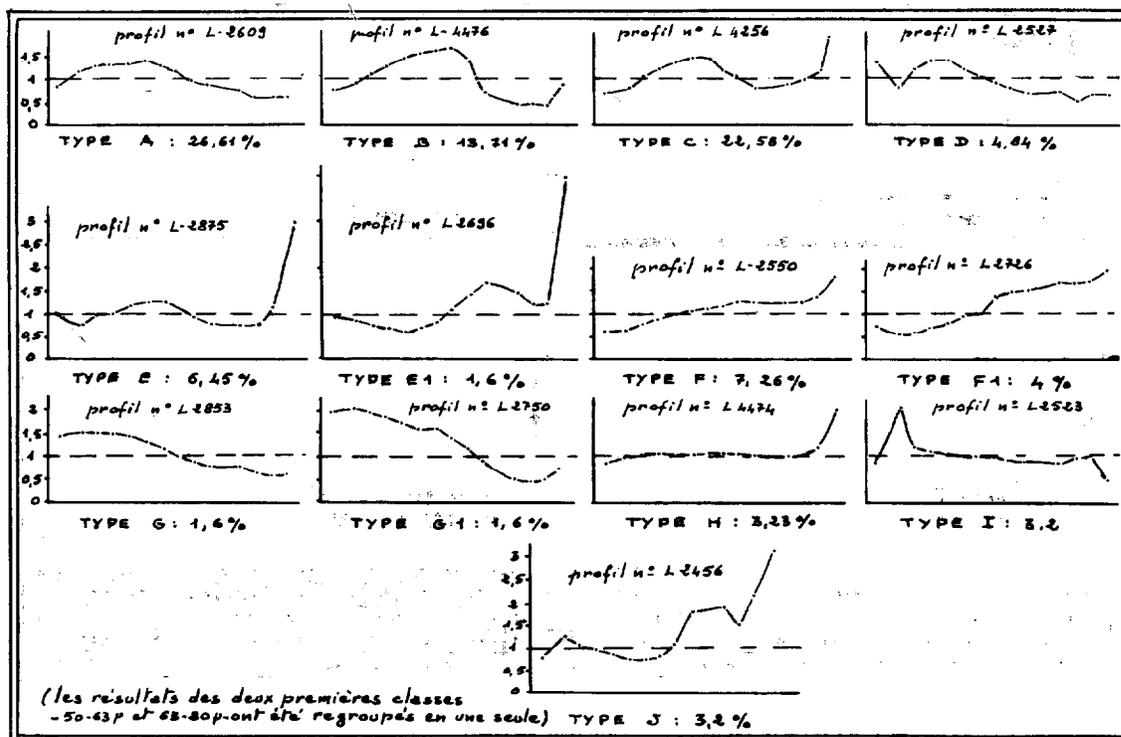


FIG. 3. — Les types de courbes de quotients granulométriques niv. (I+II)/III et leur fréquence relative.

les principaux d'entre eux, établis pour les niveaux [I + II]/III. Nous pouvons y constater que la complexité observable sur les courbes moyennes s'accroît ici par l'extension ou la restriction de leurs portions constitutives.

### 2.3. Inconvénients et avantages

Parmi les premiers, l'un des principaux est entraîné par les calculs innombrables, longs et fastidieux. Cette méthode suppose également la connaissance de la densité apparente correspondant à chaque prélèvement dans les niveaux I et II. Mais il faut bien retenir que cette donnée est nécessaire pour tout établissement de bilan d'un profil et n'est donc pas requise uniquement pour la granulométrie. Un troisième inconvénient réside dans le fait que seul est retenu le sommet du niveau III dans l'établissement de la plupart des quotients granulométriques. Etant donné l'hétérogénéité verticale et latérale, en détail comme à large échelle, du soubassement lithologique de certaines régions (comme le socle granito-gneissique togolais), il existe là un grave danger. Nous pouvons, en effet, en ce sommet de niveau en place, nous trouver en présence d'une passée ou d'un filonnet qui bouleverse profondément la représentativité de l'ensemble du matériau. Afin d'éviter cet inconvénient, on pourrait, pour les profils présentant un niveau III suffisamment développé et dénué de minéraux altérables sur une assez grande épaisseur, calculer la granulométrie d'une tranche plus notable, par le système exposé pour les niveaux I et II. Cependant, sur le socle, la variabilité de la puissance de ce niveau III est extrême, allant de seulement 1 ou 2 décimètres à plusieurs mètres avant d'atteindre la roche-mère. Dans ces conditions, ce palliatif ne serait pas uniformément applicable et risquerait d'introduire dans les comparaisons entre profils, une distorsion assez grave. Il faut en effet, se rappeler qu'une certaine évolution granulométrique des quartz s'effectue sur place dans les zones d'altération, dès le sommet de la roche-mère, selon un gradient variable d'une catégorie de sols à l'autre. Les profils granulométriques en sont témoins.

Dans le travail en cours, après l'exploration de bien d'autres modes d'approche, il s'est avéré que le plus grand danger résidait dans la prise en compte systématique, de minéraux altérables dont on ne peut que difficilement se débarrasser, tels que les feldspaths.

De toutes façons, l'utilisation de cette méthode de quotients granulométriques n'a de portée pratique

que si l'on dispose, comme d'ailleurs en sédimentologie, d'une assez grande population de résultats. Cette voie statistique atténue donc le danger de la présence d'un accident lithologique au sommet du niveau III.

Parmi les avantages, on peut retenir que cette méthode permet de neutraliser les défauts éventuels de construction de tamis. Ils s'annulent dans l'établissement des rapports conduisant au calcul des quotients granulométriques. A condition, bien entendu, que la même série de tamis serve à tous les prélèvements d'un même profil.

Ces quotients, d'autre part, obligent à se référer constamment pour chaque niveau, au matériau sous-jacent et plus généralement, au niveau III.

Le pédologue est, en effet beaucoup plus directement concerné par l'évolution granulométrique des matériaux que par leurs caractéristiques intrinsèques (sans vouloir, bien entendu, ignorer l'influence de la distribution originelle). En définitive, le calcul de ces quotients, comme pour les défauts des tamis permet d'annuler les caractères particuliers de chaque matériau originel (ou pris comme référence) dans les comparaisons que l'on désire effectuer entre niveaux remaniés d'un même profil ou entre divers profils. Tous les autres facteurs imaginables de distribution granulométrique : pédogenèse, érosion, apport, remaniement sur place, etc. n'en ressortent que plus directement, et même exclusivement, sous forme de leur résultante.

Enfin ce procédé de travail par classe granulométrique écarte le danger des synthétisations et des regroupements quelque peu arbitraires tel qu'il est présenté par les indices couramment employés en sédimentologie.

Ainsi qu'il le fût noté antérieurement, les redistributions granulométriques éventuelles s'effectuant dans de domaine pédologique procèdent de la conjonction de multiples et surtout discrètes causes. En ce sens, il serait illusoire de tenter d'établir des formules mathématiques telles que celles auxquelles ont abouti certains travaux sédimentologiques. Elles ne traduisent, souvent en fait, l'influence que d'un seul facteur déterminant, agissant ou non sous forme d'une multitude de petites actions de même nature. Il est donc nécessaire, en pédologie, de prendre en compte des données chiffrées, transformées au minimum, permettant d'explorer en détail l'échelle granulométrique des sables.

### 3. TECHNIQUE

L'étude granulométrique des sols togolais a porté uniquement sur les sables les plus difficilement altérables : quartz et minéraux lourds tels que rutile, zircon, grenat, etc. En fait c'est sur les sables quartzeux que portent les résultats car le pourcentage des autres minéraux non ou peu altérables est pratiquement négligeable.

Pour ce faire, ont donc dû être éliminées toutes les autres particules, qu'elles soient constituées de minéraux altérables ou d'éléments de néoformation : petits nodules ou concrétions ferrugineux (ou, très rarement, calcaires).

En ce qui concerne les feldspaths, la séparation n'a pu être effectuée par manque du matériel de flottation requis. Les profils en conservant notablement, tant dans leurs niveaux I et II, qu'en sommet du niveau III ont donc du être éliminés. En fait, cette nécessité ne s'est imposée que dans à peine 10 % des cas.

La muscovite assez fréquente, et parfois abondante dans les profils sur micaschiste en particulier, a été éliminée par méthode électrostatique en faisant glisser selon un mouvement rotatoire, un grand nombre de fois, les échantillons en contenant, le long de la paroi interne d'un becher très propre. De cette façon les paillettes de muscovite s'éliminent progressivement en adhérant à la paroi de ce récipient. Il est nécessaire, bien entendu, de contrôler que les particules quartzes les plus fines ne sont pas retenues au même titre. La méthode d'élimination de ce mica par élutriation n'a pu être adoptée par manque de matériel.

Enfin pour les nodules et concrétions ferrugineux ainsi que pour les minéraux ferromagnésiens, le problème est beaucoup moins ardu étant donné qu'ils peuvent être séparés magnétiquement grâce à un électro-aimant utilisé couramment en minéralogie. Cette méthode fut retenue pour une partie de ce travail. En fait, devant l'impossibilité de disposer de ce matériel assez longtemps, fut mise au point une autre méthode d'élimination de ces particules ferrugineuses.

Les ferromagnésiens furent séparés banalement par densimétrie au bromoforme.

L'élimination reste plus délicate pour les concrétions et nodules ferrugineux dont la densité est passablement variable, oscillant le plus souvent entre 2,5 et 3,2.

Ils furent donc éliminés en deux temps. Fut d'abord pratiquée une attaque par l'acide chlorhydrique dilué au demi qui laisse subsister de chaque nodule ou concrétion une trame squelettique siliceuse (2). Celle-ci s'est avérée toujours moins dense que le quartz. En deuxième temps, une liqueur constituée d'un mélange de benzène et d'alcool, de densité d'environ 2,59, permet de séparer le quartz (et minéraux lourds résistants) des particules essentiellement siliceuses provenant de l'attaque préliminaire. Un opérateur exercé peut ainsi traiter en une journée de travail, environ 40 à 45 échantillons de sables de 30 à 35 grammes chacun.

Il est évident que le traitement à l'acide chlorhydrique aussi concentré, risque de fragiliser les quartz comme le signalent certains auteurs. Plusieurs contrôles de l'action de ce traitement furent donc effectués selon deux méthodes : l'une par comptage de particules avant et après attaque, l'autre par répétition de tamisage sur des échantillons uniquement quartzes, préalablement débarassés par séparateur magnétique de leurs ferromagnésiens et nodules ferrugineux. Tous ces échantillons furent choisis parmi les différents profils de sols les plus marqués par la ferruginisation. Enfin le traitement retenu pour ce contrôle fut « aggravé » en utilisant une solution de moitié moins diluée, en répétant l'attaque chlorhydrique plusieurs fois et en amenant, dans les intervalles, à sec, à une température élevée (250°).

Enfin fut également pratiqué un traitement à chaud à l'eau oxygénée dont la détente gazeuse paraît susceptible de profiter d'éventuels plans de fragilisation à l'intérieur des particules de quartz.

Toutes les opérations de comptage (une trentaine pour chacune des trois classes granulométriques fines, moyennes et grossières retenues) ont révélé l'innocuité de tous ces traitements sauf dans trois cas où, sur 100 grains de taille comprise entre 200 et 250 microns, il en a été trouvé 102 après traitement, ce qui est négligeable. Quant à la méthode par tamisage répété après traitement acide, les résultats consignés sous forme de courbes cumulatives comparées dans la figure 4 nous montrent que les écarts trouvés sont nullement significatifs. Ils sont, en effet très identiques

(2) Ce squelette est essentiellement siliceux : il se dissout facilement après attaque triacide, dans une solution de soude diluée, semblant présenter par là, les mêmes caractéristiques que la silice combinée des argiles. Par le même traitement, le quartz reste pratiquement insoluble. Soulignons que dans cette trame siliceuse sont engrainées des particules quartzes en plus ou moins fort pourcentage.

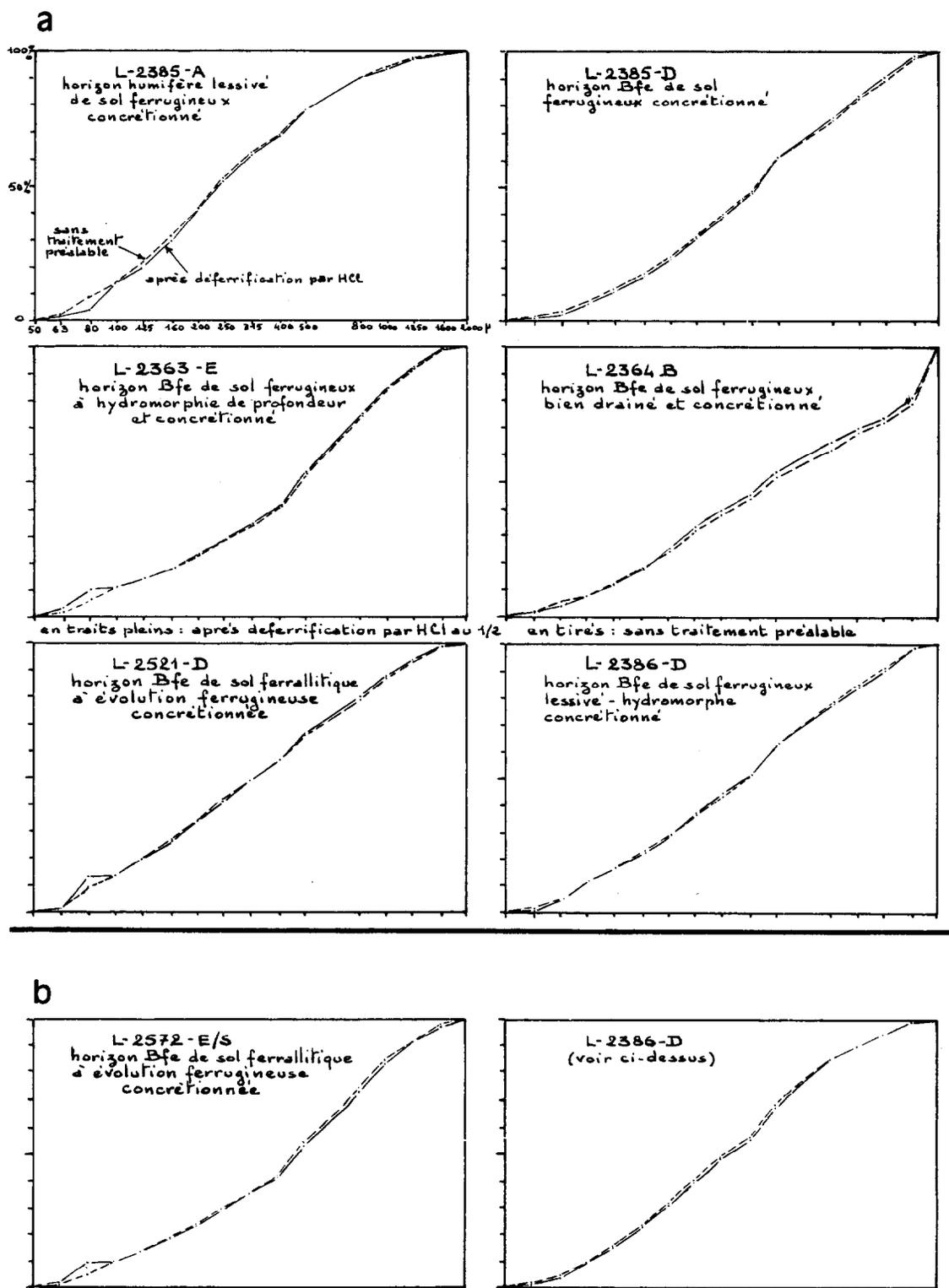


Fig. 4. — Comparaison des courbes granulométriques cumulatives des sables uniquement quartzeux avec et sans traitement à HCl préalable.

aux déviations inhérentes à la technique du tamisage elle-même comme le prouvent les deux séries de courbes portées à la partie inférieure de la figure (3).

Un traitement acide drastique s'est donc révélé sans effet sensible sur la granulométrie des quartz.

La question peut se poser de l'opportunité de la prise en compte, dans l'établissement de la granulométrie des sables des particules quartzieuses englobées dans les concrétions et nodules. Ceux-ci, en effet, peuvent s'être formés, non seulement en place (LÉVÊQUE, 1970) mais aussi dans des zones texturales préférentielles comme le prouve l'observation de certaines ségrégations ferrugineuses. Le problème semble ne pouvoir être résolu que très difficilement. En effet, l'attaque acide, même très forte, de ces éléments grossiers, respecte leur « édifice ». Elle ne permet pas, dans la plupart des cas, de dissocier ces grains de sables de la trame siliceuse qui les relie entre-eux. Une reprise par la soude, après attaque triacide, de cet ensemble, assurerait cette séparation,

mais très certainement au prix d'une modification sérieuse des quartz, surtout des plus petites tailles. Des broyages modérés ont été tentés pour arriver au même but. Ils ont tous abouti à un magma composé de fragments de ce squelette de silice et des quartz les plus fins, en grumeaux pratiquement indissociables, si bien que la séparation par liqueur dense est impraticable. Il existe donc, sur cet aspect technique, un inconvénient non négligeable, mais que l'on retrouve à propos de toute autre méthode.

#### 4. CONCLUSION

La figure 5 permet une comparaison de la signification graphique des courbes cumulatives et de la courbe correspondante des quotients granulométriques, des niveaux remaniés et non remaniés d'un profil pris au hasard (4).

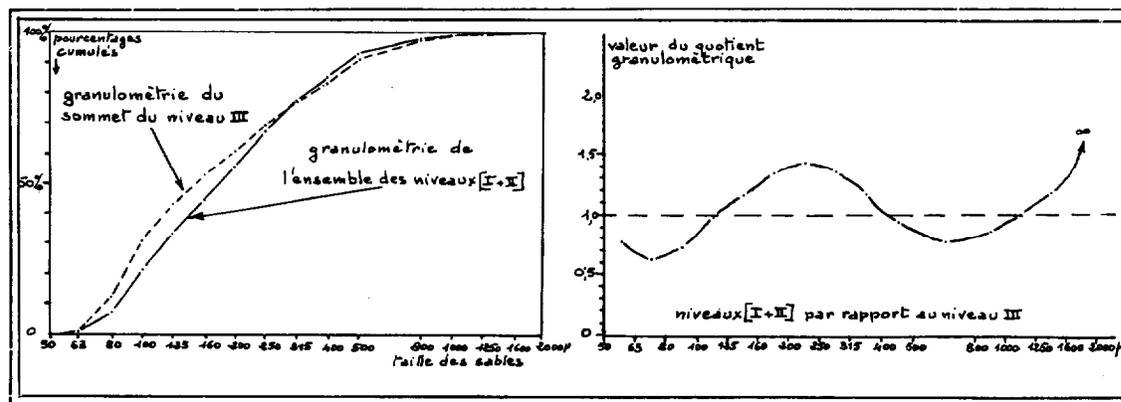


FIG. 5. — Exemple de comparaison entre courbes cumulatives et courbes des quotients granulométriques (profil L-4256).  
a) courbes cumulatives. b) courbes des quotients granulométriques.

Les premières, de par l'absence de véritables points d'inflexion et la présence d'un seul recoupement entre-elles, ne nous permettent de repérer rapidement que deux domaines : celui des sables fins, déficitaires

(3) Certaines courbes cumulatives montrent un écart à 80 microns : il ne s'agit, en réalité, que d'un défaut d'usage des tamis employés puisque cette déviation se retrouve tout aussi bien sur certaines des courbes établies d'après la granulométrie sans traitement préalable.

pour les niveaux remaniés par rapport au niveau III et celui des sables grossiers (supérieurs à 250-315 microns) présentant naturellement le phénomène inverse.

(4) Remarquons, au passage, la valeur infinie du quotient granulométrique de la classe la plus grossière : elle signifie que les horizons remaniés comprennent un certain pourcentage de sables de 1 600 à 2 000 microns alors que le niveau III n'en a pas. L'expérience tirée du socle togolais montre que ce phénomène n'intéresse, éventuellement, que cette dernière classe granulométrique.

Les secondes, par contre, tout aussi rapidement, nous autorisent à situer le long de la gamme granulométrique, trois sinon quatre séquences d'évolution ou de perturbation de la population sableuse des niveaux remaniés par rapport à celle du niveau III. Le sens et l'intensité de ces « phases » sont par ailleurs directement observables d'après la pente des diverses portions de courbe.

D'autre part, les valeurs successives du quotient granulométrique, calculées pour chaque classe de taille, ne sont nullement affectées par les pourcentages des divisions texturales précédentes comme le sont forcément les indices établis à partir des courbes cumulées. Ne sont donc « chiffrés » par ce procédé que les événements subis par telle ou telle classe.

Si donc la méthode proposée dans cette note est assez longue dans son application, nous pouvons voir que nous gagnons en précision ce que nous perdons en temps, le tout sans synthétisation préliminaire plus ou moins arbitraire.

Il reste, bien entendu à concrétiser la signification des valeurs successives du quotient granulométrique et des différentes séquences qu'elles déterminent tout au long de leur courbe.

La tentative qui en fut effectuée, toujours à propos des sols du socle togolais, sera prochainement exposée dans ces cahiers.

Lomé, mai 1972

Bondy, août 1973

Manuscrit reçu au SCD le 20 novembre 1973.

#### REMERCIEMENTS

Nous tenons, ici, à remercier vivement Messieurs les Directeur et Directeur-Adjoint de la Compagnie Togolaise des Mines du Bénin qui voulurent bien, pour un temps, nous prêter le séparateur magnétique de leur laboratoire.

Messieurs M. LAMOUREUX et P. SÉGALEN ont permis, par leurs critiques du manuscrit, la mise au point de cette note. Qu'ils en soient remerciés, non moins vivement.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BILLY (G.), 1954. — Etude des courbes normales de la dispersion. CDU, Paris, 204 p.
- BUCKENHAM (M.H.), ROGERS (J.), 1955. — Flotation of quartz and feldspar by dodecylamine. *Bull. Inst. Mining Metall.*, t. 64, pp. 11-30.
- CAILLEUX (A.), TRICART (J.), 1959. — Initiation à l'étude des sables et des galets, t. 1, CDU, Paris, 376 p.
- DOEGLAS (D.J.), 1946. — Interpretation of the Results of Mechanical Analysis. *J. sediments*, vol. 16, n° 1, pp. 19-40.
- DOEGLAS (D.J.), 1956. — An exponential function of size frequency distribution of sediments, *Geol. en Mijnb.*, N. Ser., vol. 18, n° 1, pp. 1-29.
- DOEGLAS (D.J.), 1960. — Sedimentological data for soil mineralogy. *Ind. Congr. Soil Sci.* 7. Madison. 1960, vol. IV, pp. 534-547.
- DOEGLAS (D.J.), 1966 — A rectangular diagram for comparison of size frequency distributions. *Geol. en Mijnb.*, N. Ser., vol. 17, pp. 129-136.
- FAUCK (R.), 1961. — Etude des sols de la région d'Agony (Terre de Barre du Sud-Est Dahomey), 2<sup>e</sup> partie : La Pédogenèse. Mission ORSTOM au Dahomey. Cotonou, 114 p. *multigr.*
- FAUCK (R.), 1971. — Contribution à l'étude des sols des régions tropicales : Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale. Thèse Fac. Sci. Univ. Strasbourg, *Mém. ORSTOM*, n° 61, Paris 1972, 257 p.
- GUILLIEN (Y.), 1954. — Le litage des grèzes. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 238, pp. 2250-2251.
- HERVIEU (J.), 1966. — Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. Les facteurs de la sédimentation continentale - Les produits de l'érosion - Les sols alluviaux sur le versant occidental de Madagascar. Thèse Fac. Sci. Univ. Paris, *Mém. ORSTOM* n° 24, Paris 1968, 464 p.
- KALOGA (B.), 1966. — Etude pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge en Haute Volta. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, IV, 1, 23-61.
- KRUMBEIN (N.C.), PETTJOHN (F.J.), 1938. — Manual of Sedimentary Petrography, Appleton-Century-Crofts, Inc, New York. XIV, 549 p.
- LAPORTE (G.), 1962. — Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée COMILOG. IRSC, MC 119 Brazzaville, 149 p. *multigr.*
- LÉVÊQUE (A.), 1969. — Le problème des sols à nappes de gravats au Togo. Observations et réflexions préliminaires pour le socle granito-gneissique au Togo. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VII, 1, pp. 43-69.
- LÉVÊQUE (A.), 1970. — L'origine des concrétions ferrugineuses dans les sols du socle granito-gneissique au Togo. Approche du problème. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VIII, 3, pp. 321-348.
- PARFENOFF (A.), POMEROL (C.), TOURENQ (J.), 1970. — Les minéraux en grains. Méthodes d'étude et détermination. Masson et Cie, Paris, 571 p.
- PIAS (J.), 1968. — Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent. Thèse Fac. Sci. Univ. Paris, *Mém. ORSTOM*, n° 43, Paris 1970, 407 p.
- RIVIÈRE (A.), 1953. — Méthode d'interprétation de la granulométrie des sédiments meubles. *Rev. Inst. fr. Pétrole*, n° spec., pp. 102-107.
- RIVIÈRE (A.), 1954. — Généralisation de la méthode des faciès granulométriques. Evaluation de la dispersion aléatoire. *C.R. Acad. Sci.* Paris, t. 238, pp. 2326-2328.
- RIVIÈRE (A.), 1967. — Méthodes granulométriques en Géologie. Mises à jour sci., t. 2, n° 3, Gauthiers Villars, pp. 243-262.
- ROUBAULT (M.), BERNARD (A.), BLAZY (P.), 1957. — Séparation quantitative directe des minéraux d'un granite par flottation différentielle. *C.R. Acad. Sci.* Paris, t. 245, pp. 1256-1258.
- SOURDAT (M.), DELAUNE (M.), 1970. — Contribution à l'étude des sédiments meubles grossiers du littoral guyanais. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VIII, n° 1, pp. 81-97.