

OFFICE de la RECHERCHE
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE
OUTRE MER
Centre de LOME

LE PROBLEME DES SOLS A NAPPES DE GRAVATS
OBSERVATIONS ET REFLEXIONS PRELIMINAIRES
POUR LE SOCLE GRANITO-GNEISSIQUE AU TOGO

A. LÉVÊQUE
Centre de LOME
- Juin 1967 -

LE PROBLEME DES NAPPES DE GRAVATS -
OBSERVATIONS ET REFLEXIONS PRELIMINAIRES
POUR LE SOCLE GRANITO - GNEISSIQUE AU TOGO.

A. LEVEQUE

Pédologue

Centre ORSTOM de LOME

Juin 1967



- I - INTRODUCTION
- II - LES HYPOTHESES EN PRESENCE
 - 1 - Formation des nappes de gravats
 - 2 - La mise en place des recouvrements de matériaux fins.
 - A. Allochtonie
 - B. Autochtonie
 - C. Théorie intermédiaire
- III - OBSERVATIONS SUR LES SOLS TOGOLAIS
 - 1 - Les grandes lignes géomorphologiques et les caractéristiques morphologiques générales des sols.
 - 2 - La nappe de gravats
 - 2.1. Composition pétrographique
 - 2.2. Mise en place des nappes de gravats
 - 2.3. Disposition de la nappe de gravats dans les profils
 - 3 - Les arguments militant contre l'origine colluviale des sols.
 - 3.1. Considération générale
 - 3.2. Le cadre géomorphologique
 - 3.3. Etude des processus pédogénétiques
 - 3.3.1. L'ensemble des caractéristiques des profils
 - 3.3.2. La concentration d'éléments grossiers sur place.
 - 3.3.3. Quelques autres résultats
 - 3.3.4. La granulométrie des sables
- IV - ACTION DES TERMITES
 - 1 - Puissance du recouvrement et profondeur atteinte par les galeries
 - 2 - Conséquences du remaniement
- V - CONCLUSION
- VI - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LE PROBLEME DES SOLS A NAPPES DE GRAVATS -
OBSERVATIONS ET REFLEXIONS PRELIMINAIRES POUR LE SOCLE GRANITO-GNEISSIQUE
AU TOGO.

I - INTRODUCTION

La littérature traitant des sols à nappes de gravats ou autres "stones / lines" (c'est-à-dire de ceux présentant une concentration en un horizon ou niveau particulier de plus ou moins grande profondeur, d'éléments grossiers résiduels) montre de par son abondance et les conclusions contradictoires des auteurs, que ce problème particulièrement délicat, n'a pas encore reçu de solution satisfaisante, ni, surtout générale.

Deux hypothèses fondamentales s'affrontent, pour expliquer le recouvrement fin des nappes de gravats : l'une assignant à la destruction et au nivellement naturel des termitières l'origine de ce recouvrement, l'autre ne voyant dans celui-ci que le dépôt de matériaux colluviaux. Pour reprendre le mot de G. AUBERT (1957, 11), la première hypothèse ne peut être que fausse ou fondamentale, mais certains auteurs proposent une théorie intermédiaire : recouvrement par l'action des termites sur les points hauts du paysage et par colluvionnement sur une grande partie des pentes.

Quoiqu'il en soit toute étude de la pédogenèse de sols présentant ces recouvrements doit s'attacher à résoudre le problème de l'origine de ces derniers si l'on veut éviter toute erreur majeure.

C'est pourquoi la présente note, venant après tant d'autres, expose les données de cette question et tente de la résoudre pour un pays faisant partie d'une vaste région du continent, l'Afrique de l'Ouest pour laquelle très peu d'études ont été jusqu'alors, effectuées sur ce sujet.

II - LES HYPOTHESES EN PRESENCE

C'est surtout sur l'origine du recouvrement fin de la nappe de gravats que les opinions divergent, et non pas tant sur le mécanisme de la concentration d'éléments grossiers en une nappe (destinée à être recouverte par la suite).

Néanmoins, est-il nécessaire de passer en revue les diverses théories proposées aussi bien pour l'une que pour l'autre.

1/- Formation des nappes de gravats

La plupart des auteurs invoquent l'action d'une phase érosive, vraisemblablement sous climat aride, qui dans l'évolution géomorphologique, aurait eu pour résultat l'exportation des éléments fins d'anciens sols ou (et) de zones d'altération pour ne plus laisser à la surface du terrain que ceux dont la taille était trop forte pour la compétence du ruissellement. Ainsi s'explique facilement la disposition de ces derniers en un volume de très faible épaisseur comparée à l'extension généralisée en surface de ce phénomène à propos duquel J. TRICART adopte le terme de "pavage de ruissellement". La vraisemblance de cette explication est corroborée par une foule d'observations de phénomènes semblables, contemporains, effectuées même en dehors des régions arides et désertiques, caractérisées par la fréquence des regs.

Certains auteurs, rejettent quelquefois cette théorie.

A. de CRAENE et C. SOROTCHINSKY (1954, 15) puis A. de CRAENE (1956, 13) n'hésitent pas à invoquer des phénomènes de diagenèse à l'échelle pédologique. Ces chercheurs, dans le Nord-Est du Congo Belge, ont observé des ~~stones~~ lines composées uniquement de fragments quartzeux anguleux, s'anastomosant en profondeur, à un réseau filonien. Le fait que des sondages ont montré que ces filons, subhorizontaux, n'existent que dans la roche altérée, entraîne ces auteurs à conclure en "une silification subactuelle, engendrée dans les minces zones fissurées, plus perméables, créées par des ruptures pendant les glissements latéraux dans ce matériel altéré, qui se tasse". La stone line représenterait donc, dans ce cas, selon l'expression utilisée par A. de CRAENE, "un encroûtement quartzeux". Cette théorie, il est inutile de le souligner, ne pourrait être valable que pour les concentrations quartzueuses ne comprenant que des éléments anguleux intacts. Nous verrons plus loin ce qu'il faut en penser pour le Togo.

M.E. SPRINGER (1958, 36), observe dans le Nevada, des regs (desert pavements) constitués de fragments de roches éruptives inaltérés, surmontant, en position de surface, un horizon vacuolaire ("vesicular layer", terme défini par MARBUT et repris par l'auteur), lui-même dépourvu de ces éléments grossiers quoiqu'engendré par la même roche-mère. Il en conclut, après reproduction du

.../...

phénomène en laboratoire, que ces éléments grossiers ont migré "~~per~~ ascensum". Il explique ce mécanisme par effondrement périodique (saisonnier) de la structure vacuolaire avec, pour résultat la descente des éléments fins et finalement une diminution relative de la profondeur à laquelle se **retrouvent** ces éléments grossiers. L'auteur souligne que ce phénomène n'est lié qu'**au** développement d'un horizon à structure vacuolaire surmontant la roche-mère. Nous ne nous étendons pas plus longuement sur cette théorie, précisant seulement qu'au Togo, les concentrations quartzeuses se retrouvent à peu près dans toutes les catégories de sols, aux structures éminemment diversifiées.

Antithèse de l'explication précédente est la conclusion de G. LAPORTE (1962, 22) qui voit dans la concentration quartzeuse du niveau B de ces sols, une accumulation "per descensum". Selon cet auteur, la descente des fragments de quartz traduit l'effet possible de plusieurs mécanismes : densité du quartz supérieure à celle d'un sol gorgé d'eau, effets de pression de quartz rigides sur un matériau meuble, alternances de dessiccation et réhumectation, brassage sur place par les termites dont il dénie que leurs constructions se soldent par un bilan positif du volume des matériaux des horizons de surface.

Outre le fait selon lequel, comme l'ont déjà remarqué F. BOURGEAT et M. PETIT (1966, 5), on devrait observer un gradient de taille dans les nappes de gravats ainsi mises en place (puisque la loi de Stokes devrait s'appliquer dans ces conditions) nous devons noter que l'explication de G. LAPORTE est incompatible avec la présence d'éléments émoussés ou roulés et suppose que la masse de sols ainsi gorgée d'eau ne doit être affectée, éventuellement, que de mouvements parallèles à elle-même pour que ce niveau B ne soit pas bouleversé. L'auteur rejette d'ailleurs, toute idée de tel déplacement devant les preuves d'une pédogenèse "en place". On ne voit pas très bien comment un milieu devenant aussi fluide pour permettre la descente des éléments grossiers resterait stable sur les pentes relativement accentuées de la région étudiée. Nous devrions plutôt assister à des solifluxions, qui ont, par ailleurs, l'effet inverse de celui constaté : les éléments grossiers seraient dispersés dans toute la masse du sol. Si, d'autre part, nous pouvons admettre que la vitesse de descente des éléments grossiers dans un milieu meuble est supérieure à la rapidité selon laquelle les

horizons supérieurs du sol sont érodés, cette hypothèse n'est plus valable dans un milieu "figé" par les hydroxydes concrétionnés : tôt ou tard, l'érosion doit venir attaquer cet horizon avec pour résultat l'apparition en surface d'éléments grossiers. Aussi est-il bien étonnant de ne pas voir, à l'échelle d'une région, ce phénomène se réaliser sur les situations topographiques les plus exposées.

Enfin, nous terminerons l'exposé des différents mécanismes par celui de fauchage des filons par lent écoulement en masse et par celui de coulées boueuses.

Le premier de ces mécanismes finalement proposés peut être reconnu sans grande contestation pour des milieux ferrallitiques forestiers dans lesquels des masses de sols meubles se développent sur des épaisseurs considérables et selon un modelé accidenté. Nous le rejeterons pour les sols qui nous préoccupent, d'abord parce que, de toute évidence la présence fréquente d'éléments émoussés ou roulés dénotent un contact avec les agents superficiels, ensuite pour le fait que les conditions d'altération et topographiques sont, pour le socle granito-gneissique au Togo, de très loin différentes.

Nous rejeterons, à peu près pour les mêmes raisons, l'hypothèse d'une mise en place par coulées boueuses. En particulier celles-ci ne permettent que très difficilement le façonnement d'éléments arrondis sans compter que les nappes de gravats se retrouvent en toutes positions topographiques, mêmes sur les situations les plus isolées.

En conclusion, nous voyons que, parmi tous les mécanismes invoqués, celui de l'érosion différentielle avec formation en surface, dans l'histoire des sols, d'un pavage de ruissellement, paraît le plus plausible. Nous ne l'adopterons cependant pas uniquement dans la totalité des cas. Certains faits d'observation, exposés plus loin, amènent, en effet, à penser qu'un autre processus peut très bien arriver à concentrer des éléments grossiers (uniquement anguleux) en un ou plusieurs horizons déterminés.

2/- La mise en place des recouvrements de matériaux fins.

Sur ce sujet, les opinions sont beaucoup plus souvent contradictoires et nous résumerons la position des différents auteurs en trois catégories : allochtonie, autochtonie et théorie intermédiaire faisant intervenir les deux premières à l'échelle de l'unité géomorphologique que constitue chaque sommet ou interfluve avec son versant.

A) Allochtonie

Parmi les tenants de cette théorie nous citerons, en particulier : G. WAEGEMANS (1953, 42), R.V. RUHE (1954, 33 et 1959, 34), A. de CRAENE (1954, 12) et J. LARUELLE (1961, 23). G. WAEGEMANS, admettant que ce que nous pouvons appeler le pavage de ruissellement originel ne présente jamais une puissance excluant la réinstallation de la végétation, celle-ci permet la fixation ultérieure d'éléments fins colluviaux. Cet auteur dont l'hypothèse semble impliquer le déroulement des phénomènes en une seule séquence morphoclimatique, ne précise cependant guère l'origine de ces colluvions fines. On ne voit que difficilement le développement, d'autre part, d'un colluvium sur les situations topographiques dominantes, isolées.

R.V. RUHE, partant des faits que les dykes de roches basiques ont une influence sur une surface bien supérieure à celle qu'ils occupent, que ce qu'il appelle le "basal gravel" peut reposer à des profondeurs variables, pouvant atteindre 8 mètres, tout en présentant des situations en moyenne plus profondes vers l'aval des pentes, conclut en l'origine colluviale des recouvrements d'éléments fins. Il développe ultérieurement cette question (Soil Science, 1959) pour démontrer à l'aide d'une étude de terrain très détaillée réalisée aux Etats Unis, le processus de la mise en place de la stone line et de son recouvrement fin.

En résumé, l'auteur commence par réfuter l'explication de SHARPE (1938) selon laquelle seraient incorporés au sol en voie de reptation, des éléments grossiers frayant leur voie vers la profondeur grâce au mouvement plus rapide des horizons de surface. Il poursuit en admettant la superposition de ces horizons à granulométrie différente, en une seule phase d'érosion, sur des pédiments. Les profils de ceux-ci normalement concaves, et leur association, vers leur amont, avec des versants plus ou moins abrupts en voie de recul parallèle à eux-mêmes expliquent, pour l'auteur, le phénomène. Les horizons supérieurs, représenteraient donc un reliquat de pédimentation.

J. LARUELLE fait également état de colluvionnement mais sans préciser l'origine des matériaux déposés ni pourquoi ceux-ci se sont stabilisés sur des pentes, aussi fortes, pour lesquelles l'auteur cite des valeurs pouvant atteindre 15°. Les descriptions des profils qu'il étudie nous permettent de suivre,

dans la plupart des cas, des "stones lines diffuses" se prolongeant jusqu'à des profondeurs de 5 mètres et plus : celles-ci ne représenteraient-elles pas des zones de roche-mère particulièrement riche en filons de quartz, la présence de ces quartz grossiers n'étant, en rien, reliée avec une origine colluviale des horizons superficiels et subsuperficiels. C.F. CHARTER (1958) cité par C.D. OLLIER (1959, 30) adopte également, au Tanganyika, l'hypothèse du transport de matériaux fins déjà évolués.

A. de CRAENE (distinguant, par ailleurs, - 1955 - des stones lines de pédimentation ou de solifluxion) écrit (1954, 12) que la partie colluviale des profils formés sur le complexe de base du Nord-Est du Congo Belge s'est déposée, à l'origine, sous forme d'éléments rocheux plus ou moins désagrégés et non sous forme de matériau meuble analogue à un sol : il est difficile, d'imaginer quelles furent être les forces érosives soigneusement dosées pour arracher et transporter des éléments rocheux sur la stone line sans bouleverser ou décapoter celle-ci.

B) Autochtonie du recouvrement.

Plus nombreux semblent être les auteurs partisans de l'autochtonie du recouvrement fin des nappes de gravats. B. ANDERSON (1956, 1) observe au Tanganyika que "la cartographie des différents sols présente des contours en bandes parallèles suivant les modifications du gneiss sous-jacent", les sols les plus sableux étant toujours associés avec les gneiss acides, les plus riches en strates quartzeuses. Cet auteur ne concluant pas d'une façon nette, n'en laisse pas moins penser que le développement des sols qu'il observe s'est effectué sur des matériaux pour le moins très peu transportés. Mais dans un article (1957) cité par C.D. OLLIER (1959, 30), le même auteur semble réviser partiellement son opinion pour considérer tout matériau recouvrant la stone line d'une épaisseur de 2 mètres et plus, comme d'origine colluviale. Remarquons, au passage, que cette limite ne peut que sembler arbitraire.

G. BACHELIER, M. CURIS et D. MARTIN (1957, 3), dans une publication sur les savanes du Sud Cameroun, notent que "la conséquence principale de l'action des termites sur le sol réside en une remontée en surface, des éléments fins des

horizons sous-jacents avec, comme conséquence indirecte une accumulation des éléments grossiers en profondeur". Les auteurs décrivent un profil où 100 cm de "terre grise de savane" surmontent un horizon de gravillons et gravats ferrugineux plus ou moins patinés et soudés entre eux jusqu'à 180 cm.

A cette explication par l'action de la faune du sol et en particulier des termites, se rallient nombre de chercheurs ayant travaillé dans les régions très éloignées les unes des autres.

P. TALTASSE, au Brésil (1957, 38) décrit des recouvrements dans lesquels un réseau de galeries a été fossilisé par une imprégnation ferrugineuse ultérieure. La morphologie de ce réseau entraîne l'auteur à conclure en une action des termites qui auraient, de toute évidence, selon la description qu'il donne de la coupe étudiée, reclassé un matériau qui est dans ce cas précis, d'origine fluviatile ou de ruissellement.

A la suite du même article, J. TRICART traite du rôle amublissant des termites pour reprendre plus tard avec A. CAILLEUX (1965, 41) la même question, en laissant entendre qu'il existe des présomptions positives solides quant au rôle des termites dans le recouvrement des nappes de gravats.

C.D. OLLIER (1959, 30) en Ouganda, élabore une théorie "bicyclique" de la formation des sols qu'il observe, en accordant aux seules termites, le rôle du recouvrement des stonelines. Il poursuit en affirmant que la plupart des auteurs ne fournissent aucune preuve de dépôts colluvionnaires, se basant, entre autres, sur le fait que les versants furent façonnés avant que les profils se développent aux dépens de la roche-mère altérée sous-jacente. Cet auteur observe que certains bas de pente paraissent être recouverts d'une plus grande épaisseur de sol et reconnaît que ce fait pourrait tirer son origine du colluvionnement à partir des points situés plus haut, mais termine en remarquant qu'il n'existe pour affirmer cette possibilité, que rarement de preuve définitive.

R. WEBSTER (1965, 45) travaillant en Rhodésie du Nord va encore plus loin que C.D. OLLIER et conclut que les sols présentant des stonelines se sont développés in situ même quand l'épaisseur du recouvrement dépasse 2 mètres

(cf. B. ANDERSON) et que même les sols sur bas de pente n'ont un caractère colluvial que sur une faible épaisseur (inférieure à 40 cm). Il explique le développement plus sableux de ces derniers profils par le fait que l'hydromorphie y est le phénomène marquant, qu'un plus grand volume d'eau les percole d'où le lessivage accéléré de l'argile. Il faut noter à ce sujet que P.H. NYE (1955, 28) avait fait remarquer que l'établissement d'un plan d'eau près de la surface des sols des bas de pente entraînait une différenciation texturale marquée (par illuviation verticale avec arrêt brusque au niveau de la nappe phréatique).

Nous devons terminer ce tour d'horizon en notant que G. LAPORTE a défendu également l'autochtonie la plus rigoureuse pour les sols dont traite son étude.

C) Théorie intermédiaire

Encore plus nombreux sont les auteurs adoptant une position intermédiaire, c'est-à-dire admettant le rôle des termites pour les profils des sommets et des parties supérieures des pentes mais assignant au colluvionnement l'origine du recouvrement pour les sols situés en aval. Citons : H. BRAHMER et A.S. de ENDREY (1954, 8), R. HAMILTON (1954, 19), H.B. OBENG et K.A. QUAGRINE (1960, 29), J.C. BURRIDGE (1965, 10) pour tout un éventail de sols d'un pays voisin du Togo : le Ghana ; J. de HEINZELIN (1955, 21) et J. de PLOEY (1964, 31) au Congo Belge, les conclusions de cet auteur rejoignant celle du précédent avec cette restriction qu'il n'admet pas que la genèse des recouvrements soit totalement indépendante de celles des gravats, mais sans préciser cette dernière opinion.

H. FOLSTER (1964, 16) constate, au Soudan méridional, que les recouvrements sont, sur les parties inférieures des pédiments, nettement plus épais qu'en amont. Il en déduit qu'il y a eut transport, mais en assignant aux termites un rôle dans la fourniture en surface des pédiments, de matériaux fins.

J.P. WATSON (1965, 44) en Rhodésie du Sud fait également la distinction entre les recouvrements des sommets et points hauts : il admet l'hypothèse d'un apport ancien de matériaux par recul des escarpements comme le suggère R.V. RUHE, même pour les points hauts, mais fait remarquer que l'activité des termites permet à ces sols de compenser leurs pertes par érosion.

Enfin, dernière en date, l'explication proposée par F. BOURGEAT et M. PETIT (1966, 5) rejoint partiellement celle de la plupart des auteurs venant d'être cités. Ces derniers distinguent deux unités géomorphologiques : les niveaux locaux d'aplanissement et versants. Sur les premières de ces unités géomorphologiques deux solutions sont présentées : soit une alimentation de l'horizon supérieur par transport ancien de matériaux à partir de reliefs locaux actuellement surbaissés, soit une intervention de la faune du sol. Sur les versants, ces auteurs expliquent le recouvrement par colluvionnement à partir des sommets des croupes.

Nous voyons donc que le plus grand nombre des auteurs penchent pour la position intermédiaire, faisant intervenir pour la genèse de ces sols à nappes de gravats enterrées, un ensemble de conditions différentes selon qu'il s'agit des sommets ou bien des versants, donnant en définitive, le rôle principal aux termites dans la fourniture de matériaux fins de recouvrement, le colluvionnement se chargeant, à des degrés divers selon la position topographique, de répartir ceux-ci dans le paysage.

III - OBSERVATIONS SUR LES SOLS TOGOLAIS

1.- Les grandes lignes géomorphologiques et les caractéristiques morphologiques générales des sols.

Dans une surface d'aplanissement généralisée que l'on peut, à priori, dater fin-tertiaire, se sont développés au Quaternaire, des glacis généralement peu étendus et se recoupant, laissant quelquefois subsister à côté de témoins de l'ancienne surface, des reliefs surbaissés toujours très estompés. La valeur des pentes n'excède que très rarement 3°.

Sur les témoins les mieux conservés de la vieille surface se sont développés depuis une époque difficilement déterminable des sols très profonds que l'on peut rapidement ranger dans le groupe faiblement ferrallitique tandis que les glacis sont couverts de profils en général beaucoup moins profonds, quelquefois cuirassés, appartenant, pour la grande majorité d'entre eux, aux divers groupes de la sous-classe des sols ferrugineux. Une reprise récente de l'entaille du réseau hydrographique a fait, assez souvent, se développer de part et

d'autre des cours d'eau, des sols en général peu profonds, dominés par l'hydromorphie et dont le matériau originel, en réalité faiblement évolué, dérive directement d'une roche-mère souvent riche en bases. Ces derniers sols étant à la charnière de grands groupes pédogénétiques très divers comme les vertisols, les sols bruns eutrophes, ferrugineux ou halomorphes seront dénommés ici, pour la commodité d'expression : "sols d'argile d'altération". Ils peuvent "remonter" plus ou moins haut sur les versants. Leur présence exclusive de part et d'autre de tous les cours d'eau est, néanmoins, loin d'être la règle générale. La base des pentes aboutissant aux tributaires plus ou moins éloignés est souvent plus ou moins "ennoyée" sous des profils sableux, très profondément et fortement lessivés quo l'on peut, au moins temporairement, considérer comme originaires de matériaux colluviaux. Ils sont dominés par l'hydromorphie.

Bien que de pédogenèse extrêmement variée, ces sols du socle granito-gneissique offrent à peu près tous, la caractéristique commune de la présence d'une nappe de gravats à une plus ou moins grande profondeur. Elle n'est absente que dans certains vertisols, et sols "d'argile d'altération" ainsi que dans de nombreux sols sableux hydromorphes, d'origine colluviale supposée, de bas de pente.

2.- La nappe de gravats

2.-1 Composition pétrographique

Celle-ci est particulièrement constante : en pratique, uniquement des éléments quartzeux ou (et) quartzitiques, c'est-à-dire de composition les rendant très résistants à l'altération. Les cas de présence d'éléments plus altérables, comme, par exemple, des fragments de roche gneissique, sont extrêmement rares et pour la plupart cantonnés dans les sols d'argile d'altération.

La question se pose de faire rentrer dans la composition de ces nappes de gravats une partie des concrétions auxquelles elles sont associées. Il apparaît que la réponse est pour le moins très difficile. Le tri des éléments grossiers de nombreux profils amène, en effet, très souvent la répartition de ces concrétions ferrugineuses en plusieurs populations dont deux au maximum sont, dans la plupart des cas, dominantes et possèdent des caractéristiques moyennes à première vue différentes. Un examen plus poussé permet, cependant, de reconnaître de nombreuses formes de transition, si bien que le seul examen morphologique ne permet pas de conclure.

Il faut bien se rendre compte, en effet, que les conditions pédogénétiques du début de l'histoire d'un profil jusqu'à nos jours purent fort bien avoir été variables de par les modifications du milieu dans lequel un profil se développe, d'abord, et ensuite sous l'influence des variations progressives engendrées dans le sol sous l'action de leurs propres effets, aussi bien sur les propriétés chimiques et physiques.

Bien que susceptibles de pouvoir être réparties par leur morphologie en plusieurs populations, les différentes concrétions n'en montrent pas moins quelques traits généraux communs aussi bien d'un lot à un autre au sein d'un même horizon que dans une série de profils identiques tant du point de vue génétique, morphologique que physique et chimique. C'est ainsi que dans les profils les plus sableux, nous avons des concrétions de forme très irrégulière, très contournée, d'aspect souvent scoriacé, englobant souvent des grains de quartz, à surface rugueuse et mate, tandis qu'au sein de profils argileux, elles sont généralement subpisolitiques, pisolitiques ou de forme assez régulière, à surface souvent patinée. Certains auteurs ont cru voir dans cette dernière catégorie des faciès de transport dont la patine aurait été produite par leur exposition aux agents atmosphériques et leur arrondissement par leur usure en cours du ruissellement.

Telle est l'opinion de H.B. OBENG et K-A. QUAGRAINE (1960, 29) pour les matériaux ferrugineux qu'ils trouvent immédiatement en dessous des horizons de surface, au Ghana, matériaux que ces auteurs considèrent avoir été transportés à partir de sols concrétionnés situés en contrehaut.

G. WAEGEMANS (1953, 42) écrit que l'on peut considérer que les grenailles latéritiques sont en place si elles se continuent par un horizon sous-jacent d'argile tachetée dans laquelle on peut retrouver sous forme de taches, leurs ébauches. Par contre, si cet horizon d'argile tachetée est absent, cet auteur en conclut que la grenaille latéritique n'est pas en place. Il faut remarquer, à propos de ce dernier point de vue, qu'un profil contenant ces concrétions peut fort bien être devenu de mieux en mieux drainé, soit par son approfondissement, soit pour toute autre raison, comme par exemple la descente de la nappe phréatique consécutive à un enfoncement du réseau hydrographique.

L'argile tachetée pourrait très bien, dans ces conditions, faire place à un horizon dans le~~s~~ lequel~~s~~ les phénomènes de réduction et de redistribution des oxydes de fer s'arrêtent, permettant alors à la végétation et à la faune du sol, favorisées par ce meilleur drainage d'homogénéiser cet horizon ou la partie supérieure de celui-ci, d'où disparition des taches.

L'auteur poursuit en notant qu'il faut admettre que la "grenaille latéritique", étant donné sa puissance dans les sols qu'il étudie au Congo Belge, tire son origine du démantèlement latéritique tertiaire. En réponse à cette dernière opinion, il est permis de remarquer qu'il est peu probable que ce matériau ait pu résister à un remaniement de cette ampleur, étant donné que sa résistance, si elle peut être élevée, est quand même très loin d'égaliser celle du quartz, qui justement dans ces nappes de gravats montre souvent une usure poussée.

Si l'apport de matériaux ferrugineux à partir de reliefs tertiaires, peut être admis, il s'est vraisemblablement effectué sous forme soluble ou pseudo-soluble, et à condition que les propriétés physiques et physico-chimiques des sols réceptacles fussent favorables. Nous pouvons, par ailleurs, observer, dans le Nord du Togo que le démantèlement des buttes cuirassées témoins d'une ancienne surface n'alimente pas en matériaux ferrugineux figurés les profils aussi rapprochés que de quelques dizaines de mètres du pied du versant abrupt conduisant à la cuirasse sommitale. Les concrétions que l'on trouve dans ces profils présentent, en surface aussi bien qu'en leur section, des morphologies nettement différentes des fragments indurés isolés de la cuirasse.

D'autres preuves abondent de l'autochtonie des concrétions que l'on trouve dans les profils sur le socle granito-gneissique au Togo. Nous pouvons, en effet, observer assez fréquemment le développement, dans les horizons d'accumulation ferrugineuse des diverses catégories de sols, de concrétions soudées, à la surface des cailloux et graviers de quartz de la nappe de gravats, et ceci pour les différentes populations que nous pouvons isoler.

D'autre part, c'est dans les horizons dont l'autochtonie ne peut être mise en doute, comme par exemple les horizons C présentant des filons de quartz non dislogués de nombreux sols "d'argile d'altération", que nous retrouvons les pisolites les plus parfaitement arrondis et les mieux patinés.

A ce propos nous citerons G. BACHELIER (1959, 3) qui quoique concluant que le matériau originel des sols qu'il étudie, est issu d'un transport et remarquant que la patine des concrétions est la plus brillante pour ceux de ces éléments exposés en surface, n'en écrit pas moins que cette surface lisse, unie, peut très bien s'acquérir au sein du sol. Selon cet auteur, les solutions ferrugineuses imbibant les concrétions en saison humide, précipiteraient à leur surface en saison sèche.

A. de CRAENE et J. LARUELLE (1955, 14) par ailleurs, écrivent que l'aspect arrondi des concrétions s'explique "par un phénomène de diffusion colloïdale" et concluent en leur formation in situ. Telle est également l'opinion de P.H. NYE (1955, 28) à propos des sols sur lesquels il travaille dans le Sud du Nigéria.

Nous ajouterons que les nappes de gravats de sols d'argile d'altération ne sont associées qu'à des concrétions (formées d'ailleurs préférentiellement à leur contact) possédant une morphologie rigoureusement identique à celles situées dans des horizons sous-jacents, dont l'autochtonie ne pose aucun problème. Pourquoi ces dernières nappes de gravats ne comporteraient pas des concrétions de genèse allochtone sinon que leur mise en place s'effectue dans des conditions telles que ces matériaux ferrugineux sont détruits ?

Enfin nous noterons qu'il est d'observation générale que le concrétionnement intéresse très souvent une partie ou la totalité d'un horizon sous-jacent à la limite inférieure de la nappe de gravats, sans présenter de variation de son intensité ni de ses caractéristiques morphologiques.

Nous concluons donc, faute d'aucune indication de transport, que l'on doit considérer, jusqu'à preuve du contraire, comme autochtones l'ensemble des concrétions associées ou non à des nappes de gravats dans les sols dont nous traitons ici.

2.-2 Mise en place des nappes de gravats

Pour revenir à celles-ci, telles qu'elles sont constituées par des éléments quartzeux résiduels, nous devons tout d'abord préciser que pour le domaine de cette étude, leur mise en place n'a pu s'effectuer que sous forme de pavage de ruissellement ou bien, comme nous en verrons la possibilité plus loin, par concentration in situ par l'activité des termites, du moins pour celles d'entre elles qui ne présentent que des éléments anguleux.

La plupart de ces nappes présentent des éléments usés témoignant de leur contact avec le ruissellement. M. BOYE (1960, 6) a toutefois pu observer en Guyane Française, dans plusieurs sondages effectués dans la roche-mère arénisée, mais en place (comme le prouve la permanence du litage du gneiss originel) et ceci à 11,50 mètres en dessous de la surface de celle-ci, des quartz émoussés et même arrondis. "Il y a donc, dit l'auteur, un processus inconnu, responsable de l'évolution des formes, depuis le tronçon grossièrement équarri selon le plan de fissilité du filon jusqu'à celle d'une bille qui devrait, sur un graphique morphométrique, figurer dans l'aire réservée aux actions dynamiques tourbillonnaires". Il en conclut que les formes arrondies peuvent être acquises en l'absence de tout transport. Le contexte de son article nous autorise à supposer que l'auteur sous entend qu'il s'agit aussi bien de transport de toutes autres particules transitant à son contact que de celui de l'élément quartzeux considéré. Nous n'adopterons pas cette vue de M. BOYE pour le fait qu'il n'a jamais pu être observé de telles figures d'émoussement ou d'arrondissement dans les zones d'altération du socle togolais.

Une raison tenant particulièrement au chimisme et au pédoclimat des sels togolais nous fait d'autre part rejeter l'hypothèse des néoformations quartzeuses de A. de CRAENE et SOROTCHINSKY. En effet, G. MILLOT (1964, 26) expose que les silicifications s'effectuent d'une manière d'autant plus désordonnée que sont plus nombreuses les impuretés (et en particulier les ions étrangers) et plus brusques les variations de température et de concentration.

.../...

Ceci est bien le cas des sols ferrugineux et sols "d'argile d'altération" togolais ou malgré la réunion de ces conditions (variations de température exceptées en profondeur), nous pouvons observer que les éléments quartzeux composant exclusivement les nappes de gravats, sont tous parfaitement cristallisés.

2.-3 Disposition de la nappe de gravats dans les profils

Précisons, d'abord, que la grande majorité des sols ferrallitiques et ferrugineux qui nous intéressent présentent les trois horizons suivants : un horizon A plus ou moins humifère, le plus souvent lessivé en fer et en argile, pratiquement dépourvu d'éléments grossiers, un horizon B d'accumulation ferrugineuse le plus souvent intense et concrétionnée, enfin, un horizon C dont le développement in situ est prouvé par de multiples indices : présence de filons de quartz peu dislogués, bariolage correspondant à l'hétérogénéité de la roche mère.. etc. Précisons que cet horizon C, pour les sols ferrugineux, est très souvent évolué, dans sa partie supérieure, en une argile d'altération présentant souvent des caractères vertiques oblitérant les indices de développement in situ. Il n'en reste pas moins que tous les caractères morphologiques, analytiques, minéralogiques.. etc montrent que cette argile d'altération est en continuité absolue avec les horizons sous-jacents.

Pour les vertisols et sols d'argile d'altération sensu lato tels que nous les avons définis antérieurement, nous ne pouvons le plus souvent distinguer que les horizons A et C, le A étant pour les premiers en parfaite continuité avec le C, tandis qu'il semble le plus souvent séparé de l'horizon sous-jacent par une discontinuité, tout au moins morphologique, pour les seconds (la couleur et surtout la structure variant plus ou moins brusquement au passage de l'un à l'autre).

Pour les sols ferrallitiques et ferrugineux nous avons donc une première discontinuité entre A et B, puis une seconde entre B et C, tout en notant que cette dernière est très souvent estompée pour les sols ferrallitiques, très souvent plus nette, au contraire, pour les sols ferrugineux, en particulier pour ceux dont le sommet du C est évolué en argile vertique. Dans les sols "d'argile d'altération" une seule discontinuité apparaît : entre le A et le C.

Enfin, des vertisols offrent des profils en parfaite continuité de la surface jusqu'à la roche-mère.

C'est dans le cadre de ces discontinuités morphologiques qu'il faut étudier les diverses dispositions de ces nappes de gravats et tenter de les expliquer, d'abord pour les sols ferrallitiques et ferrugineux, puis pour les vertisols et les sols d'argile d'altération.

1er cas (fréquence : 14 %) : seulement des éléments quartzeux anguleux dispersés dans tout l'horizon Bfc. Deux explications sont possibles. 1°/ : Ces éléments étaient au préalable disposés en un pavage de ruissellement et furent incorporés progressivement par la suite, à un recouvrement, grâce à l'activité des animaux fouisseurs ou (et) au bouleversement apporté par le développement de la végétation et en particulier par le déracinement d'arbres lors des tempêtes. 2°/ : Ces éléments ont été concentrés sur place par exportation de la terre fine (par la faune du sol et en particulier les termites) d'une forte tranche du profil, l'érosion décapant progressivement ces apports en surface.

Nous verrons plus loin qu'il existe, en effet, de fortes présomptions pour admettre dans certains cas, une concentration sur place.

2ème cas (fréquence : 4 %) : présence d'éléments anguleux dans tout le Bfc mais avec concentration relative à la base de cet horizon. Nous sommes ramenés, à peu près, au cas précédent mais pour admettre la 2ème explication, il faudrait supposer que la plus forte concentration à la base de l'horizon correspond à une activité préférentielle des termites à ce niveau ou bien à la présence d'une passée plus quartzeuse dans la roche-mère.

3ème cas (fréquence : 41 %) : présence de quartz anguleux et émoussés dispersés dans tout l'horizon de part et d'autre d'un niveau offrant une plus ou moins nette concentration. La première explication du premier cas semble ici la plus plausible, mais nous ne pouvons rejeter entièrement plusieurs autres. Tout d'abord il se peut fort bien que ces éléments, pour les sols à roches-mères les plus basiques, soient descendus grâce à des fentes de retrait verticales plus ou moins profondément développées dans un horizon originellement constitué d'"argile d'altération" à forte capacité de retrait, évolué, par la suite, en Bfc.

En second lieu, la surface d'érosion supportant la nappe de gravats originelle put très bien avoir été entaillée à l'extrême par des ravinements plus ou moins profonds. J. TRICART et A. CAILLEUX (1965, 41) notent, en effet, en régions tropicales, des faciès d'érosion mettant à jour des cryptolapiés développés à la base des zones d'altération. La profondeur variable de ceux-ci permettraient aux éléments résiduels de se voir répartis assez uniformément au cours du développement ultérieur du nouveau profil.

Néanmoins, nous pouvons observer, à la suite du tri des éléments grossiers de chaque échantillon de nombreux profils, que la taille maximum de ces quartz correspond toujours à leur plus fort pourcentage, de part et d'autre du niveau de plus forte concentration. Tout se passe donc comme si leur taille était un facteur limitant leur déplacement à partir de la nappe de gravats originelle. En ce sens l'explication de la diffusion par l'activité des animaux fouisseurs semble ici la plus acceptable, que cette diffusion s'opère vers le haut par ces animaux fouisseurs eux-mêmes, ou bien vers le bas, tout à fait, passivement par la seule gravité, dans les galeries.

Enfin, à la suite d'observations rapportées par A. Van WAMBEKE et M.F. OOSTEN (1954, 43) sur la remontée, dans des argiles noires tropicales (vertisols), d'éléments puisés dans un banc de profondeur, nous pouvons penser que ce mécanisme pourrait expliquer le brassage de certaines nappes de gravats. Le matériau originel de la partie du profil occupée maintenant par le Bfc put très bien, dans certains cas, avoir été une argile à caractères nettement vertiques comme le sont ceux des horizons C de nombreux sols ferrugineux développés sur les gneiss suffisamment basiques. Il est rappelons le, à ce propos, également courant d'observer dans ce pays tous les intergrades possibles entre sols ferrugineux et vertisols.

4ème cas (fréquence : 10 %) : présence d'éléments quartzeux anguleux et émoussés dans tout l'horizon mais avec nette concentration dans la partie supérieure du Bfc. Nous pouvons revenir, ici, à l'explication par la

.../...

*les matériaux
sont repartis
non concentrés!*

gravité soit dans des galeries de fouissage, soit dans des fentes de retrait ou bien grâce à un réseau assez concentré et peu dense de petites ravines temporaires, à la surface du terrain, avant le développement de ces profils.

5ème cas (fréquence : 16 %) : présence d'éléments anguleux et émoussés dans tout l'horizon Bfe, mais avec nette concentration à sa base. Activité des animaux fouisseurs, déracinement d'arbres, chute assez généralisée dans des fentes de retrait ou dans le fond de petits ravinements de profondeur assez constante paraissent être les explications les plus plausibles .

6ème cas (fréquence : 14 %) : présence d'éléments anguleux dans tout l'horizon Bfe, mais concentration exclusive des émoussés dans la partie supérieure de l'horizon. Nous ne pouvons que très difficilement envisager de façonnage qui n'aurait porté que sur les éléments situés en surface de la nappe de gravats pendant que celle-ci était exposée au ruissellement. Nous ne pouvons, non plus, admettre un second épandage (comportant des émoussés) ayant respecté sans la bouleverser, une première nappe de gravats uniquement anguleux. Il faut plutôt voir dans cette répartition, la concentration sur place, par les termites, d'éléments anguleux, dans un niveau sous-jacent à celui comportant entre autres, les émoussés, c'est-à-dire la seule véritable nappe de gravats. Nous adoptons ici, pro parte, la deuxième explication du premier cas.

7ème cas (fréquence : 1 %) : concentration exclusive d'éléments anguleux et émoussés d'une part à la partie supérieure, d'autre part à la base de l'horizon Bfe. Nous ne pouvons imaginer la formation d'une seconde nappe de gravats à la surface d'un recouvrement (représenté ici par la partie du profil comprise entre les deux niveaux) sans que le ruissellement n'ait bouleversé celui-ci. Nous devrions observer, dans ce cas, des témoins de ravinement par l'indentation vers le bas, du niveau grossier supérieur. Il semble ici plus logique d'admettre que ce dernier représente l'épandage sur une ancienne surface du sol (lors d'une pause dans le recouvrement) d'éléments grossiers déblayés de leurs galeries par les

.../...

animaux fousseurs. Il faut noter à ce propos que le pourcentage et la taille maximum des éléments du niveau supérieur sont inférieurs à ceux des graviers et cailloux qui composent le niveau inférieur.

Tous les cas précédents se rapportent aux sols ferrallitiques et ferrugineux. Dans les sols "d'argile d'altération" et les vertisols, la disposition de la nappe de gravats présente, dans la grande majorité des cas, toutes les caractéristiques d'une mise en place au sein d'un horizon autochtone, soit par recouvrement que l'on ne peut qu'attribuer à l'activité des termites, soit par gravité dans des fentes de retrait. Elle est dans tous les cas située nettement en dessous de la seule discontinuité morphologique apparente délimitant la base des horizons supérieurs plus sableux de nombreux sols "d'argile d'altération".

Il serait permis de s'étonner qu'il n'ait, dans ce qui précède, jamais été fait appel au processus des coulées boueuses. Celles-ci, en effet pourraient expliquer à première vue la disposition très souvent diffuse des éléments grossiers trouvés entre les deux discontinuités morphologiques des sols ferrugineux et ferrallitiques. Il est cependant difficile d'adopter cette explication pour les raisons qui nous feront conclure en l'autochtonie pratiquement générale du matériau au sein duquel s'est développé l'horizon Bfe. D'autre part, on voit mal quelle aurait bien pu être, comme le fait remarquer H. FOLSTER (1964, 16) la cause de l'extension à l'Afrique de l'Ouest, de phénomènes typiques du Périglaciaire. Enfin la manifestation de ceux-ci revêt, de par leur nature, un caractère trop localisé pour que celui-ci puisse cadrer avec la remarquable continuité du recouvrement sur l'ensemble d'une très vaste région du continent africain.

3.- Les arguments militant contre l'origine colluviale des sols.

Depuis le début de cette note, il a été donné à plusieurs reprises de faire la critique négative de plusieurs théories allochtones du recouvrement des nappes de gravats (ou du matériau au sein duquel se concentrent des éléments quartzeux résiduels).

.../...

Le rôle des termites a même été envisagé. C'est bien en définitive, principalement à cette dernière hypothèse que conduisent pour les sols qui sont traités ici, divers raisonnements, observations et résultats analytiques.

3.-1 Considération générale

Il nous faut remarquer que le couple altération-érosion est un phénomène de portée générale absolue, qui fait passer progressivement les différents horizons d'un profil, non induré irréversiblement en masse, par le même niveau, le A arrivant par exemple au bout d'un certain temps, à occuper en position absolue, la place du C qui, lui, a descendu aux dépens de la roche-mère en voie d'altération. Il est donc fatal qu'à un moment donné, les éléments grossiers doivent se retrouver en surface et non rester en profondeur s'il n'y a pas réalimentation constante du matériau constituant les horizons superficiels. On pourrait penser que pour les sols ferrugineux et ferrallitiques, le développement d'un horizon concrétionné protège suffisamment de l'érosion, les nappes de gravats en les englobant. Mais ce mécanisme n'a même pas à jouer pour la plus grande partie du Togo puisque, justement, les quelques décimètres d'horizon superficiels sont constitués de matériaux meubles, très sensibles, de par leur nature, à l'érosion. Ou bien, il faut supposer que cette mince "couverture" a pu résister depuis fort longtemps au ruissellement, ce qui est loin d'être prouvé, ou bien qu'elle est réalimentée en permanence, vue que certains faits d'observation nous obligent à adopter. Il est, en effet, remarquable qu'une partie septentrionale du Togo (au Nord de Dapango en particulier) ne présente plus de termitières que sous forme de très petits édifices, en forme de champignons le plus souvent, dont on sait que les constructeurs ne puisent qu'à profondeur restreinte dans le sol. Or c'est précisément dans cette région que nous voyons apparaître un peu partout en surface l'horizon Bfe englobant les éléments des nappes de gravats ou autres quartz résiduels. Ceci prouve peut-être (restriction que nous tenterons d'expliquer quelques lignes plus loin) que l'horizon concrétionné protège les gravats de leur apparition en surface, mais indique également que les termites, pour les sols présentant des horizons meubles superficiels ont à puiser à grande profondeur les matériaux nécessaires. D'ailleurs, on ne voit pas comment

.../...

pourrait-il en être autrement dans ce dernier cas, étant donné l'extrême rareté générale des matériaux fins, meubles, dans l'horizon Bfe dont souvent plus des 3/4 du volume sont occupés par des matériaux grossiers. L'implication de ce phénomène, liée à l'observation souvent jusqu'à 2 mètres et plus, de galeries de fouissage nous oblige à admettre que l'épaisseur d'un recouvrement, effectué par les termites, n'est pas obligatoirement limitée à des valeurs relativement faibles et qu'il est parfaitement possible de la voir atteindre 2 mètres et plus.

Pour revenir à la restriction qui a été faite dans ce paragraphe, à propos de l'efficacité de la protection offerte par l'horizon concrétionné, celle-ci est en effet hautement probable, mais il faut remarquer que la genèse, sur une aussi forte épaisseur et avec une telle intensité de ces concrétions n'a pas été immédiate. Nous ne pouvons que nous étonner que l'érosion ait permis à ce processus de se développer sur une aussi grande puissance. Il est donc permis d'admettre que s'est effectuée la réalimentation des horizons superficiels en matériaux assez peu évolués pour être susceptibles de libérer du fer, c'est-à-dire analogues à ceux que l'on trouve dans l'horizon C de tels sols, d'où la forte présomption de remontées par la faune du sol.

Cette protection n'a donc pu jouer qu'à partir du moment où l'épaisseur cumulée du recouvrement devint suffisante pour alimenter de tels horizons Bfe.

Enfin l'observation de nappes de gravats en profondeur des vertisols et des sols d'"argile d'altération" qui, eux, ne sont pas protégés de l'érosion par un horizon plus ou moins concrétionné, induré, nous oblige également à noter que l'érosion doit bien être au moins compensée par les remontées de matériaux fins.

3.-2 Le cadre géomorphologique

L'étude des profondeurs maximum atteintes par les nappes de gravats dans les sols a été consignée sous forme d'histogrammes établis pour différents niveaux topographiques (voir fig.1).

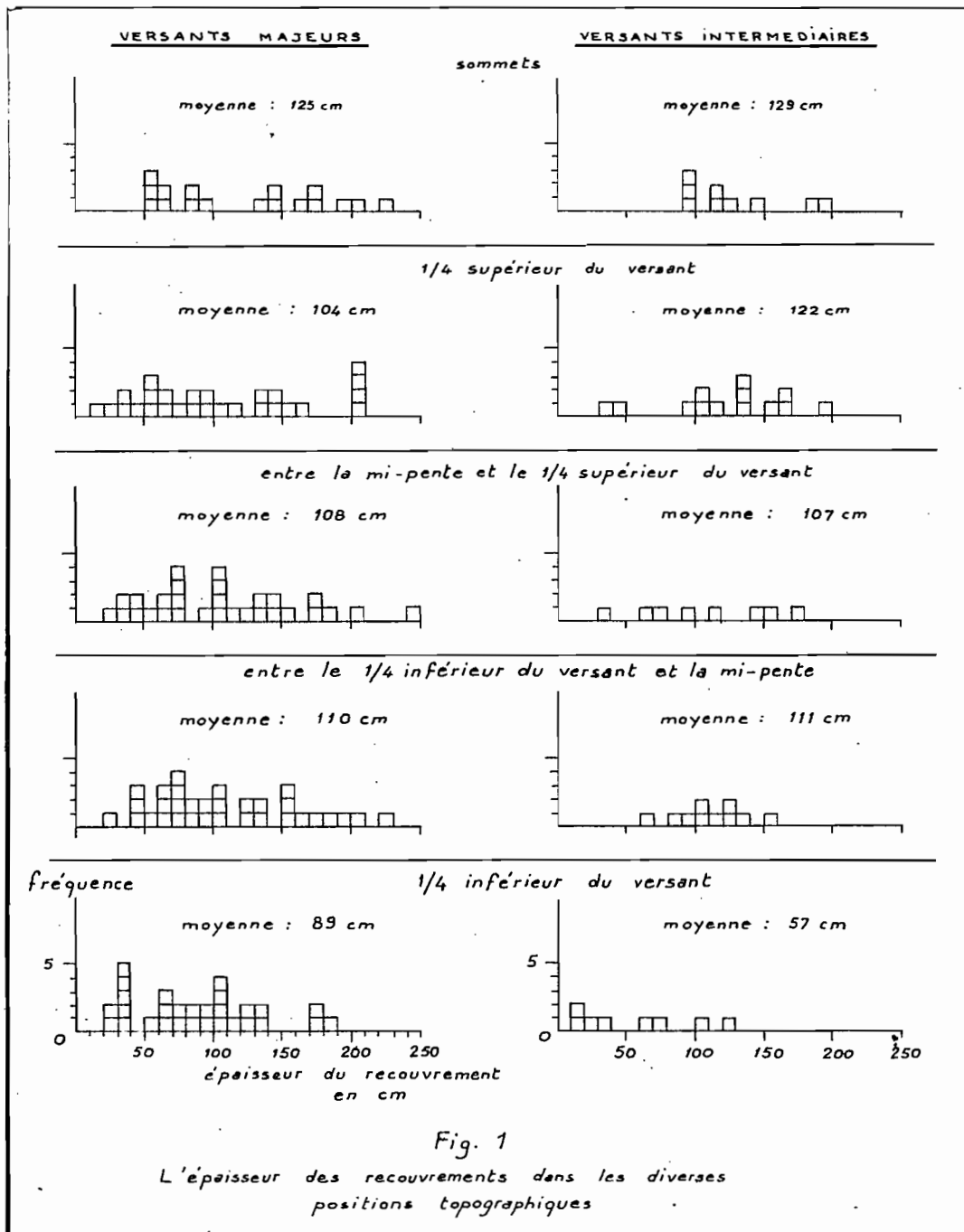


Fig. 1

L'épaisseur des recouvrements dans les diverses positions topographiques

La distinction a, en outre, été effectuée entre les versants majeurs reliant les témoins de l'ancienne surface pédiplanée et les principaux axes de drainage, d'une part, et les versants intermédiaires reliant les interfluves façonnés en dessous du niveau de l'ancienne surface, aux cours d'eau tributaires.

Cette distinction a été effectuée pour la raison suivante. Si nous pouvons admettre que les versants majeurs ont pu être recouverts d'un colluvium provenant d'éventuelles nappes de recouvrements de l'ancienne pédiplaine, nous ne pouvons accepter ce schéma pour les versants intermédiaires. Ceux-ci, sans compter le fait qu'ils culminent le plus souvent à un niveau très inférieur à celui de l'ancienne surface, sont, en effet, "coupés" de la possible alimentation colluviale tirant son origine de la vieille surface. L'étroitesse de leur crête, ne permettant aucune garde contre l'érosion et dénotant l'intersection des reculs parallèles (plus ou moins anciens) des versants, interdit d'autre part toute possibilité de permanence de nappes colluviales de matériaux fins. Il faut bien admettre que, dans ce cas précis, tout recouvrement n'a pu s'effectuer que par les seules remontées de matériaux fins puisés dans le substratum.

En résumé la remarquable constance de la présence de recouvrement de matériaux fins dans un paysage dont la morphogenèse s'est effectuée en plusieurs phases est assez étonnante. Nous devons remarquer, ensuite, d'après les histogrammes que nous ne pouvons retirer de preuves d'origine colluvionnaire des recouvrements fins par une quelconque augmentation de leur épaisseur de l'amont vers l'aval des versants. La puissance moyenne du recouvrement est en effet plus forte pour les profils de sommet que pour ceux développés sur la base des versants. Nous voyons également que cette épaisseur ne dépasse jamais une valeur telle qu'on puisse mettre sérieusement en doute la capacité d'insectes fouisseurs, aussi actifs que les termites, de la réaliser.

Enfin, outre le fait que les caractéristiques du recouvrement sont rigoureusement semblables des sommets des interfluves surbaissés aux témoins de l'ancienne surface, on ne voit pas quel aurait bien pu être le phénomène ayant fait disparaître complètement les très nombreux reliefs locaux nécessités, dans l'hypothèse de R.V. RUHE, pour alimenter d'éventuels pédisédiments de chacune des nombreuses ondulations de cette vieille surface.

Nous voyons que l'hypothèse "autochtone" ne peut guère être discutée pour les sols des sommets et autres points hauts ; le doute peut cependant planer quant aux versants étant donné que pour ceux-ci un colluvionnement peut tirer son origine des matériaux apportés par érosion des sommets. Nous devons donc nous appuyer, pour les sols développés sur pentes, sur d'autres données plus spécifiquement pédologiques.

3.-3 Etude des processus pédogénétiques

3.3.-1 - L'ensemble des caractéristiques des profils.

Remarquons que la moindre profondeur des profils développés sur les versants nous permet de nous faire une idée plus précise de la lithologie du substratum que sur les sommets, en particulier sur les témoins de l'ancienne surface.

Tout d'abord, malgré l'apparente discontinuité limitant fréquemment vers le bas, la profondeur maxima atteinte par la nappe de gravats, un examen précis ne révèle aucune différence fondamentale des caractéristiques de part et d'autre de ce niveau du profil. Couleur, texture et éléments minéraux inaltérés sont fondamentalement les mêmes. Seule la structure est assez fréquemment modifiée, à cause semble-t-il de la présence de très nombreuses concrétions au dessus de cette discontinuité.

Nous observons ensuite que le long d'un versant, chaque profil traduit, dans ses horizons sus-jacents à la discontinuité, toute variation du substratum rocheux. Nous citerons par exemple, que tout au long d'une grande partie du fleuve Mono ainsi que de ses principales rivières tributaires, les versants recoupent des strates ou intrusions basiques, plus ou moins étendues, isolées au sein de gneiss beaucoup plus acides. Or, en l'espace de quelques dizaines de mètres seulement, et ceci, devons nous préciser, sur des glacis visiblement d'âge uniforme, nous passons de sols ferrugineux très profondément lessivés, très concrétionnés, à fort pourcentage de quartz résiduels constituant une nappe de gravats plus ou moins diffuse, développés sur gneiss acide, riche en filons de quartz, à des vertisols sur hornblendite ou amphibolite, très pauvres en gravats de quartz, ne présentant naturellement, pour des raisons qui leur sont inhérentes, de discontinuité.

TOPOSEQUENCE GRANULOMETRIQUE de NYITOE - ZOUKPE

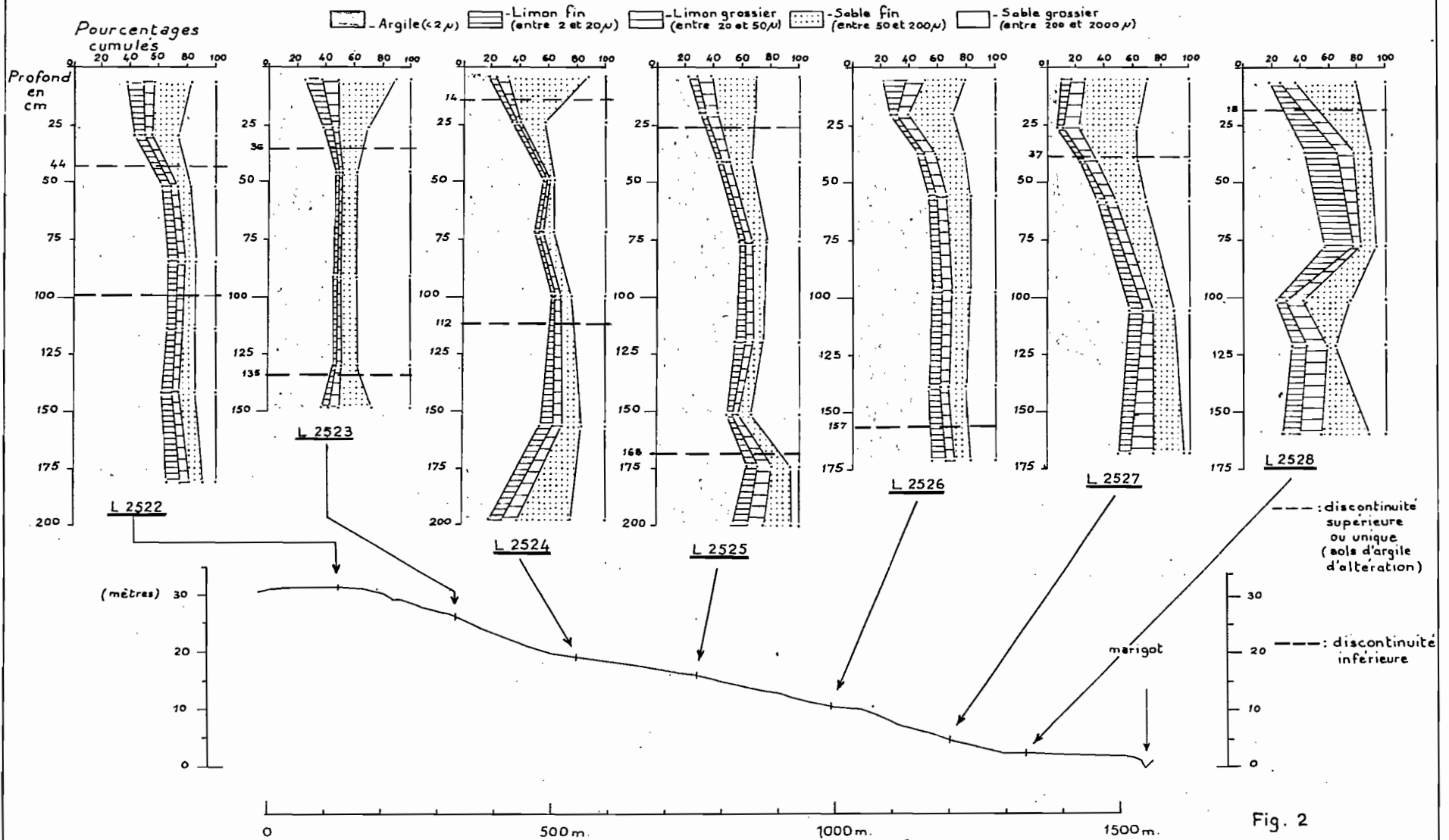


Fig. 2

L'examen des sables des vertisols sur hornblendite ou amphibolite, situés en contrebas de sols ferrugineux montre, en outre, que la contamination quartzuse par possible colluvionnement à partir des seconds est pratiquement nulle : de la surface jusqu'à la roche-mère de ces vertisols, le taux de sables quartzeux, plus fins en général que ceux des sols ferrugineux, ne montre aucune variation significative d'un apport.

Il est évidemment impossible d'obtenir des preuves d'autochtonie aussi spectaculaires sur tous les versants, dont la roche-mère et la pédogenèse sont généralement plus homogènes, mais l'exemple de ce que nous pouvons constater partout est donné par la figure 2. Celle-ci consigne le profil granulométrique des sols composant une toposéquence. Nous pouvons y constater que le "franchissement" des discontinuités morphologiques apparentes par les courbes des différentes fractions granulométriques ne se répercute par aucun point d'inflexion. Nous pouvons remarquer de plus, que si le recouvrement était d'origine colluviale, il y aurait de plus fortes chances qu'une ressemblance s'établisse entre les profils granulométriques d'horizons homologues de deux profils voisins plutôt que d'un horizon à l'autre au sein d'un même profil. Or, tout au long de l'exploitation de nombreuses toposéquences, ce cas n'a jamais pu être établi avec quelque certitude.

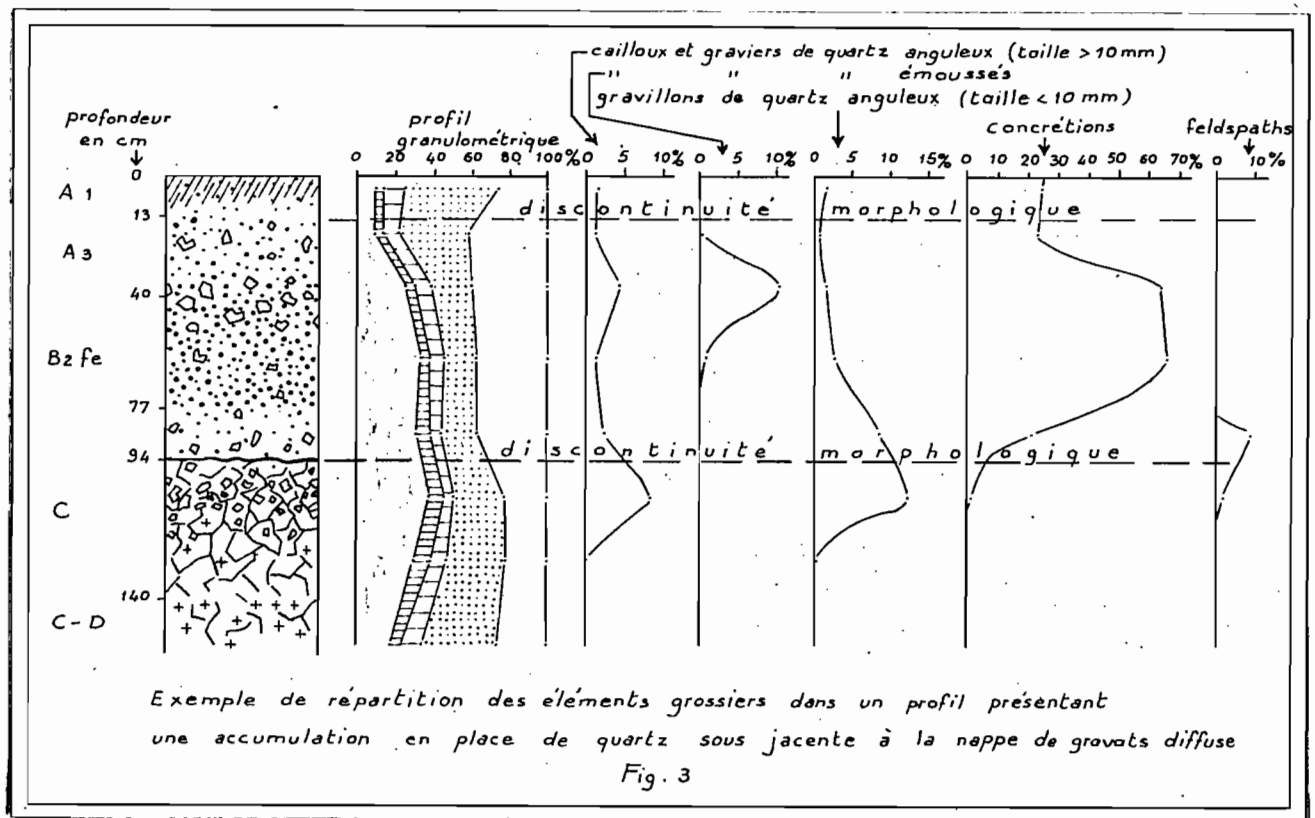
3.3.-2 La concentration d'éléments grossiers sur place.

D'autre part, certaines observations et résultats granulométriques militent en faveur de la concentration d'éléments grossiers sur place avec comme corollaire, l'exportation vers la surface d'éléments fins.

D'assez nombreux profils, (environ 20 %), et ceci, en toutes positions topographiques, présentent, juste en dessous du recouvrement dans lequel s'est plus ou moins dispersée la nappe de gravats une concentration de quartz parfaitement anguleux, absolument pas ferruginisés tirant de toute évidence leur origine de l'horizon d'altération directement sous-jacent. Plusieurs preuves appuient cette manière de voir. Premièrement ces quartz sont assez souvent liés à des feldspaths très incomplètement altérés et peuvent d'ailleurs, dans certains profils, céder leur place à une concentration soit de feldspaths soit de fragments de roche-mère en voie d'altération lorsque celle-ci est pauvre en filons quartzeux.

.../...

Deuxièmement, le plus souvent, la limite supérieure du niveau qu'ils constituent est très nette et leur granulométrie diffère profondément de celle des gravats.



Pour bien s'assurer de ce dernier fait, fût effectuée sur de nombreux semblables profils leur rapide séparation en deux fractions respectivement inférieure et supérieure à 1 ca. Celle-ci a prouvé, dans la majorité des cas, que nous avons affaire à des éléments résiduels de genèse tout à fait différente de part et d'autre de la discontinuité. Enfin, le plus souvent, le pourcentage de ces éléments par rapport au volume de sol se révèle nettement plus élevé que celui des gravats tandis qu'il diminue assez rapidement, mais non pas brutalement, en profondeur dans l'horizon C.

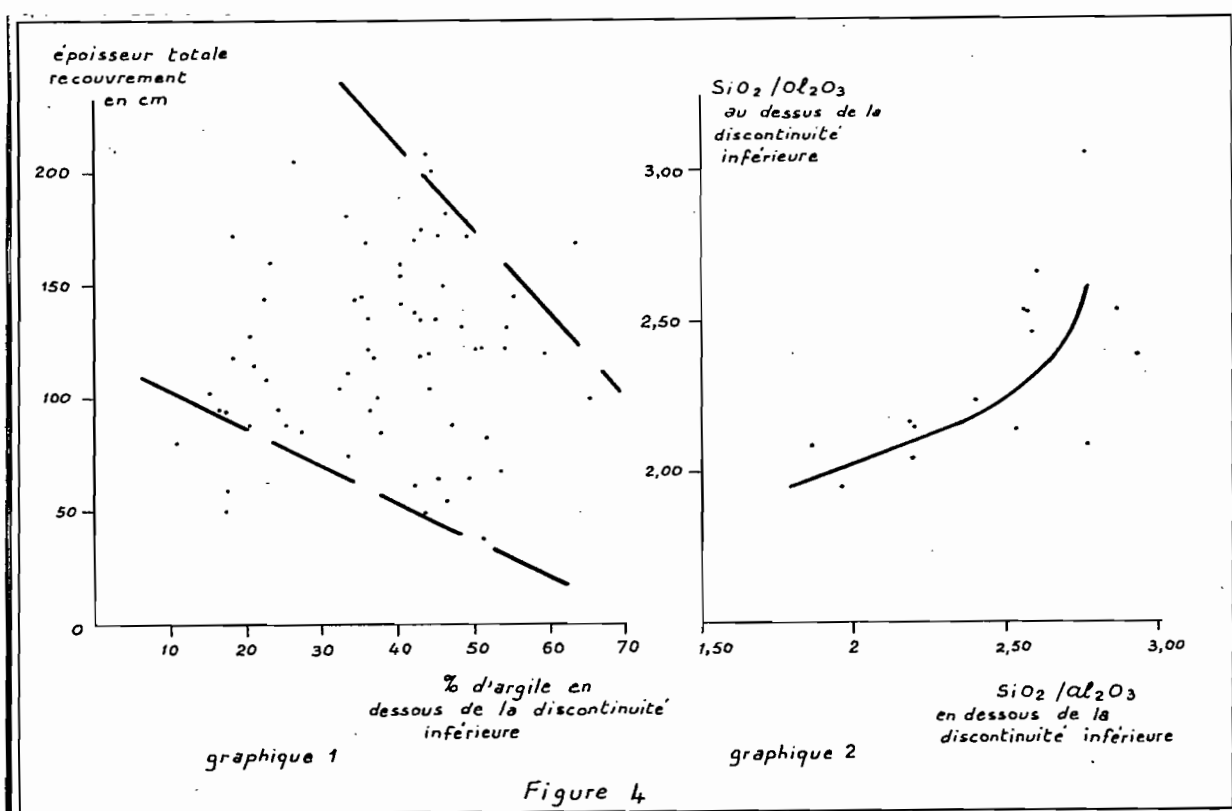
Il est donc exclu que ces éléments grossiers puissent être rattachés à la nappe de gravats originellement pavage de ruissellement, d'autant plus qu'ils ne témoignent d'aucun contact avec les agents atmosphériques et que, preuve d'autochtonie supplémentaire, il n'est pas rare de les voir se rattacher en profondeur avec des zones à filonnets de quartz non ou peu disloqués.

.../...

Tout ce qui vient d'être exposé signifie que ces quartz ont subi une concentration sur place à partir d'un volume de sol que l'on peut, par le rapport existant entre leur pourcentage et celui des mêmes éléments grossiers situés plus profondément dans les zones apparemment intactes du C, estimer dans certains cas jusqu'à 12 fois supérieur à celui que représente l'horizon qu'ils constituent.

3.3.-3 Quelques autres résultats.

La figure 4 nous montre quelques détails sur le passage de l'horizon englobant la nappe de gravats à l'horizon sédentaire.



Le graphique 1 établit la relation existant entre la puissance du recouvrement et le pourcentage d'argile du sommet du second de ces horizons. Bien que les points soient très dispersés, la plupart d'entre eux ne s'en **situent** pas moins entre 2 limites montrant par leur grossier parallélisme que plus le matériau sous jacent à la nappe de gravats est argileux, moins le volume du matériau fin de recouvrement est important.

Ce fait que la nature du matériau sédentaire possède une influence sur les caractéristiques du recouvrement, appuie donc l'hypothèse de l'autochtonie de ce dernier.

Il est difficile d'imaginer par quel processus cette relation s'établit, mais il n'est pas interdit de penser que, construites avec des matériaux suffisamment argileux les termitières résistent plus longtemps à l'effondrement d'où leur renouvellement moins fréquent avec des matériaux puisés en profondeur.

Le second graphique établit la relation existant entre les rapports moléculaires Silice/Alumine de la fraction granulométrique 0-2 mm de par et d'autre de la discontinuité morphologique limitant la base de la nappe de gravats. Nous voyons dans ce cas également, qu'une relation, assez étroite s'établit pour la majorité des données, indiquant que l'évolution du matériau a été identique juste en dessus et en dessous de cette limite.

3.3.-4 La granulométrie des sables

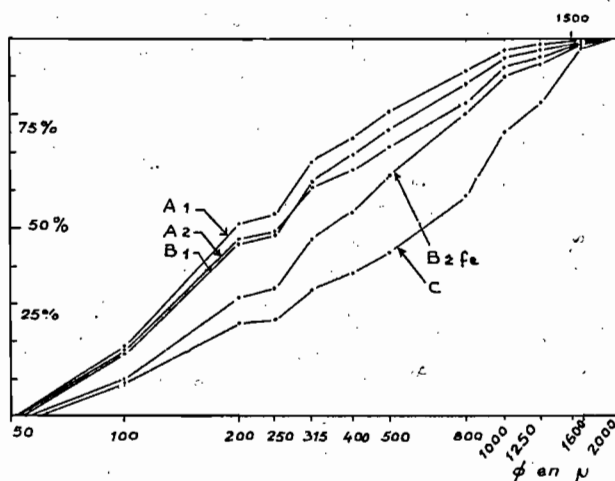
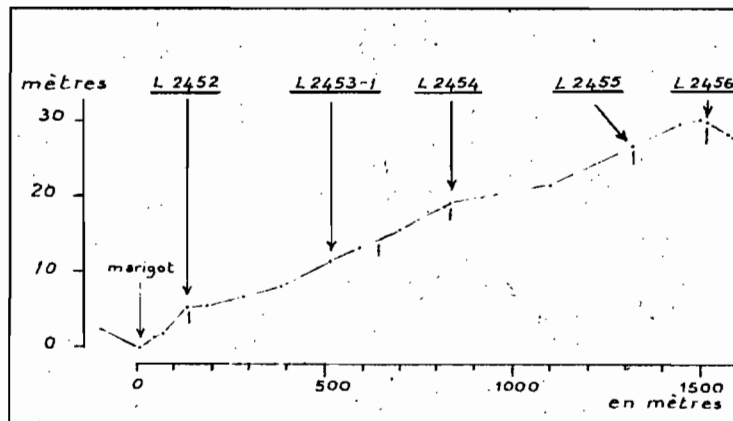
Parmi toutes les toposéquences étudiées à travers le pays, l'une d'elles a été choisie pour le fait qu'une grande proportion des profils du versant présentait, sur le terrain, une assez nette apparence colluviale des horizons sus-jacents au C. La granulométrie des sables (supérieurs à 50 microns) a été, ensuite, effectuée sur les principaux horizons de chaque profil. Les résultats sont consignés sur le tableau 1. Ils sont basés sur le calcul du coefficient de mauvais triage : $S = \sqrt{Q^3/Q^1}$ où Q^1 et Q^3 sont les diamètres correspondant respectivement aux niveaux 25 et 75 % de la courbe de sommation (W.C. KRUMBEIN et F.J. PETTIJOHN - Manual of Sedimentary Petrology - 1938).

La lecture de ce tableau suggère quelques réflexions. Nous voyons d'abord, que c'est l'horizon C du profil du sommet qui présente la plus faible valeur (1,72) du coefficient S pour toute la toposéquence, mis à part l'horizon A1, tout à fait superficiel, du profil creusé au tiers supérieur du versant (où S = 1,65). La présence de filonnets de quartz en place, de zones de roche-mère non bouleversées (en voie d'altération)... etc, sans compter la position de ce sol dans le paysage, exclut, toutefois, catégoriquement, toute possibilité d'apports colluviaux.

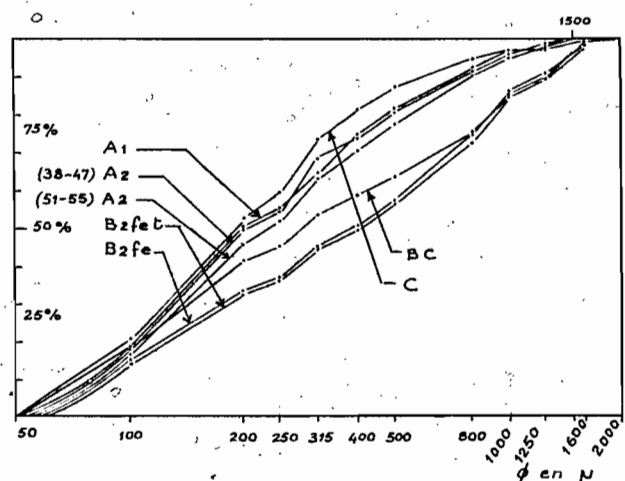
Position topographique	N° du profil	profondeur (en cm) et coefficient de mauvais triage			profondeur (en cm) de la discontinuité supérieure	limite sup ^{re} (en cm) de l'horizon sédentaire (C)
		Horizon A	Horizon B	Horizon C		
Sommet	L 2456	A ₁ (0-8): <u>1,83</u> A ₂ (38-47): <u>1,84</u> A ₂ (51-55): <u>1,90</u>	B ₂ fe,t(95-105): <u>2,36</u> B ₂ fe (150-159): <u>2,41</u> BC (198-207): 2,52	(220-227): <u>1,72</u>	55	diffuse, entre 195 et 208
Entre 1/4 sup ^{re} du versant et le sommet	L 2455	A ₁ (0-7): <u>1,77</u> A ₂ (24-30): <u>1,75</u>	B ₂ fe (42-51): <u>2,02</u> B ₂ fe,t(58-68): <u>2,30</u> B ₂ fe (25-105): <u>2,13</u>	(160-170): <u>2,49</u>	32	142
au 1/3 supérieur	L 2454	A ₁ (0-9): <u>1,65</u> A ₁ -2(27-34): <u>1,91</u>	B ₂ t(69-82): <u>1,97</u> B ₂ fe(122-130): <u>2,20</u> B ₂ fe (257-258): <u>2,30</u>	(345-360): <u>1,83</u>	passages progressifs d'un horizon à l'autre	
Légèrement en dessous de la mi-pente	L 2453/1	A ₁ (0-15): <u>1,73</u> A ₂ (48-54): <u>1,73</u> A ₂ (91-99): <u>1,83</u>	B ₂ fe(185-192): <u>1,88</u> BC (320-336): <u>1,89</u>		passage progressifs d'un horizon à l'autre	
Entre bas de pente et 1/4 inférieur	L 2452	A ₁ (0-14): <u>1,86</u> A ₂ (35-45): <u>2,01</u>	B ₁ (117-124): <u>2,04</u> B ₂ fe (163-170): <u>2,68</u>	(191-198): <u>2,24</u>	128	172

N.B. : les profondeurs sont indiquées entre parenthèses, les coefficients de mauvais triage sont représentés par les valeurs soulignées, les lettres indiquant les horizons génétiques

tableau 1



Profil L 2452 (bas de pente)



Profil L 2456 (sommet)

Par contre, le profil L 2452, situé en bas de pente, présente pour ses horizons sus-jacents à la nappe de gravats, des valeurs assez fortes (de 1,86, juste en surface, à 2,68, au contact de la nappe de gravats). Or, c'est précisément ce profil qui offre, sur le terrain, par sa morphologie (et sa position topographique), les symptômes les plus nets d'une apparente origine colluviale.

Les autres profils, sur le versant, présentent des valeurs oscillant sans progression logique de l'amont vers l'aval, entre ces deux termes extrêmes de la toposéquence. On ne peut dégager, au sein de presque chacun des profils, qu'une certaine diminution du coefficient S de la base de l'horizon B vers le sommet du A, mais en remarquant, d'autre part, que l'horizon C présente également une telle diminution.

Aucune des valeurs établies ne s'abaisse, en outre, jamais de telle façon que l'on puisse, par rapport à celle calculée pour l'horizon C du profil du sommet, indiscutablement sédentaire, notons le à nouveau, diagnostiquer un quelconque transport colluvial.

Nous verrons, au prochain chapitre, que la possibilité d'un certain triage par les termites du matériau fin de recouvrement des nappes de gravats est très loin d'être exclue.

Il est d'ailleurs remarquable que l'augmentation régulière de l'indice du mauvais triage de la surface vers la profondeur du recouvrement coïncide avec la diminution progressive de l'activité de la faune du sol, fait d'observation très générale. On ne peut guère, en effet, invoquer ici, de diminution vers la surface de la taille des particules par altération, puisque les données ont été établies sur des échantillons dont un examen a révélé un pourcentage négligeable d'éléments altérables tels que feldspaths et dont une déferification préalable avait éliminé les petites concrétions.

Il est difficile, en outre, d'imaginer, dans cette progressivité, un effet d'agents colluviaux qui aurait été semblable dans toutes les positions topographiques.

IV.- ACTION DES TERMITES

1. Puissance du recouvrement et profondeur atteinte par les galeries

Une rapide revue des principales publications traitant de ce sujet nous permet de mieux apprécier l'action potentielle des termites sur le développement des profils.

J. de HEINZELIN (1955, 21) estime l'apport total, près d'une termitière, à environ 0,50 mètre de terre fine par hectare en 1000 ans et signale que des objets dont l'âge ne dépasse pas 20.000 ans ont été trouvés dans des nappes de gravats surmontées de recouvrement, attribué aux termites, pouvant atteindre 1 mètre d'épaisseur.

J.A. MEYER (1960, 25), dans la Cuvette Centrale Congolaise, évalue de 1200 à 2000 m³ le volume total par hectare représenté par les termitières en voie de destruction, bien qu'il fasse remonter leur édification à une période plus sèche du début du quaternaire (ce dont au passage nous pouvons nous étonner étant donné leur relative fragilité).

J. de PLOEY (1964, 31) estime de son côté, à 10.000 ans l'âge des recouvrements épais de 1 à 2 mètres qu'il observe dans l'Ouest de la Cuvette Congolaise.

P.H. NYE (1955, 28) signale que les termitières sont construites très rapidement et que des édifices matures de 1,50 mètre de haut englobent souvent des herbes annuelles. Il évalue, pour la région d'Ibadan au Nigéria, de 5 à 10 ans, la période pendant laquelle les édifices se construisent, puis s'effondrent jusqu'à la moitié de leur hauteur maximum. Il estime, par la densité des termitières et de leurs galeries à différentes profondeurs, à environ 0,4 tonne/hectare et par an la quantité de matériaux puisés dans les horizons situés en dessous de la stone line, et rapporté en surface ce qui fait environ 10 cm de sol tous les 10.000 ans.

Il est inutile de souligner la différence énorme entre les estimations des trois premiers auteurs et celle du dernier, mais il n'en reste pas moins vrai qu'entre ces deux extrêmes, les possibilités d'accroissement de l'épaisseur du recouvrement fin des nappes de gravats sont notables, bien que, comme le souligne J. de HEINZELIN, celle-ci arrive, à un moment donné, à un équilibre de puissance.

Quant à la profondeur atteinte par les galeries de termites, si les observations donnent des résultats assez divergents, les valeurs notées par la plupart des auteurs font état de chiffres dépassant largement l'épaisseur courante des recouvrements fins des nappes de gravats. KALSHOVEN (1941) cité par P.H. NYE (1955, 28) établit que les termites, aux Indes, cherchent à atteindre le plan d'eau à des profondeurs d'au moins 4 mètres. MARAIS (1950) a observé à Watersberg, en Afrique du Sud, une galerie, conduisant à un puits, qui s'étendait à 12 mètres sous la surface du sol et à 9 mètres latéralement à partir de la termitière. HARRIS, toujours cité par P.H. NYE a noté en Ouganda (1949) que *Bellicositermes natalensis* construit ses édifices avec des matériaux récoltés de 180 à 270 cm de profondeur.

P.H. NYE, lui-même observe des profondeurs de 3 mètres, tout en notant que la densité des galeries diminue fortement en dessous de 180 cm.

P. GRASSE et C. NOIROU (1959, 18) ont établi que "les *Bellicositermes rex* qui édifient les termitières géantes en tumuli, de l'Est du Cameroun et de l'Oubangui, prélèvent sous les gravillons ou les blocs de latérite, des matériaux qui constituent un nouveau sol". Ces auteurs notent que ces matériaux peuvent être récoltés jusqu'à 12 mètres de profondeur.

Enfin notons qu'au Togo, la présence de galeries jusqu'à 2,50 mètres, c'est-à-dire nettement en dessous de la nappe de gravats, est d'observation très courante.

2. Conséquences du remaniement

P. BOYER (1959, 7) note que "la notion de profondeur du sol n'intervient pas directement. Elle n'est pas une condition stricte pour la plupart des espèces. La richesse du sol en éléments fins plastifiables et adhésifs du type argile est de beaucoup plus importante".

Ceci nous donne à penser que ces insectes effectuent un tri et c'est bien ce que semblent indiquer les résultats des chercheurs s'étant attachés à cette question.

P.H. NYE semble le premier à avoir précisé la composition granulométrique des termitières. Il observe, au Nigéria, que la limite supérieure de taille des particules est de 4 mm, qu'une proportion relativement basse de particules est comprise entre 2 et 4 mm, tandis qu'en dessous de 2 mm, les proportions des diverses fractions sont semblables à celles que l'on trouve dans l'horizon 33-76 cm, ceci pour les parois des édifices. Mais il observe, dans le nid, une chute brutale du pourcentage des particules supérieures à 0,5 mm.

A. CAILLEUX (1957, 11) écrit que des échantillons de termitières montrent "des grains de quartz atteignant au moins 1,15 mm et jusqu'à 3 mm, avec une médiane des records de 1,8 mm.

M. GENNART, M. KURBANOVIC, A. NANSON et G. MANIL (1961, 17) notent, pour les matériaux composant des édifices de termitières champignons que "les grains de sables se répartissent en 2 fractions bien distinctes : il y a d'une part, les grains fins d'un diamètre inférieur à 150 microns et d'autre part des grains beaucoup plus grossiers atteignant 1000 microns ou plus, de diamètre. Il se manifeste donc une sélection granulométrique.

WATSON (1965, 44) a montré, en Rhodésie du Sud que les termitières étaient plus riches en argile que les horizons surmontant la stone line et qu'elles se rapprochaient de la composition granulométrique de l'horizon de roche-mère altérée.

Enfin C. SYS (1955, 37), montre que la pédogenèse est quelque peu bloquée par le bouleversement dû à l'activité des termites et que "l'horizon A passe avec une très légère transition à l'horizon C, constitué d'une argile parsemée de concrétions de carbonate de calcium d'origine biologique" tandis que "le profil normal est un latosol caractéristique avec horizon structural B₂".

.../...

V - C O N C L U S I O N

Toute une série de données de terrain et de laboratoire, ainsi que les réflexions que l'on peut élaborer sur ces bases, convergent pour assurer de l'autochtonie des sols étudiés. Il se peut, bien entendu, que des apports coluviaux aient fourni le matériau originel de nombreux sols sableux de la base des versants, mais ce fait reste entièrement à démontrer, puisqu'il n'est basé que sur des données subjectives, au seul vu de la morphologie des profils.

Il apparaît très hautement probable que le recouvrement des nappes de gravats des sols développés dans à peu près toutes les positions topographiques dérive de matériaux puisés par la faune du sol, les termites en particulier, dans les zones d'altération sous-jacentes. En ce sens, nous ne pouvons pas dire que tous les profils soient sédentaires, développés in situ, mais autochtones. Le terme est moins restrictif, n'écartant pas l'hypothèse d'un très faible transport latéral (lors de l'étalement du matériau libéré par la destruction des termitières). Néanmoins certains profils ne contenant que des éléments quartzeux résiduels anguleux peuvent très bien s'être développés absolument en place. La concentration de ces graviers et cailloux se serait effectuée au sein d'une tranche plus ou moins épaisse du sol, appauvrie progressivement de ses éléments les plus fins par l'activité des termites, ces éléments fins, rapportés en surface, étant peu à peu érodés.

Pour revenir à la formation d'un recouvrement par les termites nous sommes autorisés à penser que les conséquences imaginables de ce processus sont multiples et de première importance : il nous suffit de songer, par exemple, que de tels sols s'accroissent par le haut en matériaux riches en minéraux altérables pour juger de l'importance que peuvent prendre les phénomènes de lessivage et les possibilités d'accumulation des substances les moins solubles.

Alvès

VI - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ANDERSON B. - Two red earths profiles from southern Tanganyika showing the influence of parent material on profile character - C.R. 6ème Congrès International de la Science du Sol Vol.E. p.93-98 - PARIS - 1956.
2. AUBERT G. - Cours de pédologie - ORSTOM.
3. BACHELIER G.- CURIS M., MARTIN D. - Les sols de savanes du Sud-Cameroun - Bulletin de l'Institut d'Etudes Centrafricaines n°13-14 p.7-26 - 1957.
4. BACHELIER G.- Etude Pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à la pédogenèse des sols ferrallitiques - L'agronomie tropicale, Vol. XIV N°3 p.280-305, Mai - Juin 1959.
5. BOURGEAT F., PETIT M. - Les "Stones-lines" et les terrasses alluviales des hautes terres malgaches - Cahiers ORSTOM de Pédologie, Vol.IV n°2 p.3-19 - 1966.
6. BOYE M. - Morphométrie des galets de quartz en Guyane Française - Revue de Géomorphologie Dynamique - N°1-2-3 1960.
7. BOYER Ph. - De l'influence des termites de la zone intertropicale sur la configuration de certains sols - Revue de Géomorphologie Dynamique N°s 1-2 et 3-4 p.41-44 - Janvier-Avril 1959.
8. BRAMMER H. et de ENDREDDY A.S.- The tropical Black Earths of the Gold Coast and their associated vlei soils - Actes et C.R. du 5ème Congrès International de la Science du Sol - Vol.IV p.70 à 76 - Léopoldville - 1954.
9. BUOL S.W. - Present soil forming factors and processes in arid and semi-arid regions - Soil Science, Vol.99 N°1 p.45-49 - Janvier 1965.

.../...

10. BURRIDGE J.C. - A spectrographic survey of representative Ghana Forest Soils - J. of Soil Science Vol.16 N°2 p.296-308 ;
Septembre 1965.
11. CAILLEUX A. et TRICART J.- Termites et Stone-Line - C.R. sommaire des Séances de la Société de Biogéographie n°293-4-6 page 12 -
Janvier 1957.
12. CRAENE A. (de) - Les sols de pédimentation ou les sols à "stone line" du Nord-Est du Congo Belge - Actes et C.R. du 4ème Congrès International de la Science du Sol - Vol.IV p.451-459 -
Léopoldville - 1954.
13. CRAENE A. (de) - La signification pédologique de la "Stone-Line" et ses relations avec la géomorphologie - L'"encroûtement quartzeux" - C.R. du 6ème Congrès International de la Science du Sol, Vol.A. p.254 - PARIS 1956.
14. " et LARUELLE J. - Genèse et Altération des Latosols équatoriaux et tropicaux humides - Les observations sur le terrain en relation avec les observations microscopiques. Bull. Agric. du Congo Belge Vol. XLVI n°5, p.1113-1229 - Octobre 1955.
15. " et SOROTCHINSKY C.- Essai d'interprétation nouvelle de la genèse de certains types de "stone-line" - Conférence Inter africaine des Sols - édition provisoire II Bbe - 32 p.1-4. Léopoldville - 1954.
16. FOLSTER Horst - Die pediscedimente der südsudanesischen pediplane - Herkunft und Bodenbildung - Pédologie (Belgique) XIV, 1, p.64-84 -
1964.
17. GENNART M., KURBANOVIC M., NANSON A., MANIL G.- Contribution micromorphologique à l'étude de la biodynamique des sols forestiers équatoriaux - Pédologie (Belg.) 1961 - 1 p.110.
18. GRASSE P., NOIROT C.- Rapport des termites avec les sols tropicaux - Revue de Géomorphologie Dynamique N° 1-2 et 3-4 p.35-39 -
Janvier-Avril 1959.

19. HAMILTON R. - A note on the black soils of the Gold Coast - Actes et R.C. du 4ème Congrès International de la Science du Sol Vol.IV p.85-88.
20. HEINZELIN J. (de) - Sols, Paléosols et Désertifications anciennes dans le secteur Nord Oriental du Bassin du Congo - Publication I.N.E.A.C. p.1-168 - Bruxelles 1952.
- 21 " - Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux - Publication I.N.E.A.C. - Série Scientifique n°64 - Bruxelles 1955.
22. LAPORTE G. - Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée COMILOG - O.R.S.T.O.M. - Institut de Recherches Scientifiques au Congo p.1-149 - Janvier 1962.
23. LARUELLE J. - Les grandes catenas au parc national de la Kagera (Ruanda) - note préliminaire - Pédologie (Belg.) 1961-1 p.158-214.
24. MAUD R.R. - Laterite and lateritic soils in coastal Natal - South Africa - J. of Soil Science Vol.16 N°1 p.60-71 - Mars 1965.
25. MEYER J.A. - Résultats agronomiques d'un essai de nivellement des termitières réalisé dans la Cuvette Centrale Congolaise - Bulletin Agricole du Congo Belge - Vol.LI N°5 p.1047-1059 - Octobre 1960.
26. MILLOT G. - Géologie des argiles - MASSON - PARIS 1964.
27. NIKIFOROFF C.C. - Weathering and soil evolution - Soil Science Vol.67 p.219-230.
28. NYE P.H. - Some soil forming processes in the humid tropics - J. of Soil Science Vol.6 N°1 p.51-82 - Janvier 1955.
29. OBENG H.B. et QUAGRAINE K.A. - Caractéristique de quelques Latosols et sols associés des zones de savanes du N.O. du Ghana C.R. 7ème Congrès International de la Science du Sol - (1960).

30. OLLIER C.D. - A two cycle theory of tropical pedology - J. of Soil Science - Vol.10 - N°2 - p.137-148 - Septembre 1959.
31. PLOEY J. (de) - Nappes de gravats et couvertures argilo-sableuses au bas Congo, leur genèse et l'action des termites - in Etudes sur les Termites Africains (Colloque International sous les auspices de l'U.N.E.S.C.O. - Université de Lovanium - Léopoldville - Mai 1964) p.399-414.
32. RADWANSKI S.A. et OLLIER C.D.- A study of an East African Catena - J. of Soil Science Vol.10 - N°2 Sept.1959 - p.149-167.
33. RUHE R.V. - Geology of the soils of the Nioka-Ituri Area, Belgian Congo - Publication de l'I.N.E.A.C. - 1954 - p.7-27.
34. " - Stones Lines in soils - Soil Science Vol.87 N°4 - p.223-231 - Avril 1959.
35. RUXTON B.P. et BERRY L.- Wheathering profiles and geomorphic position on granite in two tropical regions - Revue de Géomorphologie Dynamique - 1961 N°1 - p.16 à 31.
36. SPRINGER H.E.- Desert Pavement and vesicular Layer of Some Soils of the Desert of the Lahontan Basin, Nevada-Soil Science Society of America Proceedings N°22 p.63-66 (1958).
37. SYS G. - L'importance des Termites sur la Constitution des Latosols de la région d'Elisabethville - Sols Africains (3) p.392 - 1955.
38. TALTASSE P. - Les Cabeças de Jacaré et le rôle des termites - Revue de Géomorphologie Dynamique VIII n°11-12, p.166-170, 1957.
39. TRICART J. - Observations sur le charriage des matériaux grossiers - Revue de Géomorphologie Dynamique 1961 N°1 p.3-15.
40. TRICART J. - Principes et Méthodes de la Géomorphologie - Masson - PARIS 1965

41. TRICART J. et CAILLEUX A.- Traité de Géomorphologie - Le modelé des Régions Chaudes - Forêts et Savanes (TOME V) 307 pages - SEDES - Paris 1965.
42. WAEGEMANS G.- Signification pédologique de la "Stone Line" (note préliminaire) - Bulletin Agricole du Congo Belge Vol.XLIV N°3 - Juin 1953 - p.521-531.
43. WAMBEKE A. (Van) et OOSTEN M.F.- L'influence du microrelief gilgai sur la constitution des argiles tropicales de la Lufira (Congo Belge) - Actes et C.R. du 4ème Congrès International de la Science du Sol Vol.IV, p.321-3 - Léopoldville 1954.
44. WATSON J.P.- A soil catena on granite in Southern Rhodesia - J. of Soil Science Vol.15 N°2 p.238-257 - Septembre 1964 et Vol.16 N°1 - p.158-169 - Mars 1965.
45. WEBSTER R. - A catena of soils in the northern Rhodesia - J. of Soil Science Vol.16 N°1 p.31-42 - Mars 1965.