

Bondy - 6 et 7 Octobre 1967

INTRODUCTION A QUELQUES PROBLEMES RELATIVES AU  
LESSIVAGE DANS LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

G. BOCQUIER

Cette introduction à un échange de vues ne concerne que quelques problèmes relatifs à la seule migration de l'argile, ainsi qu'à certaines variations texturales dans les profils des Sols Ferrugineux Tropicaux. Les variations texturales sont, en effet, très généralement observées dans cette catégorie de sols tropicaux, au point que l'on a été amené à considérer que les Sols Ferrugineux pouvaient être tous des sols plus ou moins lessivés.

Mais il est apparu également que les variations texturales observées pouvaient ne pas être toutes, ou directement, imputables au seul processus du lessivage en argile, compris comme le déplacement vertical ou latéral de la fraction argile entre horizons d'un même profil ou de plusieurs profils. Il conviendra donc d'examiner si le phénomène "d'appauvrissement" de la texture dans les horizons supérieurs, qui a été souvent invoqué dans les Sols Ferrallitiques, ne serait pas aussi responsable de certaines modifications texturales dans les Sols Ferrugineux et quelles seraient éventuellement ses relations avec le lessivage.

Les problèmes particuliers successivement évoqués seront ceux ayant trait :

- à la mise en évidence du lessivage en argile.
- à la caractérisation et aux principales modalités du lessivage dans les Sols Ferrugineux.
- à l'interprétation de ces différentes modalités du lessivage, en ce qui concerne :
  - l'évolution des horizons éluviaux et illuviaux.
  - les relations génétiques pouvant exister entre les Sols Ferrugineux et certains autres sols tropicaux.

1. LA MISE EN EVIDENCE DU LESSIVAGE EN ARGILE.

La mise en évidence du lessivage dans les Sols Ferrugineux rencontre des difficultés analogues à celles qui ont été déjà éprouvées lors de l'étude des autres sols lessivés. Il convient donc de rappeler les critères qui ont été proposés, et d'examiner les conditions et les limites de leur utilisation.

Le premier critère à être utilisé seul a été celui de la variation verticale de la teneur en argile entre horizons lessivés et d'accumulation. En définissant un indice de lessivage, on a aussi proposé une valeur limite de cet indice (1,2) pour les sols à texture moyenne (15 à 40% d'argile). Cette valeur étant trop faible pour les textures sableuses et trop élevée pour les textures argileuses...

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

.../...

9812131333

n° 12115 LXI

... il a été convenu d'admettre que : (U.S.D.A. 1960-1964-1967)

- si la terre fine des horizons A contenait moins de 15% d'argile, l'horizon B devait présenter au moins 3% d'argile de plus que le A.
- si la terre fine de A contenait plus de 40 % d'argile, l'horizon B devait présenter au moins 8% d'argile de plus que le A.

Mais ce type de critère, utilisé seul, est apparu insuffisant car de telles variations texturales peuvent avoir d'autres origines que la seule migration d'argile entre horizons. En effet - et mis à part la cas d'apports sédimentaires - de telles variations peuvent résulter d'une hétérogénéité dans le matériau ou d'une évolution différente du matériau dans le profil, notamment par formation ou dégradation d'argile se réalisant préférentiellement dans certains horizons. Des tentatives faites pour estimer par le calcul les gains et les pertes relatifs en argile des différents horizons, ont en effet montré ( BARSHAD.1959 - BREWER.1964 ) que l'on devait s'assurer au préalable de l'homogénéité et de la non possibilité d'évolution du matériau dans le profil; ce qui a limité à quelques cas particuliers l'utilisation de ces estimations chiffrées.

On a donc recherché s'il existait des différences entre argile illuviale et argile formée dans le profil ou héritée du matériau: plusieurs résultats fondamentaux ont été ainsi obtenus :

- : l'argile illuviale serait granulométriquement plus fine : lorsque des horizons B et C ont des teneurs semblables en argile, on devrait pouvoir ainsi distinguer l'horizon B par sa plus grande richesse en argile fine.
- : lorsque le matériau est constitué d'un mélange de minéraux argileux comprenant de la montmorillonite, celle-ci migrerait préférentiellement.
- : enfin, une argile qui a migré se comporterait différemment lors de son dépôt, en acquérant une orientation; l'argile déplacée a tendance à former des revêtements de particules orientées sur les surfaces limitant dans le sol la circulation libre de l'eau, qui est l'agent de migration de l'argile. ( Faces des unités structurales, pores et canaux). L'Halloysite ferait exception.

L'existence de revêtements argileux, décelables à l'oeil, à la loupe ou au microscope, représente un critère particulièrement important pour l'identification du lessivage. D'après les travaux de micromorphologie de BREWER(1964), ce critère ne peut pas cependant être toujours utilisé avec sûreté car les revêtements argileux ou "cutans" peuvent avoir trois origines :

- l'illuviation ( le plus fréquemment ).
- la diffusion ( concentration de "matériel plasmique" à la surface d'un "ped").
- des actions de contrainte ( modification in situ du "matériel plasmique").

Les "cutans" d'illuviation se distingueraient par la netteté de leur limite avec la "matrice" qu'ils recouvrent, par l'absence d'inclusion de sable ou de limon et par leur possibilité de localisation dans les pores et canaux.

.../...

Deux autres critères ont également été pris en considération :

- l'épaisseur des horizons d'accumulation par rapport à celle des horizons lessivés.
- la distance verticale entre laquelle se réalise l'augmentation en argile conventionnellement admise comme significative du lessivage.

Ce sont précisément tous les critères précédemment cités qui ont été retenus par les pédologues américains pour définir l'un des principaux horizons diagnostics du lessivage: l'horizon argilique.

La mise en évidence du lessivage en argile nécessite donc l'utilisation conjointe de multiples critères dont l'identification est souvent délicate. Il apparaît par ailleurs souhaitable de ne pas se limiter aux seuls caractères des horizons d'accumulation, mais d'accorder une égale importance aux caractères des horizons lessivés, en étudiant corrélativement les caractéristiques propres à ces deux types d'horizon. On peut ainsi utiliser des caractères macromorphologiques comme les variations concomitantes de la porosité, de la texture et de la structure dans les horizons lessivés d'un profil.

Il semble qu'il soit nécessaire de poursuivre des travaux de micromorphologie comparée entre horizons éluviaux et illuviaux pour aider à la mise en évidence sinon à une meilleure compréhension de ce phénomène du lessivage en argile.

## 2. LA CARACTERISATION ET LES MODALITES DU LESSIVAGE DANS LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX.

Le lessivage en argile, lorsqu'il est mis en évidence dans les Sols Ferrugineux Tropicaux, se manifeste suivant différentes modalités : il existerait ainsi plusieurs types de différenciation de profil qu'il convient de caractériser, de classer et d'interpréter. Dans cette perspective, l'essai de caractérisation et d'interprétation de quelques uns de ces types, qui est présenté ici à titre introductif, ne se base que sur quelques travaux récemment effectués par plusieurs pédologues dans le bassin tchadien ( GAVAUD.1964.1966, AUDRY.1965.1966, BOCQUIER 1964.1965).

### a) Modifications texturales et lessivage.

Il a tout d'abord été tenté (AUDRY.1966) d'apprécier l'homogénéité des matériaux étudiés et de distinguer dans les variations texturales observées celles qui ne seraient pas liées au lessivage.

Dans des matériaux dérivés des formations du Continental Terminal, dans des alluvions, puis dans des matériaux dérivés de granite calcoalcalin, il a été décélé d'une manière quasi-systématique un même type de variation texturale ne paraissant pas imputable au lessivage: En l'absence de superpositions de matériaux d'origine sédimentaire, on observe en effet généralement un appauvrissement relatif en sables grossiers sur une certaine épaisseur de la partie supérieure des profils. L'examen de la variation verticale du rapport sables fins/ sables grossiers (figure 1), montre pour un nombre assez élevé de profils

étudiés, qu'hormis des variations tout à fait superficielles de ce rapport, celui-ci décroît - souvent progressivement - depuis la surface jusqu'à une certaine profondeur à partir de laquelle il se stabilise. Bien que cette modification texturale ne puisse résulter du seul déplacement de la fraction argile, on observe cependant le plus généralement une relation entre la variation verticale de ce rapport et celle, en sens inverse de l'argile: à savoir que le début de l'illuviation argileuse se situe dans le profil à la même profondeur que l'augmentation relative de la teneur en sables grossiers. Il y a cependant des exceptions montrant que la différenciation des horizons illuviaux peut se réaliser plus profondément, donc indépendamment de la variation de ce rapport sables fins/sables grossiers.

L'étude des variations de ce rapport dans la partie tout à fait superficielle de certains profils particuliers, est susceptible d'indiquer deux types d'explications :

- d'une part les rejets biologiques (vers de terre) à la surface de certains de ces sols présentent une texture appauvrie en sables grossiers (tri-biologique et homogénéisation)
- d'autre part, dans une chaîne de sols lessivés, les profils de haut de pente peuvent accuser, au contraire, une augmentation relative de sables grossiers, liée au départ superficiel des éléments fins par le ruissellement, alors que les profils situés en aval sont plus riches en sables fins et limon.

Ces deux actions pourraient vraisemblablement interférer pour produire - concomitamment au départ d'argile des horizons supérieurs - cette modification texturale originale, mais différente de celle de l'"appauvrissement" en argile signalée dans les Sols Ferrallitiques.

b) Modalités du lessivage et types de différenciation.

Les principaux types de différenciation actuellement connus dans les Sols Ferrugineux Tropicaux lessivés peuvent être caractérisés suivant :

- le mode de lessivage : intensité du lessivage (importance du départ d'éléments fins et d'argile) diminuant ou augmentant vers la base des horizons lessivés.
- le mode d'accumulation : continue (ou diffuse) et définissant des horizons B. : discontinue (en raies, bandes...) et se réalisant dans des horizons lessivés
- le mode de transition entre A et B : progressive ou tranchée.

En se basant sur le mode de lessivage, on peut distinguer deux types généraux de différenciation à chacun desquels se rattacherait plusieurs sous types particuliers : (figure 2)

- Le type le plus général est caractérisé par un lessivage dont l'intensité diminue vers la base des horizons lessivés; l'accumulation est généralement continue et progressive. Les profils sont le plus souvent colorés. Les horizons

lessivés, qui peuvent atteindre 1 m d'épaisseur, présentent un net gradient de variation de la porosité, augmentant progressivement avec la profondeur, en même temps qu'une légère amélioration de la structure par rapport à l'horizon superficiel.

Ce type de différenciation, pour lequel il est possible d'établir un certain nombre de relations qualitatives et quantitatives entre horizons éluviaux et illuviaux d'un même profil, est considéré comme le plus représentatif du lessivage vertical.

A ce premier type général peuvent être rattachés plusieurs sous types, parmi lesquels:

les profils à accumulation également continue, mais tronqués par érosion à leur partie supérieure. La transition entre A et B devient plus tranchée; la courbe de variation d'argile, au lieu de présenter une allure concave dans cette zone de transition, accuse au contraire généralement une convexité. Morphologiquement ces profils accusent une disproportion importante d'épaisseur entre horizons lessivés et d'accumulation (BOUTEYRE.1963). Ils présentent parfois une morphologie particulière de la partie supérieure du B, caractérisée par une "ségrégation de texture" par plages, isolant des "noyaux" plus argileux ayant à leur surface, (plus poreuse) des sables et des limons non revêtus. A la suite de travaux sur la micromorphologie d'horizons analogues (U.S.D.A.1967), cette morphologie pourrait être interprétée comme représentant une reprise de lessivage: les sables et limons "blanchis" représenteraient une phase résiduelle après le départ de l'argile; le centre des noyaux, plus argileux peut encore, en effet, posséder des revêtements argileux.

D'autres profils présentent également une transition plus tranchée entre A et B, mais la teneur en argile dans les horizons lessivés ne varie pas d'une manière significative. Ces profils, peu colorés, sont toujours marqués dans ce cas par des phénomènes d'hydromorphie. La porosité a plutôt tendance à diminuer ( ou à devenir plus grossière ) vers la base des horizons lessivés et les revêtements argileux sont peu abondants dans le B, dans lequel se développent des structures plus grossières.

Enfin, certains profils plus proches du type général (transition progressive, coloration...), s'en distinguent par la présence de "raies" dans les horizons lessivés : celles-ci sont interprétées comme des accumulations discontinues d'argile, d'hydroxydes et de matière organique, au sein d'horizons lessivés; on observe parfois l'accumulation différentielle de la matière organique à la partie supérieure de la raie. Dans ce type de différenciation les raies sont généralement colorées - comme les parties d'horizon lessivé qui les séparent - et elles augmentent souvent d'épaisseur et de nombre vers la base des horizons lessivés, jusqu'à la constitution progressive d'une accumulation continue. Les horizons lessivés présentent une épaisseur relativement plus importante que celle des horizons d'accumulation, et par ce caractère comme par la présence de raies, ces profils se rapprochent d'un deuxième type général de différenciation.

L'intensité du lessivage croît vers la base des horizons lessivés, définissant des horizons de type A<sub>2</sub> : ceux-ci ont tendance à prendre un très grand développement dans le profil, alors que le B se réduit jusqu'à disparaître ( en coupe verticale ). Dans ces horizons A<sub>2</sub>, la porosité croît fortement vers la base de ces horizons, par contre, l'agrégation diminue jusqu'à l'état particulaire et les colorations vives disparaissent. La texture de la base de l'A<sub>2</sub> apparaît progressivement modifiée, non seulement par le départ de l'argile, mais également par celui d'autres éléments fins. Cette texture résiduelle se caractérise alors par un enrichissement relatif en éléments grossiers; elle tend ainsi à rendre abrupte la transition avec le B et à accuser les différences entre horizons éluviaux et illuviaux, en donnant l'aspect d'une discontinuité lithologique.

Les profils de ce type présentent généralement une accumulation discontinue en raies dans l'A<sub>2</sub> (raies de coloration grise ou brune); ils sont très peu colorés avec un éclaircissement de l'A<sub>2</sub>, et souvent marqués par l'hydromorphie. Les horizons illuviaux peuvent être différenciés en B d'hydroxydes et d'argile, B d'argile, puis B de carbonates ou sels ( avec ou sans une légère accumulation relative de Sodium ).

Des sous types pourraient être distingués suivant :

- l'absence de B (en coupe verticale): de tels profils fréquemment observés dans des chaînes de sols sur piedmont granitique, sont alors caractérisés par un très grand développement de l'A<sub>2</sub> qui surmonte directement le granite à la surface duquel peuvent exister localement des pellicules de revêtements argileux.
- l'absence de raies : l'hydromorphie affecte nettement ces profils dans lesquels la disproportion d'épaisseur entre A et B est moins affirmée que dans les types précédents, mais le contraste, par contre, demeure tout aussi frappant.

Dans ce deuxième type général de différenciation, il n'apparaît plus possible de relier dans un même profil vertical les caractères d'éluviation et d'illuviation : celle-ci est d'abord disproportionnée à l'échelle du profil, puis disjointe de l'éluviation à l'échelle de la chaîne de sols, le long d'une pente. Le sens des migrations dominantes d'éléments fins est alors oblique et ce type de différenciation caractériserait le lessivage latéral dans les Sols Ferrugineux Tropicaux lessivés.

### 3. INTERPRETATIONS .

La formation des horizons éluviaux et illuviaux, qui s'effectue principalement par perte ou gain d'éléments, entraîne des modifications ultérieure de leur comportement: elle est ainsi à l'origine de possibilités d'interactions, non seulement entre horizons d'un même profil, mais également entre horizons ou matériaux de profils voisins.

Il paraît donc intéressant d'estimer les possibilités d'évolution de ces horizons éluviaux et illuviaux et d'examiner si certaines de ces interactions nées du lessivage, ne fondent pas des relations génétiques entre les différents types de Sols Ferrugineux lessivés, ou bien entre ces Sols Ferrugineux lessivés et d'autres sols tropicaux.

Les modifications apportées par le lessivage aux horizons éluviaux et illuviaux en formation ont principalement pour conséquence de faire varier, et d'une manière opposée, le comportement de ces horizons vis à vis de l'eau qui y circule :

- augmentation de la perméabilité et diminution de la rétention dans les horizons lessivés.
- diminution de la perméabilité et augmentation de la rétention dans les horizons d'accumulation.

Tant que la diminution de la perméabilité dans le B n'interdit pas le drainage de cet horizon, le lessivage peut se poursuivre et les phénomènes d'hydromorphie sont absents ou limités : les différenciations observées correspondent alors à celles du premier type général décrit: profils profonds, colorés, à transition progressive et à accumulation continue.

Lorsqu'il est réalisé, le colmatage des horizons illuviaux induit lui-même des phénomènes d'hydromorphie (MAGNIEN.1964) et conduit à une diminution, sinon à un arrêt du lessivage dans les horizons supérieurs, si le site n'offre pas de possibilité de drainage latéral. A ce stade, la différenciation des profils - proche de celle des sols hydromorphes - est caractérisée (outre les manifestations d'engorgement) par la faiblesse ou l'absence de variation de la teneur en argile dans les horizons lessivés et par une transition rapide entre A et B. On note dans ces horizons B l'apparition de structures prismatique, cubique, sinon en plaquettes obliques et ces milieux colmatés, dans lesquels se réalisent également des concentrations d'éléments dissous, peuvent être le siège de néosynthèses argileuses. Ainsi se trouveraient encore accusées les différences, ainsi que la limite entre horizons à caractères éluviaux et illuviaux. Certains profils de sols hydromorphes présentant des horizons supérieurs à texture sableuse résiduelle, passant rapidement à des horizons argileux à structure grossière sinon à caractères vertisoliques, pourraient correspondre à une telle évolution.

Si le site offre des possibilités de drainage interne latéral, la circulation et les migrations latérales auront généralement tendance à se localiser à la base des horizons lessivés, au contact de l'horizon B. On connaît cependant une exception: celle de certains Sols Ferrugineux lessivés à concrétions, peu épais, dans lesquels les migrations latérales se réalisent au sein même de l'horizon B concrétionné du fait du grand développement de l'agrégation et de la porosité de celui-ci. Le départ latéral d'éléments fins de cet horizon a pour conséquence l'accumulation différentielle des éléments grossiers; dans ce cas: les concrétions ferrugineuses. Ce phénomène, fréquent dans certaines plaines alluviales où peuvent être suivis différents stades de cette évolution, conduit à une morphologie particulière se traduisant par une superposition d'horizons à fort contraste et simulant des apports sédimentaires successifs :

- : horizon supérieur à texture sableuse résiduelle
- : horizon concrétionné réduit aux seules concrétions ferrugineuses
- : horizon B argileux, parfois à caractères vertisoliques et nodulation calcaire.

Mais le cas le plus général est celui de l'établissement d'une circulation latérale au contact des horizons A et B, déterminant la différenciation d'horizons A<sub>2</sub> dans lequel l'intensité du départ d'éléments fins augmente de haut en bas.

L'intensité de ces migrations latérales peut également se développer le long de la pente, sur une distance variable: les horizons A<sub>2</sub> prennent alors un grand développement et l'on observe fréquemment la disparition des horizons B, en coupe verticale. (GAVAUD.1967)

L'illuviation qui se réalise en bas de pente a tendance à limiter latéralement cette circulation et ces migrations, à induire à l'amont des phénomènes d'hydromorphie (Sol Hydromorphe lessivé) et à créer dans cette partie basse de la chaîne de sols, des conditions favorables à la concentration d'éléments et à des néosynthèses argileuses.

C'est précisément dans ce site et à partir de ces matériaux complexes que représentent alors ces horizons formés par illuviation latérale que se différencient des Solonetz solodisés ou des Vertisols (BOCQUIER.1967).

Ainsi l'étude de certaines modalités du lessivage dans des Sols Ferrugineux Tropicaux permettrait de préciser la nature des relations génétiques pouvant exister entre ces sols et d'autres catégories de sols tropicaux.

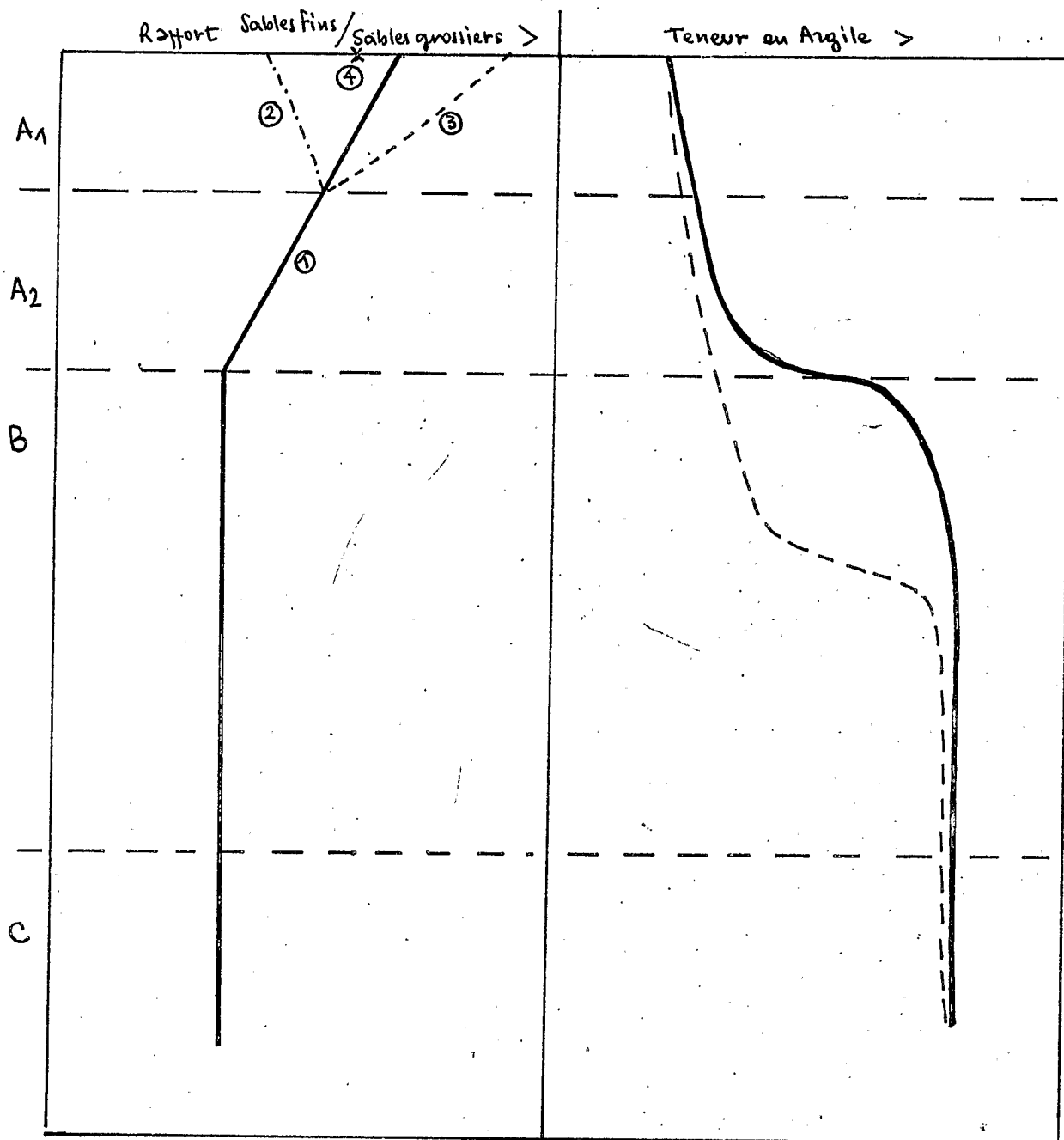
---



- B I B L I O G R A P H I E -

- AUDRY, P.(1966) - Carte pédologique de reconnaissance au 1/200.000 de la République du Tchad : Feuille NIELLIM.  
ORSTOM, Fort-Lamy : 3 fasc.,131 p.multigr.
- BARSHAD,I.(1959) - Factors affecting clay formation. Proc. Sixth Natl.Conf.Clays and Clay Mineral, Berkeley,1957, 110-132.
- BOCQUIER,G. et GAVAUD,M.(1964) - Etude pédologique du Niger Oriental.  
ORSTOM, Dakar : 3 fasc.,347 p.Multigr.
- BOCQUIER,G.(1965) - Carte pédologique de reconnaissance au 1/200.000° de la République du Tchad : Feuille SINGAKO.  
ORSTOM, Fort-Lamy : 3 fasc.,125 p.multigr.
- BOCQUIER,G.(1967) - Biogéocénoses et morphogénèse actuelle de certains pédiments du bassin tchadien.  
ORSTOM, Paris : 14 p.multigr.
- BREWEE,R.(1964) - Fabric and Mineral Analysis of Soils. J.Wiley & Sons, New-York, London, Sydney, XIV - 470 p.
- BOUTEYRE,G.(1963) - Etude pédologique au 1/200.000° de la région du Logone et du Moyen Chari entre Logone et Bahr Sara.  
ORSTOM, Fort-Lamy 71 p.multigr.
- GAVAUD,M.(1966) - Etude pédologique du Niger Occidental.  
ORSTOM, Dakar : 2 fasc.,513 p.multigr.
- GAVAUD,M.(1967) - Compte-rendu d'une tournée pédologique au Tchad.  
ORSTOM, Dakar : 43 p.multigr.
- MAIGNIEN,R.(1964) - Les Sols Ferrugineux Tropicaux.  
8ème Congrès Int.Sc.Sol. Bucarest. sous presse.
- U.S.D.A. (1960)- Soil Classification. A comprehensive system. 7th Approximation.  
USDA.Washington. 265 p.  
( 1964 ) et ( 1967 ) - Supplements to soils classification system.
-

REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DES VARIATIONS VERTICALES  
 DU RAPPORT  $\frac{\text{Sables fins}}{\text{Sables grossiers}}$  ET DE LA TENEUR EN ARGILE.

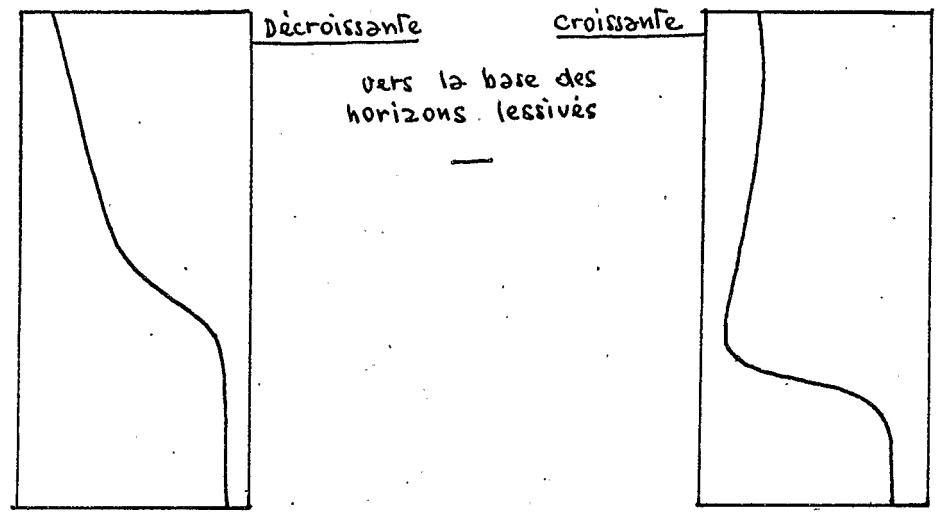


- ① . courbe moyenne
- ② . profils de haut de pente
- ③ . profils aval
- ④ : Rejets biologiques.

REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DES DIFFERENTES MODALITES DU LESSIVAGE DANS LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX.

Variations verticales de la teneur en argile

INTENSITE DU LESSIVAGE

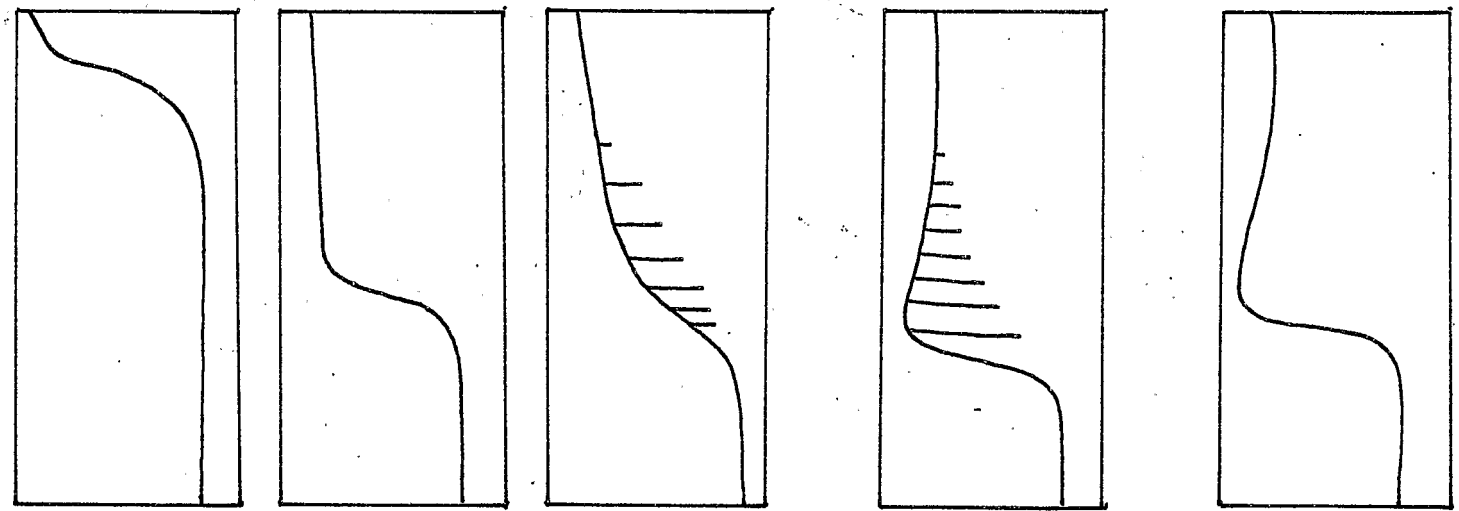


Transition souvent progressive

Transition généralement tranchée

LESSIVAGE VERTICAL

LESSIVAGE LATÉRAL



Accumulation continue

Accumulation discontinue en "raies"

Accumulation continue

Transition tranchée

Transition progressive

Transition tranchée

- EROSION - - HYDROMORPHIE -

- HYDROMORPHIE -