

## Quelques conclusions des recherches françaises sur la dynamique actuelle des sols en Afrique occidentale

Eric ROOSE

*Pédologue O.R.S.T.O.M., 24, rue Bayard, 75008 Paris*

### RÉSUMÉ

*Depuis trente ans, les chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. et du G.E.R.D.A.T. ont abordé les problèmes posés par l'évolution des sols tropicaux en Afrique Occidentale par trois voies : les enquêtes agropédologiques, l'étude de bilans de matières et l'expérimentation poussée sur des processus précis. Ces recherches ont montré combien la dynamique de l'eau et des matières organiques, les propriétés chimiques, biologiques et physiques, les transferts de matières et la différenciation morphologique de la partie supérieure du profil peuvent évoluer rapidement et profondément lors de la mise en culture. Le climat étant très agressif, des processus tels que l'appauvrissement en particules fines, la lixiviation des bases et l'acidification, l'hydromorphie et l'érosion sont très rapides par rapport à l'allération. Il apparaît que la dynamique de l'eau et de l'érosion dépend étroitement des caractéristiques de la surface du sol (pellicule de ballance, taux d'éléments grossiers et de matières organiques, stabilité des agrégats, rugosité de la surface) plus que de la nature des horizons profonds et du type pédogénétique de sol. Ces connaissances sont précieuses pour interpréter les cartes pédologiques en vue de l'aménagement agricole.*

### SUMMARY

*Since 30 years, the researchers of O.R.S.T.O.M. and G.E.R.D.A.T. are studying the actual evolution of the West African soils by three approaches : agropedologic investigations, matter balance and elaborate experimentations for definite pedological processes. The data show how the chemical, physical and biological properties and the morphology of the topsoil can be modified quickly and deeply after reclaiming for cultivation. Pedological processes like impoverishment in fine particles, bases washing and acidification, waterlogging and erosion are much more rapid than mineral weathering. It appeared that erosion and water dynamic are more depending on the characteristics of the topsoil (sealing crust, gravel and organic matter content, aggregate stability, roughness of the surface, macroporosity) than of the nature of the deep horizons and the pedogenetic soil type. These knowledges are precious for interpretation the soils maps for the agricultural management.*

### Introduction

La contribution des pédologues de l'O.R.S.T.O.M. à l'inventaire des sols tropicaux, à leur étude morphologique, cartographique et génétique, est bien connue du public scientifique (cf. les exposés de

G. MILLOT et R. TAVERNIER). Parallèlement à ces études classiques, quelque peu statiques, il est rapidement apparu nécessaire d'étudier l'évolution des sols, car après leur mise en culture, bien des propriétés évoluent rapidement. C'est l'un des mérites de Georges AUBERT que d'avoir encouragé

les pédologues de l'O.R.S.T.O.M. et du GERDAT à entreprendre des recherches sur la dynamique des sols, d'une part pour adapter les techniques de mise en valeur agricole aux conditions climatiques particulièrement agressives des régions tropicales, et d'autre part, pour préciser certains processus pédogénétiques et en évaluer la vitesse. En effet, il s'est avéré qu'en milieu cultivé, certains processus sont accélérés et de ce fait, sont plus faciles à aborder à une échelle de temps acceptable pour des recherches sur le terrain.

Ces études font appel à des méthodes différentes.

La plupart des études agropédologiques procèdent par enquête à un instant donné ou par comparaison dans le temps des propriétés physiques et chimiques des horizons superficiels de sols identiques soumis à des traitements différents; par exemple, un sol sous végétation naturelle est comparé à ce même sol défriché et cultivé depuis plusieurs années, selon des techniques différentes. Citons au Sénégal, les études effectuées par COINTEPAS, FAUCK, MOUREAUX et THOMANN ou encore par CHARREAU, NICOU, POULAIN, BLONDEL et SIBAND; en Côte d'Ivoire, les travaux de DABIN, BERGER, LATHAM, CHABALIER, de BLIC, MOREAU, GODEFROY, LE BUANEC, JADIN, OLLAGNIER, OCHS, etc.

Une autre approche, plus expérimentale, tente d'établir à l'échelle de la parcelle, le bilan des transferts hydrologiques et biologiques de matières (solubles et solides) à travers la partie la plus active du profil (les 2 mètres supérieurs). Ce programme a démarré en 1964 en Côte d'Ivoire et en Haute-Volta (ROOSE, 1967 à 1980), puis s'est étendu au Gabon (COLLINET, 1971-74), en Tunisie (PONTANIER, DELHUMEAU, DELHOUME, LOYER : 1972-80) et en Guyane (BLANCANEAUX, 1980).

Enfin, divers processus élémentaires ont fait l'objet d'analyses fines : l'évolution du profil hydrique (AUDRY au Tchad), l'évolution de la stabilité structurale (COMBEAU et QUANTIN en RCA, G. MARTIN au Congo, MOREAU et de BLIC, TALINEAU, BONZON, FILLONEAU en Côte d'Ivoire), la porosité et la compacité (HUMBEL au Cameroun), l'hydromorphie (VIZIER au Tchad et à Madagascar), l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels (ROOSE en Côte d'Ivoire, MULLER au Cameroun), l'évolution du ruissellement et de l'érosion sous l'influence de la battance des pluies et des techniques culturales (ASSELIN, COLLINET, LAFFORGUE, ROOSE et VALENTIN en Côte d'Ivoire, Haute-Volta et Niger).

Comme il n'est pas possible de rapporter dans cette courte note tous les résultats concernant l'évolution actuelle des sols, nous nous limiterons à résumer quelques conclusions importantes des recherches effectuées par les chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. en Afrique de l'Ouest. En revanche, nous signalons

dans la bibliographie un échantillon plus large des travaux français sur la dynamique actuelle des sols en Afrique occidentale et centrale.

## QUELQUES RÉSULTATS

### 1 Les enquêtes

Quel que soit le milieu, toutes les études montrent une chute très rapide du taux de matières organiques du sol (20 à 60 % du stock initial) durant la première année, liée essentiellement au mode plus ou moins brutal de défrichage et de préparation du sol à la culture; ensuite la perte de matières organiques est plus progressive, jusqu'à l'obtention d'un nouvel équilibre (après une dizaine d'années) en relation avec le nouveau pédoclimat imposé (couvert végétal moins dense et moins durable), mais aussi avec le type de culture et de techniques culturales (retour au sol de résidus organiques plus ou moins abondants). Des modifications qualitatives des matières organiques du sol ont aussi été observées [27, 29] ainsi qu'une chute brutale de l'activité micro-biologique et mésofaunique [27, 65]. Par ailleurs, il a été montré qu'en milieu tropical humide, il est possible de relever rapidement (2-3 ans) le niveau des matières organiques du sol par l'implantation de cultures fourragères fertilisées [55, 68]. En revanche, il semble qu'en zone tropicale sèche, la jachère herbacée soit incapable d'améliorer substantiellement le bilan humique du fait des feux de brousse [17]. Tout se passe comme si chaque type de sol possédait d'une part, un stock de matières humiques stables, et d'autre part, une quantité de matières organiques variant rapidement en fonction de la masse et de la qualité des résidus retournant chaque année au sol; c'est pourquoi les sols forestiers sont plus riches en matières organiques que les savanes et, *a fortiori*, que la plupart des sols sous cultures peu fertilisées.

Suite à la perte substantielle de matières organiques, les propriétés physiques du sol se dégradent rapidement : diminution sensible de la porosité (surtout la macroporosité), naissance d'une pellicule de battance en surface, compaction des horizons profonds, développement d'une discontinuité texturale, porale et hydraulique à la base de l'horizon labouré (parfois, semelle de labour). Cette dégradation entraîne des phénomènes d'engorgement de plus en plus fréquents dans les horizons superficiels des sols de plateau et de plaine, le développement du ruissellement et de l'érosion sur les pentes (même faibles), l'ennoyage sous la boue et les sables des zones basses. Plus la mécanisation est lourde et les interventions fréquentes, plus la dégradation des propriétés physiques du milieu est rapide. Par

contre, les méthodes traditionnelles de défrichement sont plus progressives et laissent en place le réseau racinaire et une couverture végétale non négligeable à la surface du sol (racines, brindilles, recrû forestier et mauvaises herbes); l'organisation porale et l'activité biologique se maintiennent pendant 2 à 4 années, ce qui retarde la dégradation du sol, inévitable sous ces climats agressifs lorsque les apports de matières organiques fraîches tarissent sensiblement.

La richesse en éléments nutritifs décroît également lors du défrichement et de l'exploitation agricole, surtout en ce qui concerne les éléments facilement assimilables par les plantes ou lixiviables par les eaux de drainage et de ruissellement. Les carences phosphatées, souvent les plus visibles, sont facilement corrigées par des apports modestes (20 à 50 unités/an). Des quantités plus importantes d'azote et de potasse sont nécessaires dans certains cas (300 à 700 unités sous bananeraie et cultures fourragères intensives). Mais le point le plus grave à long terme, est certainement la perte continue et régulière des bases (surtout Ca et parfois K), la diminution de la capacité d'échange de cations et du taux de saturation du complexe absorbant entraînant inéluctablement une acidification du sol qui peut avoir, une fois dépassés certains seuils, des conséquences fâcheuses sur la nutrition des plantes (toxicité manganique et surtout aluminique si le pH est inférieur à 4,5). Sur les champs soumis à la culture depuis plus de 10 ans, on a observé également un appauvrissement en particules fines (0 à 50 microns) des horizons superficiels, une diminution de la capacité de stockage de l'eau utile et des éléments nutritifs ainsi que la réduction du profil exploité par les racines à l'horizon ameubli artificiellement (15 à 25 cm).

Les modifications les plus importantes ont été observées dans les dix ou les 25 premiers centimètres du sol. On a pu quelquefois déceler des changements de compacité ou de structure jusqu'à 40 ou 60 centimètres de profondeur. A plus long terme cependant, il est probable que des modifications se poursuivront plus profondément puisque les profils hydriques et les profils de température sous culture ne rejoignent ceux qu'on observe sous forêt qu'au-delà d'un mètre [15, 18].

En définitive, tous les auteurs concluent qu'il est possible d'instaurer, en zone tropicale sèche ou humide, un système de culture intensif et continu fournissant souvent de hauts rendements agricoles tout en préservant le capital foncier [15, 37, 45, 55]. Pour faire face à certaines circonstances défavorables (climat agressif, sol pauvre et dépourvu de réserve minérale), il faut choisir soigneusement le type de culture et les techniques adaptées aux conditions écologiques et économiques : maintenir le sol

couvert, assurer aux plantes une nutrition minérale équilibrée et au sol des restitutions importantes de matières organiques, limiter le travail du sol aux façons culturales indispensables au développement harmonieux des racines, à l'alimentation hydrique et à la limitation des mauvaises herbes. Il faut enfin concevoir un aménagement général du bassin versant en vue de la conservation de l'eau et des sols.

## 2 Les bilans de matière [53-65]

En Afrique occidentale, des surfaces importantes du vieux continent sont enfouies sous une couverture pédologique kaolinitique très ancienne puisqu'il faut 20.000 à 100.000 ans, selon les auteurs, pour réaliser l'altération complète d'un mètre de granite. Or actuellement, le fonctionnement de la partie supérieure des profils pédologiques (ainsi d'ailleurs que le paysage tout entier) est en relation étroite avec le bioclimat. En particulier, les profils des sols ferrallitiques sont relativement homogènes et le drainage vertical est abondant dans la zone forestière subéquatoriale de la basse Côte d'Ivoire. Par contre, les profils des sols ferrugineux tropicaux sont contrastés, le drainage profond est réduit et le ruissellement important dans la zone des savanes soudano-sahéliennes à climat tropical sec du centre de la Haute-Volta. De plus, des enquêtes ont montré que l'aménagement à des fins agricoles de ces sols tropicaux entraîne des modifications profondes des matières organiques et de la structure, de la dynamique de l'eau et des transferts de matières.

Sans vouloir nier l'importance de l'héritage historique sur la maturation de l'épaisse couverture pédologique, une démarche expérimentale a été tentée sur le terrain, visant à quantifier les différents éléments du bilan de matières (eau, solubles, solides) en vue de préciser l'influence du bioclimat et de l'homme sur la dynamique actuelle de la partie supérieure du profil, la plus sensible aux modifications extérieures. Des mesures continues sur le terrain des principaux processus pédogénétiques ont été effectuées dans des conditions expérimentales bien différenciées du point de vue :

— *de la végétation* : de la forêt dense à différents types de savanes et de cultures (et même le sol nu) ;

— *du climat* : du pôle subéquatorial au pôle tropical sec, les précipitations annuelles diminuent de 2100 à 700 mm, l'ETP augmente de 1250 à 1900 mm, les températures maximales augmentent, ainsi que la durée et la sévérité de la saison sèche. L'agressivité des pluies diminue, mais celle de la chaleur desséchante augmente ;

— *du paysage* : l'inclinaison des versants diminue, mais leur longueur augmente,

— *des sols* : les sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux étudiés sont kaoliniques, riches en sables quartzeux, lixiviés en bases et appauvris en particules fines dans les horizons superficiels, mais les teneurs en matières organiques, la macroporosité et la stabilité de la structure diminuent de la zone forestière à la zone la plus sèche, de même que sous cultures sarclées ;

— *des roches mères* : des granito-gneiss en majorité, mais aussi des schistes chloriteux et des sédiments argilo-sableux tertiaires dans la région forestière.

Pour évaluer les mouvements de l'eau et de ce qu'elle transporte, les observations ont été effectuées en continu sur des petites parcelles homogènes, à l'aide de dispositifs respectant le mieux possible l'architecture de la porosité des sols, tels que les cases d'érosion, les parcelles de lessivage oblique et les lysimètres monolithiques. Parallèlement furent observées les remontées de terre fine par les vers et les termites et la production végétale des savanes, les précipitations et le pluviollessivage. Plutôt que des mesures très précises de laboratoire sur échantillons plus ou moins remaniés, ou des mesures de terrain limitées dans le temps, on a procédé à un grand nombre d'observations pendant 4 à 11 cycles saisonniers sur de petites parcelles situées à mi-versant, lesquelles représentent mieux la dynamique actuelle que les sols des sommets (influence importante de l'héritage) ou des bas-fonds (hydromorphie et colluvionnement). De très nombreuses analyses d'eau, de sols et de végétaux ont été réalisées sur place au Laboratoire Central de l'O.R.S.T.O.M. à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire).

#### L'IMPORTANCE DES PHÉNOMÈNES D'ÉROSION EN NAPPE

*Sous végétation naturelle*, le ruissellement (Kr annuel = 0,2 à 2 %) et l'érosion ( $E = 20$  à  $200$  kg/ha/an) sont très limités tant que le sol est bien couvert : les variations interannuelles sont aussi importantes que les différences observées entre le milieu forestier et les savanes soudanaises. Les phénomènes d'érosion ne deviennent notables que dans les steppes sahéliennes à couverture végétale discontinue (maximum dans les zones de 400 à 700 mm de pluie). Les feux de brousse (surtout tardifs) modifient fortement la couverture végétale et sont susceptibles d'augmenter sérieusement les risques d'érosion.

*En milieu cultivé*, on peut observer de grandes différences d'érosion en fonction du type de culture : comme les pluies sont très agressives (3 à 50 fois plus en Afrique de l'Ouest qu'en milieu tempéré), l'influence du couvert végétal est très marquée sur les équilibres biologiques, les bilans hydriques,

chimiques et colloïdaux ainsi que la structure du sol.

Tout transport de terre nécessite une source d'énergie. Dans les paysages ondulés du vieux bouclier africain, la cause première de l'érosion est l'énergie des gouttes de pluie qui disperse les particules formant les agrégats et les mottes; le ruissellement n'est qu'un agent de transport, mais à mesure que la pente des versants augmente, son apport d'énergie croît et la forme que prend l'érosion passe de la nappe à la rigole, puis à la ravine.

L'analyse des résultats à l'aide de l'équation de WISCHMEIER et SMITH (1960) montre l'ordre d'importance des facteurs conditionnels : le couvert végétal peut modifier l'érosion de 1 à 1/1000, la pente de 0,1 à 5 (rarement 20), l'érodibilité du sol de 1/3 à 1/100 et les techniques antiérosives de 1 à 1/10. Les pertes en terre représentent le produit de l'agressivité des pluies par les 4 facteurs de résistance du milieu et non leur somme, car si l'un d'eux s'annule, l'érosion tend effectivement vers zéro. Il convient d'en tenir compte pour organiser la lutte antiérosive en combinant les méthodes biologiques les plus efficaces en zone humide (couvrir le sol, aménagement avec bandes d'arrêts isohypses, restitution maximale des matières organiques) et en réservant les méthodes mécaniques (terrasses et petits barrages) aux zones trop sèches pour que les plantes se développent rapidement (pluie < 400 mm) et aux montagnes (glissement de terrain).

La comparaison des transports liquides et solides à l'échelle de la parcelle et des bassins versants de différentes tailles est délicate à cause de l'influence majeure du couvert végétal. Lorsque la végétation est homogène et peu dégradée, l'érosion sur petits bassins (< 10 km<sup>2</sup>) est voisine de celle qu'on observe sur parcelles. Par contre, si la végétation est hétérogène, les transports solides dépendent de la position des zones peu couvertes par rapport au réseau hydrographique. De toute façon, chaque échelle d'observation présente un intérêt, mais pour des buts différents.

#### LE BILAN HYDRIQUE

Les précipitations, le ruissellement, le drainage et les variations saisonnières du profil hydrique ont été mesurés sur le terrain pendant 4 à 11 années, dont un bon nombre furent plus sèches que la normale. Pour généraliser le bilan aux cas des années normales, décennales sèches ou humides, on a appliqué la méthode de Thorntwaite modifiée [65].

Le drainage profond en année normale passe de 40-45 % sous forêt dense subéquatoriale, à 25-35 % sous savane soudanaise et tend à s'annuler au pôle sahélien (fig. 1); à ce pôle sec, où les pluies sont

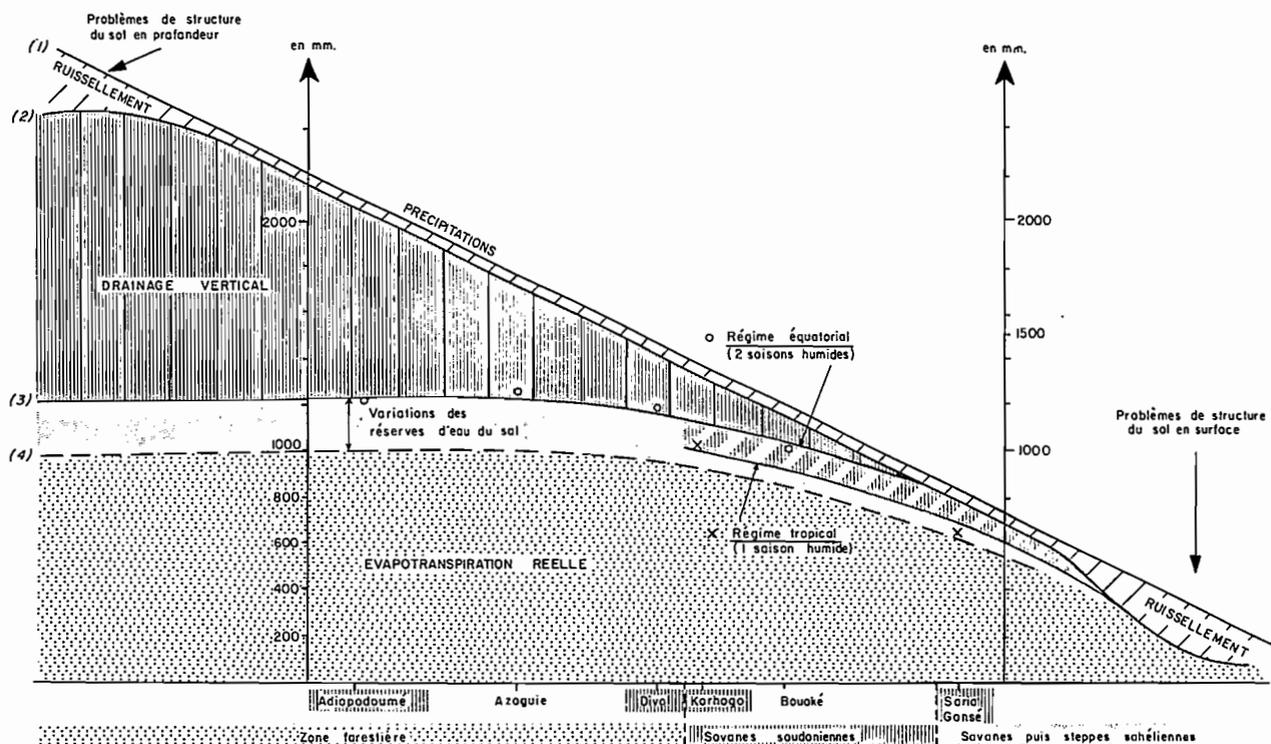


Fig. 1. — Évolution du bilan hydrique sous végétation naturelle en fonction du climat en milieu tropical.

généralement inférieures à 700 mm, le front d'humectation du sol ne dépasse pas chaque année 50 cm de profondeur, tant le pouvoir évaporant de l'air et le ruissellement superficiel sont élevés. En revanche, au pôle humide, l'ETP est limitée à 1250 mm de telle sorte qu'une masse d'eau considérable est disponible pour percoler à travers le profil jusqu'à la nappe phréatique (ou pour ruisseler si la surface du sol est dégradée). L'influence de la roche mère et de la topographie sur ce bilan est assez complexe. Par contre, le rôle de la végétation est important et d'autant plus important que le climat est plus sec. La forêt évapotranspire 150 à 200 mm de plus que les autres couverts végétaux; elle dessèche le sol plus profondément. Elle modifie surtout la charge solide des eaux et la répartition des écoulements dans l'année : plus la végétation est dense, plus l'écoulement retardé (le plus utile) est favorisé et les écoulements de pointe (les plus dangereux pour l'érosion) sont laminés. Les résultats montrent enfin qu'on ne peut négliger le ruissellement dans les modèles d'estimation du bilan hydrique : il varie de 1 % en milieu naturel à plus de 40 % sous culture sarclée.

#### LA CHARGE SOLUBLE DES EAUX

Dans la séquence étudiée, la charge soluble des eaux superficielles varie plus en fonction du volume

des écoulements et des saisons qu'en fonction des stations elles-mêmes. La tendance à la dilution en milieu humide est compensée par des apports atmosphériques croissants (proximité de l'océan et de la forêt) et par une activité biologique plus poussée : seule la silice des eaux de nappe augmente nettement avec l'aridité du milieu. Les eaux de pluie se chargent au contact des végétaux (surtout des arbres) et des couches humifères du sol, puis se déchargent avant d'atteindre la nappe phréatique. Cependant, la silice et le sodium, qui ne sont pas piégés par les végétaux ni par le sol, présentent des teneurs croissantes jusqu'aux sources.

L'influence de la roche mère sur la charge soluble des eaux superficielles est réduite, car il ne reste pratiquement pas de minéraux altérables dans les horizons traversés. La kaolinite est stable; le quartz est soluble dans certaines circonstances au sein des horizons superficiels, mais pas dans la zone d'altération. Les sesquioxydes migrent principalement sous forme colloïdale ou particulaire.

L'aménagement du milieu naturel (défrichage, feu, fertilisation) peut modifier considérablement la charge soluble des eaux superficielles, en changeant l'équilibre entre l'offre (minéralisation des matières organiques et engrais) et la demande d'éléments nutritifs (fixation par le sol et besoins des plantes).

Il en résulte des risques de lixiviation des éléments les plus solubles (N, Ca, Mg, K, Na, Cl, SO<sub>4</sub>) et une tendance à l'acidification des sols soumis à une fertilisation intense, trop souvent incomplète. Les risques de pollution des nappes sont cependant réduits tant que les apports ne dépassent pas les besoins des plantes, ni la capacité de fixation du sol (fractionnement) et qu'ils sont effectués en dehors des périodes les plus humides de l'année. L'azote et les bases sont très mobiles alors que le phosphore est rapidement insolubilisé par le fer et l'alumine libres, abondants dans les sols tropicaux. Le potassium est très mobile dans les sols kaoliniques, tandis qu'il est rapidement rétrogradé dans les sols riches en argiles 2/1.

La composition chimique des eaux superficielles dépend donc surtout des phénomènes biochimiques et de l'aménagement du milieu par l'homme, tandis qu'au niveau de la nappe, elle est contrôlée par les lois d'équilibre physico-chimique entre les minéraux et les solutions.

#### LE BILAN GÉOCHIMIQUE

Dans le milieu naturel, le bilan n'est équilibré que grâce aux apports atmosphériques et au recyclage rapide des éléments concentrés à la surface du sol par diverses activités biologiques (pluiolessivage, minéralisation des litières, remontées par la flore et la mésofaune). Qu'un processus quelconque interrompe la chaîne biologique, et la productivité végétale diminue, tandis que les horizons superficiels du sol se dégradent progressivement. Ainsi, lorsque le feu parcourt régulièrement la savane, il empêche la régénération des arbres, abîme les touffes d'herbes, réduit la variabilité végétale : finalement, le taux de matières organiques du sol diminue, tandis que son état de compaction et son érodibilité augmentent.

L'arbre joue en quelque sorte le rôle du « bas de laine » pour accumuler les substances nutritives disponibles : sa destruction lors du défrichage entraîne nécessairement une certaine dégradation du milieu, mais celle-ci peut être plus ou moins rapide et profonde en fonction de la brutalité des techniques de défrichage et du mode d'exploitation. En définitive, ce milieu tropical, où les minéraux altérables sont profondément enfouis sous la couverture kaolinique, est très fragile et difficile à mettre en valeur à cause de l'agressivité climatique ; de fortes pluies succédant à de fortes chaleurs, les matières organiques sont rapidement minéralisées laissant un substrat pédologique pauvre chimiquement et fragile dans ses structures. L'exploitation agricole exige des apports minéraux et organiques réguliers pour compenser les pertes de nutriments (exportation par les récoltes, érosion, lixiviation) et la réduction de certaines activités biologiques.

L'utilisation rationnelle des résidus de culture au champ semble essentielle, tant pour réduire les exportations minérales que pour assurer un niveau raisonnable du taux de matières organiques dans les horizons superficiels du sol, une structure correcte et une bonne résistance à l'érosion, une capacité suffisante de stockage de l'eau utile et des nutriments.

#### LES CONSÉQUENCES DES TRANSFERTS PARTICULAIRES SUR LA MORPHOLOGIE DES PROFILS

Dans la séquence bioclimatique étudiée, l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels est généralisé sur les couvertures kaoliniques : cet appauvrissement provient de l'action combinée de l'érosion en nappe sélective, des remontées de matériaux fins par la mésofaune et du lessivage des éléments colloïdaux. La destruction des argiles ne semble se produire qu'en milieu chaud beaucoup plus humide (pluie > 3000 mm).

En milieu forestier subéquatorial d'Afrique, le drainage vertical est si important que le lessivage vertical à floculation diffuse domine les mouvements obliques de surface et développe des profils peu différenciés et profondément appauvris (cf. fig. 2). Sous savane brûlée et sous culture sarclée le lessivage est aussi abondant, mais largement dépassé par les phénomènes d'érosion sélective. Sur forte pente ou en milieu dégradé, l'érosion devient décapante, ce qui limite l'épaisseur des horizons appauvris. Si le lessivage des éléments colloïdaux est plus apparent en milieu tropical sec, c'est que ceux-ci se déposent à faible profondeur, faute de drainage profond : ils forment des profils très différenciés. Dès lors se développe un horizon compact à faible profondeur, lequel favorise les mouvements obliques superficiels de l'eau et de tout ce qu'elle peut transporter.

Pour le lessivage comme pour l'érosion en nappe, l'énergie des gouttes de pluie intervient pour désagréger les particules, tandis que l'eau assure leur transport. Par contre, les matières organiques peuvent jouer des rôles divergents : les acides fulviques maintiennent les colloïdes kaoliniques à l'état dispersé et assurent leur migration, tandis que d'autres formes de matières organiques protègent la stabilité de la structure et ralentissent l'érosion.

Les activités de la mésofaune sont multiples et très variables d'une espèce à l'autre. Retenons leur influence positive sur la macroporosité, la capacité de filtration et l'homogénéisation des horizons superficiels. Notons également que la remontée de matériaux riches en particules fines au-dessus de la litière et des lits de gravières, assure l'évolution de l'appauvrissement et la possibilité d'une érosion en milieu naturellement protégé.

En conclusion, on peut retenir quelques ensei-

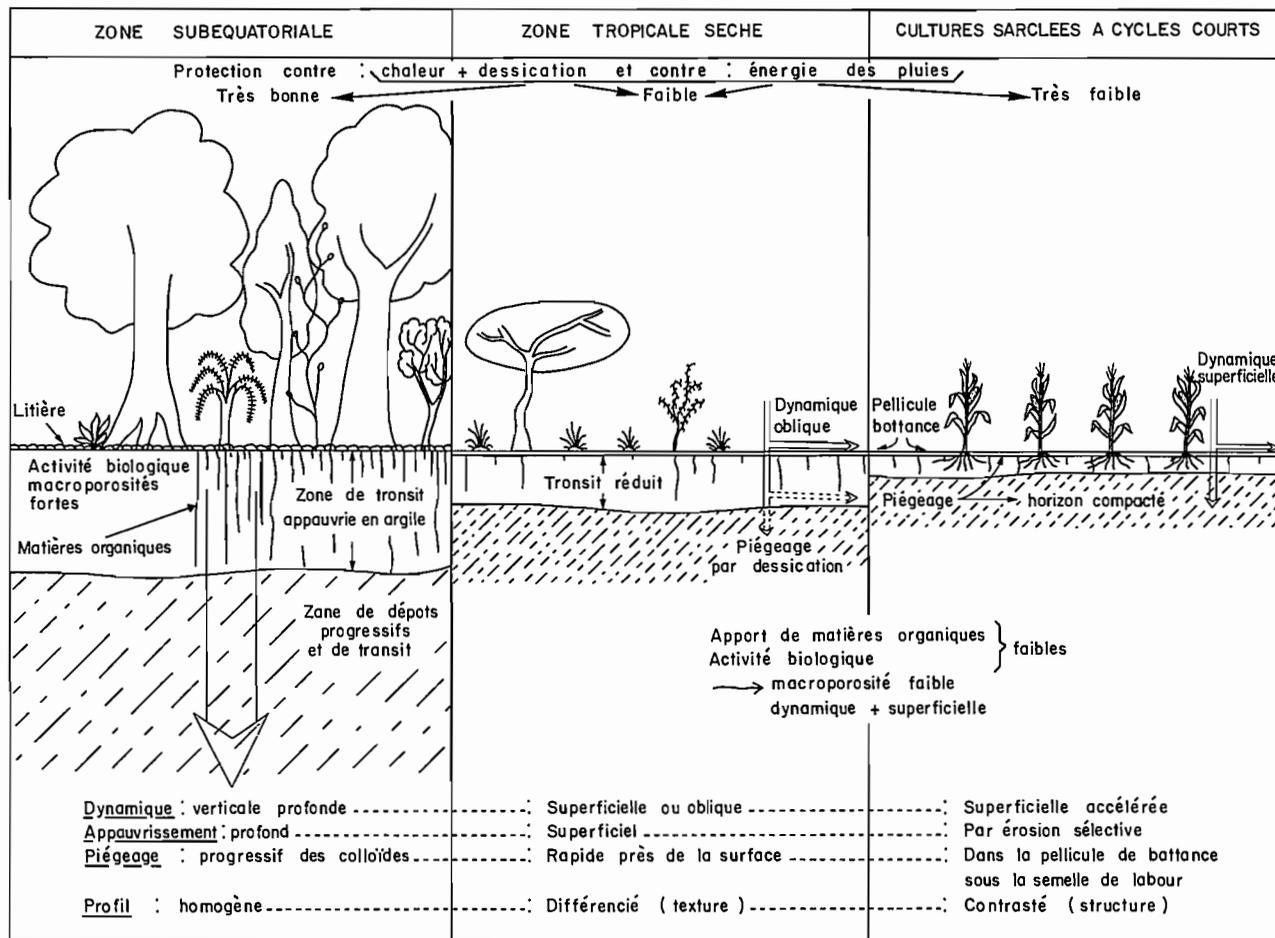


Fig. 2. — Influence biologique et climatique sur l'évolution du profil pédologique d'une couverture kaolinique en milieu tropical

gnements généraux de ces études de bilans. Nous n'en soulignerons que trois :

— tout d'abord le rôle essentiel de l'homme, des activités biologiques et du bilan hydrique au niveau du sol, sur la différenciation des profils développés sur des couvertures kaoliniques ;

— ensuite la place prépondérante des transferts de matière sous forme solide, même si la part des migrations solubles augmente à mesure que le climat devient plus humide ;

— enfin, la lixiviation des nutriments et l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels sont des processus pédologiques très rapides par rapport à l'altération ferrallitique et sont encore accélérés par la plupart des techniques de culture utilisées par l'homme.

### 3 Aperçu sur quelques études particulières

#### DYNAMIQUE DE L'EAU ET TRANSFERTS DE MATIÈRE À LA SURFACE DU SOL

L'influence de l'énergie dissipée par la battance des gouttes de pluie et par le ruissellement sur la dynamique de l'eau et les transferts de matière à la surface du sol, a été analysée en détail à l'occasion d'une douzaine de campagnes de mesures au simulateur de pluies (type Swanson, sur 2 parcelles de 50 m<sup>2</sup>) et à l'infiltromètre à aspersion (type Asseline et Valentin, sur 1 m<sup>2</sup>) depuis la basse Côte d'Ivoire jusqu'au Niger. L'intérêt de ces dispositifs [1, 67] mobiles est de maîtriser certains paramètres difficiles à isoler sous pluies naturelles, de simuler des séries d'averses de fréquence rare, de soumettre des parcelles

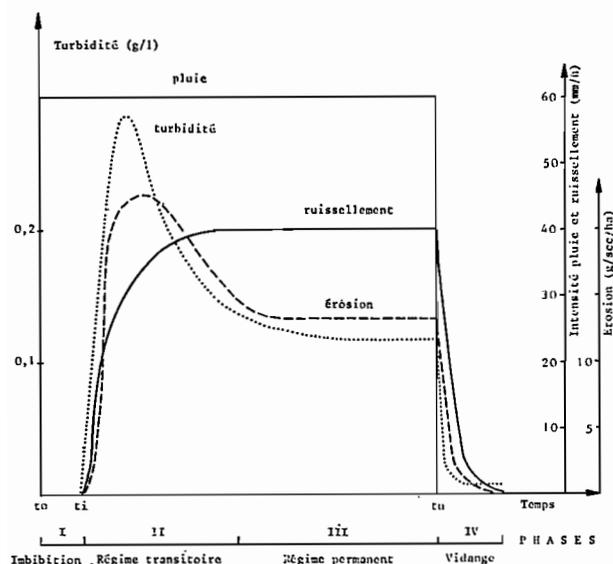


Fig. 3. — Représentation graphique d'une averse simulée.

éloignées à des tests semblables et d'étudier ainsi la variabilité dans le temps et dans l'espace de l'infiltrabilité et de l'érodibilité.

Quatre phases ont été analysées séparément durant l'averse (cf. fig. 3) :

- une phase d'imbibition, avant que ne commence le ruissellement,
- une phase de transition durant laquelle l'infiltration diminue,
- une phase de régime permanent où le ruissellement semble stable,
- une phase de vidange, après que la pluie a cessé.

Pour un site expérimental donné (un type de sol, de pente et de végétation), il est apparu que l'état d'humectation antérieur à l'averse, la rugosité, le taux d'éléments grossiers et l'état structural de la surface du sol ont une influence nette sur la hauteur des pluies d'imbibition, sur les caractéristiques de la loi d'infiltration et sur les valeurs caractéristiques de la charge solide [22, 23, 34, 35]. La faible perméabilité des horizons profonds n'intervient de façon notable que très rarement.

La charge solide des eaux de ruissellement évolue de diverses façons au cours du temps. Le plus généralement, elle croît jusqu'à un maximum situé avant la phase de régime permanent, pour décroître ensuite jusqu'à un niveau constant. La turbidité des eaux est déterminée à la fois par le volume des écoulements (effet dilution, ou au contraire, force érosive propre du ruissellement), par la quantité de

matériaux meubles disponibles et par l'énergie dissipée par la battance des pluies au niveau du sol nu. Pendant les deux premières phases se produit une mobilisation des éléments meubles (sédiments délaissés à la fin de l'averse précédente, rejets biologiques, dépôts éoliens, ou mottes pulvérisées par les techniques culturales), en même temps que la désagrégation des mottes par la battance des pluies. Une fois atteint le régime permanent du ruissellement, la turbidité et le taux d'érosion par minute décroissent (les particules meubles ont été évacuées), puis se maintiennent à un niveau stable. On peut supposer que ce nouvel équilibre est atteint par suite de l'absorption partielle de l'énergie cinétique des gouttes par la lame d'eau qui recouvre localement la surface du sol [23, 72].

Cependant, il arrive quelquefois durant la phase de régime permanent sur des parcelles particulièrement exposées à l'agressivité des pluies, que la turbidité augmente brutalement et dépasse le premier pic au cours d'averses suffisamment longues. Cette modification de la turbidité peut s'expliquer soit par la formation de rigoles qui drainent la nappe ruissellante entraînant à nouveau la battance sur les parties exondées [23], soit par le lâchage brutal des couches superficielles qui ont atteint le point de liquidité [61].

Tant que le ruissellement s'écoule sous forme de minces nappes, il ne peut accumuler beaucoup d'énergie, car les forces de frottement sont trop élevées; c'est pourquoi, dans plusieurs essais sous pluie naturelle, on n'a pas observé d'augmentation de l'érosion avec la croissance de la longueur de la pente. Mais, dès que les écoulements se hiérarchisent et se concentrent dans des rigoles, ils acquièrent une énergie propre et développent des forces de cisaillement capables de creuser des rigoles et des ravines. En limitant la largeur des champs cultivés, on n'arrête pas l'érosion par battance sur les parcelles, mais on limite l'accumulation de l'énergie du ruissellement dans les rigoles.

En conclusion, dans la zone soudano-sahélienne, l'influence de la nature du sol (sols bruns subarides, vertiques ferrugineux tropicaux, de texture très diverse) sur les paramètres du ruissellement et de l'érosion paraît très faible en regard des caractéristiques de surface (pellicule de battance, voile sableux éolien ou présence d'éléments grossiers). En revanche, dans les zones soudaniennes et guinéennes, la répartition des différents types de sols ferrallitiques le long des versants conditionne pour une large part la dynamique de l'eau et les transferts de matière : les sols de bas de pente sont beaucoup plus instables. Les activités biologiques (surtout sous forêt) et la présence d'un mulch gravillonnaire limitent le ruissellement et l'érosion. Le travail du

sol améliore la macroporosité et la rugosité des horizons superficiels; par ailleurs, il diminue leur cohésion, accentue les contrastes structuraux et crée une discontinuité hydraulique dans le profil. Son influence bénéfique sur l'infiltration n'est que fugace (durant les 60 à 150 premiers mm de pluie) si la structure des mottes n'est pas stable et si la végétation, ou les cailloux, ne recouvrent pas rapidement le sol; dans le cas contraire, le ruissellement et l'érosion sont souvent plus élevés que sur les parcelles non travaillées. Parmi les techniques culturales testées, seul le paillage (sur sol aéré) a une action efficace et durable sur le ruissellement et l'érosion. Le buttage cloisonné permet le stockage et l'infiltration des pluies jusqu'à un seuil donné (guère plus de 60 mm), puis, sous l'effet des débordements, il provoque l'apparition d'un ruissellement concentré, ravinant, à caractère catastrophique. Ces mesures réalisées sur des parcelles de tailles différentes (1 à 50 m<sup>2</sup>) ont donné des résultats convergents : elles semblent pouvoir fournir des données intéressantes sur la dynamique de l'eau à l'échelle du versant et des petits bassins [13].

#### L'ÉVOLUTION DE LA STRUCTURE LORS DE LA MISE EN CULTURE

Au cours d'une étude sur l'évolution des sols ferrallitiques sous l'effet de la mise en culture dans la région centrale de Côte d'Ivoire, il a été constaté que le défrichement mécanisé, réalisé au début de la grande saison des pluies, avait provoqué une dégradation rapide et importante de la stabilité structurale de la partie supérieure du sol.

Les effets de l'infiltration d'une lame d'eau de 50 mm sur la stabilité structurale des 30 premiers centimètres du sol ont été étudiés sous forêt et sous savane sur ces parcelles travaillées ou non à l'aide d'une lame de couteau. A la suite de l'humectation, la stabilité structurale diminue davantage sous savane que sous forêt [41] : mais dans les deux cas, la diminution est bien plus importante dans le sol ameubli que dans le sol naturel. Les tests de stabilité des agrégats ont montré que l'infiltration entraîne

essentiellement une diminution de la « non-mouillabilité » dans le sol naturel, tandis qu'elle diminue, en outre, la cohésion dans les sols travaillés.

Le travail du sol accroît donc la vulnérabilité des agrégats envers l'action déstabilisante de l'eau et accélère la dégradation de la structure des horizons superficiels [7, 8].

#### Conclusions

Les études de dynamique actuelle des sols basées sur l'expérimentation ont depuis longtemps rendu services au développement de l'agriculture moderne. Plus récemment, elles ont provoqué un regain d'intérêt depuis qu'il est apparu qu'elles étaient aptes à mieux faire comprendre certains processus pédogénétiques dont les horizons superficiels sont le siège, tels que appauvrissement en particules fines par lessivage ou par érosion sélective, lixiviation des bases, hydromorphie, dégradation de la structure, etc.

Ces processus sont généralement accélérés sous culture. Or en Afrique occidentale comme en de nombreuses régions tropicales, l'agriculture traditionnelle était ou est itinérante, c'est-à-dire qu'après défrichement par le fer et le feu, la terre était soumise à quelques années d'exploitation, suivies de 20 à 50 ans de repos. Une grande partie des terres ont ainsi été défrichées 2 à 4 fois par siècle. Il est donc raisonnable de penser que la dynamique des horizons superficiels des nappes kaoliniques (réputées très anciennes) est en équilibre avec le bioclimat actuel puisqu'il faut de 1 à 20 siècles pour atteindre, au rythme actuel, le stade d'appauvrissement en particules fines et de lixiviation en bases qu'on observe aujourd'hui.

Étant donné l'importance des caractéristiques des horizons superficiels pour la dynamique de l'eau, pour la croissance des végétaux et pour la conservation des sols, ces études de dynamique peuvent aider les pédologues cartographes à définir des unités étroitement adaptées à la mise en valeur agricole en tenant compte de l'évolution probable de leurs propriétés après la mise en culture.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] ASSELINE (J.), VALENTIN (C.), 1978. — Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Hydrol.*, 15, 4 : 321-350.
- [2] AUDRY (P.), 1967. — Observations sur le régime hydrique comparé d'un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sous savane et sous culture (arachide et pénicillaire). Coll. Fertilité des sols tropicaux, Tananarive ; 11/67 ; communication 129, t. II : 1591-1614.
- [3] AUDRY (P.), COMBEAU (A.), HUMBEL (F. X.), ROOSE (E.), VIZIER (J.-F.), 1973. — Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Définition, méthodologie, techniques, limitations actuelles. Quelques voies de recherches possibles (suite). In : *Bull. du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols*, n° 2, juil. 1973.
- [4] BERGER (J. M.), 1964. — Profils culturaux dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 2, 1 : 41-69.
- [5] BERLIER (Y.), DABIN (B.), LENEUF (N.), 1956. — Comparaison physique, chimique et microbiologique entre les sols de forêt et de savane sur les sables tertiaires de la basse Côte d'Ivoire. Congr. Sci. Sol, Paris, vol. 6 : 499-502.
- [6] BLANCANEAUX (Ph.), 1979. — Dynamique de sols ferrallitiques sur granito-gneiss en Guyane française. Relation avec l'érosion, le ruissellement et le lessivage oblique. Rapport O.R.S.T.O.M., 162 p. inédit.
- [7] BLIC (Ph. de), 1976. — Le comportement de sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée : rôle des traits hérités du milieu naturel. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 14, 2 : 113-130.
- [8] BLIC (Ph. de), MOREAU (R.), 1977. — Évolution des caractères structuraux des sols ferrallitiques sous l'effet d'une mise en culture mécanisée récente en Côte d'Ivoire préforestière. Comm. I.I.T.A. : Ibadan, 6-10/2/77, O.R.S.T.O.M., Abidjan, 15 p.
- [9] BLONDEL (D.), 1971. — Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol sableux (Dior) au Sénégal. In : *Agron. Trop.*, vol. XXVI, n° 12, déc. 1971 : 1303-1333.
- [10] BONFILS (P.), CHARREAU (C.), MARA, 1963. — Études lysimétriques au Sénégal. *Agron. Trop.* 19, 11 : 29-62.
- [11] BOURGES (J.), FLORET (C.), GIRARD (G.), PONTANIER (R.), 1979. — Étude d'un milieu représentatif du sud tunisien (type Segui) : la citerne Telman. Rapport de synthèse 1972-77. Ministère Agric. Tunisie/O.R.S.T.O.M., 87 p.
- [12] BOYER (J.), 1970. — Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone. O.R.S.T.O.M., Paris, 175 p.
- [13] CASENAVE (A.), GUIGUEN (N.), 1978. — Détermination des caractéristiques hydrodynamiques de sols forestiers. Campagne 1977. O.R.S.T.O.M.-C.I.E.H., 60 p.
- [14] CHABALIER (P.), 1976. — Contribution à la connaissance du devenir de l'azote du sol et de l'azote-engrais dans un système sol-plante. Thèse Doct. Ing. Fac. Sciences Abidjan, n° 33, 139 p.
- [15] CHARREAU (C.), FAUCK (R.), 1970. — Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa. *Agron. Trop.* 25, 2 : 151-191.
- [16] CHARREAU (C.), NICOU (R.), 1971. — L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques. *Agron. Trop.* 26, 9, 903-78 ; 11 : 1183-1247.
- [17] CHARREAU (C.), 1972. — Problèmes posés par l'utilisation agricole des sols tropicaux par des cultures annuelles. *Agron. Trop.*, 27, 9 : 905-929.
- [18] CHAUVEL (A.), 1966. — Études physiques des sols de Séfa. — O.R.S.T.O.M., Dakar, 36 p.
- [19] CHAUVEL (A.), 1977. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. *Trav. Doc. O.R.S.T.O.M.*, n° 62, 532 p.
- [20] COINTEPAS (J.-P.), 1960. — Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station Expérimentale de Séfa. O.R.S.T.O.M., Tunis, 110 p.
- [21] COLLINET (J.), 1971. — Premiers résultats de l'exploitation d'une parcelle de lessivage oblique dans la région de Libreville (Gabon). Rapport O.R.S.T.O.M., Libreville, 15 p. *multigr.*
- [22] COLLINET (J.), LAFFORGUE (A.), 1979. — Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. O.R.S.T.O.M., Abidjan, 129 p.
- [23] COLLINET (J.), VALENTIN (C.), 1979. — Analyse de différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 17, 4 : 283-328.
- [24] COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1963. — Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 1, 3 : 17-26.

- [25] DABIN (B.), 1964. — Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, II, 1 : 29-40.
- [26] FAUCK (A.), 1956. — Conservation des sols et mise en valeur agricole en région tropicale. Congr. Int. Sci. Sol, 6, Paris, vol. D, 591-595.
- [27] FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (C.), 1969. — Bilans de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *Agron. Trop.*, 24, 3 : 263-301.
- [27 a] FOURNIER (F.), 1960. — Climat et Érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Presses Universitaires de France, Paris, 202 p.
- [28] GERDAT, 1975. — Intensification de l'agrosystème en cultures assolées dans le centre de la Côte d'Ivoire. Bilan des résultats de la recherche. — Rapport GERDAT (I.E.M.V.T.-I.R.A.T.-I.R.C.T.), 55 p.
- [29] GODEFROY (J.), 1974. — Évolution de la matière organique du sol sous culture de bananier et de l'ananas. Relations avec la structure et la capacité d'échange cationique. Thèse Doct. Ing. Nancy. 1, C.N.R.S., A.O. 9296, 166 p.
- [30] HUMBEL (F. X.), 1974. — La compacité de sols ferrallitiques du Cameroun : une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol.*, XII, 1 : 73-101.
- [31] HUMBEL (F. X.), 1976. — L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. O.R.S.T.O.M., Paris, 310 p.
- [32] JADIN (P.), 1972. — Étude de la fertilisation minérale des cacaoyers en Côte d'Ivoire à partir du diagnostic « sol ». *Café, cacao, thé*, 16, 3 : 204-218.
- [33] JAMET (R.), 1975. — Évolution des principales caractéristiques des sols des reboisements de Loudima (Congo). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XIII, nos 3-4 : 235-253.
- [34] LAFFORGUE (A.), NAAH (E.), 1976. — Exemple d'analyse expérimentale des facteurs du ruissellement sous pluies simulées. — *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. hydrol.*, vol. 13, 3 : 195-237.
- [35] LAFFORGUE (A.), 1977. — Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données sous pluies simulées. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. hydrol.*, 14, 4 : 299-344.
- [36] LATHAM (M.), 1969. — Contribution à l'étude de l'influence du facteur sol sur le développement du cotonnier en Côte d'Ivoire. O.R.S.T.O.M., Abidjan, 66 p. *multigr.*
- [37] LE BUANEC (B.), 1971. — Dix ans de culture motorisée sur un bassin versant du centre Côte d'Ivoire. Bilan général. I.R.A.T., Bouaké, 32 p.
- [38] LE BUANEC (B.), 1974. — Observations sur l'ameublissement du profil cultural en sols ferrallitiques. Son incidence sur les caractéristiques du sol et sur la croissance des plantes cultivées annuelles. *Agron. Trop.* 29 : 1079-1099.
- [39] MARTIN (G.), 1963. — Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la vallée du Niari. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 1, 2 : 8-14.
- [40] MARTIN (G.), 1968. — Synthèse agropédologique sur les sols de la vallée du Niari. In : *Quinze ans de travaux et recherches dans la vallée du Niari*, vol. 3 : 53-145.
- [41] MOREAU (R.), 1978. — Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration d'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 16, 4 : 413-424.
- [42] MOREL (R.), QUANTIN (P.), 1964. — Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. *Agron. Trop.* 19, 2 : 105-136.
- [43] MOULO (N.), 1974. — Étude comparative des sols sous forêt et sous bananiers sur schistes à Azaguié d'après deux toposéquences (basse Côte d'Ivoire). Rapport de stage. O.R.S.T.O.M., Abidjan, 99 p.
- [44] MULLER (J.-P.), 1974. — Transport et accumulation de matière en domaine ferrallitique camerounais. Premières données morphologiques et interprétations. O.R.S.T.O.M., Yaoundé, 21 p.
- [45] OLLAGNIER (M.), LAUZERAL (A.), OLIVIN (J.), OCHS (R.), 1978. — Évolution des sols sous palmeraie après défrichement de la forêt. *Oléagineux*, 33, 11 : 537-544.
- [46] PICHOT (J.), 1971. — Étude de l'évolution du sol en présence de fumures organiques ou minérales. Cinq années d'expérimentation à la station de Boukoko (Rép. Centrafricaine). *Agron. Trop.*, 26, 6 : 736-754.
- [47] PIERI (C.), 1979. — Étude de la composition de la solution d'un sol sableux cultivé du Sénégal, à l'aide de capteurs en céramique poreuse. *Agron. Trop.*, 34, 1 : 9-22.
- [48] POULAIN (J.-F.), ARRIVETS (J.), 1971. — Effets des principaux éléments fertilisants autres que l'azote sur les rendements des cultures vivrières de base (sorgho, mil, maïs) au Sénégal et en Haute-Volta. Séminaire C.S.T.R./O.U.A., Dakar, juil. 1971, I.R.A.T., Ouagadougou, 31 p.
- [49] POULAIN (J.-F.), 1975. — Bilan des travaux réalisés par l'I.R.A.T. de 1962 à 1974 au Mali dans le domaine de l'agronomie. I.R.A.T., Mali, 22 p.
- [50] POULAIN (J.-F.), 1978. — Synthèse des résultats agronomiques obtenus de 1971 à 1977. I.R.A.T./H.V. Ministère Dév. Rural H.V., 175 p.
- [51] RAUNET (P.), 1971. — Contribution à l'étude pédologique des terres de Barre au Dahomey et au Togo sur les points d'essai de l'I.R.A.T. I.R.A.T., 119 p.
- [52] ROOSE (E. J.), 1967. — Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. — *Agron. Trop.*, 22, 2 : 123-152.
- [53] ROOSE (E. J.), 1970. — Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique de moyenne Côte d'Ivoire. Deux années de mesure sur parcelle expérimentale. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 8, 4 : 469-482.

- [54] ROOSE (E. J.), 1972. — Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. Comm. Journées d'Études du Génie Rural, Florence, sept. 1972 : 417-441.
- [55] ROOSE (E. J.), 1973. — Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical. Thèse doct. ing., fac. Sci. Abidjan, O.R.S.T.O.M., Abidjan, 125 p.
- [56] ROOSE (E. J.), LELONG (F.). — Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique tropicale. Études sur petites parcelles expérimentales. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.*, 18, 4 : 365-374.
- [57] ROOSE (E. J.), 1976. — Use of the Universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. S.S.S.A. Special Publication, n° 21 : 60-74.
- [58] ROOSE (E. J.), 1977. — Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Trav. Doc. O.R.S.T.O.M.*, Paris, n° 78, 108 p.
- [59] ROOSE (E. J.), GODEFROY (J.), 1977. — Pédogenèse actuelle comparée d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous une bananeraie fertilisée de basse Côte d'Ivoire. Azaguié : 1966-1973. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 15, 4 : 67-94.
- [60] ROOSE (E. J.), 1978. — Pédogenèse actuelle d'un sol ferrugineux complexe issu de granite sous une savane arborescente du centre Haute-Volta. Gonsé : campagnes 1968 à 1974. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.* 16, 2 : 193-223.
- [61] ROOSE (E. J.), ASSELINE (J.), 1978. — Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé. II : Les charges solides et solubles des eaux de ruissellement sur sol nu et diverses cultures d'ananas. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 16, 1 : 43-72.
- [62] ROOSE (E. J.) *et al.*, 1979. — Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne. Saria (Haute-Volta : campagne 1971-74). O.R.S.T.O.M., Paris, 123 p.
- [63] ROOSE (E. J.), 1979. — Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique gravillonnaire issu de granite sous culture et sous une savane arbustive soudanienne du nord de la Côte d'Ivoire (Korhogo : 1967-75). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 17, 2 : 81-118.
- [64] ROOSE (E. J.), 1980. — Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique sablo-argileux très désaturé, sous cultures et sous forêt dense humide subéquatoriale du sud de la Côte d'Ivoire. Adiopodoumé, 1964-75. O.R.S.T.O.M., Paris, 204 p.
- [65] ROOSE (E. J.), 1980. — Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Étude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Thèse doct. ès Sci., Univ. Orléans, 587 p.
- [66] SIBAND (P.), 1974. — Évolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. — *Agron. Trop.*, 29, 12 : 1228-1248.
- [67] SWANSON (N. P.), 1965. — Rotating-boom rainfall simulator. — *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 8 : 71-72.
- [68] TALINEAU (J.-C.), BONZON (B.), FILLONNEAU (C.), HAINNAUX (G.), 1979. — Contribution à l'étude d'un agrosystème prairial dans le milieu tropical humide de la Côte d'Ivoire. I : Analyse de quelques paramètres de l'état physique du sol. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 17, 2 : 141-157.
- [69] TOURTE (R.), VIDAL (P.), JACQUINOT (L.), FAUCHE (J.), NICOU (R.), 1964. — Bilan d'une rotation quadriennale sur sole de régénération au Sénégal. *Agron. Trop.*, 19, 12 : 1033-1072.
- [70] TRAN. THANH-CANH, 1972. — Étude comparative des sols sous forêt et sous liévca sur sables tertiaires à l'Anguédédou. O.R.S.T.O.M., Abidjan, 157 p. *multigr.*
- [71] VALENTIN (C.), 1978. — Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. O.R.S.T.O.M., Abidjan, 150 p.
- [72] VALENTIN (C.), 1978. — Problèmes méthodologiques liés à la simulation de pluies. Application à l'étude de l'érodibilité des sols. Comm. Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen. Strasbourg, 20-23/9/78. O.R.S.T.O.M., Abidjan, 11 p.
- [73] VALENTIN (C.), ROOSE (E. J.), 1980. — Soil and water conservation problems in pineapples plantations of south Ivory Coast. Comm. Conservation 80, Silsoe, juil. 80.
- [74] VIZIER (J.-F.), 1971. — Étude de l'état d'oxydoréduction du sol et de ses conséquences sur la dynamique du fer dans les sols hydromorphes. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 9, 4 : 373-397.
- [75] VIZIER (J.-F.), 1978. — Étude de la dynamique du fer dans les sols évoluant sous l'effet d'un excès d'eau. Étude expérimentale sur des sols de rizières de Madagascar. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 16, 1 : 23-42.
- [76] WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1960. — A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7<sup>th</sup> Intern. Congr. Soil Science, vol. I : 418-425.