

Des contraintes d'origine climatique limitent l'exploitation des sols ferrallitiques dans les régions tropicales humides de Côte d'Ivoire

Éric J. ROOSE* et Roger F. FAUCK**

Pédologues ORSTOM

* *Laboratoire de Géologie appliquée, Université d'Orléans, 45045 Orléans Cedex*

** *ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 Paris*

RÉSUMÉ

Les auteurs rapportent quelques conclusions des recherches menées par l'ORSTOM et le GERDAT depuis 25 ans en Afrique de l'Ouest concernant l'influence des précipitations sur la dynamique actuelle des sols ferrallitiques. En milieu naturel, érosion et lixiviation des « nutriments » sont réduits. Par contre, dès qu'on défriche et cultive ces vastes étendues, les sols sont soumis à l'agressivité particulière des pluies ; l'érosion en nappe décape la mince couche humifère et fertile, les eaux de drainage lixivient les nutriments mobiles (N, K, Ca, Mg), les horizons superficiels s'acidifient et s'appauvrissent en fines par lessivage à floculation diffuse et par érosion sélective. Des méthodes biologiques sont proposées pour réduire ces obstacles à la mise en valeur.

SUMMARY

CLIMATIC CONDITIONS SET LIMITS TO THE CULTIVATION OF FERRALLITIC SOILS IN THE HUMID TROPICAL REGIONS OF IVORY COAST

The authors give some conclusions of studies which ORSTOM and GERDAT are leading in West Africa concerning the impact of rainfalls on actual pedogenesis of ferrallitic soils. Under forest, erosion and leaching of nutrients are reduced but, if people cut down the forest to cultivate this large area, the soil is agressed by rains. Sheet erosion destroys the thin humiferous and fertile horizon and takes off fines particles (0 to 20 microns). Drainage is washing a lot of mobile nutrients (N, K, Ca, Mg) and leaching clay. Biological methods are proposed to reduce these obstacles to agriculture development.

INTRODUCTION

A voir la forêt dense qui se développe en zone tropicale humide, le voyageur peu averti pourrait s'imaginer que la terre doit être très fertile pour produire une telle masse végétale. Or, il n'en est rien.

La forêt a mis des siècles pour accumuler les minéraux indispensables qu'elle puise en profondeur et recycle sans cesse au niveau de la litière (1, 8, 9, 18). Après défrichement et brûlis de la majorité des matières végétales, les cultures se développent correctement la 1^{re} année, mais les rendements diminuent déjà au 2^e cycle et le sol s'épuise dès le 3^e ou 4^e cycle.

Les paysans traditionnels le savent parfaitement qui pratiquent la culture itinérante ; bien des exploitations modernes ont dû cesser leurs activités pour n'avoir tenu compte de ces contraintes édaphiques et climatiques. En Côte d'Ivoire, l'ORSTOM et le GERDAT étudient depuis plus de 30 ans le milieu naturel forestier et sa mise en valeur. Nous voudrions rappeler ici les problèmes que pose l'agressivité des pluies concernant l'érosion, la lixiviation des nutriments et l'appauvrissement en fines des horizons superficiels.

LES SOLS FERRALLITIQUES

Ils présentent schématiquement quatre horizons principaux :

un horizon humifère (1 à 4 % de matières organiques) peu épais (1 à 30 cm) généralement sableux et très perméable, parcouru en tous sens par la faune et par un réseau très dense de racines. Cette couche est particulièrement précieuse, car elle contient la majorité des organismes vivants du sol et constitue une réserve d'éléments nutritifs disponibles. Le chevelu racinaire assure une certaine cohésion et une structure à cet horizon par ailleurs très meuble ;

un horizon vivement coloré (rouge, ocre, jaune), plus argileux (20 à 50 %) où la structure atteint son maximum et qui constitue, avec le niveau suivant, la réserve hydrique ;

un horizon d'argile tachetée de couleurs vives (taches rouges au sommet, ocre, beiges et de plus en plus blanches à mesure que l'engorgement devient plus important et plus durable en profondeur.

une zone de roche altérée plus limoneuse, généralement engorgée et très épaisse.

La roche saine affleure quelquefois dans les bas-fonds ; les profils sont très épais (5 à plus de 50 m). Les minéraux primaires sont rares et altérés ; les minéraux les plus fréquents sont la kaolinite, le quartz, des oxydes et hydroxydes de fer et d'alumine. La capacité d'échange des bases est faible (2 à 10 mé/100 g) et peu saturée (5 à 60 %) ; les matières organiques (mull tropical) évoluent rapidement dans les deux sens (dégradation et agradation). Les réserves minérales facilement échangeables sont réduites : des carences en N, P, K sont fréquentes sous culture et il est souvent nécessaire de corriger l'acidité du sol. S'ils sont pauvres chimiquement, les sols ferrallitiques offrent souvent un milieu physique favorable (profils profonds et perméables) à moins qu'une nappe de graviers quartzueux ou ferrugineux trop compacte ne crée un obstacle difficile à franchir pour les racines.

LE CLIMAT TROPICAL HUMIDE

Il est caractérisé par des précipitations abondantes et irrégulières, de faibles écarts de température ($26^{\circ} \text{C} \pm 2$), une forte humidité de l'air, une ou deux courtes saisons sèches, une évapotranspiration potentielle qui atteint 140 mm par mois en saison chaude, mais moins de 90 mm/mois en saison des pluies. En Côte d'Ivoire forestière, les précipitations annuelles varient de 1 600 à 2 500 mm dont 50 % tombent en 2 mois sur un sol déjà gorgé d'eau. Le potentiel de drainage et de ruissellement est donc très élevé, d'autant plus que l'intensité et l'agressivité des pluies est remarquable ($R_{\text{USA}} = 800 \text{ à } 1\,200$) (19, 14). Dans la région d'Abidjan par exemple, on peut observer chaque année une averse de 150 mm et tous les 4 ans plus de 200 mm en 24 heures. L'intensité des averses atteint régulièrement 130 mm/h pendant 10 minutes, 60 à 100 mm/h pendant 30 mm et 40 à 80 mm/h pendant 1 heure. Le ciel est si sombre pendant les mois pluvieux que la croissance des végétaux ralentit par manque de lumière.

L'ÉROSION

Tout transport nécessite une énergie. Sur les pentes modérées des collines de l'Afrique de l'Ouest, c'est l'énergie cinétique des pluies qui est la cause primaire de l'érosion ; le ruissellement évacue les particules détachées. Par conséquent, tant que le sol est totalement couvert, qu'il s'agisse de forêts, de fourrés, de savanes, de prairies ou d'un mince pailis, érosion et ruissellement restent modérés (14). Par contre, la suppression du couvert entraîne des conséquences catastrophiques à cause de l'agressivité des pluies : le ruissellement est multiplié par 10 à 25 et les pertes en terre par 50 à 1 000 en fonction de la pente. Sous culture l'érosion est intermédiaire et dépend de la rapidité avec laquelle les végétaux recouvrent le sol et de l'adaptation des techniques culturales. L'inclinaison du terrain n'augmente pas forcément le ruissellement : celui-ci dépend essentiellement de l'état de la surface du sol avant l'averse. Par contre, l'érosion croît plus vite que la pente (tabl. I). Bien que les expériences soient rares en ce domaine, elles montrent qu'en Afrique de l'Ouest, l'érosion ne croît pas forcément avec la longueur de la pente. Ceci remet en cause l'utilisation des méthodes de terrassement qui visent à réduire la longueur du versant pour éviter l'énergie cumulative de la nappe ruisselée. Les sols ferrallitiques se sont avérés beaucoup plus résistants à l'érosion qu'on ne le croyait. L'indice d'érodibilité (K. de WISCHMEIER, 1960) varie de 0,02 à 0,18 en

TABLEAU I

Ruissellement (en % des pluies) et érosion (kg/ha)
 observés au cours de 6 averses simulées ($H = 460 \text{ mm}$, $R_{USA} = 600$)
 en fonction du couvert (ananas = 70 %) et du mode d'utilisation des résidus :

Pente	Ruissellement en % des pluies					Érosion (kg/ha)				
	Sol nu	Ananas + Résidus brûlés	Ananas + Résidus enfouis	Ananas + Résidus « mulch »	Moyenne par pente	Sol nu	Ananas + Résidus brûlés	Ananas + Résidus enfouis	Ananas + Résidus « mulch »	Moyenne par pente
4 %	65	39	2,5	0,1	27	15 124	211	29	0,1	3 841
7 %	70	26	3,6	0	25	101 718	3 803	61	0	26 396
20 %	62	35	15	2,1	28	253 151	16 675	9 662	6,7	69 874
Moyenne traitement	66	33	7	0,1	27	123 331	6 896	3 251	2	33 370

fonction de la nature du matériau originel ; ils sont donc bien plus résistants que la plupart des sols lessivés des régions tempérées ($K = 0,20$ à $0,40$) (14).

L'érosion en nappe n'est pas forcément spectaculaire, mais elle est insidieuse, car elle entraîne sélectivement les éléments nutritifs et les particules fines du sol jusque vers 30 microns (11, 13, 14, 18). La lutte antiérosive est donc indispensable pour maintenir à long terme un niveau de productivité acceptable. Elle doit s'organiser autour de quelques grands axes :

1. aménager le terroir en réservant les pentes aux cultures couvrant bien le sol et n'entreprendre des cultures sarclées intensives que dans les plaines,
2. cloisonner le paysage à l'aide de bandes d'arrêt sous la protection desquelles s'organisent les rotations,
3. adopter une politique de conservation des matières organiques (résidus des cultures, paillages, prairies temporaires),
4. favoriser la couverture du sol (plantation hâtive et dense, fertilisation, lutte phytosanitaire, travail du sol adapté, etc.).

LA LIXIVIATION DES NUTRIMENTS

L'analyse du bilan hydrique et les mesures lysimétriques en région tropicale humide montrent que le drainage est concentré sur 2 à 4 mois et qu'il atteint 25 à 60 % des pluies. Comme par ailleurs, les sols sont perméables, qu'ils retiennent mal les cations et que les matières organiques évoluent rapidement,

on peut craindre des pertes importantes en éléments nutritifs par lixiviation. En réalité, le niveau des pertes par drainage dépend des séquences pluvieuses, du type de végétation (permanente ou temporaire comme le maïs), de l'efficacité d'absorption des racines, de l'équilibre entre la fertilisation, l'immobilisation et l'exportation par la culture. Sous forêt et cultures arbustives avec plantes de couverture (hévéea par ex.), les éléments nutritifs libérés au niveau de la litière sont immédiatement recyclés grâce à l'abondant chevelu racinaire (tabl. II) (12, 16, 18). Sous une culture fourragère de *Panicum maximum* les pertes sont également très réduites en N-P-K, car les exportations sont énormes (30 t/ha de M.S.). Sous *Stylosantes guyanensis* les pertes en azote sont déjà plus élevées, car cette légumineuse fixe jusqu'à 250 kg/ha/an d'azote atmosphérique pour ses besoins propres (15). Sous maïs, les pertes en N et K augmentent sensiblement dès qu'on apporte 120 N et 40 K par cycle (16). Sous ananas, les pertes en azote dépassent 60 % des apports minéraux, par contre les pertes en K sont négligeables (17). Sous bananeraie, les pertes en N et K dépassent 60 % des apports fractionnés en 8 doses/an et la totalité de la dolomie enfouie à la plantation a été lixiviée au bout d'un an (5, 18). Le phosphore migre très peu en solution : il est rapidement immobilisé par la masse microbienne et surtout par le fer et l'alumine libres. Par contre, calcium et magnésium sont très mobiles dans tous nos essais : les plantes en absorbent peu et ils sont chassés du complexe absorbant par l'usage de hautes doses d'engrais acides concentrées. L'acidification du sol est donc rapide (1 unité pH en 4 à 10 ans) en régime d'exploitation intensive si les fumures organiques, les

TABLEAU II

Pertes par lixiviation observées en basse Côte d'Ivoire pour différents types de végétation en fonction du niveau de fertilisation

	Pluies	Drain.	N	P	X	Ca	Mg	Sources
ADIOPODOUMÉ								
sables tertiaires								
. forêt	2 100	932	54	0,6	12	112	65	14-16
. Panicum, dose 1 à 3	1 600	620	25-48	1,2-1,5	19	123-659	19-108	} 15
. Stylosanthes 1 à 3	1 600	654	108-196	1,3-1	43-14	182-402	25-81	
. Maïs, dose 0-4	2 000	1 000	30-440	0,1-0,6	60-5	40-630	15-120	16
. Ananas + résidus	3 200*	3 400 à 4 160*	240-275	2,2	82-188	310-520	212-230	17
ANGUEDEDOU								
sables tertiaires								
. hévéa non fertilisé	2 100	845	79	3	63	32	41	12
AZAGUIÉ								
(schiste)								
. forêt	1 770	515	12	1,5	7	22	8	18
. bananeraie	1 980	630	190	1,1	300	240	95	5

Sous ananas, le cycle est de 16 mois.

résidus de culture et les jachères sont négligés. L'azote est très mobile sous forme organique ou de nitrate. Des essais à l'azote 15 ont montré que l'azote lixivié provenait des réserves organiques du sol et non des engrais minéraux rapidement fixés par la culture (2). Le potassium est peu fixé par la kaolinite, si bien qu'il est très mobile en zone tropicale humide et serait perdu si les plantes ne l'absorbaient pas fortement dans ce milieu souvent carencé en cet élément (16). Actuellement on est moins bien armé pour limiter la lixiviation que pour lutter contre l'érosion. Le fractionnement des doses et l'usage d'engrais à libération lente ne suffisent pas toujours. Il convient en outre d'équilibrer les apports avec les besoins des plantes en tenant compte de leur développement, de leur capacité de stockage et des risques d'averses surabondantes. Une plantation précoce et dense permet aussi de profiter de l'activité minéralisatrice explosive des populations microbiennes lors des premières averses tombant après la saison sèche.

L'APPAUVRISSMENT EN FINES DES HORIZONS SUPÉRIEURS

De nombreux sols ferrallitiques présentent des horizons plus sableux en surface qu'en profondeur, et ce d'autant plus qu'ils sont cultivés de longue date

(13). Chaque année en effet, ces sols sont soumis à un appauvrissement en argile et limons fins soit par érosion sélective, phénomène bien connu (11, 13, 14, 18), soit par lessivage oblique ou vertical, mais sans floculation localisée (13, 18). Grâce à des lysimètres originaux (10), il a été possible de peser la charge solide (colloïdale) des eaux libres circulant à l'intérieur, du sol. A l'Anguededou (12), sur des matériaux sédimentaires sablo-argileux, la charge solide passe de 650 mg/l dans le ruissellement, à 246 mg/l dans les eaux drainant vers 30 cm de profondeur, à 105 vers 60 cm et 71 mg/l vers 150 cm. A Azaguié (18) sur schistes verts, la turbidité dépasse 700 mg/l dans le ruissellement, puis baisse de 60 à 45 mg/l sous forêt et de 80 à 20 mg/l sous bananeraie, dans les eaux drainant de 30 à 180 cm de profondeur. La couleur des colloïdes floculés varie du gris au brun-jaune dans les horizons humifères, et du jaune foncé au blanc en profondeur. Dans les sols ferrallitiques étudiés, la charge colloïdale des eaux de drainage tend à diminuer progressivement dès la surface et non brutalement à une certaine profondeur. Il n'y a guère de « ventre localisé » de la courbe de texture, puisque les conditions physico-chimiques ne varient que progressivement en profondeur. Ces résultats ne sont donc pas en accord avec la théorie habituelle sur le lessivage.

On pourrait donc proposer un schéma de lessivage propre à ces zones tropicales selon lequel les colloïdes seraient mis en suspension stable par l'énergie des

gouttes de pluie. Dès la surface se déposent la majorité des plus grosses particules (pellicule de battance) et ensuite beaucoup plus progressivement, les particules plus stables, plus fines et moins colorées à mesure que les eaux s'infiltrant en profondeur dans le profil. Lors des premiers orages de la saison des pluies, le front d'eau de drainage est très chargé : il chasse les dépôts divers qui se sont accumulés dans les grandes voies de circulation. En saison humide, les eaux sont à peine opalescentes vers 1 mètre de profondeur. S'il survient une période sèche, les colloïdes se déposent tout autour des couloirs de circulation et dans les micropores, mais ils peuvent être remis en mouvement au cours des pluies ultérieures et évacués par la rivière ou piégés dans les bas-fonds. En milieu naturel, il semble que ce type de lessivage à floculation diffuse soit le plus efficace pour appauvrir en fines les horizons superficiels ; sous culture c'est l'érosion sélective. Ainsi on a calculé qu'il faudrait 0,1 à 3 millénaires pour atteindre, au rythme actuel, le niveau d'appauvrissement constaté à partir du matériau en place (argile tachetée) (18).

CONCLUSIONS

Les conditions édaphiques et climatiques sont telles en zone tropicale humide, que la mise en valeur de ces vastes espaces exige des mesures efficaces pour protéger le sol contre l'agressivité érosive, lixiviant et appauvrissante des averses tropicales trop abondantes. Les terrassements sont spectaculaires, mais inefficaces et non rentables dans ces régions. Pour atténuer les dégâts de ces précipitations agressives, nous pouvons appliquer les méthodes biologiques et imiter les conditions observées dans le milieu naturel en couvrant le sol, en lui retournant le maximum de résidus organiques et en équilibrant les apports minéraux aux besoins physiologiques des plantes cultivées.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'ORSTOM
le 13 janvier 1981*

BIBLIOGRAPHIE

1. BERNARD-REVERSAT (F.), 1975. — Recherches sur l'écosystème de la forêt subéquatoriale de basse Côte d'Ivoire — VI — Les cycles des macroéléments. *Rev. Écol. Appliquée*, 29 : 229-254.
2. CHABALIER (P.), 1975. — 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. *multigr.* + ann.
3. CHATELIN (Y.), 1972. — Les sols ferrallitiques — 1 — Historique, développement des connaissances et formation des concepts actuels. ORSTOM Paris, 98 p., *Initiat. Document. tech.*, n° 20.
4. GODEFROY (J.), 1967. — Étude de la rétrogradation du potassium dans différents sols de bananeraie. *Rev. Potasse*, 4, 40 : 1-5.
5. GODEFROY (J.), ROOSE (E. J.), MULLER (M.), 1975. — Estimation des pertes par les eaux de ruissellement et de drainage des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie du sud de la Côte d'Ivoire. *Fruits*, 30, 4, : 223-235.
6. HUDSON (N. W.), 1973. — Soil conservation. B. T. Batsford limited, London, 320 p.
7. HUTTEL (C.), 1975. — Recherches sur l'écosystème de la forêt subéquatoriale de basse Côte d'Ivoire — IV — Estimation du bilan hydrique. *Rev. Écologie Appliquée*, 29 : 192-202.
8. LAUDELOUT (H.), MEYER (G.), 1954. — Les cycles d'éléments minéraux et de matières organiques en forêt équatoriale congolaise. *5^e congrès Soc. Int. Sci. Sol*, Léopoldville, vol. II : 267-272.
9. NYE (P. H.), 1961. — Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest — *Plant and soil*, 13, 4 : 333-346.
10. ROOSE (E. J.), 1968. — Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VI, n° 2 : 235-249.
11. ROOSE (E. J.), 1968. — Érosion en nappe et lessivage oblique dans quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. *Comm. 6^e conf. WASA, Abidjan*, 15 p.
12. ROOSE (E. J.) *et coll.*, 1970. — Érosion, ruissellement et lessivage oblique sous une plantation d'hévéa en basse Côte d'Ivoire — Campagnes 1967-8-9. ORSTOM, Abidjan, 115 p. *multigr.*
13. ROOSE (E. J.), 1972. — Contribution à l'étude de l'appauvrissement de quelques sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux situés entre Abidjan et Ouagadougou par l'utilisation de méthodes expérimentales de terrain. ORSTOM Paris, *Bull. Saison thème A*, n° 1 : 19-41.
14. 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 intropical. Thèse Doct. Ing. Fac. Sci. Abidjan, n° 20, OSRTOM Abidjan, 124 p. + ann.
15. ROOSE (E. J.), TALINEAU (J. C.), 1973. — Influence du niveau de fertilisation sur le bilan des éléments nutritifs majeurs de deux plantes fourragères cultivées sur un sol sableux de basse Côte d'Ivoire. *Comm. coll. Inst. Intern. Potasse, Abidjan* 24 p.
16. ROOSE (E. J.), 1974. — Influence du type de plante et du niveau de fertilisation sur la composition des eaux de drainage en climat tropical humide. *Comm. XIII^e Journées de l'Hydraulique, Paris, sept. 1974*, rap. 13, Question 3, 7 p.
17. ROOSE (E. J.), LACOEUILHE (J. J.), 1976. — Étude du ruissellement, de l'érosion et de la lixiviation en fonction du mode d'utilisation des résidus de la culture d'ananas — campagne 1975. ORSTOM — IRFA — Abidjan, 18 p. *multigr.*
18. ROOSE (E. J.), GODEFROY (J.), 1977. — Pédogénèse actuelle comparée d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous une bananeraie fertilisée de basse Côte d'Ivoire — Azaguié 1968 à 1973. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XV, 4 : 67-94.
19. WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1960. — A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7th congrès Intern. *Soil Sci. Soc.* vol. I : 418-425.