



PÉDOLOGIE. — *Sur l'importance des transferts en phase solide dans la dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux d'Afrique occidentale. Cas des milieux sous végétation naturelle.* Note (*) de **Eric J. Roose, Roger Fauck, François Lelong et Georges Pédro**, présentée par Georges Millot.

La mesure *in situ* des transferts de matière par l'eau (matières solides et en solution) et par la faune dans plusieurs écosystèmes naturels « sol-végétation » d'Afrique de l'Ouest permet : (1) de chiffrer l'intensité des principaux mécanismes de la pédogenèse actuelle (lixiviation, lessivage et érosion superficielle) et (2) de mettre en évidence l'importance des transports de matières particulaires, principalement verticaux, selon des modalités variables avec les conditions bioclimatiques.

Measurements in situ of mass transfers by water flow (solid and dissolved transports) and by soil fauna in several natural soil-greencover ecosystems of West Africa permit: (1) to quantify the intensity of the main processes of present day pedogenesis (lixiviation, leaching and surface erosion) and (2) to point out the importance of the solid mainly vertical transports, the modalities of which vary according to bioclimatic conditions.

I. INTRODUCTION. — La plupart des recherches effectuées dans les pays tropicaux ont surtout mis l'accent jusqu'ici sur l'aspect chimique de la pédogenèse ([1] à [6]). Les différenciations « verticales » dans les profils de sol ou « latérales » dans les toposéquences sont considérées comme étant principalement dues à des *transports de matières en solution* électriquement neutres ou ionisées, liés à des réactions d'hydrolyse et de néoformation entre les fractions minérales du sol et les solutions interstitielles.

C'est ainsi que plusieurs grandes voies d'altération ont été caractérisées selon la vitesse relative de lixiviation et d'exportation des bases et de la silice en fonction des conditions climatiques et en particulier des conditions de drainage : allitisation en zone équatoriale, monosiallisation en milieu tropical humide moins lessivant, bisiallisation en milieu tropical plus sec ([7] et [8]).

Or, les mesures de terrain effectuées depuis une dizaine d'années ([9] et [11]) sur des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux prouvent l'importance, même sous végétation naturelle non dégradée, des transports de matières particulaires. Dans ces conditions, si l'on veut établir des bilans globaux, tout à fait complets comme ceux tentés récemment par exemple en Afrique de l'Ouest ([12] et [13]), il apparaît nécessaire d'envisager la mise en jeu de transferts de matière, non seulement à l'état *soluble*, mais aussi sous forme *solide*.

C'est la raison pour laquelle à l'occasion d'une recherche menée par l'Office de la Recherche scientifique et technique Outre Mer (O.R.S.T.O.M.), sur la dynamique actuelle des sols en milieu tropical [14], il a été décidé de réaliser un inventaire complet et un essai de quantification de *tous* les déplacements de matière résultant d'une part des eaux atmosphériques, superficielles et souterraines et d'autre part des agents biologiques (végétaux et animaux), dans plusieurs écosystèmes sol-végétation caractéristiques de l'Afrique de l'Ouest, depuis la forêt dense jusqu'à la savane soudano-sahélienne.

II. CONDITIONS DE MILIEU ET MÉTHODES D'ÉTUDE. — Le travail a été réalisé dans huit stations représentatives des principaux écosystèmes de l'Afrique de l'Ouest, à l'aide d'une série de dispositifs expérimentaux : pluviomètres, lysimètres, cases d'érosion, cases de lessivage oblique... Ceci a permis de quantifier les flux hydriques et les transferts de matières solides et en solution, à l'échelle de parcelles de 100 à 200 m². L'expérimentation a été suivie en continu pendant 4 à 11 ans selon les stations.

A partir de là, en considérant la seule tranche de 2 m superficiels et la végétation qu'elle porte, un bilan géodynamique a pu être établi pour chaque écosystème étudié.

Sont comptés :

— comme *apports*, la charge chimique des pluies et les remontées biologiques profondes (provenant de plus de 2 m de profondeur);

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

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 863 ex 4

Cote : B

Date 7 123 AVRIL 1981

— comme *pertes*, d'une part les enlèvements solides et solubles dus à l'érosion superficielle, d'autre part la charge solide et soluble entraînée par l'eau de drainage et éventuellement les exportations par les cultures.

Les flux de matières en solution et en suspension dans l'eau sont simplement calculés en faisant le produit des volumes d'eau correspondant aux différents termes du bilan hydrique moyen (précipitations, ruissellement, drainages vertical et oblique) par les concentrations moyennes, pondérées par les volumes. Les flux de matières dus aux agents biologiques sont évalués par cubage, sur le terrain, des édifices fabriqués annuellement par ces agents (turricules de vers, termitières...) et par l'analyse chimico-minéralogiques de ces édifices. Les transferts d'origine végétale (chute de feuilles ...) ont été également chiffrés. Ces évaluations sont par défaut, puisque certains transferts biologiques restent occultes.

Les termes apports et pertes du bilan sont ensuite comparés aux *cycles internes* (pluiolessivage, litières végétales et remontée par la mésofaune) et aux *stocks* (quantités de matières immobilisées dans la végétation et dans la tranche superficielle du sol). Cette comparaison, globale ou élément chimique par élément chimique, permet de définir les tendances de la pédogenèse actuelle et de les situer par rapport à la différenciation pédologique acquise par les effets cumulatifs antérieurs.

TABLEAU I

Caractéristiques écologiques des secteurs étudiés

Stations	Climat			Végétation naturelle	Géomorphologie	Sol	Roche mère
	Pluies annuelles (mm)	T (°C)	E.T.P. annuelle (mm)				
Adiopodoumé. Basse Côte d'Ivoire.	2 150	26,2°	1 250	Forêt dense secondarisée	Plateau incisé pente jusqu'à 65 %	Ferrallitiques très désaturés	Sables tertiaires
Korhogo. Côte d'Ivoire septentrionale.	1 350	27,0°	1 660	Savane arborée	Croupes résiduelles et long glacis pente 3 %	Ferrallitiques moyennement désaturés	Granites
Ouagadougou. (parcelle de Gonsé) Haute-Volta.	860	28,1°	1 905	Savane	Croupes résiduelles et très longs glacis pente 1 %	Ferrugineux tropicaux	Granites

III. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION. — Les résultats présentés ici concernent les trois stations les plus représentatives du milieu : zone équatoriale (Abidjan), zone tropicale de transition (Korhogo) et zone à climat tropical pur (Ouagadougou). Les conditions écologiques correspondant à ces stations sont consignées dans le tableau I.

Le tableau II regroupe les bilans géodynamiques relatifs à ces trois stations, tandis que le tableau III présente les quantités de matières impliquées dans les cycles internes de chaque écosystème « sol-végétation » et stockées dans le sol et dans la végétation. En vue de s'en tenir aux résultats essentiels, on s'est contenté de reporter dans ces tableaux les masses semi-globales par groupe d'éléments; ainsi, dans chaque case (colonnes 1, 3, 4 et 6 du tableau II et 1, 2, 3, 4 et 5 du tableau III), le premier nombre correspond à la somme des éléments organophiles (C, N, P), le second à la somme des bases (Na, K, Ca et Mg), le troisième aux sesquioxydes (SiO₂ combinée, Al₂O₃, Fe₂O₃) et le quatrième au total de matière minérale et organique. La différence entre ce total et la somme des éléments résulte, soit des anions non reportés (SO₄, Cl, HCO₃ : cf. colonnes 1, 4 et 6 du tableau II et colonne 3 du tableau III),

TABLEAU II

Bilans géodynamiques de trois écosystèmes naturels d'Afrique occidentale.
Les écosystèmes considérés intègrent la tranche de 2 m de sol superficielle et la végétation annuelle qui s'y développe.

Stations	Gains annuels		Pertes annuelles				Pertes totales (7)	Pertes en solution (%) (8)
	Pluies (1)	Transferts (a) biologiques (2)	Érosion de surface		Drainage profond			
			solide (3)	en solution (4)	solide (5)	en solution (6)		
Adiopodoumé : Forêt	{ 5,9 6,9 17,2 }	Important	{ 1,4 0,03 1,5 }	{ 0,2 0,15 0,05 }	{ — — — }	{ 10,5 17,1 7,3 }	173	38
	{ 32,2 }		{ 5,0 }	{ 0,7 }	{ 103,0 (b) }	{ 64,6 }		
Korhogo : Savane	{ 2,8 3,3 1,2 }	Moyen	{ 0,6 0,03 5,5 }	{ 0,3 0,17 0,15 }	{ — — — }	{ 1,9 4,0 2,1 }	127	12
	{ 17,3 }		{ 10 }	{ 1,2 }	{ 102,6 (b) }	{ 14,3 }		
Ouagadougou : Savane (parcelle de Gonsé)	{ 1,9 2,4 0,6 }	Moyen	{ 0,95 0,1 5,2 }	{ 0,14 0,17 0,1 }	{ — — — }	{ 0,16 0,22 0,15 }	30	4
	{ 11,8 }		{ 15 }	{ 0,5 }	{ 14,3 (b) }	{ 0,7 }		

Tous les nombres sont exprimés en tonnes par kilomètre carré, sauf ceux de la colonne 8.

(a) Ces transferts correspondent à des remontées de terre provenant de plus de 2 m de profondeur.

(b) Valeurs obtenues d'après la charge moyenne en fractions fines et colloïdes contenues dans les eaux de drainage oblique, prélevées vers 1,50 m de profondeur.

TABLEAU III

Masses impliquées dans les cycles internes et stockées dans trois écosystèmes naturels étudiés.

Stations	Cycles internes annuels			Stocks	
	[1] Litières et débris végétaux	[2] Transferts biologiques (a)	[3] Pluiolessivats	[4] Stockage dans les arbres	[5] Stockage dans le sol (b)
Adiopodoumé : Forêt	{ 523 16 — }	{ 13,4 0,4 51,3 }	{ 12,4 13,0 1,0 }	{ 25 650 233 — }	{ 5 107 42 66 250 }
	{ 1 000 }	{ 400 }	{ 54,5 }	{ 51 000 }	{ 390 000 }
Korhogo : Savane arborée	{ 261 40 6 }	{ 10,5 1,5 140,5 }	{ ? }	{ Faible }	{ 2 402 87 180 680 }
	{ 500 }	{ 500 }	{ ? }	{ }	{ 530 000 }
Ouagadougou : Savane (parcelle de Gonsé)	{ 219 7 5 }	{ 1,8 0,3 8,0 }	{ ? }	{ Négligeable }	{ 2 305 205 58 292 }
	{ 450 }	{ 120 }	{ }	{ }	{ 450 000 }

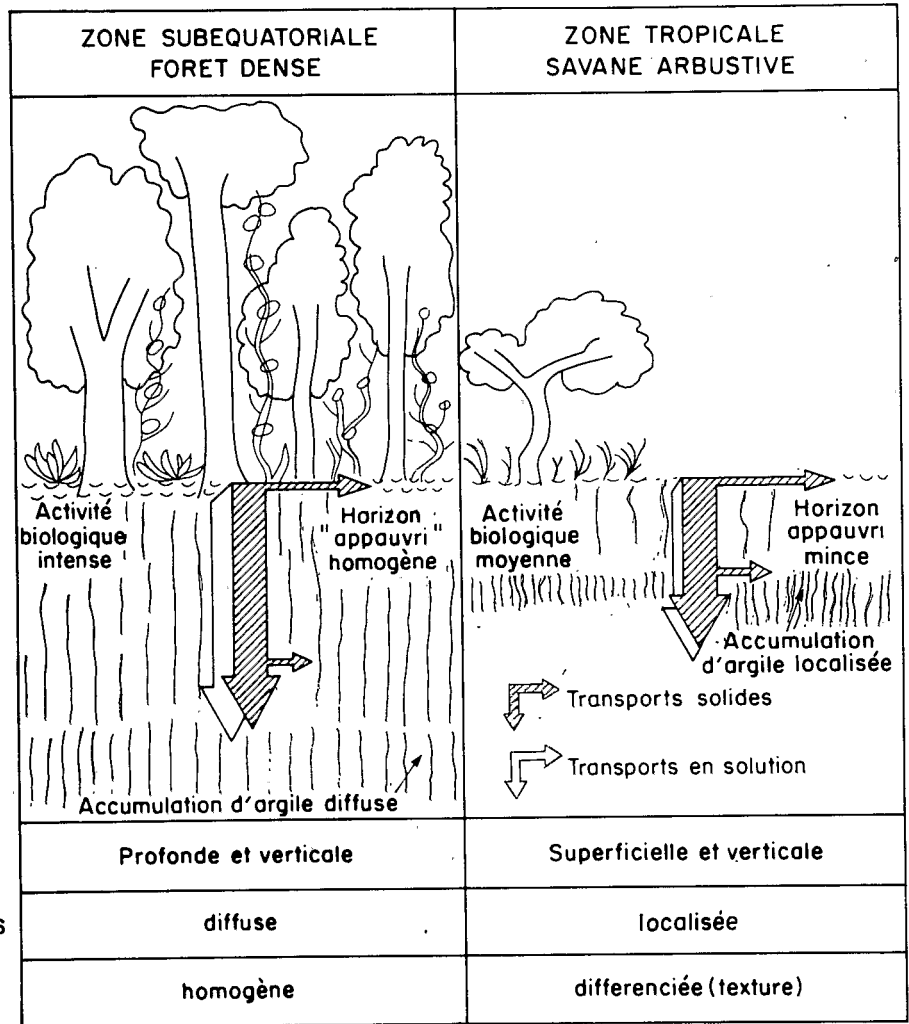
Tous les nombres sont exprimés en tonne par kilomètre carré.

(a) Ces transferts correspondent à des remontées de terre provenant de moins de 2 m de profondeur.

(b) Les quantités se rapportent à la tranche 0-30 cm superficielle du sol.

PLANCHE I

ERIC ROOSE



soit de minéraux résiduels résistant à l'attaque chimique (quartz, oxydes de fer, cf. colonne 3, tableau II et colonnes 2 et 5, tableau III), soit encore à de l'eau combinée (colonnes 1 et 4, tableau III). Tous les nombres sont exprimés en tonnes par kilomètre carré.

Dans cette Note, nous nous limiterons à analyser les *flux globaux*, puis à discuter leur nature, à comparer leur intensité selon les stations, et enfin à confronter ces flux aux cycles internes et aux stocks.

1. *Influence du milieu bioclimatique.* — Tout d'abord, pour les trois stations considérées, les bilans sont sensiblement *équilibrés* : les apports (tableau II, colonnes 1 et 2) sont égaux ou supérieurs aux pertes totales (tableau II, colonne 7), surtout si l'on tient compte des remontées biologiques profondes qui n'ont pas pu être quantifiées mais qui, d'après les transferts biologiques constatés dans la tranche de 2 m superficiels (tableau III, colonne 2), doivent correspondre à des tonnages importants. *Les différents milieux sont donc stables et la savane sèche l'est autant que la forêt subéquatoriale ;*

— en second lieu, dans tous les cas, les pertes sont en majorité dues à des *transports solides*, essentiellement sous forme de suspensions de particules fines ou de colloïdes, entraînées verticalement par les eaux de drainage. Cette prépondérance des transports solides se manifeste même en milieu équatorial où pourtant les pertes en solution sont toujours très importantes;

— c'est donc le « lessivage » au sens le plus général du terme (transfert subvertical des particules fines en suspension dans les eaux de drainage) qui apparaît comme le mécanisme prépondérant de l'évolution pédologique actuelle sous végétation naturelle non dégradée. L'intensité de ce mécanisme semble ne pouvoir être égalée et quelquefois dépassée que dans deux cas seulement : en région équatoriale hyperhumide par la lixiviation (transport par les eaux de drainage en solution) ou en milieu tropical sec par l'érosion superficielle (transport solide par les eaux de ruissellement).

2. *Comparaison des bilans avec les flux internes et les stocks* (tableau III). — On constate que les pertes sous végétation naturelle sont faibles, non seulement par rapport aux réserves contenues dans les 30 premiers centimètres du sol et à celles immobilisées dans les arbres, mais aussi par rapport aux quantités recyclées chaque année par l'activité biologique, retombée des litières végétales et remontées de terre par la faune du sol (tableau III, colonnes 1 et 2 respectivement).

L'horizon superficiel du sol reçoit donc chaque année *plus* d'éléments et notamment d'éléments nutritifs (sauf peut-être de potassium), qu'il n'en perd sous forme solide ou en solution; *il s'en suit une croissance optimum des végétaux et un stockage progressif des éléments dans le sol.*

III. *CONCLUSIONS.* — Les bilans géodynamiques globaux établis dans les trois stations les plus représentatives de grands écosystèmes intertropicaux permettent de chiffrer l'importance relative des trois mécanismes fondamentaux de la pédogenèse actuelle : (1) le *lessivage*, c'est-à-dire le transfert vertical de fractions fines et de colloïdes en suspension par les eaux de drainage; (2) la *lixiviation*, c'est-à-dire le transfert vertical des éléments en solution par les eaux de drainage; (3) l'*érosion mécanique* d'éléments solides de toutes tailles, mais préférentiellement l'enlèvement de particules fines (érosion sélective provoquant un appauvrissement de surface). On peut négliger ici les transferts en solution dans les eaux de ruissellement, les volumes et les concentrations étant toujours très faibles.

On aboutit ainsi, sous végétation naturelle, au classement suivant (résultats exprimés en tonnes par kilomètre carré et par an) :

Abidjan :					
Forêt dense.	Lessivage (103)	>	Lixiviation (64)	»	Érosion mécanique (5)
Korhogo :					
Savane soudanaise.	Lessivage (102)	»	Lixiviation (14)	#	Érosion mécanique (10)
Ouagadougou :					
Savane soudano-sahélienne. . .	Érosion mécanique (15)	#	Lessivage (14)	>	Lixiviation (0,7)

Ce classement atteste l'intensité des transports de matière *sous forme particulière* dans tous les cas, même en milieu subéquatorial très hydrolysant et lixiviant. On note par ailleurs que, sous végétation naturelle non dégradée, les transferts suivant la *verticale* sont toujours importants. L'érosion mécanique latérale augmente certes au fur et à mesure que l'on se rapproche des zones les plus sèches, mais elle reste assez faible; quant au drainage oblique, il représente en moyenne moins de 1 % des bilans hydriques annuels [14]. Les deux situations les plus extrêmes sont schématisées sur la figure.

Mais cette dynamique prépondérante par lessivage vertical ne conduit pas nécessairement à l'individualisation de profils de sols « lessivés », c'est-à-dire présentant une différenciation texturale nette. C'est ainsi que dans les sols ferrallitiques, le dépôt des colloïdes et fractions fines se produit toujours d'une manière diffuse et ne se manifeste que dans les niveaux très profonds. En revanche, dans les sols ferrugineux tropicaux, un horizon d'accumulation arrive à se développer plus aisément, du fait que la pénétration souvent moindre des flux hydriques va de pair avec une plus faible intensité des remaniements dus à l'activité biologique.

(*) Remise le 11 mai 1981.

- [1] G. MILLOT, *Géologie des argiles*, Masson, Paris, 1964, 499 p.
- [2] F. LELONG, *Thèse Sc.*, Nancy, 1967, 188 p.
- [3] G. BOCQUIER, *Thèse Sc.*, Strasbourg et *Mém. O.R.S.T.O.M.*, 62, 1971, 350 p.
- [4] R. BOULET, *Thèse Sc.*, Strasbourg et *Mém. O.R.S.T.O.M.*, 85, 1974, 272 p.
- [5] J. C. PION, *Thèse Sc.*, Strasbourg, 1979, 220 p.
- [6] J. C. LEPRUN, *Thèse Sc.*, Strasbourg, 1979, 222 p.
- [7] G. PEDRO, *Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam.*, 10, 1968, p. 457-470.
- [8] Y. TARDY, *Thèse*, Strasbourg et *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 31, 1969, 199 p.
- [9] E. J. ROOSE, *Commun. 6^e Confér. biennale W.A.S.A.-A.S.O.A.*, Abidjan, 1968, 10 p.
- [10] E. J. ROOSE, *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, série Pédologie, 8, 1979, p. 468-482.
- [11] E. J. ROOSE, *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, série Pédologie, 15, 1977, p. 67-94.
- [12] J. Y. GAC, *Thèse Sc.*, Strasbourg et *Trav. et Doc. O.R.S.T.O.M.*, 123, 1979, 251 p.
- [13] A. BLOT, *Travaux et Doc. O.R.S.T.O.M.*, 114, 1980, 430 p.
- [14] E. J. ROOSE, *Thèse Sc.*, Orléans, 1980, 587 p.

E. J. R. et R. F. : *O.R.S.T.O.M.*, 24, rue Bayard, 75008 Paris;

F. L. : *Laboratoire de Géologie appliquée, Université d'Orléans, 45046 Orléans Cedex;*

G. P. : *Laboratoire des Sols, C.N.R.A., route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.*