

INFLUENCE DU TYPE DE PLANTE ET DU NIVEAU DE FERTILISATION SUR LA COMPOSITION DES EAUX DE DRAINAGE EN CLIMAT TROPICAL HUMIDE

E. J. ROOSE

Maître de Recherches en Pédologie à l'ORSTOM
Abidjan, Côte d'Ivoire

A l'aide de lysimètres de sol non remanié, on a recueilli les eaux drainant en dessous de la zone d'exploitation des racines (150 cm) sous forêt dense humide, sous maïs (5 niveaux de fertilisation), sous cultures fourragères (*Panicum maximum* et *Stylosanthes gracilis* : trois niveaux de fertilisation) et sous bananeraie. Malgré la perméabilité élevée du sol, sa faible capacité de rétention des cations et l'importance du drainage dans le site étudié (400 à 800 mm/3 mois), les teneurs des eaux de drainage en N total, P, Mg et K augmentent relativement peu tant que le niveau de fertilisation reste voisin des immobilisations par la culture; par contre le calcium et l'anion SO_4 présentent une augmentation systématique. Ainsi l'absorption par le végétal des éléments nutritifs mis à sa disposition, absorption variable selon le niveau de fertilisation et le type de plante, intervient-elle pour tamponner l'entraînement des éléments minéraux dans les eaux de drainage.

*Using undisturbed soil lysimeters, we collected waters drained underneath the roots exploiting zone (150 cm) of a moist forest, corn (five fertilization levels), fodder cultivations (*Panicum maximum* and *Stylosanthes gracilis*; three fertilization levels) and bananaplantations. In spite of the high soil permeability of its low capacity bases exchange and of the studied site drainage importance (400-800 mm for three months), the total N, P, Mg and K contents of the drained waters increase relatively little as long as the fertilization level remains near the immobilizations due to cultivation; on the other hand, calcium and SO_4 anion increase systematically. Thus, available nutrients elements absorption by vegetals, that varies according to the fertilization level and the plant type, steps in for plugging the mineral elements carrying away into the drainage waters.*

1. — INTRODUCTION

En région tempérée, de nombreux chercheurs ont étudié les conséquences de l'intensification de l'agriculture sur l'environnement et en particulier sur la qualité des eaux de surface. Les auteurs s'accordent généralement pour reconnaître une certaine relation entre l'accroissement de la consommation des engrais durant la dernière

décennie et l'augmentation des teneurs en éléments nutritifs majeurs (en particulier l'azote) des eaux naturelles [9] sans pour autant trouver la situation catastrophique en dehors de cas exceptionnels, facilement évitables. L'érosion contribuerait à l'entraînement du phosphore (et de la potasse) rapidement fixé dans les horizons superficiels du sol tandis qu'une partie de l'azote excédentaire aux besoins de la nutrition des plantes serait perdue dans les eaux de drainage [4, 5, 9]. Rares sont les informations sur les autres éléments

ments. Par contre, la concentration de l'élevage dans certaines régions pose des problèmes sérieux de pollution parce que la manutention des excréments en fait un engrais plus cher et moins commode que les engrais minéraux [1, 4, 5].

En région tropicale humide les résultats expérimentaux dans ce domaine de l'environnement sont rares et les problèmes de la pollution des eaux par l'intensification de l'agriculture semblent moins urgents en raison de la faible densité de la population. Cependant l'intensité des phénomènes d'érosion et de lessivage pourraient bien prendre d'autres dimensions étant données l'agressivité des pluies, l'importance du drainage (400 à 800 mm en 3 mois à Abidjan) et la faible capacité d'échange des sols ferrallitiques (argile kaolinique et matières organiques vite minéralisées) très étendus sous ces climats [2, 8].

Dans cette note, l'auteur rapporte quelques résultats d'une étude entreprise par l'ORSTOM en

Côte-d'Ivoire et Haute-Volta concernant l'évolution actuelle des sols sous végétation naturelle ou cultivée au départ de l'analyse des eaux naturelles.

2. — LES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Le milieu.

Les principaux essais eurent lieu au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé (5°20' N; 4°08' W; 30 m. alt.) à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest d'Abidjan. Le climat forestier guinéen (voir fig. 1), du type subéquatorial à deux saisons des pluies, est caractérisé par des températures men-

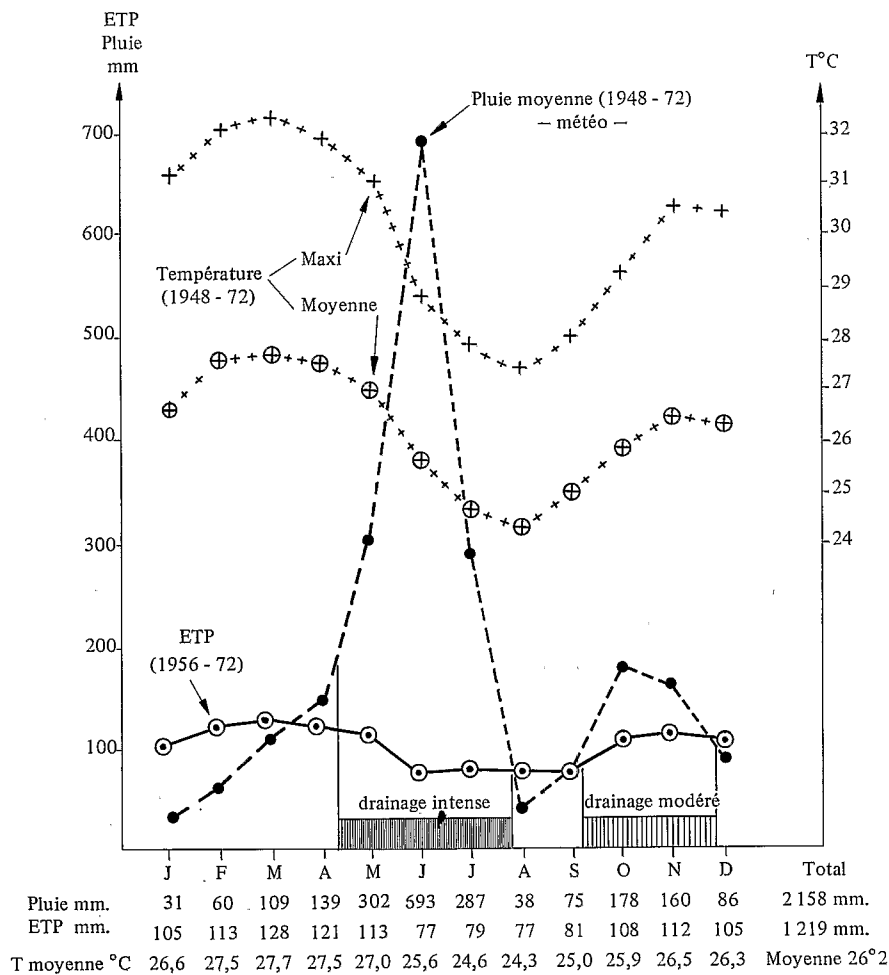


FIG. 1. — Précipitations, température et E.T.P. (Ture). (moyennes mensuelles à Adiopodoumé, d'après Gosse (G.), Eldin (M.), 1973).

TABLEAU 1
Apports minéraux (kg/ha/an) en fonction du niveau de fertilisation des cultures étudiées [2, 8]

Apport kg/ha/an		N	P	K	Ca	Mg
Maïs var. CJB	dose 1	50 + 20 + 20	20	30 + 20 + 20	30	15
forme		Sulfate	Super simple	Chlorure	Dolomie	Dolomie
Panicum	dose 0	33	20	28	23	10
	0,5	333	177	284	224	77
	1	667	177	554	304	77
forme		Urée et sulfate	Scorie et supertriple	Scorie et chlorure	Chaux magnésienne	
Stylosanthes	dose 0	25	10	14	18	10
	0,5	167	85	139	112	39
	1	317	85	277	152	39
forme		Urée et sulfate	Scorie et supertriple	Scorie et chlorure	Chaux magnésienne	
Bananier (Azaguié)		1 290	49	1 403	1 000	561
	Nombre fractions/an	7	1	7	1	1
forme		Urée, sulfate et composés	Composés	Chlorure sulfate et composés	Dolomie	Dolomie

suelles variant peu ($\pm 3^\circ\text{C}$) autour de la — Les eaux de source sont prélevées juste à

3. — RÉSULTATS

Au tableau 2 sont résumés les principaux résultats d'analyse des eaux de pluie, de ruissellement, de drainage et de source sous forêt ainsi que des eaux de drainage sous différentes cultures à plusieurs niveaux de fertilisation. Suivant les cas on a présenté les moyennes arithmétiques (ma)

superficiel les teneurs en calcium (9,2 ppm), magnésium (4,9 ppm) et potassium (6,2 ppm) s'élevaient encore. Ensuite on constate une baisse notable des teneurs en potassium dans les eaux de drainage et une baisse en tous les cations dans les eaux de source sauf le sodium moins concerné par les activités biologiques (photosynthèse et minéralisation de la litière) que par l'altération des minéraux en profondeur.

TABLEAU 2

Evolution de la charge soluble des eaux naturelles (mg/litre) en fonction du type de végétation et du niveau de fertilisation en région tropicale humide (basse Côte d'Ivoire)

Adiopodoumé (1970-1973) Sol ferrallitique sur sables tertiaires	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	P	Ca	Mg	K	Na	N-NO ₃	N-NH ₃	N tot. Min + Org.	Oxygène consommé par M. Org.
Pluie (M _p 1970-72)											
— au-dessus du couvert	3,14	1,5	0,15	1,90	0,45	0,25	0,96	0,22	0,18	1,34	1,5
— sous forêt	3,84	2,3	0,31	3,84	2,20	3,93	1,84	0,45	0,28	2,20	8,6
Forêt 2 aire Sempervirente (1971-1973)											
Ruiss. { Ma	3,8	2,6	0,55	9,2	4,9	6,2	1,9	2,1	1	5,7	14
Extr.	0,7-10	0,8-6	0,2-1	3-18	0,3-11	0,5-20	0,6-5	0,2-3	0-5	1,4-17	3-22
Drainage 150 cm { Ma	9	6	0,06	12	7	1,3	7	2,9	0,3	5,8	2,2
Extr.	1-20	2-30	0-0,2	3-25	1-16	0,3-3	3-17	0,2-15	0,1-0,8	2-20	0,5-5
Source (1971-73)											
30 m plus bas { Ma	3,75	1,1	0,39	2,43	0,40	0,05	2,35	0,13	0,10	1,02	0,7
Extr.	2,8-6	0,1-2,3	0-0,8	1,1-4	0,01-1,2	0,01-0,1	2,2-2,5	0,05-0,4	0-0,3	0,2-2,2	0,1-3
Fourrages fertilisés (70-73) Drainage vertical (DV)											
Panicum (graminée)											
M _p { dose 0	—	7,3	0,06	5,9	0,9	0,9	—	—	—	1,6	—
dose 0,5	—	34,1	0,07	11,4	2,3	1,0	—	—	—	1,3	—
dose 1	—	81,7	0,08	34,5	5,6	1,0	—	—	—	2,5	—
Stylosanthes (légumineuse)											
M _p { dose 0	—	8,3	0,07	10,4	1,6	2,5	—	—	—	6,2	—
dose 0,5	—	16,2	0,06	22,4	3,9	1,3	—	—	—	10	—
dose 1	—	27,0	0,05	21,8	4,4	0,8	—	—	—	9,5	—
Jachère herbacée non fertilisée (1973) (DV) Extr.	1-5	3-8	0,01	7-42	4-11	1-12	—	—	—	8-40	—
Mais (1973) après 1 cycle											
(DV) ext. { dose 0	1-2	12-20	0,01	2-8	1-3	6	—	—	—	2-5	—
dose 0,5	2-4	4-19	0,01	4-12	1-3	3-5	—	—	—	3-5	—
dose 1	5-8	33-48	0,02	16-20	3-4	0,4	—	—	—	3-10	—
dose 2	12-14	33-80	0,03	33-60	3-6	0,6	—	—	—	14-23	—
dose 4	15-26	130-148	0,06	54-72	9-16	1-7	—	—	—	41-47	—
Azaguié. (1967-69) Sol ferrallitique sur schiste											
Bananiers fertilisés											
Ruissellement { M _p	—	—	0,20	14	6	25	—	5	1,4	14	18
(ERLO) Extr.	—	—	0,07-0,5	6-34	2-12	3-123	—	0,3-17	0-11	6-34	10-42
Drainage { M _p	—	—	0,06	31	13	29	—	23	1,1	27	14
(ERLO) Extr.	—	—	0-0,2	17-129	3-19	7-120	—	4-38	0,2-3	17-49	3-43

N.B. — DV : case à drainage vertical; ERLO : case à drainage oblique; M_p : moyenne pondérée en fonction du volume; Ma : moyenne arithmétique; Extr : Extrêmes.

Matières organiques.

Elles sont exprimées en oxygène consommé par les matières organiques de l'eau dans un milieu acide permanganaté.

Les eaux de pluie s'enrichissent considérablement en matières organiques (couleur brune) au contact de la voûte foliaire forestière (pluviolessivat), de la litière et de l'horizon humifère (ruissellement) puis s'appauvrissent progressivement dans les eaux de drainage par minéralisation pour atteindre des teneurs très faibles dans les eaux de source.

Les eaux de pluie se chargent rapidement en

silice au contact avec le sol puis les teneurs (7 à 10 ppm) varient peu à l'intérieur du sol quel que soit le type de culture ou de fertilisation. Les eaux naturelles étudiées sont pauvres en fer et alumine solubles (0 à 0,4 ppm) : elles s'enrichissent légèrement au contact de la litière et de l'horizon humifère (migration sous forme colloïdale).

4. — DISCUSSION

Le comportement des éléments nutritifs majeurs en solution dans les eaux de drainage est

assez voisin en régions tropicales et tempérées : tant que les doses d'engrais apportés aux céréales et aux cultures fourragères restent de l'ordre de grandeur des immobilisations par les plantes, les teneurs en azote, potasse et phosphore observées sous culture sont voisines de celles observées sous forêt.

Il y a cependant plusieurs remarques à faire.

— Le calcium et l'anion SO_4^{--} sont les seuls parmi les éléments analysés à augmenter sensiblement dès la dose 1.

— Le magnésium aurait le même comportement que le calcium s'ils étaient représentés à la même concentration dans les apports. D'où le danger d'acidification des sols par l'usage intensif ou répété d'engrais à acide fort.

— Le phosphore migre très peu sous forme soluble mais il est facilement entraîné en suspension sous forme complexée dans les eaux de ruissellement; or l'érosion peut être très active sous culture en région tropicale humide.

— Les sols des régions tempérées sont riches en argiles susceptibles de rétrograder le potassium (comportement de K voisin du phosphore) ce qui n'est pas le cas des sols ferrallitiques (argile kaolinitique) où le potassium se comporte plutôt comme l'azote laquelle est susceptible de migrer dès que la quantité d'azote minéralisée dépasse la capacité d'absorption et de stockage

nage à haute teneur en solubles et en particulier en azote et en bases. Il s'agit en général des premiers passages des eaux de drainage (phénomène de chasse) lorsque l'humidité du sol et la haute température favorise la minéralisation au point de dépasser les besoins momentanés des plantes. Ceci peut se présenter au printemps et surtout en automne en région tempérée. En basse Côte d'Ivoire les risques de drainage intense sont limités dans le temps aux mois de juin-juillet (80 % du drainage annuel) et octobre-novembre et les fortes minéralisations ont lieu surtout en fin de saison sèche (avril-mai) et dans une moindre mesure après chaque période de sécheresse prolongée. Il en résulte que sur les plantes pérennes à enracinement puissant durant toute l'année (palmier, hévéa, etc.) le fractionnement des engrais a peu d'effet s'ils sont fournis en dehors des périodes de drainage. Par contre sur les plantes à cycles courts (céréales, etc.) et croissance rapide en pleine saison des pluies l'intérêt du fractionnement des engrais se marque mieux sur les rendements. Ces vagues d'eau fortement minéralisée coïncident avec la fin de périodes sèches et donc les niveaux les plus bas des nappes phréatiques et des rivières. D'après les analyses d'eau de la source d'Adiopodoumé il semble que ces phénomènes soient assez bien tamponnés (dilution, gazéification de l'azote, fixation des cations sur le complexe absorbant des zones profondes du sol) au niveau de la nappe pro-

des risques d'érosion, de l'intensité du drainage et de la faible capacité d'échange du sol. Cependant, tout comme en région tempérée, l'usage rationnel des engrais est indispensable pour assurer la rentabilité des cultures industrielles malgré le rapide épuisement des sols et la nutrition d'une population en forte croissance surtout en zone périurbaine.

Tant que la fertilisation est correctement menée (quantité, équilibre et fractionnement) les dangers de pertes par lixiviation sont négligeables et les dangers d'érosion réduits.

Or, les engrais sont chers et l'utilisateur n'est pas tenté d'en abuser s'il reçoit les conseils techniques adéquats; ce qu'il faut éviter par contre c'est de laisser le sol nu ou mal couvert surtout durant les périodes de forte pluviosité; des plantations hâtives et multispécifiques (bien connues des Africains) ou successives permettent de profiter au maximum de la minéralisation des matières organiques et des pluies tout en protégeant le sol contre l'érosion et la lixiviation.

Le type de couverture végétale a une forte influence sur les pertes solubles dans les eaux de drainage. Sous forêt et cultures fourragères les pertes sont faibles mais pas toujours négligeables: elles sont plus élevées sous *Stylosanthes* (légumineuse) que sous *Panicum* (graminée). Elles ne deviennent importantes sous céréale (maïs) que si les apports dépassent largement la capacité de stockage temporaire de la plante. Par contre le bananier (*Pananas*, etc.) a un taux d'utilisation très faible, si bien qu'on est amené à apporter des doses élevées d'éléments nutritifs et qu'on en perd beaucoup par lixiviation (70 % de Ca et Mg, 50 % de N et K, 7 % de P apportés).

Des études complémentaires seraient utiles:

— pour améliorer la capacité d'absorption des racines, mieux connaître les rythmes des besoins des plantes et le rôle des cultures multispécifiques (cultures dérobées, plantes de couverture, etc.) sur l'utilisation des éléments nutritifs disponibles du sol;

— pour déterminer l'importance des formes des engrais (forme de l'azote et des anions accompagnateurs);

— pour suivre l'évolution de stocks d'éléments nutritifs du sol plus ou moins disponibles et fixer des limites à l'intérieur desquelles il est

avantageux de maintenir ce stock du sol (= tampon) pour éviter tant les carences (seuils mini.) que les risques de pertes par lixiviation (seuils maxi.) sous divers sols, cultures et climats.

Enfin il faut souligner l'intérêt de la méthode des lysimètres qui permet de tirer la sonnette d'alarme dans le cas d'une erreur de fertilisation et de prévoir le sens de l'évolution de la charge soluble des eaux de drainage: cependant ces essais doivent être suffisamment prolongés (saturation du profil) et contrôlés par des études sur la nappe ou sur bassins versants expérimentaux.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GERVY (R.), 1973. — Les engrais et l'environnement humain avec référence spéciale à la potasse. Comm. Coll. I.I. Potasse Abidjan, déc. 1973, 7 p. multigr.
- [2] GODEFROY (J.), MULLER (M.), ROOSE (E.), 1970. — Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire. *Fruits*, 25, 6, p. 403-423.
- [3] GOSSE (G.), ELGIN (M.), 1973. — Données agroclimatologiques recueillies à la Station ORSTOM d'Adiopodoumé, 1948-1972. Rapport ORSTOM Abidjan, 22 p., multigr.
- [4] HÉBERT (J.), GRAFFIN (Ph.), 1971. — Essai d'estimation de l'influence des engrais et des rejets agricoles sur l'eutrophisation. Rapport INRA, 29 p., multigr.
- [5] KOLENBRANDER (G.J.), 1972. — Programme on evaluation of eutrophication control. Report of the working group on fertilisers and agricultural waste products. 2d Revision. Rapport OECD, Environment Direct., 71 p., multigr.
- [6] ROOSE (E.J.), 1968. — « Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place ». *Cah. ORSTOM, Série Pédol.*, VI, n° 2, pp. 235-249.
- [7] ROOSE (E.J.), HENRY DES TUREAUX (P.), 1970. — « Deux méthodes de mesure du drainage vertical dans les sols en place ». *Agron. Trop.*, 25, 12, p. 1079-1087.
- [8] 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. ORSTOM, Abidjan, 24 p., multigr. Coll. I.I. Potasse, Abidjan, déc. 1973.
- [9] TOMLINSON (T.E.), 1971. — Nutrient losses from agricultural land. *Outlook on Agriculture*, 6, 5, pp. 272-278.