

Bilan hydrique et pertes en nutriments des systèmes de culture bananière sur sol brun à halloysite

Bounmanh Khamsouk
Eric Roose

Pratiqués intensivement dans les Antilles françaises, les systèmes de culture bananière peuvent présenter de grands risques pour l'environnement : érosion des sols cultivés et pollution chimique des eaux douces. En effet, sous climat tropical humide à forte pluviosité, ces systèmes intensifs, pratiqués avec un travail lourd du sol et des apports massifs d'intrants, sont soumis à des transferts hydriques très actifs qui peuvent se définir selon l'équation simplifiée du bilan hydrique suivant :

$$P = R + ETP + Dr \pm \text{Var. Stock} \quad \text{équation (1)}$$

P : pluviosité

R : ruissellement

ETP : évapotranspiration potentielle

Dr : drainage vertical interne

Var. stock : variation du stock d'eau dans la couche étudiée de sol (données en mm)

De cette équation, il apparaît deux processus malléables par l'action anthropique (ruissellement et drainage), les autres étant difficilement influençables. Or, ces deux processus ont des répercussions sur l'environnement. En effet, le ruissellement (R), qui est un écoulement d'eau en surface du sol, peut entraîner une érosion sévère de la terre arable en milieu insulaire à forte pluviosité et à relief accidenté. Le drainage (Dr), quant à lui, est un écoulement d'eau en profondeur du sol qui favorise une lixiviation des intrants (c'est-à-dire un entraînement en profondeur des éléments chimiques dissous), origine de toute pollution souterraine. Le choix privilégiant l'un ou l'autre processus semble alors délicat dans l'application d'une agriculture durable.

C'est pourquoi cette étude essaie d'apporter quelques éléments de décision à travers les résultats obtenus sur un dispositif expérimental basé à la plantation Rivière Lézarde (CIRAD-FLHOR) et testant des systèmes de culture bananière durant deux années consécutives.

Description du site d'étude

La plantation Rivière Lézarde est située dans la région centrale de l'île, constituée de collines ravinées (pentes variables de 10% à 40%), à environ 25 km au Nord-Est de Fort-de-France. Son climat tropical humide à deux saisons, sèche et humide, se caractérise par une température mensuelle moyenne de 22-29°C et une pluviosité annuelle moyenne de 2000-2500 mm. Les sols rencontrés sont du type brun rouille à halloysite développé sur des projections volcaniques andésitiques (Colmet-Daage et Lagache, 1965) : ils sont très argileux et peu denses en surface.

Description du dispositif expérimental et des paramètres mesurés

Pour estimer le bilan hydrique régulièrement (au jour ou à la semaine), nous avons mis en place un dispositif expérimental, début 1999, testant les traitements suivants choisis en raison de leur association (par rotation de culture) avec les systèmes de culture bananière :

- deux cultures d'ananas sur pente modérée à 10% : l'une traditionnelle, mécanisée et billonnée ; l'autre inédite, à plat avec un paillage des interlignes,
- la bananeraie établie sur une pente similaire à 10% (c'est-à-dire une bananeraie âgée d'au moins deux ans, avec bandes de paillis perpendiculaires à la pente),
- la canne à sucre paillée, sur trois pentes à 10%, 25% et 40%,
- le sol dénudé, sur les mêmes pentes à 10%, 25% et 40%.

Ce dispositif comprend une station météorologique automatique, des parcelles de ruissellement-

érosion (100-200 m²) portant ces traitements, des tensiomètres pour mesurer la variation de stock d'eau sur 30 cm de sol et des lysimètres coniques placés à 50 cm sous des bananiers pour estimer le drainage.

Les paramètres hydriques sont exprimés en hauteur d'eau (mm). La pluviosité (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) sont obtenues directement à partir de la station météorologique tandis que les autres paramètres, ruissellement (R), variation de stock (Var. stock) et drainage (Dr), sont mesurés régulièrement (quotidiennement ou hebdomadairement) à partir du dispositif. Notons que dans la plupart des cas, le bilan hydrique a consisté à évaluer le drainage

ou drainage). Cette moyenne pondérée est plus représentative de la perte chimique que la moyenne arithmétique car elle tient compte de la dilution des éléments lors de grands écoulements.

Résultats du bilan hydrique

Pour l'ensemble des traitements testés, l'estimation du bilan hydrique de juillet 1999 à décembre 2000 semble satisfaisant avec ce dispositif et les résultats montrent l'importance des processus de transferts hydriques (Khamsouk, 2001). En effet, le bilan hydrique indique que le ruissellement (R) et surtout le

drainage (Dr) ne deviennent prépondérants qu'en saison humide tandis que l'évapotranspiration potentielle (ETP) reste constante tout au long de l'année, même en saison sèche où le déficit hydrique constaté (ETP > P) justifie l'application de l'irrigation. Le sol brun à halloysite

semble drainer rapidement l'excédent d'eau de pluie en une semaine, voire moins en période sèche. Ce fort drainage s'expliquerait par la grande stabilité des agrégats du sol à l'eau et sa grande capacité d'infiltration sous simulation de pluie cyclonique, malgré sa forte texture argileuse.

Le ruissellement, quant à lui, n'apparaît qu'à partir des pluies journalières supérieures à 30 mm en général, mais il n'en demeure pas moins un processus actif dans l'influence des cultures sur l'environnement (érosion des sols notamment).

Le tableau 1 propose un bilan hydrique annuel moyen. Nous constatons que le drainage annuel moyen peut s'élever ici de 640 à 1040 mm/an tandis qu'il reste inférieur à 200 mm/an sous climat tempéré à pluviosité annuelle de 600 mm et quel que soit le mode d'utilisation du sol (Duchauffour, 1997). A travers ces résultats, on perçoit aussi l'influence des traitements

Moyenne annuelle	Traitements								
	Sol nu			Canne paillée			Ananas à plat+paillis méca.+billonné		Bananaie établie
pente p (%)	11%	25%	40%	11%	25%	40%	9%	7%	10%
P (mm)	2314			2502			2517		2517
ETP (mm)	1403			1489			1511		1511
R (mm)	209	155	128	15	17	21	16	337	76
Var. stock (mm)	61	61	64	28	-45	-29	32	40	51
Dr calc. (mm)	641	695	718	969	1041	1021	958	629	879
Dr obs. (mm)	x	x	x	x	x	x	x	x	757

x : non déterminée

Tableau 1 : Bilan hydrique annuel moyen des traitements testés.

rem : comparaison du drainage calculé (Dr. calc) avec le drainage observé par lysimètre (Dr. obs.) sous bananaie établie.

calculé (Dr calc.) et déduit de l'équation (1). Seul le traitement bananaie établie, dont la pratique culturale nécessite un apport régulier d'intrants (engrais et pesticides), a fait l'objet d'une estimation du drainage observé (Dr obs.) et de la qualité des eaux recueillies à partir de lysimètres coniques enfouis sous des bananiers.

Après prélèvement des eaux de ruissellement et de drainage, les éléments chimiques suivants sont analysés au laboratoire de pédologie du CIRAD-FLHOR de Martinique : le nitrate (NO₃²⁻), l'ammoniaque (NH₃), le phosphore (P), les cations échangeables potassium (K⁺), calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺).

Les teneurs en éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement et de drainage sont exprimées en moyenne pondérée, soit la somme des produits des teneurs de chaque échantillon par son volume, divisée par le volume total de l'écoulement d'eau (ruisselle-

testés sur l'environnement. En effet, d'un côté il y a les traitements à fort ruissellement que sont les sols dénudés et l'ananas mécanisé et billonné ($R \geq 128$ mm/an), et de l'autre les traitements peu ruisselants que sont les cultures paillées d'ananas, de bananier et de canne à sucre ($R \leq 76$ mm/an).

paillis. Les sols dénudés, quant à eux, ont un fort ruissellement mais une perte chimique faible probablement du fait de l'absence de culture et donc de fertilisation.

Pour les pertes chimiques en profondeur (sous bananeraie établie), le drainage semble entraîner beaucoup plus d'éléments solubles que le ruissellement : plus de 64% des nutriments sont

lessivés en profondeur et pratiquement tout l'azote minéral (NH_3 et NO_3^{2-}) migre en profondeur. Ce lessivage important des nutriments qui est analogue aux résultats trouvés sous bananeraies africaines (Godefroy et al., 1970 ; Roose et Godefroy, 1977), traduit sans doute un processus naturel lié à la grande capacité du sol brun à

halloysite à drainer. Dès lors, la lixiviation des nutriments solubles paraît inévitable et les eaux du sous-sol, bien plus concentrées que celles de surface, pourraient a priori être à l'origine de toute pollution souterraine.

Choix entre la gestion des eaux de ruissellement et de drainage

Dans une politique d'agriculture durable visant à réduire l'influence néfaste des systèmes de cultures intensifs sur l'environnement, le choix s'impose entre privilégier le ruissellement (eau moins riche en nutriments dissous) ou le drainage (eau plus concentrée en éléments chimiques).

Cette prise de décision peut s'appuyer sur la distinction entre, d'un côté, les traitements à fort ruissellement ($R \geq 128$ mm/an) et, de l'autre, les traitements peu ruisselants ($R \leq 76$ mm/an).

Traitements	P	Ruissellement annuel moy.(mm)	K ⁺ (kg/ha/an)	Ca ²⁺ (kg/ha/an)	Mg ²⁺ (kg/ha/an)	P assimbl (kg/ha/an)	NH ₃ (kg/ha/an)	NO ₃ ²⁻ (kg/ha/an)
Sol nu	(p=10%)	158,5	1,16	1,73	0,05	0,12	1,06	0,08
Sol nu	(p=25%)	116,5	1,51	2,39	0,06	0,15	0,85	0,28
Sol nu	(p=40%)	96,1	0,86	1,15	0,05	0,15	0,70	0,51
Canne paillée	(p=10%)	11,2	2,79	1,37	0,44	0,03	1,65	1,65
Canne paillée	(p=25%)	12,6	2,86	1,70	0,34	0,06	0,80	0,80
Canne paillée	(p=40%)	15,6	3,21	2,29	0,38	0,04	0,65	0,65
Bananeraie établie	(p=11%)	61,6	8,39	2,53	0,30	0,17	0,30	0,63
Bananeraie établie	(p=9%)	52,8	8,11	1,70	0,19	0,42	0,36	1,74
Ananas à plat + paillis	(p=9%)	12,3	4,14	1,41	0,07	0,08	0,19	0,11
Ananas méca.+billonné	(p=7%)	256,9	27,30	19,01	3,06	0,79	1,81	15,18

Tableau 2 : Pertes annuelles moyennes estimées en éléments chimiques dans les eaux de ruissellement issues des dix parcelles d'érosion.

Pertes en nutriments dans les eaux de ruissellement et de drainage

Les tableaux 2 et 3 récapitulent respectivement les pertes chimiques mesurées dans le ruissellement pour tous les traitements testés et dans le drainage sous bananeraie établie.

Pour les pertes chimiques en surface, il apparaît que les cultures soumises à un fort ruisselle-

	Pertes en nutriments					
	K ⁺ (kg/ha/an)	Ca ²⁺ (kg/ha/an)	Mg ²⁺ (kg/ha/an)	P assimbl (kg/ha/an)	NH ₃ (kg/ha/an)	NO ₃ ²⁻ (kg/ha/an)
Pertes chimiques par R	7,03	1,75	0,20	0,27	0,33	1,18
Pertes chimiques par Dr	12,84	191,38	71,77	1,07	10,91	126,64
Pertes totales (R+Dr)	19,87	193,13	71,97	1,34	11,24	127,82
Valeurs relatives						
Pertes chimiques par R	35,4%	0,9%	0,3%	20,3%	2,9%	0,9%
Pertes chimiques par Dr	64,6%	99,1%	99,7%	79,7%	97,1%	98,1%

Tableau 3 : Estimation des pertes annuelles moyennes en nutriments en surface (ruissellement R) et en profondeur (drainage Dr) sous bananeraie établie.

ment perdent bien plus d'éléments chimiques que celles ruisselant peu. Par exemple, la perte en potassium s'élève à 27 kg/ha/an sur l'ananas mécanisé et billonné tandis qu'elle est seulement de 4 kg/ha/an sur l'ananas à plat avec

**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Colmet-Daage F., Lagache P., 1965, "Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises", *Cahiers ORSTOM Pédologie* 3, 91-121.

Duchaffour P., 1997, *Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement* (5ème édition), Ed. Masson, 291 p.

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* vol.25, n°6, 403-420.

Khamsouk B., 2001, *Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de cultures bananières sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas du sol brun rouille à halloysite)*, Thèse ENSA, Montpellier, 214 p.

Lal R., 1979, "Soil erosion problem on an alfisol in Western Nigeria and their control", *IITA Technical Bulletin* 1, 1-38.

Rishirumuhirwa T., 1997, *Rôle du bananier dans le fonctionnement des exploitations agricoles dans les hauts plateaux de l'Afrique orientale. Application au cas de la région Kimiro-Burundi*, Thèse EPF, Lausanne, 320 p.

Roose E., Godefroy J., 1977, *Pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous bananeraie fertilisée de Basse Côte d'Ivoire. Huit années d'observation sur l'érosion, le drainage et l'activité des vers de terre à la station IRFA d'Azaguié*, Document IRFA-ORSTOM, Azaguié.

Roose E., 1981, *Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale*, Collection Travaux et documents ORSTOM, Paris, 570 p.

Le ruissellement présente un volume faible et peu chargé en nutriments mais son action – surtout en saison des pluies – provoque une érosion hydrique en rigoles et non sélective dont l'ampleur croît considérablement avec l'inclinaison de la pente et l'absence de recouvrement au sol. A long terme, la perte en terre entraînerait une dégradation des ressources du sol et une pollution des cours d'eau due aux matières en suspension. Face à ce problème, maintenir une forte rugosité en surface permet de ralentir le ruissellement et surtout sa capacité de transport de sédiments. L'organisation d'un paillage en surface semble être le moyen le plus aisé et le plus efficace pour arriver à ce résultat, d'autant qu'il fait partie des applications pratiques et simples de lutte anti-érosive ayant déjà fait ses preuves ailleurs (Lal, 1979 ; Roose, 1981 ; Rishirumuhirwa, 1997).

La gestion du drainage semble difficile à appliquer pour une réduction du lessivage des nutriments. En effet, sous ce climat à forte pluviosité, son action est d'autant plus prépondérante que le sol est très filtrant. Limiter le drainage par un travail du sol privilégiant le ruissellement pourrait s'avérer efficace dans un premier temps (diminution de 34% du drainage annuel moyen entre les deux différents traitements d'ananas), mais cette pratique entraîne une perte en terre non négligeable (érosion annuelle moyenne de 17 t/ha/an pour l'ananas mécanisé et billonné contre une perte en terre nulle sous ananas paillé). L'effet positif obtenu à court terme par cette pratique pourrait donc s'avérer plus pernicieux à long terme. Face à ce problème où le drainage est un processus actif et prépondérant, la réduction de l'influence des systèmes intensifs sur l'environnement ne doit s'appuyer que sur un apport d'intrants raisonné, c'est-à-dire une fertilisation plus fractionnée et des épandages de pesticides après diagnostics réguliers de l'état des parcelles cultivées.

Les propositions pour une agriculture durable que sont l'organisation du paillage en surface

et l'apport raisonné et fractionné d'intrants visent donc à réduire les répercussions de ces systèmes intensifs sur l'environnement et à conserver les ressources en sol. ■



PRAIR

Bounmanh Khamsouk
Travaux financés par le CIRAD, réalisés au CIRAD-FLHOR de Martinique et co-dirigés par l'IRB
SODOPRIA (Service d'Encadrement Technique – Lamentin)
e-mail : khamsouk@wanadoo.fr

Eric Roose
IRB (Laboratoire du Comportement des Sols Cultivés – Montpellier)
e-mail : eric.roose@mpl.ird.fr