

**INTERET DES CAPTEURS DE SOLUTION DU SOL
POUR QUANTIFIER LES PERTES EN ELEMENTS MINERAUX
(CAS DES TERRES DE BARRE DU SUD-TOGO)**

H. SARAGONI* et R. POSS**

Communication présentée aux journées de la DRN (IRAT-CIRAD, Montpellier, septembre 1989).

* Agronome IRAT/DRA - BP 1163 et 2318 - Lomé (Togo)

** Pédologue ORSTOM - BP 375 - Lomé (Togo)

INTRODUCTION

L'épuisement des terres de Barre du sud – Togo est une réalité (10 q/ha de maïs, 8 t/ha de manioc, 600 kg/ha d'arachide et 300 kg/ha de niébé). L'abandon de la jachère, lié à la pression démographique (200 hab/km²) et l'utilisation des résidus de récolte comme combustible n'y sont pas étrangers.

Afin de mieux comprendre les principaux mécanismes intervenant dans l'appauvrissement de ces sols, un programme conjoint IRAT/ORSTOM/DRA a été lancé en 1983. Il est intitulé "Dynamique de l'eau et des éléments minéraux au Togo méridional". L'ORSTOM s'occupe plus particulièrement du volet hydrodynamique, alors que l'IRAT – CIRAD/DRA prend en charge la partie agronomique et la dynamique des nutriments.

L'étude initiale des propriétés physiques et hydrodynamiques de ces sols ainsi que des conductivités hydrauliques déboucha sur l'évaluation des termes du bilan hydrique, un calage des cycles culturaux et un zonage agro – pédo – climatique (FRETEAUD *et al.*, 1987; POSS et SARAGONI, 1987; POSS *et al.*, 1988).

Cet exposé ne traitera que du volet de ce programme concernant les éléments minéraux, et plus particulièrement de leur lixiviation.

MATERIEL ET METHODES

Lieux, sols et traitements

Cette étude a été conduite au cours de deux années consécutives (1985 et 1986), sur un essai factoriel NPK mené par l'IRAT à Davié depuis 1976. Les sols, communément appelés "terres de Barre", sont des sols rouges ferrallitiques profonds, homogènes et sans éléments grossiers.

Les traitements N2P1K0 et N2P1K2, ainsi que les sous-traitements A et B, ont été retenus :

– A : maïs de grande saison des pluies (GSP) et maïs de petite saison des pluies (PSP);

– B : maïs de GSP et niébé de PSP.

Mesure du drainage

La méthode tensio-neutronique a été adoptée, du fait de sols favorables à ce type d'expérimentation (aucun élément grossier et absence de gradient textural brutal).

Dispositif de mesure et de prélèvement de la solution du sol

1. Dispositif expérimental

Des capteurs de solution du sol ont été utilisés verticalement :

– 64 bougies sous culture (1985 et 1986) : 4 profondeurs (30, 60, 120 et 180 cm) x 2 traitements (K0 et K2) x 2 sous-traitements (A et B) x 4 répétitions ;

– 32 bougies sous sol nu après jachère (SNJ), uniquement en 1986 : 4 profondeurs (30, 60, 120 et 180 cm) x 8 répétitions.

2. Prélèvements

Pendant les 8–9 mois de chacune des deux années d'expérimentation (4 saisons culturales) où ils étaient réalisables, des prélèvements systématiques ont été effectués tous les 15 jours. La mise en dépression (600 hPa) était appliquée l'après-midi (et non le matin) du jour précédent le prélèvement, afin d'améliorer le taux de réussite (qui est ainsi passé de 75% à 90%). Le volume recueilli est fonction de la tension de l'eau dans le sol (fonction puissance où $r = -0,84$ pour $n = 176$) : au-delà de 150 hPa, le volume recueilli est inférieur à 20 ml.

3. Représentativité et variabilité de la solution prélevée

Les bougies poreuses sont d'une utilisation facile, et elles sont peu perturbantes pour le sol et les racines. Mais, même en prenant un certain nombre de précautions avant et pendant l'installation, leur emploi doit cependant être considéré comme un "moindre mal" (CHEVERRY, 1983), car la question de la représentativité de la solution récoltée par rapport à la solution contenue dans le sol reste mal résolue. Il vaut donc mieux parler de "solution prélevée" que de "solution du sol".

Les répétitions permettent de vérifier les intervalles de confiance et d'éliminer les résultats aberrants. Avec 8 répétitions par traitement (culture) ou profondeur (SNJ), on constate que les coefficients de variation sont assez élevés (en moyenne 25% sous culture et 20% sous jachère). Ils sont plus faibles en profondeur qu'en surface, et ils sont amplifiés à proximité de la surface du sol par l'hétérogénéité introduite par certaines pratiques culturales (enfouissement des pailles, fertilisation...). Il conviendrait donc, lors de l'établissement d'un nouveau protocole, de ne pas être trop ambitieux : il est préférable de limiter le nombre de

traitements étudiés afin de pouvoir multiplier les répétitions. Cependant, la précision à attendre de ce genre d'expérimentation reste faible, même en multipliant les capteurs : pour obtenir des résultats à 10% il faudrait disposer d'au moins... 50 capteurs par traitement.

RESULTATS ET DISCUSSION

Rendements et conditions hydriques

Les conditions hydriques (pluviométrie, ETR cycle et ETR/ETM floraison maïs) furent assez proches de celles des 53 dernières années (tableau I).

Tableau I. *Conditions hydriques de la culture du maïs (Davié, 1985, 1986 et moyenne 1934–1986).*

Saison	Année	Pluie cycle (mm)	ETR cycle (mm)	ETR/ETM floraison (%)
GSP	1985	462	329	94
	1986	441	298	87
	moy. 53 ans	493	300	93
PSP	1985	355	268	95
	1986	267	180	66
	moy. 53 ans	299	238	76

Les rendements sont essentiellement fonction de la fertilisation potassique pour le maïs de GSP ($K_0=13$ q/ha et $K_2=30$ q/ha) et le niébé de PSP ($K_0=300$ kg/ha et $K_2=1000$ kg/ha). En revanche, pour le maïs de PSP, l'absence de potasse se combine avec le déficit hydrique ($K_0=5$ q/ha et $K_2=16$ q/ha).

Effets des traitements sur la concentration de la solution prélevée dans les horizons de surface et liaison des éléments entre eux

Outre la quantification des pertes de nutriments par lixiviation à la base du profil racinaire, les capteurs permettent de déterminer leur cinétique dans les horizons de surface, où les racines sont concentrées (dans le cas étudié, 90% des racines du maïs sont comprises dans les 60 premiers centimètres). Il apparaît que les cinétiques des nitrates, du calcium et du magnésium sont liées (comme dans les sols "dior" du Sénégal; PIERI, 1979). Mais dans les terres de Barre, le chlore est également lié à ces éléments, et la liaison entre eux est très étroite ($r=0,92$ pour $n=395$). La relation est la suivante :

$$(Ca^{++} + Mg^{++})\text{mé/l} = 0,78 (NO_3^-)\text{mé/l} + 0,60 (Cl^-)\text{mé/l} + 0,40.$$

Ceci montre bien, outre le fait que l'activité nitrificatrice du sol reste l'une des causes essentielles de la mise en solution du calcium et du magnésium échangeables, l'effet complémentaire du chlore sur la désorption de ces cations alcalino-terreux du complexe adsorbant.

Les effets des traitements agronomiques sur la concentration de la solution prélevée dans les horizons de surface (30-60 cm) peuvent être résumés ainsi (tableau II) :

- une culture continue de maïs pendant 11 ans fait considérablement chuter les teneurs en nitrates, calcium et magnésium : elles ne représentent plus que le tiers (K0) ou le cinquième (K2) des celles observées après une jachère de même durée;
- un apport régulier de potasse sur chacune des cultures d'un système à dominante maïs permet, toujours après 11 ans de culture continue et par rapport à un témoin sans potasse, de tripler la concentration du potassium de la solution du sol.

Tableau II. *Comparaison des concentrations moyennes de la solution du sol (Davié, 1986).*

Profondeur (cm)	Système	Fumure	Teneurs (mé/l)			
			NO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
30 – 60	Culture	NPK0	1,09	0,84	0,69	0,03
		NPK2	0,54	0,61	0,52	0,09
	Jachère	–	3,48	2,56	2,37	0,05

Quantification des pertes minérales par lixiviation

L'enracinement du maïs ne dépassant pas 150 cm et celui du niébé 60 cm, nous avons retenu la cote 180 cm comme profondeur d'évaluation du drainage et de la lixiviation.

La moyenne du drainage calculé sur deux ans a été comparée au drainage simulé sur 53 ans (tableau III).

Tableau III. *Pluviométrie et drainage (Davié, culture de maïs, comparaison des moyennes 1985–1986 et 1932–1986).*

Période	Pluie (mm)		Traitement	Drainage			
	moy. 85 – 86	moy. 53 ans		moy. 85 – 86		moy. 53 ans	
				mm	% pluie	mm	% pluie
janvier à juillet	666	675	K0	170	26	179	27
			K2	145	22	152	23
août à décembre	400	368	K0	180	45	85	23
			K2	152	38	72	20
Total année	1 066	1 043	K0	350	33	264	25
			K2	297	28	224	21

On constate qu'en première saison, le drainage peut être considéré comme moyen. En revanche en deuxième saison, et par conséquent pour l'année, il doit être affecté de coefficients (respectivement 0,47 et 0,75).

Nous avons alors évalué les pertes minérales par lixiviation à partir des moyennes de concentration mesurées pendant 2 ans à 180 cm (tableau IV). Elles sont assez faibles pour le sodium (20 kg/ha de Na₂O) et le potassium (moins de 10 kg/ha de K₂O) mais importantes pour les nitrates et les cations alcalino-terreux. La fertilisation potassique réduit considérablement la lixiviation de ceux-ci :

- . N(NO₃⁻) = 40 kg/ha (K2) contre 90 kg/ha (K0)
- . CaO = 80 kg/ha (K2) contre 110 kg/ha (K0)
- . MgO = 30 kg/ha (K2) contre 50 kg/ha (K0).

Tableau IV. *Pertes minérales par lixiviation (Davié, culture de maïs, évaluation sur 53 ans).*

Période	Traitement	Lixiviation (kg/ha)				
		N	CaO	MgO	Na2O	K2O
janvier à juillet	K0	63	68	36	12	4
	K2	30	53	20	14	6
août à décembre	K0	28	39	17	6	2
	K2	12	27	10	7	3
Total de l' année	K0	91	107	53	18	6
	K2	42	80	30	21	9

Ainsi constate-t-on qu'un apport régulier de potasse sur une culture continue de maïs permet de limiter le drainage (85% de K0) et la migration en profondeur de N(NO₃⁻), Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ (respectivement 45%, 75% et 55%

de K₀), probablement du fait d'une meilleure utilisation de l'azote par levée de la carence potassique. Par voie de conséquence, cela permet de tripler les rendements en maïs et en niébé. Par contre, toujours lorsque la carence potassique est levée, un système cultural maïs (GSP)–légumineuse (PSP), qui par ailleurs augmente de 65% la teneur de la solution du sol en nitrates à 30–60 cm par rapport à une culture continue de maïs, entraîne une lixiviation supérieure de cet élément (+35% à +75% suivant l'année) –et partant du calcium et du magnésium– du fait que le niébé exerce une pression plus faible sur le milieu.

CONCLUSIONS

L'utilisation de capteurs en céramique poreuse, complétée par une évaluation du drainage à l'aide de la méthode tensio–neutronique, nous a permis –après deux années d'expérimentation suivies d'une simulation sur 53 ans– d'évaluer les pertes minérales par lixiviation de systèmes de culture pratiqués au Togo méridional et de mesurer l'effet des traitements agronomiques sur ceux–ci.

C'est ainsi que, pour les systèmes maïs–maïs et maïs–niébé de sols ferrallitiques souvent épuisés par surexploitation et absence d'intrants, le rôle primordial de la fumure potassique dans l'élaboration des rendements a pu être expliqué : augmentation de la teneur en potassium de la solution du sol prélevée dans les horizons exploités par les racines (30–60 cm) et limitation du drainage et de la migration en profondeur de l'azote, du calcium et du magnésium.

Cette approche n'est pas la panacée. Ses limites seront d'ailleurs précisées dans une prochaine publication. Il va sans dire que les résultats seront d'autant plus précis que les répétitions sont plus nombreuses (dans l'espace et dans le temps). Cela devrait souvent limiter le nombre de traitements étudiés, au profit de la

multiplication des répétitions. Mais cette méthode, peu destructrice et de coût modéré, n'en reste pas moins l'une des meilleures pour établir des bilans minéraux.

Enfin, les résultats obtenus au Togo montrent que dans ce type d'expérimentation très contraignante, il est possible de travailler, sans structure administrative lourde, en équipe pluridisciplinaire et multi-organismes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHEVERRY C., 1983.- L'extraction de la "solution du sol" par le biais de bougies poreuses : une synthèse bibliographique des problèmes méthodologiques posés par ces dispositifs. *Bull. GFHN*, 14 : 48-71.

FRETEAUD J.P., POSS R., SARAGONI H., 1987.- Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-neutroniques *in situ* sous culture de maïs. *L'Agron. Trop.*, 42(2) : 94-102.

PIERI C., 1979.- Etude de la composition de la solution d'un sol sableux cultivé du Sénégal à l'aide de capteurs en céramique poreuse. *L'Agron. Trop.*, 34(1) : 9-22.

POSS R., SARAGONI H., 1987.- Quelques problèmes posés par l'estimation du bilan hydrique en plein champ. *Milieux poreux et transferts hydriques (Bull. GFHN)*, 22 : 32-46.

POSS R., SARAGONI H., IMBERNON J., 1988.- Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. *L'Agron. Trop.*, 43(1) : 18-29.