

**QUATRIEME REUNION DU GROUPE DE REFLEXION  
SUR L'ETUDE DE LA SOLUTION DU SOL  
EN RELATION AVEC L'ALIMENTATION DES PLANTES  
(GRESSAP)**

CNEARC Montpellier - 13 septembre 1991



## GROUPE DE REFLEXION SUR L'ETUDE DE LA SOLUTION DU SOL EN RELATION AVEC L'ALIMENTATION DES PLANTES

Compte-rendu de la quatrième réunion (13 septembre 1991)

La quatrième réunion du Groupe de Réflexion sur l'Etude de la Solution du Sol en relation avec l'Alimentation des Plantes s'est tenue à Montpellier au CNEARC le 13 septembre 1991 de 9 h à 13 h 30. Cette réunion a regroupé 17 participants de l'ORSTOM et du CIRAD.

### ORDRE DU JOUR

J.F. VIZIER ouvre la séance. L'ordre du jour proposé est le suivant :

1 - Rapport sur l'activité du Groupe depuis la dernière réunion.

2 - Communications :

- Présentation de données sur la solution des sols de l'Amazonie (A. CHAUVEL et C. GRIMALDI)
- Evolution de la composition de la solution du sol sous cotonnier au Togo (D. BLAVET)
- Etude expérimentale de la lixiviation dans des colonnes de terre du Congo (R. OLIVER)
- Intérêt et limites de l'utilisation des capteurs de solution sous culture de maïs au Togo méridional (R. POSS et H. SARAGONI)
- Evolution et comportement de sols ferrallitiques sous culture de palmier en Côte d'Ivoire (Ch. HARTMANN)
- Transferts hydriques et minéraux sous culture de mil dans un sol sableux : étude de la solution du sol (Y. GUERO, M. SICOT, C. CHAUME)
- Premiers résultats obtenus sur la séparation par électrodialyse des formes du fer ferreux présentes dans un sol saturé d'eau (J.F. VIZIER et S. DOULBEAU)

3 - Objectifs du Groupe pour 1992

Secrétaire de séance : R. POSS

### 1 RAPPORT SUR L'ACTIVITE DU GROUPE

Comme les années précédentes, le groupe a principalement joué un rôle de diffusion de l'information reçue et d'organisation de cette quatrième réunion. Le nombre croissant d'intervenants lors de ces réunions montre que le groupe commence à être connu et que sa problématique recoupe celle d'un nombre assez important d'équipes de recherche.

Deux documents ont récemment été reçus par les animateurs :

- un recueil de méthodes proposé par le TSBF ("Biologie des sols tropicaux et fertilité", MAB UNESCO), envoyé par M. BROSSARD ;
- Un article réalisant une revue sur les méthodes d'extraction de la solution du sol, publié par GROSSMAN et UDLUFT dans le *Journal of Soil Science* (42 : 83-93).

Ces documents peuvent être communiqués à ceux qui le désirent.

### 2 COMMUNICATIONS

Les résumés des différentes communications figurent dans les pages suivantes. Certaines sont des conclusions de travaux terminés, alors que d'autres rendent compte d'expérimentations en cours. Il apparaît souhaitable de garder cette ouverture, qui permet de tirer les conclusions des travaux passés et de discuter des travaux en cours<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> La discussion de ces travaux suscite parfois la réalisation de compléments d'étude, comme en témoigne la mise au point faite cette année par J.M. HÉTIER (voir annexe).

Les communications de cette année font apparaître une diversité dans les méthodes d'étude de la solution du sol, mais une convergence dans les résultats. Les méthodes d'étude dont il a été question sont :

- les lysimètres (CHAUVEL) ;
- les cylindres de sol, à structure conservée ou non, étudiés sur le terrain ou au laboratoire (CHAUVEL et OLIVER) ;
- les capteurs à dépression en céramique (BLAVET, POSS, SICOT) ;
- l'électrodialyse (J.F. VIZIER).

Bien qu'il reste encore beaucoup à faire pour connaître la précision des résultats obtenus à l'aide de ces méthodes, les résultats sont convergents en ce qui concerne les ordres de grandeur et les mécanismes :

- dans les agro-systèmes, la lixiviation la plus importante est celle de l'azote et, dans une moindre mesure, du calcium et du magnésium. En milieu très acide, l'aluminium devient le principal cation entraîné. En revanche, la lixiviation du potassium reste faible, du moins dans les systèmes peu intensifs où la fertilisation est modérée.
- la lixiviation des éléments dépend fortement de la dynamique de l'azote, les phases de lixiviation les plus intenses correspondant à l'apparition de produits azotés en solution.
- il existe des liaisons, variables selon les sols, entre les concentrations de différents éléments dans la solution du sol. Ces liaisons semblent refléter des échanges entre la solution du sol et le complexe d'échange, dans lesquels les protons pourraient jouer un rôle important. Les liaisons entre les propriétés du complexe d'échange du sol et les ions lixiviés (OLIVER) et le rôle croissant de l'aluminium pour équilibrer les charges négatives des nitrates lorsque le sol s'acidifie (CHAUVEL et POSS) en sont les illustrations les plus nettes.

Par ailleurs, l'exposé de CHAUVEL a montré que les préoccupations des équipes étudiant un milieu peu perturbé comme l'Amazonie étaient convergentes avec celles des équipes focalisées sur les agro-systèmes, et que l'étude de la solution du sol constituait donc un thème fédérateur.

Enfin, l'exposé de Ch. HARTMANN a souligné l'évolution de l'organisation porale d'un sol selon la mise en valeur. Cet exposé a rappelé les limites des études sur les échantillons perturbés. Cependant la convergence de certains résultats obtenus sur des colonnes perturbées ou non (OLIVER et CHAUVEL) prouve que l'étude d'échantillons perturbés convient pour étudier certains problèmes.

### 3 - OBJECTIFS DU GROUPE POUR 1992

L'année 1992 devrait être une année décisive pour le groupe. En effet, avec la disparition de l'antenne ORSTOM de Cadarache, les animateurs vont se trouver géographiquement éloignés et les moyens attachés à l'antenne vont être supprimés. Il est envisagé de transformer le Groupe en Réseau, avec un budget propre. Cette évolution devra être discutée lors de la réunion de 1992.

Au point de vue scientifique, il apparaît une nécessaire complémentarité des travaux de terrain et des travaux de laboratoire : pour parvenir à interpréter les résultats de terrain, il est indispensable d'étudier les échanges entre la solution du sol et le complexe, et donc d'aborder également une caractérisation fine de ce complexe. Un développement des activités dans ce sens devient une priorité, rendue réalisable par le recrutement de Ch. HARTMANN et le lancement d'un nouveau programme au Congo d'une part, par la réorientation en cours des travaux du laboratoire ORSTOM de Montpellier et l'affectation de J.F. VIZIER dans ce laboratoire d'autre part.

La cinquième réunion du Groupe est prévue entre le 10 et le 15 septembre 1992. Un appel de communications sera lancé en avril, et nous souhaiterions que la prochaine réunion aborde plus particulièrement les aspects multidisciplinaires des études concernant la solution du sol.

Septembre 1991

Pour toute information, contacter le groupe d'animation :

- J.F. VIZIER, Centre ORSTOM, BP 5045, 34 032 Montpellier cedex (téléphone 67 61 75 63, télécopie 67 54 78 00)
- R. POSS et M. VALLERIE, DPVE, CEN Cadarache, 13 108 St Paul lès Durance cedex (téléphones 42 25 49 42 et 42 25 73 90, télécopie 42 25 46 56).

**Liste des participants**

- M. BLAVET D.**, Centre ORSTOM de Lomé, B.P. 375 LOME, République du TOGO
- M. CHAUVEL A.**, Antenne ORSTOM auprès de L'INPA, C.P. 478, 69000 MANAUS AM, BRESIL
- M. de BOISSEZON P.**, ORSTOM, B.P. 5045, 34032 MONTPELLIER, FRANCE
- M. DJONDO M.**, ORSTOM, BP 5045, 34 032 - MONTPELLIER cedex, FRANCE
- Mme DOULBEAU Sylvie**, ORSTOM, BP 5045, 34 032 - MONTPELLIER cedex, FRANCE
- M. FARDOUX J.**, ORSTOM, BP 5045, 34 032 - MONTPELLIER cedex, FRANCE
- M. HARTMANN Ch.**, ORSTOM s/c INRA Labo Sciences Sols, Route de Saint Cyr, 78 000 -  
VERSAILLES, FRANCE
- M. MOREAU R.**, Centre ORSTOM de Montpellier, BP 5045, 34032 MONTPELLIER Cedex, FRANCE
- M. OLIVER R.**, IRAT-CIRAD, B.P. 5035, 34032 MONTPELLIER Cedex, FRANCE
- M. PANSU M.**, ORSTOM, BP 5045, 34 032 - MONTPELLIER cedex, FRANCE
- M. POSS R.**, Antenne ORSTOM auprès du CEA, DPVE CEN de Cadarache, 13108 SAINT PAUL LEZ  
DURANCE, FRANCE
- M. REVERSAT G.**, ORSTOM Pointe Noire, BP 1286 POINTE NOIRE, CONGO
- M. SALA G.H.**, ORSTOM s/c INRA Labo Sciences Sols, Route de Saint Cyr, 78 000 - VERSAILLES,  
FRANCE
- M. SICOT M.**, ORSTOM, B.P. 11416 NIAMEY, NIGER
- M. TALINEAU J.C.**, Centre ORSTOM de Montpellier, BP 5045, 34032 MONTPELLIER Cedex, FRANCE
- M. VALLERIE M.**, Antenne ORSTOM auprès du CEA, DPVE CEN de Cadarache, 13108 SAINT PAUL  
LEZ DURANCE, FRANCE
- M. VIZIER J.F.**, ORSTOM, BP 5045, 34 032 - MONTPELLIER, FRANCE



## PRESENTATION DE QUELQUES DONNEES SUR LES SOLUTIONS DES SOLS SOUS FORET, DANS LA REGION NORD DE MANAUS (AMAZONIE BRESILIENNE)

(C. GRIMALDI\* et A. CHAUVEL\*\*)

**Les sols** étudiés sont situés en Amazonie Centrale à proximité de l'Equateur (3°S). Le climat est de type tropical humide (pluviosité moyenne de 2 100 mm), avec une saison très pluvieuse (excédent hydrique de 700 mm), et une saison sèche à déficit peu marqué durant 2 à 3 mois. La couverture de sol, développée à partir des sédiments sous-jacents quartzo-kaoliniques du Crétacé, est constituée de sols ferrallitiques épais très argileux sur des bas plateaux, passant latéralement à des sols ferrallitiques plus sableux, puis à des podzols sur les versants (LUCAS, 1989). La végétation, de forêt dense humide sur les plateaux, devient de plus en plus ouverte vers l'aval des versants. C'est dans la zone de transition qu'a été installée la station qui fait l'objet de cet exposé.

**Le dispositif expérimental**, installé sous végétation naturelle, est constitué :

- de capteurs lysimétriques fermés (cylindres contenant des monolithes), qui reçoivent les chutes de litière mais ne sont pas accessibles aux racines ;
- de capteurs ouverts accessibles aux racines (plaques), qui interceptent les eaux gravitaires.

Au cours d'une période de 18 mois, près de 260 échantillons d'eau ont été prélevés entre la surface et 1,5 mètre de profondeur. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire du CENA (Piracicaba USP) après filtration.

**Les résultats** montrent qu'une grande partie des éléments mis en solution provient de la litière, et pour certains d'entre eux (sodium et potassium) des pluvio-lessivats. On note la participation très importante de la silice dans le turn-over minéral. L'influence prépondérante des cycles biologiques se manifeste par un maximum très marqué de conductivité électrique des solutions dans les horizons les plus superficiels ( $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), alors que les conductivités sont faibles en-dessous et dans la nappe ( $12 \mu\text{S cm}^{-1}$ ).

Des différences apparaissent dans la mobilité des éléments à partir du début de la saison des pluies : le magnésium et (surtout) le calcium sont moins mobiles que le potassium ; ils sont quasiment absents des eaux collectées dans les lysimètres à plaques. Des pics de forte teneur, déclenchés par des précipitations moyennes succédant à des épisodes secs, évoquent des processus biologiques de libération. Les teneurs en potassium sont maximales en "saison sèche" ( $3 \text{ mg l}^{-1}$ ).

Au début de la saison des pluies, les teneurs en nitrate sont élevées (jusqu'à  $40 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ ) dans les lysimètres cylindriques. Elles sont corrélées avec les teneurs en aluminium (rapport molaire  $\text{NO}_3/\text{Al}$  de 1,53 avec  $r = 0,96$ ), qui atteignent jusqu'à  $15 \text{ mg l}^{-1}$ . La nitrification qui se développe sous végétation naturelle est souvent en partie masquée par l'absorption racinaire des ions nitrate, simultanément à l'absorption d' $\text{H}^+$  ou à la libération d' $\text{OH}^-$  ; dans les lysimètres cylindriques, qui simulent l'effet de la destruction du couvert végétal, l'effet de cette nitrification s'exprime pleinement.

Les lysimètres à plaques ont un comportement différent. Les teneurs en nitrate y restent inférieures à  $2 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ , sans doute du fait de l'absorption racinaire, mais aussi à cause des conditions plus réductrices imposées par le dispositif des plaques. Ces conditions plus réductrices restent cependant compatibles avec la production de sulfates, dont les concentrations en solution atteignent  $25 \text{ mg l}^{-1}$  en saison humide. Les teneurs en ions ammonium sont également élevées (selon F. et R. LUIZAO la forme ammoniacale représente 80 % de l'azote minéral sous forêt amazonienne). Parallèlement à cette faible teneur en nitrate, on n'observe pas les fortes teneurs en aluminium relevées dans les cylindres. Cependant, en saison des pluies et dans les dispositifs à plaques installés sous l'horizon organique, la production de sulfate, associée à une baisse du pH, s'accompagne d'une mise en solution de la silice, de l'aluminium et du fer, les teneurs restant toutefois toujours modérées.

---

\* Chercheur INRA à Versailles

\*\* Chercheur ORSTOM à Manaus (Brésil)

La propagation des substances dissoutes vers les horizons profonds se manifeste plus particulièrement par les résultats obtenus dans les cylindres. Au départ, les solutions recueillies dans les lysimètres de 70 et 120 cm se trouvaient contenues dans le sol lors de la mise en place du dispositif ; elles témoignent, par leur extrême dilution en éléments nutritifs, de l'efficacité du système de recyclage sous végétation naturelle. Ultérieurement, pendant l'expérimentation, les éléments mis en solution dans les horizons de surface sous l'effet de la nitrification migrent en profondeur, sans recyclage par la végétation. On les recueille à 70 cm, puis à 120 cm, avec un retard dû à la propagation par "effet piston". Ceci témoigne du faible pouvoir tampon du sol face à un déséquilibre provoqué du cycle biologique. Ce déséquilibre est comparable à celui qui est provoqué par la déforestation.

**En conclusion**, l'étude montre d'abord l'action prédominante exercée par les processus biologiques sur la dynamique des constituants du sol. Sous végétation naturelle, les processus d'acidification par nitrification et l'absorption racinaire semblent s'équilibrer dans les horizons superficiels, de telle sorte qu'ils sont sans effet sur le bilan en protons du sol. Un déséquilibre est provoqué par le dispositif expérimental des lysimètres cylindriques, qui isole une colonne de sol hors de portée des racines (simulant l'effet d'une destruction de la végétation). Il provoque un flux acide et aluminique qui se propage sans rencontrer de barrière.

L'utilisation des différents dispositifs lysimétriques modifie le fonctionnement du sol. Il permet, dans une certaine mesure, de reproduire expérimentalement quelques causes de déséquilibre liées à des facteurs naturels ou anthropiques (engorgement, destruction de la végétation).



# EVOLUTION DE LA COMPOSITION DE LA SOLUTION DU SOL SOUS CULTURE DE COTONNIER. CENTRE TOGO. PREMIERS RESULTATS.

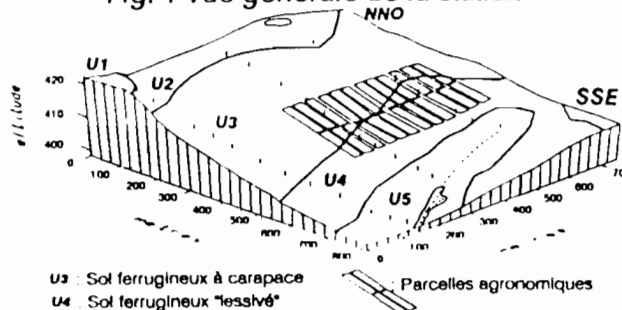
D. BLAVET - Centre ORSTOM de Lomé.

## I. CADRE DE L'ETUDE

La station cotonnière expérimentale IRCT de Dalanda, au Centre Togo, (8°30' lat. Nord; 1°00' Long. EST; 350 Km du Centre ORSTOM de Lomé) est implantée sur un versant du socle granito-gneissique antécambrien. Elle est située dans la zone tropicale soudano-guinéenne (A. AUBREVILLE 1969) : une saison des pluies de 4 mois (mi juin à mi septembre) alterne avec une longue saison sèche. La pluviométrie annuelle est de 1100 mm (moyenne obtenue en 12 ans de mesure sur la station). Le cotonnier y est cultivé à titre expérimental de fin Juin à mi Décembre.

L'étude pédologique (D. BLAVET et E. MATHE - 1989 et 1990) a montré que les surfaces d'essai de cette station sont situées exclusivement sur 2 unités de modelé en milieu de versant (glacis d'érosion et glacis colluvial) (Fig. 1). Corrélativement, deux types de sol apparaissent sur la station proprement dite : sol ferrugineux induré à carapace de subsurface" dans la zone amont de la station; sol ferrugineux non induré "lessivé profond" dans la zone aval. Il s'agit de types de sol très fréquemment observés sur socle granito-gneissique (A. LEVEQUE-1979).

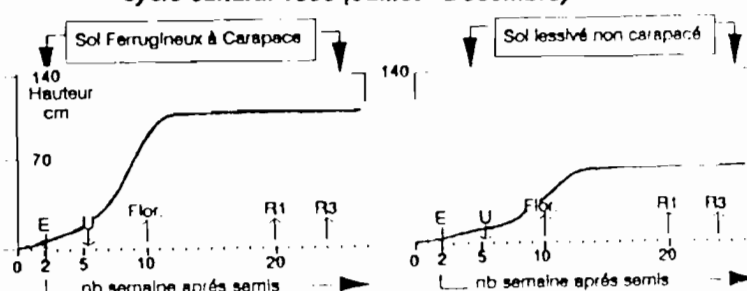
Fig. 1 Vue générale de la station



Depuis 1988, un traitement agronomique homogène a été appliqué sur 8 parcelles agronomiques représentatives des sols de la station. La fumure est la suivante : 1°) apport 18 jours après le semis de 300 kg/ha d'un complexe NPKSB (42 Kg de NH<sub>4</sub>, 66 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 35 Kg de K<sub>2</sub>O, 50 Kg de KCl, 25 Kg de S total, 1 Kg de B total) plus 50 Kg de KCl; 2°) apport 40 jours après le semis de 50 kg/ha d'urée.

Sous ce traitement unique, l'étude de la variabilité spatiale du comportement du cotonnier a mis en évidence de nettes différences en fonction du type de sol (A. AUDEBERT et D. BLAVET, 1989 et 1990, à paraître). Sur sol à carapace, on observe en particulier un meilleur développement du système aérien du cotonnier (Fig. 2). Finalement, malgré un enracinement peu profond (40 cm en fin de croissance pour 120 cm sur sol "lessivé"), on y obtient de meilleurs rendements en coton-graine (plus de 2000 kg/ha pour moins de 1000 kg/ha sur sol "lessivé").

Fig. 2 CROISSANCE COMPAREE DU COTONNIER cycle cultural 1990 (Juillet - Décembre)



## II. MATERIEL ET METHODE

### 1. matériel

Pour étudier les relations entre le fonctionnement du sol et le comportement de la plante, 3 sites de mesure de 96 m<sup>2</sup> ont été délimités au sein des parcelles agronomiques expérimentales. Ces sites représentent les deux situations principales (sol à carapace et sol "lessivé") et une situation particulière (passage entre les deux types de sol avec des rendements particulièrement élevés).

Au cours du cycle cultural de 1990, chacun de ces sites de mesure a fait l'objet d'un suivi portant sur :  
- la dynamique de l'eau dans le sol (charge hydraulique et niveau de la nappe phréatique ;(1))  
- la composition de la solution du sol  
- l'état physiologique de la plante (développement des systèmes racinaires et aériens; analyses foliaires et pétioleaires).

Au sein d'un site de mesure, 8 capteurs de solution à céramique poreuse ont été implantés dans les billons aux profondeurs 20 et 40 cm, et 4 capteurs aux profondeurs 80 et 120 cm, soit au total 24 capteurs par sous-parcelle.

Un espacement de 80 cm entre ces capteurs définit une grille d'implantation dans un périmètre carré de 4 mètres de côté. Celui-ci comporte 80 plants de cotonnier. La position de chacun des 24 capteurs sur un point de la grille d'implantation est déterminée par un double tirage aléatoire.

La céramique poreuse est une bougie de type soil moisture - ref. 1900 collée sur un tube pvc constituant le corps du capteur.

Au moment de l'implantation, des précautions ont été prises pour assurer un contact satisfaisant entre la céramique et le sol et pour éviter les infiltrations préférentielles le long du tube pvc.

### 2. prélèvements et analyses

Les captages ont été effectués hebdomadairement entre la 2<sup>ème</sup> et la 25<sup>ème</sup> semaine après le semis (7/07/90 au 31/12/90) par mise en dépression du capteur (après purge préalable) durant 24 heures à - 600 mmbar (2). Les solutions ont été recueillies directement dans des flacons hermétiques en plastique inerte de 250 ml. Le pH a été analysé sur le site dans les heures suivant les captages, puis les échantillons ont été stockés au réfrigérateur à 4 °C durant une période maximale de 15 jours avant l'acheminement en glacière vers le laboratoire du Centre ORSTOM de Lomé.

Compte tenu des possibilités du laboratoire, des dosages ont été effectués comme suit :

- nitrates, nitrites, ammonium et conductivité électrique toutes les semaines.
- Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> et PO<sub>4</sub><sup>--</sup> tous les 15 jours.

Les concentrations en NO<sub>3</sub>/NO<sub>2</sub>/NH<sub>4</sub>/PO<sub>4</sub> ont été dosées par spectrophotométrie d'absorption moléculaire (respectivement : après coloration développée par acide phénoldisulfonique et ammoniacale/ par méthode AFNOR NFT90-V13/ après action du réactif de NESSLER/ par méthode au bleu de molybdène). Les concentrations en Ca, Mg, K, Na ont été dosées par spectrophotométrie de flamme en absorption atomique (Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup>) ou en émission (K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup>).

1 Des tubes d'accès pour sondage neutronique ont été également implantés en prévision du suivi hebdomadaire de l'humidité volumique. Ce suivi n'a pu être effectué en 1990 en raison de panne électronique de l'humidimètre à neutron.  
2 Dépression correspondant à celle mesurée par ROSS et SARAGIONI (1986 & 1988) sur terres de Baïre au Sud Togo.

## III. RESULTATS

Les premiers résultats relatifs à l'évolution de la concentration de la solution de sol dans 2 sites de mesure sont comparés (fig 3). Ces 2 sites correspondent aux 2 cas de figure principaux :- 1°) site sur sol ferrugineux "lessivé" non carapacé à horizons sableux à sablo-limoneux sur plus de 1,5 mètres de profondeur, de rendement inférieur à 1000 Kg/ha; - 2°) site sur sol ferrugineux à carapace à 40 cm de profondeur, de rendement supérieur à 2000 Kg/ha.

En première approche, les résultats pour  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_2$  ne sont pas présentés car, comparativement à  $\text{NO}_3$ , les concentrations sont très faibles (pic à 25 mg/l pour  $\text{NH}_4$  une semaine après apport d'engrais et teneurs toujours inférieures à 1 mg/l en  $\text{NO}_2$ ).

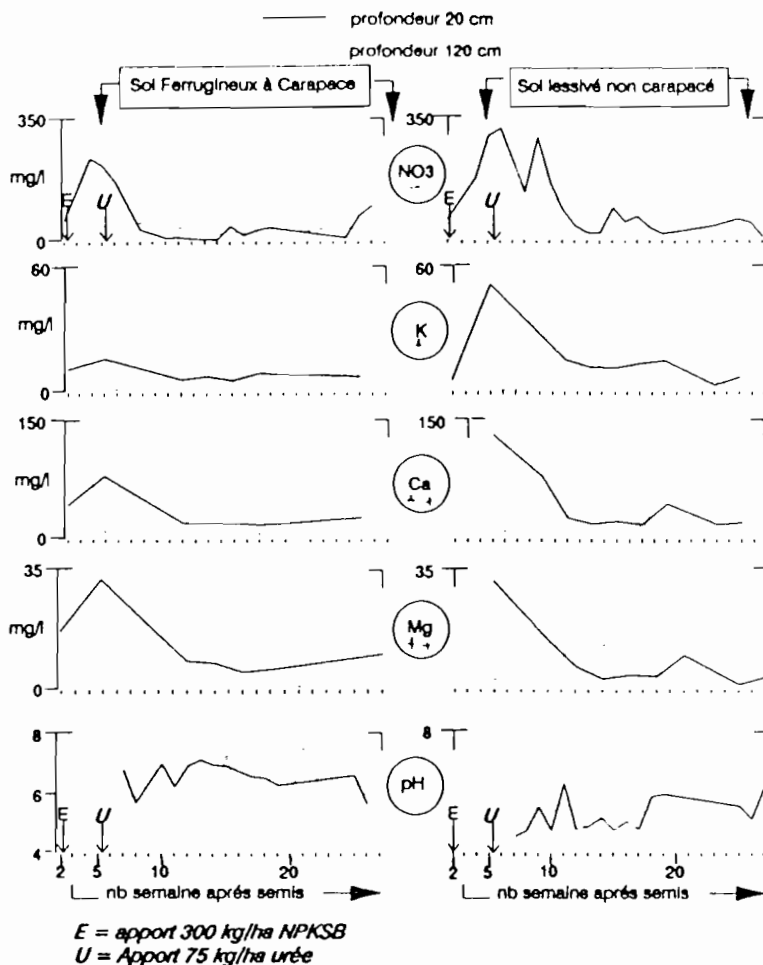
fig.3 EVOLUTION COMPAREE DE LA SOLUTION DU SOL au cours du cycle cultural 1990 (Juillet - Décembre)

Fig. 3. Cette figure indique l'évolution dans les deux sites des concentrations en  $\text{NO}_3$ , K, Ca, Mg et du pH aux profondeurs 20 et 120 cm.

A 20 cm de profondeur, les concentrations de la solution du sol en  $\text{NO}_3$ , K, Ca, et Mg, évoluent sensiblement de la même façon pour les deux types de sol : l'allure des courbes indique la présence d'un pic de concentration, environ 3 semaines après le premier apport d'engrais (dans le sol "lessivé",  $\text{NO}_3$  présente en outre un second pic environ 3 semaines après l'apport d'urée).

A cette profondeur, les sites se différencient surtout par la valeur absolue des pics de concentration, qui est plus élevée sous sol lessivé pour  $\text{NO}_3$ , K, et Ca.

A 120 cm de profondeur, les 2 sites présentent des différences marquées dans l'évolution des concentrations en  $\text{NO}_3$ , Ca et Mg : dans le sol "lessivé", l'évolution est caractérisée par une élévation progressive de la concentration. Celle-ci semble sensiblement parallèle à la diminution de concentration à 20 cm de profondeur. En revanche, dans le sol à carapace, la composition de la solution du sol ne semble pratiquement pas évoluer à ce niveau.



#### IV. DISCUSSION A PROPOS DES METHODES

Les céramiques utilisées avaient déjà servi à une étude sur terres de Barre. Ayant été traitées à HCl dilué avant leur première utilisation, elles ont été ici simplement nettoyées intérieurement et extérieurement au détergent dilué et rincées abondamment plusieurs fois à l'eau distillée. L'effet du passage de la solution à travers la céramique a été testé au laboratoire. Le test a indiqué l'absence d'effet significatif sur  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ , pH et  $\text{NH}_4^+$ . Par contre, une dérive de  $\text{NO}_3^-$  est apparue par rapport au témoin (+ 39 % par rapport au témoin avec un coefficient de variation de 6 % entre les capteurs) ainsi qu'une sous-estimation de  $\text{NO}_2^-$  (- 73 % par rapport au témoin avec un coefficient de variation de 7 % entre les capteurs). Pour  $\text{NO}_3^-$ , on peut penser au fait que les bougies mal nettoyées libèrent des substances organiques et/ou azotées qui rendent "optimistes" les dosages colorimétriques de laboratoire. Cet effet additif resterait cependant très faible (+ 1 mg/l pour des concentrations 10 à 350 fois plus concentrées en  $\text{NO}_3$  sur le terrain). Pour  $\text{NO}_2^-$ , une imprécision de laboratoire pourrait être liée aux faibles quantités dosées (inférieures à 1 mg/l). Enfin, pour  $\text{PO}_4^{--}$ , l'effet des céramiques s'est avéré extrêmement variable (coefficient de variation de 126 %), ce qui correspond à des observations antérieures (in CHEVERRY 1980).

#### A PROPOS DES RESULTATS

a) Les faibles concentrations en  $\text{NH}_4$  pourraient indiquer une nitrification très rapide des engrais, surtout dans le sol ferrugineux à carapace. Le pic de  $\text{NO}_3$ , 3 semaines après le premier apport d'engrais, est vraisemblablement dû à la nitrification de ces derniers, car la reprise naturelle d'activité biologique après la saison sèche s'est effectuée beaucoup plus tôt (environ 1 mois avec l'arrivée des pluies). Néanmoins, pour lever le doute, il faudrait envisager un suivi comparatif sur un essai sans engrais.

b) Des pics de Ca et Mg accompagnent ceux de  $\text{NO}_3$  et K, mais ne peuvent pas en principe s'expliquer par l'apport d'engrais. Ce fait a été observé ailleurs (notamment SARAGONI, 1987 et 1988).

c) la montée progressive des concentrations en  $\text{NO}_3$ , Ca et Mg à 120 cm dans le sol "lessivé" pourrait indiquer un entraînement depuis la surface de  $\text{NO}_3$  mais pas forcément de Ca et de Mg compte tenu de la remarque précédente. De même, l'absence de ce phénomène dans le sol à carapace pourrait s'expliquer par une limitation de la lixiviation de  $\text{NO}_3$  (effet de la carapace possible). Le calcul des flux hydriques est donc à faire pour comparer les possibilités de lixiviation dans les deux types de sol.

d) La composition, en concentration, de la solution du sol ne reflète pas la composition du sol. En effet, les analyses de terre effectuées en début et fin de cycle à 20 cm indiquent, contrairement à la solution du sol, des teneurs pour N, Ca et K plus élevées dans le sol à carapace que dans le sol "lessivé". Seul le pH de la solution est relativement en accord avec les analyses de terre. Parmi les causes de ce phénomène, on peut invoquer l'effet de la plante qui se développe mieux et qui consommerait d'avantage sous sol à carapace. Il peut s'agir aussi simplement de dilutions différentes liées à des conditions hydriques différentes.

**EN CONCLUSION, IL APPARAÎT QU'ON DEVRAIT EVALUER LES QUANTITES ABSOLUES EN SOLUTION PAR VOLUME DE SOL.** L'humidité volumique, par sondage neutronique pourrait servir de première base à ce calcul.

## ETUDE EXPERIMENTALE DE LA LIXIVIATION DANS DES COLONNES DE TERRE DU CONGO

(R. OLIVER<sup>\*</sup>)

Une expérience en colonnes de terre où la couche supérieure a reçu divers traitements (témoin, N P K Ca, N P Ca, N P K, Ca) a été mise en place pour suivre la dynamique des cations d'un sol ferrallitique du Congo. La composition de la phase liquide percolant à la base des colonnes ainsi que celle des diverses couches de la phase solide en fin d'expérience ont été déterminées.

Il a été montré que les pertes en cations alcalino-terreux sous l'influence des processus d'évolution de la matière organique du sol sont considérables. La minéralisation de l'urée incorporé au sol a pour conséquence une désorption du potassium. La présence de potassium dans la formule de fumure est responsable d'une augmentation importante de la quantité de cations divalents dans la phase liquide et l'amendement calcaire. L'amendement calcaire ainsi que l'engrais phosphaté restent localisés dans la zone d'apport. Les pertes par lixiviation ont été estimées ; elles sont plausibles, compte tenu des connaissances sur le sujet.

---

\* Chercheur à l'IRAT/CIRAD à Montpellier



## INTERET ET LIMITES DE L'UTILISATION DES CAPTEURS DE SOLUTION DANS LES TERRES DE BARRE DU TOGO MERIDIONAL

(R. POSS\* et H. SARAGONI\*\*)

La composition de la solution du sol sous culture de maïs et sous sol nu a été étudiée au cours de deux années successives à l'aide de capteurs en céramique implantés entre 30 cm et 180 cm relevés deux fois par mois.

Les teneurs en potassium dans la solution du sol à 30 cm sont généralement inférieures à  $0,1 \text{ mmol.l}^{-1}$  et elles varient peu au cours du temps, même dans les parcelles cultivées où le potassium contenu dans les plantes atteint le quart du potassium échangeable du sol. Ceci résulte de l'adsorption du potassium par le complexe d'échange, mise en évidence grâce à l'analyse des isothermes d'adsorption de Beckett. Dans le sol étudié, l'utilisation des capteurs de solution permet donc d'évaluer les entraînements de potassium par lixiviation, mais elle ne permet pas d'aborder les problèmes d'alimentation potassique des plantes.

Les teneurs en nitrate dans la solution du sol varient au cours du temps, aussi bien dans une parcelle nue récemment défrichée (de  $1,8$  à  $5,1 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) que dans les parcelles sous culture de maïs (de  $2,3$  à  $0,3 \text{ mmol.l}^{-1}$ ). Dans la parcelle nue, les variations sont principalement liées à la minéralisation et la réorganisation de l'azote, alors que dans les parcelles sous culture elles résultent de la minéralisation de l'azote, de sa réorganisation et de l'absorption par les plantes. L'utilisation des capteurs permet donc d'aborder aussi bien l'étude de la lixiviation de l'azote que celle de l'alimentation azotée des plantes.

Les teneurs en nitrate, en calcium et en magnésium dans la solution du sol sont corrélées entre elles. Au-delà de l'équilibre électrique, ces relations résultent de phénomènes d'échange au niveau du complexe faisant intervenir les protons libérés lors de la nitrification de l'azote. Dans les sols acides de la zone forestière, le cation le plus abondant dans la solution du sol est d'ailleurs l'aluminium.

L'utilisation des capteurs de solution en céramique poreuse constitue un moyen pour quantifier les entraînements en profondeur, donc la durabilité des agro-systèmes. Mais elle ne permet pas d'aborder les mécanismes : leur étude implique la connaissance des équilibres sol-solution et celle des propriétés du complexe d'échange.

---

\* Chercheur ORSTOM à l'antenne ORSTOM du CEN Cadarache

\*\* Chercheur à l'IRAT/CIRAD à Montpellier



## EVOLUTION ET COMPORTEMENT DE SOLS FERRALLITIQUES SOUS CULTURE DE PALMIER EN COTE D'IVOIRE

(Ch. HARTMANN\*)

En Afrique de l'Ouest et en particulier dans la plantation de Dabou, des chercheurs ont constaté depuis quelques années une baisse des rendements des palmiers à huile. Les problèmes phytosanitaires et nutritionnels avaient été exclus, l'évolution des caractéristiques physiques et mécaniques, en relation avec les conditions de plantation et replantation, étaient apparues comme les causes principales de cette baisse de rendement. L'objet de ce travail a été de mettre en évidence les différentes situations pédologiques, de décrire les mécanismes d'évolution des sols et de préciser le lien qui unit le rendement aux propriétés physiques des sols.

La démarche a consisté à analyser l'ensemble des facteurs d'évolution de la couverture pédologique. Cette analyse fait apparaître que la région de Dabou est en marge du domaine ferrallitique du fait d'un déficit hydrique prolongé. L'analyse au plan statistique des résultats granulométriques a permis de montrer que, malgré l'impression d'homogénéité apparente des profils, les sols sont organisés dans le paysage en fonction des écoulements d'eau. L'installation d'une palmeraie dans ce milieu transforme les conditions pédoclimatiques, en particulier en améliorant le drainage vertical.

Dans des positions topographiques identiques la première plantation installée sur savane a été comparée à la seconde plantation effectuée après abattage mécanisé de la première plantation. Bien que, d'un cycle de culture à l'autre, la diminution de porosité soit faible (15 % environ), elle est associée à des baisses de rendement allant jusqu'à 30 %.

Il ressort de l'ensemble de nos mesures que les techniques culturales modifient surtout le spectre poral en diminuant le nombre et le volume des pores assurant l'écoulement gravitaire de l'eau. Les observations micromorphologiques (de la loupe binoculaire au MET), montrent des changements d'organisation du plasma autour des grains du squelette. Au total, il apparaît une synergie entre les facteurs physico-chimiques (liés aux pratiques de fertilisation), et les contraintes mécaniques et hydriques (exercées sur le sol pendant et après les opérations d'abattage). Cette synergie aboutit à une dégradation profonde de l'ensemble des caractéristiques du sol.

On passe d'un milieu où la porosité est continue, à un milieu où c'est la phase solide qui est continue. Ces changements n'ont pas d'incidence au niveau macroscopique (profil), mais ils modifient les modalités de transfert de l'eau et des éléments minéraux au sein de la couverture pédologique. L'augmentation de continuité de la phase solide s'accompagne aussi d'une augmentation importante de la cohésion qui interdit un développement correct des racines absorbantes du palmier.

A partir de l'ensemble des résultats obtenus, nous avons montré qu'il est indispensable d'associer fertilité physique et chimique. A cet effet, la prise en considération de la porosité globale est insuffisante, il faut tenir compte des changements intervenants dans la taille et la continuité des pores. La mise en évidence des mécanismes d'évolution des sols à caractère sableux permet alors de discuter de la pérennité des améliorations, ou de la réversibilité des dégradations induites par les systèmes de culture.

---

\* Chercheur ORSTOM à l'INRA de Versailles





## TRANSFERTS HYDRIQUES ET MINERAUX SOUS CULTURE DE MIL DANS UN SOL SABLEUX : ETUDE DE LA SOLUTION DU SOL

(Y. GUERO<sup>\*</sup>, M. SICOT<sup>\*\*</sup>, C. CHAUME<sup>\*\*</sup>)

Les transferts hydriques et la composition chimique de la solution du sol sont analysés en vue de préciser le déterminisme de la nutrition minérale sous culture de mil pendant l'hivernage, en zone soudano-sahélienne (Niamey).

Il en ressort que le sol est très desséché en surface en fin de saison sèche. Il s'humecte rapidement aux premières pluies, atteignant la capacité au champ moins de deux mois après la première averse.

Au cours de la période d'étude, le sol est généralement resté bien ressuyé jusqu'à deux mètres de profondeur. Environ 15 % des 184 mm de pluie tombés jusqu'à la fin juin a drainé au-delà de 2 mètres. Cependant le profil a tendance à s'engorger temporairement : une nappe perchée se constitue lors des pluies au-dessus d'un banc d'induration.

Les premières analyses portant sur l'azote nitrique et ammoniacal de la solution du sol mettent en évidence une grande variabilité spatiale des concentrations et une migration, aussi bien latérale qu'en profondeur (plus de 2 mètres). Il en résulte que les pertes par lixiviation sont élevées.

---

\* Maître assistant à la Faculté d'Agronomie de l'Université de Niamey (Niger)

\*\* Chercheurs ORSTOM à Niamey (Niger)



## PREMIERS RESULTATS OBTENUS SUR LA SEPARATION PAR ELECTRODIALYSE DES FORMES DU FER FERREUX PRESENTES DANS UN SOL SATURE D'EAU

(J.F. VIZIER\* et S. DOULBEAU\*\*)

La disponibilité du fer pour les plantes dans les sols saturés d'eau est fonction du développement de processus d'oxydoréduction et de mécanismes de dissolution-précipitation ou d'adsorption-désorption modulant les échanges entre phases solide et liquide, à l'interface sol-solution.

Concernant cette disponibilité, deux périodes distinctes se succèdent :

- une période de réduction et de mobilisation croissante du fer (RMC) ;
- puis, après un certain temps de saturation, une période d'immobilisation progressive partielle du fer ferreux (IPP), immobilisation attribuée à des précipitations de certaines formes de fer réduit ou à l'adsorption du fer par les surfaces de la phase solide.

Lors de ces deux périodes (RMC et IPP), les variations du rapport Fe(II) solution/Fe(II) sol témoignent d'une évolution des interactions existant à l'interface sol-solution. Il est intéressant de connaître les forces avec lesquelles le fer est retenu ou immobilisé par la phase solide lors de ces périodes et d'en déduire sa plus ou moins grande disponibilité pour les plantes.

La disponibilité des éléments d'un sol pour les plantes peut être approchée par des analyses faisant intervenir des réactifs acidifiants, complexants ou réducteurs. Une autre démarche consiste à utiliser un champ électrique. C'est ce choix qui a été fait avec un dispositif fonctionnant suivant le principe de l'électrodialyse. Ce dispositif préserve les conditions de pH dans le compartiment dans lequel est introduit la solution ou suspension de sol à analyser, grâce à l'emploi de membranes cationiques, anioniques et de solution tampon limitant le transfert des ions H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup> produits aux électrodes.

Les premiers résultats obtenus concernent la séparation de formes de fer présentes dans des suspensions de sol (rapport pondéral sol/solution d'environ 1/10). Des échantillons de 100 g de sol d'origines différentes sont mis en colonnes et saturés d'eau. Après une durée de saturation correspondant pour chaque sol à la fin de la période RMC ou à la période IPP, la totalité de la solution du sol (environ 150 ml) est recueillie par percolation et le fer ferreux y est dosé sur une aliquote. Un prélèvement de sol de 12 à 15 g (la masse exacte est déterminée à la fin de la séparation) est réalisé dès la fin de la percolation dans la colonne et mis en suspension dans 125 ml de solution. Des dosages de fer ferreux sont effectués sur d'autres prélèvements de sol de la colonne. Ces dosages permettent de connaître les quantités de fer ferreux présentes dans la solution et dans le sol de la suspension sur laquelle est effectuée la séparation. S'agissant de la séparation de formes de fer ferreux susceptibles d'être très rapidement réoxydées, l'ensemble des opérations est fait sous atmosphère d'azote.

---

\* Chercheur ORSTOM à Montpellier

\*\* Ingénieur ORSTOM à Montpellier

Quelques enseignements peuvent être tirés de ces premiers résultats. La disponibilité du fer ferreux pour les plantes serait d'autant plus forte qu'il serait plus abondant dans le sol, toutes phases confondues. Cette disponibilité serait également fonction de l'abondance de tous les éléments susceptibles de participer à des échanges entre les phases solide et liquide dans le sol.

Ces premiers résultats doivent évidemment être encore confirmés. Cette méthode de séparation par électrodialyse semble prometteuse. Elle permet de mesurer des paramètres (quantité de courant) dont les valeurs, différentes suivant les sols, représentent sans doute une approche quantitative de l'intensité des mécanismes qui, à l'interface sol-solution, assurent la régulation des échanges entre phase solide et phase liquide. Par ailleurs, l'utilisation d'un champ électrique permet peut-être d'aborder plus globalement l'ensemble des interactions existant à l'interface sol-solution, contrairement aux méthodes chimiques qui, par l'emploi d'agents acidifiants, complexants ou réducteurs, ont une action spécifique sur certains éléments du sol. Les résultats obtenus par cette méthode devraient également être interprétés en fonction des données acquises sur le comportement des mêmes sols par des cinétiques d'adsorption et de désorption.

ANNEXE

Mise au point : Extractions eau/KCl

(J.M. HÉTIER\*, Projet ULA/ORSTOM)

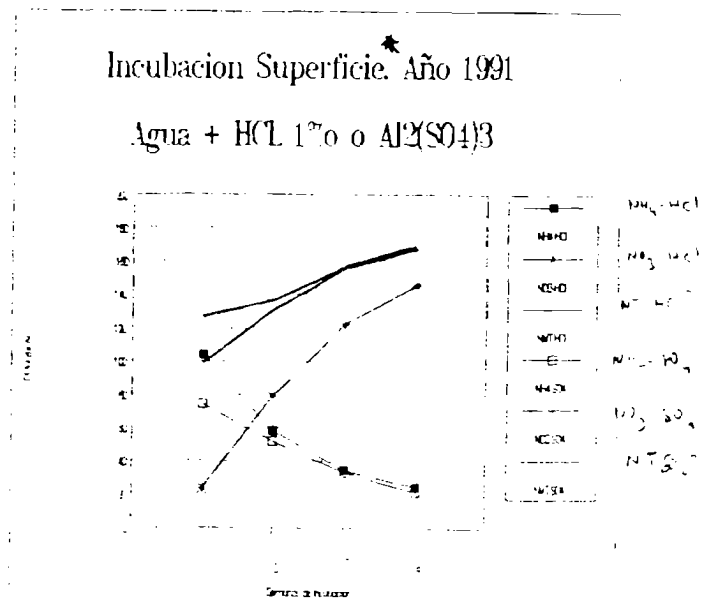
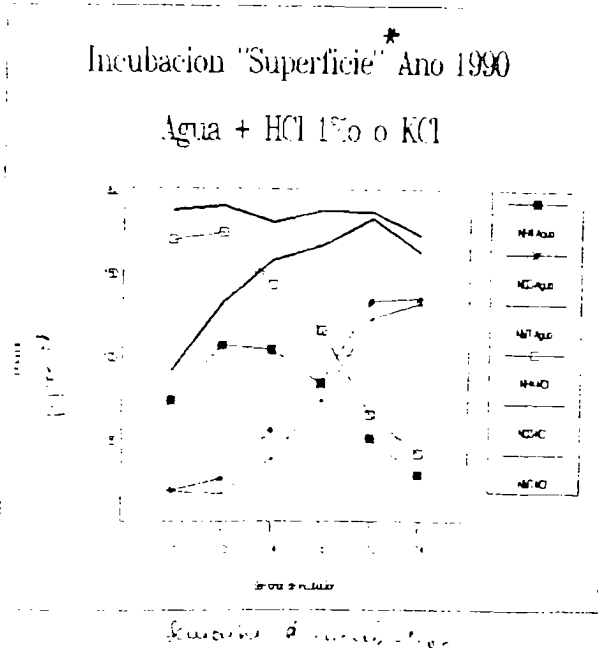
Lors de la réunion du GRESSAP de septembre 1990, des résultats d'extraction d'azote minéral par de l'eau et une solution normale de KCl avaient été présentés. Il en résultait, comme il était prévisible, des résultats identiques en ce qui concerne les nitrates.

Pour l'ammonium, on observait une différence très marquée en début d'incubation. Cette différence s'estompe et devient presque nulle après 6 semaines d'incubation. Ce résultat met en évidence la progressivité de la rétrogradation de l'azote minéral.

P. de BOISSEZON faisait ensuite remarquer que la méthode de floculation associée à l'extraction aqueuse (200 µl de HCl à 10 % dans 200 ml) risquait de fausser les résultats, malgré le bref temps de contact entre l'acide et la suspension avant floculation.

Une deuxième incubation a donc été effectuée. La floculation a été réalisée à l'aide de sulfate d'aluminium. Un supplément significatif d'ammonium n'apparaît que transitoirement en début d'incubation.

Les résultats sont résumés dans les 2 graphiques ci-dessous. En conclusion, dans le sol étudié, on peut préconiser la substitution du KCl par de l'eau pour représenter l'azote minéral, compartiment utilisé par tous les modèles de simulation de l'azote dans les agro-systèmes.



\* Chercheur ORSTOM à Mérida (VENEZUELA)