

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

ORSTOM Montpellier - 11 septembre 1992

Cote: A\*18614

Etaient présents :

AUBERT	Georges	ORSTOM	Bondy
BLAVET	Didier	ORSTOM	Lomé
BOISSEZON	Paul (de)	ORSTOM LCSC	Montpellier
CALBA	Henri	CIRAD (URA)	Montpellier
DESJARDIN	Thierry	ORSTOM	Manaus
DJONDO	Mathurin	ORSTOM LCSC	Montpellier
FALLAVIER	Paul	CIRAD (GERDA/URA)	Montpellier
FARDOUX	Joël	ORSTOM LCSC	Montpellier
GAVINELLI	Evelyne	ORSTOM LCSC	Montpellier
GRIMALDI	Catherine	INRA	Versailles
HETIER	Jean-Marie	ORSTOM	Caracas
HINSINGER	Phillipe	INRA	Montpellier
JAILLARD	Benoît	INRA (Labo. Sci. Sols)	Montpellier
LARRE-LARROUY	Marie-Christine	ORSTOM LCSC	Montpellier
MONTOROI	Jean-Pierre	ORSTOM	Bondy
MOREAU	Roland	ORSTOM LCSC	Montpellier
MOUTONNET	Pierre	CEA-DPVE	Cadarache
NZILA	Jean de Dieu	ORSTOM LCSC	Montpellier
PANSU	Marc	ORSTOM LCSC	Montpellier
SALA	Georges-Henri	ORSTOM LCSC	Montpellier
TALINEAU	Jean-Claude	ORSTOM LCSC	Montpellier
VIZIER	Jean-François	ORSTOM LCSC	Montpellier

Etaient excusés :

BONZON	Bernard	ORSTOM	Nouméa
FELLER	Christian	ORSTOM LCSC	Montpellier
L'HUILLIER	Laurent	ORSTOM	Nouméa
THIERY	Jean	CEA/DPVE	Cadarache
WACKERMANN	Jean-Marie	ORSTOM	Bondy

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

**COMPTE-RENDU DE LA CINQUIEME REUNION  
11 SEPTEMBRE 1992**

---

La cinquième réunion du Groupe de réflexion sur l'étude de la solution du sol a eu lieu le 11 septembre 1992 au Centre ORSTOM de Montpellier, regroupant 22 personnes de l'ORSTOM, du CIRAD, de l'INRA et du CEA.

J. F. VIZIER ouvre la séance en faisant brièvement l'historique du groupe de réflexion. Créé en 1988, à l'initiative de l'UR 3D "Fonctionnement des sols, utilisation de l'eau et élaboration des rendements" du département "Milieux et Activité Agricole" (MAA) de l'ORSTOM, ce groupe a pour objectif principal de permettre l'échange d'informations entre chercheurs étudiant la dynamique de l'eau et des éléments minéraux dans les sols. Outre la diffusion d'informations, les animateurs du groupe organisent chaque année une réunion au cours de laquelle sont discutés les aspects méthodologiques de l'étude de la solution du sol (prélèvement de la solution du sol, représentativité des prélèvements, intérêts et limites méthodologiques) et les résultats de travaux en cours ou achevés. Un compte-rendu de cette réunion est ensuite envoyé à chaque adhérent. Le groupe de réflexion compte à présent plus de 70 personnes appartenant à divers organismes (ORSTOM, CIRAD, INRA, CEA., CNRS).

## **L'ordre du jour suivant est ensuite proposé :**

### *1 - COMMUNICATIONS*

- Bilan de lixiviation et de fixation des cations dans un modèle de laboratoire enrichi en paille de luzerne (P. DE BOISSEZON, G. BELLIER).
- Libération de potassium non échangeable et conditions ioniques de la rhizosphère (P. HINSINGER).
- Concentrations ioniques favorables au développement de jeunes plantules de cocotiers sur sables coralliens. Conséquences pour l'application des fumures (B. BONZON). (Présenté par J.F. VIZIER).
- Solution du sol et fertilité : exemples de l'aluminium et du potassium (P. FALLAVIER).
- Caractérisation du complexe d'échange des sols du Congo (R. MOREAU).
- Influence de fumures minérales sur la mise en solution du nickel du sol et sur son absorption par le maïs (L. L'HUILLIER). (Présenté par J.C. TALINEAU)
- Comparaison des excès isotopiques de l'azote de la solution du sol et des parties aériennes d'un ray-grass cultivé sur alfisol (J.M. HETIER).
- Utilisation des capteurs en céramique poreuse pour l'étude de la salinité de la solution d'un sol sulfaté acide de Basse Casamance (Sénégal) : application et comparaison avec les méthodes sur extraits aqueux de sol (J.P. MONTOROI).

### *2 - QUESTIONS DIVERSES.*

### *3 - OBJECTIFS DU GROUPE POUR 1993.*

Secrétaire de Séance : *M C LARRE-LARROUY*

## 1 - COMMUNICATIONS

Les résumés des communications présentées au cours de cette réunion figurent à la fin de ce compte rendu. Les communications de B. Bonzon et L. L'Huillier, absents, ont été brièvement commentées par J.F. Vizier et J.C. Talineau.

Toutes ces communications se rapportent à la dynamique des éléments minéraux dans les sols.

Certaines études ont été effectuées sur des modèles expérimentaux de laboratoire (colonne de terre, dispositifs permettant l'étude de la rhizosphère, vases de végétation).

1.1 Des colonnes de terre ont été utilisées pour étudier l'effet d'un enfouissement de paille de luzerne dans un sol à argile 2:1. Les résultats mettent en évidence une importante fixation du potassium apporté par la paille, compensée par une lixiviation de magnésium initialement non échangeable du sol. Ce phénomène aurait été difficile à observer *in situ*, ne serait ce qu'en raison de l'hétérogénéité des sols et des apports de luzerne au champ (de Boissezon). Des colonnes de terre ont aussi été utilisées pour mettre en évidence des risques de toxicité aluminique dans des sols (Fallavier). Il s'est avéré en effet, que la solution du sol recueillie par percolation au bas de colonnes de sols riches en hydroxydes d'aluminium, avait une composition fortement influencée par la présence de ces hydroxydes. Cette composition confirmait la toxicité aluminique révélée par le comportement des cultures, toxicité dont le risque n'avait pas été mis en évidence par les analyses classiques (Al échangeable, TSA). Il a été souligné qu'en dehors de certaines difficultés de dosage d'éléments comme l'aluminium, l'utilisation de ce type de modèle expérimental n'est pas sans poser quelques problèmes liés aux conditions de recueil de la solution du sol (vitesse de percolation) et aux phénomènes "annexes" susceptibles de gêner l'étude (dispersion de l'argile, colmatage des colonnes).

1.2 Un dispositif de culture permettant d'étudier la rhizosphère, a été utilisé pour suivre la libération de potassium non échangeable du sol au voisinage des racines. L'étude de la rhizosphère présente deux difficultés majeures : ses dimensions millimétriques et son hétérogénéité. La dynamique des processus qui s'y développent a pu être étudiée grâce à ce dispositif qui assure le contact entre les racines et le sol, tout en les maintenant physiquement séparés par un tamis. Si ce dispositif permet la collecte de matériau rhizosphérique en quantités suffisantes, il ne résout pas les problèmes liés à l'hétérogénéité du milieu. Même la microanalyse électronique, dont l'utilisation a été suggérée, est difficile d'emploi (sur des échantillons congelés, par exemple), car si pour les

phosphates ou le calcium la précision est correcte, il n'en est pas de même pour le potassium et le magnésium. L'utilisation d'un tel dispositif permet de montrer que la libération de potassium non échangeable n'est pas négligeable au niveau de la rhizosphère et que les processus qui s'y développent contribuent à rendre le potassium disponible pour la plante (Hinsinger).

1.3 Des vases de végétation ont été utilisés pour étudier les carences ou les déséquilibres minéraux existant dans des sols. Sur des sols formés à partir de matériaux coralliens, il a ainsi été noté que de jeunes plantules de cocotier sont sensibles aux fortes concentrations en potassium dans la solution du sol. En effet, des concentrations en potassium quatre fois plus faibles que celles apportées par les fumures potassiques dans les cocoteraies, permettent d'obtenir, en vase de végétation, une croissance plus vigoureuse des plantes (Bonzon). Des essais réalisés sur des sols enrichis en nickel, simulant les teneurs mesurées dans les sols ferrallitiques ferritiques de Nouvelle Calédonie, ont montré que tout apport de fumure minérale peut solubiliser le nickel, et que cet élément, absorbé en fortes quantités par les plantes, se révèle toxique (L'Huillier).

D'autres approches de l'étude de la dynamique des éléments minéraux dans les sols ont été présentées lors de cette réunion.

1.4 Pour le potassium par exemple, des cinétiques d'extraction et des isothermes d'échange peuvent permettre, pour un sol, de caractériser les différentes sources de potassium capables d'alimenter sa solution, et d'estimer la force avec laquelle cet élément est retenu par le sol (Fallavier). D'une manière générale, ces mesures contribuent à apprécier la réactivité des surfaces de la phase solide du sol.

1.5 La concentration des éléments minéraux dans la solution du sol et leur disponibilité pour les plantes peuvent être directement appréciées à partir de la composition de certaines parties de plantes-tests. Concernant l'azote, la composition des parties aériennes obtenues lors de la première coupe d'un ray-grass, reflète bien la concentration moyenne de la solution du sol (Hétier).

1.6 Une communication enfin, a présenté des résultats relatifs à des prélèvements de solution du sol *in situ* par des capteurs en céramique. S'agissant d'étudier la salinité de sols sulfatés acides, les résultats obtenus ont été comparés à ceux acquis par des méthodes "classiques" d'estimation de la salinité des sols, à partir d'extraits de pâte saturée ou d'extraits aqueux (Montoroi).

## **2 - QUESTIONS DIVERSES**

Les communications présentées cette année font état de résultats de recherches en cours ou déjà achevées. Les questions diverses ont permis de revenir sur des points évoqués après certaines communications. La dynamique du potassium a été abordée de façon très différente par divers intervenants. Toutes les conclusions tirées de ces études sont intéressantes à retenir ; ce qui prouve qu'il n'y a pas une méthode universelle d'approche de la dynamique des éléments minéraux et d'appréciation de leur disponibilité pour les plantes.

L'utilisation de plante-test apparaît prometteuse, mais encore faut-il pouvoir faire pousser de telles plantes dans des milieux carencés ou présentant des concentrations trop fortes en certains éléments, induisant des phénomènes de phytotoxicité. Le bananier est déjà utilisé pour suivre la dynamique du potassium, mais peut-on trouver d'autres plantes-tests tropicales plus faciles d'emploi ?

La limite d'utilisation des capteurs de solution en céramique a encore été évoquée. Le "Tensionic" mis au point par P. Moutonnet semble intéressant. De bons résultats ont déjà été obtenus avec ce matériel pour les nitrates.

## **3 - OBJECTIFS DU GROUPE POUR 1993**

Le Groupe est maintenant formé de plus de 70 adhérents. Certains d'entre eux appartiennent à un même laboratoire. Il serait intéressant que ces laboratoires désignent un correspondant pour le Groupe. Ce correspondant pourrait être associé plus étroitement à la préparation de la réunion annuelle.

R. Poss co-animateur du Groupe avec J.F. Vizier vient de partir pour l'Australie. B. Jaillard, chercheur à l'INRA à Montpellier se propose de participer à l'animation du Groupe.

# BILAN DE LIXIVIATION ET DE FIXATION DES CATIONS DANS UN MODELE DE LABORATOIRE ENRICHI EN PAILLE DE LUZERNE

(P. de BOISSEZON\* et G. BELLIER\*\*)

## DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Ces modèles de laboratoire ont été réalisés pour étudier l'effet à court terme (6 mois) de l'enfouissement de paille de luzerne calibrée (0,2-2 mm) sur la capacité d'échange d'un sol brun sur limon des plateaux (P. DE BOISSEZON, 1988). Les deux types de modèles (A) et (A+B) ont été reconstitués avec les horizons A1 (250 g) et B2 (150 g) d'un sol prélevé à Grignon (Bassin parisien). L'horizon A a été enrichi avec 4 doses de paille (0 - 2,5 - 5 et 7,5 %), et l'incubation a été réalisée à 28°C, en atmosphère humide.

L'humectation initiale des modèles a été réalisée *per ascensum* afin d'assurer une humectation complète des horizons des modèles au temps zéro. Les réhumectations hebdomadaires ont été effectuées *per descensum* en ajoutant de l'eau distillée à la partie supérieure des modèles pour ramener leur humidité à la capacité de fin de ressuyage plus 10 ml d'eau par modèle. Les percolats recueillis dans les erlenmeyers placés à la base des colonnes ont été rassemblés par périodes d'incubation et conservés en flacons fermés avec quelques gouttes de HgCl<sub>2</sub> au réfrigérateur jusqu'à analyse. Sur une partie aliquote des percolats, les matières organiques ont été minéralisées par l'eau oxygénée. Les solutions amenées à sec ont été remises en solution dans HCl dilué. Ca, Mg, K, Na, Fe et Al ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique.

## CATIONS LIXIVIES

Ce dispositif expérimental a permis de comparer les cinétiques de lixiviation des bases alcalines et alcalino-terreuses dans les différents modèles. Les teneurs en cations dans les percolats varient très fortement au cours des différentes périodes d'incubation. On observe également une certaine

---

\* ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier cedex

\*\* ORSTOM, route d'Aulnay, 93143 Bondy cedex



dispersion des résultats d'une répétition à l'autre qui sont dues à des vitesses de percolation différentes, en particulier vers la fin du premier mois pour les modèles fortement enrichis en paille. Toutefois, ces écarts sont en partie compensés par la suite, et les flux moyens cumulés donnent une représentation cohérente de l'éluviation des bases au cours des différentes périodes d'incubation.

La comparaison de la somme des bases ( $SB = Ca + Mg + K + Na$ ) dans les percolats recueillis sous les deux types de modèles (A) et (A+B) montrent que l'horizon B retarde la lixiviation des bases en début d'expérience ; mais ensuite, la somme des bases éluviées est un peu plus élevée dans les modèles (A+B) que dans les modèles (A sans B).

Les cinétiques de lixiviation du potassium diffèrent totalement de celles des autres cations. Pour les modèles (A+B), les flux hebdomadaires moyens de Ca, Mg et Na lixiviés sont maxima entre le quinzième et le trentième jour, et se ralentissent nettement après le troisième mois ; tandis que la lixiviation de K est très faible au cours des deux premiers mois, et connaît son maximum au cours des trois derniers mois.

## **RELATIONS ENTRE LES BASES APPORTEES PAR LA PAILLE ET LES CATIONS LIXIVIES.**

En retranchant, pour chaque période d'incubation les cations lixiviés dans les modèles témoins (sans paille), on peut estimer l'influence nette de l'apport de bases par la paille enfouie dans l'horizon A, sur les cations lixiviés dans les modèles (A+B). Les pourcentages lixiviés par rapport aux bases apportées par la paille sont très faibles pendant les 15 premiers jours. Il s'accroissent entre le premier et le troisième mois, et dépassent 50 % des bases apportées en fin d'expérience.

Toutefois, les pourcentages d'éléments lixiviés diffèrent fortement d'un cation à l'autre, et donc par rapport à la somme des bases (SB). Ils sont nettement plus élevés pour Ca et surtout Mg. Pour ce dernier élément, ils dépassent même 100 % à partir du troisième mois, c'est à dire que l'enfouissement de paille de luzerne provoque un appauvrissement net en Mg des modèles. Par contre, les pourcentages de K lixiviés sont pratiquement nuls pendant le premier mois, et très faibles au cours des deux mois suivants. En fin d'expérience, ils ne représentent guère plus de 10 % du potassium apporté par la paille. Ce contraste entre la lixiviation nette de Mg et le stockage de la plus grande partie de K dans ces modèles, nous a incité à tenter d'établir des bilans de ces bases dans les modèles pour les différentes périodes d'incubation.

## EVOLUTION DES BASES ECHANGEABLES ET NON-ECHANGEABLES

Les teneurs en bases échangeables dans les horizons A (enrichis avec différentes doses de paille), et les horizons B des divers modèles, ont été mesurés sur des modèles sacrifiés à l'issue des différentes périodes d'incubation (1, 15, 30, 90 et 180 jours). La somme des bases échangeables (SBE) dans l'horizon A augmente au cours des 15 premiers jours d'environ 40 % des bases apportées par la paille ; mais le passage sous forme de bases échangeables diffère suivant les cations.

**Potassium.** Au cours des 15 premiers jours, l'enrichissement en  $K^+$  échangeable de l'horizon A représente les deux tiers de K apporté par la paille. Par la suite, les teneurs en  $K^+$  échangeable décroissent, et en fin d'expérience, l'enrichissement de l'horizon A en  $K^+$  échangeable représente seulement 20 % du K apporté par la paille. C'est à dire que la plus grande partie de  $K^+$  échangeable provenant de la paille, est soit lixivié hors de l'horizon A, soit fixé sous forme non-échangeable dans les modèles. L'enrichissement en  $K^+$  échangeable de l'horizon B est plus tardif, avec des maxima vers le troisième mois qui ne sont significatifs que pour les doses de paille élevées, mais ils décroissent au cours des derniers mois. Le pourcentage de K apporté par la paille qui reste sous forme échangeable dans l'ensemble des modèles (A+B) passe donc de plus de 60 % au quinzième jour, à environ 30 % en fin d'expérience. Comme les quantités de K lixivié sont minimales, les pourcentages de K apporté par la paille qui restent (ou passent) à l'état non-échangeable (ou fixé) dans l'ensemble des modèles s'accroissent de 35 à environ 60 %. La rétrogradation du potassium dans ce sol à argile 2:1 porte donc sur au moins 25 % du potassium apporté par la paille de luzerne.

**Calcium et Magnésium.** Les accroissements de  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  échangeables dus à l'apport de paille, ne sont importants que pendant les 15 premiers jours. Ils deviennent très faibles et même négatifs pour Ca et surtout pour Mg dès la fin du premier mois. Inversement, les flux cumulés de Ca et Mg recueillis dans les percolats représentent entre 50 et 115 % de Ca apporté par la paille, et 160 à 225 % pour Mg. Les éléments alcalino-terreux lixiviés proviennent donc à la fois de stocks de Ca et Mg échangeables et non échangeables, provenant de la paille et/ou du sol.

La percolation des modèles par des solutions riches en acides organiques provenant de la décomposition de la paille, provoque une éluviation de Ca échangeable qui provient des sols entre le premier et le troisième mois. Pour Mg, il y a éluviation de Mg échangeable provenant du sol dès le premier mois, et de Mg non-échangeable provenant des sols des deux horizons au cours des trois derniers mois.

## CONCLUSIONS

Ces expériences montrent donc la complexité de l'évolution des différentes bases, et de la diversité des bilans dans ces modèles (tabl. I). Tandis qu'une partie importante du potassium apporté par la paille est fixée dans les modèles, une quantité notable du magnésium non-échangeable de ce sol à argile 2:1 est lixiviée à peu près simultanément. Cette fixation du K (et de  $\text{NH}_4$ ) qui réduit les déficits de charges dus à des substitutions isomorphiques (ROBERT et TROCME, 1979), explique en particulier, la diminution progressive de la CEC de l'horizon B des modèles enrichis en paille.

D'un point de vue pratique, ces expériences en modèles de laboratoire ont un grand intérêt démonstratif, car elles limitent l'hétérogénéité des sols par rapport aux essais réalisés en plein champ ou en lysimètre non remanié. Elles permettent d'utiliser des doses élevées d'amendement organique bien homogénéisé, et de le répartir uniformément dans un horizon du sol. Les conditions d'incubation sont programmables et mieux contrôlées qu'au champ. Néanmoins, les vitesses de percolation dans les colonnes de sol restent importantes, en partie compensées dans le temps. On doit donc raisonner sur les lessivats moyens cumulés.

## BIBLIOGRAPHIE

BOISSEZON (P. de), 1988 - Effets de l'enfouissement de la paille de luzerne sur la capacité d'échange d'un sol brun sur limon des plateaux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 24, (4), 337-339.

ROBERT (M.), TROCHME (S.), 1979 - Le potassium. In : Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol. (Bonneau et Souchier eds. Masson - Paris), pp. 379-385.

**TABLEAU I**

**BILAN DES BASES DANS LES MODELES**

$\Delta M \text{ paille} = \Delta M \text{ lix.} + \Delta M \text{+ éch.} + \Delta M \text{ non-éch.}$
--

Ca	+++++	=	+++++	+	-	€
Mg	++	=	++++	€	--	
K	++++	=	€	+	+++	

$\Delta M$  = différence de M avec modèle témoin (sans paille) :  $(M_x - M_t)$

M paille = Base M contenue dans la paille enfouie dans l'horizon A (t=0)

M lix. = Quantité cumulée (à l'instant t) de base lixiviée dans percolats

M+ éch. = Cation sous forme échangeable dans modèle (à l'instant t)

M non-éch. = Base non-échangeable ou fixée dans modèle (à l'instant t).

## LIBERATION DE POTASSIUM NON ECHANGEABLE ET CONDITIONS IONIQUES DE LA RHIZOSPHERE

(Philippe HINSINGER\*)

La libération de potassium non échangeable a longtemps été considérée comme un phénomène d'importance réduite pour la nutrition potassique des cultures. En effet les divers phénomènes qui concourent à cette libération se manifestent à des concentrations en K ou des pH très bas dans la solution du sol, c'est-à-dire dans des conditions physico-chimiques rarement rencontrées dans la plupart des sols cultivés en milieu tempéré (Quémener, 1986). Néanmoins, récemment, de nombreux essais au champ ou en pots ont montré que la libération de K non échangeable, loin d'être négligeable, pouvait même fréquemment contribuer majoritairement à la fourniture de K à la plante (Mengel et Kirkby, 1987), et ce, même à l'échelle de pas de temps courts, au niveau de la rhizosphère (Kuchenbuch et Jungk, 1982).

Compte tenu des conditions physico-chimiques particulières de la rhizosphère, où la concentration en K (Jungk et al., 1984) et le pH (Römheld, 1986) sont souvent très en deçà de leur valeur moyenne dans le sol, il est apparu intéressant de reconsidérer la question de l'occurrence de phénomènes de libération de K non échangeable dans cette portion particulière du sol, en relation avec les conditions ioniques à l'interface sol-racine.

Il a ainsi pu être clairement mis en évidence, lors d'études portant sur des modèles expérimentaux de rhizosphère, que la concentration en K en solution au contact immédiat des racines jouait un rôle-clé dans la libération de K interfoliaire non échangeable de phyllosilicates micacés (type phlogopite). Dans ce cas, il a été montré que le principal mécanisme de libération repose sur une réaction d'échange ionique du K interfoliaire conduisant à la transformation du mica en vermiculite, en conséquence de l'effet-puits de la racine vis-à-vis du K: l'absorption du K à un flux élevé par la racine se traduit par un appauvrissement drastique de la rhizosphère et, in fine, par le déplacement de l'équilibre d'échange dans le sens de la libération du K non échangeable. Le rôle éventuel des protons excrétés par la racine dans l'initiation de ces phénomènes d'échange devra être précisé dans l'avenir. En outre, l'extrapolation de ces résultats à des sols de minéralogie variée nécessite la prudence.

Jungk A, Claassen N et Kuchenbuch R, 1984. *Potash Rev.* 5: 1-4.

Kuchenbuch R et Jungk A, 1982. *Plant and Soil.* 68: 391-394.

Mengel K et Kirkby E A, 1987. *Principles of Plant Nutrition*, 4e éd.

Quémener J, 1986. *in Proc. 13th IPI Congress:* 41-72.

Römheld V, 1986. *Potash Rev.* 6: 1-8.

---

\* INRA-ENSAM. Science du sol, 2 place viala, 34060 Montpellier cedex 01

# CONCENTRATIONS IONIQUES FAVORABLES AU DEVELOPPEMENT DE JEUNES PLANTULES DE COCOTIERS SUR SABLE CORALLIENS :

## CONSEQUENCES POUR L'APPLICATION DES FUMURES

(Bernard BONZON\*)

Dans le but de pouvoir étudier les carences et les déséquilibres minéraux d'un sol donné à l'égard du cocotier, à l'aide d'essais conduits sur vases de végétation sous serre, le comportement de jeune plantules de cocotiers en fonction de la concentration ionique de la solution du sol nutritive appliquée, a été suivi pendant 4 mois.

La solution nutritive utilisée a été définie à partir des exportations minérales par les noix de l'hybride double PB 121 de l'IRHO, données fournies par OUVRIER et OCHS dans la revue Oléagineux.

Le support de l'étude était un sable corallien complètement débarrassé de toutes traces de sels marins, mais très proche de ceux portant des cocotiers sur les cordons littoraux de Nouvelle-Calédonie, de l'île d'Ouvéa en particulier.

Dans ces conditions, la croissance la plus vigoureuse fut observée avec la solution nutritive titrant 3 méq./l de cations ou d'anions, c'est à dire avec une solution à la concentration 4 fois plus faible que celles mentionnées dans la littérature.

Une comparaison avec les teneurs en nutriments susceptibles d'être induites par les fumures potassiques appliquées à la périphérie des plants dans les cocoteraies situées dans de telles conditions, montre que l'on pourrait très facilement pénaliser momentanément la croissance des plants par des teneurs supérieures à ce seuil de 3 mé/l.

Le cocotier, heureusement, est une plante extrêmement tolérante à l'égard de la salinité du sol, ce qu'indique également l'expérience.

---

\* ORSTOM, BP A5, Nouméa, Nouvelle Calédonie.



## SOLUTION DE SOL ET FERTILITE

### EXEMPLES DE L'ALUMINIUM ET DU POTASSIUM

(Pierre FALLAVIER\*)

Dans le cas de l'Aluminium, l'estimation des risques de toxicité dans les sols acides à l'aide des analyses courantes de sol (pH, taux de saturation en Al du complexe d'échange TSA) n'est pas toujours fiable, car celles-ci ne rendent pas compte de la complexité des phénomènes physico-chimiques mis en jeu.

Un dispositif de laboratoire (colonnes de terre) simulant des corrections de l'acidité par chaulage et gypsage a été utilisé ; des analyses de sol, de percolats et d'extraits aqueux dans le rapport 1/1 ont été faites. Dans le sol de Bouaké (minéralogie : kaolinite, goéthite), les évolutions du TSA et de  $Al^{3+}$  en solution vont dans le même sens ; dans le sol d'Ambatolampy, riche en hydroxydes d'aluminium, la solution du sol est alimentée directement depuis ces minéraux, et le TSA ne rend pas compte de cette dynamique. Le comportement des cultures confirme la toxicité aluminique élevée de ce sol, révélée par l'analyse de la solution du sol.

Dans le cas du potassium, deux techniques ont été utilisées pour décrire la dynamique du potassium dans deux sols ferrallitiques (Lamé, Aek loba).

La cinétique d'extraction permet de mettre en évidence des sources de K capables d'alimenter la solution du sol et de les caractériser par leur taille et une constante de vitesse.

L'isotherme d'échange permet d'estimer l'énergie avec laquelle les  $K^+$  sont retenus sur le complexe d'échange, grâce au calcul du coefficient d'activité du cation sur la phase solide. Les variations de celui-ci sont en accord avec les variations de K échangeable et les réponses des cultures lors d'apports de KCl dans le sol. Un étalonnage de cette technique par des résultats agronomiques pourrait être utilisé pour la gestion de la fumure potassique.

---

\* CIRAD-URA, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 01 (France)

# INFLUENCE DE FUMURES MINÉRALES SUR LA MISE EN SOLUTION DU NICKEL DU SOL, ET SON ABSORPTION PAR LE MAÏS.

(Laurent L'HUILLIER\*)

Les sols ferrallitiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie étant connus entre autre pour leur teneur élevée en nickel (de l'ordre de 1 %), nous nous sommes intéressés à ce que pourrait être leur influence sur la croissance et le développement de plantes cultivées.

Deux expériences ont été menées en serre, avec pour but de caractériser l'influence de 6 doses croissantes de nickel (sous forme de sulfate) appliquées à un sol alluvial pratiquement sans nickel, sur la croissance, le développement et la nutrition minérale du maïs. La deuxième expérimentation avait 3 doses (dont le témoin) communes avec la première expérimentation (les 3 autres étant plus fortes), et la fumure minérale a été plus forte dans le deuxième essai afin de corriger les apports plus importants d'ions  $\text{SO}_4^{2-}$  (correction par du  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  et du  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

Nous avons ainsi pu constater, entre les doses identiques de nickel et les témoins des deux essais, que la mise en solution du nickel était beaucoup plus forte dans le deuxième essai. Nous avons attribué ce phénomène à la fumure minérale plus forte dans le deuxième essai, en particulier aux ions  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{NO}_3^-$  qui auraient entraîné le nickel en solution par attraction ionique. Il est aussi possible que les quantités plus fortes d'ions  $\text{NH}_4^+$  aient joué un rôle, soit directement en entrant en compétition avec le  $\text{Ni}^{2+}$  sur ses sites de fixation sur le sol, soit indirectement en abaissant le pH, les ions  $\text{H}^+$  rentrant alors en compétition avec le  $\text{Ni}^{2+}$  pour se fixer, soit les deux mécanismes.

Cette mise en solution accrue, toujours pour les doses communes entre les deux essais, s'est répercutée sur l'absorption du nickel par le maïs qui fût bien plus élevée lors du deuxième essai, et a mis en évidence des problèmes de phytotoxicité importants, absents lors du premier essai.

Ainsi, l'application en plein champ de fumures minérales importantes sur un sol à forte teneur en nickel, soulève la question suivante : dans quelles mesures peut-on occulter les risques d'une mise en solution relativement importante du nickel et, par conséquent, d'une absorption accrue par les végétaux pouvant mener à des problèmes de phytotoxicité ?

---

\* ORSTOM, Centre de Nouméa, BP. A5, (Nouvelle-Calédonie).



## COMPARAISON DES EXCES ISOTOPIQUES DE L'AZOTE DANS LES EXTRAITS AQUEUX ET LE RAY-GRASS

(J.M. HETIER\*, P. URBINA, B. SILVA)

Après avoir comparé les extraits aqueux floкулés par l'acide chlorhydrique ou le sulfate d'aluminium, du point de vue de leur contenu en azote minéral et des excès isotopiques, les résultats obtenus sont comparés avec ceux du ray-grass utilisé comme plante test sur le même sol ferrugineux tropical (Alfisol de Barinas).

L'eau provoque la solubilisation de la moitié de l'ammonium extrait par le KCl durant les deux premières semaines d'incubation. Cette différence s'amenuise ensuite progressivement et devient insignifiante après 10 semaines. Les excès isotopiques de l'ammonium et des nitrates sont les mêmes dans les deux cas. Ils se rejoignent en fin d'incubation avec une valeur inférieure de 20 % à celle de l'urée introduite.

Les semis de ray-grass ont été effectués, soit immédiatement après la fertilisation, soit 6 semaines après. Lors de chaque coupe, tous les 21 jours, deux pots ont été sacrifiés pour déterminer la biomasse racinaire et extraire l'azote minéral (Eau + Sulfate d'aluminium) et l'azote organique lié à la biomasse par le bicarbonate de sodium. Dans le premier cas, les concentrations d'azote ammoniacal et nitrique baissent rapidement sous l'effet de la culture. Dans le deuxième cas, les nitrates restent abondants malgré une absorption d'azote normale pour la matière sèche produite.

L'azote des racines est systématiquement moins marqué que celui des parties aériennes. Lors de la première coupe, l'azote du végétal a des excès isotopiques intermédiaires entre ceux de l'ammonium et des nitrates. Par la suite, les excès de l'azote du végétal se maintiennent à des niveaux intermédiaires plus proches de celui des nitrates que de celui de l'ammonium qui disparaît presque complètement dans les deux cas.

Que la culture soit ou non précédée d'une pré incubation, l'azote organique extrait par le bicarbonate n'est fortement marqué que lors de la première coupe, puis son excès baisse considérablement jusqu'à une valeur 5 ou 6 fois inférieure à celle des parties aériennes du ray-grass.

On en conclut que la composition isotopique des parties aériennes de la plante test reflète assez bien une composition moyenne de la solution du sol lors de la première coupe, tout en intégrant les disparités de ses divers constituants. Les coupes suivantes font trop intervenir les réserves racinaires, et la reminéralisation des réserves récemment constituées, pour que leur composition puisse refléter la composition de la solution.

---

\* ORSTOM, (Mérida) Caracas, Venezuela.

**UTILISATION DES CAPTEURS EN CERAMIQUE POREUSE POUR L'ETUDE  
DE LA SALINITE DE LA SOLUTION D'UN SOL SULFATE ACIDE DE  
BASSE CASAMANCE (SENEGAL) :  
APPLICATION ET COMPARAISON AVEC LES METHODES SUR EXTRAITS  
AQUEUX DE SOL.**

(Jean-Pierre MONTOROI\*)

La salinité d'un sol est le plus souvent exprimée à partir de la détermination d'une mesure de conductance réalisée sur un extrait aqueux de sol. L'extraction sur pâte saturée constitue la méthode de référence qui se rapproche des conditions naturelles (humidité du sol à l'état saturé) et à partir de laquelle ont été définis les seuils de tolérance des plantes à la salinité. Cependant, elle est longue à mettre en oeuvre au laboratoire. On préfère employer des extraits aqueux de plus ou moins grande dilution (volume d'eau variable par rapport à un poids de sol et indépendant de la nature du sol) pour des raisons pratiques et économiques, notamment lorsque la teneur en sels est élevée.

Le prélèvement de la solution du sol "in situ", à l'aide de capteurs en céramique poreuse, est largement répandu lorsque l'on souhaite suivre des évolutions temporelles. Cette méthode non destructrice présente l'avantage d'être proche des conditions réelles du milieu.

Ces méthodes de terrain et de laboratoire ont été appliquées sur un sol sulfaté acide représentatif de basse Casamance (Sénégal), le long d'un transect présentant une gamme salinité comprise entre 10 et 100 dS/cm. Les échantillons de sol sont prélevés en conditions saturées, au voisinage de la nappe.

Les résultats sont exprimés sous forme de relations statistiques permettant la comparaison entre les différentes méthodes. Ce calage constitue un outil de base pour quantifier les mouvements de sel dans le milieu étudié. Les limitations pratiques des méthodes utilisées sont indiquées.

## INTRODUCTION

Les méthodes de mesure de la salinité font appel à la mesure d'une conductance qui se pratique à des teneurs en eau du sol variables:

- humidité à saturation ( $H_s$ , en g/100 g de sol) pour l'extraction sur pâte saturée,
- solution diluée (100x5 g/100 g de sol) pour l'extraction 1/5 (50 ml d'eau pour 10 g de sol),
- humidité du sol en place ( $H_{is}$ , en g/100 g de sol) pour le capteur de solution du sol "in situ".

Ces méthodes, couramment utilisées dans les études de sols salés (RHOADES, 1984), donnent des valeurs difficilement exploitables dans l'absolue. Pour réaliser des bilans de matière, une analyse chimique complète doit être faite simultanément, ce qui alourdit considérablement les expérimentations.

La connaissance de l'humidité du sol permet de relier les différentes concentrations ioniques (C) obtenues par chaque méthode selon la relation:

$$C_s \times H_s = C_{e1/5} \times (5 \times 100) = C_{ss} \times H_{is} \quad (1)$$

où  $C_s$ ,  $C_{e1/5}$  et  $C_{ss}$  représentent la concentration ionique de l'extrait de sol saturé, de l'extrait 1/5 et de la solution du sol.

Pour raisonner en terme de conductivité électrique (CE), on admet, en pratique, qu'il existe une relation de proportionnalité implicite entre C et CE de la forme  $C = a \times CE$ , valable quelque soit la méthode utilisée (LE BRUSQ et LOYER, 1982).

---

\* ORSTOM, Laboratoire des formations superficielles, 72 route d'Aulnay, 93143 Bondy.



On pourra écrire:

$$CE_{es} \times H_s = CE_{e1/5} \times (5 \times 100) = CE_{es} \times H_s$$

Cette relation de proportionnalité doit être vérifiée pour chaque méthode. LE BRUSQ et LOYER (1982) montrent qu'elle peut être admise pour des raisons pratiques (par exemple, pour le classement des sols en fonction de leur salinité), mais qu'en théorie, il existe un biais lié à la dilution de l'extrait.

Cette communication se propose d'établir, pour les sols sulfatés acides et salés de basse Casamance, le lien statistique entre les mesures de CE au laboratoire et celles obtenues sur le terrain. Celui-ci permettra d'établir des bilans pondéraux lors d'études agronomiques ou d'études spatialisées mesurant, par exemple, l'impact d'un aménagement hydro-agricole sur l'évolution des sols d'une vallée chimiquement dégradée (ALBERGEL et al., 1990).

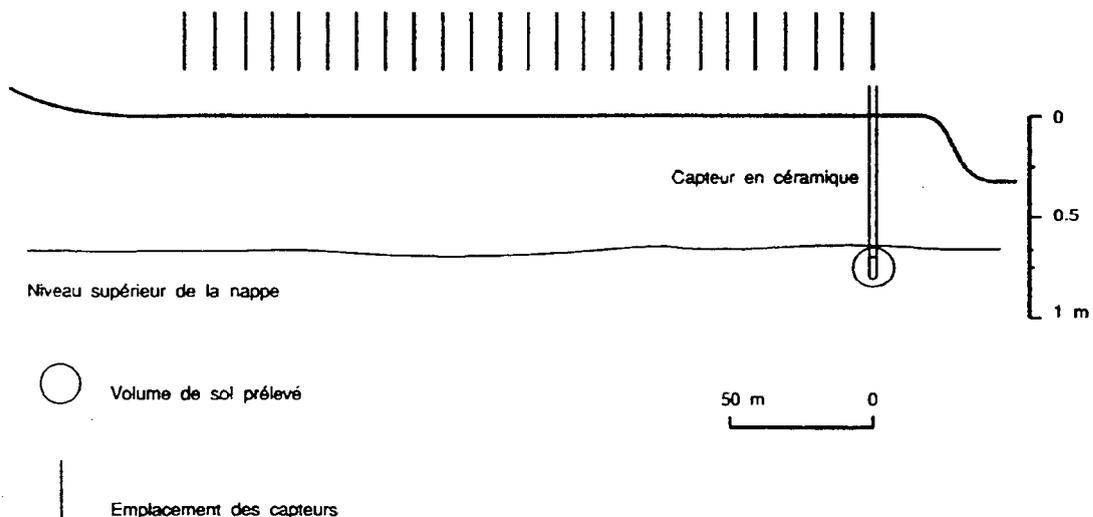
## DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les sols de la vallée de Djiguinoum présentent des manifestations extrêmes de salinisation liée à l'invasion des eaux marines au cours de la récente sécheresse. Leur salinité, forte au voisinage du lit du marigot, décroît à mesure que l'on s'en éloigne et que l'on se rapproche des versants du plateau environnant. Pour se situer dans une gamme de variation de la salinité suffisamment large, une séquence a donc été choisie perpendiculairement à l'axe du marigot sur un sol sulfaté acide salé (BRUNET, 1988).

Les capteurs en céramique poreuse ont été disposés tous les 6 m le long de cette séquence, à la profondeur de 75 cm, juste sous le niveau statique de la nappe (entre 60 et 70 cm). L'ensemble des 25 sites couvrent approximativement une distance de 144 m déterminant 25 sites de mesure (figure 1). Avant leur installation sur le terrain, les capteurs ont été rincés, au laboratoire, tout d'abord à l'eau distillée désaérée, puis à l'eau acidifiée (POSS, 1991). Plusieurs tests de conductivité hydraulique en milieu aqueux ont été effectués pour connaître l'homogénéité des lots et constater d'éventuels défauts (CHEVERRY, 1983).

La dépression appliquée a été de 500 mb pendant 24 h. Après le prélèvement de la solution du sol, une fosse est creusée pour l'enlèvement de la canne et la prise d'un échantillon de sol autour de la céramique, destiné aux analyses sur extraits aqueux.

Figure 1



Le long de ce transect et en regard de chaque site de mesure, à une distance d'environ un mètre, un forage à la tarière a été réalisé afin de prélever l'eau de la nappe approximativement à la même profondeur. La conductivité électrique des eaux est mesurée quelques jours après au laboratoire et leur analyse chimique complète est effectuée par les méthodes classiques (spectrométrie, colorométrie).

## RESULTATS

### 1. Représentativité de l'extraction de la solution du sol *in situ*

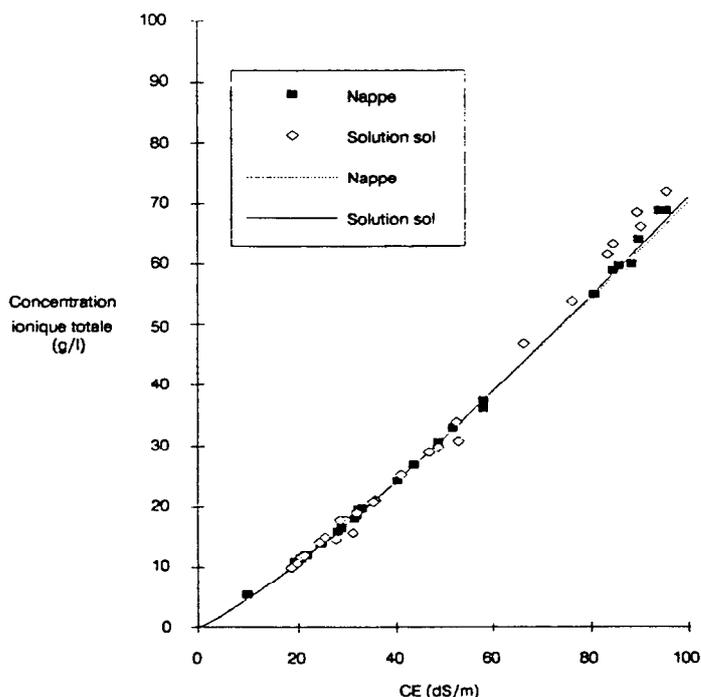
La figure 2 montre que les mesures de salinité de la solution du sol obtenues par les céramiques poreuses (C<sub>ss</sub>, C<sub>Ess</sub>) sont du même ordre de grandeur que celles des eaux de nappe (C<sub>n</sub>, C<sub>En</sub>).

Les courbes ajustées ont pour équation:

$$C_{ss} = 0.284 C_{Ess}^{1.209} \quad r^2 = 0.994$$

$$C_n = 0.347 C_{En}^{1.153} \quad r^2 = 0.994$$

Figure 2



### 2. Détermination de la C<sub>Ess</sub> à partir des données de laboratoire (extrait 1/5)

- Relation entre les concentrations ioniques

Cette relation est de la forme:  $C_{ss} \times H_{is} = C_{e1/5} \times (5 \times 100)$  avec C<sub>ss</sub> et C<sub>e1/5</sub> en g/l et H<sub>is</sub> en g/100g

-Transformation en termes de conductivité électrique

Elle peut être réalisée en considérant deux types de modèles:

. un modèle de calcul pratique qui fait intervenir une relation de proportionnalité de la forme:

$C = a \times CE$  que l'on admet être unique.

Le calcul de la CE de la solution du sol se déduit de la relation (1):

$$C_{Essp} = C_{Ee1/5} \times 500 / H_{is}$$

. un modèle de calcul théorique qui fait appel à une relation exponentielle de la forme:  $C = a \times CE^c$  (Mac NEAL et al., 1970).

En considérant que, pour chacune des méthodes utilisées, il existe une relation différente (il conviendra d'en vérifier statistiquement l'unicité), la CE de la solution du sol est calculée à partir de l'équation logarithmique suivante:

$$\log CE_{ssc} = (d/c) \log CE_{e1/5} - (1/c) \log H_{is} + (1/c) (\log 500 + \log(b/a))$$

où a, b, c et sont les coefficients d'ajustement statistique des relations  $C_{ss} = a \times CE_{ss}^c$  (méthode de terrain) et  $CE_{1/5} = b \times CE_{e1/5}^d$  (méthode de laboratoire).

Les relations statistiques obtenues sont les suivantes:

$$C_{ss} = 0.284 CE_{ss}^{1.225} \quad r^2 = 0.994$$

$$C_{1/5} = 0.258 CE_{e1/5}^{1.27} \quad r^2 = 0.993$$

$$\log CE_{ssc} = 0.793 \log CE_{e1/5} - 1.046 \log H_{is} + 2.852$$

$$r^2 = 0.904$$

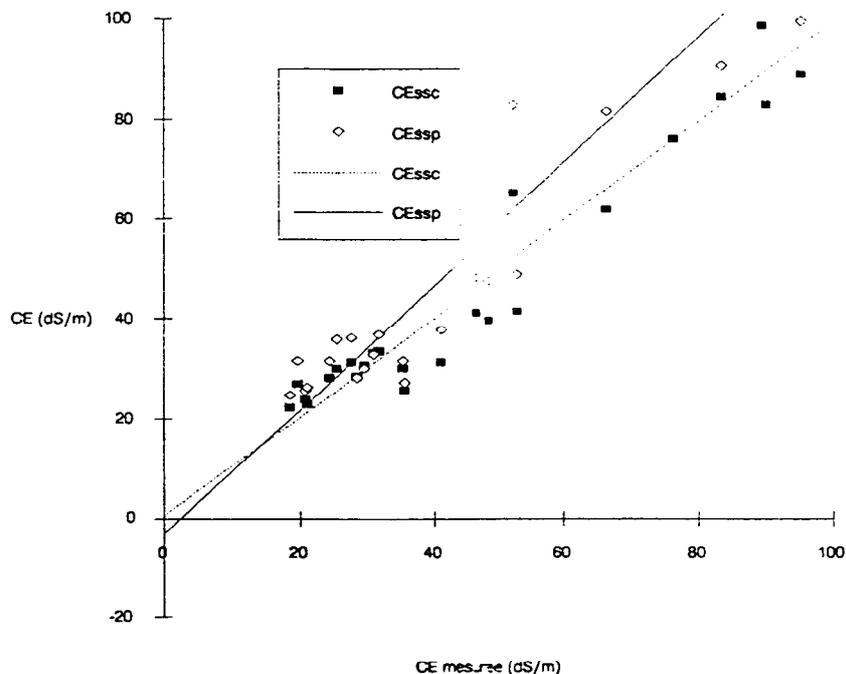
. validité des modèles

Les valeurs estimées de  $CE_{ssp}$  et de  $CE_{ssc}$  sont comparées aux valeurs mesurées (figure 3). L'ajustement statistique se révèle être meilleur avec les 25 couples  $CE_{ssc}/CE_m$ :

$$CE_{ssc} = 0.988 CE_m - 0.48 \quad r^2 = 0.922$$

$$CE_{ssp} = 1.242 CE_m - 3.20 \quad r^2 = 0.905$$

Figure 3



## CONCLUSION

Les résultats, obtenus sur un sol sulfaté acide salé, montrent que l'on peut aisément déduire la salinité de la solution du sol au moment du prélèvement à partir d'une détermination de laboratoire. Il est impératif d'effectuer simultanément la mesure de l'humidité du sol. La démarche employée peut être appliquée à d'autres sites.

Le modèle théorique permet une meilleure estimation de la  $CE_{ss}$ . On pourra simplement utiliser le modèle pratique, avec une précision équivalente, sur la domaine 0 - 40 dS/m.

La méthode de terrain étant limitée par les conditions hydriques du sol (humidité voisine de la saturation), le recours aux méthodes de laboratoire est nécessaire pour de longs suivis. Dans ce cas, les relations statistiques trouvées doivent être maniées avec prudence, car l'évolution géochimique de la solution au cours de sa concentration (précipitation de minéraux) n'est pas prise en compte.

## BIBLIOGRAPHIE

ALBERGEL J., BRUNET D., DUBEE G., MONTOROI J.P., ZANTE P., 1991. Gestion d'un barrage anti-sel en basse Casamance (Sénégal). In A. KERGREIS et J. CLAUDE (réd.), "Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride", Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, 275-285.

BRUNET D., 1988. Etude pédologique de la vallée de Djiguioum (basse Casamance). Multigr., ORSTOM/Dakar, 28 p. + annexes.

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, 47-71.

LE BRUSQ J.Y., LOYER J.Y., 1982. Relations entre les mesures de conductivités sur des extraits de sols de rapports sol/solution variables, dans la vallée du fleuve Sénégal. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol XIX, 3, 293-301.

Mac NEAL B.L., OSTER J.D., HATCHER J.T., 1970. Calculation of electrical conductivity from solution composition data as an aid to in-situ estimation of soil salinity. Soil Sc., 110, 405-415.

POSSR., 1991. Dynamique et lixiviation des éléments minéraux dans les terres de barre du Togo. L'Agron. Trop., 45, 4, 259-273.

RHOADES J.D., 1984. Principles and methods of monitoring soil salinity. In I. Shainberg and J. Shalhevet (Eds.), Soil salinity under irrigation. Processes and management, Berlin-Heidelberg- New York-Tokyo, 130-142.