

# Apport de l'électrodialyse à l'étude de l'influence de l'organisation du sol sur la disponibilité des éléments minéraux dans les sols tropicaux

Jean-François Vizier, Ama Tamia et Joël Fardoux

C.R. Acad. Sci. Paris,  
t. 321, série II a,  
p. 1163 à 1169,  
1995

Laboratoire d'Étude du Comportement  
des Sols Cultivés, ORSTOM,  
911, avenue Agropolis, BP n° 5045,  
34032 Montpellier Cedex 01, France.

**Résumé** Des séparations d'éléments minéraux sont effectuées par électrodialyse sur des suspensions de sol ou des mottes provenant d'échantillons prélevés dans des volumes poreux ou peu poreux de sols ferrallitiques cultivés. Elles mettent en évidence l'influence de l'organisation du sol sur la mobilité des éléments, en particulier pour le calcium et à un degré moindre pour le magnésium. Ces résultats suggèrent que la disponibilité des éléments évaluée à partir de déterminations faites uniquement sur des suspensions de sol peut être surestimée, surtout dans les sols compactés.

**Mots-clés :** Électrodialyse, Sols tropicaux, Porosité, Éléments minéraux, Mobilité.

**Abstract** Influence of soil organization on the mobility of mineral elements separated by electro dialysis: examples of tropical soils

Mineral elements were separated by electro dialysis from soil suspensions or clods of porous or non-porous samples taken in cultivated ferrallitic soils. These separations showed the influence of the organization of the soil on the mobility of some elements, calcium especially and magnesium to a lesser degree. These results indicated that the availability of mineral elements might be over-estimated in compacted soils especially, when assessed solely on soil suspensions.

**Keywords:** Electro dialysis, Tropical soils, Porosity, Mineral elements, Availability.

**Abridged  
English  
Version**

GENERALLY, mineral elements available for the plants (Remy, 1984; Houba *et al.*, 1992) are quantitatively assessed on soil suspension samples by chemical, isotopic or electrical methods. Relationships can then be established between the availability of nutrients and the nature of the soil components. Electro dialysis is, together with EUF (Nemeth, 1979) one of the electrical methods in use (Doulbeau, 1991). The experimental setting can be used to carry out separations on soil suspensions (Vizier, 1992; Djondo, 1994) or clods. The objective of this Note was to demonstrate the role of the organization of the soil on the mobility of the mineral elements and their availability, by means of determinations on soil suspensions or clods of porous or non-porous samples.

Porous or non-porous samples were taken in the ploughed layer (0-30 cm) of a cultivated ferrallitic soil of Ivory Coast and analyzed. They differed in some morphological features, consistency and porosity especially (table I). Such volumes were generally observed in cultivated soils and denominated as "delta volumes" for the non-porous and "gamma volumes" for the porous ones (Manichon, 1982). The pore-size distribution indicated a reduction in the pore space corresponding to the largest pores (upper to 20 µm) in the non-porous volumes (fig. 1).

The experimental apparatus for the electro dialysis consisted of five 135 cm<sup>3</sup> compartments (fig. 2). Either samples in suspension in deionized water (soil/solution 1 : 10, w : w) or clods (10 cm<sup>3</sup> approximately) immersed in

**Note**

présentée par  
Georges Pédro.

remise le 11 septembre 1995,  
acceptée le 25 septembre 1995.

ORSTOM Documentation



010004558

deionized water (cycles of 3 rounds/min.) were put in the central compartment (C3). The use of buffered solutions in compartments C2 and C4, and of cationic (MC) and anionic membranes (MA) allowed separation of mineral elements of the sample at a constant pH. When an electric current was established (80 V, with a variable current intensity regularly measured), positively charged elements were transferred to compartment C2 and the negatively charged ones to compartment C4. Samplings of 2-cm<sup>3</sup> in compartments C2, C3 and C4 were conducted continually throughout experiment (every hour for eight hours).

There were no big differences between the porous and the non-porous samples when electro dialysis was carried out on soil suspensions. Compared to the non-porous volume, the porous one was richer in calcium. The same result was obtained by the "cobaltihexamine method" (table II).

In the porous volumes, the separation undergone on soil suspension (*s*) or clod (*m*) showed no significant difference for potassium. On the other hand, electro dialysis showed a limited mobility in the clod for magnesium (*s/m* was around 2 during the whole procedure) and calcium (*s/m* varied from 2.4 to 4.5).

In the non-porous volumes, greater differences were observed between the separation on the soil suspension and the clod. The largest differences were obtained for calcium (*s/m*

= 13.5 at the beginning of the separation, and 6.6 at the end). For magnesium *s/m* varied from 5.0 to 3.1, and for potassium from 2.6 to 1.8 (table II and fig. 3).

Results obtained by electro dialysis on soil suspensions or clods were compared. They indicated the role of porosity on the mobility of mineral elements. This influence was the greater for calcium, and for magnesium to a lesser degree. These comments could be related to the main mechanisms regarding the movement of solutes in the soil, which are overall governed by convection for calcium and magnesium, rather than by diffusion for potassium. Larger differences between electro dialysis on soil suspension or clod occurred with non-porous samples at the beginning of the separation, showing a reduction in the mobility of mineral elements in this case. Non-porous layers were commonly observed in cultivated soils, in tropical regions especially (Grimaldi et al., 1994).

In conclusion, these results indicated that the availability of mineral elements, when assessed only on soil suspension, might be overestimated especially in compacted soils. Electro dialysis is one of the valuable methods to determine nutrient availability. This method carried out the separation of soil mineral elements at a constant pH. Electro dialysis on clods which takes into consideration soil organization influencing the mobility of mineral elements permits a better assessment of the nutrient availability.

## INTRODUCTION

Dans un sol, les quantités d'éléments disponibles pour les plantes sont évaluées à partir de différentes déterminations de fractions mobilisables. Ces fractions peuvent être extraites par des réactifs chimiques, obtenues par échange isotopique ou séparation dans un champ électrique (Remy, 1984 ; Houba et al., 1992). Couramment réalisés sur des suspensions de sol, ces extractions, échanges ou séparations fournissent des données qui permettent de rapprocher l'offre du sol en nutriments, de la nature de ses constituants.

La séparation des éléments minéraux d'une suspension de sol placée dans un champ électrique peut être réalisée par électro-ultrafiltration (Nemeth, 1979) ou par électrodialyse (Doulbeau, 1991). Le dispositif utilisé pour cette deuxième méthode permet d'effectuer des séparations aussi bien sur des suspensions de sol (Vizier, 1992 ; Djondo, 1994), que sur des mottes immergées. Le but de cette Note est de présenter les premiers résultats de séparation d'éléments minéraux obtenus par électrodialyse sur des suspensions puis des mottes, pour deux échantillons très différents par leur structure et leur porosité, en vue d'apprécier

l'influence de l'organisation des constituants du sol sur la disponibilité des éléments minéraux.

## MATÉRIEL

Les échantillons proviennent d'un sol ferrallitique de Basse Côte d'Ivoire, objet d'une étude sur les répercussions du mode de défrichement sur différentes caractéristiques du sol. L'étude du profil cultural permet d'observer des volumes qui se distinguent par leur couleur, leur structure, leur cohésion et leur occupation par les racines. Deux de ces volumes, largement représentés dans les profils observés, ont été choisis entre 0 et 30 cm dans l'horizon de surface très remanié d'un sol ayant subi un défrichement mécanisé, suivi d'un labour à 30 cm de profondeur. Les observations, les mesures de résistance à la pénétration faites *in situ* et les résultats de quelques déterminations de laboratoire sont regroupés dans le tableau I.

Le premier volume choisi présente un aspect continu, peu poreux, à cohésion très forte, résultant d'un compactage sévère

d'origine anthropique. Le second, avec des agrégats discernables dans les mottes, est plus poreux et a une cohésion plus faible. Très caractéristiques des sols cultivés, ces volumes peuvent être qualifiés de « volume delta » pour le premier et de « volume gamma », pour le second, selon la terminologie utilisée par Manichon (1982). Si l'on excepte les teneurs en matière organique dont les valeurs peuvent être rapprochées de la plus ou moins grande occupation des volumes par les racines, les différences les plus nettes se rapportent non pas à la composition de ces volumes mais à leur organisation, leur cohésion, leur résistance à la pénétration, leur porosité. La différence de porosité observée sur le terrain est confirmée par la distribution des diamètres des pores obtenue en porosimétrie au mercure. Si une même distribution des pores de très petite taille (0,01 à 0,5  $\mu\text{m}$ ), due à l'assemblage des particules argileuses kaolinitiques de ces sols ferrallitiques, est observée dans les échantillons étudiés, le moins poreux présente une forte diminution du volume poral correspondant aux pores d'un diamètre supérieur à 20  $\mu\text{m}$  (fig. 1).

**Tableau I** Quelques caractéristiques des volumes gamma et delta.  
Some characteristics of the gamma and delta volumes.

Caractéristiques	Volume Gamma	Volume Delta
Couleur .....	Brun sombre 10 YR 3/3	Brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4
Structure .....	Massif tendance fragmentaire	Massif
Cohésion .....	Meuble	Compact
Porosité .....	Poreux	Peu poreux
Densité de racines (nombre de racines/dm <sup>2</sup> ) .....	146,10	71,43
Résistance à la pénétration (kg /cm <sup>2</sup> ) .....	2,06	14,13
Argile (< 2 $\mu\text{m}$ ) (%) .....	20,20	21,10
Limon fin (2-20 $\mu\text{m}$ ) (%) .....	4,70	5,60
Limon grossier (20-50 $\mu\text{m}$ ) (%) ..	9,60	9,80
Sable fin (50-200 $\mu\text{m}$ ) (%) .....	48,00	47,90
Sable grossier (200-2 000 $\mu\text{m}$ ) (%)	17,50	15,60
Matière organique (%) .....	3,84	2,62
pH eau .....	4,61	4,48
pH KCl .....	3,76	3,82

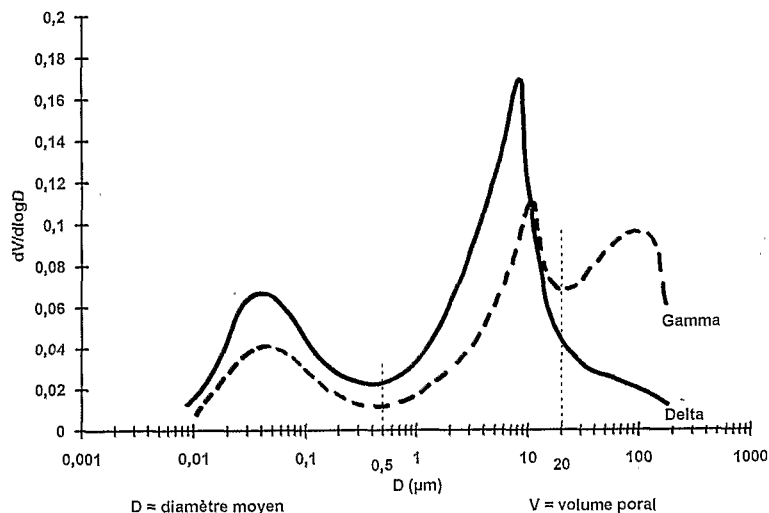


Fig. 1 distribution des pores dans les volumes gamma et delta.

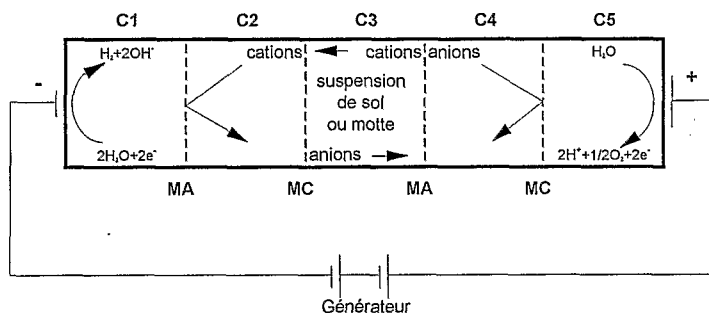
Pore distribution in the gamma and delta volumes.

MÉTHODE

La séparation des éléments minéraux du sol se fait dans un champ électrique. Par l'utilisation de membranes cationiques et anioniques, de solution tampon, d'ajustement de pH et de dilution, le dispositif vise à opérer cette séparation à pH constant, sans l'influence des ions H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup> produits aux électrodes. Ce dispositif (fig. 2) comprend cinq compartiments de 135 cm<sup>3</sup>, séparés de membranes cationiques et anioniques portant respectivement des groupements fonctionnels acide sulfonique (-SO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et ammonium quaternaire (-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>). L'échantillon de sol, mis en suspension dans de l'eau permuetée (rapport sol/solution de 1/10), ou motte (environ 10 cm<sup>3</sup>) placée dans un sachet accroché à un axe tournant à la vitesse de 3 tr/mn et immergée dans de l'eau permuetée, occupe le compartiment central (C3).

Fig. 2 Schéma du dispositif de séparation par électrodialyse.

Schematic view of the device used for the separation by electro dialysis.



MA = membrane anionique  
MC = membrane cationique

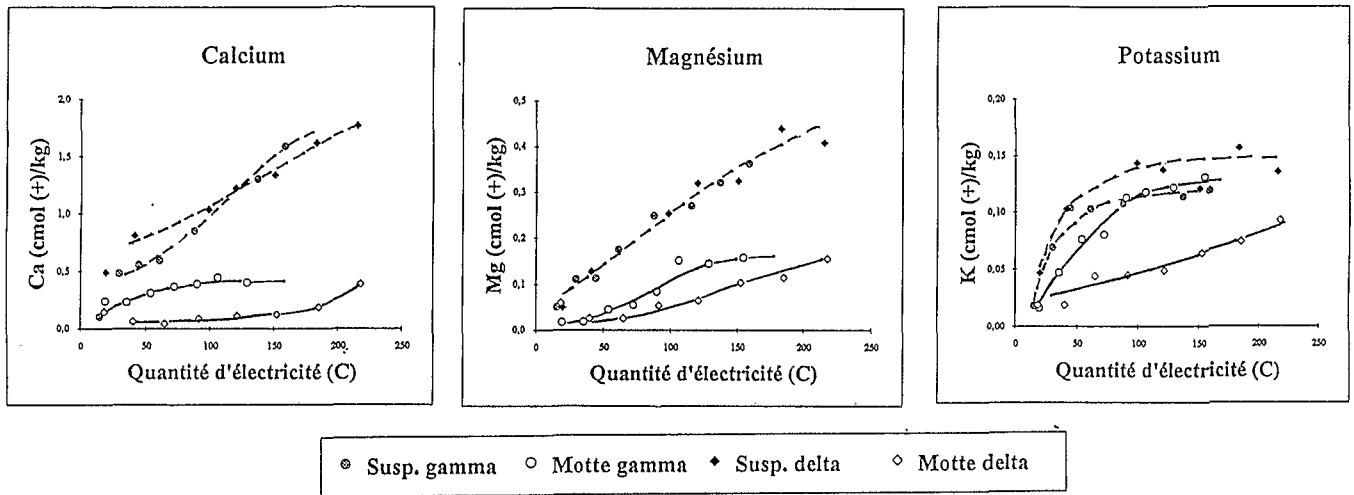
tée, occupe le compartiment central (C3). Les compartiments adjacents C2 et C4 contiennent une solution tampon d'acide acétique-acétate de sodium à pH 4,6. Aux extrémités du dispositif, les compartiments C1 et C5, dans lesquels plongent les électrodes, contiennent des solutions de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 1 mmol.L<sup>-1</sup>, dont le pH a été ajusté à 2,7 par ajout de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> M en C1 et 11,3 par ajout de NaOH M en C5. Pour limiter encore la concentration en H<sup>+</sup> (C5) ou OH<sup>-</sup> (C1), les solutions de ces deux compartiments sont diluées dans des volumes de 2 L grâce à une pompe péristaltique. Avant le montage du dispositif, les membranes cationiques et anioniques sont respectivement chargées en Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>; elles sont placées de manière à pouvoir recueillir les éléments séparés du sol par le courant électrique, dans le compartiment C2 pour les éléments chargés positivement, et C4 pour ceux chargés négativement (fig. 2).

La différence de potentiel établie entre les électrodes est de 80 V. Le suivi des variations de l'intensité du courant pendant toute la séparation, permet de calculer à tout moment la quantité d'électricité ayant traversé le dispositif (exprimée en coulombs). Des prélèvements de 2 cm<sup>3</sup> sont régulièrement effectués dans les compartiments C3, C2 et C4.

RÉSULTATS

Pour chacun des deux volumes étudiés, les séparations faites sur suspension de sol ou sur motte immergée donnent des résultats sensiblement différents. Dans cette Note, l'accent est mis sur les variations des quantités de cations séparées et recueillies dans le compartiment C2 (cmol(+).kg<sup>-1</sup>), en fonction de la quantité d'électricité (C) ayant traversé le dispositif (fig. 3). Les valeurs correspondant au passage de 100, 150 et 200 C sont données dans le tableau II, et comparées à celles obtenues par réaction d'échange avec le chlorure de cobaltihexamine (Orsini et al., 1976).

Les séparations faites sur les suspensions des deux échantillons donnent des valeurs très proches pour le magnésium et le potassium, mais le volume gamma est un peu plus riche en calcium. Les mêmes indications



sont globalement fournies par l'extraction par le chlorure de cobaltihexamine, avec cependant des valeurs plus faibles pour le potassium.

Les séparations faites sur motte gamma, donnent des quantités de magnésium et de calcium inférieures à celles obtenues sur la suspension. Le rapport de la quantité séparée sur suspension à celle séparée sur motte ( $s/m$ ) est quasiment constant pendant toute la séparation pour le potassium (voisin de 1,0) et le magnésium (2,1 à 2,5) ; il varie de 2,4 à 4,5 pour le calcium (tableau II).

Les séparations faites sur motte delta, donnent des valeurs de calcium, magnésium

et potassium nettement inférieures à celles obtenues sur la suspension. Les écarts sont plus importants que ceux obtenus avec la motte gamma, et l'évolution du rapport de la quantité séparée sur suspension à celle séparée sur motte ( $s/m$ ) indique que l'écart est plus important à 100 C qu'à 200 C : de 2,6 à 1,8 pour le potassium, de 5,0 à 3,1 pour le magnésium et de 13,5 à 6,6 pour le calcium. L'évolution de ce rapport  $s/m$  met en évidence une nette limitation de la mobilité du potassium, du magnésium et surtout du calcium en début de séparation.

Il est à noter que, si les séparations faites sur suspension de sol sont très reproduc-

Fig. 3 Variations des concentrations de cations dans le compartiment C2 en fonction de la quantité d'électricité.

Variations in cation concentration observed in compartment C2 as a function of the amount of electricity applied.

Tableau II Différentes évaluations de la disponibilité de Ca, Mg, et K dans les échantillons étudiés.

Different assessments of the availability of Ca, Mg and K.

	Extraction au chlorure de cobaltihexamine	Volume gamma					Volume delta					
		Électrodialyse			Électrodialyse							
		sur suspension (s)	sur motte (m)	rapport $s/m$	sur suspension (s)	sur motte (m)	rapport $s/m$					
Ca (cmol(+)/kg) . . . .	2,04	100 C	0,98	100 C	0,41	2,39	1,47	100 C	1,08	100 C	0,08	13,50
		150 C	1,49	150 C	0,42	3,55		150 C	1,37	150 C	0,12	11,42
		200 C	1,90	200 C	0,42	4,52		200 C	1,71	200 C	0,26	6,58
Mg (cmol(+)/kg) . . . .	0,35	100 C	0,25	100 C	0,12	2,08	0,37	100 C	0,25	100 C	0,05	5,00
		150 C	0,36	150 C	0,16	2,25		150 C	0,36	150 C	0,09	4,00
		200 C	0,43	200 C	0,17	2,53		200 C	0,43	200 C	0,14	3,07
K (cmol(+)/kg) . . . . .	0,07	100 C	0,11	100 C	0,11	1,00	0,05	100 C	0,13	100 C	0,05	2,60
		150 C	0,12	150 C	0,13	0,92		150 C	0,14	150 C	0,06	2,33
		200 C	0,12	200 C	0,13	0,92		200 C	0,14	200 C	0,08	1,75

tibles, celles effectuées sur motte donnent des résultats plus variables, fonction de l'organisation de chaque motte.

### DISCUSSION

Il y a donc un effet très net de l'organisation du sol sur la séparation des éléments minéraux par électrodialyse. Les écarts observés entre les séparations effectuées sur suspension ou sur motte sont différents suivant les éléments : ils sont plus importants pour le calcium que pour le magnésium, et beaucoup plus faibles pour le potassium.

Malgré la moins bonne reproductibilité des séparations effectuées sur motte, il ressort des différents essais réalisés, que les écarts entre séparations sur suspension et motte sont plus forts, surtout en début de séparation (jusqu'à 100 C), pour les mottes les moins poreuses. Dans ce sol ferrallitique, l'influence de l'organisation du sol apparaît donc plus forte pour les éléments dont le transfert en phase liquide s'effectue surtout par convection, comme le calcium et le magnésium, que pour ceux dont le transfert se fait par diffusion, comme le potassium. Cette remarque doit être rapprochée de la diminution du volume poral correspondant aux pores d'un diamètre supérieur à 20 µm notée dans l'échantillon delta, modification de l'espace poral fréquemment observée dans les sols ferrallitiques compactés par des opérations de défrichage ou des pratiques culturales (Grimaldi *et al.*, 1993).

### CONCLUSION

L'électrodialyse permet d'apprécier la susceptibilité d'un sol à libérer des éléments minéraux. La séparation s'effectue à pH constant. Les valeurs obtenues au cours de la séparation peuvent être rapprochées des quantités d'éléments échangeables déterminées par d'autres méthodes. Le dispositif peut être adapté très simplement pour opérer cette séparation, aussi bien sur une suspension de sol que sur une motte.

Pour un même échantillon de sol, les écarts observés sur les valeurs obtenues sur une suspension ou une motte dépendent de l'élément considéré et, en début de séparation, de la porosité de l'échantillon. Ces résultats permettent de penser que la disponibilité des éléments minéraux pour les plantes, évaluée à partir de déterminations effectuées sur des suspensions ne tenant pas compte de l'organisation du sol, est généralement surestimée. Dans les sols ferrallitiques compactés en particulier, cette surestimation peut surtout concerner le calcium, et à un degré moindre le magnésium.

L'électrodialyse sur motte ajoute à l'appréciation de la facilité de libération des éléments minéraux du sol, dépendant surtout de la nature de ses constituants, celle de leur mobilité qui est fonction de l'organisation du sol, de sa porosité. Il s'agit donc d'une méthode susceptible de conduire à une meilleure évaluation de la disponibilité des éléments pour les plantes. C'est l'enseignement principal des résultats des expériences rapportés dans cette Note.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DJONDO, M. Y., 1994. Propriétés d'échange ionique des sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari et sableux du Plateau de Mbe-Bateke au Congo. Application à la correction de leur acidité, *Thèse*, Univ. Paris-XII - Val-de-Marne, 288 p.
- DOULBEAU, S., 1991. Séparation par électrodialyse des éléments retenus par un sol. Application à la séparation des formes de fer ferreux présentes dans un sol saturé d'eau, *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XXVI, (3), p. 213-225.
- GRIMALDI, M., SARRAZIN, M., CHAUVEL, A., LUIZAO, F., NUNES, N., DE ROSARIO LOBATO RODRIGUEZ, M., AMBLARD, P. et TESSIER, D., 1993. Effet de la déforestation et des cultures sur la structure des sols argileux d'Amazonie brésilienne, *Cahiers Agricultures*, 2, p. 36-47.
- HOUBA, V. J. G., NOVAMSKY, I., VAN DER LEE, J. J., 1992. Soil testing and plant analysis in Western Europe, *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 23, p. 2029-2051.
- MANICHON, H., 1982. Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique, *Thèse Doc. Ing. Sc. Agron.*, INA, P-G, 214 p.

NEMETH, K., 1979. The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultrafiltration (EUF), *Advances in agronomy*, 31, p. 155-188.

ORSINI, L. et REMY, J. C., 1976. Utilisation du chlorure de cobaltihexamine pour la détermination de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols, *Science du Sol, Bulletin de l'AFES*, p. 269-275.

REMY, J. C., 1984. Propriétés des sols et nutrition minérale, *Livre jubilaire de l'AFES*, p. 299-307.

VIZIER, J. F., 1992. Cinétique de séparation par électrodialyse des formes de fer ferreux présentes dans un sol saturé d'eau, *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XXVII, (2), p. 251-261.