

Influence de la variabilité du faciès chimique sur la conductivité électromagnétique

Caroline Laperrousaz¹, Laurent Barbiéro²

¹ENSA, 65 rue de St Briec, 35000 Rennes, France.

²IRD ex ORSTOM, BP 1386 Dakar, Sénégal.

ABSTRACT

In the Senegal middle valley, many authors obtained a bad relationship between electromagnetic induction and electrical conductivity on corresponding extracts. The objective of this study is to verify if this bad result is due to abrupt lateral or vertical changes in the soil texture, moisture or in the chemical facies of the soil solution. The results indicate that it is necessary to take in consideration the whole soil profile prospected by the electromagnetic conductimeter for obtaining a suitable relation $EM = f(EC, \text{moisture}, \text{texture})$. The correlation is clearly improved if the precipitation of salts in the soil is taking into account according to the chemical facies of the solution.

Keywords: Salinity, Electromagnetic induction, Senegal.

INTRODUCTION

Les mesures de salinité des sols par induction électromagnétique sont aujourd'hui très répandues. De nombreux auteurs attestent de l'efficacité d'un matériel portable et de mesures rapides intéressant un volume élémentaire de l'ordre de 2 m³. Ce matériel est principalement utilisé pour une cartographie rapide mais détaillée aussi bien que pour un suivi temporel de la salinité sous irrigation.

En revanche, ce développement récent et rapide se heurte à de nombreuses références où les problèmes agronomiques sont reliés à des mesures de salinité classique, généralement des conductivités électriques d'extraits. Aussi, une corrélation entre les mesures électromagnétiques (EM) de terrain et électriques (EC) de laboratoire est-elle classiquement recherchée.

Dans la vallée du fleuve Sénégal, de nombreuses zones salées se caractérisent par de très fortes variabilités de faciès chimique à faible distance. On peut passer en quelques mètres d'un faciès NaCl à un faciès CaSO₄ ou MgSO₄. Le but de cette étude est de vérifier si les mauvaises relations généralement observées entre les mesures EM et EC

(Mané, 1998) doivent être attribuées à des variations abruptes de texture, de teneur en eau ou simplement à des variations dans le faciès chimique de la salinité.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Site

L'étude a été menée le long du marigot N'Galénka 16°26 à 16°30 nord et 14°50 à 15°05 ouest, un ancien défluent du Doué et affluent du Sénégal. Ce site a fait l'objet d'une cartographie régionale de la salinité (Barbiéro et Laperrousaz, 1999), qui a révélé que le sel est réparti en bandes de quelques dizaines de mètres de largeur et de plusieurs kilomètres de longueur. Une asymétrie dans la morphologie de ces bandes salées a été identifiée. La limite nord est généralement abrupte alors que la limite sud est plus diffuse. Le vent est soupçonné comme agent de salinisation ce qui expliquerait les fortes variabilité de faciès chimique de la salinité, le sel ayant été amené, non sous forme dissoute mais sous forme particulière (Barbiéro *et al.*, 1998).

Mesures EM sur le terrain

Les mesures de conductivité électromagnétique ont été réalisées avec un conductimètre portable EM38 (Geonics, Ltd), dont les bobines émettrice et réceptrice sont séparées de 1 m. La fréquence d'excitation est de 14,6 kHz. L'appareil mesure la conductivité électrique apparente du sol en mS/m. La courbe de réponse de l'appareil en fonction de la profondeur du sol lorsqu'il est utilisé en mode vertical ou horizontal a été décrite par McNeill (1980).

Quatre transects ont été positionnés de manière à obtenir une large gamme dans la réponse du conductimètre électromagnétique, sur une faible distance. Les mesures EM ont été réalisées à la surface du sol en mode vertical et horizontal, après avoir laissé chauffer les composants électroniques de l'appareil, et l'avoir étalonné dans l'air à une hauteur de 1,5 m. La densité des mesures dépend de la longueur des transects prospectés, comme résumé dans le tableau 1.

	Longueur	Intervalle
Transect 1	14 m	2 m
Transect 2	27 m	3 m
Transect 3	45 m	5 m
Transect 4	24 m	4 m

Tabl. 1 - Longueur des transects et intervalle séparant deux points d'observation.

Echantillonnage et mesures au laboratoire

Des échantillons de sol ont été prélevés à la tarière sur chaque point de mesure à des profondeurs de 0, 40, 80 et 120 cm. L'humidité a été mesurée par pesage avant et après séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. La conductivité électrique (EC) a été mesurée sur des solutions extraites par centrifugation à partir des échantillons dilués au 1/5. Le faciès chimique des solutions extraites est apprécié à partir du bilan ionique (Anions : électrophorèse capillaire, cations : spectrométrie d'adsorption atomique).

Traitement des données

Une régression pas-à-pas a été menée, en ajoutant une à une les variables explicatives (EC, teneur en eau, pourcentage d'argile) en fonction de leur degré de colinéarité avec EM_V . Les données acquises au laboratoire sur les échantillons ont été pondérées (Wollenhaupt *et al.*, 1986) en fonction de la profondeur de prélèvement selon les courbes de réponse de l'EM38 proposées par McNeill (1980). Pour les profondeurs supérieures à 120 cm, on admet $EC_{120cm} = EC_{>120cm}$

$$Data = 0.06 * Data_0 + 0.421 * Data_{40} + 0.194 * Data_{80} + 0.325 * Data_{120} \text{ et } +$$

Pour prendre en compte le faciès chimique, la valeur de EC labo a été corrigée en considérant la formation des différents sels susceptibles de précipiter dans cet environnement. Ce sont, par ordre de solubilité croissante, le gypse, la mirabilite, l'epsomite et la halite. EC est corrigée en retirant la proportion des éléments prélevés de la solution pour participer à l'élaboration des sels.

$$\text{Dans le cas du gypse : } EC_{corr} = EC \left(1 - \frac{(ca)}{\sum \text{Cations}} \right)$$

Dans le cas de la précipitation de gypse, mirabilite et epsomite:

$$EC_{corr} = EC \left(1 - \frac{(SO_4)}{\sum \text{Anions}} \right)$$

Cette dernière correction n'a pu être appliquée à l'ensemble des échantillons, faute de délais pour l'analyse. Seules 23 valeurs de EC sur un échantillonnage final de 105 ont fait l'objet d'une correction. Pour cette raison, les résultats sont présentés par tranches de sol, et non sur les valeurs pondérées.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les conductivités électromagnétiques mesurées en position verticale et horizontale sont très bien corrélées (tabl. 2) et leur distribution suit une loi normale. Aussi, pour la suite du travail, nous avons considéré les valeurs prises en mode vertical (EM_V) sans effectuer de transformation log-normale des données.

	R	R ²	R ² ajusté	Ecart type résiduel
EM_V-EM_H	0.993	0.986	0.985	7.031

Tabl. 2 - corrélation entre les mesures EM en mode vertical et horizontal (37 observ.).

La prise en compte des variables explicatives améliore considérablement la corrélation à chaque étape (tabl. 3). Cette relation devient acceptable en pondérant par tranche de sol la réponse EM_V en fonction des variables EC, θ puis A%.

Variable explicative	R	R ²	R ² ajusté	Ecart type résiduel
EC	0.744	0.553	0.539	42.654
EC+ θ	0.776	0.602	0.574	40.973
EC+ θ +A%	0.861	0.741	0.713	33.645

Tabl. 3 - Corrélation EM_V en fonction de EC, θ puis A% (37 observations).

Tranche de sol	EC labo		EC labo corrigée		ΔR^2
	R	R ²	R	R ²	
0 - 20 cm	0.611	0.373	0.935	0.874	57.33
20 - 60 cm	0.628	0.394	0.994	0.988	60.12
60 - 100 cm	0.958	0.918	0.979	0.958	4.17
100 +	0.983	0.966	0.993	0.987	2.13

Tabl. 4 - Corrélation sur les 23 échantillons entre EMv et EC, θ et A%. EC labo puis EC labo corrigé en fonction de la précipitation des sels (Gypse + mirabilite + epsomite sur 0 – 60 cm et Gypse seul sur 60 cm et +, 23 observations).

On peut cependant observer dans le tableau 4 que la prise en compte de la précipitation des sels améliore encore sensiblement cette relation. Le meilleur résultat est obtenu en considérant la formation du gypse seul en profondeur (60 cm et plus) et la formation du gypse et des autres sels de sulfates dans les horizons superficiels (0 - 60 cm). Ceci est en accord avec la répartition de la teneur en eau et la solubilité respective des sels considérés, ainsi qu'avec les observations de terrain.

CONCLUSION

Dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal, la salinité se caractérise par une très forte variabilité de faciès chimique à faible distance. On a soupçonné que cette caractéristique est responsable des mauvaises relations généralement obtenues entre la conductivité électromagnétique (EM) et la conductivité électrique (EC) mesurée au laboratoire sur extraits. L'étude montre la nécessité de prendre en compte l'ensemble du profil prospecté par induction électromagnétique ; on ne peut se contenter d'un échantillonnage superficiel pour établir une corrélation solide EM/EC sur ce site. Si la corrélation est acceptable en prenant en considération la conductivité électrique, la teneur en eau et la texture, elle est sensiblement améliorée en introduisant le phénomène de précipitation des sels en fonction de leur solubilité. Le jeu de données prochainement complété, devrait permettre de quantifier l'influence du faciès chimique de la salinité sur la réponse du conductimètre électromagnétique.

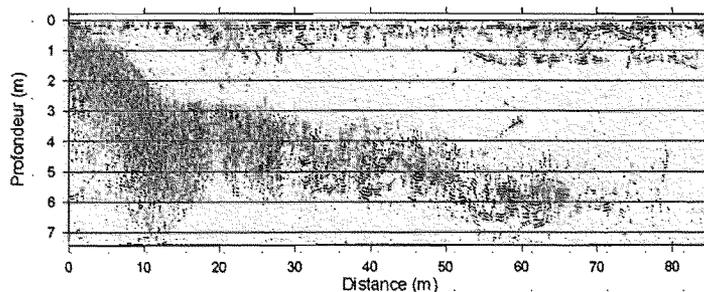
BIBLIOGRAPHIE

- Barbiéro L., Hammecker C., Boivin P. (1998) - Aeolian origine of some saline soil stripes in the Senegal middle valley. Morphological and geochemical considerations. Proceedings of the 16^e ISSS World Congress, August 20-26, 1998, Montpellier.
- Barbiéro L., Laperrousaz C. (1999) - La cartographie de la salinité dans la moyenne vallée du Sénégal. Succès d'une démarche ascendante. Colloque GEOFCAN, Géophysique des sols et des formations superficielles, 20-21 septembre 1999, Orléans, France. BRGM, INRA, IRD, UPMC.
- McNeill J.D. (1980) - Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Tech.Note TN-6, Geonics Limited, Ontario, Canada.
- Mané L. (1998) - Utilisation de la télédétection et du SIG pour l'étude de la dégradation par salinisation des terres agricoles : Exemple de la vallée alluviale du fleuve Sénégal. Rapport de recherche post doctoral, Université catholique de Louvain. ORSTOM, 54 p.
- Wollenhaupt N. C., Richardson J.L., Foss J.E., Doll E.C. (1986) - A rapid method for estimating weighted soil salinity from apparent soil electrical conductivity measured with an aboveground electromagnetic induction meter. *Can. J. Soil Sci.* 66, 315-321.

ACTES DU 2^{ème} COLLOQUE DE GÉOPHYSIQUE DES SOLS ET DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

GEOFCAN

21-22 septembre 1999
BRGM - Orléans, France



Section radar du toit d'une induration argileuse au Sénégal (mesures BRGM)



*2^{ème} colloque de Géophysique des sols
et des formations superficielles*

Résumés étendus

*21-22 septembre 1999
BRGM - Orléans, France*

*Organisé par :
BRGM
INRA
IRD
Université Pierre et Marie Curie*