

Chapitre II

Méthodes d'évaluation de la salinité du sol

Chapitre.II. Méthodes d'évaluation de la salinité du sol

Introduction

La salinité du sol peut être évaluée, au laboratoire, par les méthodes conventionnelles qui consistent à prélever des échantillons de quelques centaines de grammes à différentes profondeurs. La quantité de sels est ensuite estimée dans des extraits à l'eau des échantillons, soit à saturation (**Richards, 1954**), soit en utilisant des rapports fixes sol/eau.

Au cours des deux dernières décennies, de nombreuses nouvelles techniques comme dispositif de Wenner (**Rhoades et Ingvalson, 1971**), la sonde de conductivité électrique de Rhoades (**Rhoades, 1976**) et l'induction électromagnétique (**McNeil, 1980**), ont été développées pour mesurer la salinité des sols in-situ.

La technique de l'induction électromagnétique est plus pratique et plus rapide parce que ses mesures ne nécessitent pas d'échantillonnage des sols et leur préparation. Cette technique est maintenant utilisée dans le monde entier pour le suivi des sols affectés par les sels (**Sharma and Gupta, 2000**).

II.1. Méthodes d'évaluation de la salinité au laboratoire :

Au laboratoire, pour évaluer la quantité de sels contenue dans un échantillon de sol, il faut extraire ces sels de l'échantillon. Pour cela différents méthodes sont utilisées :

II.1.1. Extrait de la pâte saturée

Cette méthode a été mise au point par les chercheurs américains de l'**U.S.Salinity Laboratory**. Pour extraire les sels on amène le sol préalablement séché à saturation, c'est à dire à sa limite de liquidité d'Atterberg par malaxage avec de l'eau distillée. En opérant ainsi on cherche à se rapprocher au mieux de ce qui se passe dans le sol, tout en opérant dans des conditions standardisées. Cette façon de faire permet notamment de se rapprocher d'une réalité agronomique, l'humidité étant à proximité de la capacité de rétention, la plus efficace pour la plante (**Le Brusq et Loyer, 1982**)

II.1.2. Extrait non saturée

Dans cette méthode, une quantité d'échantillon de sol est mélangée avec une quantité d'eau suffisante pour obtenir de fortes dilutions. Le rapport poids sol/poids eau est en général de 1/5 ou 1/10.

Cette méthode est plus facile à réaliser et permet ainsi de faire un grand nombre d'échantillons qui est au contraire difficile, par la pâte saturée.

II.1.3. Evaluation de la salinité par la résistivité des sols

L'évaluation de la salinité à partir de la résistivité (inverse de la conductivité) du sol est basée

sur un principe simple: la capacité du sol à conduire le courant électrique est fonction de la concentration en électrolytes de la solution du sol.

L'appareil de mesure comprend quatre électrodes disposées horizontalement selon la configuration de **Wenner**. L'épaisseur du sol prospecté est fonction de l'écartement entre les deux électrodes sources.

L'appareil est un matériel encombrant à manipuler et parfois le contact des électrodes avec le sol est imparfait aux faibles humidités (**Rhoades et al, 1976**).

II.1.4. Evaluation de la salinité par l'induction électromagnétique

L'induction électromagnétique peut être utilisée pour mesurer la conductivité électrique apparente du sol (CEa) au champ. Elle est rapide et permet une forte densité de points de mesure. L'application de l'induction électromagnétique dans la caractérisation de la variabilité spatiale de la salinité est largement développée en agriculture de précision (**De Jong et al, 1979; Cameron et al, 1981; Job et al, 1987; Boivin et al, 1988; Hendricks et al, 1992; Lesch et al, 1995; Hendricks et al, 2002**). Cette méthode permet de réaliser des mesures rapides et non destructives avec précision et à différentes profondeurs du sol (**Triantafilis et al, 2001**).

II.2. Le conductivimètre électromagnétique (EM38, Geonics LTD)

II.2.1. Principe de fonctionnement

L'EM38 a été conçu spécialement par la société Geonics pour la cartographie de la salinité des sols agricoles, et peut être utilisé pour surveiller rapidement de grandes surfaces sans contact avec le sol (**FAO, 1999**). L'EM38 est un appareil, léger et utilisable par simple lecture dès mise en contact avec le sol. Il est constitué de deux bobines à axes parallèles et coplanaires séparées d'un mètre. La bobine émettrice ou spire primaire SP parcourue par un courant électrique de fréquence f produit un champ magnétique primaire HP de même fréquence qui induit des courants dans le sol supposé homogène. Ces courants produisent à leur tour un champ secondaire HS proportionnel à la conductivité du sol. Ce champ est capté par la bobine réceptrice ou spire secondaire SS.

La conductivité globale apparente mesurée est proportionnelle à HS et HP selon la formule suivante:

$$\sigma a = \frac{2 \left(\frac{Hs}{Hp} \right)}{\pi f \mu_0 S^2}$$

Avec :

σa = conductivité apparente du sol (mS/m : millisiemens par mètre)

μ_0 = permittivité de l'air

F = fréquence du courant primaire

S = distance interspire

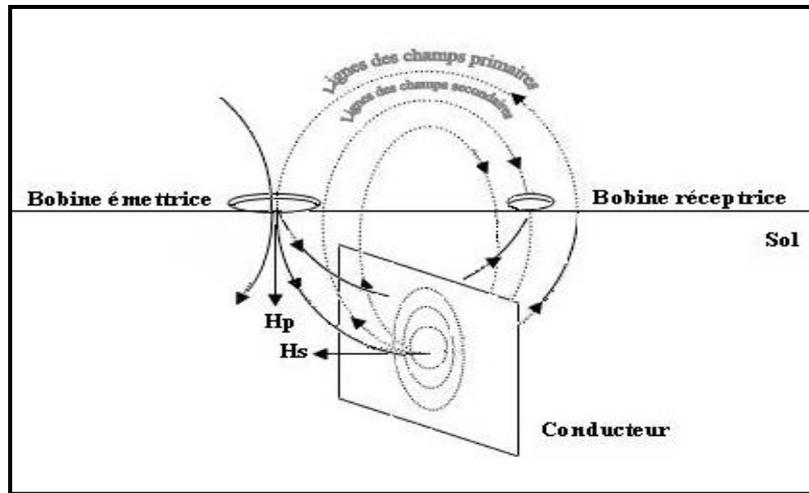


Figure 7. Principe de fonctionnement de l'EM38 (Iddir, 2006)

II.2.2. Mesures verticales et horizontales de l'EM38

L'EM38 peut être utilisé selon deux configurations (Fig.8) :

- **En mode vertical:** Les bobines d'induction sont horizontales et les dipôles magnétiques sont verticaux. La profondeur d'investigation est approximativement de 1,5 m.
- **En mode horizontal:** Les bobines sont verticales et les dipôles magnétiques sont horizontaux. La profondeur d'investigation est alors réduite à 0.75 m (McNeil, 1980).

Selon Job *et al* (1987), la contribution d'une couche élémentaire de sol de sol situé à une profondeur z au champ secondaire Hs est une fonction non linéaire de la profondeur. Elle peut se faire de deux manières selon l'orientation des grands axes des solénoïdes de départ, soit perpendiculaire à la surface du sol mesure noté $\Phi_v(z)$, soit parallèlement à celui-ci $\Phi_h(z)$, l'appareil étant alors horizontal (Fig.9)



Figure 8. Conductivimètre électromagnétique EM-38 en mode vertical (V) et horizontal (H)

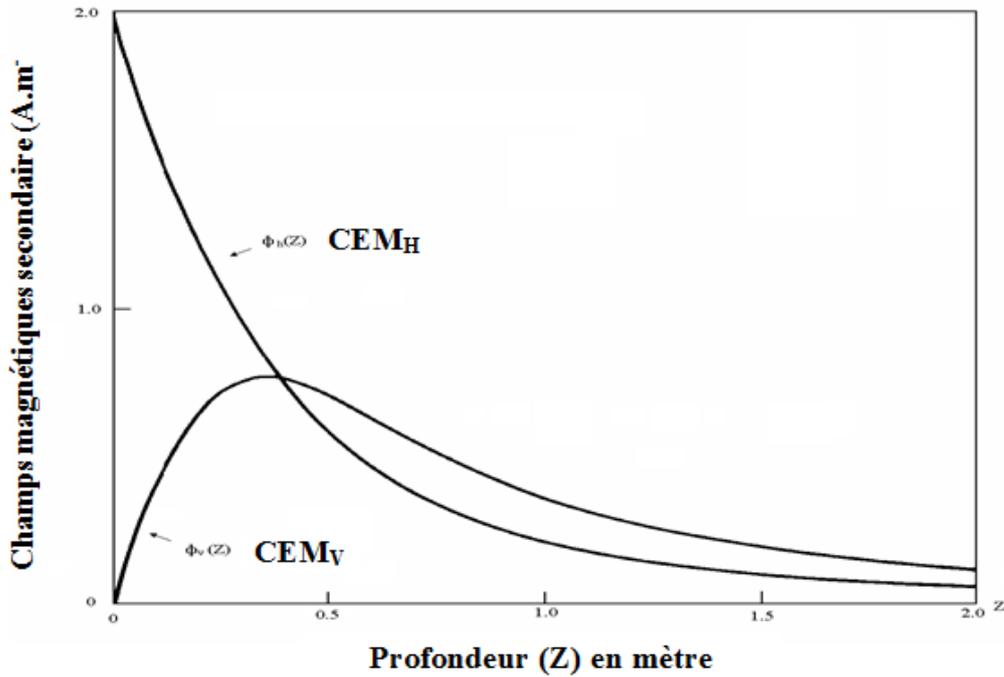


Figure 9. Contribution relative d'une couche de sol au champ secondaire suivant sa profondeur dans le sol : ϕ_v (CEM_V) en mode vertical, ϕ_h (CEM_H) en mode horizontal. (Corwin *et Lesch.*, 2003).

II.2.3. Etalonnage du conductivimètre électromagnétique EM38

L'étalonnage est réalisé, par rapport à la conductivité de l'extrait saturé du sol sur quelques points de mesure représentatifs de la gamme rencontrée. D'autres méthodes d'étalonnage sont également proposées, notamment en étalonnant par rapport à une sonde quadripôle (Corwin *et Rhoades*, 1982).

Depuis les années quatre-vingt, la méthode d'induction électromagnétique par l'EM38 s'est axée autour de la mesure de la conductivité électromagnétique du sol comprise dans la zone racinaire de la plante. L'étalonnage des lectures données par l'appareil, par rapport à la norme de salinité de l'extrait saturé, telle que déterminée en laboratoire, a été l'objectif de nombreux chercheurs au Canada, USA, Australie et plus récemment en Afrique du Sud (Willem *et Vlotman*, 2000). Des analyses de régression linéaire et multiples, pour différents profils de sol, ont été déterminées. Les modèles d'étalonnage ont été développés dans les situations où la salinité du sol est le facteur dominant affectant la CEM (Corwin *et Rhoades*, 1982; Wollenhaupt *et al*, 1986; McKenzie *et al*, 1989 ; Johnston *et al*, 1996).

Dans les régions arides et semi-arides, l'étalonnage de la conductivité électromagnétique (CEM) repose sur l'hypothèse de l'uniformité de tous les facteurs du sol qui influencent sur les lectures, à l'exception de la salinité du sol (Amakor, Xystus, 2013).

Parce que la salinité est traditionnellement exprimée en termes de (CE), des efforts considérables ont été entrepris afin d'en déduire cette CE à partir de la CEM par un étalonnage de l'EM38 (McKenzie *et al* 1989, Norman, 1990b, Johnston 1994, Heath *et al* 1999, Rhoades *et al.* 1999). Ces différentes techniques d'étalonnage ont été soumises lors d'un atelier sur l'étalonnage de l'EM38, tenu à New Delhi, en Inde, en 2000. (ILRI, 2000).

Pour l'étude des variations verticales de la conductivité électrique apparente, à partir de mesures de l'EM38, au-dessus du sol, de nombreux chercheurs ont utilisé des relations empiriques (Rhoades *et Corwin*, 1981; Corwin *et Rhoades*, 1982; Wollenhaupt *et al*, 1986; Rhoades *et al*, 1989 *et Slavich*, 1990) ont utilisé la régression linéaire multiple pour corrélérer les lectures de l'EM38 avec celles des conductivités électriques mesurées à différentes profondeurs du sol.

Les coefficients obtenus pourraient être utilisés pour prédire la conductivité électrique sol dans les profils de sols, dans les endroits où des mesures directes n'étaient pas disponibles (Hendrickx *et al*, 2002). Selon ces mêmes auteurs, ces modèles de régression se sont révélés être spécifiques au site. Par conséquent, ces relations donnent des résultats raisonnables dans les lieux pour lesquels ils ont été développés ou dans des endroits présentant des caractéristiques similaires, mais ils ne peuvent pas être extrapolés à des sites ayant des caractéristiques différentes sans étalonnage.

II.2.3.1. La régression linéaire simple

Pour une même profondeur de sol, un calcul d'une corrélation entre les valeurs de conductivité électromagnétique et celle de conductivité électrique donne une équation de type (Willem F. Vlotman, 2000):

$$CE_{ps (0-zcm)} = \pm c \pm CEa_{(0-zcm)}$$

Où :

- $CEa_{(0-zcm)}$: la conductivité apparente moyenne du sol sur une profondeur de sol de 0 à z cm (dS / m) ;
- $CE_{ps (0-zcm)}$: Conductivité électrique (salinité) de l'extrait de pâte saturée d'un sol échantillonné à une profondeur de 0 à z cm (dS / m) ;
- a : pente de la relation ;
- c : constante.

Il est possible, d'établir de multiples relations de régression empiriques entre la CEM_H et la CEM_V , et les lectures moyennes de la $CE_{ps (0-zcm)}$. Ce résultat est obtenu par l'échantillonnage du sol directement en dessous des sites où, uniquement les lectures de la CEM_V et la CEM_H , ou les deux CEM, ont été prises.

Le modèle de régression peut être établi, dans l'équation ci-dessous:

$$CE_{ps(0-zcm)} = \pm c \pm a * CEM_V \pm b * CEM_H$$

Où :

- CEM_V : lecture électromagnétique obtenue en mode vertical ($dS.m^{-1}$);
- CEM_H : lecture électromagnétique obtenue en mode horizontal ($dS.m^{-1}$);
- $CE_{ps(0-zcm)}$: conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée d'un sol échantillonné à une profondeur de 0 à z cm ($dS.m^{-1}$) ;
- a et b: pentes de la relation ;
- c : constante.

II.2.3.2. La régression multiple

Rhoades et Corwin (1981) a montré qu'en soulevant l'appareil de mesure EM38, à différentes hauteurs au-dessus du sol, il est possible d'estimer la conductivité électrique (CE) pour divers intervalles de profondeur du sol, à partir d'une succession de mesures de la CEM faite à diverses orientations, ou à différentes hauteurs au-dessus du sol, ou les deux.

En se basant les régressions multiples **Rhoades et Corwin (1981)** ont développé une équation qui relie la conductivité électrique mesurée d'un intervalle de profondeur du sol avec la conductivité électromagnétique mesurée à différents niveaux au-dessus du sol :

$$CE_{(x-z)} = \pm c \pm \alpha_0 CEM_{(V,H)} \pm \alpha_1 CEM_{(V1,H1)} \pm \alpha_2 CEM_{(V2,H2)} \pm \alpha_3 CEM_{(V3,H3)} \pm \alpha_4 CEM_{(V4,H4)}$$

Où:

- $CE_{(x-z)}$: Conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (CEps), exprimée en $dS.m^{-1}$ à 25°C, mesurée au laboratoire, pour une couche de sol(x-z) ;
- $CEM_{(V,H)}$, $CEM_{(V1,H1)}$, $CEM_{(V2,H2)}$, $CEM_{(V3,H3)}$, $CEM_{(V4,H4)}$: lectures horizontales ou verticales de la conductivité électromagnétique, exprimées en $mS.m^{-1}$, obtenues par l'EM38, respectivement, aux hauteurs (0 cm, 50cm, 75cm, 100cm et 125cm) par rapport au sol (**Fig.22**);
- $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$: pentes de la relation.
- c : Constante.

II.3. Avantages de la technique

L'utilisation de l'EM38 présente plusieurs avantages, par rapport aux méthodes traditionnelles :

- les mesures peuvent être prises aussi rapidement que l'on peut déplacer d'un point de mesure à un autre,

- un grand volume de sol peut être mesuré qui réduit la variabilité et relativement peu de mesures donnent une estimation fiable de la propriété moyenne du sol,
- des mesures dans les sols relativement secs ou rocailloux sont possibles parce que le contact entre le sol et l'appareil n'est pas nécessaire comme dans le cas de la sonde d'électrode,
- et l'EM38 permet une acquisition de données d'une façon non destructive, moins coûteuse et plus rapide que n'importe quelle autre technique (**Triantafilis *et al.*, 2000**).

II.4. Limites de la technique

Une limitation principale des mesures d'induction électromagnétique est le bruit dans l'environnement. Les sources de bruit dans l'environnement peuvent inclure : les lignes électriques, l'énergie éolienne, gros objets métalliques, câbles enterrés, tuyaux, les émetteurs radio, bâtiments et clôtures métalliques.

II.5. Conclusion

L'utilisation du conductivimètre électromagnétique EM38 pour l'évaluation de la salinité des sols apparaît comme une méthode rapide et fiable. Sa facilité de mise en œuvre et sa rapidité d'exécution; font de l'EM38 un outil performant pour la caractérisation des sols salés.

Néanmoins, une interprétation qualitative, pouvant donner un sens au niveau agronomique aux mesures de CEM, nécessite un étalonnage avec les méthodes conventionnelles (pâte saturée) pour lesquelles on dispose de nombreuses références.

Par ailleurs, ces procédures montrent les résultats d'une nouvelle recherche sur le potentiel d'utilisation de l'EM38 afin de mieux définir les niveaux de tolérance de la salinité dans les conditions de terrain.