



Institut des Sciences de la Terre  
(I.S.T.)  
FACULTÉ DES SCIENCES & TECHNIQUES  
UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

150



Institut de recherche  
pour le développement



RAPPORT DE STAGE

UV 15

Cartographie de la salinité dans la zone de Ngnith  
( Delta du fleuve Sénégal )  
Utilisation du conductivimètre électromagnétique EM-38

Présenté par l'élève-ingénieur

**Mohamed El Abass WADE**

Encadrement : MM. Laurent BARBIERO ( IRD )  
Fary DIOME ( IST )  
Moustapha Dièye ( ISRA )

003/565

IRD / 003 / 565  
Date... 24.05.1998  
N°... 12779  
COTE OUVRAGE... RAP. 512. WAD/L

Fonds Documentaire IRD



010021673

Août - Septembre 1998

Fonds Documentaire IRD

Cote : B \* 21673 Ex : unique

# SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

INTRODUCTION

Première partie: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- 1- Situation géographique
- 2- Géomorphologie
- 3- Les grands mécanismes de dégradation saline des sols soumis à l'irrigation
- 4- Les processus de salinisation des sols dans le Delta du Sénégal

Deuxième partie: METHODES D'EVALUATION DE LA SALINITE DES SOLS

- 1- Analyses au laboratoire
- 2- Mesures *in-situ*
- 3- Le conductivimètre électromagnétique (EM38, Geonics LTD)
  - 3.1- Principe de fonctionnement
  - 3.2- Mesures de la conductivité électromagnétique
    - 3.2.1- Position verticale et horizontale
    - 3.2.2- Mesures en surface et en hauteur
  - 3.3- Influence des paramètres pédologiques

Troisième partie: CARTOGRAPHIE DE LA SALINITE DES SOLS

- 1- Méthodes employées sur le terrain
- 2- Résultats et discussions

CONCLUSION

## AVANT - PROPOS

.....

*Ce travail est un fruit de la collaboration entre l'IST (Institut des Sciences de la Terre) et l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement). Il constitue le rapport du stage que j'ai eu à effectuer durant les mois d'Août et de Septembre 1998 au Laboratoire de Pédologie de l'IRD de HANN à Dakar.*

*Ce stage entre dans le cadre de la formation de l'ingénieur géologue de l'IST et constitue l'Unité de Valeur n° 15.*

*Le thème traité durant ce stage est la cartographie de la salinité. La site choisi à cet effet se situe dans le Delta du Fleuve Sénégal plus particulièrement sur la façade ouest du lac de Guiers dans le village de Ngnith.*

*Ce travail a aussi nécessité la collaboration de l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agronomique) plus particulièrement du Centre de Saint-Louis où une partie de ce stage a été effectuée.*

*Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont eu à contribuer à l'aboutissement de ce travail.*

*Je remercie particulièrement Monsieur Laurent Barbiero, chercheur au Laboratoire de Pédologie de l'IRD pour avoir initié et encadré ce travail.*

*Je remercie Monsieur Fary Diome, assistant à l'IST, pour avoir accepté de suivre ce travail au niveau de l'IST.*

*Je remercie également Monsieur Moustapha Dièye, chercheur pédologue au Centre de l'ISRA de Saint-Louis qui a bien voulu m'accueillir dans son équipe durant mon séjour à Saint-Louis.*

*A ces remerciements j'associe Monsieur Jean Luc Maeght pour son soutien sur le plan informatique*

*Enfin, je remercie toute l'équipe du Laboratoire de Pédologie de l'IRD : Diémé, Samba, Faye, Badiane,..., ainsi que mes camarades stagiaires: Adamou, Rufin, Florence, Thioub pour leur sympathie.*

## INTRODUCTION GENERALE

Dans les zones arides et semi-arides du monde, telles que les régions sahéliennes, l'agriculture irriguée constitue un recours pour les paysans face au déficit pluviométrique et au fort ensoleillement qui caractérise le climat dans ces régions. Cependant, le développement de l'agriculture irriguée s'il constitue un espoir pour les populations, peut être une menace pour l'environnement de ces régions du fait des dégradations multiples des sols qui peuvent en résulter, soit par salinisation, sodisation ou alcalinisation.

Depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, la superficie des terres agricoles touchées par la salinité ne cesse d'augmenter. Aujourd'hui 25 % des terres irriguées sont confrontées à ce problème.

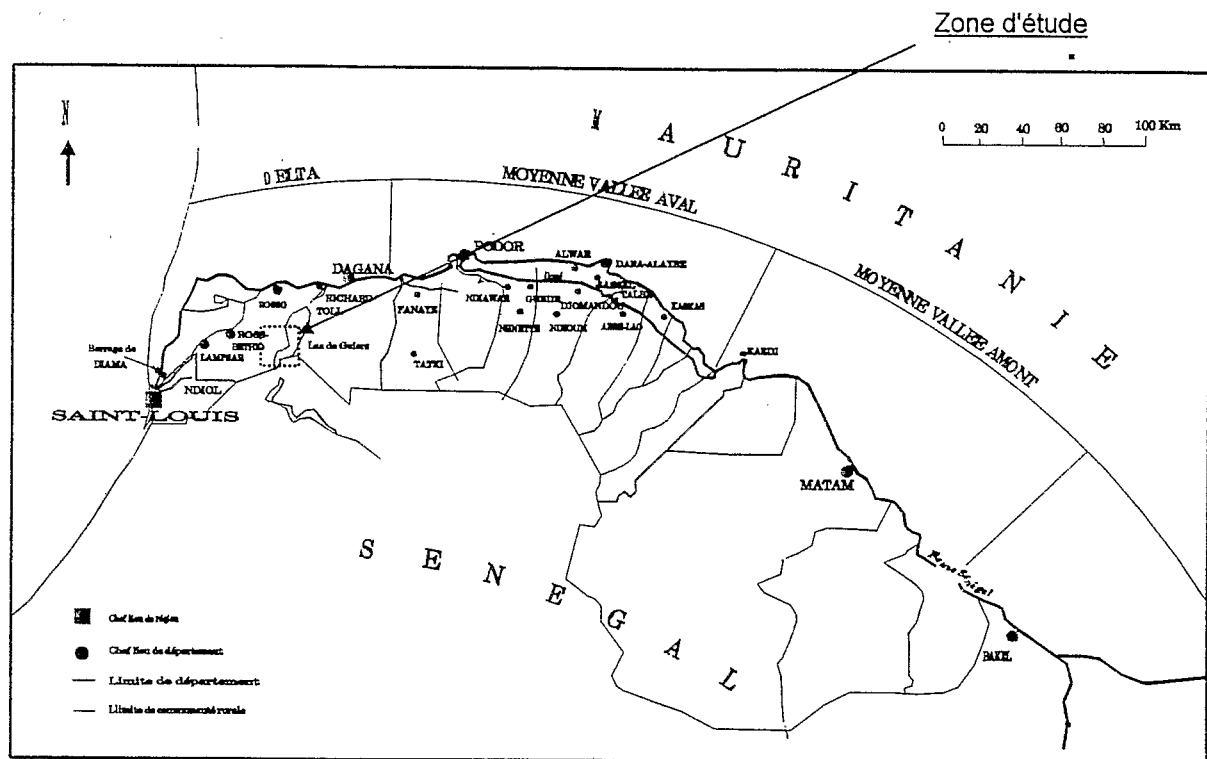
Au Sénégal, un million d'hectares soit 5% du territoire national voire plus est affecté par la salinité suite à des dégradations multiformes entraînées par la sécheresse qui y règne depuis 1971 d'une part et le développement d'une irrigation mal contrôlée provoquant l'apparition d'une salinité secondaire d'autre part (LOYER, cité par DIBA, 1995).

Dans le Delta du fleuve Sénégal qui offre plus de 60.000 ha de terres irrigables, la nappe phréatique est naturellement salée du fait des séquences de transgression et régression de l'océan Atlantique qui y sont déroulées (CUEPPENS & al, 1997). Durant la saison des pluies on assiste à une remontée de la nappe qui peut remonter jusqu'à moins de 1 mètre de profondeur.

Avec l'arrivée massive de nouveaux exploitants que connaît actuellement le Delta, il apparaît nécessaire de mettre sur pied un dispositif de suivi de l'état des sols et des eaux afin de pouvoir prévenir et par conséquent limiter les risques de dégradation des sols sous irrigation. C'est dans ce contexte que le projet PSI (Pôle Systèmes Irrigués) regroupant trois institutions de recherche : l'ISRA, le CIRAD et l'IRD, s'est proposé d'accompagner cette nouvelle dynamique en travaillant en milieu réel avec les paysans pour le transfert des technologies développées en station, le suivi de la dynamique des filières agricoles qui se créent et le suivi de l'évolution des sols mis en culture (DIEYE, 1996). C'est sur ce dernier point que s'inscrit l'étude que nous présentons dans ce rapport.

## Première partie : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### ①- Situation géographique



**Figure n°1** : Carte de situation de la vallée du fleuve Sénégal

(tirée de Boivin, 1995)

Le site étudié se trouve dans le Delta du fleuve Sénégal plus particulièrement dans le village de N'GNITH sur la façade ouest du lac de Guiers.

Le climat dans cette région est de type sahélo-saharien, il est caractérisé par l'alternance de deux saisons contrastées:

- . Une saison pluvieuse de courte durée appelée hivernage. Elle s'étale de Juillet à Août. Les précipitations sont faibles (300 mm) mais orageuses.

- . Une saison sèche qui couvre le reste de l'année.

Les vents continentaux violents et chauds en saison sèche sont appelés harmattan : leur vitesse maximale est de 50 km/h, ils sont très érosifs. Ces vents accentuent l'évapotranspiration et diminuent l'humidité relative (SEINY BOUKAR, 1983).

## ● - Géomorphologie

La figure n° 2 représente la carte de situation du Delta du Sénégal avec ces différentes unités géomorphologiques

Les grandes étapes de l'évolution géomorphologique de la Vallée et du Delta du Sénégal ont été précisé par P. Michel (1973). Le faciès géomorphologique se caractérise par la coexistence de deux grands ensembles nettement tranchés et d'âges différents:

- le modèle dunaire ("Diéri")
- l'ensemble des plaines alluviales ("Oualo").

Cinq phases principales ont présidé à la mise en place des sols de la vallée du fleuve Sénégal (Michel, 1973, cité par Seiny Boukar, 1983) :

### - *L'Ogolien* (- 21 000 à - 15 000 ans B.P.):

Durant cette phase, le climat a évolué vers l'aridité totale. L'action érosive intense du vent sur les sédiments marins de l'Inchirien a conduit à la formation d'ergs (dunes ogoliennes).

### - *Le Tchadien* (- 15 000 à - 7 000 ans B.P.):

Une nouvelle pulsation humide s'installe. Elle préside à la rubéfaction des dunes ogoliennes (d'où le nom de dunes rouges). Le fleuve entaille les cordons dunaires et se réinstalle dans son ancien lit. Pendant ce temps le modelé des dunes ogoliennes s'est peu à peu oblitéré: les cordons dunaires se sont abaissés, leur formes se sont émoussé progressivement par ablation du sable et colmatage des inter-dunes. Ces dunes sont maintenant fixées par une steppe arbustive et une savane arborée.

### - *Le Nouakchottien* (- 7 000 à - 4 200 ans B.P.):

Cette épisode est caractérisée par une abondance de dépôts sableux marins. Ces dépôts témoignent de l'existence d'une transgression qui a envahi toute la zone du Delta du Sénégal. La mer a atteint la cote + 2.5 m IGN, elle a envahi le continent et le système des dunes ogoliennes dans lesquelles elle pénètre par les interdunes en doigts de gant et constitue un golfe sur l'emplacement du Delta. La mer s'est avancée progressivement dans la vallée du Sénégal. Elle a occupé le sillon du lac de Guiers et remanié le sable des dunes rouges, puis la sédimentation est devenue lagunaire.

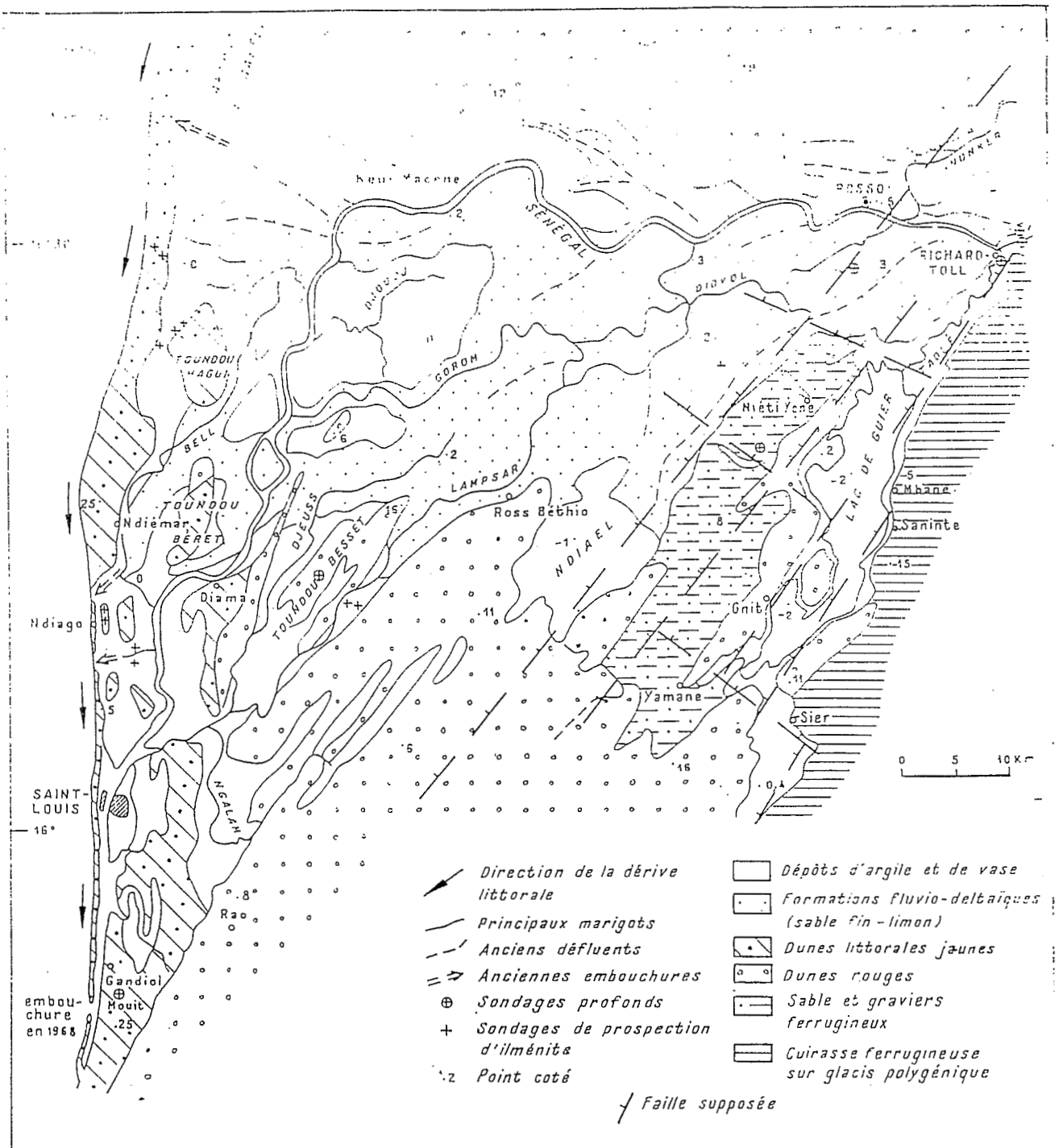


Figure n° 2 : Croquis géomorphologique et géologique du Delta du Sénégal

- *Le post-nouakchottien* : le Tafolien (- 4 200 à - 2 000 ans B.P.)

La transgression marine du Nouakchottien avait permis la pénétration des eaux salées dans le continent et le développement d'une flore spécialisée (mangrove). La phase aride du Tafolien se caractérise par l'exondation des terres, un régime évaporatoire intense se traduisant par la concentration des sels.

La mer se retire progressivement, les lagunes et les cuvettes qui s'étaient transformées en vasières marines sont alors alimentées par les crues du fleuve Sénégal et de ses défluent. Le transport différentiel des particules a conduit à la décantation des éléments les plus fins dans les cuvettes basses.

Une coupe transversale de la vallée permet de distinguer deux grandes unités (fig. n° 3):

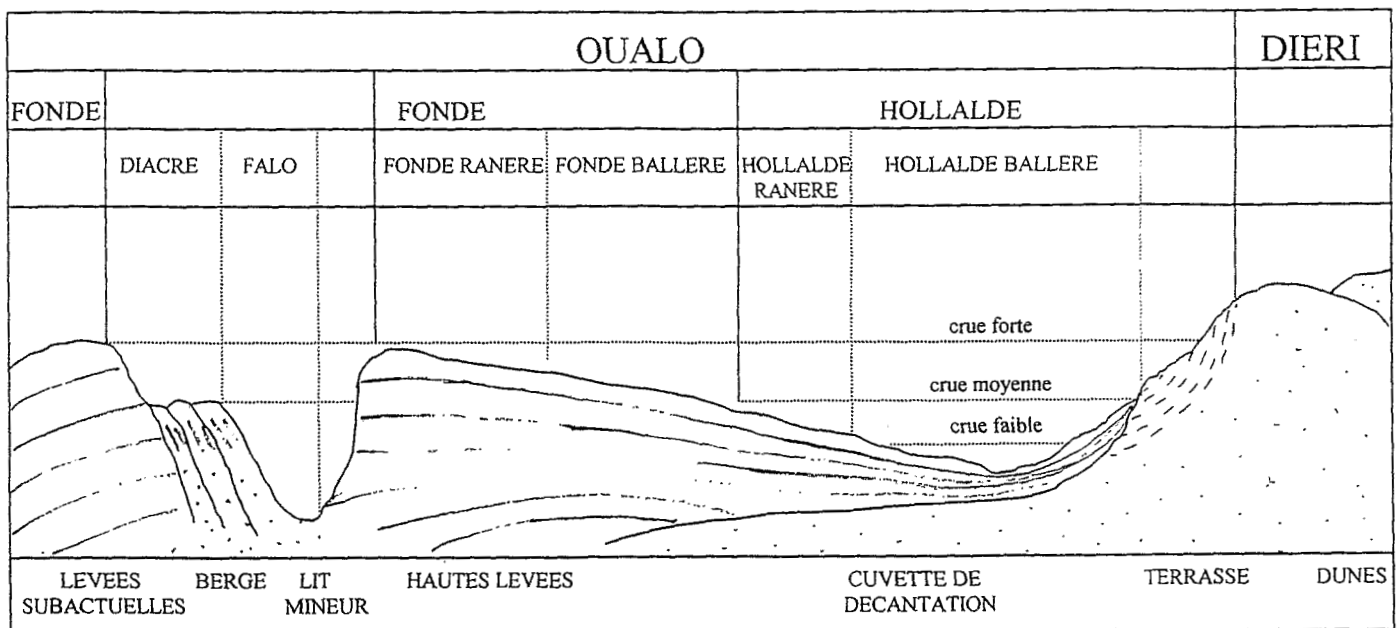


Figure n° 3 : Coupe schématisique de la vallée du fleuve Sénégal (Echelle côtes dilatées/distances)

( D'après Maynard, 1960)



### **Le Diéri :**

Il semble que ce relief dérive par remaniement et érosion de l'ancien et puissant massif dunaire mis en place au cours de l'Ogolien (Diaw, 1995).

### **L'ensemble des plaines alluviales du Oualo :**

Cet ensemble correspond aux formations du lit majeur mises en place par alluvionnement du fleuve, ses affluents et défluent. Ces formations constituent à l'heure actuelle la presque totalité des terres inondables. En fait cet ensemble regroupe des unités géomorphologiques différents correspondant à des niveaux topographiques différents et des sols différents ( Diaw, 1995 ).

Après la transgression du Nouakchottien, le fleuve Sénégal a construit par l'intermédiaire des crues annuelles un système complexe de levées fluviales. On distingue de manière globale les unités suivantes:

#### **⇒ *Les hautes levées :***

Elles correspondent souvent à des bourrelets de berge accompagnant les sinuosités du fleuve et qui forment un réseau complexe cloisonnant le lit majeur du fleuve. Elles sont caractérisées par leur côte élevée (généralement supérieure à 5 m).

#### **⇒ *Les petites levées :***

Elles se différencient des précédentes par leur côte relativement plus basse (3 à 3.5 m). Sous cette appellation on trouve les parties les plus basses des deltas de rupture de levées, les bordures de cuvette de décantation, les levées minces et aplaties d'anciens défluent qui traversent les cuvettes.

#### **⇒ *Les cuvettes de décantation :***

Ce sont les parties les plus basses du système de levées (côte généralement inférieure à 3 mètres). Régulièrement inondées par la crue du fleuve, elles sont le siège de la décantation des éléments fins après la crue.

### ③ - Les grands mécanismes de dégradations salines des sols soumis à l'irrigation:

La forte demande évaporatoire qui caractérise les zones arides et semi-arides entraîne une concentration des eaux en surface des sols. Il en résulte une précipitation des sels qui vont s'accumuler au fil du temps. De cette accumulation découlent des dégradations salines des sols qui peuvent se manifester au cours de la pédogenèse naturelle ou apparaître secondairement suite à l'irrigation (ILOU, 1995).

On distingue généralement trois types de dégradations salines en zone sahélienne:

- salinisation
- sodisation
- alcalinisation

Ces mécanismes peuvent s'associer différemment suivant les caractéristiques du milieu d'accumulation (ILOU, 1995).

#### ⇒ *La salinisation :*

La salinisation est l'ensemble des mécanismes suivant lesquels le sol s'enrichit en sels solubles et acquiert le caractère salé.

L'accumulation des sels dans le profil du sol, en quantité suffisante peut affecter ses aptitudes agronomiques (augmentation de la pression osmotique provoquant un stress hydrique de la plante). La salinité accentue ainsi les effets de la sécheresse par la limitation de prélèvement de l'eau par la plante.

#### ⇒ *La sodisation :*

C'est un mécanisme suivant lequel le sol s'enrichit en sodium échangeable ( $\text{Na}^+$ ) au détriment des ions  $\text{H}^+$  et des autres bases échangeables. L'augmentation relative de  $[\text{Na}^+]$  est la conséquence de la concentration de la solution du sol par évaporation ou du blocage du calcium sous forme de calcite.

La sodisation des sols est l'une des conséquences les plus dommageables et la plus répandue de l'irrigation en zone aride. Elle influe sur la perméabilité en favorisant le gonflement et la dispersion des colloïdes du sol et entraîne des problèmes de toxicité des plantes (ILOU, 1995).

### ⇒ *L'alcalinisation :*

L'alcalinisation se traduit par une augmentation du pH du sol suite à l'accumulation de bases faibles. Elle peut être d'origine naturelle ou due à une irrigation mal contrôlée.

Dans la vallée du fleuve Sénégal, personne n'a décrit de processus d'alcalinisation en dehors des zones situées sur le socle cristallin en amont .

Les eaux d'irrigation faiblement minéralisées présentent une alcalinité résiduelle calcite positive, c'est à dire un excès de carbonates (bases faibles) par rapport au calcium. La concentration de ces eaux par évaporation au cours de l'irrigation entraîne la précipitation de la calcite. Au fur et à mesure que les processus de concentration et de précipitation de la calcite se poursuivent, la teneur en calcium décroît alors que les carbonates s'accumulent. Ce processus pourrait entraîner l'élévation du pH d'où l'alcalinisation (ILOU, 1995). Un suivi de l'évolution des eaux d'irrigation paraît nécessaire pour éviter ce phénomène.

L'alcalinisation des sols entraîne la réduction de leur fertilité et par conséquent la chute des rendements des cultures.

## ④ - **Les processus de salinisation des sols dans le Delta du Sénégal:**

### ⇒ **Drainage interne des sols :**

Les sols du Delta particulièrement ceux aptes à la riziculture sont de type Hollaldé ou faux Hollaldé caractérisés par une capacité de drainage interne très faible. Du fait de l'évaporation élevée (5.5 mm / jour en contre saison froide et 8.5 mm / j en contre saison chaude), la concentration en sels de la lame d'eau augmente rapidement dans une parcelle sous culture. Si l'évacuation de ces sels par percolation est insuffisante la zone racinaire du sol est de plus en plus salée conduisant à une baisse du rendement de la culture. Pour éviter ce phénomène des systèmes de drainage profond peuvent être utilisés, mais cela nécessite des investissements colossaux. D'autre part, ces solutions sont techniquement difficiles à réaliser dans des sols de type lourd (CUEPPENS *et al*, 1995).

Les sols de type Fondé, plus légers (caractérisés par une percolation de 4 à 5 mm / j) sont aptes à évacuer les sels contenus dans l'eau d'irrigation par drainage interne (RAES *et al*, rapportés par CUEPPENS *et al*, 1995). Cependant l'agriculture sur ce type de sol nécessite une grande consommation en eau et peut donc contribuer à l'élévation de la nappe phréatique salée, ce qui augmenterait la quantité de sel remontée par capillarité.

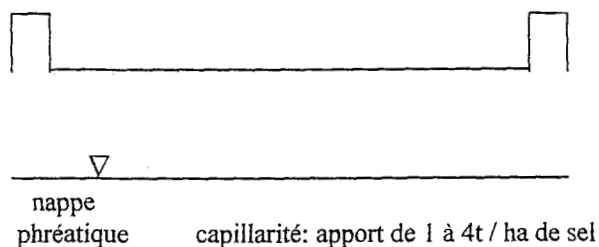
### ⇒ Capillarité :

La présence d'une nappe salée à faible profondeur ( $< 1 \text{ m}$ ) dans le Delta entraîne le transport des sels à la surface du sol par remontée capillaire. Ce phénomène a lieu généralement durant la période de jachère des parcelles. Il se manifeste dès que l'horizon supérieur des sols est sec. L'eau ainsi transportée à la surface du sol s'évapore en laissant tous les sels dans la zone racinaire (CUEPPENS et al, 1995).

Raes et al (95) ont pu simuler la quantité de sels apportée en surface par capillarité en admettant qu'une conductivité de  $100 \text{ ms / m}$  est équivalente de  $640 \text{ mg de sel / litre d'eau}$ . Cette quantité de sel est fonction du type de sol et du système de culture.

#### \* Hors campagne

évaporation: accumulation de sel dans le sol



#### \* En campagne:

évaporation: augmentation de la concentration en sel de la lame d'eau

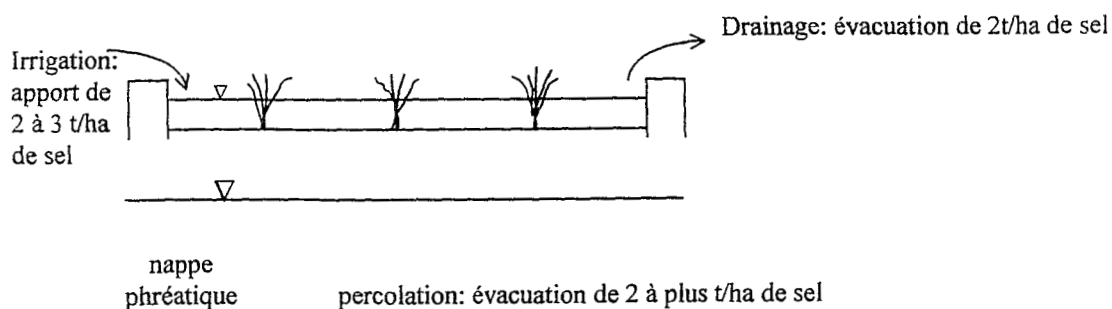


Figure n°3 : Schéma de flux d'eau et de sel durant une campagne (CUEPPENS et al, 1995)

## 2<sup>ème</sup> Partie METHODES D'EVALUATION DE LA SALINITE DES SOLS

Elles peuvent être classées en deux grands groupes :

### ① - Analyses au labo :

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 :

#### ⇒ Extraits pâte saturée :

Cette méthode a été mise au point par les chercheurs 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 efficiente pour la plante (LE BRUSQ et *al*, cité par DIBA, 1995).

Cette méthode est peu utilisée du fait de la difficulté de confection de la pâte et de l'extraction de la solution parfois impossible.

#### ⇒ Extrait non saturée :

Cette méthode consiste à mélanger l'échantillon de sol 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 d'où le nom d'extrait 1/n. Ce rapport est le même quelque soit la texture de l'échantillon.

Les extraits 1/n sont plus faciles à réaliser et permettent ainsi de faire un grand nombre d'analyses, ce qui est au contraire difficile voire impossible par pâte saturée.

LE BRUSQ et *al*, (1982) ont établi une relation empirique entre la conductivité de l'extrait de pâte saturée et la conductivité 1/n sur des sols du Delta du fleuve Sénégal :

$$\log (\text{Cté E.S.}) = \log (\text{Cté } 1/n) + a \log (\text{H.S.}) + b \quad (1)$$

Avec :

**H.S.** : humidité à saturation (%),

**a** et **b** : constantes qui dépendent du type de salure du sol

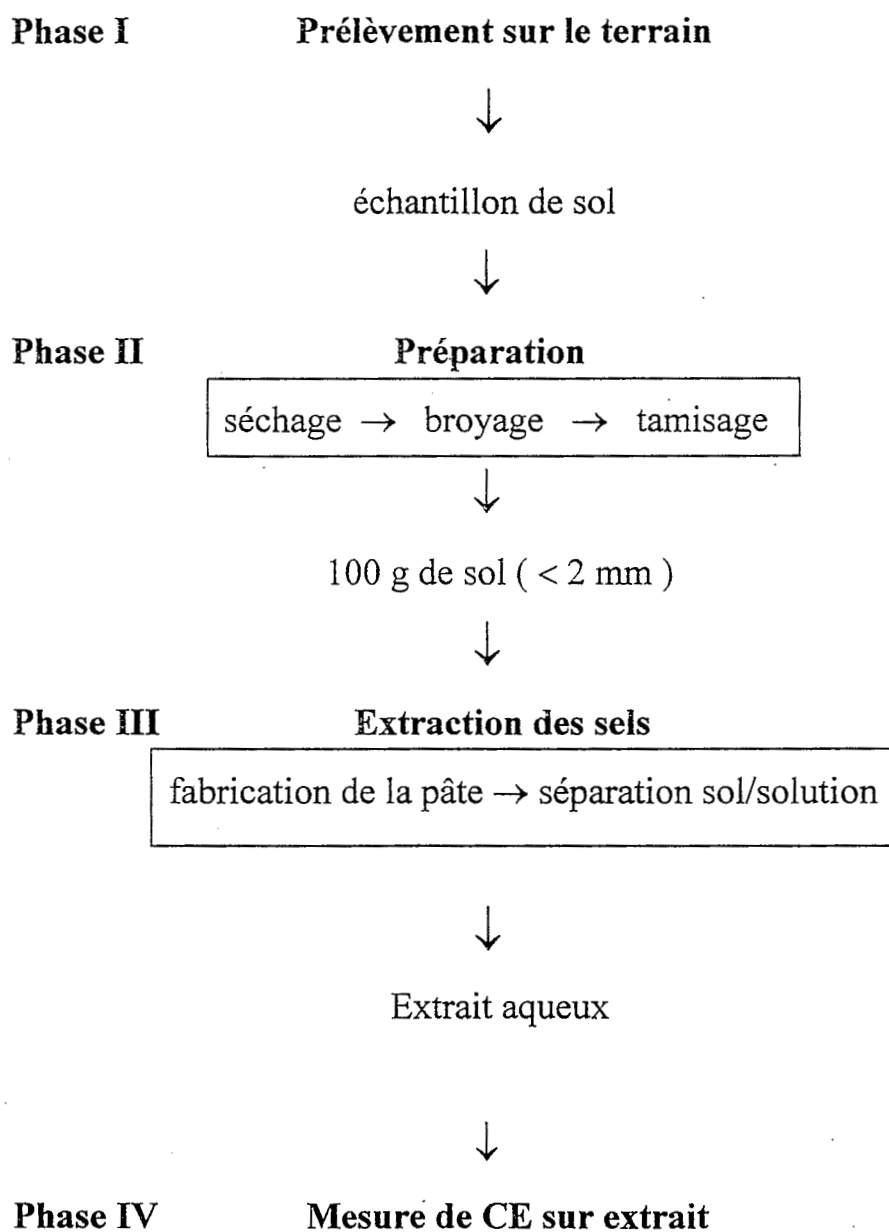


Figure n°4 : Schéma du protocole expérimental de la pâte saturé.

D'après DIBA (1995)

## ② - Mesures *in situ* :

### ⇒ La conductivimétrie électromagnétique :

La conductivité électromagnétique du sol est mesurée à l'aide d'un appareil appelé conductivimètre électromagnétique. Il mesure la conductivité apparente du sol jusqu'à environ deux mètres de profondeur. C'est un appareil très pratique qui s'utilise *in situ* sans perturbation du sol. Le sol est soumis à un champ magnétique de haute fréquence qui induit des courants d'autant plus intenses que le sol est conducteur. Le champ induit par ses courants est mesuré en retour.

### ⇒ La résistivité du sol :

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 disposés 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; cités par DIBA, 1995).

## ③ - Le conductivimètre électromagnétique (EM-38, Geonics LTD):

### 3.1 - Principe de fonctionnement:

C'est un appareil 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  $H_p$  de même fréquence qui induit des courants dans le sol supposé homogène. Ces courants produisent à leur tour un champ secondaire  $H_s$  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  $H_s$  et  $H_p$  selon la formule suivante:

$$\sigma_a = \frac{2(H_s / H_p)}{\pi f \mu_0 s^2} \quad (2)$$

Avec :

$\sigma_a$  = conductivité apparente du sol (mS/m : millisiemens par mètre)

$\mu_o$  = permittivité de l'air

$F$  = fréquence du courant primaire

$s$  = distance interspire

### **3.2 - Mesures de la conductivité électromagnétique:**

#### **3.2.1 - Position verticale et horizontale:**

Les mesures peuvent être effectuées de deux manières, soit en position verticale avec l'axe des spires perpendiculaire à la surface du sol, soit en position horizontale, l'axe des spires est parallèle à la surface du sol. Selon la configuration adoptée la contribution  $d\phi(z)$  à la mesure finale d'une couche  $dz$  située à la profondeur  $z$  ne sera pas la même.

Si on se place dans certaines conditions on peut tracer les courbes de  $d\phi(z)$  pour les  $z$  positions. Elles montrent qu'en mode horizontal, les 50 premiers centimètres de sol donnent une réponse relative plus grande que les couches profondes, alors qu'en mode vertical, elle est sensiblement égale. Ce qui veut dire que si le profil salin est décroissant avec la profondeur, alors la mesure en mode vertical sera inférieure à la mesure en mode horizontal et inversement.

#### **3.2.2 - Mesure en surface et en hauteur:**

En général, les mesures sont effectuées en posant l'appareil à la surface du sol. Cependant, il arrive que l'on prenne des mesures en maintenant l'appareil à une certaine hauteur du sol, ceci dans deux cas:

- Si la salinité est élevée c'est à dire si la CEM est supérieure à 1000 mS/m, la limite supérieure de la gamme de l'EM38, on fait les mesures en maintenant l'appareil à une hauteur inférieure à deux mètres au dessus du sol. On introduit alors entre le sol et l'appareil une couche d'air assimilable à une couche de conductivité nulle et d'épaisseur connue.

- En prenant une série de mesures à différentes hauteurs, en mode horizontal et en mode vertical il est possible d'obtenir une image de la stratification des horizons salés à condition qu'il y ait une nette différence entre les horizons (Mac NEILL, 1980, Geonics LTD, 1992; cités par CUNNAC,1996).



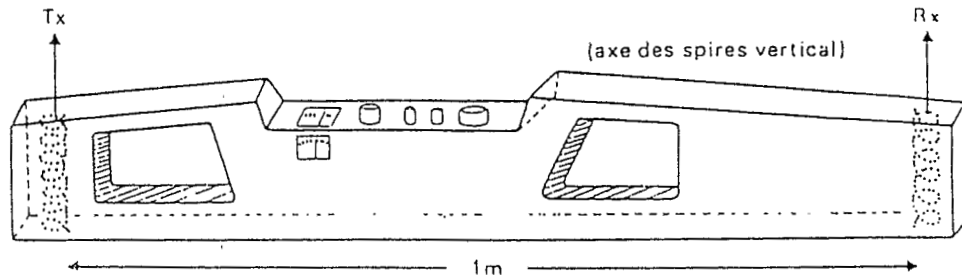


Figure n° 5 : Schéma du conductivimètre électromagnétique (EM 38 de Geonics):  
 Les dipôles des spires émettrices (Tx) et réceptrices (Rx) sont dans un plan vertical

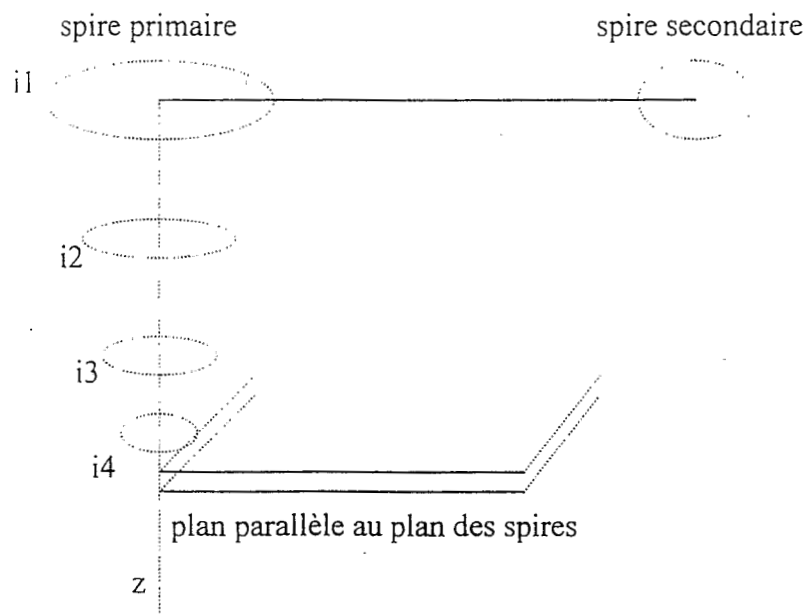


Figure n° 6 : Principe de fonctionnement de la conductivimétrie électromagnétique

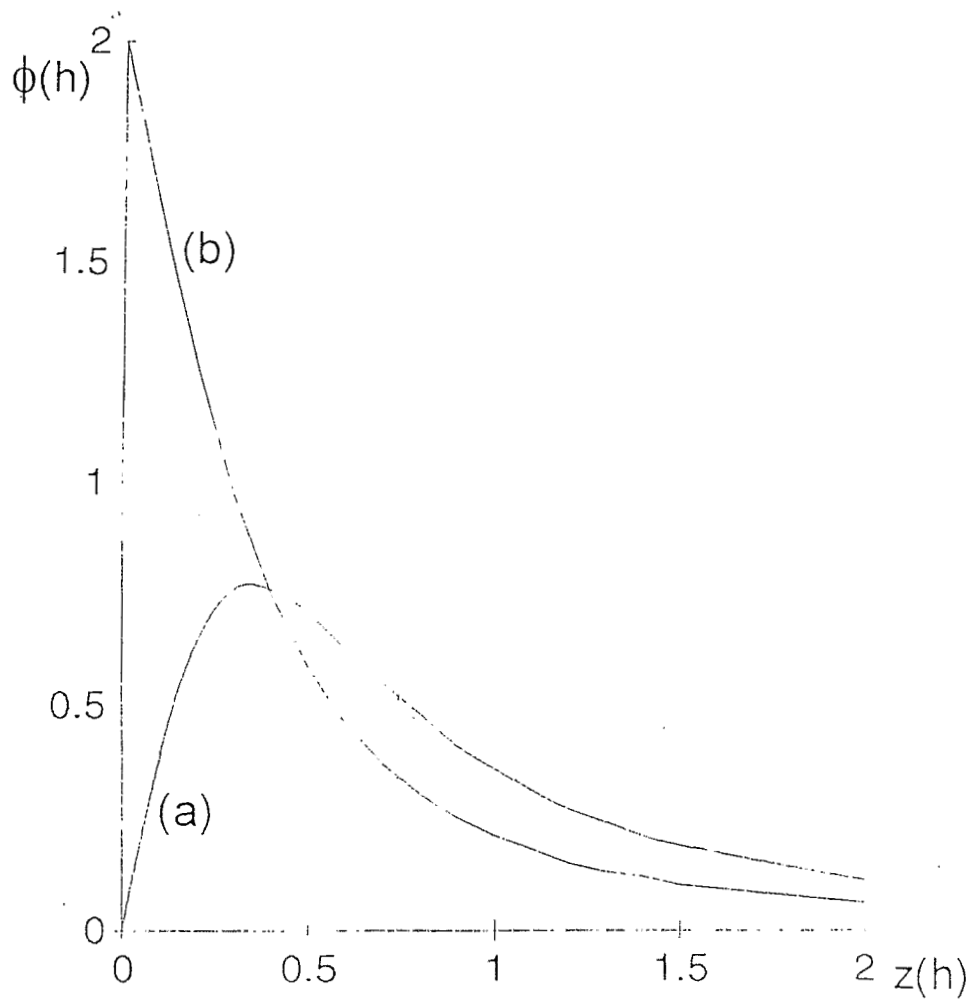


Figure n° 7 : Contribution d'une couche de sol élémentaire  $dz$  située à une profondeur normalisée  $z$  (en m) au champ secondaire  $H_s$  : (a) en mode vertical; (b) en mode horizontal (d'après McNEILL, 1986 cité par J.O. JOB et *al.*, 1987)

### 3.3 - Influence des paramètres pédologiques:

Certains paramètres pédologiques du sol peuvent influencer les mesures de CEM obtenues avec l'EM38. En effet l'appareil mesure le rapport  $H_s/H_p$  qui pour une même position initiale des spires dépend de la géologie des lignes de courant dans le sol, donc du volume exploré. Ce dernier varie avec la texture, la porosité et l'humidité mais aussi avec la conductivité propre du sol et celle du liquide interstitiel (JOB et al, 1987).

#### ⇒ Effet de la texture et de la porosité du sol:

JOB et al (1987) expliquent l'effet de la porosité et de la texture sur la conductivité totale du sol à travers la relation suivante:

$$\boxed{\frac{\sigma_x}{\sigma_l} = f^2} \quad (3)$$

$\sigma_x$  : conductivité totale du sol

$\sigma_l$  : conductivité du liquide interstitiel

$f$  : fraction de la porosité du sol occupée par le liquide interstitiel

Le rapport  $\sigma_x / \sigma_l$  augmente dans l'ordre pour les roches dures, les grès, les sables, les argiles. Plus la porosité est grande, plus l'effet de l'électrolyte qui remplit les pores est important.

L'équation montre aussi que la conductivité électromagnétique mesurée peut être très faible si  $f$  est petit, ce qui implique pour les sols peu salés de faire les mesures à taux d'humidité du sol élevé.

#### ⇒ Effet de l'humidité:

RHOADES et al (1976) ont développé l'expression de la variation de  $f$  avec l'humidité du sol:

$$\boxed{\frac{(\sigma_x - \sigma_s)}{\sigma_l} = \theta(a\theta + b)} \quad (4)$$

$\sigma_s$  : conductivité de surface dépendant de la teneur en argile  
et de la capacité d'échange du sol

$\theta$  : humidité volumique du sol

$a$  et  $b$  : coefficients de texture

La relation (4) montre qu'avec une salinité et une humidité faible l'influence de l'argile sur la valeur de la conductivité du sol est prépondérante. Au contraire, lorsque la salinité est forte, le rapport  $\sigma_s/\sigma_l$  reste faible et la conductivité du sol dépend plus de  $\theta$  et  $\sigma_l$  (RHOADES et *al*, 1976).

⇒ **Effet de la température:**

Les changements de température affectent la viscosité des liquides, donc le déplacement des ions dans la solution et par conséquent la conductivité du milieu. Le gradient est de 2 à 2.4 % par degré selon les électrolytes (ROBINSON et *al*, rapportés par JOB et *al*, 1987).

### 3<sup>ème</sup> Partie: CARTOGRAPHIE DE LA SALINITE DES SOLS

Il existe différentes méthodes de cartographie de la salinité des sols. La méthode classique généralement utilisée consiste à déterminer, à partir de quelques mesures de la conductivité électrique (CE) sur extrait aqueux, la valeur moyenne de la salinité d'une unité pédologique ou d'une parcelle. Cependant des travaux antérieurs sur la variabilité et les possibilités de cartographie numériques de la salinité révèlent que l'étude de la répartition spatiale des sels dans le sol par la mesure de la conductivité électrique (CE) sur extrait aqueux est difficile du fait de leur grande variabilité (DIBA, 1995). De plus la quantité de sel mesurée sur un échantillon ne peut pas être extrapolée à un grand volume de sol, la répartition spatiale des sels étant généralement très hétérogène. Or la cartographie des sols salés doit tenir compte de cette grande hétérogénéité.

Dans notre étude, pour évaluer la salinité du sol nous avons utilisé le conductivimètre électromagnétique EM38 (Géonics, LTD) dont nous avons déjà décrit le principe de fonctionnement .

#### **①. Méthodes employées sur le terrain:**

Le travail de terrain consistait à faire des mesures de CEM suivant une grille régulière à maille carrée de 20m de coté.

Comme matériel, nous disposions outre le conductivimètre EM38, d'une boussole, de 3 jalons, d'une corde de 20m et des piquets.

La parcelle que nous devons cartographier forme un rectangle de 400 mètres sur 100. Nous avons adopté comme plan d'échantillonnage une grille à maille de 20m de côté. Pour réaliser les mesures en suivant cette grille, nous avons d'abord délimité la parcelle avec deux rangées de piquets espacés de 20m suivant la direction est-ouest (qui correspond à celle de la disposition de la parcelle). Partant du premier piquet on vise le piquet correspondant avec une boussole suivant la direction nord (un jalon préalablement planté sur ce piquet nous sert de repère pour les visées), ensuite, en traversant le terrain suivant cette direction, on effectue des mesures tous les 20m au moyen de l'EM38. Arrivé au piquet, on se met sur le piquet suivant et on recommence la même opération suivant la direction sud, et ainsi de suite.

## ②. Résultats et discussions:

Les différentes valeurs de CEM recueillies avec le conductivimètre EM38 suivant le plan d'échantillonnage adopté nous ont permis de tracer la carte de salinité du site étudié. Pour cela, un traitement des données à l'ordinateur a été effectué à partir du logiciel WINSURFER.

Ainsi nous avons pu obtenir une carte montrant des courbes isovaleures de la conductivité électromagnétique (figure n°8). Cette carte visualise nettement la répartition et la variation de la salinité sur le site étudié.

On remarque sur cette carte que les plus grandes valeurs de CEM se concentrent vers l'Est plus que l'on s'approche du lac. De ce constat on pourrait imaginer une influence du lac sur les processus de salinisation des sols. Cependant il faudrait aussi tenir compte de l'influence que pourrait avoir la topographie et la nature du sol sur les valeurs de CEM mesurées.

HAMMECKER *et al* (1997) dans un rapport de mission du PSI portant sur l'installation d'un réseau de mesure piézométrique dans le même site ont pu décrire une toposéquence allant des dunes (dieri) au lac. Il distinguent la succession suivante:

- un horizon sableux fin d'une cinquantaine de centimètres d'épaisseur de couleur beige ocre
- un horizon de sable fin rougeâtre en surface puis d'une couleur plus ocre en profondeur
- un horizon de sable très foncé, avec des passées noires, renfermant d'abondants nodules ferrugineux
- un horizon de nodules ferrugineux pouvant atteindre une épaisseur supérieure à 1.50 m
- un horizon d'argiles verdâtres en surface puis très blanches (attapulgite) en profondeur.

De manière générale, ce profil se contracte en allant vers le lac (figure n°9), de la même manière qu'on note une augmentation des valeurs de CEM mesurées.

Ce constat montre que la variation de la CEM dans l'espace pourrait avoir un lien étroit avec celle de la toposéquence.

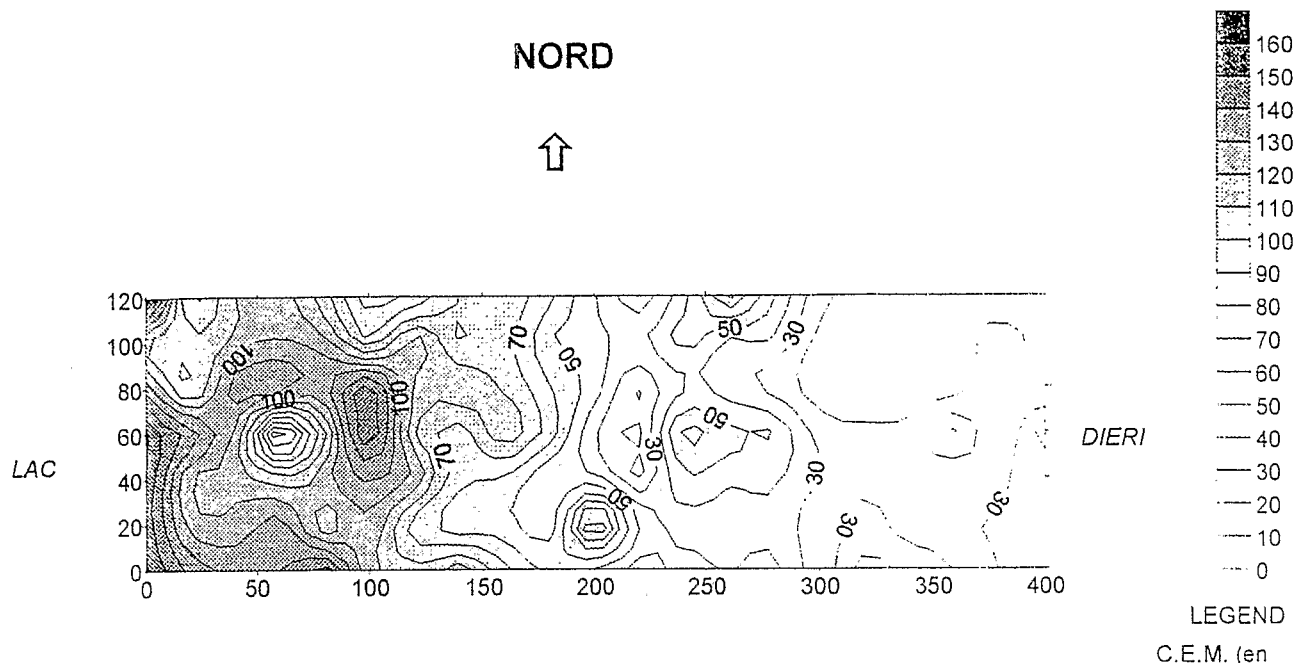


Figure n° 8 : Carte de salinité du site étudié

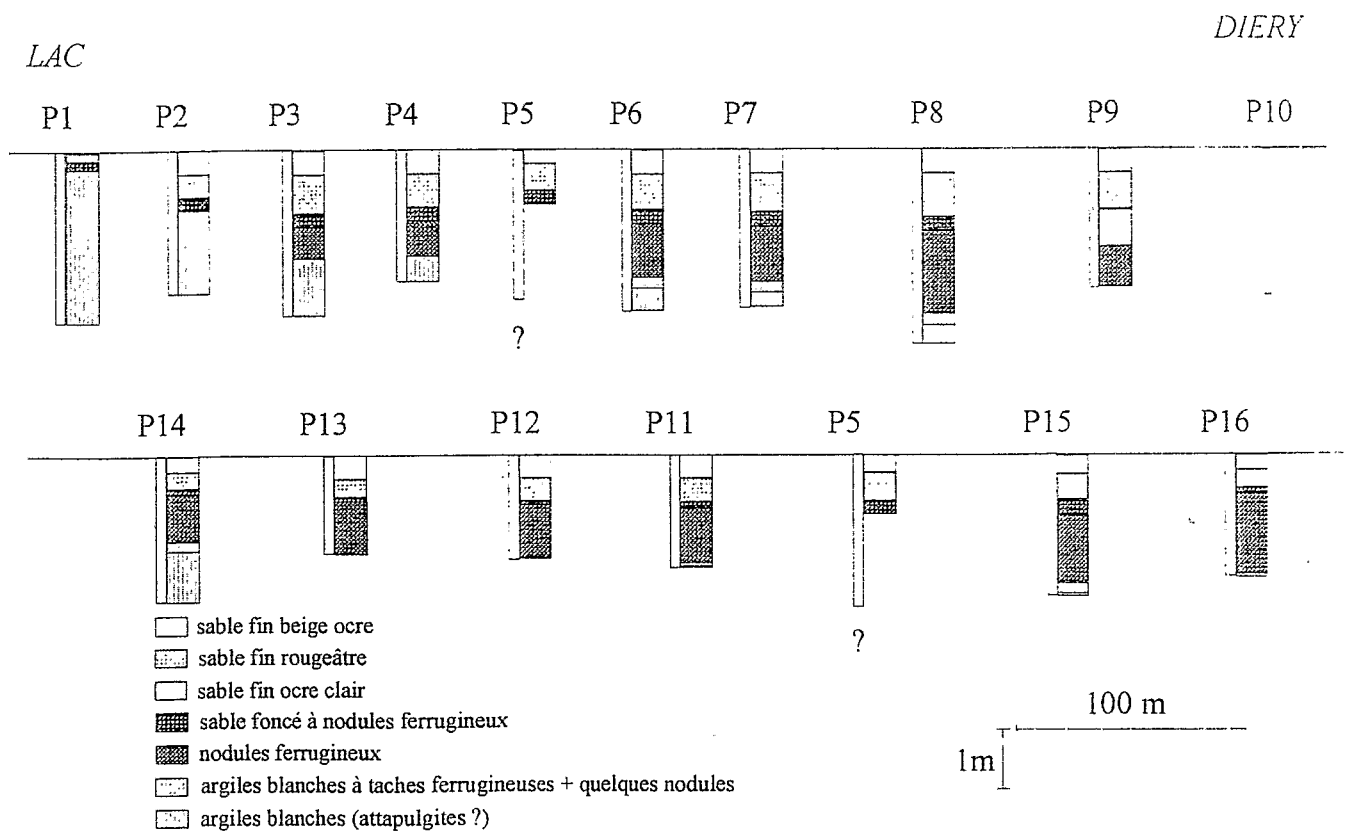


Figure n° 9: Profil piézométrique dans la zone de Ngnith

( Rapport de mission PSI - Laboratoire de Pédologie ORSTOM )

## CONCLUSION

L'utilisation du conductivimètre électromagnétique EM38 pour l'évaluation de la salinité des sols apparaît comme une méthode rapide et fiable. En effet, sa facilité de mise en œuvre et sa rapidité d'exécution, font de l'EM38 un outil performant pour la caractérisation des sols salés. Il permet ainsi de suivre l'évolution spatiale et temporelle de la salinité en temps réel et à moindre coût, ce qui justifie son utilisation de plus en plus fréquente pour la cartographie de la salinité des sols. Cependant, vue l'influence que peuvent avoir certaines paramètres pédologiques du sol sur les mesures de l'appareil, il serait plus prudent d'effectuer les mesures sur des sols présentant des humidités voisines.

Dans le cadre d'une campagne de cartographie portant sur une grande surface, l'emploi de la géostatistique dans le traitement des données peut permettre de dégager un maximum d'informations, en particulier d'estimer la CEM sur une surface donnée à partir d'un échantillonnage fragmentaire et ponctuel (Cunnac,1996).

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.

... □ ...



## Tableau des valeurs de conductivité électromagnétique mesurées

x et y : coordonnées des points de mesure (en m)

z : conductivité électromagnétique (en mS/m)

x	y	z	x	y	z	x	y	z
0	0	162.2	140	0	70.7	280	0	51.4
0	20	83	140	20	66.5	280	20	40.6
0	40	118.6	140	40	90	280	40	25.4
0	60	152.2	140	60	62.7	280	60	52
0	80	151.4	140	80	62.2	280	80	42.9
0	100	147.8	140	100	49.8	280	100	38.6
0	120	151.3	140	120	98.4	280	120	44.3
20	0	63.5	160	0	79.8	300	0	22.9
20	20	82.7	160	20	74.2	300	20	15.6
20	40	71.2	160	40	78.5	300	40	11.6
20	60	129.5	160	60	91.2	300	60	25.7
20	80	94.2	160	80	59.3	300	80	28.9
20	100	103.8	160	100	53.3	300	100	21.7
20	120	127.7	160	120	73.1	300	120	22.9
40	0	89.9	180	0	62.8	320	0	15.6
40	20	92.7	180	20	48.1	320	20	16.6
40	40	120.3	180	40	60.1	320	40	12.3
40	60	100.1	180	60	66.4	320	60	22.7
40	80	98.8	180	80	37.9	320	80	27.3
40	100	102.6	180	100	39.2	320	100	35.9
40	120	117.6	180	120	57.5	320	120	45.1
60	0	95.8	200	0	41.1	340	0	15.3
60	20	99.6	200	20	45.1	340	20	16.5
60	40	125.5	200	40	47.8	340	40	9.2
60	60	84	200	60	30.7	340	60	24
60	80	88.7	200	80	40.9	340	80	27.5
60	100	118.3	200	100	114	340	100	21.3
60	120	118.2	200	120	46.3	340	120	37
80	0	75.4	220	0	20.4	360	0	22.7
80	20	94.8	220	20	38.6	360	20	13.5
80	40	107.1	220	40	16.7	360	40	14.9
80	60	73.7	220	60	17.6	360	60	42.7
80	80	99.8	220	80	13.3	360	80	22.9
80	100	76.3	220	100	50.1	360	100	29.6
80	120	137.5	220	120	33.6	360	120	29.6
100	0	43.2	240	0	44.3	380	0	10.3
100	20	56.8	240	20	58.4	380	20	27.1
100	40	143.4	240	40	38.6	380	40	25.7
100	60	144.8	240	60	68.6	380	60	19.3
100	80	112.1	240	80	50.8	380	80	29.2
100	100	100.9	240	100	36.9	380	100	31
100	120	92.1	240	120	44.3	380	120	29.6
120	0	51.2	260	0	85.1	400	0	15.4
120	20	100.6	260	20	33.9	400	20	16.5
120	120	82.5	260	120	39.1	400	120	19.6

## BIBLIOGRAPHIE

CUEPPENS J., WOPERIS M., MIEZAN K.M. (1997) - Soil Salinisation Process in Rice Irrigation Schemes in Senegal River Delta. Soil Sci.Soc.Am. J. 61:1122-1130.

CUEPPENS J., WOPERIS M., KANE A. (1995) - Etude de la salinité à Thiagar, utilisation d'un conductivimètre électromagnétique. Bultein Technique n° 10, SAED/DPDR, Saint-Louis, Sénégal, 29 p.

CUNNAC S. (1996) - Etude de la variabilité spatiale de la salinité des sols des futurs périmètres irrigués du Marigot Ngalenka (Sénégal) . Rapport de stage de fin de Première année supérieure de l'Ecole Supérieur d'Agriculture PURPAN, 30 p. + Annexes

DIAW I. (1995) - Caractérisation d'un sol halomorphe du Delta du Fleuve Sénégal, Fertilisation du riz aux engrais minéraux. Mémoire d'ingénieur de l'Institut des Sciences de la Terre de l'UCAD, n° d'ordre 045/IST/94, 57p.+Annexes.

DIBA M. (1995) - Analyse comparée de deux méthodes d'évaluation de la répartition spatiale de la salinité des sols: la pâte saturée, la conductivimétrie électromagnétique. Mémoire d'ingénieur IST de l'UCAD, n° d'ordre 051/IST/95, 51p.+Annexes.

DIEYE M. (1996) - Caractérisation des sols du Dièri sur la façade Ouest du Lac de Guiers. Rapport analytique ISRA/FLEUVE.

GEONICS LTD. (1992) - Geonics EM38 ground conductivity meter. Operating manual (for EM38 models with digital readout), Mississauga, Canada.

HAMMECKER *et al.* (1997) - Installation d'un réseau de mesure piézométrique à Ngnith. Rapport de Mission PSI.

ILOU A. (1995) - Evolution des sols irrigués de la moyenne vallée du Fleuve Sénégal. Mémoire d'ingénieur IST de l'UCAD, n° d'ordre 055/IST/95.

JOB J. O., LOYER J. Y., AILLOUL M. (1987) - Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo., Vol XXIII, n°2, pp.123-131.

LE BRUSQ J. Y., LOYER J. Y. (1982) - Relations entre les mesures de conductivité sur des extraits de sols de rapport sol/solution variables, dans la vallée du Fleuve Sénégal. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo., Vol XIX, n° 3 pp. 293-301.

LOYER J. Y. (1989) - Les sols salées de la basse vallée du Fleuve Sénégal. Caractérisation. distribution sous cultures. Etudes et Thèses. Editions de l'ORSTOM. 137p.

Mc NEILL J. D. (1980) - Electromagnetic conductivity terrain measurement at low induction numbers. Technical note n° TN-6, Geonics Ltd, Mississauga, Canada.

MICHEL P.(1973) - Les bassins du Fleuve Sénégal et Gambie, Etude géomorphologique. Mémoire ORSTOM, 3 Tomes, ed. ORSTOM Paris

RHOADES J. D., VAN SCHILFGRAADE J. (1976) - An electrical conductivity Probe for determining soil salinity. Soil Sci. Soc. Am., 40 : 647-650.

SEINY-BOUKAR L. (1983) - Les sols de la cuvette de Nder (lac de Guiers - Sénégal): Caractéristiques et principaux aspects de leur mise en valeur agricole. In Problématique de l'environnement et du développement sahélien. Université de Dakar (Sénégal) pp 197-204.