

**SUIVI DE L'ÉVOLUTION DE LA SALINITE DES TERRES
DANS LE PERIMÈTRE IRRIGUE DE SIDI-SAAD (KAIROUANNAIS)
PREMIERS RESULTATS DE MESURE DE CONDUCTIVITE
ELECTROMAGNETIQUE**

Par : J. O. JOB, M. MOHDI, M. HACHICHA (Août 1989)

E-S 255

07 FEV. 1991

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 31.295 ex1
Cote : B

p 30

SUIVI DE L'EVOLUTION DE LA SALINITE DES TERRES

DANS LE PERIMETRE IRRIGUE DE SIDI-SAAD (KAIROUANNAIS)

Premiers résultats de mesure de conductivité électromagnétique.

J.O. Job[°] , M. Mohdi^{°°} , M. Hachicha^{°°°}

Août 1989.

- ° Mission ORSTOM , 18 rue Charles Nicolle 1002-Tunis.
- °° Ministère de L'Agriculture , CRDA , Kairouan.
- °°° Ministère de l'Agriculture , Direction des sols, Tunis.

Suivi de l'évolution de la salinité des terres
dans le périmètre irrigué de Sidi-Saad

Premiers résultats de mesure de conductivimétrie électromagnétique

note liminaire: Cette note présente les premières mesures qui ont été faites en 1988 et 1989 sur le périmètre de Sidi Saad en vue de suivre l'évolution de la salinité et suggère les mesures à faire pour la suite de l'étude.

1- Environnement géographique

Le périmètre de Sidi-Saad est situé à soixante kilomètres au Sud-Est de Kairouan et à six kilomètres à l'Ouest de Nasr Allah dans la partie Nord-Ouest des Basses Steppes de Tunisie Centrale. Il se trouve dans l'étage aride supérieur à hiver tempéré suivant la classification d'Emberger. Le déficit climatique mesuré par (P-ETP(Turc)) y est négatif toute l'année avec un total de 1065 mm par an en moyenne. L'ETP(Penman) calculée avec des conditions de vent faibles à moyennes est de 1542 mm (Riou 1980 , in Bahri 1982).

2-Hydrologie de surface

La Plaine est parcourue par les oueds Zeroud , Marguellil et Nébhana. Le bassin du Zeroud avec ses affluents l'oued Hatab au Nord et l'oued Hadjel au Sud couvre 8500 km² à Sidi-Saad. A la suite des inondations catastrophiques de 1969 un barrage de retenue sur le Zeroud a été construit entre les djebels Nara et Touila. Ce barrage doit protéger la ville de Kairouan des inondations , permettre une recharge contrôlée de la nappe et assurer l'irrigation de quelques 4000 ha de terres au niveau de Sidi-Saad.

Les eaux de l'oued Zeroud sont salées (2,5 à 4,5 g/l) , en grande partie à cause de son affluent l' Oued Hadjel qui acquiert une salinité importante en traversant la plaine d'épandage de Sidi Bou Zid .

3- Le périmètre irrigué de Sidi-Saad.

Le périmètre est réalisé en deux tranches: une première tranche couvre 1200 ha, dont 735 gérés par la SODASS (Société de Développement Agricole de Sidi Saad) a été mise en culture depuis septembre 1987. Une deuxième tranche prévoit l'irrigation de 2800 ha supplémentaires.

L'alimentation en eau se fait par conduite forcée à partir du barrage et redistribution souterraine aboutissant à des bornes doubles desservant 12 hectares en moyenne. L'ensemble du périmètre est divisé en quatre secteurs gérés séparément. A la suite de ces deux dernières années de sécheresse, l'eau titre actuellement à peu près 4 g/l en été.

Les sols sont des mélanges d'alluvions du Zeroud et de l'oued Akreb pour la partie haute du périmètre et de colluvions du djebel Cherahil. (fig.1).

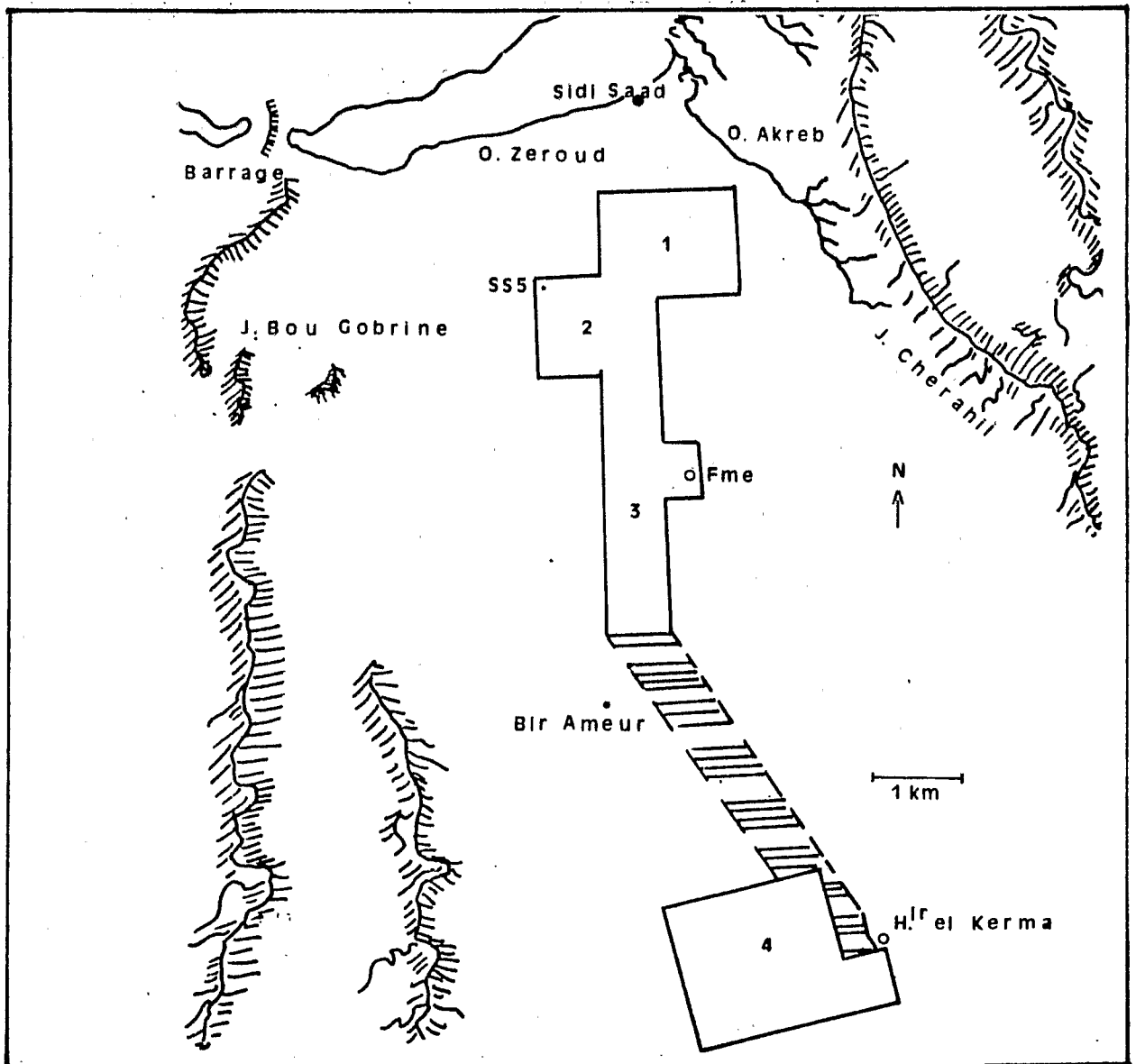


Fig.1- Périmètre de Sidi Saad . Situation topographique

La Garaet Saad qui est la partie en aval du périmètre est formée de sols lourds à tendance vertique très salés. Sur le périmètre même, les sols sont soit des sols peu évolués d'apport soit des sols isohumiques (MOHDI 1975). Leur texture est sableuse dans la partie haute en bordure de l'Oued Akreb à limono-argileuse dans la partie basse, en bordure de la Garaet Bhira. Le dénivelé d'Est en Ouest est d'une dizaine de mètres.

4- Principe de l'étude

Un suivi de la salinité dans le périmètre a été décidé pour voir l'effet de eaux chargées sur la teneur en sels des sols. Pour cela , deux parcelles témoins ont été choisies suivant les études pédologiques antérieures (Mohdi 1975):

4.1- Une parcelle à haut risque sur des sols limono-argileux à tendance vertique en bordure de la Garaet Saad à l'extrême Nord-Ouest du périmètre (borne 112-0, parcelle SS5). Elle n'est pas représentative de l'ensemble mais présente des risques maximum. C'est la plus salée actuellement (2 à 3 mS/cm d'extrait au dixième).

4.2- Une parcelle représentative sur des sols à texture équilibrée. (borne 143S, étude en cours).

Quelques mesures ont été faites sur les sols sableux du haut du périmètre utilisés pour l'arboriculture et le maraîchage d'été . Elles ont indiqué une salinité négligeable et des risques minimes.

La méthode utilisée pour suivre l'évolution de la salinité des sols est la représentation cartographique annuelle de la salinité des sols mesurée par conductivimétrie électromagnétique (CEM en abrégé). On mesure une conductivité apparente globale entre 0 et 200 cm qui dépend de la salinité propre des sols, de la porosité , des sels dans la solution du sol et de l'état d'humidité au moment de la mesure. Cette mesure est notée CEV ou CEH suivant la géométrie des lignes de courant utilisée (Mc Neill 1980). On se place dans les conditions pour lesquelles les profils hydriques de tous les points de la parcelle sont identiques. C'est le cas quelques jours après une irrigation bien conduite. On mesure alors les quantités moyennes de sels comprises soit entre 0 et 120 cm , soit entre 0 et 200 cm de profondeur.

Les deux parcelles choisies seront cartographiées tous les ans pendant quatre ans . Chaque année une carte des salinités en saison sèche sera publiée.les cartes sont tracées automatiquement après krigeage des valeurs de CEM qui sont des variables régionalisées (Job , 198 , Boivin 198). Le logiciel utilisé est GEOSTAT (Boivin 198).

Le protocole de mesure a été décrit par ailleurs (Job 1985 , Job et Hachicha 1989). Ne seront donc présentés ici que les résultats des mesures préliminaires faites sur tout le périmètre : étalonnage , effet de l'humidité ainsi que la cartographie de la salinité de la première campagne de mesure sur la parcelle SS5.

5- Effet de l' humidité sur la conductivité électromagnétique.

5.1- mesures sur sols argilo-limoneux.

Une surface de 1 m² sur laquelle des mesures avaient été faites en fin de saison sèche et en fin de saison des pluies a été inondée et ressuyée pendant quatre jours . Le tableau 1 présente les mesures de CEM, associées à celles d'humidité pondérale du sol , avec:

- $\theta(p)$: moyenne des humidités pondérales de 0 à p cm de profondeur.
- CEDIX : conductivités de l'extrait de sol au dixième.
- CEDIX° : moyenne des CEDIX de 0 à 120 cm de profondeur.
- CEDIX°° : moyenne des CEDIX de 0 à 200 cm de profondeur.
- CEV : mesure de CEM au niveau du sol en mode vertical.
- CEH : mesure de CEM au niveau du sol en mode horizontal.

Tab.1- Mesures permettant de quantifier l'effet de l'humidité sur les mesures CEV et CEH (parcelle 112E).

num	$\theta(120)$	CEDIX°	CEH	CEV	CEDIX°°	$\theta(200)$
SC4	25,6	2,53	200	215	2,10	21,0
SC5	23,3	2,70	130	150	2,20	19,0
SC1	20,4	2,09	150	175	1,86	17,0
SC2	15,8	2,44	105	150	2,07	14,0

Pour évaluer l'effet de l'humidité du sol sur la mesure , il faut rapporter les valeurs de CEV et CEH à une même salinité du profil par une correction linéaire (Tab.2 et Tab.3). La référence choisie est la valeur de la conductivité électrique au dixième dont on fait la moyenne sur les premiers 120 cm de sol , soit 2,42 mS/cm pour les mesures en mode horizontal et jusqu'à 200 cm de profondeur, soit 2,05 pour les mesures en mode vertical . Les corrections sont alors:

$$CEH(2,43) = CEH * CEDIX^\circ / 2,43 \quad \text{et} \quad CEV(2,05) = CEV * CEDIX^\circ / 2,05$$

Tab.2- Valeurs de CEH et CEV rapportées à la valeur moyenne du profil.

état hydrique	SC3	SC4	SC5	SC1	SC2
CEH(2,43)	210	192	117	175	105
CEV(2,05)	195	215	150	185	150

A partir des valeurs du tableau n°2 on tire:

$$CEH(2,43) = 7,6 * \theta \quad (1) \quad \text{avec: } r=0,78 \cdot n=5 \quad \text{et } 15 < \theta_p < 25$$

et:

$$CEV(2,05) = 8,36 * \theta - b \quad (2) \quad \text{dans l'intervalle : } 15 < \theta_p < 20$$

Ces deux équations permettent de ramener les mesures de CEH et CEV à une humidité commune dans l'intervalle considéré. Ce calcul doit être fait pour établir la relation entre les mesures de CEM et la salinité propre du sol.

5.2- mesures sur sols à texture équilibrée.

Les mêmes mesures ont été faites sur des sols à texture équilibrée, plus représentatifs de l'ensemble des sols du périmètre.

Tab.3- Mesures permettant de quantifier l'effet de l'humidité sur les mesures CEV et CEH (parcelle 147NO).

num	$\theta(120)$	CEDIX°	CEH	CEV	CEDIX°°	$\theta(200)$
CI2	22,1	0,45	105	105	0,48	20,0
CI3	22,1	0,39	83	90	0,41	21,7
CI4	21,2	0,37	75	88	0,37	21,1
CI1	18,3	0,35	52	60	0,42	17,1
moy.	20,9	-	-	-	0,42	-

de ces mesures , on déduit:

$$CEH(0-120) = 7,57 * \theta - 79 \quad (3) \quad r=0,96 \quad CEDIX=0,4 \quad \text{et} \quad 18 < \theta_p < 22$$

$$CEV(0-200) = 7,80 * \theta - 70 \quad (4) \quad r=0,91 \quad CEDIX=0,42 \quad \text{et} \quad 17 < \theta_p < 20$$

Ces équations sont valables pour un type de sol donné ,une fourchette d' humidité donnée et un niveau de salinité donné. Elles ne permettent pas d'établir la relation générale de la forme $CEDIX = aCEM + b(\theta_p) + c$ qui servirait quelle que soit l'état hydrique du sol. Elles ne fournissent en effet que deux points expérimentaux, ce qui n'est pas suffisant.

6- étalonnage sur l'ensemble du périmètre.

Il faudrait déterminer deux autres couples de mesures à des valeurs d' humidité et de salure différentes . En attendant, on peut donner une approximation pour l'ensemble du périmètre avec les résultats présentés dans le Tableau 4 , soit respectivement:

$$CEDIX = 0,0052 CEH + 0,1 \quad (5) \quad \text{avec} \quad \theta_p = 11,3 \% \quad n=6 \quad r=0,818$$

équation calculée avec les points pour lesquels $10 < \theta_p < 17$, et:

et:

$$CEH(0-120) = 4,13 \theta_p - 11,21 \quad (6) \quad \text{avec} \quad CEDIX=0,38 \quad n=15 \quad r=0,935$$

pour $10 < \theta_p < 23$.

Ces résultats ont été obtenus avec des points ayant une grande diversité de profils hydriques et une faible valeur moyenne de salinité (Tab.4). Dans ces conditions, l'effet de l'humidité est prépondérant comme le confirme d'ailleurs la forte corrélation entre CEH et θ_p .

Tab.4- Mesures de θ_p , CEV et CEH sur l'ensemble du périmètre.
(entre parenthèses le n° du secteur correspondant).

point	θ_p	CEDIX	CEV/CEH	CEV/CEH	CEDIX	θ_p	point
B11(4)	8,6	0,38	23 - 10	88 - 75	0,37	21,2	C14 (4)
B1 (4)	10,8	0,34	38 - 28	87 - 70	0,34	12,8	A11 (2)
H1 (4)	8,5	0,30	26 - 18	90 - 83	0,41	21,7	C13 (4)
H2 (4)	9,2	0,30	48 - 32	90 - 75	0,36	14,0	A11 (2)
C11(4)	18,3	0,35	60 - 52	92 - 60	0,51	12,5	B21 (4)
P4 (2)	11,0	0,41	65 - 40	100-105	0,45	22,0	C12 (4)
P3 (2)	10,5	0,30	65 - 50	125- 95	0,43	23,0	P1 (2)
P2 (2)	16,0	0,45	65 - 50	130- 80	2,44	16,0	SC2 (2)
P3 (2)	10,5	0,30	65 - 50	150-130	2,70	23,3	SC5 (2)
H3 (4)	14,0	0,37	66 - 48	185-150	2,26	21,0	SC1 (2)
P5 (2)	16,0	0,45	80 - 75	195-210	2,42	25,0	SC3 (2)

On voit que la plupart des valeurs se trouvent au voisinage de 0,4 mS/cm d'extrait au dixième.

7- profils salins.

Sur le périmètre , l'ensemble des mesures de CEM est très dispersé. Les profils salins sont tous croissants en profondeur avec une remarquable homogénéité d'allure dans tout le périmètre:

$$CEH = 0,807 * CEV - 0,803 \quad (7) \quad r=0,966 \quad n=174$$

Il y a un gradient général croissant du haut vers le bas du périmètre, soit des textures grossières vers les textures fines.

8- relations entre les conductivités des extraits

L'extrait au dixième a été choisi car il dissous facilement les sels et il est rapide à faire. On rapporte sa conductivité à celle de l'extrait saturé, utilisé comme référence . Pour 47 mesures englobant toutes les textures du périmètre, on trouve:

$$CESAT = 9,04 * CEDIX + 0,79 \quad (8) \quad \text{avec: } r = 0,87 \quad \text{et } 0,2 < CEDIX < 0,8$$

$$\text{soit, en combinant (6) et (8): } CESAT = 0,05 * CEH + 1,69$$

Cette dernière équation donne approximativement la salinité en termes d'extrait saturé au moment de la prospection ($\theta_p = 11\%$).

3- évolution de la salinité de mai 1988 à mai 1989.

Cette étude ne concerne que la partie la plus salée du périmètre (parcelle 1120, partie Ouest, Fig.2a et 2b).

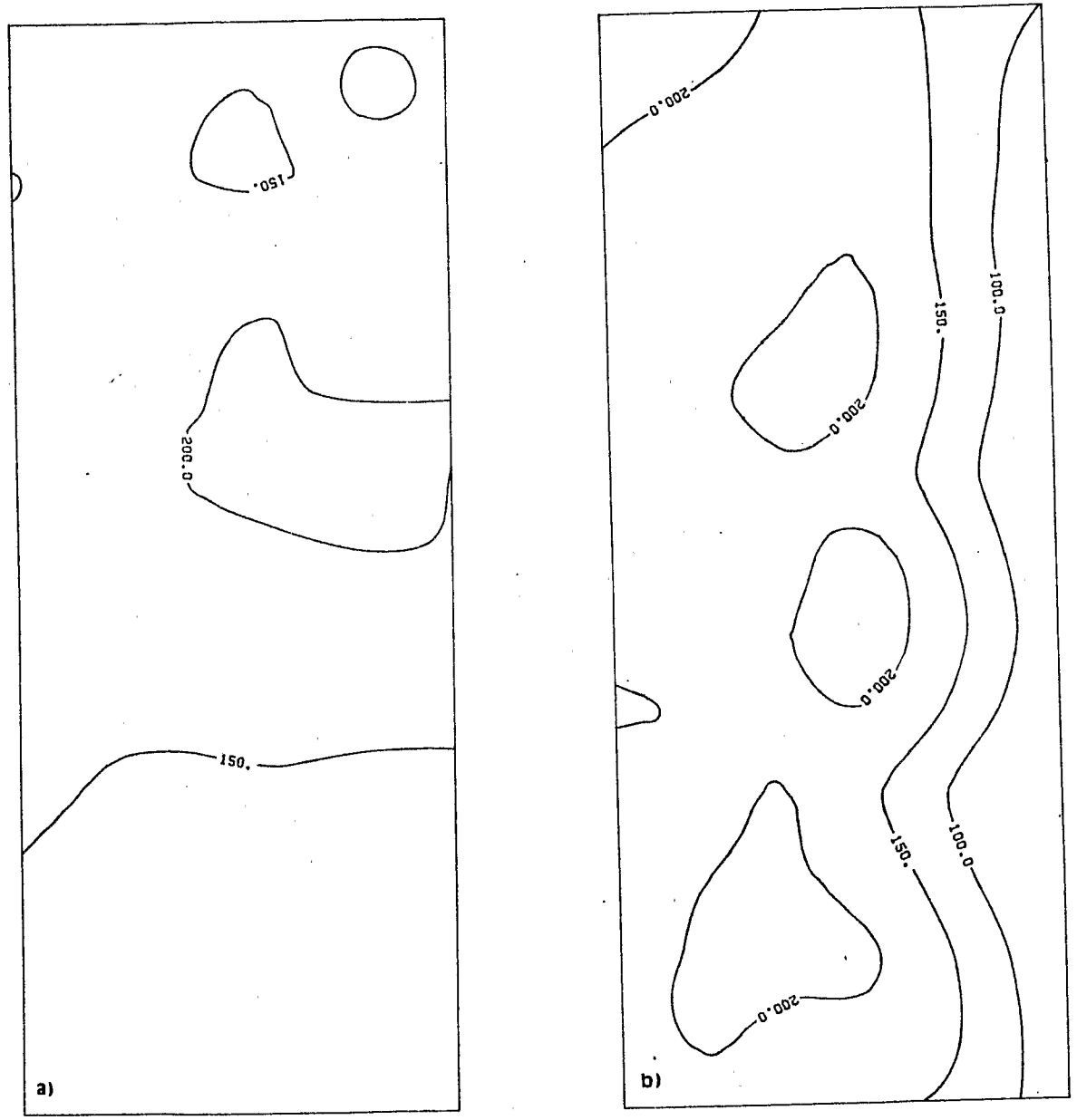


Fig.2-Carte des isosalinités de la parcelle 112-Ouest:
a) en juin 88 et b) en mai 89.

Les résultats des mesures en mode horizontal sont les suivants:

Tab.5- Valeurs moyennes de CEH et écart type σ .
Parcelle 1120 (2ha).

année	n	CEH(11,3)	$\theta_p\%$	σ	θ moyen
juin 88	52	157	8 à 16	60	11,3
mai 89	74	164	8 à 18	60	14,0

Les valeurs rapportées dans le tableau 5 sont ramenées à l'humidité moyenne de 11,3 % . On voit qu'il n'y a pas eu de variation significative de la salinité apparente globale entre 1988 et 1989 et qu'il n'y a pas eu de drainage en dehors des 120 premiers cm de sol . L'examen des cartes obtenues par krigeage des valeurs de CEH montre que l'irrigation a cependant étalé vers les valeurs basses les mesures de salinité médiane.

10- conclusions

Les premiers résultats acquis sur le périmètre de Sidi Saad permettent de tirer les conclusions suivantes:

1- Il n'y a pas de variation notable de salinité sur la parcelle observée , qui a été cultivée en blé pour la première fois en 1988.

2- La salinité du périmètre étant en général assez faible, l'effet de l'humidité sur la mesure de conductivité électromagnétique est important.

Il convient donc dans la suite de l'étude:

- d'abord de calculer les relations $CEH=f(\theta_p)$ pour $\theta_p < 10\%$.

- ensuite de faire des points d'étalonnage pour des valeurs de conductivité d'extrait au dixième (CEDIX) comprises entre 0,4 et 2,4 mS/cm.

Bibliographie

- Bahri Akissa 1982- Utilisation des eaux et des sols salés dans la plaine de Kairouan (Tunisie). Th., Doc., Ing., CRGR/INP Toulouse , 156 p.
- Ben Hassine H., Hachicha M., Job J.O., Loyer J.Y., 1988- La conductivimétrie électro-magnétique: application au suivi de la salinité des sols des périmètres irrigués de Tunisie. Rapport multigr., ORSTOM/DS Montpellier, 22 p.
- Job J.O., 1985- La conductivimétrie électromagnétique. Etalonnage sur les sols salés du Sénégal. Rapp., multigr., ORSTOM Centre de Montpellier , 20 pp.
- Job J.O., Hachicha M., 1989- Logiciels de bases de données et cartographie automatique de la salure globale des sols. Journées sur l'informatique appliquée à l'étude des sols salés, 28 juin 6 juillet , Direction des sols , Tunis.
- Job J.O., Loyer J.Y., Ailoul M., 1988- Utilisation de la conductimétrie électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. Cah., ORSTOM, sér., Pédol., vol. XXIII, n°2, p:123-131.
- Mohdi M., 1975- Etude pédologique de : Bled Sbitha El-Haouareb , Sidi-Saad Sidi-Kheder. ES-495 , DRES , division des sols, TUNIS, 30 p. multigr.