

Direction des Sols de TUNISIE

S/Direction de la Recherche
et de l'Expérimentation

Institut Français de
Recherche Scientifique
pour le Développement
en Coopération
(ORSTOM)

" La Conductivité Electro-magnétique "

Application au suivi de la salinité des sols des périmètres irrigués de TUNISIE

Convention ORSTOM - Ministère de l'Agriculture de TUNISIE.



Le barrage de Sidi Saad, vue aval

H. BEN HASSINE
M. HACHICHA
J.O. JOB
J.Y. LOYER

Juillet 1988

Direction des Sols de TUNISIE

**S/Direction de la Recherche
et de l'Expérimentation**

**Institut Français de
Recherche Scientifique
pour le Développement
en Coopération
(ORSTOM)**

" La Conductivité Electro-magnétique "

**Application au suivi de la salinité des sols
des périmètres irrigués de TUNISIE**

Convention ORSTOM - Ministère de l'Agriculture de TUNISIE.

**H. BEN HASSINE
M. HACHICHA
J.O. JOB
J.Y. LOYER**

Juillet 1988

AVANT PROPOS

Le présent rapport comprend le compte rendu de la mission effectuée en Tunisie par J.O. JOB et J.Y. LOYER pédologues ORSTOM dans le cadre de la convention particulière ORSTOM Ministère de l'Agriculture de Tunisie, ainsi qu'un rapport technique concernant les résultats des mesures réalisées au cours de la tournée de terrain (rédigé par MM. H. BEN HASSINE, Chef d'arrondissement des sols à Mahdia, M. HACHICHA, chef de service de la Recherche et de l'Expérimentation, J.O. JOB et J.Y. LOYER).

Ont également participé à tout ou partie des mesures sur le terrain, MM. BELKACEM, M. BRANSIA, B. GUELLALLI, DS. KHALFALLAH, R. LEFEVRE, F. MAALEJ, M. MOHDI, R. PONTANIER, L. SEYNI-BOUKAR, A. SOUISSI, Mme N. BEN ZINA.

RESUME

- Le but de la mission était de présenter une méthode d'évaluation de la salinité des sols par conductivimétrie électromagnétique et de tester dans les conditions de la Tunisie son application à la cartographie de la salure des périmètres irrigués du territoire.

- La présentation de l'appareillage a d'abord fait l'objet d'un séminaire à Sidi Thabet organisé par la Direction des sols. Puis quatre études de cas représentatifs ont été réalisées sur le terrain avec la collaboration des ingénieurs des laboratoires d'arrondissements de la Direction des Sols :

- Périmètre de Sidi Saad (Kairouan),
- Périmètre de Zelba (Mahdia),
- Périmètre de Hazeg (Sfax),
- Périmètre de Sebala ben Amar (Tunis).

au total plus de 700 mesures ont été réalisées au cours de la tournée soit sur la totalité de chaque périmètre, soit sur des parcelles représentatives (Cf rapport technique).

- la facilité de mise en oeuvre de l'appareillage par rapport aux mesures habituelles avec prélèvements, la rapidité de la mesure qui est immédiate, la sensibilité de l'appareil même aux faibles salinités, l'appréhension d'une salinité globale permettant de s'affranchir du problème de variabilité spatiale, font de cette méthodologie une technique bien adaptée au suivi simultané d'un grand nombre de périmètres irrigués dans le cadre d'un réseau national de surveillance de la salinité des sols.

RAPPORT DE MISSION EN TUNISIE

J.O. JOB - J.Y. LOYER

30 mai 1988 au 15 juin 1988

Dans le cadre de la convention particulière Direction des sols/ORSTOM une opération de mise en place d'un réseau de surveillance de la salinité dans les périmètres irrigués de Tunisie a été proposée. A cet effet une mission de démonstration d'une méthodologie nouvelle de mesure de la salinité par conductivimétrie électromagnétique a été effectuée en Tunisie.

La mission a comporté :

1 - Présentation de la Méthodologie :

La méthodologie et les résultats déjà obtenus ont été présentés lors d'un séminaire sur la salinité organisé par la Direction des sols à Sidi Thabet. L'application sur le terrain a été faite sur le site de Sebala ben Amar en basse vallée de la Medjerdah.

2 - Périmètres de démonstration :

Des essais d'application sur quatre périmètres irrigués présentant des risques de salinisation : Sidi Saad (gouvernorat de Kairouan), Zelba (gouvernorat de Mahdia), Hazeg (gouvernorat de Sfax), Sebala ben Amar (gouvernorat de Tunis), au cours desquels plusieurs études de cas ont été réalisées, ainsi qu'une initiation à cette technique des ingénieurs pédologues tunisiens responsables des différents laboratoires d'arrondissements de la Direction des Sols (MM. MOHDI, BEN HASSINE, BRANSIA, HACHICHA, MAALEJ). Les essais ont été faits sur les périmètres suivants :

Sidi Saad (pluviométrie moyenne 250 mm) : 1 200 ha de terres irriguées à partir de l'eau du barrage, titrant 4 à 5 g de sel par litre-sols de texture variable, absence de nappe, bon drainage externe (pente 2-3 %) - mise en culture Sept. 87 - irrigation par submersion-aspersion.

- . Cartographie de la salinité sur les 786 ha exploités par la SO.DA.SS (174 points de mesure, 10 points d'étalonnage en sec et en irrigué).

- . Cartographie fine d'une parcelle à risque sur sols lourds (104 points de mesure sur 5 ha).

Zelba (pluviométrie moyenne 250 mm, 90 mm en 1987) : petit périmètre villageois de 60 ha - sols homogènes sur limon à nodules - pente nulle - irrigation gravitaire à partir de l'eau d'un forage (4 g/l environ, SAR 14) - un réseau de drainage - absence de nappe superficielle.

- . Caractérisation large de la salure sur l'ensemble du périmètre (50 points de mesure).

- . Cartographie fine d'une parcelle représentative de 3 ha (286 points de mesure - 7 points d'étalonnage en sec et en irrigué).

- . Cartographie fine de la parcelle de simulation (400 m²) (68 points de mesure - 1 point d'étalonnage).

Hazeg (pluviométrie moyenne 200 mm) : parcelles villageoises irriguées à partir de puits de surface avec des eaux à salinité variable (1 à 10 g/l) - sols homogènes de texture équilibrée - pas de drainage naturel ni de nappe superficielle - mise en culture ancienne avec augmentation sensible de la salinité des eaux ces dernières années.

. Mesures sur une séquence de 3 km depuis la mer vers l'intérieur des terres (50 points de mesure sur parcelles paysannes irriguées, et prélèvement d'eau à chaque puits).

Sebala ben Amar (pluviométrie moyenne 450 mm) : périmètre destiné à l'irrigation avec les eaux usées de Tunis - sols lourds plus ou moins salés à l'origine - réseau de drains ouverts - nappe très salée (> 20 mS/cm) peu profonde (2 m environ).

. Choix et cartographie fine d'une parcelle représentative non encore irriguée (54 points de mesure et 4 points d'étalonnage).

Au total plus de 700 mesures ont été effectuées en mode horizontal et mode vertical. L'ensemble des résultats est consigné dans le rapport technique détaillé. Ils ont été dépouillés au cours d'une séance de travail avec les pédologues de la Direction des Sols : étalonnage, coefficient d'humidité, saisie et traitement des données par logiciel Geostat (MM Hachicha, Bransia, Ben Hassine et Mme Ben Zina de l'INAT).

3. - Réunions et visites :

- Mr Mansour Bouraoui, Commissaire Régional au Développement Agricole du Gouvernorat de Kairouan. Présentation des problèmes liés à l'irrigation de la région.
- Mr Béchir Guellali, Président Directeur Général de la Société de Développement Agricole de Sidi Saad (SO.DA.SS) ; présentation du périmètre et problèmes de salinité.
- Mr Habib Sekma, Commissaire Régional au Développement Agricole du Gouvernorat de Sfax ; problèmes liés à l'irrigation et à la salinité.
- Mr M'Hiri, Professeur de Pédologie à l'INAT et Mme Ben Zina : présentation du projet proposé à la CEE.
- Mr Kalfallah, Sous Directeur de la Recherche et des Expérimentations à la Direction des Sols : état des mesures et poursuite des travaux sur la salinité.
- Mr Souissi, Directeur des Sols, Mme Naana, S/Directeur des laboratoires, Mr Kalfallah S/Directeur de la Recherche et de l'Expérimentation, Mr Hentati, S/Directeur de la cartographie des sols. -
- Mr Lefèvre représentant de l'ORSTOM en Tunisie. Réunion finale bilan des travaux et perspectives de collaboration pour l'exécution du programme "sols salés" de la convention particulière. Stage de formation de deux ingénieurs de la Direction des Sols à Montpellier (juillet 88). Missions complémentaires fin 88.

4. - Conclusion

Au cours de la mission la méthodologie de mesure de la salinité des sols par conductivimétrie électromagnétique a été testée dans des conditions très diversifiées. Elle a montré dans tous les cas la sensibilité de la réponse de l'appareil même aux faibles salinités et sa capacité à déterminer immédiatement l'intensité relative de la salinité et l'allure du profil salin des sols (profils ascendants et descendants). La rapidité de la lecture permettant de s'affranchir de la lourdeur des mesures traditionnelles avec prélèvements, et l'appréhension globale et non plus ponctuelle de la salinité présentent des avantages par rapport aux mesures habituelles sur extraits de sol.

Une évaluation quantitative de la salinité peut être effectuée après un étalonnage approprié selon les grands types de texture et d'humidité rencontrés. La maîtrise de ces facteurs ainsi que d'autres qui n'ont pu être abordés au cours de cette mission (sols à croûte gypseuse, sols à nappe) fait de cet appareil une méthode de choix pour le suivi de la salinité dans le cadre d'un réseau national de surveillance des périmètres irrigués du territoire à l'aide d'équipes bien formées aux mesures et aux dépouillements.

- RAPPORT TECHNIQUE -

LE PERIMETRE DE SIDI SAAD

1. PRESENTATION

Les sols du périmètre de Sidi Saad situés en bordure ouest de la plaine de Kairouan et sur la face ouest du Djebel Cherchil, sont différenciés sur le glacis d'épandage de ce dernier. Ils présentent une variation texturale assez régulière de grossière à fine depuis la partie haute du glacis (Est du périmètre) jusqu'à la Garaa située en contrebas et formée lors des inondations de 1969 (ouest du périmètre). Dans leur état initial avant leur mise en valeur par irrigation dans le cadre du projet, ces sols sont sains et ne présentent des caractères de salure que dans la partie NE correspondant à une zone anciennement cultivée en coton (M. Mohdi, Etude pédologique 1973).

Aujourd'hui 1 200 ha sont réservés à l'irrigation, dont 786 dans le cadre du projet SO.DA.SS, à partir des eaux du barrage de Sidi Saad. Le problème posé est de cerner l'influence de ces eaux saumâtres issues de l'oued Zeroud et titrant 2 à 4 g/l de sels selon la saison, sur la qualité des sols du périmètre et après 1 à 2 années de mise en eau selon les parcelles.

2. METHODOLOGIE DE L'ETUDE.

Le niveau de salure des sols a été mesuré par conductivimétrie électromagnétique (CEM) en mode vertical (CEV) et en mode horizontal (CEH) à deux échelles sur l'ensemble des parcelles et sur une parcelle choisie pour les risques de salinisation maxima :

2.1. L'ensemble des parcelles exploitées par la SO.DA.SS, rassemblées pour les besoins de l'exploitation des données, en quatre secteurs géographiques traités séparément représentent 786 ha (voir fig.1). Les différences texturales rencontrées ainsi que les différences d'état hydrique dues à une exploitation par plusieurs types de spéculations, ont conduit à effectuer plusieurs étalonnages sur l'extrait 1/10 pour cerner l'influence de ces facteurs sur la réponse de l'appareil. Au total six points d'étalonnage ont été prélevés jusqu'à 120 cm, répartis entre 20 et 160 mS/m de CEH représentant la gamme des conductivités horizontales rencontrées sur le périmètre. Deux points ont été humectés au voisinage de la capacité de rétention pour le calcul du coefficient d'humidité :

$$f = 0,76$$

Toutes les mesures des parcelles irriguées (humidité moyenne 15,4 %) ont été ramenées à la mesure en sec moyenne (11,3 %) utilisée pour calculer l'équation d'étalonnage de la mesure par conductivimétrie magnétique en mS/m à partir de la conductivité de l'extrait aqueux 1/10 en mS/cm mesurés sur les 120 premiers cm de sol.

Equation d'étalonnage moyenne sur l'ensemble du périmètre :

$$CE (1/10) = 0,0052 CEH + 0,100$$

$$\text{avec } r = 0,818.$$

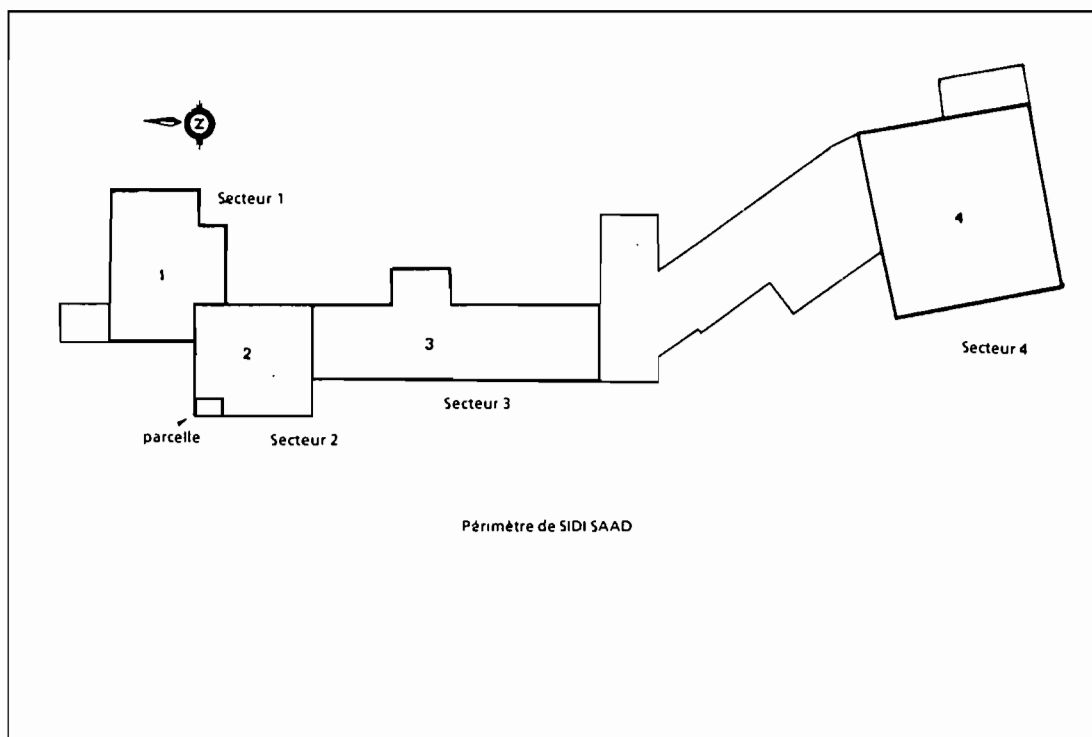


fig.1 : Sidi Saad plan de situation des quatre secteurs et de la parcelle (échelle approximative 1/80 000)

2.2. Une parcelle représentative des risques maxima de salinisation compte tenu de sa texture a été choisie et analysée en détail du point de vue salinité (parcelle 112 NW située dans le secteur 2 du périmètre). Sur les 5 ha de la parcelle 104 points de mesure ont été effectués sur 8 transects espacés de 25 m (soit une mesure pour 480 m²).

3. RESULTATS GENERAUX.

3.1. **Etat général de la salinité sur le périmètre** : l'ensemble des mesures est très dispersé (coef. de variation de 50 %) à cause de l'hétérogénéité de la texture et de l'occupation des sols. On observe un gradient général de salinité croissant de l'Est vers l'Ouest, soit des sols à texture grossière vers les sols à texture moyenne et fine. Les profils salins verticaux sont tous à salinité croissante en profondeur avec une remarquable homogénéité dans tout le périmètre (voir fig.2).

3.2. **Répartition par secteur** : la différence de salinité majeure sur 1,20 de sol entre les secteurs est la suivante :

secteur	CEH (mS/m)	n	CE 1/10 (mS/cm)	CV %
3	30	53	0,25	63
1	31	20	0,26	52
4	40	45	0,31	40
2	62	20	0,42	80

3.3. Echelle de salinité : pour cette étude, nous avons retenu l'échelle de salinité suivante, calibrée sur les mesures en mode horizontal (en mS/m).

de 0 à 50 : faiblement salé de 50 à 100 : moyennement salé
de 100 à 150 : salé de 150 à 200 : fortement salé.

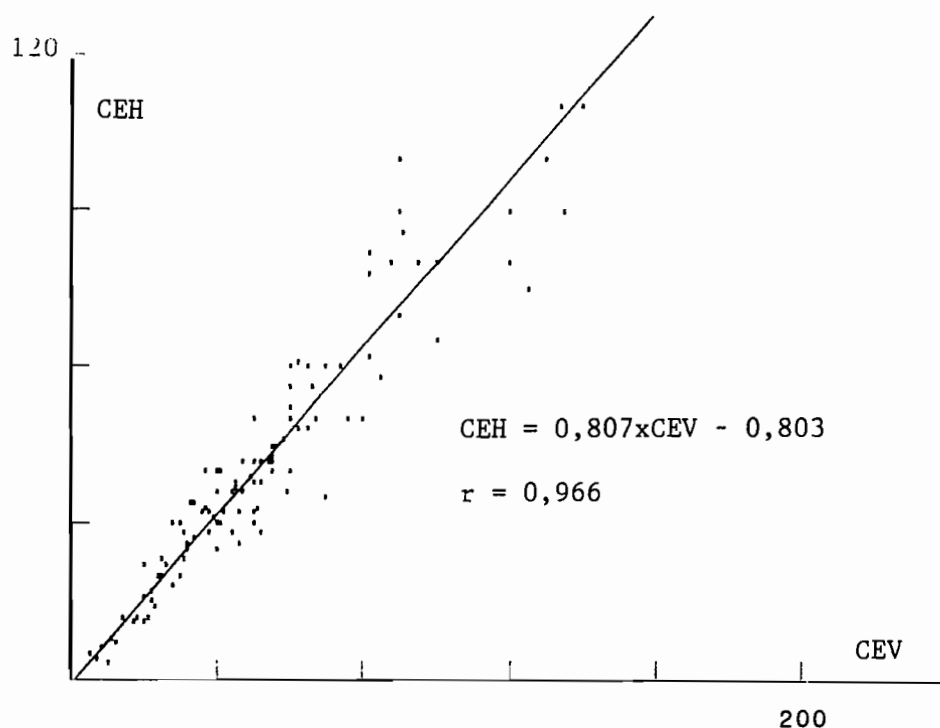


fig.2. Périmètre de Sidi Saad : corrélation entre CEH et CEV.

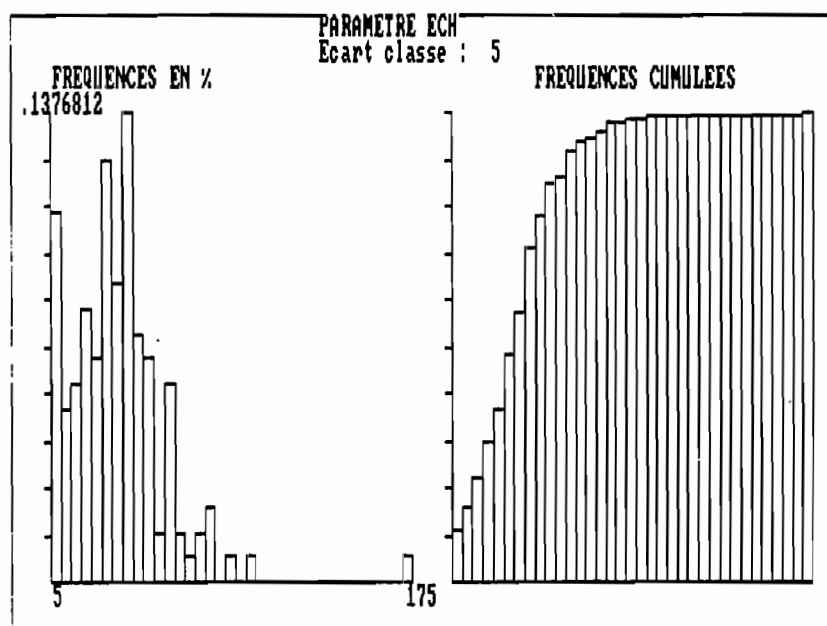


fig. 3. Histogramme des valeurs de CEM en mode horizontal.

4. SALINITE DU SECTEUR 1 (Nord-Est, fig. 4 et 5).

- Gradient de salinité croissant d'Est en Ouest correspondant au gradient de texture légère à lourde.
- Bonne répartition des mesures autour d'une moyenne faiblement salée. Seules des parcelles topographiquement les plus basses (Ouest), sont salées.

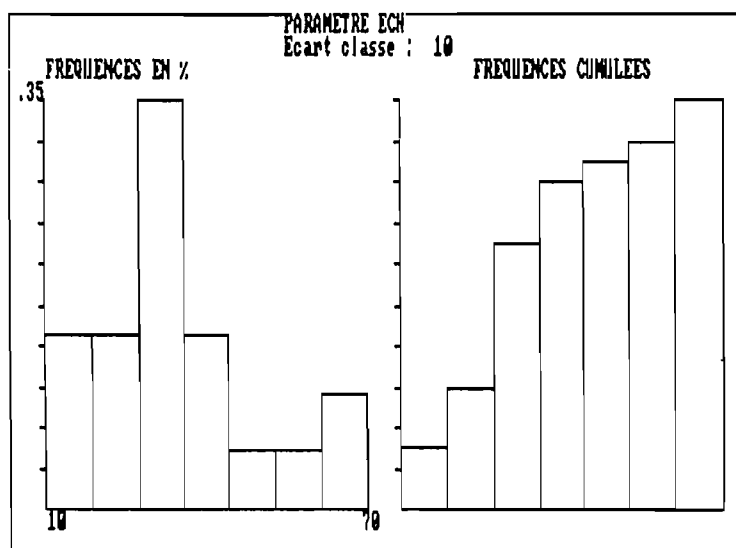


fig.4. Sidi Saad secteur 1 : histogramme des mesures CEH.

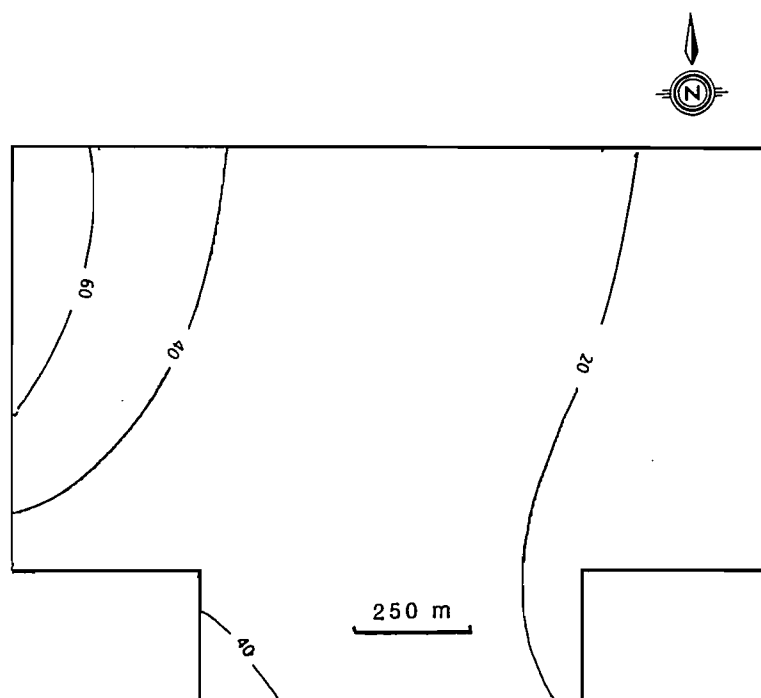


Fig.5. Sidi Saad secteur 1 : cartes des isoconductivités CEH (0-120 cm).

5. SALINITE DU SECTEUR 2 (Nord Ouest figures 6 et 7).

- Moyenne générale salée avec étalement entre faiblement salé et salé sur 120 cm de sol.
- Gradient croissant de salinité du Sud-Est vers le Nord-Ouest suivant la variation de la texture.
- La partie basse, c'est la plus salée de tout le périmètre. Une parcelle de 5 ha y a été choisie représentant les risques de salinité maximum (texture lourde - salinité initiale).

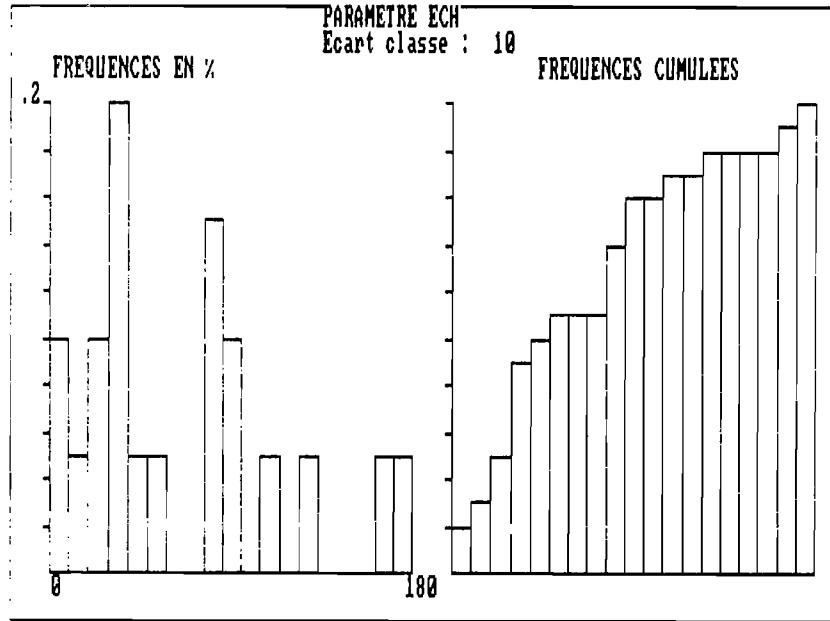


Fig.6. Sidi Saad secteur 2 : histogramme des valeurs de CEH.

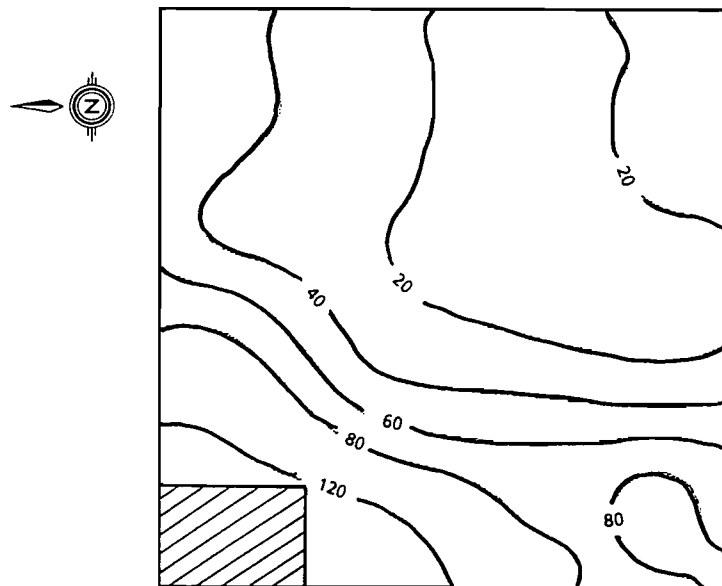


fig.7. Sidi Saad secteur 2 : carte des isovaleurs de conductivité CEH.

correspondance :	CEH mS/m	20	40	60	80	120
	CE(1/10) mS/cm	0,20	0,31	0,41	0,52	0,72

- Salinité du secteur 3 (Centre figures 8 et 9).

- Salinité moyenne faible, variation entre 10 et 110 mS/m, coefficient de variation 75 %. Pas d'organisation générale mais 75 % des valeurs se situent entre 20 et 60 mS/m.

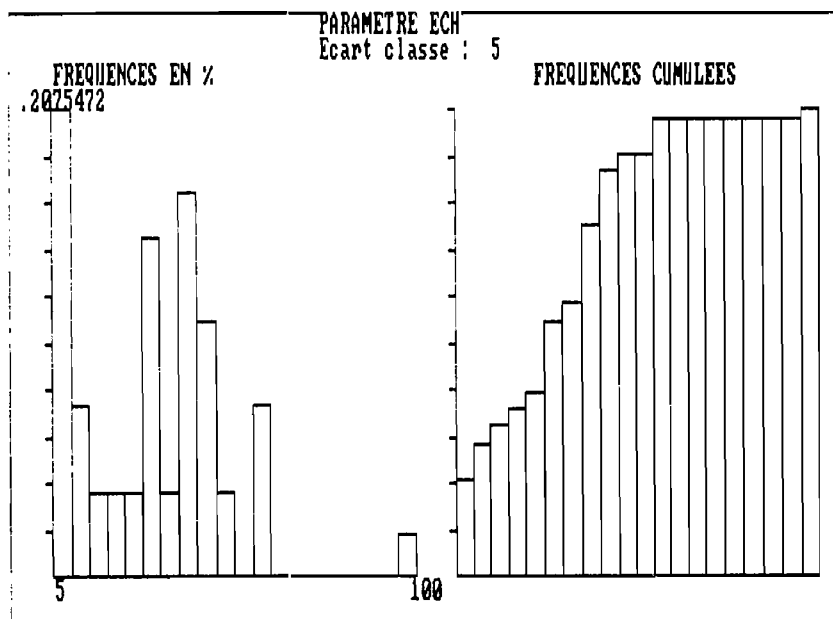


fig.8. Sidi Saad secteur 3 : histogramme des valeurs de CEH.

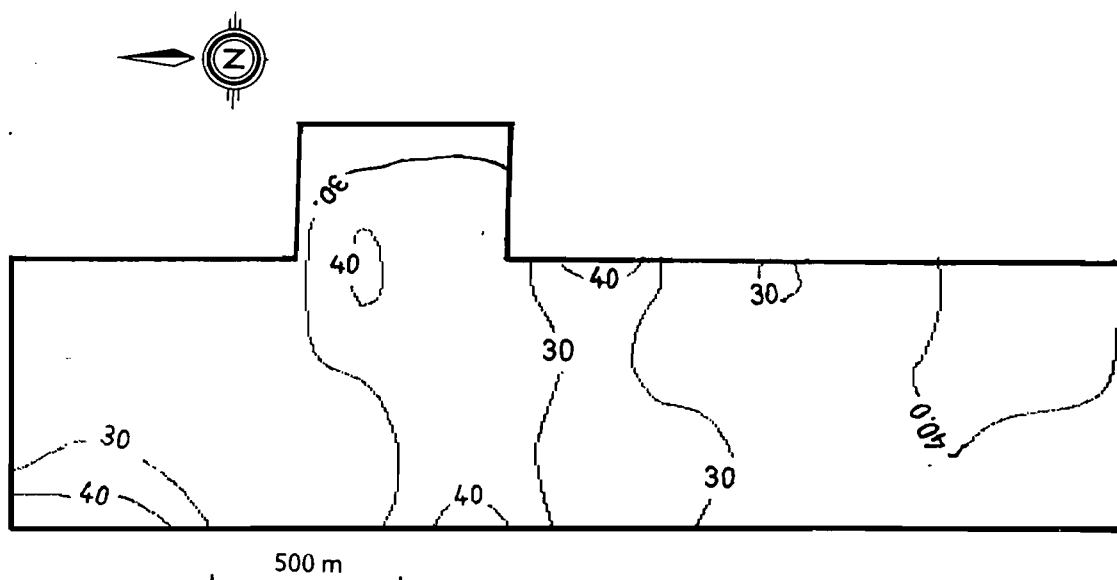


fig.9. Sidi Saad secteur 3 : cartes des isovaleurs de CEH.

correspondance : CEH mS/m		CE 1/10 mS/cm
30		0,27
40		0,31

7. SALINITE DU SECTEUR 4 (Sud : figures 10 et 11).

- Dans ce secteur à texture moyenne, avec quelques langues sableuses, le facteur de différenciation de la salinité est la pratique culturale. La salinité est faible en général, mais les parcelles de luzerne qui reçoivent plus d'eau que celles en céréales sont plus salées. Il n'y a pas de gradient Est-Ouest. la majorité des mesures se situent entre 30 et 50 mS/m.

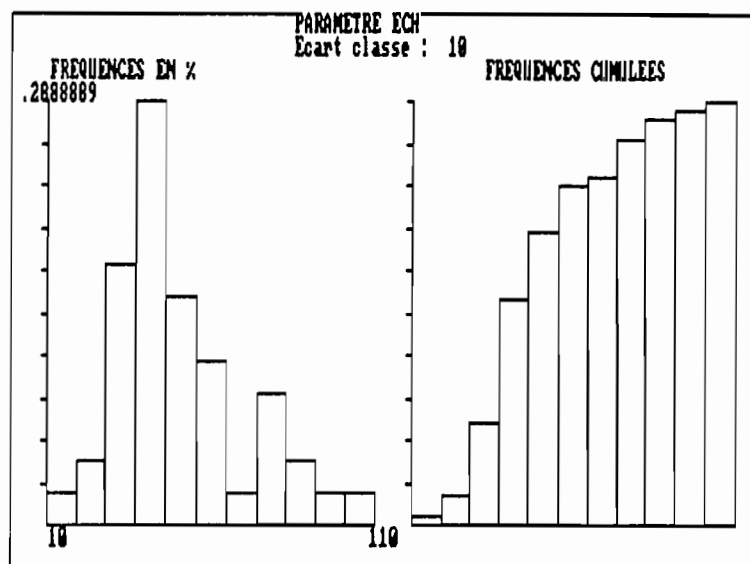


fig.10. Sidi Saad secteur 4 : histogramme des valeurs de CEH.

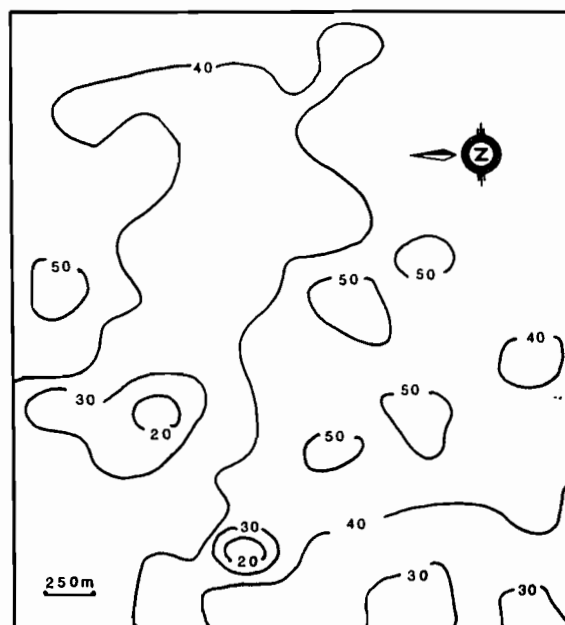


fig.11. Sidi Saad secteur 4 : isovaleurs des conductivités CEH.

Correspondance :	CEH mS/m	20	30	40	50
	CE(1/10) mS/cm	0,20	0,27	0,31	0,36

8. PARCELLE A RISQUES (Secteur 2 : Figures 12 et 13).

Une parcelle a été choisie dans le secteur 2 en raison des risques de salinisation maximum qu'elle représente (référence 112 N.O) pour y faire une cartographie fine. Elle pourra servir de parcelle d'alerte étant entendu que deux autres parcelles (une à texture légère et une à texture moyenne) devraient être choisies pour représenter l'ensemble du périmètre.

Dans cette parcelle on observe un très net gradient croissant du Nord-Est vers le Sud-Ouest les mesures augmentant régulièrement de 60 mS/m à de fortes salinités supérieures à 250 mS/M.

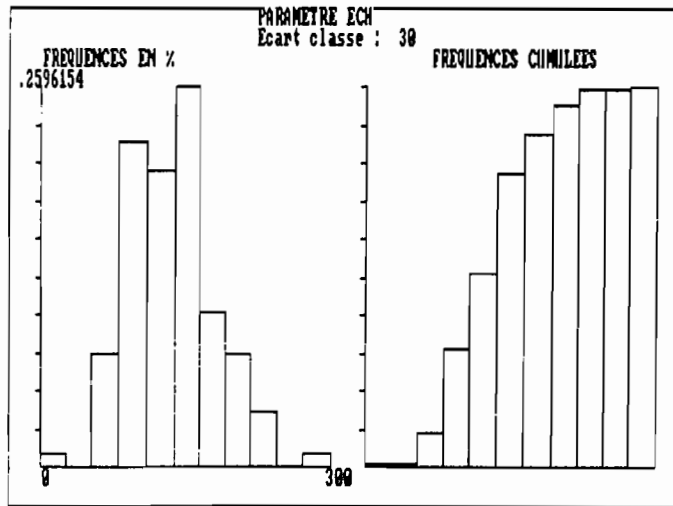


Fig 12. Sidi Saad parcelle : histogramme des valeurs CEH.

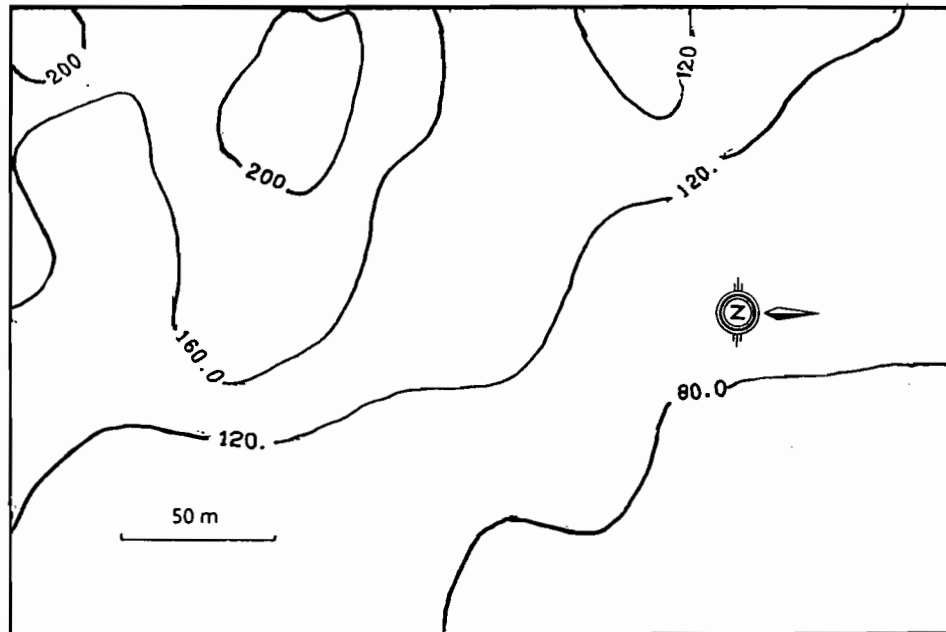


fig.13. Sidi Saad parcelle : carte des isoconductivités CEH.

Correspondance : CEH mS/m	80	120	160	200
CE 1/10 mS/cm	0,52	0,72	0,93	1,14

CONCLUSIONS.

- la partie Nord Ouest du périmètre (secteur 2) présentait déjà une appréciable salure initiale en 1973 (cf. carte pédologique de M. Mohdi) correspondant à des sols lourds.

- Sur ces sols, il faudrait privilégier les spéculations d'hiver et apporter une quantité d'eau suffisante pour lessiver les sels. Des risques de contamination de la nappe sont possibles dans cette partie du périmètre à topographie plane et mal drainante.

- Dans le reste du périmètre les sols sableux sont peu salés et ne doivent pas poser de problème dans l'immédiat, compte tenu de leur faible capacité de rétention pour l'eau et les sels.

- Les sols de texture équilibrée largement représentés dans le secteur 4 sont encore faiblement salés actuellement, mais plus que les sols sableux en raison de leur capacité de rétention plus forte et des relativement faibles quantités d'eau qui y sont apportées ; le lessivage des sels s'y fait incomplètement. Il importe d'y privilégier les cultures d'hiver et d'apporter un complément d'irrigation pour favoriser un lessivage des sels hors de la zone racinaire. Ceux-ci grâce au bon drainage latéral interne des sols devraient s'éliminer vers la partie basse située hors du périmètre (Garaa).

- Les eaux du barrage étant à l'heure actuelle plus salées qu'au moment du choix et de la création du périmètre (4 à 5 gr./l au lieu de 2,5 gr./l) il faut un suivi régulier dans le temps sur trois parcelles représentatives du périmètre. le problème de l'alcalisation des sols les plus lourds devra être pris en compte dans ce suivi.

PERIMETRE DE ZELBA (SIDI ALOUANE)

1. PRESENTATION

Le périmètre est situé dans une zone topographiquement plane affectée par une faible ondulation dans la partie ouest. Les sols homogènes sont constitués d'un matériau limono-argileux reposant sur le limon à modules entre 40 et 80 cm. Dans la partie ouest celui-ci est faiblement encroûté.

Les soixante hectares retenus pour l'irrigation sont découpés en vingt parcelles de 3 ha.

L'irrigation pratiquée depuis la saison 85/86 à partir de l'eau d'un forage titrant 4,3 g/l de salinité, par planche ou à la raie et de façon très morcelée et plus ou moins continue sur les différentes parcelles (coton, sorgho, orge, blé, avoine, maïs, cultures maraîchères, jachère). La luzerne représente la spéculation la plus continue du point de vue irrigation, et sa mise en place date de 3 ans sur certaines parcelles. Du point de vue assainissement le périmètre est traversé par deux fossés de drainage aboutissant à un puits perdu. Aucune eau ne transite actuellement par ce réseau totalement sec.

En limite Nord du périmètre une petite parcelle de simulation de 400 m² réservée aux mesures pédologiques est cultivée en luzerne depuis 3 ans (MM. Hachicha et Ben Hassine).

2. METHODOLOGIE.

Une reconnaissance effectuée sur l'ensemble du périmètre a mis en évidence l'hétérogénéité de l'occupation du sol et des mesures de conductivimétrie électromagnétique. Le rapport ECV/ECH varie entre 30/20 et 140/130 selon les parcelles ; ces dernières lectures dénotent déjà la présence d'une certaine salure (parcelles 16 et 17 par exemple).

la parcelle n° 1 représentative du type de sol et des occupations culturales (luzerne, céréales, coton) a été retenue comme parcelle témoin de l'état de la salure dans le périmètre et a fait l'objet d'une cartographie fine au conductivimètre électromagnétique :

Une moitié de la parcelle est considérée sèche en ressuyage depuis plusieurs semaines après la dernière récolte (luzerne, avoine, orge) ; elle se situe aux environs de 10 % d'humidité pondérale (9,7 % en moyenne sur 3 points étalonnés).

L'autre moitié, en cours d'irrigation (luzerne, coton, maïs, sorgho) est humide, et le sol est à 16 % d'humidité pondérale sur le premier mètre (5 points étalonnés).

- Sur 13 transects Est-Ouest espacés de 10 m, 22 mesures de conductivimétrie électromagnétique ont été prises en mode vertical et en mode horizontal, soit 286 points de mesure sur la parcelle de 3 ha et 572 lectures (1 point de mesure pour 100 m²).

- 10 points d'étalonnage ont été choisis étalés sur la gamme des mesures rencontrées et le sol a été prélevé tous les 15 cm jusqu'à 120 cm.

- Du fait de la profondeur réduite de l'étalonnage (120 cm) seules seront exploitées ici les mesures en mode horizontal. Du fait de la géométrie des lignes de champ électromagnétique, ces mesures prennent en compte 90 % de la salinité apparente globale du sol jusqu'à 2 mètres.

- Toutes les mesures de la parcelle irriguée ont été ramenées à l'humidité représentative de la parcelle sèche en ressuyage soit de 16 % à 9,7 % par un coefficient de correction d'humidité calculé :

$$f = 0,75$$

- Equation de la droite d'étalonnage en sec à 9,7 % d'humidité pour passer de la mesure par conductivimétrie électromagnétique en mode horizontal à la conductivité sur extrait aqueux 1/10 :

$$EC\ 1/10\ mS/cm = 0,0058\ ECH\ mS/m + 0,088 \quad \text{avec } r = 0,910$$

3. RESULTATS

3.1. Répartition des sels :

- La salinité générale est moyenne (54 mS/m de CEH pour 286 mesures faites sur la parcelle n° 1. Les mesures se répartissent à peu près également entre les faibles salinités (< 60 mS/m), les salinités moyennes de 60 à 70 mS/m et les salinités supérieures à 70 mS/m.

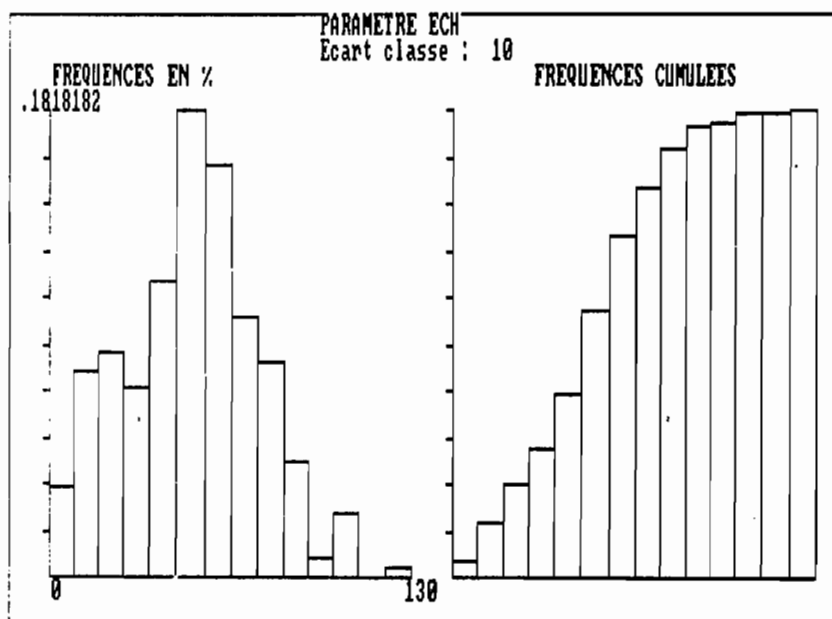


Fig.14. Zelba : parcelle représentative, histogramme des valeurs CEH.

- Les profils salins correspondant à ces 286 mesures sont homogènes à salinité croissante en profondeur, avec un rapport : $CEV/CEH = 125$.

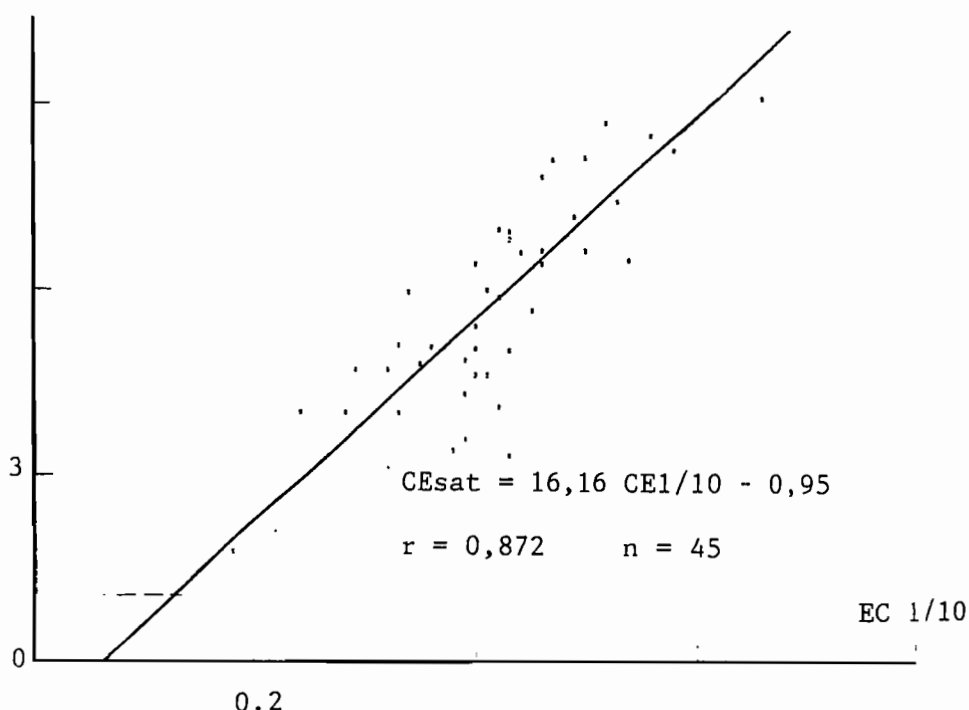


fig.15. Zelba : corrélation entre CE_{sat} et $CE(1/10)$.

3.2. Courbes d'isosalinité :

- La partie Sud-Ouest de la parcelle cultivée en luzerne a une salinité plus forte (75 mS/m). Elle a été irriguée depuis 1986 et a reçu plus d'eau que les autres parties.
- La partie Nord-Est a une salinité faible 25 mS/m. Cette partie a été cultivée en coton et cultures maraîchères occasionnelles.

La différenciation des états salins est due aux pratiques culturales. La texture des sols étant homogène dans toute la parcelle n'apporte pas de différence. Le tableau n° 2 montre les variations de salinité avec les doses d'irrigation cumulées depuis 1986 :

Parcelle	Surface (m^2)	Culture	Eau cumulée (m^3/ha)	Sels T/ha	CEH
Simulation	400	luzerne	55 000	245	885
n° 1	10 000	luzerne	20 000	88	80
n° 1	20 000	diverses	2 500	11	39

on notera que pour la parcelle de simulation, les valeurs de CEH restent faibles par rapport aux quantités de sels apportées, ce qui indique un lessivage des sels.

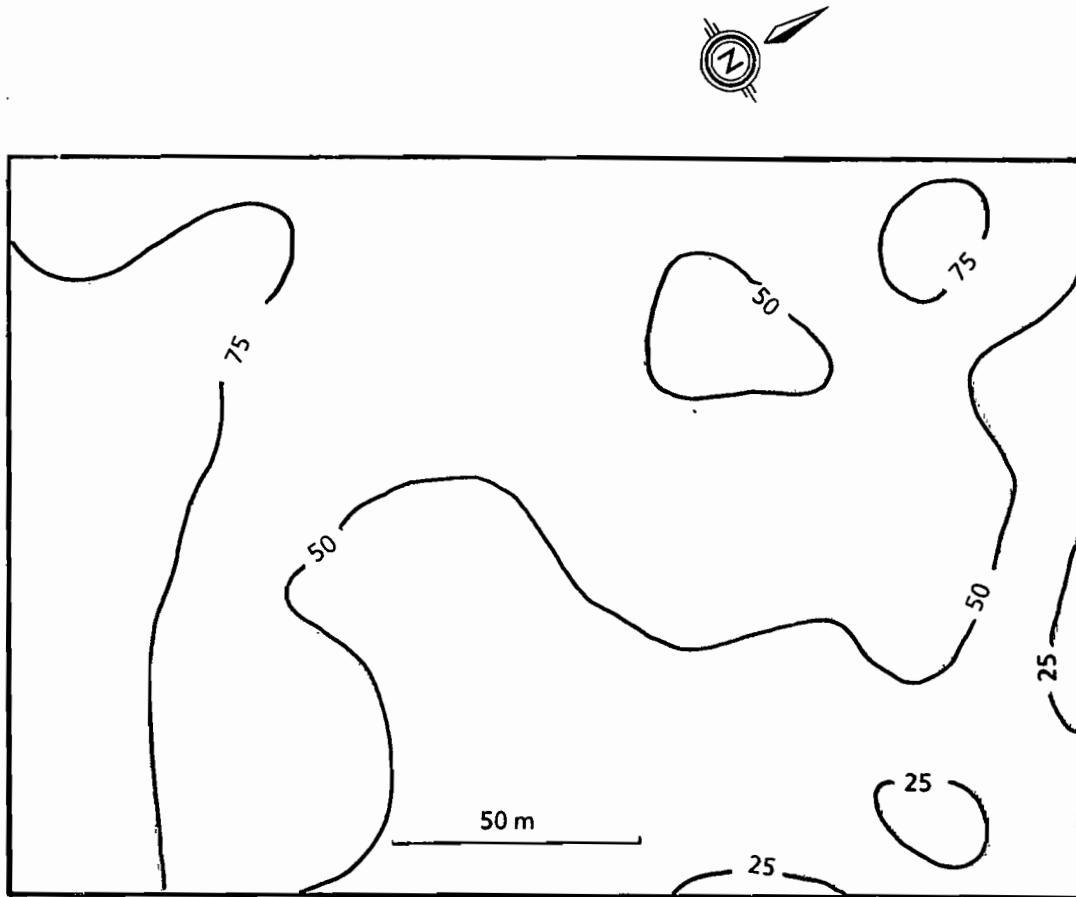


fig.16. Zelba : carte des isoconductivité de la parcelle représentative.

CEH mS/m	CE(1/10) mS/cm
25	0,23
50	0,38
75	0,52

CONCLUSION :

Dans ce périmètre en général, les agriculteurs disposent de faibles quantités d'eau. Il ne se produit pas de lessivage des sels, contrairement à la parcelle d'expérimentation. Avec un SAR de 14 il faut donc surveiller les risques d'alcalisation et l'évolution de la perméabilité dans les limons à nodules.

PERIMETRE DE SEBALA-BORDJ TOUIL

PRESENTATION

Périmètre de 2750 ha situé en basse vallée de la Medjerdah à 18 km au NE de Tunis. Les sols d'origine alluviale sont différenciés sur matériaux lourds argileux à argilo-limoneux calcaires ; ils sont plus ou moins affectés par des phénomènes d'hydromorphie et surtout de salure résiduelle dûs à l'action d'une nappe salée (≈ 30 mS/cm) à forts battements saisonniers de 2,50 m à la surface du sol. La perméabilité est généralement faible.

Ces sols n'ont jamais été irrigués. L'irrigation se fera avec des eaux de station d'épuration provenant de la ville de Tunis titrant de 1,65 à 2,3 g/l de résidu sec. Les spéculations envisagées sont les cultures céréalières, fourragères ou industrielles. Un drainage général du périmètre est assuré par trois canaux. Il est prévu un drainage souterrain.

METHODOLOGIE

Une parcelle représentative a été choisie sur le périmètre pour montrer l'état actuel de la salinité avant mise en eau. L'évolution saline pourra être suivie par la suite au cours du temps. La cartographie repose sur 54 points de mesure CEM sur 9 transects couvrant environ deux hectares. Quatre points ont été étalonnés par prélèvements jusqu'à 200 cm pour la mesure de la conductivité sur extrait 1/10 et de l'humidité. Les mesures de densité apparente sur un profil montrent peu de variations avec la profondeur ($d_a = 1,52$).

- Droite d'étalonnage en mode horizontal (conductivité 0-120 cm) :

$$EC1/10 \text{ (mS/cm)} = 0,0065 \text{ ECH (mS/m)} - 0,144$$

avec $r = 0,948$ et pour une humidité moyenne de 18,5 %.

- Droite d'étalonnage en mode vertical (conductivité 0-200 cm) :

$$EC1/10 \text{ (mS/cm)} = 0,0053 \text{ ECV (mS/m)} - 0,115$$

avec $r = 0,965$ et pour une humidité moyenne de 21,5 %.

RESULTATS

Répartition de sels.

- L'histogramme des fréquences relatives des 54 mesures montre une bonne répartition entre 80 et 260 avec quelques mesures atteignant 300 mS/m. La majeure partie de mesures se situe entre 140 et 160 conductivité 1/10 de 0,7 à 0,9 mS/cm. La valeur moyenne est de 154 avec un coefficient de variation de 23 %.

Le rapport $CEV/CEH = 1,53$ traduit un profil salin vertical descendant avec une accumulation saline plus marquée que dans les autres périmètres, probablement à cause de la nappe salée à 2 m de profondeur.

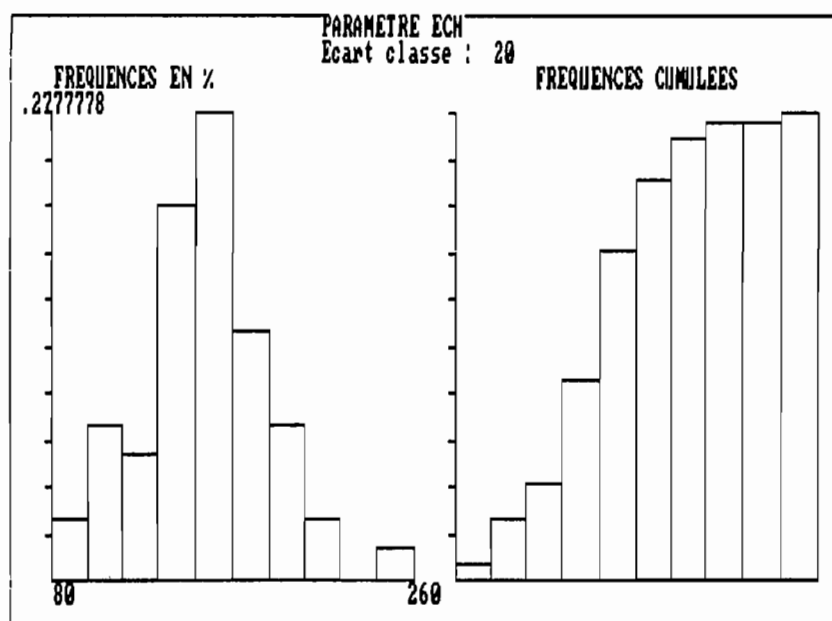


fig.17. Sebala : histogramme des valeurs de conductivité électromagnétique en mode horizontal (CEH).

- La salinité des sols de la parcelle a un gradient net et régulier du Nord Est au Sud Ouest qui semble montrer l'influence du drain qui borde la parcelle du Nord, sur le dessalement. le drain qui la jouxte sur son coté Ouest est probablement très récent (lié à la construction de la route) et n'exerce pas encore d'influence bien nette. Dans la moitié Nord de la parcelle les valeurs d'ECH les plus faibles (< 120 mS/m) correspondent à une légère dépression topographique favorable à l'accumulation des eaux pluviales et au dessalement.

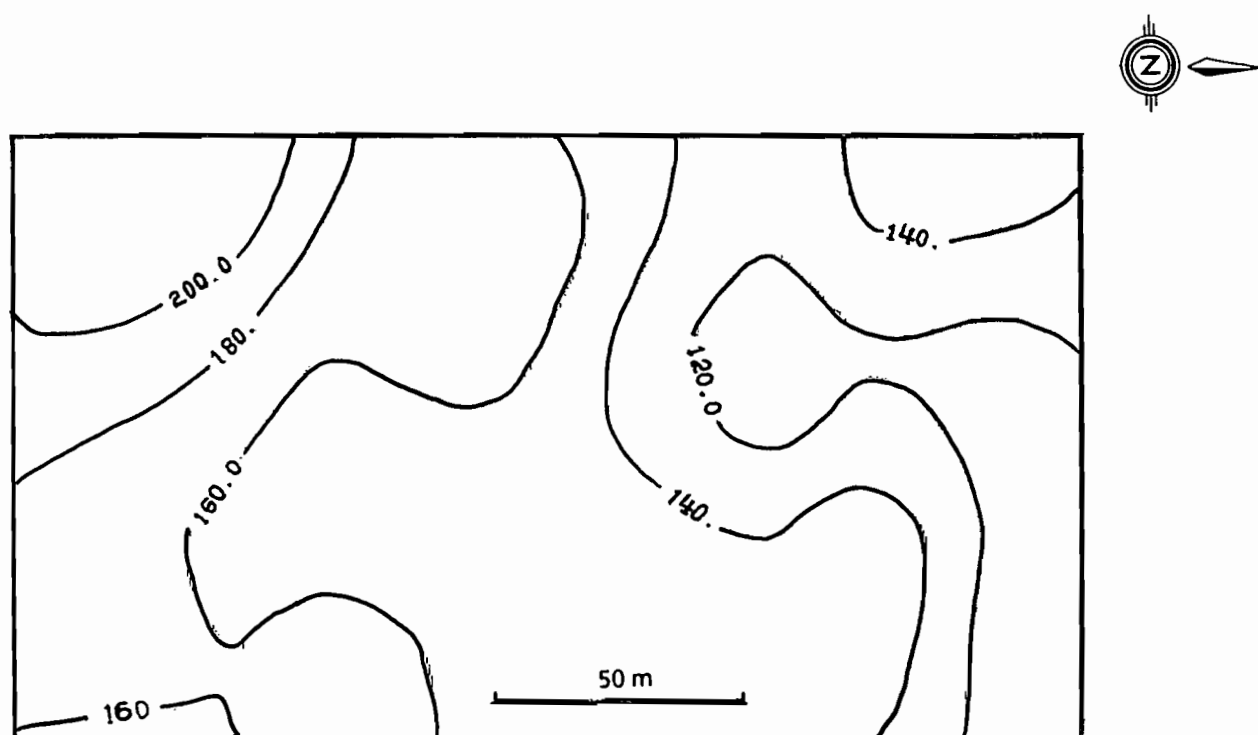


fig.18. Sebala : cartes des isoconductivité CEH (mesurées de 0 à 120 cm).

Correspondance : CEH (mS/m)	CE1/10 (mS/cm)
80	0,52
120	0,72
160	0,93
200	1,14

PERIMETRE DE HAZEG (Djebeniana)

1. PRESENTATION

Il s'agit d'une zone de 800 ha partiellement exploitée depuis quelques dizaines d'années à partir de puits de surface existant sur chaque exploitation. Cinq cent puits environ sont répertoriés dont l'eau est régulièrement analysée par les services hydrologiques. Ces dernières années, du fait de l'abaissement de la nappe un second niveau aquifère plus profond tend à être exploité, dont la salinité est plus importante que l'aquifère superficiel. D'une manière générale on constate une augmentation de la salinité des eaux depuis l'intérieur des terres vers la mer de 2 à plus de 10 g/l de sels totaux, conduisant à l'abandon de l'irrigation sur certaines parcelles (M. Maalej). Dans les sols eux-mêmes, le niveau de salure actuellement atteint est mal connu et serait à préciser. Dans le cadre de cette tournée nous avons seulement effectué une expertise rapide visant à caractériser l'intensité de la salure sur un transect de sols de façon à vérifier si elle était en relation avec la qualité des eaux de puits utilisées.

2. METHODOLOGIE.

Sur un transect de 4 km allant de la côte vers l'intérieur des terres, 50 points de mesure de conductivité électromagnétique ont été effectués sur 10 parcelles en mode horizontal et en vertical (5 répétitions). Les sols étant homogènes et de texture équilibrée, seul le facteur occupation du sol est variable ; toutes les mesures ont donc été réalisées sur parcelles en cours d'irrigation de façon à effectuer une comparaison directe des conductivités lues.

La conductivité de l'eau de chacun des puits servant à l'irrigation de la parcelle a été mesurée.

3. RESULTATS.

Site	Distance de la mer en ■	CE de l'eau en ■S/cm	ECMV + ECMH
			----- en ■S/■ 2
P1	900	13,6	120
P2	1 400	17,6	90
P3	1 565	14,7	145
P4	1 915	12,2	140
P5	2 115	9,4	100
P6	2 565	10,0	125
P7	2 825	10,1	110
P8	3 125	8,8	70
P9	3 425	8,1	65
P10	4 000	4,2	50

- les mesures de conductivité électromagnétique exprimées par la moyenne des lectures verticales et horizontales de chaque parcelle; présentent une bonne corrélation avec la salinité de l'eau du puits correspondant hormis pour le puits et la parcelle P2 ($r = 0,89$).

- La salinité des eaux décroît au fur et à mesure de l'éloignement de la mer (P1 à P10) de façon assez régulière alors que la séquence saline des parcelles est plus irrégulière probablement pour des raisons diverses soit liées à la méthodologie utilisée (par d'étalonnage, par texture et niveaux d'humidité) soit dues à des passés culturaux différents pour chaque parcelle.

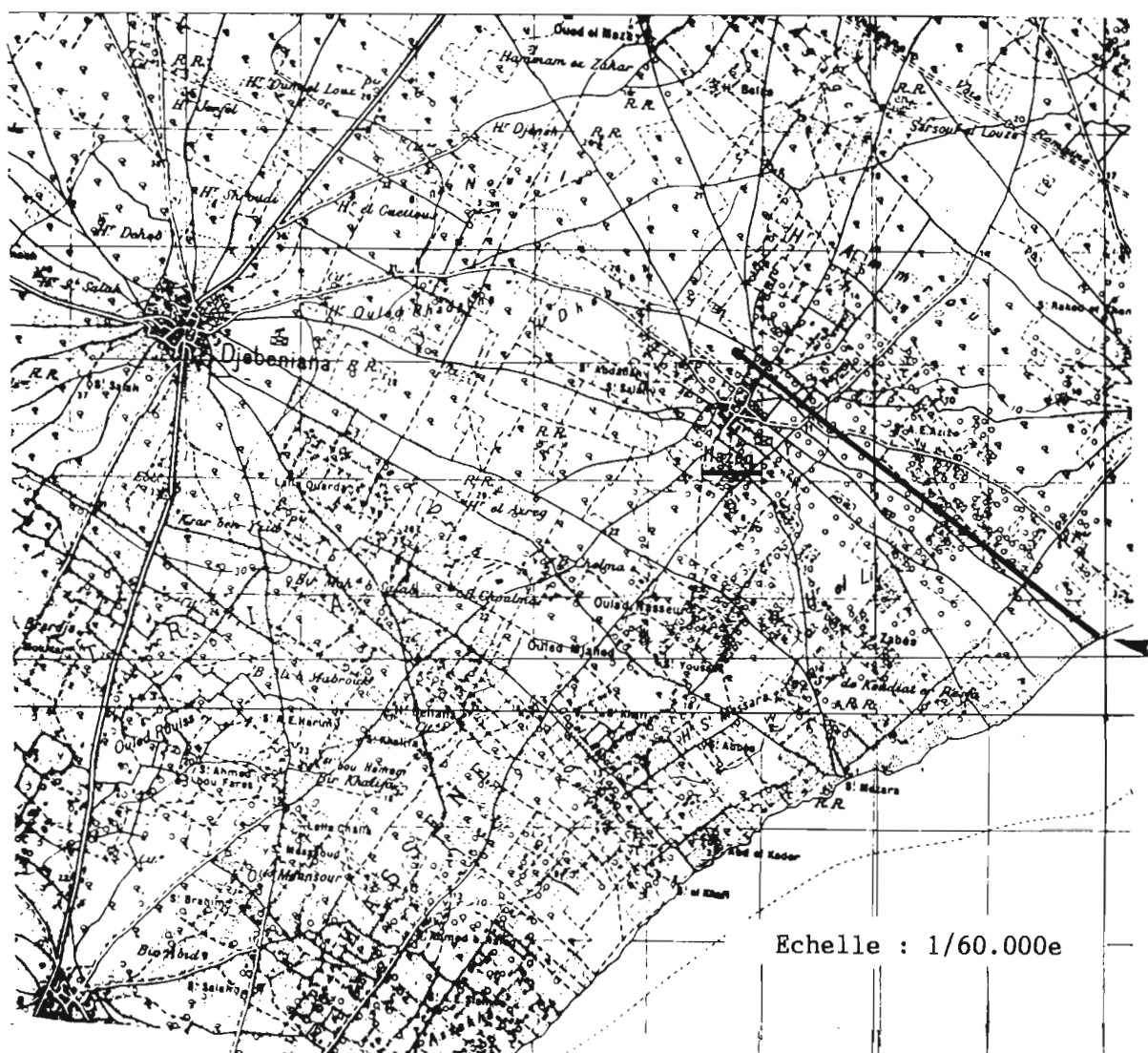


fig.19. Périmètre de Hazeg : situation du transect étudié.