B 2096

11037

2003

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTUUE
DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RESSOURCES
HYDRAULIQUES

DIRECTION GENERALE DE L'AMENAGEMNT ET
DE LA CONSERVATION DES TERRES AGRICOLES

MICROFICHE

SUIVI DE L'EVOLUTION DE LA SALINITE DES SOLS ET DE LA NAPPE DANS LE PERIMETRE IRRIGUE DE SAGDOUD (GOUVERNORAT DE GAFSA)

PERIODE 1997 - 2001

Par : H. Ben HASSINE et K. JELASSI Direction des Sols
M. S. BACCARI et M. JERABA Arrodissement des Sols
de Gafsa - Fevrier 2003

E-S 323

11037

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles

MICROFICHÉ

Suivi de l'évolution de la salinité des sols et de la nappe dans le périmètre irrigué de Sagdoud (Gouvernorat de Gafsa). Période 1997-2001

ES 323

Par

- Ben Hassine (H.) et Jelassi (K.), Direction des Sols
- Baccari (M.S.) et Jeraba (M.), Arrondissement des Sols de Gafsa

Février, 2003

SOMMAIRE

1- Introduction 3
2– Le périmètre d'étude 3
3- Matériel et méthodes 5
4- Résultats et discussions 7
4-1- Le contrôle de septembre 1997 7
4-1-1- Le niveau et la salinité de la nappe 7
4-1-2- La salinité des sols 7
4-1-3- Les corrélations de la profondeur et de la salinité de la nappe avec la salinité des sols 11
4-1-4- Conclusion 11
4-2- Le contrôle de septembre 1998 11
4-2-1– Le niveau et la salinité de la nappe 11
4-2-2- La salinité des sols 14
4-2-3- Les corrélations du niveau et de la salinité de la nappe avec la salinité des sols 14
4-2-4- Conclusion 16
4-3- Les contrôles de l'année 1999 16
4-3-1- Le contrôle de mai 1999 16
4-3-1-1- La salinité de la nappe 16
4-3-1-2- La salinité des sols 16
4-3-1-3- La corrélation entre la salinité de la nappe et la salinité des sols 16
4-3-1-4- Conclusion 19
4-3-2- Le contrôle de novembre 1999 19
4-3-2-1- La profondeur de la nappe 19
4-3-2-2- La salinité des sols 19
4-3-2-3- La corrélation entre la salinité moyenne (CEe moy.) et la profondeur de la nappe 19
4-3-2-4- Conclusion 22
4-4- Les contrôles de l'année 2000 22
4-4-1- Le contrôle d'avril 2000 22
4-4-2- Le contrôle de juillet 2000 22
4-4-3- Le contrôle d'octobre 2000 25
4-5- Les contrôles de l'année 2001 25
4-5-1- Le contrôle de mars 2001 25
4-5-2- Le contrôle d'octobre 2001 28
5– Conclusion générale 28
Bibliographie 29

1- Introduction

Le périmètre irrigué de Sagdoud, situé dans la délégation de Redeyef aux confins de la limite nord du gouvernorat de Tozeur, couvre une superficie de 160 ha, dans laquelle sont cultivés des palmiers dattiers comme culture principale. Sa mise en irrigation au cours de la décennie 1980-1990 a provoqué la remontée du niveau de la nappe phréatique et la salinisation secondaire des sols. Cette situation a nécessité l'aménagement d'un réseau de drainage qui a eu pour conséquence le rabattement du niveau de la nappe notamment au cours des dernières années (2000, 2001). Les campagnes de surveillance du niveau et de la salinité de la nappe ainsi que de la salinité des sols sont entreprises depuis plusieurs années. L'objectif recherché est de s'assurer de la stabilité de ces paramètres et voir si des fluctuations périodiques peuvent apparaître et menacer les sols et les cultures par le processus de salinisation secondaire. Les résultats de ces actions de contrôle disponibles actuellement, sont relatives à la période 1997-2001. Les travaux de terrain et de laboratoire, consistant en l'implantation des piézomètres, la mesure du niveau de la nappe et le prélèvement d'échantillons d'eau et de sols ainsi que les analyses, ont été assurés par l'arrondissement des sols de Gafsa. Les données sont exploitées dans l'actuel document par l'établissement des cartes de distribution spatiale des différentes variables suivies et l'étude de l'impact de la profondeur et de la salinité de la nappe sur la salinité des sols.

2– Le périmètre d'étude

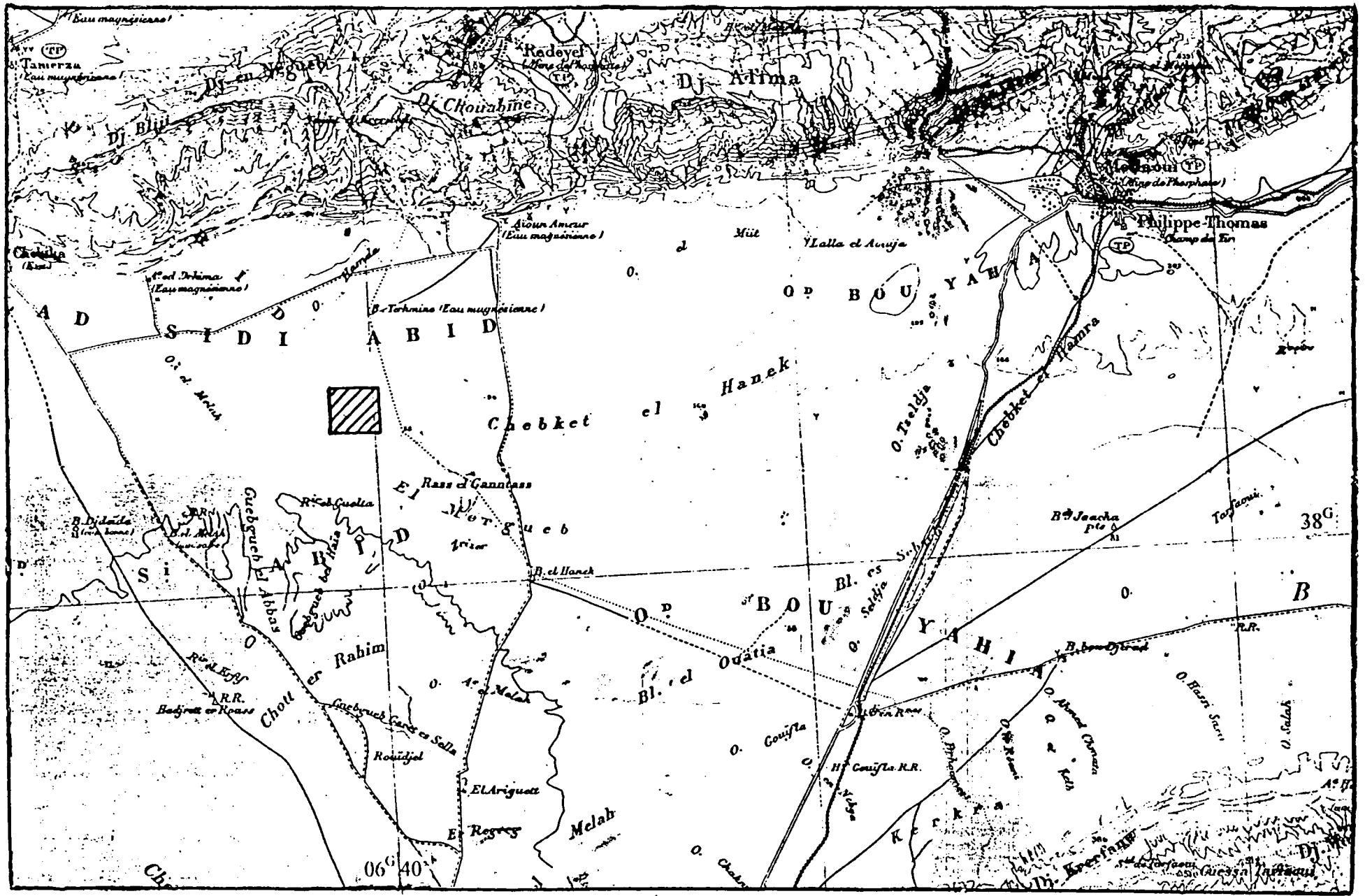
Il est situé à 35-40 km environ au sud-ouest de la ville de Métlaoui et à quelques kilomètres au sud de la chaîne de montagnes de Redeyef-Moularès (fig. 1). Il est implanté au milieu d'une plaine où s'étendent des matériaux d'âge quaternaire essentiellement. Les dépôts les plus anciens reviennent au Mio-pliocène continental composé de conglomérats, de sables et d'argiles. Le quaternaire est représenté par le Pléïstocène moyen et supérieur composé d'alluvions anciennes, de croûtes calcaires et gypseuses, ainsi que d'alluvions récentes (Ben Hadj Ali et *al.*, 1985). Sur les reliefs affleurent surtout des roches calcaires, des marnes et des argiles du Crétacé et du tertiaire (Regaya et *al.*, 1991). On peut relever l'inventaire de roches suivant sur ces reliefs :

- Des argiles, des calcaires et des dolomies phosphatées du Turonien terminal-Coniacien.
- Des argiles vertes à Brachiopodes et des calcaires dolomitiques à Inocérames du Santonien.
- Des argiles, des marnes et des calcaires du Maestrichtien inférieur-Campanien supérieur.
- Des calcaires blancs et des argiles vert-noirâtres du Maestrichtien supérieur.
- Des argiles vert-noirâtres et des argilo-calcaires à passées phosphatées du Paléocène inférieur.
- Des alternances de lumachelles, d'argiles, de dolomies et de gypse du Paléocène.
- Du gypse à rares passées dolomitiques et des dolomies blanches du Lutétien-Priabonien.
- Des argiles associées à la série phosphatée Chouabine de l'Ypréssien.
- Des argiles sableuses rouges à hélicidés de l'Oligocène.

Cet inventaire de roches sédimentaires fait apparaître l'abondance du calcaire, du gypse et des argiles sur les reliefs, où sont décapés les matériaux de remplissage des plaines voisines. Ces derniers, en subissant les effets des facteurs locaux de la pédogenèse, évoluent en des sols souvent dominés par la présence du gypse. La carte des sols de la Tunisie au 1/500.000 (Division des Sols, 1973) signale la présence des unités de sols suivantes sur les périphéries du périmètre :

- Des sols à croûte ou encroûtement gypseux.

Fig. 1- Plan de situation du périmètre irrigué de Sagdoud
Echelle : 1/200 000



- Des sols gypseux associés à des régosols sur roches meubles : sables, argiles, éboulis ou conglomérats (formation Ségui : Mio-pliocène).
- Sols d'apport modaux sur apports éoliens.
- Sols bruns jeunes associés à des croûtes ou encroûtements gypseux.

Le périmètre proprement dit est couvert par deux unités de sols (Ben Hassine, 1999) :
- Des sols calcimagnésiques gypseux de texture fine à moyenne en surface et à croûte et encroûtement gypseux à moyenne profondeur. Avec la remontée de la nappe salée, ces sols ont évolué vers des sols solsodiques ; leur salinité peut dépasser les 30 à 40 mS/cm.
- Des sols peu évolués d'apport alluvial et éolien de texture sableuse occupant surtout la partie orientale du périmètre.

Le bioclimat de la région est l'aride inférieur, variante à hiver frais. La pluviométrie annuelle est comprise entre 100 et 150 mm. Sur les reliefs dont l'altitude atteint 700 à 800 m, les hauteurs pluviométriques annuelles peuvent remonter jusqu'à 200–300 mm. Les associations végétales naturelles sont composées (Le Houérou, 1969) :

- Du groupement *Hedysarum carnosum* et *Peganum harmala* qui se développe dans les basses plaines, sur des sols de texture sablo-limoneuse et argilo-sableuse. Ces sols présentent toujours un glaçage superficiel de quelques millimètres défavorable à la germination (Le Houérou, 1969).
- De la variante à *Moricandia suffruticosa* de l'association à *Zygophyllum album* et *Anarrhinum brevifolium*, faciès à *Stipa tenacissima*. Ce groupement se développe sur des sols présentant un encroûtement gypseux superficiel et très puissant : 0,5 à 1m d'épaisseur et 60 à 90 % de Ca SO_4 (Le Houérou, 1969).

Les études pédologiques de la Direction des Sols n'ont pas couvert la région. Celles les plus proches réalisées sont l'étude d'El Hamma du Jérid (El Fékih et Selmi, 1972) et l'étude de Redeyef-Moularès, qui concerne la vallée située au nord des reliefs de Redeyef-Métlaoui (Martini, 1967).

La végétation cultivée comporte des espèces arboricoles, dont le palmier dattier, l'olivier et le figuier. Ces deux dernières espèces sont implantées sur des sols sableux qui peuvent perdre rapidement leurs sels, après le rabattement de la nappe. Le palmier dattier reste prospère et productif malgré la très forte salinisation secondaire des sols survenue après la remontée de la nappe.

L'irrigation est effectuée par gravité à partir de trois forages, dont les eaux sont à 4,6 g/l de résidu sec moyen.

3- Matériel et méthodes

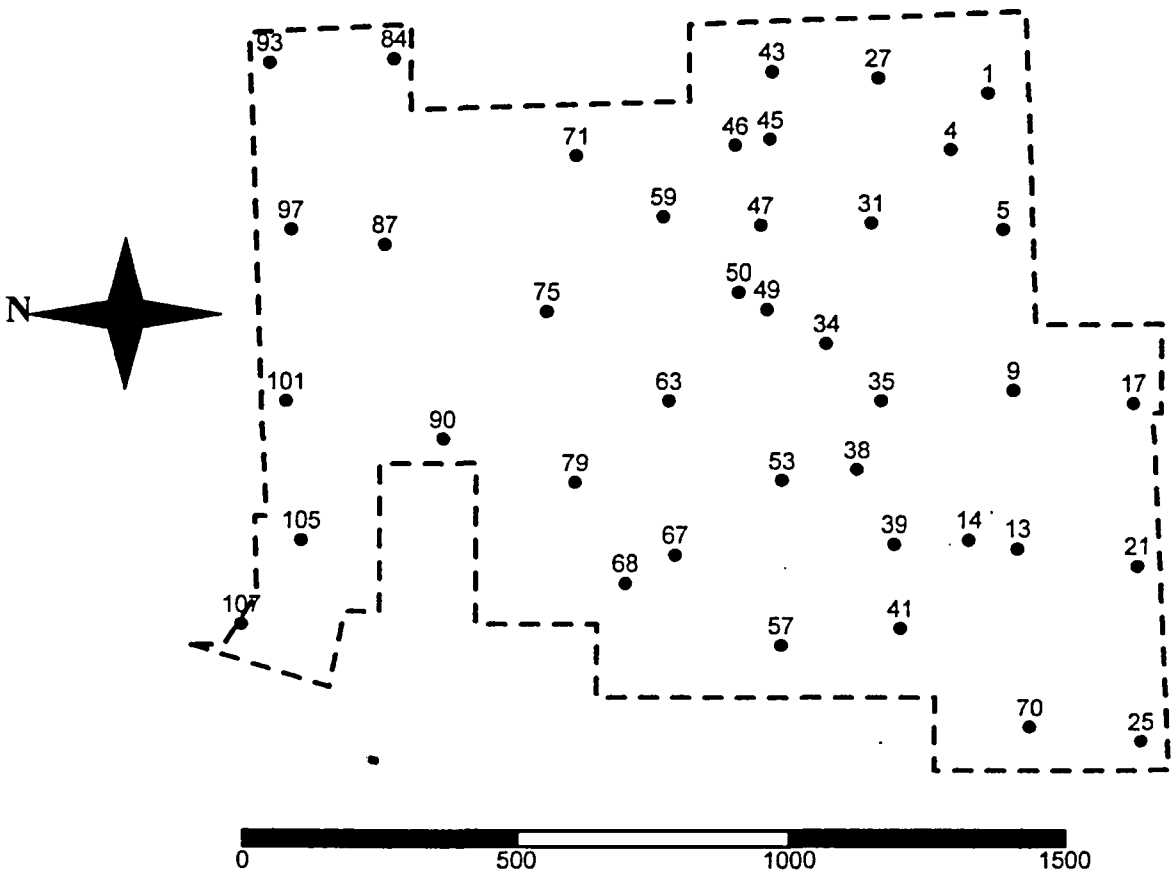
Le périmètre est couvert par 40 piézomètres en PVC (fig. 2) qui subissent des dégâts et disparaissent progressivement. Le contrôle périodique a permis d'assurer le relevé des paramètres suivants : le niveau et la salinité de la nappe et la salinité des sols qui est déterminée sur 6 profondeurs (0-120 cm) et à partir d'un extrait de pâte saturée au laboratoire. Les prélèvements des échantillons de sols ont été réalisés autour des piézomètres.

La nappe a été constamment surveillée et le plus souvent échantillonnée, mais le nombre de points contrôlés diminue progressivement pour n'atteindre que 3 en juillet 2001, conséquemment à la chute du niveau de la nappe à partir de novembre 1999 suite à la mise en fonctionnement du réseau de drainage. Pour les sols, l'échantillonnage a été réalisé six fois sur neuf contrôles au total (Tab. 1). Les périodes sautées sont celles d'avril 2000, octobre 2000 et juillet 2001. Ainsi, le sol a été échantillonné au moins une fois par an, depuis 1997.

Tableau 1- Chronologie des contrôles dans le périmètre irrigué de Sagdoud (Gafsa)

Dates	Contrôle de la nappe	Echantillonnage des sols	Observations
Septembre 1997	Niveau, salinité (37 points)	39 points : 0-120 cm	-
Septembre 1998	Niveau, salinité (22 points)	33 points : 0-120 cm	7 piézomètres non fonctionnels
Mai 1999	Salinité (27 points)	38 points : 0-120 cm	-
Novembre 1999	Niv. (36 points), salinité (4 points)	36 points : 0-120 cm	4 piézomètres non fonctionnels
Avril 2000	Niv. (37 points), salinité (5 points)	Sol non échantillonné	-
Juillet 2000	Niv. (4 points), salinité (3 points)	35 points : 0-120 cm	5 piézomètres non fonctionnels
Octobre 2000	Niv. (4 points), salinité (4 points)	Sol non échantillonné	-
Mars 2001	Niv. (6 points), salinité (6 points)	33 points : 0-120 cm	7 piézomètres non fonctionnels
Juillet 2001	Niv. (3 points), salinité (3 points)	Sol non échantillonné	-

Fig. 2- Localisation des piézomètres de surveillance de la nappe phréatique dans le périmètre irrigué de Sagdoud



Les mesures relevées sur le terrain et les résultats d'analyses obtenus au laboratoire ont été représentés et étudiés par les moyens cartographique et statistique :

- Des cartes du niveau de la nappe et de la salinité sont établies lorsque les mesures sont suffisamment denses sur le périmètre. Après le rabattement de la nappe, en novembre 1999, la salinité de l'eau n'a été mesurée que sur quelques piézomètres et a été, par conséquent, représentée en histogrammes.

- La salinité des sols est aussi représentée sous-forme de cartes illustrant la distribution spatiale de ses valeurs dans l'horizon de surface (0-20 cm) et sur toute la profondeur du sol en adoptant la formule de CEe moyenne = $[2*CEe_{0-20} + CEe_{20-40} + (CEe_{40-60} + CEe_{60-80} + CEe_{80-100} + CEe_{100-120})/4]/4$ (Ben Hassine et Jelassi, 2002 ; Ben Hassine et *al.*, 2002).
- Des tests de corrélation sont établis entre le niveau et la salinité de la nappe d'une part et la salinité des sols d'autre part, pour tenter d'évaluer l'impact de la présence de cette nappe sur les sols.

Le nombre de piézomètres non fonctionnels suite à leur destruction ou à la dégradation de la matière dont ils sont confectionnés (fragilité du PVC), est relativement réduit comparé à d'autres périmètres comme celui de Kalaât Landalous dans la basse vallée de la Mejerda.

4- Résultats et discussions

4-1- Le contrôle de septembre 1997

4-1-1- Le niveau et la salinité de la nappe

Le niveau de la nappe remonte au delà de 1,1m sur 60 % au moins de la surface du périmètre ; il est même inférieur à 0,8 m sur une large part de ce dernier. Des noyaux où le plan d'eau est à moins de 0,5 m sont également présents. Ce n'est que sur de petits espaces situés sur les bordures que la nappe descend en dessous de 1,4 m. Le périmètre est ainsi très touché par l'hydromorphie et notamment sa partie ouest (fig. 3).

La distribution spatiale de la salinité des eaux de la nappe présente un noyau central à forte concentration en sels (60 à 70 mS/cm) entouré de larges plages à 10-20 mS/cm. Il y a une tendance localisée de la concentration en sels près des bordures méridionale et orientale (fig. 4). La salinité de cette nappe est élevée. Les zones les moins salées apparaissent dans le quart nord-est et la limite sud du périmètre. La remontée de cette nappe peut provoquer une salinisation des sols compte-tenu de sa forte concentration en sels et des valeurs élevées de l'ETP dans la région.

4-1-2- La salinité des sols

4-1-2-1- La salinité moyenne (CEe moy.)

La courbe d'isovaleurs la plus faible est de 15 mS/cm. Elle apparaît le long de la bordure orientale du périmètre et dans la partie centrale tout en s'étirant vers l'angle sud-ouest. Dans le reste du périmètre, les valeurs s'accentuent et atteignent même 65 mS/cm près de l'extrémité sud-ouest. Dans la partie nord-ouest, les chiffres sont également très élevés et peuvent atteindre jusqu'à 55 mS/cm (fig. 5).

La salinité moyenne (CEe moy.) des sols du périmètre de Sagdoud est ainsi très élevée pour toutes les cultures et même pour le palmier dattier. Elle semble être moins forte le long de la diagonale nord-est - sud-ouest avec des valeurs proches de 15 mS/cm. La nappe a donc très fortement affecté les sols par sa remontée qui a généré des dépôts de sels très importants dans les 120 cm supérieurs.

4-1-2-2- La salinité de l'horizon de surface (0-20 cm)

C'est dans la partie centrale du périmètre, sur un axe est-ouest, que les valeurs les plus faibles de la salinité apparaissent dans cet horizon (fig. 6). Elles varient entre 10 et 20

DNAGRI
TUNISIE

TUNAGRI
BORDEREAU DE SAISIE
(1)

01 – NUMERO D'ACCES (ISA) 11037

02 – Pays TN | 03 – Année 2003

04 – Type bibliogr.	Niveau bibliographique	Indic. bibliogr.	Réunion	Diction.	Données numér.	Thèse	Texte législ.	Bibliogr.	Carte incluse	Resume	Non conv.	05 – Type de relation	06 – Numéro(s) de relation
(A)	/ A (M) S C /		K	L	N	U	W	Z	Y	E	V		

07 – Code bibliothèque — Cote de rangement | 08 – Destination | 09 – Disponibilité | 10 – Sigle Ministère

veau (M)

12 – Auteur (s) (Affiliation): BENHASSINE, H.; JELASSI, K.; BACCARI, M.S.; JERABA, M.

13 – Collectivité-auteur (s): MIN.AGR. ENV. et RESS. HYDR.

14 – Titre univ.:

15 – Titre original: Suivi de l'evolution de la salinité des sols et de la nappe dans le périmetre irrigué de SagDud (Gouvernorat de Gafsa) période 1997-2001

16 – Elements secondaires:

Reunion :
17 – Nom:

18 – Lieu: | 19 – Date:

20 – Titre en francais:

21 – Elements secondaires:

22 – N° Edition: | 23 – Numéro Rapport/Brevet:

24 – N° Secondaire(s): | 25 – ISBN/IPC:

Edition: 26 – Lieu: Tunis | 27 – Date: 2003

28 – Editeur:

29 – Collation: 29 P. | 30 – Langues: (Fr)

31 – Notes: 33 Fig., 9 Ref.

Fig. 3- Distribution spatiale du niveau de la nappe phréatique (m) dans le périmètre irrigué de Sagdoud. Septembre 1997

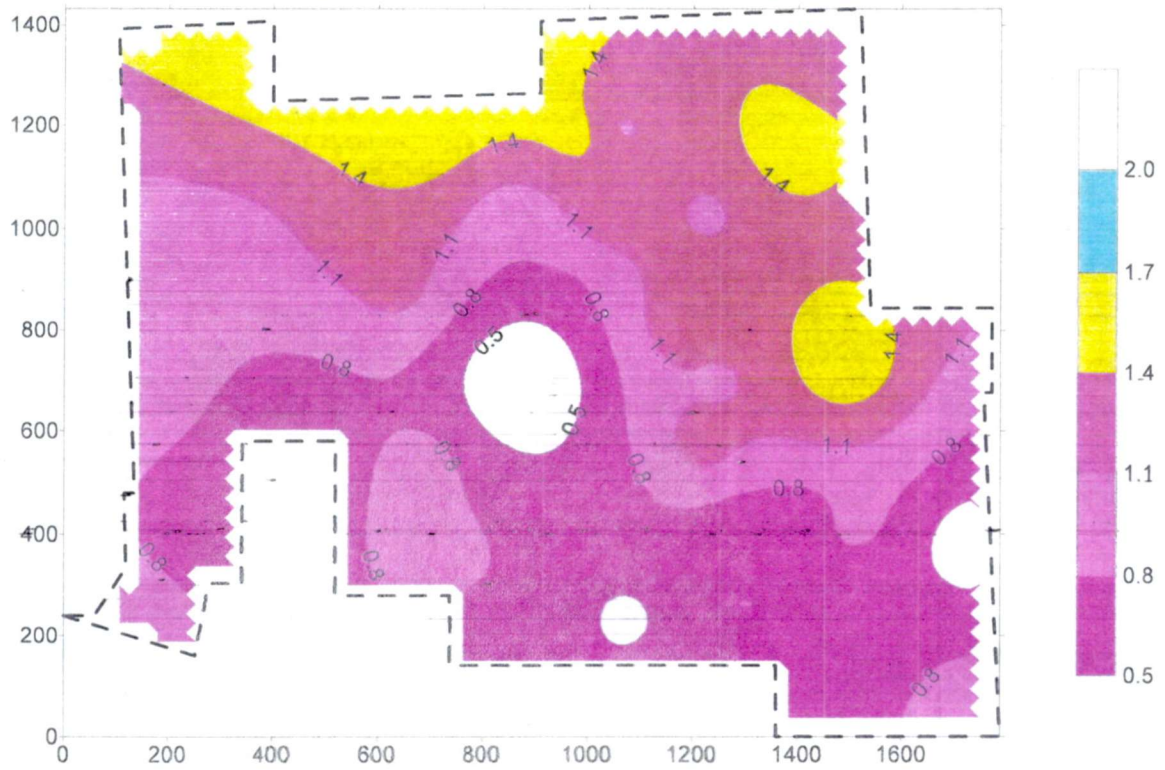


Fig. 4- Distribution spatiale de la salinité de la nappe phréatique (mS/cm) dans le périmètre irrigué de Sagdoud. Septembre 1997

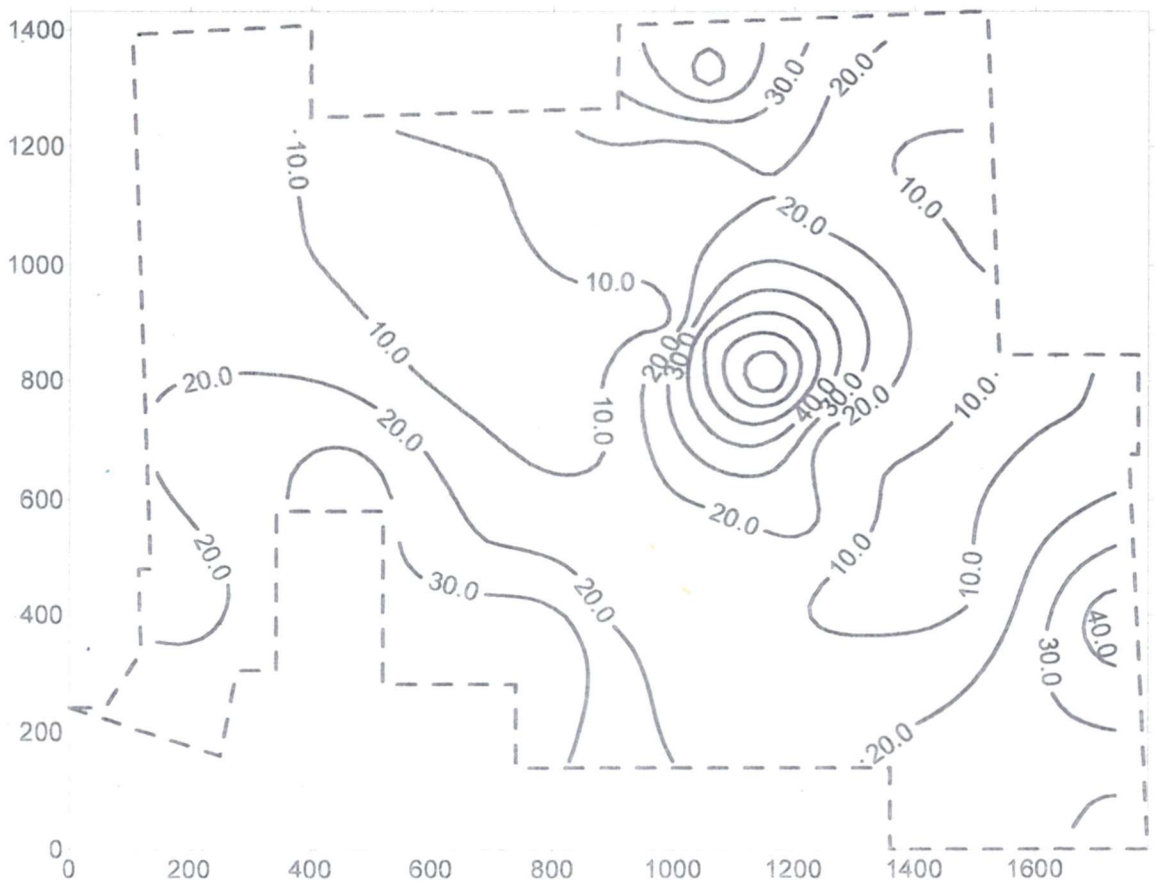


Fig. 5- Distribution spatiale de la salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Septembre 1997

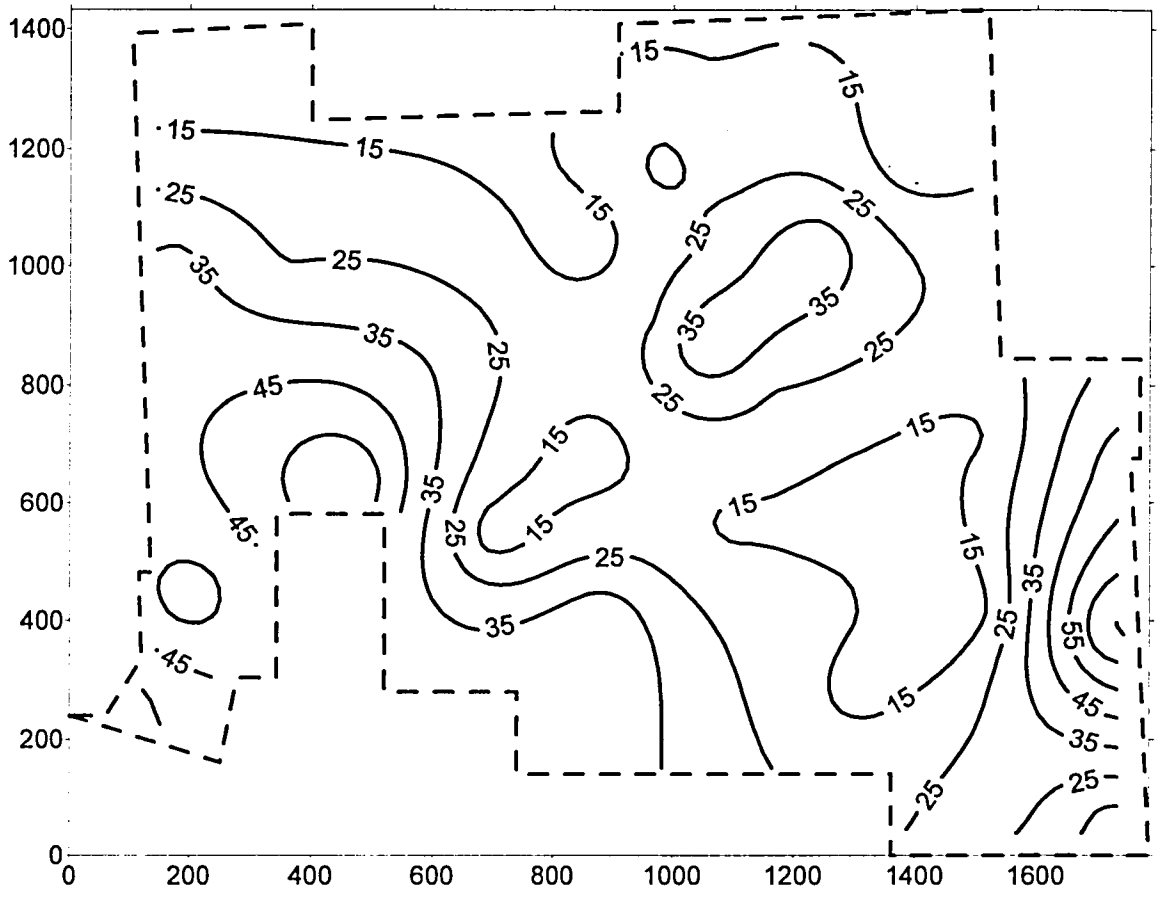


Fig. 6- Distribution spatiale de la salinité de l'horizon de surface des sols (CEe_{0-20} en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Septembre 1997

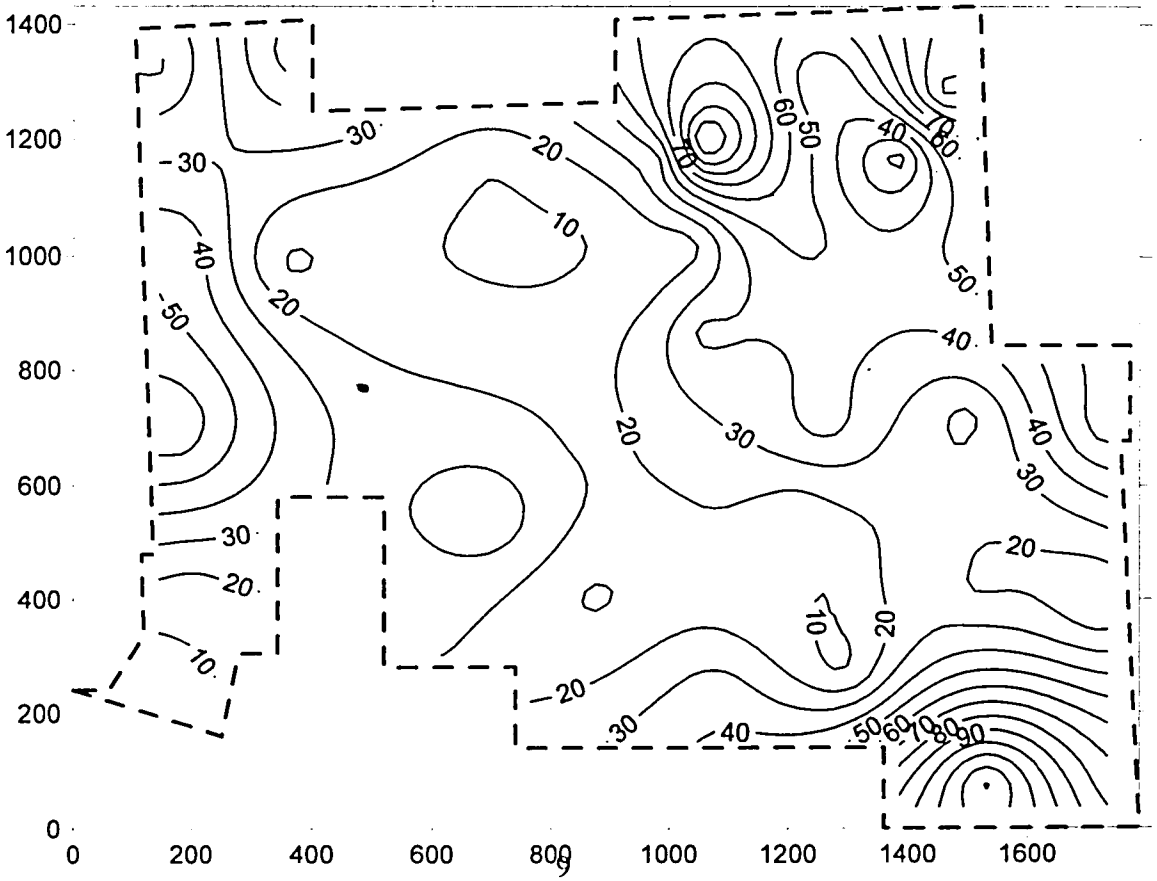


Fig. 7- Régression entre salinité moyenne du sol (CEe moy. en mS/cm) et niveau de la nappe (m). Périmètre irrigué de Sagdoud, septembre 1997 (NS)

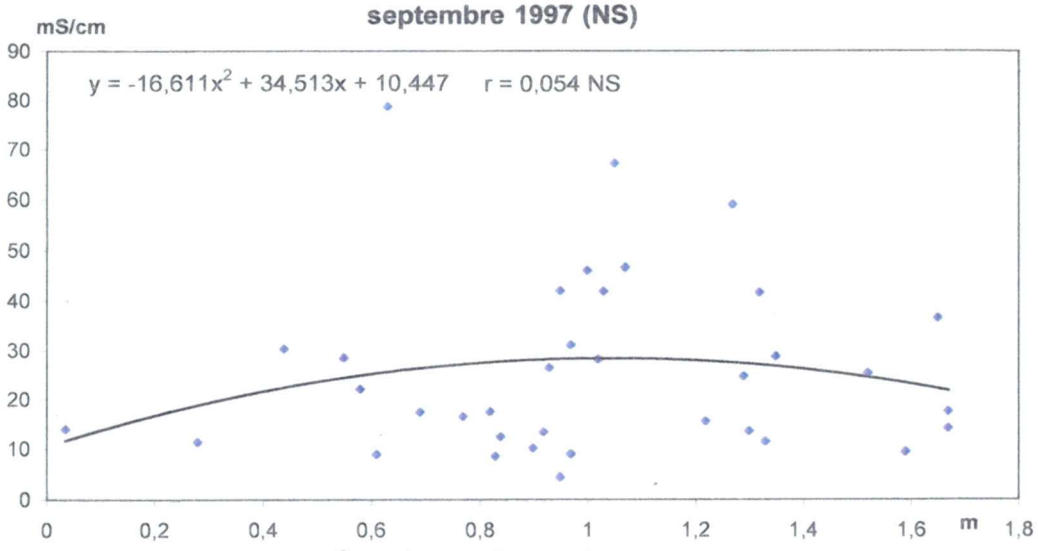


Fig. 8- Régression entre salinité de la surface du sol (CEe0-20 en mS/cm) et niveau de la nappe (m). Périmètre irrigué de Sagdoud, septembre 1997 (NS)

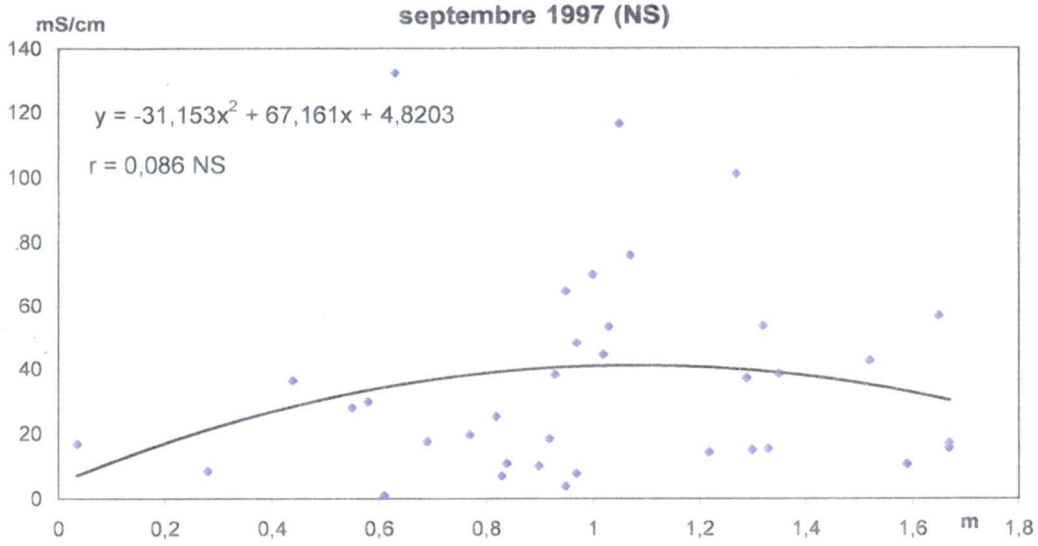
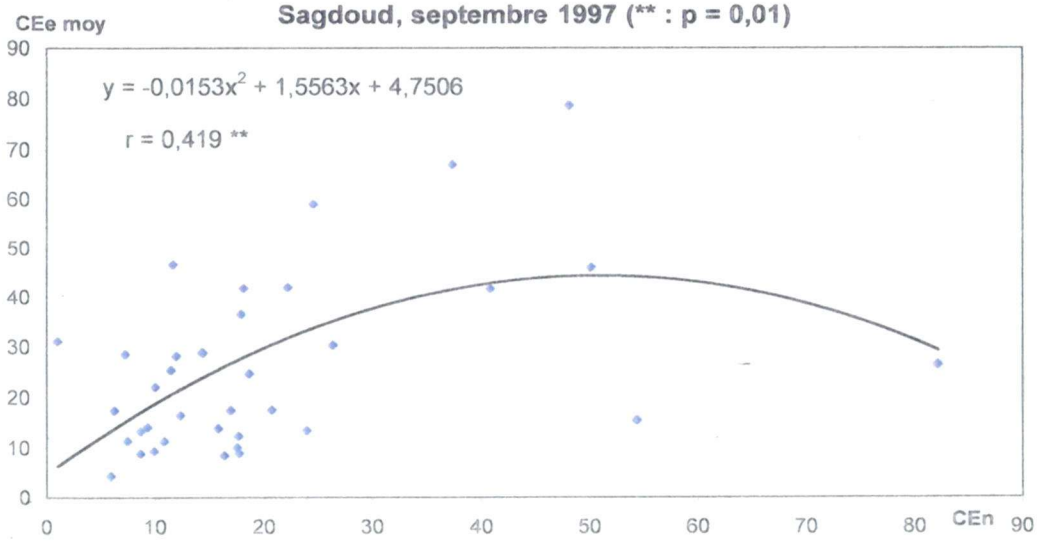


Fig. 9- Régression entre salinité moyenne du sol (CEe moy. en mS/cm) et salinité de la nappe (mS/cm). Périmètre irrigué de Sagdoud, septembre 1997 (: p = 0,01)**



mS/cm. De part et d'autre de cet axe, des noyaux à très forte salinité s'individualisent avec des valeurs dépassant même les 100 mS/cm. C'est le cas des angles sud-ouest et sud-est du périmètre. Ailleurs, la salinité varie entre 20 et 60 mS/cm. L'horizon de surface se concentre beaucoup plus en sels solubles notamment dans des zones déterminées où apparaissent les noyaux d'accumulation. La zone la moins salée semble se situer au centre du périmètre en s'étirant vers les limites orientale et occidentale.

4-1-3- Les corrélations de la profondeur et de la salinité de la nappe avec la salinité des sols

- La régression entre le niveau de la nappe et la salinité moyenne des sols est non significative avec un coefficient r = 0,054 (fig. 7). Les distributions spatiales des deux paramètres ne sont pas très similaires, comme le montre la superposition des figures 3 et 5. La salinité des sols n'est pas liée au niveau de la nappe ce qui indiquerait que les sels peuvent s'accumuler dans les sols à partir des bas et des hauts niveaux de cette nappe. La profondeur 1,4 m de la nappe pourrait communiquer, par conséquent, des sels à la partie du sol comprise entre 0 et 120 cm.
- La régression entre le niveau de la nappe et la salinité de l'horizon de surface est non significative avec un coefficient r = 0,086 (fig. 8). Le matériau du sol de ce périmètre n'accumule pas les sels proportionnellement au niveau de la nappe comme le montre ce résultat. En effet, des noyaux fortement salés peuvent apparaître au-dessus d'un niveau de la nappe voisin de 1,4 m (fig. 3 et 6). La salinité de cette couche de sol subirait l'action conjuguée de l'irrigation et de l'ETR, qui perturberait la corrélation avec le niveau de la nappe.
- La corrélation entre la salinité de la nappe et la salinité moyenne des sols (CEe moy.) est hautement significative avec un coefficient de corrélation r = 0,419 et 34 ddl (fig. 9). La similarité de la répartition spatiale des sels entre les figures 4 et 6 n'est très apparente que sur la diagonale nord-est – sud-ouest ; ailleurs, les noyaux de concentration des sels se rapprochent mais ne se superposent pas. Cela n'empêche pas que le lien existe entre les deux paramètres et serait dû à ce que des échantillons de sols auraient été prélevés dans les horizons atteints par la nappe.

4-1-4- Conclusion

La nappe est très proche de la surface du sol dans la moitié ouest du périmètre. La salinité de la nappe est élevée. Celle des sols s'accentue énormément par rapport à la nappe et atteint des valeurs peu tolérables par toutes les espèces cultivées.

La répartition spatiale de la salinité des sols n'est pas similaire à celle de la profondeur de la nappe d'où l'absence de corrélation entre les deux variables. La relation existe, par ailleurs, entre la salinité de la nappe et la salinité moyenne (CEe moy.) des sols.

4-2- Le contrôle de septembre 1998

4-2-1– le niveau et la salinité de la nappe

Comparativement à l'année précédente, le niveau de la nappe se répartit d'une manière très différente. La courbe 1,4 m s'enfonce très profondément vers le nord-ouest et réduit très nettement les plages où le niveau est inférieur à 1,1 m. la courbe 0,8 m est inexistante (fig. 10). Un rabattement très important a concerné la nappe durant cette période.

Fig. 10- Distribution spatiale du niveau de la nappe phréatique (m) dans le périmètre irrigué de Sagdoud. Septembre 1998

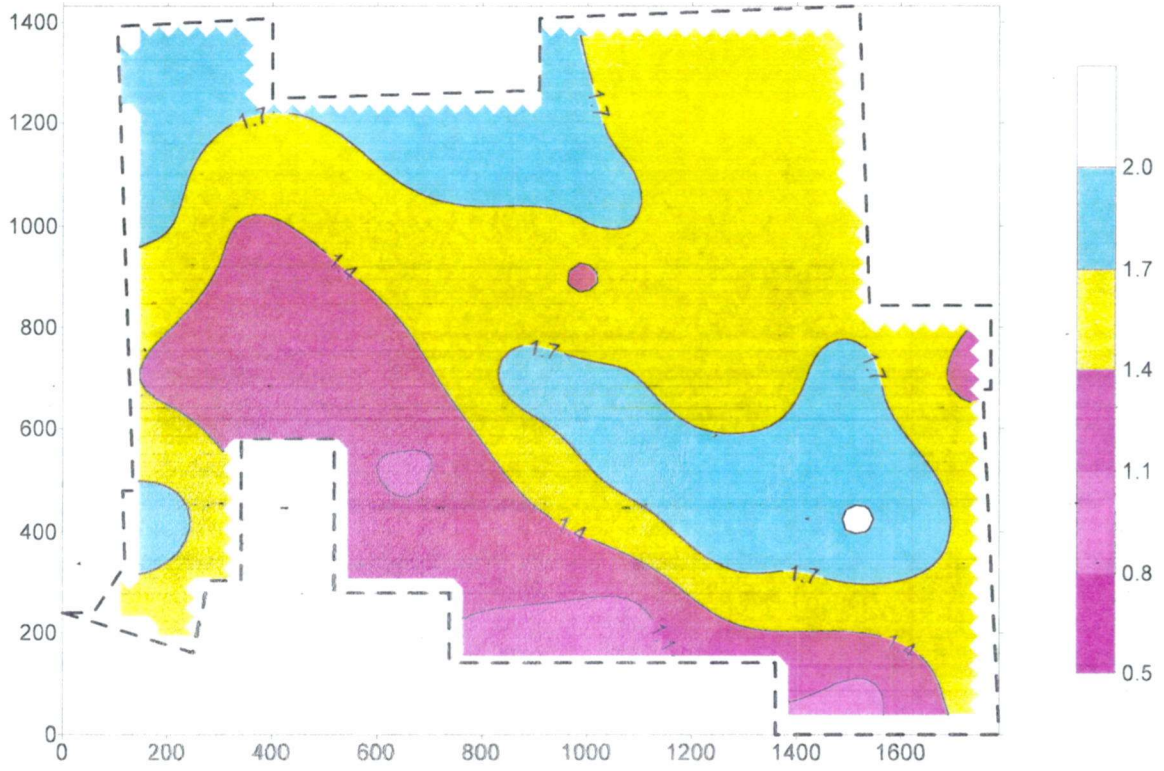


Fig. 11- Distribution spatiale de la salinité de la nappe phréatique (mS/cm) dans le périmètre irrigué de Sagdoud. Septembre 1998

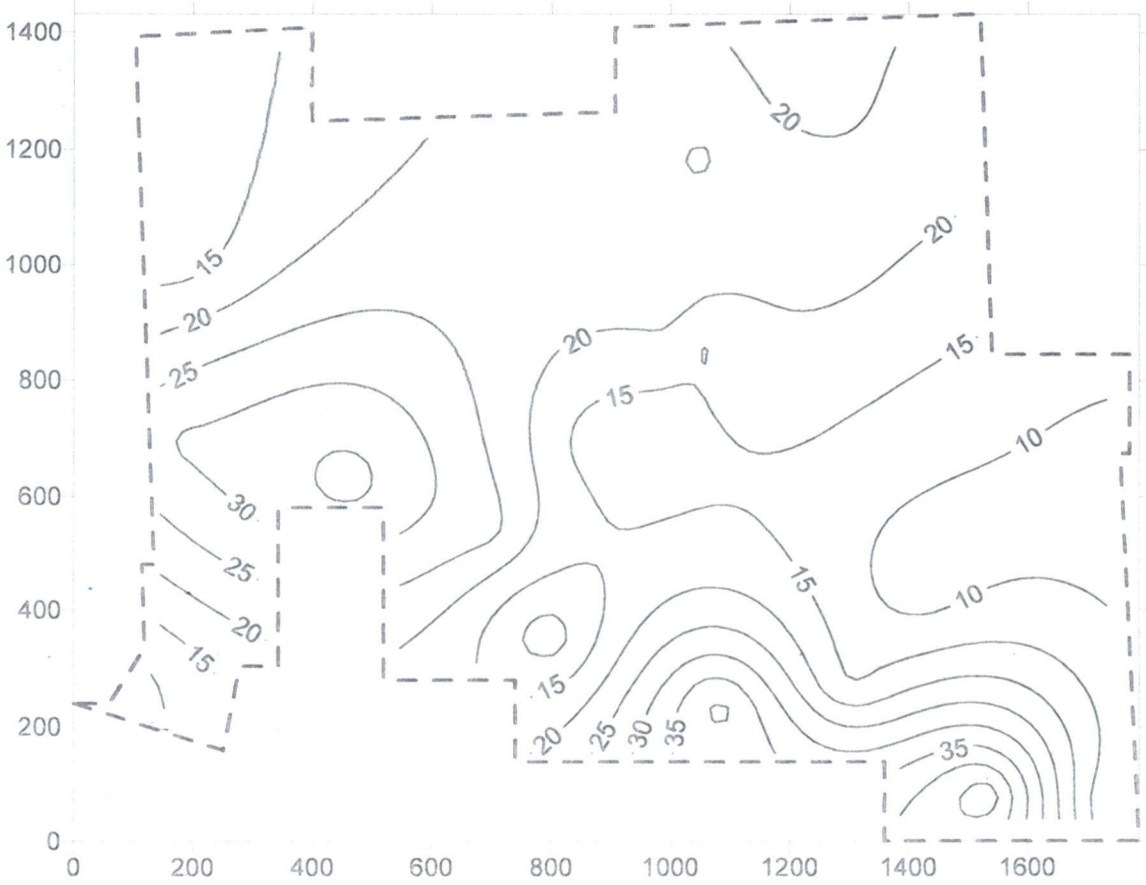


Fig. 12- Distribution spatiale de la salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Septembre 1998

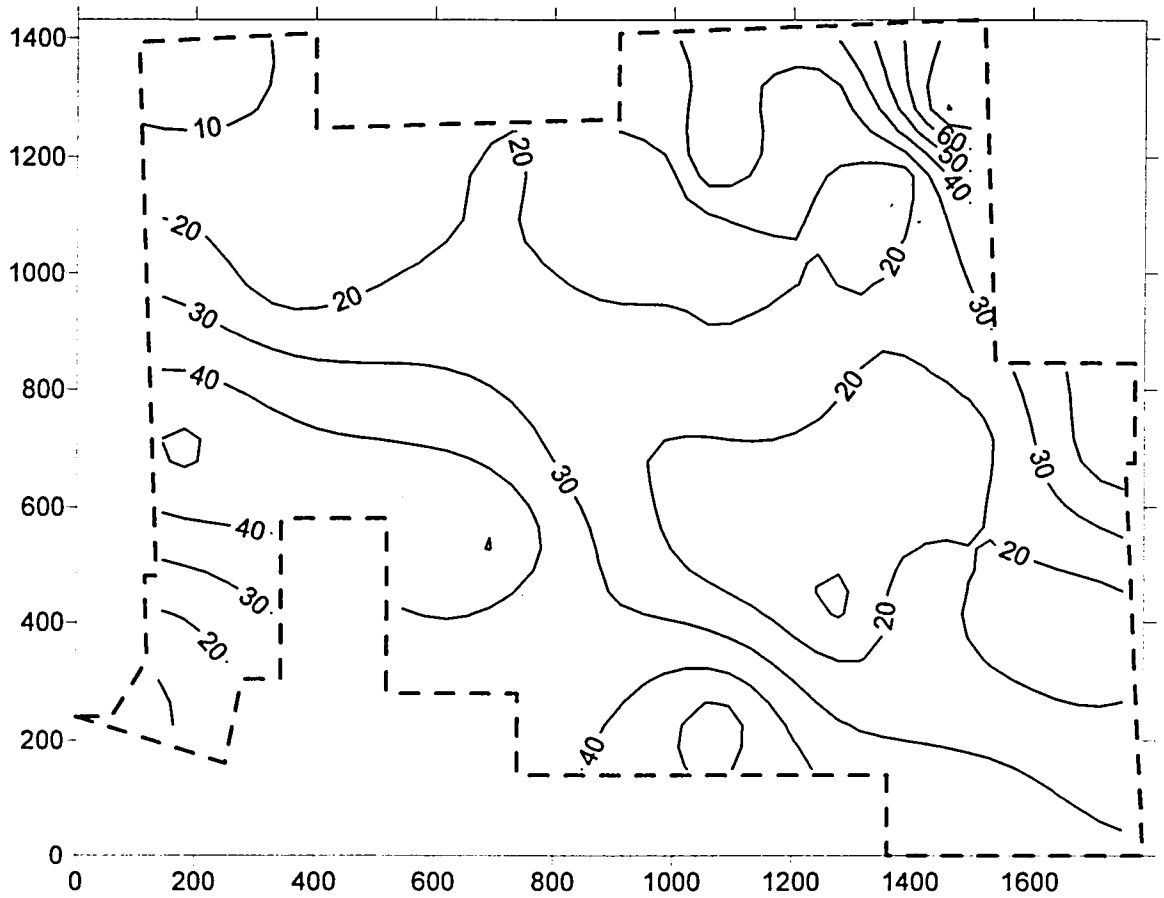
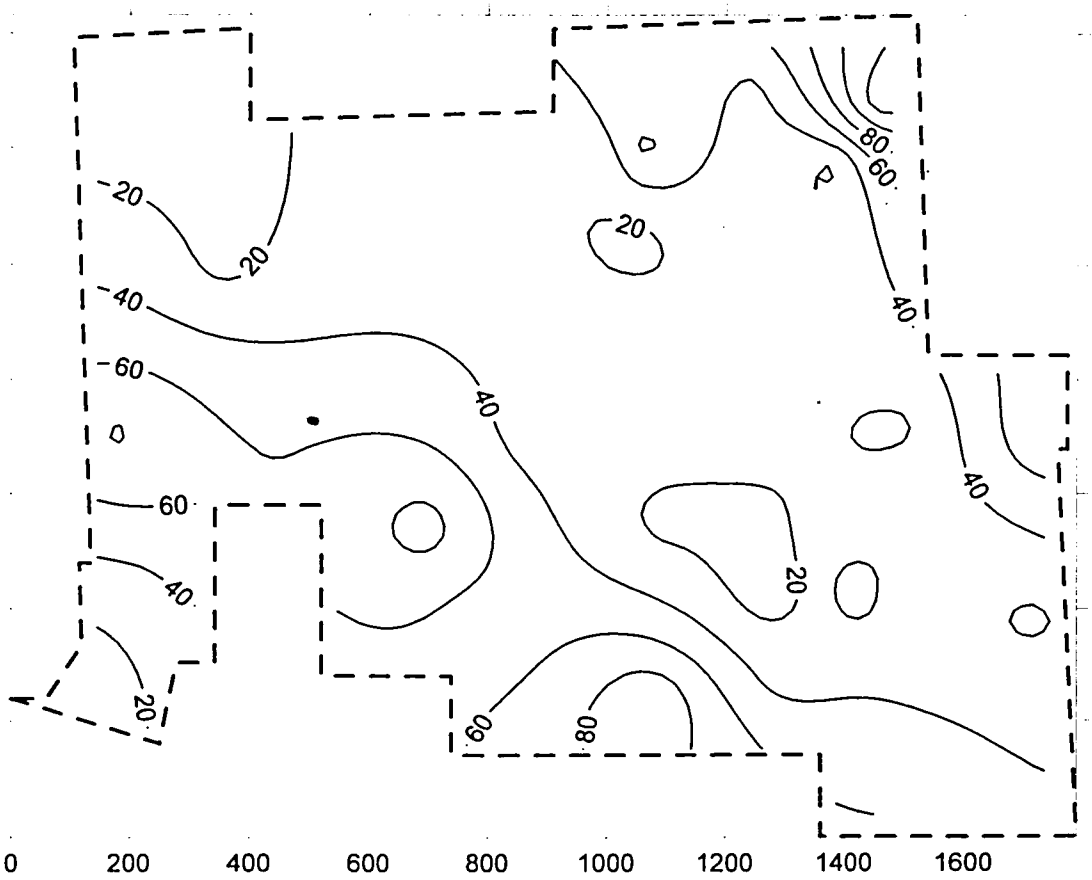


Fig. 13- Distribution spatiale de la salinité de l'horizon de surface des sols (CEe_{0-20} en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Septembre 1998



Son origine serait probablement l'action conjuguée d'une abstention partielle ou totale de l'irrigation et de l'installation d'un réseau de drainage.

La salinité de la nappe s'est aussi retirée vers l'ouest et a suivi le mouvement de rabattement de la nappe. En effet, les valeurs sont comprises entre 10 et 20 mS/cm sur les 3/4 du périmètre au moins et ce n'est que près de l'extrémité occidentale qu'elles s'accentuent pour atteindre 40 mS/cm environ (fig. 11). La répartition spatiale de la salinité de la nappe est inversement proportionnelle au niveau du plan d'eau selon les figures 10 et 11. Cependant, la salinité de cette nappe reste élevée même avec 10 et 20 mS/cm, valeurs qui peuvent influer négativement et d'une manière très nette sur le rendement des cultures.

4-2-2- La salinité des sols

4-2-2-1- La salinité moyenne (CEe moy.)

La salinité est voisine de 20 mS/cm le long de la diagonale nord-est – sud-ouest et s'accroît de part et d'autre pour atteindre 40 à 50 mS/cm et même 70 mS/cm près de l'angle sud-est (fig. 12). Les valeurs de cette salinité restent excessives pour des espèces cultivées, même pour le palmier dattier. Elles atteignent des seuils intolérables pour toutes les cultures sur les bordures proches des angles sud-est et nord-ouest. Cette distribution spatiale de CEe moyenne est différente de celles du niveau et de la salinité de la nappe (fig. 10 et fig. 11).

4-2-2-2- La salinité de l'horizon de surface (CEe_{0-20})

La distribution est similaire à celle de CEe moyenne. Le long de la diagonale nord-est - sud-ouest, les valeurs sont proches de 20 mS/cm pour augmenter près des angles sud-est et nord-ouest. Des valeurs de 80 et 90 mS/cm sont présentes près de l'angle sud-est (fig. 13). Cet horizon de surface où se concentrent les racines des plantes herbacées surtout est inapte pour la mise en culture avec ces fortes valeurs de la conductivité électrique. Les racines des arbres fruitiers doivent exploiter les horizons plus profonds qui auraient des salinités inférieures à celle de l'horizon de surface.

4-2-3- Les corrélations du niveau et de la salinité de la nappe avec la salinité des sols

- La régression entre CEe moyenne et le niveau de la nappe est hautement significative avec r = 0,529 pour 30 ddl. La corrélation est négative puisque la salinité du sol augmente lorsque la profondeur de la nappe diminue (fig. 14). Malgré son éloignement relatif, la nappe agit sur le sol en lui communiquant des sels solubles. La nature du matériau pédologique du périmètre favoriserait ainsi une remontée des sels dans les 120 premiers centimètres lorsque le niveau de la nappe est comprise entre 1,1 et 1,7 m (fig. 10).
- La régression entre le niveau de la nappe et la salinité de l'horizon de surface (CEe_{0-20}) est aussi négative et hautement significative avec r = 0,542 et pour 30 ddl (fig. 15). Malgré son rabattement, la nappe agit sur la surface du sol en lui communiquant ses sels. Le matériau pédologique de nature gypseuse et sableuse permettrait la remontée de l'eau par capillarité à partir du niveau du plan d'eau situé le plus souvent à plus de 1,1 m de profondeur (fig. 10).
- La régression entre la salinité de la nappe et la salinité moyenne des sols (CEe moy.) est significative au seuil 0,05 avec r = 0,504 et pour 20 ddl (fig. 16). La corrélation positive indique que plus la salinité de la nappe augmente plus celle des sols s'accroît à son tour. La nappe agit sur la zone exploitée par les racines non seulement par son niveau mais aussi par sa salinité. Les zones où la nappe est plus salée subissent une salinisation plus prononcée.

Fig. 14- Régression entre salinité moyenne du sol (CEemoy. en mS/cm) et niveau de la nappe (m). Périmètre irrigué de Sagdoud, septembre 1998 (: p = 0,01)**

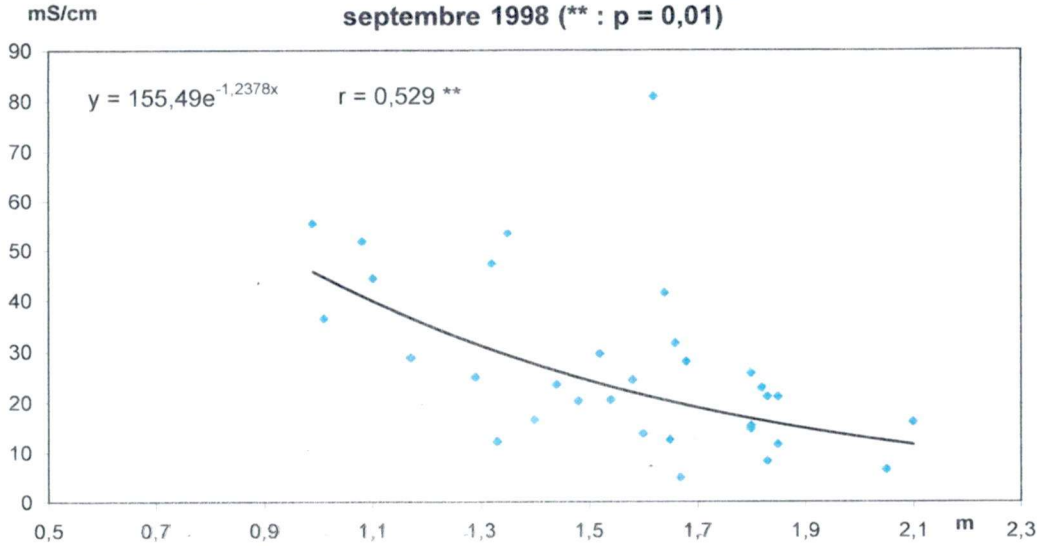


Fig. 15- Régression entre salinité de la surface du sol (CEe_{0-20} en mS/cm) et niveau de la nappe (m). Périmètre irrigué de Sagdoud, septembre 1998 (: p = 0,01)**

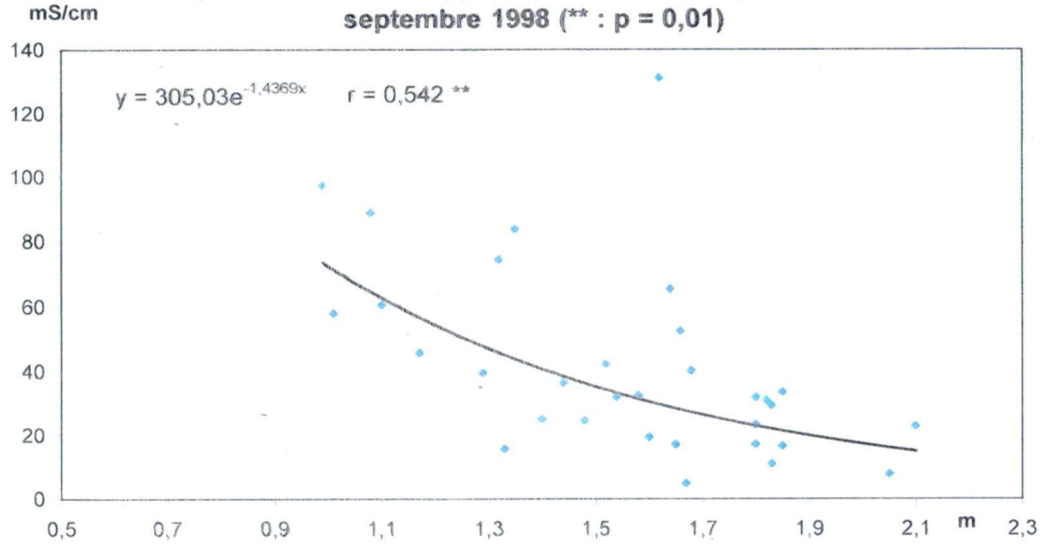
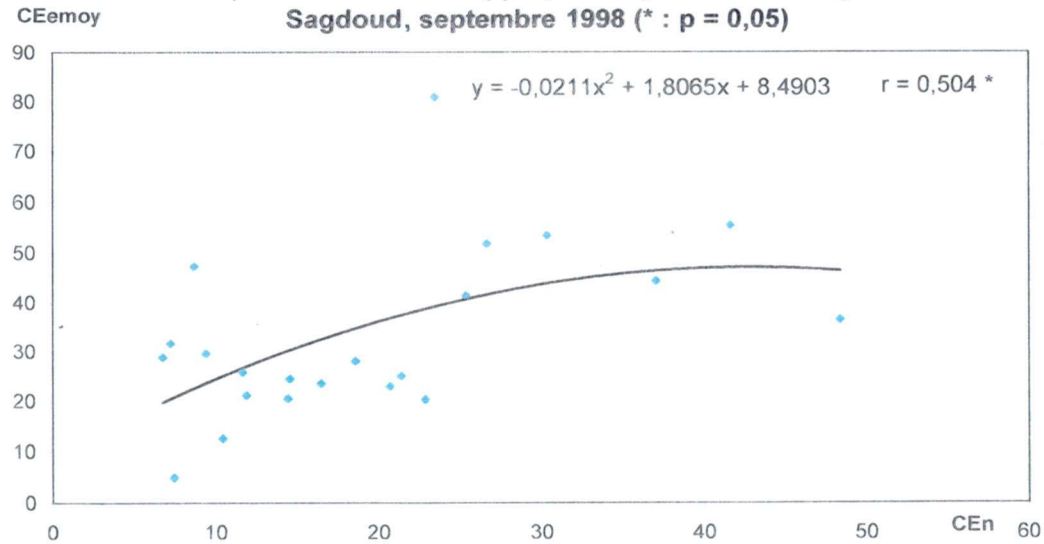


Fig. 16- Régression entre salinité moyenne du sol (CEemoy. en mS/cm) et salinité de la nappe (mS/cm). Périmètre irrigué de Sagdoud, septembre 1998 (* : p = 0,05)



4-2-4- Conclusion

Cette période de septembre 1998 se caractérise par un rabattement du niveau de la nappe jusqu'à plus de 1,1 m sur la presque totalité de la surface du périmètre. Ceci n'a pas empêché que les sols sont restés salés et que leur salure est liée à la fois au niveau du plan d'eau et à sa salinité.

4-3- Les contrôles de l'année 1999

4-3-1- Le contrôle de mai 1999

4-3-1-1- La salinité de la nappe

Le niveau statique de la nappe n'a pas été relevé au cours de cette période mais les échantillons d'eau prélevés ont été analysés ce qui a permis de dresser la carte de répartition spatiale de la salinité de cette nappe (fig. 17). Elle montre que les plus faibles salinités (10 à 15 mS/cm) se répartissent le long d'un axe nord-sud plus proche de la bordure ouest du périmètre. Le reste du périmètre est couvert par des courbes d'isovaleurs variant entre 20 et 35 mS/cm. Cette salinité est très élevée et se distribue d'une manière différente de celles des campagnes de septembre 1997 et de septembre 1998. Au cours de cette période de mai 1999, l'irrigation aurait repris pour les palmiers ce qui aurait dû alimenter la nappe par des apports supplémentaires faisant varier la répartition spatiale de sa salinité.

4-3-1-2- La salinité des sols

4-3-1-2-1- La salinité moyenne (CEe moy.)

Elle est très élevée près des bordures nord et ouest et tourne autour de 10 mS/cm près de l'extrémité sud-ouest. Les valeurs supérieures à 20 mS/cm dominent largement le périmètre (fig. 18). Elles atteignent même 60 mS/cm au centre d'un noyau situé près de la limite septentrionale. On relève aussi de fortes valeurs près de l'angle sud-est. La zone moins salée s'est rétrécie et n'occupe plus la diagonale nord-est - sud-ouest. Elle s'est retirée plus vers le sud, mais les chiffres 10 mS/cm apparaissent plus au cours de cette période que précédemment. Une diminution localisée de la salinité est donc apparue. Cela n'empêche pas de signaler que les valeurs restent très élevées pour les espèces végétales cultivées.

4-3-1-2-2- La salinité de l'horizon de surface (CEe_{0-20})

Elle diffère de CEe moyenne par la répartition le long de la diagonale nord-est – sud-ouest des valeurs les plus faibles, qui se situent entre 10 et 20 mS/cm (fig. 19). C'est le long de la bordure ouest et près de l'angle sud-est que la salinité est la plus élevée. Elle atteint 50 à 60 mS/cm, ce qui doit anéantir toute possibilité de production sur ces zones. Pour éviter cette forte salinité, les espèces arboricoles doivent exploiter des horizons profonds moins salés.

4-3-1-3- La corrélation entre la salinité de la nappe et la salinité des sols

Elle est significative au seuil 0,05 avec un coefficient de corrélation r = 0,468 et 25 ddl (fig. 20). Cette corrélation positive signifie que plus la salinité de la nappe augmente, plus celle des sols s'accroît à son tour. La nappe très salée est donc une source de salinisation des sols du périmètre de Sagdoud en cette période de mai 1999.

Fig. 17- Distribution spatiale de la salinité de la nappe phréatique (mS/cm) dans le périmètre irrigué de Sagdoud. Mai 1999

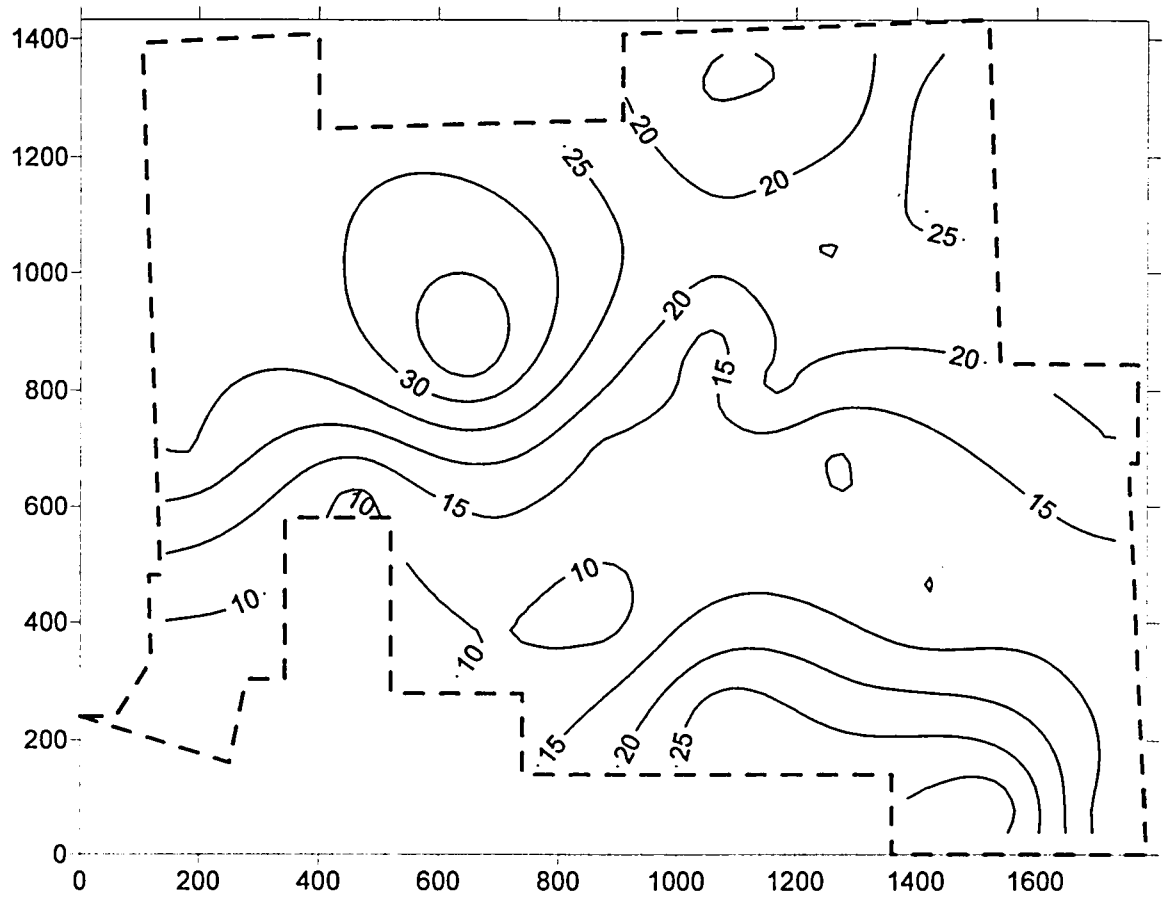


Fig. 18- Distribution spatiale de la salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Mai 1999

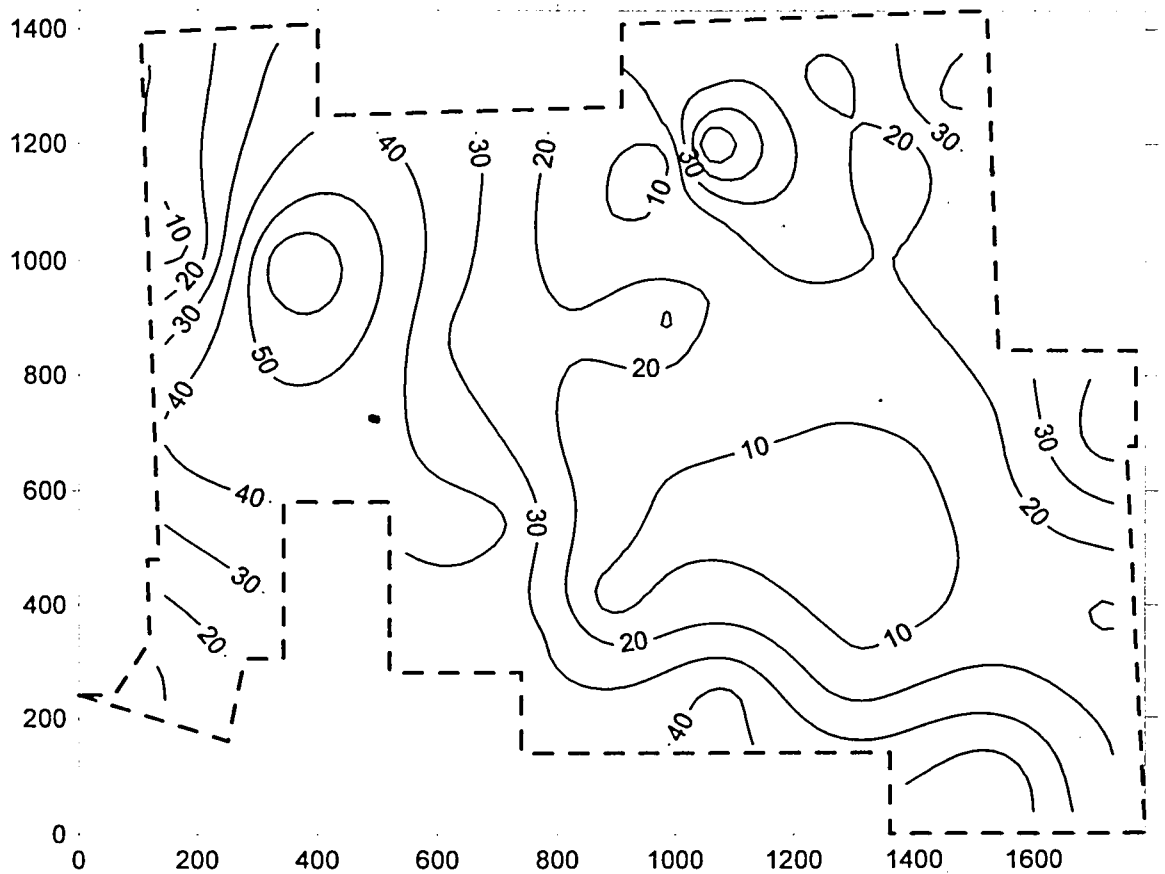


Fig. 19- Distribution spatiale de la salinité de l'horizon de surface des sols (CEe_{0-20} en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Mai 1999

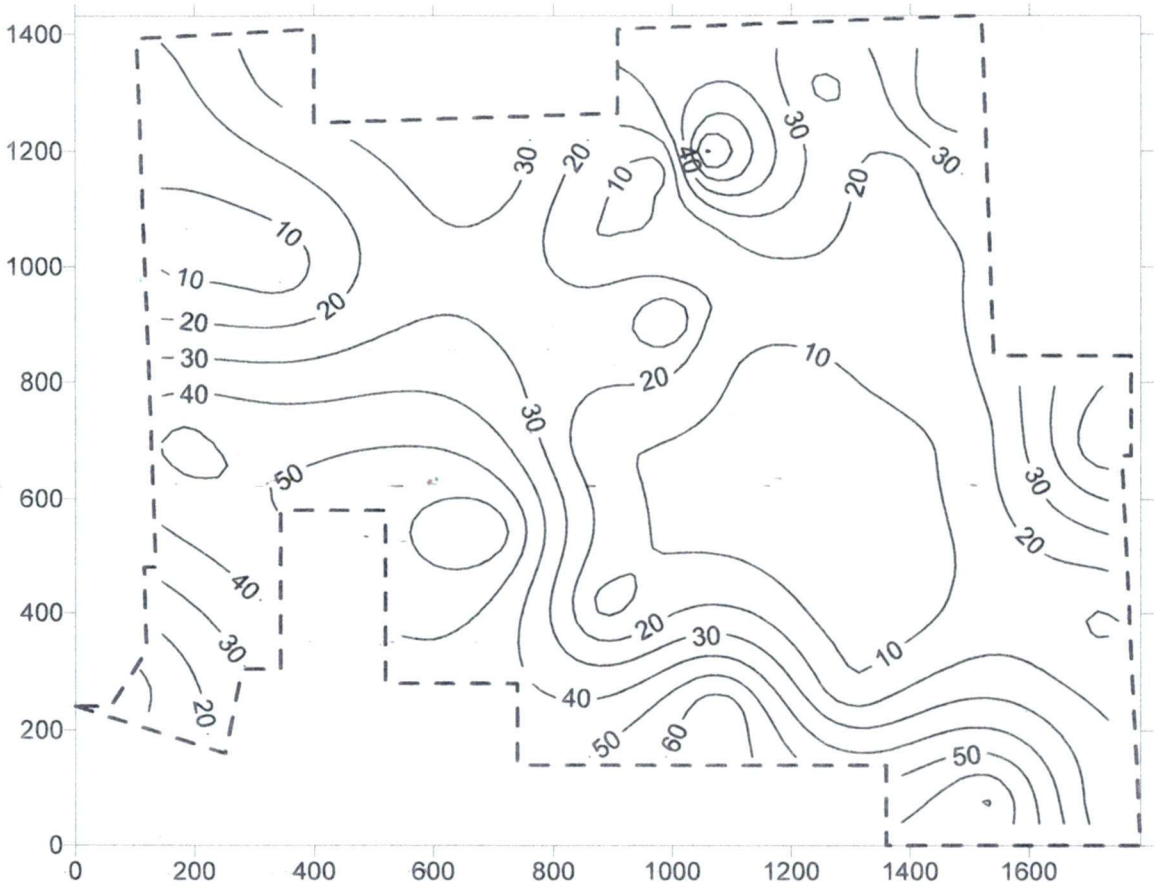
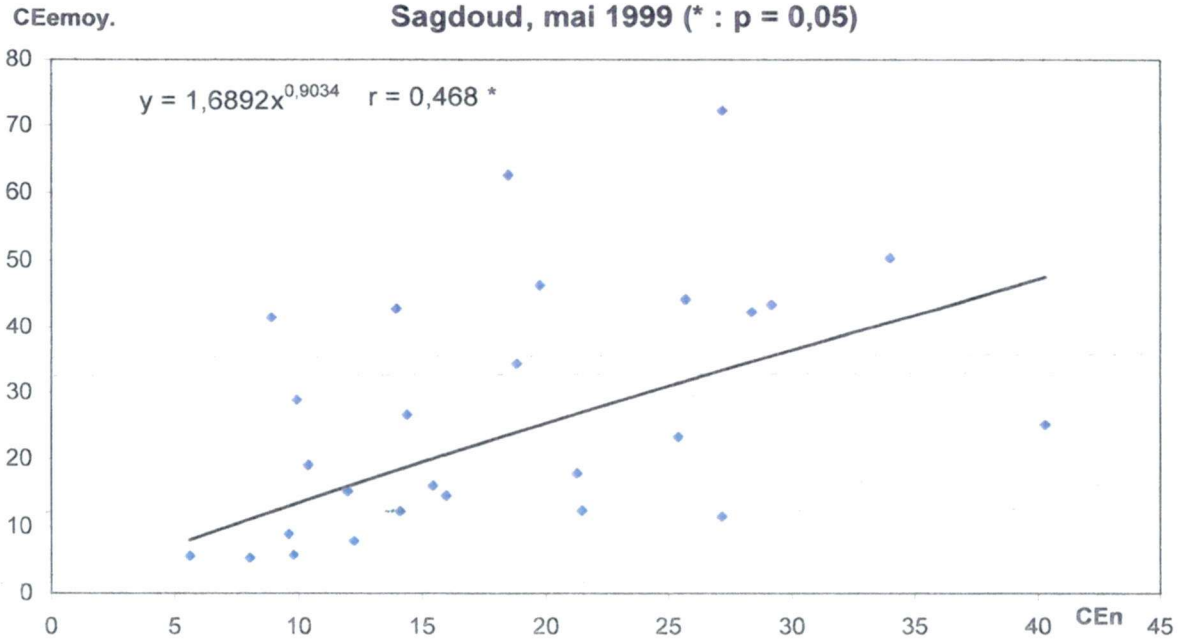


Fig. 20- Régression entre salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) et salinité de la nappe (mS/cm). Périmètre irrigué de Sagdoud, mai 1999 (* : p = 0,05)



4-3-1-4- Conclusion

La salinité des sols est très élevée malgré la présence de plages à 10 mS/cm à la fois sur les cartes de distribution spatiale de la salinité moyenne et de celle de l'horizon de surface. Cette salinité est corrélée positivement à celle de la nappe, d'où le rôle important de salinisation secondaire des sols à partir de cette dernière.

4-3-2- Le contrôle de novembre 1999

4-3-2-1- La profondeur de la nappe

Le niveau de la nappe est descendu au cours de cette période de sorte que quatre piézomètres seulement ont pu être échantillonnés et analysés (43, 31, 34, 70). Ainsi, seule la carte des isopaques est dressée (fig. 21). Elle montre que le niveau de la nappe est au-delà de 1,6 m sur 90 % de la surface du périmètre et que seul un petit noyau représentant une profondeur inférieure à 1,2 m subsiste près de l'angle sud-ouest. Le rabattement de la nappe est évident ; ses origines seraient le fonctionnement du réseau de drainage et l'abstention d'irrigation au cours de l'automne, période correspondant à la cueillette des dattes.

4-3-2-2-La salinité des sols

4-3-2-2-1- La salinité moyenne (CEe moy.)

Les courbes d'isovaleurs de cette salinité montrent des chiffres très élevés le long de la limite nord et près des bordures sud-est et sud-ouest. C'est le long de la diagonale nord-est – sud-ouest que les valeurs sont les plus faibles mais qui restent voisines de 20 mS/cm (fig. 22). Le maximum peut atteindre 80 mS/cm surtout près de l'extrémité nord-ouest. La salinité moyenne des sols ne suit pas l'évolution du niveau de la nappe. Malgré le rabattement de cette dernière, les sols demeurent très salés et ne semblent pas subir une désalinisation naturelle progressive. Au contraire, des plages très salées ont fait leur apparition signifiant que la salinité s'est accentuée.

4-3-2-2-2- La salinité de l'horizon de surface (CEe_{0-20})

La carte de distribution spatiale de cette salinité est similaire à celle de CEe moyenne. On constate, cependant, que les valeurs des plages salées sont plus élevées de sorte qu'on peut constater la présence d'une courbe de 120 mS/cm près de la bordure nord-ouest (fig. 23). La diagonale nord-est – sud-ouest est toujours la moins salée avec des valeurs proches de 20 mS/cm. La salinité de cet horizon est très élevée en cet automne 1999. Elle ne permet, pratiquement, la survie d'aucune espèce cultivée à végétation herbacée. Ce sont les espèces fruitières qui résistent et qui doivent exploiter des horizons profonds moins salés.

4-3-2-3- La corrélation entre la salinité moyenne (CEe moy.) et la profondeur de la nappe

Elle est non significative avec un coefficient $r = 0,154$. Le niveau de la nappe s'est éloigné de la surface du sol et n'a plus d'effet sur la salinité des sols selon ce résultat (fig. 24). La courbe illustrant cette corrélation présente essentiellement une allure négative.

Fig. 21- Distribution spatiale de la profondeur de la nappe phréatique (m) dans le périmètre irrigué de Sagdoud. Novembre 1999

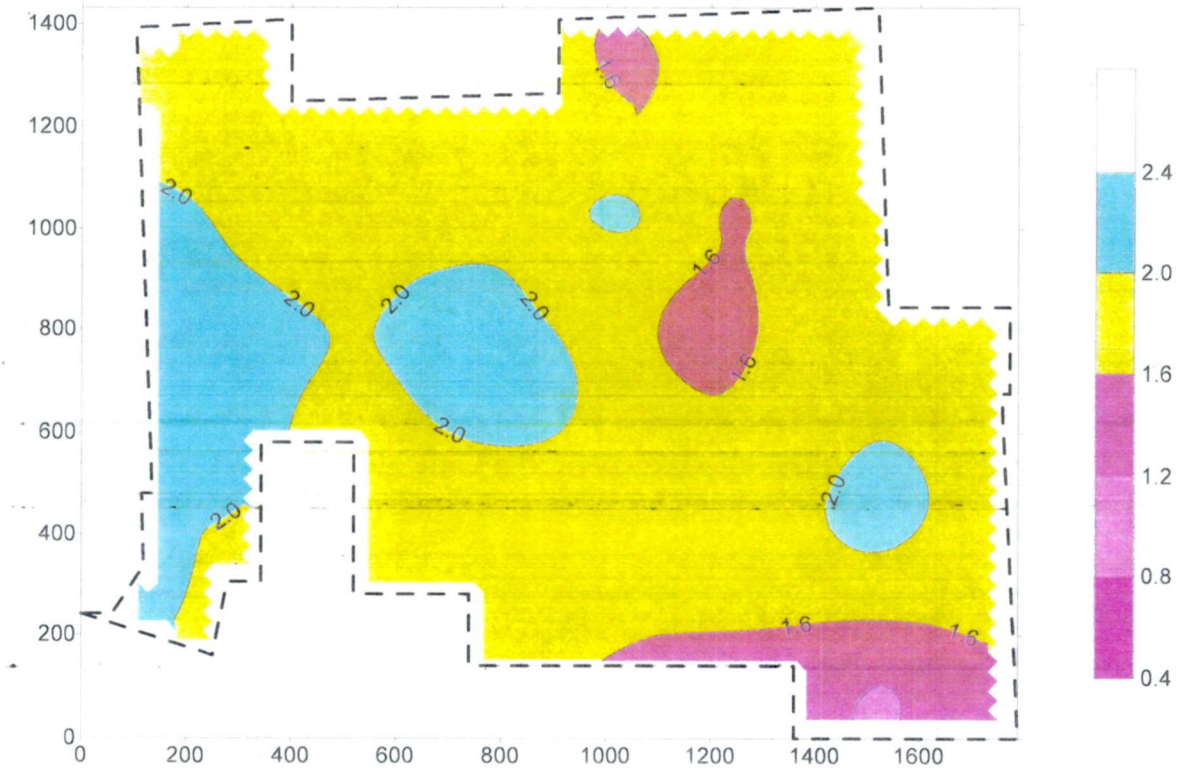


Fig. 22- Distribution spatiale de la salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Novembre 1999

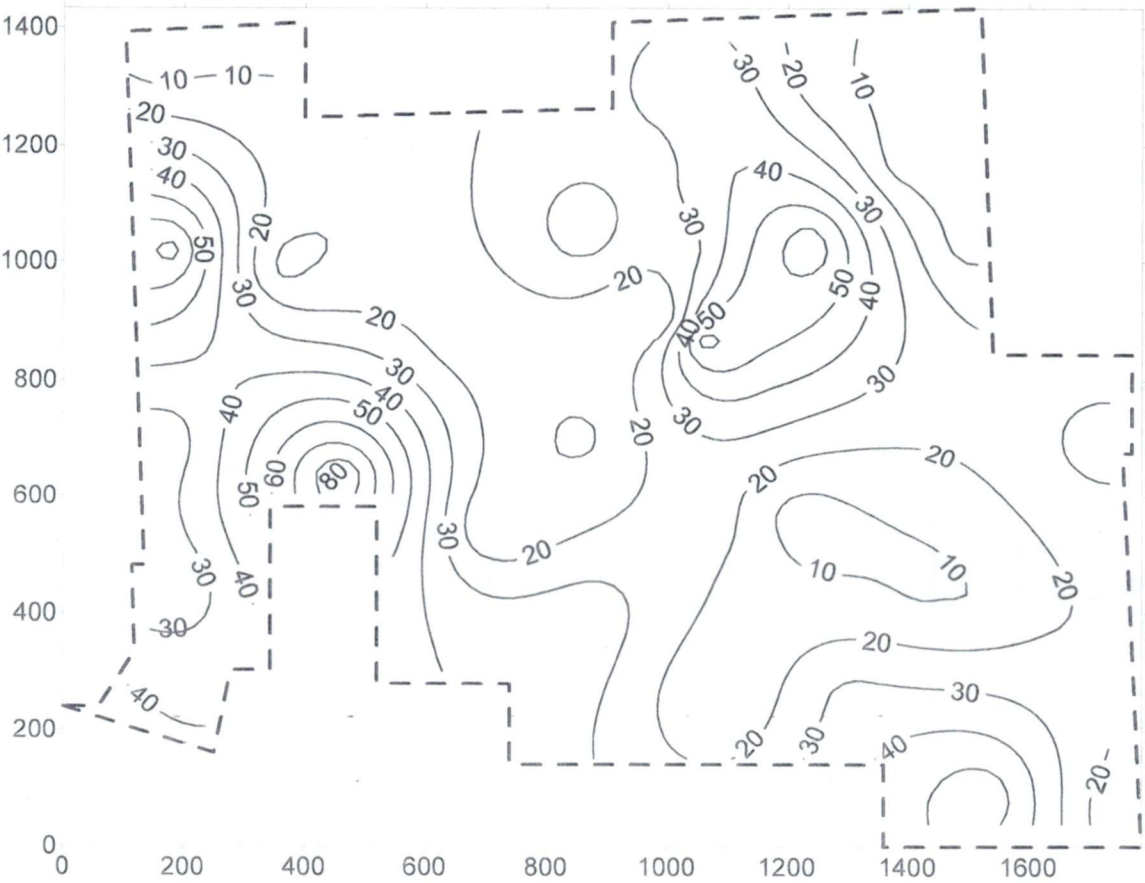


Fig. 23- Distribution spatiale de la salinité de l'horizon de surface des sols (CEe_{0-20} en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Novembre 1999

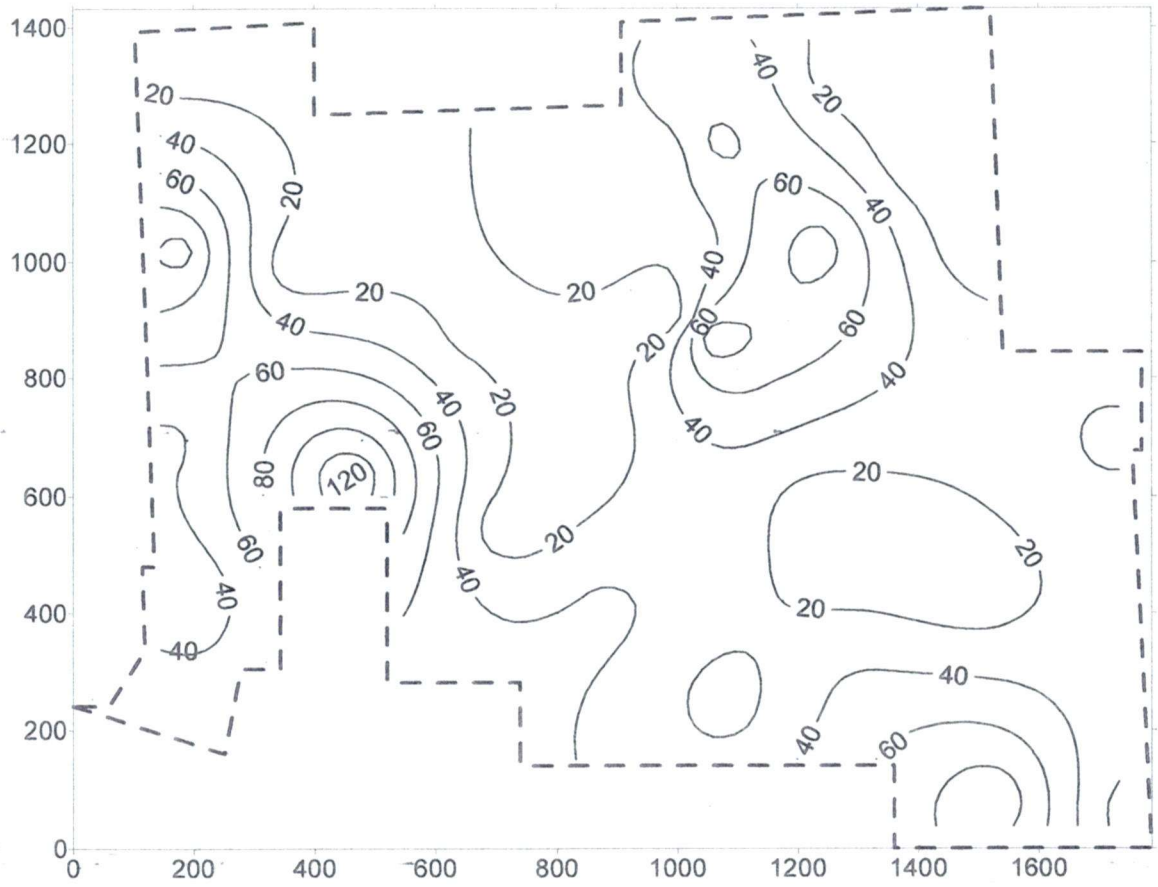
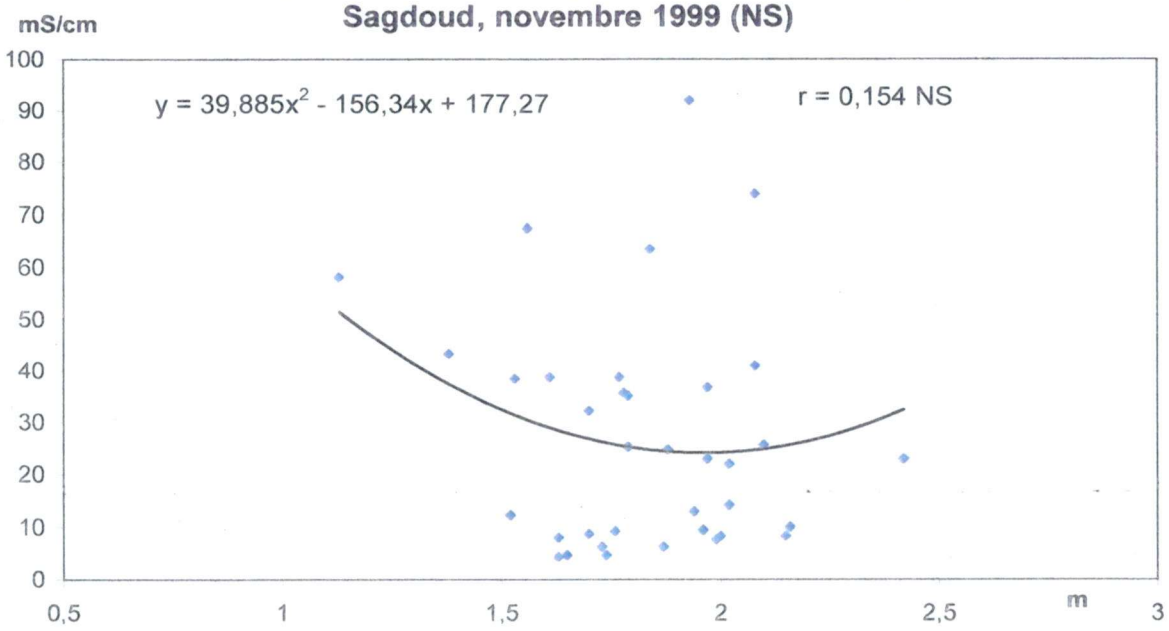


Fig. 24- Régression entre salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) et profondeur de la nappe (m). Périmètre irrigué de Sagdoud, novembre 1999 (NS)



4-3-2-4- Conclusion

Le rabattement de la nappe est très net au cours de ce mois de novembre 2001. Ce rabattement n'a pas eu un effet similaire sur la salinité des sols qui est restée extrêmement élevée dans certaines parties du périmètre. La nappe, suffisamment profonde, n'agit plus sur la salinité des sols ; ces derniers n'arrivent pas, apparemment, à évacuer leurs sels accumulés lorsque le niveau de la nappe était superficiel. Ceci est dû soit à la nature du matériau pédologique soit à l'absence de doses lessivantes.

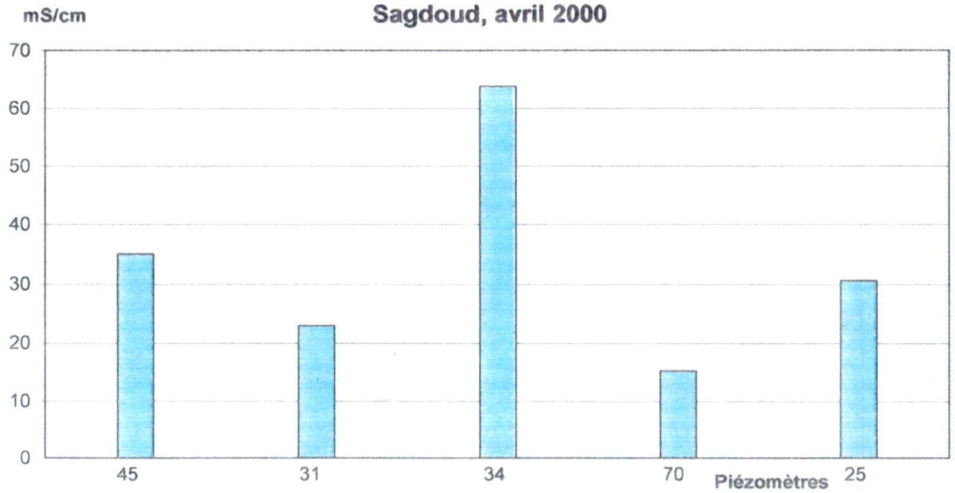
4-4-Les contrôles de l'année 2000

4-4-1- Le contrôle d'avril 2000

Ce contrôle n'a concerné que la nappe phréatique. La carte des isopaques (fig. 25) est très semblable à celle de novembre 1999. En effet, le niveau est resté éloigné de la surface du sol sauf près de l'angle sud-ouest où il remonte à plus de 1,2 m sur une surface très limitée. La presque totalité du périmètre est couverte par des plages représentant des profondeurs supérieures à 1,6 m. Le niveau de la nappe est donc maintenu assez éloigné grâce, probablement, à la mise en fonctionnement du réseau de drainage.

L'échantillonnage de la nappe a pu être effectué sur cinq piézomètres (45, 31, 34, 70 et 25). L'analyse de leur salinité montre des valeurs comprises entre 15 et 63 mS/cm (fig. 26). Le piézomètre le plus salé est le n° 34 situé près du centre du périmètre ; le moins salé est le n° 70, situé près de l'angle sud-ouest. Pour les trois autres piézomètres, les salinités sont supérieures 20 mS/cm. La nappe est donc très salée malgré l'éloignement de son niveau de la surface du sol.

Fig. 26- Représentation en histogrammes de la salinité de l'eau des piézomètres échantillonnés (mS/cm). Périmètre irrigué de Sagdoud, avril 2000



4-4-2- Le contrôle de juillet 2000

Il a concerné la salinité des sols qui est illustrée par les cartes de distribution spatiale de CEe moyenne et de $\overline{CEe}_{0\text{-}20}$:

- Les courbes d'isovaleurs de CEe moyenne présentent généralement des chiffres supérieurs à 20 mS/Cm sauf près de la bordure sud où ils sont voisins de 10 mS/cm. Des valeurs extrêmement élevées apparaissent dans la quart sud-est du périmètre (70 à 80 mS/cm). Sur la

Fig. 25- Distribution spatiale de la profondeur de la nappe phréatique (m) dans le périmètre irrigué de Sagdoud. Avril 2000

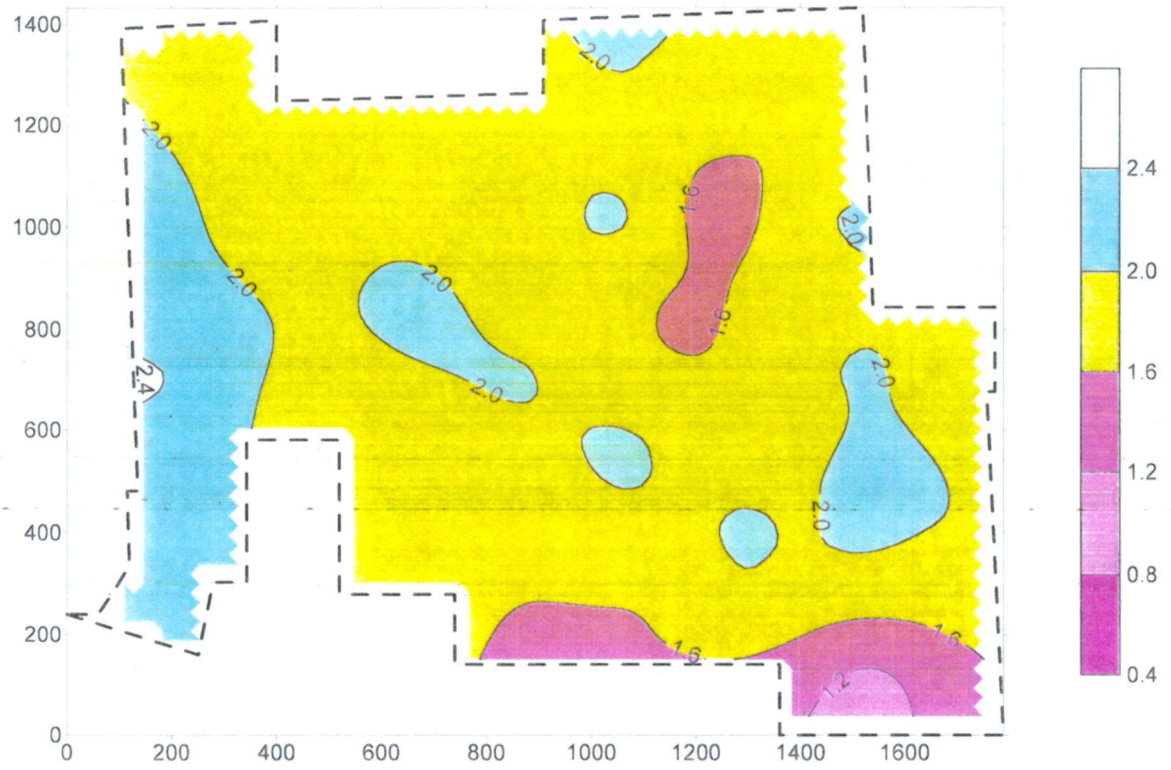


Fig. 27- Distribution spatiale de la salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Juillet 2000

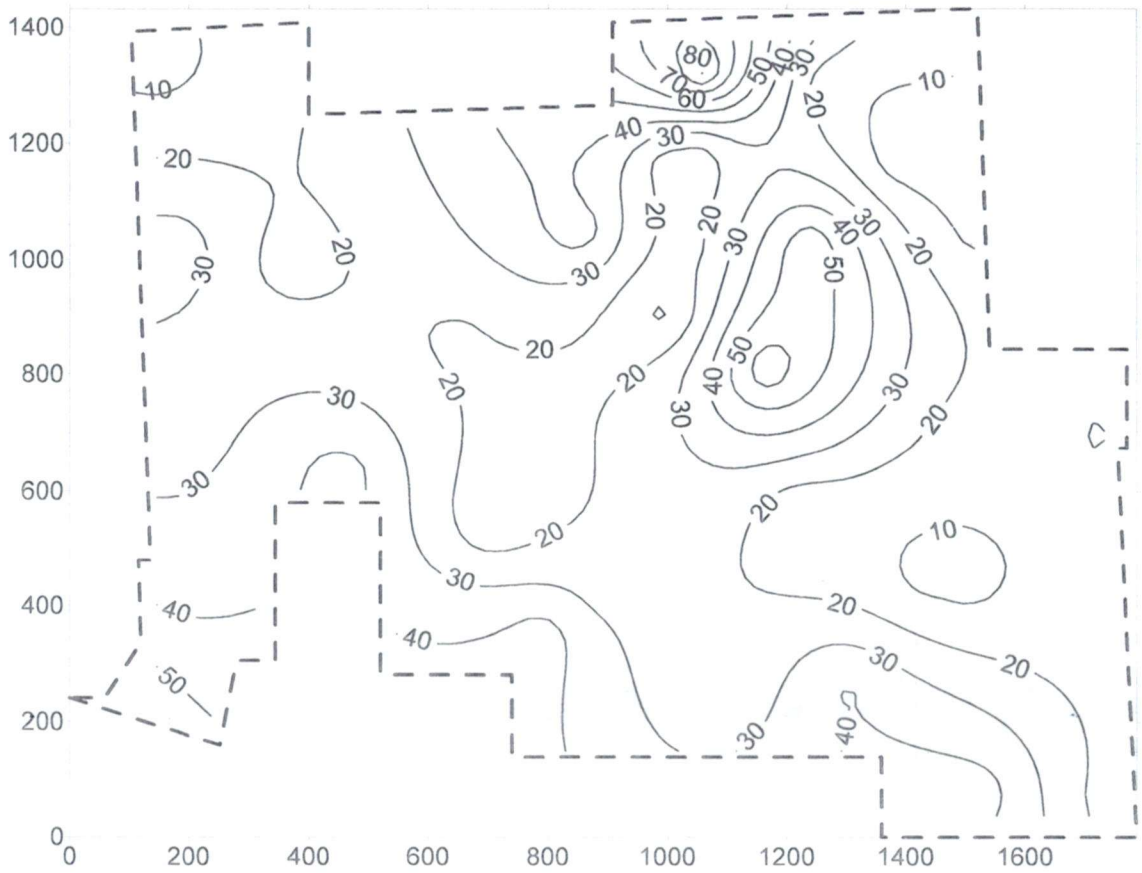


Fig 28- Distribution spatiale de la salinité de l'horizon de surface des sols (CEe_{0-20} en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Juillet 2000

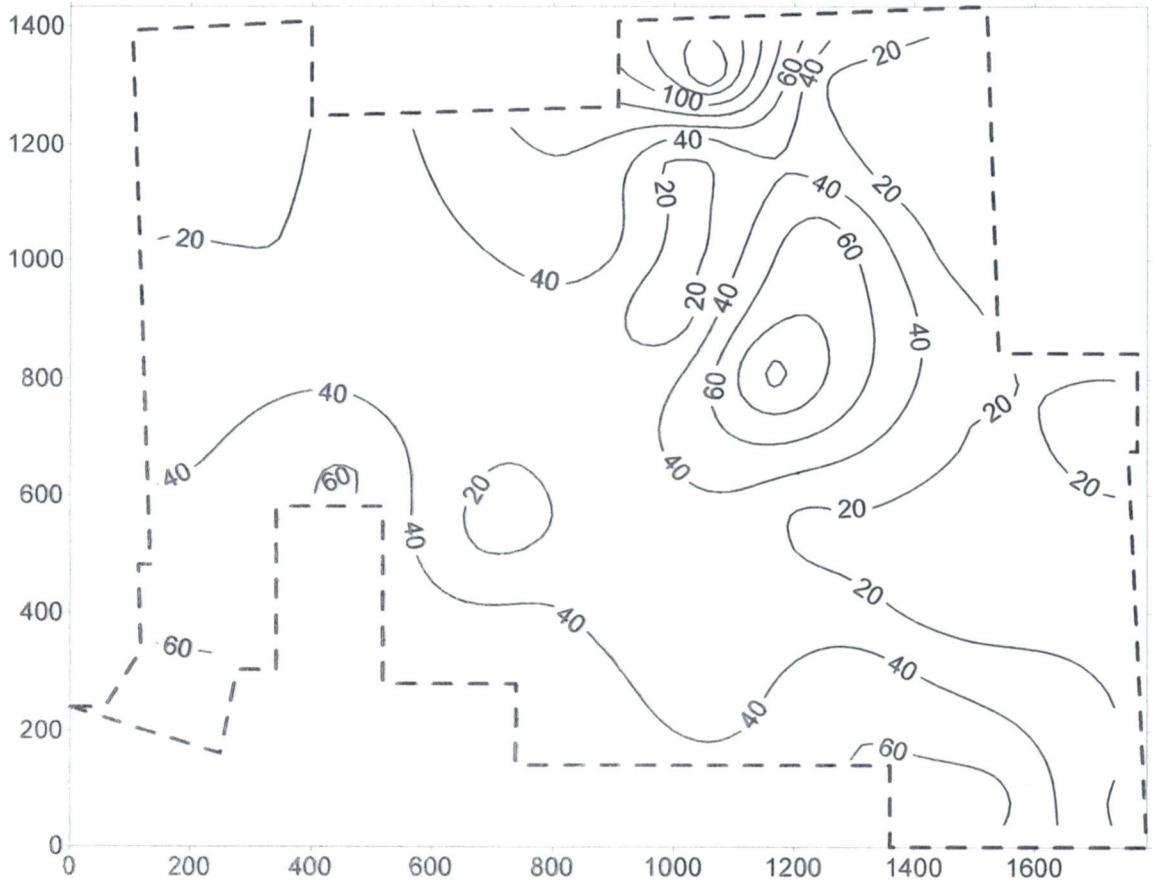
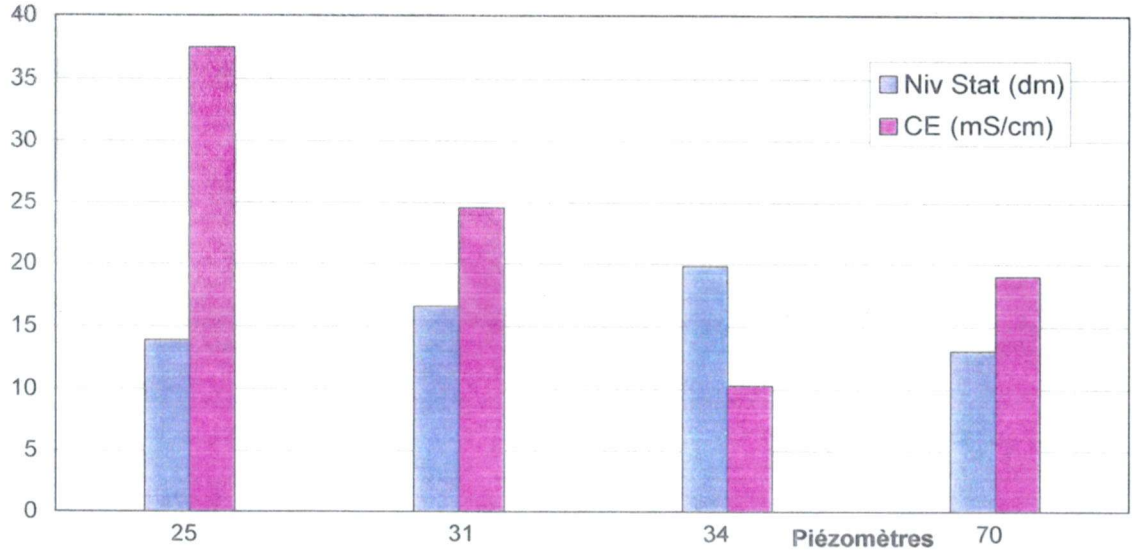


Fig. 29- Représentation en histogrammes du niveau de la nappe phréatique (dm) et de sa salinité (mS/cm) dans les piézomètres contrôlés et échantillonnés. Périmètre de Sagdoud, octobre 2000



bordure ouest, s'étendent des courbes de 30, 40 et 50 mS/cm (fig. 27). La salinité des sols est ainsi restée très élevée malgré le rabattement de la nappe phréatique, processus constaté aux mois de novembre 1999 et d 'avril 2000. Le lessivage des sels ne s'est donc pas produit dans ce périmètre probablement par manque de doses d'eau lixiviantes.
- Sur la carte de répartition spatiale de la salinité de l'horizon de surface (CEe_{0-20}), les valeurs de 20 mS/cm occupent le centre du périmètre, le long de la diagonale nord-est - sud-ouest. Dans le quart sud-est, des valeurs atteignant 100 à 110 mS/cm sont enregistrées près de l'extrémité orientale du périmètre (fig. 28). Le long des limites occidentales, la salinité est comprise entre 40 et 60 mS/cm. La distribution de cette salinité est semblable à celle de CEe moyenne (fig. 27) ; la salinité est, cependant, plus concentrée en surface d'où la conclusion que les profils salins sont du type ascendant et reflètent l'effet du climat aride qui agit par appel des sels vers la surface. L'intervention de l'homme sur les sols serait très limitée puisque l'entraînement des sels ne s'est pas produit.

4-4-3- Le contrôle d'octobre 2000

Seuls cinq piézomètres ont pu être échantillonnés et leurs paramètres mesurés au cours de cette période. Ce sont les piézomètres 25, 31, 34 et 71. Le niveau statique (en dm) et la salinité de l'eau (en mS/cm) ont été représentés sur le même graphique (fig. 29). La profondeur de la nappe est supérieure à 1,2 m dans les quatre piézomètres ; elle est même à 2 m dans le piézomètre 34 situé près du centre du périmètre. La salinité est généralement proche ou supérieure à 20 mS/cm, sauf dans le piézomètre n° 34 où elle est voisine de 10 mS/cm. Le piézomètre le plus salé est le 25 avec 37 mS/cm environ.

Le rabattement de la nappe est ainsi maintenu à un niveau éloigné de la surface du sol, depuis novembre 1999. Cependant, la salinité de la nappe est restée élevée et pourrait provoquer de graves processus de salinisation secondaire des sols en cas de remontée de son niveau.

4-5- Les contrôles de l'année 2001

4-5-1- Le contrôle de mars 2001

Le niveau et la salinité de la nappe ne sont mesurés que sur un nombre limité de piézomètres en raison de l'éloignement en profondeur du plan d'eau. Ce n'est que la salinité des sols qui est mesurée sur les extraits de saturation de la pâte des échantillons prélevés dans 32 points.
- La carte de la salinité moyenne (CEe moy.) présente deux zones très concentrées en sels situées l'une près de l'angle sud-est et l'autre près de la limite nord (fig. 30). Un couloir s'étendant entre les angles nord-est et sud-ouest présente des valeurs égales ou inférieures à 20 mS/cm. La courbe de 10 mS/cm occupe une surface d'au moins 20 ha près de la bordure sud-ouest. Cette salinité n'a pas diminué en général et ce sont pratiquement les mêmes répartitions spatiales, à quelques exceptions près, qui se répètent au cours du temps. La salinité des sols ne diminue pas. Elle reste dans un état stationnaire.
- La salinité de l'horizon de surface est beaucoup plus accentuée que celle de la totalité du profil de sol (CEe moy.). Des noyaux de courbes concentriques très salées font leurs apparition presque partout dans le périmètre. Seule l'extrémité sud-ouest montre une courbe isolée de 10 mS/cm (fig. 31). C'est la salinité très élevée de l'horizon de surface qui agit sur les valeurs de CEe moyenne pour les maintenir à un niveau très élevé. Les profils salins sont donc ascendants et le processus de lixiviation des sels ne s'est pas produit, malgré le

Fig. 30- Distribution spatiale de la salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Mars 2001

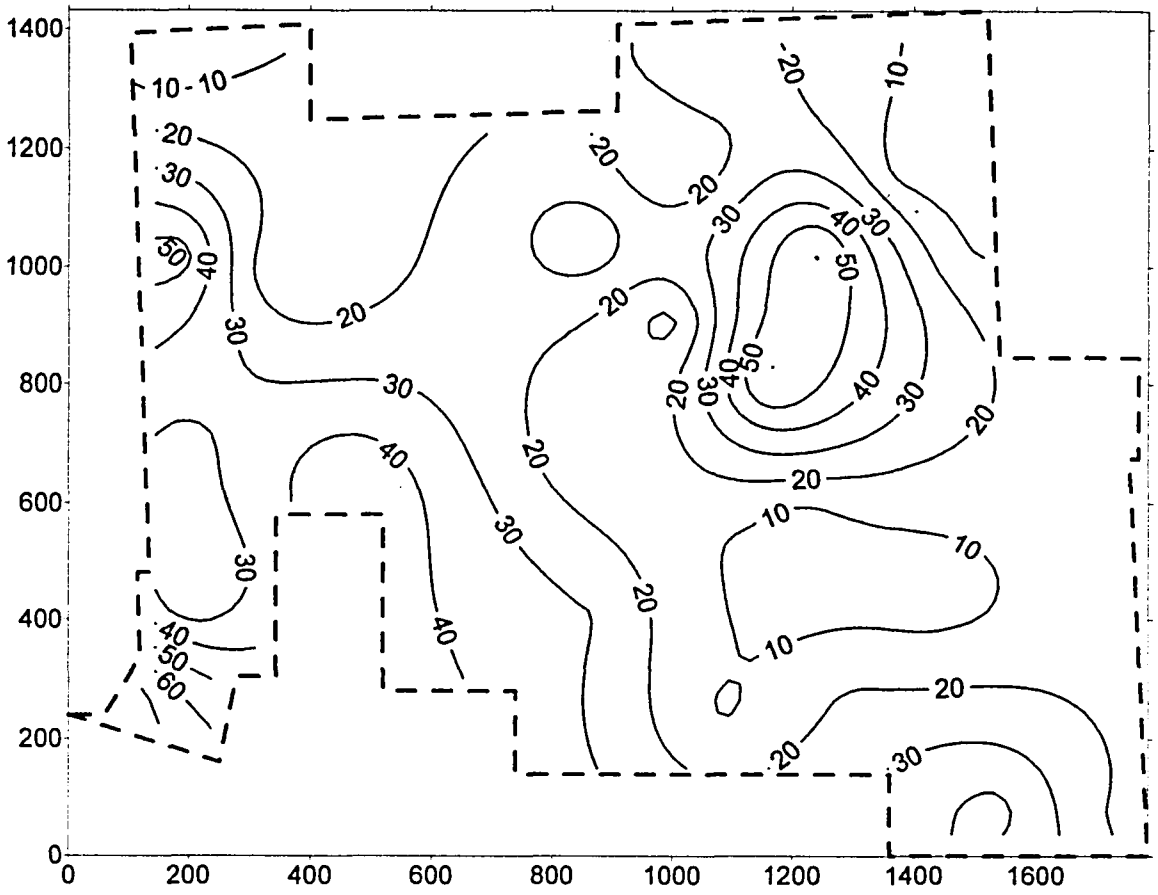


Fig31 - Distribution spatiale de la salinité de l'horizon de surface des sols (CEe_{0-20} en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Mars 2001

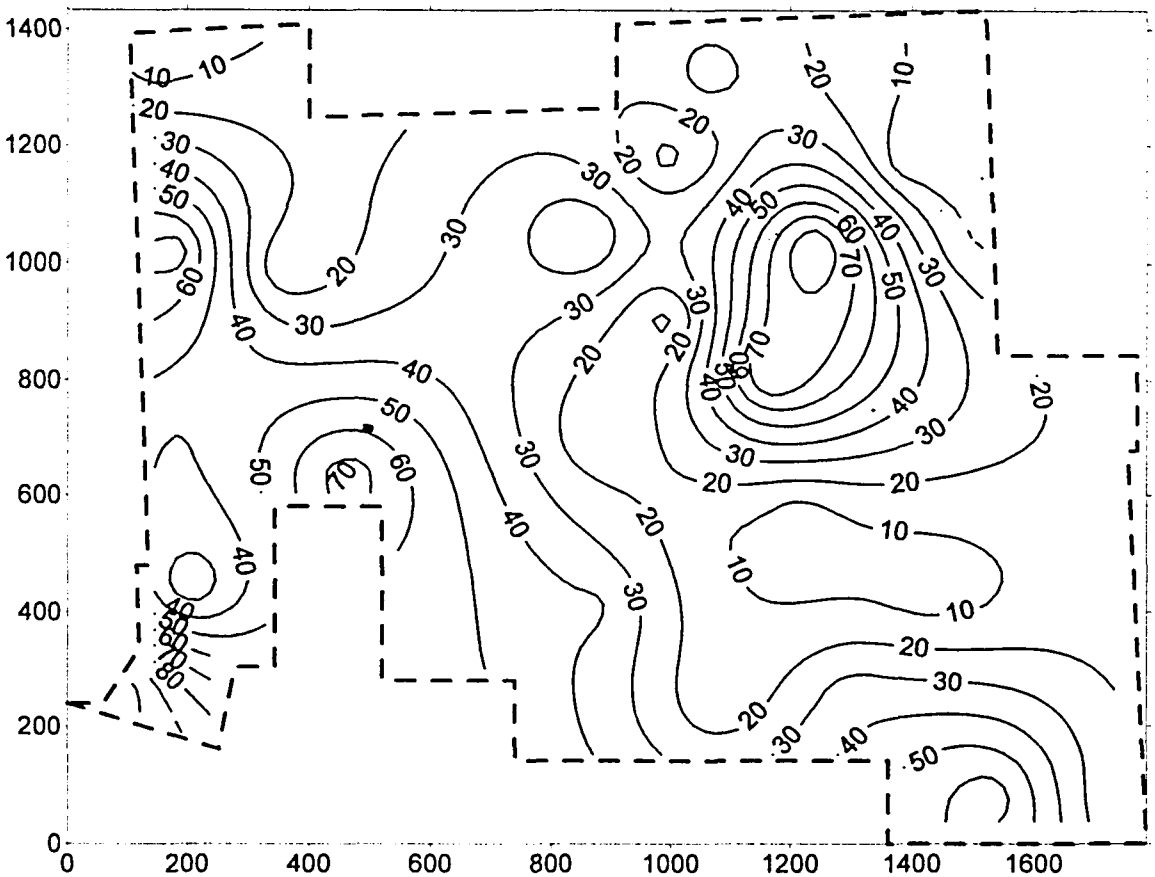


Fig. 32- Distribution spatiale de la salinité moyenne des sols (CEemoy. en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Octobre 2001

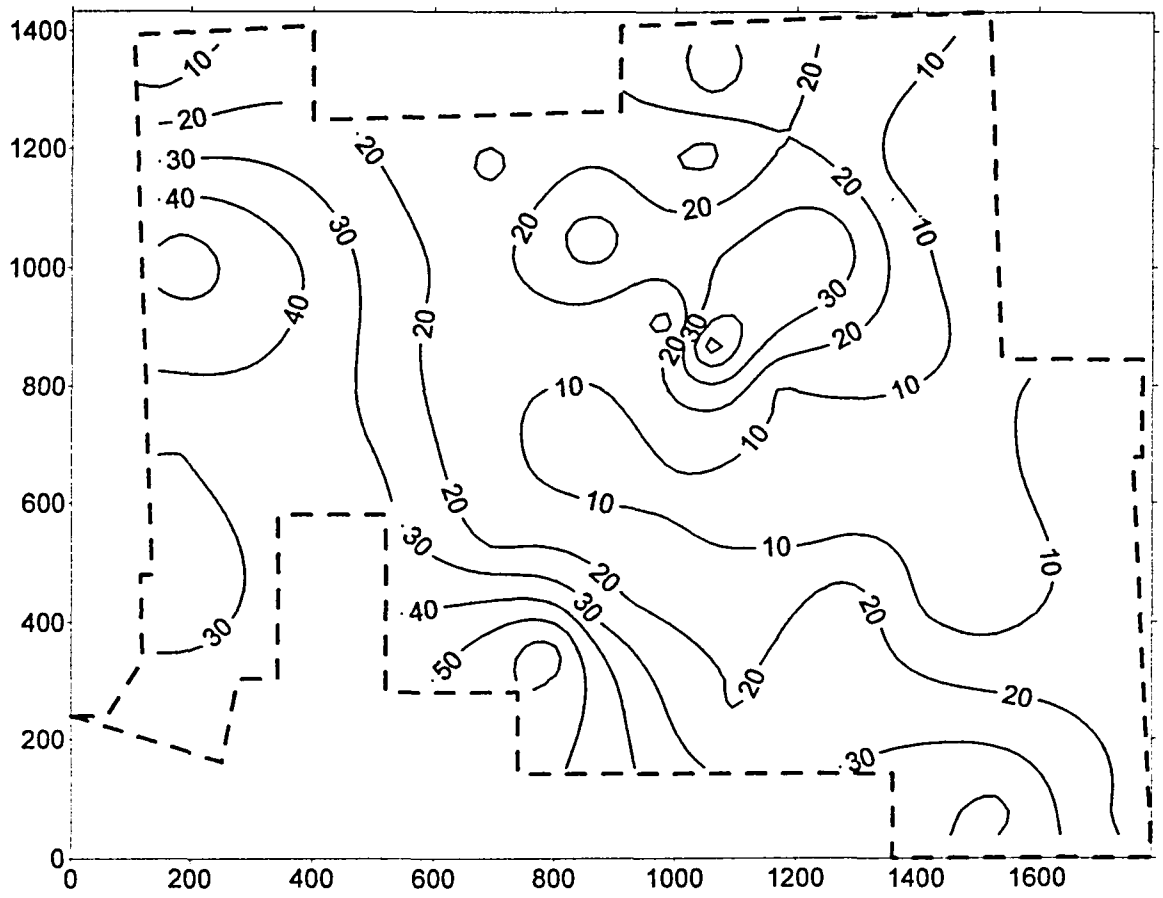
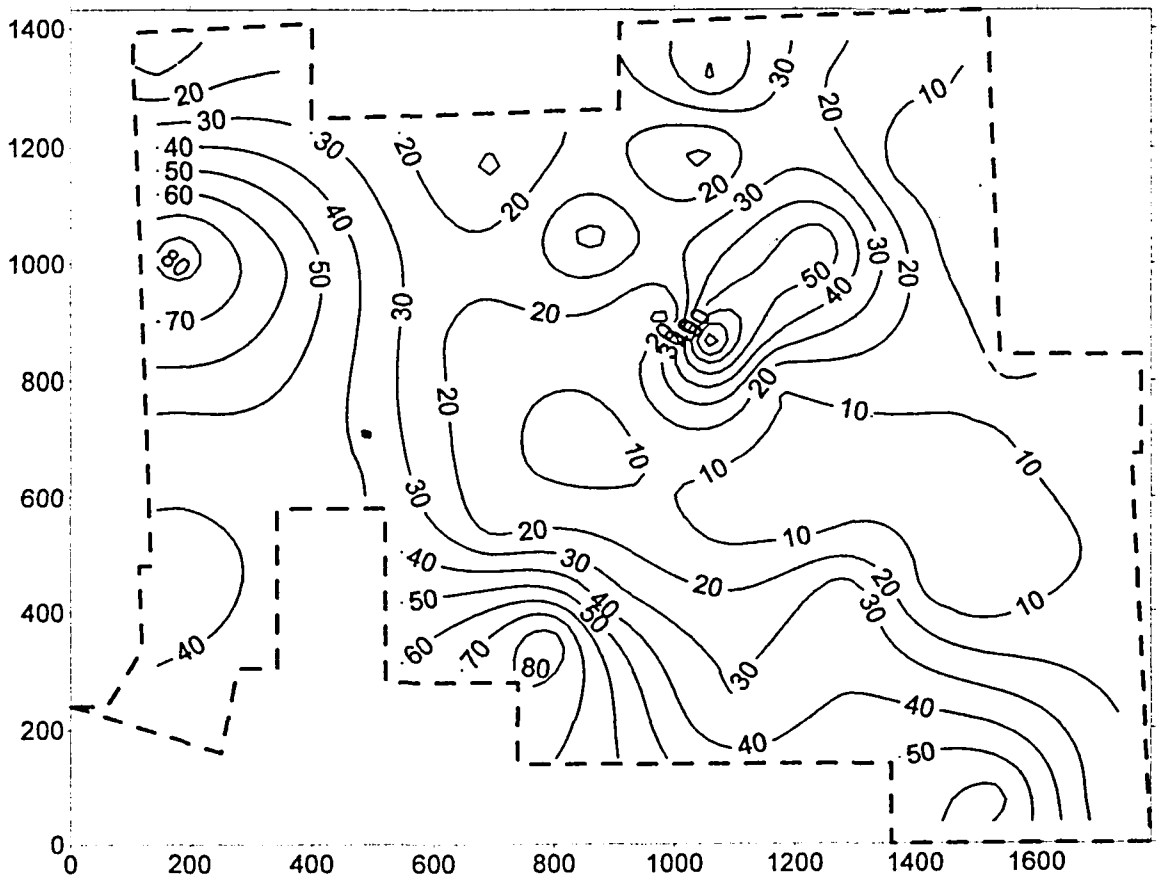


Fig. 33 - Distribution spatiale de la salinité de l'horizon de surface des sols (CEe_{0-20} en mS/cm) du périmètre irrigué de Sagdoud. Octobre 2001



rabattement de nappe. Ceci serait dû au manque de pluies lessivantes et aussi, probablement, à une abstention généralisée d'irrigation.

4-5-2- Le contrôle d'octobre 2001

Seuls les résultats d'analyses des sols sont présentés sous-forme de cartes de répartition spatiale de la salinité. Le niveau de la nappe est, en effet, partout au-delà de 2 m.

- La salinité globale des sols (CEe moy.) semble diminuer par rapport à la situation de mars 2001. En effet, malgré des valeurs de 30, 40 et 50 mS/cm très répandues, le quart sud-est a beaucoup perdu de ses sels (fig. 32). En outre, la courbe de 10 mS/cm a gagné du terrain et s'est enfoncée plus profondément dans le périmètre, à partir de sa limite sud. C'est près des bordures nord et ouest, que les valeurs de la salinité demeurent les plus élevées.
- La carte de la salinité de l'horizon de surface est différente de celle de CEe moyenne. Des noyaux très concentrés en sels apparaissent dans le quart sud-est, le long de la bordure occidentale et près de l'extrémité nord du périmètre (fig. 33). Les plages à 10 mS/cm sont observés entre le centre du périmètre et sa limite sud.

La salinité de l'horizon de surface demeure élevée après plusieurs années de l'aménagement d'un réseau de drainage et du rabattement du niveau de la nappe. Les sols gardent les sels en surface jusqu'à des seuils de 70 et 80 mS/:cm ce qui est énorme pour un sol cultivé. Ces valeurs influent sur celles de la salinité globale qui se distribue d'une manière presque similaire, mais avec des chiffres plus atténués. Les horizons profonds des sols seraient ainsi moins salés ce qui aurait permis aux espèces arboricoles de résister et de continuer à produire.

5– Conclusion générale

Le périmètre de Sagdoud, irrigué depuis le début des années 1990 par des eaux de forages titrant 4,6 g/l de résidu sec, a subi une remontée du niveau du plan d'eau souterrain qui a causé l'hydromorphie et la salinisation des sols. Les résultats du suivi de l'évolution du niveau de la nappe phréatique et de la salinité des sols confirment l'engorgement des sols d'une large partie du périmètre et de la très haute salinisation des sols. Le niveau de la nappe à commencé à baisser à partir de septembre 1998 et a, presque partout dans le périmètre, dépassé le seuil de 1,6 m de profondeur. Cette nouvelle situation ne cause plus de salinisation secondaire des sols à partir de la nappe puisque la corrélation entre le niveau de cette dernière et la salinité des sols n'est plus significative. Les sols sont, cependant, restés très salés et aucune diminution de leur conductivité électrique n'a été constatée jusqu'en octobre 2001. Les sels ne sont pas évacués et sont restés accumulés sur place. L'horizon de surface est celui qui en contient le plus dans le profil. Il n'y a pas eu, donc, d'opération de lixiviation des sels ni par les eaux pluviales ni par les excès d'eau d'irrigation. Cette forte salinité doit agir négativement sur la production des espèces arboricoles plantées dans le périmètre. Il y a, donc, une nécessité d'employer des doses lixiviantes pour entraîner les fortes accumulations de sels dans le sols. Les sols sableux qui occupent une surface importante du périmètre, doivent très vite réagir, d'une manière positive, à ces éventuelles actions de dessalage. Les sols gypseux et à texture plus fine peuvent être dessalés progressivement.

Bibliographie

Ben Hadj (A.), Jedoui (Y.), Dali (T.), Ben Salem (H.) et Memmi (L.), 1985. Carte géologique de la Tunisie au 1/500.000, Office National des Mines.

Ben Hassine (H.) 1999. Compte-rendu d'une visite effectuée au gouvernorat de Gafsa, le 11/02 /1999. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture, 4 pages.

Ben Hassine (H.) et Jelassi (K.), 2002. Résultats des campagnes de suivi de l'évolution de la salinité des sols dans le périmètre irrigué de Cébala-Borj Touil (basse vallée de la Mejerda). Période 1999-2002. ES 321, Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture, 43 pages.

Ben Hassine (H.), Jelassi (K.), Harrathi (J.), El Ichi (H.) et Marzougui (M.), 2002. Suivi de l'évolution de la salinité des sols et de la nappe dans le périmètre irrigué de Chamsa (Tozeur). Période 1999-2002. ES 322, Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture, 27 pages

Direction des Sols, 1973. Carte pédologique de la Tunisie au 1/500 000. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.

El Fékih (M.) et Selmi (M.), 1972. Etude pédologique de l'oasis d'El Hamma du Djérid. Etude n° 442, Division des Sols, DRES, Ministère de l'Agriculture, 24 pages.

Le Houérou (H.N.), 1969. La végétation de la Tunisie steppique. Annales de l'INRAT, vol. 42, Fasc. 5, INRAT (Ariana, Tunisie), 622 pages et 2 cartes.

Martini (P). 1967. Carte de reconnaissance des sols du synclinal de Redeyef–Moularès. Etude n° 387, Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture, une carte.

Regaya (K.), Laâtar (S.) et Chaouachi (A.), 1991. Carte géologique de la Tunisie, feuille Métlaoui au 1/100 000, Office National des Mines.