

Impact des eaux d'irrigation sur l'origine des accumulations gypseuses dans les sols de l'oasis de Metouia (Tunisie)

A. Hatira₍₁₎, B. Benmansour₍₁₎, M. Grira₍₂₎ et T. Gallali₍₁₎

(1) UR. Pédologie. Département de Géologie. Faculté des Sciences de Tunis. Campus Universitaire. 2092. Manar II. Tunisie.

(2) Arrondissement Sol. CRDA Gabès. Tunisie.

RÉSUMÉ

A partir des données d'analyse chimique des eaux d'irrigation et à l'aide d'une approche morphologique et géochimique, complétée par une analyse micromorphologique, nous avons analysé la relation entre les eaux d'irrigation, la solution extraite du sol et la nappe superficielle, pouvant être responsable des accumulations gypseuses dans les sols de l'oasis de Metouia. Les eaux d'irrigation provenant des forages et exploitées dans l'oasis de Metouia depuis l'année 1958, ont gardé globalement le même faciès chimique mixte sulfaté. Ces eaux sont classées avec un risque de salinisation élevé et un risque d'alcalinisation moyen. Nous avons constaté une nette augmentation de la concentration des cations (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) et des anions (Cl^- et SO_4^{2-}) dans l'extrait de pâte saturée des sols représentatifs de l'oasis par rapport aux concentrations dans les eaux d'irrigation. Les solutions extraites du sol sont globalement saturées vis à vis du gypse. Dans l'oasis, la nappe superficielle est située à faible profondeur et la composition chimique des eaux varie en fonction des saisons. Ainsi l'irrigation, à partir des eaux de forages ayant gardé le même faciès mixte sulfaté depuis plusieurs années, a eu un impact manifeste sur la typologie des sols dans l'oasis où les différentes formes d'accumulations gypseuses dominent le profil pédologique avec un gradient d'accumulation croissant de la surface vers la profondeur. Les croûtes et les encroûtements gypseux surmontant la nappe superficielle sont localisés à des profondeurs variables selon la topographie et les conditions de drainage local.

Mots clés

Oasis, eau d'irrigation, solution extraite du sol, nappe superficielle, accumulations gypseuses.

SUMMARY

IMPACT OF IRRIGATION WATER ON GYPSUM ACCUMULATION ORIGIN WITHIN OASIS SOILS IN THE METOUIA REGION (TUNISIA)

According to recent and available data, the main objectives of this study was to focus on the evolution of gypsum accumulation in Oasis soils. For that we have analysed the relationship between irrigation water, soil solution extract and superficial water table. The used approach is based on soil morphology, micro morphology, and geochemistry. The main obtained results are as follows :

The irrigation water exploited in Metouia's oasis since 1958, resulting from drilling kept globally the same sulphate mixed chemical facies. This water is classified as having high risk of salinisation and a middle risk of alcalinisation.

From the ionic composition of the saturated paste of representative soils of the oasis, we noticed a clear increase of the concentration of cations (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) and anions (Cl^- and SO_4^{2-}) compared with those of the irrigation water. Soils solutions are globally saturated in gypsum.

For several years, irrigation used drilling water characterised by a mixed sulphate facies which is probably responsible for gypsum accumulation in all oasis soils. Gypsum concentrations exhibit a clear increasing gradient from surface to the deepest soil profiles. Gypsum encrusting and crusts overlying superficial water table are occupying different horizons according to topography and local drainage conditions.

Key-words

Oasis, irrigation water, soil solution extract, superficial water table, gypsum accumulation.

RESUMEN

IMPACTO DE LAS AGUAS DE RIEGO SOBRE EL ORIGEN DE LAS ACUMULACIONES YESOSAS EN LOS SUELOS DEL OASIS DE METOUIA (TÚNEZ)

A partir de los datos de análisis químicos de las aguas de riego y con ayuda de un enfoque morfológico y geoquímico, completado por un análisis micromorfológico, analizamos la relación entre las aguas de riego, la solución extraída del suelo y el manto freático superficial, que pueden ser responsables de las acumulaciones yesosas en los suelos del Oasis de Metouia. Las aguas de riego que provienen de perforaciones y explotadas en el oasis de Metouia desde el año 1958, guardaron globalmente el mismo aspecto químico mixto sulfatado. Estas aguas son clasificadas con un riesgo de salinización elevado y un riego de alcalinización medio. Constatamos un aumento neto de la concentración de los cationes (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) y de los aniones (Cl^- et SO_4^{2-}) en el extracto de pasta saturada en comparación con las concentraciones de las aguas de riego. Las soluciones extraídas del suelo son globalmente saturadas con relación al yeso. En el oasis, el manto superficial se sitúa a poca profundidad y la composición química de las aguas varía con las estaciones. Así la irrigación a partir de las aguas de perforación que guardaron el mismo aspecto mixto sulfatado desde varios años ha tenido un impacto evidente sobre la tipología de los suelos en el oasis donde las diferentes formas de acumulaciones yesosas dominan el perfil pedológico con un gradiente de acumulación creciente de la superficie hacia la profundidad. Las costras y las incrustaciones yesosas que son localizadas arriba del manto freático superficial son localizadas a profundidades variables según la topografía y las condiciones de drenaje local.

Palabras claves

Oasis, agua de riego, solución extraída del suelo, manto freático superficial, acumulaciones yesosas.

Dans le sud tunisien, la présence du gypse dans les affleurements géologiques, et dans les aquifères des nappes artésiennes, ainsi que la qualité des eaux d'irrigation, contribuent de diverses manières à la pédogenèse des sols gypseux et surtout au développement de plusieurs formes d'accumulations gypseuses. La pédogenèse et la formation des sols gypseux ainsi que les différentes formes d'accumulations ont été étudiées par plusieurs auteurs, depuis longtemps en Tunisie (Pouget, 1968, Vieillefon 1976, 1978; Watson, 1985; Mtimet et Hachicha, 1995; Kadri et Hatira, 1996 a, b).

En milieu oasien du sud tunisien, l'eau des nappes souterraines est la seule ressource permettant de faire face aux besoins de l'irrigation et de différents usages domestiques. Cette eau est assez chargée en sels et le devenir du milieu oasien s'avère largement conditionné par une bonne gestion de l'eau dont les ressources sont peu renouvelables (Hachicha *et al.*, 1994). Il importe de protéger l'environnement des oasis de la dégradation des sols et de leur salinisation. Cette protection passe par une bonne connaissance des termes du bilan hydrique et salin de l'oasis (Job, 1992).

L'objet de la présente étude consiste à étudier le rôle de la qualité géochimique des eaux d'irrigation et leur effet cumulatif dans le temps sur l'évolution des accumulations gypseuses dans l'écosystème oasien de la région de Metouia (Gabès nord). Pour cela nous avons effectué des suivis spatio-temporels des principaux facteurs susceptibles d'influencer l'évolution des accumulations gypseuses. Ces facteurs sont la qualité des eaux d'irrigation, les propriétés physico-chimiques des sols et les caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques de la nappe phréatique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Description du site

L'oasis de Metouia fait partie des oasis littorales du gouvernorat de Gabès. Elle est située à 12 km au nord de la ville de Gabès (sud est de la Tunisie) et s'étend sur une superficie de 266 ha environ (figure 1). L'altitude moyenne est de 20 m. La région est marquée par un climat méditerranéen doux à prédominance aride. Les précipitations sont inférieures à 200 mm par an et le bilan hydrique est déficitaire. La répartition des précipitations au cours d'une année n'est pas bien définie. On ne peut guère parler de saison de pluies. Il existe une saison sèche (juin, juillet et août) et la pluviosité annuelle se partage entre les autres mois. Les exploitations agricoles couvrent des superficies très réduites aux alentours de 1 ha en moyenne. A côté des palmiers et des grenadiers, les parcelles agricoles sont exploitées essentiellement pour la culture de la luzerne et en deuxième lieu pour les cultures maraîchères. Le réseau de drainage est moyennement entretenu et les eaux sont évacuées gravitairement dans la sebkha Er Rahia vers le nord est de l'oasis. Le drainage des eaux de l'oasis se fait par un réseau à ciel ouvert. Deux

drains principaux sont installés, l'un dans la partie nord et l'autre dans la partie sud. Ces drains recueillent les eaux de la nappe et éventuellement les eaux de lessivage des sols. Les eaux des drains se regroupent à l'Est de l'oasis pour se déverser dans la sebkha Er Rahia.

Les eaux d'irrigation dans l'oasis de Metouia sont exploitées à partir de quatre forages qui captent la nappe phréatique et la nappe de la Jeffara. La nappe phréatique circule dans le remplissage sableux du plio-quaternaire. Elle s'étend du bassin de Gabès jusqu'à l'oued Akarit (Mekrazi, 1975; Mamou, 1990). L'affectation des ressources en eaux aux périmètres irrigués est faite en fonction des données hydrologiques et agronomiques. Pour l'oasis de Métouia l'affectation des ressources est de 133 l.s⁻¹ (Abidi, 1999). L'eau est distribuée dans des conduites souterraines jusqu'aux parcelles agricoles.

L'oasis de Metouia est caractérisée par la présence d'une nappe d'eau superficielle de très faible profondeur et qui conditionne l'évolution des sols dans toute l'oasis (Grira *et al.*, 2002).

Etude des sols

Nous avons étudié une quarantaine de profils pédologiques couvrant toute la superficie de l'oasis. Les sols ont été étudiés sur des profils creusés manuellement et la limite inférieure des fosses pédologiques coïncide généralement avec l'apparition de la nappe superficielle. La description des profils a été effectuée pendant la saison estivale. La profondeur des fosses pédologiques varie de 60 à 160 cm. Une dizaine de profils seulement ont été choisis pour les analyses des principaux paramètres physico-chimiques des sols. Ces derniers sont répartis sur toute la superficie de l'oasis et sont représentatifs des différentes unités de sols identifiées (Vieillefon, 1976). La démarche adoptée pour l'étude pédologique a consisté à procéder en deux étapes. La première étape concerne l'étude des propriétés morpho-structurales des différents profils *in situ*, tels que la couleur, la texture, la structure et la porosité. Des échantillons de chaque horizon ont été prélevés et conditionnés pour l'étude analytique au laboratoire, objet de la deuxième étape. Les paramètres analysés sont le taux de gypse et de calcaire, et sur des extraits de pâte saturée, le pH, la conductivité électrique et les teneurs en sels solubles. La pâte de sol saturée a été obtenue par addition d'eau distillée et malaxage jusqu'à ce qu'un point de saturation soit atteint. On filtre ensuite, sous vide, afin d'obtenir une quantité suffisante d'extrait. Le gypse a été dosé par la méthode de double décomposition en présence du carbonate d'ammonium à chaud. Le calcaire a été déterminé par la méthode du calcimètre de Bernard. Dans les extraits de pâte saturée, les cations ont été analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les chlorures ont été dosés par le nitrate d'argent en présence de chromate de potassium (méthode de Mohr), les sulfates par dosage gravimétrique par précipitation avec le chlorure de baryum et les bicarbonates par acidimétrie.

Etude des eaux

Les eaux d'irrigation ont été prélevées au niveau de 4 forages qui alimentent actuellement tout le périmètre irrigué. Un réseau de 30 piézomètres a été installé au même endroit que les profils pédologiques. L'étude de la composition chimique des eaux de la nappe superficielle a été réalisée sur des échantillons prélevés à partir de 10 piézomètres représentatifs de toute l'oasis. Les eaux d'irrigation et les eaux de la nappe ont été prélevées au cours de deux saisons en 2001 et 2002. Pour toutes les eaux étudiées le pH et la conductivité électrique ont été mesurés sur place et des échantillons d'eau ont été prélevés pour analyse chimique au laboratoire. Pour les besoins de la cartographie du niveau piézométrique et de la salinité des eaux de la nappe, nous avons utilisé les 30 piézomètres pour avoir un maillage assez représentatif de toute l'oasis.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les sols

Etude macro et micromorphologique

L'étude morphologique des sols a montré la prédominance d'une texture sablo-limoneuse conférant aux sols un pouvoir filtrant très important. Tous les profils étudiés sont pourvus en gypse. Les teneurs varient de 2 à 61 % avec un gradient croissant du haut vers le bas des profils. Le carbonate de calcium est présent dans tous les sols étudiés avec des teneurs faibles de 5,5 % en moyenne, et ne dépassant pas 10 %. Le taux de calcaire est quasi invariant tout le long des profils et ne présente pas de corrélation avec le taux de gypse. A partir de l'étude morphologique de tous les profils creusés, nous avons pu représenter la profondeur d'apparition de la croûte gypseuse dans toute l'oasis (*figure 2*). Dans les trois quarts de la superficie de l'oasis la croûte est à faible profondeur, de 55 cm à 140 cm. Les croûtes gypseuses ont été observées en surface sur les bordures sud ouest et nord est de l'oasis, correspondant respectivement à la partie en pente de l'oasis située sur les glacis du jebel ed Dissa et à l'aval de celle-ci à la limite de l'exutoire naturel de l'oasis coïncidant avec la sebkhah Er Rahia. Les croûtes gypseuses sont très épaisses et possèdent une morphologie polygonale caractéristique.

L'observation à la loupe binoculaire des mottes de sols orientées et sur lames minces au microscope optique révèle la présence de plusieurs formes d'accumulations gypseuses : (1) soit des formes de cristaux aciculaires, millimétriques. Il s'agit alors d'un mode de cristallisation originel qui se forme, généralement, dans les marais salants (Perthuisot, 1975) ; (2) soit sous forme des cristaux aplatis, en lentilles ou en polyèdre globuleux ; (3) enfin le gypse peut se trouver sous forme d'une pâte microcristalline claire, en pied d'alouette de 0,1 à 0,2 mm au plus ou en lentille de gypse, en fer de lance de 2 à 5 mm de longueur. Les cristaux de gypse présentent des

formes et des orientations différentes suivant leur localisation : soit dans la matrice sablo-limoneuse, soit dans les pores. Le matériau présentant une forte porosité vacuolaire, des petits cristaux de gypse peuvent tapisser leurs parois. Parfois, les vides sont comblés par des amas de gypse. Ceci démontre que ces accumulations gypseuses se sont formées soit au cours de la pédogenèse des sols soit par un entraînement et un dépôt au cours de l'évolution de ces sols. Ces enrichissements en gypse qui se présentent sous plusieurs formes cristallines de diverses dimensions et distribuées sans direction apparente dans la matrice ou au niveau des vides, constituent le processus fondamental de la formation des horizons gypsiques (Halitim et Robert, 1992 ; Jafarzadeh et Burnham, 1992 ; Bellanca et Neri, 1992).

Géochimie de la solution extraite du sol

La solution extraite du sol a été obtenue par la méthode de la pâte saturée. Le pourcentage de saturation qui exprime le rapport entre le volume d'eau distillée ajoutée et le poids du sol utilisé varie de 33 à 56 % suivant la texture des horizons des sols, avec une moyenne globale de 40 % pour tous les sols. Les cations dominants sont dans l'ordre décroissant : $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$. Les anions dominants sont dans l'ordre : $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \gg \text{HCO}_3^-$.

La solution extraite du sol dans la plupart des profils montre une salinité élevée allant de 3,5 à 75 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Cette forte salinité est à attribuer à la qualité de l'eau d'irrigation préalablement salée, aux conditions climatiques très arides produisant une forte évapotranspiration qui concentre la solution du sol (Cheverry et Robert, 1998), et surtout à l'inefficacité du réseau de drainage mal entretenu. La solution extraite du sol est saturée vis-à-vis du gypse, alors même que l'extraction s'accompagne d'une dilution (Podwojewski et Pétard, 1996). L'évolution des concentrations des différents cations et anions de la surface jusqu'en profondeur est similaire d'un profil à l'autre. Les teneurs les plus élevées sont observées à la surface et en profondeur au-dessous de l'encroûtement gypseux. Cela est dû au fait que les solutions se concentrent d'une part à la surface du sol surtout par évaporation et d'autre part à la base du profil, où la texture sablo limoneuse des sols favorise la lixiviation des éléments en solution jusqu'à la base du profil, c'est-à-dire jusqu'à la nappe.

Les eaux d'irrigation

Les résultats de l'analyse chimique des eaux des forages sont illustrés sur la *figure 3*. Il y a peu d'évolution au cours du temps de ces propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation. La conductivité électrique varie de 4 à 5 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Le pH est globalement neutre et avoisine la valeur de 7,6. D'après le diagramme de Piper, le faciès chimique des eaux des forages est mixte sulfaté ou mixte chloruré. Les eaux d'irrigation présentent un risque moyen d'alcalinisation avec un rapport d'adsorption de sodium (SAR) oscillant de 7,5 à 10,2. Le diagramme de solubilité vis-à-vis du gypse montre que les eaux sont saturées à légèrement sous-saturées vis-à-vis du gypse (*figure 4*).

Figure 1 - Carte de localisation de l'oasis de Metouia

Figure 1 - Location map of Metouia oasis

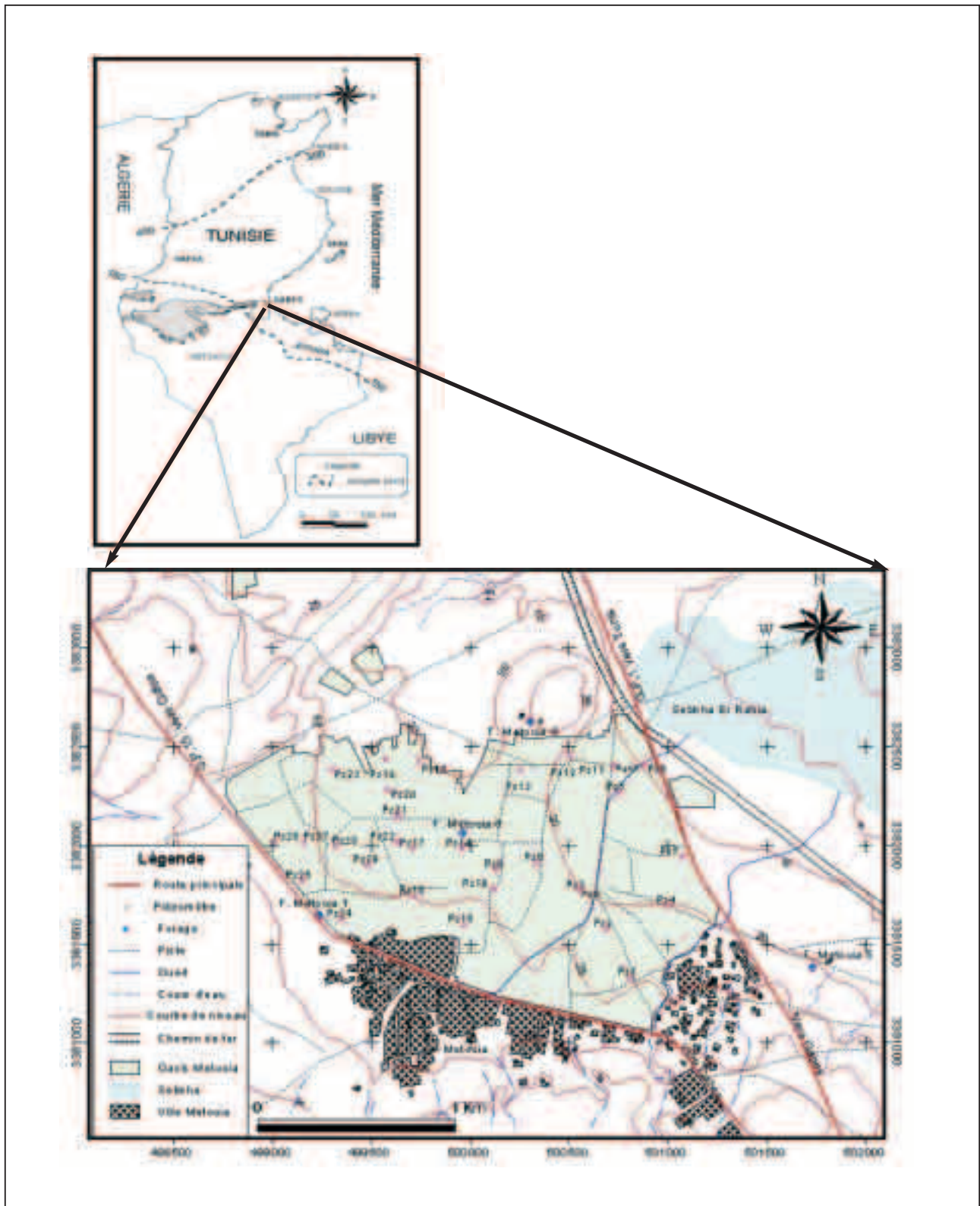


Figure 2 - Profondeur de la croûte gypseuse dans l'oasis de Métouia (P : Profil de sol)

Figure 2 - Depth of gypsum crust in Métouia oasis (P : Soil profile)

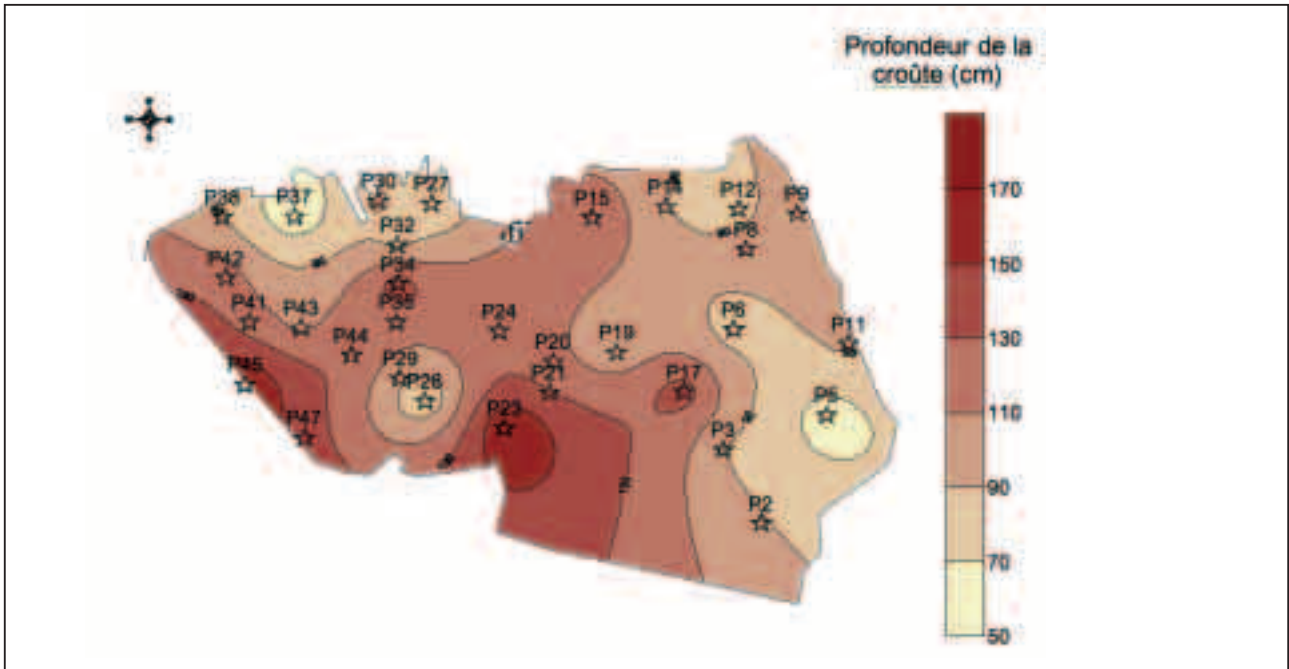


Figure 3 - Analyses chimiques des eaux des forages (Depuis l'année 1958 jusqu'à 2002)

Figure 3 - Chemical analysis of drilling water (Since 1958 to 2002)

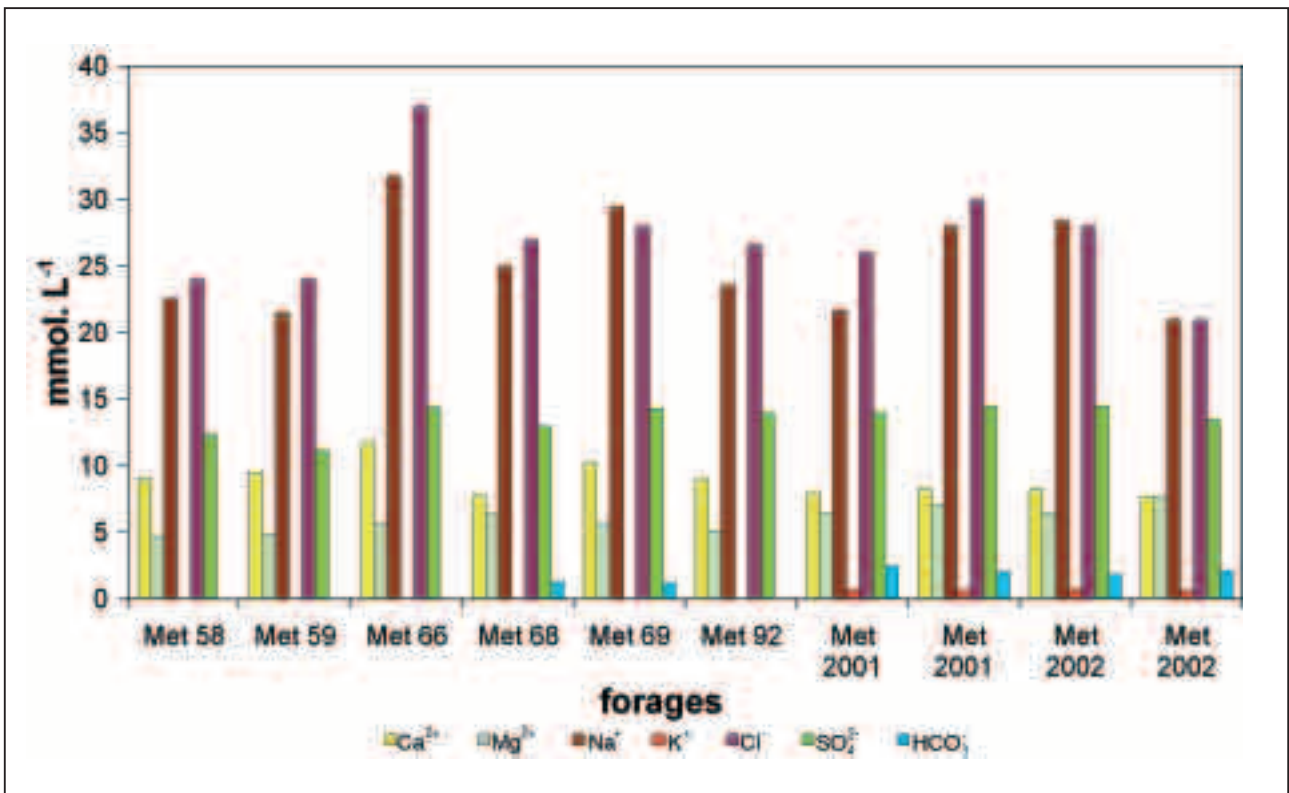
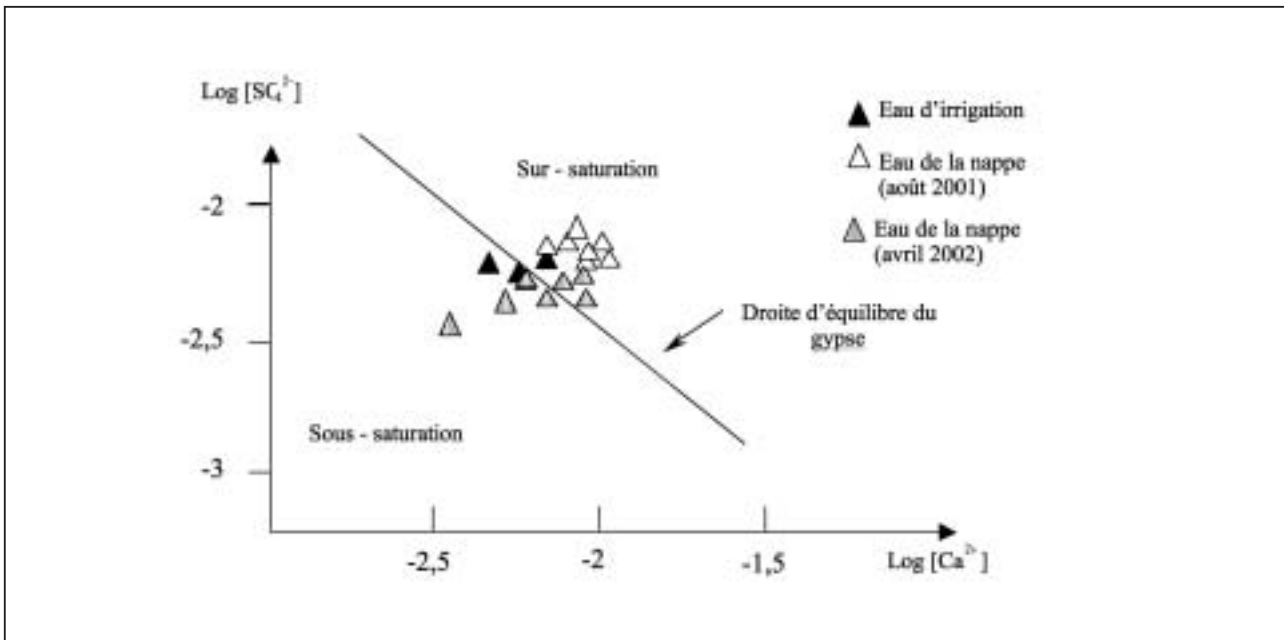


Figure 4 - Diagramme d'équilibre des eaux d'irrigation et de la nappe superficielle par rapport au gypse.**Figure 4** - Irrigation waters and groundwater equilibrium diagram compared with gypsum

Les eaux de la nappe superficielle

La comparaison des cartes des niveaux piézométriques (*figure 5*) montre que les eaux de la nappe s'écoulent de l'amont (nord ouest et sud ouest) vers l'aval (sebkha Er Rahia à l'est). La pente de la nappe est très faible de l'ordre de 0,1 %. Les eaux de la nappe sont sujettes à une variation saisonnière avec un niveau le plus bas au mois d'août.

La salinité des eaux de la nappe superficielle est très élevée (*figure 6*) avec un résidu sec variant de 4,7 à 181 g.l⁻¹. Le faciès géochimique global est à tendance sodique chloruré. La composition des eaux de la nappe superficielle varie selon les saisons :

Au printemps (avril 2002) et suite à l'irrigation, il y a une dilution de tous les éléments chimiques (surtout Na⁺ et Cl⁻) par rapport à la composition de la solution extraite du sol.

En été (août 2001), tous les ions se concentrent dans les eaux de la nappe. Le facteur de concentration varie de 1,1 (Na⁺, Ca²⁺ et Cl⁻) à 3,2 (SO₄²⁻) de la solution extraite du sol à la nappe et de 3,3 (Ca²⁺) à 20 (Mg²⁺) de l'eau d'irrigation à la nappe. La concentration des éléments chimiques dans les eaux de la nappe superficielle suit l'ordre suivant : Na⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺ et Cl⁻ > SO₄²⁻ pour le mois d'avril et Mg²⁺ > Na⁺ > Ca²⁺ et Cl⁻ > SO₄²⁻ au mois d'août. En août 2002, les eaux de la nappe sont sur saturées vis-à-vis du gypse (*figure 4*).

Comparaison des concentrations des ions dans les eaux de nappe et les solutions extraites du sol

Sur les diagrammes de la *figure 7 a, b, c* sont illustrées les concentrations des associations cationiques et anioniques des sels caractéristiques dans les eaux des forages, les eaux de la nappe et les solutions extraites des horizons de surface et de profondeur des sols étudiés.

La concentration de Na⁺ évolue linéairement en fonction de celle de Cl⁻ (*figure 7 a*). Le rapport Na/Cl est voisin de 1. Toutes les eaux présentent une concentration en ions SO₄²⁻ supérieure aux ions Ca²⁺ (*figure 7 b*). Le diagramme de la *figure 7c* montre l'effet de la précipitation du gypse au cours de l'évapotranspiration qui concentre Cl⁻. Par comparaison avec les eaux de forage qui servent à l'irrigation et à la plupart des eaux de la nappe superficielle, la majorité des solutions extraites du sol sont relativement beaucoup plus concentrées en Cl⁻ qu'en SO₄²⁻. Ceci illustre le rôle joué par les solutions du sol dans les accumulations gypseuses au sein de tous les profils étudiés. Ces diagrammes (*figure 7 abc*) montrent bien l'effet de la concentration des solutions du sol par rapport à l'eau de forage et l'eau de la nappe superficielles, qui se traduit par l'abondance des accumulations gypseuses au sein de tous les profils étudiés.

Figure 5 - Variation spatio-temporelle du niveau piézométrique et de l'écoulement des eaux de la nappe superficielle (août 2001 et avril 2002)

Figure 5 - Temporal and spatial variations of piezometer level and waters flow in superficial water table (august 2001 and april 2002)

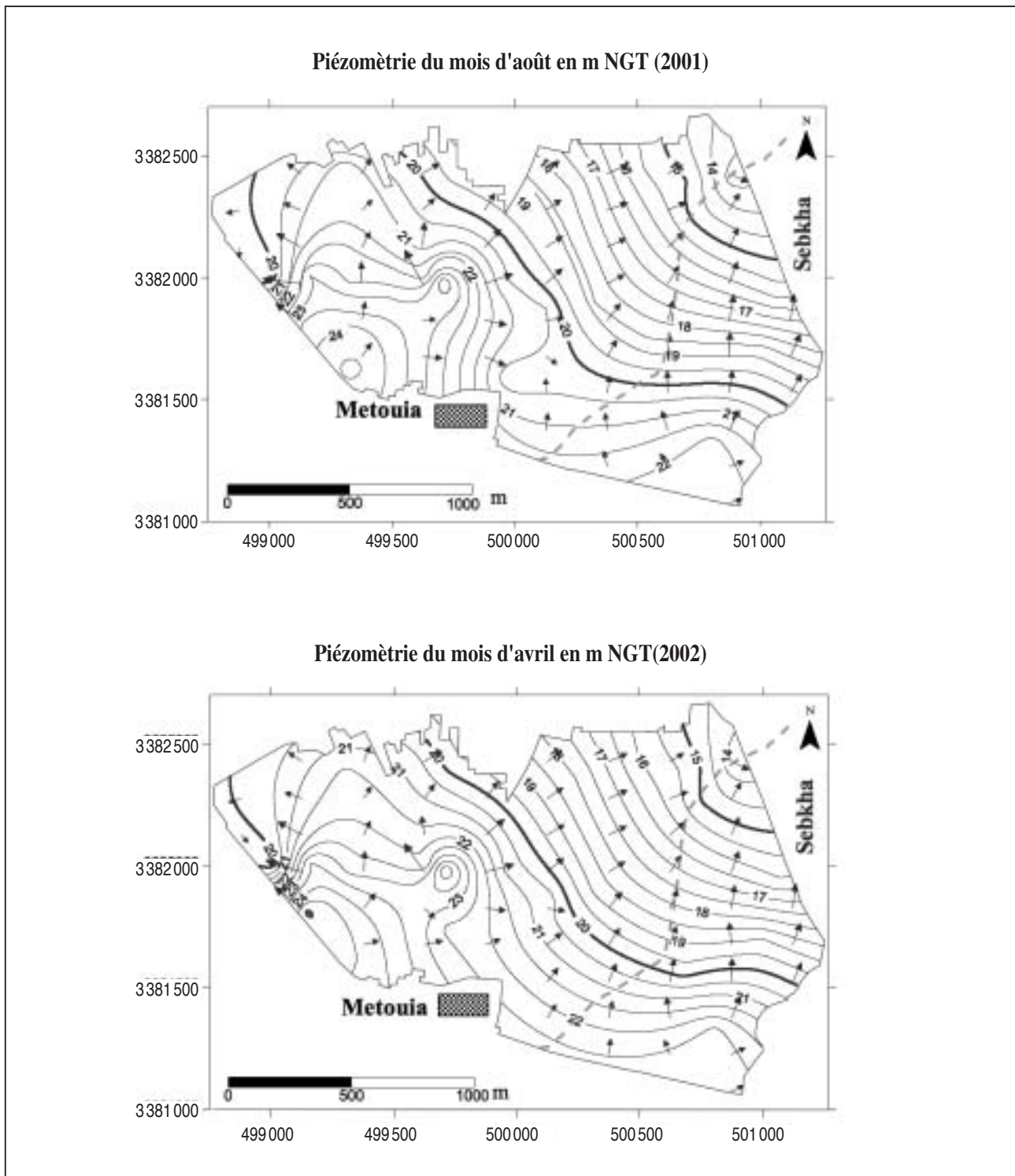


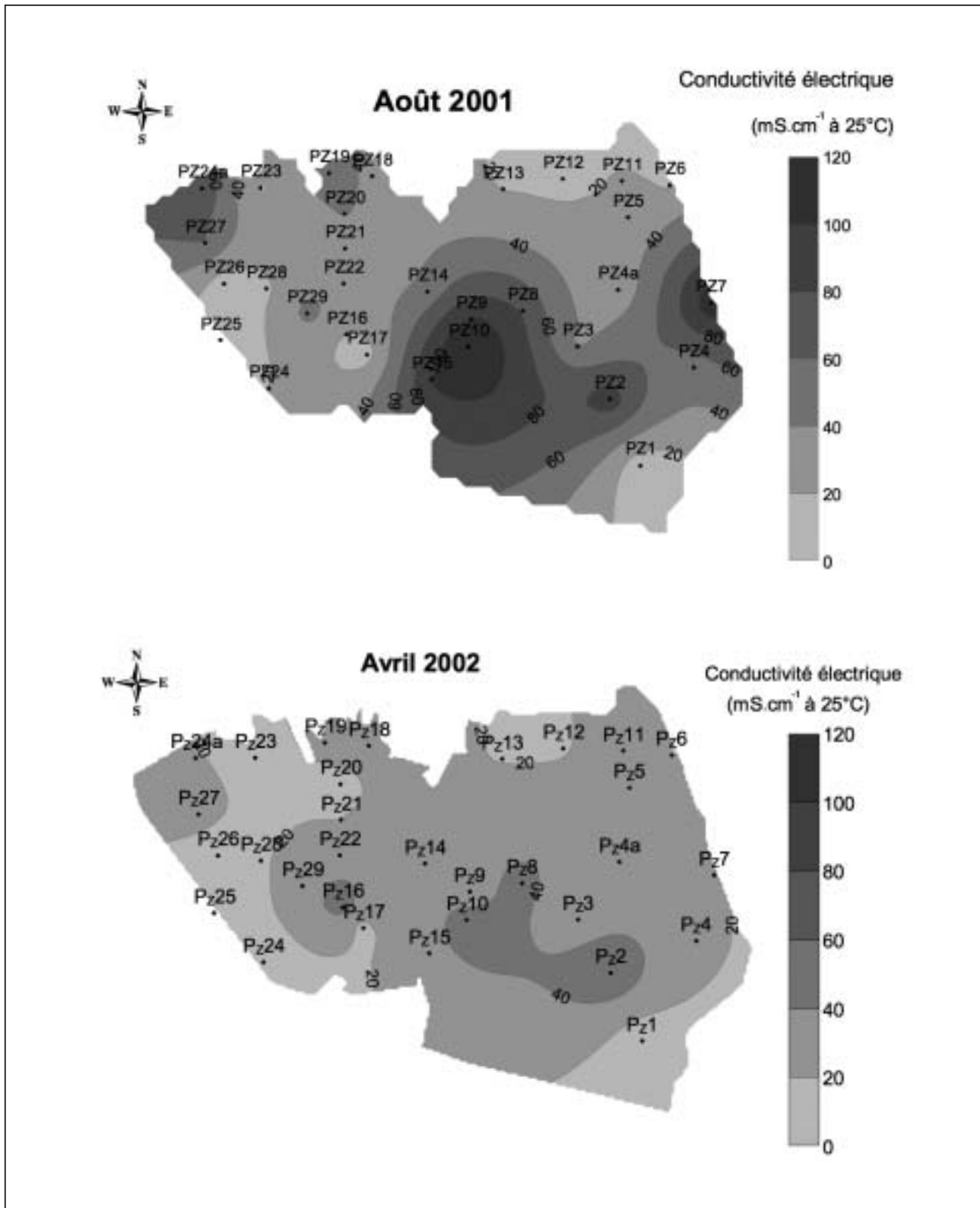
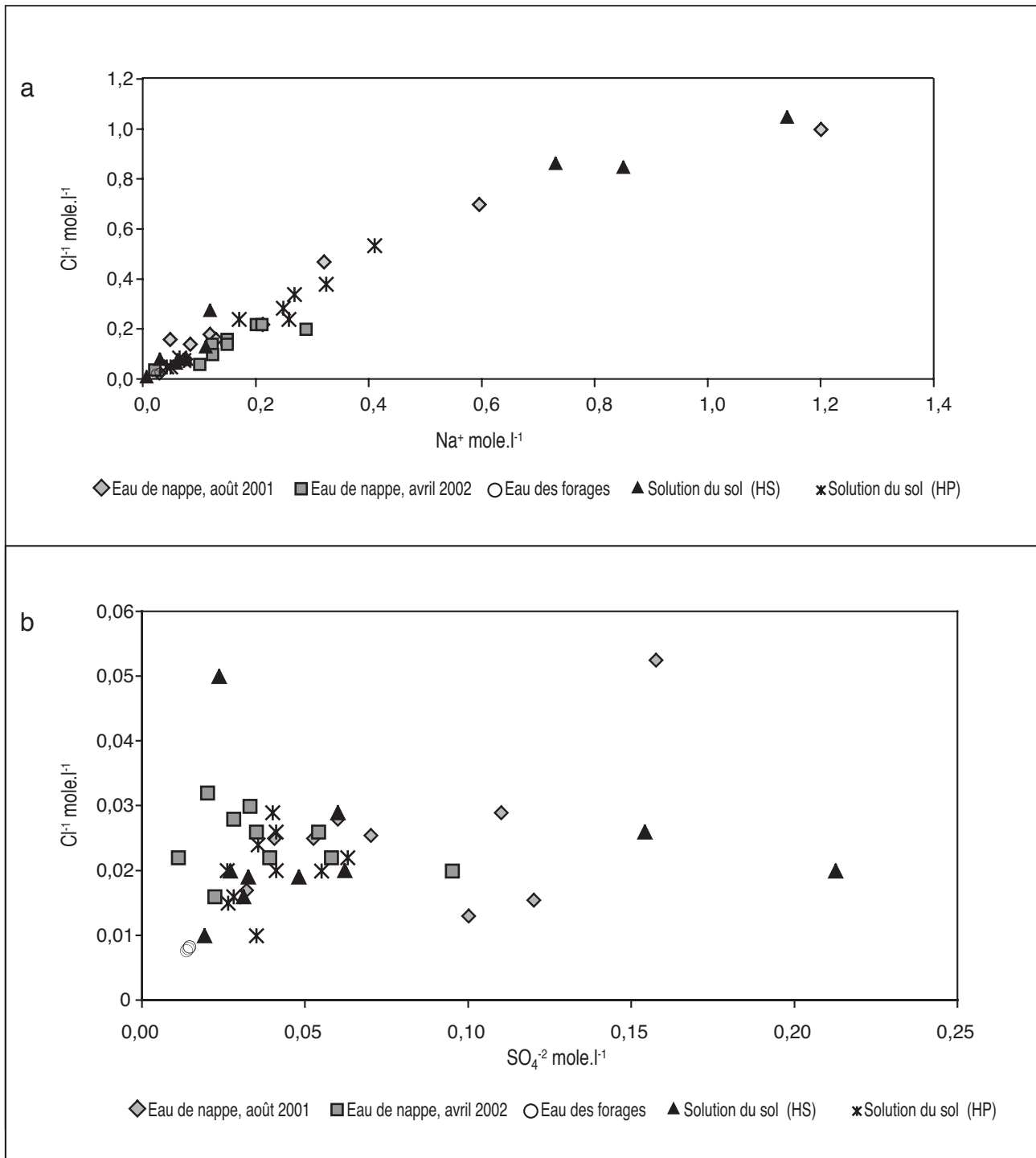
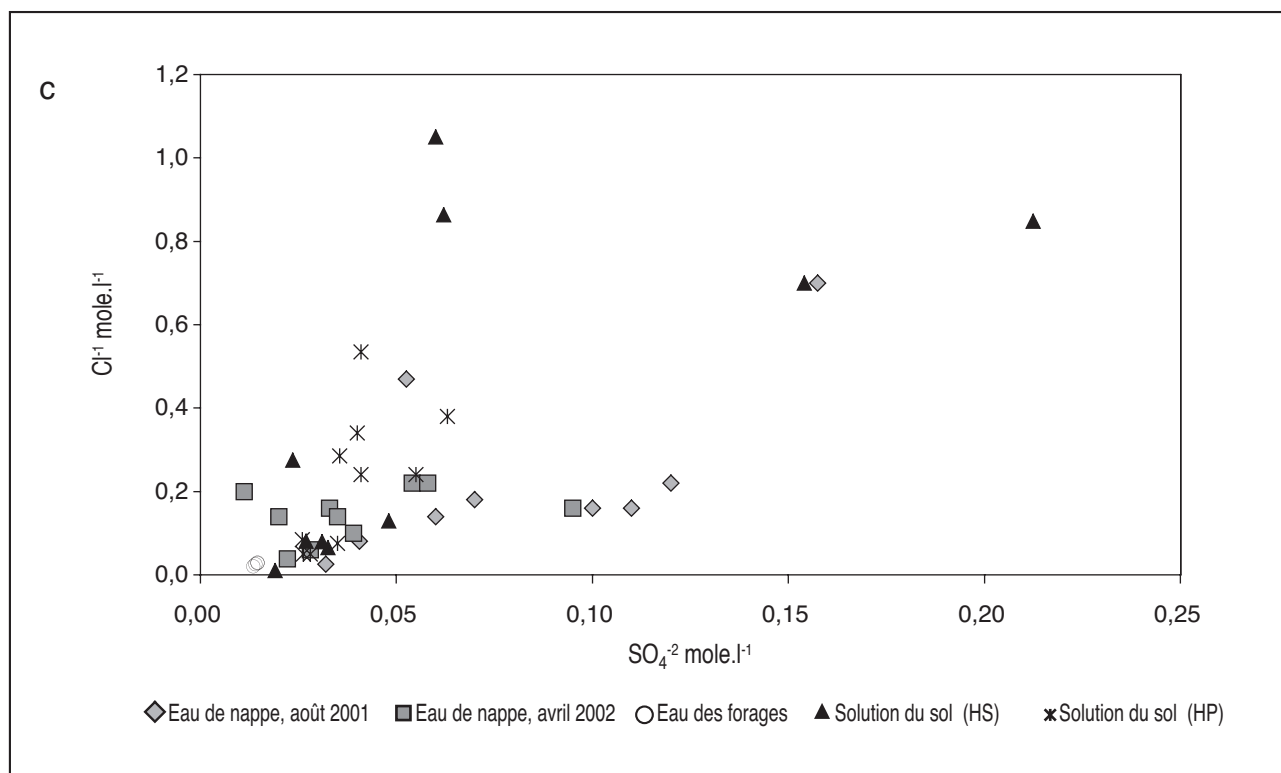
Figure 6 - Variation de la salinité dans les eaux de la nappe superficielle (Pz : Piézomètre)**Figure 6** - Salinity variation in superficial water table (Pz: Piezometre)

Figure 7 - Etude comparative de la concentration des ions dans les eaux de forage, de nappe superficielle et les solutions extraites du sol. (HS : horizon de surface HP : horizon de profondeur)

Figure 7 - Comparative study of ions concentration in solutions and waters. (HS : surface horizon HP : deep horizon)





CONCLUSION

A l'échelle de toute l'oasis de Metouia et en considérant les concentrations moyennes de tous les éléments ioniques analysés dans les eaux de forages, dans les solutions extraites des sols et dans les eaux de la nappe superficielle, nous pouvons conclure que :

Les eaux de forages, par rapport aux teneurs moyennes tolérées en éléments ioniques (Ayers R.S. et Westcot D.W., 1988), sont riches en sulfates et déjà très proches de la saturation vis-à-vis du gypse. Les eaux ayant un faciès mixte sulfaté utilisées pour l'irrigation dans l'oasis de Metouia ont contribué à l'enrichissement de la solution du sol en éléments chimiques et surtout en sulfate et en calcium. Ainsi la plupart des solutions extraites des sols sont saturées vis-à-vis du gypse. Les accumulations gypseuses se font par concentration des solutions du sol. Ce qui explique la faible profondeur de la croûte gypseuse et la présence des accumulations gypseuses soit sous forme discontinue (lenticulaire, saccharoïde, lamellaire...), soit continue (encroûtement) au niveau de tous les profils. Les croûtes et les encroûtements gypseux surmontant la nappe superficielle sont localisés à des profondeurs variables qui semblent dépendre de la topographie et des conditions de drainage local. Toutes ces accumulations gypseuses représentent une contrainte majeure aussi bien sur le plan physique que chimique pour une meilleure gestion des sols et pour une agriculture durable et productive (Mashali, 1996). La pédogenèse actuelle est dominée par l'évolution des processus de salinisation et d'hydromorphie affectant en totalité ou en partie

le profil pédologique. Dans l'oasis de Metouia, une gestion des eaux et des sols inadaptée a provoqué une salinisation des sols et une baisse de rendement. Pour pallier cette situation il y a lieu de redéfinir les besoins en eau des cultures, et les besoins en irrigation de l'oasis en tenant compte particulièrement des besoins du lessivage des sels et du contexte topographique de chaque secteur.

En conclusion, dans l'oasis de Metouia, la pédogenèse est dominée par la dynamique du gypse, cette dernière est contrôlée par le facteur eau. Ainsi, la maîtrise des apports d'eau pour l'irrigation, le contrôle et le suivi de la nappe superficielle, constituent des mesures indispensables pour atténuer la dégradation de l'environnement pédologique face à l'évolution des accumulations gypseuses dans l'oasis, source de vie pour une bonne partie de la population du sud tunisien.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement l'équipe du service sol au CRDA de Gabès pour son appui logistique lors de la réalisation des campagnes de terrain. Mes remerciements s'adressent également à Mr. Lotfi Baccar et son équipe d'Eco Ressources International pour leur aide au cours du traitement des données et l'établissement des cartes.

BIBLIOGRAPHIE

- Abidi B., 1999 - Gestion des ressources en eau d'une zone d'interdiction. Cas des nappes souterraines de la région O.Akarit-El Bssissi (Gabès nord). *Journée des ressources en eau INAT.Tunis*, pp. 1-19.
- Ayers R-S. et Westcot D-W., 1988 - La qualité de l'eau en agriculture. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*, 29 Rév.1, Rome. 180 p.
- Bellanca A. et Neri R., 1992 - Dissolution and precipitation of gypsum and carbonate minerals in soils on evaporite deposits, central Sicilia, isotope geochemistry and microfabric analysis. *Geoderma*, 59, pp. 263-277.
- Cheverry Cl. et Robert M., 1998 - La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : Une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. *Etude et Gestion des Sols*, 5, 4 , pp. 217-226.
- Grira M, Hatira A., Benmansour B. et Gallali T., 2002 - Hydrodynamique et hydrochimie de la nappe superficielle de l'oasis de Métouia (Gabès nord. Tunisie). *Coll. Int. sur l'eau dans le bassin méditerranéen. Ressources et développement durable. WATMED. Monastir, Tunisie*, pp. 505-508.
- Hachicha M., Job J.O. et Mîmet A., 1994 - Les sols salés et la salinisation en Tunisie. *Sols de Tunisie*. n° 15. pp. 270-324.
- Halitim A. et Robert M., 1992 - Genese of gypseous and calcareous formations in aride zone (Algérie). Dynamics and effects in soil properties. *Workshop on gypseous soils. Aleppo : ICARDA-FAO*, 11 p.
- Jafarzadeh A.A. et Burnham C.P., 1992 - Gypsum crystals in soils. *Journal of Soil Science*, 43, pp. 409-420.
- Job JO., 1992 - Les sols salés de l'oasis d'El Guettar. *Thèse de doctorat. Université de Montpellier II*, 150 p.
- Kadri A. et Hatira A., 1996 a - Genesis and typology of gypso-saline accumulations in southern Tunisia. *International Symposium on Soils with Gypsum Léida, Espagne*, pp. 55-59.
- Kadri A. et Hatira A., 1996 b - Caractérisation hydro-pédologique des sols des oasis de Nefzaoua. *Séminaire Int.Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides. Jerba, Tunisie*, pp. 18-21.
- Mamou A., 1990 - Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du sud tunisien. *Thèse doc. es sciences naturelles. Orsay, Paris sud*, 190 p.
- Mashali A.M., 1996 - Soil management practices for gypsiferous soils. *International Symposium on Soils with Gypsum. Léida, Espagne*, pp. 34-52.
- Mekrazi A-F, 1975 - Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Gabès nord. *Thèse es Sciences Géologiques. Univ. Bordeaux I*, 230 p.
- Mîmet A. et Hachicha M., 1995 - Hydromorphie et salinisation dans les oasis tunisiennes. *Sécheresse*, Vol. , 6, pp. 319-324.
- Perthuisot J.P., 1975 - La sebkha El Melah de Zarsis. *Génèse et évolution d'un bassin paraliq. Travaux du laboratoire de géologie, Paris, n°9*, pp. 63-194.
- Podwojewski P. et Pétard J., 1996 - Comparaison entre différentes méthodes d'extraction des sels solubles et des cations échangeables dans un vertisol à gypse de Nouvelle Calédonie. *Etude et Gestion des Sols*, 3 (3) pp. 193-206.
- Pouget M., 1968 - Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le sud tunisien. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédologie, VI*, pp. 309-365.
- Vieillefon J., 1976 - Inventaire critique des sols gypseux en Tunisie. *Etude préliminaire. Dir. des Ress. en Eau et en Sol, Tunis, Tunisie, ES 98*. 80.
- Vieillefon J., 1978 - Les sols gypseux en Tunisie. *Contribution à l'amélioration de leur étude analytique. Sols de Tunisie, n° 10*, pp. 40-105.
- Watson A., 1985 - Structure, chemistry and origin of gypsum crusts in southern Tunisia and the central Namib Desert. *Sedimentology*, 32, pp. 855-875.