

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HYDROLOGY

The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology

On the World Wide Web at <http://www.hydroweb.com>

VOLUME 9

2002



CARACTÉRISATION HYDROCHIMIQUE D'UNE NAPPE CÔTIÈRE, MAROC

Hydrochemical Features of a Coastal Aquifer, Morocco

Lahcen Zouhri
Erick Carlier

Laboratoire d'Hydrogéologie, LAMH, Equipe HSE
Faculté des Sciences Jean Perrin, Université d'Artois
Lens, France

Dans cette note, nous présentons les premiers résultats hydrochimiques de la nappe de la Mamora. Les données recueillies permettent de déterminer la minéralisation globale qui se caractérise par une conductivité électrique variable (entre 595 à 2930 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). La distribution spatiale de cette dernière met en évidence un découpage de la nappe en trois zones où la minéralisation est importante. La corrélation réalisée entre les paramètres chimiques et la conductivité électrique est généralement bonne. Elle révèle la probabilité d'une intrusion marine.

The first analytical results for the Mamora aquifer groundwater are presented. The data show a global mineralization which is characterized by a variable electrical conductivity (between 595 and 2930 $\mu\text{S}/\text{cm}$). The spatial distribution of conductivity allows a partition of the groundwater into three zones where mineralization is important. The correlation between chemical parameters and the electrical conductivity is generally good, and shows the probability of salt water intrusion.

INTRODUCTION

Dans les zones arides à semi-arides, les nappes souterraines sont très sollicitées. Parmi les grandes villes marocaines qui connaissent un grand essor économique, agricole, et démographique, on note: Rabat, Casablanca, Kénitra, et le bassin du Rharb. Des villes où les besoins en eau qui n'ont pas cessé d'accroître, sont alimentées par la nappe de la Mamora. D'où la nécessité d'instaurer une politique de gestion et d'aménagement qui permettent de quantifier et préserver ces ressources en eau.

Ce travail consiste à caractériser la qualité chimique de la nappe de la Mamora et de comprendre la répartition spatiale de certains paramètres. Cette étude préliminaire, se base sur la répartition de deux paramètres: la conductivité électrique et les concentrations en chlorures.

Pour atteindre cet objectif, une campagne d'analyse physico-chimique a été effectuée sur des échantillons prélevés sur une vingtaine de point d'eau uniformément répartis dans l'espace durant 1996. Les analyses d'eau souterraines de la zone étudiée proviennent de la DGH (Direction Générale de l'Hydraulique, Ministère des Travaux Publics, Rabat).

MORPHOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU SECTEUR

La Mamora qui constitue un bassin de 2300 Km² (Figure 1) est encadré au Nord par la région de Sidi-Yahia, au Sud par la ville de Tiflète, à l'Est par l'Oued Beht, et à l'Ouest par l'Océan Atlantique.

Au Nord de la zone étudiée, le bassin du Rharb montre un relief très doux dans sa partie centrale. En revanche, dans la partie occidentale et orientale, son altitude est de 20 m. Le bassin de la Mamora présente une pente de 6% vers le NNW, il culmine au SE aux environs de 250 mètres et n'a plus, en bordure du Rharb, qu'une altitude de 10 à 30 mètres (Figure 2).

La morphologie d'ensemble correspond à une succession de collines et de vallées parallèles au rivage selon une direction moyenne N030°E et localement N130°E à 150. La Mamora est caractérisée par un réseau hydrographique bien développé de l'Ouest vers l'Est. Les principaux cours d'eau sont les oueds Fouarate, Semento, Tiflète, et Tourisa.

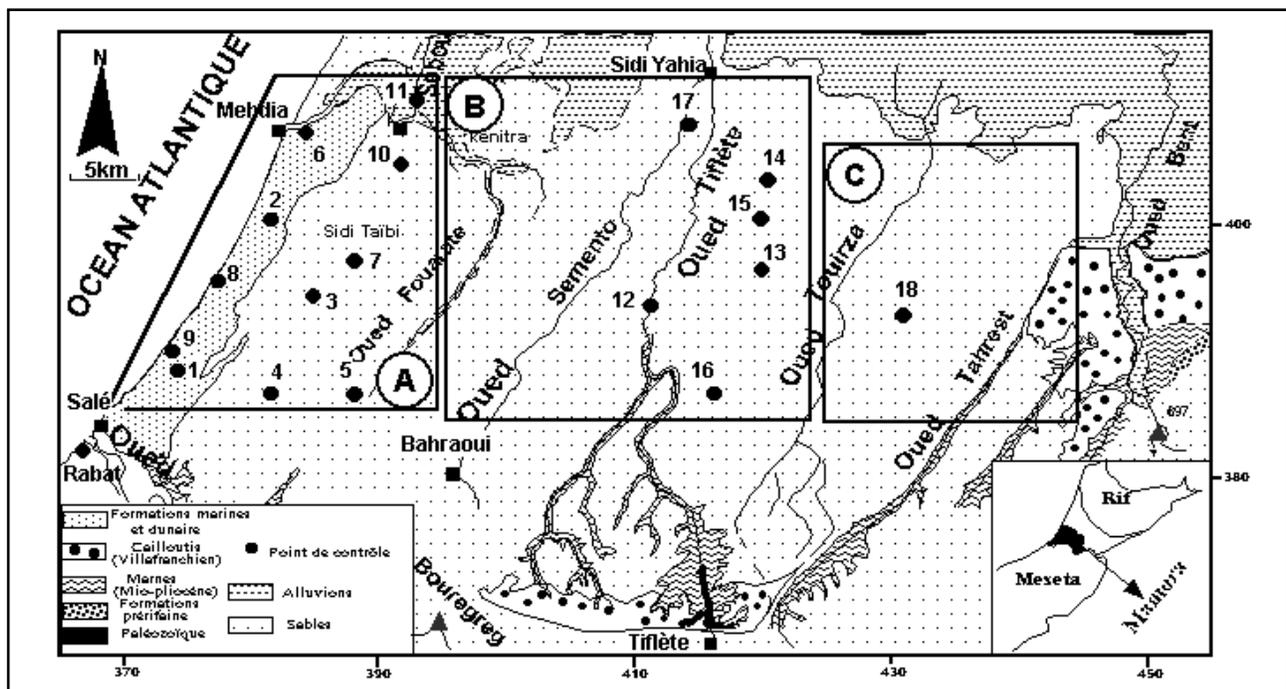


Figure 1. Carte géologique de la Mamora et position de prélèvement. (Geological map and location of sampled wells)..

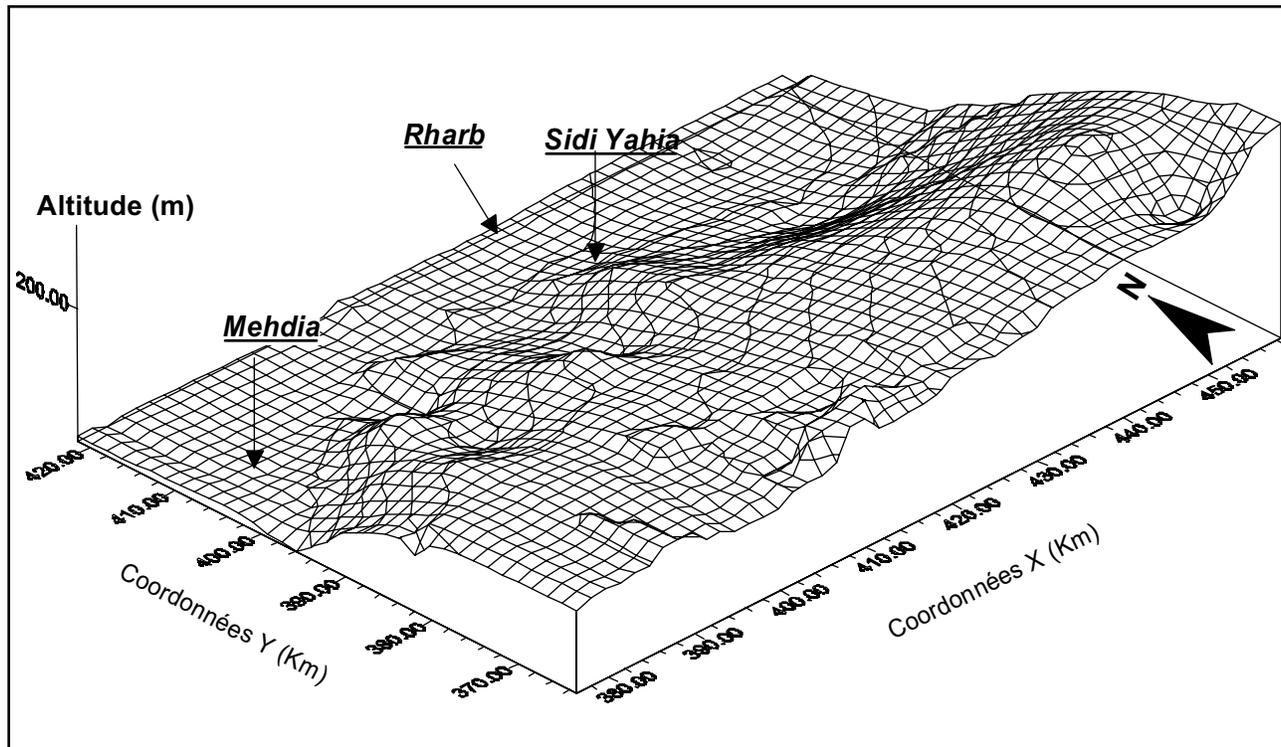


Figure 2. Représentation topographique du secteur étudié. (Topographical representation of the studied area).

a. Oued Fouarate

L'Oued Fouarate, d'une longueur totale de 40 km environ, occupe la vallée la plus occidentale. La superficie de son bassin versant est de l'ordre de 285 km². Dans son cours supérieur, l'Oued Fouarate a une direction N150°E, puis s'incurve vers le NNW avec une direction moyenne N030°E dans la partie avale de son parcours, pour se jeter enfin dans l'Oued Sebou.

b. Oued Semento

Son bassin versant est de 220 km², sa longueur est de 50 km. Il est orienté N30°E-N40°E, et se jette dans l'Oued Tiflète à proximité du village de Sidi Yahia.

c. Oued Tiflète

L'Oued Tiflète le plus important du réseau hydrographique, est orienté du Sud-Nord suivant une direction moyenne N20°E mais localement N150°E à 160°E sur plus de 90 km de longueur. La superficie de son bassin est de 560 km².

d. Oued Tourisa

Son cours d'eau plus ou moins rectiligne, a une longueur de 50 km; la surface de son bassin versant est d'environ 470 km².

L'étude climatologique (Zouhri, 2000) indique que sur une période étalée de 1987 à 1997, les années pluviométriques se composent essentiellement en deux saisons particulières: i/ une, sèche qui s'étend de Juillet à Août (Pluviométrie presque nulle); ii/ l'autre humide comportant un maximum au mois de Décembre (114 mm à Kénitra).

L'analyse des données de température moyenne mensuelle révèle la présence de deux groupes:

- $22 < T < 24^{\circ}\text{C}$ dans les stations de Kénitra et Rabat;

- $24 < T < 26^{\circ}$ dans les stations de Sidi-Slimane.

Les eaux de la Mamora sont très fortement sollicitées. D'une part, pour alimenter en eau potable le bassin du Rharb, Rabat la capitale et le centre économique du Maroc, Casablanca. D'autre part, pour satisfaire les besoins du secteur industriel et agricole. D'où la nécessité d'employer les outils nécessaires pour préserver, quantifier et caractériser la qualité de ces ressources.

Les données de forages hydrogéologiques et pétroliers ont mis en évidence un aquifère monocouche dont la structure géologique a été déterminée en utilisant plusieurs méthodes de la géologie appliquée (Zouhri, 2000).

La configuration géométrique de cet aquifère est caractérisée par un découpage en Horsts et Grabens. Les derniers travaux réalisées dans cette région ont replacé le bassin du Rharb-Mamora dans un cadre géodynamique globale (Zouhri et al., 2001).

L'analyse et l'interprétation piézométrique (Zouhri et al., 2001) montrent un écoulement souterrain vers la plaine du Rharb et l'Océan Atlantique. La nature lithologique des terrains perméables est constituée essentiellement de sable, grès, conglomérat, calcaire et argile. L'ensemble forme un aquifère plio-quaternaire qui repose sur un substratum mio-pliocène (Marnes bleue).

Ces formations aquifères du bassin Mamora sont constituées par des propriétés hydrodynamiques: i/ le degré de perméabilités dans ce secteur est généralement bon. Le modèle mathématique (Zouhri, 2000) montre que les unités aquifères notamment dans la zone côtière, se caractérisent par des valeurs de perméabilité qui sont de l'ordre de $5 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$. ii/ la modélisation hydrodynamique de cette aquifère en régime transitoire a mis en évidence une distribution spatiale hétérogène des coefficients d'emmagasinement. Les valeurs les plus fortes appartenant à la zone occidentale, se répartissent selon une direction NE-SW et elles sont de l'ordre de $3 \cdot 10^{-3}$ à $5 \cdot 10^{-3}$ (Zouhri, 2000).

MINERALISATION GLOBALE

Afin d'évaluer et de suivre la minéralisation globale de l'eau, la prise en compte de la conductivité électrique est nécessaire.

Trois zones ont été identifiées (Figure 1): zones côtière (A), centrale (B) et orientale (C).

La conductivité électrique moyenne est de l'ordre de $1117,73 \text{ mS.cm}^{-1}$ dans la zone côtière, $1028,33 \text{ mS.cm}^{-1}$ dans la zone centrale, et de 1140 mS.cm^{-1} dans la zone orientale. Les valeurs minima et maxima dans chaque zone sont représentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Statistiques de la conductivité électrique (mS.cm^{-1}).

Zones	Moyenne	Min	Maxi
Zone occidentale	1117,73	600,00	2930,00
Zone centrale	1028,33	595,00	311,00
Zone orientale	1140,00	1140,00	1140,00

Dans les trois zones, la conductivité électrique indique une minéralisation élevée. Selon le point d'analyse, des échantillons comme le 11 (Figure 1) présente une minéralisation importante. D'autres (échantillon 5, 13 et 14) révèlent une minéralisation accentuée variant entre 333 et $666 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Conformément à la réglementation, la directive des communautés européennes relative à la qualité des eaux destinées à la **consommation humaine** indique un niveau guide de 400 mS.cm^{-1} à 20°C . Les différentes classes qui permettent de se prononcer sur le degré de la minéralisation sont les suivantes (Rodier, année..)(?)

- Conductivité < 100 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: minéralisation très faible;
- 100 < Conductivité < 200 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: minéralisation faible;
- 200 < Conductivité < 333 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: minéralisation moyenne;
- 333 < Conductivité < 666 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: minéralisation accentuée;
- 666 < Conductivité < 1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: minéralisation importante;
- Conductivité > 1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: minéralisation élevée.

La minéralisation élevée de la nappe de la Mamora révèle la nécessité d'examiner les causes probables de cette salinité et l'utilité de prévoir les moyens pour identifier l'interface eau douce-eau salée.

CORRELATION CONDUCTIVITE-CHLORURE

La répartition spatiale des éléments chimiques, conductivité électrique et les concentrations en chlorures sont des paramètres caractéristiques de l'eau de mer (Rosenthal *et al.*, 1992 ; Tellam, 1995, Richter et Kreitler, 1993). Afin d'examiner la probabilité d'une intrusion marine, nous avons tenté de corrélérer la conductivité électrique avec les concentrations en chlorures. L'examen de cette comparaison indique que l'allure de l'histogramme (cond. $\mu\text{S.cm}^{-1}$) suit parfaitement celle de la courbe (concentrations en chlorures [mg.l^{-1}], Figure 3). Leurs répartitions spatiales (Figure 4) sont presque identiques. Cette corrélation qui est généralement bonne, se caractérise par plusieurs pics dont le plus significatif est celui de l'échantillon 11 qui se trouve à proximité de Kénitra. Cette évolution peut s'expliquer par l'accroissement des prélèvements effectués par la **RAK** (régie d'alimentation de Kénitra), afin d'alimenter en eau potable la ville, son secteur économique et

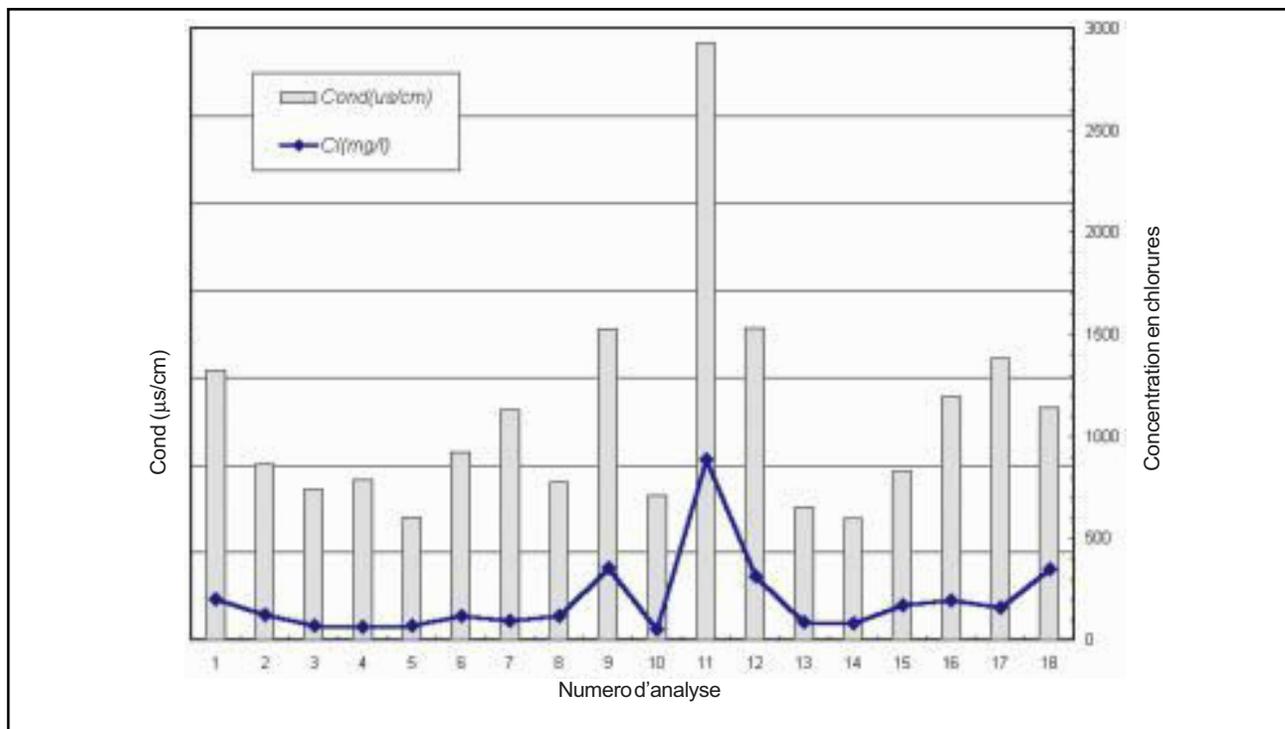


Figure 3. Corrélation entre la conductivité électrique et les concentrations en chlorures de la nappe de la Mamora.

Figure 3. Correlation between electrical conductivity and chlorures concentration of the Mamora groundwater.

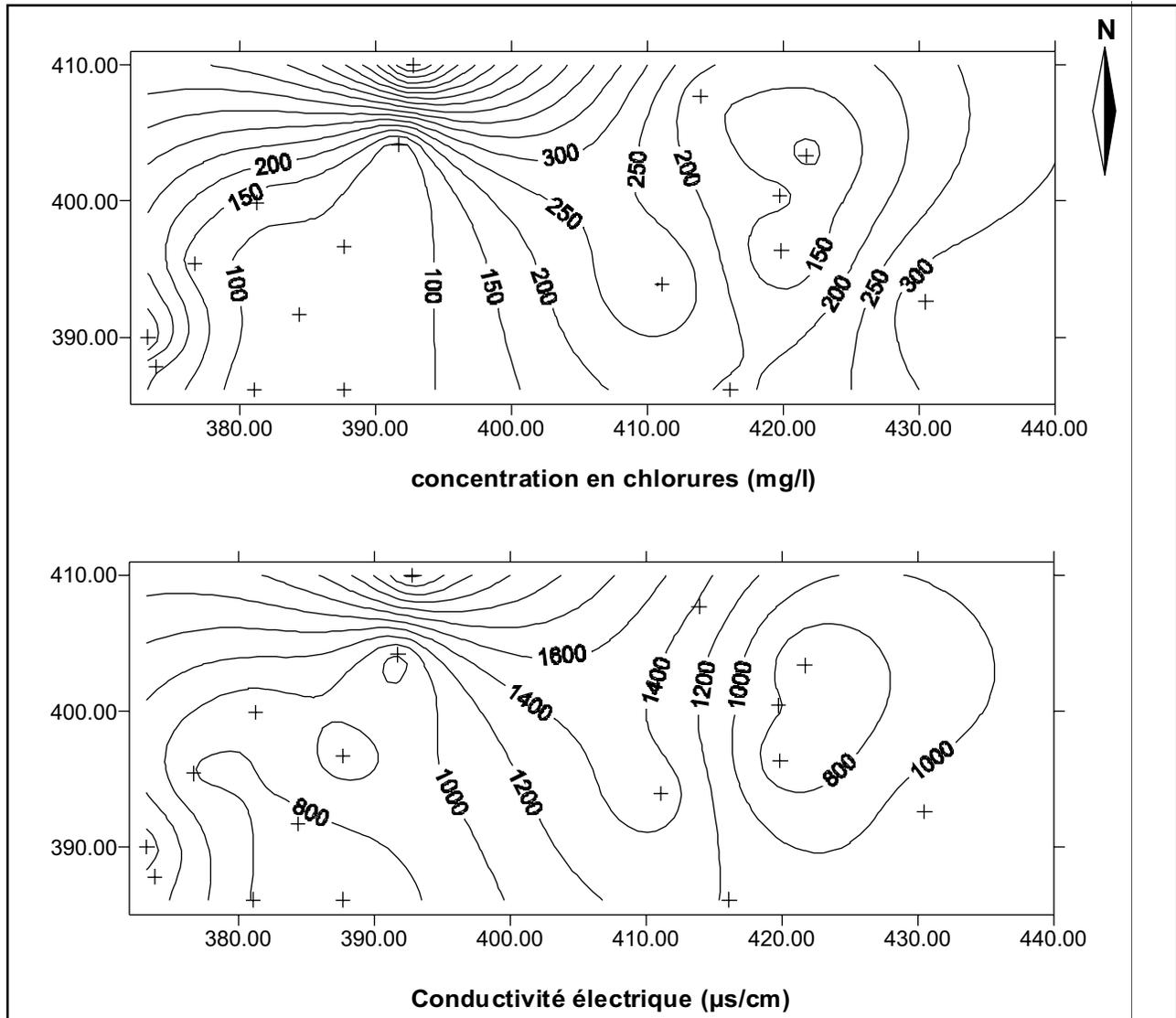


Figure 4. Distribution spatiale de la conductivité électrique et les concentrations en chlorures.

Figure 4. Spatial distribution of the electrical conductivity and the chlorures concentration.

industriel. Les séries de prélèvements successifs pourraient être à l'origine d'une intrusion marine. Un déficit pluviométrique lié à un pompages intensif provoquent un abaissement du niveau de la nappe et une possible remontée vers les terres du biseau salé (Grillot et Razack, 1985 ; Mania et al., 1984).

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de déterminer la variabilité de la minéralisation globale de la nappe de la Mamora. La combinaison des concentrations en chlorures et la résistivité électrique représentent une étape préliminaire pour caractériser l'aspect qualitatif des ressources en eau de la région et indiquent les zones sensibles à une invasion marine. Les unités aquifères à forte perméabilité jouent un rôle très important dans la contamination de la nappe par les eaux marines. La forte exploitation hydrogéologique destinée à l'alimentation en eau potable du secteur urbain, industriel et agricole favorise ce flux marin. L'étude des autres paramètres physico-chimiques et géophysique (diagraphie) doivent s'inscrire dans les perspectives d'un projet qui touche la qualité des eaux dans le secteur.

RÉFÉRENCES

- Grillot, J.C., et M. Razack; Évolution spatio-temporelle d'un aquifère alluvial sous l'effet "une sécheresse pluriannuelle exceptionnelle (Littoral méditerranéen, Hérault, France). *Journal of Hydrology*. 82: 155-173, 1985.
- Mania, J., et V. Meens; L'interface eau douce-eau salée en Flandres françaises. *Bull. Soc. Géol. France*, (7) XXVI (6): 1281-1291, 1984.
- Richter B.C., et C.W. Kreitler; Geochemical techniques for indentifying sources of groundwater salinization: Boca Katon, FL, C.K. Smoley, 258 p, 1993.
- Rodier J., (1996): L'analyse de l'eau. 8eme ed, Dunod, 1400p.
- Rosenthal, E., A. Vinokurov, D. Ronen, M. Magaritz, et S. Moshkovitz; Anthropogenically induced salinization of goundwater: A case study from the Coastal Plain aquifer of Israel. *Journal of Contaminant Hydrology*. 11: 149-171, 1992.
- Tellam, J.H.; Hydrochemistry of the saline groundwaters of the lower Mersey Basin Permo-Triassic sandstone aquifer, UK. *Journal of Hydrology*. 165: 45-84, 1995.
- Zouhri L., E. Carlier, N. Crampon, J.P. Cobleaux; Aquifère de la Mamora. Géométrie et écoulement souterrain. *Journal Of African Earth Scienes* (In press), 2000.
- Zouhri L., C. Lamouroux, D. Vachard, A. Piqué; Les corps perméables plio-quaternaires de la Mamora (Maroc). Géométrie et influence structurale, *C.Acad, Sc*, 2001, 332, 1, pp1-4.
- Zouhri L.; Structure et modélisation hydrodynamique de l'aquifère de la Mamora (Maroc). Thèse, Univ, LilleI, (2000), 218p.

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE

Lahcen Zouhri
Laboratoire d'Hydrogéologie, LAMH, Equipe HSE
Faculté des Sciences Jean Perrin, Université d'Artois
Rue Jean Souvraz, BP 18
62307 Lens
France

E-mail: lzouhri@netscape.net
