

# 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 11

2003



## **ETUDE DE LA SALINITE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA PARTIE OCCIDENTALE DU MAROC, BASSIN DU RHARB**

**(Salinity of groundwater in the Rharb Basin, western Morocco)**

**Lahcen Zouhri**

Centre de Calcul et de Modélisation  
Faculté des Sciences Jean Perrin  
Université d'Artois, Lens, France

---

*L'identification de la salinité des eaux souterraines du bassin du Rharb est fondée sur l'étude de la répartition spatiale de plusieurs paramètres physico-chimiques. L'intrusion marine et la composition lithologique des nappes-Pré-rifaines salifères, combinées aux structures tectoniques et à leurs écoulements vers le bassin du Rharb, sont considérées comme des facteurs augmentant la salinité des ressources souterraines de la région. Le découpage du bassin en plusieurs zones permet de mettre en évidence de forts gradients de conductivité électrique et des concentrations en chlorures notamment dans la portion orientale. Les corrélations entre ces deux paramètres sont généralement bonnes.*

---

---

*A survey of the salinity of the Rharb basin groundwater in western Morocco is based on a spatial partition of several physico-chemical parameters. Marine intrusion and the lithological composition of the saline Pre-Rifean nappes, combined with their tectonic structures and their flow towards the Rharb basin, are considered as increasing factors for the salinity of the underground resources of the area. The partition of the basin in several zones highlighted strong gradients of electrical conductivity and chloride concentrations, in particular in the eastern portion. The correlations between these two parameters are generally good.*

---

## INTRODUCTION

Le bassin du Rharb a fait l'objet de plusieurs travaux géologiques et hydrogéologiques (Thauvin, 1964; Combe, 1969 ;Cirac, 1987). Le substratum des nappes aquifères se compose d'une épaisse série marneuse du Miocène, surmontée des formations perméables plio-quaternaires. L'alimentation de la nappe se fait par plusieurs zones: 1) les dunes côtières du Rharb à l'ouest; 2) le bassin de la Mamora (Zouhri, 2000); 3) le sud-est (Zrar et Cherarda); 4) l'alimentation par les infiltrations à partir des oueds Sebou et Ouerrha; 5) le nord-est (Mechra Bel Ksir) et le nord (Lalla-Zohra).

La répartition spatiale de la nappe profonde est très hétérogène. Elle se caractérise par des zones profondes artésiennes. Les formations perméables sont essentiellement grés-sableuses, des cailloutis et des galets, reposant sous un niveau argileux.

Les ressources souterraines de la région sont très fortement sollicitées. L'objectif de ce travail est d'apporter une contribution hydrochimique, et de suivre la qualité des eaux de la région en se basant sur la répartition de certains paramètres physico-chimiques, tels que la température de l'air et celle de l'eau.

## CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

Le bassin du Rharb, qui appartient à la portion occidentale du Maroc (Figure 1), représente la bordure méridionale du détroit Sud-rifain. Il est limité au nord par le Rif, au Sud par le bassin de la Mamora, et à l'Ouest par l'Océan Atlantique. L'altitude dans ce bassin est généralement faible (5 à 30 mètres). Au nord-est, les zones périphériques comme le domaine Rifain, culminent à 100 mètres. Le reste du bassin se caractérise par des altitudes faibles notamment au centre du Rharb.

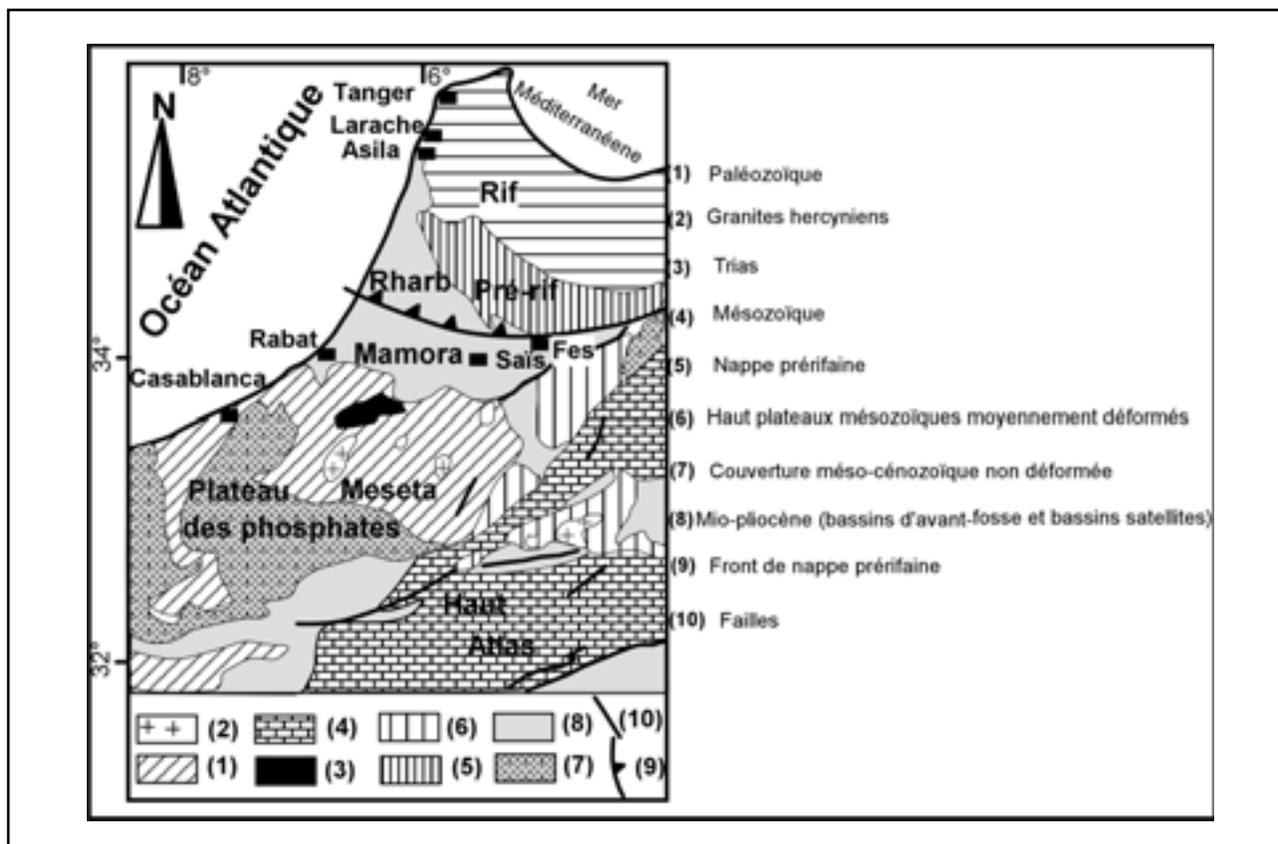


Figure 1. Domaines structuraux du Maroc.

La partie méridionale du bassin est caractérisée par deux grandes failles identifiées par les travaux de sismique-réflexion (Zouhri *et al.*, 2002): i) **K2SFZ**: la faille Kénitra-Sidi Slimane qui sépare la bordure méridionale du Rharb et le bassin de la Mamora; ii) **RKFZ**: la faille de Rabat-Kénitra.

Trois périodes ont caractérisé l'évolution post-paléozoïque de cette région :

- L'extension, dominante du Trias au Bajocien,
- La grande stabilité tectonique entre le Bajocien supérieure et le Miocène moyen (Helvétien).

Une phase tectonique compressive d'abord N070°E puis Nord-Sud avec des failles inverses et décrochements.

## PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

### La température

La température est un paramètre qui joue un rôle dans l'évapo-transpiration des eaux. Elle varie en fonction de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol et de la nature géologique. Les relevés de la température, réalisés en 2001, ont été effectués sur plusieurs points du domaine d'étude (Figure 2).

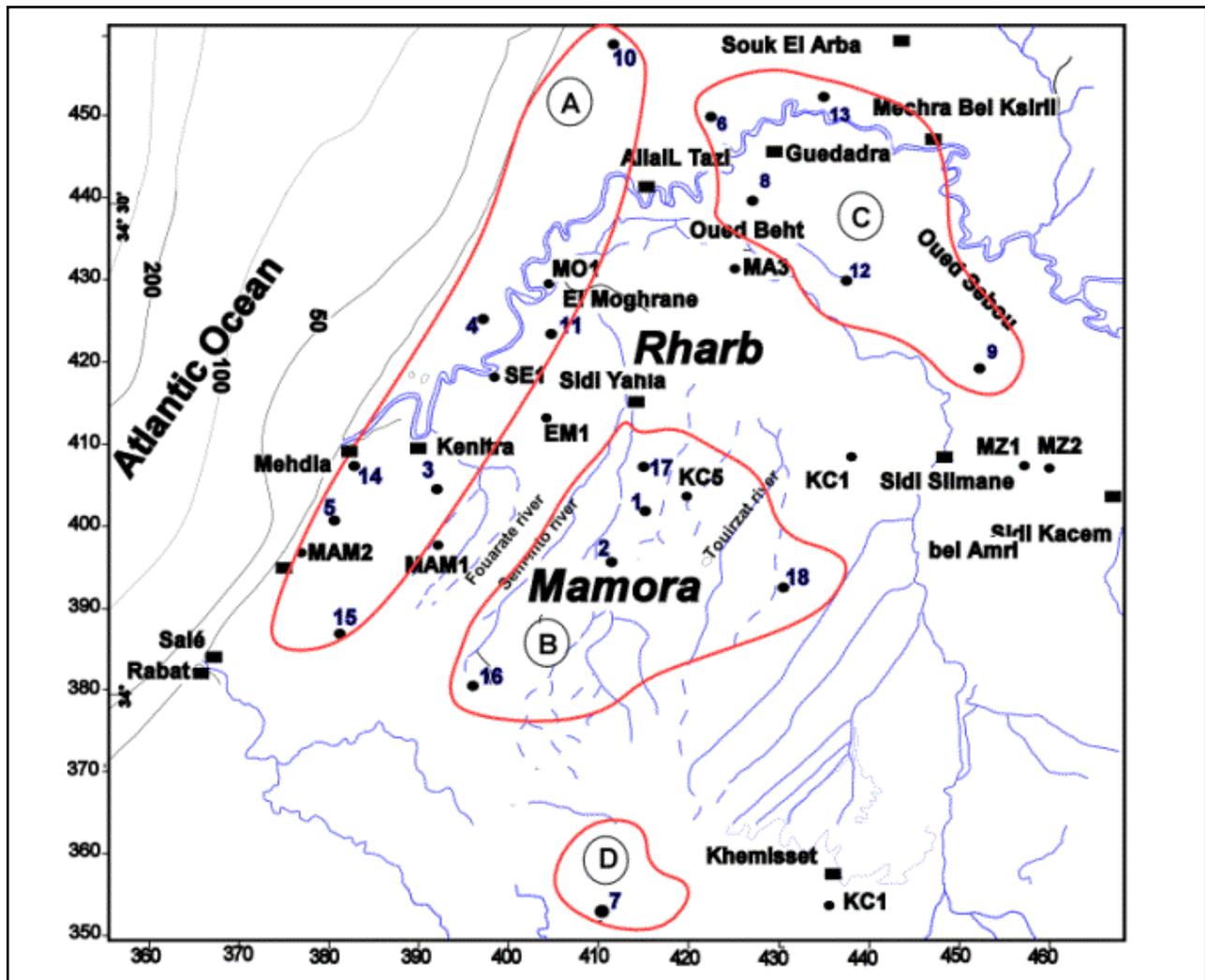


Figure 2. Localisation des prélèvements et réseau hydrographique du bassin du Rharb. (A : Zone occidentale, B : Zone centrale, C : Zone orientale, D : Zone méridionale).

Afin d'examiner la relation qui existe entre la température de l'air et de l'eau, nous avons pris des mesures sur les dix huit points, Le tableau 1 indique leurs caractéristiques statistiques:

Tableau 1. La Température de l'Eau et de l'Air (en °C)

Paramètres	T°air	T°eau
Maxima	20,80	23,80
Minima	14,50	19,30
Moyenne	18,03	20,88
Ecart type	2,33	1,04

La température moyenne de l'eau est de l'ordre de 20,8°C. En revanche celle de l'air est de 18,1°C. La température la plus forte a été soulignée au point 7 à proximité de la ville du Khemisset (de l'ordre de 23,8°C) pour l'eau, et au point 3 (de l'ordre de 20,8°C). D'après la Figure 3, on constate que généralement, la température de l'eau est supérieure à celle de l'air. Par conséquent, la température de l'air n'a aucune influence sur la nappe profonde du bassin du Rharb.

La température doit se situer entre 8 et 15°C pour que l'eau potable soit désaltérante (Rodier, 1996). La directive de la Communauté Européenne fixe à 12°C le niveau guide de la température de l'eau destinée à la consommation humaine.

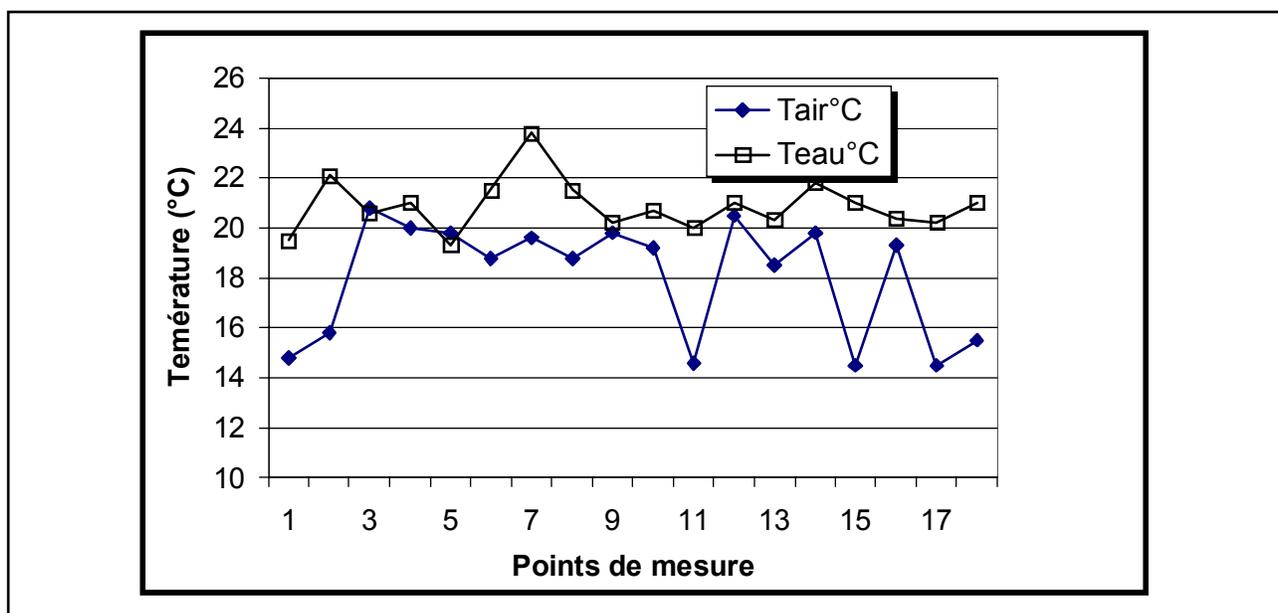


Figure 3. Corrélations entre la température de l'eau et celle de l'air (en 2001).

### La conductivité électrique

C'est un indicateur de la minéralisation globale. La distribution des valeurs de la conductivité électrique se caractérise par un découpage très hétérogène (Tableau 2). Il est considéré dans trois zones différentes: côtière, centrale, et orientale (Figure 2).

Tableau 2. Statistique de la Conductivité Électrique Relevée dans le Bassin du Rharb

Zone	Côtière	Centrale	Orientale
Maxima	1170,00	1260,00	5230,00
Minima	310,00	515,00	555,00
Moyenne	801,43	760,83	2099,00

La zone côtière enregistre une moyenne de  $760,83 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Le point 14 (Figure 4) qui se trouve à proximité de Mehdiya enregistre la valeur plus forte qui est de l'ordre de  $1170 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Du côté de Rabat-Salé, le point 15 indique une minéralisation moyenne correspondant à une conductivité de l'ordre de  $310 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

La zone centrale qui occupe une grande partie du bassin Rharb-Mamora, se caractérise par une moyenne similaire à celle de la zone côtière et qui est de l'ordre de  $760,83 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . La conductivité électrique la plus élevée a été identifiée au Sud-Est de Sidi-Slimane (au point 18, Figure 4). Elle est de l'ordre de  $1260 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  avec une minéralisation très importante.

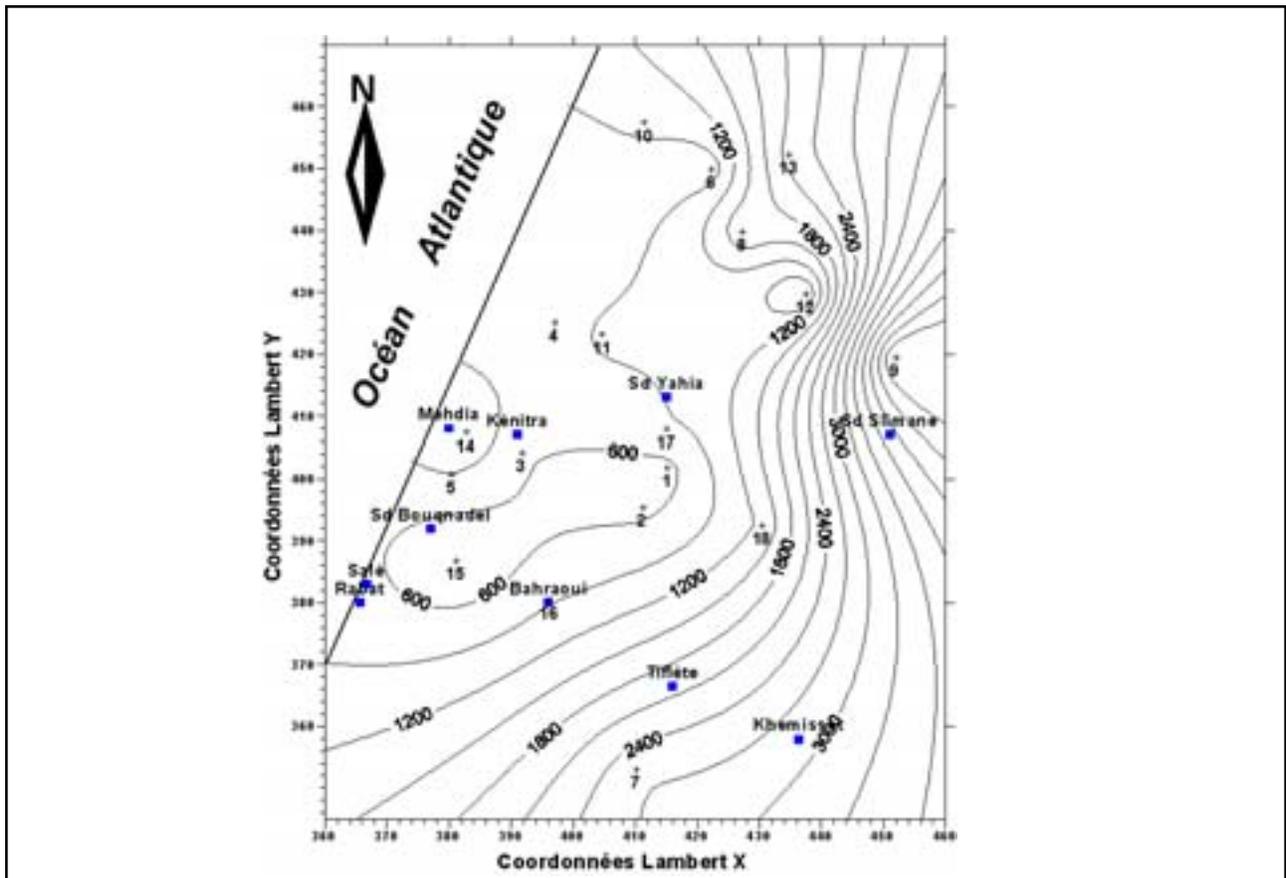


Figure 4. Répartition de la conductivité électrique dans les eaux souterraines ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

La zone orientale se caractérise par une minéralisation très forte. Les courbes-iso-conductivité se resserrent notamment entre les points 12 et 9 avec un gradient croissant. Les caractéristiques statistiques indiquent un maxima de  $5230 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Une telle valeur a été enregistrée au nord de Sidi-Slimane (point 9, Figure 4). La moyenne estimée dans cette zone dépasse  $2099 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Zone méridionale qui fait partie de la Méstéa. Nous ne possédons qu'un seul échantillon, c'est la raison pour laquelle cette zone ne figure pas dans le tableau (Tab. 2). La conductivité électrique identifiée à proximité de la ville de Khemisset est de l'ordre de  $2635 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Plusieurs facteurs peuvent intervenir dans la variation de la minéralisation dans la zone côtière et orientale:

- Dans la zone côtière, la minéralisation est variable: moyenne à forte. L'identification des points, dont la minéralisation est très importante, pourrait s'expliquer par l'activité intense de pompage pour assurer le secteur d'alimentation en eau potable, l'industrie et l'agriculture. L'effet de cette activité

provoque une invasion marine, c'est le cas par exemple du point 10 (partie septentrionale côtière et au nord de Sidi Yahia) et 14 (entre la ville de Mehdia et Kénitra),

- Le facteur lithologique lié au glissement des nappes Pré-rifaines qui sont caractérisées par un assemblage de formations triasiques salifères.
- Les infiltrations qui traversent ces nappes Pré-rifaines et qui se chargent en sels, puis circulent dans la nappe du Rharb.

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 & Kreitler, 1993). Il en résulte donc une nécessité de réaliser des corrélations conductivité/chlorures.

### Corrélations entre la conductivité électrique et les teneurs en chlorures

Nous avons suivi la répartition spatiale des concentrations en chlorures (Figure 4) dans les eaux souterraines du bassin du Rharb. Un fort gradient de ces concentrations a été identifié au nord de Sidi Slimane, notamment entre le point 12 et 9 (Figure 4). Les analyses chimiques ont enregistré un minimum de 34,6 mg<sup>l</sup><sup>-1</sup>, au sud de Kénitra, et de 1294 mg<sup>l</sup><sup>-1</sup> au nord de Sidi Slimane.

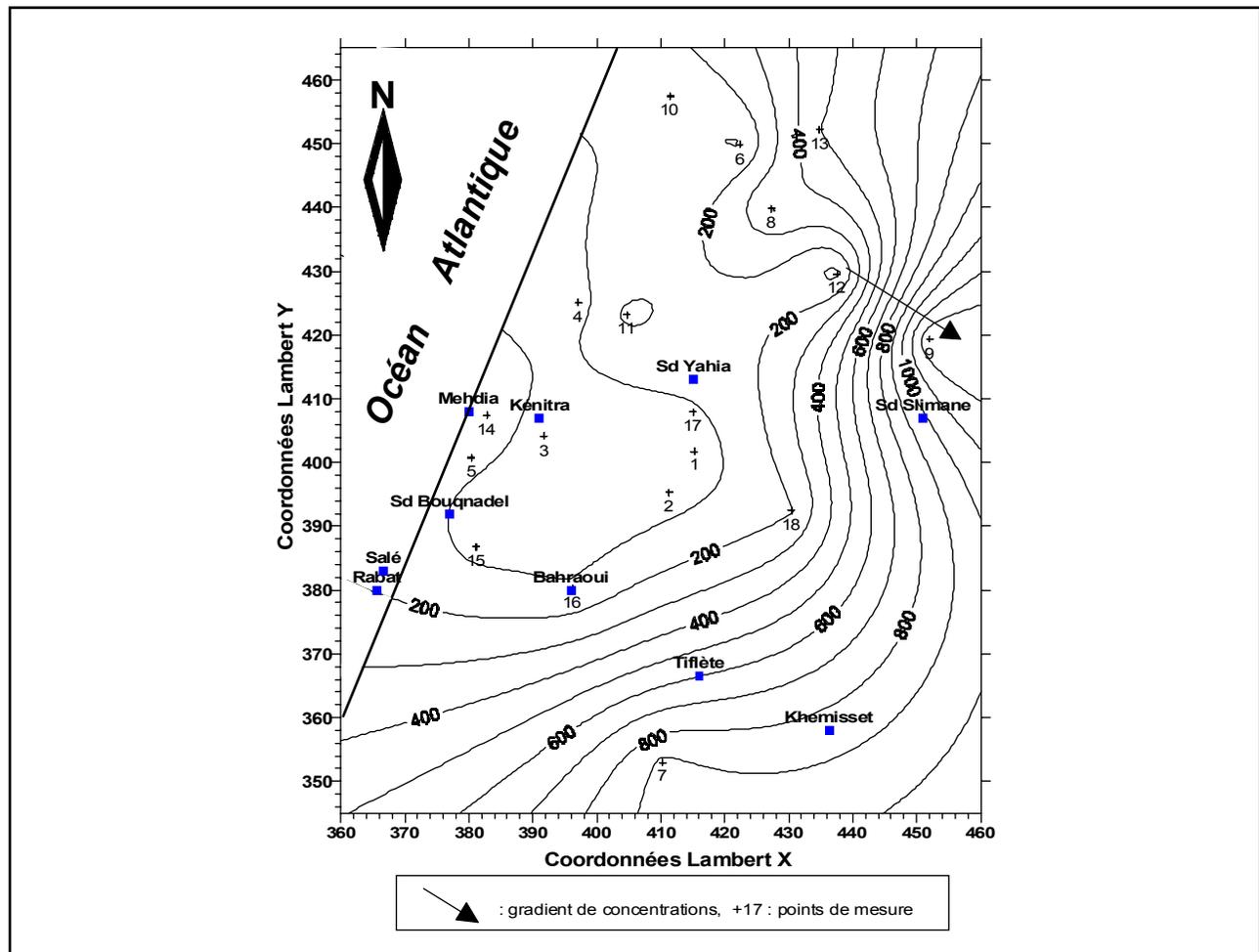


Figure 5. Distribution des teneurs en Chlorures dans les eaux souterraines du bassin du Rharb.

L'allure de la courbe des concentrations en chlorures suit parfaitement celle de la conductivité électrique. Le coefficient de corrélation (Figure 6) conductivité/chlorures est bon (de l'ordre de 0,94).

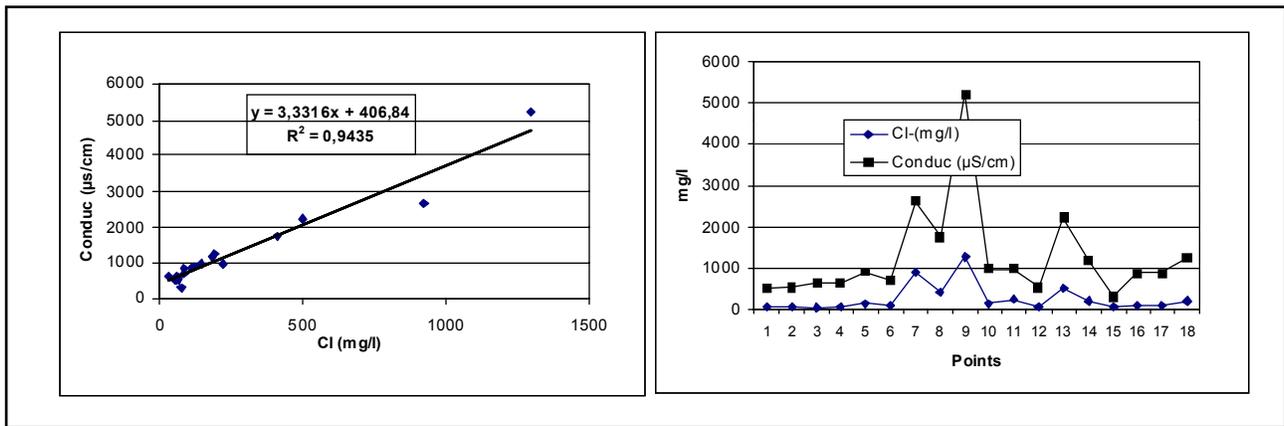


Figure 6. Corrélations chlorures-conductivité électriques.

Les corrélations au niveau des points côtiers, qui sont en parfaite concordance pourraient évoquer une intrusion marine. En revanche, dans la zone orientale où les pics les plus significatifs et les plus importants ont été enregistrés aux points 7, 9 et 13, ne peuvent s'expliquer que par l'influence du charriage des nappes Pré-rifaines salifères, et le contrôle qu'il exerce sur la recharge des infiltrations en sels et surtout en chlorures. Ces derniers sont des ions très mobiles (Arad et al, 1975 ; Tellam, 1995) et contribuent à l'augmentation de la salinité des eaux souterraines du Rharb.

## CONCLUSION

La répartition spatiale de la température (air-eau), la conductivité électrique et des concentrations en chlorures, permettent de découper le bassin du Rharb en plusieurs zones. Les pics les plus importants (conductivité de  $5230\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) et des concentrations en chlorures de l'ordre de 1294 mg/l ont été identifiés dans la portion orientale. La composition lithologique des nappes Pré-rifaines salifères et leur écoulement vers le bassin du Rharb sont parmi les causes de salinité des eaux dans cette portion orientale.

## REFERENCES

- Arad A., U.Kafri and E. Fleisher; (1975). The Na' Aman Springs, northern Israel, Salinization mechanism of irregular freshwater sea water interface. *Journal of Hydrology.*, 25, 81-104.
- Cirac P.; (1987). Le bassin Sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Evolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement. *Mém. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 21, 287 p. Bordeaux.
- Combe M.; (1975). Ressources en eau du Maroc. T.2, Plaines et bassins du Maroc Atlantique. *Notes et Mémoire., Ed. Serv. Géol., Maroc*, 93-145.
- Richter B.C. and C.W. Kreitler; (1993). Geochemical techniques for indentifying sources of groundwater salinization: *Boca Katon, FL, C.K. Smoley*, 258 p.
- Rodier J.; (1996). L'analyse de l'eau. 8<sup>ème</sup> ed, Dunod, 1400 p.
- Rosenthal E., A. Vinokurov, D. Ronen, M. Magaritz, and S. Moshkovitz; (1992). Anthropogenically induced salinization of goundwater: A case study from the Coastal Plain aquifer of Israel. *Journal of Contaminant Hydrology*. 11: 149- 171.
- Tellam J.H.; (1995). Hydrochemistry of the saline groundwater of the lower Mersy Basin Permo-Triassic sandstone aquifer. *Journal of Hydrology*, 165, 45-84.
- Thauvin J.P. ; (1964). Monographie hydrogéologique de la Mamora. *Notes et Mémoire. Serv. Géol., Maroc*, 195, 195 p.

Zouhri L.; (2000). Structure et modélisation hydrodynamique de l'aquifère de la Mamora (Maroc). Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Univ-Lille1, 218 p.

Zouhri L., C. Lamouroux, D. Vachard, A. Piqué; (2002). Evidences of flexural extension of the Rif Foreland : The Mamora Area (Northern Morocco). *Bulletin de la Société Géologique de France*. In press.

---

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE

Lahcen Zouhri  
Centre de Calcul et de Modélisation de Lens  
Faculté des Sciences Jean Perrin  
Université d'Artois  
Rue Jean Souvras, BP 18,  
62307 Lens cedex  
France

**E-Mail: LZouhri@netscape.net**

---