

# **Dynamique et salinité d'une nappe côtière : Interaction eaux-roches et influence du biseau salé (Grombalia, NE Tunisie)**

BEN SAÂD Eya<sup>(1) (\*)</sup>, BEN ALAYA Mohsen<sup>(1)</sup>, TAUPIN Jean-Denis<sup>(2)</sup>, ABDELKRIM Amira<sup>(1)</sup>, BEN ZID

Gahssen<sup>(3)</sup>, CHABANNE Najet<sup>(1)</sup> & PATRIS NICOLAS<sup>(2)</sup>

(1) LMU, National Institute of Research and Physical-Chemical Analysis (INRAP), Technopole, 2020 SidiThabet, Ariana, Tunisia

(2) Hydrosiences Montpellier, Univ. Montpellier, IRD, CNRS, France

(3) <sup>3</sup>Tunis-El Manar University, 1060 Tunis, Tunisia

\* [Eyasaad@gmail.com](mailto:Eyasaad@gmail.com)

**Mots-clés :** Nappe côtière; minéralisation ; interaction eaux-roches ; processus d'échange cationique; retour des eaux d'irrigation

## **Introduction**

En Tunisie, comme pour tous les pays du pourtour méditerranéen, ses aquifères côtiers constituent une part non négligeable des ressources en eau du pays (Custodio, 2010). Dans ces régions, le flux migratoire de la population vers les villes côtières et la multiplication des activités industrielles et agricoles, lors de ces dernières décennies, ont provoqué un accroissement des besoins en eaux (Small et Nicholls, 2003), ce qui conduit à une exploitation excessive des eaux souterraines. De plus, dans les milieux arides et semi-arides, ces ressources en eau souterraine restent dépendantes des conditions climatiques et sont donc caractérisées par des taux de renouvellement très faibles et très sensibles au changement climatique (Benini et al. 2015).

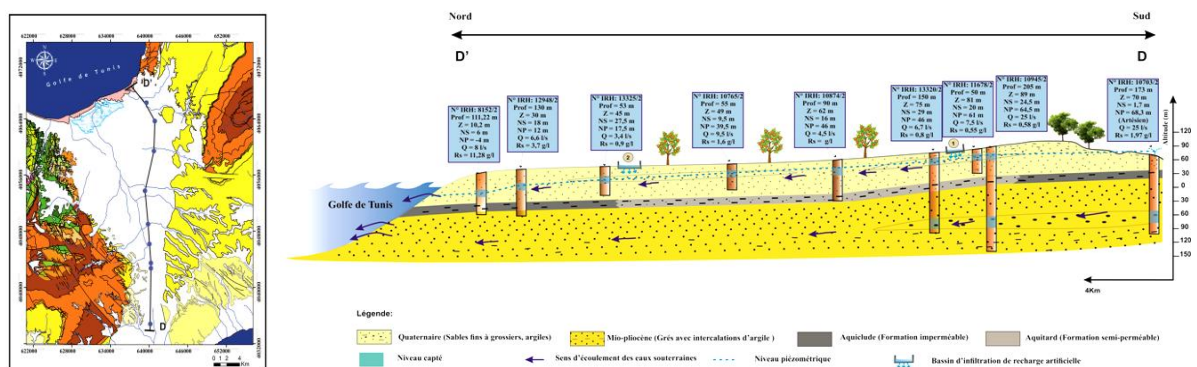
C'est le cas de la plaine de Grombalia, située dans la presqu'île du Cap Bon, au nord-est de la Tunisie qui renferme un système aquifère multicouche le plus important dans la région du Cap Bon. Cependant, sa surexploitation au cours du dernier siècle a engendré des baisses notables des niveaux piézométriques ainsi qu'une dégradation de la qualité des eaux (Gaaloul et al. 2014). La présente étude vise à améliorer la connaissance du fonctionnement hydrogéologique de ce système pour organiser la gestion de ce patrimoine. Egalement, cette étude a pour objectif principal d'évaluer les différents facteurs gouvernant la salinisation des eaux souterraines de Grombalia.

## **Matériels et méthodes**

L'évaluation de la salinité des eaux souterraines du système aquifère de Grombalia et la compréhension de son fonctionnement hydrodynamique nécessitent une étude hydrogéochimique combinant des données quantitatives et qualitatives. Dans cette optique, des campagnes d'échantillonnage d'eau portant sur 45 échantillons ont été effectuées dans les deux niveaux aquifères (phréatique et profond). Les paramètres physico-chimiques non conservés, température, conductivité électrique et pH, ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un conductimètre/pH-mètre WTW 340 i/SET. Les cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ), le fer et le lithium ont été mesurés par Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA). Le dosage des chlorures et de l'alcalinité a été réalisé par titrage (méthode de Mohr). Les sulfates ont été analysés par gravimétrie. Les éléments traces ont été mesurés par ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) type Analytikjena. Diverses méthodes graphiques telles que les diagrammes de Piper, Durov étendu, HFE-D, les rapports ioniques ont été utilisées pour interpréter les résultats de ces analyses.

## Résultats et discussion

L'étude des coupes et des corrélations des séquences lithologiques des forages montre que le bassin de Grombalia renferme plusieurs niveaux aquifères avec une intercommunication verticale entre les niveaux gréseux et sableux du Mio-pliocène et les niveaux sableux du Quaternaire (Fig. 1). En effet, ces deux niveaux aquifères sont séparés par une couche d'argile d'environ 20 m d'épaisseur. Cependant, cette couche argileuse présente une discontinuité vers la partie médiane du bassin et par conséquent, cette condition hydrogéologique permet une drainance verticale descendante ou ascendante selon la charge hydraulique au niveau des aquifères. L'analyse des volumes d'eau exploités au cours du temps montre que ces niveaux aquifères sont très sollicités avec un taux d'exploitation qui a subi un accroissement notable pour atteindre 209% en 2020 pour la nappe phréatique et 162% en 2018 pour la nappe profonde. Ceci dénote des signes évidents d'épuisement des ressources et la dégradation de la qualité des eaux souterraine de Grombalia.

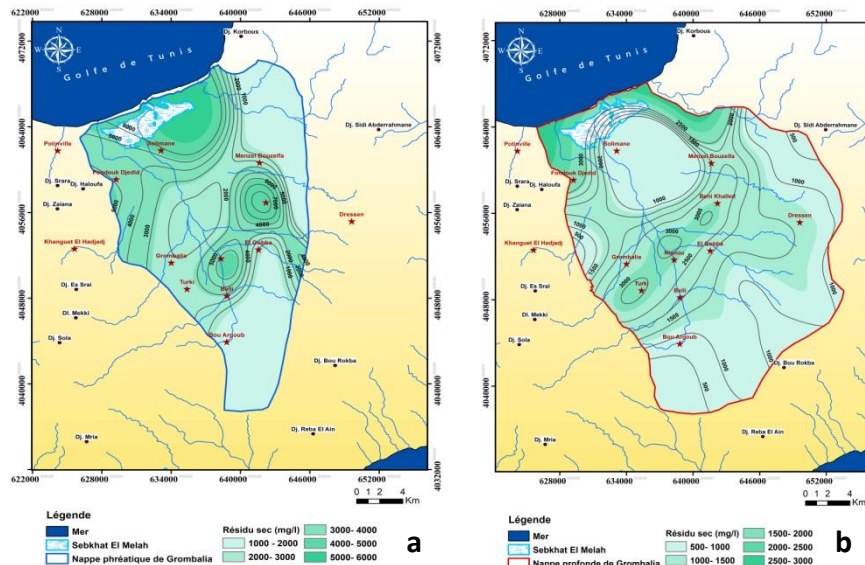


**Fig. 1** Coupe hydrogéologique D – D'

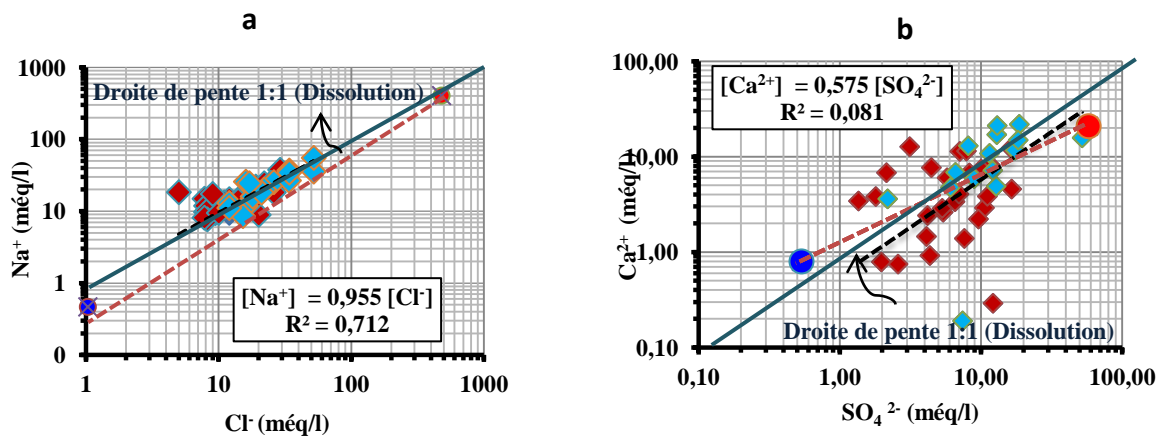
La répartition spatiale de la salinité des eaux souterraines du bassin de Grombalia montre des valeurs qui varient de 1453 à 5814mg/l (Fig. 2a) pour l'aquifère phréatique et de 737 à 2934 mg/l pour l'aquifère profond (Fig. 2b). Les faibles valeurs de salinité ont été enregistrées au niveau des bordures du bassin alors que les fortes salinités caractérisent la zone médiane et côtière du bassin. Ces fortes valeurs de la minéralisation peuvent s'expliquer par la diminution de l'effet de dilution liée à l'infiltration des eaux récentes et la dissolution des différents minéraux existants au sein de l'aquifère et par conséquent l'augmentation de la charge saline des eaux souterraines. Toutefois, l'exploitation importante mise en parallèle avec les conditions de semi-aridité caractérisant la zone d'étude a joué un grand rôle dans l'augmentation de la salinité des eaux. En effet, les zones à fortes activités agricoles, situées principalement au centre-est du bassin, peuvent témoigner d'un retour des eaux d'irrigation. D'autre part, l'augmentation de la salinité vers la frange côtière semble être également liée à la baisse piézométrique qui peut déclencher une pollution par invasion de l'eau de la mer. En outre, le recyclage des sels sous la Sebkat El Melah, exutoire naturel de différents niveaux aquifères par évaporation (périodes sèches) mais aussi périodiquement inondées par les crues des oueds (période de lessivage vers la zone saturée), pourrait en partie être responsable de l'augmentation de la salinité des eaux souterraines du bassin de Grombalia.

Afin de déterminer avec exactitude l'origine des éléments majeurs contribuant à la minéralisation des eaux souterraines, des corrélations ioniques de Na vs. Cl (Fig. 3a) et de Ca vs.  $\text{SO}_4$  (Fig. 3b) ont été établies. Le diagramme Na/Cl montre une bonne corrélation entre ces deux éléments avec un coefficient de détermination  $R^2=0,71$ . Ceci indique que l'origine des éléments  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  est en grande partie issue de l'effet du contexte géologique, particulièrement par la dissolution de l'halite (droite de pente 1:1). Néanmoins, le diagramme Ca vs.  $\text{SO}_4$  affiche un nuage de points éparpillé indiquant que la mise en solution du gypse et/ou de l'anhydrite a été perturbée par d'autres processus de minéralisation. Ces teneurs déficitaires en sulfates pourraient refléter l'effet des bactéries sulfato-réductrice engendrant l'oxydation de la matière organique (MO) et la réduction

du sulfate dans un milieu anaérobie s'accompagnant d'une libération de  $\text{H}_2\text{S}$  (Jorgensen, 1982). D'un autre côté, l'enrichissement en  $\text{SO}_4^{2-}$  reflète vraisemblablement l'oxydation de la pyrite (Kristensen et al, 1991), mise en évidence lors de la formation des sols hydromorphes salés, rencontrés le long du bassin de Grombalia.



**Fig. 2** Carte de répartition spatiale de la salinité des eaux : (a) aquifère phréatique; et (b) aquifère profond



**Fig. 3** Corrélations ioniques : (a)  $[\text{Na}^+]$  vs.  $[\text{Cl}^-]$ ; et (b)  $[\text{Ca}^{2+}]$  vs.  $[\text{SO}_4^{2-}]$

L'analyse de l'intrusion d'eau de mer a été réalisée en suivant le diagramme d'évolution des faciès hydrochimiques (HFE-D) (Fig.4). Ce dernier indique que 53% des échantillons s'affichent dans le champ de la phase d'intrusion marine, révélant la dominance d'un processus d'échange de cations inverse. Étant donné que la flèche d'intrusion représente le mélange entre l'eau de mer et l'eau douce et les processus d'échange de base inverse (Gimenez-Forcada, 2019), dont certains (P27, P29, P31, P32, P33, P44 et P45), situés à proximité de la mer, montrent que la salinisation de ces eaux souterraines pourrait être due aux embruns marins, aérosols et à un début d'intrusion marine. D'autres points d'eau (P1, P2, P12) récupérés des aquifères du Miocène qui sont constitués par des dépôts d'origine marine, dans ce cas la salinité enregistrée est liée au lessivage des dépôts miocènes marins. Parallèlement à ces processus naturels de minéralisation, la pollution anthropique a également joué un rôle non négligeable dans la salinisation et la contamination des eaux souterraines de Grombalia. En fait, les concentrations élevées en bore (0,004 à 4,33 mg/L) et en fer

(0,44 à 3,26 mg/L) sont liées à une éventuelle contamination par des rejets industriels et des eaux usées. Sachant que les eaux industrielles traitées et non traitées sont directement déversées dans l'Oued El Bey et ses affluents, pour atteindre finalement la Sebkhah El Melah et la mer.

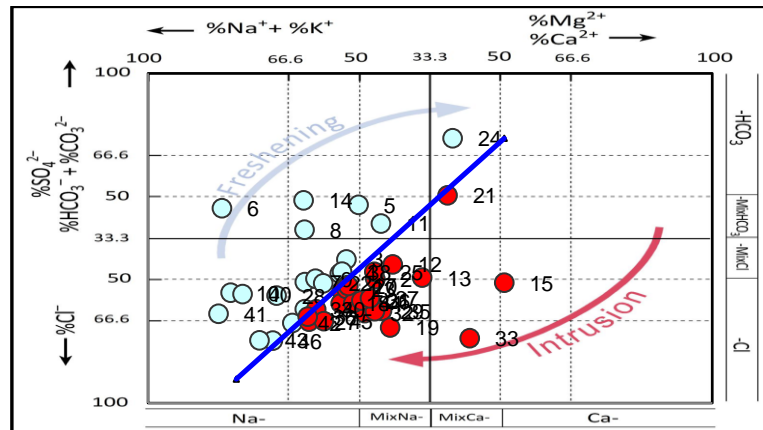


Fig. 4 Diagramme HFE-D des eaux souterraines du bassin de Grombalia

## Conclusion

L'utilisation combinée des outils hydrogéologiques et géochimiques a permis de comprendre le fonctionnement général du système aquifère du bassin de Grombalia, ainsi que de discriminer les sources de salinisation des eaux. La minéralisation des eaux est liée à des origines naturelles qui résultent principalement de la dissolution de l'halite, le lessivage des dépôts marins, l'oxydation de la pyrite ainsi qu'aux échanges de base avec les minéraux argileux et l'influence marine. Et d'autres anthropiques qui sont rattachées principalement au phénomène de retour des eaux d'irrigation et les rejets industriels. Par ailleurs, la surexploitation de l'aquifère côtier de Grombalia entraîne un abaissement continu de la nappe, ce qui pourrait provoquer une véritable intrusion marine dans les prochaines années.

## Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit des responsables du laboratoire des matériaux utiles de l'Institut National de Recherche et d'Analyse Physico-chimique (INRAP) qui nous ont offert un cadre propice pour la réalisation de nos travaux de recherches.

## Références

1. Benini, L., Antonellini, M., Laghi, M., Mollema, P.N.: Assessment of water resources availability and groundwater salinization in future climate and land use change scenarios: a case study from a coastal drainage basin in Italy. *Water Resour Manage J*, 30:731–745 (2015).
2. Custodio, E.: Coastal Aquifers of Europe: an overview. *Hydrog J*, 18: 269–280 (2010).
3. Gaaloul, N., Candela, L., Chebil, A., Soussi, A., Tamoh, K.: Groundwater flow simulation at the Grombalia phreatic aquifer (Cap Bon, Northeastern Tunisia). *Desalination Water Treat J*, 52:10–12 (2014).
4. Giménez-Forcada, E.: Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain. *HydroResearc 2 J*, 76–84 (2019).
5. Jorgensen, B.: Mineralization of organic matter in the sea bed-the role of sulphate reduction. *Nature J*, 296:643-645 (1982).
6. Kristensen, E., Holmer, M., Bussarawit, N.: Benthic metabolism and sulfate reduction in a South-East Asian mangrove swamp. *Marine Ecology Progress J*, 73:93– 103 (1991).
7. Small, C., Nicholls, R.J.: A global analysis of human settlements in coastal zones. *Coast Res J*, 19:584–599 (2003).