

Evaluation de la qualité des eaux de la nappe de la côte orientale du Cap-Bon en Tunisie

Benalaya A.⁽¹⁾, Chkirbene A.⁽²⁾, Jallali S.⁽²⁾, Harbaoui K.⁽¹⁾ et Tarhouni J.⁽³⁾

⁽¹⁾ Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne, 1121 Mograne - Zaghouan, Tunisie.

⁽²⁾ Centre de Recherches et Technologies des Eaux, Technopôle de Borj-Cédria, Tunisie.

⁽³⁾ Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis, Tunisie

Résumé: La détérioration de la qualité des eaux de l'aquifère phréatique Plio-quaternaire de la côte orientale du Cap-Bon en Tunisie ont été étudiées grâce aux analyses chimiques des échantillons d'eau souterraine de 35 puits. Les investigations hydrodynamiques montrent des dépressions piézométriques au niveau des zones côtières de Korba, Tazarka et Diar Al Hajjej. Ces dépressions qui sont causées par la surexploitation de la nappe ont engendré l'intrusion marine et, en conséquence, l'augmentation de la salinité jusqu'à plus de 5 g/l dans certains endroits des zones côtières. La répartition spatiale des formes azotées a permis d'identifier les zones contaminées par les nitrates. Cette pollution qui est principalement d'origine agricole est causée par l'utilisation excessive et la transformation des engrais azotés. La contamination de l'aquifère par les métaux lourds (Cu, Fe, Ni, Co) a été également cartographiée. Seules les teneurs du Nickel dépassent les normes dans la plupart des points de mesures. Les teneurs élevées semblent être causées par les eaux usées domestiques ou industrielles non traitées qui sont soit directement déversées dans les lits généralement sableux des oueds ou infiltrées à partir des fosses septiques assez fréquentes dans le secteur d'étude.

Mots Clés: qualité des eaux, nappe phréatique, salinisation, pollution nitrique et métallique, côte orientale du Cap-Bon, Tunisie

Groundwater quality evaluation of the oriental coast aquifer of Cap-Bon in Tunisia: salinisation, nitrogen pollution and heavy metals contamination.

Abstract: The quality deterioration of the Plio-quaternary shallow aquifer of the Cap-Bon east coast in Tunisia was studied basing on chemical analyses of 35 water well samples. Hydrodynamic investigations show the existence of piezometric depressions in coastal areas of Korba, Tazarka and Al Diar Hajjej. These depressions are caused by overexploitation of groundwater which led to marine intrusion, and consequently the increase of salinity up to 5 g/l in some parts of coastal areas. The spatial distribution of nitrogen forms was used to identify the contaminated areas by nitrates. This pollution is mainly caused by excessive use and transformation of nitrogen fertilizers from intensive agricultural activities. The aquifer contamination by heavy metals (Cu, Fe, Ni, Co) was also mapped. Only the Nickel contents exceed standards in several measurement points. The high levels seems to be caused by untreated waste water or industrial sewage which are directly discharged into the sandy beds of wadis or infiltrated from the common septic tanks in the region.

Keywords: water quality, shallow groundwater, salinisation, nitrogen and heavy metal pollution, east coast of Cap-Bon, Tunisia

1- Introduction

Dans la plaine de la cote orientale du Cap Bon qui se trouve au nord-est de la Tunisie, la démographie a connue un accroissement (Jalalia, 2008) comme dans toute autre région de ce pays. Depuis plus de quatre décennies, cette augmentation de la population a entraîné le développement des activités agricoles, industrielles et touristiques et, en conséquence, l'accroissement de la demande en eau de ces différents usagers (Tarhouni et al., 2000, Omrane, 2008). Cette demande est assurée presque par la seule ressource disponible sur place qui est la nappe de la cote orientale du Cap-Bon par l'intermédiaire d'un nombre de puits qui ne cesse d'augmenter. Avec un potentiel en eau de 50 millions de mètres cubes par an (Mm^3/an) environ, cette nappe est utilisée en grande partie pour l'irrigation des cultures maraîchères en intensive. L'accroissement du nombre des puits, leur approfondissement continu et le développement du pompage ont entraîné l'augmentation de l'exploitation à un taux de $54 Mm^3/an$. Cette surexploitation a affecté significativement la qualité de l'eau essentiellement par l'intrusion marine et a entraîné, en conséquence, l'abandon des puits qui sont proches de la cote de la mer (Tarhouni et al., 2002). En outre, les rejets domestiques et industriels (Sardouk, 2004) ainsi que l'usage des engrais et des pesticides ne manquent pas dans la zone d'étude.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux de cet aquifère en étudiant les causes de salinisation et de contamination nitrique et métallique.

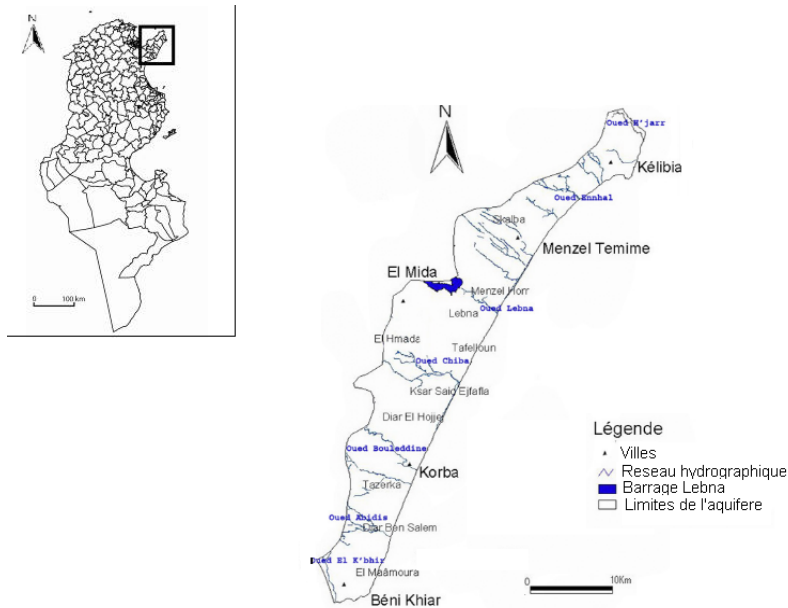


Figure 1: Localisation géographique de la zone d'étude

2- Matériels et méthodes

L'étude hydrogéologique a été basée sur un réseau de 35 puits de surface et forages d'eau dont quelques uns appartiennent au secteur public et le reste appartient aux exploitants de la zone d'étude. Ce réseau a été choisi de façon à couvrir la totalité de la nappe par des mesures du niveau piézométrique et des prélèvements d'échantillons d'eau (figure 2). Les coordonnées géographiques des points d'observations et de prélèvement ont été mesurées sur terrain avec un GPS.

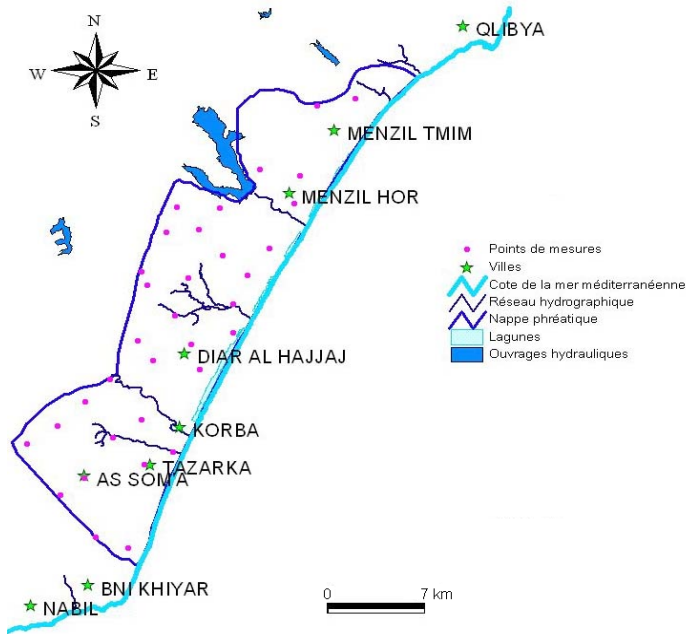


Figure 2: Localisation des points de mesures

Les prélèvements de l'eau ont été effectués au cours du mois de mai de l'année 2005. Pendant cette période, les agriculteurs exploitent la nappe pour irriguer leurs cultures.

Les eaux ont été prélevées directement si le pompage est en cours; sinon après un certain temps depuis le démarrage de la pompe. Dans les deux cas, on s'est assuré de la stabilisation de la conductivité électrique de l'eau avant chaque échantillonnage. Les échantillons sont prélevés dans des bouteilles en polyéthylène, préalablement lavées avec une solution alcaline et rincées plusieurs fois avec l'eau distillée. Les échantillons ont été conservés à une température de 4°C. Les mesures de la température, de la conductivité électrique, de l'oxygène dissous et de pH ont été effectuées sur terrain à l'aide de sondes spécifiques d'un appareil multi-paramètres. Les analyses chimiques ont été conduites au laboratoire. Les sulfates ont été analysés par gravimétrie. Les concentrations des nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-) ont été déterminées en utilisant la méthode de distillation. Les métaux lourds ont été déterminés à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique (AAS) à flamme de type Perkin Elmer 3100. Les métaux lourds analysés sont le cuivre (Cu), le fer (Fe), le nickel (Ni) et le cobalt (Co).

3- Hydrogéologie

Diverses études ont abordé l'hydrogéologie de la nappe de la côte orientale du Cap-Bon (Rouatbi, 1968; Ennabli, 1980; Rekaya, 1989 et 1992; Jemai, 1998; DGRE, 2000; Tarhouni et al, 2000 et 2002; Chattouti, 2006; Zghibi, 2007; Kouzana et al., 2008). Elles montrent que la nappe phréatique est logée dans les formations Plio-Quaternaire à structures lenticulaires principalement constituées d'alluvions et colluvions, de sables, d'argiles et de croûtes calcaire et gypseuse. Le substratum est constitué d'un imperméable de nature argileuse et argilo sableuse d'âge Mio-Pliocène.

Le climat de la côte orientale du Cap-Bon est de type semi-aride à influence méditerranéenne.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 450 mm. La température moyenne est de 19,2°C (27,3°C en été et 12,3°C en hiver). Les Oueds Lebna, Chiba, Abidis et Bouleddine qui traversent la plaine sur toute sa largeur, sont de faible importance, leurs écoulements ne sont possibles que pendant de courtes durées et en périodes des crues. Les oueds El Kebir et El Hjarr, qui constituent respectivement les limites Nord et Sud de l'aquifère, contribuent partiellement à son alimentation.

La carte piézométrique établie dans cette étude (figure 3) montre un écoulement unidirectionnel qui se dirige globalement vers la mer méditerranéenne (exutoire naturel). Les rabattements les plus importants sont enregistrés essentiellement dans les zones de Tefelloune et Diar Al Hajjaj, ce qui indique une surexploitation de la nappe plus accentuée. Par conséquent, une inversion du gradient hydraulique et l'intrusion des eaux de la mer s'effectuent.

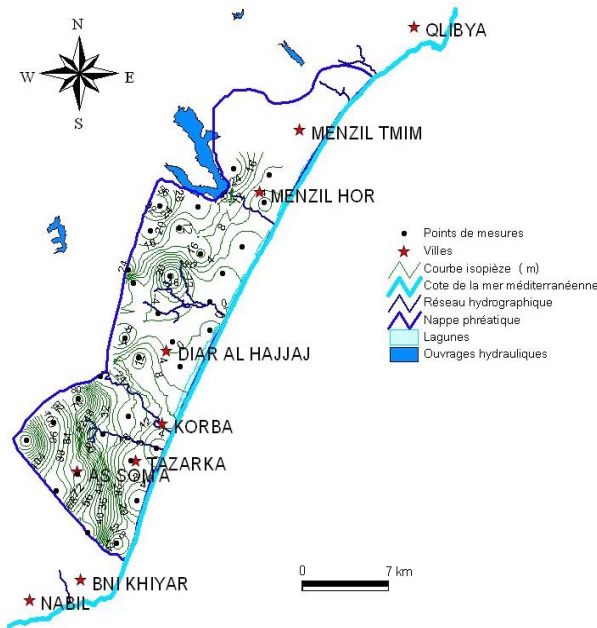


Figure 3: Carte piézométrique de l'année 2005

4- Etude de la qualité des eaux

4.1- La salinité

La salinité est considérée comme le paramètre principal qui caractérise la qualité de l'eau de la nappe. La figure 4 montre que la salinité de l'eau de la nappe a dépassé 2 g/l dans la bande côtière depuis Lebna jusqu'à Tazarka. Elle a même dépassé les 5 g/l entre Korba et Tazarka. Cette augmentation de la salinité est due à l'appel du biseau salé suite à la multiplication des pompages et la réduction des apports à l'aquifère. Ce qui a entraîné l'abandon de plusieurs puits au début de l'année 1990. En dehors de la bande côtière, la salinité de l'eau varie entre 0.3 et 2 g/l.

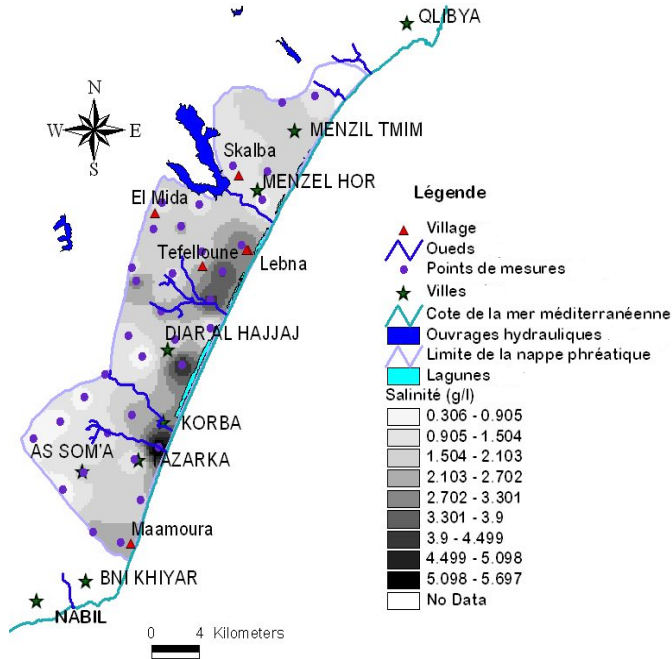


Figure 4: Carte de salinité

4.2- Les sulfates

La norme des teneurs en sulfates dans les eaux souterraines est ajustée en Tunisie à une valeur de 600 mg/l. Pour la nappe cote orientale, la figure 5 montre que les teneurs en sulfates varient entre 8 et 468 mg/l. Les teneurs relativement élevées des sulfates sont localisées près de Menzil Hor et au sud de la nappe près de Maamoura. Les teneurs relativement faibles sont enregistrées dans les zones de Menzil Tmim (100 mg/l), Qlibia, Korba, Diar Al Hajjaj (200 mg/l), Tazarka (12,32 mg/l), et As Som'a (43,96 mg/l).

Les sources de pollution par les sulfates sont nombreuses parmi les quelles on peut citer les industries pétrolières, du textile, agro-alimentaire et les activités agricoles.

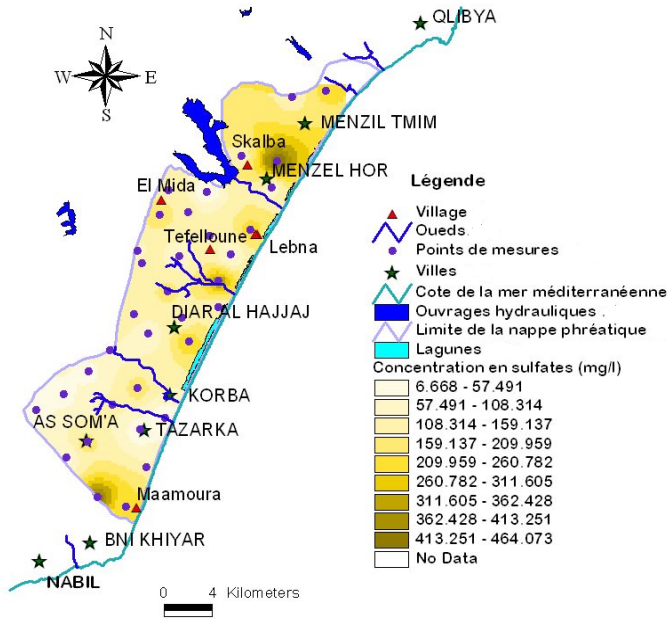


Figure 5: Carte de répartition des sulfates

4.3 - Les formes azotées

L'analyse des échantillons d'eau prélevés de la nappe dans divers points a concerné également la mesure des teneurs en formes azotées à savoir les nitrates et les nitrites. La norme tunisienne pour la teneur de l'eau en nitrates est ajustée à 45 mg/l. La carte de répartition des nitrates et nitrites dans la nappe de la cote orientale du Cap-Bon (figure 6) révèle des valeurs supérieures à la norme dans les zones de Maamoura, Diar Al Hajjaj, Somâa, Skalba et à coté de l'oued Chiba (entre Diar Al Hajjaj et Tefelloune à l'ouest).

Ces valeurs élevées sont essentiellement dues à l'usage fréquent des engrais chimiques dans l'agriculture intensive. En effet, dans presque toutes les zones de la nappe cote orientale, les cultures maraîchères et l'arboriculture (essentiellement les agrumes) sont fortement pratiquées.

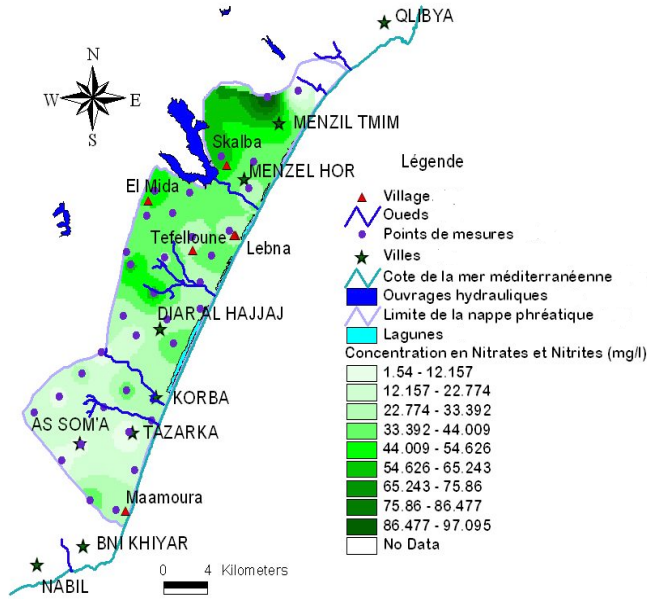


Figure 6: Carte de répartition des nitrates et nitrites

4.4- Les métaux lourds

Les métaux lourds concernés par l'analyse chimique sont le cuivre, le fer, le nickel et le cobalt (figures 7a, 7b, 7c et 7d).

Les concentrations du cuivre dans tous les échantillons prélevés ont été trouvées comprise entre 0,001 et 0,039 mg/l en restant toujours inférieures à la norme de 1 mg/l. Elle est de 0,001 mg/l à Soma, 0,0034 mg/l à Qlibia et de l'ordre de 0,001 µg/l dans les zones de Diar Al Hajjaj et de Bouledine (Sud-Ouet de Korba). Au niveau des zones de Maamoura et Bni Khiyar qui constituent le sud de la nappe, la teneur en cuivre varie de 0,008 à 0,017 mg/l.

Les concentrations de l'eau en fer ont été trouvées inférieures à la norme tunisienne qui est de 1 mg/l. Celles les plus importantes ont été trouvées de l'ordre 0,5 mg/l au niveau de la zone de Nabeul. Les autres valeurs sont de l'ordre 0,001 mg/l à Qlibia, 0,006 mg/l à Bouledin et Korba et 0,002 mg/l à As Som'a.

Les teneurs en Nickel mesurées ont été trouvées supérieures à la norme dans la plupart des points de mesures. La teneur maximale qui est de 0,76 mg/l a été trouvée dans la zone de Diar Al Hajjaj.

Toutes les mesures de la concentration du cobalt ont été trouvées comprises entre 0,001 et 0,085 mg/l. Elles sont toutes inférieures à la norme tunisienne qui est fixée à 6 mg/l.

Les teneurs élevées en métaux lourds semblent être causées par les eaux usées domestiques ou industrielles non traitées qui sont soit directement déversées dans les lits généralement sableux des oueds ou infiltrées à partir des fosses septiques assez fréquentes dans le secteur d'étude.

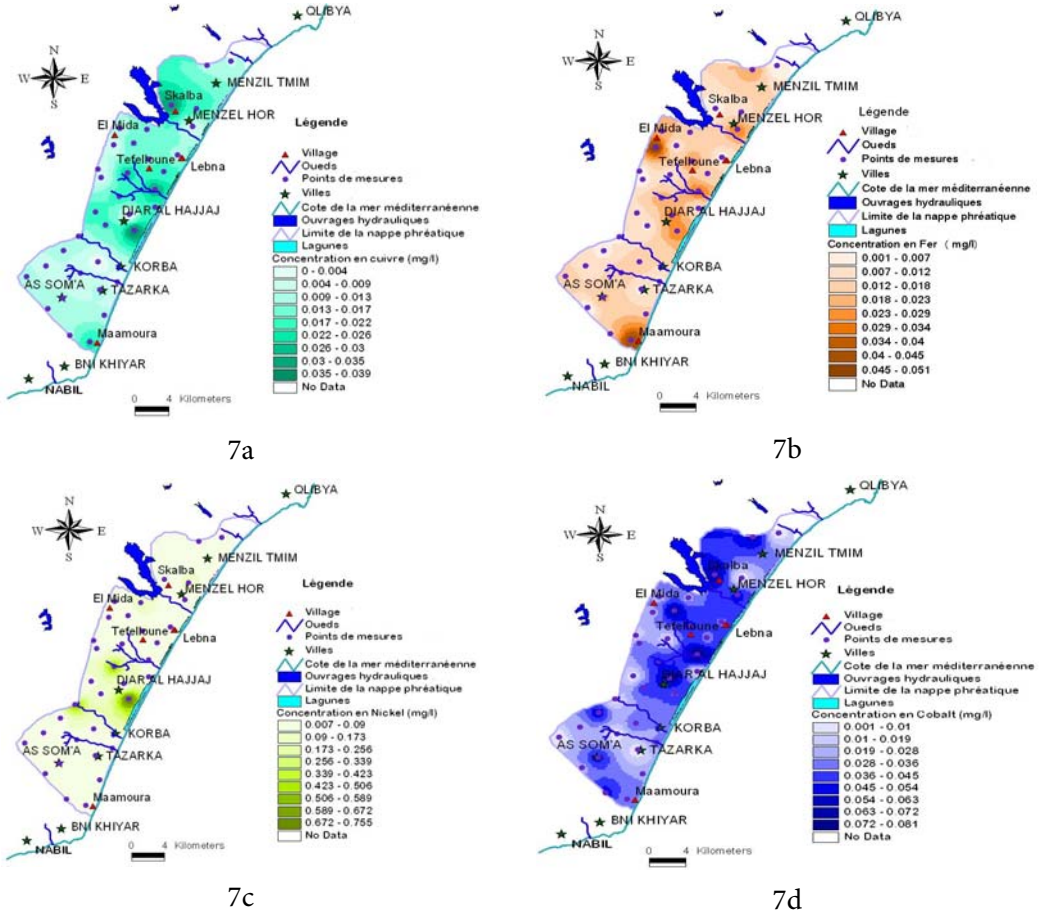


Figure 7: Répartition spatiale des métaux lourds dans la nappe de la cote orientale du Cap-Bon (7a: Cuivre, 7b: Fer, 7c: Nickel et 7d: Cobalt)

Conclusion

Les investigations hydrogéologiques ont permis de conclure que la nappe phréatique de la cote orientale du Cap-Bon qui s'étend le long de la cote de Qlibia au nord à Bni Khiyar au sud, repose sur un substratum hétérogène unissant les séries marneuses de Miocène, les séries gréseuses de l'Oligocène et des formations du Quaternaire.

L'écoulement souterrain de la nappe est unidirectionnel et converge globalement vers la mer Méditerranée. La surexploitation de la nappe a entraîné un rabattement général de son niveau piézométrique lequel a causé une intrusion marine surtout dans les zones de Tefelloune à Diar Al Hajjaj. L'augmentation de la salinité causée dans des zones par l'intrusion marine et dans d'autres par l'infiltration de polluants minéraux issus des rejets domestiques et industriels et de l'usage des engrais chimiques et des produits phytosanitaires est non négligeable. Les valeurs de la salinité ont été trouvées supérieures à 2 g/l dans essentiellement la bande côtière de la nappe depuis Lebna jusqu'à Tazerka. Elles dépassent 5 g/l dans la zone côtière située entre Korba et Tazarka.

Les concentrations en éléments azotés ont été trouvées supérieures aux normes tunisiennes dans beaucoup de zones de la nappe cote orientale. Ces teneurs élevées sont probablement dues à l'usage fréquent des engrais chimiques dans l'agriculture intensive et à l'infiltration des

rejets domestiques et industriels.

Les concentrations de la plupart des éléments minéraux analysés (cuivre, fer et cobalt) ont été trouvées inférieures aux normes tunisiennes au niveau de tous les points de prélèvement. Par contre, celle du nickel est supérieure à la norme dans quelques points de mesure. La présence dans la nappe de tous ces métaux lourds est probablement causée par l'infiltration des rejets industriels issus des ateliers mécanique de la peinture et de fabrication artisanales, des usines de textile et des sites de décharges publiques où on peut trouver des piles, des batteries et des déchets d'hôpitaux.

Références Bibliographiques

- Ennabli M. (1980). Etude hydrologique des aquifères de Nord de la Tunisie pour une gestion intégré des ressources en eau
- Chattouti F. (2006) – Etude des fluctuations piézométriques des nappes phréatiques et profondes de la côte orientale du Cap-Bon. (N-E de la Tunisie). Mastère, Fac. Sc. Bizerte. 124p.
- DGRE (2000). Situation de l'exploitation des nappes phréatiques, DGRE, Ministère de l'Agriculture, Tunis, Tunisie
- Jalalia H. (2008). L'urbanisme et le développement dans le gouvernorat de Nabeul: Problématique et Défis; Dans « Dynamiques Territoriales et développement dans le Gouvernorat de Nabeul; Unité de Recherche et Développement, Conseil Régional du Gouvernorat de Nabeul, Tunisie
- Jemai S. (1998) – Evolution de l'état de la nappe de la nappe de Korba: Etude hydrogéochimique et modélisation numérique. DEA. INAT. 180p.
- Kouzana L., Ben Mammou A. et Sfar Felfoul M. (2009) - Seawater intrusion and associated processes: Case of the Korba aquifer (Cap-Bon, Tunisia). C. R. Geoscience. In Press.
- Omrane M.N. (2008). Eau, population et usage de l'eau potable dans le Cap-Bon – Approche cartographique et dynamique; Dans « Dynamiques Territoriales et développement dans le Gouvernorat de Nabeul; Unité de Recherche et Développement, Conseil Régional du Gouvernorat de Nabeul, pp 1-64.
- Rekaya M. (1989) – Le contexte hydrogéologique de la nappe aquifère de la côte orientale du Cap-Bon (Tunisie) et les problèmes causés par la surexploitation. DGRE, Tunis. 48p.
- Rekaya M. (1992) – La recharge artificielle des nappes du Cap-Bon. Actes de la 10ème journée des ressources en eau. (INAT – Tunis 29/04/1992). DGRE, Tunis. pp20 – 42.
- Rouatbi R. (1968) – Etude hydrogéologique primaire de la région Tafelloune, Cap-Bon oriental. Tunis: BIRH, 31p.
- Sardouk N. (2004). Etude de la pollution des eaux souterraines: cas des régions de Soma et Mazraa du gouvernorat de Nabeul; Projet de fin d'étude; Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne; Tunisie.
- Tarhouni J., Jemai S., Walraevens K. & Rekaya M. (2000). Caractérisation de l'aquifère cotier de Korba au Cap-Bon (Tunisie). In « Development of Water Resource Management Tools for Problems of Sea Water Intrusion and Contamination of Fresh-Water Resources In Coastal Aquifers». SWIMCA, EC Initiative AVICENNA AVI-CT95-73, Edited by K. Walraevens, PP 11-27.
- Tarhouni J., Khlaifi I., Benalaya A., Paniconi C., Giacomelli A. et G. Lucca G. (2002). Méthodologie d'intégration du GIS et du Modèle KODESA – 3D pour l'étude des problèmes de transport dans la nappe de Korba; Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management; 7-10 January 2002, Tunis (EPCOWM'2002), p.497-509.
- Zghibi A. (2007) – Etude de l'évolution de l'état de l'aquifère Plio-Quaternaire de la côte orientale du Cap-Bon: Etude hydrodynamique et modélisation numérique. Mastère. INAT. 142p.