

**ETUDE DE LA QUALITE METALLIQUE DES EAUX
SOUTERRAINES SITUEES AU VOISINAGE DES EAUX USEES
DANS LE BASSIN VERSANT DU MOYEN SEBOU: MAROC**

**STUDY OF THE METALLIC QUALITY OF SUBTERRANEAN
WATERS SITUATED IN THE NEIGHBORHOOD OF WASTE
WATER IN THE MIDDLE SEBOU BASIN: MOROCCO**

Derwich E¹, Benziane Z² & Benaabidate L³.

- ¹ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Centre universitaire Régional d'Interface, Fès, Maroc. elhoussinederwich@yahoo.fr
- ² Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Fès, Maroc.
- ³ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Fès, Maroc.

RESUME

Afin d'évaluer l'impact des eaux de surfaces d'oueds Fès et Sebou sur la qualité métallique des eaux souterraines avoisinantes, une étude porte sur les prélèvements à partir de huit puits les plus utilisés par les populations de la région de Fès et un suivi de la qualité métallique de ces différents puits situés au voisinage des cours d'eaux d'oueds Fès et Sebou chargés par les polluants provenant des rejets de la ville de Fès.

Les résultats obtenus après un suivi s'étalant sur deux périodes (novembre 2006 et Juillet 2007), ont montré des concentrations importantes en métaux lourds principalement dans les puits ont foré dedans les couches aquifères alluviales et situés plus près de l'oued Fès et Sebou. Neanmoins, les concentrations en métaux lourds enregistrées au niveau des différents puits restent inférieures aux normes recommandées par l'OMS (1996).

La comparaison les teneurs en métaux lourds entre des couches aquifères peu profondes et des eaux le long d'oueds Fès et Sebou a indiqué une corrélation très étroite qui peut être expliquée par l'interaction hydrogéologique entre ces eaux. En raison de la situation de climat du secteur étudié caractérisé ainsi par un climat aride avec des précipitations très bas, le fleuve de Sebou semble influencer plus les couches aquifères dans sa proximité Un suivi qualitatif et quantitatif des eaux souterraines est nécessaire afin de préserver durablement leur intégrité écologique et leur aptitude à répondre aux différents usages.

Mots clés : eaux souterraines, pollution, physico- chimique, Métaux lourds; Oued Sebou; Fès, Maroc.

ABSTRACT

To end to evaluate the impact of surface water of Fez and Sebou River on the metal quality of neighbouring ground water, a study relates to the taking away starting from eight wells the most used by the populations of the area of Fez and a follow-up of the metal quality of these various wells located in the vicinity of the rivers from Fez and Sebou River charged by the pollutants coming from the rejections from the town of Fez.

The results obtained after a follow-up being spread out over two periods (November 2006 and July 2007), showed important concentrations in heavy metals mainly in the wells drilled the alluvial aquifers inside and located more meadows of the Fez and Sebou River. The concentrations in heavy metals recorded on the level of the various wells remain lower than the standards recommended by WHO (1996).

The comparison the contents of heavy metals between not very deep aquifers and water along Sebou indicated a very narrow correlation which can be explained by hydrogeologic interaction between this water. Because of the situation of climate of the studied sector characterized thus by an arid climate with very low precipitations, the river of Sebou seems to influence more the aquifers in its proximity. A qualitative and quantitative follow-up of ground water is necessary in order to durably preserve their ecological integrity and their aptitude to answer the various uses.

Key words: Ground water, pollution, physicochemical, Heavy metals; Sebou River; Fez, Morocco.

INTRODUCTION

Au Maroc, les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du pays (MATEE, 2001). Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par des matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité, avec notamment de très faibles teneurs en micro-organismes et autres substances en suspension. Il en résulte que l'exploitation des eaux souterraines présente des avantages économiques appréciables, du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement, parfois même aucun traitement, avant leur distribution dans un réseau d'eau potable.

Les eaux souterraines sont en étroite relation avec les [eaux superficielles](#). L'alimentation en eau peut se faire soit des eaux superficielles vers les eaux souterraines, soit, à l'inverse, des eaux souterraines vers les eaux superficielles. Le sens de ces échanges varie en fonction des secteurs et de leurs caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques ainsi que des saisons, dans une zone où les prélèvements sont importants en été, le niveau de la nappe étant abaissé, les eaux de la rivière en surface sont drainées et

alimentent la nappe alors qu'en période normale, ce sont les eaux de la nappe qui alimentent la rivière. Du fait de l'existence de ces échanges, toute pollution des eaux superficielles est susceptible d'entraîner la contamination des eaux souterraines. Les risques d'impact négatifs liés aux activités humaines sont importants. La pollution des eaux souterraines représente l'un des aspects les plus inquiétants et l'utilisation de ces eaux à des fins alimentaires représente un risque pour la santé des populations (Lafierre et al, 1996). La consommation des eaux contaminées par les micro-organismes est à l'origine des épidémies (Angulo et al, 1997 ; Balbus et al, 2002). L'étude de la qualité métallique des eaux souterraines s'avère d'une grande importance, soit pour mettre en évidence leurs structures et leur fonctionnement, soit pour envisager les possibilités de l'utilisation de ces eaux.

Pour la réalisation de cette étude, deux campagnes de mesures ont été effectuées: le mois de novembre 2006 (période de crue) et le mois de juillet 2007 (période d'étiage). Les échantillons ont été prélevés à partir différents puits situés au voisinage et le long des deux cours d'eau: Oued Fès et Sebou (Fig 1).

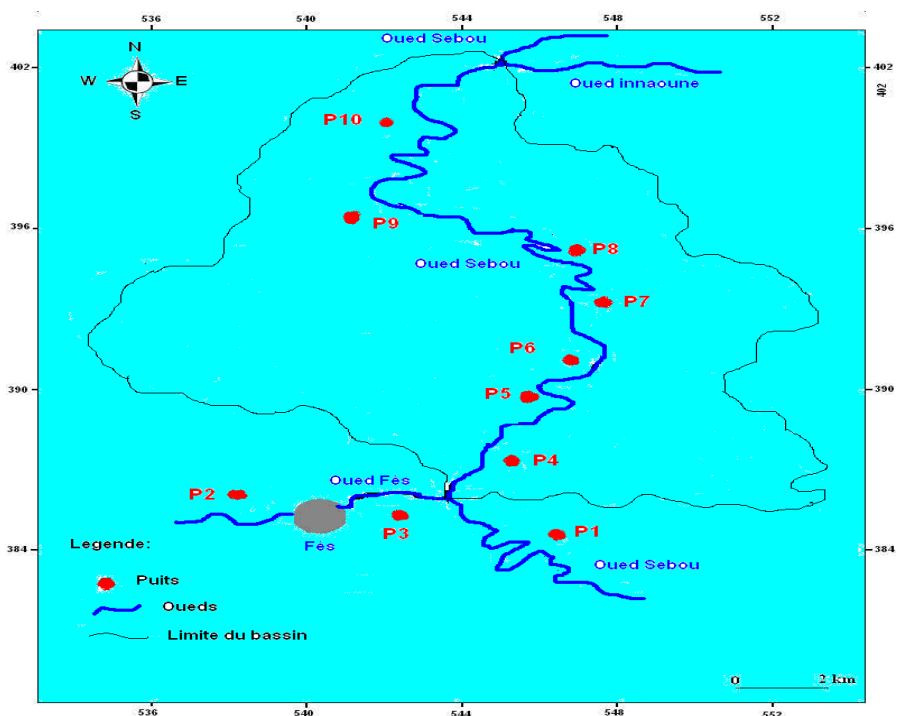


Fig 1: Localisation des sites de prélèvements (Derwich E et al, 2008)

MATERIELS ET METHODES

Echantillonnage des eaux usées

Les prélèvements d'eaux pour les analyses des métaux lourds ont été effectués pendant deux saisons: Hivernale (Novembre 2006) et Estivale (Juillet 2007), en amont de l'oued Sebou et en aval des rejets de la ville et du point de confluence. La conservation des échantillons d'eaux usées a été faite selon le guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons d'après (ISO, 5667/31994) et le guide de bonne pratique de l'Office National de l'Eau Potable (ONEP 1999).

Méthodes d'analyses des eaux usées

Le dosage des métaux lourds (Pb, Cd, Cr, Zn, Ni et Cu) a été effectué à l'aide de la spectrométrie d'émission atomique couplée à un plasma induit (ICP-AES, Model JOVAN YVAN) au CNRST- Rabat-Maroc. Les limites de détection pour les différents métaux lourds sont 0.0005, 0.002, 0.004, 0.001 et 0.0008 pour le Cr, Zn, Cu, Pb et Cd respectivement.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Cadmium

Dans notre étude, les concentrations du cadmium varient entre 0.0003 µg/l comme valeur minimale et 0.0007 µg/l comme valeur maximale. On constate une augmentation progressive de la teneur en cadmium à partir de la station S3 pour les deux campagnes de mesure (Fig 2). Cette faible teneur a été entraînée peut être par les pluies à partir des fumées industrielles implantées dans la région. Aussi la présence du Cd comme contaminant dans les engrais utilisés en agriculture peut contribuer à cette pollution. Néanmoins, les concentrations enregistrées restent très inférieures à la teneur fixée par l'OMS (1996).

La toxicité du cadmium résulte principalement de l'inhibition des enzymes thiols ainsi que de son affinité pour les hydroxyles et les carboxyles. Il est également l'agent étiologique de la maladie « itai-itai » qui se manifeste par des troubles osseux et l'augmentation du taux de phosphatase alcaline (Nomiyama, 1973 ; Purves , 1977). L'exposition chronique à de faibles doses en cadmium provoque des dommages aux tubules rénaux, suivis de protéinurie, lésions pulmonaires, hypertension artérielle (Bertouille, 1978).

Chrome

Le chrome est présent en petites quantités dans la nature, il est plus important dans les roches de type basique que dans celles de types siliceux

(Rodier et al, 1996). La toxicité du Chrome dépend de son état physico-chimique, les sels hexavalents sont considérés comme les plus dangereux (Lauwerys, 1992).

Les concentrations du Chrome varient entre 0.001 $\mu\text{g/l}$ comme valeur minimale et 0.12 $\mu\text{g/l}$ comme valeur maximale. On constate une augmentation de la teneur en chrome au niveau de la station S3 qui atteint la valeur maximale 0.12 $\mu\text{g /l}$ pour la campagne de juillet (Fig 2). Cette augmentation peut être due à l'infiltration a travers le sol de quantités importantes en chrome qui proviennent de l'oued Fès.

Les concentrations enregistrées au niveau des différents puits restent inférieures à la teneur fixée par l'OMS (1996) d'où cette eau est qualifiée favorable à la consommation.

Cuivre

Le cuivre est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés ; à l'air il se recouvre d'une mince couche de carbone basique (Rodier et al, 1996). En métallurgie, il entre dans de nombreux alliages parmi lesquels le laiton (cuivre et zinc), le bronze (cuivre et étain), le maillechort (cuivre, nickel et zinc), Romeo M, 1991.

Les concentrations du Cuivre varient entre 0.005 $\mu\text{g/l}$ comme valeur minimale et 1 $\mu\text{g/l}$ comme valeur maximale. On constate une augmentation de la teneur en cuivre au niveau de la station S3 qui atteint la valeur maximale 1 $\mu\text{g/l}$ pour la campagne de juillet (Fig 2). Cette augmentation provient soit des traitements agricoles ou des pollutions industrielles. Mais les concentrations enregistrées restent inférieures à la teneur fixée par l'OMS; 1996).

Plomb

Le plomb est présent naturellement dans l'environnement. Cependant, la plupart des concentrations importantes en cet élément, que l'on trouve dans l'environnement, sont le résultat des activités humaines.

Dans notre étude, la teneur en Plomb atteint son maximum au niveau de la station S3 (période d'étiages), la teneur élevée au niveau de cette station provient des activités industrielles ou des déchets solides (Fig 2). Mais généralement les différentes concentrations enregistrées au niveau des puits sont inférieures à 50 $\mu\text{g/l}$ (OMS, 1996). Donc l'eau reste utilisable.

La toxicité du plomb vis-à-vis du système nerveux et des reins a été soulignée par Rooney et al. (1999). Le saturnisme a été la première maladie professionnelle reconnue en France (Derache, 1989).

Zinc

Les concentrations en Zinc dans les différents puits varient entre 0.6 $\mu\text{g/l}$ comme valeur minimale et 140 $\mu\text{g/l}$ comme valeur maximale. Les teneurs enregistrées sont dues aux activités humaines: industrielles (alliages fabrication de pigments de teinture et de pesticides) et aussi des polluants qui proviennent de la décharge de la ville. Selon Agoumi et al (2006), 4700.000 Tonnes de déchets solides étaient déposés en 2002 dans des décharges non contrôlées. En aval, vers les stations S9 et S10 (Fig 2), on constate une diminution des concentrations en Zinc pour revenir aux mêmes teneurs enregistrées au niveau des stations de références (S1 et S2). Selon l'OMS (1996), ces teneurs restent inférieures à 5 mg/l, donc, cette eau reste utilisable.

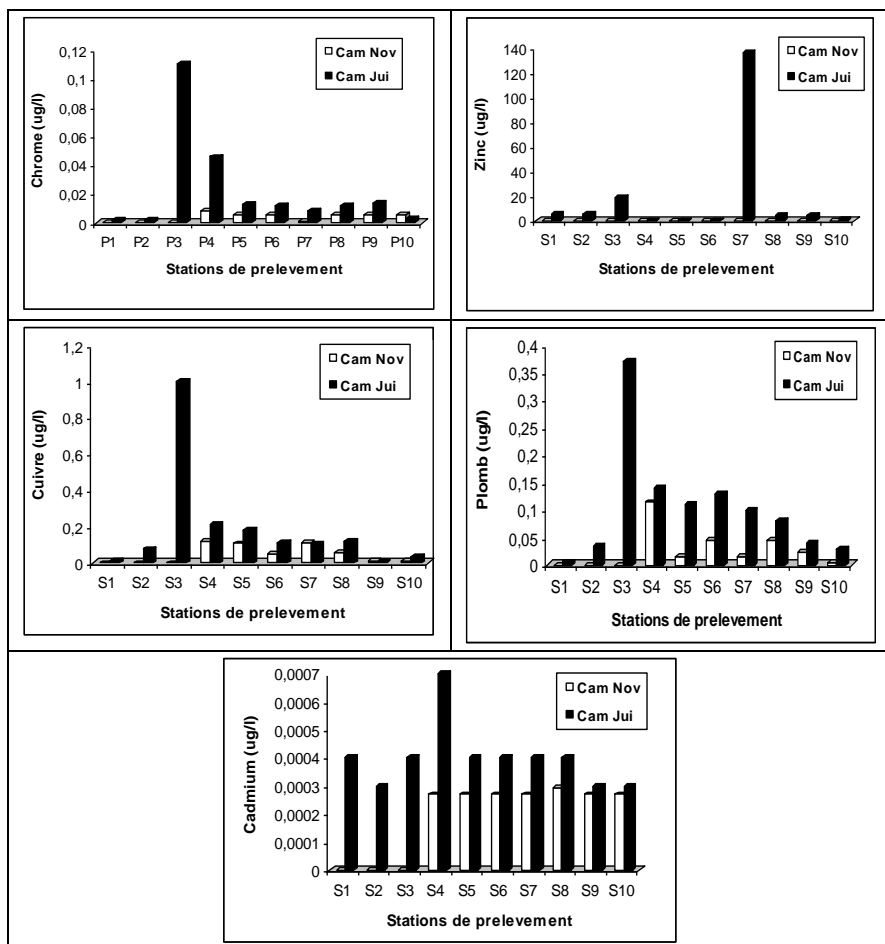


Figure 2. Variation des teneurs en métaux lourds dans les eaux souterraines durant les deux campagnes (Novembre 2006 et juillet 2007)

CONCLUSION

Les taux légèrement élevés en métaux lourds diffèrent en fonction de la nature et de la localisation des sources de pollution par rapport aux sites d'étude. En effet, les industries: briqueterie, plastique et tannerie seraient probablement à l'origine de ces valeurs en Chrome et en cadmium. Des traitements agricoles ou des pollutions industrielles sont à l'origine des teneurs en Cuivre. L'importance des valeurs relevées en plomb serait en rapport avec des activités industrielles ou des déchets solides. Dans les zones du contact nappe- oued, la transmission des éléments toxiques peut se faire facilement par dilution et drainage (Schollers H, 1962). Si les origines potentielles de la pollution des nappes sont bien identifiées, il reste cependant difficile d'en comprendre les mécanismes de transfert. Bouvier R et al, (1986), a montré que la vitesse d'infiltration à la surface du sol est faible, de l'ordre de 5 mm/h, du fait de la présence généralisée de croûtes superficielles dans les premiers centimètres du sol. Ceci limite a priori la recharge directe verticale de la nappe par les eaux pluviales. De fait, Leduc et al. (1997), estiment que la recharge de la nappe s'effectue à partir de zones d'accumulation d'eau très localisées, notamment par les mares de surface, alimentées par les eaux de ruissellement consécutives aux pluies (Desconnet et al; 1997). Même si, les concentrations enregistrées durant cette étude ne conduisent pas à des inquiétudes immédiates et ne peuvent être à l'origine de toxicité aiguë, il faut souligner que le risque écotoxicologique réside dans le caractère cumulatif des métaux lourds qui interviennent dans des phénomènes de bioaccumulation, voire de bioamplification (Tarras et al, 2001; Ramade, 1992 ; Cheggour al, 1999). La protection de ces eaux contre les contaminations diverses est nécessaire et impérative pour que ces eaux servent encore à tout usage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agoumi A., Boukachabine K (2005) Les onychomycoses au Maroc : expérience du laboratoire de Parasitologie et Mycologie Médicale, Hôpital d'Enfants de Rabat (1982-2003). Ann. Biol.Clin., 63, 6: 1-4.
- Angulo J., Tippen S., Sharp J., Payne J., Collier G., Hill E., Barret J., Clark R., Geldreich E., Donnel E., Swerdlow D (1997) A community waterborne outbreak of salmonellosis and effectiveness of a boil water order, American Journal of Public Health, 87 (4) 580-584.
- Balbus J., Embrey M (2002) Risk Factors for Waterborne Enteric Infections, Current Opinion in Gastroenterology, 18(1) 46-50.

- Bertouille S (1978) Fertility of red deer in relation to area, age, body mass, and mandible length, Springer Berlin, 87-98p.
- Bouvier C, Gathelie A., Gioda A (1986) Campagne de simulation de pluies en milieu urbain, Niamey (Niger). Rapport ORSTOM Niamey.
- Cheggour M, Chafic A, Texier H (1999) Bioaccumulation de quelques éléments métalliques chez l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) en élevage dans la lagune de Oualidia (Maroc): rôle des facteurs écologiques et biologiques. Société française de malacologie. *Haliotis*, 28. 31- 44.
- Derach. R., 1989: Toxicologie et sécurité des aliments. Paris: Tech Doc-Lavoisier; 159- 78.
- Derwich E., Benziane Z., Zian A., Benaabidate L., Sadki O., Beghyti D., 2008:
 Evaluation de la qualité des nappes alluviales du Moyen Sebou entre ses confluences avec oued Fès et inauouene. 20ème Colloque des Bassins sédimentaires Marocains, Oujda, (21 au 23 mai), 231-235
- Desconnet C, Taupin J, Lebel T., Leduc C (1997) Hydrology of the Hapex-Sahel. *J Hydrol*, 188-9, 155-178
- ISO 5667/3 (1994) Qualité de l'eau - échantillonnage - Guide pour la conservation et la manipulation des échantillons.
- Laferrriere M., Minville J., Lavoie J., Payment P (1999) L'industrie porcine et les risques reliés à la santé humaine. *Bull, information, santé, environnement*. Québec, 7 (2), 1-4.
- Lauwerys R (1992) Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, 3e édition, Masson, Paris, France, 693 p.
- Leduc C, Bromly J., Schroeter P (1997) Water table fluctuation and recharge in semi-arid climate : some results of the Hapex- Sahel hydrodynamic survey (Niger). *J Hydrol*, 188-9, 123- 138.
- Matee (2001) Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'eau et de l'Environnement. Rapport sur l'Environnement au Maroc. Département de l'Environnement, Observatoire de l'Environnement, Octobre, Ed, 2, 296p.
- Nomiyama K (1973) Toxicity of cadmium mechanism and diagnosis. In: Keenkel PA, éd. Heavy metals in the aquatic environment. Proceeding of the international conference Health. Nashville (Tennessee) Pergamon Press: 15-23.
- ONE (1999) Caractérisation quantitative et qualitative des eaux usées. Guide de bonne pratique. Direction Laboratoire de la Qualité des Eaux, ONEP. Rabat.
- Purves D (1977) Trace element contamination of the environment. Amsterdam; Oxford; New York: Elsevie. 170- 82.

- Kholtei S (2003) Caractérisation physico-chimique des eaux usées des villes de Settat et de Berrechid et évaluation de leur impact sur la qualité des eaux souterraines. Thèse d'état. Université Hassan II-Mohammedia, Faculté des Sciences BenM'Sik. Casablanca, Maroc.
- Ramade F (1992) Précis d'écotoxicologie. Paris: Edition Masson; 300 p.
- Rodier J, Bazin C, Broutin JP, Chambon P, Champsaur H, Rodi L (1996) L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris : Dunod, 8e éd; 1 383 p.
- Romeo M (1991) Toxicologie des métaux traces dans l'environnement marin, Océanis, 17,4, 383-402.
- Roony C, McLaren RG., Cresswel RJ (1999:) Distribution and phytoavailability of lead in soil contaminated with lead shot. Water Air and Soil; 116 : 535-48.
- Scholler H (1962) Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources, Masson & Cie, Paris, France, 642 p.
- Tarras-W, Flachier A, Lane SN, Sangfors D (2001) Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: The Puyango River basin, southern Ecuador. Sci Total Environ; 278 : 239-61.
- OMS., 1996: Health criteria and other supporting information; second ed. Gui delines for drinking water quality; vol2. World- Health Organisation. Geneva. Switzerland.

HYDROGEOCHIMIE ET CHEMINS D'ÉCOULEMENT DES EAUX DU SYSTÈME AQUIFÈRE DE JEFFARA-GABES NORD

HYDROCHEMISTRY AND GROUNDWATER FLOW OF JEFFARA-GABES NORTH AQUIFER SYSTEM

Sahli H¹, Tagorti M.A², Srarfi F³ & Tlig S¹

¹ UR-GAMM, Université Tunis-El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie hasahli@yahoo.fr

² Institut Supérieur de bio-technologie de Monastir, Monastir Tunisie

³ Département de Géologie, Faculté des Sciences de Gafsa, Université de Gafsa, Tunisie

RESUME

Le système aquifère de Jeffara (Complexe Terminal) est composé de la nappe phréatique Mio-Plio-Quaternaire sableuse et de l'aquifère artésien du Sénonien Carbonaté. Les calcaires Sénonien reçoivent à l'Ouest une décharge aquifère chaude (70°C) du Continental Intercalaire via le réseau de failles d'El Hamma de direction sensiblement N-S et NW-SE, puis la température de l'aquifère diminue à 22°C au Nord Est suivant la sens d'écoulement des eaux. Les aquifères en écoulement sont proches de la saturation ou sursaturées respectivement en aragonite, calcite et dolomite. Le gypse est toujours sous-saturé ou proche de la saturation indiquant une accumulation des sulfates dans les eaux. Les eaux à faible charge saline sont à dominance de Ca-Na-SO₄ alors que celles fortement chargées, sont dominées par Na-(Mg)-Ca-SO₄-Cl. De plus, les eaux du Continental intercalaires sont à Mg-Ca-SO₄-Cl et à 4,7 g/l en charge saline. Plus à l'Est, les eaux de l'aquifère de Jeffara-Chenchou, puis celles de l'aquifère phréatique, regagnent un faciès de type Mg-Ca-SO₄-Cl et à 3,8 à 19,7 g/l de salinité. L'analyse hydrogéochimique appuyée par des données géologiques de terrain et des calculs thermodynamiques, permettent d'apprécier une communication entre l'aquifère du continental intercalaire et le système aquifère de Jeffara-Chenchou en particulier, non pas uniquement par l'intermédiaire de la transversale tectonique, réactivée d'El Hamma, mais aussi par le biais d'un réseau de failles de direction NE-SW et E-W qui permet une advection des eaux profondes, leur remontée et leur mélange avec celles dans l'aquifère du Sénonien et celles de la nappe phréatique en perpétuel écoulement vers l'exutoire naturel.

Mots clés : Systèmes aquifères, Continental Intercalaire, Complexe Terminal, failles, communications latérale, résurgence.

ABSTRACT

The main aquifers (Complexe Terminal) include sand layers within Mio-Plio-Quaternary sequences and fractured bedrocks in the underlying limestones of Senonian age. The Sénonian aquifer is recharges to the West by Continental Intercalaire hot groundwaters (70°C) via the El Hamma network fault N-S and NW-SE direction, then water temperatures diminish to 22°C in the Northeastern area of the basin following the groundwater flow direction. These groundwaters are saturated or even supersaturate in aragonite, calcite and dolomite. Gypsum is generally under saturation or close to saturation indicating saturation of sulphate in groundwaters. Moreover, geochemical indicate that water table with low salinity are dominated by Ca-Na-SO₄ type while waters with high total dissolved salts belong to Na-(Mg)-Ca-SO₄-Cl type. The latter hydrochemical facies characterizes the Continental Intercalaire. Chemical analyses supported by geological data and thermodynamic calculus prove that it exists a lateral communication between Continental Intercalaire aquifer and the Jeffara system aquifer through the El Hamma active faults. Also, the results show a mixing and an upward leakage from the Senonian aquifer to the uppermost mio-plio-quaternary reservoir via NE-SW and E-W oriented master faults.

Key Words : Aquifer system, Continental Intercalaire, Complexe Terminal, faults, lateral communication, upward leakage.

INTRODUCTION

L'extension urbaine au domaine Nord-Est de Jeffara (Gabès Nord) contribue à une dégradation du régime hydrologique et hydrogéochimique de la région. De plus, l'accumulation des sels dans les sols par suite à une forte évaporation en milieu aride, modifie la composition des eaux souterraines. Ces sels sont lessivés soit par des eaux météoriques soit par des eaux d'irrigation qui s'infiltrerent et altèrent les eaux souterraines.

Notre objectif est de mettre en évidence les mécanismes qui contrôlent la qualité des eaux souterraines de la région située à l'Est des Chotts, aux confins Ouest de l'oasis de Gabès Nord. Le bassin local correspondant à Chenchou-Métouia, évolue sous climat aride méditerranéen dont la pluviométrie ne dépasse guère 200 mm, avec des oueds à écoulement irrégulier. L'activité agricole se concentre dans les oasis (Chenchou, Metouia, Ouedhref, Nahal, Gabès, Ghannouche...); avec un déficit en eau d'irrigation. Dès lors, l'alimentation en eaux souterraines se fait à partir de nombreux puits de surface exploitant l'aquifère Néogène-

Quaternaire de Gabès Nord et à partir de l'aquifère Sénonien de Jeffara-Chenchou (Complexe Terminal) (DRE, 2002).

GEOLOGIE

L'aire d'étude correspond à la partie Nord du bassin de Jeffara maritime ; y affleurent des terrains du Quaternaire, du Néogène et du Crétacé ceinturés au Nord par une suite de chaînons (Zemlet el Bidha, Jebel Jerouala, Jebel Haidoudi,..) qui forment la partie Est de la chaîne Nord des chotts. Les terrains miocènes sont constitués d'argiles, de sables et de conglomérats présentant des variations latérales en faciès et en épaisseur (Abidi, 2004). Les séries quaternaires sont composées de terrasses argileuses, de plaines sableuses colluviales, de sols de sabkhas, de nebkhas et de barkhanes (Fig.1).

A la base, les terrains du Crétacé inférieur comportent des sables, des dolomies, des argiles et des gypses (Continental Intercalaire) datant du Purbecko-Wealdien (Domergue, 1952 ; Barnaba, 1965 ; M'Rabet, 1981 ; Abdeljaoued, 1983) ; ils affleurent au cœur de l'anticlinal des Chotts et au Jebel Zemlet El Bidha et supportent une série complexe de dolomies, calcaires et marnes du Sénonien (Complexe Terminal).

La tectonique syn-dépôt a contrôlé la sédimentation des séries du Complexe terminal et leurs variations d'épaisseurs dans des blocs paléogéographiques organisés en horsts, grabens et demi-grabens, délimités par des failles directionnelles N-S, E-S, NE-SW et NW-SE (Louhaïchi et al, 1993) dont les plus remarquables sont le horst de Ouedhref- Métouia et le graben de Chenchou.

Les terrains méso-cénozoïques de la région subissent une déformation tectonique importante durant le Sénonien et le Paléogène. Les dépôts à dominance terrigène des formations tertiaires (Formations Béglia et Ségui) et ceux du Quaternaire comblent les bassins.

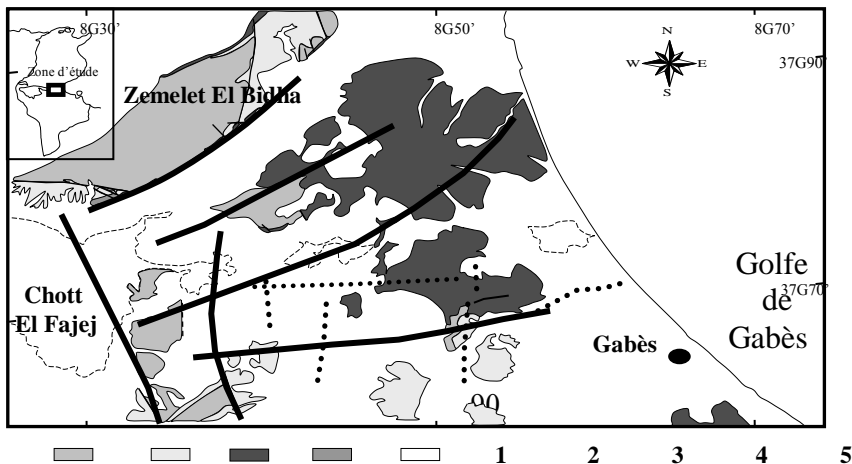


Fig 1 : Location du secteur d'étude. 1. Crétacé inférieur. 2. Crétacé

1km ● El Hamma

ORGANISATION DES AQUIFERES

Dans la région, le système hydrogéologique est composé de deux aquifères principaux : l'un sableux appartenant au Miocène-Quaternaire de Gabès Nord et l'autre, au Sénonien de Jeffara-Chenchou. Ce dernier, présente une épaisseur maximale de 100 m à l'Ouest, et diminue en puissance en direction Est et Nord-Est. La transmissivité varie de 1,5 à 130 m²/j dans les carbonates et de 300 à 3600 m²/j pour l'aquifère sableux de Gabès Nord. Cependant, une valeur de transmissivité nettement plus élevée (15000 m²/j) a été estimée au forage Chanchou-1 pour l'aquifère Sénonien de Jeffara-Chenchou (Abidi, 2004).

L'aquifère de Gabès Nord phréatique englobe à sa base des argiles lacustres supportant des molasses continentales et des alluvions en éventail affectées par la tectonique. Y apparaît une variation d'épaisseur et de faciès intéressant en particulier la fraction détritique. La continuité régionale de l'horizon argileux de base contribue au confinement de l'aquifère carbonaté sous-jacent du Continental Terminal à résurgence artésienne (Mekrazi, 1975).

Le système aquifère est délimité au Sud et à l'Ouest par des dolomies et marnes du Crétacé supérieur qui forment le substratum, plus à l'Ouest viennent les séries du Purbecko-Wealdien des Chotts (Fig. 2), d'où les eaux en écoulement du Continental Intercalaire semblent se décharger dans l'aquifère Sénonien de Jeffara-Chenchou notamment par le réseau de faille d'El Hamma (Mekrazi, 1975 ; Mamou, 1990). Au Nord et au Nord-Ouest, ce système est délimité par les structures atlasiques de Zemlet el Beidha et de la chaîne Nord des Chotts.

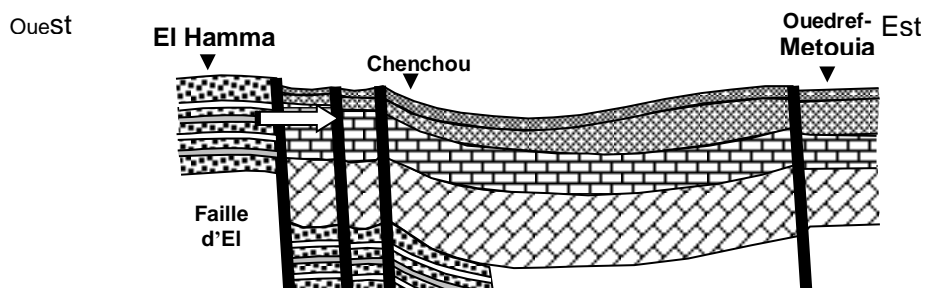


Fig. 2 Coupe synthétique du système aquifère de la Jeffara de Gabes Nord

Les sources chaudes d'El Hamma représentent la résurgence de l'aquifère gréseux et carbonaté du Crétacé inférieur de l'anticlinal de Chott el Fejej. Cet aquifère est confiné sous les gypses et les argiles de la formation Bouhedma. La terminaison périclinale Est de cet anticlinal est affectée par un réseau de faille de direction NW- SE et N-S. En particulier, la faille d'El Hamma qui met l'aquifère sableux du Continental Intercalaire en contact avec les séries du Sénonien de Jeffara situées plus à l'Est à dominance dolomitique fracturée et marneuse (Mekrazi, 1975).

Les eaux du Continental Intercalaire présentent une salinité qui varie de 3 à 4,5 g/l, et une température, de 50 à 70 °C (Mekrazi, 1975 ; Edmunds, 2003). Il apparaît que des failles directionnelles NW-SE et E-W constituent l'issue préférentielle pour l'émergence d'eaux souterraines du Continental Intercalaire. Les valeurs de transmissivité estimées sont de l'ordre 4,32 m²/j, pour une pression de 8 à 10 bar. Compte tenu d'une épaisseur moyenne de 250m de cet aquifère, la conductivité peut être située entre 2 et 35 m/j.

L'écoulement des eaux souterraines est globalement dirigé au Nord-Est, avec une décharge sensible qui coïncide avec le système endoréique sabkha el Melah-el Mekhacherna et plus à l'Est avec sabkha Erouhia aux environs de Ouedhref-Metouia. La profondeur du plan d'eau de la nappe phréatique dans le Néogène-Quaternaire décroît de 35m au Nord-Ouest à 5 m à l'Est dans les zones côtières.

ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES

Des données géochimiques de plus de 300 échantillons collectés à partir des puits et des forages sont exposées par la direction des ressources en eaux de Gabès (DGRE, 2004). Les données utilisées dans ce travail sont ceux de 30 puits et forages les plus représentatifs du système hydrogéologique local et des principaux faciès géochimiques des eaux puisées dans les aquifères précédents comme identifiés par nos prédécesseurs (Fig.3).

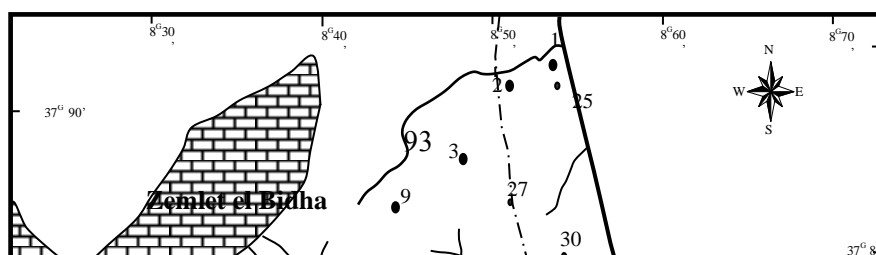
Les échantillons sont collectés dans des bouteilles en PTFE. Pour chaque échantillon, une fraction acidulée (HNO_3 , N/10) sert à la détermination des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+), et une autre non acidulée, pour le dosage des anions (F^- , Cl^- , SO_4^{2-} ,...). La température, le potentiel hydrogène et la conductivité électrique des eaux sont mesurées in situ en utilisant une sonde multifonction de terrain, le pH-mètre étant étalonné par des solutions à pH 4 et pH 7.

L'alcalinité totale est titrée par l'acide chlorhydrique HCl (N/10) en présence de méthyle orange. Cette analyse et celles des cations, particulièrement Ca^{2+} doivent être réalisées 24h après échantillonnage. La méthode gravimétrique est utilisée pour l'analyse des sulfates, alors que les méthodes de potentiométrie directe aux électrodes spécifiques couplées mesurent les teneurs de Cl^- et F^- . La fiabilité de l'analyse de chaque élément est vérifiée par un calcul de balance ionique.

RESULTATS

Dans l'aquifère de Jeffara-Chenchou la salinité varie de 2,7 à 5,6 g/l (**Tableau I**); tandis que la salinité des eaux du Continental Intercalaire est de 2,5g/l à 4,7 en moyenne (Mamou 1990; Edmunds et al, 2003). La majorité de ces eaux sont de type $\text{SO}_4\text{-Cl}$ avec une dominance de Na, Ca et Mg. Ce sont des eaux neutres à légèrement alcalines ; le pH varie de 7 à 8,5, et la température moyenne de 50 à 70 °C (Mekrazi, 1975 ; Mamou, 1990).

Les eaux dans le système aquifère de Gabès Nord (**Tableau I**) présentent des caractéristiques similaires à celles des eaux souterraines du Continental Intercalaire décrites par Mamou (1990). Ce sont des eaux à faible charge saline et à dominance de Ca-Na-SO_4 , alors que celles à forte charge saline sont dominées par $\text{Na-(Mg)-Ca-SO}_4\text{-Cl}$. La température des eaux souterraines de l'aquifère de Jeffara-Chenchou diminue de 50°C à proximité de la faille d'El Hamma, à 43°C à Chenchou, à 30°C au Sud-Est du bassin entre Jebel El Hamma et Jebel Ed Disa.



Les teneurs des ions Cl^- et SO_4^{2-} augmentent proportionnellement dans les eaux souterraines dans le sens d'écoulement en direction du NE, où les teneurs en Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} sont les plus fortes.

Dans la partie Est du bassin, la composition chimique des eaux de l'aquifère Gabès Nord varie considérablement. En effet, dans cet aquifère phréatique du Miocène-Quaternaire les eaux présentent un faciès à Ca-Mg-Cl- SO_4 et une salinité qui varie largement de 3,8 à 8,9 g/l (Tableau I).

DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

La géométrie des aquifères et les structures géologiques locales très contrôlées par des failles directionnelles actives NE-SW, NW-SE et E-W favorables à une intercommunication entre l'aquifère du Continental Intercalaire, celui du Complexe Terminal et même celui Mio-pliocène de Gabès Nord. Les failles anciennes enracinées ont du être réactivées à plusieurs époques ; elles permettent aujourd'hui un transfert continu des eaux à partir des aquifères profonds et chauds, vers ceux plus proches de la surface. Ce phénomène de résurgence prend place surtout dans la région d'El Hamma, mais il existe aussi à l'Est jusque dans la région de Chenchou (Chenchou-1bis, Chenchou 9,...), probablement en faveur d'accidents

dirigés en Sud Nord délimitant les principales structures géologiques locales.

Nous sommes donc en présence d'un mélange des eaux chaudes du Continental Intercalaire avec celles froides de l'aquifère de Jeffara-Chenchou (Complexe Terminal), voir même celles de l'aquifère Miocène-Quaternaire de Gabès Nord. Une diminution brutale de la température atteignant 22°C se produit le long d'une ligne E-W qui borde au Sud le bassin endoréique sur l'Oued El Maleh (Fig.4).

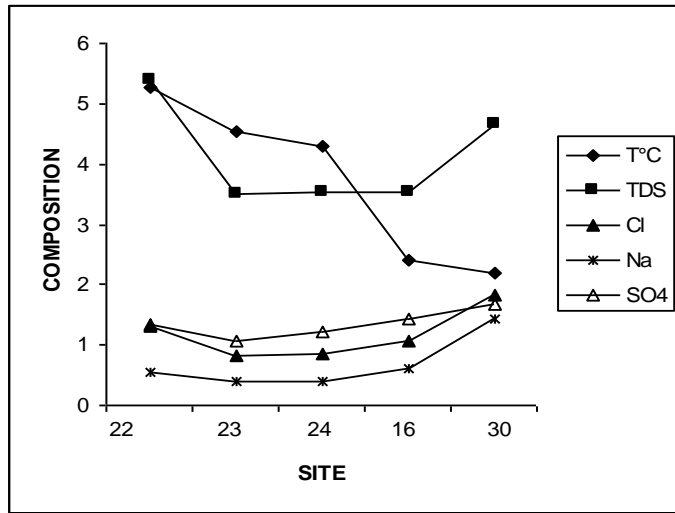
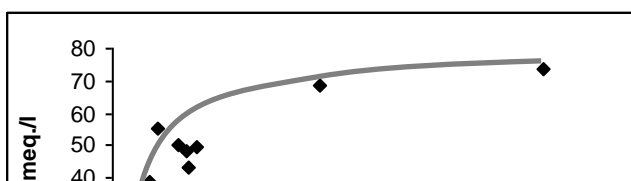


Fig. 4 : Corrélation géochimique d'Ouest en Est de la salinité de la température et de la composition élémentaire des eaux du système aquifère de Jeffara de Gabès Nord.

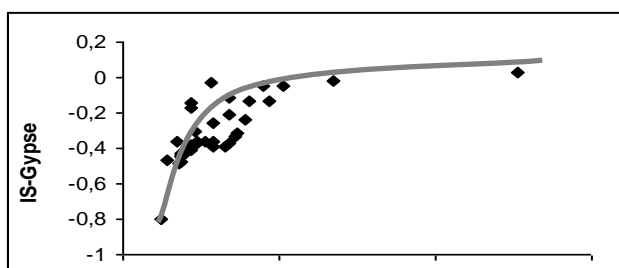
Les teneurs des ions Cl^- et SO_4^{2-} augmentent proportionnellement dans les eaux souterraines et suggèrent que l'accumulation de ces espèces conservatrices est très liée à une dissolution par les eaux en écoulement, du gypse et de la halite existant dans les aquifères. L'enrichissement des eaux en sels se fait dans le sens d'écoulement des eaux souterraines en direction du NE (Fig.5).

Les teneurs en Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} sont fortes dans la partie Est du bassin, probablement en résultat d'une faible vitesse d'écoulement des eaux souterraines et un enrichissement conséquent des aquifères en sels dissous.



Les calculs thermodynamiques prouvent que les phénomènes de dissolution- précipitation peuvent contribuer à une variation notable de la composition chimique des eaux à l'échelle du bassin. Par exemple, les eaux souterraines paraissent généralement sous-saturées en gypse (Fig.6), mais elles approchent la saturation ($SI > 0,5$) lorsque les sulfates s'accumulent progressivement à partir des substrats.

Suivant le sens d'écoulement majeur, les eaux souterraines du Continental Intercalaire présentent une température qui décroît à partir de 70°C ; ce sont les mêmes eaux qui émergent des sources hydrothermales d'El Hamma, de type Ca-Mg-Cl-SO_4 et dont la salinité est de 4,5 g/l. Ces caractéristiques hydrochimiques sont celles des eaux profondes confinées du Pubercko-Wealdian argilo-sableux et gypseux (Mamou, 1990).



Plus à l'Est encore, les eaux de la nappe phréatique de Gabès Nord présentent une variation considérable dans leurs compositions chimiques. En effet, dans cet aquifère du Miocène-Quaternaire les eaux présentent un faciès à Ca-Mg-Cl-SO₄ et une salinité qui varie largement de 3,8 à 19,7 g/l. Logées dans des dépôts alluvionnaires et sableux, les eaux de cet aquifère trouvent leur exutoire dans une exploitation excessive dans les oasis riveraines, mais aussi dans le système endorhéique de Sabkha EL Melah-EL Mekhecherma aux effets évaporatoires intenses.

N°	Aquifer	T° C	pH	EC ms/cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	TD S	SI-Gypsum	SI-Aragonite	SI-Calcite	SI-Dolomite
1	Mio-Plio-Quaternaire		6.27	6	25.8	21.58	19.57	0.62	25.49	46.21	2.2	1.1	500	-0.13	0,18	0,33	0,75
2	-	-	6.75	4.2	25	11	22.61	0.72	23.49	25.81	2.2	1.1	710	-0.26	0,49	0,63	1,03
3	-	-	6.94	4.27	18.8	14.17	24.17	0.36	26	27.6	2.4	1.2	3824	-0.36	0,4	0,54	1,07
4	-	-	7.22	8.4	27.6	34.83	37.7	0.79	40.51	50	2.8	1.4	600	-0.13	0,24	0,39	0,98
5	-	-	6.8	8.11	30.2	29.58	28.26	0.64	46.48	43.35	4	2	710	-0.13	0,73	0,87	1,86
6	-	-	6.9	5.13	24.4	17	28.26	0.36	22	38.46	2.2	1.1	600	-0.17	0,42	0,56	1,09
7	-	-	7.3	8.22	33.2	26.58	24.98	0.74	46.1	47.33	3	1.5	710	-0.06	1,42	1,56	3,15

													0				
8	-	-	6.8	6.89	25.2	16.5 8	28.4 3	0.6 9	39.1 8	31.9 6	2.4	1.2	6 44 0	-0.24	0,49	0,63	1,2
9	-	-	7	5.3	27.5	13.8 3	31.3	0.4 6	33.8	30.5 4	4.2	1.2	4 26 0	-0.21	-0,1	0,14	0,09
10	-	-	7	6.27	17.6	11.5 8	18.8 3	0.3 6	26	27.6	2.2	1	5 25 0	-0.38	0,3	0,44	0,85
11	-	-	6.8 3	8.2	18	11.4 2	22.1 7	0.3 8	20	23.1	2.4	1.2	7 10 0	-0.41	0,41	0,55	1,02
12	-	-	7.9	11.06	51.8	52.8 3	104. 13	2.5 4	72.3 7	31.8 8	2.2	1.1	8 97 0	-0.2	1,05	1,19	2,54
13	Sénonie n	29	7.1	4.35	16.6	15.8 3	20.8 3	0.3 1	21.4 9	25.4	2.4	1.2	3 20 0	-0.38	-0,2	0,12	0,29
14	-	26. 7	6.9 7	3.92	17	13	17.3 9	0.2 8	17.0 1	27.9 4	2.4	1.2	3 56 0	-0.36	0,36	0,51	1,01
15	-	27. 7	6.9 3	3.91	15.4	14.8 3	18.6 5	0.3 6	18.5 1	22.5 4	2.4	1.2	2 80	-0.48	0,35	0,49	1,08

													0				
													3				
16	-	28.3	6.97	3.58	15.2	12.15	18.65	0.38	18	21.4	2.4	1.2	200	-0.49	0,35	0,49	1,01
													4				
17	-	23.5	6.9	4.72	18.4	14.83	23.67	0.69	24.13	22.38	2.4	1.2	328	-0.44	0,3	0,45	0,92
													4				
18	-	22	6.81	4.17	16.4	13.42	21.13	0.41	19.1	22.54	2.4	1.2	610	-0.46	0,16	0,3	0,63
													4				
19	-	25.6	6.89	5.14	19.6	13.08	26.7	0.64	29.01	35.27	2.2	1.1	200	-0.26	0,3	0,44	0,75
													4				
20	-	24.5	7.03	4.09	16	19.13	18.5	0.38	18.51	24.17	2.4	1.2	350	-0.44	0,39	0,53	1,12
													4				
21	-	26.9	6.8	4.1	16.6	19.87	0.38	0.38	20	21.88	2.2	1.1	250	-0.42	0,14	0,28	0,25
													5				
22	-	52.8	6.95	7	23	18.42	23.43	1.18	36.62	28.02	2.8	1.4	404	-0.31	0,43	0,57	1,17
													3				
23	-	45.4	6.78	4.35	18.2	ND	17.83	0.77	23.1	22.29	2.54	1	50	-0.34	0,24	0,38	-

													0				
													3				
24	-	43	7.1 7	4.82	19.6	11	16.6 5	0.7 7	24	25.4 8	2.54	1	52 0	-0.37	0,51	0,66	1,23
													4				
25	-	25. 2	7.2 9	3.51	19.4	12	17.8 7	0.6 2	23.6 6	24.5 4	2.4	1.2	28 8	-0.36	0,53	0,68	1,26
													4				
26	-	23	6.7 6	4.2	18.2 5	10.5 8	19.3 5	0.4 9	21.4 9	21.8 5	2.2	1.1	55 0	-0.41	0,07	0,21	0,3
													4				
27	-	25. 6	7.0 2	4.15	17	11	14.4 8	0.3 8	20	21.0 2	2.2	1.1	30 0	-0.41	0,4	0,54	1,01
													4				
28	-	26. 6	6.9	4.2	17.6	12	20.8 3	0.4 4	20.5 1	23.4 4	2.4	1.2	20 0	-0.41	0,29	0,44	0,82
													4				
29	-	23	7.7 1	2.23	8.6	6.83	12	0.3 6	12	12.4 2	1.2	0.6	25 0	-0.8	0,11	0,26	0,53
													4				
30	-	25. 3	8	4.68	30.8	16.5 8	28.6 5	1.3 8	33.7 7	36.9 2	2.2	1.1	66 0	-0.11	0,52	0,66	1,17

Tableau 1 : Analyse chimique et calculs thermodynamiques des eaux de l'aquifère phréatique Mi Plio-Quaternaire et de l'aquifère Sénonien profond de la Jaffara de Gabès Nord

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdeljaoued, S. 1983 : *Etude sédimentologique et structurale de la plaine Est de la chaîne Nord des Chotts*. Thèse en Géologie, F.S.T. ; 145 p.
- Abidi, B. 2004 : *Caractéristique hydrodynamique et Géochimique de la Djeffara de Gabès, DRE de Gabès* ; 120 p.
- Abidi, B. 2004 : *Etude des nappes phréatiques de Djeffara de Gabès, DRE de Gabès* ; 180 p.
- BARNABA, P. F. 1965 : *Studio stratigrafico sul crtetaceo della Tunisie meridionale*. Riv. Ital Paleont., Milano, 71, 3 883- 922.
- EDMUNDS, W. M. et al, 2003: *Groundwater evolution in the continental intercalaire aquifer of south Algeria and Tunisia: trace element and isotopique indicators*. Applied Geochemistry 18 (2003); p 805- 822.
- Loouhaichi M. A. et Tlig S., 1993 : *Tectonique synsédimentaire des séries crétacées post- barrémiennes au Nord de la chaîne des chotts (Tunisie méridionale)* ;Géologie Méditerranéenne, Tome XX, n° 1, p 53- 74.
- Mamou, A. 1990 : *Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du Sud tunisien*. Thèse es_ sciences, Univ. Paris Sud ; 426 p.
- Mékrazi, A. F. 1975 : *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Gabès Nord*. Thèse es- sciences de la terre (Mention Hydrogéologie). Univ. Bordeaux I ; 169 p.
- M'Rabet, A. 1981 : *Stratigraphie, sédimentation et diagenèse carbonatée des série du crétacé inférieur de Tunisie Centrale*. Thèse Sc. Paris-Orsay ; 540 p.