



CARACTERISATION DE LA NAPPE PROFONDE GAFSA NORD SUITE A LA SUREXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

MAJDOUB R., DRIDI L., M'NASRI S.

Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel
Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Université de Sousse
BP 47, 4042 Chott Mariem, Tunisie

rmajdoub@yahoo.com; dridi.isa2011@yahoo.fr; mnassrisoumaya@yahoo.fr

RESUME

Le système aquifère Gafsa Nord est alimenté, principalement, par les eaux de crues d'oued El Kbir et par l'infiltration des eaux de pluie. Ce système souffre d'une surexploitation suite au développement du secteur de phosphate et à la rénovation des oasis de la région de Gafsa qui ont amené à la réalisation de plusieurs forages profonds. Le présent travail vise l'évaluation des aspects quantitatif et qualitatif de la nappe profonde Gafsa Nord suite à l'utilisation excessive des eaux souterraines. Le suivi du niveau piézométrique a dévoilé un rabattement compris entre 2 et 6 m. A ce propos, la baisse de la cote piézométrique, enregistrée surtout à l'aval de la plaine, souligne l'insuffisance de la recharge naturelle de l'aquifère due aux faibles événements pluvieux et à l'utilisation accrue des eaux souterraines. L'étude hydrochimique a montré que la salinité varie entre 1 et 3 g/l. Selon le diagramme de piper et les coupes lithologiques, cette salinité est générée par la dissolution des minéraux sulfatés et calciques et ne semble pas être affectée par les conditions de l'exploitation.

Mots clefs : Aquifère, eaux souterraines, piézométrie, hydrochimie, Gafsa.

ABSTRACT

The system aquifer Gafsa North is powered mainly by the flood water of wad El Kbir and the infiltration of rainwater. This system suffers from overexploitation due to the development of phosphates sector and renovation of oases Gafsa which led to the realization of several deep wells. The present works aims to assess the quantitative and qualitative aspects of the deep aquifer Gafsa North

following the excessive use of groundwater. The groundwater level has unveiled a drawdown that varies between 2 and 6 m. In this regard, the high decrease of piezometric level recorded especially in the downstream of the plain, shows the lack of natural recharge of the aquifer due to low rainfall events, and the increased use of groundwater. The hydrochemical study showed that salinity varies between 1 and 3 g/l. According to the diagram piper and lithological sections, that salinity is generated by the dissolution of calcium and sulphate minerals and does not seem to be affected by the conditions of exploitation.

Keywords: Aquifer, groundwater, piezometric, hydrochemistry, Gafsa.

INTRODCUTION

Les ressources hydriques souterraines sont incontournables pour tout développement humain (Philip et Okke, 2009). Toutefois, ces ressources sont gravement influencées par l'accroissement démographique, les changements climatiques et la demande accrue générée par le développement agricole et industriel (Kadi, 1997; Alibou, 2002; Jasortia et al., 2012). En effet, la situation actuelle des systèmes aquifères est devenue un sujet phare à l'échelle de l'hydrogéologie suite à la variation globale dans la composition chimique des eaux souterraines (Xingquan et al., 2008; Ellen et al., 2009; Yidana et al., 2010). Curell et Cartwright (2011), ont évoqué que la situation des aquifères résulte de plusieurs facteurs naturels et anthropiques responsables de la détérioration de la qualité des eaux souterraines.

Plusieurs études ont été menées concernant la caractérisation des eaux souterraines, notamment la quantité et la qualité de ces eaux (Karrou et al., 2004). Ces deux aspects sont nettement influencés par la surexploitation compte tenu des enjeux énormes liés à cette ressource (Khayat et al., 2004). Selon Custodio (2004), la surexploitation peut être définie comme étant la situation dans laquelle l'extraction moyenne d'eau souterraine se trouve supérieure ou proche de la recharge moyenne pendant quelques années. De point de vue pratique, Esteller et Diaz-Delgado (2002) signalent que la surexploitation est associée à certains signes négatifs liés à l'exploitation. Parmi ces signes, on peut citer la diminution continue du niveau d'eau dans les points d'eau, la détérioration de la qualité de l'eau et l'augmentation du coût d'extraction (Jinlong et al., 2012).

En Tunisie, la rareté des pluies et les activités agricole (l'irrigation intensive) et industrielle (industrie de transformation), ont fragilisé la situation des ressources en eaux souterraines. La région de Gafsa, située au Sud Est de la Tunisie, est connue par ces activités consommatrices d'eau (secteur agricole et minier). La nappe profonde Gafsa Nord constitue l'aquifère potentiel de la région. Cet aquifère multicouche est très influencé par les caractéristiques

structurales locales et tectoniques (Henchiri, 2007). En 2012, l'exploitation des eaux souterraines de l'aquifère Gafsa Nord a atteint 115% des ressources en eaux renouvelables (Choura et Ghilen, 2012). Cette étude vise à présenter un état des lieux quantitatifs et qualitatifs de la nappe Gafsa Nord suite à l'augmentation accrue de l'exploitation des eaux souterraines.

MATERIEL ET METHODES

Cadre général de l'étude

La zone d'étude est la plaine de Gafsa Nord, située au Nord de la ville de Gafsa (Figure 1). Cette zone est d'allure assez rectangulaire, elle s'étend sur 75 Km de long et 50 Km de large. Elle est limitée par les Jebels Sidi Aich Souinia, Majoura et El Goussa, successivement du Nord au Nord-Est, les anticlinaux Orbata et Bou Hedma à l'Est, le Jebel Orbata et la faille de Gafsa au Sud, les Jebels Ben Younés et Attig au Sud Ouest et le plateau de Majen Bel Abbès au Nord Ouest.

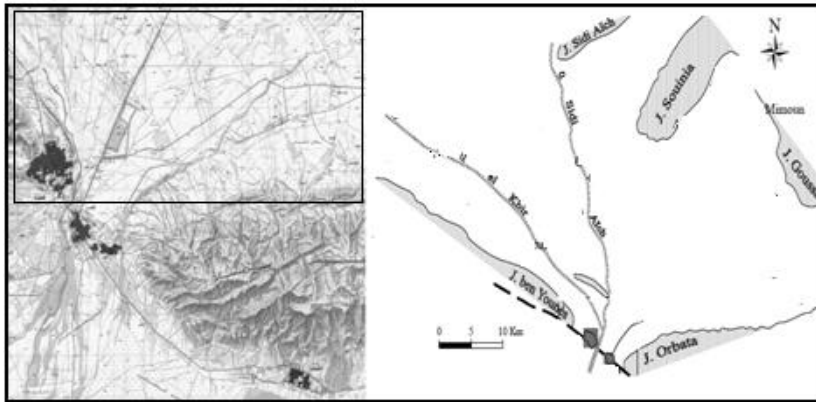


Figure 1 : Zone d'étude

La pluviométrie annuelle enregistrée à la station de Gafsa se caractérise par une variabilité temporelle et spatiale. Elle varie entre 50 mm en 2007/08 et 220 mm en 2011/12. Les précipitations mensuelles ont révélé que le printemps est la saison la plus humide (36% du total annuel). L'hiver et l'automne sont moins humides que le printemps, ils totalisent successivement 31 et 28% des pluies annuelles. L'été se singularise par sa sécheresse et présente 5% des pluies annuelles. La température de l'air dépend de la couverture végétale, du relief, de la latitude et de la longitude. La zone d'étude se caractérise par une température moyenne mensuelle de l'ordre de 20°C. Le mois de janvier est le plus frais et celui de Juillet est le plus chaud.

La plaine de Gafsa Nord se caractérise par un réseau hydrographique temporaire et peu développé (Figure 2). La configuration de ce réseau peut être expliquée, d'une part, par la rareté des pluies et d'autre part, par la nature topographique de la région. Ainsi, la zone d'étude est traversée essentiellement par oued Sidi Aich et l'oued el Kbir. La confluence de ces deux oueds, située en amont de la ville de Gafsa donne naissance à l'oued Bayech. Ce dernier reçoit, en aval, les eaux en provenance des oueds Metlaoui et Magroun. Les apports de l'oued El Kbir sont augmentés par le ruissellement sur les versants Nord des Jebels Ben Younès et Bou Ramli.

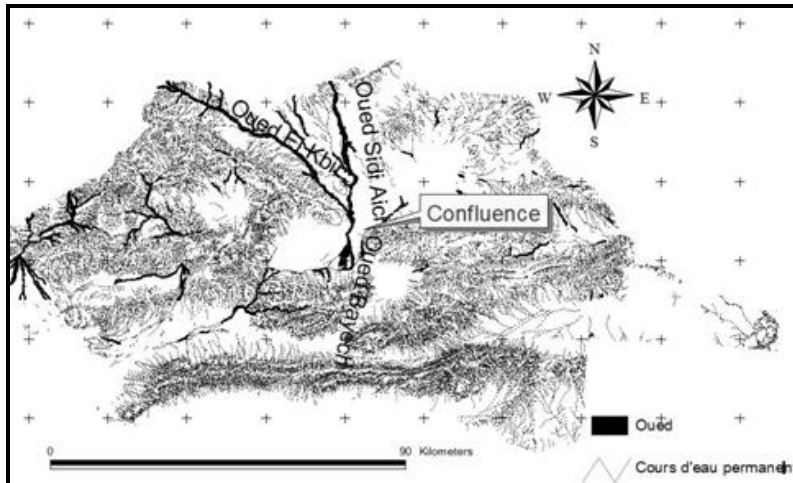


Figure 2 : Réseau hydrographique de la plaine Gafsa Nord

Sur le plan géologique, la zone d'étude est présentée par des chaînes montagneuses (anticlinales), séparées par des dépressions (synclinales) assez grandes. Au cœur des structures anticlinales affleurent des formations du Crétacé (inférieur et supérieur), tandis que dans les dépressions qui entourent ces anticlinales sont principalement composées des formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire (Figure 3).

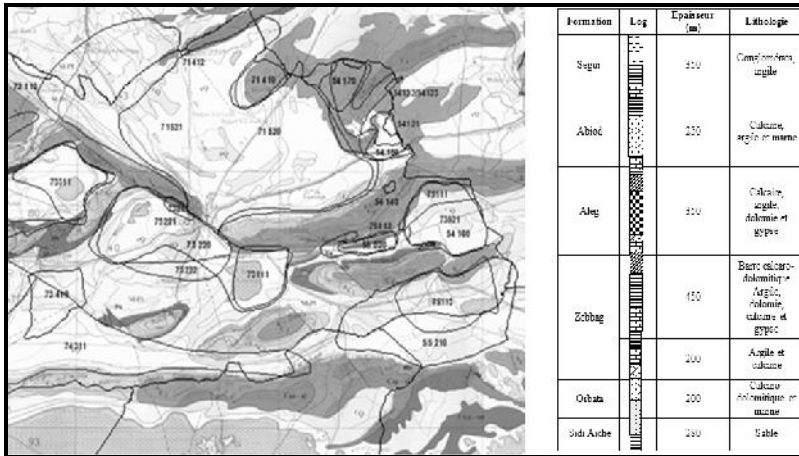


Figure 3 : Cadre géologique de la zone d'étude

La corrélation lithostratigraphique des forages de direction Nord Est/Sud Ouest (Figure 4a) montre que le bassin hydrogéologique Gafsa Nord contient un système multicouche. Dans ce dernier se superposent plusieurs niveaux aquifères, dont les plus importants sont (de plus récent au plus ancien) : le Mio-Plio-Quaternaire (MPQ), l'Abiod et le Zebbag (Figure 4b). Le système multicouche Gafsa Nord est largement influencé par la tectonique du terrain. En effet, selon la figure 4b un épaissement du MPQ est observé en droit des forages. Ceci est dû, d'une part, à l'apparition de la faille F1 qui touche les couches calcaires, et d'autre part, aux accidents de la faille F2 formant une zone effondrée en aval (Seuil de Gafsa Nord).

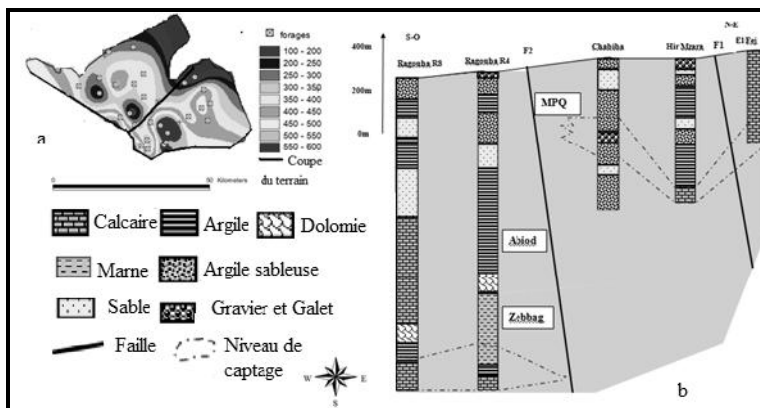


Figure 4 : Coupe du terrain de la plaine Gafsa Nord (a : Carte du mur de l'aquifère ; b : coupe lithologique des forages)

Expérimentation

L'évaluation quantitative et qualitative de la nappe de Gafsa Nord s'est appuyée d'une part sur le suivi du niveau piézométrique et d'autre part sur l'échantillonnage des eaux des divers piézomètres et forages présentés sur la figure 5 à savoir Ragouba R8, Menzel Mimoun, Abdelkarim ben aissa, Henchir Zallouf, Zaabtia, Jedida, Ghadir Trab, El fej et Ouled Tlijène.

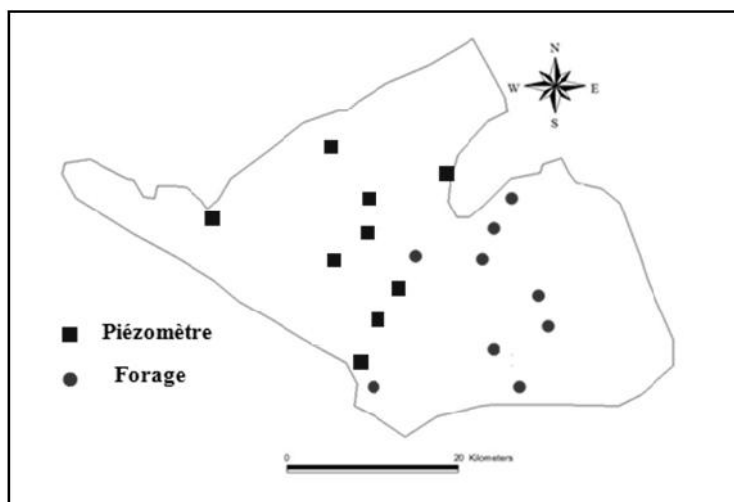


Figure 5 : Localisation des piézomètres et des forages

L'étude de l'évolution de l'exploitation de la nappe profonde Gafsa Nord a été basée sur les données des annuaires édités par la Direction Générale des Ressources en Eaux (DGRE, 2012). Le suivi du niveau statique de la nappe est semestrielle (hautes et basses eaux). L'opération de mesure sur le terrain a été réalisée au droit des piézomètres à l'aide d'une sonde de niveau.

Une campagne d'échantillonnage a été réalisée au mois de mai 2012. Les eaux prélevées sont échantillonnées selon la norme ISO 5665 dans des bouteilles en plastiques bien fermées et transportées dans une glacière au laboratoire pour analyse. Les paramètres chimiques analysés sont le pH, la conductivité électrique (CE), le résidu sec (RS) et les éléments majeurs à savoir Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} et HCO_3^- . La mesure du pH a été effectuée par la méthode électrométrique à l'aide d'un pH-mètre et celle de la CE avec la méthode de Richard à l'aide d'un conductimètre. Pour les éléments chimiques, les méthodes utilisées sont la Titrimétrie pour le chlorure et le bicarbonate, la Spectrophotométrie à flamme pour le sodium, le calcium et le potassium et la Colorimétrie pour le sulfate.

RESULTAS ET DISCUSSION

Etude de la piézométrie

La carte piézométrique de la nappe profonde Gafsa Nord (pour l'année 2012) illustrée dans la figure 6 a révélée que les niveaux piézométriques varient entre 200 m à l'aval de la plaine et 400 m NGT au niveau du piézomètre Sid Aich (PZ8), situé en amont. Le sens d'écoulement est du Nord, Nord-Ouest vers le Sud. La figure 6 montre que l'exutoire des écoulements souterrains est le seuil de Gafsa.

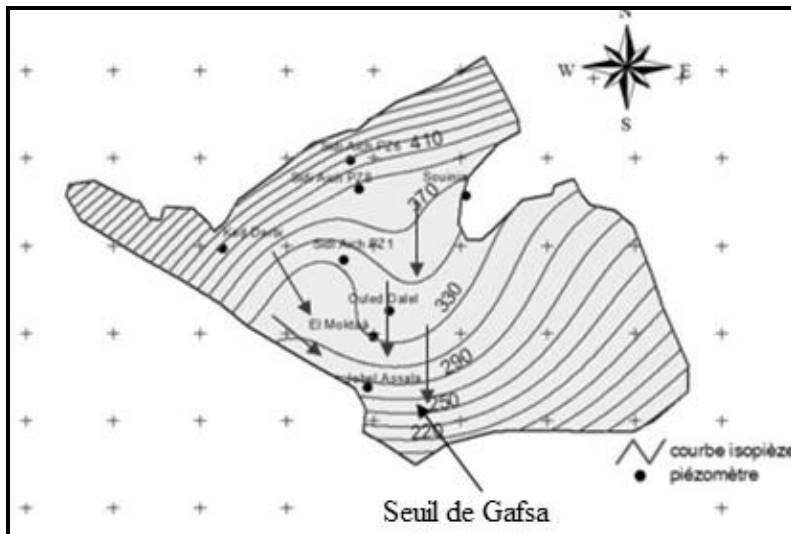


Figure 6 : Carte piézométrique pour l'année 2012

La carte piézométrique de la même région pour l'année 1989 (Figure 7) a été dressée par Farhat et Moumni (1989). Cette figure montre que les niveaux piézométriques ont varié entre 300 m à l'aval de la plaine et 456 m NGT au niveau du forage Khad Rabah.

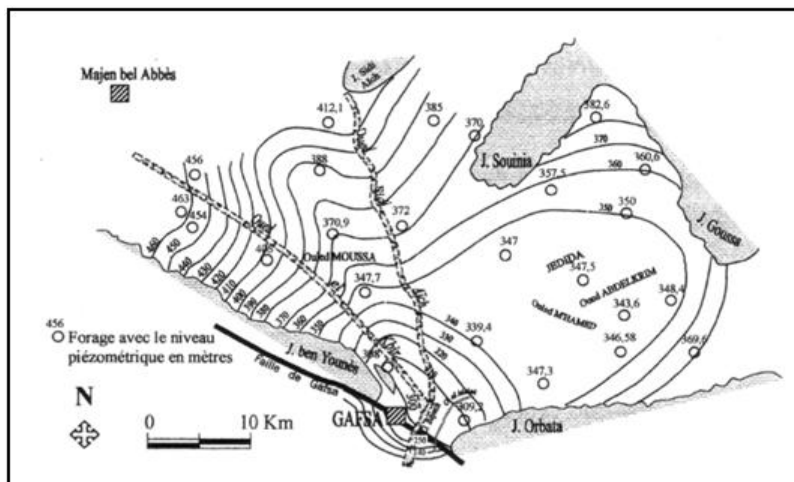


Figure 7 : Carte piézométrique pour l'année 1989 (Yermani, 2003)

La comparaison des deux cartes piézométriques (figures 6 et 7) montre une diminution nette des niveaux piézométriques entre 1989 et 2012. Cette diminution peut être attribuée à 3 hypothèses à savoir :

- L'irrégularité et la rareté des pluies de la région de Gafsa qui contribuent à la diminution de la recharge naturelle et par conséquent la diminution du niveau piézométrique de la nappe profonde Gafsa Nord.
- La surexploitation de la nappe qui reste un postulat essentiel dans la diminution du niveau de la nappe à cause de la demande exigeante des eaux dans le secteur agricole et industriel.
- La faible perméabilité des différentes couches des sols situées au-dessus de la nappe profonde.

Tenant compte de la difficulté de vérifier la troisième hypothèse (données non disponibles), seulement les deux premières seront analysées.

Evaluation de la recharge naturelle

La figure 8 relative aux variations du niveau piézométrique en fonction de la pluviométrie montre qu'il n'y a pas de corrélation entre la pluviométrie et la piézométrie. Ainsi, une baisse généralisée du niveau piézométrique est observée dans les quatre piézomètres. Le rabattement est d'environ 2 m pour les piézomètres Kef Derbi (Figure 8a) et Ouled dalel (Figure 8c), 3 m pour le piézomètre Sidi Aich PZ6 (Figure 8b) et 6 m pour le piézomètre Gafsa Nord (Figure 8d). Les forts rabattements enregistrés surtout dans l'aval de la plaine soulignent l'absence d'une réponse aux évènements pluvieux et la faiblesse de la recharge naturelle.

Caractérisation de la nappe profonde Gafsa Nord suite à la surexploitation des eaux souterraines

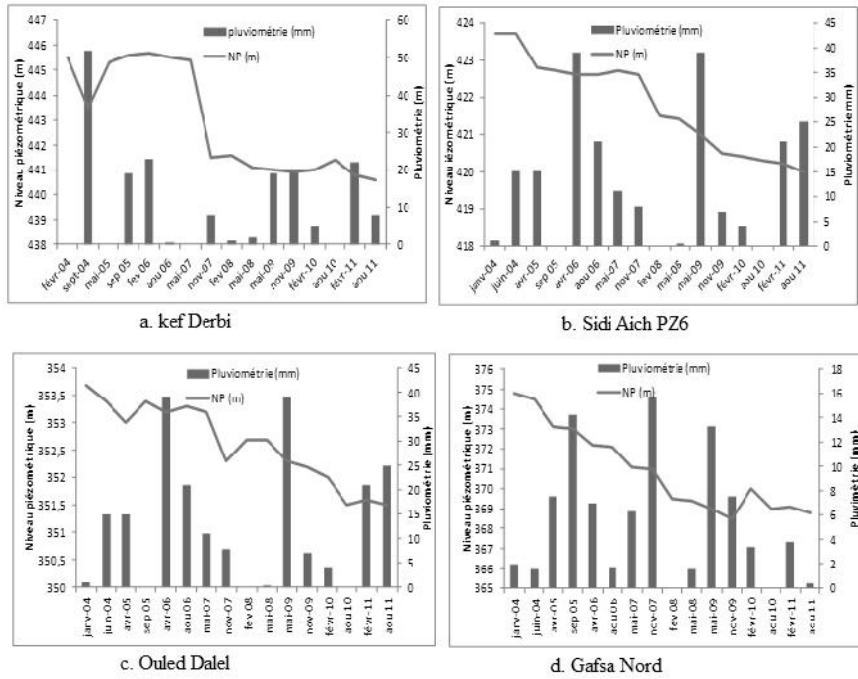


Figure 8 : Evolution du niveau piézométrique en fonction de la pluviométrie

Evaluation de l'exploitation

Le tableau 1 montre qu'il y a une augmentation importante du taux d'exploitation de la nappe profonde Gafsa Nord entre 1998 et 2012. Ce taux est passé de 79% en 1998 à 115% en 2012 ce qui correspond à une augmentation de 36% pendant 14 ans, soit une augmentation d'environ 2,5% par an.

Tableau 1 : Evolution de l'exploitation de la nappe profonde Gafsa Nord

Année	Nombre de forages	Ressources exploitables (Mm ³ /an)	Exploitation (Mm ³ /an)	Taux (%)
1998	76	33,1	26,16	79
2000	94	33,1	28,92	87
2002	129	33,1	37,47	113
2004	136	33,1	31,34	94,5
2006	156	33,1	33,42	101
2008	173	33,1	33.3	100
2010	197	33,1	39	117
2012	225	33,1	38	115

Selon Choura (2012), l'augmentation du taux d'exploitation a résulté essentiellement d'un pompage d'appoint supplémentaire sur les forages à usage agricole dû au déficit hydrique enregistré au cours des années les moins pluvieuses. En effet, la plaine de Gafsa est le siège d'une activité agricole intense avec élargissement des périmètres irrigués tant publics que privés.

Etude de la salinité

Le tableau 2 montre que pour les échantillons prélevés lors de la campagne de mai 2012 la salinité des eaux souterraines varie entre 1 et 3 g/l. De plus, une augmentation de la salinité est notée au droit des forages implantés dans la région de bordure du bassin (El Fej et Aldel karim Ben Aissa) vers le centre du bassin (Zaabtia, Jedida) et le seuil (Henchir Zallouf, Ragouba R8). Cette augmentation peut être attribuée à la nature lithologique de l'aquifère ou à la surexploitation des eaux souterraines.

Tableau 2 : Salinité des eaux souterraines

Forages	Résidu Sec (g/l)
Ouled Tlijène	1,3
Menzel Mimoun	1,7
Zaabtia	2,2
Jedida	2,2
Abd Karim ben Aissa	1,5
El Fej	1,3
Henchir Zallouf	2,1
Ghadir Trab	1,4
Ragouba R8	3

La figure 9 présente une comparaison entre les valeurs du RS enregistrées en 1996 et celles en 2012 pour les 9 forages.

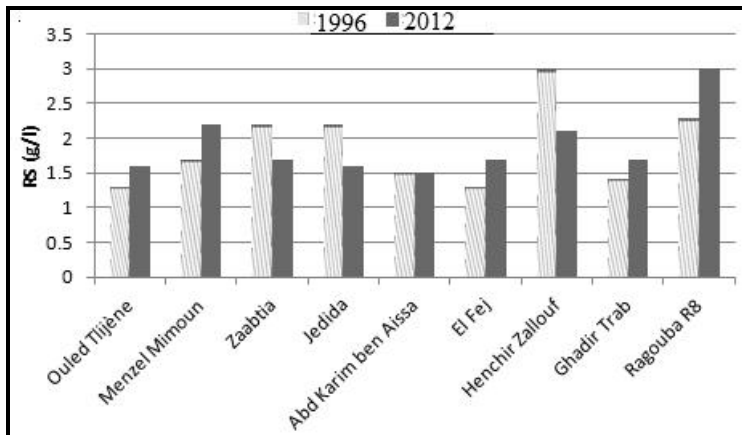


Figure 9 : Evolution de la salinité de la nappe profonde Gafsa Nord

A priori, l'évolution temporelle de la salinité est fortement influencée par la nature lithologique de l'aquifère. En effet, les forts événements pluvieux enregistrés dans la région de Gafsa entre 2002 et 2005 favorisent l'altération de l'aquifère et par conséquent la légère augmentation du résidu sec des eaux souterraines en 2012 par rapport à 1996. Toutefois, cette hypothèse reste à confirmer par l'étude des faciès chimiques.

Les résultats d'analyses des ions majeurs permettent de conclure que le faciès chimique est de type sulfatée calcique (Figure 10a). Le triangle des anions montre une dominance nette des chlorures sur les bicarbonates et les sulfates au niveau du forage El Fej et Ouled Tlijène alors que les forages Ragouba R8, Henchir Zallouf et Menzel Mimoun présentent des faciès plutôt sulfatés. Cependant, dans le triangle des cations il n'y a pas une dominance de ces derniers. D'une façon générale, le classement des éléments par ordre d'abondance s'effectue comme suit : pour les anions : $[SO_4^{2-}] > [Cl^-] > [HCO_3^-]$ et pour les cations: $[Ca^{2+}] > [Na^+] > [Mg^{2+}]$.

La comparaison de ces résultats avec ceux publiés par Yermani, (1996) est nécessaire pour juger la variation temporelle. Selon la Figure 10b, les forages implantés dans l'Est, centre et aval de la plaine de Gafsa nord ne montrent pas une différence dans le faciès chimiques ce que témoigne le caractère stationnaire de la nappe étudiée.

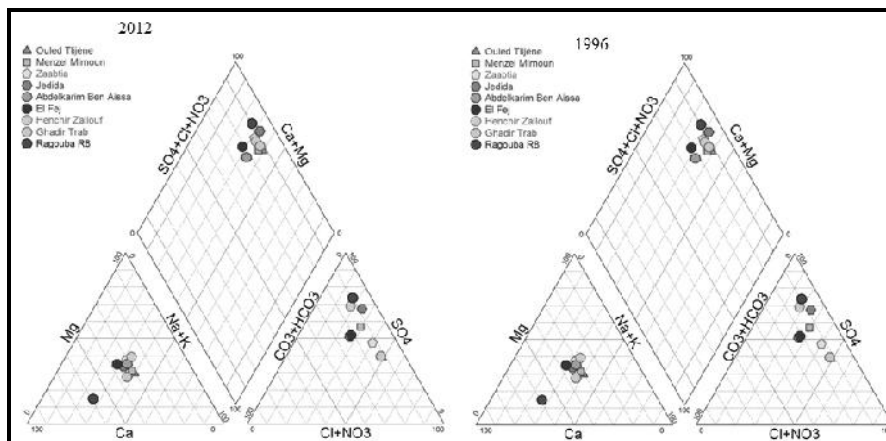


Figure 10 : Diagramme triangulaire de Piper pour la nappe profonde Gafsa Nord (1996 – 2012)

CONCLUSION

L'étude de l'évolution de l'exploitation de la nappe profonde Gafsa Nord et de son impact sur le niveau piézométrique et sur la salinité des eaux souterraines, a permis de clarifier certains points quant au fonctionnement général de ce système aquifère. L'étude piézométrique montre que l'écoulement des eaux souterraines se fait, d'une façon générale, du Nord vers le Sud (région de seuil de la plaine). Toutefois, la concentration de l'exploitation, l'absence des événements pluvieux exceptionnels ainsi que la mauvaise perméabilité de l'aquifère dans cette zone conduit à un rabattement continue du niveau de la nappe. Cette situation exige la construction des ouvrages de mobilisation des eaux et l'application stricte et rigoureuse du code des eaux au niveau des périmètres d'interdiction et de sauvegarde. Concernant les analyses chimiques, la salinité des eaux en terme du résidu sec a varié entre 1 et 3 g/l. L'évolution spatiale et temporelle montre que la qualité chimique des eaux est influencée non seulement par la surexploitation mais en grande partie par la nature géologique de l'aquifère. En effet, la relation entre les éléments chimiques établie par le diagramme de Piper montre la dominance du faciès sulfaté calcique. Ce dernier provient essentiellement de la dissolution du gypse et l'augmentation de la salinité des bordures Est vers la région du seuil.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALIBOU J. (2002). Impact des changements climatiques sur les ressources en eau et les zones humides du Maroc, Centre d'étude et de recherche sur les systèmes hydrauliques et environnementaux, 12, 17-36.
- CHOURA M. (2012). Nappes phréatiques et profondes de la région de Gafsa, Direction générale des ressources en eaux, Rapport interne, 30p.
- CHOURA M., CHILANI A. (2012). Evaluation de l'exploitation des nappes de Gafsa, Rapport Interne, 25p.
- CURELL J.M., CARTWRIGHT I. (2011). Major-ion chemistry, ^{13}C and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as indicators of hydrochemical evolution and sources of salinity in groundwater in the Yuncheng Basin, China, *Hydrogeology Journal*, 19, 835-850.
- CUSTODIO E. (2004). Aquifer overexploitation: what does it mean?, *Hydrogeology Journal*, 10, 254-277.
- DGRE. (2012). Direction General des Ressources en Eaux, Annuaire d'exploitation des nappes phréatiques et profondes..
- ELLEN P.B., FLEMMING L., TORBEN O.S., KURT K., LARS S. (2009). Deep saltwater in chalk of North West Europe: Origin , interface characteristics and development over geological time, *Hydrogeology Journal*, 17, 1643-1663.
- ESTELLER M., DIAZ-DELGOD. (2002). Environmental effects of aquifer over exploitation: A case study in the Highlands of Mexico, *Environmental Management*, Springer-Verlag New York Inc, 29 (2), 78-266.
- HENCHIRI M. (2007). Sedimentation, depositional environment and diagenesis of Eocene biosiliceous deposits in Gafsa basin (southern Tunisia), *Journal of African Earth Sciences*, 49: 187-200.
- JASORTIA A.S., BHAGAT B.D., KUMAR A. (2012). Remote sensing GIS approach for delination of groundwater potential and groundwater quality zones of western doon Valley, uttarakhand, India, *Journal of Indian Soc.Remote Sens*, 2, 231-240.
- JINLONG Z., QIAO L., YUCHUAN G., XIAO JING G., XIANWEN L., YUJIE Z., RUILIANG J. (2012). VLDA model and its application in assessing phreatic groundwater vulnerability: a case of phreatic groundwater in the plain area of Yanji county, Xinjiang, *Environ Earth Science*, 57, 1789-1799.
- KADI A. (1997). La gestion de l'eau en Algerie, *Hydrological Sciences*, 42(2), 191-197.
- KARROU E., MARANDI A., VAIKMAE R. (2004). The origin of increased salinity in the Cambrian-Vendian aquifer system on the kopli Peninsula, northern Estonia, *Hydrogeology Journal*, 12, 424-435.

- KHAYAT S., HOTZL H., GEYER S., ALI W. (2004). Hydrochemical investigation of groundwater from Pleistocene wells and springs, Jericho area, Palestine, *Hydrogeology Journal*, 15, 192-202.
- MOUMNI M., FARHAT A. (1989). Ressources hydriques de la région de Gafsa, rapport interne, 70p.
- PHILIP N., OKKE B. (2013). Estimating the effects of climate change on groundwater recharge and baseflow in the upper Sezibwa catchment, Uganda, *Hydrological Sciences Journal*, 54, 713-726.
- XINGQUAN L., ZHANG L., XINWEI H. (2008). Use of hydrogeochemistry and environmental isotopes for evaluation of groundwater in Qingshuihe Basin, Northwestern China, *Hydrogeology Journal*, 16, 335-348.
- YERMANI M., ZOUARI K., MICHELOT J.L., MAMOU A., MOUMNI L. (2003). Approche géochimique du fonctionnement de la nappe profonde Gafsa Nord (Tunisie Centrale), *Journal des Sciences Hydrologiques*, 48(1), 95-108.
- YIDANA S., BANOENG-YAKUBO B., AKABZAA T. (2010). Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta Basin, Ghana, *Journal of African Earth Sciences*, 58, 220-243.