

Etude de la vulnérabilité des eaux souterraines de la ville de Gafsa (Sud- Ouest de la Tunisie) : Effets anthropiques et conséquences

N. Malik*, N.Slim Shimi

Département de Géologie, Laboratoire de Géochimie-Minéralogie, Faculté des Sciences de Tunis, El Manar II 2092, Tunisie.

*Corresponding author: malikbahri@yahoo.fr ; Tel.: +216 21273848

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 15/01/2019
Accepted : 15/07/2019

Key Words:

Urban area;
Gafsa;
Vulnerability;
Consequences.

Mots clés :

Zone urbaine;
Gafsa ;
Vulnérabilité;
Conséquences.

ABSTRACT/RESUME

Abstract: The permanent evolution of the urban area of Gafsa is subject to several pressures due to anthropogenic activities, which results in a lack of sanitation, so several households have resorted to lost wells and septic tanks for the discharge of untreated wastewater in or on the ground. Infiltration and pathways of pollutants in aquifers can then pose a serious risk to groundwater quality.

Indeed, our present study aims to analyze samples of underground water (physico-chemical and bacteriological) and to identify the different anthropogenic activities in order to determine their influence on the quality of groundwater.

Résumé: L'évolution permanente de la zone urbaine de Gafsa est soumise à plusieurs pressions dues aux activités anthropiques, qui a pour conséquence un manque d'assainissement, donc plusieurs ménages ont eu recours aux puits perdus et aux fosses septiques pour le rejet des eaux usées non traitées dans ou sur le sol. Les infiltrations et les cheminements des substances polluantes dans les aquifères peuvent alors présenter un sérieux risque pour la qualité des eaux souterraines.

En effet, notre présente étude vise à analyser des échantillons d'eaux souterraines (physico-chimiques et bactériologiques) et à identifier les différentes activités anthropiques afin de déterminer leurs influences sur la qualité des eaux souterraines.

I. Introduction

L'impact humain sur les ressources en eau, est de nos jours l'un des principaux enjeux mondiaux dans les zones urbaines et l'un des fertiles domaines de recherche modernes, vu les dégâts égoïste de l'homme, qui peut engendrer sur l'eau. Toutefois, les formes de pression que subissent les ressources d'eau souterraines par les activités anthropiques sont regroupées essentiellement par une baisse significative du niveau d'eau, qui représentent parfois les seules ressources d'eau souterraines et par une dégradation qualitative. La zone d'étude, est le seul pôle d'attraction de tout le gouvernorat qui souffre de plusieurs problèmes, tels

que la surexploitation des nappes phréatiques de 171,5% [1], la Croissance démographique de 38% [2] entraînant une urbanisation anarchique, incontrôlable et une demande accrue en eau potable (100% de la population), le manque d'assainissement où plusieurs ménages ont eu recours aux puits perdus et aux fosses septiques (environ 17% de la population), la pollution visuelle (dépôts anarchiques des ordures ménagères) et le ruissellement occasionnels des eaux usées non traitées dans les rues et les Oueds.

Dans ce contexte, la zone urbaine de Gafsa est l'une de ces régions peu favorisées, par l'aridité de son climat confrontée à un déficit hydrique.

Située au Sud-Ouest de la Tunisie, la ville de Gafsa est représentée par un réseau hydrographique formé par trois principaux oueds [3] ceux d'El Kébir, de Sidi Aïch et de Bayech (Fig.1). Les eaux souterraines présentent la principale source hydrique de la zone urbaine.

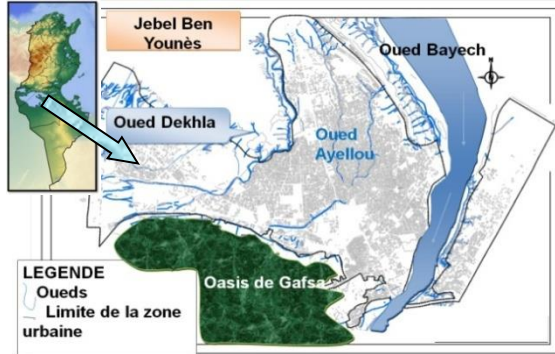


Figure 1: Localisation géographique de la zone d'étude

Notre zone d'étude, est traversée par la faille majeure de Gafsa (Fig.2).

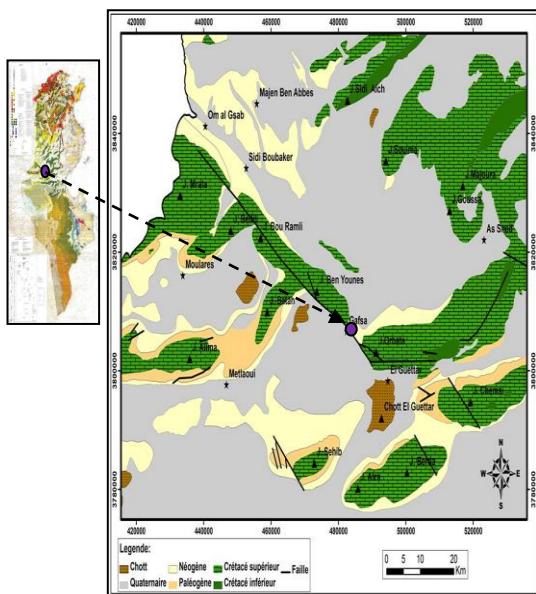


Figure 2: Contexte géologique récapitulatif de la zone d'étude (Extraite de la carte géologique 1/500.000)

Cet accident présente un intérêt hydrogéologique important, mettant en contact un aquifère de forte perméabilité au Nord (nappe de Gafsa Nord), logé dans un ensemble sableux conglomératique et calcaire avec un autre niveau argilo-sableux de moindre perméabilité au Sud (nappe de Gafsa Sud) [4]. Ce "seuil hydraulique" était matérialisé en surface par l'alignement de sources artésiennes. D'éventuelles communications entre les structures

Nord et Sud de Gafsa peuvent avoir lieu à travers le seuil de Gafsa. Les échantillons ont été prélevés, -des dépôt continental détritiques du Plio-Quaternaire [5]. Il est formé par des proportions variées de sables, des alluvions, silts, graviers, des argiles et conglomérats [6] et est caractérisée par son aspect lenticulaire [7]. La recharge s'effectue par l'infiltration des pluies et par les eaux d'irrigation des zones cultivées [8].

- La nappe de Sidi Ahmed Zarroug, qui est constituée par la juxtaposition de deux séries lithologiques différentes distinctes, celles du grès et les sables de d'âge Aptien et les calcaires dolomitiques d'âge Albien [9] (Fig.3). Les unités rencontrées peuvent être localement séparées par des minces couches imperméables. L'ensemble se comporte comme étant une seule unité hydrogéologique [10].

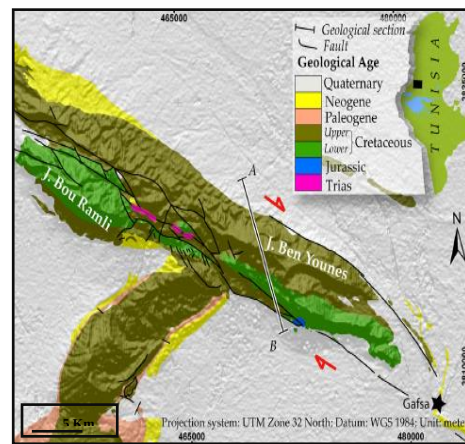


Figure 3: Carte géologique de la région de Gafsa (Zargouni, 1985 in Ben Hassen et al., 2014,)

Le climat est désertique froid l'hiver et très chaud l'été avec une concentration annuelle des pluies de 150,80mm et une évaporation moyenne de 200mm/an [11].

II. Matériels et méthodes

Notre travail a été mené avec l'aide du Laboratoire du Centre de Recherche (CPG de Metlaoui), du Laboratoire de l'Hôpital Régional de Gafsa et de la Direction Générale des Ressources en Eaux de Gafsa.

Des prélèvements de 19 échantillons d'eaux souterraines (Fig.4) ont fait l'objet de plusieurs analyses hydrochimiques et bactériologiques. Le repérage des coordonnées a été réalisé à l'aide d'un GPS (Global, Position, Satellite) de type Tremble. Les échantillons ont été prélevés dans des récipients neufs en polyéthylène, une fois les bouteilles

remplis sur le terrain, elles ont été conservées dans une glacière pour la journée.

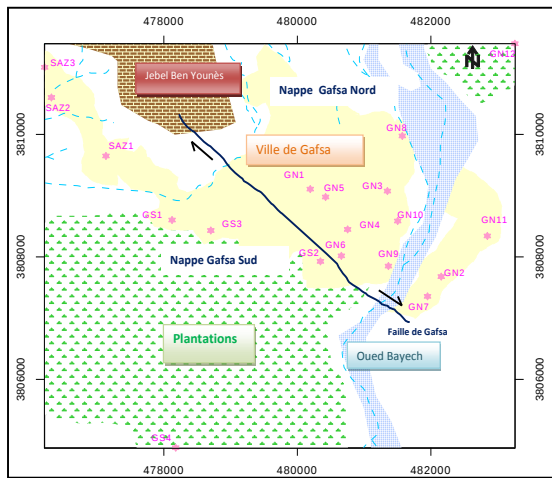


Figure 4: Répartition des échantillons d'eaux souterraines prélevés dans la zone urbaine de Gafsa

Au laboratoire, les échantillons ont été filtrés sous vide par des filtres millipores de 0.45µm et conservés à une température de 4°C en attendant d'être analysés.

Les éléments mesurés in-situ et dans le laboratoire sont (Tab.1):

- le pH, la salinité et la température.
- les éléments majeurs et en traces - Ca^{2+} - Na^{+} et K^{+} - Mg^{2+} - SO_4^{2-} - Cl^{-} - NO_3^{-} - HCO_3^{-} - Zn^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} , et F^{-} .
- les germes bactériologiques : Coliformes fécaux et totaux et Streptocoques fécaux.

Tableau.1: Récapitulatifs des méthodes d'analyses des différents éléments chimiques

Une analyse de la validité de tous les éléments contenus en solution dans une eau doit être faite avant tout traitement de données. La balance ionique est un moyen de détecter la majorité des

Paramètres	Méthodes
HCO_3^{-}	Volumétrie
SO_4^{2-}	Gravimétrie
Cl^{-}	Méthode de Mohr
Na^{+} et K^{+}	Emission atomique
Ca^{2+} , Mg^{2+}	Absorption atomique
NO_3^{-}	Spectrométrie d'absorption moléculaire DR /2000
F^{-}	Electrode spécifique (ORION)
Zn, Mn Sr, Fe,	Absorption atomique à flamme

erreurs commises, elle se base théoriquement sur le calcul de la différence entre les sommes des anions et des cations (concentrations exprimées en meq/l). L'erreur en % est donnée par: $(\Sigma \text{cations} - \Sigma \text{anions}) / (\Sigma \text{cations} + \Sigma \text{anions}) \times 100$.

$$\Sigma \text{Cations} = \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$$

$$\Sigma \text{Anions} = \text{HCO}_3^{-} + \text{Cl}^{-} + \text{NO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-} + \text{SO}_4^{2-}$$

Ainsi, une analyse est jugée fiable si la différence des anions et cations sur leur somme fois cent est inférieure ou égale à 5 % [12].

Ainsi le tableau ci-dessous (Tab.2) présente les balances ioniques des aquifères de la ville de Gafsa.

Tableau.2: Degrés de fiabilité des analyses des différents échantillons

N°.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BI	2,15	4,99	0,65	4,39	2,62	4,67	4,06	3,18	4,7	4,75
N°.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
BI	4,91	4,89	1,28	0,93	2,99	4,81	3,69	1,69	1,4	

III. Résultats et discussion

III- 1-Mesures In-situ

- Le Potentiel d'Hydrogène (pH)

Les mesures du pH des eaux analysées, montrent des valeurs qui se situent entre 7,19 et 8,29 et qui obéissent à la norme de potabilité (6,5 et 8,5) [13].

- La température de l'eau

Les températures mesurées sont comprises entre 23,9 et 27°C avec une moyenne de 25,45°C, elles correspondent à une légère variation aux températures atmosphériques ambiantes qui est en moyenne 28°C et qui indiquent l'ouverture du système aquifère, donc sa vulnérabilité vis-à-vis à la pollution.

- La salinité

Elle s'échelonne de 0.96 à 15.03 g/l et est élevée au niveau de la nappe de Sidi Ahmed Zarroug.

III-2- Eléments majeurs

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions en éléments majeurs. On distingue les cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} et K^{+} , et les anions: Cl^{-} , SO_4^{2-} , NO_3^{-} , et HCO_3^{-} (Tab.3).

Tableau.3: Description sommaire des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la ville de Gafsa.

Eléments	Max	Min	Moy
HCO_3^- (mg/l)	403	176	245,60
SO_4^{2-} (mg/l)	2020	366	1156,63
Cl^- (mg/l)	6526	95	911,34
Ca^{2+} (mg/l)	740	124	384,66
Mg^{2+} (mg/l)	244	32	108,34
Na^+ (mg/l)	4002	70	645,40
K^+ (mg/l)	120	2,5	23

Ce qui ressort principalement:

- Des concentrations moyennes élevées en : SO_4^{2-} (1156.63 mg/l), Cl^- (911.34 mg/l), Na^+ (645.40 mg/l) et Ca^{++} (384.66 mg/l)
- Des eaux sulfatées calciques dans les aquifères de Gafsa Nord et Gafsa Sud et chlorurées sodiques au niveau de Sidi Ahmed Zarroug due au lessivage des séries évaporitiques du Trias (halite) (Fig.5).

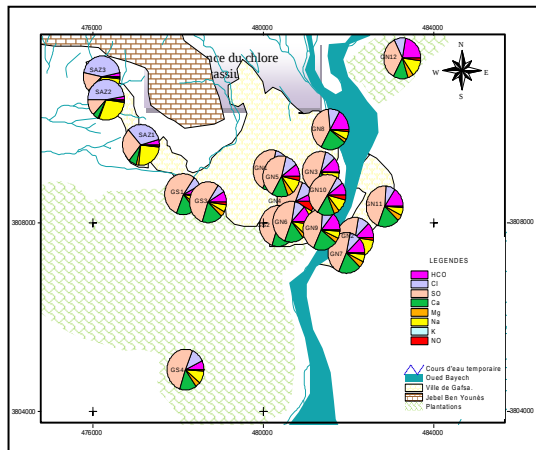


Figure 5: Répartition des éléments majeurs

Le rapport entre le chlore et les sulfates par rapport à la salinité (Fig.6) a révélé que seulement trois points d'eau présentent un rapport ($\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$) supérieur à 1 qui sont ceux de la nappe de Sidi Ahmed Zarroug, ce qui confirme la dominance du faciès chloruré sodique. Alors que tous les autres points d'eau présentent des valeurs du rapport ($\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$) inférieures à 1, indiquant probablement une origine gypsifère.

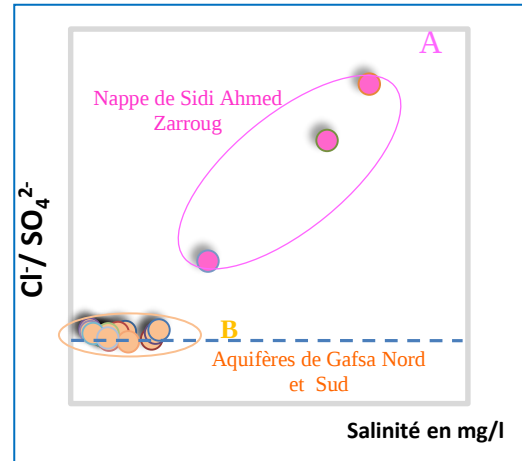


Figure 6: Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la salinité

III.3. Géochimie de quelques éléments en traces

Les éléments en traces utilisés dans notre étude hydrochimique pourront nous aider à détecter la présence ou non d'une pollution anthropique des eaux souterraines. Ces éléments habituellement présents dans l'eau peuvent provenir du lessivage des terrains traversés, des rejets industriels du traitement agricole, des corrosions des conduites (Fe, Cu, Zn)...

Les analyses ont montré:

- une teneur en Fe, qui varie de 0,03 à 0,23 mg/l, $\leq 0,3\text{mg/l}$ (OMS)
- des teneurs en Mn faibles qui s'étalent de 0,004 à 0,04 mg/l $< 0,4\text{mg/l}$ (l'OMS).
- 70% des échantillons présentent des valeurs négligeables en Zn. La valeur maximale se présente au niveau du forage de Hbib Errabhi avec 1,92mg/l ($< \text{l'OMS} = 3\text{mg/l}$).
- une concentration en strontium qui s'échelonne de 1,54 à 12,92 mg/l.

Une bonne corrélation ($R^2 = 0,721$) du strontium avec les sulfates (Fig.7) pourrait témoigner une origine gypsifère.

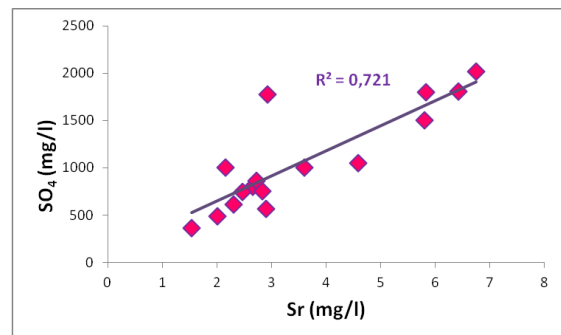


Figure 7: Corrélation du strontium avec les sulfates dans les eaux de Gafsa (2010/2011)

(F.Faycel Eddaly), GS4(Puit Aberrazak Souid), GN1(H.Salah Belkadh), GS2 (H.Khlil) et GN6 (F.Jardin) (Fig.8). Ceci est probablement dû à l'utilisation excessive d'engrais des zones agricoles.

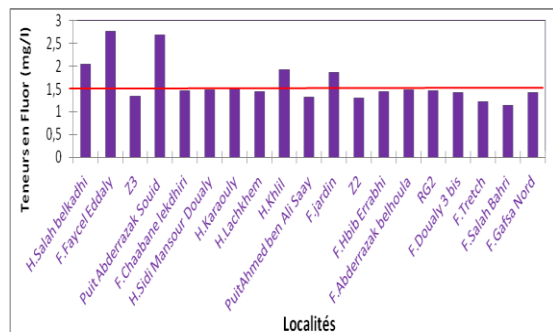


Figure 8: Carte d'isoteneur du Fluor dans les eaux souterraines de Gafsa

Les teneurs en nitrate varient entre 8,8 et 278 mg/l (Fig.9). Seulement le un quart des échantillons d'eaux présentent des teneurs supérieures aux normes OMS (50mg/l).

Les plus grandes valeurs sont marquées par les actions anthropiques:

- ◆ les rejets des eaux usées par les stations d'épuration et des fosses septiques.
- ◆ Utilisation des engrais pour les zones agricoles.
- ◆ Sans oublier, la présence de plusieurs cimetières à l'intérieur de la ville de Gafsa.

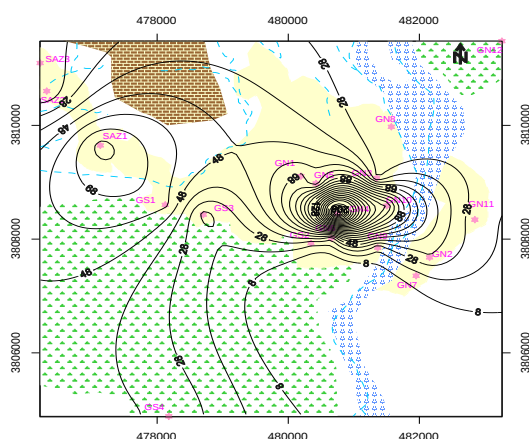


Figure 9: Répartition du Nitrate dans les eaux souterraines de la ville de Gafsa

Une analyse statistique (ACP) a été réalisée à l'aide du logiciel Statistica 6.0, sur 13 variables (puits et forages: GN1...GN12 et GS1...GS4) pour un ensemble de 16 individus représentés par les eaux échantillonnées du Plio-Quaternaire et du Cénomanien-Turonien. Treize variables à savoir, le pH, la salinité, Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Ca^{++} , Cl^- , SO_4^{2-} ,

Mg^{2+} , NO_3^- , Fe, F et Sr ont été prises en compte (Fig.10).

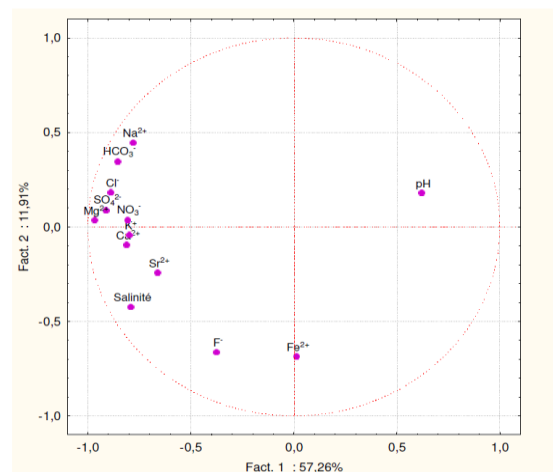


Figure 10: Représentation graphique des variables des eaux souterraines

L'observation de la projection des variables sur le plan factoriel F1-F2a montré que:

- la projection des variables sur le plan factoriel F1-F2 indique que l'axe F1 exprime 78,36% de la variance et est déterminé par, Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{++} , Na^+ , K^+ et la salinité;
- le facteur F2 vertical exprime 18,55% de la variance. Il est déterminé par le magnésium et le sulfate de calcium.

Cette répartition, a mis en évidence une origine anthropique des eaux au niveau de l'axe F1 manifesté par l'ion nitrate. L'axe F2 est représenté négativement par le fer et le fluor. Le pH est corrélé positivement avec l'axe F1.

Donc la ville de Gafsa se caractérise par un degré élevé de minéralisation pouvant être induit par la nature de la matrice de l'aquifère et par une forte évaporation (processus naturels), et par des activités anthropiques d'autre part. Ces activités sont liées à la surexploitation des eaux souterraines et à la pollution par le nitrate et le fluor provenant du développement urbain de Gafsa. Dans la plupart des cas, la qualité des aquifères dépasse les normes de potabilité de l'eau. Tous ces processus ont engendré plusieurs problèmes délétères tels que le déclin du niveau de l'eau, la salinisation et la détérioration des ressources en eaux souterraines.

Afin de mieux affiner l'impact des activités anthropiques sur les eaux souterraines, des analyses bactériologiques complémentaires ont été effectuées sur quelques échantillons d'eaux en zone urbaine.

III-4- Qualité microbiologique des eaux du milieu urbain de Gafsa

La croissance démographique que connaît la ville de Gafsa, a entraîné une urbanisation anarchique, parfois difficilement contrôlable, et un manque d'assainissement de quelques quartiers. Cette situation est à l'origine des rejets d'une quantité non négligeable d'eau usée non traitée dans le sol. A cet égard, une étude bactériologique a été visée pour identifier quelques organismes indicateurs (coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux, salmonelles, vibrions cholériques) dans douze échantillons d'eau souterraine (Fig.11).

L'origine des germes fécaux peut être due aux activités agricoles [14]. Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires [15].

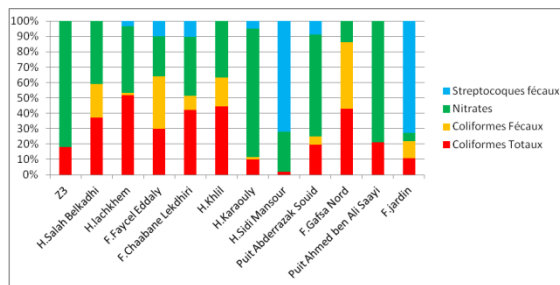


Figure 11: Répartition des nitrates, des coliformes fécaux et totaux et des streptocoques fécaux.

Le total des bactéries est très important pendant la période d'observation et concerne 83, 33 % des forages prélevés dans la ville de Gafsa (Fig.8).

- Les germes bactériens sont inférieurs aux normes pour SAZ3 et de Ahmed Ben Ali Sayi (GN12) (CT< 10 UFC et CF= 0 UFC et SF=0 NPP)
- Coliformes fécaux et totaux ont montré des concentrations moyennes respectivement de 24,25 et 39,00 UFC / 100 ml.

Nous avons également détecté un grand nombre de streptocoques fécaux, ce qui représente 40% (Fig.12)des échantillons analysés, probablement due à une pollution d'origine fécale, surtout au niveau du Forage Jardin (GN6), Gafsa Nord (GN11), F.Salah Belkadhhi (GN2)...

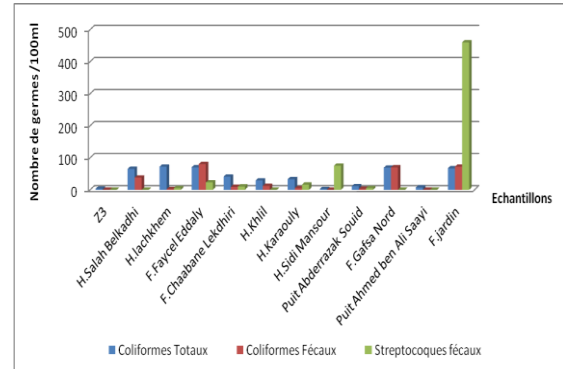


Figure 12: Teneurs des échantillons en germes bactériens

Les coliformes totaux et fécaux et les streptocoques fécaux, liés à la pollution anthropique, des eaux souterraines reconnues au niveau de la zone urbaine, pourraient avoir principalement deux origines telles que les eaux usées domestiques et les engrais chimiques utilisés en agriculture.

***Origine domestique (Figure 13 et 14):** manifestée par le rejet direct des eaux usées dans le sol sans traitement à travers les puits perdus et les fosses septiques ou directement dans les oueds et les ordures ménagères accumulées surtout au niveau des lits des oueds.



Figure 13: Rejet des eaux usées domestiques directement dans les oueds



Figure 14: Rejets des ordures ménagères dans la ville de Gafsa

Du fait, que quelques agglomérations de la zone urbaine de Gafsa, se trouvent desservies en eau potable et que l'assainissement est encore loin de pouvoir couvrir toute la ville de Gafsa, des puits perdus et fosses septiques sont utilisés en pleine ville pour les rejets des eaux usées domestiques. De ce fait une estimation du rejet annuel des eaux usées dans la nappe phréatique de la ville Gafsa a été effectuée pour une période de quinze années (2000 - 2015). Les volumes d'eaux usées qui parviennent à la station d'Épuration d'El Aguila et les volumes d'eaux distribués par la SONEDE, nous ont été fournis par les responsables de chaque établissement. Le volume total d'eau usée collecté correspond au volume d'eau qui parvient à la STEP (Station d'épuration).

La figure N°8 présente les volumes d'eaux usées potentiels non traités qui parviennent à la nappe phréatique. Il s'agit de l'écart entre le volume distribué par la S.O.N.E.D.E et le volume total d'eau usée collecté dans les égouts d'O.N.A.S,

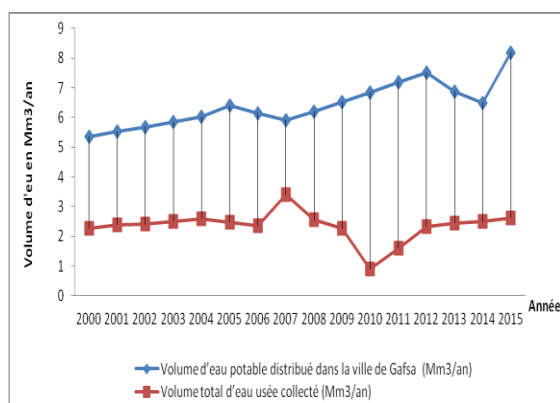


Figure 15: Quantité d'eau usée potentielle non traitée rejetée dans la nappe phréatique de Gafsa (2000-2015)

Le volume annuel d'eau usée d'origine domestique atteignant la nappe de Gafsa n'a pas cessé d'augmenter depuis l'année 2000, ce volume a augmenté de 3,009Mm³ en 2000 à 5,55 M m³ en 2015. A partir du mois de Juin 2009 jusqu'à la fin de l'année 2010, le réseau d'égouts a été endommagé plusieurs reprises au niveau des collecteurs et l'eau usée a été évacuée dans les rues de la ville et déversée dans les oueds tels que l'Oued Ayellou (Figure 16). Cette perte des eaux usées non traitée est estimée à 20% du volume (données ONAS).

L'utilisation des puits perdus dans la ville de Gafsa pour l'évacuation des eaux usées domestiques est importante malgré l'extension du réseau de l'ONAS

et que le volume d'eau distribué est toujours supérieur au volume d'eau traité.



Figure 16: Rejet de l'eau usée non traitée dans l'Oued Ayellou, (collecteur endommagé en 2011)

*Origine agricole

L'origine des germes fécaux peut être due aux activités agricoles [13]. Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires [14].

IV. Conclusion et perspectives

La minéralisation des eaux est essentiellement contrôlée par la dominance des ions sulfates, chlorures et sodiums. Les fortes teneurs en éléments majeurs sont focalisées essentiellement au niveau de GN4 et GS1 pour les aquifères du Plio-Quaternaire et Céno-manien-Turonien inférieur et au niveau de la nappe de Sidi Ahmed Zarroug.

Pour les éléments en traces (Mg, F, Sr, Fe,), leurs teneurs dans la zone urbaine de Gafsa présentent aucune contamination, sauf pour le fluor, qui peut atteindre environ 3mg/l. Par ailleurs, une bonne corrélation du strontium avec les sulfates témoigne un apport gypsifère.

L'analyse en Composantes Principales appliquée aux éléments majeurs et en traces a permis de déduire aussi une origine anthropique des éléments majeurs et la salinité contrôlée par l'apport du nitrate.

Les effets de l'activité anthropique dans la ville de Gafsa se manifestent surtout par la gravité de la pollution bactériologique provenant des eaux usées domestiques évacuées dans les puits perdus et les fosses septiques, vu le manque de raccordement du réseau d'assainissement, la présence de plusieurs cimetières dans la ville, aux systèmes défectueux d'assainissement et la persistance des puits perdus, (absence totale de connexions aux réseaux d'égouts de l'O.N.A.S dans plusieurs endroits).

Cette situation nous pousse à chercher des solutions pour mettre fin d'abord à la charge bactériale des eaux souterraines.

Enfin, il est important que ces ressources puissent être protégées. Pour cela, il est essentiel que les ressources en eau soient gérées de manière stratégique et durable par l'éducation et la sensibilisation (diminution du gaspillage, utilisation de techniques économiques dans tous les domaines) qui font évoluer les consciences et les prises de décision en faveur de la prévention de la pollution et de la dépollution des ressources en eaux.

Il est urgent de mettre fin à toutes sortes de rejets domestiques, en créant des stratégies et des réformes strictes sur les habitants, surtout au cours de ces dernières années.

V. Remerciements

Nos remerciements s'adressent aux personnels du laboratoire d'hygiène de l'Hôpital Régional de Gafsa et le Centre de Recherches Scientifiques de Metlaoui pour leurs collaborations pendant la période d'analyses.

VI. Références

1. DGRE. Exploitation des nappes profondes et bilan des ressources en eaux des nappes phréatiques de Gafsa Sud et Gafsa Nord (2015) 20.
2. INS. A travers le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (2014)128.
3. CRDA. Actualisation du projet de développement agricole intégré du Nord du gouvernorat de Gafsa(2010) 200.
4. Castan, G. Un barrage souterrain naturel, les sources de Gafsa-Lalla, étude hydrogéologique.Tunis (1950)29.
5. Hamed, Y. Caractérisation hydrogéologique, hydrochimique et isotopique du système aquifère de Moularès-Tamerza. Thèse, Université de Sfax (2008)280.
6. Hamed, Y.; Dassi, L.; Tarki, M.; Ahmadi, R.; Mehdi, K.; Ben Dhia, H. Groundwater origins and mixing pattern in the multilayer aquifer system of the Gafsa south mining district: a chemical and isotopic approach. *Environmental. Earth Sciences*. 63(2010) 1355-1368.
7. Alibi, S. Caractérisation hydrogéologique de la nappe Mio-Pliocène de Gafsa Sud. *Mastère Géologie Faculté des Sciences de Tunis*(2006) 93.
8. Mokadem, N.; Hamed, Y.; Ben Saad, A.; Gargouri, I. Atmospheric pollution in North Africa (Ecosystems Atmosphere interactions): a case study in the mining basin of El Guettar-M'Dilla (Southwestern Tunisia). *Arabian Journal Geosciences* (2012). <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-013-0852-2>
9. Zargouni, F. Tectonique de l'Atlas Méridional de Tunisie: évolution géométrique et cinématique des structures en zone de cisaillement. *Revue des Sciences Terre* 3 (1985) 304.
10. Farhat, H. Etude hydrogéologique de l'underflow d'Oum Laksab. Rapport de la Direction Générale des Ressources en Eau(1984).
11. INM .Institut de la Météorologie de Gafsa(2015).
12. Kouassi, AM.; Mamadou, A.; Ahoussi, KE.; Biemi, J. Simulation de la conductivité électrique des eaux souterraines en relation avec leurs propriétés géologiques : cas de la Côte d'Ivoire. *Revue. Ivoirienne des Sciences et Technologie* 21-22 (2013) 138-166.
13. Rodier, J. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} édition Dunod, Paris (1994). 1384p.
14. Bou Saab, H.; Nassif, N.; Antione, G.; El Samrani, Daoud, R.; Medawar, S.; Ouaini, N. Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban) *Journal of Water Science*20, n° 4(2007), 341-352.
15. Chamtour, I.; Abida, H.; Khanfir, H.; Bouri, S. Impacts of at-site wastewater disposal systems on the groundwater aquifer in arid regions: case of Sfax City, Southern Tunisia. *Environmental Geology* 55 (2008)1123–1133.

Please cite this Article as:

Malik N., Slim Shimi N., Etude de la vulnérabilité des eaux souterraines de la ville de Gafsa (Sud-Ouest de la Tunisie) : Effets anthropiques et conséquences, ***Algerian J. Env. Sc. Technology*, 5:4 (2019) 1127-1134**