

IMPACT ANTHROPIQUE SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN VERSANT DE L'OUED TAZA (MAROC) ANTHROPOGENIC IMPACT ON GROUNDWATER QUALITY IN THE WATERSHED OF OUED TAZA (MOROCCO)

M. Ben Abbou

F. Fadil

Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement,
Faculté des Sciences et Techniques Fès, Maroc

M. El Haji

Laboratoire de Biotechnologie et valorisation des ressources naturelles,
Faculté Polydisciplinaire de Taza, Taza Gare, Maroc

M. Zemzami

Laboratoire de Géoressources et Environnement,
Faculté des Sciences et Techniques Fès, Maroc

Abstract

The main objective of this work is to determine the status of the groundwater quality in the watershed of Taza river, based primarily on physico-chemical and bacteriological parameters of groundwater. The Oued Taza is a small mountain river, 13.44 Km long, which drains a watershed of 40.07 km². The outlet located at an altitude of 420 m corresponds to the confluence with the Oued Iarbaa. The average annual rainfall varies between 352 mm and 719mm while the annual average temperature is 18.1 ° C. Very high concentrations of nitrates, nitrites, heavy metals and bacterial load in some points near urban areas, illustrate the effect of human activities on degradation of water quality. This contamination could have several causes, the most important are related to household and industrial discharges (especially waters) spilled without any treatment in the rivers, and the use of fertilizers in agricultural areas. These results will enrich the database on water quality in the basin, and help policy makers to better decide on the management of water resources for a better sustainable development of the region

Keywords: Physico-chemical parameters, pollution, heavy metals, olive mill wastewater, Morocco

Resume

L'objectif principal de ce travail est de déterminer l'état de la qualité des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Taza, en se basant essentiellement sur l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux souterraines. L'Oued Taza est une petite rivière de montagne, longue de 13,44 Km, qui draine un bassin versant de 40.07 km². L'exutoire situé à une altitude de 420 m, correspond à la confluence avec l'Oued Larbaa. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 352mm et 719mm alors que la température moyenne annuelle est de 18,1 °C. Les concentrations très élevées en nitrates, nitrites, métaux lourds et la charge bactérienne dans certains points situés à proximité des agglomérations, illustrent bien l'effet de l'action anthropique sur la dégradation de la qualité des eaux. Cette contamination pourrait avoir plusieurs origines dont les plus importantes sont liées aux rejets ménagers et industriels (surtout les margines) déversés, sans aucun traitement préalable dans les cours d'eau, et à l'utilisation des engrais dans les domaines agricoles.

Ces résultats vont enrichir la base de données sur la qualité des eaux dans le bassin, et aider les décideurs à mieux se prononcer sur la gestion des ressources en eaux en vue d'un meilleur développement durable de la région.

Mots-Cles: paramètres physico-chimiques, pollution, métaux lourds, margines, Maroc

1. Introduction

L'eau, première source vitale et facteur prépondérant dans le développement durable de tous les pays, s'est longtemps considérés comme une ressource inépuisable. Cependant, elle commence, depuis peu de temps, à poser de sérieux problèmes pour certaines régions, notamment les pays à climat aride et semi-aride comme le Maroc.

La vallée de l'Oued Taza, traversant la ville de Taza, est une zone remarquable par son paysage, et sa proximité par rapport au centre ville. Elle est en effet un bon site pour l'installation d'un futur parc ou un projet de lotissement. La rive gauche est occupée actuellement par des champs de cultures et des terres à mauvaises herbes, tandis que la rive droite présente quelques lotissements et aussi certains champs de cultures utilisant des méthodes archaïques.

D'un autre coté, les eaux de l'Oued Taza sont sujettes à des rejets d'eaux usées et d'ordures domestiques (El Haji et al., 2012). Les risques que peuvent apporter de telles actions ne seront considérés que néfastes sur le plan sanitaire, écologique, hydrogéologique, etc. En plus, les champs d'agricultures limitrophes à l'Oued sont irrigués par ces eaux, ce qui menace

la vie de la population et participe à la dégradation des sols.

Des études similaires ont été réalisées dans d'autres régions du Maroc à savoir : El Haouz de Marrakech (Boukhari et al., 2005 ; Lyakhloufi, 2001), El-Jadida (El Chahheb, 1993; El Chahheb et al., 2001 ; Khoulaïd et al, 2005), Tadla (Bouchaou, 1995 ; Hsissou et al., 1996), Plateau de Mekhnès (Amraoui, 2005) etc.

L'objectif du présent, travail est l'étude de la qualité des eaux superficielles pour évaluer le degré de pollution provenant des lixiviats et des cours d'eaux dans lesquels les rejets des eaux usées de la ville sont directement déversés. Les résultats obtenus, sur la base d'analyse des échantillons, ont montré une dégradation importante de la qualité physico-chimique des eaux de surface spécialement en aval et les eaux souterraines proches à ce cours d'eau.

2. Cadre physique du Bassin versant de l'Oued Taza

2.1 Zone d'étude

Le bassin versant de l'Oued Taza, zone d'étude, se trouve au niveau de la région de Taza entre le moyen atlas et les nappes du pré-rif. Il est traversé par la route nationale n°6, puis par la route secondaire n° 311 qui s'élève rapidement dans un paysage rocheux constitué par des calcaires et des dolomies (Zemzami, 2008).

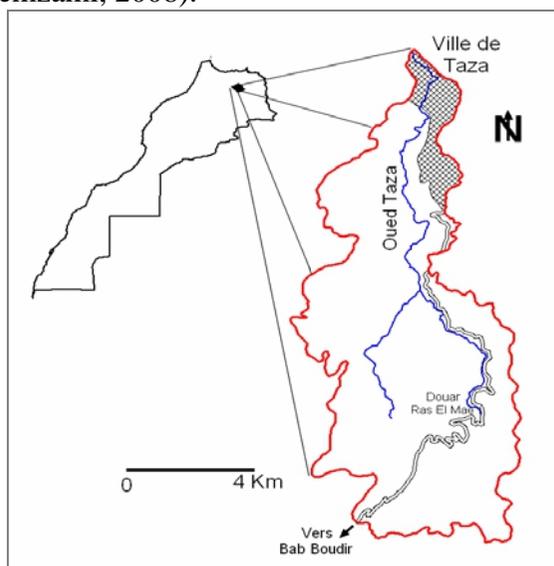


Figure 1. Situation géographique du bassin versant de l'Oued Taza.

2.2 Géologie

L'oued Taza coule du Sud vers le Nord. Son bassin versant s'inscrit dans la zone de transition entre le causse moyen atlasique et le sillon sud rifain. Dans le causse, partie amont du bassin versant, le cours d'eau traverse

les dolomies, les calcaires et les formations marno-calcaires du Lias (Vidal, 1971). En aval, dans le sillon sud Rifain, l’Oued recoupe les marnes du Miocène (Golo, 1961). La vallée de l’Oued Taza est aussi le siège d’une sédimentation détritique fluviale, mais surtout d’une sédimentation travertineuse de sources et de cascades.

La nature lithologique des différentes formations du bassin versant de l’Oued Taza influence directement sur les phénomènes hydrologiques. Les deux tiers des terrains affleurants (calcaires, dolomies, etc.) favorisent l’infiltration des eaux pluviales et contribuent à la recharge de l’aquifère karstique (Gourari, 2001).

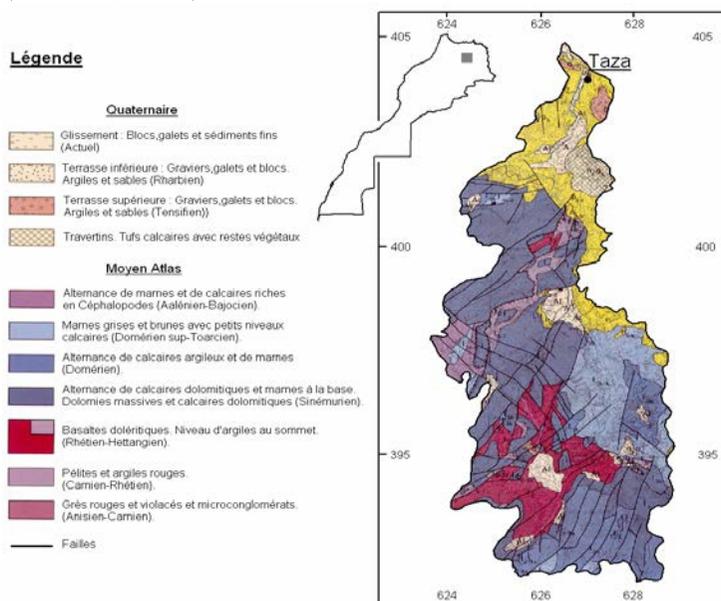


Figure 2. Carte géologique du bassin versant de l’Oued Taza (extrait de la carte géologique de Taza).

2.3 Climat

L’étude climatologique est le point de départ de toute étude hydrologique et hydrochimique. L’étude climatologique permet en effet de connaître les entrées d’eau dans le bassin hydrologique étudié. Elle permet également d’analyser le comportement de ces entrées face aux différents facteurs du milieu tels que le couvert végétal, la surface du sol, l’altitude, l’exposition, etc. Les différentes interactions entre le milieu physique et les précipitations doivent en effet être mises en évidence et quantifiées pour en tirer les informations nécessaires pour faire une bonne étude physico-chimique et biologique.

La carte des isohyètes montre que la pluviométrie devient de plus en plus importante en allant vers le Sud de la zone d’étude. En effet, le relief devient important vers le Sud où on peut observer les courbes des isohyètes dessinant des arcs et des cercles autour des reliefs.

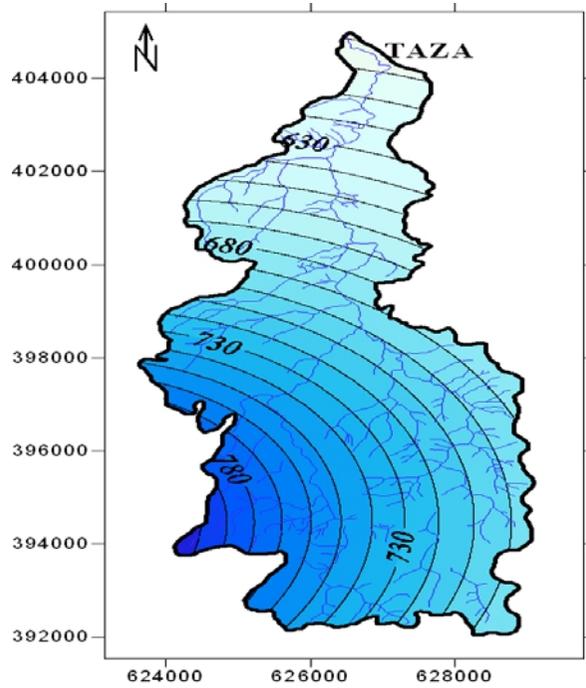


Figure 3. Carte des isohyètes du bassin versant de l’Oued Taza (Zemzami, 2008).

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer la période sèche et la période humide de l’année. Il définit la période humide comme étant celle où les précipitations mensuelles dépassent le double des températures mensuelles, tandis que la période sèche est celle où le double des températures mensuelles dépasse les précipitations mensuelles.

On observe que la période humide dure six mois et couvre la période d’octobre à avril.

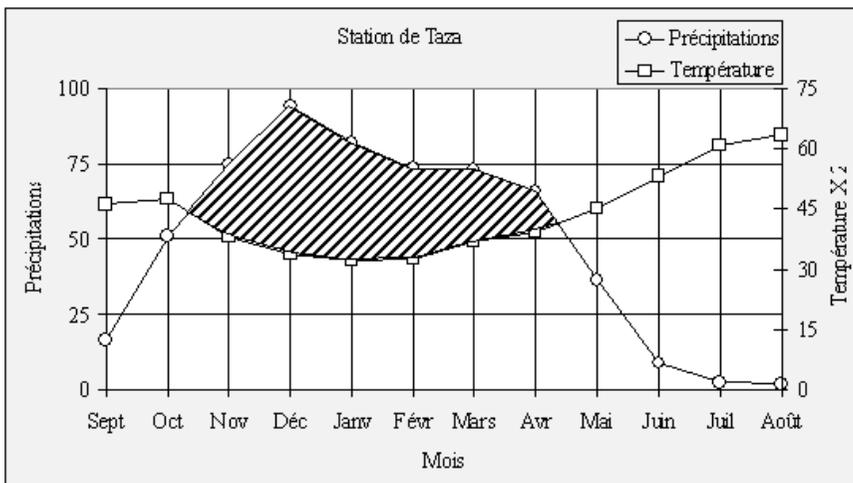


Figure 4. Diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Taza.

L'évapotranspiration est un élément essentiel du cycle hydrologique, son évaluation permet de mettre en regard les quantités de précipitations incidentes aussi bien à l'échelle des continents qu'à celle du bassin versant.

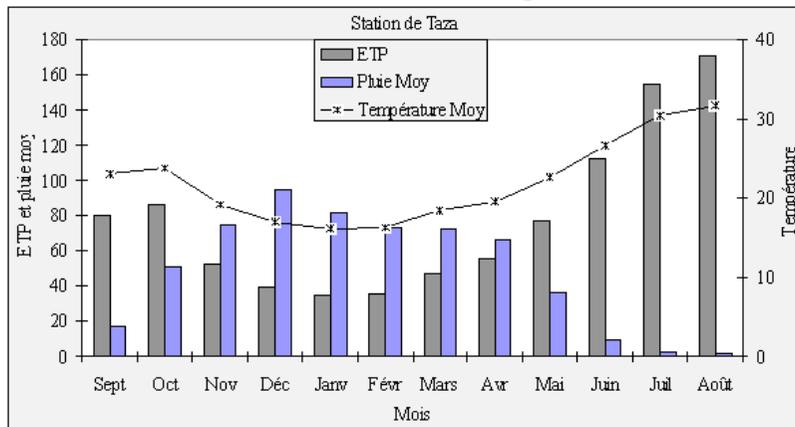


Figure 5. Variation de l'ETP, de la température et des précipitations dans la zone d'étude (Zemzami, 2008).

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculées par la formule de Thornthwaite à l'échelle mensuelle sont en générale supérieures à la lame d'eau précipitée, sauf pour les mois de novembre jusqu'au avril. L'ETP atteint son maximum pendant la période estivale (juin, juillet, août et septembre).

L'utilisation des différents paramètres hydro-climatiques calculés permet de fournir une base de données nécessaire pour le calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la méthode de Thornthwaite. Cette méthode prend en compte la notion de saturation du sol. En effet dans les zones arides à semi-arides, le sol est considéré saturé quand il absorbe une lame d'eau équivalente à des précipitations de 50 mm (Archambault, 1975). La réserve facilement utilisable (RFU) est défini comme étant la ressource en eau facilement utilisable et qui dépend de la saturation du sol et des précipitations. Le tableau et le graphe ci dessous illustrent les principaux résultats obtenus :

Tableau 1. Calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thornthwaite (Zemzami, 2008)

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Août
Température moy	23	24	19	17	16	16	18	20	23	27	30	32
ETP (mm)	81	86	52	40	35	36	47	55	77	113	155	171
Pluie moy (mm)	17	51	75	94	82	73	73	66	36	9	2	2
P-ETP (mm)	-64	-35	22	55	47	37	25	10	-41	-104	-152	-170
RFU (mm)	0	0	22	50	50	50	50	50	9	0	0	0
Excédent (mm)	0	0	0	27	47	37	25	10	0	0	0	0

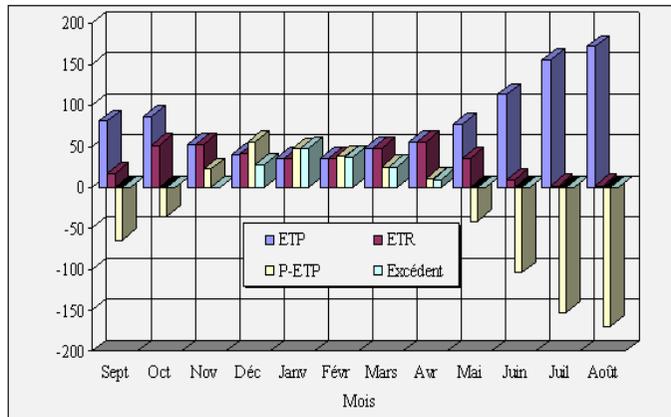


Figure 6. Variation mensuelle des différents termes du bilan hydrique de la zone d'étude (Zemzami, 2008)

L'étude climatique a été d'une grande importance, car elle a permis de caractériser le climat de la région de Taza avec ses variations spatio-temporelles. Le calcul du bilan hydrique du Bassin versant de l'Oued Taza a permis de maîtriser les entrées et les sorties du système hydrologique du bassin versant. Les résultats ainsi obtenus, vont constituer la plate forme sur laquelle se fondera l'étude hydrologique du bassin versant de l'Oued Taza.

2.4 Hydrogéologie

La région de Taza est dotée de ressources souterraines importantes malgré leur répartition inégale. Les calcaires et dolomites du Lias inférieur et moyen constituent un aquifère important dont les caractéristiques hydrodynamiques sont variables et dépendent étroitement de la tectonique et du degré de karstification. Les résurgences de ces aquifères participent à l'alimentation des cours d'eau et soutiennent les débits d'étiage, notamment la source de Ras El Mae qui alimente l'Oued Taza.

3. Situation des maladies hydriques à la ville de Taza.

Les eaux usées sont rejetées à l'état brut en différents points dans l'Oued Taza. Ces eaux sont réutilisées directement à l'état brut avant leur arrivée à l'Oued Inaouen, dans les terrains agricoles limitrophes à ces Oueds. L'impact d'une telle pratique sur la santé des populations et sur la qualité des eaux de surface ne peut être considéré que négatif, dont l'importance (étendue, durée et intensité) peut être évaluée à travers le développement des maladies hydriques et principalement le choléra, la typhoïde et l'hépatite C. D'ailleurs, la ville de Taza a déjà connu en 1994 une épidémie de choléra (Délégation Provinciale du Ministère de la Santé de Taza, 2012) mais aucun cas de choléra ni de Bilharziose n'a été déclaré entre 2008 et 2012 au niveau de la province de Taza. Néanmoins, et au cours de la même période, 56 cas

de typhoïde et 23 cas d'hépatite virale, ont été dépistés (Délégation Provinciale du Ministère de la Santé de Taza, 2012).

L'évolution épidémiologique des principales maladies hydriques, durant les cinq dernières années au niveau de la ville de Taza est représentée sur la figure 3. Il ressort de cette figure que les cas des principales maladies hydriques (typhoïdes et hépatite virale) au niveau de la ville de Taza ont connu une diminution durant les cinq dernières années avec respectivement une moyenne annuelle de 11 et 5 cas.

D'autres effets de l'utilisation des eaux usées se manifestent par:

- la dégradation de la qualité des eaux de surface par diminution d'oxygène (présence de matière organique) et entraînant la dégradation de l'écosystème aquatique ;
- la dégradation de la qualité des sols due à son appauvrissement en oxygène, colmatage des pores par les matières en suspension et augmentation de la salinité;
- le risque de contamination des ressources en eau locales exploitées, notamment la source Ain Nssa qui dépasse largement la norme marocaine (50 mg/l) de la pollution par les nitrates (150 mg/l) (El Haji et al., 2010);

4. Matériels Et méthodes

4.1 Analyses physico-chimiques

Le choix de l'étude de la qualité des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Taza vient de l'importance qu'elle présente pour l'alimentation en eau potable surtout les sources Ain Nessa et source Chouhada.

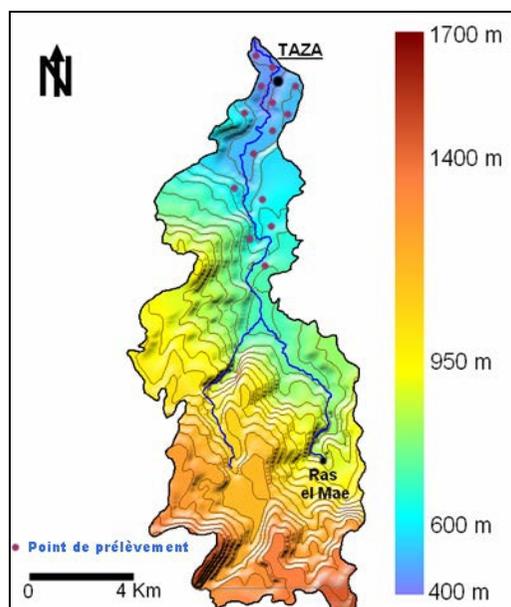


Figure 7. Localisation géographique des sites étudiés.

La fréquence d'échantillonnage adoptée durant la période d'étude (d'Avril 2012 à Octobre 2013) était d'un prélèvement par mois. Quinze paramètres ont été mesurés. Cinq de ces paramètres (ONEP, 2008) ont été mesuré in-situ : la température, la conductivité, le pH à l'aide d'un multi-paramètre analyser Type CONSORT – Modèle C535, la turbidité à l'aide d'un turbidimètre Type HACH-Modèle 2100P et l'oxygène dissous par la méthode de titrage de Winkler. Le prélèvement, le transport et la conservation des échantillons d'eau font référence au protocole et procédures défini par l' Office National de l'Eau Potable (ONEP) (ONEP, 2007). Les méthodes utilisées au sien du Laboratoire des Ressources Naturelles et Environnement de la Faculté Polydisciplinaire de Taza sont : la volumétrie pour les bicarbonates, les chlorures, le calcium et le magnésium ; la spectrophotométrie d'absorption moléculaire pour les sulfates, les nitrates, les nitrites, les ions ammoniums et les orthophosphates et la spectrophotométrie à flamme pour le sodium et le potassium. Le dosage des éléments traces (Cd, Co, Cu, Fe, Ni,..) a été effectué à l'aide de la spectrométrie d'Emission couplée à un plasma induit (ICP-AES) au laboratoire de CURI de Fès.

4.2 Analyses bactériologiques

Les prélèvements ont été effectués en prenant soin de ne pas contaminer ni modifier les échantillons dans des flacons stériles et transportés dans une glacière immédiatement au laboratoire où ils ont été conservés à 4°C jusqu'au moment de l'analyse bactériologique. L'analyse a été faite dans un délai maximum de 6 h après la collecte de l'échantillon.

L'étude des paramètres bactériologiques a porté sur la recherche et dénombrement des germes indicateurs de pollution, les coliformes, *Escherichia Coli* (*E. coli*), les entérocoques intestinaux (EI), la flore mésophile aérobie totale (FMAT), Spores de *Clostridium* anaérobies sulfite-réducteurs (SCASR), les staphylocoques et les pseudomonas. Pour les 7 germes recherchés, 6 répétitions ont été effectuées sur les 84 échantillons prélevés soit un total de 588 analyses.

Les prélèvements ont été effectués d'après la procédure de prélèvement et d'analyse de l'ONEP (ONEP, 2007 ; Abouzaid et Duchesne, 1984) avec une fréquence mensuelle. Le dénombrement des CF (Coliformes fécaux), CT (Coliformes totaux) et SF (Streptocoques fécaux) a été effectué selon la méthode indirecte de fermentation en tube multiple dans un bouillon lactosé. Le nombre a été ensuite déduit statistiquement suivant la méthode du nombre le plus probable (Rodier, 2009). La filtration est réalisée sur une rampe de filtration sous vide. L'isolement et le dénombrement ont été effectués en milieu solide.

5. Résultats et discussions

5.1 Paramètres physico-chimiques

Les résultats de cette étude sont exposés en discutant les paramètres mesurés, notamment les mesures effectuées in situ et celles effectués au laboratoire. Nous citerons les résultats moyens relatifs aux eaux analysées. En ce qui concerne la cartographie de certains paramètres, nous avons réalisé, à l'aide du logiciel Surfer pour localiser les zones de bonne qualité physico-chimique des eaux.

La carte des conductivités (Fig. 8) montre une importante variation allant d'amont « 675 μ s/cm » en aval « 1638 μ s/cm » pour les sources et montre la même chose pour le cours d'eau. Ainsi, la conductivité augmente de 673 μ s/cm à 1020 μ s/cm vers l'aval de la zone d'étude. Généralement, la conductivité électrique d'une solution dépend des substances dissoutes, de leurs concentrations et de la température de la solution. L'augmentation de ces valeurs, exprime une minéralisation importante des eaux qui sont dues soit aux facteurs naturels tels que les sels apportés par la pluie (climatique), le sol (pédologie), les zones non saturée et saturées (lithologiques) et d'autres facteurs comme les activités agricoles. Cependant, la nature des roches traversées par l'eau et les activités agricoles sont les plus probables à l'augmentation de ces valeurs.

De point de vue normalité, les valeurs obtenues sont conformes aux normes marocaines qui exigent une valeur maximale admissible de 2700 μ s/cm (Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine, 2006) pour les sources de notre bassin versant.

La température est un facteur physique important pour l'eau. Un changement de température s'accompagne généralement d'une modification au sens inverse des autres paramètres notamment la viscosité et la solubilité des gaz, en particulier de l'oxygène. La valeur la plus basse est 12.2°C et la valeur la plus élevée est 15.8°C dans notre bassin. Ces variations sont dues aux variations climatiques journalières et aussi à l'exposition au soleil de ces sources et leurs profondeurs. La température d'une eau potable devrait être inférieure à la température de l'air en été et supérieur à la température de l'air en hiver.

Le pH conditionne les équilibres physico-chimiques, surtout l'équilibre Calco-carbonique (l'action de l'eau vis à vis les carbonates). Sa variation est liée à celle de la salinité, de la température et de la concentration en CO₂.

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H⁺ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement neutre dans toutes les stations analysées Il est compris entre 6.40

(échantillon S3) et 7,00 (échantillon S1) (Fig. 9). Ceci est dû à la présence de carbonates qui permettent de tamponner les eaux qui s'infiltrent dans la couverture marno-dolomitique du Lias et calcaire.

La concentration en Ca^{2+} dans notre secteur d'étude (Fig. 10) varie faiblement entre 46.86 mg/l (Source Aghil) et 164.73 mg/l (Source Ain nssa). L'origine du Ca^{2+} peut parvenir de la dissolution des formations carbonatées selon la réaction suivante :



On remarque que les concentrations en Mg^{2+} varient au niveau de notre secteur d'étude (Fig. 11) entre 14.80 mg/l (Source Ain Aghil) et 47.04 mg/l (Source Ain Slaten), le magnésium peut provenir de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et du lessivage des évaporites.

Les valeurs du rapport $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ oscillent entre 0.18 et 0.38. Elles illustrent les proportions relatives de ces deux éléments chimiques en solution dans l'eau et expriment la nature lithologique de notre secteur d'étude (dolomie liasique).

Les variations des concentrations des eaux en calcium et en magnésium résulteraient du fait que :

- le calcium provient essentiellement de la dissolution des dolomieés par les eaux météoriques ;
- la concentration en calcium peut subir à l'inverse de celle du magnésium, dérivant en plus de l'érosion des sols et des altérités et demeurant en solution dans l'eau .

Les teneurs en bicarbonates varient au niveau de notre secteur d'étude, de 213.5 mg/l (source Ras Al Ma) à 347.7 mg/l (Source Ain Aghil). Les ions hydrogencarbonates proviennent essentiellement de la dissolution des roches carbonatées liasiques. Ils sont généralement solubles, et leurs concentrations varient entre 50 et 350 mg/l dans les eaux douces et pouvant atteindre 800 mg/l. Le léger développement de $[\text{HCO}_3^-]$ au niveau de la station B2 du cours d'eau de l'Oued Taza (176.9mg/l) est lié au développement des algues filamenteuses et par conséquence une augmentation de l'activités photosynthétique qui se manifeste dans l'eau par un intense dégagement des bulles d'air résultant d'un important dégagement d'oxygène.

La présence des sulfates dans les eaux souterraines peut être d'origine naturelle ou anthropique. En effet, la dissolution des roches sédimentaires formées de sulfate naturel hydraté de calcium peut accroître la concentration des SO_4^{2-} dans les eaux souterraines, d'autre part les activités agricoles qui se manifestent par l'utilisation des antiparasites notamment les pesticides, peuvent provoquer un enrichissement des eaux en sulfates.

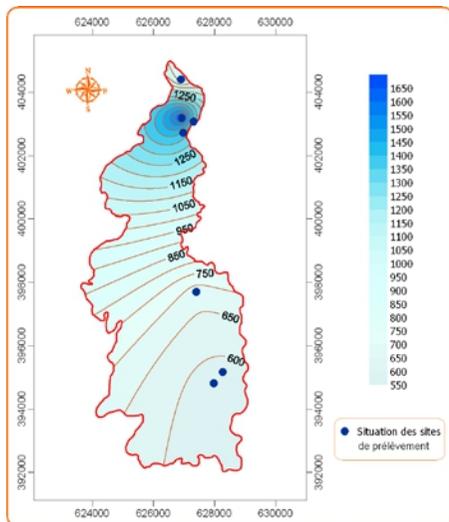


Figure 8. Répartition spatiale de la conductivité.

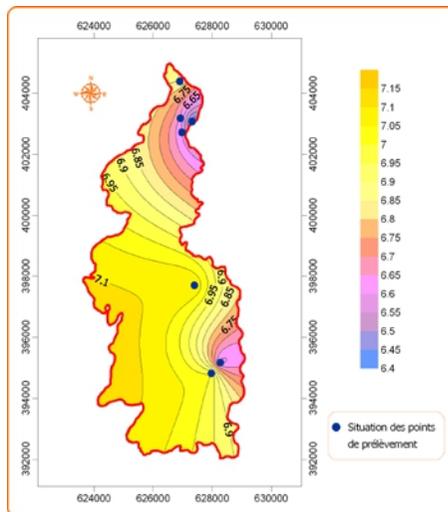


Figure 9. Répartition spatiale du pH.

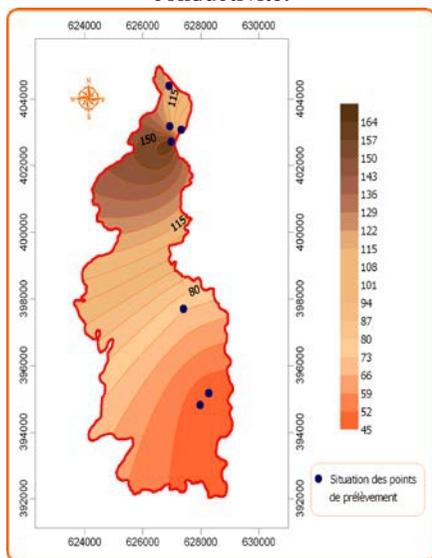


Figure 10. Répartition spatiale du Ca^{2+} (mg/l).

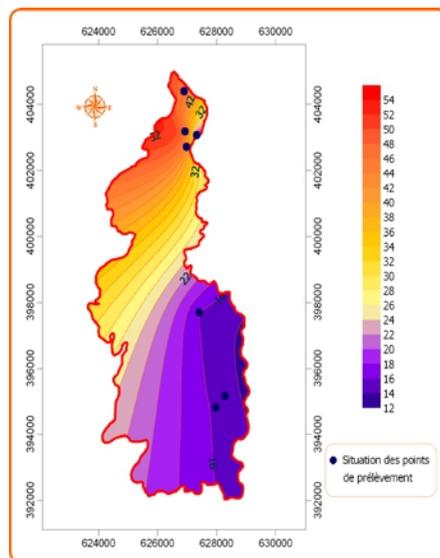


Figure 11. répartition spatiale de Mg^{2+} (mg/l).

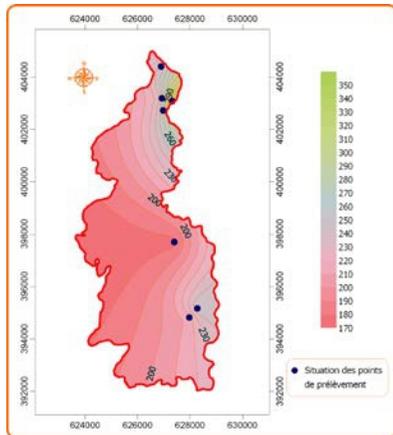


Figure 12. Répartition spatiale de HCO_3^- (mg/l).

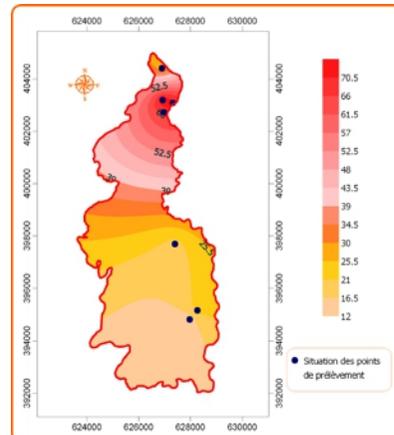


Figure 13. Répartition spatiale du SO_4^{2-} (mg/l).

Les concentrations en SO_4^{2-} varient au niveau de notre secteur d'étude (Fig. 13) entre 13.923 mg /l (Source Ras El Ma) et 73.657 mg/l (Source Ain Slaten). L'excès des sulfates dans ce point d'eau est en relation avec la contamination agricole qui l'affecte. Vu le nombre restreint de point d'eau analysé (7 échantillons), on ne peut pas se prononcer sur l'origine de la minéralisation. Néanmoins on peut évoquer certaines hypothèses pouvant expliquer la variation des sulfates qui proviennent fondamentalement de:

- la dissolution des sels évaporitiques (gypse, anhydrite, etc.);
- l'origine marine du terrain (calcaires et dolomies marins);
- l'oxydation des sulfures des roches ignée, métamorphiques ou sédimentaires ;
- activités agricoles.

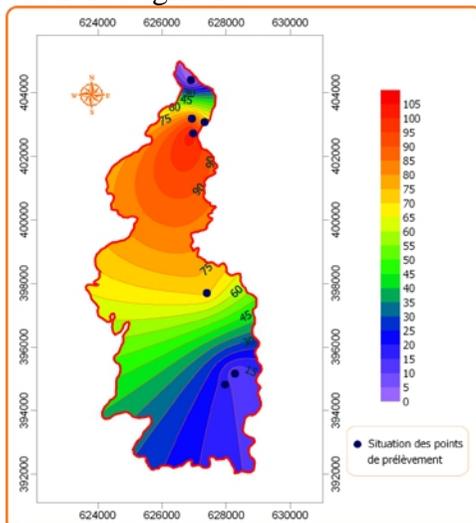


Figure 14. Répartition spatiale du Cl^- (mg/l)

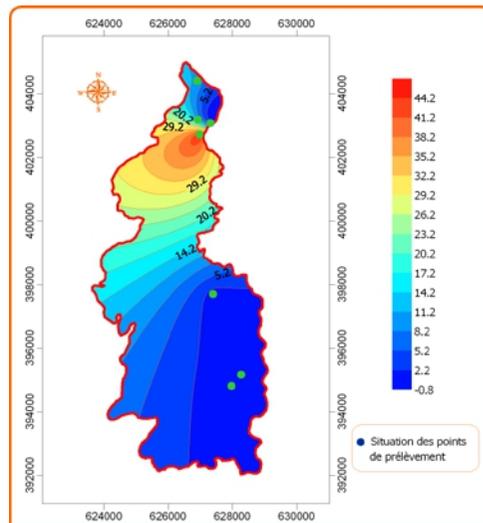


Figure 15. Répartition spatiale du K^+ (mg/l).

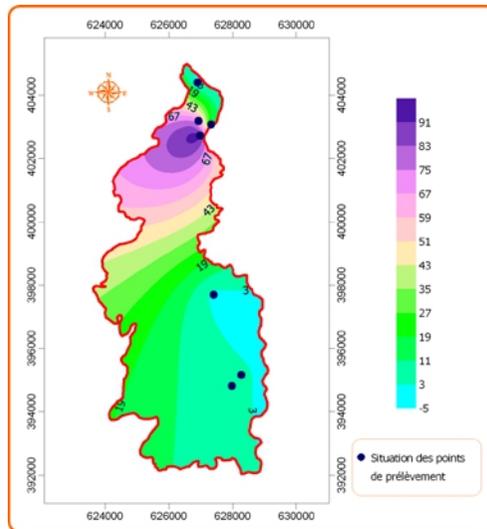


Figure 16. Répartition spatiale des NO_3^- (mg/l).

Les concentrations en Cl^- varient au niveau de notre secteur d'étude (Fig. 14) entre 10.65 mg/l (Source Ain Aghil) et 102.95 mg/l Source Ain Nssa).

Les concentrations en Na^+ oscillent dans la région d'étude (Fig. 15) entre 0.99 mg/l (Source Ras El Ma) et 95.40 mg/l (Source Ain Nssa). Les deux éléments chimiques sodium et chlorure dans les eaux naturelles, proviennent souvent de la désolation de l'halite (Na Cl) selon la réaction suivante :



Si on fait une synthèse des 3 paramètres de la conductivité et des paramètres (Na^+ et Cl^-), on note que ces 3 éléments ont la même évolution dans la région d'étude. La bonne corrélation conductivité, Na^+ et Cl^- montre que la minéralisation de la nappe est commandée principalement par Na^+ et le Cl^- . L'origine de ces éléments peut provenir de la dissolution des formations triasiques déjà citées en géologie.

Les concentrations en K^+ varient dans notre secteur d'étude (Fig.16) entre 0,20mg/l (Source Ras El Ma) et 44.92mg /l (Source Ain Nssa). Les valeurs de K^+ montrent généralement les mêmes évolutions que celle de Na^+ , Cl^- et de la conductivité. Cela confirme que ces quatre éléments chimiques ont la même origine.

L'essentiel des nitrates peut provenir de la nitrification du sol, de la décomposition de la matière organique (oxydation) soit en grande quantité à partir des fertilisants agricoles azotés ou bien en petite proportion à partir des minéraux azotés. Il s'agit d'un ion relativement stable, très soluble dans l'eau, qui dans un milieu réducteur peut passer en nitrites ou en ammonium.

Au niveau de notre secteur d'étude les teneurs en nitrates (Fig. 16) fluctuent entre 4.34 mg/l à la source Aghil et 93.63 mg/l à la source Ain Nssa. Les résultats des analyses montrent que dans la majorité du bassin versant de l'Oued Taza, les teneurs en nitrates sont aux dessous de la norme marocaine de potabilité des eaux (50 mg/l) à l'exception des deux sources les plus exploitées par la population pour l'alimentation en eau potable (source Chouhada et surtout source Ain Nssa). Les valeurs dans ces deux sources dépassent deux fois la norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine (Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine, 2006). Cet élément azoté a des risque à moyen terme tels que la méthémoglobinémie infantile ou l'asphyxie du nourrisson.

On retiendra finalement de fortes concentrations en nitrite des sources (Chouhada et Ain Nssa) dues selon la géologie de la zone à la contribution des eaux de crues qui lessivent les formations triasiques à évaporites. D'après l'enquête sanitaire, ces sources se trouvent au centre de la population (activité de lavage des véhicules, utilisation des détergents, etc). Historiquement, le périmètre rapproché des sources été caractérisé par la présence d'un cimetière. de plus, ces valeurs élevés sont aussi probablement dues à une activité anthropique (rejet d'eaux usées).

Les valeurs en ammonium oscillent entre 0.0409 mg/l et 0.8mg/l. La présence d'ammonium dans les eaux souterraines résulte d'une contamination de surface liée essentiellement aux rejets d'effluents domestiques et/ou aux industries.

En conclusion les concentrations en ammonium des cinq sources sont faibles, et ne dépassent pas les normes marocaines pour les eaux potables 0.5 mg/l comme valeur maximale admissible (Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine, 2006).

5.2 Faciès chimiques

Le faciès chimiques des eaux est intimement lié à la nature des terrains traversés lors du transit de ces eaux ainsi qu'à la nature du sol. Les deux graphiques, Scholler Berkalf et Piper, sont des représentations qui permettent de caractériser ces faciès chimiques. Ils permettent de faire une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement les eaux, de suivre leur évolution, ou de les comparer à d'autres eaux minérales de composition physico-chimique voisine.

DIAGRAMME DE SCHOELLER BERKALOFF

Le renvoi des résultats de nos analyses sur le diagramme de Scholler Berkalf permet de comparer la composition chimique des solutions provenant de différentes origines. Sur ce dernier (Fig. 17), les courbes ont la même allure et montrent deux pics bien accusés : le première correspond au calcium et le second, beaucoup plus exprimé, aux bicarbonates.

Il permet de mettre en évidence un seul type de faciès chimique : Bicarbonaté calcique. Néanmoins au sein de ce même faciès la source Ain Nssa, présente des teneurs relativement élevées en Nitrate, Sodium et Potassium.

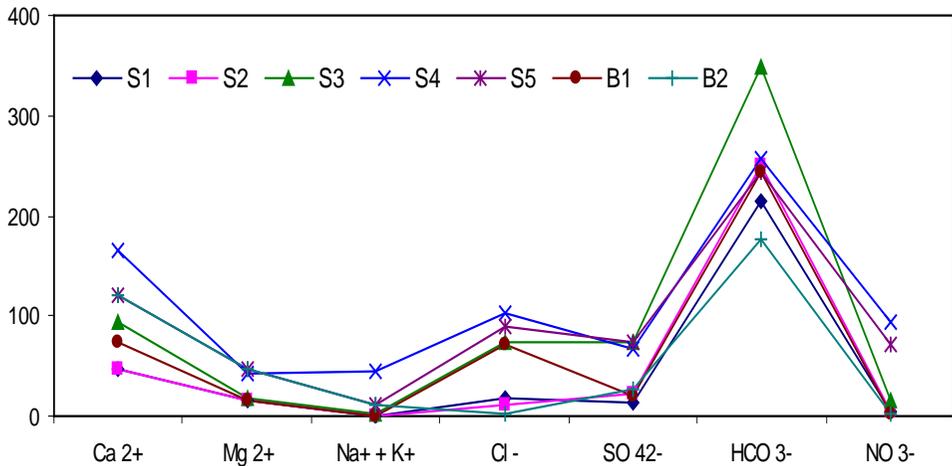


Figure 17. Diagramme de Schoeller pour les échantillons du domaine d'étude.

Selon la classification de Schoeller, le tableau 2 montre la dominance de certains éléments pour chaque source et permet de distinguer entre deux ensembles:

- des eaux bicarbonatées calciques (S1, S2, S3, S5, B1, B2);
- des eaux mixtes à tendance calcique (Source Ain Nssa).

Tableau 2. Dominance des éléments chimiques selon la classification de Schoeller Berkalooff.

Sources	Dominance chimique
Source Ras El Ma	$HCO_3^- \rangle Ca^{2+} \rangle Mg^{2+} \rangle Cl^- \rangle SO_4^{2-} \rangle NO_3^-$
Source Aghil	$HCO_3^- \rangle Ca^{2+} \rangle Cl^- \rangle SO_4^{2-} \rangle NO_3^- \rangle Mg^{2+}$
B1_ Douer Arwa	$HCO_3^- \rangle Ca^{2+} \rangle Cl^- \rangle SO_4^{2-} \rangle Mg^{2+} \rangle NO_3^-$
Source Chouhada	$HCO_3^- \rangle Ca^{2+} \rangle Cl^- \rangle SO_4^{2-} \rangle NO_3^- \rangle Mg^{2+}$
Source Ain Nssa	$HCO_3^- \rangle Ca^{2+} \rangle Cl^- \rangle NO_3^- \rangle Na^+ \rangle SO_4^{2-} \rangle K^+$
Source Ain Slaten	$HCO_3^- \rangle Ca^{2+} \rangle Cl^- \rangle Na^+ \rangle NO_3^- \rangle SO_4^{2-} \rangle Mg^{2+} \rangle K^+$
B2_Rout Alwahda	$HCO_3^- \rangle Ca^{2+} \rangle Mg^{2+} \rangle SO_4^{2-}$

1.1 DIAGRAMME DE PIPER

Les analyses exprimées en mg/l des eaux souterraines ont été reportées sur les diagrammes de Piper (Fig. 18). Ceux-ci représentent la part

respective exprimée en pourcentage d'éléments majeurs contenus dans l'eau. Chaque point du diagramme est représentatif d'une source. Dans ce diagramme, on remarque que dans le triangle des cations, 7 points s'approchent du pôle calcique magnésien, alors que sur le plan des anions ils tendent vers le pôle des bicarbonates chloriques.

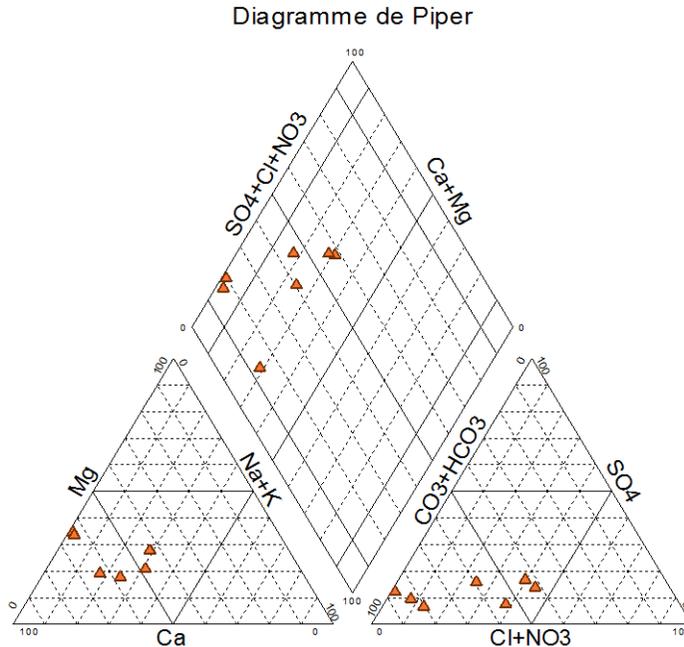


Figure 18. Diagramme de Piper pour les échantillons du secteur d'étude.

Les métaux lourds dosés ont montré une pollution métallique des eaux souterraines par rapport à la norme marocaine de potabilité (NM 03.7.001). Selon les résultats obtenus la concentration en plomb est de 0,02 mg/l dans les points (P1, P3, et S3), celle du fer est de 0,875mg/l et celle de l'aluminium est de 0,558 mg/l dans les sources S3 et S2. Ceci témoigne du lessivage des sols cultivés par les eaux usées et la percolation de cette dernière et aussi des lixiviats à travers les couches en fonction de leur degré de perméabilité.

5.3 Paramètres bactériologiques

Au cours de ce travail, une analyse statistique (ACP) a été réalisée sur des variables centrées réduites à l'aide du logiciel Matlab. Les données portent sur l'ensemble de quatorze sources de la ville de Taza. Sept variables ont été traitées, à savoir les Coliformes, E.coli, entérocoques intestinaux (EI), flore mésophile aérobie totale (FMAT), spores de Clostridium anaérobies sulfite-réducteurs (SCASR), staphylocoques (STAPH) et pseudomonas aeruginosa (PA).

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'étude globale des eaux des sources permet une différenciation sur leurs particularités microbiologiques, une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles de pollution.

L'analyse de cette matrice de corrélation montre qu'il s'est établi une bonne corrélation entre :

- Coliformes, E.coli, FMAT, SCASR et STAPH
- EI et STAPH

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 89,68 % de la variance totale soit exprimées (on a donc une bonne qualité de représentation). L'axe F1 permet d'expliquer 72,96% de la variance totale et l'axe F2 permet d'expliquer 16,72% de la variance totale (Figure 19). L'analyse en Composantes principales réalisée sur une matrice de données composées de quatorze lignes représentant les sources étudiées et les sept colonnes représentant les paramètres bactériologiques étudiés.

La Flore mésophile aérobie totale, Coliformes, Escherichia coli (E.coli), staphylocoques(STAPH) et spores de colostiridium Anaérobies sulfite-réducteurs sont corrélés positivement avec l'axe F1 qui cumule 72,96 % de l'inertie et les enterocoques intestinaux (EI) et pseudomonas aeruginosa (PA) sont corrélés positivement avec l'axe F2 qui cumule 16,72% de l'inertie. La projection des individus sur le plan factoriel F1 et F2 a permis de distinguer 4 groupes différents (Fig. 19) :

- groupe 1: rassemble la source S14, qui présente des eaux très polluées et de mauvaise qualité en germe indicateurs de pollution bactériologique;
- groupe 2: il ne contient que la source S6 qui présente une eau plus contaminée par pseudomonas aeruginosa (PA) en comparaison avec les autres sources.
- groupe 3: il ne contient que la station S1, qui présente également une eau polluée, mais relativement plus contaminé avec les Entérocoques intestinaux (EI) par comparaison avec les autres sources
- groupe 4: il réunit les sources S2-S5, S7 -S13 et présentent des eaux de sources moins polluées en germes indicateurs de pollution bactériologique.

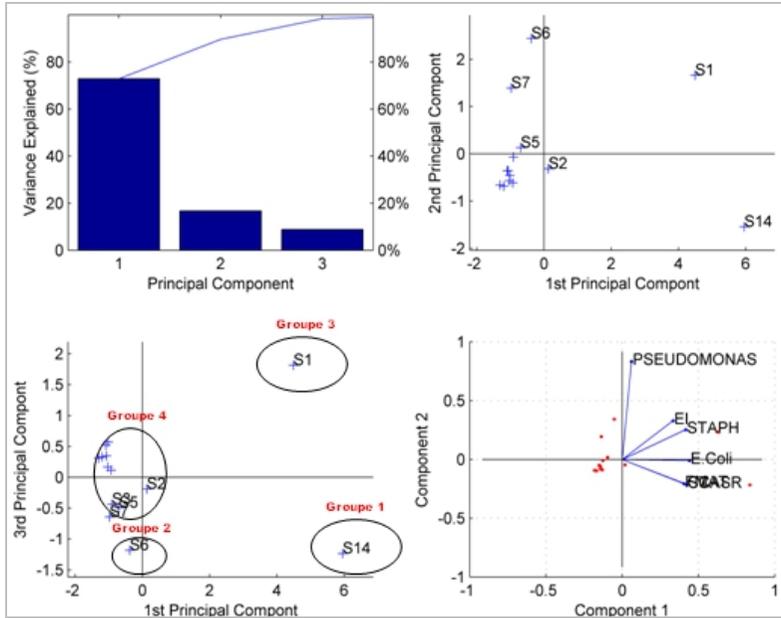


Figure 19. Projection des variables et représentation des sources sur le plan factoriel F1 et F2

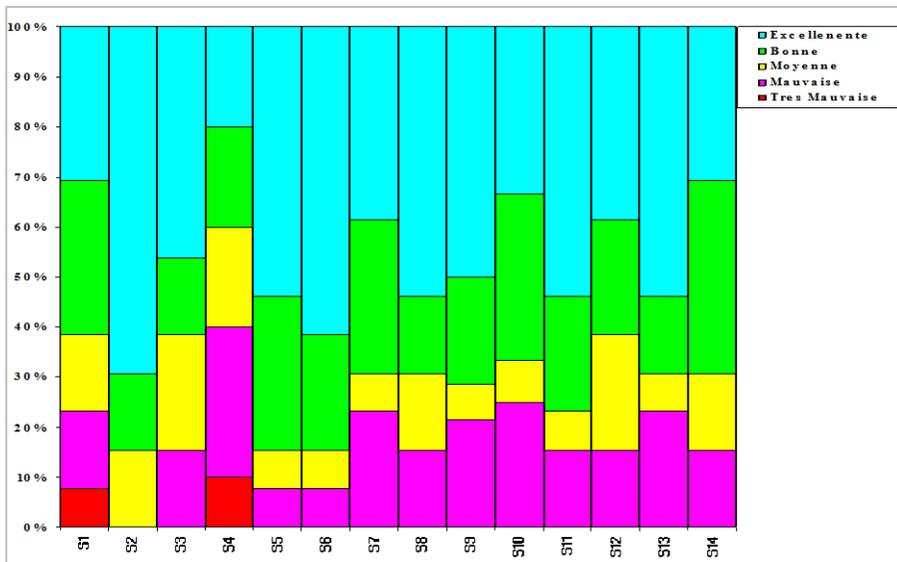


Figure 20: Qualité détaillée des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Taza.

6. Conclusion

La vallée de l'Oued, Taza traversant la ville de Taza, se place dans les zones à perspective d'urbanisation. Elle se caractérise par l'importance de ses terres exploitées d'une manière irrationnelle alors qu'elle est dotée de grandes potentialités urbanistiques et environnementales. Ce travail a abouti aux résultats suivants :

L'origine des éléments chimiques, leurs comportements ainsi que leurs modes d'acquisition ont montré deux faciès chimiques à savoir, faciès bicarbonaté calcique dominant sur la totalité du bassin versant et un deuxième mixte tendant vers le bicarbonaté calcique très localisé (source Chouhada et Ain Nssa).

L'impact des eaux usées sur la qualité des eaux souterraines ; les eaux s'écoulent et s'infiltrent par les fissures. Les rejets reposent sur une plaine alluviale qui facilite la percolation des lixiviats et des eaux usées, causant une pollution en profondeur des eaux souterraines. Les teneurs obtenues particulièrement en oxygène dissous, NO_3^- , NH_4^+ , Al^{3+} , Fe, Pb, restent supérieures aux normes marocaines de potabilité et indiquent l'importance des pollutions organiques et métalliques décrites précédemment. La présence de germes dans les eaux souterraines confirme cet état de pollution.

Enfin, les résultats obtenus à partir de cette étude aideront les décideurs à mieux se prononcer sur la gestion et la planification des ressources en eau dans ce bassin par le traitement des rejets liquides et l'implantation d'une décharge contrôlée des déchets ménagers afin de pallier les risques de pollution des eaux superficielles de la ville Taza. Ces aménagements vont aider à préserver la qualité des eaux du barrage Idriss 1^{er} et les eaux souterraines qui est la source la plus importante pour l'alimentation en eau potable dans la région de Taza.

Références:

- Amraoui F, (2005) Contribution à la connaissance des aquifères karstiques : cas du lias de la plaine du saïs et du causse moyen atlasique tabulaire (Maroc). Fac. Sci. Univ. Hassan II ain chock. Casablanca. 249p.
- Archambault C., Combe M., Michard J.P, (1975), Le plateau des phosphates. Notes et mém. Serv. Géol. Maroc, n°231, pp : 229-259.
- Bouchaou L, (1995), Fonctionnement des aquifères atlasiques et leur relation avec les aquifères de la plaine : cas de l'Atlas de Beni Mellal et de la plaine de Tadla (Maroc). Th. Doct. Etat. Univ.Agadir. p.
- Boukhari K., Er-Rouane S., & Gouzrou A, (2005), Apports des analyses physicochimiques et biologiques à la Connaissance de la qualité des eaux de la plaine de Mejjate (Haouz Occidental, Maroc) 3ème Journées Internationale des Géosciences de l'Environnement.
- Délégation Provinciale du Ministère de la Santé de Taza (2012).
- El Achheb A, (1993), Etude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine des Doukkala (Maroc occidental) D.E.S Thèse de 3ème cycle, Fac. Sci, El Jadida, 171 p.
- El Achheb A., Mania J. Et Mudry J, (2001), Processus de salinisation des eaux souterraines dans le bassin Sahel-Doukkala (Maroc occidental). First

International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers - Monitoring, Modeling, and Management Essaouira, Morocco.

M. El Haji M, S. Boutaleb, R. Laamarti and L. Laarej, (2010), Surface and Groundwater Pollution of the Area of Taza, Morocco. Integrated Water Resources Management and Challenges of the Sustainable Development Second International Conference Agadir, 24–26 March 2010 (Proceedings). P 404-412.

M. El Haji M, S. Boutaleb, R. Laamarti Et L. Laarej, (2012) Qualité des eaux de surface et souterraine de la région Taza : Bilan et situation des eaux. Afrique SCIENCE 08(1) (2012) 67 - 78.

GoloOLO G, (1961) Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen Atlas septentrional.

Gourari L, (2001), Etudes hydrochimiques, Hydrologique, Litho stratigraphiques, sédimentologiques et pétrographiques des dépôts travertino-détritique et paléo quaternaire du bassin karstique de l'Oued Aggai (cause de Sefrou), Thèse de Doctorat d'Etat, Univ .Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fac. Sci.Fès, Maroc.393p.

Hsissou, Y., Chauve P., Mania, J., Mangin A., Bakalowicz M., & Gaiz A, (1996) Caractérisation des eaux de l'aquifère Turonien du bassin du Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires sr^{2+}/ca^{2+} . Journal of Hydrology, volume 183, issues 3-4, pages 445,451.

Khoulaïd F., Younsi A., Mehdi K. & Veron A, (2005) Etude de l'impact des lixiviatés sur les eaux souterraines (décharge publique d'El Jadida, Maroc) : hydrogéologie, géo-électrique, hydrochimie et isotopes. 3ème journées internationale des géosciences de l'environnement. El Jadida.

Lyakhloufi S, (2001), Vulnérabilité et risque de pollution de la nappe phréatique du Haouz De Marrakech. 185p. Université Chouaïb Doukkali - Faculté des Sciences El Jadida.

NM 03.7.001, (2006) : Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine. Bulletin Officiel N° 5404

ONEP, (2008), Modes opératoires normalisés. (2008) Direction contrôle qualité des eaux.

ONEP, (2007), Procédure de prélèvement des eaux naturelles, traitées et usées. (2007) Direction contrôle qualité des eaux.

Rodier J. (2009), L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9ème édition, Paris, Dunod, 1475 p.

Vidal J. CL., (1971), Texte manuscrit sur la géologie du couloir sud- rifain entre Fès et Taza.

Zemzami M. (2008), Climatologie, Hydrologie, Modélisation Hydraulique et Aménagement de la vallée de L'Oued Taza. Mémoire de Master