



## **DETERMINATION DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DES NAPPES DE LA PROVINCE DE TAZA (MAROC)**

**BEN ABBOU M.**<sup>1,2</sup>, **EI HAJI M.**<sup>2</sup>, **ZEMZAMI M.**<sup>3</sup>,  
**FADIL F.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Molécules Bioactives : Structure et Fonction, Faculté des Sciences et Techniques Fès 30000, Maroc,

<sup>2</sup>Laboratoire de Biotechnologie et valorisation des ressources naturelles, Faculté Polydisciplinaire de Taza, Boîte Postale 1223 Taza Gare, Maroc.

<sup>3</sup>Laboratoire de Géorressources et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques Fès 30000, Maroc.

benabbou.md@gmail.com

### **RESUME**

La disponibilité des eaux souterraines en qualité acceptable est devenue un défi difficile à relever dans de nombreuses régions du monde mais plus particulièrement dans la notre à cause de la sévérité du climat et de la pollution (domestique, industrielle, agricole), ce qui fragilise et rend ces eaux vulnérables aux différents facteurs de contamination.

L'objectif principal de ce travail est de déterminer l'état de la qualité et l'élaboration des cartes de synthèse des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Inaouen, en se basant essentiellement sur l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux souterraines. Les analyses ont été effectuées sur 54 points de prélèvement bien réparti au niveau des nappes du bassin versant de l'Oued Inaouen selon des méthodes normalisées.

Les résultats ont montré qu'il y a une dégradation importante par la concentration en nitrate, chlorures et quelques métaux lourds par rapport aux normes de qualité en vigueur. Les résultats des analyses bactériologiques mettent en évidence l'existence d'une pollution organique, due à la présence de certains germes pathogènes.

**Mots clés:** Qualité des eaux, bactériologie, carte de synthèse, physico-chimie, Oued Inaouen.

## ABSTRACT

The availability of groundwater with an acceptable quality has become a difficult challenge in many parts of the world but especially in ours because of the climate severity and pollution (domestic, industrial, agricultural), which weakens and makes them vulnerable to many contamination factors.

The main objective of this work is to determine the status of water quality and make a synthesis map of Inaouen groundwater catchment's based mainly on the study of physico-chemical and bacteriological groundwater parameters. Analyzes were performed on 54 sampling points well distributed in the watershed of Oued Inaouen according to standard methods.

The results shown that there is a significant deterioration concerning the concentration of nitrate, chloride and some heavy metals in relation to water quality standards. The results of bacteriological analyzes reveal the existence of organic pollution due to the presence of certain pathogens.

**Keywords:** Water quality, bacteriology, synthesis map, physico-chemistry, Inaouen watershed.

## INTRODUCTION

Au Maroc les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du pays ABHS (2007). Les nappes dans la Province de Taza sont les principales sources de satisfaction de la demande en eau, tel que les centres urbains avec un traitement simple de chloration (Oued Amlil, Tahla, Matmata, Zerardda, Ait Sghrouchene...) et les centres ruraux sans aucun traitement préalable (comme Ghiata Gharbia, Bouhlou, Ait Amir, ...), du fait de leur exploitation relativement facile. Cette région a connu durant ces dernières décennies la modernisation de l'agriculture et la croissance démographique qui ont entraîné un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée. Cette dégradation en plus de la raréfaction, limite les possibilités de production d'une eau de bonne qualité (Cherry, 1987 ; UNESCO, 1986). La pollution contribue à la réduction du bilan global des ressources hydriques et engendre un risque pour la santé humaine surtout lorsqu'il s'agit de la consommation des eaux souterraines (sources, puits) non protégés, conjuguée à l'insuffisance plutôt à l'absence des ouvrages d'assainissement et la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène dans le milieu rural ce qui le cas de ces nappes où la majorité de la population s'approvisionne directement de l'aquifère, les cours d'eau de la région étudiée

reçoivent en permanence des rejets liquides (les eaux usées domestiques et industriels et en particulier les margines), et solides (les décharges publiques) chargés d'éléments chimique et organique, souvent toxiques, ces substances polluantes peuvent affecter de façon dangereuses la santé publique, si elles continuent à être déversées dans la nature sans aucun traitement préalable (El Haji et al., 2010) Comme toutes les régions du Maroc, la région d'étude est équipée d'installations produisant de l'eau potable. Mais celles-ci n'approvisionnent pas tous les quartiers et les douars de la région notamment ceux en milieu périurbain et le mètre cube d'eau devient cher en raison des conditions de distribution. C'est ainsi qu'une partie de la population en milieu périphérique ou même urbain utilise l'eau de puits, comme eau de boisson et/ou pour des activités domestiques, sans se préoccuper de la qualité de celle-ci. Vu son importance régionale comme ressource potentielle pour l'alimentation en eau de boisson des centres avoisinants de la ville de Taza et pour le développement agricole dans cette région préalable (El Haji et al., 2010) une étude hydrochimique et microbiologique s'avère utile et nécessaire pour déterminer l'état de la qualité des eaux et détecter les zones de contamination qui influence de façon négative la qualité d'eau de ces nappes.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Zone d'étude**

La Province de Taza, appartient à la région nord orientale du Maroc, est caractérisée par un climat de type subhumide (Ministre de l'aménagement des territoires de l'eau et de l'environnement, Avril 2005). Le régime des pluies dans la zone d'étude se caractérise par deux saisons bien distinctes et très contrastées, une saison pluvieuse s'étalant pratiquement sur 8 mois d'Octobre en Mai, avec une pluviométrie moyenne voisine de 580 mm (les zones montagneuses sont beaucoup plus arrosées : jusqu'à 1500 mm) et une saison sèche de Juin à Septembre où la moyenne des températures maximales approche les 35°C. Sur le plan morphologique, la région de Taza est située en majorité entre deux bassins hydrologiques (SDACG, 1994): le bassin de la Moulouya à l'est et le bassin de Sebou à l'ouest et sur le plan hydrographique, la ville de Taza est sillonnée par un réseau hydrographique dense formé essentiellement par un cours d'eau principal (oued Larbâa) et ses affluents (oued Taza, oued Dfali, oued Laghouireg et oued Jaouna). D'un point de vue hydrogéologique, On distingue deux types de nappes à Taza (Ministre de l'aménagement des territoires de l'eau et de l'environnement, Avril 2005): Une nappe profonde, constituée de calcaires et une nappe phréatique qui donne naissance à plusieurs sources dans la ville de Taza. Le réseau d'assainissement dans la Province est de type unitaire. Il reçoit dans les mêmes canalisations les eaux usées et les

eaux pluviales qui sont rejetées dans le milieu naturel sans aucun traitement (Figure 1).

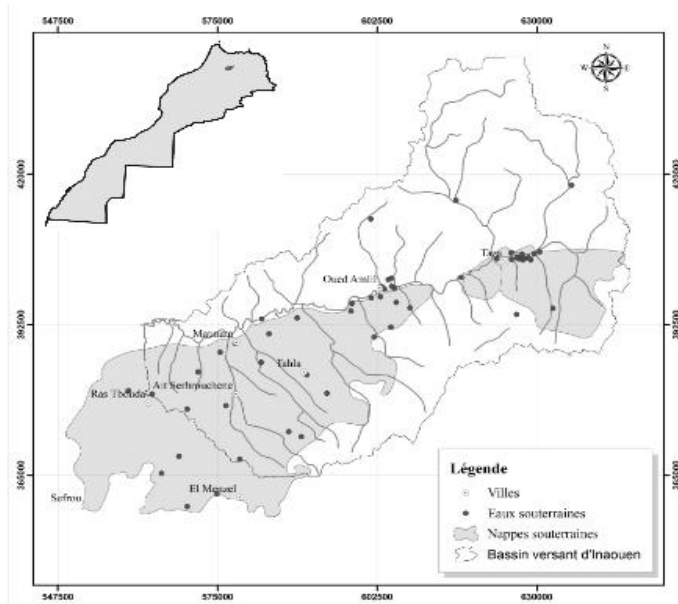


Figure 1 : Carte des points d'échantillonnage

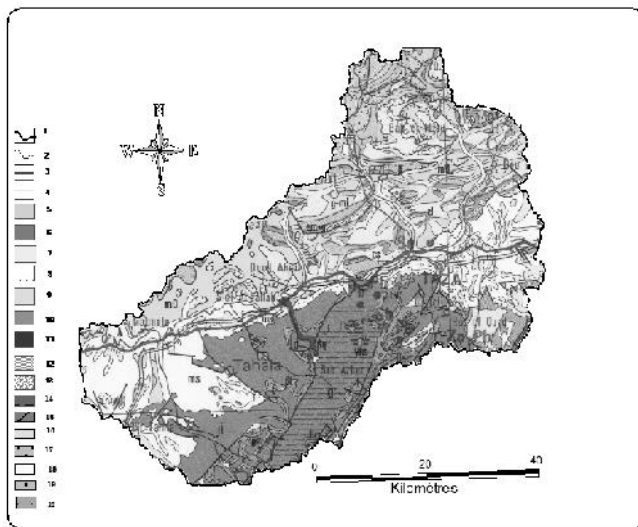


Figure 2: Carte géologique du bassin versant de l'Oued Inaouen

## **PROTOCOLE EXPERIMENTAL**

### **Analyses physico-chimiques**

La fréquence d'échantillonnage adoptée durant la période d'étude (de Mai à Octobre 2011 et 2012) est d'un prélèvement par mois. Quinze paramètres sont analysés, cinq de ces paramètres (ONEP, Janvier 2008) sont mesurés sur le terrain : 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. Les méthodes utilisées au sein de Laboratoire Biotechnologie et Valorisation des Ressources Naturelles 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 (Rodier, 2009), (Abouzaid et Duchesne, 1984); la spectrophotométrie à flamme pour le sodium et le potassium. Le dosage des éléments-traces (Cd, Co, Cu, Fe, Ni,...) est effectué à l'aide de la spectrométrie d'Emission couplée à un plasma induit (ICP-AES) au laboratoire de CURI de Fès.

### **Analyse bactériologique**

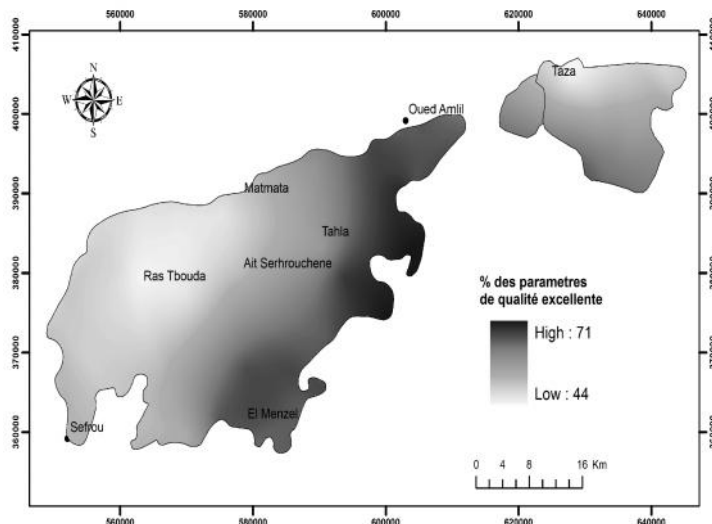
L'étude des paramètres bactériologiques a porté sur la quantification des paramètres d'origine fécale: coliformes fécaux (CF), coliformes totaux (CT) et streptocoques fécaux (SF). Les prélèvements ont été effectués d'après la procédure de prélèvement et d'analyse de l'ONEP (2007), avec une fréquence mensuelle. Le dénombrement des CF, CT et SF 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).

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

Les résultats de cette étude sont exposés en discutant les valeurs moyennes relatives aux paramètres mesurés pendant la période d'étude, notamment les mesures effectuées in situ et celles effectuées au laboratoire.

Les résultats de l'analyse physico-chimique des teneurs moyennes des principaux paramètres et indicateur de pollution présentés dans ce travail, ont montré que le pH, la Température, la matière organique et les sulfates peuvent

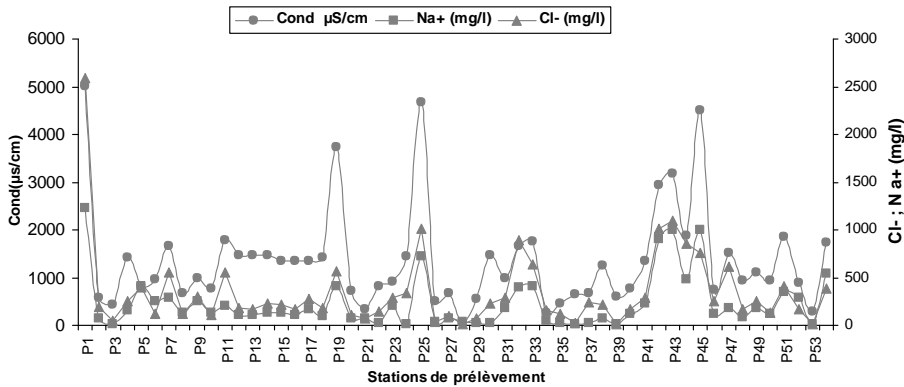
être considérés comme admissibles et ne présentent aucune incidence sur la qualité des eaux de nappes. Ainsi, les valeurs moyennes de la Température (20,9°C), du pH (7,21), la matière organique (2,37 mg/l) et les sulfates (101.53mg/l) sont compatibles avec la norme Marocaine de potabilité 03-7-001. L'analyse des cartes de synthèse montre une grande variation latérale et spatiale de la qualité des eaux souterraines étudiées dans le bassin versant.



**Figure 3 :** Carte de l'état de la qualité des eaux souterraines du bassin Versant de l'Oued Inaouen

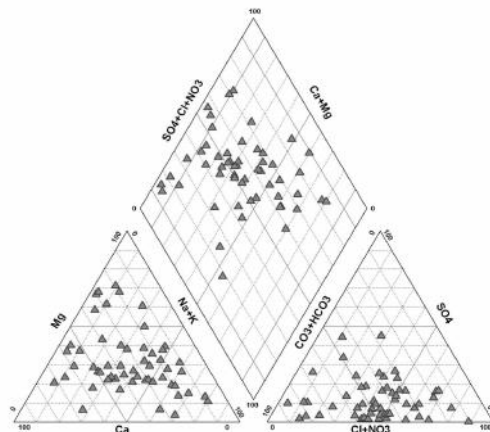
La carte (Figure 3) illustre une importante variabilité des paramètres d'évaluation des eaux souterraines avec une localisation des eaux d'excellente qualité à la rive gauche du bassin qui draine les formations carbonatées liasique du Moyen Atlas. L'eau de cette rive sort des gros blocs de rochers avec un fond qui est constitué de gravier grossier, loin des apports d'activité humaine.

On note dans cette étude que les paramètres de la conductivité électrique, les chlorures (Cl<sup>-</sup>) et les sodiums (Na<sup>+</sup>) évoluent parallèlement. En effet, on observe une large variation de la composition chimique des eaux, entre une moyenne minimale de 59,20µs/cm, 7,14 mg/l et 10,65 mg/l et une moyenne maximale de 5010 µs/cm, 1230,95 mg/l et 2584,40 mg/l. Cette minéralisation permet de localiser les zones à eau douce qui coincident avec des point d'eaux souterrains échantillonnés dans la rive gauche du bassin de l'Oued Inaouen et qui drainent les formations carbonatées liasique du Moyen Atlas avec une conductivité moyenne minimale de 59,20µs/cm, et les zones à eau minéralisée provenant de la rive droite du bassin avec une conductivité moyenne maximale de 5010 µs/cm.



**Figure 4 :** Evolution spatiale des moyennes de la conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), des chlorures et du sodium ( $\text{mg}/\text{l}$ ) en fonction des stations de prélèvement

L'analyse des éléments chimiques montre que les eaux souterraines prélevées au niveau de la rive droite du bassin présentent une concentration importante en  $\text{Cl}^-$  ( $P_1=2584,80$  ;  $P_{45}=1001,76$   $\text{mg}/\text{l}$ ),  $\text{Na}^+$  ( $P_1= 1230,95$ ;  $P_{43}=1004,76$   $\text{mg}/\text{l}$ ) et  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $P_{43}=391,68$   $\text{mg}/\text{l}$ ),

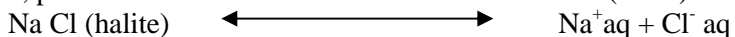


**Figure 5:** Digramme de Piper pour les eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Inaouen

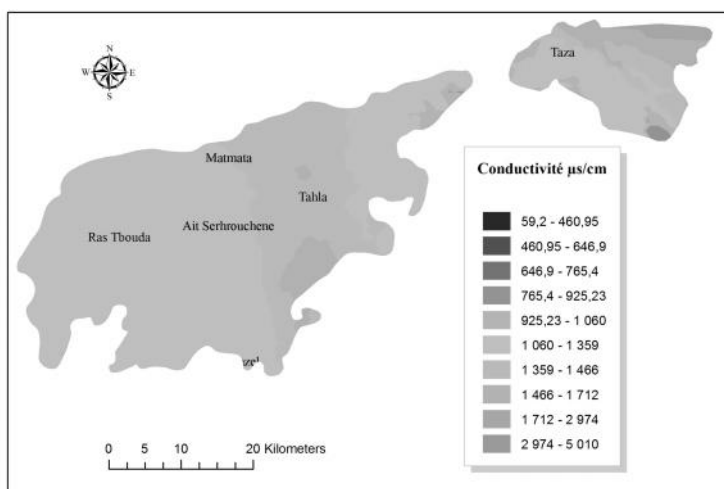
Le faciès chimique dominant est chloruro-sulfato-Sodique, résultant de la dissolution du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) et de l'halite ( $\text{NaCl}$ ) présents au sein des formations marno-calcaires du jurassique (Figure 2). Par contre, on constate que les eaux souterraines prélevées au niveau de la rive gauche du bassin sont caractérisées par une dominance des bicarbonates, du calcium et du magnésium. Ce faciès reflète bien l'effet de la dissolution des calcaires et des dolomies du Moyen Atlas sur la composition chimique des eaux.

Selon les normes marocaines et suite aux résultats de la conductivité, les chlorures et le sodium on déduit que 29,6 % des eaux souterraines

analyées sont mauvaises à très mauvaise (Bulletin officiel, 2002); en effet les deux éléments chimiques sodium et chlorure dans les eaux naturelles analysées, proviennent souvent de la désolution de l'halite (NaCl).

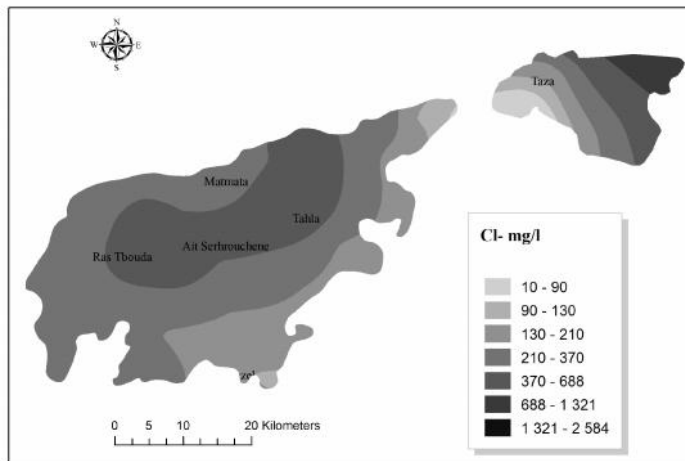


Si on fait une synthèse des 3 cartes de la conductivité (Figure 6) et la carte de répartition de Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> (fig.7 et 8), on note que ces 3 éléments ont la même évolution dans la nappe, la bonne corrélation conductivité Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> montre que la minéralisation des eaux de la rive droite du bassin est commandé principalement par le Na<sup>+</sup> et le Cl<sup>-</sup>. Cependant, les eaux des sources et des puits situées au voisinage de l'écoulement des eaux résiduaire ne présentent pas de concentration élevée en Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ce qui laisse supposer que la charge minérale obtenue est liée plus à la nature du terrain traversé qu'à l'écoulement superficiel des eaux résiduaires.



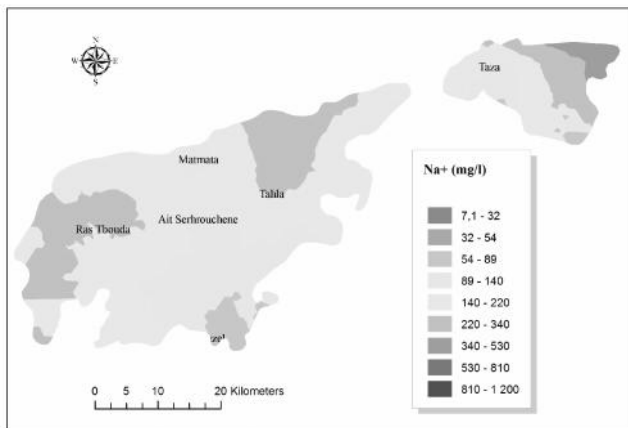
**Figure 6 :** Carte de conductivité électrique (µs /cm) des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Inaouen.



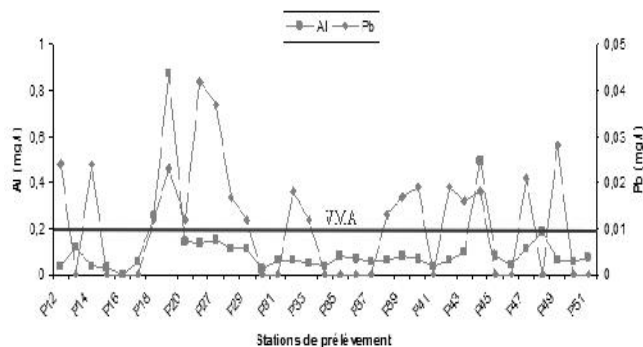


**Figure 7 :** Carte de la Répartition spatiale des concentrations de Cl<sup>-</sup> (mg/l) des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Inaouen.

L'augmentation de cette teneur en Chlorure et en Sodium répond à un gradient décroissant de l'amont vers l'aval, lié à une complexation des chlorures et leurs décantation le long du trajet de l'écoulement des affluents de l'Oued Inaouen (O.Larbaa, O.Lahder ,O. Waalgaz et O.Aghroz...) avec une infiltration possible vers les eaux souterraines, cette décantation améliore la qualité des eaux analysées qui est bonne à moyenne à la rive droite en aval du bassin.



**Figure 8:** Carte de la Répartition spatiale des concentrations de Na<sup>+</sup> (mg/l) des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Inaouen.

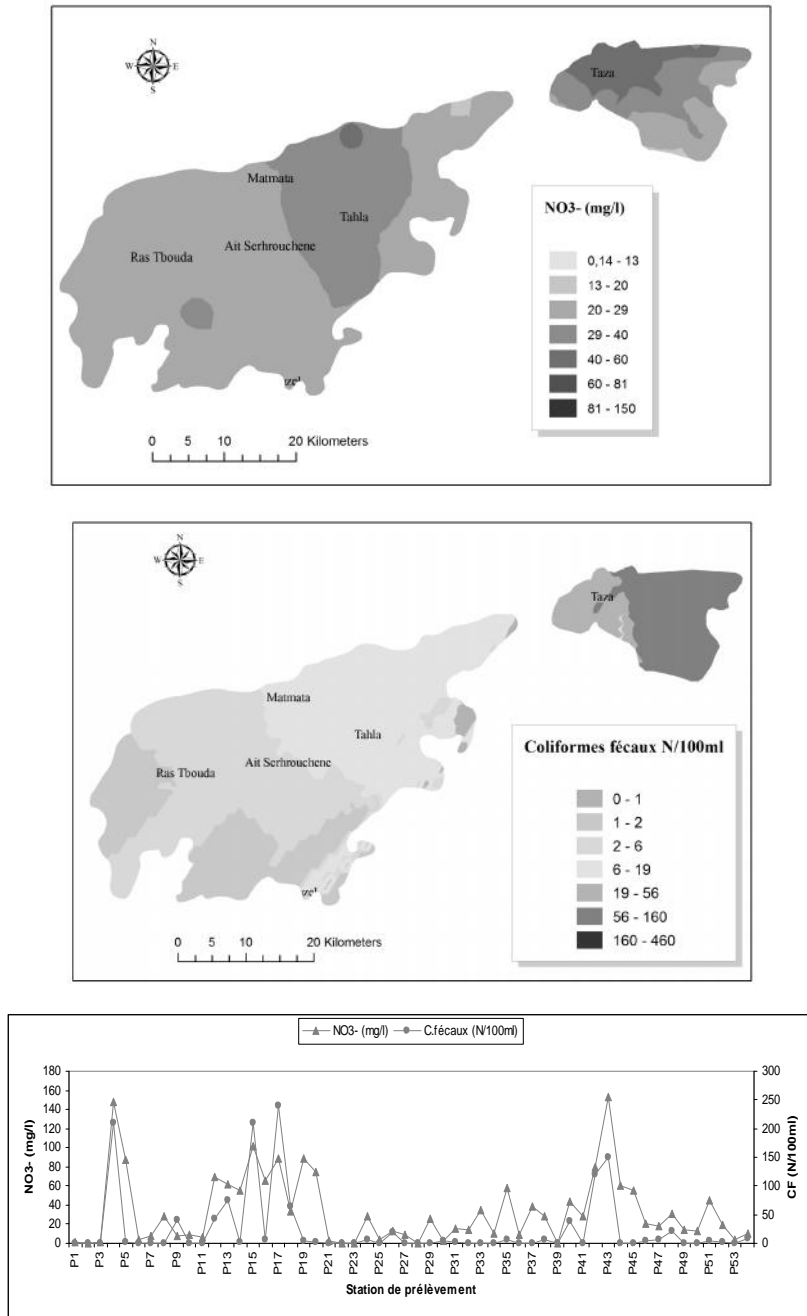


**Figure 9 :** Evolution spatiale de la concentration d'aluminium et du plomb (mg/l) en fonction des stations de prélèvement

Les résultats de l'analyse physico-chimique montre que les métaux lourds dosés ont une pollution métallique qui dépassent la valeur maximale admissible (VMA) des eaux souterraines analysées par rapport à la norme marocaine de potabilité (NM 03.7.001), concernant la concentration en plomb (0,02 mg/l dans les puits P<sub>12</sub>, P<sub>14</sub> et la source P<sub>19</sub> ; et la concentration en fer (0,875mg/l) et aluminium (0,558 mg/l) respectivement dans les sources P<sub>19</sub> et P<sub>18</sub> (Figure 9). Ceci témoigne de la percolation des eaux usées et des lixiviats à travers les différentes couches en fonction de leur degré de perméabilité.

Ces résultats montrent aussi que 25,9% des eaux analysées affichent une concertation élevée en nitrate avec une valeur maximale de l'ordre de 153,31 mg/l (fig.10). Les valeurs élevées en nitrate sont rapportées par d'autres auteurs qui ont travaillé sur les eaux souterraines de la ville de Taza (M. El Haji et al., .2010). En effet, ces travaux ont indiqués des concentrations de 147 mg/l comme valeur maximale en nitrates. La pollution azotée des eaux souterraines analysées est due probablement à deux origines possibles, soit à l'utilisation massive des fertilisants azotés en aval du bassin, à l'élevage et au mode d'irrigation gravitaire, soit à la proximité des points analysées P<sub>4</sub>, P<sub>15</sub> et P<sub>17</sub> respectivement à une distance de 60 m, 20 m et 3 m des cours d'eaux qui reçoivent les eaux usées de la ville de Taza (les oueds Dfali, Taza, Jouena et Larbaa) et des centres urbains (les oueds Amlil, Ifran, Matmata). Ces sources qui dépassent largement les 50 mg/l en nitrates, d'après les analyses bactériologiques (Figure 10) présentent aussi une contamination bactérienne. Ceci témoigne de l'existence d'une source de pollution biologique. Cette pollution est due aux écoulements superficiels des eaux usées qui subissent une percolation lente à travers les différentes couches en fonction de leur degré de perméabilité. Il faut signaler que la population utilise l'eau, à ce niveau, pour les besoins domestiques et pour abreuver le bétail, ce qui présente une vraie menace de contamination des eaux souterraines.

Détermination de la qualité des eaux souterraines des nappes de la province de Taza (Maroc)



**Figure 10:** Evolution spatiale des moyennes des nitrates (mg/l) et les CF (N /100ml) en fonction des stations de prélèvement

Les coliformes fécaux permettent de mettre en évidence une pollution d'origine fécale, presque 50% des eaux de puits que nous avons analysés présentent 0N/100ml d'Escherichia coli (E.coli), alors que les autres eaux de puits présentent une valeur minimale de 3N/100ml et une valeur maximale de 240N/100ml a été enregistrée dans les eaux de la source P<sub>17</sub>. Escherichia coli a été décelée dans 50% des eaux souterrains analysées. Elle provient exclusivement des intestins d'animaux à sang chaud, y compris les humains, et sa présence est l'indicateur le plus précis de la contamination fécale. Même si la présence de la bactérie E.coli dans l'eau indique une contamination fécale, elle n'identifie pas la source précise de la matière fécale. Il y a plusieurs sources possibles : fumier, pâturage, fosses septiques, latrines et autres sources comme les animaux sauvages. D'après nos enquêtes sanitaires aux alentours des sites de puits et de sources qui ont fait l'objet de nos analyses physico-chimique et bactériologique, nous avons remarqué l'existence des fumiers, pâturage, des latrines, des déchets de toutes nature dans les terrains avoisinants, des fosses septiques dans les milieux ruraux et des rejets directs sans aucun traitement préalable dans les cours d'eau de la ville de Taza et des centres urbains. La présence de coliformes fécaux peut être une indication de la présence de microorganismes entéropathogène (Zmirou, D et al, .1987), comme les salmonelles et le virus de Norwalk (Goodman et al, .1982 ; Craun et al, .2002). Les résultats obtenus, suite aux différents prélèvements effectués pour cette étude, nous a permis de réaliser la figure, ci-dessous, en se basant sur les normes de qualité des eaux souterraines SEEE, (2007).

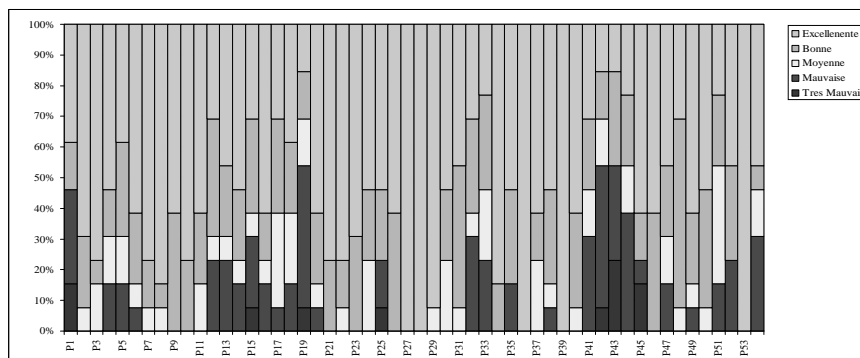


Figure 11 : Qualité détaillée des eaux de nappes de la Province de Taza

## CONCLUSION

La détermination de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux souterraine de la Province de Taza, nous a permis de conclure que 88.89% des eaux souterraine analysées ne sont pas propres à la consommation. Cette pollution se manifeste par des teneurs dépassant largement les normes

marocaines de potabilité. En effet, les eaux analysées ont des propriétés physico-chimiques qui font qu'elles ne sont pas recommandées pour la consommation humaine notamment pour les paramètres suivants :  $\text{NO}_3^-$ , la minéralisation, Cl et l'ammonium non-conformes respectivement dans 25%, 10%, 8,9% et 23,21% des eaux souterraines analysées. Les métaux lourds dosés ont montré une pollution métallique qui dépasse la la norme préconisée(NM 03.7.001) et surtout la concentration en plomb, en fer et en aluminium. Ces résultats confirment l'impact de l'intensification de l'agriculture, les rejets des eaux usées domestiques et industriels

De plus, la pollution bactérienne est très élevée et presque permanente dans les eaux souterraines analysées pendant toute la durée de notre étude avec une contamination d'une densité plus au moins importante par les coliformes totaux, E. Coli et les entérocoques intestinaux respectivement dans 76%, 52,17% et 73,91% des eaux analysées, ce qui constitue sans doute une menace pour les habitants qui s'approvisionnent pour la totalité ou la majeure partie de leurs besoins à partir de l'eau de ces nappes souterraines.

Face à cette situation, il est important de mettre en place un plan d'action pour la réduction voir la suppression des impacts négatifs de la pollution de l'eau, afin de préserver la qualité des eaux souterraines qui restent une source importante pour l'alimentation en eau potable dans la région de Taza.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- ABHS (2007). Agence du bassin hydraulique de Sebou Fès; RAPPORT (Présentation des bassins hydrauliques du Maroc, 53 P).
- ABOUZAI, DUCHESNE. (1984). Direction contrôle qualité des eaux. ONEP. Bulletin officiel (2002) Grilles de qualité des eaux potables, 10 Chaabane 1423 (17 octobre 2002). Ministère de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement, Rabat.
- CHERRY J. A. (1987). Groundwater occurrence and contamination in Canada. P: 387-426. In: Canadian aquatic resources (M. C. Healley & R. R. Wallace. Eds ; Canadian bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences, 215).
- CRAUN, G.F., NWACHUKU, N., CALDERON, R.L., ET CRAUN, M.F. (2002). Outbreaks in drinking-water systems, 1991-1998. Journal of Environmental Health, 65, 16-25.
- EL HAJI M., S. BOUTALEB, R. LAAMARTI, L. LAAREJ. 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
- GOODMAN, R.A., H.B., GREENBERG, T.E., MCKINLEY, J.D., SMITH, (1982). Norwalk gastroenteritis with a water system in a rural Georgia community .Archives of Environmental health,37 :358-360.

- Ministre de l'aménagement des territoires de l'eau et de l'environnement. Études de choix du site pour l'implantation d'une décharge contrôlée des déchets ménagers et assimilés de la ville de Taza (Avril 2005) Mission II.
- Minute du rapport définitif de l'étude du schéma directeur de l'assainissement du centre de Guerif (SDACG) (1994) Mission A.
- ONEP. Modes opératoires normalisés. (Janvier 2008) Direction contrôle qualité des eaux.
- ONEP. Procédure de conditionnement et de conservation des échantillons d'eau (14PQ 07) Direction contrôle qualité des eaux (2007).
- ONEP. 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.
- SEEE (2007). Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement : NORMES DE QUALITE, EAU SOUTERRAINE GRILLE DE QUALITE.
- UNESCO (1986). Pollution et protection des aquifères. UNESCO 434 P.
- ZMIROU, D., JP. FERLEY, JF., COLLIN, M., CHARREL, J., BERLIN, (1987). A follow up study of gastro-intestinal diseases related to bacteriologically substandard drinking water. American journal of public health, 77:582-584.