

Dégradation de la qualité des eaux de la nappe alluviale de l'Oued Larbaa par les déchets de la ville de Taza (Maroc)

[Degradation of water quality in the alluvial aquifer of Wadi Larbaa by waste from the city of Taza (Morocco)]

Mohamed Ben Abbou¹⁻², Mounia El Haji², Mahmoud Zemzami³, Loubna Bougarne², and Fatima Fadil¹

¹Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Fès 30000, Maroc

²Laboratoire des Ressources Naturelles et Environnement, Faculté Polydisciplinaire de Taza, B.P. 1223 Taza Gare, Maroc

³Laboratoire de Géoressources et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Fès 30000, Maroc

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The groundwater in the alluvial aquifer of Wadi Larbaa currently a water potential for the city of Taza. The study groundwater is located in the watershed upstream of Wadi Inaouen. To highlight a potential negative impact the waters of the Oued Larbaa, mostly polluted liquids and solids from the town of Taza releases, on the waters of the alluvial aquifer, this study has considered making a bacteriological and physicochemical characterization groundwater in the aquifer. The analysis of a number of parameters indicative of water pollution (T ° C, pH, electrical conductivity, total hardness, sulphate, orthophosphate, chloride, dissolved oxygen, nitrogen compounds and bacteria germs) found that however contents of these elements are high and indicate, for the most part, the risk of major pollution of the water table by the waters of the Oued Larbaa. However, the sources and sinks close thereof show very high concentrations of these nutrients. The alluvial aquifer has a high bacteriological contamination with fecal contamination is proven by the presence of high levels of total coliforms, fecal coliforms and fecal streptococci, the use of the web could be a significant health risk to users this water for drinking and bathing.

KEYWORDS: Alluvial groundwater, physical chemistry, bacteriology, health risk, Oued Larbaa.

RESUME: Les eaux souterraines de la nappe alluviale de l'Oued Larbaa constituent actuellement un potentiel hydrique pour la ville de Taza. La nappe étudiée est située dans le bassin versant de l'Oued Inaouen amont. Pour mettre en évidence un potentiel impact négatif des eaux de l'Oued Larbaa, majoritairement polluées par les rejets liquides et solides de la ville de Taza, sur les eaux de cette nappe alluviale, cette étude a envisagé de faire une caractérisation physicochimique et bactériologique des eaux souterraines de cette nappe. L'analyse d'un certain nombre de paramètres indicateurs de la pollution des eaux (T°C, pH, conductivité électrique, dureté totale, sulfates, orthophosphates, chlorures, oxygène dissous, les composés azotés et les germes bactériologiques) a révélé que les teneurs en ces éléments restent toutefois élevé et indiquent, pour la plupart, un risque de pollution majeure des eaux de la nappe alluviale par les eaux de l'Oued Larbaa. Cependant, les puits et les sources situés à proximité de celui-ci montrent des concentrations très élevées en ces éléments. La nappe alluviale présente une forte pollution bactériologique, avec une contamination fécale est avérée par la présence d'un degré élevé en coliformes totaux, coliformes fécaux et en streptocoques fécaux, l'utilisation de la nappe pourrait constituer un risque sanitaire important pour les utilisateurs de cette eau comme eau de boisson et de baignade.

MOTS-CLEFS: Nappe alluviale, physico-chimie, bactériologie, risque sanitaire, Oued Larbaa.

1 INTRODUCTION

La pollution aquatique est devenue une préoccupation mondiale, la plupart des pays en développement ne sont pas encore conscients de la gravité de ce problème et continuent à produire des quantités énormes des polluants qui ne cessent d'augmenter. Les gens ont besoin de l'eau consciemment, pour vivre, se laver, pour l'industrie... ; Sa qualité est un facteur influençant l'état de santé et la mortalité à la fois chez l'homme et les animaux [1].

La production des déchets au Maroc ne cesse de s'accroître. Actuellement, plus de 20 millions tonnes de déchets sont produits par jour et cela pourrait poser de graves problèmes à l'avenir [2], [3] qui constitue une menace importante que celle liée au déséquilibre quantitatif provoqué par la surexploitation des ressources hydriques. Comme les autres pays du monde, le Maroc n'échappe pas au fléau de toutes les formes de pollution des ressources en eau, mais l'activité anthropique reste la principale cause de la dégradation de leur qualité. Cette dernière continue de poser un problème sérieux pour la santé et l'environnement. Avec la croissance démographique que connaît la ville de Taza, les changements climatiques, le développement industriel et agricole. Cependant, la qualité des eaux de surface est influencée aussi bien par les rejets des eaux usées domestiques, industriels et agricoles, les déchets d'abattoirs, les lixiviats de la décharge sauvage de la ville qui située juxtaposé à oued Larbaâ, le contrôle et la surveillance de la qualité des eaux souterraines devraient susciter un intérêt particulier et doivent être permanents, afin d'éviter tout risque de contamination par une éventuelle source de pollution

L'origine des éléments chimiques indésirables et des bactéries dans divers types d'eaux souterraines proviennent du milieu de surface par transport lors de l'infiltration des eaux de surface vers les eaux souterraines [4],[5]. Pour Fenche [6], les ancêtres des bactéries autochtones dans les écosystèmes aquatiques souterrains proviendraient des microorganismes anoxigéniques qui auraient évolué. Selon Van Elsaset Heijnen [7], des conditions optimales de survie sont indispensables pour l'introduction des microorganismes bactériens dans le sol, et leurs transferts à la nappe phréatique.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'eau souterraine de la ville de Taza en aval des cours d'eau qui reçoivent les eaux usées et des lixiviats sans aucun traitement préalable, et de déterminer, en étudiant différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La ville de Taza appartient à la région nord orientale du Maroc, elle est installée au niveau de la partie la plus étroite du sillon Sud-rifain à 120Km à l'Est de la ville de Fès et à 220Km à l'Ouest de la ville de Oujda. Elle fait partie du grand bassin de Sebou et exactement dans le bassin versant de Larbaâ d'une population d'environ 154 496 habitants [8], ce bassin est caractérisée par sa situation dans le pré-rif oriental, s'inscrit dans le domaine méditerranéen ; son contexte bioclimatique se caractérise par la dominance du climat semi-aride dans la partie nord et humide dans la partie sud (moyen Atlas) [9]. La répartition des précipitations est liée à l'importance des altitudes du relief. Le couvert végétal se caractérise par la dégradation. La lithologie des terrains du bassin versant de Larbaâ est fondamentalement composée par des formations imperméables (marne) dans la partie Nord et des formations perméables étendues sur la partie Sud. Le régime hydrologique actuel de Larbaâ se caractérise par les étiages de l'été qui se prolonge sur plusieurs mois et les crues de l'hiver. Sur le plan morphologique, la ville de Taza est traversée par un réseau hydrographique important, composé de l'oued Larbaâ affluent de l'oued Inaouen et par les oueds Taza, Larouireg, Defali et Jaouna qui traversent la ville du sud vers le nord, pour rejoindre l'oued Larbaâ. Ce dernier, le plus proche de la décharge publique, constituant un collecteur important de déchets liquides. D'un point de vue hydrogéologique, On distingue deux types de nappes à Taza [8]: Une nappe profonde constituée de calcaires et l'autre phréatique qui donne naissance de plusieurs sources à la ville de Taza.



Fig. 1. Situation des points d'échantillonnage

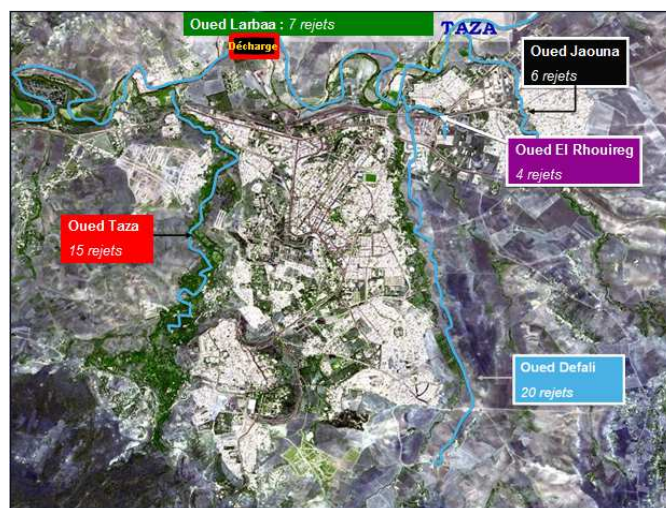


Fig. 2. Le réseau d'assainissement de la ville avec emplacement des rejets (RADEETA, 2012, modifiée)

2.2 LA SITUATION DES MALADIES HYDRIQUES AU NIVEAU DE LA VILLE DE TAZA

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 [10].

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.

3 PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

3.1 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

La fréquence d'échantillonnage adoptée durant la période d'étude comprise entre le mois d'Avril et le mois de juin des années 2011, 2012, 2013 et 2014 était d'un prélèvement par mois. Quinze paramètres ont été mesurés. Cinq de ces paramètres [11] l'ont été 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.

La Figure 1 montre Le choix des points d'échantillonnage qui est représentatif, 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) [12], [13].

Les méthodes utilisées au sien du Laboratoire des ressources naturel et environnement de la Faculté Polydisciplinaire de Taza : 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 [13], [14].

3.2 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 [13] 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 [14].

Tableau 1. Méthodes d'analyses des différents paramètres bactériologiques.

Germes	Milieux utilisés	Température et temps d'incubation	Référence
CT (Coliformes)	Bouillon Lauryl sulfate de tryptose ; Bouillon lactosé bilié au vert brillant	37°C + 1 °C/48H	NM 03.7.060 (2012)
CF (Escherichia coli)	Bouillon Lauryl sulfate de tryptose ; EC medium	37°C + 1 °C/48H ; 44°C + 0.5 °C/24H	NM 03.7.060 (2012)
SF (Entérocoques intestinaux)	Bouillon glucosé à l'azoture ; gélose biliée à l'esculine et à l'azoture (BEA)	37°C + 1 °C/48H ; 44°C ± 0.5 °C / 48H	NM 03.7.252 (2012)

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats de mesures de différents paramètres sont présentés ci-dessous. Leur présentation pour chacun des paramètres permet de mieux montrer les éventuelles variations et peuvent faciliter les interprétations.

4.1 POTENTIEL HYDROGÈNE

Il s'agit évidemment d'un paramètre important de caractérisation des eaux. Selon Chapman et Kimstach [15], le pH est généralement compris entre 6.0 et 8.5 dans les eaux naturelles.

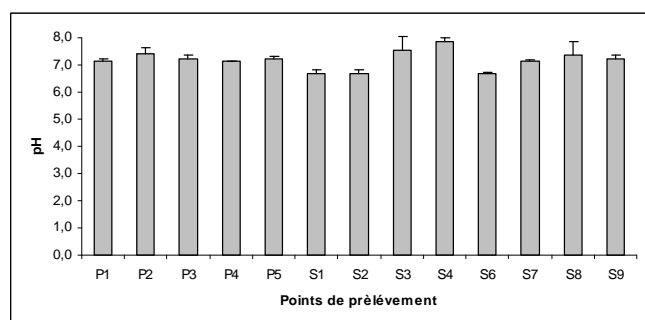


Fig. 3. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types du pH

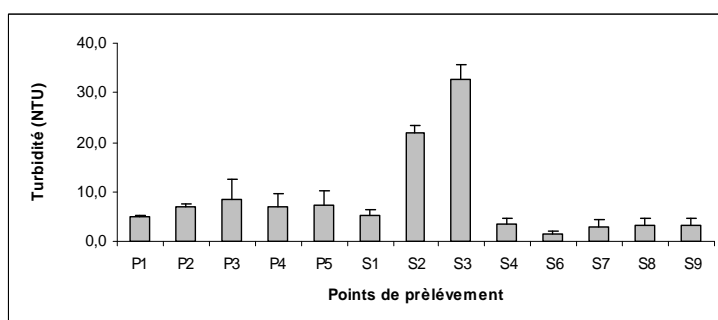


Fig. 4. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types de la turbidité (NTU)

La figure 3 montre l'évolution de la teneur du pH en fonction de la variation des puits et des sources, les valeurs de pH au niveau de la totalité des puits avoisinent la neutralisation. En général, le pH se trouve dans la norme de potabilité qui varie entre 6,5 et 8,5 [16].

4.2 TURBIDITÉ

La turbidité est un paramètre organoleptique et une expression des propriétés optiques d'une eau à absorber ou/et à diffuser la lumière, elle est due à la présence des matières en suspension.

La turbidité varie d'une station à une autre mais elle reste dans 92% des points inférieure à la norme 5NTU à l'exception de la station S3 dont on trouve 54 NTU. D'une façon générale, la turbidité varie entre les stations selon la saison et la pluviométrie. Ceci peut agir sur la potabilité et représente un paramètre important dans le traitement de l'eau (Figure 4).

4.3 CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Les variations de la conductivité impliquent des modifications de la composition chimique de l'eau ainsi que les variations moins importantes expriment une accélération ou un ralentissement des processus bactériens de minéralisation de la matière organique [17], [18], [19].

On remarque d'après la carte (Figure 5) que la valeur de la conductivité dans la totalité des puits et des sources est inférieure à la norme de potabilité (NM 037001) sauf pour la source S3 qui a une valeur dépassant largement la norme. Cette augmentation est due, d'une part, à la présence de ces puits et sources aux alentours de la décharge publique qui contient

des rejets industriels et domestiques et, d'autre part, à leur proximité de l'Oued Larbaa (à moins de 2 m) qui collecte une grande partie d'eaux usées (Figure 1).

Les points de prélèvements présentent une forte minéralisation. Ceci pourrait être du à la nature du terrain traversé (lessivage de la roche réservoir), ou à l'infiltration des eaux d'Oued Larbaa caractérisées par leur conductivité très élevée [20] et/ou bien aux rejets industriels (marges) surtout que cette région est caractérisée par la présence d'huileries [21].

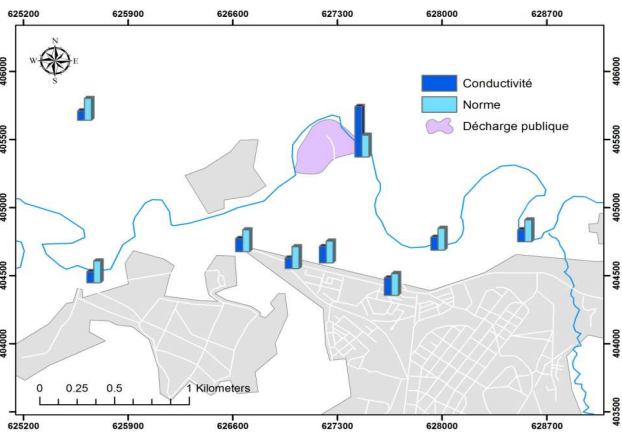


Fig. 5. Les variations de la conductivité électrique au niveau des sites échantillonnés

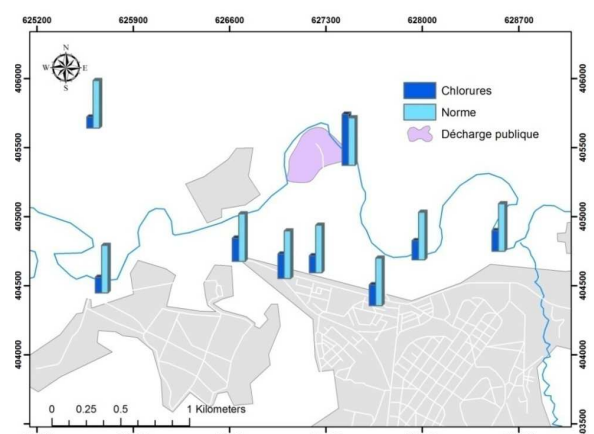


Fig. 6. Les variations de chlorures au niveau de chaque point étudié

4.4 CHLORURES

L'OMS recommande pour la teneur en chlorures dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur guide de 750 mg/L (NM 03.7.001) pour des considérations gustatives et des risques de corrosion.

D'après la figure 6, les chlorures présentent de faibles teneurs en nitrate pour toutes les stations sauf pour la station S3 près de la décharge publique qui enregistre une petite augmentation par rapport aux normes de potabilité (Figure 18).

Cette augmentation est liée à une contamination par les lixiviats qui sont fortement chargés en chlorures. En effet, les déchets renferment des teneurs importantes en chlorures et la dégradation de ces déchets produit des percolats très chargés en cet élément chimique.

Dans les eaux souterraines, la concentration en chlorures dépend des roches traversées, mais au niveau de la S3 le chlorure élevé est due à l'approximation de l'Oued Larbaa qui a une valeur dépassant les 1100 mg/l [20].

4.5 OXYGÈNE DISSOUS

L'oxygène dissous des eaux souterraines de Taza durant la période d'étude est d'une moyenne maximale de 7,12 mg/l et une minimale de 1,25 mg/l.

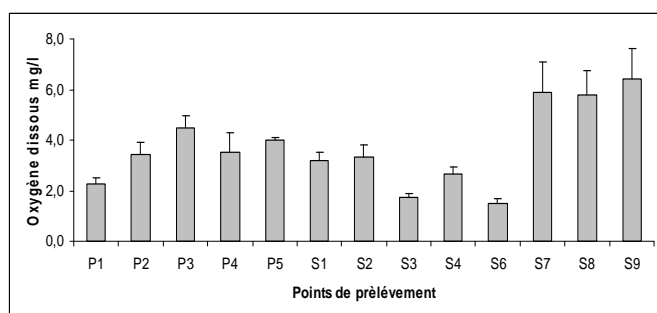


Fig. 7. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types de l'oxygène dissous en mg/l

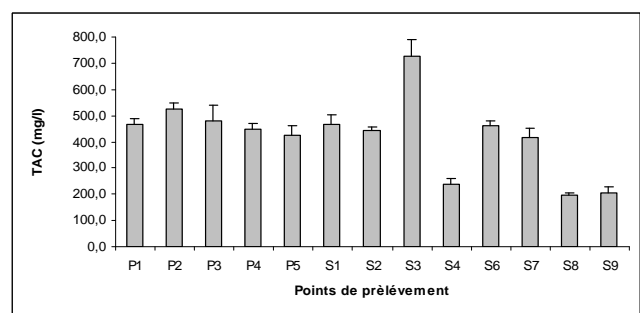


Fig. 8. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types des hydrogencarbonates en mg/l

D'après la figure 7, On remarque que la S7, S8 et la S9 ont des valeurs d'oxygène supérieures des autres points, les eaux de ces sources se montrent alors bien oxygénées. Cette augmentation est due à la diminution de la température de l'eau ; car une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude [22]. Les valeurs comparables sont très faibles dans les points P1, P2, P3, P4, P5, S1, S2, S3 situées auprès de la décharge. S4 et S6 favorisent le développement des germes pathogènes.

La faible valeur en oxygène dissous dans la station S3 près de la décharge publique est expliquée par les lixiviats issus de la décharge sauvage.

D'après le paramètre de l'oxygène dissous on trouve 76% des échantillons analysés ne répondant pas à la NM 037001 [15], ce qui reflète la situation dégradée de la qualité des eaux souterraines de la ville Taza.

4.6 LE TITRE ALCALIMÉTRIQUE COMPLET

D'après la figure 8 on note que généralement les valeurs varient très peu d'une station à l'autre et que la teneur la plus élevée est de l'ordre de 724.70 mg/l (S3), et la minimale est de 195.2 mg /l au niveau de la station S8.

La forte concentration s'explique par la dissolution importante des calcites ; contact direct avec l'atmosphère ; présence de sources naturelles de gaz et par la décomposition de substances organiques.

La concentration en ions de calcium atteint une valeur maximale en S3 de 357.67 mg/l, alors que la teneur minimale a été enregistrée au niveau de station P3 de 103.67 mg/l mais généralement les valeurs des autres stations ne présentent pas une grande variance entre eux.

L'augmentation de cet élément est le résultat direct de la nature lithologique due à la dissociation des roches évaporitiques principalement le gypse et l'anhydride qui se trouve dans cette région. Il ne présente pas de risque pour la santé mais pose plutôt un problème de goût et d'entartrage si C > 200 mg/l.

4.7 OXYDABILITÉ AU KMNO4

Oxydabilité au KMNO4 est la capacité d'oxygène à la réduction de permanganate de potassium consommée pour oxyder les matières organiques présentes dans l'échantillon.

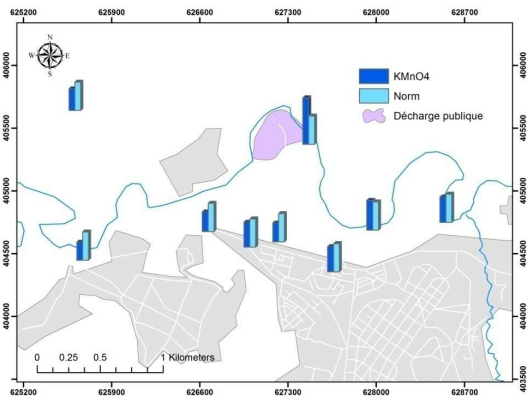


Fig. 9. Les variations de l'oxydabilité au KMNO4 au niveau des sites échantillonnés

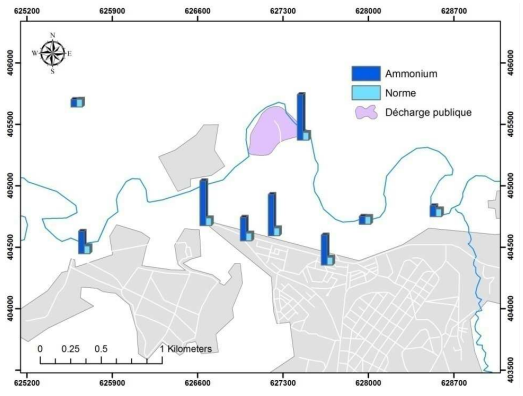


Fig. 10. Les variations des ammoniums au niveau des sites échantillonnés

Les valeurs les plus élevées sont affichées à la station S3 près de la décharge publique (8,34 mg/l) et S2 (5,30g/l), à l'inverse des autres points qui ont une valeur inférieure à la norme marocaine (<5 mgd'O2 /l). L'augmentation de l'oxydabilité en S3 et S2 (est due à la faible profondeur) qui est en relation avec la surface qui rend ces eaux riche en matière en suspension et par conséquent augmente la matière organique biodégradable et non biodégradable (Figure 9).

4.8 AMMONIUM

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieure à 0,5 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de pollution des cours d'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel.

D'après la figure 10, l'ammonium présente des teneurs élevées par rapport aux normes de potabilité pour les stations S1, S3, P1, P2, P3, P4 et P5 qui traduisent le processus de dégradation incomplète de la matière organique.

Ces valeurs permettent alors de classer ces eaux dans la classe moyenne (S2 et S4) à mauvaise qualité (S1, S3, P1, P2, P3, P4, P5) selon la grille de l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines.

4.9 NITRITES

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu aquatique.

La concentration en cet élément ne devrait pas dépasser 0.5 mg/l.

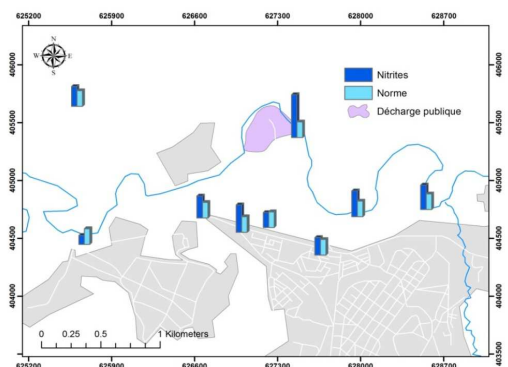


Fig. 11. Les valeurs des nitrites au niveau des sites échantillonnés

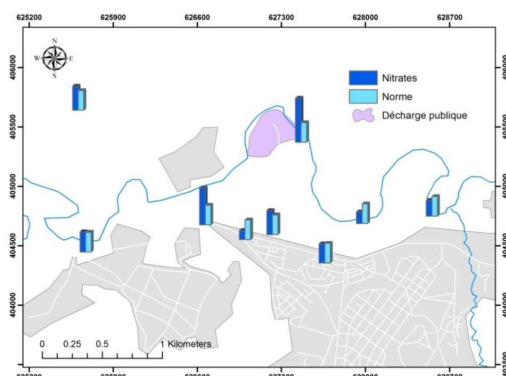


Fig. 12. Les valeurs des nitrates au niveau des sites échantillonnés

La figure 11 indique que les teneurs sont élevées au niveau de S1, S2, S3, S4, P1, P3 et P4. Cette augmentation est expliquée par la percolation des engrais chimiques. Par contre, on trouve seulement deux points (P2 et P5) qui respectent la norme de potabilisation.

Les nitrites peuvent également provoquer la formation de méthémoglobine dans le sang. Sous l'effet de la chaleur, ils sont susceptibles de se décomposer, en libérant des oxydes d'azotes fortement toxiques.

4.10 NITRATES

Les teneurs en nitrates sont très variables avec une moyenne maximale de 112,18 mg/l, et une minimale de 23,29 mg/l (Figure 12).

D'après la figure 13, les nitrates présentent des teneurs faibles pour les stations S1, S2, et P4 et très faibles pour le puits P4, S6. Ce résultat peut être expliqué par le faible usage des fertilisants chimique et pesticide lié aux activités agricoles. La teneur en nitrate enregistrée est élevée par rapport à la norme marocaine de potabilité des eaux aux stations S3, S4, P2, P4 et P5 qui sont situées près de décharge publique. Ceci provient, de la décomposition de la matière organique à partir des fertilisants agricoles azotés et par les lixiviats issus de la décharge renfermant des organiques et minéraux qui s'infiltrent par la suite à travers le sol jusqu'à la nappe phréatique.

Ces valeurs permettent de classer ces eaux dans la classe bonne (P3 et P4) à moyenne (P1, S1 et S2) à mauvaise qualité (P2, P5, S3 et S4) selon la grille de l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines.

Une concentration élevée de nitrate dans l'eau de boisson peut provoquer chez les bébés une maladie appelée méthémoglobinémie infantile, encore connue sous le nom de la maladie du « bleu bébé [23]. Celle-ci se caractérise par des maux de tête fréquents, abattement de cœur plus rapide que la normale ; un essoufflement, et éventuellement une hypoxémie et une dépression de système nerveux centrale.

4.11 ORTHOPHOSPHATES

La teneur en phosphates des eaux naturelles est normalement très faible parce qu'ils sont essentiellement le siège d'une importante sédimentation tout en subissant une série de dépôts et de reprises sur leur parcours au sein même du bassin versant.

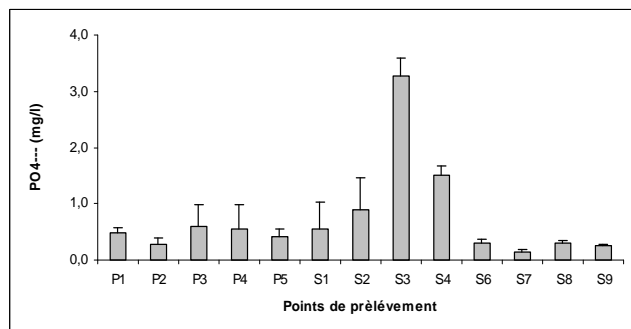


Fig. 13. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types des Orthophosphates (en mg/l)

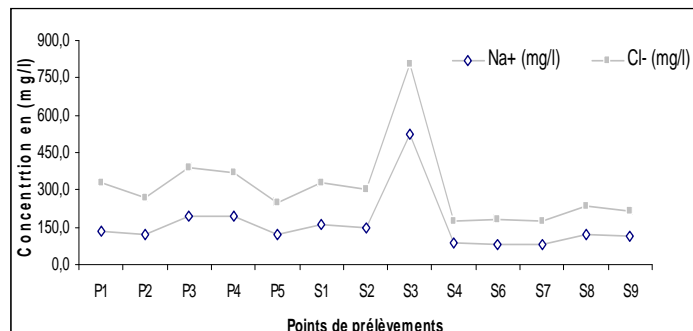


Fig. 14. Evolution spatiale des moyennes de la concentration des sodiums et de chlorures en mg/l

Les valeurs des phosphates sont variables avec une moyenne maximale de 3.96 mg/l et une minimale de 0.15 mg/l.

D'après la figure 13, les valeurs les plus élevées sont affichées à la station S3 près de la décharge publique et S4. Ceci peut s'expliquer par l'impact des percolâts issus des déchets solides mis en décharge sur les eaux souterraines (environ de 82% des lixiviats ont une teneur en phosphate inférieure à 5 mg/l), par l'érosion des roches phosphatées dont la pluie tombant sur une roche va lentement dissoudre les éléments qu'elle contient et par l'utilisation des engrais chimiques.

Les Orthophosphates présentent des teneurs faibles pour les stations S2, P3, P4 et S1 P4 et très faibles pour les stations P1, P2, S6 et S8. Trop de phosphates peut provoquer des problèmes de santé, tels que de l'ostéoporose ou des problèmes aux reins. On peut aussi avoir des carences en phosphates qui sont dues à une utilisation intensive de médicaments, provoquant des problèmes de santé.

4.12 SODIUM

Le sodium (Na) est hautement soluble et se trouve souvent dans l'eau souterraine à l'état naturel. Toutes les eaux souterraines contiennent du sodium puisque la plupart des roches et des sols contiennent des composés de sodium à partir desquels cette substance se dissout.

La concentration en sodium plus ou moins constante pour les 5 puits (150 mg/l) qui sont de qualité excellente c'est-à-dire que ces eaux peuvent être utilisées pour la consommation humaine (Figure 14). Par contre le reste des sources sont constantes, seule la source 3 atteint une valeur maximale de 450 mg/l (mauvaise qualité), car elle est près de décharge. L'augmentation du sodium dans l'eau souterraine à des concentrations supérieures à la norme (< 200 mg/l Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines) peut indiquer la présence d'agents polluants ou une invasion d'eau salée.

Une consommation élevée de sodium peut causer des problèmes chez les personnes qui ont un régime appauvri en sel en raison de problèmes d'hypertension, cardiaques ou rénaux.

4.13 SULFATES

Certains sols et certaines roches contiennent des minéraux de sulfate comme l'eau souterraine se déplace à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau telle que le gypse et l'anhydrite.

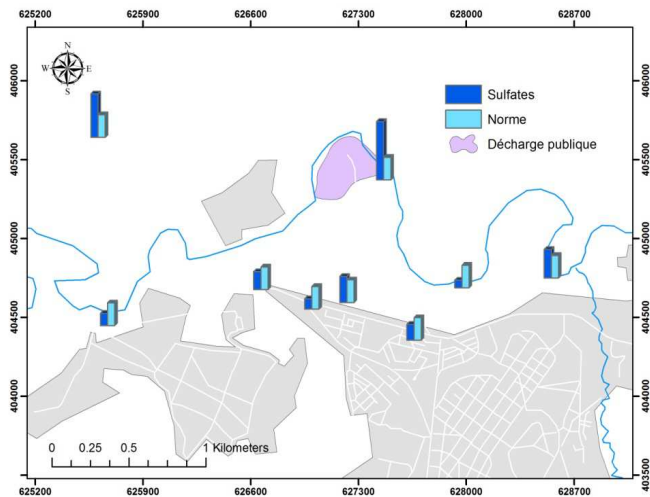


Fig. 15. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types des sulfates (en mg/l)

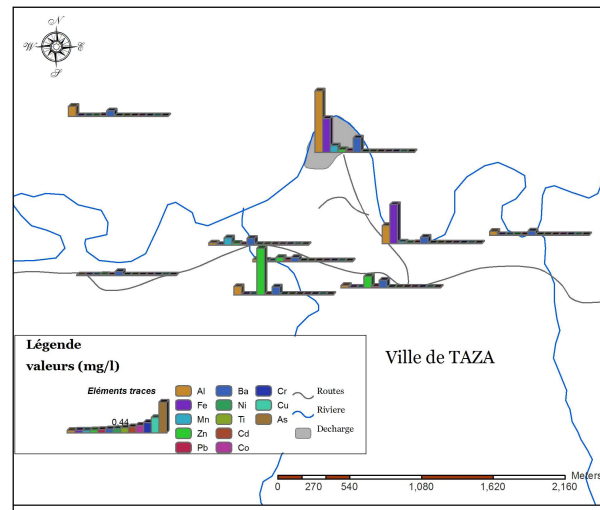


Fig. 16. Carte des métaux lourds en (mg/l).

D'après la figure 15, les valeurs les plus élevées sont affichées aux stations S3 près de la décharge publique, S1, S4 et P2. Ceci est lié à l'abondance des formations évaporitiques principalement le gypse.

L'anion sulfate est l'un des ions moins toxique, un effet laxatif a été observé chez des personnes qui consomment une eau de boisson contenant plus de 400 mg/l de sulfates.

4.14 MÉTAUX LOURDS

Les métaux lourds dosés ont montré une pollution métallique des eaux souterraine par rapport à la norme marocaine de potabilité (NM 03.7.001, 2006) [15] concernant la concentration en plomb (0,02 mg/l dans les puits (P1, P3) et la source S3 ; et la concentration en fer (0,875mg/l) et aluminium (0,558 mg/l) dans les sources S3 et S2 en parallèle (Figure 16). Ceci témoigne de la percolation des eaux usées et des lixiviats à travers les différentes couches en fonction de leur degré de perméabilité.

4.15 COLIFORMES TOTAUX

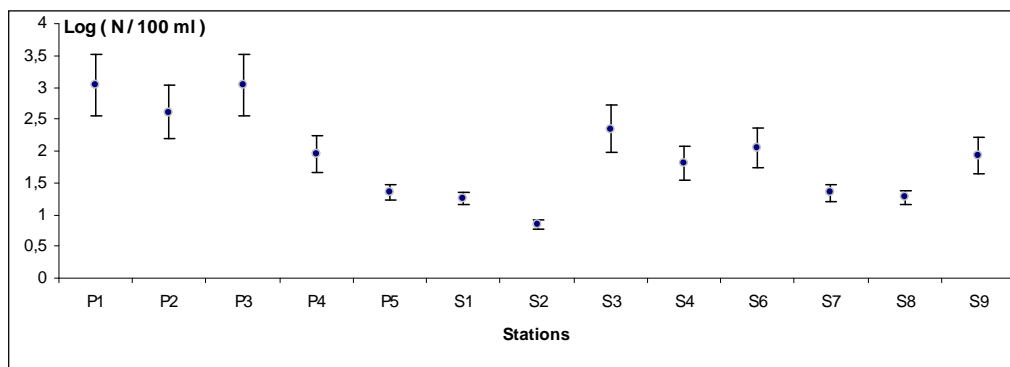


Fig. 17. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types des coliformes totaux (N / 100 ml)

La figure 17 montre que les CT représente un maximum de 1100N/100ml au niveau des P1, P3 et S3 avec un minimum de 7 N/100ml au niveau du S2.

Les bactéries coliformes totaux sont présentes dans les matières fécales mais se développent également dans les milieux naturels (sols, végétation, eaux naturelles). L'augmentation de l'effectif bactérien pourrait être le résultat de l'augmentation de la température qui provoque la croissance et la multiplication des CT.

Le dénombrement des CT dans les différents échantillons a montré que de fortes concentrations ont été enregistrées au niveau du P1, P2 et S3 durant la période d'étude. La présence de coliformes totaux dans l'eau potable est un indicateur de risque très imprécis [24], en effet, une eau sans coliformes peut aussi être à l'origine de problèmes de nature gastro-entérique [25], malgré qu'une association entre la détection de coliformes totaux et l'apparition d'épidémies d'origine hydrique a été mise en évidence dans certains cas. [26], [27].

4.16 COLIFORMES FÉCAUX

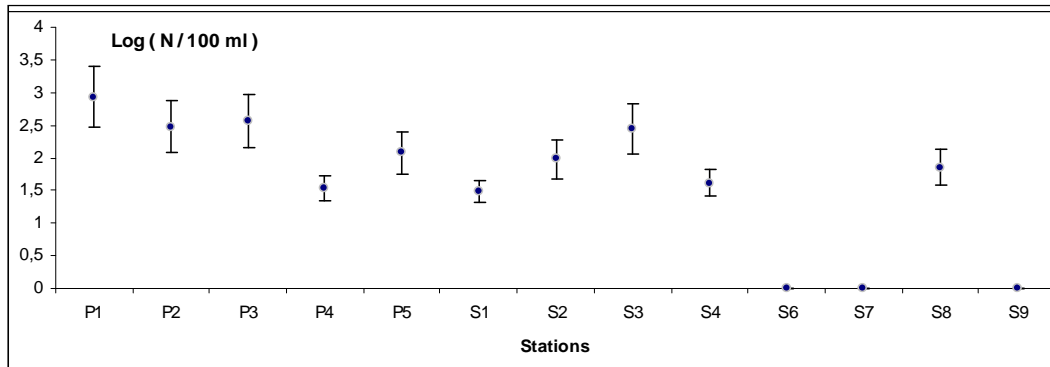


Fig. 18. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types des streptocoques fécaux (N / 100 ml)

Les teneurs en coliformes fécaux varient entre 0 au niveau du S6, S7, S9 et 303N/100 ml au niveau du P1 (Figure 18).

L'augmentation des coliformes fécaux pourrait être un résultat de l'abondance des nutriments, de l'oxygène dissous et d'autres éléments nécessaires au développement bactérien.

A l'exception du S6, S7 et S9, tous les autres sites présentent des concentrations quasiment constantes en CF durant toute la période d'étude. La détection de coliformes fécaux doit faire soupçonner une contamination d'origine fécale [28], leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales [29]. Or, la présence de coliformes fécaux peut être une indication de la présence de micro-organismes entéropathogènes [30], ce qui rend que la détection d'un seul coliforme fécal/100 ml entraîne un avis immédiat de faire bouillir l'eau [31].

4.17 STREPTOCOQUES FÉCAUX

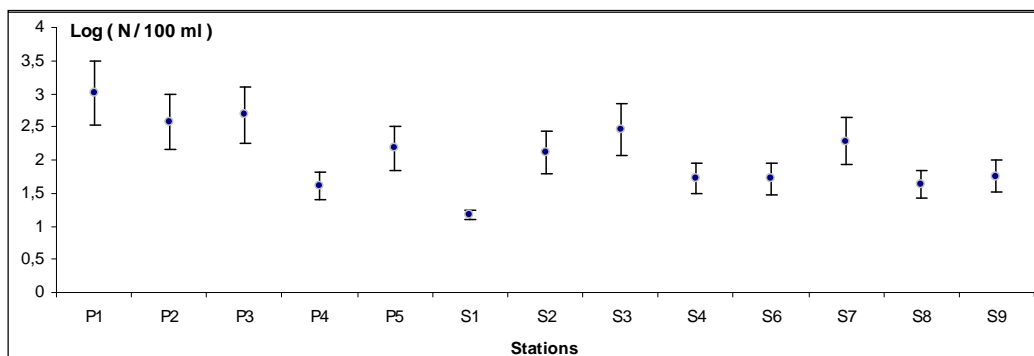


Fig. 19. Evolution spatiale des moyennes et des écarts types des streptocoques fécaux (N / 100 ml)

Le dénombrement des SF dans les différents points échantillonnés durant la période d'étude a montré une augmentation de leur nombre au niveau de la majorité des sites et puisque l'aquifère devrait être exempt d'entérocoques [32], cette détection doit faire sérieusement soupçonner une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéropathogènes [32]. Or ; une certaine corrélation entre la présence d'entérocoques et celle de coliformes fécaux dans une eau de consommation non traitée a été mise en évidence avec un risque accru de développer une gastro-entérite avec un nombre relativement restreint de streptocoques fécaux (3 à 10 bactéries/100 ml) [33, 31].

Les résultats obtenus, suite aux différents analyses 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 [34].

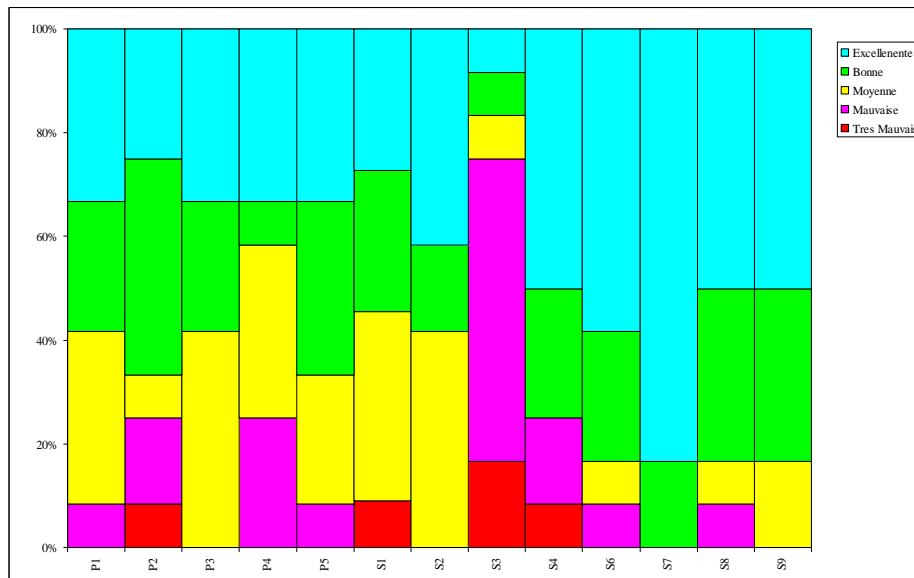


Fig. 20. Qualité détaillée des eaux souterraines de la ville de Taza

4.18 UTILISATION DES EAUX POUR LA BOISSON ET L'IRRIGATION

D'après les résultats microbiologiques et selon la conformité des eaux de sources, il s'est révélé qu'aucune eau de source n'est conforme aux eaux de boisson. La valeur maximale admissible (VMA) est de 0/100ml pour les coliforme fécaux et les streptocoques fécaux (NM, 03.7.001 [15], or toutes les eaux de sources ont excédé cette valeur. Pour les points P3, P4, S3 et S4 dépassent la VMA pour l'irrigation concernant les concentrations des chlorures et des sulfates.

Tableau 2. classe d'utilisation des eaux de sources

Point de prélèvement	Utilisation des eaux souterraines	
	Boisson (NM, 03.7.001, 2006)	Irrigation (SEEE, 2007)
P1	Non conforme	Conforme
P2	Non conforme	Conforme
P3	Non conforme	Non conforme
P4	Non conforme	Non conforme
P5	Non conforme	Conforme
S1	Non conforme	Conforme
S2	Non conforme	Conforme
S3	Non conforme	Non conforme
S4	Non conforme	Non conforme
S6	Non conforme	Conforme
S7	Non conforme	Conforme
S8	Non conforme	Conforme
S9	Non conforme	Conforme

■ Non conforme ■ Conforme

5 CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus par l'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux souterraines de la ville de Taza, on constate qu'ils présentent un danger pour la consommation.

D'un point de vue des paramètres physico-chimiques, les points étudiés présentent des concentrations élevées en nitrate (112.18 mg/l), nitrite (1.37 mg/l), orthophosphate (3.96 mg/l), sulfate (1033.23 mg/l), et chlorure (807.10 mg/l) qui dépassent la norme marocaine des eaux.

Cette pollution aurait comme origines le rejet des eaux usées brutes domestiques ou provenant de l'activité agricole du fait de la prédominance de celle-ci dans la région et ou industrielle (margines), en particulier, en provenance des unités de trituration de l'huile d'olive disséminées dans la région.

Parmi les points analysés, la source 3 présente une pollution accentuée et remarquable en enregistrant dans la quasi-totalité des paramètres des valeurs qui dépassent largement les valeurs limites de qualité, ce qui prouve l'impact négatif de la décharge publique de la ville sur les eaux souterraines.

Les analyses bactériologiques des eaux étudiées ont mis en évidence une pollution de ces eaux par les CT, CF et SF avec une prédominance de ces deux derniers groupes (SF et CF). Or ; les coliformes fécaux, l'E. Coli et les entérocoques sont des indicateurs de risque plus valides.

Du fait de la cohabitation des autres germes pathogènes avec les indicateurs de contamination fécale dénombrés, et qu'il est suggéré de ne pas consommer une eau souterraine dans laquelle des entérocoques ont été identifiés, la consommation de ces eaux expose la population qui les utilise à des risques sanitaires graves.

REFERENCES

- [1] Kazi T. G., Arain M. B., Jamali M. K., Jalbani N., Afridi H. I., Sarfraz R. A., Baig J. A. & Shah A. Q., (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72, pp 301-309.
- [2] Afilal M.E., N. Belkhadir, H. Denude, O. Elasri Fermentation méthanique des différents substrats organiques (Methanic fermentation of different organic substrates) *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (1) (2013) 11-16.
- [3] Kharroubi A., Jarboui R., Abida H., Ammar E. (2011). Olive oil mill wastewater properties change during infiltration through clay soils. *International Journal of Environmental Engineering*, 3(1), 72-82.
- [4] Madsen E.L., Ghiorse W.C., (1993). Groundwater microbiology: subsurface ecosystem processes. Dans: *Aquatic microbiology: an ecological approach*. FORDT.E. (Éditeur), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 167-213.
- [5] Stevens T.O., (1997). Subsurface microbiology and the evolution of the biosphere. Dans : *The microbiology of the terrestrial deep subsurface*. AMY P.S. & HALDEMAN D.L. (Éditeurs), Lewis Publishers, Boca Raton, 205-223.
- [6] Fenchel T. (2001). Microorganisms (microbes), role of. *Encycl. Biodiversity*, 4, 207-219.
- [7] Van Elsas J.D., Heijnen C.E., (1990). Methods for the introduction of bacteria into soil. *Biol. Fertil. Soils*, 10, 127-133.
- [8] STMT, Service technique de la municipalité de Taza. Etude de choix d'un site pour l'implantation d'une décharge contrôlée des déchets ménagers et assimilés de la ville de Taza. Mission I, et 2. (2005), PP (1-19).
- [9] Layan. B, (2013). Détermination des crues de projet, Modélisation hydraulique et gestion du risque d'Inondation dans le bassin versant de l'Oued Larbaa. Cas de la ville de Taza (Maroc) Faculté des Sciences Dhar El Mahrez. THESE DE DOCTORAT. 163p.
- [10] Délégation Provinciale du Ministère de la Santé de Taza (2012).
- [11] ONEP. Procédure de conditionnement et de conservation des échantillons d'eau (14PQ 07) Direction contrôle qualité des eaux.
- [12] Modes opératoires normalisés. (Janvier 2008) Direction contrôle qualité des eaux.
- [13] Rodier J. (2009) L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9ème édition, Paris, Dunod, 1475 p.
- [14] ABOUZAIID et DUCHESNE. (1984) Direction contrôle qualité des eaux. ONEP
- [15] CHAPMAN Z. & KIMSTACH L., 1996: Water quality assessments, Chapman and Hall; London; New-york; Tokyo; Melbourne; Madras; p 75. Rodier J, Bazin C. Broutin JP. Chambon P.
- [16] NM 03.7.001, (2006) : Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine. Bulletin Officiel N° 5404 du 16 Mars 2006.
- [17] NISBET & VERNAUX J., 1970 : Composants chimiques des eaux courantes – Discussions et propositions des classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques, *Annales de limnologie*, 6, 2, 161-190.
- [18] LAVANDIER P. & MUR M., 1974: Use and partition of space and resources by tow coexisting Rhyacophilaspecies (Trichoptera) in hight montain stream.

- [19] GIUDICELLI J. & CAZAUBON A., 1980: Impact of the residual flow on the physical characteristics and benthic community (algae, invertebrates) of the regulated Mediterranean river: The durance, France.
- [20] Ben Abbou M, El Haji M, Zemzami M, Fadil F. 2014. Impact des lixiviats de la décharge sauvage de la ville de Taza sur les ressources hydriques (Maroc). *Afrique Science*, vol.10, No 1, p717-180.
- [21] El Haji, 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.
- [22] Edberg, SC., EW., Rice, RJ., Karlin et MJ., Allen, (2000). *Escherchia coli*: the best Biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied microbiology*, 88 : 106S-116S.
- [23] OMS (1994) : Directives de qualité pour les eaux de boisson; Volume 1- Recommandation.Organisation mondiale de la santé 2^e édition.
- [24] Payment P, Siemiatycki J, Richardson L, Renaud G, Franco E et Prévost M. A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. *International Journal of Environmental Health Research*, 7: 5-31, 1997
- [25] US EPA. Drinking water; national primary drinking water regulations; total coliforms. *Federal Register*, 52(212), 3 novembre, p. 42224-42445, 1987.
- [26] Barwick RS, Levy DA, Craun GF, Beach MJ et Calderon RL Surveillance for waterborne-disease outbreaks-United States, 1997-1998. *Mortality and Morbidity Weekly Review Surveillance Summaries*, 49(SS04), 26mai: 1-35, 2000.
- [27] Santé Canada. La qualité bactériologique. Document de support aux « recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada », 1991.
- [28] CEAEQ. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 24 p., 2000.
- [29] Zmirou D, Ferley JP, Collin JF, Charrel M et Berlin J. A follow-up study of gastro-intestinal diseases related to bacteriologically substandard drinking water. *American Journal of Public Health*, 77 : 582-584, 1987.
- [30] Groupe scientifique sur l'eau. Coliformes fécaux, Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 3 p., 2003.
- [31] Groupe scientifique sur l'eau. Entérocoques et streptocoques fécaux, Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 5 p., 2002.
- [32] Simmons G, Hope V, Lewis G, Whitmore J et Gao W. Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research*, 35: 1518-1524, 2001.
- [33] Romain G, Kenmogne K, Rosillon F, Nono A, Nzeukou Nzeugang A et Grelle Mpakam H. Les maladies hydriques à l'épreuve de la gestion des ressources en eau dans une zone urbaine d'un pays en développement. Cas de la ville de Yaoundé (Centre-Cameroun). *Journal européen d'hydrologie*. Volume 42, N 1, 2011.
- [34] 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 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux de rivières.