

## Les fortes teneurs en fluorures dans les eaux souterraines du pré-rif (Taza, Maroc)

### [ High levels of fluoride in the groundwater of the pre-rif (Taza, Morocco) ]

*Loubna Bougarne<sup>1</sup>, Mohamed Ben Abbou<sup>1</sup>, Mounia El Haji<sup>2</sup>, and Hassan Bouka<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire des ressources naturelles et environnement, Faculté Polydisciplinaire de Taza, B.P 1223 Taza Gare, Maroc

<sup>2</sup>École nationale supérieure d'électricité et de mécanique (ENSEM), Université Hassan II, Casablanca, Maroc

Copyright © 2018 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 objective of this study is to determine the physicochemical quality of the groundwater of the pre-rif of Taza region, with emphasis on fluorides. This study integrated a physicochemical characterization of these waters, covering 17 parameters including fluoride ions.

The results showed that the waters studied are of very poor quality in 46.6% of the points, with an alkaline character, under oxygen in 40% of the points, and orthophosphate contents outside the recommended norms in 86.6% of the samples. A hyper-fluorinated character was also revealed in 73% of the waters studied (1.52-5.90 mg / L), with certain levels equal to 2 to 4 times the guideline value (<1.5 mg / L).

Data processing by the Principal Component Analysis was carried out and the results of this analysis made it possible to highlight certain trends.

**KEYWORDS:** Fluoride, Physicochemical quality, Groundwater, Pre-rif, PCA.

**RESUME:** Dans le but de déterminer la qualité physico-chimique des eaux souterraines du Pré-rif de la région de Taza, en mettant l'accent sur les fluorures. Cette étude a intégré une caractérisation physico-chimique de ces eaux, portant sur 17 paramètres y compris les ions fluorures.

Les résultats obtenus ont révélé que les eaux étudiées sont de très mauvaise qualité dans 46,6% des points, avec un caractère alcalin, sous oxygénées dans 40% des points, et des teneurs en orthophosphate hors des normes recommandées dans 86,6% des échantillons. Un caractère hyper-fluoré a été, également, dévoilé dans 73% des eaux étudiées (1,52-5,90 mg/L), avec certaines teneurs qui égales de 2 à 4 fois la valeur guide (<1,5 mg/L).

Un traitement des données par l'Analyse en Composante Principale a été réalisé et les résultats de cette analyse ont permis de mettre en évidence certaines tendances.

**MOTS-CLEFS:** Fluorure, Qualité physico-chimique, Eaux souterraines, Pré-rif, ACP.

## 1 INTRODUCTION

L'approvisionnement en eau potable représente un véritable défi dans plusieurs régions du monde, particulièrement devant le risque de réduction de la quantité moyenne d'eau douce, vu l'augmentation parallèle de l'approvisionnement et des prélèvements en eau, exposant entre la moitié et les deux tiers de l'humanité à une situation de stress hydrique en 2025 [1].

Les eaux souterraines constituent la principale source d'eau douce et sont les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable. La composition chimique de ces eaux dépend de la nature géologique du sol d'où elles proviennent et aussi des substances réactives qu'elles auraient pu rencontrer lors de l'écoulement [2]. Ainsi la composition quantitative et qualitative des eaux souterraines en matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique, détermine leur qualité [3]. En

outre, l'utilisation intensive des ressources naturelles et l'accroissement des activités humaines ont engendré de graves problèmes sur la qualité de ces eaux [4,5].

Toutefois, malgré qu'elles sont débarrassées d'une grande partie des impuretés, ces eaux contiennent des éléments qui au-delà d'une certaine teneur, compromettent considérablement leur potabilité [6], et par conséquent leur qualité, qui est incriminée dans plusieurs affections sanitaires. En effet, d'après l'OMS plus de 50% des maladies sont d'origine hydrique [7].

La connaissance de la qualité de l'eau est une condition primordiale permettant l'instauration d'un système de gestion qui contribuera à garantir l'approvisionnement en eau dans le futur. Dans ce cadre s'intègre ce travail dont l'objectif est de déterminer la qualité physico-chimique des eaux souterraines de certains centres ruraux du Pré-rif de la région de Taza, en mettant l'accent sur les ions fluorures, cet élément qui présente la particularité d'avoir une concentration optimale (0,7mg/L) qui permet de profiter de ses effets bénéfiques, et une norme qui sert à protéger la population contre ses risques [8]. En effet, l'exposition à des concentrations élevées en fluorures pose le problème de leur toxicité à long terme. La chose qui pourrait être la cause de nombreuses atteintes chroniques des dents ou du squelette, ainsi nommées «fluorose » et l'atteinte d'autres systèmes [9].

## 2 MATERIELS ET METHODES

### 2.1 LE MILIEU D'ÉTUDE

La zone d'étude, qui se limite à la rive droite du bassin versant de l'Oued Inaouen, se situe dans le complexe marneux Pré-rifain, situé au Nord, présentant un relief peu accentué et ses terrains sont à dominance argilo-marneuse. La structure d'ensemble est liée au charriage de ce matériel dont l'âge et la nature sont variés (marne, gypse, calcaire et grès) [10]. La dominance de ces formations marneuses imperméables, fait que la zone d'étude est dépourvue d'importants réservoirs d'eau souterrains, à l'exception des sous écoulements très localisés et de quelques nappes perchées de très faible productivité situées dans des formations géologiques favorables (grès et marno-calcaire) [11]. Du point de vu climatologie, la zone d'étude est caractérisée par un climat de type subhumide. Avec deux saisons bien distinctes et très contrastées, une saison pluvieuse s'étalant sur 8 mois d'Octobre au Mai, avec le mois de Janvier comme mois le plus froid, et une saison sèche de Juin au Septembre, avec les mois de Juillet et Août comme mois les plus chauds [12].

### 2.2 LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les campagnes de prélèvement des eaux souterraines ont été effectuées durant la période Avril 2015/Juin 2015 au niveau des puits et sources de 4 centres ruraux du Pré-rif de la région de Taza.

La caractérisation physico-chimique a porté sur les paramètres suivants : pH, la conductivité, la turbidité, les TDS, l'oxygène dissous, les bicarbonates, le sulfate, les chlorures, le magnésium, le calcium, le potassium, les composés azotés, l'ortho-phosphate, le sodium et les ions fluorures.

Le prélèvement, le transport et la conservation des échantillons d'eau sont faits suivant le protocole du laboratoire de contrôle de la qualité des eaux de l'ONEP et les normes standards [13], [14], [15], [16].

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

#### 3.1.1 PH /CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Le pH de la plupart des eaux échantillonnées est proche de la neutralité (Figure 1.a) avec un caractère plus ou moins alcalin (7,02-7,78), mais qui répond dans la totalité des points aux normes marocaines de potabilité [17].

Les eaux des différents points étudiés (Figure 1.b) présentent une conductivité électrique qui varie entre 589  $\mu\text{s}/\text{cm}$  au niveau de la source S8 comme valeur minimale et 5610  $\mu\text{s}/\text{cm}$  au puits P1 comme valeur maximale. Seulement deux points P1 et S3 enregistrent des valeurs de conductivité qui dépassent largement la valeur fixée par la norme marocaine [17] (< 2700  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ). Généralement, la majorité des points présentent un caractère très minéralisé.

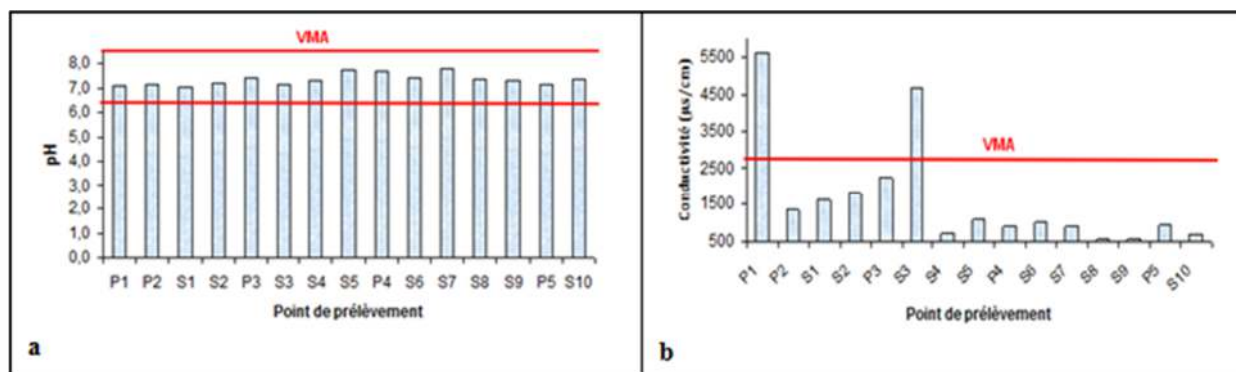


Fig. 1. Variation du pH (a) et de la conductivité électrique (b) des eaux souterraines au Pré-rif de la région de Taza

### 3.1.2 TENEUR TOTALE EN SOLIDES DISSOUS (TDS)/ TITRE ALCALIMÉTRIQUE COMPLET (TAC)

Les concentrations du total des solides dissous dans les eaux souterraines du Pré-rif de la région de Taza, varient entre 271 mg/L (S8) et 1700 mg/L (S10) (Figure 2.a).

Les fortes concentrations des solides dissous sont détectées dans les points : P1, S2, P3 et S10, en dépassant la limite souhaitable pour les eaux de boisson (<1000 mg/L [18]).

Les eaux des différents sites échantillonnés présentent un TAC qui varie entre 91,04 mg/L et 535 mg/L, avec 9 points qui dépassent 350 mg/L pour atteindre des valeurs oscillant entre 414 et 535 mg/L (Figure 2.b). Cette forte alcalinité observée pourrait être due à un apport en dioxyde de carbone, du faible contact air-eau, à l'absence de la végétation et par conséquent une diminution de l'activité photosynthétique.

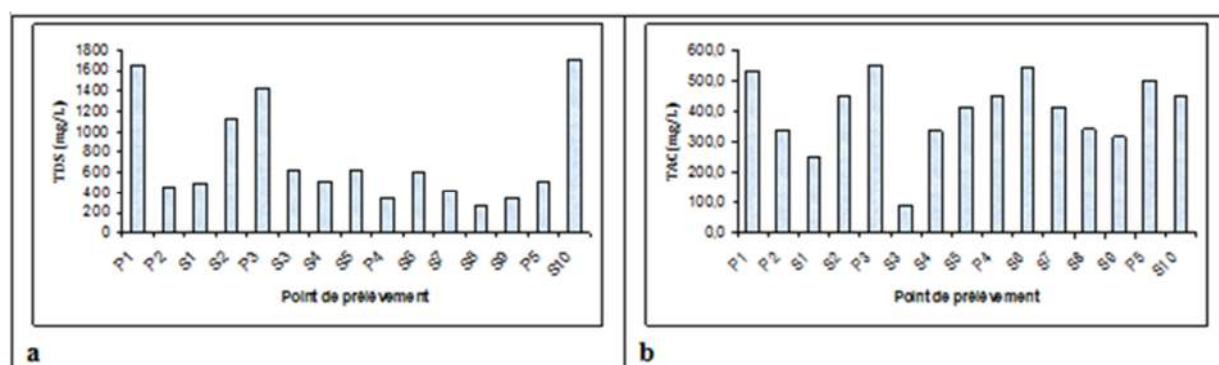


Fig. 2. Variation du TDS (a) et du TAC (b) des eaux souterraines au Pré-rif de la région de Taza.

### 3.1.3 OXYGÈNE DISSOUT/ TURBIDITÉ

Parmi les 15 points étudiés, 6 points sont sous oxygénés présentant des valeurs en oxygène dissous inférieures à 5 mg d'O<sub>2</sub>/L [17] : P1, P2, S1, S3, P4 et S9. Cette faible teneur en oxygène pourrait être due à l'absence de végétaux capables de photosynthèse et au faible contact eau atmosphère, ou à une infiltration des eaux chargées de la matière organique. Les 9 autres points restant sont bien oxygénés avec des valeurs d'oxygène dissous variant entre 7.84 mg d'O<sub>2</sub>/L au niveau des deux points S5 et S10 et 5. 28 mg d'O<sub>2</sub>/L au point S7 (Figure 3.a).

Quant à la turbidité (Figure 3.b), elle varie d'un point à un autre, mais elle reste dans plus de 66 % des points inférieure à la norme 5NTU [17] à l'exception des stations S6, P4, S5, S4 et S10 pour lesquelles on trouve respectivement 48,4, 15,5, 7,78, 6,86 et 6,70 NTU. Ceci pourrait être dû à la mauvaise protection des puits et des sources.

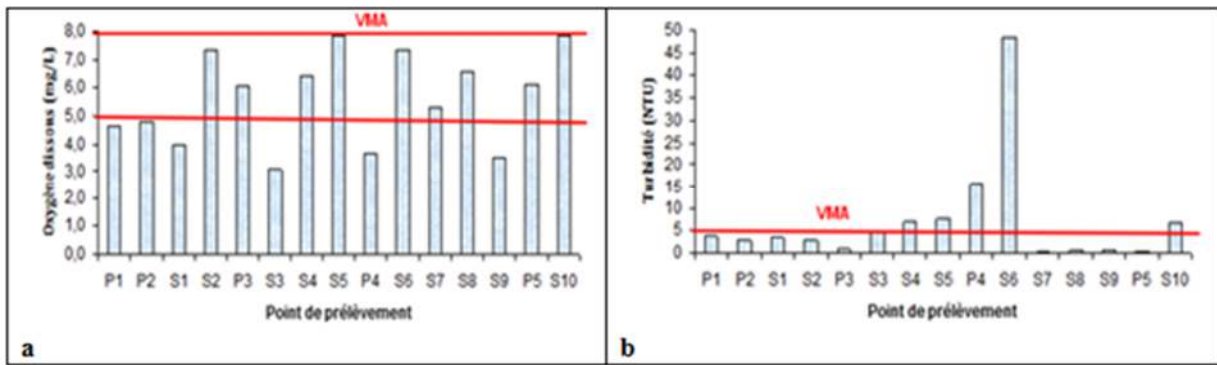


Fig. 3. Variation de l’oxygène dissous (a) et de la turbidité (b) des eaux souterraines au Pré-rif de la région de Taza.

3.1.4 LES COMPOSÉS AZOTÉS

Pour l’ammonium, trois points (P1, S4 et S6) enregistrent des teneurs en ammonium qui dépassent la norme fixée par la NM 03.7.001 [17], par contre les 12 restants présentent des valeurs oscillant entre 0,01 et 0,32 mg/L (Figure 4.a). L’absence de l’azote ammoniacal traduit habituellement un processus de dégradation complète de la matière organique [19].

Quant à les nitrites, les concentrations enregistrées dans les points étudiés n’excèdent pas la valeur limite qui est de 0.5 mg/L (avec une oscillation entre 0.001 et 0.230 mg/L) à l’exception du P1 qui présente une concentration en nitrites de 0.59 mg/L (Figure 4.b).

Par rapport au paramètre nitrate, la qualité des eaux étudiées est excellente en présentant des concentrations qui varient entre 34,84mg /L comme valeur maximale et 0,14 mg/L comme valeur minimale, à l’exception de la station S2 qui présente une valeur de 58,10mg/L, dépassant la valeur limite qui est de 50 mg/L dictée par la NM 03.7.001 [17] (Figure 4.c).

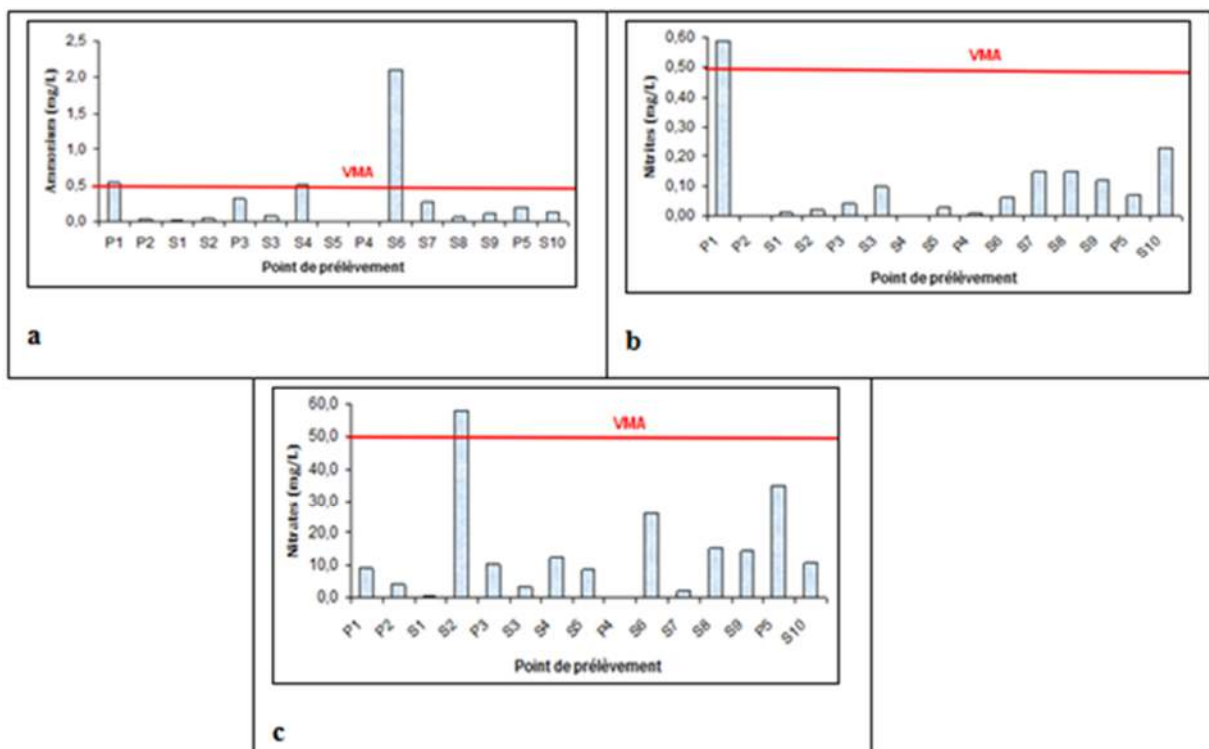


Fig. 4. Variation de l’ammonium(a), des nitrites (b) et des nitrates(c) des eaux souterraines au Pré-rif de la région de Taza.

3.1.5 ORTHOPHOSPHATES / SULFATES

A l'exception des points S3 et S4, tous les points étudiés montrent des teneurs en PO4<sup>3-</sup> qui dépassent largement la norme marocaine [17], en oscillant entre 3,25 et 0,53 mg/L (Figure 5.a). Cette contamination de la nappe par le phosphate témoignerait d'une probable infiltration des eaux usées agricoles (chargées d'engrais...) ou domestiques.

La concentration en SO4<sup>2-</sup> dans les points analysés varie entre 456,18 mg/L et 126,80 mg/L (Figure 5.b), avec 5 points qui dépassent la valeur dictée par la norme marocaine [17] (400 mg/L).

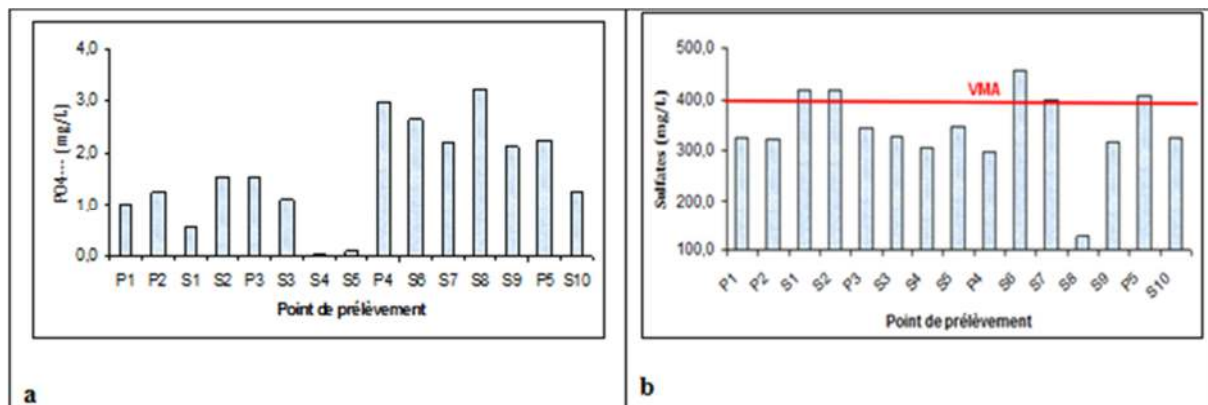


Fig. 5. Variation des orthophosphates (a) et des sulfates (b) des eaux souterraines au Pré-rif de la région de Taza.

3.1.6 CALCIUM ET MAGNÉSIUM

Pour le calcium, les analyses des eaux des différents points échantillonnés (Figure 6.a) ont révélé que quatre points (P1, P3, S6 et S8) sont classés de mauvaise qualité [20]. Les valeurs enregistrées dans les points restant ne dépassent pas les normes.

Pour la concentration du magnésium (Figure 6.b), 14 points présentent des eaux dont la qualité est classée d'excellente à bonne [20] avec des concentrations de Mg<sup>2+</sup> qui varie entre 8,47 et 96,32 mg/L. Seulement les eaux de la station P1 sont classées comme de mauvaise qualité avec une valeur de 194,38 mg/L.

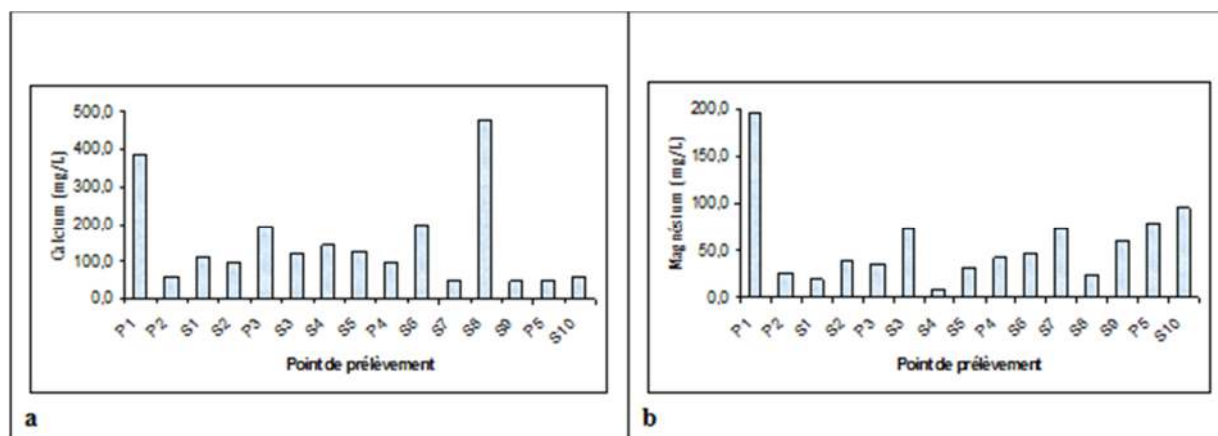


Fig. 6. Variation des teneurs en calcium(a), et en magnésium (b) des eaux souterraines au Pré-rif de la région de Taza.

3.1.7 CHLORURES/ SODIUM/ POTASSIUM

Les eaux des différents points échantillonnés montrent des teneurs en chlorure qui varient entre 2556 mg/L (P1) et 52,3 mg/L (S2) (Figure 7.a). Des valeurs au-delà de la valeur maximale admissible [17] ont été constatées au niveau des 3 points (P1, P3 et S2).

Quant aux teneurs en sodium, 4 points montrent des valeurs qui varient entre 395,24 (S8) et 628,57 mg/L (S3) en dépassant largement la valeur normale préconisée [20]. Les 11 points restant répondent aux normes (Figure 7.b).

Les résultats des analyses concernant la teneur en potassium dans les différents échantillons ont montré des valeurs qui varient entre 16,42 mg/L au niveau du puits P1 et 1,493 mg/L comme valeur minimale (Figure 7.c).

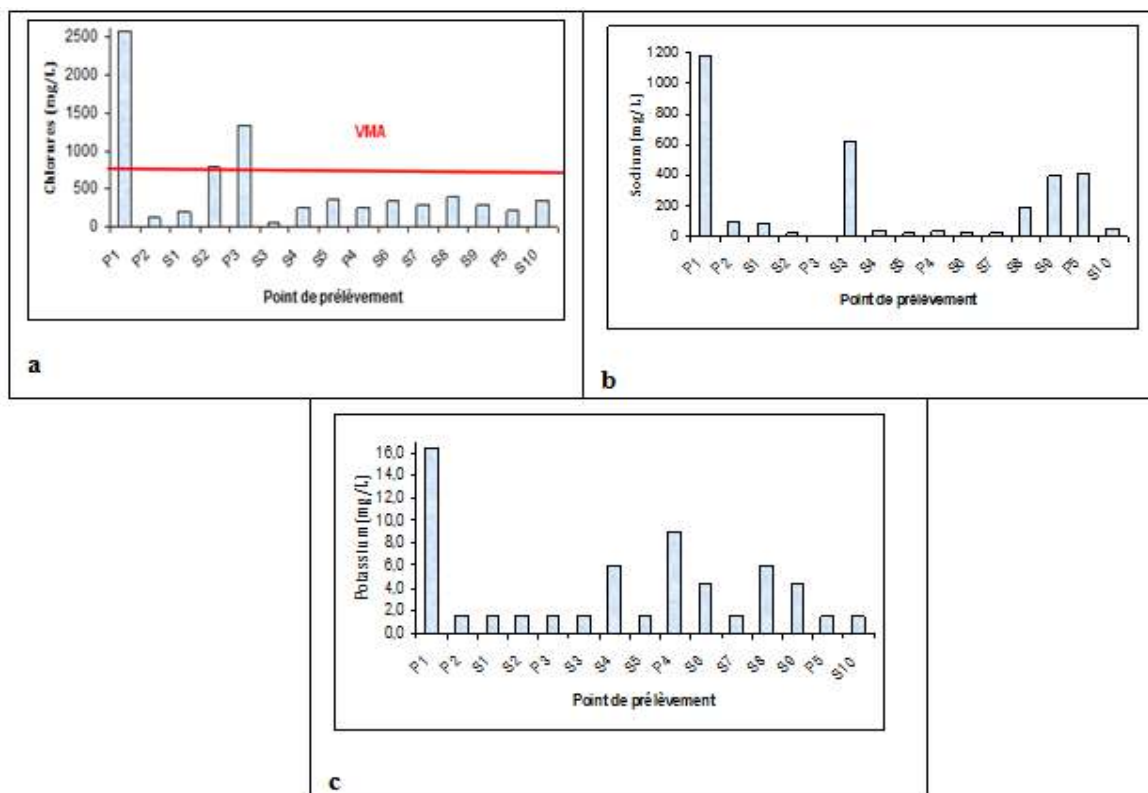


Fig. 7. Variation des teneurs en Cl-(a), Na+(b) et en K+(c) des eaux souterraines au Pré-rif de la région de Taza.

### 3.1.8 LES FLUORURES

L'évolution des concentrations en fluorures (mg/L) dans les différents points de prélèvements, a révélé des concentrations qui oscillent entre 5,903 mg/L au niveau de la source S1 et 0,562 mg/L au niveau du P4 (Figure 8).

Ces résultats montrent que 27% des échantillons ont des teneurs situées dans l'intervalle des teneurs recommandées, dans les eaux de boisson, pour avoir un effet bénéfique de l'ion fluorure (0,5-1mg/L [21]) et bénéficier de son action carioprotectrice. Alors que plus de la moitié des points (73%) présentent des teneurs en fluorures qui dépassent la valeur maximale recommandée pour les eaux de boissons [17, 18], en enregistrant des valeurs allant de 1,52 à 5,90 mg/L. En effet, certains de ces points présentent des teneurs pouvant être égales 2 à presque 4 fois la valeur normale.

Un apport excessif en fluorure peut affecter la formation normale des dents et des os. Toutefois, sa consommation à des doses élevées (>1,5 mg/L) conduit à la fluorose dentaire. A des doses plus élevées (>3 mg/L) le fluorure peut entraîner une fluorose squelettique [9].

D'une manière générale, une teneur en fluorure entre 1,5 et 2 mg/L entraîne des atteintes dentaires et, à des stades avancés, conduit à la fluorose dentaire [9]. En effet, il a été prouvé que la prévalence et la sévérité de la fluorose dentaire augmentent avec la concentration des fluorures dans l'eau de consommation [22].

Lorsque les concentrations en fluorures dans les eaux de boisson excèdent 4-8 mg/L, la fluorose squelettique peut apparaître, en se manifestant par une augmentation de la densité osseuse, douleur osseuse et calcification des ligaments [9]. Comme, il a été constaté qu'une consommation d'une eau fluorée à 4 mg/L durant une vie pouvait avoir le potentiel d'induire une fluorose osseuse de stade 2 ou 3 et d'augmenter le risque de fracture des os [23]. Comme il a été rapporté que l'exposition

à une eau fluorée entre l'âge de six et huit ans chez les garçons, augmente significativement le nombre d'ostéosarcomes au début de la vingtaine d'années [22].

La gravité de la fluorose dépend de la concentration de fluorure dans l'eau de boisson, la dose journalière, de continuité et la durée d'exposition, et les conditions climatiques [9].

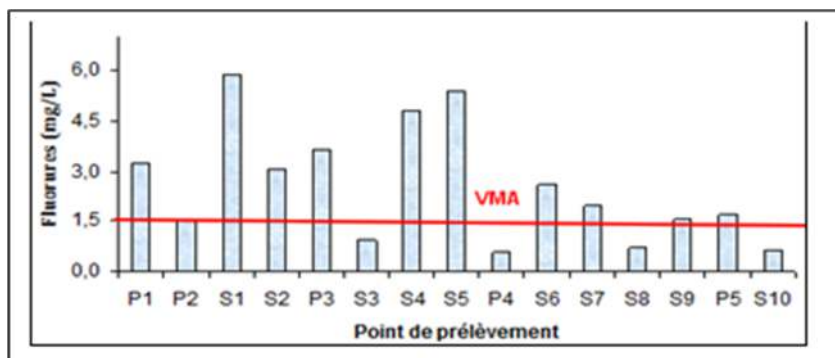


Fig. 8. Variation des teneurs en fluorures (mg/L) des eaux souterraines au Pré-rif de la région de Taza.

Compte tenu du pourcentage important des points d'approvisionnement contaminés, il apparaît important de savoir la provenance et les interactions qui gouvernent la présence de ces ions dans ces eaux.

### 3.2 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES PHYSICO-CHIMIQUES

Le traitement des données par l'analyse en composante principale a été réalisé en utilisant comme variables les 7 paramètres et comme individus les 15 stations analysées. Les résultats de cette analyse (figure 9) permettent de mettre en évidence certaines tendances.

Le cercle de corrélation formé par les axes F1 et F2, donnant 89,94 % de l'information totale. L'axe F1 est exprimé dans son pôle positif par la TDS et TAC dans le sens positif et le fluorure, le pH, le calcium, le magnésium, le sodium et l'orthophosphate dans le sens négatif. L'axe F2 est constitué par le sodium et la TDS dans le sens positif et les autres ions dans le sens négatif (Figure 9).

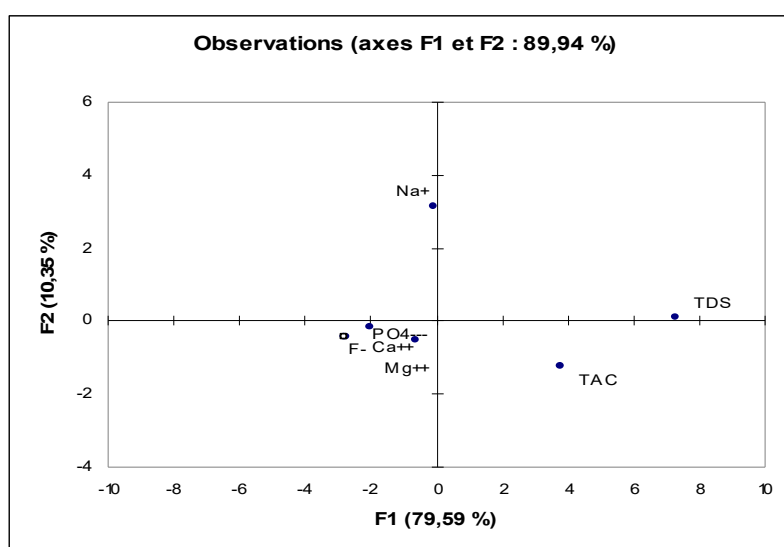


Fig. 9. Projection des variables et représentation des sources sur le plan factoriel F1 et F2

Un apport en fluorures dans les eaux souterraines suite aux interactions eau-roche dans l'aquifère, se traduit par une corrélation du fluorure avec certains paramètres géochimiques majeurs. En effet, les fluorures sont corrélés positivement avec

TDS, Na<sup>+</sup>, pH, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, en contrepartie ils ont une corrélation négative avec Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> [24], [25]. Généralement, les valeurs de TDS et de Na<sup>+</sup> dans les eaux souterraines reflètent l'impact des processus géologiques [26]. De ce fait, une corrélation des fluorures avec les TDS et Na<sup>+</sup> indique que la présence des fluorures dans les eaux souterraines pourrait être attribuée essentiellement à la dissolution des minéraux riche en fluorures [26].

Les résultats obtenus, ne sont pas en accord avec ceux précédemment cités [24], [25], [26], ce qui suggère que la provenance des fluorures dans les eaux étudiées pourrait avoir une origine anthropique, essentiellement l'agriculture (utilisation des engrais et des fertilisants) vu que la zone d'étude est un milieu rural où dominent les champs cultivés et ne présente aucune activité industrielle.

### 3.3 LA QUALITÉ DÉTAILLÉE

Les résultats obtenus, suite aux différents prélèvements effectués, ont permis de réaliser la figure. 10 ci-dessous, en se basant sur la grille de qualité des eaux souterraines [27].

D'après les résultats des analyses physico-chimiques réalisées lors de cette étude, nous avons pu établir une carte de la qualité détaillée des eaux étudiées (Figure 10).

La figure 10, montre que 46,6% des eaux étudiées sont de très mauvaise qualité, alors que les 53,3% restant sont de qualité mauvaise. Subséquemment, les eaux étudiées sont impropres à la consommation humaine, et peuvent présenter une menace pour la santé des utilisateurs.

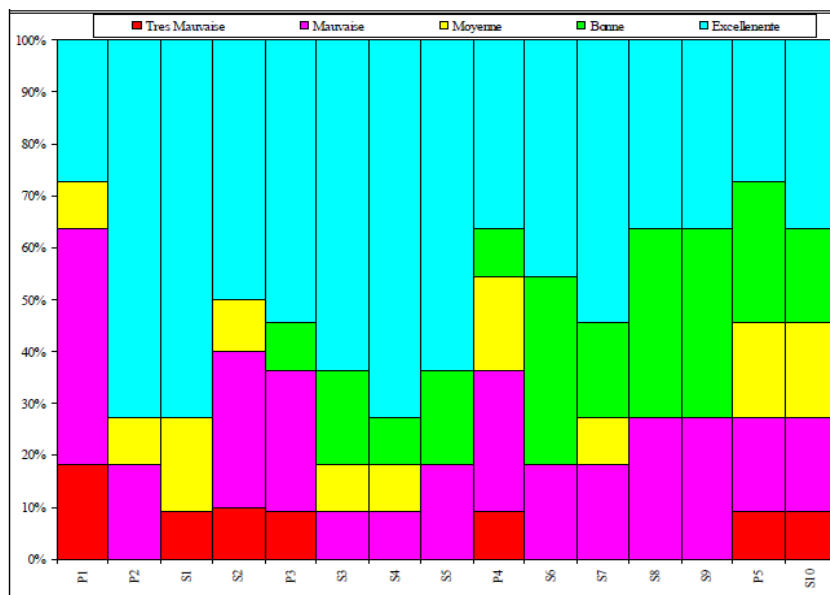


Fig. 10. Qualité détaillée des eaux souterraines au niveau du pré-rif de la région de Taza

## 4 CONCLUSION

Au terme de ce travail une détérioration de la qualité des eaux échantillonnées a été révélée, avec un pourcentage de 46,6% des eaux de très mauvaise qualité. Cette altération s'est manifestée par des teneurs dépassant les normes recommandées pour les eaux d'alimentation humaine. En effet, il a été constaté que les eaux étudiées sont de caractère alcalin, sous oxygénées dans 40% des points, et présentent des valeurs élevées en orthophosphates, sulfates, turbidité, TDS, et en ammonium..., dans respectivement 86,6%, 33,3%, 33,3%, 26,6%, et 20% des échantillons.

Les teneurs en fluorures dans les eaux étudiées ont montré que 73% des eaux sont hyperfluorées (1,52-5,90 mg/L) en excédant largement la valeur recommandée (<1,5mg/L). En fait, certains points ont présenté des teneurs qui varient de 2 à 4 fois la valeur guide.

L'application de l'analyse en composante principale nous permis de conclure que la présence des fluorures dans les eaux étudiées pourrait être attribuée à plusieurs processus complexes, compris en plus des interactions eau-roche dans l'aquifère,



l'apport anthropique qui se manifeste essentiellement dans notre zone d'étude par l'agriculture, la chose qui est témoignée par les teneurs excessives en orthophosphate dans la majorité des points.

## REFERENCES

- [1] D. Abdessamad, "L'eau matière stratégique et enjeu de sécurité au 21<sup>ème</sup> siècle". Université Paris10-DEA Sciences Politiques, 2005.
- [2] L. Matini, J.M. Moutou et M.S. Kongo-Mantono, "Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo". *Afrique SCIENCE* 05(1), 82 – 98, 2009.
- [3] P. Jain, J.D. Sharma, D. Sohu, P. Sharma, "Chemical analysis of drinking water of villages of Sanganer Tehsil, Jaipur District". *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, Vol. 2, N°4, pp. 373-379, 2005.
- [4] S.S.D. Foster, Groundwater for development – an overview of quality constraints. In H. Nash & G.J.H. Mc Call (Eds.), *Groundwater quality. 17 th Special Report*, London United: Chapman and Hall, 1-3, 1995.
- [5] S. Mor, K. Ravindra, R.P. Dahiya, A. Chandra, "Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site". *Environ Monit. Assess.*, N°118, pp. 435-456, 2006.
- [6] Fatou SAMB, Problématique du fluor dans l'alimentation en eau potable du Sénégal. Projet de Fin d'Etudes, en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Ecole Supérieure Polytechnique. Centre de thèses, 2004.
- [7] El Ouedghiri. K, A. ElOualti, M. ElOuchy, F. Zerrouq, F. Ouazzani Chahdi, A. ElOuali Lalami, "Risques sanitaires liés aux composés chimiques contenus dans l'eau de boisson dans la ville de Fès. Cas des ions nitrates et nitrites". *J. Mater. Environ. Sci. (S1)*, pp. 2284-2292, ISSN2028-2508, 2014.
- [8] Groupe Scientifique sur l'eau, Fluorures, Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, pp. 10, 2004.
- [9] M. Ibrahim, M. Asimrasheed, M. sumalatha, P. Prabhakar, "Effects of fluoride contents in ground water: a review". *International Journal of Pharmaceutical Applications* ISSN 0976-2639. Vol 2, Issue 2, pp 128-134, 2011.
- [10] JC. Vidal, Structure actuelle et évolution depuis le Miocène de la chaîne rifaine (partie Sud de l'arc de Gibraltar). *Bull. Soc. Géol. France*, (7), t, XIX, p. 437-460, 1977.
- [11] M. Ben abbou, Impact des déchets sur la qualité des ressources hydriques du bassin versant de l'Oued Inaouen et leur valorisation par compostage. Thèse doctorat des sciences en biologie. Faculté des Sciences et Techniques, Fès, p : 248, 2014.
- [12] DRAT, Délégation régionale de l'agriculture de Taza. 2015.
- [13] Abouzaid et Duchesne, Direction contrôle qualité des eaux (manuel de prélèvement et d'analyse des eaux), ONEP. 1984.
- [14] ONEP, Procédure de conditionnement et de conservation des échantillons d'eau (14PQ 07) Direction contrôle qualité des eaux, 2007.
- [15] ONEP, Procédure de prélèvement des eaux naturelles, traitées et usées. Direction contrôle qualité des eaux, 2007.
- [16] Rodier J., L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9<sup>ème</sup> édition, Paris, Dunod, pp. 1475, 2009.
- [17] NM 03.7.001, Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine. Bulletin Officiel N° 5404 du 16 Mars 2006.
- [18] World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality. 1st addendum to vol. 1. Recommendations. 3rd ed. Geneva: World Health Organisation, p. 595, 2006.
- [19] Lagarde J., Initiation à l'analyse des données. Ed. Dunod. Paris 157, 1995.
- [20] Bulletin officiel, Grilles de qualité des eaux potables, 10 Chaabane 1423 (17octobre 2002). Ministère de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement, Rabat ; p: 13, 2002.
- [21] World Health Organization, Fluorides, Environmental Health Criteria 227. International Programme on Chemical Safety, Geneva; 2002.
- [22] Beaudoin. B, Problématique écotoxicologique actualisée des fluorures dans les eaux municipales. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement. Centre universitaire de formation en environnement université de SHERBROOKE. Sherbrooke, Québec, Canada, 21 janvier 2012.
- [23] National Research Council, Fluoride in drinking Water: A scientific review of EPA's standards. Washington DC, National Academies Press, pp. 530, 2006.
- [24] Rango. T, Kravchenko.J, Atlaw.B, McCornick. PG, Jeuland.M, Merola. B, Vengosh.A, "Groundwater quality and its health impact: An assessment of dental fluorosis in rural inhabitants of the Main Ethiopian Rift". *Environment International* 43, pp. 37–47, 2012.
- [25] Shan Hu, Ting Luo, Chuanyong Jing, "Principal component analysis of fluoride geochemistry of groundwater in Shanxi and Inner Mongolia, China". *Journal of Geochemical Exploration* 135, pp. 124–129, 2013.

- [26] Naseem. S., Rafique. T., Bashir. E., Bhanger. M.I., Laghari. A., Usmani. T.H., "Lithological influences on occurrence of high-fluoride groundwater in Nagar Parkar area, Thar Desert, Pakistan". *Chemosphere* 78, pp. 1313–1321, 2010.
- [27] 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 (SEEE), normes marocaines définissant la grille de qualité des eaux souterraines, 2007.