



Cit this: *JOWSET*, **2018** (02), N°02, 389-396

Hydrogeochemical characterization of groundwater of the middle Ouerrha, Taounate (Rif, Morocco)

Ahmed El Bakouri*¹, Laila Elajhar¹, Douae El Khachine¹, Dounia Bassir¹, Khadija El Kharrim¹, Driss Belghyti*¹

^[1] Laboratoire Environnement et Qualité, Équipe: Eaux, Eaux Usées, Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, B.P: 133, 14 000, Kénitra, Maroc

*Corresponding Author: e-mail: ahmed-el-bakouri@hotmail.fr; belghyti@hotmail.com

This area is located in the central Rif, middle region of Ouerrha. Its substratum is formed mainly by blue marls of the Upper Tortonian, a schistose series of the Cretaceous and formations of red marl saliferous of the Trias. Unfortunately the groundwaters of Taounate district have known the problem of salinity which threatens their quality. In order to elucidate the genesis of this salinity and to know the water-rock contact relationship; the geological studies and seasonal waters sampling campaigns of a natural source and two wells during the period from May 2016 to February 2017 have been performed. Salinity is defined by the total quantity of the elements dissolved in the water it was measured by a Conductivitymeter, Mark OHAUS, Model Starter ST3100C-F. The results showed that the salinity varies between 0,73 g/l in the Kara well and 16,51 g/l in the Hammam source. Given the very important level of the salt in the source, the possible solution is the extraction of the salt by the construction of the accumulation basins, in order to promote the evaporation of water and the decantation of the salt, to use it after a deep analysis.

Received: 27 May 2018

Accepted: 17 October 2018

Available online: 18 October 2018

Keywords:

Groundwaters

Salinity

Red marl

Trias

Taounate

Morocco

Introduction

L'augmentation de la consommation nette en eau potable ainsi que le problème de salinité rendent la situation des ressources en eau critique dans la région de Taounate. Leur gestion doit intégrer toutes les composantes du cycle hydrologique. Parmi de ces composantes, les eaux souterraines, ont longtemps été négligées alors qu'elle représente 95% de l'eau douce de la planète [1]. L'amenuisement et la dégradation de sa qualité ne sont pas facilement perçus. Généralement elles viennent en complément des eaux de surface facilement accessibles. En outre la sécheresse est l'un des phénomènes les plus

importantes résultant de la variabilité et du changement climatique. Face à cette situation, il est donc nécessaire de lancer des études hydrogéochimiques et hydrogéologiques à l'échelle régionale, intégrant à la fois la partie Nord et Sud du bassin du moyen Ouerrha.

Milieu et méthodes d'études

Cadre géographique

La région étudiée, est située dans la partie centrale de la chaîne rifaine, au Nord du Maroc, dans le bassin versant de Sebou et précisément dans le bassin de l'Ouerrha (Fig. 1), région du Moyen Ouerrha. Elle fait partie du secteur Taounate-Aïn

Mediouna. Cette région est comprise entre le massif de Senhaja-Rheddou à l'Est et la ride de Tabouda-Tafrannt à l'Ouest et couvre un secteur d'environ 438 Km² de superficie, 35 Km de long, sur 13 Km de large en moyenne. Elle est comprise entre les latitudes 34° 25' et 34° 37' Nord et les longitudes 4° 25' et 4° 44' Ouest. La région montre un relief monotone constitué d'une multitude de collines au Sud avec une altitude très basse de 214 m et des montagnes au Nord qui peuvent atteindre les 1628 m d'altitude.

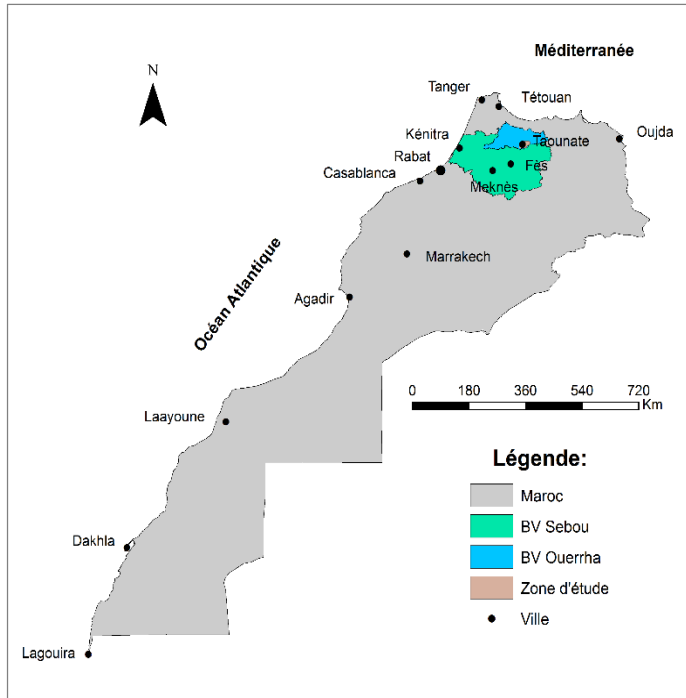


Fig. 1: Situation de la zone d'étude de Taounate

Campagnes d'échantillonnages

Les échantillons des eaux souterraines ont été choisis selon la disponibilité des points d'eau prélevés dans la zone d'étude. Trois stations ont été prospectées, la source Hammam et le puits Kara au NE de la zone d'étude et le puits Twansa dans la partie SW de la zone (Fig. 2). Les différentes campagnes d'échantillonnages ont été effectuées pendant les quatre saisons de l'année, Mai 2016, Août 2016, Novembre 2016 et Février 2017.

Procédure expérimentale

Plusieurs paramètres physico-chimiques caractéristiques de la qualité des eaux souterraines ont été suivis de la manière suivantes: la température a été mesurée in situ à l'aide d'un thermomètre à alcool; le pH par un pH-mètre Marque ADWA, modèle AD1030 à électrode combinée; la conductivité (EC) et la salinité ont été déterminées par un conductivimètre Marque OHAUS, modèle STARTER ST3100C-F; les chlorures (Cl^-), calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), carbonates (CO_3^{2-}), bicarbonates (HCO_3^-) et la dureté totale (HT) ont été déterminés par volumétrie; les nitrates (NO_3^-) et sulfates (SO_4^{2-}) par

spectromètre UV Marque SECOMAM, modèle UVILINE 9400; et enfin le sodium (Na^+) et potassium (K^+) ont été mesurés par ICP.

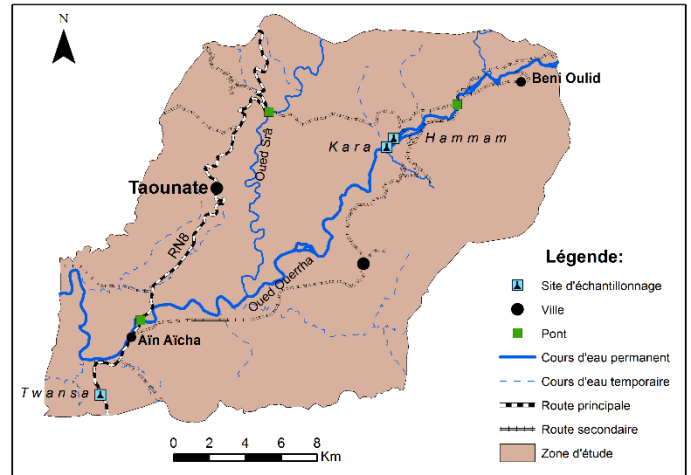


Fig. 2: Situation des points d'échantillonnage

Cadre géologique

Dans la région de Taounate, les formations géologiques (Fig. 3) de détail sont complexes, nous avons pu distinguer plusieurs systèmes géologiques:

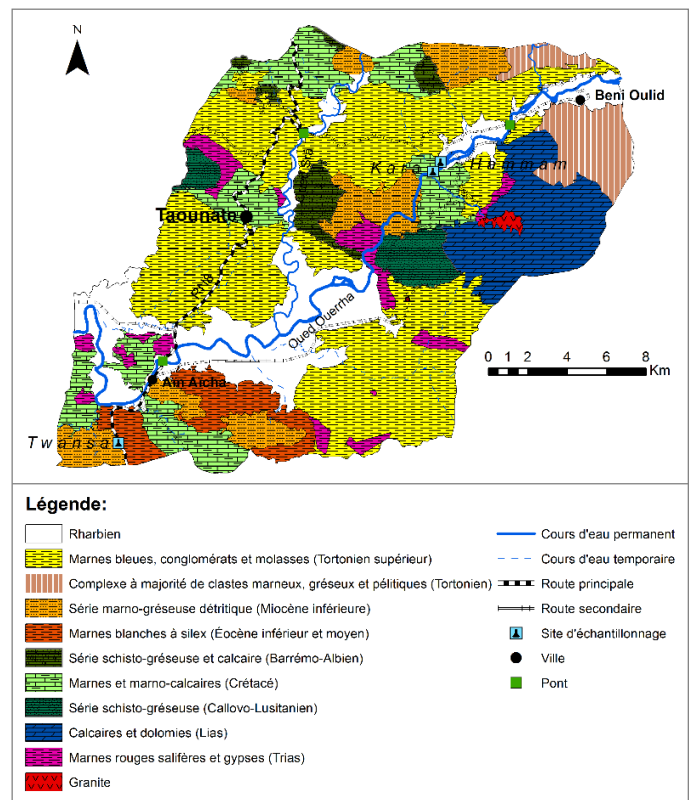


Fig. 3: Schéma géologique structural au 1/500 000 de la région de Taounate

- **Trias:** formé essentiellement par des marnes rouges salifères et des gypses.

- **Jurassique:** les formations sont largement développées sous deux principaux faciès, des calcaires dolomitiques du Lias qui forment de grands massifs et un flysch schisto-gréseux du Callovo-Oxfordien.
- **Crétacé:** caractérisé par des marnes et marno-calcaires, à l'Aptien-albien le caractère détritique terrigène de la sédimentation s'accroît et correspond au flysch d'Albo-Aptien.
- **Éocène:** l'Éocène inférieur et moyen se présentent sous forme de marnes blanches à silex.
- **Quaternaire:** l'évolution quaternaire se traduit sur le cours des grands Oueds, par un système développé de sept terrasses.

Résultats et discussion

Dans le présent travail de recherche sur l'hydrogéochimie du moyen Ouerrha, on a réalisé un suivi de 14 paramètres physico-chimiques de 2 puits et une source pendant 10 mois :

Température (T)

Facteur important dans toutes les réactions chimiques, la température est un élément essentiel pour contrôler tous les paramètres physico-chimiques d'un système donné. Elle contrôle la solubilité, la densité et la viscosité de l'eau, ainsi que la vitesse des réactions chimiques. Elle a un effet direct sur la conductivité et la détermination du pH des eaux.

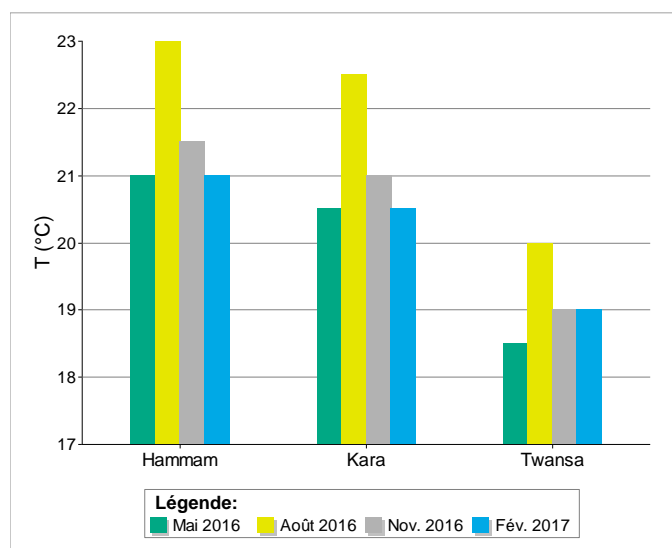


Fig. 4: Évolution spatio-temporelle de la température (T) des eaux naturelles de Taounate

Dans la zone d'étude la température de l'eau atteint sa valeur maximale (23 °C) au niveau de la source Hammam durant la saison d'été (Août 2016). La valeur minimale est enregistrée dans le puits Twansa de 18,5 °C (Mai 2016) (Fig. 4). La différence de température de 0,5 °C entre la source Hammam et le puits Kara peut être due aux formations géologiques, puisque dans la source Hammam il y a dominance des formations rocheuses calcaire, tandis que dans le puits Kara il y a les formations

schisteuses dures au fond, qui apparaissent le long de l'Oued Ouerrha. La différence de 2,5 °C entre la source Hammam et le puits Twansa est due à l'exposition Sud de la source et aux formations marneuses tendres dans la zone Twansa.

Potentiel d'hydrogène (pH)

L'équilibre physico-chimique d'une source ou d'un puits est essentiellement déterminé par le pH. Ce dernier est très sensible aux facteurs environnementaux et géologique tels que, la température, salinité, nature lithologique des terrains traversés, etc.

La variation spatio-temporelle du pH (Fig. 5) montre des faibles fluctuations avec des valeurs moyennes proches de la neutralité (7,63), elles varient entre 7,26 et 7,77 dans la source Hammam, entre 7,26 et 8,5 dans le puits Kara et entre 7,25 et 7,61 dans le puits Twansa. Ce caractère neutre à légèrement basique pourrait être attribué à la nature sédimentaire des terrains secondaires essentiellement carbonatés formés de calcaire, dolomites et marnes, d'où l'effet tampon que présentent les formations, à travers l'ensemble des réactions du système aquifère potentiel d'hydrogène (eau / carbonates insolubles / CO_2 dissous / bicarbonates solubles). Cette variation du pH est due à la couverture alluvionnaire argileuse et sableuse qui isole la nappe de l'air, ainsi la quantité du sel dissous dans la source Hammam et le puits Kara, qui règlent l'équilibre acido-basique des eaux.

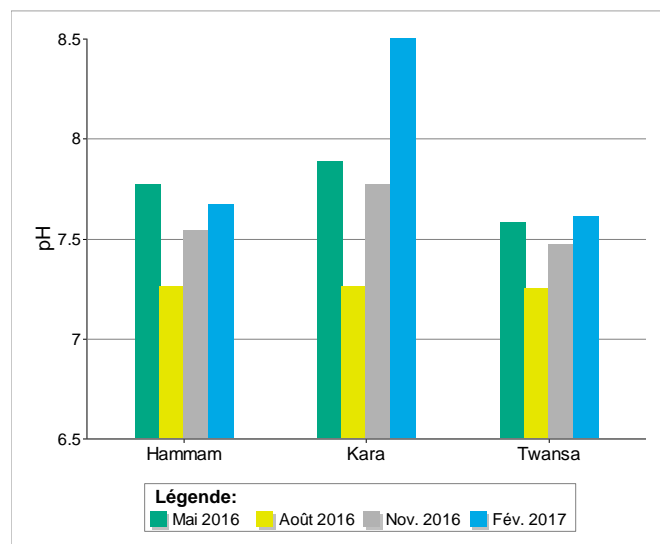


Fig. 5: Évolution spatio-temporelle du potentiel d'hydrogène (pH) des eaux naturelles de Taounate

Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau. Elle est proportionnelle à la quantité des sels minéralisables dissous. Une conductivité élevée traduit dans la plupart des cas une salinité importante qui peut être d'origine naturelle [2].

L'évolution spatio-temporelle de la conductivité montre un enrichissement croissant dans la source Hammam surtout en période d'été qui varie entre 22 700 et 26 900 $\mu S/cm$, alors

dans le puits Kara et Twansa elle varie entre 1 510 et 1 638 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et entre 3 280 et 3 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement (Fig. 6). Cette forte conductivité peut être due à une origine naturelle par lessivage des formations lithologiques carbonatées (Gypses, marne rouge salifère, dolomite, calcaire,...), d'où la libération des ions carbonates (CO_3^{2-}), bicarbonates (HCO_3^-), magnésium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}), etc, notamment pour la source Hammam.

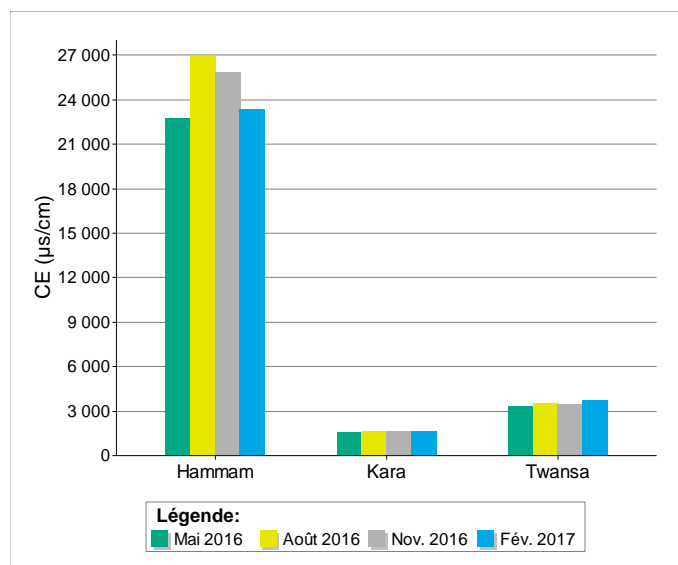


Fig. 6: Évolution spatio-temporelle de la conductivité électrique (CE) des eaux naturelles de Taounate

Salinité

La salinité c'est la masse de sels ou composés ioniques dissous dans un litre d'eau, elle s'exprime en g/L d'eau. Un composé ionique ou solide ionique cristallin est constitué de cations chargés positivement et d'anions chargés négativement régulièrement disposés dans l'espace. Un cristal ionique est électriquement neutre. Chaque solide ionique cristallin possède une formule statique qui indique la nature et la proportion des ions présents sans en mentionner les charges.

La salinité est directement liée à la minéralisation des eaux, la présence des sels est le résultat des phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie des eaux par l'évaporation, lessivage et dilution [3].

La salinité des eaux varie d'une zone à une autre, elle est entre 13,68 et 16,51 g/L dans la source Hammam, 0,73 et 0,88 g/L dans le puits Kara et 1,46 et 1,93 g/L dans le puits Twansa (Fig. 7). La forte salinité est due essentiellement au lessivage et/ou au contact eau-roche des formations marneuses salifères (Fig. 8) du Tortonienne par les eaux de l'aquifère, tandis que la faible minéralisation est due à la dilution par les eaux de l'aquifère ou à l'absence des niveaux gypseux.

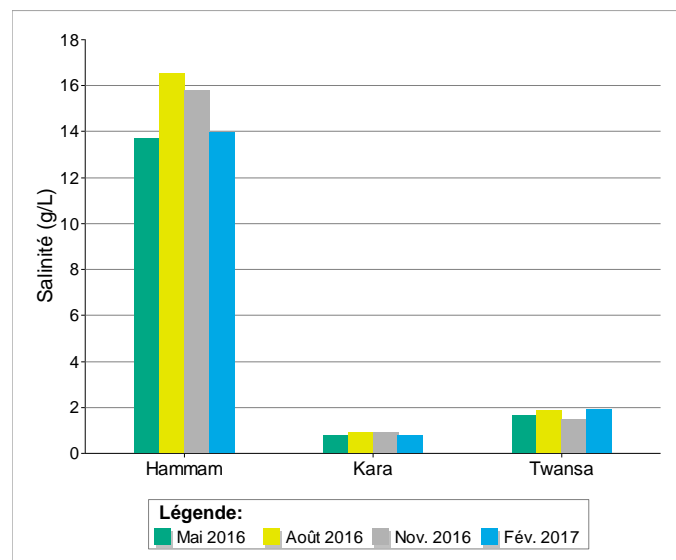


Fig. 7: Évolution spatio-temporelle de la salinité des eaux naturelles de Taounate



Fig. 8: Marnes bleue blanchie par le sel au niveau de la zone Twansa

Chlorures

Les concentrations des chlorures sont élevées et atteignent des valeurs très fortes surtout au niveau de la source Hammam. Elles oscillent entre 8260,5 et 9005 mg/L, surtout pendant la période d'été, alors que dans le puits Kara et Twansa ces concentrations varient entre 215,2 et 244,6 mg/L et 804,8 et 885,6 mg/L respectivement (Fig. 9). Ces fortes valeurs sont dues au lessivage des marnes et calcaires dolomitiques de la bordure d'une part et au lessivage des sédiments quaternaires couvrant le secteur d'autre part. La présence des alluvions et des sédiments d'origine évaporitique à la surface du sol facilite le lessivage. Pendant les périodes des basses eaux, l'évaporation intense influence les teneurs surtout quand le niveau piézométrique est proche de la surface du sol. En effet selon Seghir (2008) les concentrations maximales en chlorures sont de 17,41 mg/L dans la source Bouakous ; 2202,69 mg/L dans un puits de faible profondeur et 228,25 mg/L dans un puits de grande profondeur [3].

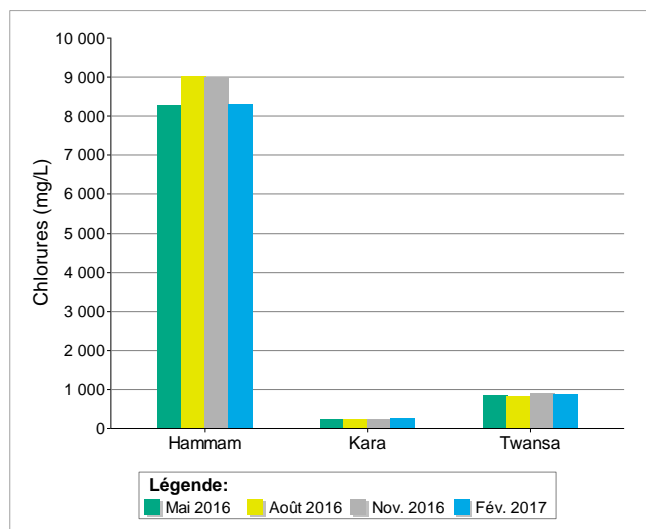
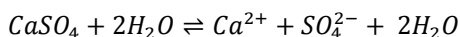


Fig. 9: Évolution spatio-temporelle des chlorures des eaux naturelles de Taounate

Sulfates

La variabilité des teneurs en sulfates observées dans les eaux souterraines présente un grand intérêt hydrogéologique. Leur origine est lié aux précipitations qui peuvent contenir des quantités non négligeables de SO_4^{2-} , au lessivage des roches évaporitiques (gypse, anhydrite,...) ou par l'oxydation du soufre de la pyrite contenue dans les roches selon la réaction suivante:



La plus forte valeur est enregistrée dans la source Hammam de 1047,1 mg/L. La plus faible est de 137 mg/L dans le puits Kara (Fig. 10). D'après l'OMS [4] la valeur limite est de 250 mg/L, valeur qui rend la source Hammam non potable.

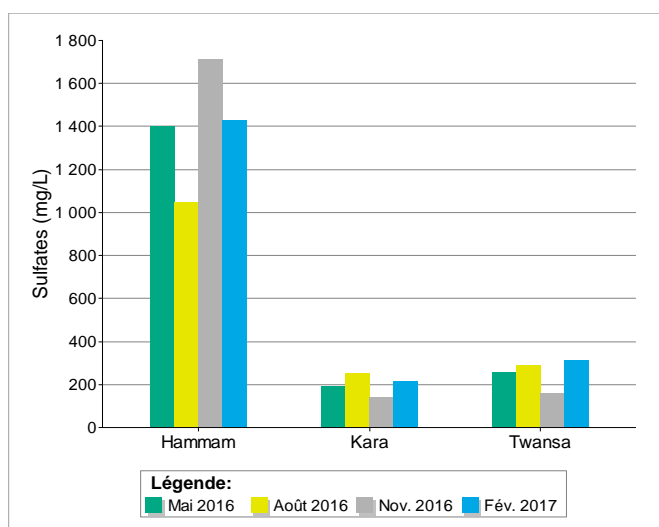


Fig. 10: Évolution spatio-temporelle des sulfates des eaux naturelles de Taounate

Nitrates

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote et très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les teneurs maximales sont observées durant les campagnes de Mai et Août 2016 (25,3 et 25,7 mg/L dans le puits Twansa et 17,3 et 19 mg/L dans le puits Kara respectivement) (Fig. 11), ces teneurs élevées sont pour origine les activités agricoles qui régissent la migration des nitrates de la surface du sol jusqu'au toit de la nappe en passant par la zone non saturée et son mouvement, par la suite, dans l'aquifère. Toutes les valeurs sont inférieures aux normes de potabilité de l'OMS fixé à 50 mg/L [4].

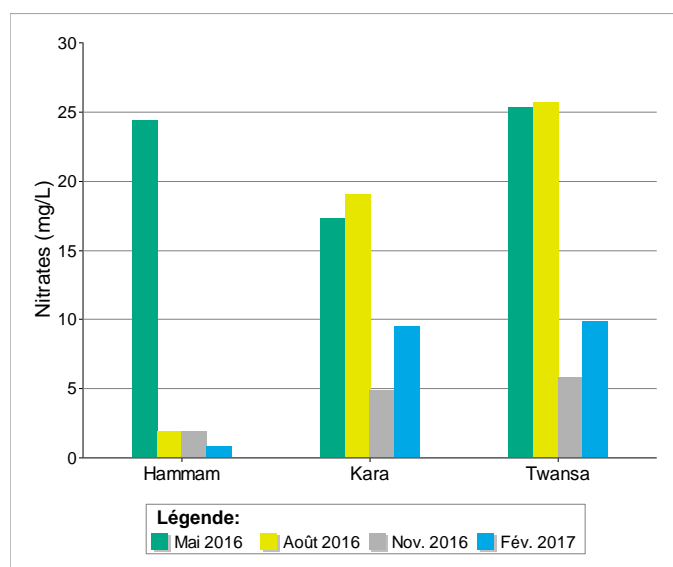


Fig. 11: Évolution spatio-temporelle des nitrates des eaux naturelles de Taounate

Bicarbonates

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées et sont le résultat de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon la réaction suivante :



La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction de la température de l'eau, la tension du CO_2 dissous, la concentration de l'eau en sels et la nature lithologique des terrains traversés. Les concentrations importantes apparaissent dans la zone Twansa avec des teneurs qui varient entre 411,8 et 549 mg/L. À Hammam les concentrations sont relativement faibles (Fig. 12) car le faciès chloruré est le plus dominant.

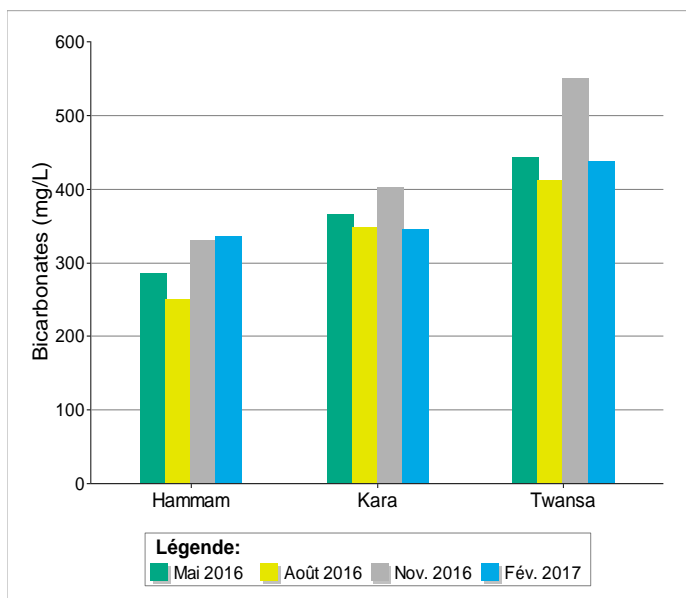


Fig. 12: Évolution spatio-temporelle des bicarbonates des eaux naturelles de Taounate

Calcium

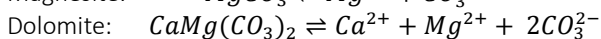
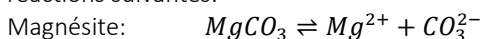
La caractéristique du Ca^{2+} est qu'il est facilement échangeable avec les ions Mg^{2+} , K^+ et Na^+ [5].

L'eau est composée de nombreux éléments minéraux et organiques. Sa richesse en minéraux varie selon la composition des sols qu'elle traverse. Les terrains calcaires donneront une eau riche en calcium.

Le calcium est l'un des paramètres qui contribuent à la minéralisation des eaux. Il en ressort que les eaux souterraines de la région de Taounate, présentent des teneurs assez remarquables en calcium. Elles varient entre 677,4 et 941,2 mg/L dans la source Hammam, entre 76,9 et 112,2 mg/L dans le puits Kara et entre 108,4 et 176,3 mg/L dans le puits Twansa (Fig. 13). Cela aurait pour origine la dissolution des formations carbonatées ($CaCO_3$) du Miopliocène et des formations alluvionnaires gypseuses ($CaSO_4$) du Quaternaire.

Magnésium

Les eaux de pluie sont très pauvres en Mg^{2+} ; celui-ci provient essentiellement de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) selon les réactions suivantes:



La cinétique de la mise en solution de ces roches n'est pas rapide. Le temps de dissolution étant plus important que pour la calcite, les teneurs élevées en magnésium indiquent généralement des eaux à transit lent.

Les valeurs les plus élevées sont observées dans la source Hammam pendant la campagne d'été 2016 (383,2 mg/L). D'après Seghir (2008) la valeur maximale est enregistrée dans un

puits de faible profondeur (491,38 mg/L) [3]. Les valeurs les plus faibles sont observées au niveau du puits Kara (37,5 mg/L) (Fig. 14).

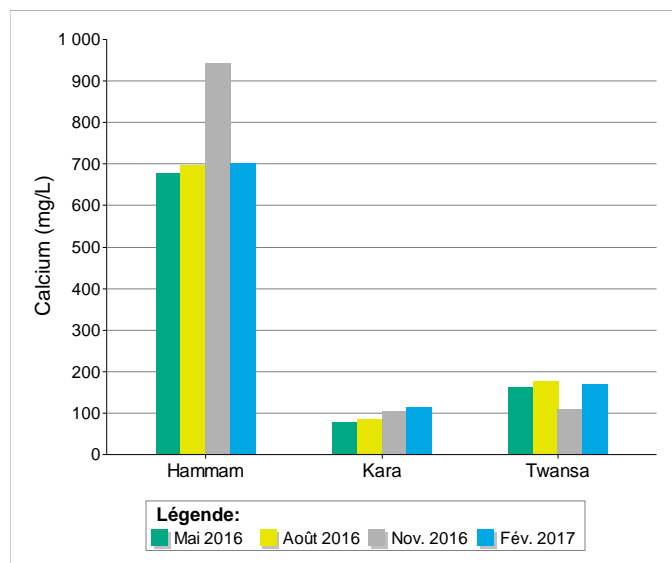


Fig. 13: Évolution spatio-temporelle du Calcium des eaux naturelles de Taounate

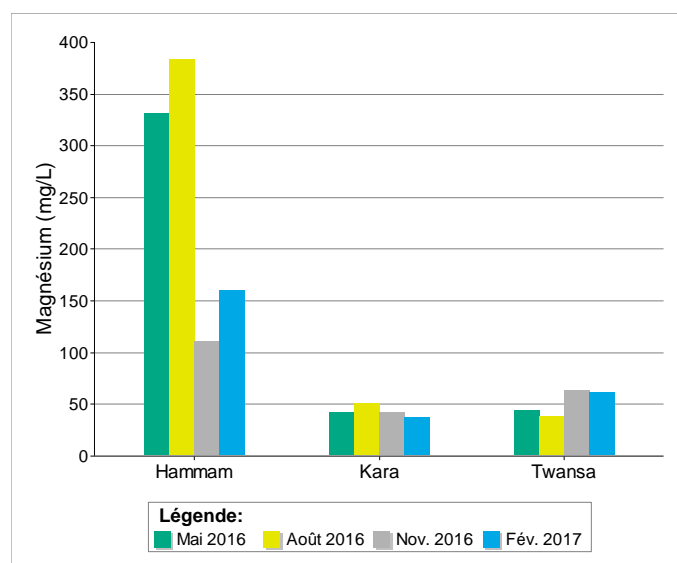


Fig. 14: Évolution spatio-temporelle du Magnésium des eaux naturelles de Taounate

Sodium

Le sodium résulte d'une dissolution rapide et en grande quantité de $NaCl$. Leur présence est souvent très faible, il provient des précipitations qui constituent le principal apport par lessivage des impuretés atmosphériques d'origine océanique.

Les plus fortes valeurs, de l'ordre 5 600 mg/L sont enregistrées dans la source Hammam. Ces concentrations sont influencées par les apports dû à la présence des formations triasiques

(marne rouge salifère) à la bordure de la source, au minéraux silicatés, tel que les argiles ou par évaporation qui est active dans les sols à proximité de la surface qui favorise la reconstitution de Na^+ [6]. Au niveau du puits Kara et Twansa ces concentrations sont faibles par rapport à la source. Elles varient entre 155 et 210,9 mg/L et entre 440 et 670 mg/L respectivement (Fig. 15). Selon Sehgir (2008) les teneurs maximales en sodium sont de 10,62 mg/L dans la source de Bouakous, 600 mg/L dans un puits de faible profondeur et 500 mg/L au forage de grande profondeur [3].

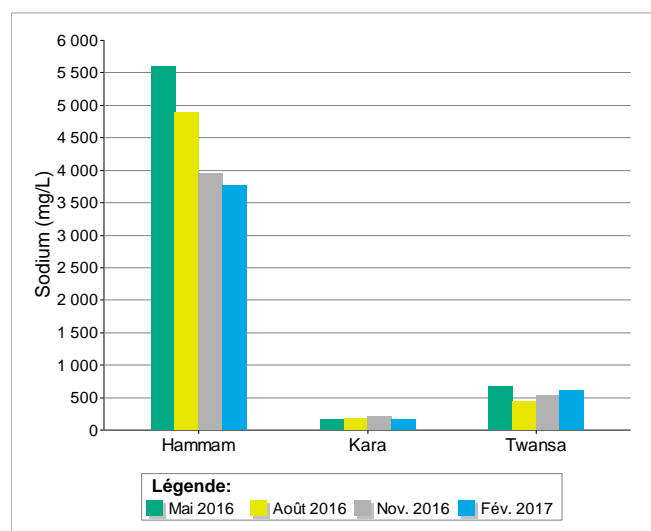


Fig. 15: Évolution spatio-temporelle du Sodium des eaux naturelles de Taounate

Potassium

La présence du potassium dans les eaux est liée à l'altération des argiles potassiques et de la dissolution rapide et en grande quantité de KCl . Sa présence dans les eaux naturelles est normale à des concentrations comprises entre 10 et 15 mg/L [7]. En agriculture, le potassium est classé parmi les éléments majeurs (azote, phosphore), car il est absorbé par une grande quantité par les plantes et principalement par les plantes à tubercules (Betteraves à sucres) [5].

Les concentrations en K^+ varient entre 14,6 et 25 mg/L dans la source Hammam, entre 5,2 et 6 mg/L dans le puits Kara et entre 1,7 et 2,1 mg/L dans le puits Twansa (Fig. 16). D'après Alemad (2016) les concentrations maximales sont de 4,5 mg/L enregistrée au forage Sarif [8].

Dureté totale

La dureté totale ou Titre Hydrotimétrique (TH) correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. La dureté totale est surtout proportionnelle aux concentrations en calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les concentrations en fer, aluminium, manganèse et strontium:

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$$

Le TH s'exprime en degré français (°f). 1 °f correspond à 4 mg/L de Ca^{2+} . 1 még de Ca^{2+} correspond à 5 °f.

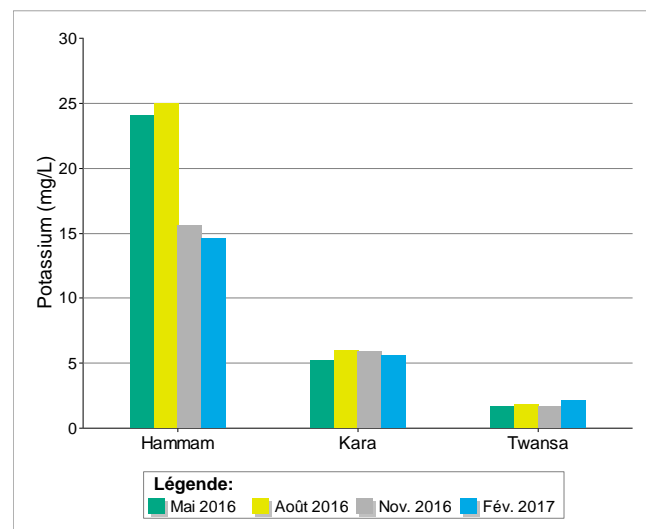


Fig. 16: Évolution spatio-temporelle du Potassium des eaux naturelles de Taounate

Il n'existe pas de limite supérieure du Titre hydrotimétrique dans la législation ni de valeur guide. Néanmoins on qualifie d'idéal un titre hydrotimétrique compris entre 15 et 25 °f. L'eau dure a des d'effets nocifs sur la santé et les formations calcaires peuvent générer des désagréments matériels (entartrage des canalisations). Le calcaire est principalement composé de $CaCO_3$ résultat de la combinaison du calcium et du gaz carbonique. La valeur limite de TH pour l'eau potable sans traitement est fixée à 15 °f.

L'eau de la source Hammam montre des valeurs très élevées qui varient entre 248 et 320 mg/L, par contre dans le puits Kara elles varient entre 38 et 45 mg/L et entre 56 et 70 mg/L dans le puits Twansa (Fig. 17). D'après les normes européennes, l'eau est classée dure dans le puits Kara et très dure dans la source Hammam et le puits Twansa (Tab. 1).

Tab 1: Interprétation de la valeur de la dureté de l'eau (Normes Suisses) [9]

Dureté (°f)	Appréciation
0 à 7	Très douce
7 à 15	Douce
15 à 25	Moyennement dure
25 à 32	Assez dure
32 à 42	Dure
> 42	Très dure

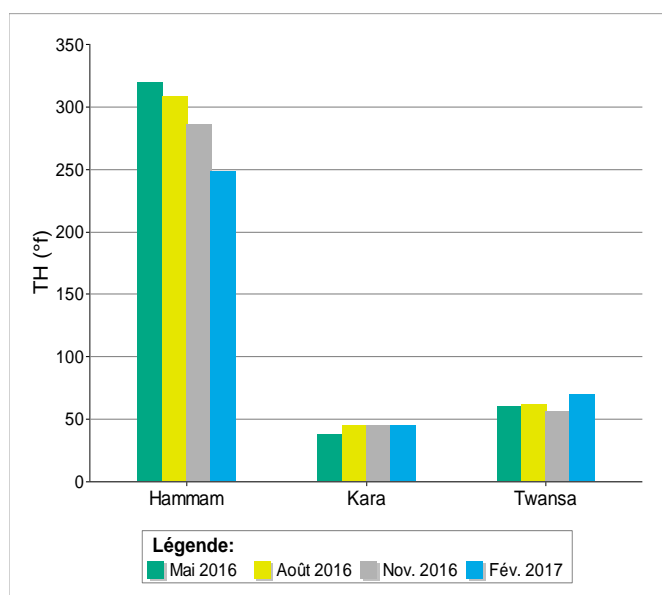


Fig. 17: Évolution spatio-temporelle de la dureté totale des eaux naturelles de Taounate

Conclusions

L'interprétation hydrogéochimique et pédologique des résultats a montré une forte salinité des eaux de la source Hammam. Les principaux éléments majeurs mesurés dans les eaux souterraines pour les trois stations (Hammam, Kara et Twansa), indiquent une différence dans les concentrations des différents composés chimiques. La majorité des concentrations maximales sont enregistrées au niveau de la source Hammam (sauf le pH et HCO_3^-). Le puits Twansa enregistre des teneurs maximales en NO_3^- et HCO_3^- , tandis que le puits Kara enregistre la valeur maximale du pH.

La confrontation du contexte géologique de la région avec la répartition spatiale des éléments chimiques montre que l'origine de cette minéralisation est liée principalement à la dissolution de trois types de formation évaporitiques, carbonatées et alluvions quaternaires.

La variation saisonnière de la concentration des éléments chimiques est liée à l'effet des conditions climatiques de la région de Taounate. En effet, les précipitations et surtout l'évaporation, modifient les propriétés physique et chimique de l'eau.

Dans l'optique de fixer des objectifs sur le plan environnemental et économique, plusieurs mesures peuvent être prises en compte :

- Maitriser le stockage des eaux dans des bassins d'accumulation pour l'extraction des sels ;
- Utilisation des eaux dans l'irrigation après la décantation des sels après une analyse approfondie ;
- Réalisation des études de modélisation des écoulements souterrains pour connaître les mécanismes de transfert des polluants, ce qui peut aider la protection de l'aquifère contre la pollution.

References and notes

1. B.L Morris, A.R Lawrence, P.J.C Chilton, B Adams, R.C Calow, B.A Klinck. Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and options for management. Early warning and assessment report series, RS. *United Nations Environmental Programme*. Nairobi, Kenya. **2003**, 126.
2. N Bernard, R Perrodon. Le temps en géologie. *Collection Synapses*, Éditeur Hachette éducation. **1976**.
3. K Seghir. Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien). Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Faculté des Sciences de la Terre, Annaba, Algérie. **2008**, 151.
4. OMS. Health Criteria and other supporting information. Second edition, guidelines for drinking water quality, *Word Health Organisation*, Geneva, Switzerland, 2, **1996**.
5. M Cadillon, M Jolé, G Knabel, R Rioufol. Que faire des villes sans égouts. Pour une alternative à la doctrine et aux politiques d'assainissement urbain, *SEDES*, Paris, France. **1989**.
6. H Schoeller. Les eaux souterraines. Masson, Paris, France, **1962**, 642.
7. J Rodier, B Legube, N Merlet, coll. L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition, entièrement mise à jour. *Dunod*, Paris, France, **2009**, 1526.
8. A.K Alemad, H Saadaoui, N Ait Said, M Najy, H Daifi, H Saleh Ali Yahya, A Outhman, I Marc, S Aboubaker, I Belhaili, Y Idrissi Azami, K El Karrim, D Belghyti. Note about the causes of the deterioration of groundwater quality in aquifer of Sanaa -Yemen-. *J. Mater. Environ. Sci.* **2016**, 7, 161-169.
9. Trinkwasser Santé Eau Potable Acqua Potabile. Dureté de l'eau: à quoi faut-il faire attention?. Information sur l'eau potable. **2008**, 13,