

Évaluation de la qualité des eaux de la nappe phréatique de Sidi Taibi, Kénitra - Maroc

[Assessment of the water quality of the Sidi Taibi water table, Kenitra - Morocco]

Amina El Yemli¹, Youssef AZAMI IDRISSE², Ali K. Alemad³⁻⁴, and Abdelkhalek Ghazi¹

¹Laboratoire d'Environnement Développement et gestion de Terrain, Université Ibn Tofail, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Kenitra, Morocco

²Laboratoire de Biotechnologie, Environnement et Santé, Université Ibn Tofail, Faculté des sciences, Département des sciences de la vie, Kénitra, Morocco

³Laboratoire Génétique et Biométrie, Université Ibn Tofail, Faculté des sciences, Département des sciences de la vie, Kénitra, Morocco

⁴Ministère d'éducation, Yemen

Copyright © 2020 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 purpose of this work is to assess the quality of groundwater in the Sidi-Taibi region; eight wells were sampled during the months of January and August 2019. 19 physicochemical parameters, metallic, mineralogical and bacteriological traces. These Parameters analyzed by potentiometric, titrimetric methods and by using a geochemical diagram. The concentrations of the physicochemical parameters vary from one well to another and characterize these waters in a moderately acceptable range for certain parameters such as T ° C, conductivity, ph, bicarbonate ions, TAC and chloride for the two seasons. While for other parameters is unacceptable for human consumption, such as nitrates, sodium, sulfates which exceed the quality standards of drinking water. The main cause of this pollution is anthropogenic, which presents a major risk for humans and their environment, especially for water resources. According to the Piper diagram, these waters behave in two facies : chlorinated sulphated calcium and manganese and of the chlorinated and nitrated type, while the diagrams of Schoeller-Berkaloff and Wilcox allow us to note that these wells are presently identical profiles and of included quality between good and excellent. The Bacteriological analyzes have shown that these wells are highly contaminated. The results obtained will be of great interest to the health and hygiene services to file a preventive action in order to avoid serious health risks. Also, allow local authorities to establish awareness programs for the preservation and development of water resources.

KEYWORDS: Groundwater, well, physicochemical parameters, analyzes, diagram, bacteriological.

RESUME: Le présent travail à pour objectif l'évaluation de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la région de Sidi-Taibi. Huit puits ont été échantillonnés durant les mois de janvier et août 2019. 19 paramètres physicochimiques, traces métalliques, minéralogiques, et bactériologiques, les paramètres analysés par des méthodes potentiométrique, titrimétrique et par utilisation d'un diagramme géochimique. Les concentrations des paramètres physicochimiques varient d'un puits à l'autre et caractérisent ces eaux dans une tranche moyennement acceptable pour certains paramètres comme la T°C, conductivité, ph, ions bicarbonates, TAC et le chlorure pour les deux saisons. Alors que pour d'autres paramètres est inacceptable pour la consommation humaine comme les nitrates, sodium, sulfates qui dépassent les normes de qualité des eaux potables. La principale cause de cette pollution est anthropique qui présenter un risque majeur pour l'homme et son environnement, notamment pour les ressources en eaux. Selon le diagramme de Piper ces eaux appartiennent à deux faciès : chlorurés sulfaté calcique et manganésienne et du type chloruré et nitraté, tandis que les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Wilcox nous

permettent de conclure que ces puits présentaient des profils identiques et de qualité comprise entre bonne et excellente. Les analyses bactériologiques ont montré que ces puits sont fortement contaminés. Les résultats obtenus seront d'un grand intérêt pour les services de santé et d'hygiène pour déposer une action préventive afin d'éviter des risques sanitaires graves. Aussi, permettre aux instances locales d'établir des programmes de sensibilisation pour la préservation et la valorisation des ressources en eaux.

MOTS-CLEFS: Eaux souterraines, puits, paramètres physicochimiques, analyses, évaluation, diagramme, bactériologique.

1 INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel pour la vie humaine, animale et végétale. Le corps d'un être humain adulte est composé de 60 % d'eau et la consommation minimale de 1,5 litre d'eau par jour est nécessaire [1]. Les sources et les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable. Toutefois, certaines caractéristiques minimales sont exigées pour qu'elles puissent servir à la production d'eau potable qui dit -elle- même satisfaire à des normes de qualité physico-chimique et biologique. Il est donc important de connaître la qualité de l'eau et de vérifier si les critères de potabilité sont respectés pour éviter des risques sanitaires graves.

L'objectif de notre travail est de déterminer et de quantifier la pollution minérale et bactérienne de la nappe phréatique de huit puits de la région de Sidi Taibi. Cette étude a envisagé d'effectuer des analyses physicochimiques et bactériologiques en vue de caractériser le milieu (eau de source souterraine) et mettre en évidence les paramètres qui déterminent la qualité de l'eau à savoir : La conductivité; la température; le ph; les cations (calcium, magnésium, potassium et sodium); les anions (chlorure, nitrate); les éléments de traces (Fer, Manganèse, Fluorure...etc.).

2 MILIEU, MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La commune Sidi Taibi est située au nord-ouest du Maroc, relève de la province de Kénitra. Elle est limitée du Nord-Ouest par la ville de Kénitra, Nord-Est par la commune Haddada, du Nord-Ouest à l'Ouest par l'Océan atlantique et la commune Bouknadel au Sud-Est. Elle est localisée sous les coordonnées géographiques 34, 19° 0' 0" Nord 6, 690° 0' 0" Ouest. La situation géographique de cette zone d'étude est illustrée par la (Fig. 1). (BET Globétudes 2016).

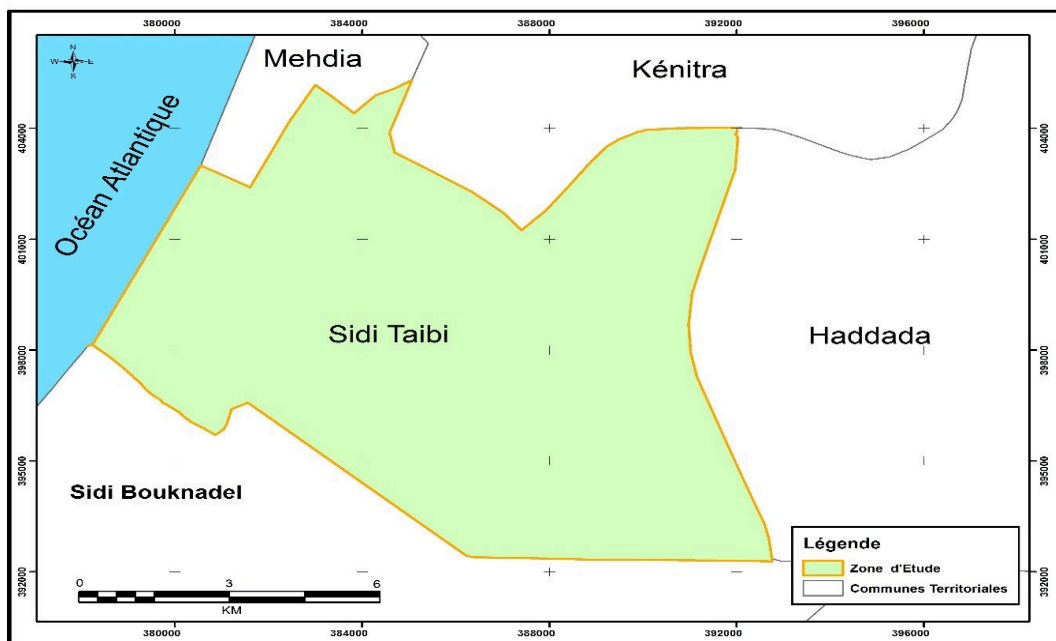


Fig. 1. Situation géographique de la commune Sidi Taibi

2.2 PRELEVEMENT ET ANALYSES

Notre étude s’est focalisée sur huit puits d’eaux irrégulièrement réparties dans la zone d’étude. Les motifs du choix des stations sont basés sur l’effectif de la population desservie par les puits d’eaux choisis, les facteurs de risque de la pollution des eaux telles que l’absence des réseaux de l’eau potable et d’assainissement. Les prélèvements sont très serrés dans les zones agricoles et les zones non aménagées. La planification des différents puits a été réalisées pour obtenir une distribution assez homogène et leurs coordonnées géographiques ont été déterminées moyennant un GPS mono- fréquence (Global Positioning System, type Leica) et transformées en système Lambert (Tableau 1).

Tableau 1. Coordonnées géographiques des sites d’étude dans la région sidi Taibi

Sites	Lieu	X	Y
S1	Douar Mghayta	383159	403196
S2	Douar El hancha	382143	401508
S3	Douar Ouled moussa	382578	402216
S4	Douar Ouled n’cer	383183	401453
S5	Douar Laârafja	380818	399203
S6	Douar Ouled taleb	380510	398477
S7	Douar Hagouche	385210	400891
S8	Douar Zdagh	387842	397479

La représentation spatiale des différentes stations a été faite via le logiciel Arc Gis Arc Mapp et sont reportées sur la carte topographique représentée dans la (Fig. 2). Les prélèvements effectués en mois de janvier et août dans les différents sites et ils sont conservés dans des flacons en polyéthylène ayant une capacité d’un litre, préalablement lavés avec l’eau distillée puis par les eaux échantillonnées pour les analyses des paramètres physicochimiques et des éléments traces contenant de l’acide nitrique (2%) et pour les analyses bactériologiques.

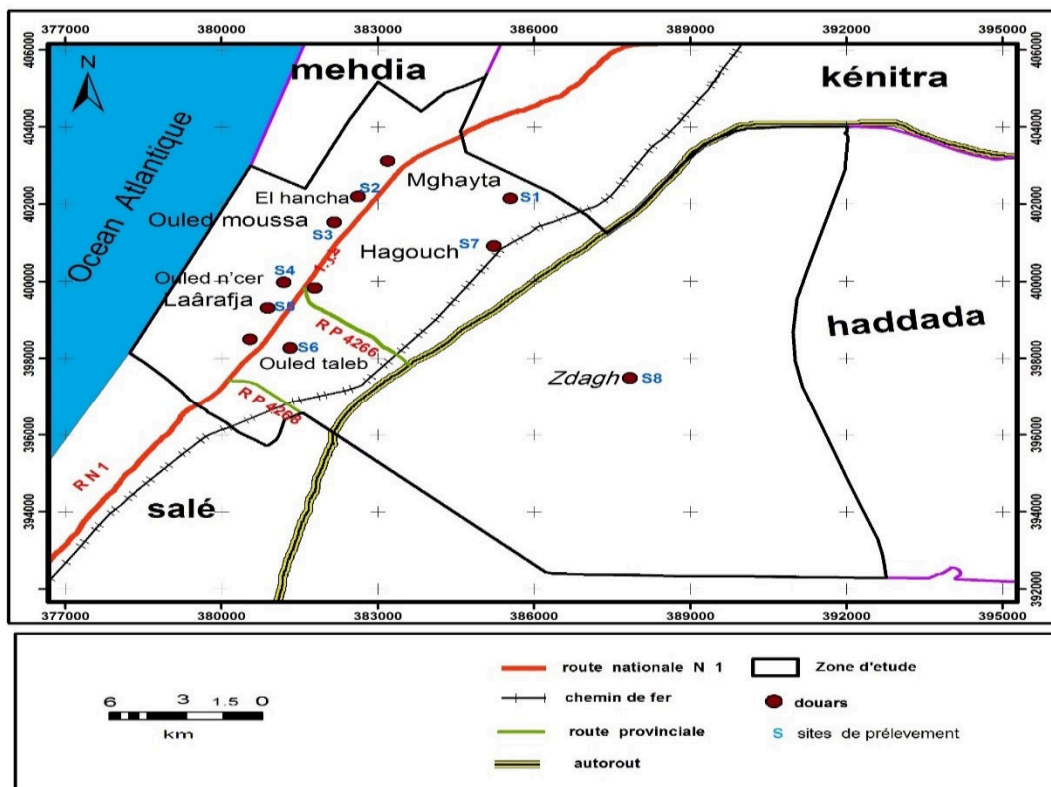


Fig. 2. Carte piézométrique des sites de prélèvements situés dans la zone d’étude

Ces échantillons ont été conservés selon le protocole défini par l'Agence française de Normalisation [2] et acheminés au laboratoire dans des glacières portatives à basse température (4°C), la T °C et la CE ont été mesurées par un conductimètre 3310SET1 WTW, le ph est mesuré avec à un potentiométrique, Le nitrate, le chlorure et le fluorure ont été mesuré par la méthode potentiométrique par un ionomètre. Le TA et TAC ont été mesurée par la méthode titrimétrique, Les teneurs en éléments traces métalliques tels que le plomb, le cuivre, le fer, le cadmium, le manganèse, le nickel et le zinc sont déterminées à l'aide de la spectroscopie d'émission optique couplée à un plasma induit (ICP-OES). Alors que le dosage des ions majeurs tels que Zn²⁺, Fe total, Cu²⁺, Ni²⁺, Pb²⁺, Mn²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ et HCO₃³⁻ ont été faite par un photomètre a flamme type Sherwood M360, enfin des analyses bactériologiques par la méthode de dénombrement. Toutes les analyses chimiques ont été effectuées aux laboratoires des Procédés de Séparation Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences Kénitra.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

La composition chimique des eaux des sources est acquise en grande partie lors de la traversée et du temps de séjour des eaux dans les réservoirs. L'eau est créatrice et un vecteur de l'information sur l'aquifère traversée [3]. La composition chimique d'eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, la mauvaise qualité peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels. La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en matière de consommation humaine et d'irrigation. En effet, la quasi-totalité des eaux mobilisables dans la région est utilisées pour ces deux activités. Ainsi, les exigences relatives à la qualité sont différentes d'une utilisation à l'autre. En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, une étude hydro-chimique a été menée sur plusieurs sources réparties sur l'ensemble de la zone à fin d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité, le degré de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation. L'appréciation de la qualité des eaux de la zone étudiée se fait à partir des normes de qualité basées sur les paramètres physico-chimiques, minéralogiques et bactériologiques [4]. Les résultats détaillés des analyses effectués pendant les deux mois de janvier et d'août sont regroupées dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2. Résultats des paramètres physico-chimiques analysés en mois de Janvier et Août (en mg/l)

Puits & Mois		Paramètres	T°C	Ph	CE	TCA
S1	Janvier		15, 3	7	763	4, 44
	Août		24, 3	7, 41	958	4, 63
S2	Janvier		16	7, 27	862	4, 8
	Août		23, 7	7, 4	972	4, 85
S3	Janvier		15	7, 35	970	5, 2
	Août		24, 3	7, 7	1024	5, 34
S4	Janvier		15, 7	7, 29	962	4, 8
	Août		24, 9	7, 5	1021	4, 97
S5	Janvier		16, 4	7, 14	995	5, 32
	Août		25, 5	7, 35	1109	5, 44
S6	Janvier		16, 6	7, 25	897	5, 52
	Août		25, 1	7, 44	1178	5, 62
S7	Janvier		15	7, 13	737	4, 6
	Août		24, 7	7, 59	1187	4, 77
S8	Janvier		15, 5	7, 22	793	5, 1
	Août		24, 9	7, 22	1072	5, 13

Tableau 3. Résultats des paramètres minéralogiques analysés en mois de Janvier et Août (en mg/l)

Puits & Mois	Paramètres														
	Zn ²⁺	Fe tot	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	No ₃ ⁻	
S1	Janvier	0	0,01	0,02	0,01	0	0	6,3	179,686	5,001	51,811	21,5	214	9,01	65,8
	Août	0,003	0,009	0	0,003	0,009	0	0,0083	81,818	1,754	19,28	31,6	262	6,22	91,14
S2	Janvier	0,02	0	0,02	0,01	0	0,0021	6,77	198,587	5,356	72,235	23,5	249	15,01	69,2
	Août	0,039	0,156	0	0	0,013	0,007	0,0096	72,727	4,825	24,1	33,4	279	12,35	97,2
S3	Janvier	0,04	0,01	0,03	0	0	0	6,26	205,472	5,026	67,716	11,6	260	24,04	68
	Août	0,046	0,013	0	0,001	0,013	0	0,0085	90,909	2,193	20,48	36,4	286	24,51	91,66
S4	Janvier	0,04	0,01	0,05	0	0	0	7,14	210,958	4,777	87,705	33,6	233	12,01	68,8
	Août	0,019	0,01	0	0	0,002	0	0,0091	72,727	2,193	21,69	38,2	334	30,24	85,49
S5	Janvier	0,02	0,01	0,05	0	0	0,0032	7,27	214,677	5,294	94,175	38,5	269	18,05	62,8
	Août	0,02	0,016	0,01	0	0,009	0,008	0,0087	81,818	1,754	26,51	43,1	352	18,48	81,15
S6	Janvier	0,01	0,01	0,03	0	0	0	8,55	256,435	4,283	118,86	60,5	275	33,1	68,4
	Août	0,006	0,007	0,005	0	0,001	0	0,0074	81,818	1,754	18,07	78,7	370	36,64	95,48
S7	Janvier	0,01	0	0,02	0,01	0	0	0,0065	177,048	16,927	53,408	20,78	309	30,11	55,9
	Août	0,008	0,007	0,007	0,002	0,002	0	0,0095	90,909	2,632	24,1	29,6	315	42,32	141
S8	Janvier	0,011	0,00419	0,01261	0	0,01153	0,0015	0,0043	148,54	4,844	59,248	23,7	280	18,22	68,5
	Août	0,012	0,006	0,028	0	0,002	0,001	0,0092	90,909	1,754	20,48	30	389	48,02	150

3.1 PIÉZOMÉTRIE

La profondeur de l'eau par rapport au sol, selon le relevé réalisé en mois de janvier et août 2017 au niveau de huit puits d'eau, varie de quelques mètres à plus de cinquante mètres. L'analyse de la carte piézométrique (Fig.2) montre que la répartition des puits de prélèvement est homogène et le sens de d'écoulement général des eaux se fait de l'Est vers l'Ouest.

3.2 VARIATIONS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état physique de l'eau telle que la température, le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique de l'eau.

3.2.1 TEMPÉRATURE DES EAUX ÉTUDIÉES

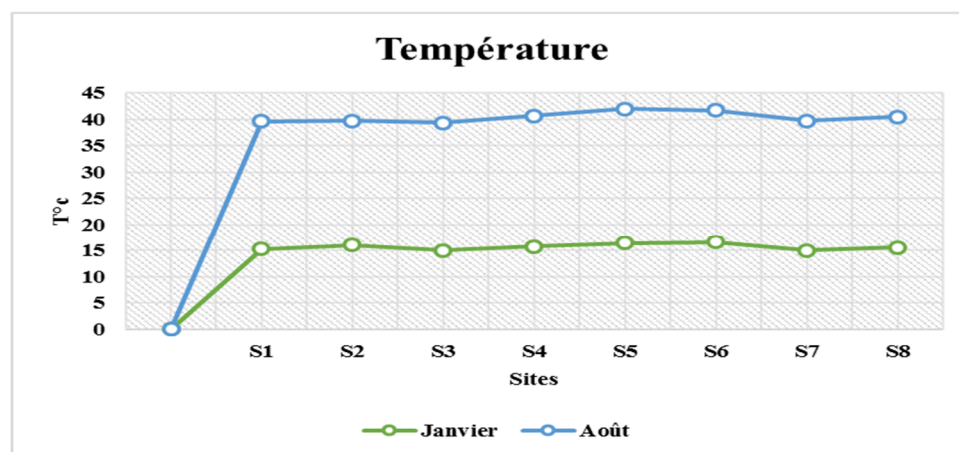


Fig. 3. Variation spatio-temporelle de la température en fonction des puits pour les deux mois

Dans la zone d'étude, les variations thermiques sont faibles. Les températures enregistrées oscillent entre 15 (S3, S7) et 16, 6°C (S6) en période hivernale, et entre 23, 7°C (S2) et 25, 5°C (S5) en période estivale. Ces résultats ne présentent pas des variations saisonnières importantes pour les deux saisons (Fig. 3). Au cours de la période d'étude, les valeurs de la température

obtenues dans la quasi-totalité des puits d'eaux prélevées sont inférieures à la valeur maximale admissible 25°C de la norme marocaine relative à la qualité de l'eau potable [5] et l'organisation mondiale de la santé [6]. Sauf, le point d'eau S5 (25, 5°C) dépasse un peu cette norme. La variabilité saisonnière de la température est liée exclusivement à l'effet temporel [7]. Ces résultats enregistrés concordent avec ceux obtenus dans les études antérieures des auteurs Kherrati [8], Ibeda [9] et Akkaoui [10].

3.2.2 POTENTIEL HYDROGÈNE DES EAUX ÉTUDIÉES

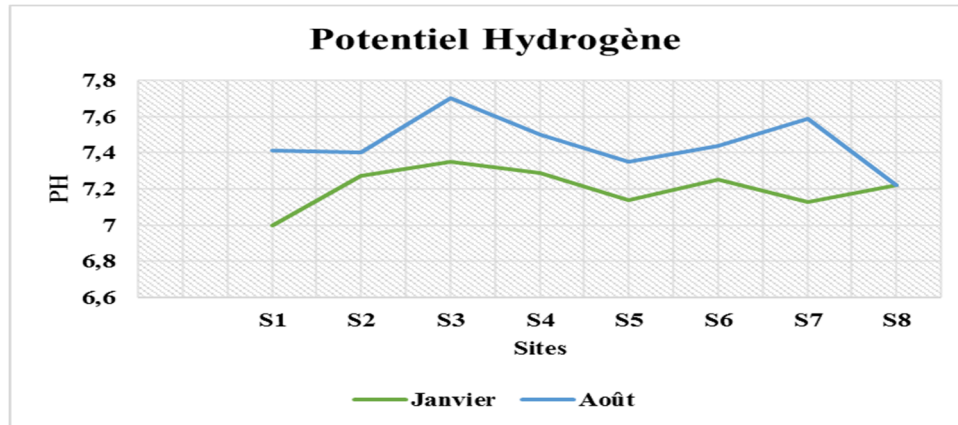


Fig. 4. Variation spatio-temporelle du potentiel hydrogène en fonction des puits pour les deux mois

Les valeurs du ph varient de 7 (S1) à 7,35 (S3) durant la saison d'hiver et de 7,22 (S8) à 7,5 (S4) pendant la saison d'été. Ces résultats ne présentent pas des variations importantes et aucune variation saisonnière notables pour les deux saisons (Fig. 4). Au cours de la période d'étude, les résultats obtenus du ph dans la majorité des puits d'eau échantillonnées ne dépassent pas la valeur maximale admissible 8,5 de la norme marocaine préconise pour l'eau destinée à la consommation humaine [5]. Les résultats obtenus concordent avec ceux obtenus dans les études antérieures des auteurs Nechad [11] et Al-Qawati [12]. Sur la base des données du paramètre ph, nous concluons que la qualité des eaux de la nappe de Sidi Taibi est acceptable.

3.2.3 CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DES EAUX ÉTUDIÉES

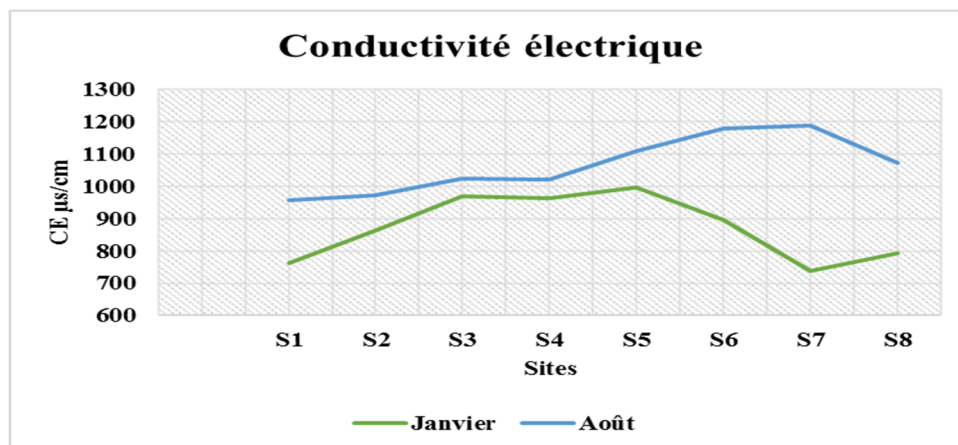


Fig. 5. Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique en fonction des puits pour les deux mois

Les valeurs de la conductivité électrique mesurées dans les eaux souterraines étudiées pendant la saison hivernale varient entre 737 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (S7) et 995 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (S5) et de 958 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (S1) et 1187 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (S7) en période estivale. Ces résultats montrent une petite variation saisonnière notable (Fig. 5). Ceci converge avec les résultats trouvés dans les études antérieures réalisées par les auteurs kherrati [8] et Nechad [11]. La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale d'une eau, elle nous renseigne sur le taux de salinité. Ce titre est un bon marqueur de l'origine d'une eau [7]. Au cours de la période d'étude,

les eaux souterraines de la nappe de Sidi Taibi présentent une minéralisation importante (tableau 3). Par ailleurs, la comparaison de la conductivité électrique dans les eaux souterraines de la nappe avec la norme marocaine fixée à 2700 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) [20] place ces eaux dans la grille acceptable.

3.2.4 TITRE ALCALIN COMPLET DES EAUX ÉTUDIÉES

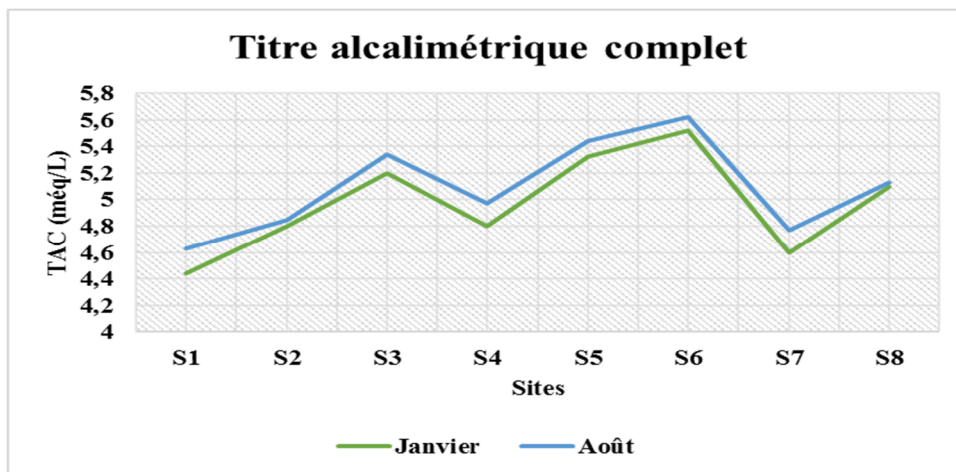


Fig. 6. Variation spatio-temporelle du titre alcalimétrique complet en fonction des puits pour les deux mois

L'évolution temporelle du TAC marquée par de légères fluctuations aussi bien en période de pluie qu'en période sèche. Ses valeurs oscillent entre un minimum 4,44 még/L (S1) et un maximum 5,52 még/L (S6) en hiver et entre 4,63 még/L (S1) et 5,62 még/L (S6) en été (Fig. 6). Au cours d'étude, les résultats obtenus de mesure du TAC dans les eaux souterraines analysées ne montrent pas des grandes variations saisonnières et respectent la norme marocaine préconisée pour l'eau destinée à la consommation 10 még/L.

3.2.5 NITRATES DES EAUX ÉTUDIÉES

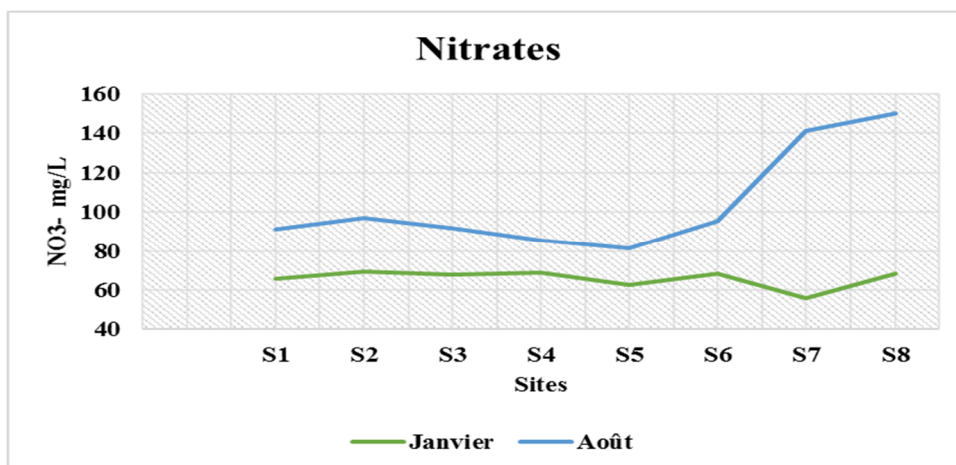


Fig. 7. Variation spatio-temporelle du nitrate en fonction des puits pour les deux mois

Les nitrates sont les sels d'acide nitrique, la présence de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle. Les teneurs des nitrates dans les eaux de la nappe de Sidi Taibi sont comprises entre 55,9 mg/L (S7) et 69,2 mg/L (S2) durant la période d'hiver et entre 81,5 mg/L (S5) et 150 mg/L (S8) en période d'été. Ces résultats présentent des variations saisonnières importantes (Fig. 7), aussi elles sont similaires aux résultats obtenus dans le cas de basse de Moulouya confirmant l'origine anthropique des nitrates [13].

Les teneurs anormales en nitrates dans ces eaux rejoignent celles obtenues dans les eaux souterraines de la région de Sidi Kacem [14], également celles rapportées dans les eaux souterraines de la ville d'Oujda [15]. Tandis que les valeurs élevées sont rapportées par d'autres auteurs qui ont travaillé sur les eaux souterraines de la ville de Taza [16] et [2]. Ces hautes proportions des nitrates peuvent être causées par l'utilisation d'engrais chimiques dans l'agriculture. Les précipitations lourdes et l'absence de couverture végétale contribuent à la lixiviation rapide des nitrates vers la nappe de Sidi Taibi [17]. Dans notre étude, les résultats en ions nitrates obtenus dans la quasi-totalité des puits d'eau contrôlée dépassent la valeur maximale admissible 50 mg/L de la norme du Maroc [18] et l'OMS [7] relative à la qualité de l'eau potable. Par conséquent en conclure que la qualité de l'eau au niveau de la région d'étude est dégradée.

3.2.6 BICARBONATES DES EAUX ÉTUDIÉES

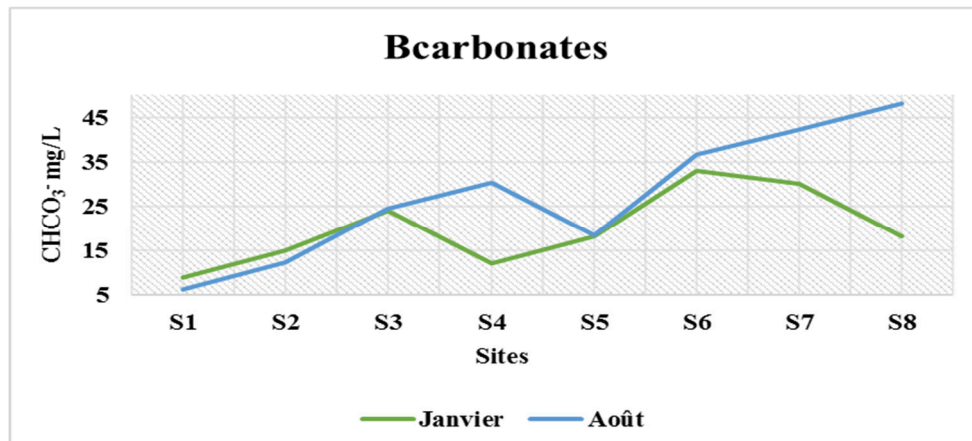


Fig. 8. Variation spatio-temporelle des teneurs en bicarbonates en fonction des puits pour les deux mois

La teneur en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère, ainsi que la teneur en CO₂ de l'air et du sol dans le bassin d'alimentation [19]. La teneur en bicarbonates des eaux souterraines non soumises aux influences anthropiques, varie entre 50 et 400 mg/l [19]. Les valeurs médianes des teneurs en bicarbonates se situent autour de 302 mg/L dans le domaine habituel des eaux souterraines non polluées [19]. Les teneurs en bicarbonates des puits étudiés (Fig. 8) variaient globalement entre 6,66 et 48,02 mg/L en moi d'août et entre 9,01 et 33,1 mg/L en moi de janvier. Ces valeurs ne sont pas très élevées et respectait les normes marocaines de consommation de l'eau potable.

3.2.7 CHLORURE DES EAUX ÉTUDIÉES

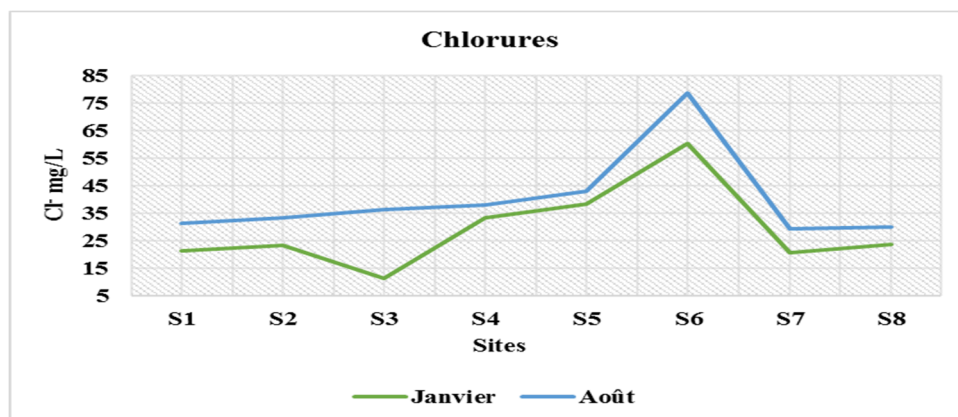


Fig. 9. Variation spatio-temporelle des chlorures en fonction des puits pour les deux mois

Les concentrations relevées des chlorures dans les eaux souterraines contrôlées s'échelonnent entre 11,6 mg/L (S3) et 60,5 mg/L (S6) durant la période d'hiver et entre 29,6 mg/L (S7) et 78,7 mg/L (S6) en période d'été. Ces résultats enregistrés

pendant les deux saisons ne montrent pas des variations saisonnières importantes (Fig. 9). Pour toute la période d'étude, les chlorures enregistrent des teneurs qui ne dépassent pas les normes marocaines fixées à 750 mg/L [118] relative à la qualité des eaux de la consommation humaine. Ce qui permet de classer ces eaux dans la grille acceptable. Il faut tout de même signaler que les résultats enregistrés des teneurs en chlorures dans les eaux phréatiques étudiées concordent avec ceux obtenus par l'auteur Nechad [11].

3.3 VARIATIONS DES IONS MAJEURS DES EAUX ÉTUDIÉES

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état de la qualité chimique d'eau qui dépend essentiellement des éléments majeurs (calcium, magnésium, sodium et potassium).

3.3.1 CALCIMUM DES EAUX ÉTUDIÉES

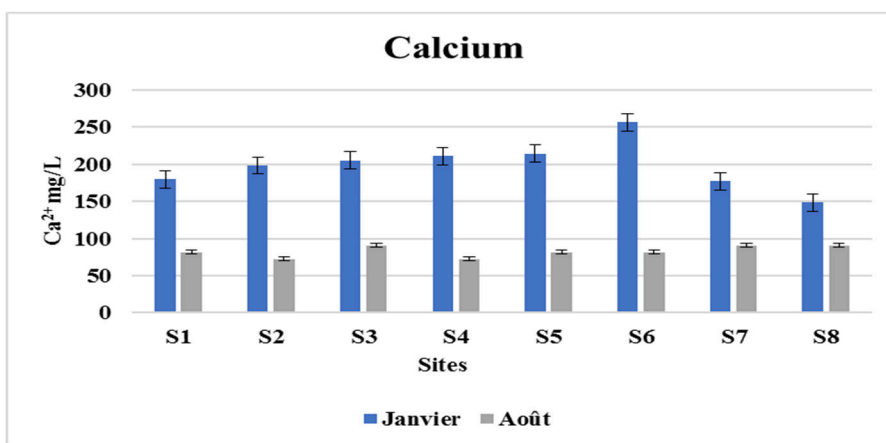


Fig. 10. Variation spatio-temporelle du calcium en fonction des puits pour les deux mois

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) [21]. Les teneurs en calcium des eaux des forages (Fig. 10) variaient entre 148, 54 mg/L en (S8) et 256, 435 mg/L en (S3) pour la saison hivernale, ces teneurs moyennement élevées pourraient être attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques tels que le gypse. Alors que pour la saison estivale et exception tous les puits étudiés ont des concentrations inférieures à la valeur maximale admissible qui est de 200 mg/L [22]. La variation entre les deux saisons est due au facteur pluviométrique.

3.3.2 MAGNÉSIUM DES EAUX ÉTUDIÉES

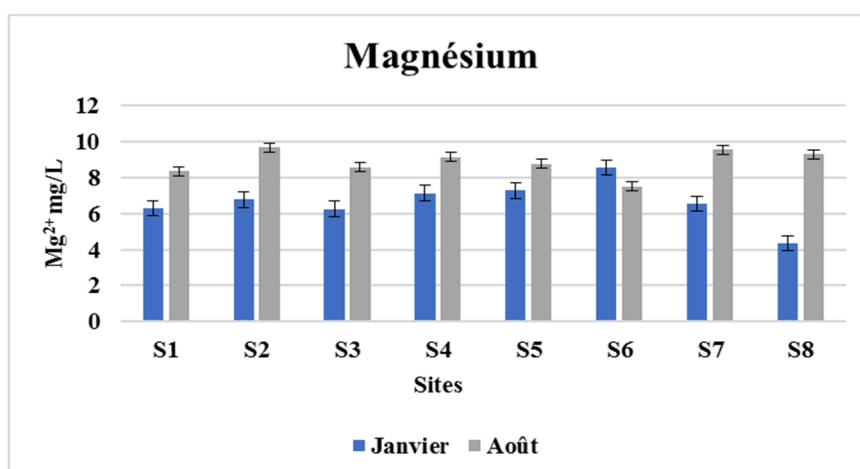


Fig. 11. Variation spatio-temporelle du magnésium en fonction des puits pour les deux mois

Les valeurs enregistrées du magnésium [Mg²⁺], oscillent entre 4,357 mg/L (S8) et 8,55 mg/L (S6) durant la saison d'hiver et entre 7,492 mg/L (S6) et 9,659 mg/L (S2) durant la saison estivale. Ces résultats, ne montrent pas de grandes variations saisonnières notables (Fig. 11). Pendant la période de l'étude, la quasi-totalité des puits d'eau contrôlée présente des valeurs en magnésium énormément faibles par rapport à la valeur maximale admissible 30 mg/L de la norme marocaine relative à la qualité des eaux potables [23]. Sur la base de ces résultats, la qualité chimique des eaux souterraines de la région d'étude est acceptable.

3.3.3 SODIUM DES EAUX ÉTUDIÉE

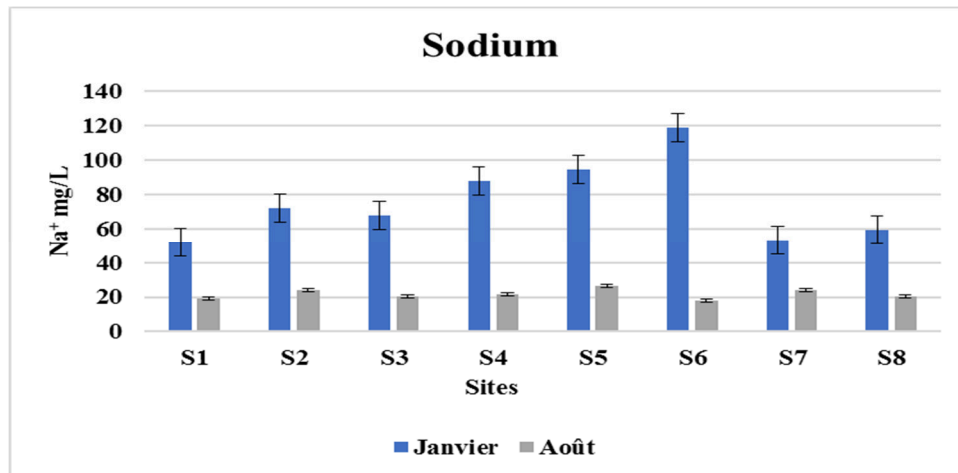


Fig. 12. Variation spatio-temporelle du sodium en fonction des puits pour les deux mois

Le sodium est un élément constant de l'eau, c'est un paramètre qui nous renseigne sur la salinité du milieu. Selon les études sanitaires, le sodium est considéré à long terme parmi les facteurs favorisant la genèse d'une hypertension artérielle. Les valeurs du sodium dans les eaux souterraines étudiées varient de 51,811 mg/L (S1) à 118,86 mg/L (S6) pendant la saison hivernale et 18,07 mg/L (S6) à 26,51 mg/L (S5, S2) durant la saison estivale. Ces résultats enregistrés présentent des variations saisonnières importantes (Fig. 12). L'analyse de ces valeurs a montré que les teneurs moyennes en sodium dépassent largement la norme marocaine relative à la qualité des eaux potables 20 mg/L [23]. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans les eaux de la nappe Muzuq-Lybie [9]. Sur la base des données de paramètre sodium, nous concluons que la qualité de l'eau au niveau de la région d'étude est très dégradée.

3.3.4 POTASSIUM DES EAUX ÉTUDIÉES

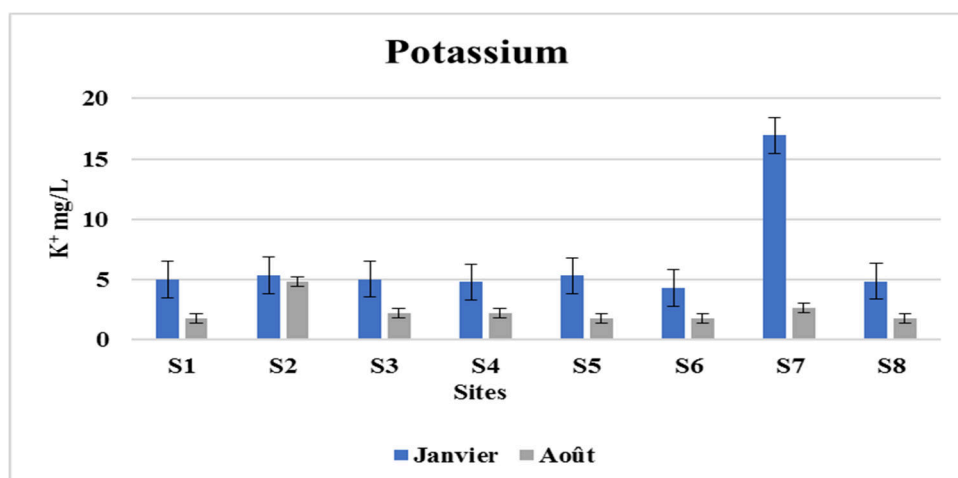


Fig. 13. Variation spatio-temporelle du potassium en fonction des puits pour les deux mois

La teneur en ions de potassium [K⁺] est presque constante dans les eaux naturelles. Celle-ci ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/L. Les teneurs enregistrées en potassium dans les eaux étudiées varient respectivement en hiver de 4, 283 mg/L (S6) à 16, 927 mg/L (S7) et en été de 1, 754 mg/L (S1, S5, S6, S8) à 4, 825 mg/L (S2). Ces résultats ne montrent pas de grandes variations saisonnières (Fig. 13). Au cours de la période d'étude, les valeurs enregistrées en ions potassium dans l'ensemble des puits d'eaux échantillonnées sont énormément faibles par rapport à la valeur maximale admissible 15 mg/L de la norme marocaine relative à la qualité des eaux potables sauf pour le site 7 (16, 927 mg/L) de la saison d'hiver qui dépasse un peu la norme. Les résultats de ce paramètre nous permettent de conclure que la qualité chimique des eaux souterraines dans la région d'étude est acceptable en termes de la potabilité des eaux.

3.3.5 SULFATES DES EAUX ÉTUDIÉES

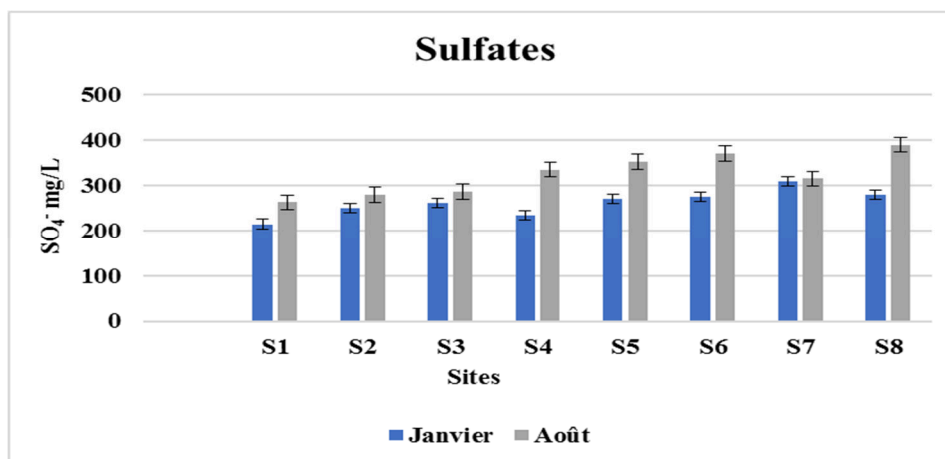


Fig. 14. Variation spatio-temporelle du sulfate en fonction des puits pour les deux mois

Dans les conditions naturelles, les sulfates, forme de soufre dissous la plus répandue dans les eaux naturelles, ont essentiellement deux origines : géochimique et atmosphérique [13]. Du fait de la solubilité élevée des sulfates, l'eau souterraine en conditions normales peut en contenir jusqu'à 150 mg/L [19]. L'oxydation des sulfures ainsi que la dégradation de la biomasse dans le sol constituent d'autres sources possibles. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre, etc... Les valeurs des sulfates dans les eaux étudiées sont moyennement variables, elles oscillaient entre 214mg/L (S1) à 309mg/L (S7) (Fig. 14) en période hivernale et entre 262mg/L (S1) et 389 mg/L (S8). Ces teneurs élevées sont remarquées au niveau de tous les puits de prélèvements et ne présentent pas une grande variation saisonnière, d'après ces résultats on peut conclure que la qualité de ces eaux en terme du sulfate varie entre moyennes à mauvaise car ils dépassent la norme de grille de qualité des eaux de surface [20].

3.4 ÉVOLUTIONS DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES DES EAUX ÉTUDIÉES

À côté des paramètres physico-chimiques, les métaux lourds constituent les facteurs essentiels, qui déterminent la qualité d'une eau destinée à l'alimentation humaine ainsi qu'à l'agriculture. Parmi eux, certains sont indispensables aux organismes, ont un rôle biologique essentiel et agissent à des concentrations très faibles, il s'agit des oligo-éléments (Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Ni). Ils peuvent devenir toxiques à doses plus importantes. D'autres, sont toujours indésirables et toxiques même à des faibles quantités, comme le cadmium et le plomb ... et n'ont pas de rôles biologiques connus ayant essentiellement des effets très néfastes sur les organismes vivants, car ils sont non biodégradables, non thermo-dégradables et s'accumulent à un niveau toxique. Afin de bien comprendre et expliquer les facteurs qui influencent la contamination des eaux des différents puits de la région d'étude, par certains éléments traces métalliques.

3.4.1 ÉVOLUTIONS DU FER TOTAL DES EAUX ÉTUDIÉES

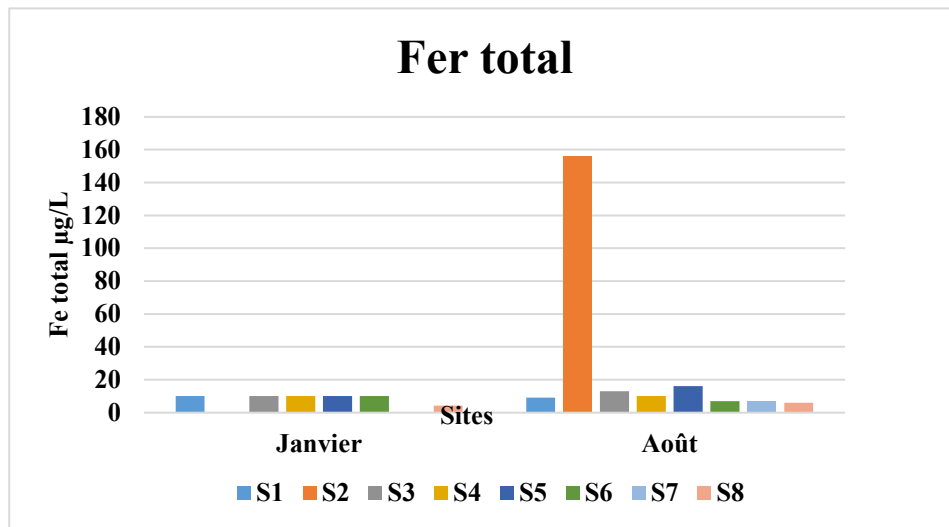


Fig. 15. Évolutions du fer total des eaux étudiées

La présence de fer dans les eaux souterraines a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite (FeS_2), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Présent sous forme réduite (Fe^{2+}), le fer est oxydé par l'oxygène de l'air et précipite sous forme ferrique lorsque l'eau est pompée. Pendant les deux saisons, les résultats enregistrés en [Fe total] dans les eaux souterraines étudiées ne présentent pas des grandes variations tandis que leur variation saisonnière oscille entre 0 µg/L (S2, S7) et 10 µg/L (S1, S3, S4, S5, S6) pendant la saison hivernale et entre 6 µg/L (S8) et 156 µg/L (S2) durant la saison estivale (Fig. 15).

3.4.2 ÉVOLUTIONS DU CUIVRE DES EAUX ÉTUDIÉES

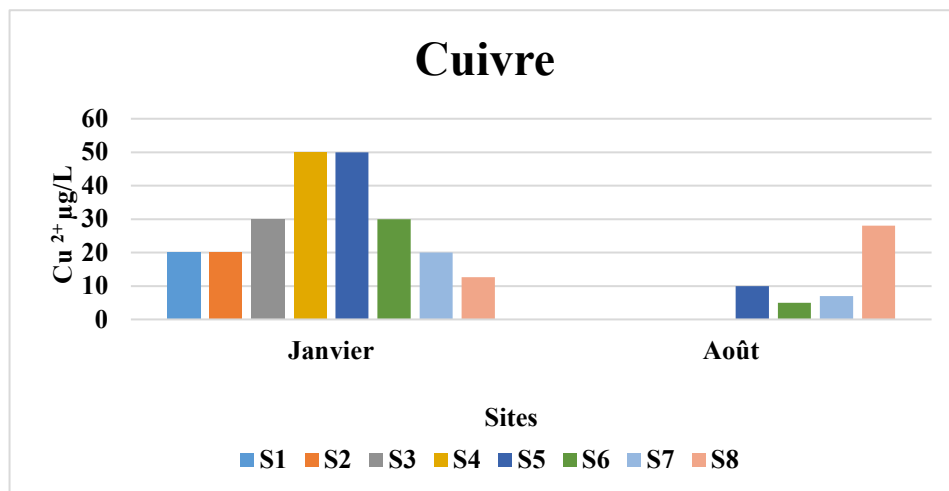


Fig. 16. Évolutions du Cuivre des eaux étudiées

Les valeurs enregistrées du cuivre [Cu^{2+}] sont comprises entre la valeur minimale 12,61 µg/L (S8) et la valeur maximale 50 µg/L (S4, S5) en période d'hiver et entre la valeur minimale nulle 0,00 µg/L (S1, S2, S3, S4) et la valeur maximale 28 µg/L (S8) en période d'été. Ces résultats ne présentent pas des variations saisonnières remarquables durant ces deux saisons (Fig. 16). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans les études antérieures des deux auteurs Ibada [9] et Kherrati [8].

Ces valeurs restent très inférieures à la valeur maximale admissible 2000 µg/L [20] de la norme marocaine, donc on peut conclure que la qualité des eaux souterraines de la nappe de Sidi Taibi est acceptable.

3.4.3 ÉVOLUTIONS DU NICKEL DES EAUX ÉTUDIÉES

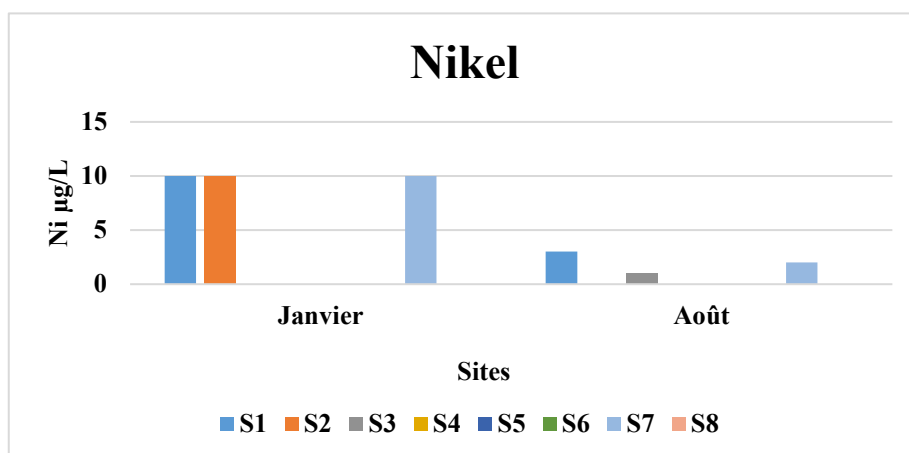


Fig. 17. Évolutions du Nickel des eaux étudiées

Les concentrations du nickel [Ni^{2+}] varient entre 0 $\mu\text{g/L}$ (S3, S4, S5, S6, S8) comme valeur minimale nulle et 10 $\mu\text{g/L}$ (S1, S2, S7) comme valeur maximale en saison d'hiver et oscillent entre 0 $\mu\text{g/L}$ (S2, S4, S5, S6, S8) et 3 $\mu\text{g/L}$ (S1) en période d'été. Ces résultats ne montrent pas des grandes variations saisonnières (Fig. 17). Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Bouchouata ([17] et Kherrati [8]). Ces valeurs en nickel dans l'ensemble des puits d'eau analysés restent très inférieures à la valeur maximale admissible 20 $\mu\text{g/L}$ de la norme marocaine relative à la qualité de l'eau potable et à la valeur guide 0, 2 mg/L de la norme marocaine des eaux favorables à l'irrigation [24]. À la lumière de ces résultats en conclut que la qualité des eaux souterraines de la nappe de Sidi Taibi est acceptable.

3.4.4 ÉVOLUTIONS DU ZINC DANS LES EAUX ÉTUDIÉES

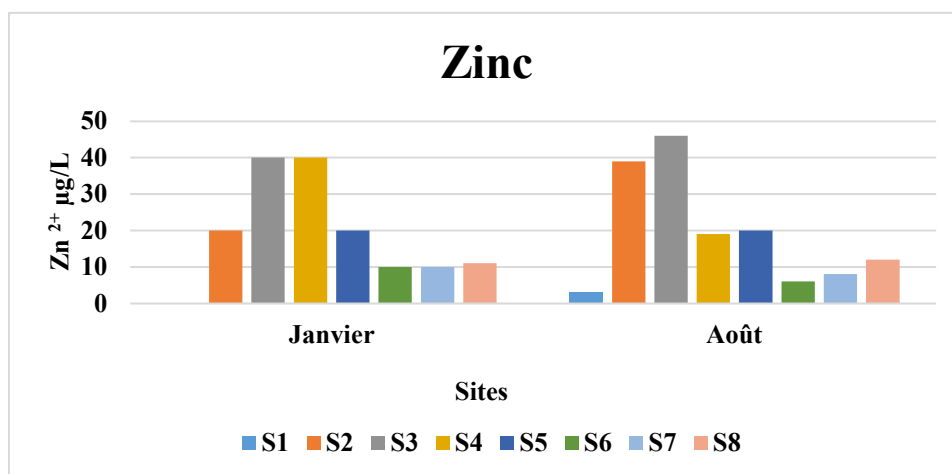


Fig. 18. Évolutions du Zinc des eaux étudiées

Les teneurs enregistrées en zinc, oscillent entre 0 $\mu\text{g/L}$ (S1) et 40 $\mu\text{g/L}$ (S3, S4) en période d'hiver et varient de 3 $\mu\text{g/L}$ (S1) à 46 $\mu\text{g/L}$ (S3) en période d'été. Ces résultats ne présentent pas des variations saisonnières notables (Fig. 18). Alors qu'ils sont similaires à ceux obtenus par Kherrati [8] et Derwich [24]. Cependant, ces résultats restent très inférieurs à la valeur maximale admissible 3000 $\mu\text{g/L}$ de la norme marocaine [4] et 5000 $\mu\text{g/L}$ de l'OMS [3] relative à la qualité des eaux potables. Sur la base des résultats de paramètre zinc, l'eau de la nappe Sidi Taibi reste utilisable.

3.4.5 ÉVOLUTIONS DU PLOMB DANS LES EAUX ÉTUDIÉES

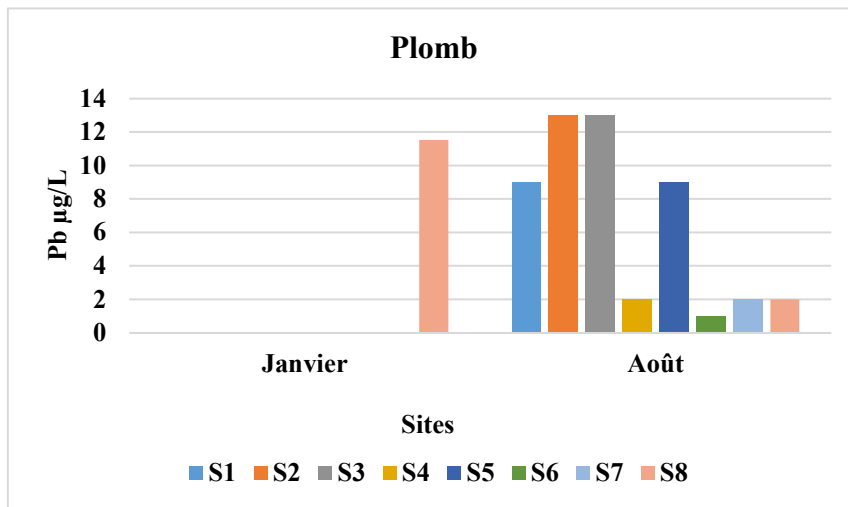


Fig. 19. Évolutions du Plomb des eaux étudiées

Du point de vue toxicité, le plomb n'a jamais été essentiel à la vie, il est au contraire considéré comme toxique. La présence du plomb dans les eaux souterraines peut avoir un risque pour les consommateurs puisqu'il peut provoquer dans l'organisme des troubles tel que le saturnisme, des crises d'épilepsie voir même des troubles nerveux et psychiques. Les valeurs en plomb [Pb], oscillent entre 0 µg/L (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7) et 11, 53 µg/L (S8) en période d'hiver et varient de 1 µg/L (S6) à 13 µg/L (S2, S3) en période d'été. Ces enregistrements ne présentent des variations saisonnières notables (Fig. 19). Cependant, ces résultats restent très inférieurs à la valeur maximale admissible 25 µg/L de la norme marocaine [4]. Sur la base de ces résultats les eaux de la nappe sidi Taibi reste utilisable.

3.4.6 ÉVOLUTIONS DU MANGANÈSE DES EAUX ÉTUDIÉES

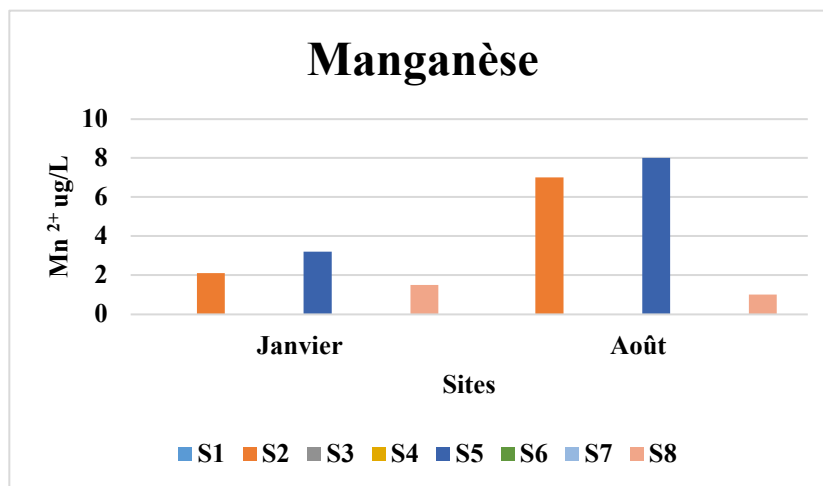


Fig. 20. Évolutions du manganèse des eaux étudiées

Les valeurs enregistrées du manganèse [Mn²⁺] sont très faibles dans les puits d'eau (S1, S2, S3, S7) et atteignent une valeur maximale qui ne dépasse pas 9 µg/L en période d'hiver. Alors qu'en période d'été ces valeurs sont comprises entre 7, 492 et 9, 659 µg/L (Fig. 20). Au cours de cette période, les valeurs enregistrées en manganèse dans les eaux souterraines étudiées restent largement inférieures à la valeur maximale admissible 500 µg/L [18] de la norme marocaine relative à la qualité de l'eau potable. De là, nous concluons que la qualité chimique en termes de manganèse des eaux souterraines contrôlées est acceptable pour la potabilité.

3.5 LES CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES EAUX ÉTUDIÉES

Si l'on considère les valeurs en mg/l les cations présentent l'ordre d'abondance suivant : $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Parfois, le calcium est plus important comme dans les eaux la station S6 en saison hivernale avec 256, 435 mg/l et avec 90, 90 mg /L en S7 et S8 en saison estivale où il domine les autres cations, le potassium est presque toujours le cation le moins abondant.

En ce qui concerne les anions, les sulfates sont les ions les plus dominants, Ils sont particulièrement élevés au point S7 en moi de Janvier avec 309mg/l et en moi d'août avec 389 mg/l au point S8. Les anions se présentent dans l'ordre suivant : $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ dans presque tous les puits de prélèvement. La présence des anions chlorure et sulfate résulte du caractère presque exclusivement anthropique de l'environnement de la région d'étude, la totalité des échantillons présentent des teneurs en chlorures supérieures à 19 mg/l, les sulfates sont moyennement forts le minimum dépasse 200 mg/l) dans la totalité des puits de prélèvement. Cependant, les concentrations en nitrates ne sont pas négligeables; la valeur moyenne est de 17 mg/l, mais elles dépassent largement les normes de potabilité de l'o.M. S fixée à 50 mg/l. Ces fortes concentrations confirment l'origine superficielle d'une partie de l'alimentation au moins de ces eaux.

3.5.1 FACIÈS CHIMIQUES DES EAUX OBTENUS À PARTIR DU DIAGRAMME DE PIPER

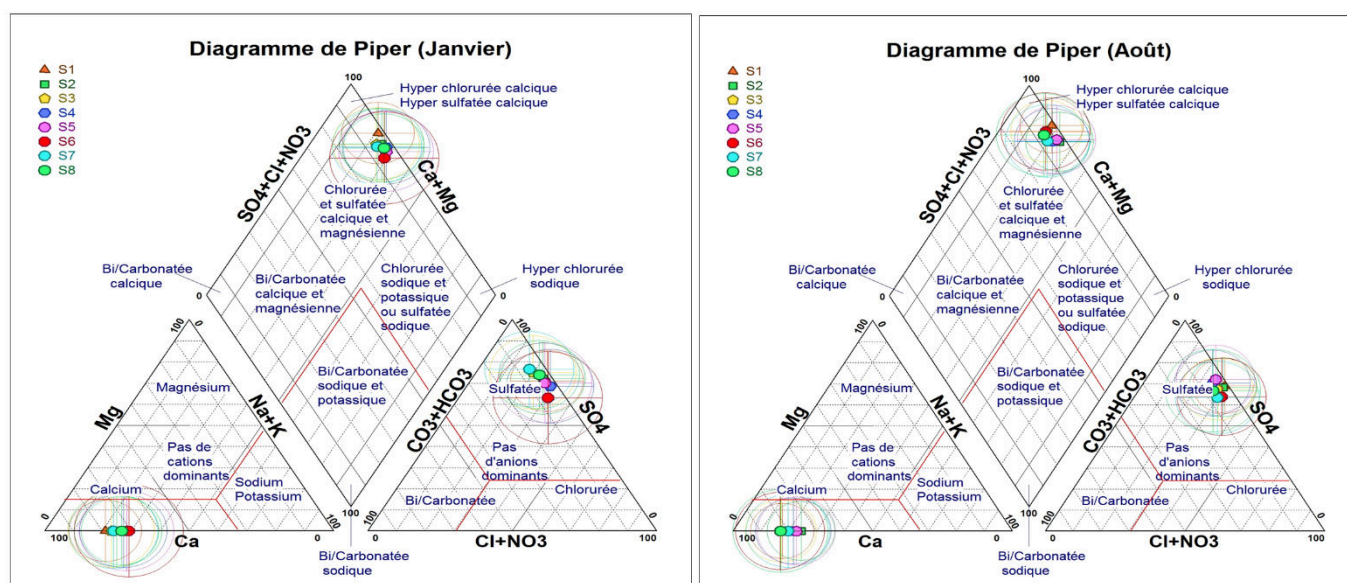


Fig. 21. Faciès chimique des eaux des eaux étudiées sur le digramme de Piper (Janvier et Août)

Le sens des flèches indique une minéralité croissante sans préjuger de l'homogénéité des origines de l'eau. Au niveau du triangle des cations la plupart des eaux des puits prélevées sont concentrées au pôle calcique (Fig. 21) pour les deux saisons où aucun cation ne domine pour à l'autre alors qu'ils se détachent nettement du pôle sodique et potassique.

Dans le triangle des anions, la majorité des eaux des puits étudiées regroupée au niveau du pôle sulfaté. Un seul échantillon de ces puits proportionnels tend vers le pôle chlorure + nitrate, ce sont les eaux, où l'on remarque des teneurs en nitrates moyennement élevées, souvent associées aux chlorures. Ce résultat ouvre plusieurs perspectives scientifiques intéressantes qui permettront de comprendre d'où vient cette évolution.

En résumé, les eaux sont caractérisées par des faciès, chlorurées sulfatée calcique et manganésienne et enfin du type chloruré et nitraté qui témoigne d'apports superficiels. La composition chimique des eaux issues des puits étudiés montre à l'évidence d'une pollution entropique.

3.5.2 FACIÈS CHIMIQUES DES EAUX ÉTUDIÉS SELON LE DIAGRAMME DE SCHOELLER-BERKALOFF

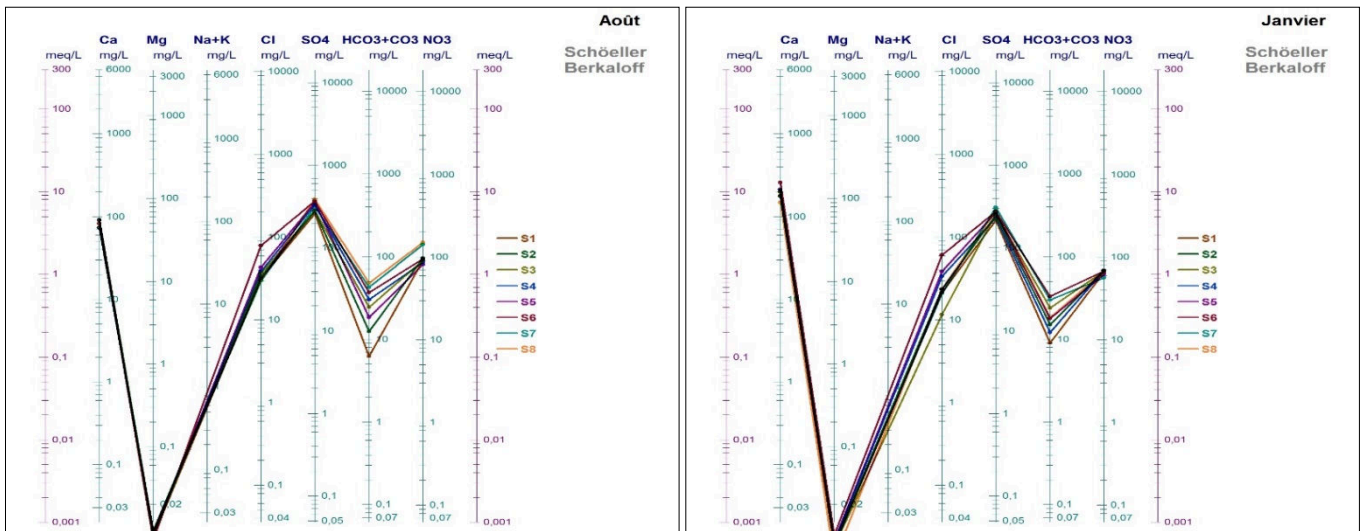


Fig. 22. Projection des puits des eaux étudiées sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Janvier et Août)

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff est une représentation graphique semi-logarithmique nous a permis de représenter les faciès chimiques des eaux souterraines de la région d'étude. Sur les axes des abscisses sont représentés les différents ions. Pour chacun des ions majeurs, la teneur réelle en mg/L est reportée sur l'axe des ordonnées, les puits obtenus sont reliés par des segments de droites brisés qui relient les différents puits sur les axes verticaux. L'allure graphique obtenue (Fig. 22) permet de visualiser le faciès de l'eau minérale concernée. L'analyse des diagrammes de Schoeller-Berkaloff pour les deux saisons nous permettent de conclure que les eaux de la nappe présentaient des profils identiques.

3.5.3 QUALITÉ DES EAUX ÉTUDIÉS SELON LE DIAGRAMME DE WILCOX

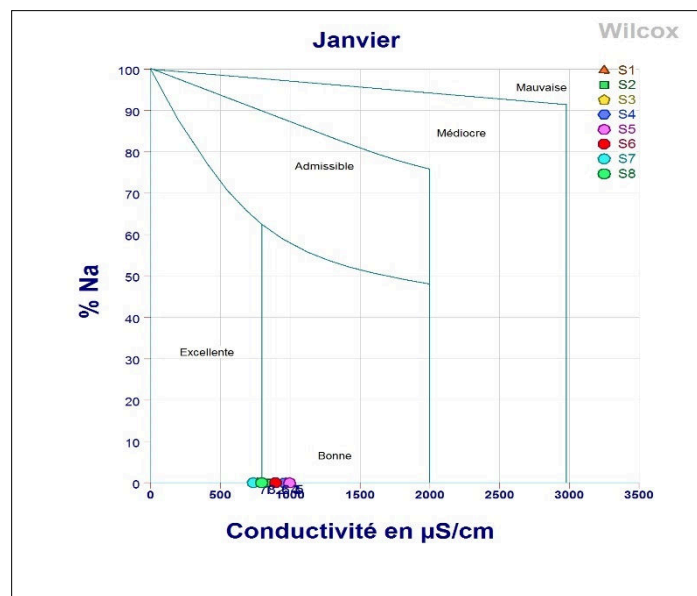


Fig. 23. Projection des puits des eaux étudiées sur le diagramme de Wilcox (Janvier et Août)

L'appréciation de la qualité des eaux souterraines des différents puits géographiques de la région d'étude s'effectue par le diagramme de Wilcox montre l'existence de deux classes de qualité (Fig. 23).

- Eaux de Qualité Excellente au S7 et entre excellente et bonne au S8 pour la saison hivernale;
- Eaux de Qualité Bonne pour tous les autres puits pendant les deux saisons;

3.6 QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE DES EAUX ÉTUDIÉES

L'appréciation de la qualité bactériologique de la nappe phréatique de Sidi Taibi, Kénitra a été suivie par le biais de l'analyse de l'eau récoltée au niveau de 8 puits durant la période janvier 2019. Les résultats obtenus des analyses réalisées sont illustrés dans le tableau 4 :

Tableau 4. Résultats des analyses microbiologiques de huit puits pendant le mois février

Puits	Analyses	Fmatx102ufc/ml	CT	CF
S1		10	12	-
S2		60	54	-
S3		29	50	-
S4		30	35	-
S5		95	67	-
S6		104	88	-
S7		120	90	-
S8		145	105	-

MAT (flore mésophile aérobie totale), CT (coliformes totaux), CF (coliformes fécaux).

Les résultats obtenus pour la flore mésophile aérobie totale (FMAT) pour tous les puits pendant le mois de janvier sont compris entre 10 et 145 UFC/ml. La valeur minimale de 10 UFC /ml en S1, alors que la valeur maximale est de l'ordre de 145 UFC/ ml en S8. En ce qui concerne les coliformes totaux (CT), les valeurs sont comprises entre : 12 et 105 UCF/ ml, respectivement une valeur minimale de 12 UCF/ ml en S1 et la valeur maximale de 105 UCF/ ml en S8. Donc les eaux étudiées sont fortement contaminées par la flore mésophile aérobie totale et les coliformes totaux, et cette contamination à induit plus de 99% de non-conformité pour les deux germes sauf une seule point présente une valeur égale de celle fixée par les critères d'évaluation (FMAT=CT=100/ml). On note aussi une absence totale des coliformes fécaux pour les huit puits.

À la lumière des résultats des analyses microbiologiques des eaux étudiées on peut conclure que ces eaux sont contaminées, ces résultats similaires aux travaux de recherche de Chippaux et *al.* [25]. Des observations semblables à ceux des eaux de puits de Lomé ont été rapportées à Meknès au Maroc concernant les coliformes totaux [26].

Cette contamination de ces puits dépend de la perméabilité du sol, la profondeur de la nappe, l'absence ou l'inadaptation des ouvrages d'assainissement et la mauvaise gestion des ordures et de la méthode de puisage [27], Degbeyet *al.*, [28], Coulibaly, [29], [30] et [31]. Aussi ces résultats sont similaires à ceux trouvées au niveau de la nappe phréatique de m'nassra au Maroc [18], la concentration élevée des germes microbiens dans les différents puits pourrait s'expliquer par la mauvaise protection de ces puits.

4 CONCLUSION

Cette étude a permis de conclure que les contaminations chimiques et bactériologiques des eaux des puits de la nappe phréatique de la région de Sidi-Taibi varie d'un puits à l'autre et caractérise ces eaux dans la tranche moyennement acceptable pour certains paramètres comme la conductivité le ph les ions bicarbonates, le TAC, le chlorure pour les deux saisons. Alors que pour d'autres paramètres est inacceptable pour la consommation humaine comme les ions nitrates, sodium, sulfate qui dépassent les normes marocaines relative à la qualité des eaux potables. La principale cause de cette pollution est les activités anthropiques qui continuent à présenter un risque majeur pour l'homme et son environnement, notamment pour les ressources en eaux. Cette étude a montré également l'importance et l'utilité des techniques d'analyse multi variées pour obtenir des informations sur la qualité hygiénique de l'eau et de prévenir ainsi toutes sortes de pollutions originaires des activités humaines domestiques, agricoles et/ou industrielles.

Pour les caractères généraux d'après les diagrammes de Piper ces eaux sont caractérisées par des faciès chlorurés sulfaté calcique et manganésienne et du type chloruré et nitraté. L'analyse par le diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les deux saisons nous permettent de conclure que les eaux de la nappe présentaient des profils identiques et la qualité de différents

puits balance entre bonne et excellente. De plus les analyses bactériologiques ont montré que ces eaux sont fortement contaminées.

Les résultats obtenus dans cette étude seront d'un grand intérêt pour les services de santé et d'hygiène pour déposer une action préventive afin d'éviter des risques sanitaires graves. Aussi, permettre aux instances locales d'établir des programmes des et politiques de sensibilisation pour la préservation et la valorisation des ressources en eaux.

REFERENCES

- [1] Direction générale de la Santé – 7 septembre 2005, Dossier d'information La qualité de l'eau potable en France Aspects sanitaires et réglementaires).
- [2] CLAUDE C. (1999). Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques. Cours et problèmes résolus. Ed. Marketing S.A. Paris.
- [3] OMS 2008. Appui à la mise en place d'un Système de Surveillance et de Contrôle de qualité pour l'eau de boisson dans les sites de déplacés et de camps de réfugiés à l'Est du Tchad. Rapport de mission, 60p.
- [4] H. El Haissoufi, S. Berrada, M. Merzouki, M. Aabouch, L. Bennani, M. Benlemlih, M. Idir, A. Zanibou, Y. Bennis, and A.E.O. Lalami, Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc. *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale*, Vol : 5 (1), p. 37-68, 2011.
- [5] K. El Bouqdaoui, M. Aachib, M. Blaghen, and S. Kholtei, Modélisation de la pollution par les nitrates de la nappe de Berrechid, au Maroc. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, Vol : 5 (1), 2009.
- [6] OMS 2004. Directives des qualités pour l'eau de boisson (3ème édition). Volume 1.
- [7] OMS 2003. L'Eau et la santé - Directives de l'OMS sur la qualité de l'eau de boisson.
- [8] I. Kherrati, A. Alemad, M. Sibbari, H. Ettayea, K. Ezziani, Y.Saidi, M. Benchikh, S. Alzwi, H.Chiguer, and Z. Zgourdah, Health Risk of Maâmora's Groundwater Pollution in Morocco. *Natural Resources*, Vol : 6 (04), p. 290, 2015.
- [9] A.Ibeda, M.Abosith, A.Alemad, K.Elkharrim, and D. Belghyti, Physicochemical quality of Murzuq groundwater Sabha, Libya. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol : 178, p. 225-239, 2013.
- [10] O.Akkaoui, O.El Rhaouat, C.Fraïne, M.Fareh, M. Najy, K. El Kharrim, and D. Belghyti, Note sur la qualité des eaux souterraines des sources d'Oulmes Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol : 19 (2), p. 396, 2017.
- [11] I. Nechad, K.Fadil, and F.Fadil, qualité physicochimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain Sidi Bouali dans la région de Sefrou (Moyen Atlas, Maroc). *Larhyss Journal* Vol : (20), 2014.
- [12] M.Al-Qawati, Y.A. Idrissi, A. Alemad, I. Belhaili, I. Marc, F. Baichouti, K. El Kharrim, and D. Belghyti, Analyse et Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines De la région Sidi Allal Tazi-Gharb-Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol : 13 (2), p. 420, 2015.
- [13] A. Brahim., A. Chafi. Etude écotoxicologique de l'oued Za et de son affluent Oued Tizeghrane (Basse Moulouya, Maroc Oriental), *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (5) (2014) 1671-1682.
- [14] R. Ben Aakame, Caractérisation hydro-chimique, toxicologique et évaluation des risques sanitaires des eaux souterraines de la région de Sidi-Kacem (Maroc). 2015.
- [15] M. El Kharmouz, l'étude de l'impact des lixiviats de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda (Maroc oriental) sur la qualité physicochimique des eaux souterraines et superficielles. *Larhyss Journal* ISSN 1112-3680, Vol : (16), 2013.
- [16] M.B. Abbou, F. Fadil, M. El Haji, and M. Zemzami, Impact anthropique sur la qualité des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Taza (Maroc) *European Scientific Journal, ESJ*, Vol : 10 (5), 2014.
- [17] O.Bouchouata, H.Ouadarri, A.Abidi, A. Benabbou, Y. El Guamri, B.Attarassi, and J. Brahim, l'accumulation des métaux lourds au niveau des cultures : cas des cultures maraichères du bassin de Sebou au Maroc.*Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, Vol : 8 (2), 2012.
- [18] S, Bricha., K. Ounnine., S, Oulkheir., N, El haloui., B, Attrassi. (2007). - Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe phréatique m'nasra (Maroc), *Revue Afrique Science* 03 (3), 391-404.
- [19] Matthess G. *Geol. Mijnbouw*, 53, 194. -In Forstner U et Wittmann GTW Metal pollution in the aquatic environment, (1994) 355-359.
- [20] Y. Azami Idrissi, "Études expérimentales des performances d'épuration des eaux usées par la STEP à lagunage naturel d'Azilal - Maroc", Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Ibn Tofail, Kenitra, Maroc, pp. 185, 2017.
- [21] Rodier J. Et al. L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France. (2009) 1579.
- [22] Ministère chargé de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement. Etat de la Qualité des Ressources en Eau au Maroc 2000/2001 (Novembre 2003) 17.
- [23] J. El Addouli, A.Chahlaoui, A.Berrahou, A.Chafi, and A.Ennabili, Approche de la qualité biologique de l'oued Ouislane, au voisinage des effluents bruts de la région de Meknès. *Larhyss Journal* ISSN 1112-3680, Vol : (9), 2011.

- [24] E. Derwich, Z. Benziane, and L. Benaabidate, Etude de la qualité métallique des eaux souterraines situées au voisinage des eaux usées dans le bassin versant du Moyen Sebou : Maroc. *Revue LJEE*, 2014.
- [25] Chippaux J-P, Houssier S, Gross P, Bouvier C, Brissaud F, 2002. Étude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. *Bull Soc Pathol Exot*, 2002 94, 2, 119-123.
- [26] Belghiti, A. Chahlaoui, D. Bengoumi and R. El Moustaine, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*, Vol : (14), 2013.
- [27] Yapo OB, Mambo V, Seka A, Ohou MJA, Konan F, Gouzile V, Tidou AS, Kouame KV, Houenou P, 2010. Évaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4 (2) : 289- 307.
- [28] Degbey C, Makoutode M, de Brouwer C, 2010. La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey en 2009 au Bénin Afrique de l'Ouest, *J Int Santé Trav* 2010; 1 : 15-22.
- [29] Coulibaly K, 2005. Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de puits de certains quartiers du district de Bamako; Thèse de Doctorat en Pharmacie, Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie, Université de Bamako, pp69.
- [30] 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 kharrim, D. Belghyti, 2016. Note sur les causes de la dégradation de qualité des eaux souterraines de l'aquifère de sana' a -Yémen, *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) (2016) 161-169.
- [31] H, Taouil., S, Ahmed., A, El Assyry., M, Fadli., N, Hajjaji., and A, Srhiri. (2014). Pollution by heavy metals of sediments of nine water sources of tyikomiyne region, watershed of guir (Eastern Morocco). *Environmental Science : An Indian Journal*, Vol : 9 (1).