

Regard Sur L'état Physicochimique Et Bacteriologique De Trois Grandes Sources Au Moyen Atlas (Maroc)

Nechad I., Fadil M. Et Fadil F

Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement, Faculté des Sciences et
Technique Fès. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah,
B.P. 2202, Route d'Imouzzer, FES, MAROC

ABSTRACT: Investigative areas represented by the watershed of High Sebou in the middle Atlas of Morocco, are the Regrag spring, the spring Sidi Bouali and Tataw spring, their waters are used for irrigation and drinking water. To establish a diagnosis of physicochemical and bacteriological sources, water samples were collected on a monthly basis from January 2013 to December 2013. The principal component analysis allowed respectively (i) identify the parameters most describing the relevant water quality (ii) to highlight their variability over time (iii) to highlight the existing correlations between the different parameters. These water are of medium hardness, the conductivities show a low mineralization in Tataw spring, Regrag spring and Sidi Bouali spring. Some elements are more abundant than the others (especially Ca^{2+} and HCO_3). Therefore, the dominant facies is chemical and hydrogen-type calcium carbonate. Analysis by CAP shows the various rallies by physicochemical parameters, and the impact factor "season" on their fluctuating concentrations. Very negatively correlated, the permanganate index and dissolved oxygen show an organic pollution in summer. In the same context, the bacteriological analysis shows that Regrag spring and Tataw spring are of lesser quality, strongly influenced by human activities, with the presence of fecal coliform type *Escherichia coli* and faecal streptococci, that are the result of recent anthropogenic pollution.

KEYWORDS: physical chemistry, bacteriology, ACP, sources Middle Atlas

1. INTRODUCTION

Bien que doté d'une position géographique favorable au Nord-Ouest de l'Afrique, le Maroc reste dans la majeure partie de son territoire, un pays à climat essentiellement semi-aride. Les écoulements des eaux de surface, estimés à près de 20 milliards de m^3 , sont étroitement liés aux précipitations et aux conditions d'évaporation. Ils se caractérisent par d'importantes variations, puisqu'à l'intérieur d'une année, l'essentiel des débits s'écoulent sous forme de crues souvent courtes et violentes et les apports se concentrent, en général, sur quelques mois, voir quelques jours sans omettre leur grande irrégularité spatiale. Face à ces données, Les eaux souterraines demeurent une alternative de choix, elles constituent une part importante du patrimoine hydraulique du fait de sa constitution géologique: Trente-deux nappes profondes et plus de 46 nappes superficielles sont identifiées et répertoriées. L'effort d'études et de reconnaissances entrepris, permet d'évaluer le potentiel exploitable à 4 milliards de m^3 / an, dont plus de 50% alimentées en premier lieu par les massifs du moyen Atlas. Cette masse de hautes terres est composée essentiellement de couches calcaires et occasionne la formation d'une trentaine de sources naturelles qui sont pour la plupart d'origine karstique, et constituent ses principales potentialités. Parmi ces écosystèmes d'eau douce moyen atlassique, il y a trois qui revêtent une importance patrimoniale et qui autour de laquelle s'articulent les grands espaces du paysage, ce sont les sources Ain Regrag, Ain Sidi Bouali et Ain Tataw situées respectivement à 50, 53 et 170 kilomètres au sud-est de la ville de Fès. Actuellement Ain Regarg est entrain de subir les effets d'une pression anthropique accentuée, plusieurs forages sont mis en place entrain de puiser dans les eaux de la nappe phréatique, une arboriculture qui bas son plein est qui risque par ruissellement de porter atteinte à la qualité physicochimique des eaux souterraine, des mesures de captage pour répondre à une demande grandissante en eau potable et comme si ce n'est pas assez, la source est la station touristique la plus convoitée par les riverains, un bien pour un mal, une pollution organique qui risque d'être menaçante. Ain Sidi Bouali n'est pas de meilleur sort, cette résurgence d'une valeur spirituelle aussi ancienne que l'histoire de la région, est sujette aux mêmes contraintes, peut être pas avec la même amplitude mais dans une perspective de développement durable, les risques d'une éventuelle détérioration de la qualité des ses eaux sont bel et bien présents. Ain Tataw, présente de grandes particularités biologiques et occupe une place privilégiée parmi les régions marocaines d'intérêt majeur pour la conservation de la biodiversité des zones humides.

Celle-ci héberge en exclusivité *Gammarus marmouchensis* (crustacé d'eau douce) qui est une espèce endémique du Maroc [1]. Tataw est aussi une source qui dynamisent toute la vie socioéconomique de plus de 5000 habitants, ses eaux sont utilisées pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation de 653 ha.

Les impacts subis par cette source ne cessent de s'accroître. La présence massive des habitants des agglomérations locales, de bétail, les pompages, les dérivations et les mesures de captage au niveau de la source, sont des risques qui menacent la qualité de ses eaux en compromettant ses divers usages et réduisent ainsi les chances d'un avancement socioéconomique de la région. Indépendamment déjà de tout changement climatique, ces sources qui constituent un des principaux leviers du développement économique et social du pays se trouvent confrontées à deux défis essentiels: - L'épuisement des ressources en eau en rapport avec l'accroissement de la demande en eau tous usages confondus et qui sont subordonnées à une infinité d'agents exploitants.

- La dégradation de la qualité de ces eaux qui subissent différentes formes de pollution, un fléau qui représente l'un des aspects les plus inquiétants du fait de sa discrétion, sa persistance et la difficulté d'y remédier. Etant donné que les eaux souterraines sont souvent utilisées pour l'alimentation en eau potable, leur protection vis-à-vis des pollutions est un enjeu majeur.

Dans le cadre d'une mise en place d'un plan de surveillance des sources du moyen atlas ainsi que pour palier aux risques des rejets des affluents agricoles et des fosses septiques des agglomérations avoisinantes et pour appréhender les effets de la réduction du débit du cours d'eau suite à la mise en place des captages, un diagnostic plus complet de la situation actuelle de la qualité physico-chimique et de l'eau et un suivi rigoureux de son évolution ainsi qu'une mise en évidence des bactéries indicatrices de la contamination fécale, s'avèrent d'une grande nécessité. C'est dans cette perspective que s'inscrit ce travail de recherche qui s'articule donc autour des deux axes de recherche sus-cités, ainsi que sur une discussion permettant de faire les liens nécessaires, aboutissant de ce fait à l'obtention d'une vision juste et globale des pressions exercées sur le bassin de Sebou dans sa partie amont. Des solutions de gestion appropriées pourront donc être pertinemment présentées.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation générale de la zone d'étude

2.1.1. Source Tataw d'Imouzer Marmoucha (T) : Située dans la partie orientale du Moyen Atlas septentrional, et bordée à l'est par la vallée de la moyenne Moulouya, Imouzer marmoucha (**Figure 1**) est une zone charnière entre le Moyen Atlas et le Maroc oriental. Malgré son altitude élevée (1710 m) et son exposition au vent, la station est peu arrosée, car elle est en fait partiellement à l'abri de la chaîne Tichoukt (2400m à 2700m) qui bloque une grande partie de ce qu'il reste des masses d'air humide qui ont traversé les reliefs dominants Azrou et Ifrane [2]. En revanche, comme par grâce, la commune appartient à la nappe du Moyen Atlas plissé, qui est caractérisé par l'affleurement des calcaires et des dolomies du Jurassique permettant un emmagasinement des eaux souterraines, d'où jaillissent les émergences de Tataw. Les eaux de la source mère (débit 430 l/s) ainsi que celles des résurgences secondaires qui se trouvent disséminées sur une surface d'environ 700 m² s'écoulent vers l'oued Sebou et régularisent ainsi son régime d'écoulement.

2.1.2. Source Regrag (AR) : Situées à une quarantaine de kilomètres au sud est de Fès (Figure.1), Ain Regrag fait partie de l'unité hydrogéologique du Causse moyen atlasique. Elle sourde de l'aquifère liasique du couloir Fès-Taza, une nappe qui occupe une surface de 1500 km² et repose sur un substratum imperméable constitué par le Trias argilo-doléritique. Le climat régional est de type méditerranéen caractérisé par l'alternance d'une saison chaude et sèche et une saison froide et humide. La principale valeur de cette exurgence réside dans sa particularité, eau courante permanente à fort débit 305 l/s malgré ; les mesures de captage par le réseau d'alimentation en eau potable et de pompage par les puits piézométriques tout autour de son périmètre. Ain Regrag, n'est pas juste une ressource en eau jalousement préservée par les populations riveraines tout au long de son histoire, c'est aussi une véritable station balnéaire grâce à son lac et ses rives planes couvertes par une végétation rase (pelouse) qui en fait un type particulier de source d'eau douce de montagne nord-africaine.

2.1.3. Source Sidi Bouali (SB) : Située au milieu d'une oliveraie, Sidi Bouali correspond à une résurgence située à 18 km de la ville de Sefrou, la source principale et ses résurgences sont complètement naturelles, à l'instar de (AR), la source de Sidi Bouali est située au sein des effleurements liasiques grâce à sa valeur spirituelle, et jusqu'aux dernières années la source n'était pas pillée par les activités anthropiques, la population avoisinante cherchait plutôt à la préserver.

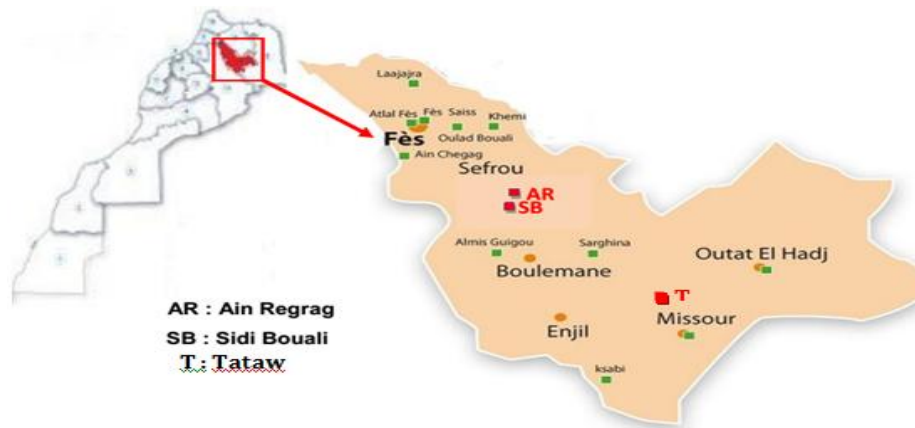


Fig.1. Localisation géographique des sources Ain Regrag , Sidi Bouali et Tataw

2.2. Échantillonnage et mesure des paramètres physico-chimiques :

La composition chimique des eaux des puits et des sources est majoritairement acquise lors de la traversée du sol et de son séjour dans le réservoir. L'eau, au contact de l'encaissant, acquiert une charge minérale caractéristique des roches traversées. Afin d'apprécier la qualité physicochimique des masses d'eau souterraines des trois sources, un relevé mensuel des échantillons d'eau a été effectué durant un an toutes les 4 semaines, soit un total de 12 mois d'échantillonnage, entre janvier 2013 et décembre 2013.

Selon les recommandations de l'OMS, un volume de 1, 5 litres d'eau est prélevé chaque mois dans des flacons en polyéthylène, à partir de la résurgence principale. Et conservé à 4°C pendant le transport au laboratoire, pour être analysés dans les 24 heures qui suivent. Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes [3 ; 4] Les mesures de la température, le pH, et la conductivité électrique ont été réalisées sur le terrain à l'aide d'un analyseur multi-paramètres pH/conductivité / température CyberScan PC10. Les méthodes utilisées sont : la volumétrie pour l'oxygène dissous, les bicarbonates, les chlorures, le calcium et le magnésium et la spectrophotométrie d'absorption moléculaire pour les sulfates et les ortho phosphates (Tableau 1).

Tableau 1. Paramètres mesurés et les méthodes utilisées pour réaliser leur analyse

Paramètres	Unité	Matériel de mesure et méthode d'analyse
Température	° C	analyseur multi paramètres Cyber Scan
Conductivité	µS/cm	analyseur multi paramètres Cyber Scan
pH		analyseur multi paramètres Cyber Scan
O ₂ dissous	mg/l	Iodométrie, Méthode de winkler
Dureté calcique	mg/l	Complexométrie EDTA calcione
Dureté magnésienne	mg/l	Différence entre durete totale et calcique
Alcalinité	meq/l	Dosage volumétrique, acide sulfurique méthyle orange
Matière organique	mg/l	Oxydation à chaud en milieu acide par le permanganate de potassium
Chlorure	mg/l	Dosage volumétrique, nitrate d'argent, bichromate de potassium
Les orthophosphates	mg/l	Spectrométrie d'absorption moléculaire à 750 nm
Les sulfates	mg/l	Spectrométrie d' absorption moléculaire à 650 nm

Par ailleurs, dans le but de visualiser et d'analyser les corrélations existantes entre les différentes variables à travers leurs structurations et leurs orientations, d'identifier les principaux facteurs responsables de la qualité des eaux de l'environnement prospecté et de voir les similitudes entre les mois de prélèvement, nous avons statistiquement traité l'ensemble des données par l'Analyse en Composantes Principales (A.C.P). Cette méthode statistique multidimensionnelle descriptive utilisable comme outil d'aide à l'interprétation d'une matrice de données [5] ,permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leurs relations propres [6], elle permet aussi de mettre en évidence les ressemblances et la position graphique que présenteraient deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution. Cette analyse a pour but de suivre l'évolution chimique des eaux souterraines.

2.3. Analyses microbiologiques :

L'étude de la microbiologie lors de la caractérisation d'un point d'eau fait partie des analyses couramment pratiquées. En effet, le but d'une étude bactériologique est d'identifier la présence d'une pollution consécutive aux activités humaines (agricoles, domestiques et urbaines, etc.). La campagne de prélèvements d'eau a été réalisée in situ le matin. Les filtrations et ensemencements en boîte de pétri ont été réalisés l'après-midi de la même journée.

Les méthodes utilisées lors de ce suivi respectent les normes marocaines d'eau potable. L'ensemble des méthodes suivies ainsi que les milieux de culture préconisés pour chaque type de bactérie sont indiqués sur le **tableau 2**

Tableau 2: Méthode de prélèvement et de dénombrement des bactéries

	Technique	Volume de prélèvement	Milieu de culture	Température d'incubation
<u>Microorganisme revivifiable</u>	Incorporation en milieu solide	1 ml	Gélose à l'extrait de levure	20°C et 37°C
<u>Coliformes totaux</u>	Filtration	100 ml	Gélose <u>lactosée</u> au TTC	37°C
<u>Coliauxformes fécaux</u>	Filtration	100 ml	Gélose <u>lactosée</u> au TTC	44°C
<u>Stréptocoques fécaux</u>	Filtration	100 ml	Gélose <u>Slanetz</u>	37°C

Après incubation, les Unités Formant Colonies (UFC) ont été dénombrées macroscopiquement dans chaque boîte de pétri.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'ensemble des résultats ont été consignés dans les figures 2 et 3. Nous avons préféré d'analyser les résultats paramètre par paramètre de façon à pouvoir dégager des similitudes éventuelles entre les différentes sources. Enfin par souci de clarté, nous avons intégré les résultats d'autres études réalisées dans des contextes comparables.

3.1. Paramètres physiques :

Il est reconnu que les variations de la température s'estompent au delà de 3 mètres de profondeur et que la température des eaux souterraines est invariable au cours de l'année [7]. Ceci converge avec l'analyse des données recueillies, dans les zones d'étude, les variations thermiques sont faibles. Les températures enregistrées oscillent autour de 11.41°C (T), 18 °C (AR) et 17 °C (SB), les plus basses valeurs marquent la période hivernale avec des minima de 10,8°C (T), de 18,5 °C (AR) au mois de janvier 2014, et de 17.20°C (T) en février 2013, les trois sources se classent donc selon la classification de Schoeller de (1962)[8] parmi les sources froides. Le potentiel hydrogène (pH) est légèrement neutre à alcalin aussi bien en période de pluie qu'en période sèche, ses teneurs moyennes sont de 8.04 pour (T), 7.08 pour (AR) et de 7.20 pour (SB), en se référant aux normes marocaines [9 et 10], les eaux des sources peuvent être considérées comme acceptables. La conductivité électrique, exprimée en ($\mu\text{S}/\text{cm}$), est directement liée aux formations traversées dans le bassin hydrogéologique des griffons. Ces valeurs sont faibles pour Tataw avec une moyenne de 353,17 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), moyennes pour Ain Regrag 1098,92 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et Sidi Bouali 1096,83 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), l'origine de cette minéralisation, est attribuée à priori aux teneurs assez élevées en chlorures, celle-ci sont constamment élevées (210 mg/l) pour SB et (219 mg/l) pour AR. Par ailleurs, la comparaison de la conductivité dans les trois résurgences avec la Norme marocaine fixée à 2700 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) place ces eaux dans la grille excellente.

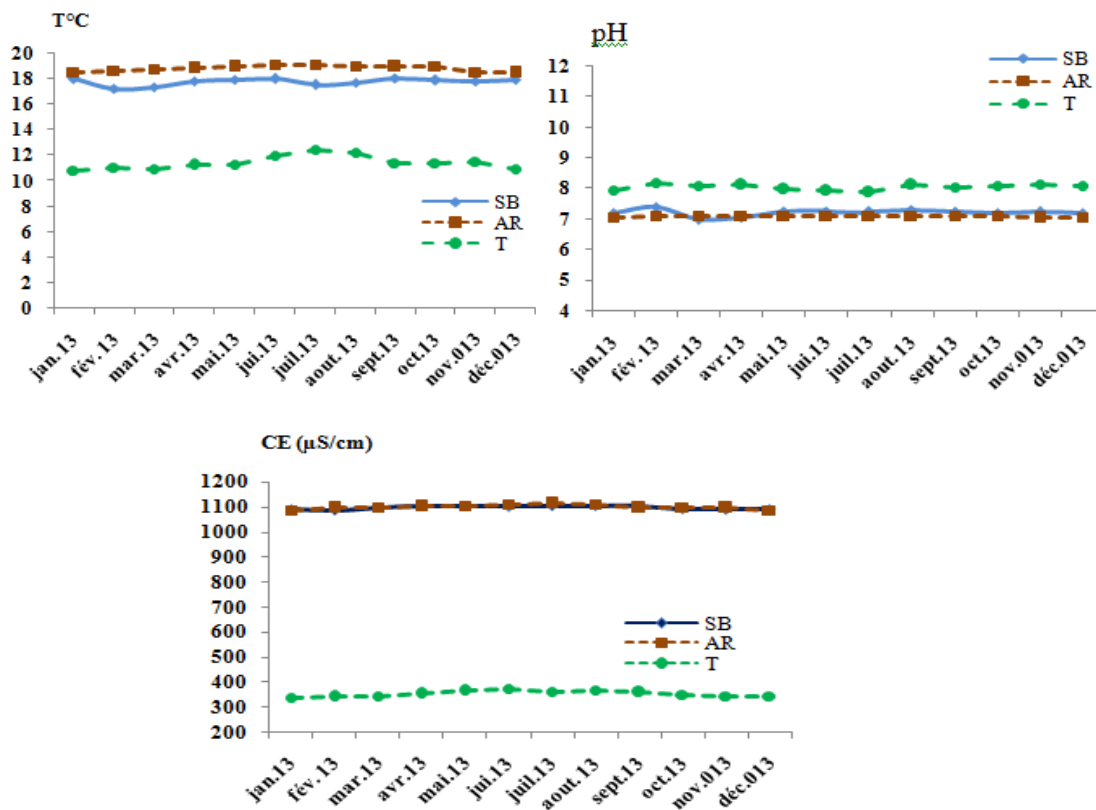


Fig.2 : Variation Spatio-temporelle des paramètres physiques (Température; Potentiel Hydrogène et conductivité électrique) des eaux de sources AR, SB et T (Janvier 2013/Décembre 2013).

3.2. Paramètres chimiques

Les ions Ca^{2+} enregistrent des moyennes respectives de 148 (mg/l); 146,68 (mg/l) et 100,91 (mg/l) pour SB; AR et T. Les eaux des deux sources AR et SB sont donc fortement chargées en ion Ca^{2+} en comparaison avec les valeurs affichées par [11] lors de ses deux campagnes de prélèvements lors des mois de mars et septembre de l'année 2012 dans la source Ain Kbir à Sefrou et qui sont respectivement de 47,7 (mg/l) et 65 (mg/l). Nous estimons que ceci serait lié à l'importance du réservoir karstique duquel jaillissent les résurgences. Les relevés de la qualité des eaux des sources T, AR et SB ont montré que les concentrations de magnésium nettement inférieures à celles du calcium, les moyennes enregistrées sont respectivement 19,76 (mg/l), 39,53 (mg/l) et 40,57 (mg/l). Les concentrations les plus élevées sont marquées pendant la saison sèche. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par [11] lors des prélèvements des eaux des sources réalisés au mois d'octobre 2012. Les profils temporels de l'oxygène dissous ont révélé que les teneurs de ce paramètre sont plus élevées pendant la période humide. En effet, tous les maxima enregistrés marquent la saison froide, ils sont de 5,6 (mg/l) au niveau de la station (SB) et de 7,52 (mg/l) dans la station (T) et de 7,2 (mg/l) à la source (AR) au mois de Novembre. Ceci serait essentiellement dû à la diminution de la température de l'eau; car une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude [12]. Il faut tout de même signaler que la station (AR) est inféodé par un important couvert végétal de macrophytes et d'algues ce qui explique la grande disponibilité en oxygène dissous par rapport à (SB) et à (T). Globalement, le régime de l'oxygène dissous dans le secteur étudié est loin d'être déficitaire. Ces résultats montrent que les eaux des deux stations d'études se rangent dans la grille d'excellentes [10]. L'analyse des prélèvements recueillis montre également que la charge en matières oxydables est considérable durant la période estivale. Comme il a été cité avant la station AR est un lieu de baignade mentionné avant. ces faibles teneurs en ion Mg^{2+} serait en relation avec la lithologie de la région qui est principalement calcaire. Les valeurs moyennes en chlorures évoluent de la même manière que la conductivité pour la quasi-totalité des points de mesure, les concentrations relevées s'échelonnent entre 202,35 (mg/l) et 216,56 (mg/l) à Sidi Bouali, entre 205 (mg/l) et 241 (mg/l) à Ain Regrag et entre 10,65 (mg/l) et 17,75 (mg/l) pour la source Tataw (figure 5). Le profil temporel est marqué par un léger abaissement des teneurs en chlorures pendant la saison humide par rapport à la saison sèche résultant de la dilution par les précipitations.

Pour toute la période d'étude, les chlorures enregistrent des teneurs qui ne dépassent pas les normes marocaines fixées à 750 mg/l [9 ; 10]. Ce qui permet de classer ces eaux dans la grille excellente des eaux de surface. Il faut tout de même signaler que ces concentrations sont largement supérieures à celles enregistrées au niveau de la source Tataw d'Imouzzer Marmoucha. Ce qui confirme que la nature lithologique de la région est en rapport direct avec les teneurs des paramètres chimiques des eaux phréatiques. Les résultats relatifs à la variation temporelle du TAC (figure 3) permettent d'obtenir des courbes en dents de scie marquées par de légères fluctuations aussi bien en période de pluie qu'en période sèche, ses valeurs oscillent autour des moyennes respectives de 1,01 (meq/l), 0,93 (meq/l) et 0,66 (meq/l) pour SB, AR et T. Ceci s'explique par la présence des formations géologiques carbonatées que traversent les eaux. La hausse des concentrations est à mettre en lien avec la circulation sur les niveaux gypseux qui permet la solubilisation des carbonates

Très convoités, non seulement par ses riverains, mais aussi par toutes les agglomérations avoisinantes, le revers de la médaille serait une augmentation de l'indice permanganate en période estivale qui paraît une conséquence immédiate de l'accroissement de l'activité anthropique. Un état des lieux qui paraît de moindre rigueur dans la source SB. En comparant ces résultats avec ceux de Tataw d'Imouzzer Marmoucha où l'indice permanganate a passé de 0,995 mg/l à 5,2 mg/l après l'instauration d'un système de captage au niveau des résurgences secondaires. Les teneurs en orthophosphates sont généralement à de faibles niveaux de concentration (inférieur à 0,05 mg/l), pour les stations T, SB, tandis que au niveau de AR on remarque une augmentation brusque de 0,25 (mg/l) qui serait due à l'infestation de la nappe par les produits de fertilisation suite à l'installation des jeunes vergers de pommier au alentour de la source. Pour les stations (AR) et (SB), les ions sulfates ne montrent pas une grande variabilité, les valeurs enregistrées oscillent respectivement autour d'une moyenne de 17,9 (mg/l) et 15,7 (mg/l). Néanmoins, il convient de signaler une notable fluctuation de ce paramètre dans la station (T) régie par le facteur «saison»,

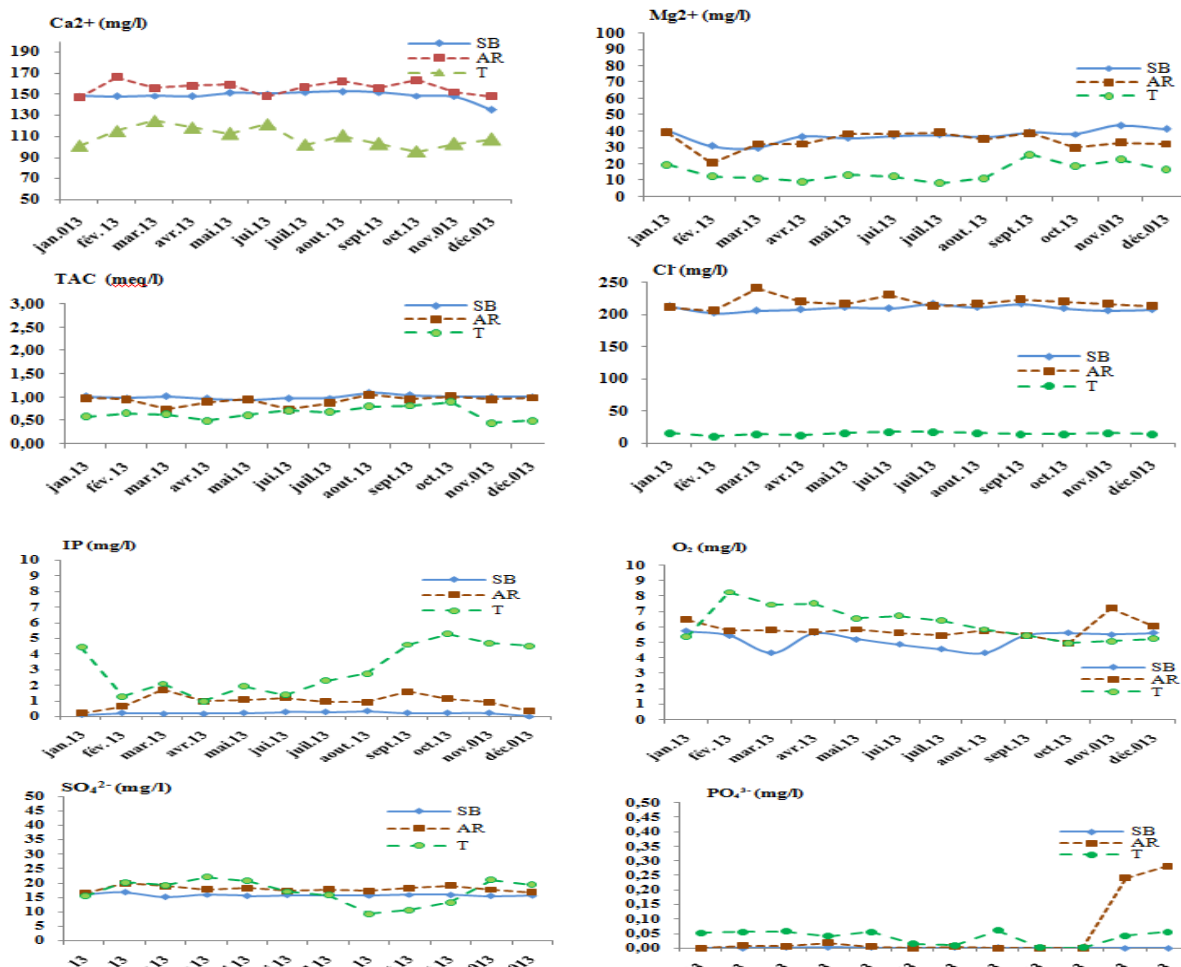


Fig. 3 : Variation Spatio-temporelle des paramètres chimiques (Ca²⁺; Mg²⁺, TAC, Cl⁻, IP, O₂, SO₄²⁻ et PO₄³⁻) des eaux de sources AR, SB et T (Janvier 2013/Décembre 2013).

3.3. Analyse en composantes principales (ACP)

L'étude statistique par l'ACP avec le logiciel Unscrambler 9.2 donne de nombreux résultats présentés dans le tableau 3 où sont consignés les valeurs propres, les pourcentages de variances exprimées par chaque composante et leurs cumuls. La composante C1, explique une variance de 44,59%, 33,002% et 37,97% (respectivement pour les stations AR, SB et T). Par ailleurs, pour connaître le nombre de composantes à retenir pour l'ACP de chaque source on s'est basé sur le critère de Kaiser qui dit que lors d'une ACP normée on retient les composantes dont les valeurs propres sont supérieures à 1. Ainsi, pour les deux sources AR et T nous avons considéré les trois premières car ces composantes expriment 83.95% et 79.54% respectivement. Par contre, pour la source SB, nous allons retenir les 4 premières dont la variabilité expliquée est égale à 85.4%.

Tableau 3. Valeurs propres de l'ACP

Numéro composante	Valeurs propre			Pourcentage de variance			Pourcentage cumulé		
	AR	SB	T	AR	SB	T	AR	SB	T
1	4,90536	3,63023	4,17711	44,594	33,002	37,974	44,594	33,002	37,974
2	2,6123	2,36128	3,11262	23,748	21,466	28,297	68,342	54,468	66,270
3	1,71706	2,04886	1,45981	15,610	18,626	13,271	83,952	73,094	79,541
4	0,616835	1,35804	0,716601	5,608	12,346	6,515	89,560	85,440	86,056

3.3.1. Etudes des corrélations entre paramètres physicochimiques

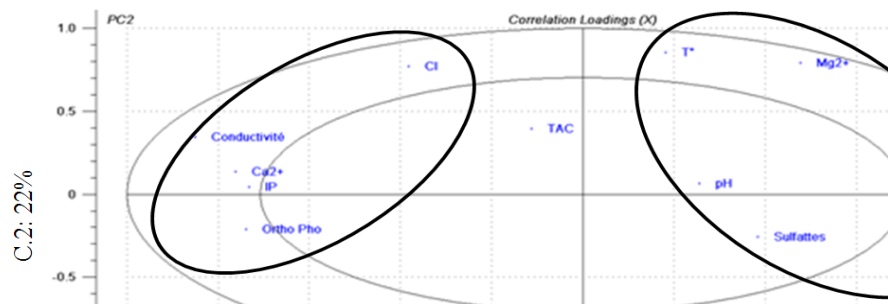
L'analyse des variables de l'ACP dans le plan formé par les deux composantes C1 – C2 est présentée par les figures 4,5 et 6, les corrélations soulignées sont celles significatives statistiquement

3.3.1.1. La station Sidi Bouali

La matrice des corrélations (Tableau 4) nous donne une première idée des associations existant entre les différentes variables telles que Ca^{2+} , Cl^- ; IP, CE et PO_4^{3-} . Ces paramètres sont relativement bien corrélés entre eux et corrélés négativement avec le groupement pH, O₂ dissous, SO_4^{2-} et T. Les éléments qui définissent le premier groupement indiquent une minéralisation élevée découlant d'une longue durée de mise en solution suite au contact eau- substratum rocheux des aquifères qui abritent les eaux de la région (Figure4)

Tableau 4 : Matrice des corrélations de la station SB

	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	TAC	Cl ⁻	IP	Sulfates	Ortho pho.	O ₂ dissous	Conductivité	pH	T °C
Ca ₂ ⁺	1										
Mg ₂ ⁺	-0,28	1									
TAC	0,12	0,13	1								
Cl ⁻	0,43	0,36	0,23	1							
IP	<u>0,85</u>	-0,25	0,18	0,24	1						
Sulfates	0,01	-0,16	-0,19	-0,15	0,00	1					
Ortho pho.	0,34	-0,42	-0,27	0,08	0,25	-0,28	1				
O ₂ dissous	-0,44	0,51	-0,35	-0,15	<u>-0,59</u>	0,46	-0,34	1			
Conductivité	<u>0,59</u>	-0,18	0,14	<u>0,64</u>	0,51	-0,32	<u>0,74</u>	-0,55	1		
pH	0,12	0,13	0,11	0,05	0,29	<u>0,61</u>	-0,57	0,12	-0,23	1	
T °C	-0,07	<u>0,74</u>	0,01	0,47	-0,15	-0,20	-0,03	0,45	0,22	-0,02	1



3.3.1.2. La station Ain Regrag

Le cercle de corrélation formé par les axes C1 et C2 (**Figure 5**) donnant 69 % de l'information totale montre, selon l'axe C1 (45 %), d'une part les eaux fortement minéralisées riches en chlorures d'autre part il est ns resumassocié des variables telles O₂ dissous et PO₄³⁻ et IP qui sont des indicateurs de pollution domestique. Cet axe définit alors un gradient de minéralisation et de pollution organique.

La position de l'oxygène dissous sur la partie négative de l'axe C1 pourrait justifiée par le fait que la source est inféodée par un important couvert de macrophytes qui suite échanges gazeux rend l'eau bien oxygénée. La composante C2 qui explique 24% de l'inertie du nuage des points représentatifs des ouvrages est déterminé par CE, Cl⁻, IP, T et pH, Ce plan met en évidence la relation étroite entre lithologie et chimisme des eaux souterraines (**Tableau5**)

Tableau 5 : Matrice des corrélations de la station AR

	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	TAC	Cl ⁻	IP	Sulfates	Ortho pho.	O ₂ dissous	Conductivité	pH	T °C
Ca ₂ ⁺	1										
Mg ₂ ⁺	-0,55	1									
TAC	0,32	-0,14	1								
Cl ⁻	-0,18	0,22	-0,73	1							
IP	0,27	0,15	-0,50	0,80	1						
Sulfates	0,79	-0,66	-0,09	0,11	0,47	1					
Ortho pho.	-0,45	-0,15	0,21	-0,22	-0,39	-0,35	1				
O ₂ dissous	-0,49	0,05	0,09	-0,21	-0,42	-0,42	0,61	1			
Conductivité	0,19	0,46	-0,31	0,18	0,29	-0,06	-0,62	-0,36	1		
pH	0,58	0,01	-0,37	0,35	0,58	0,48	-0,79	-0,78	0,69	1	
T °C	0,32	0,37	-0,26	0,33	0,56	0,17	-0,64	-0,74	0,82	0,81	1

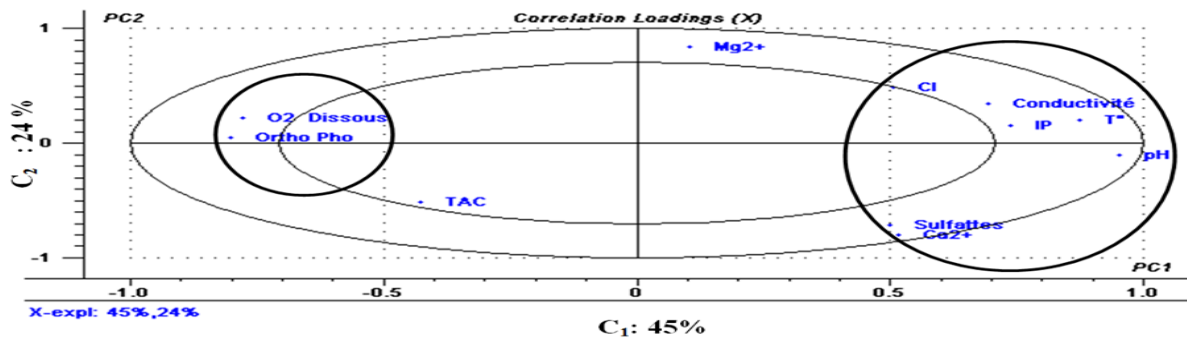


Fig. 5 : Espace des variables du plan C1 –C2 pour la station AR

3.3.1.3. La station Tataw

L'analyse des variables de l'ACP dans le plan C1-C2 est présentée par la figure 6. Ce graphe met en évidence 3 grands regroupements des paramètres étudiés dans les points d'eau (**Tableau 6**). Le premier regroupement qui prend en compte Cl⁻, CE, TAC, et T et traduit une faible minéralisation des eaux de la source ce qui explique la position dans la partie négative sur l'axe C2. Le deuxième regroupement contient O₂ dissous, SO₄²⁻, PO₄³⁻ et le Ca²⁺ un groupe très corrélé positivement mais dans la partie négative de l'axe C1 et qui met en évidence une eau faiblement chargée en éléments majeurs reflétant ainsi la nature lithologique de la région pauvre en roche calcaïques, et enfin un troisième constitué de l'IP et Mg²⁺ suite à deux phénomènes, tout d'abord la pression anthropique qui induit une augmentation de la matière organique dans l'eau et ensuite le phénomène des crues qui charrient tout un amalgame de minéraux comme le Mg²⁺ dont la présence dans les lieux est accidentelle et ne reflète pas la nature du substratum traversé pas les eaux de la sources [13].

Tableau 6 : Matrice des corrélations de la station T

	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	TAC	Cl ⁻	IP	Sulfates	Ortho pho.	O ₂ dissous	Conductivité	pH	T °C
Ca ₂ ⁺	1										
Mg ₂ ⁺	-0,59	1									
TAC	-0,22	0,07	1								
Cl ⁻	-0,20	-0,02	0,09	1							
IP	-0,64	0,68	0,23	0,04	1						
Sulfates	0,45	-0,27	-0,80	-0,29	-0,34	1					
Ortho pho.	0,41	-0,28	-0,56	-0,26	-0,38	0,41	1				
O ₂ dissous	0,80	-0,70	-0,14	-0,44	-0,77	0,48	0,29	1			
Conductivité	0,16	-0,28	0,46	0,58	-0,12	-0,38	-0,41	0,02	1		
pH	0,12	0,16	-0,10	-0,79	0,28	0,15	0,39	0,13	-0,50	1	
T °C	-0,10	-0,31	0,39	0,64	0,02	-0,45	-0,42	-0,10	0,80	-0,42	1

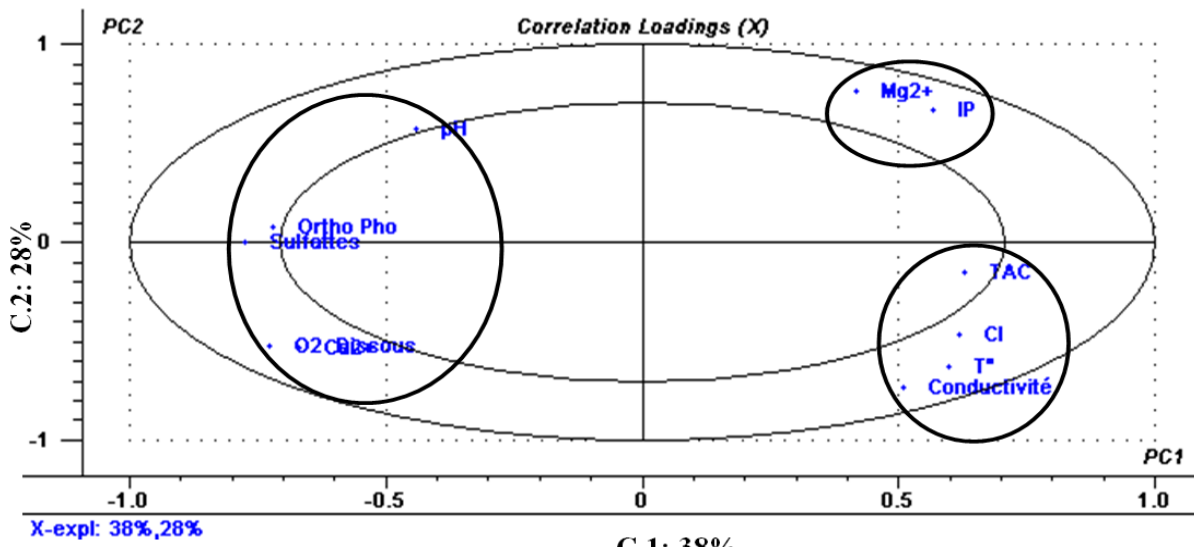


Fig.6 : Espace des variables du plan C1 –C2 pour la station T

3.3.2. Etudes de l'influence du facteur «saison»

Les figures 7 et 8 reflètent clairement l'implication du phénomène de la rotation de la terre autour du soleil dans la nature hydrochimique des résurgences des sources AR et SB quoiqu'il soit couramment connu que la composition chimique des eaux des puits et des sources est majoritairement acquise lors de la traversée du sol et de son séjour dans le réservoir [14]. Deux groupements de relevés sont différenciés. Le premier rassemble des relevés estivaux ralliant des mois chauds et secs, le second groupement est formé principalement par les mois froids et humides (relevés hivernaux) qui est corrélé négativement au premier groupement. L'effet du facteur « saison » est donc bien dégagé.

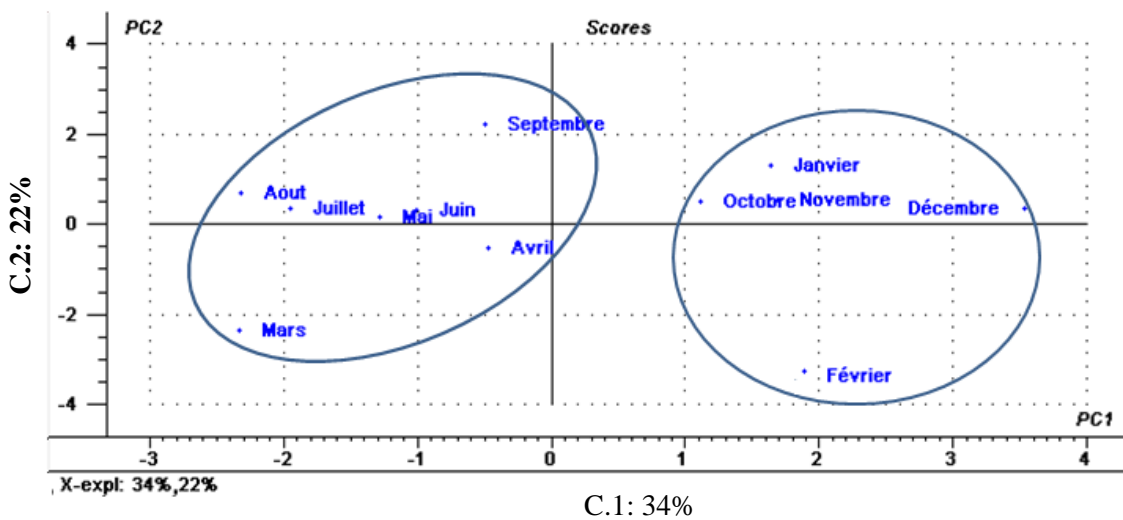


Fig. 7 : graphique de distribution des mois la station SB

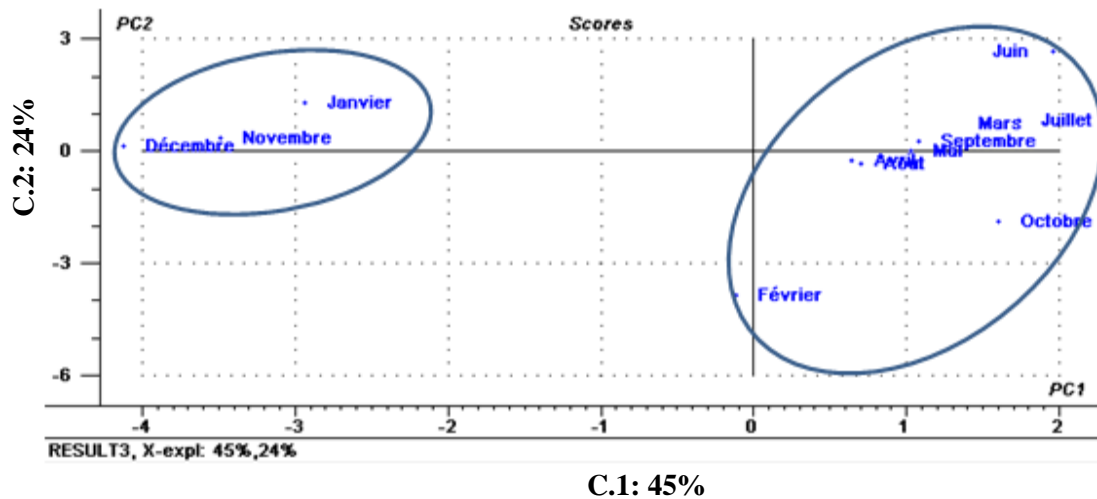


Fig.8 : graphique de distribution des mois la station AR

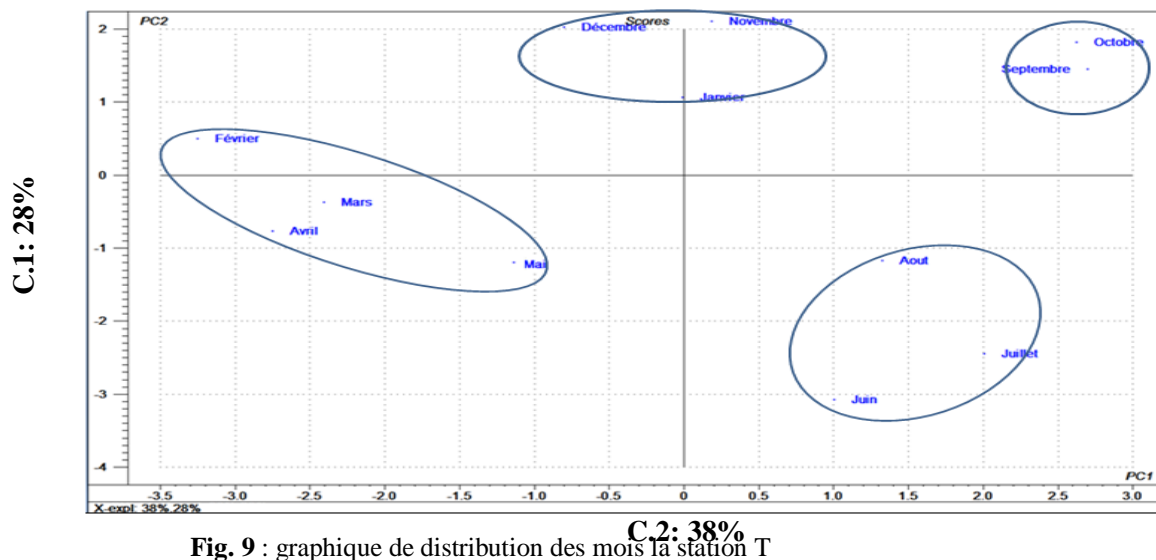


Fig. 9 : graphique de distribution des mois la station T

Cependant, on ne peut pas déceler l'influence de la saisonnalité dans la détermination de la nature physicochimique des eaux de la source Tataw d'Imouzer Marmoucha (figure 9), cet état des lieux serait dû au fait que la résurgence est sujette à des crues tout au long de l'année sans omettre la pression exercée par les activités anthropiques d'une population riveraine souvent démunie et qui a recourt aux eaux de la source pour accomplir la majorité de ses tâches ménagères.

3.4. Analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques sont consignés dans le tableau 7. Les analyses montrent la présence des bactéries de types coliformes fécaux (*Escherichia coli*), Coliformes totaux et Streptocoques fécaux dans l'eau de des échantillons des sources AR et T. Cela montre que les écoulements des zones d'étude sont soumis à une influence anthropique. En effet, la valeur indicative pour la qualité bactériologique proposée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est de zéro coliforme pour 100 ml d'eau, or des teneurs qui dépassent largement cette valeur ont été observées dans les deux sites en question. Les rejets des eaux domestiques au niveau de la nappe alluviale (fosses septiques), présentent un impact certain sur la qualité des eaux souterraines.

L'exploitation de ces résultats, montre que les stations Ain Regrag (AR) et Tataw (T) méritent une attention particulière et nécessitent une désinfection poussée suite à la présence anormalement élevée bactéries indicatrices de la pollution fécale ; sachant que même les concentrations minimales enregistrées au niveau des autres ouvrages, sont supérieures aux normes de potabilité des eaux.

Grâce à la spiritualité des lieux pour la population riveraine, le site Sidi Bouali (SB) a demeuré indemne de toute pollution fécale.

Tableau 7 : Résultats des analyses microbiologiques des eaux des sources AR, SB et T

Analyse	Ain Reagra (AR)	Sidi Bouali (SB)	Tataw (T)
microorganismes revivifiables à 37 °C /100ml	52	absence	52
microorganismes revivifiables à 22°C /100ml	18	absence	48
Coliformes totaux /100ml	150	absence	80
Coliformes fécaux /100ml	4	absence	50
Streptocoques fécaux/100ml	1	absence	60

IV. CONCLUSION

Ce travail donne des observations intéressantes sur un ensemble de trois sources d'eau douce du haut Sebou, dans des régions où les eaux souterraines ont toujours été une source importante d'approvisionnement en eau potable pour les populations locales, pour l'abreuvement des animaux et pour l'irrigation. En effet, l'examen et l'interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques et bactériologiques d'échantillons d'eaux recueillis montre que les eaux de Sidi Bouali sont de dureté calcique élevée avec une concentration moyenne de 148,7 (mg/l) mais reste tout de même inférieure aux normes de potabilité, de point de vue bactériologique, les écoulements de Sidi Bouali s'avèrent d'excellente qualité, ils sont indemnes de microorganismes indicateurs de pollution fécale, cependant des eaux des sources Ain Reagra caractérisées par une dureté et une minéralisation assez élevées révèlent non seulement la présence, de bactéries pathogènes, qu'elle est anormalement élevée suite à une infiltration par les fosses septiques. Les eaux de Tataw à leur tour faiblement minéralisées, de faible température et d'une faible dureté calcique et magnésienne sont aussi sujettes à une pollution bactérienne dépassant des seuils difficilement tolérables pour la santé. L'application de la méthode exploratoire multivariée ACP permet d'identifier les paramètres les plus importants qui décrivent la qualité de ces eaux souterraines elle a donc montré que la variabilité de la qualité des eaux souterraines étudiées dépendait de 3 facteurs : la minéralisation issue de la solubilisation du substratum souterrain, le facteur saison avec tous les aléas qui l'accompagnent et l'impact des activités anthropiques. Au-delà de l'étude hydrochimique et de la pollution hydrique, les répercussions sur les milieux environnementaux et sur la population riveraine sont mises en péril et doivent être prises en compte dans une nouvelle approche de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F. FADIL, M. DAKKI «Deux espèces nouvelles du genre Gammarus (Crustacés, Amphipodes) du Maroc» Bull. Ins. Sci. Rabat n°28 (2006)
- [2] C. PEYRE. Contribution à l'étude de la végétation du Moyen Atlas oriental. Le versant sud du massif Bouiblanc est sa bordure méridionale éléments de climatologie Bull. ins. Sci. Rabat. N°1 (1976) P: 173 – 197.
- [3] AFNOR. Qualité de l'eau. Recueil des Normes Françaises Environnement, Tomes 1, 2, 3 et 4, (1997) p1372
- [4] J. RODIER, C. BAZIN, J.P. BROUTIN, P. CHAMBON, H. CHAMPSAUR, L. RODI. L'analyse de l'eau, (1996) 8^{ème} édition, Edition Dunod, Paris, France.
- [5] J. MUDRY. Contexte hydrogéologique et modalités des études préalables. Colloque Périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, Besançon 27 mars (1997)
- [6] J. BIEMI. Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat, Université Nationale de Côte d'Ivoire, (1992). p. 480
- [7] F. PETIT, M. ERPICUM (1987). Variations des températures des eaux de sources et de leurs débits en fonction de leur mode d'alimentation, Bull. Socio. Géo de Liège, n° XXII 22, 23^{ème} année, 161-172.
- [8] NICOD J. Recherches nouvelles sur les karsts des gypses et des évaporites associées; seconde partie: géomorphologie, hydrologie et impact anthropiques, Rev. Karstologia (1993) n° 20 (1987). pp.15-30
- [9] NM 03.07.001/2006. Normes marocaines Eaux-Aliments; Eaux d'alimentation Humaines- qualité des eaux d'alimentation Humaine (2006).
- [10] MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT, Maroc (2007). "Normes de qualité. Eaux destinées à l'irrigation".
- [11] AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE SEBOU (ABHS). (2013) Courrier ABH/DAR/REDV/0138/13.
- [12] S. HÉBERT et S. LÉGARÉ. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec" Environoq no ENV-2001-0141, rapport no QE-123, 24, (2001). p. annexe 3.
- [13] A. GARTET. Morphogénèse et hydrologie dans le bassin versant de l'Oued Lèbène, Rif méridional, Préfif central oriental (Maroc). Thèse Doct.univ.Aix-Marseille I Aix-en-Provence, (1994) 342P
- [14] C.FEHDI, A. BOUDOUKHA, A.ROUABHIA et E. SALAMEH. Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien Afrique SCIENCE 05(2) (2009). 217 – 231