



QUALITE PHYSICOCHIMIQUE DES EAUX DES SOURCES AIN REGRAG ET AIN SIDI BOUALI DANS LA REGION DE SEFROU (MOYEN ATLAS, MAROC)

NECHAD I., FADIL K., 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

imanenechad5@hotmail.com

RESUME

Les sources Ain Regrag, Ain Sidi Bouali figurent parmi les résurgences les plus convoitées de la région de Sefrou (Moyen Atlas Maroc), leurs eaux sont utilisées pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable.

L'objectif de ce travail est, d'une part, d'évaluer l'influence des activités anthropiques sur la qualité physico-chimique des eaux, d'autre part, de déterminer la qualité de ces eaux en référence aux normes de potabilité ou d'irrigation.

Les paramètres environnementaux ont été évalués à un rythme mensuel (de février 2013 à janvier 2014).

L'analyse a montré que les eaux des deux sources sont fortement minéralisées, très dures; certains éléments sont plus abondants que d'autres (en particulier Ca^{2+} , HCO_3^- et Cl^-). Une analyse statistique des données par l'ACP nous a permis de constater que certains paramètres sont statistiquement semblables entre les deux sources Mg^{2+} , TAC, Chlorures, Orthophosphates et la conductivité. Les autres éléments présentant des différences significatives sont : le calcium, la température, le pH, l'oxygène dissous, les sulfates et l'indice permanganate. Il est important de relever que la concentration de chaque élément n'est pas constante au cours du temps, Toutefois, les analyses attestent que la concentration de la totalité des paramètres répondant aux normes en vigueur.

Mots clés : qualité, paramètres physicochimiques, sources, moyen atlas

ABSTRACT

The sources Regrag Ain, Ain Sidi Bouali are among the most coveted resurgence of Sefrou region (Middle Atlas Morocco), their waters are used for irrigation and drinking water.

The objective of this work is, first, to assess the influence of human activities on the physico-chemical water quality, secondly, to determine the quality of these waters with reference to drinking water standards or irrigation.

Environmental parameters were evaluated on a monthly basis (February 2013-January 2014).

The analysis showed that the waters of the two sources are highly mineralized, very hard; some elements are more abundant than others (especially Ca^{2+} , HCO_3^- and Cl^-). A statistical analysis of the data by the CPA, we found that some parameters are statistically similar between the two Mg^{2+} sources, TAC, chlorides, orthophosphates and conductivity. The other components having significant differences are: calcium, temperature, pH, dissolved oxygen, sulfates and permanganate index. It is important to note that the concentration of each element is not constant over time. However, the analyzes show that the concentration of all parameters meet the standards.

Keywords: quality, physicochemical parameters, sources, Middle Atlas

INTRODUCTION

Depuis le début du siècle dernier les montagnes sont soumises à une pression démographique sans cesse grandissante. Elles abritent aujourd'hui plus d'un dixième de la population mondiale : agriculture, foresterie, élevage sont la cause d'une dégradation accélérée de l'environnement dans ces zones. Ces environnements fragiles sont pourtant particulièrement stratégiques à préserver dans le contexte actuel de recherche de durabilité et de raréfaction de la ressource en eau.

Les sources naturelles constituent des biotopes originaux et ponctuels qui occupent de très petites surfaces à l'échelle régionale. Ces écosystèmes d'eau douce remplissent des fonctions hydrologiques, socio-économiques et écologiques précieuses à l'échelle du pays, alors que leur biodiversité et leur originalité leur confèrent un intérêt mondial. Elles subissent par ailleurs une très forte pression anthropique du fait de l'utilisation humaine et agricole de cette ressource en eau.

Le Moyen Atlas est un massif montagneux bien arrosé orienté du Sud-ouest au Nord-est s'étendant sur 350 kilomètres est situé au centre du Maroc, entre le Rif et le Haut Atlas, et couvrant une superficie totale de 2,3 millions d'hectares, soit 18% du domaine altimontain de ce pays. 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.

Ces sources revêtent une importance capitale en tant que ressource en eau et aussi en tant que milieu aquatique remarquables liés aux nappes phréatiques et aux eaux superficielles, elles jouent un rôle essentiel dans la régulation des débits et dans le rechargement des écoulements souterrains (*La directive-cadre sur l'eau 2000*). Leur intérêt scientifique et socio-économique n'est plus à démontré en tant que zones aux ressources naturelles riches et variées. Elles sont pourtant soumises à de nombreuses pressions et ont été largement détruites ou dégradées au cours du siècle passé, leur état de conservation connaît déjà de sérieuses menaces.

Depuis quelques dizaines d'années, la mobilisation autour de leur préservation est motivée par des préoccupations qui dépassent maintenant la ressource en elle-même : les enjeux sociaux, politiques et stratégiques sont majeurs. C'est donc vers une optimisation de la gestion de l'eau qu'il faut tendre.

Parmi ces écosystèmes d'eau douce, il y a deux qui revêtent une importance patrimoniale et qui autour desquelles s'articulent les grands espaces du paysage, ce sont les sources Ain Regrag et Sidi Bouali situées à 20 kilomètres au nord-est de Sefrou. Ces zones humides présentent de grandes particularités biologiques et occupent une place privilégiée parmi les régions marocaines d'intérêt majeur pour la conservation des zones humides. Elles sont classées comme des sites historiques et emblématiques et ce en application de plusieurs actes juridiques entre les populations riveraines depuis plus de 3 siècles, ce ne sont pas justes des ressources en eau qui dynamisent toute la vie socioéconomique de plus de 10000 habitants ce sont aussi des sites récréatifs de premier rang au niveau de la région.

Actuellement Ain Regarg est entrain de subir les effets d'une pression anthropique de plus en plus prononcée, plusieurs forages sont mis en place en train de puiser dans les eaux de la nappes phréatiques ; 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. Cela dit, 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.

Un diagnostic plus complet de la situation actuelle de la qualité physico-chimique de l'eau et un suivi rigoureux de son évolution, s'avèrent d'une grande nécessité pour la sauvegarde de cet écosystème. C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail dont les objectifs principaux sont :

- (1) une caractérisation physico-chimique des eaux des sources, d'apporter une analyse comparative des différents paramètres étudiés en rapport avec d'autres sources du moyen atlas d'ores et déjà étudiées.
- (2) une identification des différents facteurs de risques pouvant porter atteinte à la qualité de ces eaux.
- (3) une évaluation de la qualité de ces eaux en référence aux normes de potabilité ou d'irrigation.

MATERIEL ET METHODES

Caractéristiques physiques du site

Situées à une quarantaine de kilomètres au sud est de Fès (Figure.1), Ain Regrag et Sidi Bouali font partie de l'unité hydrogéologique du Causse moyen atlasique. Elles sourdent de l'aquifère liasique du couloir Fès-Taza qui est constitué par des dolomies du Lias moyen et des calcaires du Lias supérieur, 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

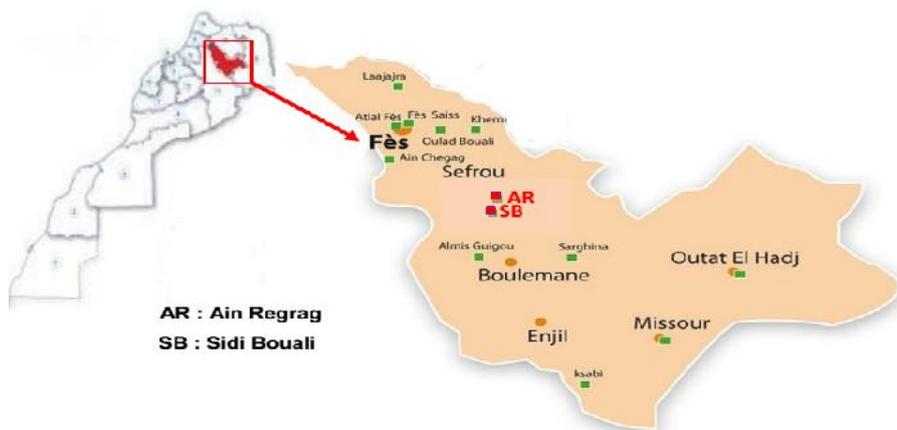


Figure 1 : Localisation géographique des Ain Regrag et Sidi Bouali

Source Regrag (AR)

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 la les populations riveraines tout au long de son histoire, c'est aussi une véritable station balnéaire grâce à son lac est ses rives planes couvertes par une végétation rase (pelouse) qui en fait un type particulier de source d'eau douce de montagne nord-africaine.

Source Sidi Bouali (SB)

Située au milieu d'une oliveraie, Sidi Bouali correspond à une résurgence situé à 18 km de la ville de Sefrou, la sources 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'au dernières années la source n'était pas pillée par les activité anthropiques, la population avoisinante cherchait plutôt à la préserver.

Echantillonnage et mesure des paramètres physico-chimiques

Un relevé mensuel des échantillons d'eau est effectué durant un an toutes les 4 semaines, soit un total de 12 mois d'échantillonnage, entre février 2013 et janvier 2014. Selon les recommandations de l'OMS, on prélève chaque mois dans des flacons en polyéthylène, un volume de 1, 5 litres destinés aux analyses physicochimiques, à partir de la résurgence principale. Ils ont été ensuite conservés à 4°C pendant le transport au laboratoire, puis ont été analysés dans les 24 heures qui suivent. Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes (AFNOR., 1997 ; Rodier et al.,1996).

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 totale	mg/l	Titrimétrie, Complexométrie EDTA noir d'eriochrome
Dureté calcique	mg/l	Complexométrie EDTA calcone
Dureté magnésienne	mg/l	Différence entre dureté 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 sulfates	mg/l	Spectrométrie d'absorption moléculaire à 650 nm
Les orthophosphates	mg/l	Spectrométrie d'absorption moléculaire à 750 nm

RESULTATS ET DISCUSSION

Température de l'eau

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la solubilité des gaz dans l'eau entre autre l'oxygène, la conductivité électrique et le pH, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, elle est aussi très utile pour les études limnologiques (Rodier, 1984).

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 (Petit et al., 1987). Ceci converge avec l'analyse des données recueillies, dans la zone d'étude, les variations thermiques sont faibles. Les températures enregistrées oscillent entre 18 °C (AR) et 17 °C (SB) en période humide (figure 2), et entre 19 °C (AR) et 18°C (SB) en période sèche. Cette semi-homothermie est à mettre en rapport avec l'importance des réservoirs karstique de la nappe du Moyen Atlas plissé.

Ces résultats concordent avec ceux obtenus par (ABHS., 2013) lors du prélèvement des eaux de la source réalisés au mois de mars et septembre 2012.

En comparant ces résultats avec les normes de potabilité et d'irrigation préconisées par le Maroc, ces eaux montrent des valeurs acceptables.

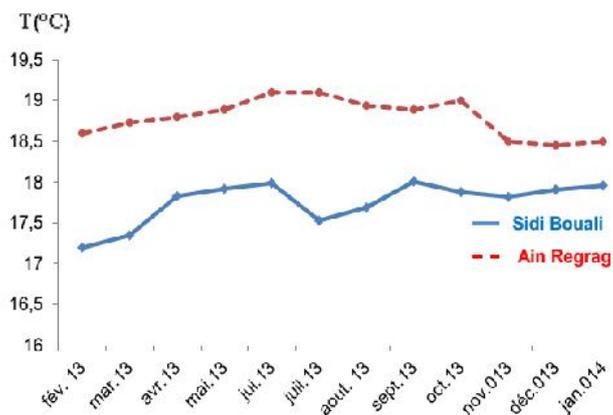


Figure 2 : Variation temporelle de la température

Potentiel hydrogène

Le pH est primordial à connaître, car, connaissant les concentrations de CO₂ dissous, il permet indirectement l'évaluation de l'agressivité chimique des eaux (Gartet et al., 2001).

Les données obtenues révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin dans les deux stations (figure3); elles varient de 7,03 à 7,1 pour AR et de 6,98 à 7,25 pour SB.

Des valeurs similaires ont été obtenues par (ABHS, 2013) dans les sources Aghbalou (6,95) et Ain kbir (7,15) dans la région de Sefrou à une quinzaine de kilomètres de la zone d'étude, Cette faible alcalinité des eaux s'explique par l'abondance du CO₂ dissout dans les aquifères des formations liasique qui caractérisent le couloir Fès-Taza.

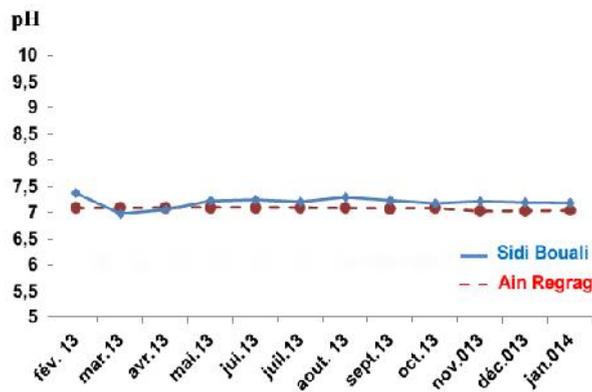


Figure 3 : Variation temporelle du pH

Conductivité électrique

La conductivité est l'expression de la charge dissoute, elle permet d'évaluer la minéralisation globale par la quantité d'ions en solution, étant donné que la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement, la conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente.

Pour ce paramètre, les valeurs disponibles (figure 4) ne présentent pas de variations assez importantes, et oscillent entre 1100 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en juillet 2013 et 1086 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en Février 2013 pour Ain regrag ; et entre 1112 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en juillet 2013 et 1085 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en janvier 2014 pour sidi Bouali. Les valeurs les plus élevées sont marquées à la fin des périodes d'été, tandis que les plus faibles sont enregistrées dans la période pluviale.

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 deux résurgences avec la Norme marocaine fixée à 2700 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) place ces eaux dans la grille excellente.

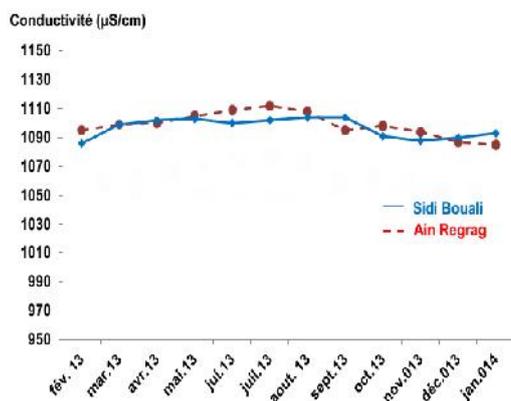


Figure 4 : Variation temporelle de la conductivité

Chlorures

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère (Santé Canada., 2008) ils sont présents à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution.

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 et entre 205 (mg/l) et 241 (mg/l) à Ain Regrag (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, ce qui permet de classer ces eaux dans la grille excellente des eaux de surface. Il faut tout de même signaler que sont des concentrations qui sont largement supérieur à celles enregistrées à la source Tataw d'imouzzar marmoucha au moyen atlas à 120 km de la zone d'étude (NECHAD et al., 2014) ce qui confirme que la nature lithologique de la région est en rapport direct avec les teneurs des paramètres chimiques des eaux phréatiques.

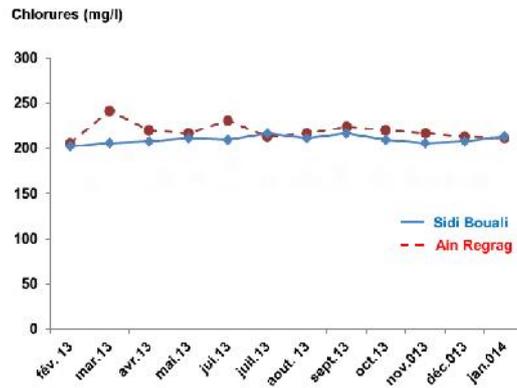


Figure 5 : Variation temporelle des chlorures

Dureté totale (TH)

La dureté de l'eau est due aux ions métalliques polyvalents dissous. Dans l'eau douce, les principaux ions responsables de la dureté sont les ions calcium et magnésium.

Dans les échantillons d'eau : La TH varie entre 176(mg/l) et 190 (mg/l) à Sidi Bouali et entre 186 (mg/l) et 198 (mg/l) à Ain Regrag. Durant toute l'année d'étude, la TH est inférieure à la valeur guide OMS qui est de 200 (mg/l). Selon la classification de (Lidwin et al., 1993) les eaux souterraines analysées sont dures puisque le TH se trouve dans l'intervalle 121-180(mg/l), ceci, serait lié à la nature lithologique de la formation aquifère et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium (figure 6).

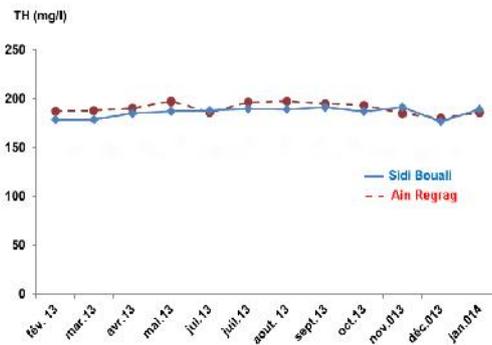


Figure 6 : Variation temporelle de la dureté totale

Dureté calcique

Le calcium s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium.

La courbe de concentration de cet élément n'exprime pas de variations notables (figure7), avec des teneurs relativement élevées allant de 135,23(mg/l) à 153 (mg/l) à Sidi Bouali et de 146.67(mg/l) à 166.42 (mg/l) à Ain Regrag. Les eaux des deux sources sont donc fortement chargées en ion Ca_2^+ en comparaison avec les valeurs trouvées par (ABHS., 2013) 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 jaillit la source. Il convient aussi de noter qu'il n'existe aucune donnée chiffrée indiquant la teneur maximale des ions Ca_2^+ et Mg_2^+ aussi bien pour l'eau potable que pour celle destinée à l'irrigation.

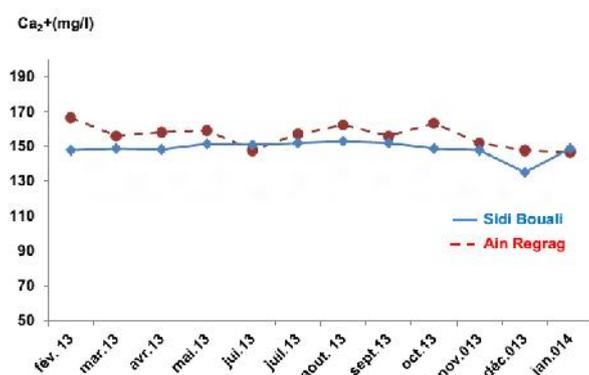


Figure 7 : Variation temporelle de la dureté calcique

Dureté magnésienne

Les teneurs en magnésium des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Dans les régions riches en roches magnésiques, l'eau peut contenir des concentrations de 10 à 50 mg/L de cet élément, la dureté est souvent due aux ions Ca_2^+ et Mg_2^+ .

Le profil temporel des eaux des deux sources a montré que les concentrations de magnésium sont nettement inférieures à celles du calcium, elles oscillent autour d'une moyenne de 34,44 (mg/l) à AR et 37,5 (mg/l) à SB ; les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans la saison sèche (figure8).

Dans un environnement carbonaté, l'enrichissement simultané de Ca^{2+} et l'appauvrissement de Mg^{2+} est expliqué surtout par le phénomène d'interaction eau roche comme la dolomitisation, dissolution et précipitation. La réaction d'échange Ca^{2+}/Mg^{2+} par dolomitisation a été signalée comme cause principale de diminution du rapport Mg/Ca dans les eaux des aquifères carbonatés. Cette diminution est progressive selon l'âge croissant des terrains aquifères, contrôlée par l'équilibre entre calcite et dolomite et fortement dépendante de la température (Fidelibus et al., 1996).

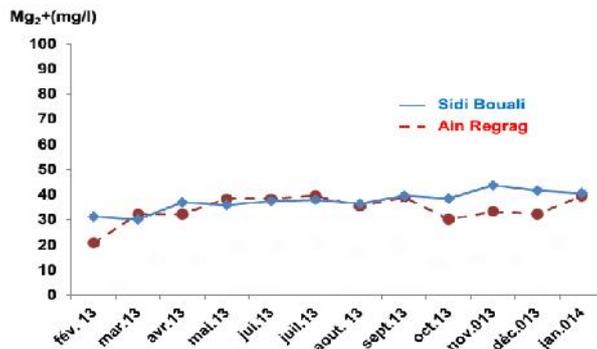


Figure 8 : Variation temporelle de la dureté magnésienne

Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le titre alcalimétrique complet (TAC) dans les échantillons d'eau analysés est du essentiellement à la présence des ions bicarbonates (HCO_3^-), c'est l'indice du pouvoir tampon de l'eau, il est étroitement liée à la dureté, bien que de nombreuses espèces de solutés puissent y contribuer. L'alcalinité est exprimée en quantité équivalente de carbonate.

L'évolution temporelle de ce paramètre (figure 9) est en dents de scie marquée par de légères fluctuations aussi bien en période de pluie qu'en période sèche, ses valeurs oscillent entre un minimum de 0,95 (meq/l) en mai 2013 et un maximum de 1,1 (meq/l) en août 2013 pour la station Sidi Bouali. Des valeurs similaires en été enregistrées à Ain Regrag marqué par un minimum de 0,74 (meq/l) au mois de mars 2013 et un maximum de 1,06 (meq/l) en août de la même année. Ces teneurs décrivent un profil temporel similaire à celui enregistré à la source Tataw d'immouzer marmoucha durant une période de prélèvement mensuel de juillet 2012 à juillet 2013 (Nechad et al., 2014).

Cette évolution de l'alcalinité prouve une dissolution des roches carbonatées dans les réservoirs karstiques.

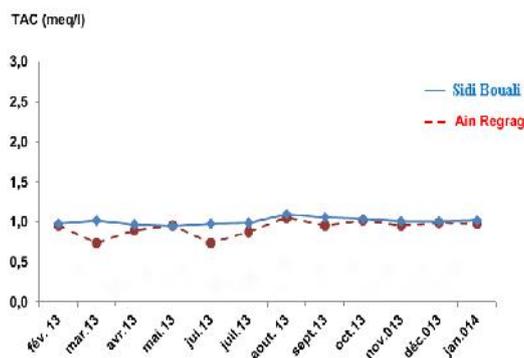


Figure 9 : Variation temporelle de l'alcalinité

Les sulfates

Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, celui-ci existe à l'état naturel dans certains minéraux tel le gypse et la baryte. Sa présence dans des eaux phréatiques invoque une dissolution de gypse ou de pyrite. La concentration des sulfates dans les eaux superficielles est généralement comprise entre 2,2 et 58 mg/l (Meybeck et al., 1996).

Ce paramètre se situe dans l'intervalle compris entre 16,44 à 19,11 (mg/l) à Ain Regrag et entre 15,44 et 16,778 (mg/l) à Sidi Bouali. Ces valeurs concordent parfaitement avec celles obtenues par [10] au cours de leurs deux campagnes de prélèvement à Ain Regrag en mars et septembre 2012 et qui sont respectivement de 14,1 et 13 (mg/l) ; et sont dans la même fourchette de concentrations que de la source Ain Kbir à Sefrou (ABHS 2013).

Ces teneurs restent largement inférieures aux normes marocaines fixées à 200 (mg/l) pour l'eau potable et 250 (mg/l) pour celle destinée à l'irrigation.

La nature géologique des formations des réservoirs, caractérisés d'une importance relative des formations gypsifères semble être à l'origine de ces variations locales et saisonnières des teneurs en sulfates des eaux ce qui se traduit par de très faibles concentrations en ions SO_4^{2-} .

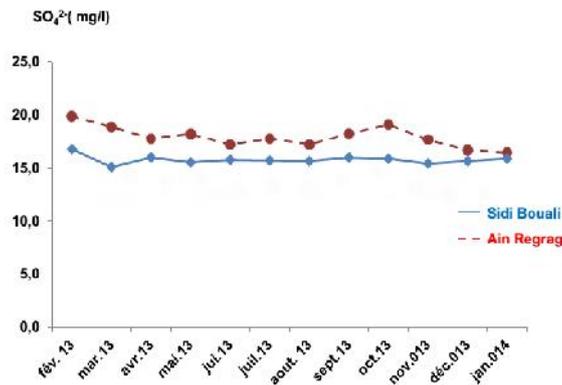


Figure 10 : Variation temporelle des sulfates

Les orthophosphates

Ce paramètre fait généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en orthophosphates peut indiquer une pollution agricole suite à une lixiviation des fertilisants. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation, cependant, en absence d'intervention humaine, les eaux de surfaces contiennent très peu de phosphates. Meybeck et al. (1989) estiment que la teneur naturelle en PO_4^{3-} des cours d'eau est inférieure à 0,025 mg/l et dépend principalement de la nature du substratum géologique.

Les relevés de la qualité des eaux des sources ont montré que les concentrations des orthophosphates sont nettement inférieures à celles des sulfates, elles fluctuent autour d'une moyenne de 0,954 ($\mu\text{g/l}$) dans les deux résurgences (figure 11).

Les travaux de Makhoukh et al. (2011) et de Nechad et al. (2014) ont révélé que dans le secteur nord est distant d'une 100km de zone d'étude, les teneurs en orthophosphates sont faibles et sont inférieures à 1 (mg /l) pour les deux saisons, il convient de noter qu'il n'existe aucune donnée chiffrée de cet élément chimique dans les sources avoisinantes. Les concentrations en orthophosphates dans les eaux des deux sources sont bien au-dessous du seuil tolérable et qui est de 0,4 (mg/l).

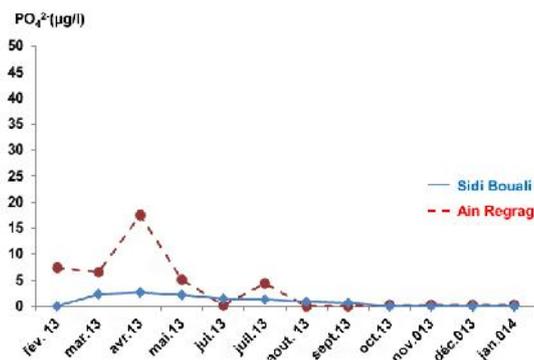


Figure 11: Variation temporelle des orthophosphates

L'oxygène dissous

L'oxygène est un facteur clé et un excellent indicateur de la qualité de l'eau. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'auto-épuration d'un cours d'eau. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier : la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi fonction de l'origine de l'eau ; les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre (Rodier, 1984) une teneur de 4 à 6 mg d'O₂ par litre caractérise une eau de bonne qualité.

Dans notre étude, l'évolution saisonnière de l'oxygène dissous montre des concentrations plus élevées en période humide que celles en période sèche. En effet, les teneurs enregistrées varient entre 5,72 mg/l (SB) et 7,2 mg/l (AR) et entre 4,32mg/l (SB) et 5,4 (AR) respectivement en période humide et en période sèche (figure 12). Ceci est 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 (Hébert et Légaré, 2000). En outre, les fortes vitesses des vents engendrent un brassage continu de la masse d'eau et par conséquent un enrichissement de la phase dissoute en oxygène dissous pendant la saison hivernale. Il faut tout de même signaler que la station (AR) est inféodée par un important couvert végétal de macrophytes et d'algues ce qui explique la grande disponibilité en oxygène dissous par rapport à Sidi Bouali. Durant la saison estivale, on remarque une diminution de l'oxygène dissous aussi bien pour (AR) que pour (SB), on estime que l'augmentation de la pression anthropique au niveau de ces deux point d'eau en cette période de l'année serait responsable entre autre de cette baisse d'un facteur de 1,3(mg/l) pour AR et de 0,52 (mg/l) pour SB.

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 excellente.

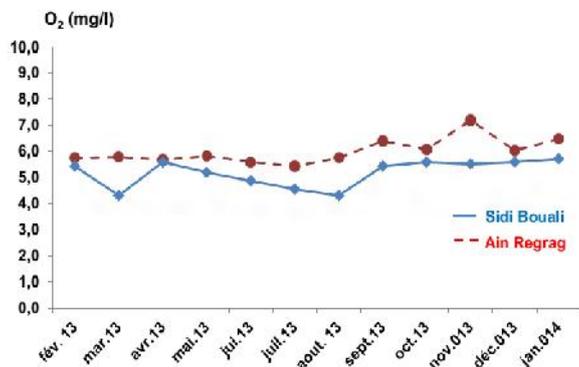


Figure 12 : Variation temporelle de l'oxygène dissous

L'indice permanganate

L’indice permanganate (IP) est une grandeur qui permet d’estimer la concentration en matières organiques présentes dans les eaux de surface et les eaux potables, Il s’agit donc d’un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d’une eau par des composés organiques.

Les teneurs en IP au niveau des eaux étudiées sont comprises entre 0,023(mg/l) et 0,343 (mg/l) à SB (figure 13), tandis que AR est marquée par une variation de 0,64 (mg/l) en février 2013 à 1,6 (mg/l), les concentrations enregistrées en période humide sont nettement inférieure à celles qui marquent la saison sèche. Comme il a été cité avant la station AR est un lieu de baignade et rafraîchissement très convoité, 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 évidence et une conséquence immédiate de l'accroissement de l'activité anthropique. Un état des lieux qui paraît de moindre rigueur à SB, une station où les croyances et la spiritualité des lieux prennent le devant, grâce à son mausolée qui est d'une valeur patrimoniale, la population veille jalousement à la préserver. En comparant ces résultats avec ceux de Ain Tataw d'Immouzer Marmoucha où l'indice permanganate a passé de 0,995 mg/l à 5 mg/l après l'instauration d'un système de captage au niveau des résurgences secondaires, on peut stipuler que dans deux zones d'études la pression anthropique demeure, jusque-là sans conséquences notables, mais qui doit être surveillée dans une perspective de développement durable.

La grille des normes marocaines permet alors de classer ces eaux dans la catégorie excellente.

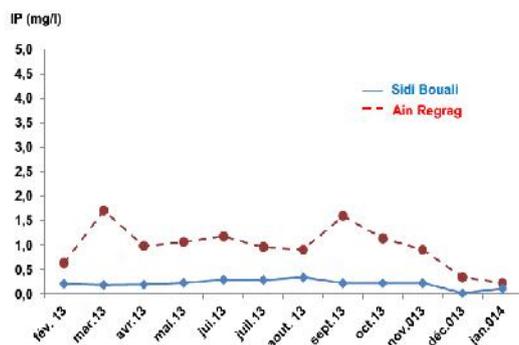


Figure 13 : Variation temporelle de l'indice permanganate

TYPOLOGIE TEMPORELLE DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES

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, nous avons statistiquement traité l'ensemble des données par l'Analyse en Composantes Principales (A.C.P).

Cette méthode statistique permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélés entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales (Davis, 1984). Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques (Fekhaoui, 1990; Bennasser, 1997; El Morhit et al., 2008).

L'ACP a été effectuée sur une matrice de données constituée de 12 prélèvements (Sidi Bouali x 12 mois) et 12 prélèvements (Ain Regrag x 12 mois). Au cours desquels les 11 variables (température de l'eau, pH, conductivité, dureté calcique, dureté magnésienne, titre alcalimétrique complet, chlorures, sulfates, orthophosphates, indice permanganate et oxygène dissous) ont été mesurés (tableau 2).

En se basant sur la valeur de la probabilité pour le test F, on a pu faire une comparaison entre les teneurs des différents paramètres étudiés pour les deux sources, afin de connaître le degré de similitude entre eux. En effet, Les paramètres semblables statistiquement pour les deux sources sont : Mg²⁺, TAC, Chlorures, Orthophosphates et la conductivité alors que ceux qui présentent une différence statistiquement significative et dont la valeur de la probabilité pour le test F est inférieure à 0,05 sont: Ca²⁺, la température, le pH, l'oxygène dissous, les sulfates et l'indice permanganate.

On suppose que cette différence est due en premier lieu à l'activité anthropique exercée sur la source Ain Regrag plus que Sidi Bouali (Oxygène dissous et

indice permanganate) tandis que la nature lithologique des sources serait responsable de cette dissemblance entre la température, le pH et les sulfates.

Tableau 2 : Analyse statistique des variables intra-groupe et intergroupe SB: Sidi Bouali; AR: Ain Regrag

	Variables intragroupe						Variables intergroupe (AR et SB)	
	Moyenne		Ecart-type		Coef. de variation		Rapport F	Probabilité
	AR	SB	AR	SB	AR	SB		
T°C	18,78	17,77	0,23	0,26	0,01	0,01	115,50	0,00
pH	7,08	7,20	0,03	0,10	0,00	0,01	19,37	0,00
CE	1098,77	1097,54	8,11	6,94	0,01	0,01	0,17	0,68
Ca ₂₊	156,12	148,70	6,19	4,41	0,04	0,03	12,47	0,00
Mg ₂₊	34,45	36,93	5,25	4,25	0,15	0,12	1,75	0,20
TAC	0,94	0,99	0,10	0,06	0,11	0,06	3,11	0,09
Chlorures	218,90	215,46	9,09	15,19	0,04	0,07	0,48	0,49
Sulfates	17,89	16,01	1,00	0,88	0,06	0,06	24,88	0,00
Orthophosphates	4,47	1,78	6,19	3,11	1,39	1,75	1,97	0,17
IP	1,00	0,26	0,43	0,17	0,43	0,67	33,74	0,00
O ₂ dissous	6,24	5,05	0,94	0,70	0,15	0,14	13,29	0,00

CONCLUSION

L'analyse hydrochimique des eaux nous a permis de montrer la diversité des constituants. en effet la concentration de chaque élément n'est pas constante au cour du temps, certains éléments sont plus abondants que d'autres (en particulier Ca₂₊, HCO₃ et Cl⁻), les courbes des constituants chimiques ne sont pas superposables, bien que le rythme de leur évolution soit identique(Ca₂₊ et Mg₂₊), (Cl⁻ et la conductivité électrique) , il est important de relever que Les eaux des deux sources sont fortement minéralisées, très dures avec teneurs en calcium de 148 et 156 (mg/l) respectivement pour SB et AR, et très chlorurées de 209 (mg/l) à SB et 219 (mg/l) à SB. En comparant ces résultats avec les normes de potabilité préconisées par le Maroc, les eaux des deux sources restent bien au-dessous les limites tolérables en relation avec le faible développement socio-économique des agglomérations installées sur les alentours , mais, à l'instar de certains pays comme le Canada , la Belgique et la France l'établissement d'un programme de surveillance de la qualité des eaux de sources est une nécessité étant donné la vulnérabilité de et l'importance de ces deux zones humides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE SEBOU (ABHS). (2013). Courrier ABH/DAR/REDV/0138/13.
- AFNOR (1997). Qualité de l'eau. Recueil des Normes Françaises Environnement, Tomes 1, 2, 3 et 4, 1372 p.
- BENNASSER L. (1997). Diagnose de l'état de l'environnement dans la plaine du Gharb: suivi de la macro-pollution et ses incidences sur la qualité hydrochimique et biologique du bas Sebou, Thèse de doctorat d'état Es Science. Université Ibn Tofail, Kenitra, Maroc, 157p.
- DAVIS J.C. (1984). Statistics and data analysis in geology. 2e édition, Edition Wiley, New-York, USA, 550 p.
- DIRECTIVE-CADRE SUR L'EAU 2000/60/CE (2006). http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/l28002b_fr.htm
- EL MORHIT M., FEKHAOUI M., SERGHINI A., EL BLIDI S., EL ABIDI A., BENNAAKAM R., YAHYAOUI A., JBILOU M. (2008). Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n°30, 39-47.
- FEKHAOUI M. (1990). Recherche hydro biologiques sur le moyen Sebou soumis aux rejets de la ville de Fès: suivi d'une macropollution et évaluation de ces incidences sur les composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème, Thèse Doctorat d'Etat Faculté des Sciences, Rabat, Maroc, 165 p.
- FIDELIBUS M.D., TULIPANO L. (1996). Regional flow of intruding sea water in the carbonate aquifers of Apulia (Southern Italy), Proceedings 14th Salt Water Intrusion Meeting, Rapporteur och meddelanden, n° 87, 230-241.
- GARTET A., GARTET J., GARCIA S.C. (2001). Hydrochimie des eaux, dissolution spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassin de l'oued Lbène, Papeles de geographia, 34, 146 -161.
- HÉBERT S., LÉGARÉ S. (2000). Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Canada.
- DIRECTION DU SUIVI DE L'ETAT DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, envirodoq n°ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- LIDWIN R.A., KROHELSKI J.T. (1993). Hydrology And Water Quality of The Forest County Potawatomi Indian Reservation, Wisconsin, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 91-4136.
- MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A., VAN. CLOOSTER M. (2011). Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental), Larhyss Journal, n° 9, 149-169.
- MEYBECK M., HELMER R. (1989). The quality of rivers : from pristine stage to global pollution, Pal. Pal. Pal., Global and Planetary Change., Vol. 1, 283-309.

- MEYBECK M., KUUSISTO E., MAKELA A., MALKKI E. (1996). A practical guide to the design and implementation of fresh water quality studies and monitoring programme, E & F.N. Spon, Water quality Monitoring. In : J. Bartram, R. Balance, London. 9-34.
- MINISTERE DE L'ENERGIE, DES MINES, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT. (2007). Grille de classification des eaux utilisées pour la production de l'eau potable, http://www.water.gov.ma/userfiles/file/2_Eau%20potable.pdf
- MINISTERE DE L'ENERGIE, DES MINES, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT. (2007). Normes de Qualité Eaux de surfaces Grille de qualité, http://www.water.gov.ma/userfiles/file/1_Grille%20de%20qualit%E9%BF%B
D.pdf
- NECHAD I., ELHARCHLI E., FADIL F. (2014). Caractérisation physico-chimique des eaux de la source Tataw à Imouzzer Marmoucha (Maroc), ScienceLib, Editions Mersenne., Vol. 6, n° 140103.
- PETIT F., ERPICUM M. (1987). Variations des températures des eaux de sources et de leurs débit en fonction de leur mode d'alimentation, Bull. Socio. Géo de Liège, n° XXII 22, 23^{ème} année, 161-172.
- RODIER J. (1984). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod, Paris.
- RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J.P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., RODI L. (1996). L'analyse de l'eau, 8^{ème} édition, Edition Dunod, Paris, France.
- SANTE CANADA, SANTE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU MILIEU DU TRAVAIL (2008). Le chlore, <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/chloride-chlorure/index-fra.php>