

(Contribution to the study of the groundwater quality of the middle Atlas Causse Western, Morocco)

ALLAOUI Abdelhamid, BOUALOUL Mustapha, BOUIKBANE Hmad,
Laboratoire de Géo-Ingénierie et Environnement, Département de Géologie, Faculté des Sciences Meknès.

Abstract: *The calcareous formations are generally good reservoirs of groundwater offering water of good physicochemical quality; this is the case of the calcareous of the middle atlasic causse. The Agurai calcareous causse, which is the subject of our study, constitutes the western part of the great structural unit of the tabular Middle Atlas, formed essentially by dolomitic calcareous soils of liasic age; it shows at its foot, water sources with high flows, which have long been the main source of food in the Sais Basin in groundwater. The study of water quality by periodic monitoring of the physicochemical parameters of the sources and representative water points makes it possible to evaluate the degree of infiltration of the chemicals used in agriculture in the aquifer and which can constitute a very high potential for pollution. This follow-up consisted of sampling and chemical analysis of the water from four sources and four well-distributed wells on the Agurai causse*

Key words: *calcareous, water, causse, Agourai, hydrochemistry, pollution, quality.*

Date of Submission: 18-11-2019

Date of acceptance: 04-12-2019

I. Introduction

The limestone caustic of Agourai (western part of the great structural unit of the Middle Atlas), constitute with the causse of El Hajeb-Ifrane (central part) and that of Imouzer (eastern part) the "water tower" feeding the basin of Sais. At its foot, many water sources with high flows, have long been sources of groundwater and surface water.

The development of industrial agriculture upstream of these sources and the intensive use of fertilizers and pesticides constitute a potential risk of degradation of the physicochemical and biological quality of water from these sources.

The objective of our study is the hydrochemical characterization of the waters of Agurai causse through hydrochemical monitoring of a number of samples on the causse and on its foot.

Hydrogeology

The origin of the groundwater supply of the atlasic causes is meteoric (rain or snow), in fact, very high proportions of the precipitations infiltrate in the limestone karst and reappear mainly on the periphery of the Tabular Middle Atlas in various forms of outlets: border emergence in contact with the Lias and its triassic substratum (Aïoun-Ras-El-Ma, Sidi-Rached, Oum-er-Rbia, ...), sources of flexure at the flooding of the Causse under the southern furrow -rifain (Aïoun-Ribaa, Bittit ...), emergences within peripheral aquifers such as lake limestones (Aïoun-Akkous, Cheggag, ...), drainage by the Sebou wadi of the underground waters of the Sefrou and Annoceur-Bsabis basins, drainage by the quaternary basalt flows of the Tigrigra wadi valley from the waters of the Ras-El-Ma and Aîn-Leuh basins.

At the level of Agourai causse and at the base of the data recorded during this hydrochemical campaign, we have elaborated a piezometric level map. in fact this map shows that the piezometric level varies in the causse, from north to south, from the 750m to 1250m, knowing that the altitude is between 750m and 1120m; the minimum values are concentrated north of the causse, at the level of the Ain Maarouf Ain Boujaoui sourcier complex, which allows us to deduce a generally NNE-SSW flow direction direction.

II. Methodology

The hydrochemical study of groundwater, based on fourteen physicochemical parameters, was carried out for two periods, dry and wet. It concerned eight geographically well distributed stations, source Ain Belouazzane, wells P3 and P4 are upstream of the causse, while the source Ain Boujaoui is at the downstream end, the rest of the stations are in the middle of the causse and all distributed on an axis oriented in bulk NS, parallel to the major axis of flow.

The working methodology during this hydrochemical campaign consists of taking water samples for the measuring stations in clean bottles and carrying out in situ and laboratory analyzes to determine the

physicochemical parameters for assessing the water quality. Underground in the causse of Agouraï, and the waters transferred to the Basin of Saïs.

Conclusion

The combination of all these analyzes carried out in the laboratory and the measurements taken on the ground, shows that the causse generally has good quality water; in addition, almost all stations show low values for toxic elements (pollution indicators) such as nitrites and nitrates (<1 mg / l), while other parameters determining quality are still in the standards. As a result, we can conclude that groundwater transients from the Saïs Basin are weakly affected by agricultural and anthropogenic activities that cause groundwater pollution.

1/ Introduction

Le causse calcaire d'Agouraï (partie occidentale de la grande unité structurale du Moyen Atlas tabulaire), constitue avec le causse d'El Hajeb-Ifrane (partie centrale) et celui d'Imouzer (partie orientale) le « château d'eau » alimentant le bassin de Saïs. A son pied, de nombreuses sources d'eau avec des débits importants, constituent depuis longtemps des sources d'alimentation en eaux souterraines et superficielles.

Le développement de l'agriculture industrielle à l'amont de ces sources et l'utilisation intensive des engrais et des pesticides constituent un risque potentiel de la dégradation de la qualité physicochimique et biologique des eaux de ces sources.

L'objectif de notre étude est la caractérisation hydrochimique des eaux du causse d'Agouraï à travers le suivi hydrochimique d'un certain nombre d'échantillons sur le causse et à son pied.

2/PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. Géologie :

Le Causse d'Agouraï est la partie la plus occidentale du Moyen Atlas tabulaire ; les principales formations géologiques rencontrées sont de bas en haut (figures 2 et 3):

- Les schistes et les quartzites à intercalations de bancs gréseux et de calcaires d'âge Paléozoïque ; ils affleurent dans l'oued EL Kell qui constitue une limite géomorphologique entre ce causse et le Maroc central hercynien ;
- Au-dessus vient le Trias constitué essentiellement d'argiles rouges inférieures gypsifères et salifères (dépôts évaporitiques) surmontées par des basaltes doléritiques puis des argiles rouges supérieures à passées gypseuses ;
- Les calcaires dolomitiques d'âge liasique (Carixien) caractérisés essentiellement par une forte fracturation et une karstification intense. L'épaisseur de cette formation dépasse les 200m.

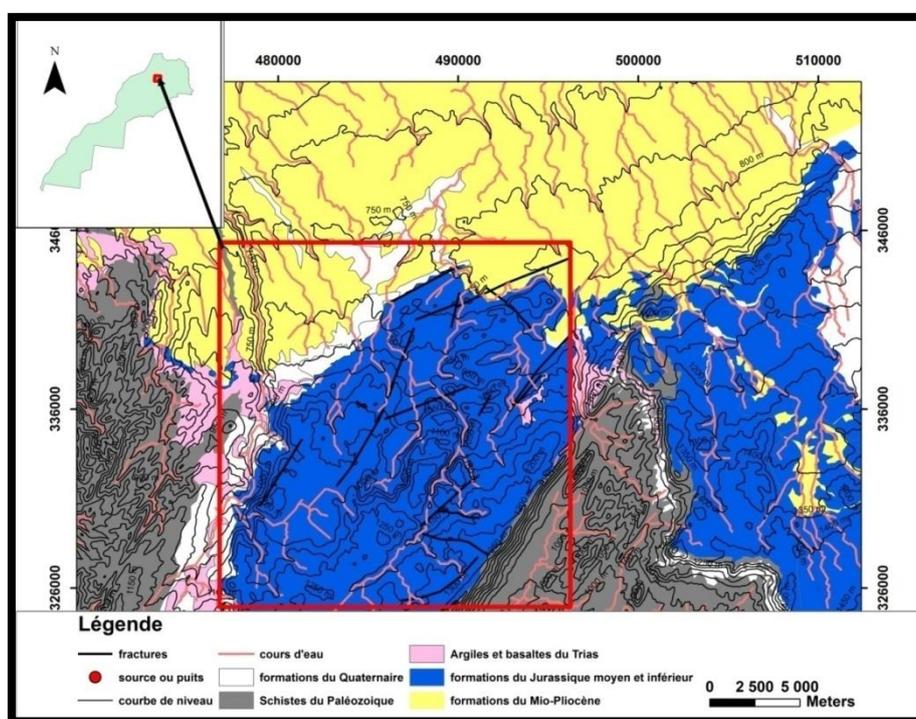


Figure 1 : Carte géologique simplifiée de la zone d'étude

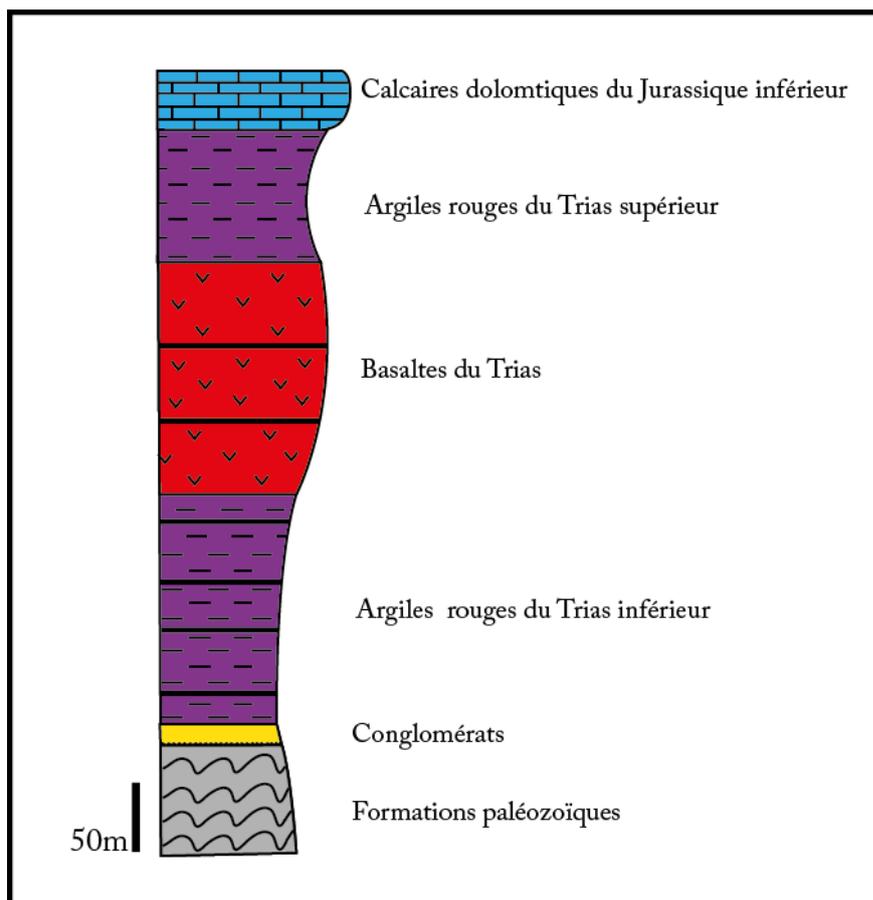


Figure 2 : log lithostratigraphique donnant la succession des formations géologiques rencontrées dans le causse d'Agourai

2.2. Hydrogéologie :

L'origine de l'alimentation en eau souterraine des cauxes atlasiques est météorique (pluie ou neige), en effet, de très fortes proportions des précipitations s'infiltrent dans le karst calcaire et réapparaissent principalement à la périphérie du Moyen Atlas Tabulaire sous diverses formes d'exutoires : les émergences de bordure au contact du Lias et de son substratum triasique (Aïoun-Ras-El-Ma, Sidi-Rached, Oum-er-Rbia,...), sources de flexure à l'ennoyage du Causse sous le sillon sud-rifain (Aïoun-Ribaa, Bittit...), émergences au sein d'aquifères périphériques tels les calcaires lacustres (Aïoun-Akkous, Cheggag,...), drainage par l'oued Sebou des eaux souterraines des bassins de Sefrou et d'Annoceur-Bsabis, drainage par les coulées de basaltes quaternaires de la vallée de l'oued Tigrigra des eaux des bassins de Ras-El-Ma et d'Aïn-Leuh (Bentayeb et Leclerc, 1975 ; Amraoui, 2005 ; Sefrioui, 2013).

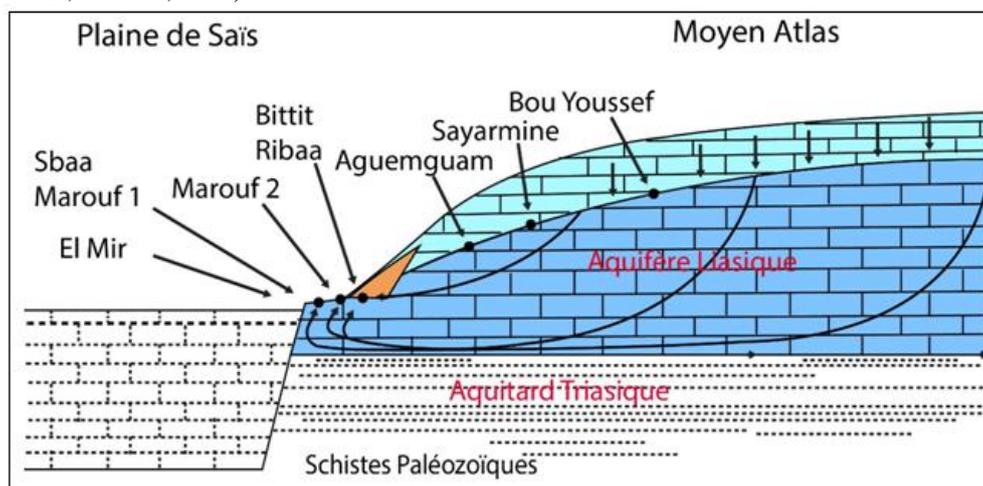
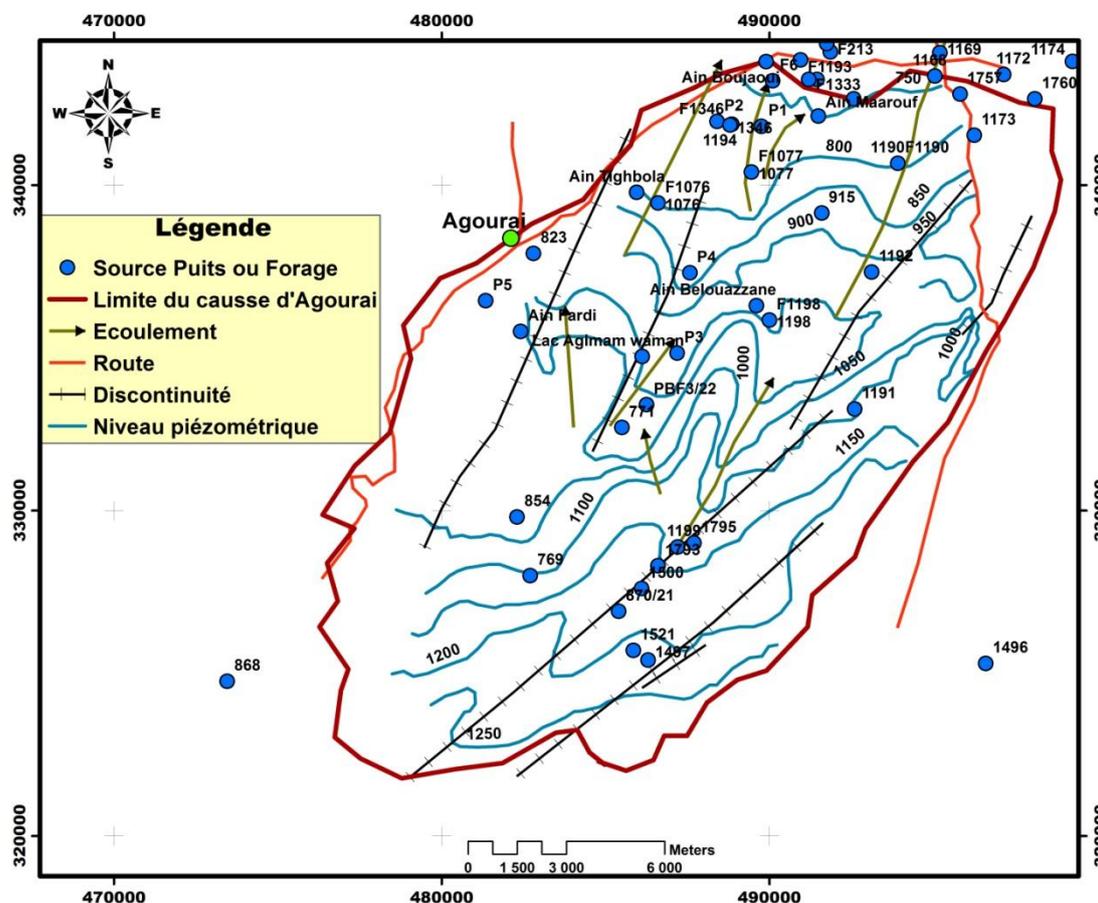


Figure 3 : coupe hydrogéologique expliquant l'écoulement vers le bassin de Saïs (Saracco, 2011)

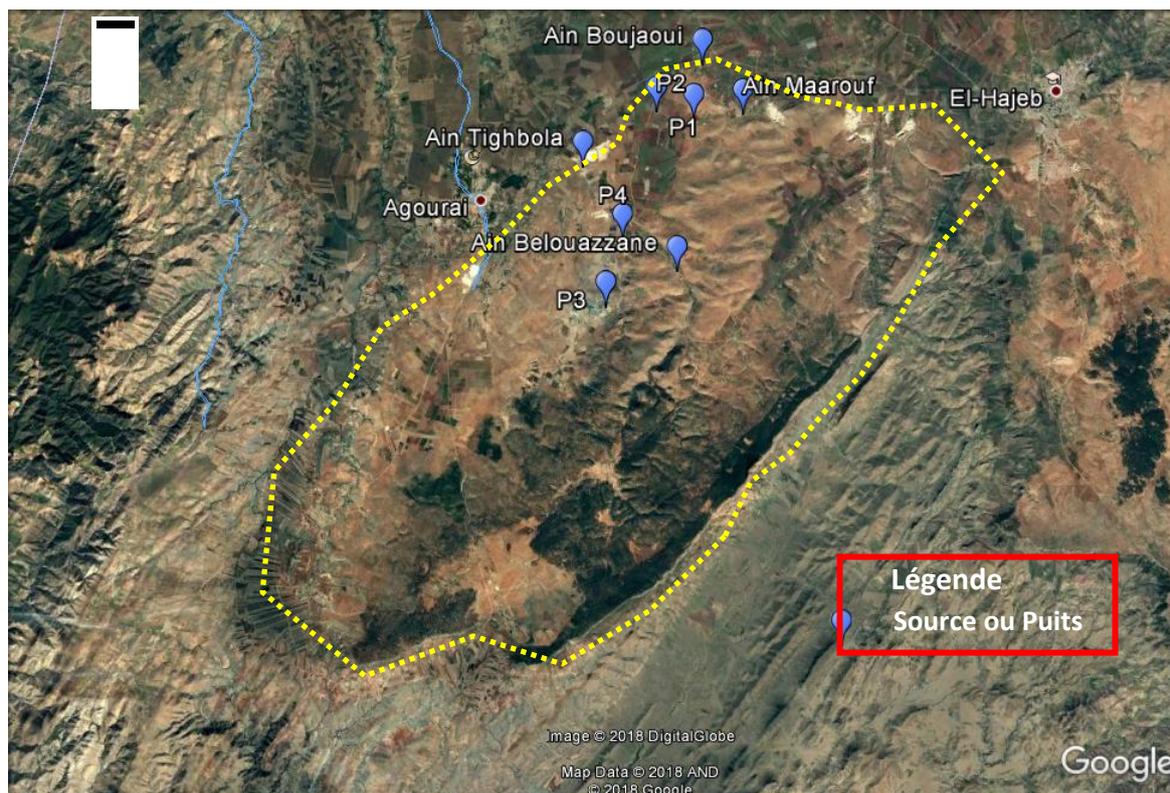
Au niveau du causse d'Agourai et à la base des données relevées lors de cette campagne hydrochimique, nous avons élaboré une carte du niveau piézométrique (figure 4) ; en effet cette carte montre que le niveau piézométrique varie dans le causse, du Nord au Sud, de la cote 750m à 1250m, sachant que l'altitude est entre 750m et 1120m ; les valeurs minimales sont concentrées au nord du causse, au niveau du complexe sourcier Ain Maarouf Ain Boujaoui, ce qui permet de déduire un sens d'écoulement de direction généralement NNE-SSW.



III. Methodologie

L'étude hydrochimique des eaux souterraines, basée sur quatorze paramètres physico-chimiques, s'est déroulée pendant deux périodes, sèche et humide. Elle a intéressé huit stations géographiquement bien réparties, la source Ain Belouazzane, les puits P3 et P4 se trouvent en amont du causse, alors que la source Ain Boujaoui se trouve à l'extrémité avale, le reste des stations se situent au milieu du causse et le tous répartis sur un axe orienté en gros N-S, parallèle au grand axe d'écoulement (figure 5).

La méthodologie de travail lors cette campagne hydrochimique consiste à prendre des échantillons d'eaux pour les stations de mesure dans des flacons bien propres et à réaliser des analyses in situ et au laboratoire afin de déterminer les paramètres physicochimiques permettant d'évaluer la qualité des eaux souterraines dans le causse d'Agourai, et les eaux transférées vers le Bassin de Saïs.



IV. Resultats Obtenus

4.1. Variation spatio-temporelle de la température

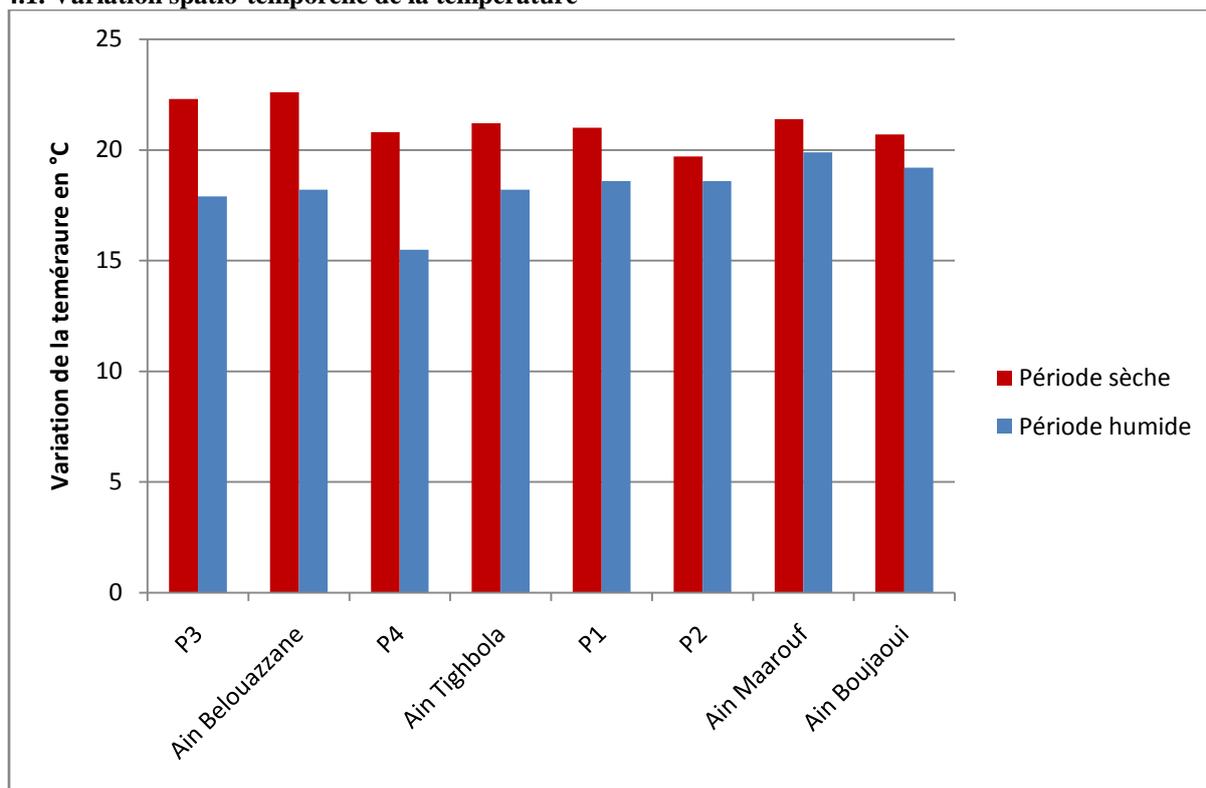


Figure 6 : Variation spatio-temporelle de la température

La température de l'eau joue un rôle important, elle accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C) (De Villers *et*

al, 2005). La mesure de la température est indispensable pour l'interprétation ou le traitement d'autres paramètres.

Ainsi, la saturation des gaz dissous est fonction de la température et la mesure du pH requiert la connaissance de la température.

D'après la figure 6 représentée ci-dessus, on constate généralement une faible variation de la température au niveau des différents points d'eau de l'amont en aval, elle varie entre 15,2 °C mesuré au puits P4, et 19.9 °C à la source Ain Maarouf en hiver. En période estivale, la température maximum est mesurée au niveau de la source Ain Belouazzane (22.6°C), et la minimum mesurée au puits P2 (19.7°C). À la base de ce paramètre nous pouvons dire que les eaux sont semblables dans la qualité dans toutes les stations.

4.2. Variation spatio-temporelle du pH

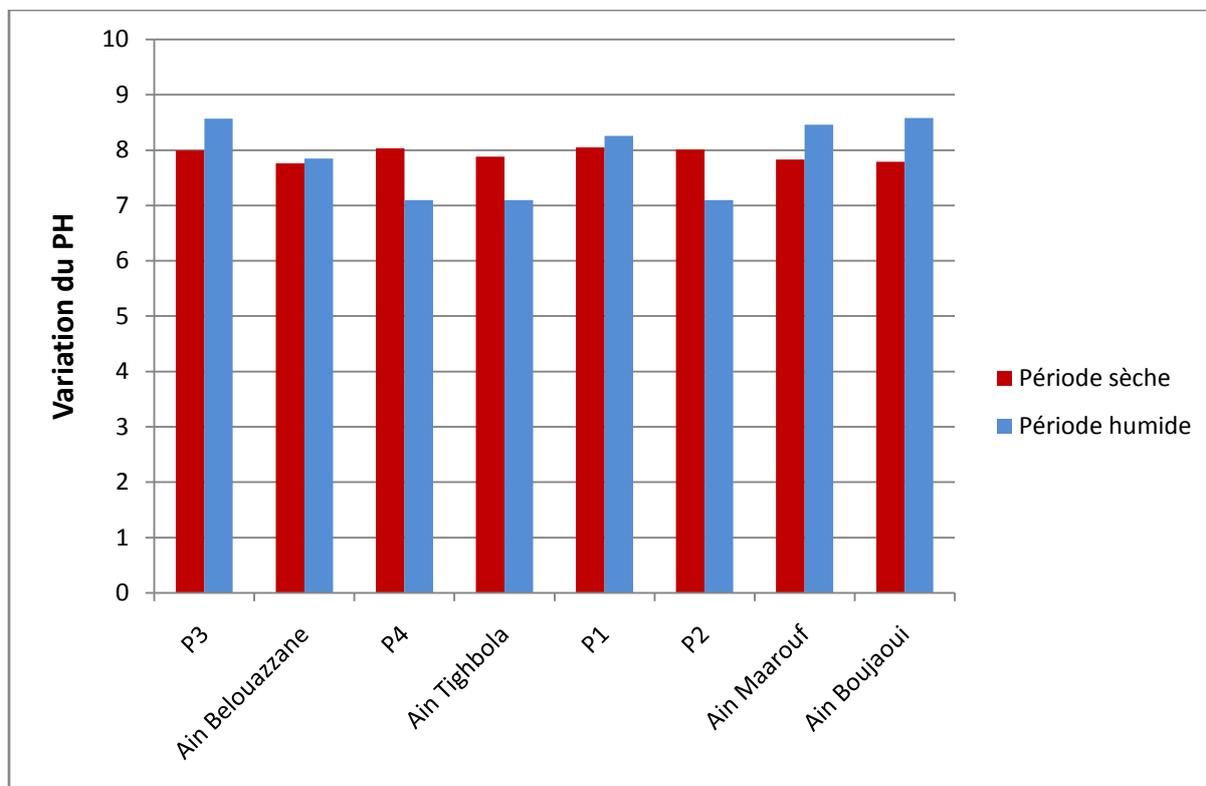


Figure 7 : Variation spatio-temporelle du pH

Le Potentiel d'Hydrogène (pH) : ce paramètre est très important pour déterminer l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques ; généralement les eaux potables ont des valeurs de pH est variant entre 7 et 8.5 ; les eaux qui ont un pH inférieur à ces valeurs sont considérés comme des eaux de plus en plus acides, alors que les eaux qui ont le pH supérieur à 8.5 sont considérés des eaux de plus en plus alcalins.

Sur la figure au-dessus représentant la variation du paramètre physique du pH, nous constatons une douce variation dans tous les points échantillonnés et cela pour les deux périodes humide et sèche mais pas de variation est remarquable en allant de l'amont vers l'aval du causse ; en effet, les valeurs enregistrées sont comprises généralement entre 7 et 8.5, ce qui nous permis de dire que ces eaux sont basiques. À la base de ce paramètre nous pouvons dire que les eaux sont semblables en qualité dans toutes les stations.

4.3. Variation spatio-temporelle de la conductivité

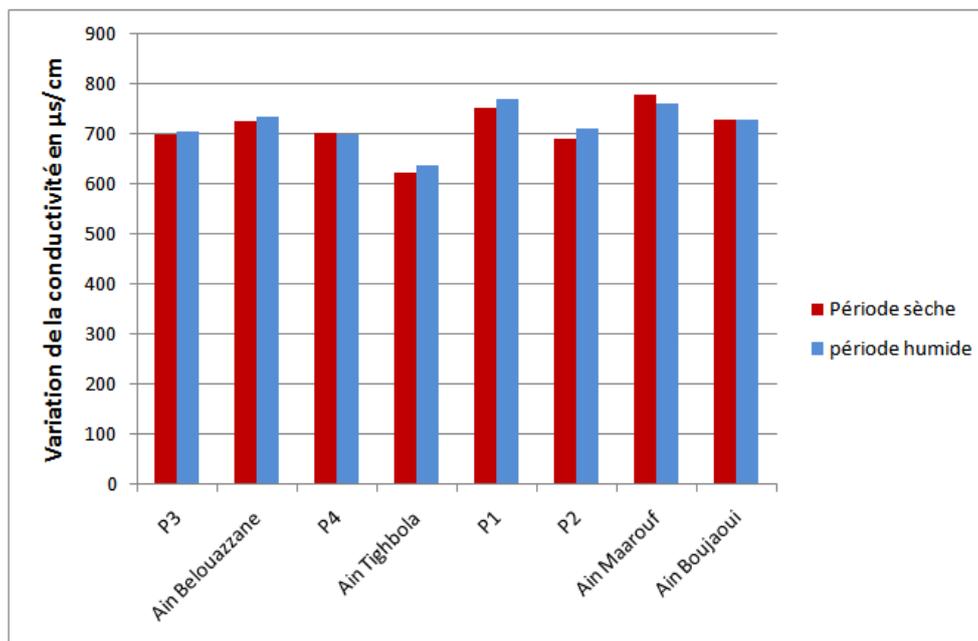


Figure 8 : Variation spatio-temporelle de la conductivité

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs (De Villers *et al*, 2005). La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m) ou en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, (De Villers *et al*, 2005 ; Abrid, 2009). Concernant la figure 8, la variation de la conductivité est entre 620 $\mu\text{s}/\text{cm}$ comme valeur minimale enregistrée au niveau de la source Ain Tighbola, et 780 $\mu\text{s}/\text{cm}$ comme valeur maximale mesurée à Ain Maarouf, que ça soit pour la période sèche ou humide ; une douce augmentation est observée en allant vers l'aval. Finalement, à la base de ce paramètre nous pouvons dire que la source d'Ain Tighbola est d'une meilleure qualité par rapport aux autres stations.

4.4. Variation spatio-temporelle l'ammonium

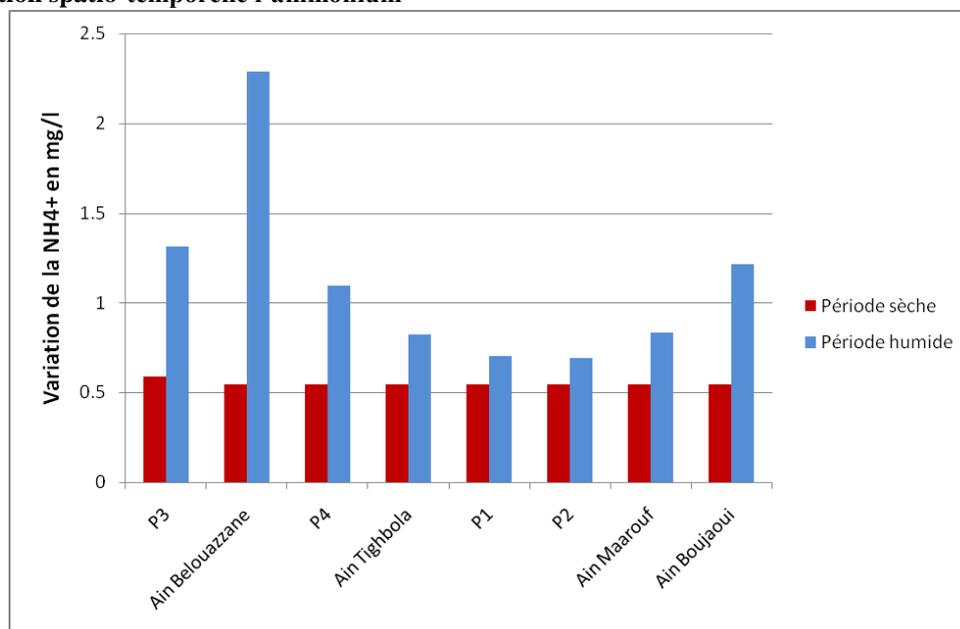


Figure 9 : Variation spatio-temporelle l'ammonium

L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée aux rejets urbains et industriels dans les oueds qui donnent des concentrations élevées.

Sur l'histogramme de la variation spatio-temporelle de ce paramètre chimique, nous observons que ses valeurs durant la période sèche sont presque constantes autour du 0.5 mg/l ; en revanche, lorsque nous passons en période humide nous remarquons une augmentation importante dans toutes les stations avec une valeur qui arrive jusqu'à 2.3mg/l, ces valeurs généralement diminuent de plus en plus en allant de l'amont vers l'aval, ce qui peut s'expliquer par l'infiltration de cet élément par les précipitations durant l'hiver.

4.5. Variation spatio-temporelle des nitrites

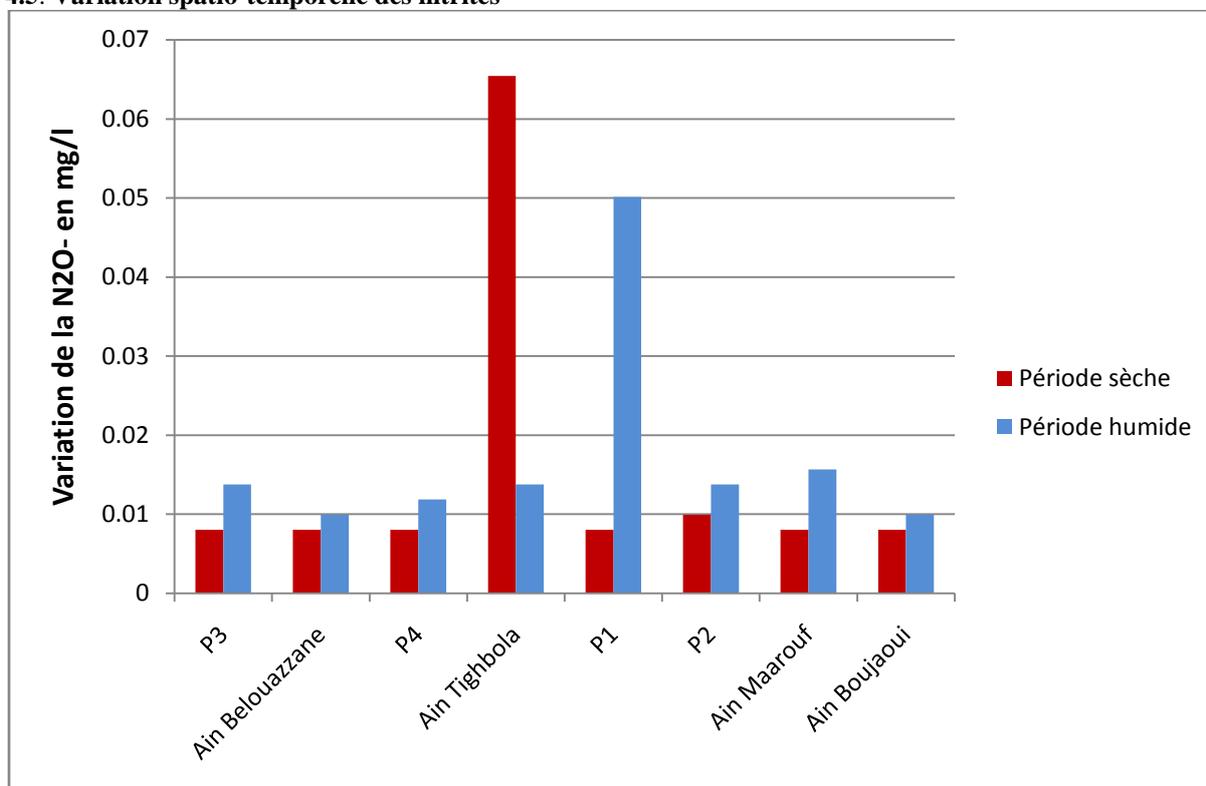


Figure 10 : Variation spatio-temporelle des nitrites

Les nitrites ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique aussi et selon sa degré de présence, les eaux deviennent inutilisables ; dans les normes ce paramètre ne doit pas dépasser 100µg/l. (Badreddine, 2014)

Au niveau de nos analyses, qui présentent des faibles valeurs, en période sèche et à l'exception d'Ain Tighbola qui enregistre 0.065mg/l, toutes les valeurs de ce paramètre sont inférieures à 0.01mg/l ; tandis qu'en période humide, les nitrites voient une augmentation sur toutes les stations de mesure surtout au puits P1 (0.05mg/l), alors qu'Ain Tighbola la valeur diminue à 0.012mg/l. L'augmentation de NO₂⁻ entre les deux périodes est expliquée par le lessivage des produits azotés dans le sol et à la décomposition des matières organiques ; nous avons enregistré une douce augmentation en allant de l'amont vers l'aval, qui peut s'expliquer par le sens d'écoulement qui est vers le nord. À la base de ce paramètre nous pouvons dire que les eaux d'Ain Belouazzane sont d'une meilleure qualité.

4.6 Variation spatio-temporelle des nitrates

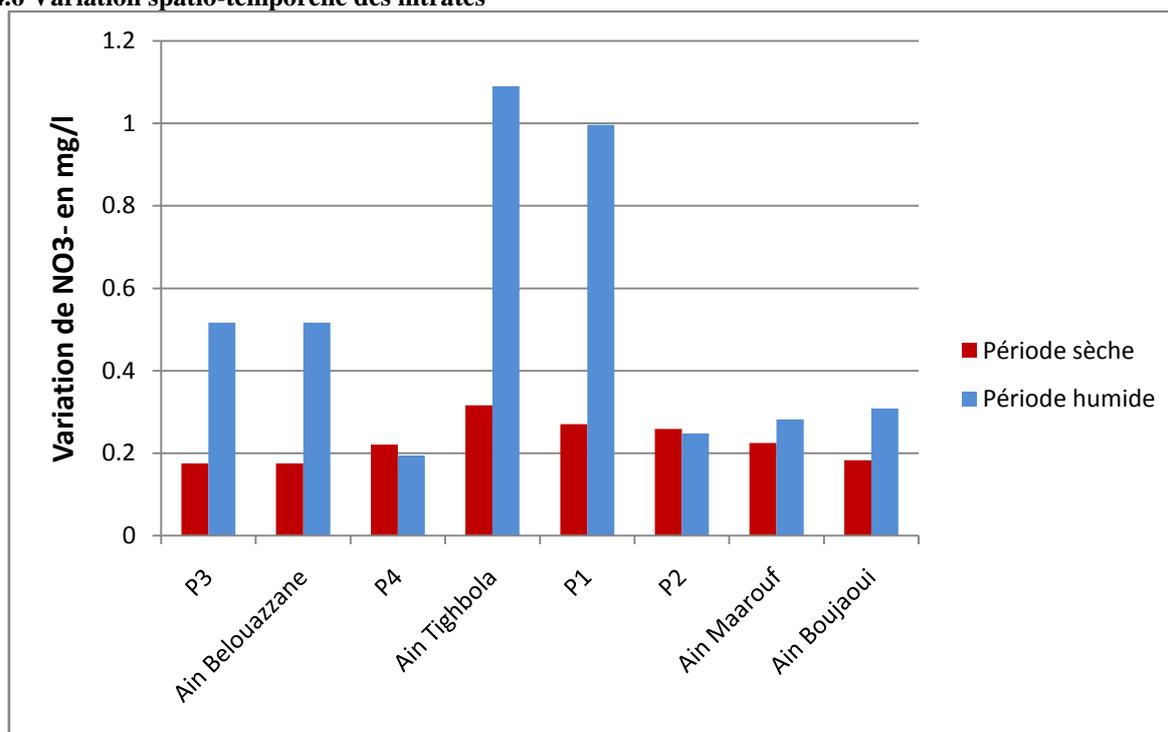


Figure 11 : Variation spatio-temporelle des nitrates

Les nitrates NO_3^- représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble, sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques, le taux autorisé est de 50 mg/L en NO_3^- (O.M.S, 1994).

Sur la figure 11 qui montre la variation spatiotemporelle des nitrates, nous constatons une augmentation de cet élément en allant de la période estivale à la période hivernale, qui peut s'expliquer aussi par lessivage des produits azotés dans le sol et à la décomposition de la matière organique.

Les valeurs représentées sont généralement faibles aussi bien pour les nitrites que pour les nitrates, ce qui permet de dire que cette région est encore protégée et n'est pas influencée par l'activité agricole ; nous signalons aussi une diminution de ce paramètre en allant de l'amont vers l'aval à partir de la source Ain Tighbola. De même et à la base de ce paramètre nous pouvons dire que les eaux d'Ain Belouazzane sont d'une meilleure qualité.

4.7. Variation spatio-temporelle des ortho-phosphates

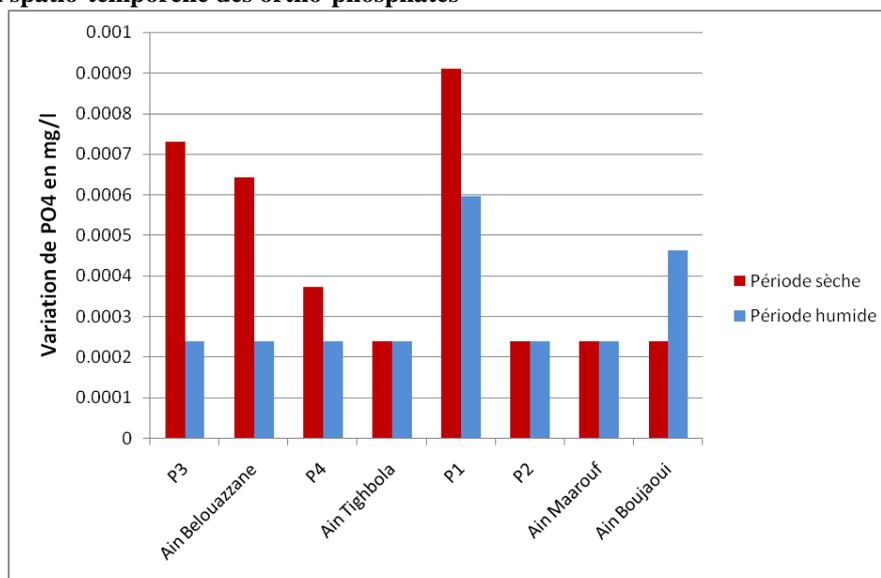


Figure 12 : Variation spatio-temporelle des ortho-phosphates

Le phosphate peut se trouver sous différentes formes oxydées, méta HPO_3 , pyro $H_4P_2O_7$ et ortho H_3PO_4 , le phosphore n'est pas toxique pour l'homme ou les animaux et c'est principalement pour ralentir la prolifération des algues dans les milieux aquatiques que la concentration en phosphore doit être limitée (CEAEE, 2010)

Pour notre cas cet élément est presque nul, il ne dépasse pas la valeur de 0.0009mg/l ; durant la période humide, il est presque constant dans toutes les stations à environ 0.00025 mg/l à l'exception de deux stations P1 et Ain Boujaoui qui ont des teneurs supérieures. Durant la période sèche ce paramètre augmente dans trois puits P3, P4 et P1 et à Ain Blouazzane ; il devient constant à 0.00025 mg/l dans les autres stations.

4.8. Variation spatio-temporelle des sulfates

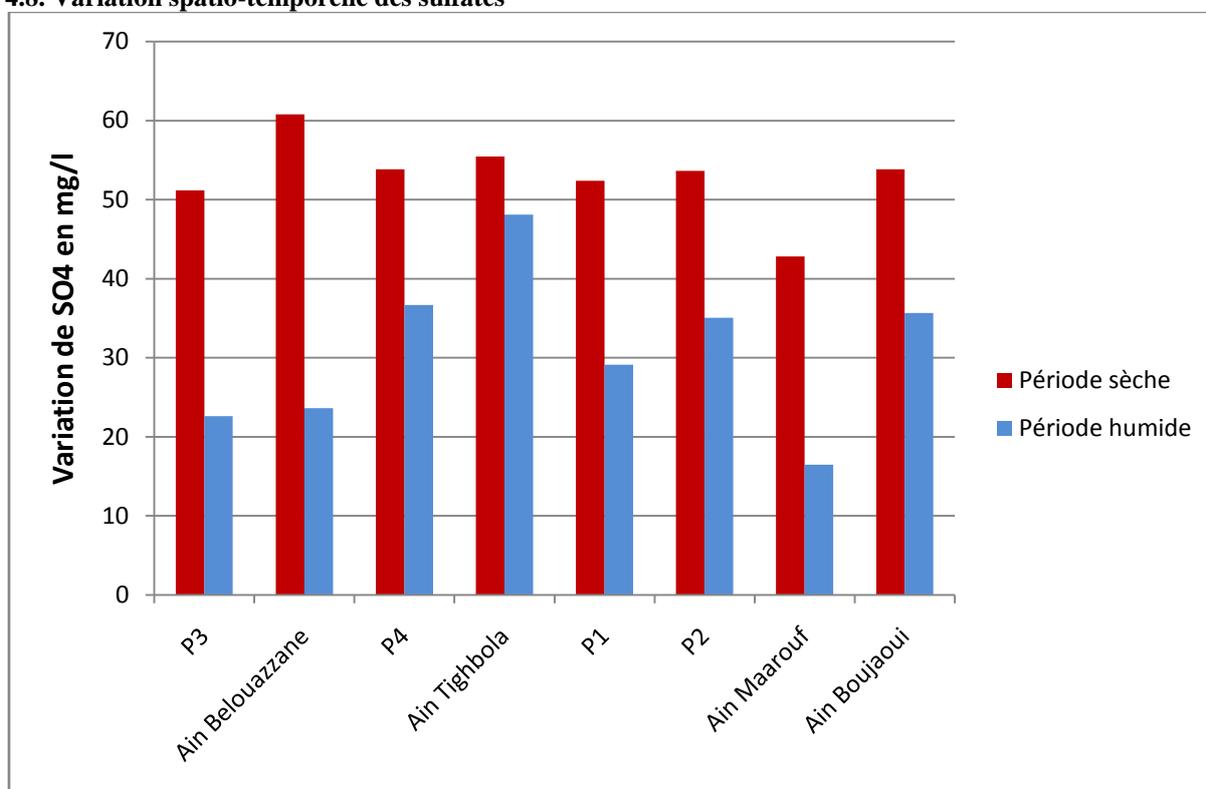


Figure 13 : Variation spatio-temporelle des sulfates

La présence des ions sulfate dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses ce qui entraîne un excès des sulfates au voisinage des terrains gypseux.

Une concentration assez importante a été enregistrée aux différentes stations de mesure, elle varie entre 15 et 61 mg/l ; nous constatons aussi une variation entre les deux périodes, en effet, la période estivale présente des teneurs importantes de sulfates qui sont de l'ordre de 45 à 61 mg/l ; par contre la période hivernale présente des faibles valeurs qui varient de 15 à 48 mg/l . Cette variation peut s'expliquer par le taux d'infiltration des éléments chimiques entre les deux périodes, en outre, la présence de ces sulfates dans les stations prend un certain temps d'infiltration. En allant de l'amont vers l'aval nous ne remarquons pas une variation importante de ce paramètre surtout en période sèche, la teneur est presque égale ; par contre, en période humide une diminution est remarquable de part et d'autre de cet axe amont – aval.

4.9. Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous

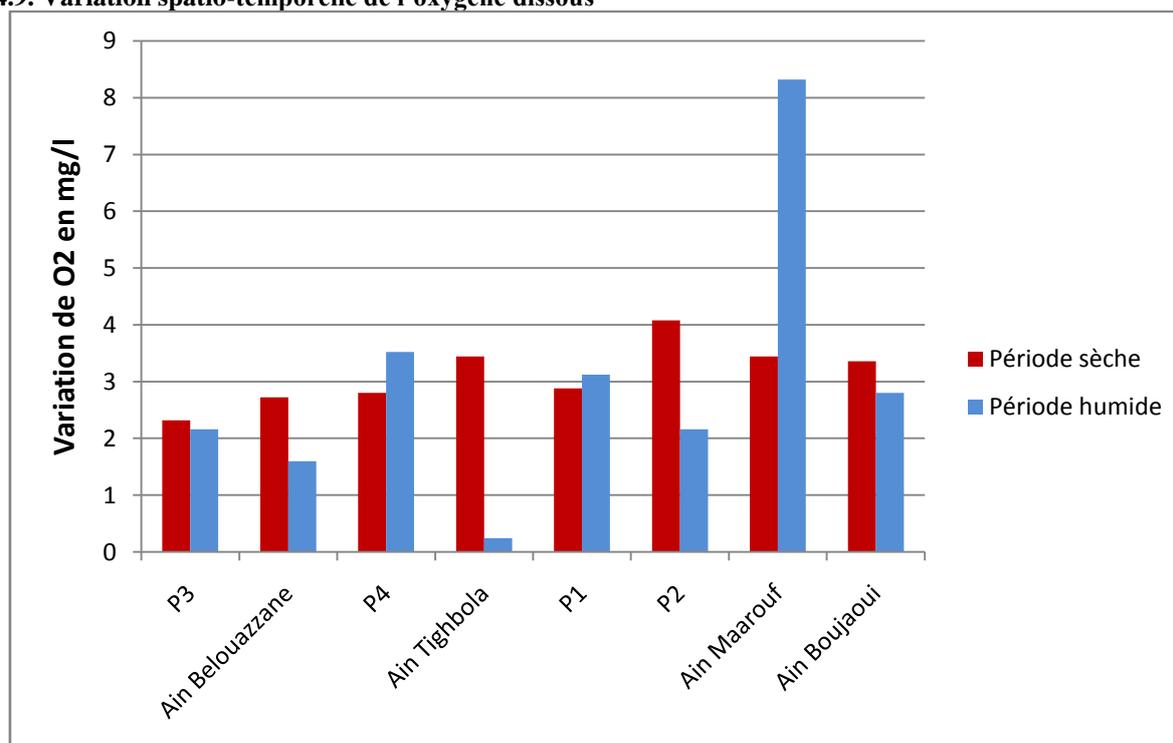


Figure 14 : Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous

L'eau contient toujours de l'oxygène dissous dont les concentrations varient avec la température et la pression partielle dans l'atmosphère ; il provient de la diffusion de l'oxygène en surface, de l'aération ou du mouvement de l'eau et de la photosynthèse, environ 3/4 de l'oxygène disponible sur terre sont produit par le phytoplancton.

La variation de l'oxygène dissous dans les différentes stations de mesure représentées dans la figure 13, sont de l'ordre de 0.5 mg/l comme valeur minimale à Ain Tighbola et 8.2 mg/l comme valeur maximale enregistrée à Ain Maarouf, avec une douce augmentation de l'amont vers l'aval. Nous constatons aussi sur cet histogramme qu'il n'y a pas une variation régulière entre la période sèche et la période humide.

4.10. Variation spatio-temporelle des chlorures

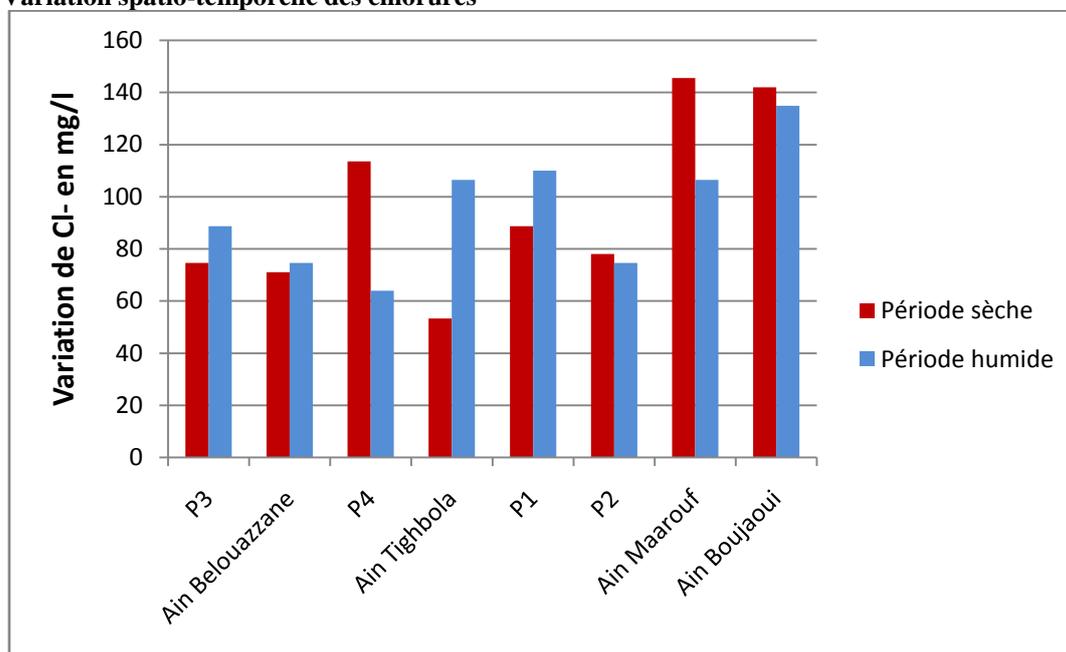


Figure 15 : Variation spatio-temporelle des chlorures

Les chlorures se trouvent dans la nature, soit sous forme de sel de sodium (Na Cl), ou de potassium (KCl) ou de calcium (Ca Cl₂), mais la plus grande partie se trouve dans les océans. D'une façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Selon les normes marocaines relatives à la potabilité des eaux, la concentration en chlorure maximale recommandée (CMR) est de 300 mg/l alors que le maximum admissible (CMA) est de 750 mg/l.

Dans l'analyse de nos données nous remarquons que les sources Ain Maarouf et Ain Boujaoui situées à l'aval du causse, enregistrent les valeurs les plus élevées, que ça soit en été ou en hiver. Généralement ces valeurs sont importantes dans toutes les stations et 45mg/l est la valeur minimale enregistrée.

4.11. Variation spatio-temporelle du calcium

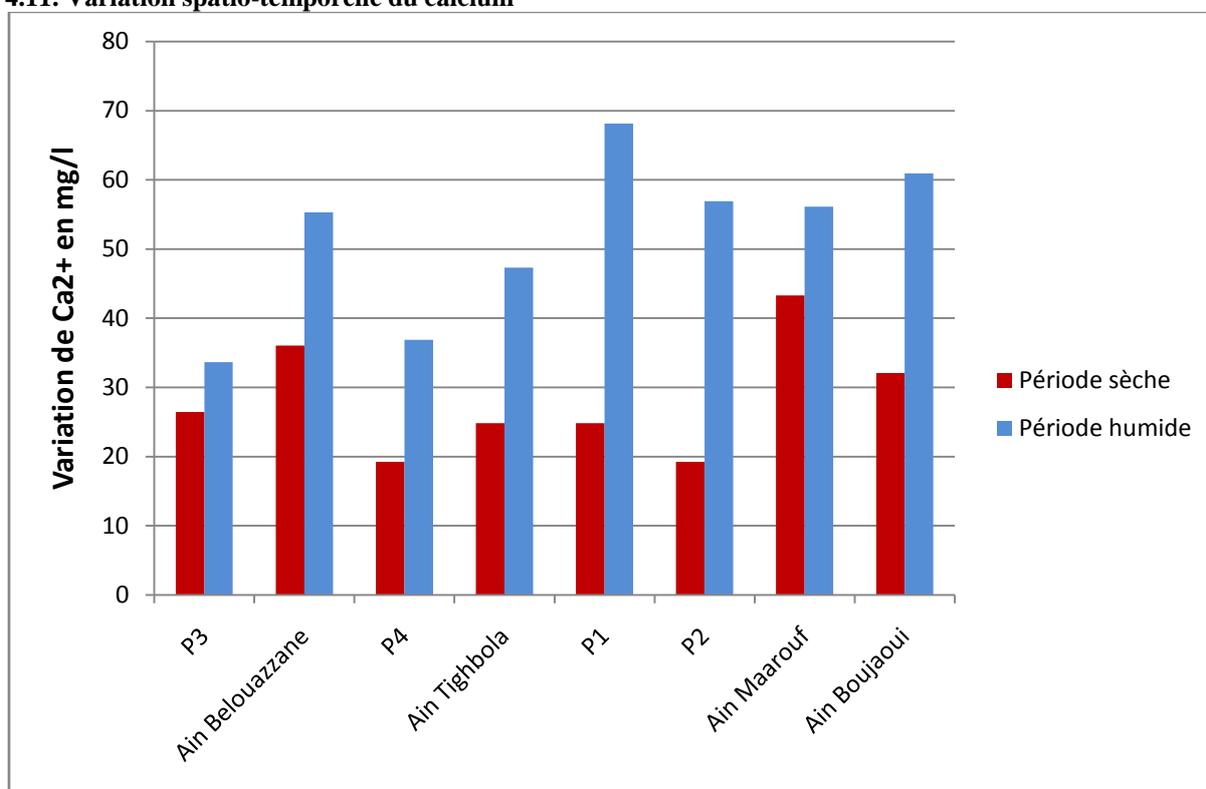


Figure 16 : Variation spatio-temporelle du calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier sous formes de carbonates. Les eaux naturelles présentent des concentrations variables de cet élément qui est directement lié à la nature géologique du terrain traversé, du pH et de l'alcalinité de l'eau .référence

Dans notre cas les valeurs ont varié de 19 mg/l au minimum et 68 mg/l au maximum, ce qui reflète la nature géologique des stations de mesure. Généralement les valeurs de la période sèche sont inférieures à celles de la période humide, cette variation peut s'expliquer par des réactions chimiques qui peuvent se dérouler en période sèche (augmentation de la température) et qui entraînent une libération de cet élément en excès. De point de vue spatial nous constatons une augmentation de l'amont vers l'aval qui peut s'expliquer par un lessivage de cet élément et son transport vers le bassin de Saïs.

4.12. Variation spatio-temporelle du magnésium

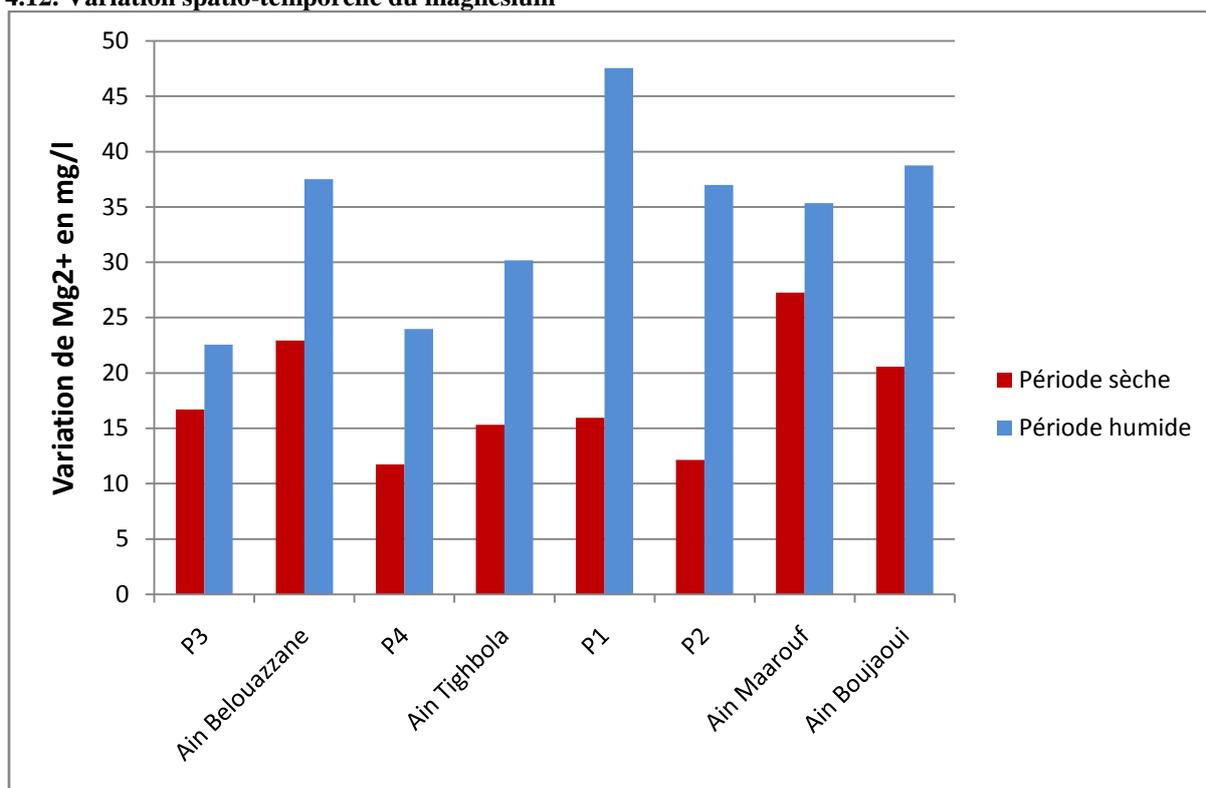


Figure 17 : Variation spatio-temporelle du magnésium

Les eaux naturelles présentent des teneurs en magnésium comprises entre 5 et 10 mg/l, (référence) le magnésium dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes ($MgCO_3$) et de bicarbonates ($Mg^{2+}, 2HCO_3^-$). Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel ; généralement le magnésium est un élément très présent dans la nature soit comme minéral libre soit dans les calcaires dolomitiques par emplacement du calcium. Le magnésium provient généralement de son abondance géologique et sa grande solubilité.

La teneur du magnésium est spatio-temporellement semblable à celle du calcium dans toutes les stations ; nous remarquons aussi une augmentation du Mg^{2+} en période humide par rapport à la période sèche, ce qui peut s'expliquer par des réactions chimiques qui se déroulent à l'amont en été, d'où les valeurs les plus élevées à l'aval.

4.13. Variation spatio-temporelle de la dureté totale

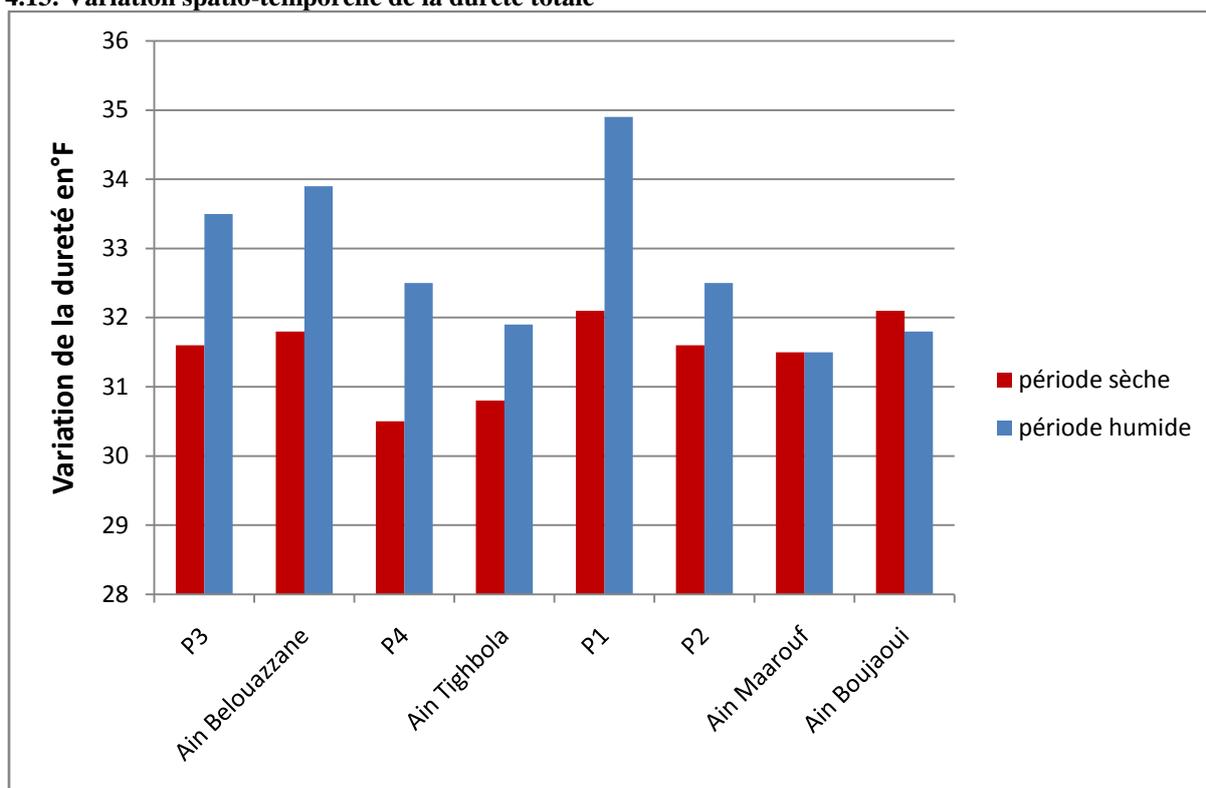


Figure 18 : Variation spatio-temporelle de la dureté totale

La dureté ou titre hydrotimétrique total (THT) correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium, elle dépend fortement de la composition de formations géologiques traversées. Généralement un sol calcaire donnera une eau dure (donc fortement minéralisée en calcium et magnésium), alors qu'une eau traversant un sol cristallin ou un sable sera donc douce. La figure ci-dessus qui représente la variation de la dureté montre que cette variation est semblable pour toutes les stations (de 30.5 à 34.8 °F), avec une douce augmentation en période sèche.

V. Conclusion

La combinaison de l'ensemble de ces analyses effectuées au laboratoire et des mesures prises sur terrain, montre que le causse a en général des eaux de bonne qualité ; en outre, presque toutes les stations montrent des faibles valeurs pour les éléments toxiques (Indicateurs de pollution) tels que les nitrites et les nitrates (<1mg/l), alors que les autres paramètres déterminant de la qualité sont toujours dans les normes. De ce fait nous pouvons conclure que les eaux souterraines transitaires du causse au bassin de Saïs sont faiblement affectées par les activités agricoles et anthropiques à l'origine de la pollution des eaux souterraines.

Références Bibliographiques

- [1]. Abrid, D. 2009. contribution à l'étude de l'impact de la pollution sur les cours d'eaux marocains -cas de l'oued Boufekrane-Master, Univ. My Ismaïl. 101p.
- [2]. Amraoui, F. 2005. Contribution à la connaissance des aquifères karstiques du liais de la plaine du Saïs et du Causse moyen Atlasique Tabulaire (Maroc). Thèse d'Etat, Univ Hasan II. 249p.
- [3]. Badreddinne, R. 2014. Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 1^{er} décembre 2013. Rapport d'étude INERIS-DRC-14-142522-01489A. 128p.
- [4]. Bentayeb A. et Leclerc C. 1975. Le causse moyen atlasique, in ressources en eau du Maroc. Tome 3, notes et mémoires du service géologique du Maroc, n°231, pp.37-66.
- [5]. Bouikbane H. Benamara, A. Boualoul, M. Sahbi, H. Chahlaoui, A. et Ouhmidou, M. 2013. contribution de l'hydrochimie à l'étude du transfert entre le réservoir karstique du causse d'El hajeb et la plaine de Saïss (Maroc) Science lib Editions Mersenne volume5, n°131007 ISSN 2111-4706.
- [6]. Bouikbane, H. 2015. Apport d'un couplage géophysique et hydrochimique à l'étude du transfert naturel des écoulements souterrains entre le causse calcaire d'El Hajeb-Ifrane et la plaine de Saïs (MAROC). Thèse Doctorat, Univ. My Ismaïl. 175p.
- [7]. Bouya, N. 2014. Utilisation des données géophysiques aéroportées magnétique et spectrométriques dans la cartographie géologique de la partie NE du massif central et des causses moyen-atlasiques. Thèse Doctorat, Univ. My Ismaïl. 176p.
- [8]. Bouya N. El Ouardi, H. Habibou E. Mercier E. et Ansan V. 2013 – Interprétation géologique des données aéromagnétiques et leur utilisation pour la cartographie des structures du plateau d'Agourai (Moyen Atlas tabulaire, Maroc). Africa Géoscience Review, vol.20, N 1, 13-20.

- [9]. De Villers, J. Squilbin, M. Yourassowsky, C. 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement. 16p
- [10]. Leclerc, C. 1973. Ressources en eau du Moyen Atlas tabulaire. Thèse 3^{ème} cycle. Rapp. DRPE, inédit, 150 p.13-20.
- [11]. Qarqori, K. 2015. Contribution à l'étude du réservoir discontinu et karstique des causses moyen-atlasiques et de sa jonction avec le bassin de Saïs par télédétection spatiale et imagerie géophysique. Thèse Doctorat, Univ. My Ismaïl. 183p.
- [12]. Saracco, G. 2011. Etude des circulations et du renouvellement des eaux souterraines du Bassin de Saïs (Moyen Atlas, Maroc) par couplage de mesures isotopiques et tomographie électromagnétique multi-échelle. Région de Fès-Meknès. Master, Univ. My Ismaïl.
- [13]. Sefrioui, S. 2013. Caractérisation Hydro-Structurale et Quantification des Ressources en eau Souterraine dans le bassin de Sebou-Maroc: apport des Outils Isotopiques et du SIG. Thèse Doctorat, Univ. My Ismaïl. 229p.

ALLAOUI Abdelhamid. "(Contribution to the study of the groundwater quality of the middle Atlas Causse Western, Morocco)." IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT) 13.11 (2019): 85-99.