



Evaluation de la contamination métallique des eaux des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) **Assessment of metal contamination in Jurassic water tables of Ziz high basin (Central High Atlas, Morocco)**

N. Nouayti*¹, D. Khattach¹, M. Hilali², A. Brahim³, S. Baki⁴

1 Laboratoire des Géosciences appliquées et COSTE, Faculté des sciences, Université Mohamed premier Oujda 60000, Maroc.

2 Laboratoire de Géo-Ingénierie et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques d'Errachidia, Maroc, BP 509 Boutalamine.

3 Laboratoire des Sciences de l'Eau, d'Environnement et Ecologie, Département de Biologie, Faculté des Sciences Oujda.

4 Laboratoire Océanologie, Géodynamique et Génie Géologique, Université Mohammed V, Faculté des sciences Agdal-Rabat.

Received 25 Dec 2015, Revised 20 Feb 2016, Accepted 29 Feb 2016

**Corresponding author. E-mail: nordine.svt@gmail.com; Tel: (+212 0672685020)*

Résumé

L'objectif de ce travail est l'évaluation de la qualité hydro chimique des eaux souterraines des aquifères jurassiques de la région du Haut bassin de Ziz. Cette étude s'est focalisée sur la détermination des concentrations en métaux lourds de ces eaux. Vingt points d'eau, répartis dans le bassin, ont été échantillonnés durant le mois Mars 2014. Ces eaux ont été analysées pour déterminer les concentrations de sept éléments : Plomb, Zinc, Nickel, Fer, Cuivre, Cadmium et Cobalt. Pour étudier et comparer leur répartition spatiale, les résultats des analyses ont été présentés sous forme de cartes thématiques en utilisant le Système d'Information Géographique (SIG). L'exploitation du SIG a permis de mettre en évidence les liens entre les données géochimiques et les données géologiques, hydrogéologiques et minéralogiques. Cette étude a mis en évidence une dégradation de la qualité des eaux des aquifères jurassiques du haut bassin de Ziz liée aux teneurs en plomb qui dépassent les normes de potabilité. Cette pollution serait liée aux minéralisations naturelles présentes dans les formations géologiques. Toutefois, il faut noter que les teneurs des autres éléments restent inférieures aux normes marocaines.

Mots-clés : Bassin du Haut Ziz -hydrochimie - aquifères jurassiques - pollution - métaux lourds

Abstract

The objective of this work is the hydro chemical groundwater quality assessment of Jurassic aquifers in the region of the Ziz High Basin. This study focused on the determination of heavy metal concentrations. During March 2014, twenty water points, distributed in the basin, were sampled. These water samples were analyzed to determine concentrations of seven elements: Lead, Zinc, Nickel, Iron, Copper, Cobalt and Cadmium. To study and compare their spatial distribution, the analyses results were presented as thematic maps using Geographic Information System (GIS). The exploitation of GIS helped highlight the links between geochemical data and geological, hydrogeological and mineralogical data. This study has highlighted a deterioration in the water quality of the Ziz high basin Jurassic aquifer due to Lead levels that exceed drinking water standards. This contamination would be linked to the natural mineralization of the geological formations. The contents of the other elements remain low compared to the Moroccan standards.

Keywords: Ziz High Basin – hydrochemistry - Jurassic aquifers - pollution - heavy metals

1. Introduction

Les ressources en eaux souterraines, de plus en plus sollicitées, sont souvent sujettes à des pressions anthropiques ou naturelles qui peuvent engendrer une dégradation de la qualité de ces eaux. Le bassin versant du Haut Ziz qui fait partie du Haut Atlas central du Maroc, renferment des nappes logées dans des calcaires et des calcaires dolomitiques jurassiques. La connaissance de ces ressources en eau en termes de quantité et de qualité est une condition nécessaire pour toute utilisation. La présente étude concerne l'évaluation de la qualité hydro chimique de ces eaux. Il s'agit de déterminer les teneurs en métaux lourds (Plomb, Zinc, Nickel, Fer, Cuivre, Cadmium et Cobalt) de ces eaux et d'établir une cartographie de la qualité des nappes jurassiques.

2. Matériels et méthodes

Nous avons effectué, en mars 2014, des prélèvements au niveau de vingt points d'eau (puits, forages, sources) choisis de manière à avoir une image d'ensemble des eaux des aquifères jurassiques du Haut bassin de Ziz ; ces points ont été localisés par GPS. (Fig.1).

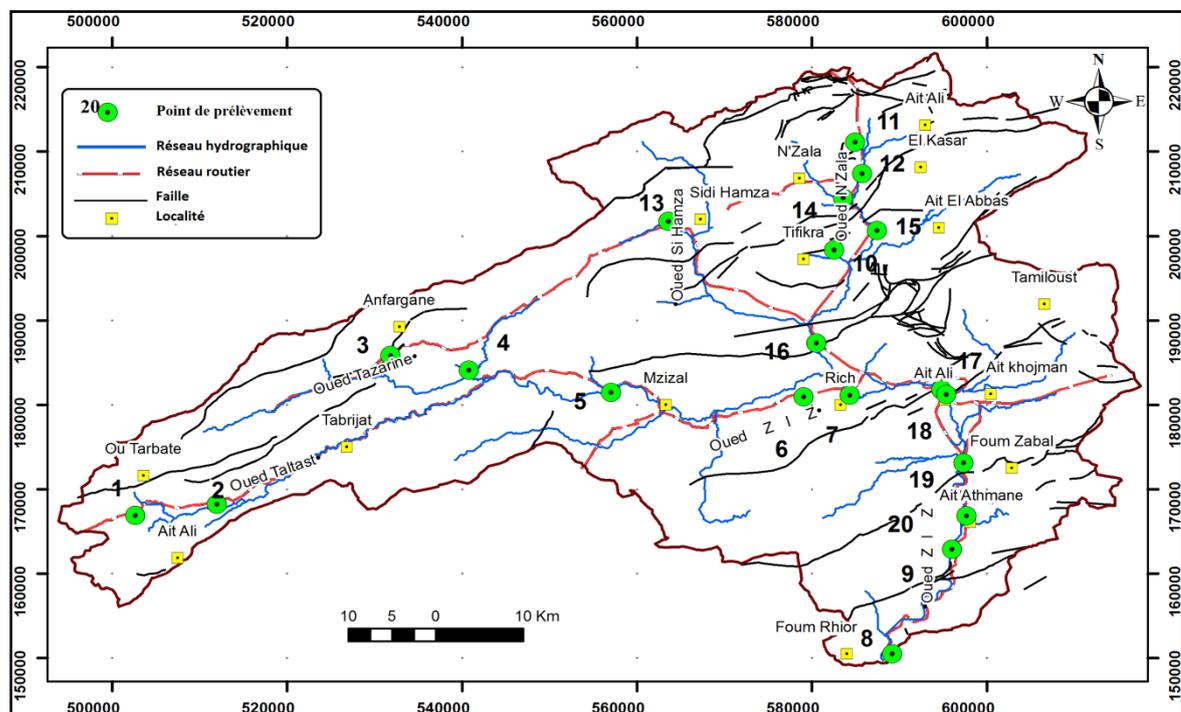


Figure 1 : Situation géographique des points des prélèvements dans le secteur d'étude

Des récipients en polyéthylène d'un litre ont été utilisés pour le stockage des échantillons. Ils ont été rincés trois fois puis remplis complètement puis scellés de manière à faire éviter des réactions interférentes avec l'air. Après la mesure des paramètres in situ (température, pH...), 2mL de substance conservatrice, qui est dans notre cas l'acide nitrique 65%, est ajouté. Les récipients sont ensuite conservés dans un réfrigérant à 6°C. Avant leur analyse, ces eaux ont été filtrées (porosité 0,45 µm).

Les teneurs de ces eaux en métaux lourds (Plomb, Zinc, Nickel, Fer, Cuivre, Cadmium, Cobalt) ont été déterminées au Centre de l'Oriental des Sciences et Technologies de l'Eau (COSTE) de l'Université Mohammed Premier d'Oujda, par spectrométrie d'absorption atomique (système AA-6300). La spectrométrie d'absorption atomique à flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites. La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose d'une source, la lampe à cathode creuse, d'un brûleur et un nébuliseur, d'un monochromateur et d'un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition.

3. Contextes géologique et hydrogéologique

Le secteur d'étude s'étend de l'extrême Est du Haut Atlas central jusqu'à la partie Ouest du Haut Atlas Oriental. Il est limité au Nord par la Haute Moulouya (Meseta orientale), au Sud par l'Anti-Atlas oriental.

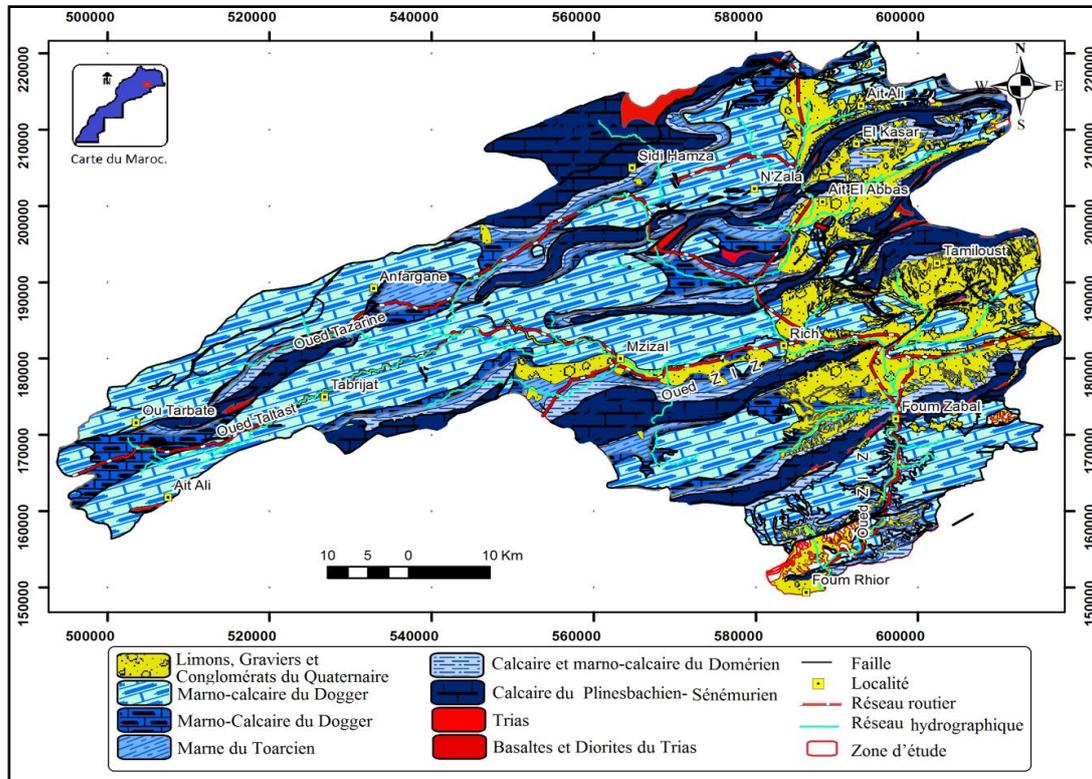


Figure 2 : Carte géologique avec situation du secteur d'étude

La carte géologique de la zone d'étude (Fig.2) a été élaborée à partir de la carte géologique de Midelt au 1/200000 [1] et de la carte géologique de Rich et Boudnib au 1/200000 [2]. Le Trias, composé de dépôts détritiques, basaltes doléritiques et parfois des évaporites, repose en discordance angulaire sur le substratum paléozoïque déformé et structuré par plusieurs phases tectoniques [3, 4, 5]. Les séries jurassiques forment la majeure partie des terrains mésozoïques du Haut Atlas. Elles reposent en concordance sur les formations rouges du Trias-Lias inférieur. Leur nature lithologique est essentiellement constituée par des dolomies, des calcaires, des alternances marmo-calcaires et des dépôts détritiques silico-clastiques [5, 6, 7, 8].

Sur le plan structural, le régime d'extension orienté NW-SE, qui régnait au cours des temps triasico-jurassiques, a contrôlé la formation des bassins atlasiques. Le rifting est initié à partir du Trias, alors que l'individualisation de ces bassins et la subsidence contemporaine à la sédimentation a eu lieu au cours du Jurassique. Le cadre paléogéographique et morpho-structural est dominé à l'époque par un système de blocs basculés essentiellement vers le NW ou vers le SE. Ces derniers sont limités par des failles normales majeures NE-SW à ENE-WSW que séparent des failles de transfert WNW-ESE [9, 10, 11]. Au Tertiaire, une phase de compression bi-épisode, d'abord NW-SE puis N-S, reprend les anciennes failles normales NE-SW en failles inverses ou en décro-chevauchements senestres. Les failles transverses WNW-ESE sont réactivées en décrochements dextres. Cette compression qui initie la fermeture des bassins atlasiques à partir de l'Eocène supérieur se concrétise au cours de l'Oligo-Miocène et du Plio-Quaternaire [3, 11].

Sur le plan hydrogéologique, le Haut Atlas dont fait partie le Haut bassin du Ziz renferme un ensemble d'unités hydrogéologiques souvent communicantes entre eux : Lias, Aalénien et Dogger, le Lias formant un système relativement continu [12, 13]. Ces aquifères donnent naissance à plusieurs sources dont les plus importantes sont celles de Zaouiet Sidi Hamza [13]. La productivité peut dépasser les 100 l/s dans les aquifères liasiques fracturées (zones de Fom Tillicht, Tazmamart, Kheng, etc.). La carte piézométrique, selon le levé de mars 2014, montre deux sens d'écoulements d'ouest vers l'est et du nord vers le sud (Fig.3) [14], et les valeurs de conductivité électrique oscillent entre 360 à 13000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [14].

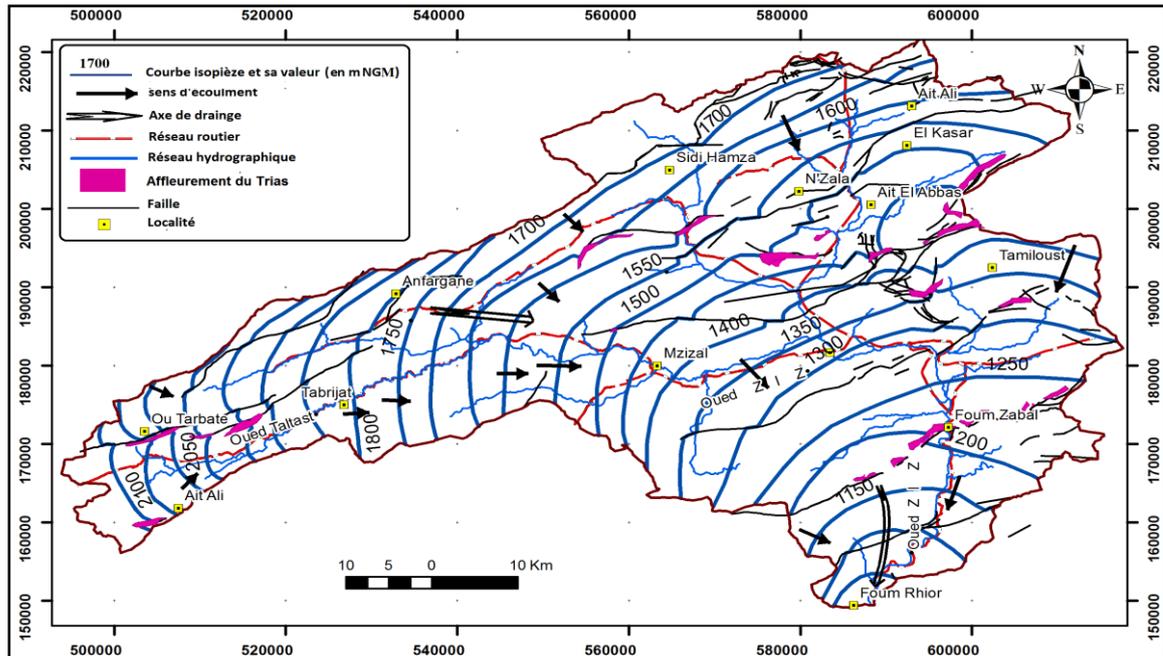


Figure 3 : Esquisse piézométrique de la nappe du Jurassique [14]

4. Les minéralisations du Haut bassin de Ziz

En Afrique du Nord, les dépôts des minerais de Pb-Zn sont nombreux. Les gisements du minerai de Zn ont été longtemps exploités à des fins locales et artisanale [15, 16, 17, 18, 19]. Au Maroc, les montagnes du Haut Atlas renferment un grand nombre de gisements de minerais de Pb-Zn [15, 16, 20]. Des études antérieures ont établi un lien génétique entre les gisements de minerai, la structuration plissée et/ou faillée du Haut Atlas marocain [21]. En effet, cette région a connu des circulations hydrothermales importantes, en relation avec l'évolution de l'atlantique central [21, 22].

Les nombreuses prospections minières dans le Haut Atlas [20] font de lui une région économiquement importante pour l'extraction de métaux de base. Parmi les gisements dans le Haut Atlas de Ziz : le gisement Ait Labbes (32.38 ° N, 4.38 ° W), Le gisement Tizi n'Firest (32.18 ° N, 4.29 ° W) [15, 21, 22], en plus des minerais de galène, blende, cérosite, barytine, fluorine, Wulfénite (Fig.4).

Deux périodes métallogéniques de dépôt de minerai de sulfure Pb -Zn ont été identifiées [21] :

- Le Jurassique inférieur (Lias) : corps minéralisés marqués par stratiformes lentilles de sulfures de Zn-Pb-Fe et ont été considérés comme syngénétiques [21, 23, 24, 25]. La paléogéographie en horst et graben, et les failles normales du Lias ont largement contrôlé la formation du minerai.
- Le Jurassique moyen (Dogger) : structures minéralisées étroitement liées à la mise en place des magmas basiques et l'héritage tectonique de la région. Le minerai est principalement disséminé dans du gabbro avec une minéralisation rapide de Cu-Ni [26] et plus tard un épisode de minéralisation Zn-Pb [27] d'origine hydrothermale dans les roches calcaires. Il correspond à des corps minéralisés contemporains aux intrusions magmatiques du Jurassique moyen [21, 28].

5. Résultats et discussion

Les résultats des analyses des vingt échantillons d'eau sont présentés sous forme de cartes indiquant la répartition spatiale des différents éléments analysés. Si le Cadmium est quasi-absent dans tous les échantillons, les autres éléments présentent des teneurs variables.

5.1. Plomb

Les analyses de l'eau montrent que les teneurs en plomb au niveau des points étudiés (Fig.5) oscillent entre 11.2 (Point 4) et 285µg/L (Point 18). Tous les points enregistrent des valeurs dépassant les normes marocaines de potabilité (10 µg/L) (NM03.7.001) [29].

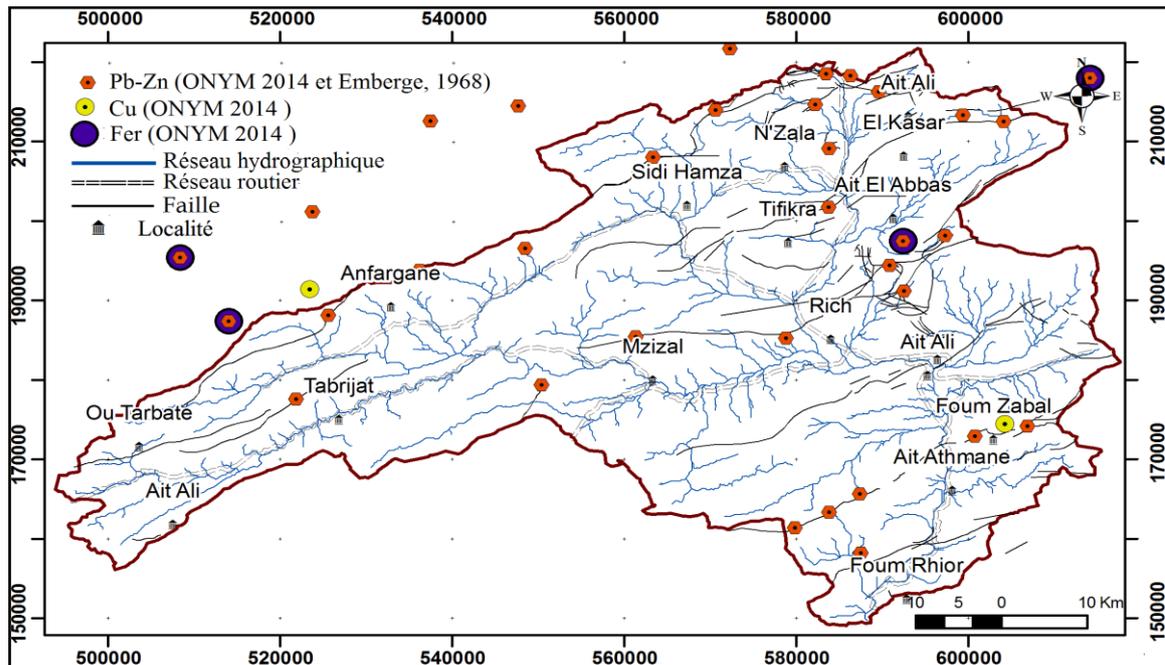


Figure 4 : Carte des minéralisations du Maroc : gîtes et indices renfermant des minéraux en éléments majeurs ou mineurs [15,31]

Les concentrations en Pb sont généralement variables, toutefois dans la zone SE du bassin les concentrations sont élevées ; ceci pourrait être due à un lessivage des éléments chimiques dans le sens de l'écoulement souterrain et ce depuis les zones amont du bassin vers l'aval hydraulique, ce qui pourrait ainsi engendrer une augmentation anormale de ces concentrations.

Le plomb existe dans les minerais, principalement dans la galène, cérusite et anglésite, en association fréquente avec d'autres métaux tels que le zinc et le cadmium [30]. La pollution dans notre zone d'étude par le plomb est d'origine géologique ; elle est issue du contact de ces eaux avec les minerais du (Pb-Zn) (Fig.3). Ces minéralisations se localisent essentiellement dans les anticlinaux du Haut Atlas Central et sont liées à des failles majeures. Par ailleurs, la zone d'étude connaît une activité minière de type artisanal (en particulier celle du plomb), ce qui pourrait ainsi induire une pollution de type anthropique et ce par le biais d'une contamination des eaux par cet élément.

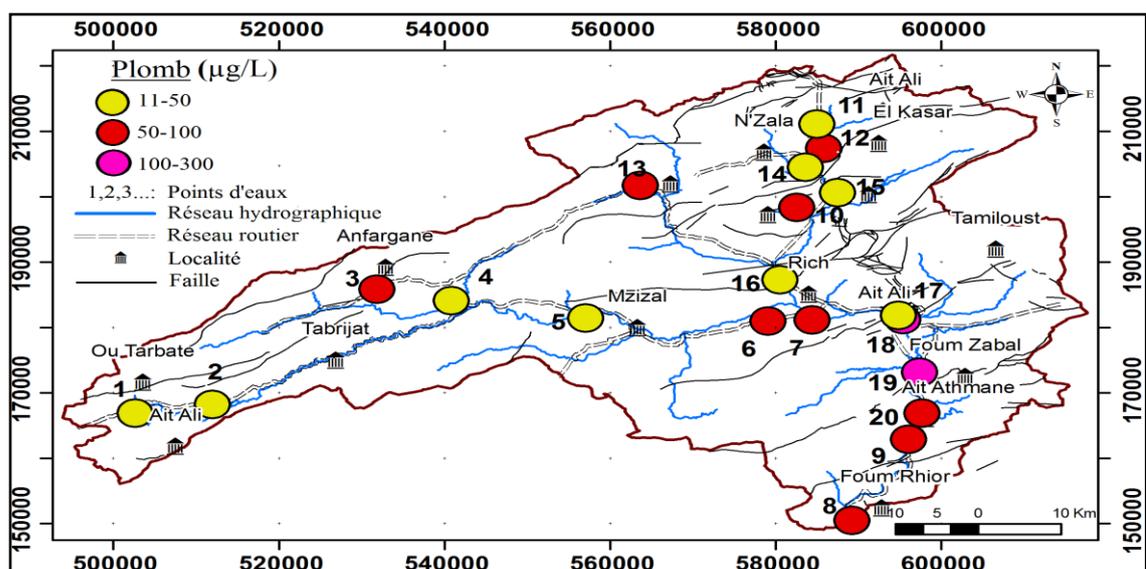


Figure 5 : Variation spatiale des teneurs en plomb des eaux souterraines de la zone d'étude

5.2. Zinc

Naturellement présent dans les roches magmatiques, sédiments argileux et schistes de la croûte terrestre à des concentrations de 40 à 120 mg/kg, principalement sous forme de blende (sulfure de zinc). Apports naturels par érosion, volcanisme, feux de forêts, Traitement du minerai, raffinage [30].

Dans les eaux des points contrôlés (Fig.6), les teneurs en Zinc varient entre 2.5 et 43 µg/L et ne dépassent pas les normes marocaines de potabilité. Les valeurs les plus importantes en Zinc sont enregistrées au niveau du point 5. Cette contamination a la même origine que le plomb.

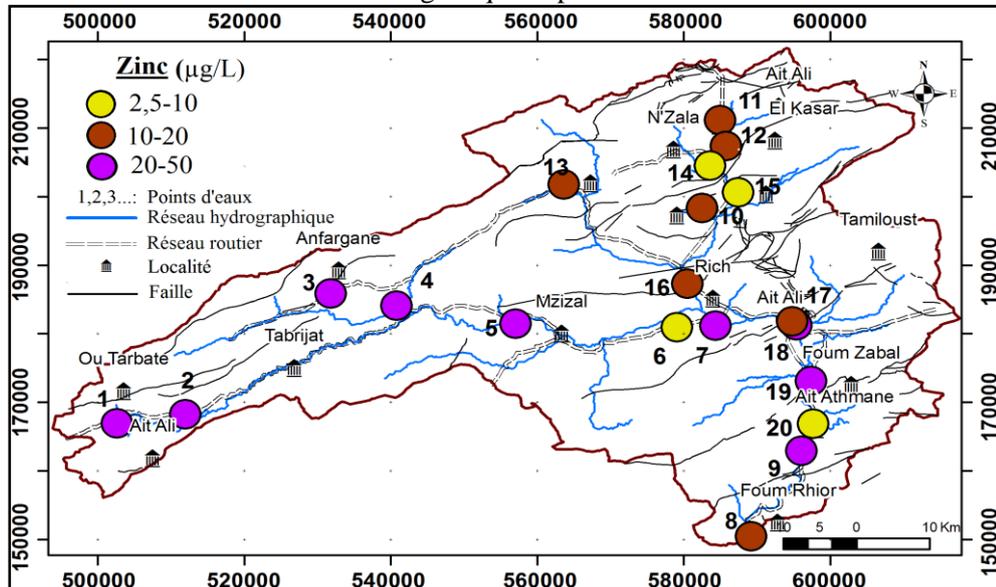


Figure 6 : Variation spatiale des teneurs en zinc des eaux souterraines de la zone d'étude

5.3. Nickel

Peu répandu dans la croûte terrestre (0.8 à 0.9 %), le Nickel est présent principalement sous forme de minerais sulfurés, associés au fer et au cuivre, utilisé dans l'industrie sous de nombreuses formes (carbonyle, acétate, chlorure, nitrate, oxyde, sulfate ou sulfure) [30]. Les valeurs de nickel obtenues dans cette étude (Fig.7), montrent l'absence de cet élément dans la majorité des points analysés. Cinq points (11, 12, 13, 14 et 15), situés dans la partie nord de la zone d'étude, affichent des valeurs allant de 0.27 à 8.9 µg/L. Ces valeurs restent inférieures à la norme marocaine qui est de 20 µg/L. Le Nickel proviendrait des gabbros dans lesquels Chèvremont [26] signale la présence de minéralisations de Cu-Ni.

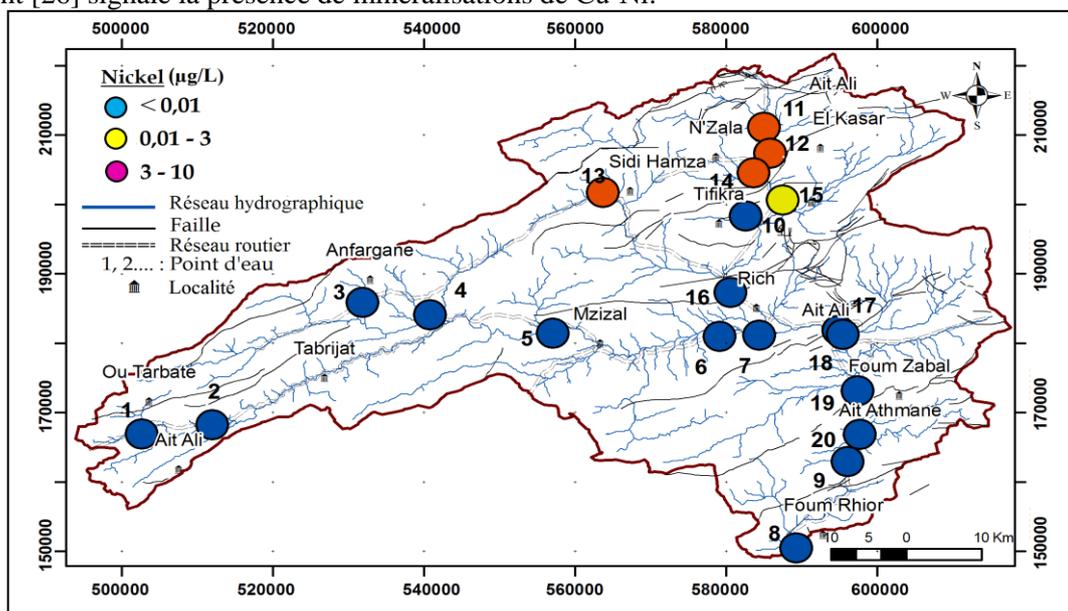


Figure 7 : Variation spatiale des teneurs en nickel des eaux souterraines de la zone étude

5.4. Cuivre

Les teneurs en cuivre des eaux analysées sont très faibles ; elles oscillent entre 0 de 20 µg/L (Fig.8) et elles ne dépassent pas les normes marocaines. Le cuivre est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés. Dans la région on trouve de la galène, chalcosine, chalcopyrite, malachite, qui seraient à l'origine de la contamination des eaux par cet élément.

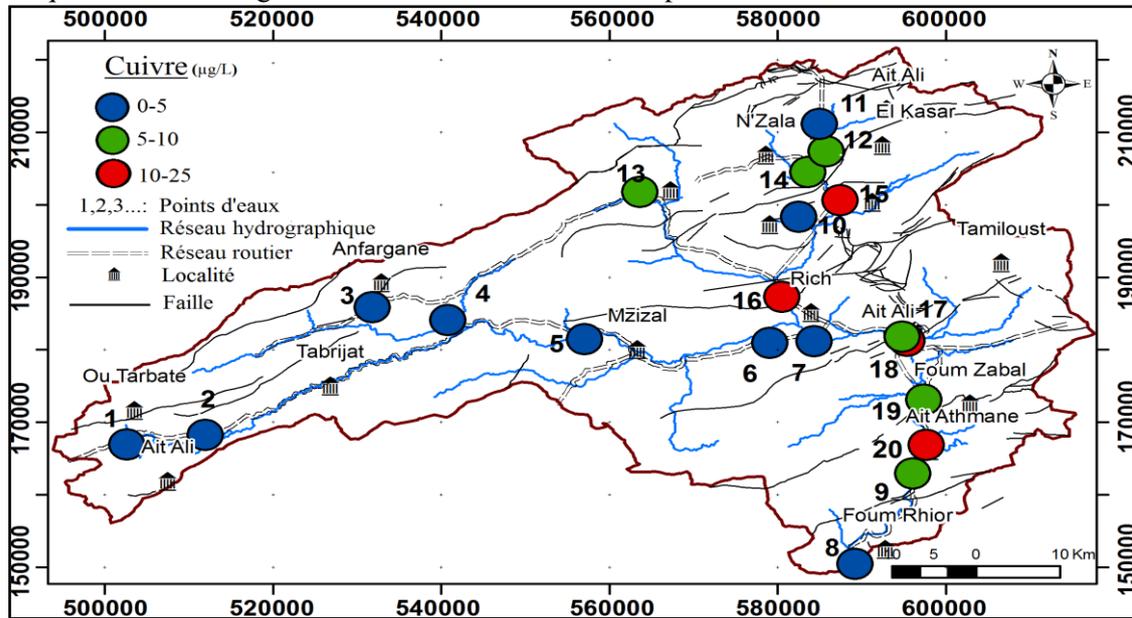


Figure 8 : Variation spatiale des teneurs en cuivre des eaux souterraines de la zone étude

5.5. Cobalt

Dans les stations étudiées et comme indiqué dans la figure 9, les teneurs en cobalt oscillent entre 0 (point 13) à 13.1 µg/L (point 3), tous les points enregistrent des valeurs ne dépassant pas les normes marocaines de potabilité (NM03.7.001) [29],

Le cobalt n'existe pas à l'état natif, on le trouve dans divers silicates (olivine, biotite, hornblende, augite), il est surtout présent dans les roches magmatiques basiques et ultrabasiques (gabbros et péridotites) ; il est extrait aussi des minerais de cuivre et de nickel.

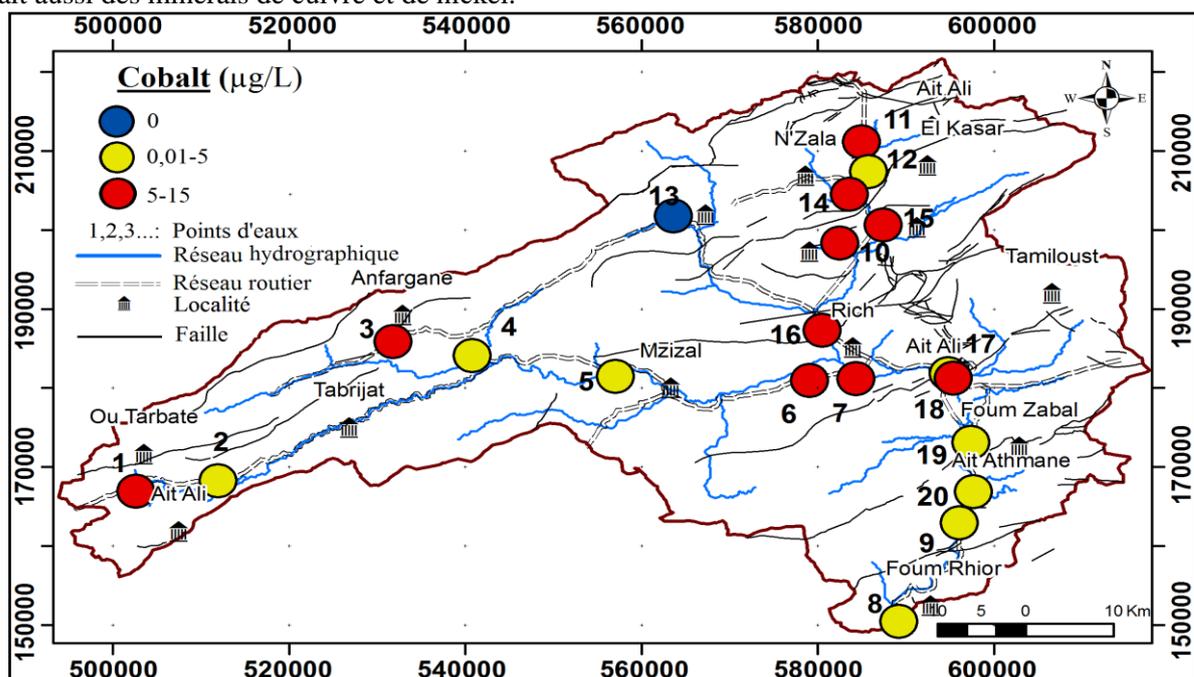


Figure 9 : Variation spatiale des teneurs en cobalt des eaux souterraines de la zone étudiée

5.6. Fer

Les valeurs enregistrées de fer sont très faibles et oscillent entre 0 et 33 $\mu\text{g/L}$ (Fig.10). À l'exception du point N°1 tous les autres présentent des valeurs inférieures à la norme marocaine de potabilité (30 $\mu\text{g/L}$). Le fer pourrait éventuellement provenir de l'oxydation et hydrolyse des minerais de fer en profondeur, chalcosine, magnétite, hématite, chalcopyrite.

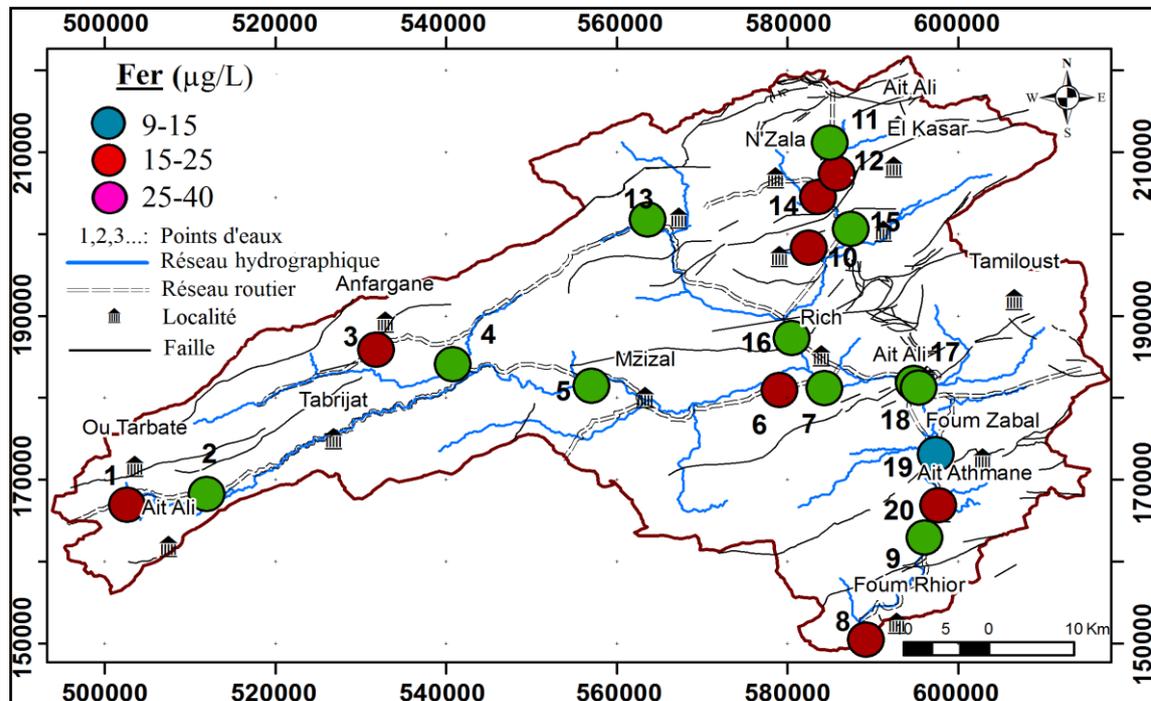


Figure 10 : Variation spatiale des teneurs en cuivre des eaux souterraines de la zone étudiée

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer la contamination des eaux souterraines des aquifères jurassiques du Haut bassin de Ziz par les métaux lourds (Pb, Cu, Fe, Co, Zn, Cd et Ni) au niveau de vingt points d'eau. À l'exception du Cd qui n'a pas été détecté, tous les autres éléments sont présents avec des teneurs variables. Le plomb présente des valeurs allant de 11.2 à 283.2 $\mu\text{g/L}$ et qui dépassent les normes marocaines de potabilité au niveau des points étudiés dans le bassin. Le nickel affiche des valeurs ne dépassant pas les normes au niveau de la partie nord de la zone d'étude.

Les teneurs en Cuivre, Fer, Cobalt et Zinc restent faibles et sont inférieures à la norme marocaine. En absence d'activités industrielles dans la région, nous associons cette contamination au contact des eaux avec les minéralisations présentes dans les formations géologiques. Afin de préciser d'avantage les zones contaminées, cette étude préliminaire et sommaire doit constituer la base d'une étude exhaustive.

Références

1. Gonzague D., Despujols M., *Service géologique du Maroc* (1939).
2. Lyazidi M., Eyssautier L., Marçais J., Choubert G., Faillet P., *Service géologique du Maroc* (1956).
3. Chafiki D., El Hariri A., Souhel A., Lachka N., Sarih S., *Journal of African Earth Sciences* 49 (2007) 90–102.
4. Charrère A., *Thèse Doct. Etat, Toulouse* (1990) 589.
5. Hinaje S., *Thèse de 3ème cycle, Fac. Sci. Rabat* (1995) 238.

6. Piqué A., Charroud M., Laville E., Amrha M., *Mémoires du Museum National d'histoire Naturelle* 182 (2000) 93–106.
7. Igmoullan B., Sadki D., Fedan B., Chellai E. H., *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre* 23 (2001) 47-54.
8. Sadki D., Elmi S., Amhoud H., *Le 1er Coll. Nat. Sur le Jur. Marocain* (1999)122-123.
9. Dominique F. D., Pascale L., Yves M., Khomsi S., Geoffrey R., Saddiqi O., *Tectonophysics* 475 n°1 (2009) 9–28.
10. EL Kochri A., *Thèse Doct. Etat, Rabat* (1996) 200.
11. Beuchamps W., Barazani M., Demnati A., Alji M., *AAPG Bulletin* v80, n°9 (1996) 1459-1482.
12. Nouayti N., Khattach D., Hilali M., *Journal of Geographic Information System* 7 (2015) 294-300.
13. ABHGZR., *ESHAB du Guir, Rhéris et Ziz.* (2009) 15-16.
14. Nouayti N., Khattach D., Hilali M., *J. Mater. Environ. Sci*, 6 (4) (2015) 1068-1081 .
15. Emberger A., *Service géologique du Maroc, Rabat* (1969).
16. Emberger A., *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc* 225 (1970) 155–178.
22. Flavien C., Nicolas C., Luc B., Yannick B., Stanislas S., Aomar E., Lakhli B., Yan C., *Ore Geology Reviews* 56 (2013) 115-140.
17. Popov A., *Ann Min Geol, Tunis* 23 (1968) 103–203.
18. Rognon P., *Palaeogeogr. Palaeoclimatol* 58 (1987) 11–34.
19. Rouvier H., Perthuisot V., Mansouri A., *Econ. Geol* 80 (1985) 666–687.
20. Ovtracht A., *Mines, Géologie et Energie, Rabat* 44 (1978) 103–109.
21. Bazin D., *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat* 206 (1968) 37–114.
22. Raïs N., *Thèse d'état, Faculté des Sciences et Techniques – Fes Saiss, Maroc* (2002) 280.
23. Agard J., du Dresnay R., *Notes et Mem. Serv. Geol Maroc, Rabat (French)* 181 (1965) 135–166.
24. Auajjar J., Boulègue J., *Chron. Rech Min* (1999) 121–135.
25. Emberger A., *C. R. Acad Sci Paris* (1965) 260.
26. Chèvremont P., (*dissertation*) *Université Claude Bernard, Lyon (French)* (1975).
27. Caïa J., *Notes et Mem. Serv. Geol. Maroc (French)* 206 (1968) 7–30.
28. Mouguin E., *Université de Tunis* (1992).
29. NM03.7.001., *Norme marocaine, Qualité des eaux d'alimentation humaine* (2006).
30. Danielle L., Agnès L., Sandrine J., Jérôme M., Alain B., *Guide pratique des substances toxiques* (2008) 30-74.
31. ONYM., *Office National des Hydrocarbures et des Mines Rabat (map SIG)* (2014).

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>