IDENTIFICATION DES PARAMETRES RESPONSABLES DE LA MINERALISATION DES SOURCES D'EAUX UTILISEES POUR L'IRRIGATION DANS LE SYNCLINAL DE BOUZINA AURES, NE ALGERIEN.

Mekaoussi. Adel*, Brinis. Nafaa*
*Laboratoire de Mobilisation et de Gestion des Ressources en Eau,(MGRE)
Dpt de géologie, Institut des sciences de la terre et de l'univers- Université BATNA 2.
adelmekaoussi@gmail.com, nafaa.brinis@gmail.com

Résumé : *La région de Bouzina se situe au cœur des Aurès, elle appartient aux territoires de la wilaya de Batna, elle s'étend sur une superficie dépassant 293 Km². La population développe une agriculture de montagne qui totalise plus de 289 hectares destinés pour l'essentiel aux arboricultures (141 900 arbres) et les cultures maraichères. Les sources d'eau, malgré un débit total de 88l/s, représentent un potentiel important qui participent à l'opération d'irrigation. Nombreuses sont taries après la sécheresse qu'a connu la région. Le synclinal de Bouzina compte dix sources pérennes utilisées par la population locale.*

Le présent travail s'intéresse à la qualité chimique des eaux de ces sources, l'origine de la minéralisation et leur aptitude à l'irrigation.

Le dépouillement des résultats d'analyse chimique indique les groupes suivants :

- *Les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes représentent 50% des eaux analysées,*
- *Les eaux sulfatées calciques représentent 50% des eaux analysées.*

Par ailleurs, le rapport entre bicarbonates et sulfates est dans sa majorité proche de « 1 » indiquant des eaux mixtes (mélange entre les deux types d'eau). L'origine de la minéralisation est à la fois le résultat de la dissolution des roches carbonatées et gypsifères, alors que les eaux sont d'excellentes à bonnes qualités pour l'irrigation.

Mots clés : Aurès, Bouzina, sources, irrigation, gypsifère, carbonaté.

1. INTRODUCTION :

La zone d'étude est située au centre des monts de l'Aurès dans la vallée de l'oued Abdi d'une superficie de 413 km² et d'un périmètre de 89 Km qui s'étend sur quatre commune (Bouzina Thniet el Abed, Chir et Menaa) et s'inscrive ainsi dans le domaine de l'Atlas Saharien.

Le synclinal de Bouzina s'étend sur une superficie de 293 km², caractérisé par un climat entre semi-aride et aride selon les mois de l'année, un été chaud et sec prolongé avec un hiver froid, les précipitations sont de l'ordre de 250 mm/an pour une température moyenne de 15°C. Bouzina compte 14 719 habitants (2008) leur activité principale est l'agriculture. Une Agriculture de montagne (altitude de 1400 m) qui totalise plus de 289 hectares destinés pour l'essentiel aux arboricultures (141 900 arbres) et les cultures maraichères. Les sources d'eau, malgré un débit total de 88 l/s, représentent un potentiel important qui participent à l'opération d'irrigation.

Bouzina est limitée : Au nord par les communes de larbaa – beni foudhala, au sud par les commune de chir – thniet el-abed, à l'est par la commune de oued taga et à l'ouest par la commune menaa. (Fig. 1)

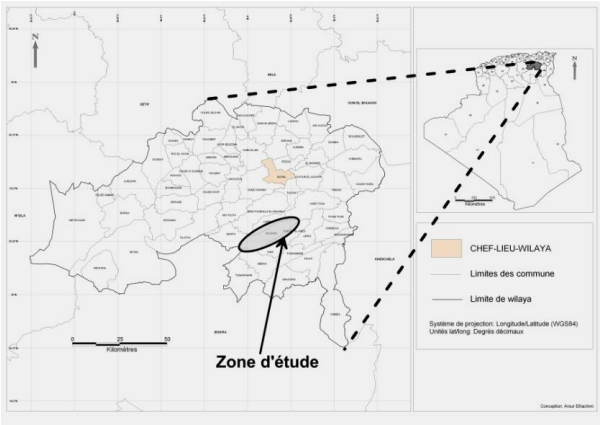

Fig N° 1 : Situation de Bouzina dans le contexte local et national

2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE :

La carte géologique des Aurès qui a été établie par R.Laffitte (1939), montre que la série stratigraphique est plus ou moins continue des dépôts du Trias jusqu'au Quaternaire. Cette série a subi différentes phases orogéniques qui ont fait naître les structures synclinales et anticlinales. Les affleurements rencontrés dans la zone d'étude élargie aux terrains environnants (des plus anciens au plus récents) sont (Figure N°2) :

Le secondaire :

Trias : affleure en contact anormal, il s'agit des formations d'argile violacées et rouge, des gypses ainsi que des marnes.

Jurassique : en position normale se rencontre en succession des carbonates (marno-calcaire)

Le Crétacé : (*Valanginien-l'Hauterivien-Barremien, Aptien, Albien, Cénomanien, Turonien, Sénonien)* : Caractérisé par une lithologie composée

de calcaires (massif ou de bancs métriques à centimétriques), marnes, marno-calcaire et de grès (Aptien, Albien)

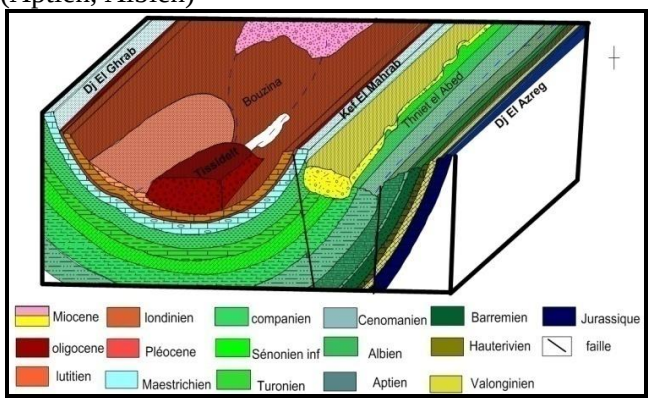

Fig. N°2 : Coupe géologique de la zone étudiée (Lafitte 1939)

Tertiaire : ***(Danien, Nummulitique, Oligocène Miocène) :*** formé de calcaires avec des intercalations des marnes, d'argiles rouges, des poudingues grossiers et des grès. Ces niveaux présentent souvent des filons de gypses dans les marnes et les argiles.

Quaternaire :

Les terrains quaternaires sont des dépôts alluvionnaires ; les terrasses des oueds et des éboulis sont au pied des crêtes des calcaires.

Concernant l'hydrogéologie, La région d'étude qui appartient à la vallée de l'oued Abdi présente une série litho stratigraphique importante, ceci implique la présence de plusieurs aquifères superposés, du haut vers le bas comme suit :

La nappe phréatique du Quaternaire et du Miocène continental

Les nappes de l'Eocène (Lutétien et Landénien)

La nappe des calcaires du Maestrichtien et du Turonien

La nappe des grès de l'Albo-Aptien (essentiellement gréseuse)

3. MATERIELS ET METHODES :

L'échantillonnage a intéressé 8 sources d'eau, durant l'année 1999. Ces échantillons ont été prélevés conservés, transportés et filtrés conformément aux normes en vigueur. La conductivité électrique (CE) et le pH ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un multi-paramètre WTW (P3 Multi-Line pH / LFSET). Les éléments chimiques analysés sont le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^{+}), potassium (K^{+}), chlorure (Cl^{-}), bicarbonate (HCO_3^{-}), sulfate (SO_4^{2-}) et nitrates (NO_3^{-}). Les méthodes utilisées sont celles préconisées par Rodier, 2009. La balance ionique est inférieure à 5%. Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques statistiques des analyses physico-chimiques (mg/l)

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	NO_3^{-}	pH	TDS
Min	44,00	14,00	4,00	0,00	10,00	64,00	92,00	0,00	7,40	252,00
Max	258,00	42,00	205,00	5,00	285,00	600,00	305,00	42,00	8,00	1308
Moy	107,25	26,13	59,13	1,50	70,00	215,50	202,00	14,50	7,66	624,25
δ	76,740	10,973	73,388	1,690	95,094	201,97	77,308	14,383	0,250	419,83
CV %	**71,55**	**42,00**	**124,12**	**112,69**	**135,85**	**93,72**	**38,27**	**99,19**	**3,27**	**67,25**

Une analyse de corrélation multivariée de la classification ascendante hiérarchique (CAH) a été également appliquée aux résultats. Le but de ce traitement est de déterminer les principaux groupes chimiques qui caractérisent ces eaux. Cette méthode statistique a été largement appliquées pour enquêter sur des phénomènes de l'environnement et les processus hydrogéochimiques utilisée à travers le monde, **(**Anazawa et al. 2003 **;** Güler et Thyne, 2004**)** et en Algérie **(**Belkhiri et al. 2010 **;** Brinis et al. 2015. Ces traitements effectués à l'aide du logiciel XLSTAT 2007, version Demo.

L'analyse effectuée a été réalisée sur un tableau de 10 variables (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, $SO4^{2-}$, Cl^{-}, HCO_3^{-}, NO_3^{-}, TDS et pH) et de 8 individus, échantillons prélevés sur le terrain.

Pour l'aptitude de ces eaux à l'irrigation, nous avons utilisé la méthode de Wilcox basée sur le taux du sodium et la minéralisation globale dans ces eaux.

4. RESULTATS ET DISCUSSION :

Tout d'abord, l'observation du tableau N°1 résumant l'analyse statistique descriptive des résultats montre un coefficient de variation (CV%) variant pour la majorité des ions (Ca, Na, K, SO4, Cl, NO3) entre 71,55% et 135% ce qui est important si on admet qu'un CV supérieur à 50% indique une série hétérogène. Il s'agit en fait de l'amplitude entre teneurs minimales et maximales de ces ions qui est importante ceci se traduit par une grande déviation par rapport aux teneurs moyenne enregistrées. Ceci peut être expliqué concernant le Ca, Na, K, SO4 et Cl par à l'influence localisée des minéraux évaporitiques (zone d'alimentation et de

convergence) sur ces eaux, alors que pour les nitrates, l'utilisation irrégulière des engrais (NPK) peut être la cause probable d'un Cv de 99%.

Par ailleurs, le dépouillement des résultats d'analyse fait ressortir deux faciès chimiques : le premier évaporitique dans 50 % des cas, essentiellement gypsifère (sulfaté calcique) indiquant l'influence des formations du Tertiaire contenant des gypses, ces eaux présentent un rapport SO4/Cl souvent proche de 1 ce qui donne aux chlorures un second rôle dans la minéralisation évaporitique. Le deuxième faciès (bicarbonaté calcique et magnésien) est le résultat de la dissolution des roches carbonatées, le rapport HCO3/SO4 de ces eaux est aussi, dans la majorité des cas, proche de 1 sauf pour un point où il dépasse 2,5 ceci indique la contamination probable des eaux carbonatées dans leurs parcours souterrain par les eaux ou les formations gypsifères. L'argument qui peut être donné est que la conductivité des eaux carbonatées relativement proche dans la majorité des cas de celle des eaux évaporitiques, il ne serait pas le cas s'il n'y avait pas ce mélange.

Analyse statistique et origine des éléments chimiques :

a. / La matrice de corrélation : (Tableau N°2)

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	PH	RS
Ca	1									
Mg	0,353	1								
Na	**0,838**	0,544	1							
K	**0,743**	0,582	**0,968**	1						
Cl	**0,713**	0,478	**0,971**	**0,964**	1					
SO4	**0,983**	0,378	**0,897**	**0,821**	**0,787**	1				
HCO3	**0,684**	**0,822**	0,581	0,530	0,437	0,627	1			
NO3	-0,159	0,019	-0,400	-0,376	-0,438	-0,245	0,094	1		
pH	**-0,742**	-0,102	-0,619	-0,557	-0,603	-0,680	-0,430	-0,085	1	
RS	**0,962**	**0,528**	**0,946**	**0,883**	**0,855**	**0,976**	**0,721**	-0,214	**-0,713**	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)

Tableau 2. Matrice de corrélation

Elle indique, tout d'abord l'influence de tous les ions sur la minéralisation mais à degré plus faible concernant le magnésium, puis on constate que les ions issus de la dissolution des minéraux évaporitiques (Ca, Na, K, SO4, Cl) présentent des liens très significatifs entre eux. De même pour les ions des minéraux carbonatés (Ca-Mg/HCO3). Ceci confirme la présence de deux groupes chimiques des eaux : évaporitique, et carbonaté.

b. / Classification ascendante hiérarchique :

Le diagramme issu de l'analyse statistique (CAH) indique la présence de deux grands groupes chimiques (Figure N°3) :

- Le premier représente la minéralisation et indique
- clairement l'influence des ions de la dissolution des minéraux évaporitiques et d'un second ordre les minéraux carbonatés, on constate qu'il est partagé en 3 sous-groupes :
- Le 1er représenté par le calcium et les sulfates associé au résidu sec, il s'agit de l'influence gypsifère.
- Le 2eme englobe les chlorures avec le sodium et le potassium, il s'agit de l'influence salifère.
- Le 3eme est représenté par le Mg et les HCO3 ce qui peut être attribué aux minéraux carbonatés.

Le deuxième groupe est déterminé par le pH et les nitrates ce qui peut être expliqué par une pollution agricole.

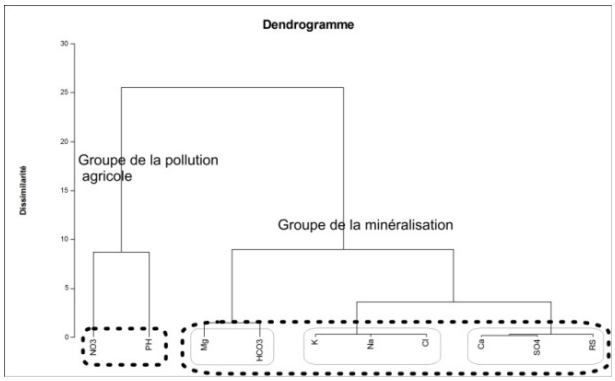

Fig. N°3 : Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Concernant l'origine des ions, l'examen des graphiques Fig ; 4 & 5, montre que :

- Le magnésium est généré par les carbonates (dolomies), il suit l'évolution des carbonates.
- Le sodium par les évaporites, il suit le graphique des sulfates,
- Le calcium semble avoir double origine, à la fois évaporitique et carbonatée. (dans les faciès, il est associé aux sulfates et aux bicarbonates).

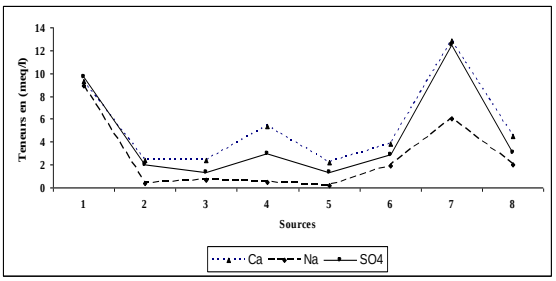

Fig. N° 4 : Evolution des mnx évaporitiques

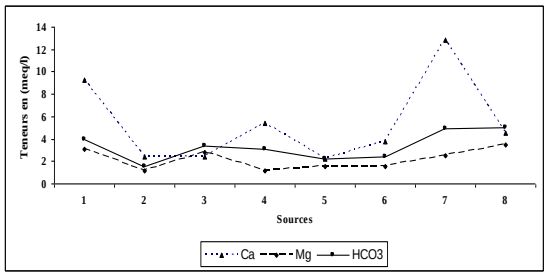

Fig. N° 5 : Evolution des mnx carbonatés

4.1 Aptitude des eaux à l'irrigation :

Le diagramme de Wilcox figure N°6 basé sur le % du sodium en fonction de la conductivité indique que les eaux des sources étudiées sont d'excellente qualité à bonne et peuvent, par conséquent, être utilisées sans risque ni pour les cultures ni pour le sol.

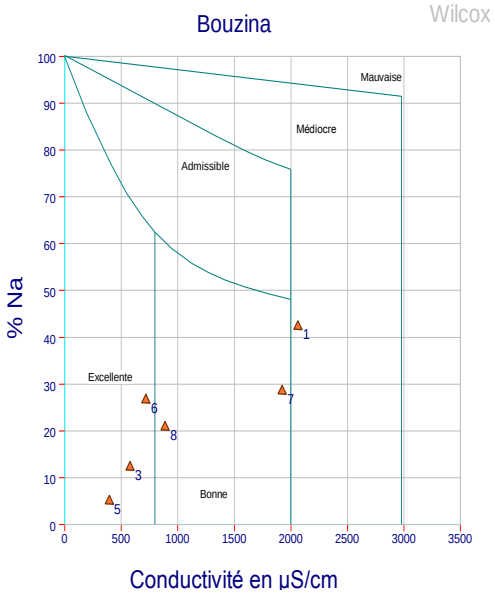

Fig. N° 6: Aptitude des eaux à l'irrigation

5. CONCLUSION :

Les sources d'eau exploitées dans le bassin de Bouzina représentent un complément de la ressource en eau utilisée pour l'irrigation dans une zone agricole ou se développe une agriculture de montagne qui totalise plus de 289 hectares destinés pour l'essentiel aux arboricultures (141 900 arbres) et les cultures maraichères. Les sources d'eau, avec un débit total de 88l/s, appartiennent à deux groupes chimiques : le premier groupe carbonatés contaminés par endroit par les eaux ou les roches évaporitiques et le deuxième groupe évaporitiques. Les eaux sont d'excellentes à bonnes qualités pour l'irrigation. Par ailleurs, l'étude indique un début de concentration des nitrates dans ces eaux ce qui nécessite plus de vigilance par rapport à l'utilisation des engrais chimiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE :

- *Abchiche. M et Al, (1999) : Etude hydrogéologique de la vallée de Oued Abdi et Bouzina (W.Batna). Sonatrach, division opérations, Hassi-Messaoud.*
- *Anazawa K., Ohmori H., Tomiyasu T., Sakamoto H. (2003). -Hydrochemistry at a volcanic summit area, Norikura, central Japan. Geochimica et Cosmochimica Acta., 67 (18S): 17.*
- *Belkhiri L., Boudoukha A., Mouni L., Baouz T. 2010. Application of multivariate statistical methods and inverse geochemical modeling for characterization of groundwater — A case study: Ain Azel plain (Algeria). Geoderma 159, 390-398.*
- *Brinis N, Boudoukha A, Hamel A (2015) : Analyse statistique et géochimique de la dynamique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du synclinal de Ghassira. Algérie orientale. Larhyss journal, N°21 .....*
- *Brinis.N et al, (2010): Evolution des Facies Chimiques des Eaux Souterraines dans da Plaine D'el-Outaya, Biskra, Algérie. Publication au Journal International Environmental Conflict Management, Santa Catarina – Brazil, 1(1), pp. 98-105, Dec. 2010.*
- *Güler, C., Thyne, G.D., 2002. Geochemical evolution of surface and groundwater in Indian Wells-Owens valley area and surrounding ranges, southeastern California, USA. GSA Abstr. Prog. 33 (4), A16.*
- *Hamel. A, (2009): Hydrogéologie des systèmes aquifères en pays montagneux a climat semi-aride. cas de la vallée d'oued el abiod (Aurès). Mémoire de magister de l'université Mentouri Constantine. 178 pages.*
- *Laffitte. R, (1939) : Etude géologique de l'Aurès et esquisse géologique des Aures, Thèse, Paris, Bull. Service de la carte géologique de L'Algerie, Alger, 2eme édition, 484 p.*
- *Rihani. A, (2008) : Etude hydrogéologique du bassin de Bouzina «sous bassin d'Oued Abdi massif des Aurès». Mémoire de magister en géologie, université de Batna.*
- *Rodier J.* Legube, B, Merlet, N et Coll. *(2009). L'analyse de L'eau, 9éme Edition. Dunod, Paris, France.*