

# APPORT DES ISOTOPES STABLES ( $^{18}\text{O}$ et $^2\text{H}$ ) DANS L'IDENTIFICATION DE L'ORIGINE DE LA RECHARGE DES SOURCES DE L'ATLAS ALGERIEN. CAS DU MASSIF DES AURES. ALGERIE

HOUHA B<sup>1</sup>, CHNAKAR H<sup>2</sup>, MIZANE N H<sup>2</sup>, OSMANI S<sup>2</sup>, VALLES V<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université Laghrour Abbès Khenchela

[bhouha@yahoo.fr](mailto:bhouha@yahoo.fr)

<sup>2</sup>Université Laghrour Abbès Khenchela

<sup>3</sup>Laboratoire d'hydrogéochimie d'Avignon (LHA). Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse  
Vincent vallès@univ

**Résumé :** Les nombreuses sources karstiques, thermales et froides émergeant dans le massif des Aurès ont permis de reconnaître la présence de réserves d'eau importantes qui alimentent en permanence, des gisements hydrothermaux, tels que Hammam Salihine et Hammam jaarir, dont l'origine de la recharge et les bassins d'alimentations sont mal connus. Les études, physico-chimiques montrent une évolution du faciès chimique depuis des eaux bicarbonatées calciques à magnésiennes vers des eaux chlorurées sodiques. **Le gradient altitudinal régional pour l'Aurès est estimé à  $-0,3 \delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$  pour 100 m d'élévation.** L'application de ce gradient a permis de situer l'altitude des bassins d'alimentations de **1034 à 1837m**. Ainsi, les aires d'alimentations des sources thermales de Hammam Jaarire et Hammam Essalihine sont situées respectivement à plus de 1400 et 1800 m d'altitude.

**Mots clés :** Aurès, sources thermales, Isotopes stables, Gradient altitudinal

**Introduction :** Le massif des Aurès appartient à la chaîne alpine d'Algérie orientale, il est essentiellement constitué par un ensemble de chaînons autochtones et parallèles, dirigés Sud-ouest. Nord-est [11] caractérisé par des séries sédimentaires Mésozoïques épaisses du Crétacé [8, 11]. Du Nord vers le Sud, les principales failles et cassures de directions voisines de NW-SE se situent dans les anticlinaux de Khenchela et de Djebel Chélia [10] (figure 1 et 2) [11]. Les formations géologiques sont définissables en général du Trias au Miocène. La plupart des sources étudiées, froides et thermales, sont des émergences de l'aquifère Crétacé [8]. Au Nord de l'Atlas saharien s'étend immédiatement les hautes plaines steppiques.

L'objectif de ce travail est de contribuer à la caractérisation des aquifère de l'Aurès. Les isotopes stables de la molécule d'eau  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  sont utilisés dans cette étude comme traceurs du milieu pour identifier l'origine des masses d'eau qui alimentent les aquifères de l'Aurès, estimer le gradient altitudinal et déterminer les aires d'alimentations des sources qui sont mal connues.

**Cadre d'étude :** En Algérie, Les Aurès correspondent à la partie orientale de la chaîne atlasique, qui comprend, à l'ouest, le haut Atlas marocain et se prolonge à l'est dans la dorsale tunisienne. Il est localisé en Algérie du Nord, à quelques 250 km Au sud de la méditerranée, dans l'extrémité est de l'Atlas Saharien. Le massif des Aurès, culmine à 2328 m d'altitude sur Ras-Keltoum au Djebel Chélia, orienté sud-est-nord-ouest, sur plus de 100 km de long et 60 de large. [8], constitue la barrière arrière qui surplombe les hautes plaines orientales de l'Algérie. Ce domaine atlasique, représenté par les calcaires et les calcaires dolomitiques, est le siège de nombreuses sources d'eaux, froides et thermales, située à différentes altitude et émergent en faveur de nombreux

accidents tectoniques [8, 11]. Le climat est méditerranéen semi-aride, la moyenne annuelle des précipitations est de 330 mm, celle des températures 16°C. L'évaporation potentielle de Penman est de 1400 mm. Les conductivités électriques varient largement entre 373 et 6620  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , les températures des eaux entre 11 et 60°C [8]. La relation oxygène 18-altitude [1, 13] revêt un intérêt particulier dans l'identification de l'origine de la recharge et l'estimation du gradient altitudinal.

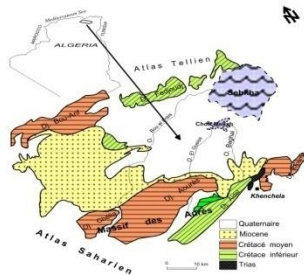


Figure 1: Carte géologique du massif des Aurès

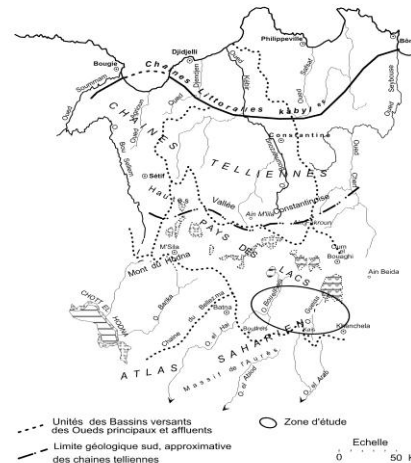


Figure 2: Unités du relief de l'Est algérien: l'Atlas saharien, à son extrémité orientale le massif des Aurès

## Résultats isotopiques et interprétations

### Relation Oxygène 18-Deutérium

Les teneurs isotopiques en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  varient respectivement autour d'une moyenne de -8.30 ‰ et -50.91 ‰ vs-SMOW. Le diagramme  $\delta^2\text{H} = f(\delta^{18}\text{O})$  (figure 3), montre que tous les points d'eau sont nettement situés au voisinage des droites : Météorique Mondiale :  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  [5] et Météorique Méditerranéen Occidentale :  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 13.7$  (DMMO) [4]. Les eaux souterraines se répartissent en trois groupes bien individualisés (Figure.3). Le premier groupe, représenté notamment par les sources thermales de Hammam Essalihine et Hammam Jaarire, se positionnent sur la droite DMM (figure 3) et décrivent une tendance plutôt océanique. Le reste des échantillons de ce groupe est influencé par la coexistence de pluies d'origine atlantique et méditerranéenne. L'appauvrissement des teneurs isotopiques de ce groupe serait attribué à l'altitude des bassins d'alimentation des sources, fait qu'à mesure que l'altitude augmente, les teneurs isotopiques sont appauvries car la température moyenne de l'air devient plus faible [1,2]. Ceci suggère que la recharge de la nappe s'est faite dans des hautes altitudes. Il s'agit ici de l'effet d'altitude [6, 12, 13]. Le deuxième groupe de points est représenté par des sources froides et les eaux de la nappe superficielle et s'alignent sur la DMM de Craig, il s'agit d'eau météorique récente qui s'est infiltrée rapidement sous climat actuel et sans évaporation aucune.

L'eau du troisième groupe représentée par Ain El Manchar, se distingue par des teneurs enrichies en isotopes stables ( $-5.95\text{‰}$  pour l'oxygène-18 et de  $-47.37\text{‰}$  pour le deutérium). Cet enrichissement isotopique serait lié à l'évaporation des eaux de pluies avant leur infiltration.

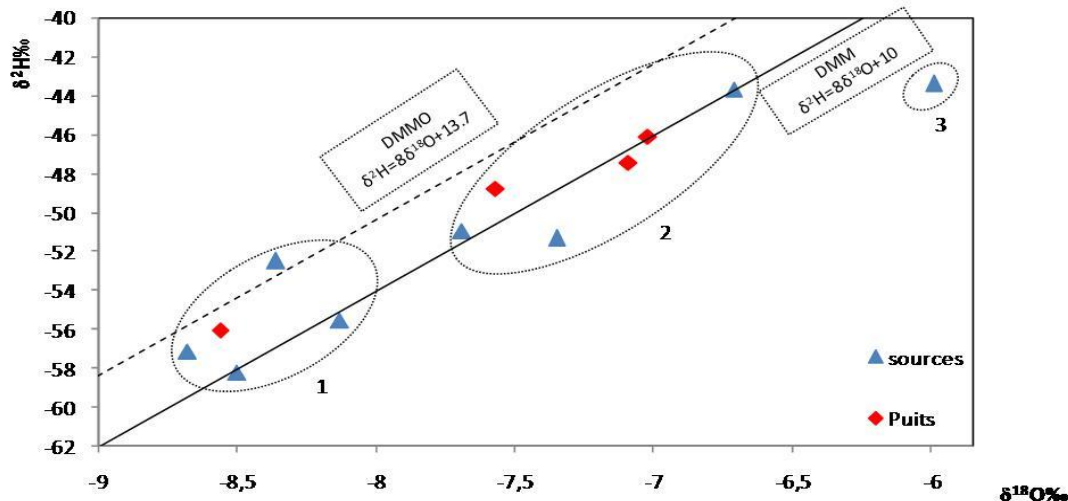
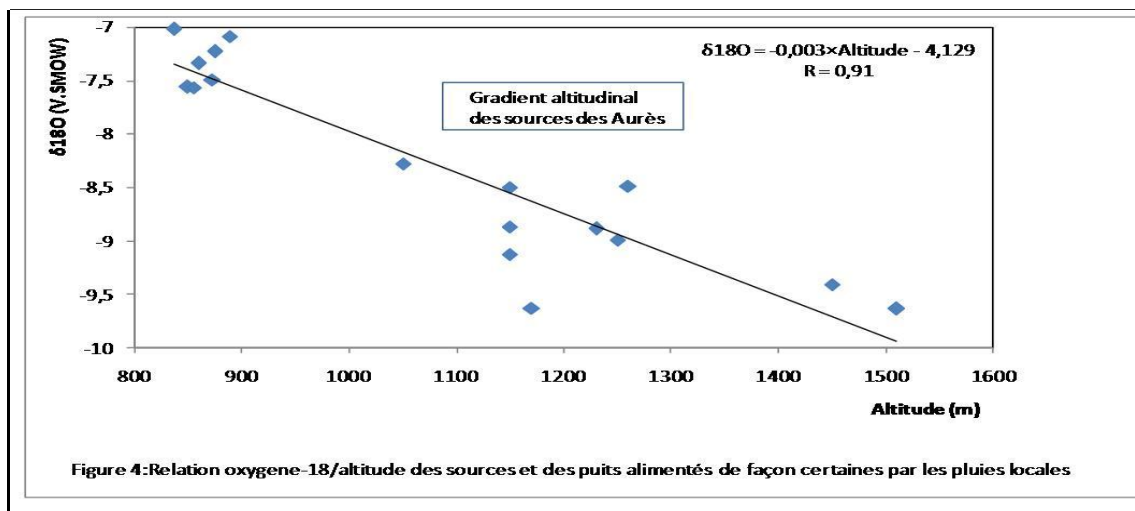


Figure 3: Diagramme de  $^2\text{H}$  en fonction de  $^{18}\text{O}$  pour les eaux de sources et des forages

**Altitude des zones de recharge :** La détermination des altitudes moyennes d'infiltration d'une eau repose sur l'utilisation de l'isotope stable de l'oxygène de la molécule d'eau [1,3,12]. On peut procéder à l'estimation de l'altitude de la zone de recharge des aquifères par le calcul du gradient altitudinal ( $\delta^{18}\text{O}/\text{Alt}$ ). Cependant, le manque de données en  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$  sur les pluies pour la zone d'étude nous conduit à utiliser les données obtenues sur des eaux prélevées dans des sources et puits de faible profondeur, sélectionnés à différentes altitudes et alimentés de façon certaine par l'infiltration des précipitations, sur un bassin versant d'extension réduite et sans participation d'eau ayant une autre origine, ou avoir subi une évaporation [1,3,7,13]. Dans le diagramme oxygène 18-altitude, tous les points montrent une bonne corrélation ( $r=0,80$ ) et définissent **un gradient altitudinal régional pour l'Aurès estimé à  $-0,3 \delta^{18}\text{O} \text{‰}$  pour 100 m d'élévation.** Cette valeur est cohérente avec les valeurs trouvées autour du bassin méditerranéen, notamment sur le bassin de Valréas ( $-0,3 \delta^{18}\text{O} \text{‰}$ ) et les flancs du Ventoux ( $-0,28 \delta^{18}\text{O} \text{‰}$ ) au sud de la France et le Haut Atlas au Maroc ( $-0,3 \delta^{18}\text{O} \text{‰}$ ), et qui sont définies respectivement par : Huneau, Blavoux-Mudry-Celle et Marce.

L'estimation des altitudes de recharge des sources (thermales et de l'aquifère Plio-quaternaire) (Tableau 1), basée sur la valeur du gradient altitudinal trouvé ( $-0,3 \delta^{18}\text{O} \text{‰}$ , pour 100 m d'élévation.), a permis de situer les bassins d'alimentation de ces aquifères à des altitudes plus hautes que leurs points d'émergence ; ce qui confirme l'hypothèse émise sur l'influence de l'altitude de recharge sur l'appauvrissement des teneurs en isotopes stables du groupe 1.



Point de captage	<sup>18</sup> O	Altitude d'émergence (m)	Altitude de recharge(m)	ΔH (m)
Amen Iberkan)	-9,64	1510	1837	327
Aïn Yabous	-8,89	1230	1587	357
Aïn Ansal	-9,41	1450	1760	310
Aïn Mimoun	-8,28	1050	1384	334
Aïn Hanou	-8,49	1260	1454	194
Aïn Silen	-8,99	1250	1620	370
Aïn Kerma	-9,13	1150	1667	517
Hammam Essalihine	-9,63	1170	1833	663
Aïn El-Hamma	-8,87	1150	1580	430
Hammam Jaarire	-8,5	1150	1457	307

Ainsi, les aires d'alimentations des sources thermales de hammam Jaarire et Hammam Essalihine sont situées respectivement à plus de 1400 et 1800 m d'altitude. **Corrélation entre teneurs en isotopes stables et teneurs en chlorures.** Afin de vérifier si l'enrichissement des teneurs isotopiques des échantillons est lié à un processus d'évaporation [3,4], les points analytiques sont reportés dans un diagramme Cl- vs δ<sup>18</sup>O (Figure 4). L'absence de corrélation entre ces deux paramètres, montre que la concentration des solutions par évaporation n'est pas la cause de l'augmentation de la salinité des eaux.

**Conclusion :** Le système aquifère des Aurès est alimenté par des eaux de pluies récentes. L'appauvrissement des eaux en oxygène-18 est dû à un effet d'altitude. La

méthode isotopique utilisée en complément des méthodes géochimiques pour la détermination de l'origine de la minéralisation laisse penser que les eaux ne sont pas enrichi par évaporation et que la minéralisation est due uniquement à l'interaction-eau-roche et à des phénomènes de dissolution et de lessivage des dépôts évaporitiques, Le gradient altimétrique des Aurès, défini par le couple oxygène 18-altitude, est estimé à **-0.3‰ par 100m d'élévation**. L'application de ce gradient aux teneurs isotopiques des sources analysées a permis de situer l'altitude des bassins d'alimentations (**1034 à 1837m**) des aquifères de l'Aurès.

### **Bibliographie.**

- [1] Blavoux. B. (1995) : Apports des techniques isotopiques à la connaissance des gisements d'eau minérale  
Université d'Avignon. La Houille Blanche n° 2/3-1995, p. 51-58
- [2] BLavoux B. (1969). - *Les sources minérales d'Evian*. La Houille Blanche, 1, pp. 21-29.
- [3] Bouchaou et al. (1995). Apports des isotopes stables à l'étude des modalités d'alimentation des aquifères du Tadla (Maroc) sous climat semi-aride – C. R. Acad. Sci. Paris.
- [5] CRAIG H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. Science, vol.133, 1702-1703.
- [6] El-Ouali. A et al. (2011) : Apport des isotopes de la molécule d'eau à la détermination de l'altitude de recharge des principales sources du Moyen Atlas calcaire (Maroc). 9th conference on limestone hydrogeology. Besancon, France.
- [7] FONTES J. Ch. (1976). Isotope du milieu et cycle des eaux naturelles : Quelques aspects. Thèse d'Etat ès-Sc. Naturelles, Paris, 218p.
- [8] Houha B. (2007). Fonctionnement hydrogéochimiques d'un bassin versant des hautes plaines steppiques. Thèse de doctorat de l'université d'Annaba.
- [10] IAEA. (1981). Stable isotope hydrology. Deutérium and oxygen-18 in the water cycle. Technical Reports series, n°210, 339 p., Vienne, Austria.
- [11] Laffite R., (1939) : Etude géologique de l'Aurès Bull. Serv. Géol. Algérie, N° 15,451p. [11] MARCE A. (1975). Contribution des méthodes isotopiques a l'étude des modalités d'alimentation et de renouvellement des réserves souterraines du Maroc Ed.. BRGM, Orleans
- [12] Pierre POURRUT, Jean-François ARANYOSSY. (1988) : Nappe aquifère de Quito (Equateur): caractéristiques générales, réponse à l'exploitation et perspectives H.ydrol. continent., vol. 3, no 1, 1988: dI-56
- [13] Winckela. A et al. (2002) : Apport des isotopes stables dans l'estimation des altitudes de recharge de sources thermales du Maroc. (Isotopic Geochemistry) Geoc C. R. Geoscience 334 (2002) 469–474.