

Caractéristiques des Sources Thermales de la Région d'Azzaba

Bekkouche mohamed fouzi

Maitre assistant classe B au centre universitaire de Tindouf

Bekk_fouzi@yahoo.fr

Résumé -La présente étude permet d'identifier les sources thermales de la région d'Azzaba qui est notre objectif essentiel. A cet égard l'élaboration d'une campagne de prélèvement pour les analyses chimiques est un démarche obligatoires pour mieux comprendre les caractéristiques de ces sources thermales. Deux sources thermales sont bien distinguées à la région d'Azzaba, la source thermale de l'Oued Hmimine et la source thermale d'El Hamma.

L'étude hydrochimique renseigne sur l'origine de la roche magasin et le cheminement des eaux chaudes. Le faciès chimique dominant pour les eaux thermales de la région d'Azzaba est le sulfaté calcique.

-Les teneurs en sulfates sont dues aux formations argilo – gréseuses.

-Les fortes teneurs en calcium sont dues aux formations carbonatées (calcaire).

Les eaux thermales de la région d'Azzaba sont tous acides et ont des conductivités moyennement élevées à importantes.

La minéralisation des eaux thermales est en générale élevée :

-la forte minéralisation donne le faciès sulfatés;

-les minéralisations élevées sont accompagnées par une température élevée.

Mots clés : sources thermales, cheminement, faciès chimique, minéralisation, roche.

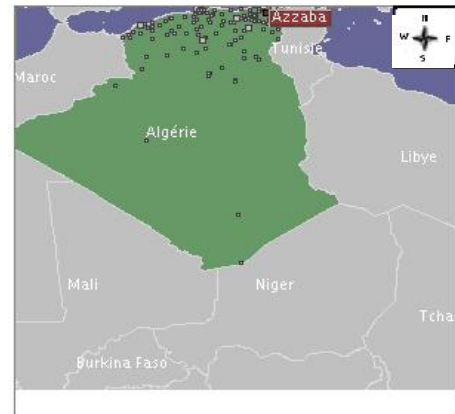
I-INTRODUCTION

A l'origine, c'est-à-dire avant tout aménagement, l'émergence d'une source d'eau thermo minérale apparait comme un événement singulier, voire rare dans le paysage hydrogéologique. Le point précis de l'émergence, encore appelé «Griffon». Nous connaissons mieux aujourd'hui l'origine de quelques émergences thermales et le mécanisme de leur manifestation, dans le but de détailler ces connaissances sur les sources thermales d'Azzaba nous avons réalisé ce travail après avoir visité l'ensemble des griffons thermaux de la région.[1]

L'interprétation de l'Indice de saturation a montré que le gypse, l'anhydrite et les éléments carbonatés sont en sursaturation dans les eaux thermales d'Azzaba.

I. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La région d'Azzaba fait partie de la wilaya de Skikda. Elle est située au Nord-Est Algérien, à 67Km au Sud-Ouest d'Annaba, entre les latitudes 36° 76' 08" et 36° 85' 35" Nord et les longitudes 7° 20' et 7° 40' Est, cette plaine occupe une dépression qui relie la plaine d'El Harrouche à celle de Fetzara.[2]



Echelle : 1/25000000

Fig.I. Situation géographique de la région d'Azzaba

II.1. Situation géographique des sources thermales :

A l'Est de la ville d'Azzaba, on observe deux (2) sources thermales, la source de l'Oued Hmimine et celle d'El Hamma.

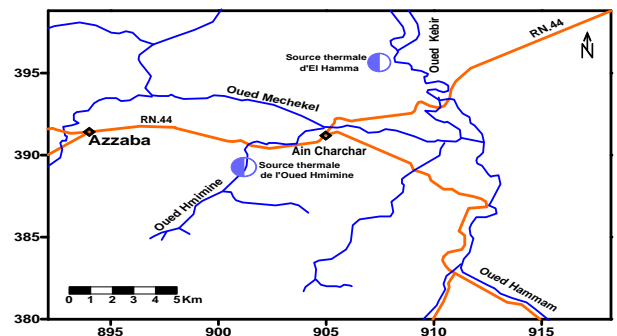


Fig.II. Source thermal d'Azzaba

II.1.1. Source thermale de L'Oued Hmimine :

La station thermale de l'Oued Hmimine dite Hammam Salihine est située près de la commune d'Ain Cherchar, au Sud- Est de la ville de Skikda et à 7Km d'Azzaba. Elle se trouve à 20m de la rive gauche de l'Oued Hmimine.

II.1.2. Source d'El Hamma :

La source thermale d'El Hamma est située à 15Km au Nord- Est d'Azzaba, près de la commune de Ben Azzouz et à 5 Km au Nord du village Oued El Kebir (ex-Djendel), au piedmont du Djebel Safia et à 2Km de la route nationale Constantine – Annaba [3].

III. Méthodologie

III.1. Echantillonnage et prélèvement :

La campagne de prélèvements a été effectuée en février 2009. La désignation des points de prélèvements (Fig.III et IV) comporte six (6) points au niveau de la source de l'Oued Hammimine et cinq (5) points au niveau de la source d'El Hamma.

Nous avons réalisés les analyses des éléments majeurs exprimés en cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_2) plus les analyses de la dureté globale, le titre alcalin complet et les métaux lourds (Pb, Fe, Hg, Cu).

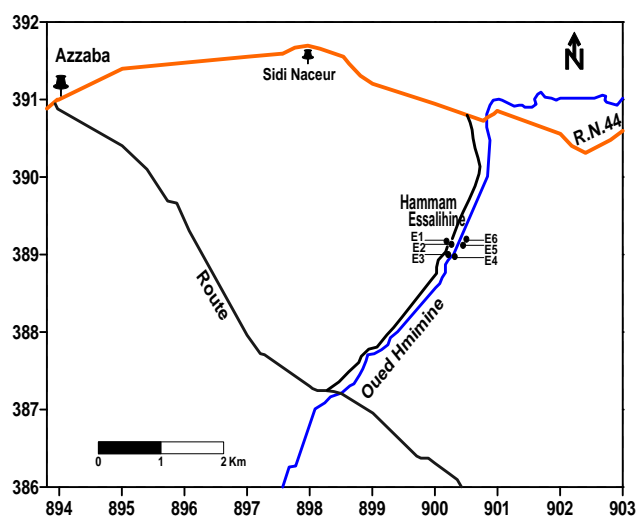


Fig. III : Carte d'inventaire des points de prélèvement Source thermique de l'Oued Hammimine.

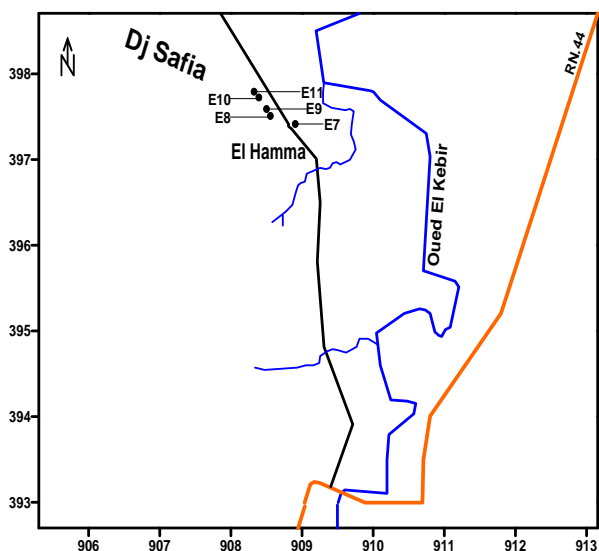


Fig. IV : Carte d'inventaire des points de prélèvement Source thermique d'El Hamma

III.2. Résultats des analyses et faciès chimique:

Au total 11 échantillons ont été pris en considération, et les résultats des analyses chimiques effectués en Février 2009 sont consignés dans le tableau. I

Afin de vérifier la fiabilité des analyses, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse. A partir de ces formules ioniques, découle le faciès spécifique de chaque analyse (tableau.I)

D'après le tableau toutes les analyses présentent un seul faciès chimique qu'est le faciès Sulfaté Calcaïque.

Tableau. I: Résultats des analyses et le faciès chimique.

Source thermal	Emergence	Formule ionique	Faciès chimique
Oued Hammimine	E1	$rSO_4^- > rHCO_3^- > rCl^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté Calcaïque
	E2	$rSO_4^- > rHCO_3^- > rCl^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E3	$rSO_4^- > rHCO_3^- > rCl^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E4	$rSO_4^- > rHCO_3^- > rCl^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E5	$rSO_4^- > rHCO_3^- > rCl^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E6	$rSO_4^- > rHCO_3^- > rCl^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
El Hamma	E7	$rSO_4^- > rCl^- > rHCO_3^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté Calcaïque
	E8	$rSO_4^- > rCl^- > rHCO_3^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E9	$rSO_4^- > rCl^- > rHCO_3^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E10	$rSO_4^- > rCl^- > rHCO_3^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E11	$rSO_4^- > rCl^- > rHCO_3^-$ $= rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	

IV. Essais d'évaluation des températures en profondeur à l'aide des géothermomètres chimiques :

Il existe trois sortes de géothermomètres chimiques :

IV.1. Le géothermomètre Silice (SiO_2), T1 :

Il permet de calculer, à partir de la teneur en silice observée à l'émergence. Ce géothermomètre donne la température minimale en profondeur par la formule.

$$T_1 (^\circ C) = (1522/5,75 - \log [SiO_2]) - 273$$

IV.2. Le géothermomètre (Na - K - Ca), T2 :

Préconisé par R.O.Fournier et A.H.Trusdell en 1973, basé sur la solubilité perspective des ions (Na, K et Ca). Les températures maximales sont calculées par la formule suivante [9] :

$$T_2 = (1647 / [\log (Na/K) + \log ((Ca/Na) + 2,24)] - 273$$

Na, K et Ca on moles/l.

Avec :

- = 1/3 si la température de l'eau est supérieur à 100°C ;
- = 4/3 si la température de l'eau est inférieur à 100°C.

Tableau. II : Evaluation de température en profondeur à l'aide des Géothermomètres Chimiques

Source thermale	Emergence	Température mesurée à l'émergence (°C)	T ₁ (min) Géothermomètre Silice (SiO ₂) (°C)	T ₂ (max) Géothermomètre (Na-K-Ca) (°C)
Oued Hmimine	E ₁	45	82	617.27
	E ₂	45	81.84	737.42
	E ₃	43	83.74	871.72
	E ₄	47	85.44	762.84
	E ₅	41	80.60	701.55
	E ₆	42	78.79	701.62
El Hamma	E ₇	42	82.07	825
	E ₈	42	82.71	713.22
	E ₉	43	83.15	701.55
	E ₁₀	44	86.75	673.55
	E ₁₁	44	89.23	776.04

Tableau.III: Matrice de corrélation

CORRELATION

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Pb	Cu	Fe	TAC	TH	pH	T	C
Ca	1.000															
Mg	-0.095	1.000														
Na	-0.333	-0.623	1.000													
K	0.259	0.325	0.612	1.000												
Cl	-0.724	-0.582	0.657	0.790	1.000											
SO ₄	0.881	0.244	-0.231	-0.677	-0.852	1.000										
HCO ₃	0.833	0.430	0.022	0.159	0.311	0.627	1.000									
SiO ₂	0.117	-0.516	0.103	0.220	-0.414	-0.192	-0.199	1.000								
Pb	0.628	0.007	-0.237	-0.374	-0.212	0.216	-0.657	-0.146	1.000							
Cu	0.133	0.260	0.185	0.317	0.201	0.215	0.516	0.342	0.787	1.000						
Fe	-0.688	0.645	-0.158	0.021	0.022	-0.431	0.042	-0.220	-0.250	0.295	1.000					
TAC	-0.551	0.422	0.017	0.421	0.351	-0.657	1.000	-0.195	-0.685	0.546	0.543	1.000				
TH	0.892	0.025	-0.405	-0.192	-0.178	0.919	-0.719	0.029	0.624	-0.403	-0.609	-0.785	1.000			
pH	0.123	0.650	-0.347	-0.492	-0.477	0.428	0.116	-0.389	-0.295	0.582	0.176	0.166	0.207	1.000		
T	0.156	-0.157	-0.371	0.172	-0.157	0.974	0.075	0.489	-0.174	-0.718	-0.077	0.010	0.111	-0.155	1.000	
C	0.198	0.015	0.011	0.029	0.018	0.187	0.217	0.156	0.315	0.065	0.220	0.219	0.194	0.013	0.661	1.000

Tableau. IV: Corrélation entre les variables et les axes principaux.

VARIABLES	COMPOSANTES PRINCIPALES				
	AXE1	AXE2	AXE3	AXE4	AXE5
Ca	0.935	0.188	-0.067	0.004	-0.041
Mg	0.006	0.000	0.967	0.935	-0.026
Na	0.402	0.176	-0.584	0.343	0.353
K	0.693	0.474	-0.327	0.295	0.082
Cl	0.754	0.540	-0.567	0.368	0.207
SO ₄	-0.882	0.781	0.322	0.674	-0.012
HCO ₃	0.864	0.757	0.417	0.172	-0.172
SiO ₂	-0.071	0.003	-0.719	0.517	0.415
Pb	0.769	0.392	-0.365	0.404	0.128
Cu	0.522	0.305	0.392	0.154	0.271
Fe	0.612	0.373	0.627	0.392	-0.211
TAC	0.370	0.759	0.405	0.165	-0.172
TH	-0.958	0.918	0.051	0.026	-0.342
pH	-0.393	0.097	0.752	0.581	0.264
T	-0.362	0.001	0.184	0.035	-0.927
C	-0.213	0.647	-0.021	0.005	0.304

IV.2.2: Cercle de corrélation :

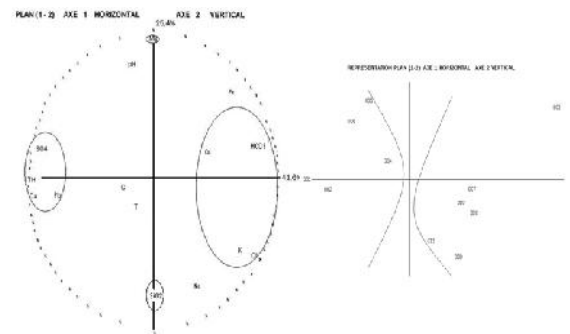


Fig.V: Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1-2)

V. Etude du comportement hydrochimique par l'analyse en composantes principales (A.C.P)

IV.1. Application de l'A.C.P :

Nous avons réalisé une A.C.P globale concernant les points des eaux thermales analysées dans notre zone d'étude. Cette A.C.P comprend 11 observation et 16 variable à savoir (T, pH, CE, Ca, Mg, K, Na, Cl, SO₄, HCO₃, TH, TAC, Fe, Cu, Pb, SiO₂).

IV.2. Matrice de corrélation :

La matrice de corrélation (tableau.III) montre les variables qui sont bien corrélées entre elles, à savoir : [Na, Mg (0,623)], [K, Na (0,612)], [Cl, Ca (0,704)], [Cl, Na (0,667)], [SO₄, Ca (0,881)], [SO₄, Cl (0,852)], [HCO₃, Ca (0,833)], [SiO₂, Mg (0,676)], [Pb, HCO₃ (0,687)], [Cu, Pb (0,787)], [Fe, HCO₃ (0,842)], [TAC, CA (0,837)], [TAC, Fe(0,834)], [TH, Ca(0,992)].

IV.2.1. Etude des variables :

1E colonne : corrélation entre les variables et les axes principaux.

2E colonne : corrélation aux carrée.

Pour les cercles de corrélation (Fig.V, VI, VII) le pourcentage d'inertie cumulée sur les axes principaux : le plan (1 - 2) est de 67%, le plan (1 - 3) est de 54.3% et le plan (1 - 4) est de 51.2%. Ce résultat montre qu'il existe une bonne structure au niveau de cet échantillonnage et que

la représentation dans les plans (1 - 2), (1 - 3) et (1- 4) explique l'essentiel de cette structure.

Pour le plan (1-2) (Fig.05), l'axe horizontal exprimant 41.6% de la variance est caractérisé par un premier nuage de point dans le sens positif regroupant : Cu (0,5528), HCO₃ (0,8664), K(0,6909) et Cl (0,7349) et un deuxième nuage de point dans le sens négatif regroupant SO₄ (-0,8842), TH (-0,9586) , Ca (-0,9585) et Pb (-0,7699).

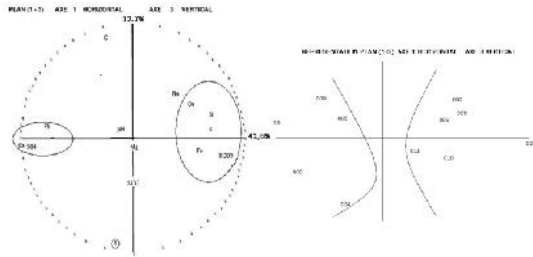


Fig. VI: Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1-3)

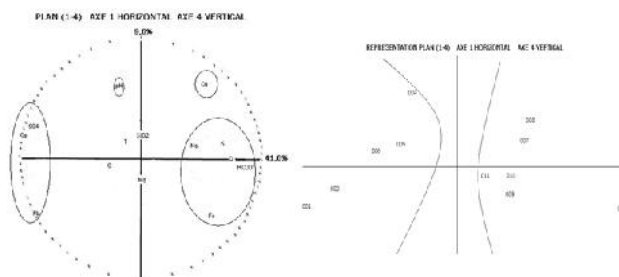


Fig. VII: Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1-4)

Ainsi pour les plans (1-3) et (1-4)

V. Indice de saturation

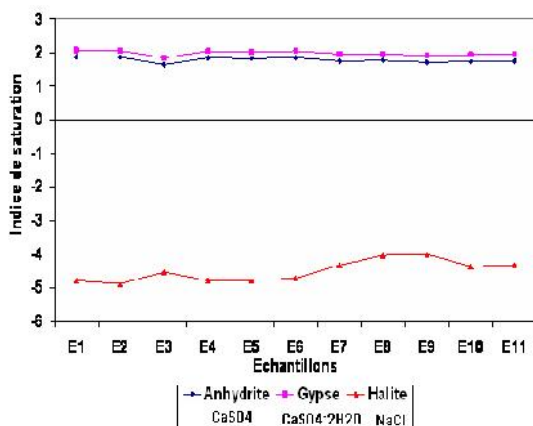


Fig. VIII. Etat des minéraux évaporitiques dans l'eau

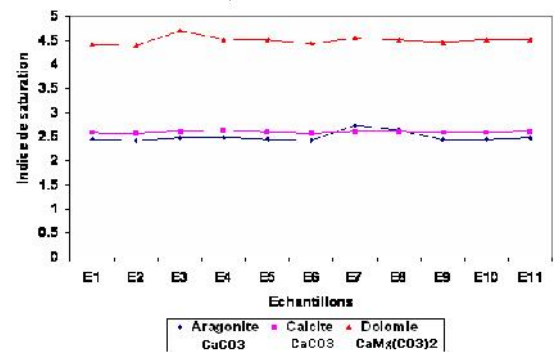


Fig. IX. Etat des minéraux carbonatés dans l'eau

VI. Conclusion

L'étude du thermalisme dans la région d'Azzaba, nous a permis de contribuer à la connaissance des sources hydrothermales, L'étude hydrochimique renseigne sur l'origine de la roche magasin et le cheminement des eaux chaudes. Le faciès chimique dominant pour les eaux thermales de la région d'Azzaba est le sulfaté calcique.

- Les eaux thermales de la région d'Azzaba sont tous acides et ont des conductivités moyennement élevées à importantes.
- La minéralisation des eaux thermales est en générale élevée :
- la forte minéralisation donne le faciès sulfaté;
- les minéralisations élevées sont accompagnées par une température élevée.
- L'analyse à composante principale (A.C.P) effectuée sur les divers échantillons analysés a pu mettre en évidence les éléments caractérisant le faciès chimique et a fait ressortir les éléments responsables de la pollution.
- L'étude de l'indice de saturation montre que pour les éléments évaporitiques la halite est en sous saturation dans les eaux, ce qui provoque sa dissolution et l'enrichissement des eaux en sodium et en chlorure.

REFERENCES

- [1] BADI.H, RIHIA.F, Le thermalisme de l'extrême Est Algérien : Guelma, Souk Ahras, Skikda et Tarf, p1, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie, Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire, Université de Constantine, 2004.
- [2] AHMED HAZILA.Dj, Caractéristiques des eaux thermales de la région d'Azzaba. Chapitre I, p2, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie, Institut des Sciences de la terre. Université d'Annaba, 2008.
- [3] Bekkouche M^{ed} Faouzi, Caractéristiques des sources thermales de la région d'Azzaba, chapitre1, p9, thèse magistère en hydrogéologie, département de géologie, université d'Annaba, Novembre, 2009.