LES GAZ HYDROTHERMAUX DANS LES EAUX THERMALES DU BASSIN VERSANT DE SEBOU (MAROC)

L. BENAABIDATE[1], O. SADKI[2], R. JABRANE[1], J. MANIA[3] & H. BENDHIA[4]

[1] F.S.T Saïss, B.P. 2202 Fès, Maroc. E-mail : benaabidate@yahoo.fr

[2] B.R.P.M. Rabat, Maroc. E-mail: o.sadki@yahoo.fr

[3] Ecole polytechnique de Lille, Département Génie Eau, 59655 Villeneuve d'Ascq, Lille, France.

[4] E.N.I.Sfax, département de géologie, B.P. : W, 3038 Sfax, Tunisie.

INTRODUCTION

Les gaz associés aux sources thermales sont généralement, l'Oxygène (O_2), l'Hydrogène (H_2), l'Azote (N_2), le Sulfure d'hydrogène (H_2S), le Gaz carbonique (CO_2), le Méthane (CH_4) et des gaz rares tels que l'Argon (Ar) et l'Hélium (H_2). En général, ces gaz peuvent coexister dans les eaux thermales sous deux formes; gaz libres et gaz dissous. Ces derniers se trouvent dissous dans l'eau à une certaine profondeur et s'en échappent par chute de pression. Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'étude des gaz associés aux eaux thermales. En effet, l'étude des gaz hydrothermaux peut apporter des renseignements sur leur origine ainsi que sur des processus physico-chimiques qui peuvent éventuellement se dérouler au cours de l'ascension des eaux, D'Alessandro et *al*, 1993) (in Sadki, 1998).

MATERIELS ET METHODES

La campagne de prélèvements de ces gaz a intéressé seulement quelques émergences intéressantes préalablement choisies (Benaabidate, 2000). Ces analyses ont été portées uniquement sur les gaz dissous. Les teneurs sont exprimées en millimoles par litre (m.moles/l) sauf pour l'hydrogène dont l'unité est la micromole par litre (µmoles/l). Les résultats de ces analyses sont portés sur le tableau suivant (Tab.1).

Sources	N°	CO_2	O_2	N_2	A_r	H_2S	CH_4	H_2
Moulay Yacoub	1	2.2	0.052	0.4	0.0056	1	0.3	0.009
Zalagh	2	0.64	0.044	0.46	0.0095	0.00001	0.004	0.09
Tiouka	3	7.4	0.2	0.86	1E-05	0.9	7.1	0.4
Outita	4	1.6	0.053	0.85	0.0098	0.1	0.0047	0.07
Khanza	5	4.3	0.052	0.45	0.0083	4.6	0.066	0.05
Tarmast	6	3.3	0.13	2.3	0.036	1.3	0.024	0.08
Mouilha	7	2.3	0.025	0.23	0.0047	0.037	0.0066	0.05

Tableau 1: Les teneurs en gaz dissous

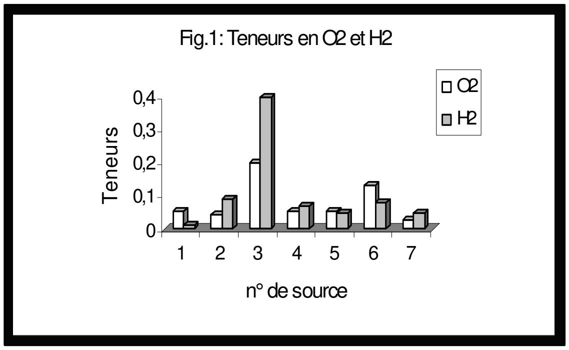
RESULTATS ET DISCUSSIONS

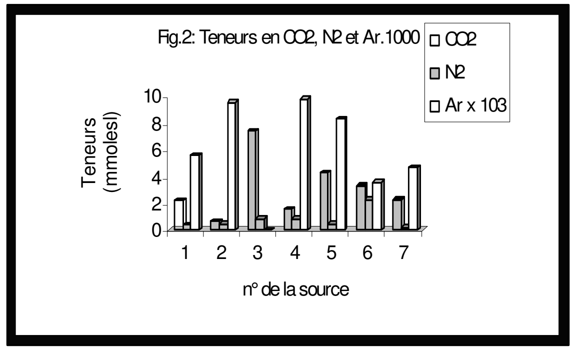
Dans le cadre de cette étude, ont va essayer d'interpréter et de suivre l'évolution de chaque élément gazeux dans les eaux thermales étudiées.

1.L'OXYGENE (O_2)

L'Oxygène est généralement d'origine atmosphérique. Il est introduit dans les eaux thermales par diffusion à travers le sol (D'Alessandro et *al*, 1994). Cette introduction peut de faire aussi par infiltration des eaux superficielles qui sont équilibrées vis-à-vis de l'air. Les teneurs de l'élément O_2 dans les eaux thermales sont, le plus souvent, plus faibles et ne dépassent pas 1% du volume total aussi bien sous sa forme dissoute que libre (Minissale et *al*, 1989). Les eaux thermales étudiées présentent toutes des taux d'oxygène très faibles. Ses teneurs varient entre 0.025 millimoles/l (source de Mouilha) et 0.2 millimoles/l (source de Tiouka) (Fig.1).

Les faibles teneurs en Oxygène, sous forme dissoute, dans les eaux étudiées seraient liées à sa fixation en profondeur dans des zones réductrices.





2.L'HYDROGENE (H_2)

L'élément H_2 se présente en très faibles teneurs dans les eaux thermales. Il est émis lors de quelques réactions liées à des processus magmatiques ou métamorphiques (Morette, 1964). Certains auteurs suggèrent que le H_2 peut se former par dissociation du méthane ou par réduction de l'eau par FeO.

Les sources thermales étudiées affichent de faibles concentrations d'Hydrogène (µmoles/l) (Fig.1). L'étude de la relation entre les teneurs de H_2 et celles de CH_4 n'a pas donné de corrélation notable. Ceci suggère que le H_2 ne proviendrait pas de la dissociation du méthane. Son origine pourrait être liée à des réactions endogènes et/ou à la réduction de l'eau.

3.L'AZOTE (N_2)

La teneur en N_2 dissous est très variable dans les systèmes hydrothermaux. Elle dépend, en général, du contexte géologique local (Morette, 1964, Littke et *al*, 1995) (in Sadki, 1998). Sa teneur, dans les sources thermales où il a été analysé, varie de 0.23 m.moles/l (source de Mouilha) à 0.86 m.moles/l (Tiouka) (Fig.2). Cette teneur reste toutefois inférieure à sa teneur moyenne dans l'atmosphère, soit 75.53%. L'étude corrélative entre les teneurs en O_2 et N_2 na pas donné bonne corrélation (r = 0.5). Ceci laisse prédire que l'azote n'a pas uniquement une origine atmosphérique.

4.LE DIOXYDE DE CARBONE (CO_2)

La première source du CO_2 dissous dans les roches superficielles est l'atmosphère terrestre. Les eaux profondes ont un apport supplémentaire en dioxyde de carbone issu de la décomposition de la matière organique. Cet apport supplémentaire permet ainsi d'obtenir une solution modérément acide qui joue le rôle de solvant pour les minéraux (Raymahashay, 1988).

Le CO_2 constitue la forme gazeuse la plus rencontrée dans les eaux thermales. Le CO_2, d'origine profonde, est lié principalement au magmatisme, au métamorphisme des roches carbonatées et/ou à la décomposition de la matière organique (Hedenquist et Browne, 1989). Quant aux sources étudiées, Le taux de CO_2 oscille entre 0.64 m.moles/l (source de Zalagh) à 7.4 m.moles/l (source de Tiouka) (Fig.2). Ces teneurs sont donc très supérieures à celles de l'air qui est de l'ordre de 0.03%. On pense donc à une origine profonde à ce gaz.

5.L'ARGON (Ar)

L'Argon est le plus souvent introduit sous forme dissoute dans le circuit thermal. Ce gaz indique, dans les systèmes hydrothermaux, une origine atmosphérique (Hedenquist, 1991). Il échappe facilement de l'eau sous forme libre suite à sa faible solubilité. Sa teneur, dans les eaux étudiées, est très faible (Fig.2).

6.LE METHANE (CH_4)

Dans les systèmes hydrothermaux, l'élément CH_4 peut avoir deux origines:

- origine biogénique où le CH_4 est produit par une catalyse des hydrocarbures à une température modérée (≈ 100°C), par fermentation de la matière organique ou par la décomposition du matériel charbonneux (Welhan, 1988),
- origine non biogénique où le CH_4 est produit par dégazage mantellique ou bien par synthèse inorganique à température élevée.

Dans le cas des sources étudiées, sa teneur est très faible pour la plus part des sources avec une valeur anomalique enregistrée à la source de Tiouka soit 7.1 m.moles/l (Fig.3). Cette source sort dans un horizon pédologique et la forte valeur en CH_4 serait attribuée à la fermentation bactérienne.

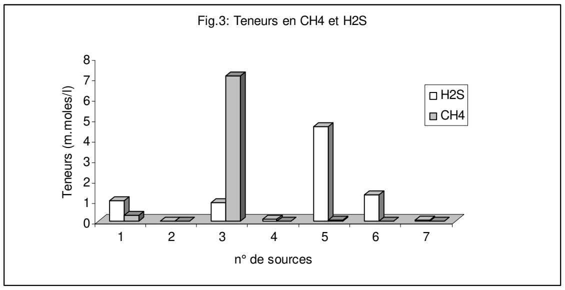


Fig.3: Teneurs en CH4 et H2S

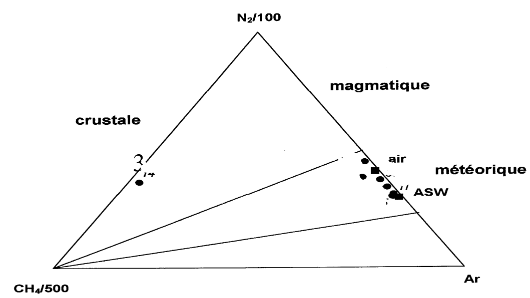


Fig.4 : Diagramme N_2-Ar-CH_4

7.L'HYDROGENE SULFURE

Ce composé existe à l'état naturel dans l'atmosphère. Il est produit par diverses fermentations anaérobies, œuvre de sulfobactéries, tant en milieu terrestre qu'océanique (Lovelock et *al*, 1972, in Ramade, 1974). La teneur de cet élément (Fig.3), dans les sources étudiées, varient de 0.00001 m.moles/l (source de Zalagh) à 4.6 m.moles/l (source de Khanza).

DIAGRAMME N_2-Ar-CH_4

Le rapport des gaz sur le diagramme N_2-Ar-CH_4 (Fig.4) montre que les points représentatifs des six sources considérées se projettent entre les deux droites qui indiquent le minimum et le maximum du rapport N_2/Ar des eaux météoriques, à proximité de l'ASW (air saturé en eau). Ceci indiquerait une origine météorique probable à ces éléments. La source n°3 (Tiouka) est projetée dans la zone de mélange des espèces gazeuses provenant premièrement des origines magmatique et crustale (Norman et *al*, 1998).

CONCLUSION

Les gaz associés aux eaux thermales du bassin versant de Sebou présentent différentes origines; atmosphérique et profonde. Certains paramètres interviennent dans la diminution de la teneur de certains gaz telle que la réduction, en profondeur, de l'oxygène. Le gaz carbonique et le méthane semblent provenir de la décomposition de la matière organique. La non concordance entre le méthane et l'hydrogène permettrait de dire que ce dernier ne provient pas de la dissociation du premier. Son origine est probablement profonde et/ou liée à la réduction de l'eau. L'azote et l'argon seraient liés à une origine météorique, à l'exception de la source de Tiouka où l'origine de ces gaz pourrait être profonde.

BIBLIOGRAPHIE

1. BENAABIDATE L., 2000 : Caractérisation du basin versant de Sebou: hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des sources thermales.
2. Thèse doct. Es-Sciences, F.S.T. Saïss, Fès, 250p.
3. D'ALESSANDRO W. et *&*, 1994 : Geothermal characterization of natural occurring fluids on the Island of Pantelleria (Italy). Miner. Petrog. Acta, VXXXVII, pp.: 91 – 102.
4. HEDENQUIST, J.W., 1991: Boiling and dilution in the shallow portion of the Waiotapu geothermal system. New Zealand. Geoch. Cosm. Acta., vol., 55, pp.: 2753 – 2765.
5. HEDENQUIST J.W. & Browne P.R.L., 1989 : The evolution of the Waiotapu geothermal system. New Zealand, based on the chemical and the isotopic composition of its fluids, minerals and rocks. Geoch. Cosm. Acta., vol., 53, pp.: 2235 – 2257.
6. MINISSALE et *al*, 1989: Geothermal characteristics of Greek thermal springs. Jour. Volcano. Geoth. Research, vol., 39, pp : 1 – 16.
7. MORETTE A., 1964 : Précis d'hydrologie. Edit., Masson et Cie, Paris, 564 p.
8. NORMAN D.I. & *al*, 1998 : Approaching equilibrium from the hot and cold sides in the FeS_2-FeS-Fe_3O_4-H_2S-CO_2 system in the light of fluid inclusion gas analysis.
9. Ramade R., 1974: Eléments d'écologie appliqué. Edit. sciences, Paris, 522 p.
10. RAYMAHASHAY B.C., 1988: Geochemistry of hydrologists. Edit., Technip, Paris, 190 p.
11. SADKI O., 1998: Evolution des systèmes hydrothermaux du Nord de la Tunisie : géochimie des interactions eaux-roches et circulations hydrothermales. Thèses Doc. Sp., Univ., Tunis II, 246 p.
12. WELHAN J.A., 1988: Origin of methane in hydrothermal systems. Chem. Geol., vol., 71, pp.: 183 – 198.