

IDENTIFICATION ET ORIGINE DES GAZ ASSOCIES AUX SOURCES MINERALES, THERMALES ET THERMOMINERALES ALGERIENNES. APPORTS À LA CONNAISSANCE DE LA GÉOLOGIE PROFONDE DE L'ALGÉRIE SEPTENTRIONALE.

Abderrahmane ISSAADI*

RESUME

Les analyses chimiques et isotopiques (carbone 13) des gaz associés aux sources minérales, thermales et thermominérales algériennes ont été effectuées.

Sur la base des analyses chimiques, une classification en quatre grands groupes est proposée. L'origine des gaz est discutée, particulièrement celle du CO₂ dont l'origine profonde est mise en évidence. Cette dernière semble individualiser deux provinces géologiques de structure profonde différente et séparées par la discontinuité tectonique active de Béjaïa.

L'interprétation de ces résultats confrontée aux données géologiques et géophysiques apporte donc des informations sur la structure profonde de l'Algérie.

Mots clés - Sources - Minérales - Thermales - Thermominérales - Gaz - Classification. CO₂ profond - Carbone 13 - Volcanisme - Socle - Séismicité - Gravimétrie - Faille.

IDENTIFICATION AND ORIGIN OF GAZES ASSOCIATED WITH ALGERIAN MINERAL THERMAL AND THERMOMINERAL SPRINGS. CONTRIBUTIONS WITH THE KNOWLEDGE OF THE DEEP GEOLOGY OF NORTHERN ALGERIA.

ABSTRACT

Gazes associated with Algerian mineral, thermal and thermomineral springs are studied for their chemical and data C13 carbonates isotopic composition.

Four groups may be distinguished according to chemical compositions. Gazes origin is discussed, particularly deep CO₂ origin is proved. It seems to individualize two geological provinces with different deep structure separated by the active tectonic discontinuity of Bejaïa.

Then, this interpretation associated with geological and geophysics data gives informations about Algerian deep structure.

Key words - Springs - Mineral - Thermal - Thermomineral - Gaz - Classification - Deep CO₂ - Carbone 13 - Volcanism - Shield - Sismicity - Gravimetry - Fault.

* Laboratoire d'Hydrogéologie. IST/USTHB. B.P. 32 El Alia, Bab Ezzouar. Alger.
- Manuscrit déposé le 10 Février 2004, accepté après révision le 18 Janvier 2005.

1 - INTRODUCTION

La présence de gaz associés aux sources minérales, thermales et thermominérales algériennes se traduit le plus souvent par des bouillonnements bruyants (Hammams Meskhoutine, Kheneg Toub, Sidi Yahia etc...). Parallèlement à ces manifestations où les gaz libres en excès se dégagent de manière continue ou par intermittence à la pression atmosphérique, des teneurs élevées en gaz dissous sans dégagement apparent sont fréquentes (Aïn Hamedh, Aïn Selloum etc...). Signalons par ailleurs, le stockage de gaz dans les aquifères isolés de la surface. Un forage qui atteint ces couches pourra donner une eau chargée de gaz. C'est particulièrement le cas des forages de Sellama situés près de Mostaganem

ou celui de Aïn Faress localisé à proximité de la confluence des Oueds Chlef et Mina (fig.1 et tabl. I).

L'identification et le dosage des différents constituants gazeux prélevés aux émergences ont été effectués par chromatographie en phase gazeuse sur deux appareils munis de deux types de colonnes avec un système de détection par conductibilité thermique:

- colonne de silicone type DC 200 pour la détermination du CO₂ et d'éventuels hydrocarbures,

- colonne de tamis moléculaires pour la séparation et la détermination de l'oxygène, de l'azote et de l'hélium.

Tableau I - Inventaire des eaux minérales, thermales et thermominérales à dégagements gazeux.

Algerian mineral, thermal and thermomineral waters with gazes associated.

N°	Nom du point d'eau	N°	Nom du point d'eau	N°	Nom du point d'eau
1	H. Abdellys	27	H. Habchi	54	H. El Meridj
2	H. Bouhadjar	28	A. El Hamedh	55	H. Belhachemi
3	A. Franin	29	H. Berrouaghia	56	H. Guerfa
4	F. M'leta	30	F. Boghar	57	A. Seynour
5	P. Ferme minérale	31	H. Tellat	58	H. Tassa
6	F. Sellama	32	A. Ben Haroun	59	H. Zaïd
7	F. Ouled Yellou	33	A. Garça	60	H. Beni Salah
8	H. Ouled Yellou	34	A. Selloum	61	H. Zatout
9	H. Bou Hniffia	35	A. Tikjda	62	H. Trad
10	H. Rabbi	36	H. Sillal	63	H. Zid
11	A. Nouissy	37	H. Sidi Yahia	64	H. Mexa
12	A. Keberta	38	H. Ibaïnem	65	A. Beladjani
13	F. Bel Acel	39	H. Ksenna	66	A. Bou Namoussa
14	H. Bouabdallah	40	H. El Biban	67	H. Meskhoutine
15	F. Aïn Faress	41	H. Mansourah	68	H. Ouled Ali
16	H. Sidi Mohamed	42	H. Belaribi	69	F. Djid Malou
17	H. El Hosni	43	H. Guergour	70	H. Grouz
18	A. M'keberta	44	H. Ouled Yelles	71	H. Bouziane
19	H. Mantilia	45	H. Soukhna	72	A. Toumiets
20	H. Righa	46	H. Ouled Tebben	73	H. Kheneg Toub
21	A. Garça	48	H. Boutaleb	74	A. El Kerma
22	P. Torche	47	F. Saïda	75	A. Ouled El Ghouï
23	F. Mouzaïa	49	H. Gosbat	76	H. Béni Guechat
24	F. Bouremroum	50	H. Biskra	77	H. Ouled Achour
25	H. Serguine	51	A. Tamersit	78	A. Dehamcha
26	A. Morra	52	H. Amhamras	79	A. Takitount
		53	H. Knif		

H = Hammam. A = Aïn (Source). P = Puits. F = Forage. H = Hammam. A = Spring. Puits = Well. F = Drilling

Le terme "Hammam" désigne ici une station thermale qui peut correspondre à l'exploitation d'une ou de plusieurs sources, d'un ou de plusieurs puits, d'un ou de plusieurs forages.

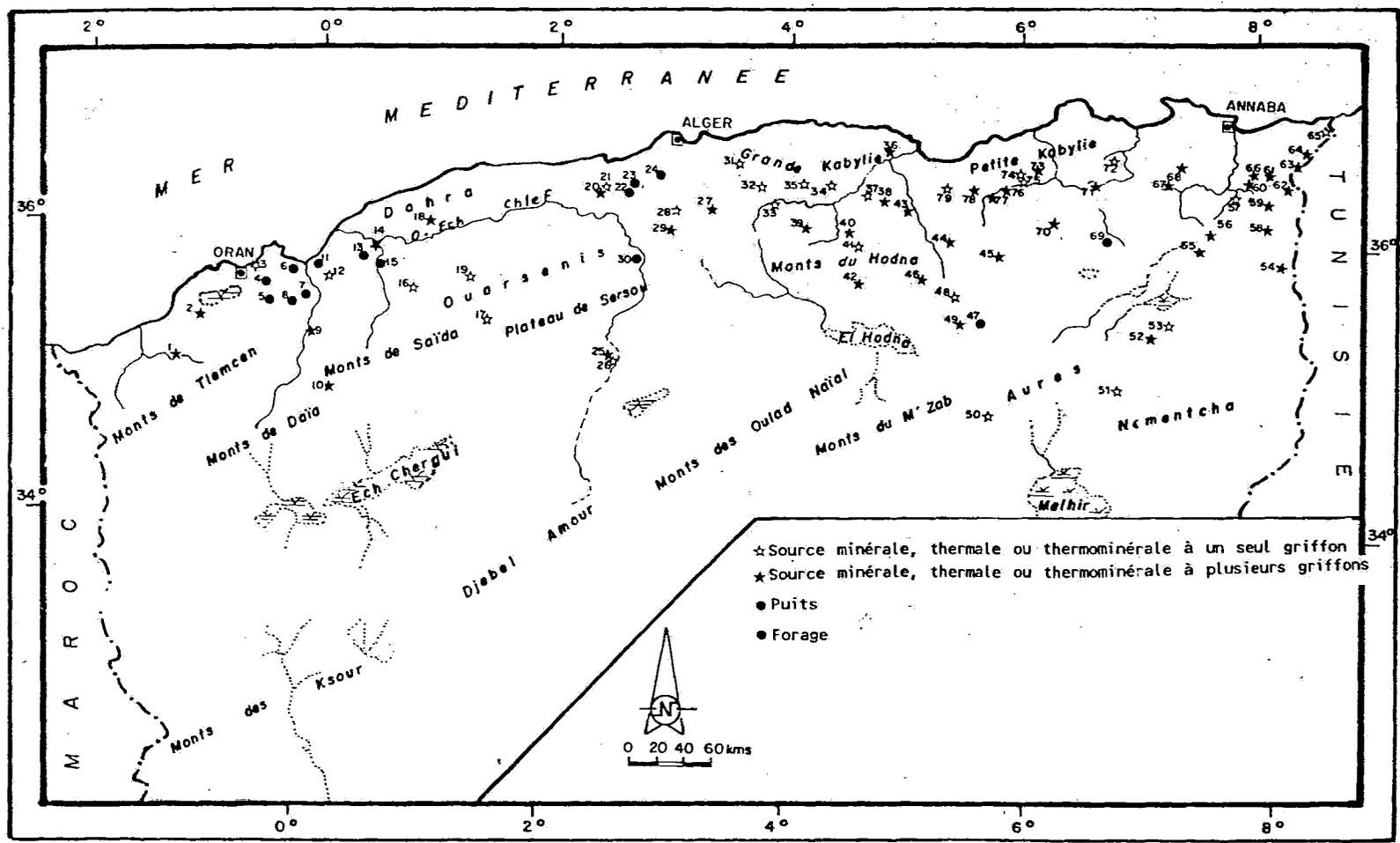


Fig. 1 - Carte des sources minérales, thermales et thermominérales à dégagements gazeux
Map of Algerian mineral, thermal and thermomineral waters with gazes associated

2 - RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES DES GAZS

Les résultats analytiques permettent de distinguer quatre groupes de dégagements gazeux si l'on tient compte des sources à H₂S (fig. 2 et tabl. II).

- Le premier groupe correspond aux sources où le CO₂ est prédominant avec des concentrations supérieures à 60% de la phase gazeuse. Certaines d'entre elles contiennent plus de 95% de CO₂ (Torche, Garça, Kheneg Toub, Béni Guéchat etc...);

- le second groupe rassemble les sources azotées avec des pourcentages supérieures à 80% de N₂ (Abdellys, Ouled Yellès, Toumièts, Dehamcha). Quelques émergences montrent des concentrations qui varient entre 60% et 80% d'azote avec

des proportions de CO₂ entre 15% et 35% (Sillal, El Biban, Ibaïnem, Belhachemi etc...);

- le troisième groupe intéresse les sources qui présentent à leurs émergences des pourcentages à peu près équivalents en CO₂ et N₂;

- enfin, le quatrième et dernier groupe correspond aux émergences à H₂S.

Les proportions d'hélium varient entre des concentrations en traces et 0.16%. Il semble apparaître que les teneurs les plus élevées correspondent aux eaux des aquifères superficiels (Torche, Djid Malou etc...) pouvant traduire une origine essentiellement atmosphérique tout comme l'azote qui l'accompagne. Certaines sources mésothermales et hyperthermales (Guerfa, Kheneg Toub, Béni Guéchat, Sillal, El Biban etc...) montrent des concentrations entre

Tableau II - Classification chimique des dégagements gazeux.

Chimical classification

CO ₂ prédominant	N ₂ prédominant	Mixte	Sources à H ₂ S
Torche	Toumiets	Ouled Ali	Mantilia
Garça	Ouled Yelles	Guergour	Ouled Yellou
Kheneg Toub	Abdellys	El Hamma	Keberta
El Meridj	Dehamcha	Jid Malou	Sidi Mohamed
Béni Guechat	Bouhnifia	Serguine	Mansourah
Meskhoutine	Bou Hadjar	Seynour	Sidi El Hosni
Selloum	Ibaïnem	Adjani	M'keberta
Mouzaïa	Sillal	Takitount Bouremroum	Bouabdallah
Guerfa	El Biban	Benharoun	Sidi El Habchi
Ouled Achour	Mexa	El Hamedh	Béni Salah
Biskra	Nouissy	Sellama	Zaïd
Righa	Belhachemi		Tassa
Franin	Soukhna Bounamoussa		Ouled Tebben
Bou Hadjar (gazeuse)	Berrouaghia		Boutaleb
Garça (Bouira)	Sidi Trad		Delâa
	Amhamras		N'Baïls
			El Kermia
			Ouled El Ghoul
			Youks les Bains
			Gosbat
			Tellat
			Ksenna
			Belaribi
			F. Saïda
			Khenguet
			Tamersit

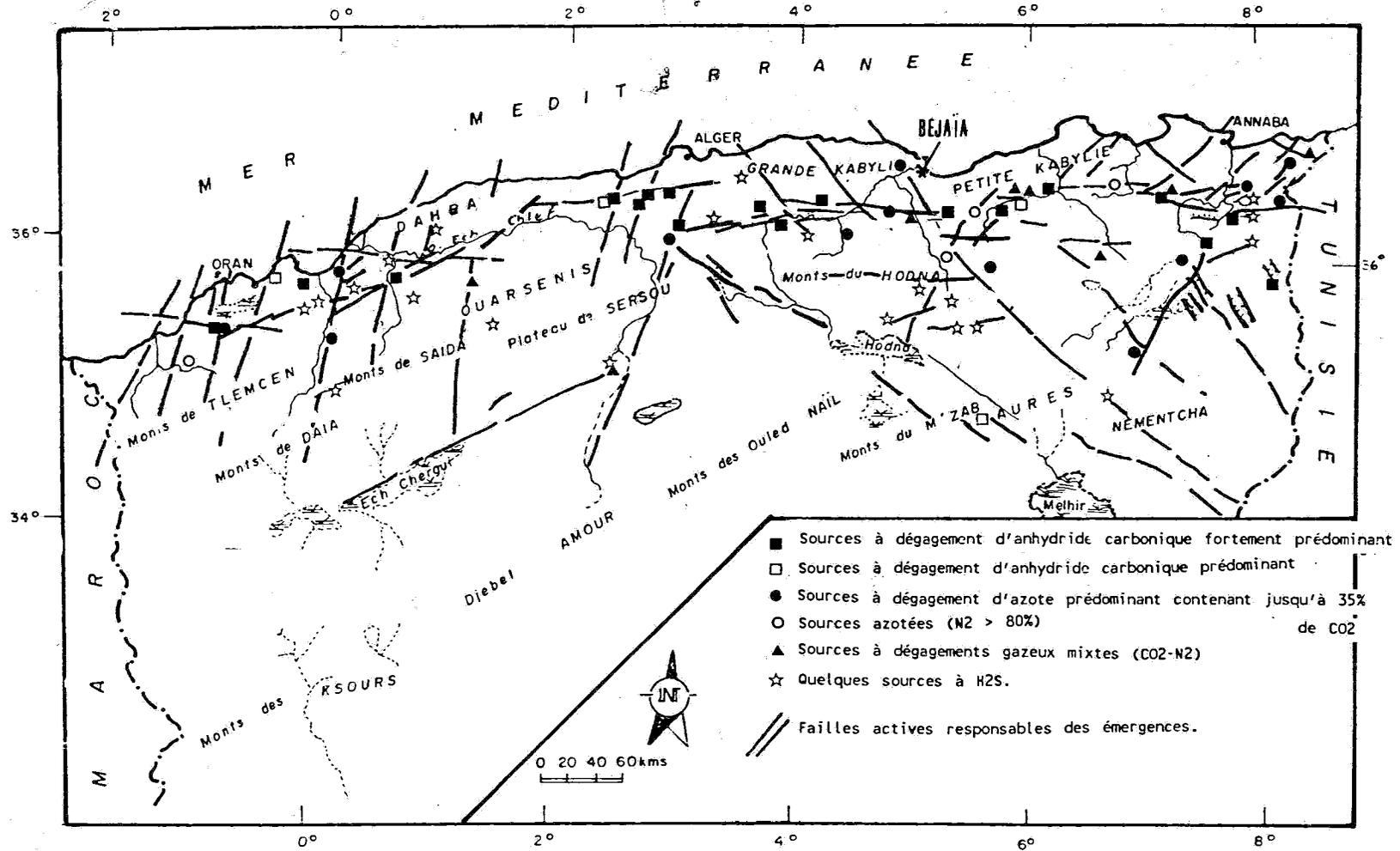


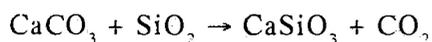
Fig. 2 - Classification en fonction des résultats chimiques des gaz
Chemical gazes classification

0.04% et 0.10%. Ces dégagements d'hélium qui peuvent être dus à la désintégration radioactive des minerais d'Uranium et de Thorium accompagnent les eaux dans leur remontée. Dans le future, la mesure au rapport isotopique $^3\text{He}/^4\text{He}$ préciserait l'origine crustale ou mantellique apporterait certainement des indications intéressantes sur la géodynamique globale.

Quelques sources se caractérisent par la présence d' H_2S qui est alors associé à des espèces réduites de soufre. Les teneurs restent généralement très faibles par rapport aux autres gaz présents. En dehors de toutes ces sources caractérisées par d'abondants dégagements gazeux, il en existe d'autres à H_2S dont l'origine serait liée à une simple réduction des sulfates en surface.

L'origine exogène des dégagements gazeux, qu'elle soit météorique, due à la dissociation des carbonates ou à la réduction des sulfates en présence d'hydrocarbures, ne permet pas d'expliquer les quantités importantes de CO_2 observées aux griffons. Il y a lieu de faire intervenir, pour ce gaz en particulier, une origine profonde qui peut être:

- soit volcanique;
- soit magmatique, une fracture profonde permettant la remontée du CO_2 ;
- soit encore thermométamorphique. En effet, cela peut se produire par thermométamorphisme de formations carbonatées par les magmas au cours de leur remontée ou par la chaleur dégagée au cours de mouvements macro ou microtectoniques liés aux déplacements de failles actives. Au contact d'un magma avec les roches carbonatées, on pourra avoir:



Notons aussi qu'une roche magmatique déjà cristallisée soumise à cuisson au contact d'un magma liquide pourra dégager d'importantes quantités de gaz par simple thermométamorphisme. A ce niveau, l'existence d'accidents profonds facilitera la remontée des gaz vers la surface. En fait,

l'un des seuls moyens directs dont nous disposons actuellement pour déterminer l'origine du CO_2 repose sur l'utilisation des isotopes du carbone.

3 - ORIGINE DU CO_2

Les compositions isotopiques du Carbone 13 exprimées en δ ‰ sont données par rapport au CO_2 tiré du standard de Chicago qui est un rostre de Belemnite (*Bellemnitella Americana*) de la Pee Dee (formation crétacée de la Caroline de Sud) dans lequel $^{12}\text{C} = 98.892$ et $^{13}\text{C} = 1.108$. Les résultats sont donnés sous la forme:

$$\delta \text{ } ^{13}\text{C} \text{ ‰} = (\text{Réch} - \text{Rst}) / \text{Rst}$$

Réch = rapports isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, indiquent la différence entre la composition isotopique de l'échantillon étudié et de son standard avec une évolution positive traduisant un enrichissement en carbone 13 et une évolution négative un enrichissement en carbone 12.

L'étude de ces isotopes et de leurs rapports permet de proposer des hypothèses sur l'origine du CO_2 . De nombreux auteurs ont cependant montré les difficultés que l'on rencontre dans l'interprétation des teneurs en carbone 13 en raison de nombreuses sources possibles du gaz carbonique et des processus de fractionnement qui peuvent intervenir à grande profondeur et haute température.

Le CO_2 biogénique est lié à la dégradation de matières organiques, on le trouve associé aux champs de pétrole ou de matières carbonées (charbon), souvent d'ailleurs en association avec le méthane. On peut le retrouver inclus dans les roches, on rencontre alors des indices de CO_2 au cours de forages dans les calcaires et les dolomies. Il peut également être présent dans les sources thermales où il est lié à des phénomènes d'oxydo-réduction.

Le CO_2 endogène, lorsque l'on regarde les fluides hydrothermaux qui émergent dans les

rifits, constate que le CO_2 présent provient en grande partie du recyclage du CO_2 contenu dans l'eau de mer (carbonates en particulier). Le dégazage à partir de la base de la croûte ou du manteau paraît minime. Les grands dégagements de CO_2 n'apparaissent qu'au niveau de la lithosphère et il n'y a aucune raison d'admettre qu'ici contrairement à ce qui se passe dans les océans, qu'ils aient une origine infracrustale ou mantellique.

La seule hypothèse vraisemblable conduit donc à admettre que tous les grands dégagements de CO_2 proviennent du thermométamorphisme d'éléments de la lithosphère. Celui-ci pouvant apparaître à différents niveaux. On peut tout aussi bien avoir cuisson de calcaires, grès, dolomies que de roches carbonées ou de roches cristallines. Il est évident que dans chaque cas, la signature en carbone 13 pourra différer.

Faute de données suffisantes, nous pouvons retenir avec B. Blavoux (1985):

- que le CO_2 a une origine endogène infracrustale ou mantellique quand ses teneurs sont comprises entre -5‰ et -8‰ vs PDB. Tranche de valeurs compatibles avec celle du carbone des gaz volcaniques directement libérés du magma observé à travers le monde;
- que le CO_2 a une seconde origine endogène possible par thermométamorphisme des calcaires quand ses teneurs se trouvent dans l'intervalle +3‰ à -4‰ qui est celui des carbonates marins;
- que le CO_2 a une origine exogène, purement biogénique, produit par la décomposition de la matière organique ou par la respiration des racines dans le sol quand ses teneurs sont inférieures à -12,4‰.

Quand les teneurs en carbone 13 des sources carbo-gazeuses sont inférieures à -10‰ et supérieures à -15‰, cela indique un mélange entre un CO_2 d'origine organique et un CO_2 d'origine magmatique.

4 - DISCUSSION DES RESULTATS

Pour notre part et dans le cadre de ce travail, nous avons procédé au dosage du carbone 13 des bicarbonates précipités in situ à l'aide de NaOH et BaCl_2 . Le but de ces analyses était la mise en évidence d'une composante profonde (écarts proches de zéro ou même positifs par rapport au PDB) due à des remontées de CO_2 profond ou à des échanges isotopiques avec la roche réservoir.

Les résultats obtenus qui apparaissent dans le tableau III évoluent entre +3.98‰ et -14.32‰ vs PDB.

On voit dans ce tableau qu'un certain nombre de sources présente des valeurs assez faibles compatibles avec une origine exogène, le CO_2 serait purement biogénique. Pour celles à réservoirs carbonatés, ces résultats suggèrent une combinaison des carbonates de la roche mère avec le CO_2 biogénique (Kasserou, Abdellys), ce que laissent supposer par ailleurs les faibles concentrations en CO_2 aux émergences et l'origine géologique des sources.

Pour les autres sources, exceptées les eaux de Aïn Seymour et de Hammam El Méridj dont les valeurs sont positives, respectivement égales à +3,9‰ et +2,26‰, on observe des valeurs négatives qui évoluent entre -0,96‰ pour les eaux du puits Torche et -8,77‰ pour ceux de Hammam Sidi Trad.

Bien qu'il ne soit pas possible d'éliminer totalement l'hypothèse souvent admise selon laquelle les teneurs en Carbone 13 mesurées résulteraient d'un mélange entre le CO_2 d'origine biogénique et celui issu des calcaires (sources liées aux massifs carbonatés du Constantinois par exemple), il paraît plus logique en raison de la proximité du volcanisme (Oranie, Mitidja occidentale) et du socle (zone Bibanique et extrémité Nord-orientale), de la séismicité (particulièrement bande seismotectonique d'Afrique du Nord)

Tableau III - Teneurs en Carbone 13 des eaux minérales, thermales et thermominérales -Algérie.
Data ^{13}C carbonates isotopic composition of mineral, thermal and thermomineral waters - Algeria.

Sources	$\delta^{13}\text{C}$ vs PDB	Sources	$\delta^{13}\text{C}$ vs PDB	Sources	$\delta^{13}\text{C}$ vs PDB
Seymour	+3.98	H. Biskra	-4.08	H. Berda	-9.95
H. El Méridj	+2.26	H. Bouhnifia	-4.21*	H.Ouled Yellou	-9.28*
P. Torche	-0.96	A. M'keberta	-4.45*	F. Boghar	-10.06
A. Garça	-1.05	A.Ouled Ghoul	-4.45	A. Keberta	-11.14
H. Tassa	-1.64	A. Takitount	-4.54	H.Abdellys	-11.16*
H. N'Baïls	-1.80	H. Bou Hadjar	-4.74 à	A. Nouissy	-14.32
H.Benharoun	-2.19		-6.03	A. Kasserou	-9.36
A. Karmia	-2.34	H. Sillal	-5.07		
H.Kheneg Toub	-2.71	H. Zaïd	-5.33		
A. Hamedh	-3.02	F. Bouremroum	-5.33		
A. Franin	-3.64*	A. Tinn	-5.55		
H.Béni Guéchat	-3.66	H. Touenssa	-6.08		
		F. Mouzaïa	-6.17*		
		H. Bouziane	-6.24		
		H. Sidi Yahia	-6.62		
		A. Skhouna	-6.75		
		F.Ouled Yellou	-6.83*		
		H. Zatout	-7.31		
		H. Toumiets	-7.35		
		F. Djid Malou	-7.57		
		H. Berrouaghia	-7.59		
		H. Sidi Trad	-8.77		

Analyses B. Blavoux in B. Collignon, 1986.

et des quantités parfois importantes de CO_2 qui peuvent atteindre et dépasser 2000 mg/l de lier les valeurs observées à l'existence de CO_2 d'origine profonde, pour les secteurs:

- du bas Chellif, d'Aïn Franin, de Bou Hadjar et de Bouhnifia à l'Ouest,
- de Hammam Righa et de la Mitidja occidentale, des Bibans, de Sillal et de Sidi Yahia au centre,
- de Hammam Meskhoutine, Kheneg Toub, Béni Guéchat, Guerfa et El Méridj à l'Est,

Il est généralement admis que le CO_2 endogène infracrustal et mantellique accompagne globalement le volcanisme alcalin, par contre le CO_2 thermométamorphique est caractéristique

du volcanisme calco-alcalin.

Si l'on considère :

- d'une part, la répartition spatiale du magmatisme à travers l'Algérie du Nord, globalement alcalin à l'Ouest de Bejaïa et calco-alcalin à l'Est;
- d'autre part, la subsidence du domaine tellien au cours du cycle alpin qui suggère qu'à partir du Crétacé, le Tell oriental perd son caractère hypersubside pour être relayé par la plate forme carbonaté de Bougâa jusqu'à au moins, Guelma ce qui entraîne une nature différente du substratum avec:

* à l'Ouest de Bejaïa, amincissement de la croûte,

* à l'Est, un substratum plus continental.

IDENTIFICATION ET ORIGINE DES GAZ ASSOCIES AUX SOURCES MINÉRALES, THERMALES ET THERMOMINÉRALES ALGÉRIENNES. APPORTS À LA CONNAISSANCE DE LA GÉOLOGIE PROFONDE DE L'ALGÉRIE SEPTENTRIONALE.

Le domaine tellien occidental fortement subsident et le domaine tellien oriental faiblement subsident sont séparés par une discontinuité tectonique majeure à jeu dextre (N.Kazi Tani, 1986) suivant une direction NW-SE qui paraît encore active car

longée par une suite d'épicentres sismiques, une forte densité cumulée des linéaments (photos satellites Landsat) et une importante anomalie thermique positive (Esquisse géothermique de l'Algérie septentrionale, (Issaadi, 1992)). (fig. 3).

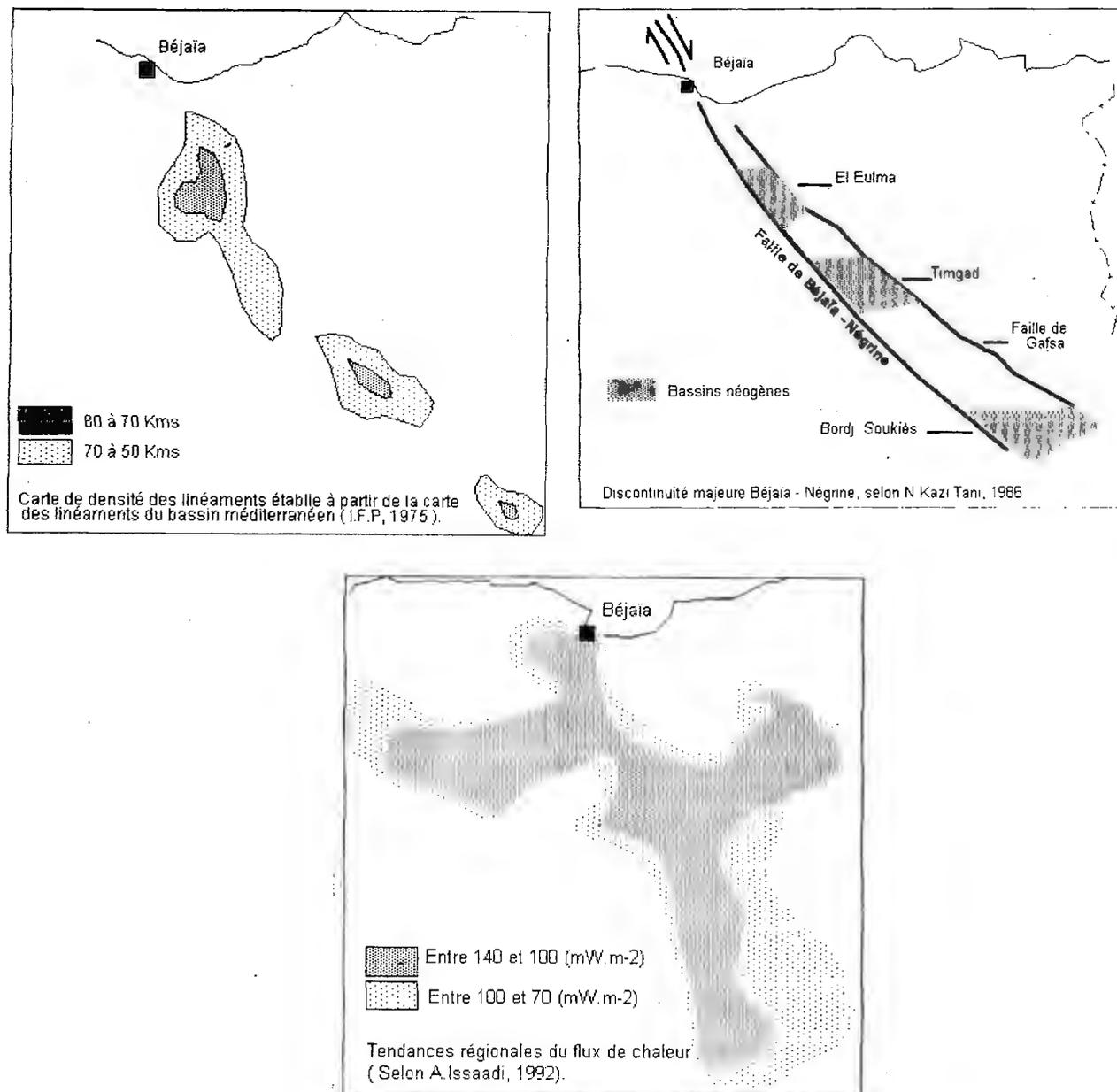


Fig. 3 - Mise en évidence d'une discontinuité majeure : Béjaïa -Négrine.
The major discontinuity of Bejaïa - Négrine

Nous pouvons alors admettre que l'origine du CO₂ endogène observé au niveau des sources minérales, thermales et thermominérales serait:

- thermométamorphique à l'Est de cette transversale comme en témoignent les valeurs du carbone 13 situés pour l'essentiel entre +3‰ et -4‰ tranche de valeurs compatibles avec le résultat obtenu sur la source de Chapuis (-3.05‰) qui émerge du granite de Tahabort dans le Hoggar.

- mantellique à l'Ouest car les résultats évoluent entre -5‰ pour mille et -8‰ pour mille, particulièrement au niveau des émergences du bas Chellif, Ain Franin, Bou Hadjar, Bouhnifia, Sillal, Sidi Yahia, de la région de Hammam Righa et de la Mitidja occidentale.

5 - CONCLUSION

Les résultats obtenus sur l'identification et l'origine des gaz associés aux sources minérales, thermales et thermominérales algériennes nécessitent des travaux complémentaires.

En effet, si les teneurs en carbone 13 apportent des informations essentielles sur l'origine du CO₂, il convient en toute rigueur d'établir systématiquement la composition isotopique du carbone total et de faire le bilan entre les diverses espèces carbonées présentes à l'émergence: CO₂ libre et dissous, bicarbonates et même méthane puisqu'il y a fractionnement isotopique entre ces différents états et formes. Par ailleurs, l'étude géochimique des gaz rares ainsi que celle de leurs rapports isotopiques devraient conforter les informations obtenues.

Les conclusions attendues permettraient conjointement aux données géologiques et géophysiques de mieux préciser la structure profonde de l'Algérie.

BIBLIOGRAPHIE

- BATARD, F. et al., 1979.** Les gaz rares, une caractéristique des sources thermales du massif central français. *CRAS*, Tome 228, Série D. pp.811-814
- BATARD, F. et al., 1980.** Détermination de l'origine du carbone par l'étude isotopique du système CO₂ - HCO₃ dans les sources thermales du massif central français. *CRAS, Paris*, Tome 290, Série D.
- BLAVOUX, B. ET BERTHIER, F., 1985.** Les originalités hydrologique et technologique des eaux minérales. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (8), Tome 1, N° 7, pp. 1033-1044.
- BOSCH, D. JAMAIS, M., BOUDIER, F. NICOLAS, A., DAUTRIA, J.-M. AND AGRINIER, P., 2004.** "Deep and high-temperature hydrothermal circulation in the Oman Ophiolite-Petrological and isotopic evidence.", *Journal of Petrology*, vol. 45, n° 6, pp. 1181-1208.
- CANNELAS, J. ET BLAVOUX, B., 1995.** Relation entre les structures géologiques, la structure géologique, la composition chimique des eaux minérales et leurs orientations thérapeutiques. *La Houille Blanche* 2/3.
- COLLIGNON, B., 1986.** Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des monts de Tlemcen. *Th. Doc. Université d'Avignon*, 282p.
- GRILLOT, J.C. ET SCHOELLER, M., 1989.** Exemple d'approche pluridisciplinaire dans la caractérisation d'eaux thermales carbo-gazeuses. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2, pp 211-228.
- GUARDIA, P., 1975.** Géodynamique de la marge alpine de l'Oranie Nord-occidentale. *Th. Doc. sciences. Université de Nice*.
- HATZFELD, D. ET AL., 1977.** Etude de la sismicité de la région de l'arc de Gibraltar et de l'Algérie du Nord. *BSGF* 19 (4), pp. 741-747.
- GUIGUE, S., 1940 et 1947.** Les sources thermominérales de l'Algérie. *Tome I et II, Serv, Carte Géol de l'Algérie* 3^{ème} série, 5^{ème} et 9^{ème} fasc.

IDENTIFICATION ET ORIGINE DES GAZS ASSOCIES AUX SOURCES MINÉRALES, THERMALES ET THERMOMINÉRALES ALGÉRIENNES. APPORTS À LA CONNAISSANCE DE LA GÉOLOGIE PROFONDE DE L'ALGÉRIE SEPTENTRIONALE.

- ISSAADI, A., 1988.** Les eaux carbogazeuses de la Mitidja occidentale. *Ières journées de géologie appliquée, Sfax, Tunisie, Tome2*, pp. 273-291.
- ISSAADI, A., 1992.** Le thermalisme dans son cadre géostructural. Apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. *Th. Doc. d'Etat, IST/USTHB*, 274pp.
- KAZI TANI, N., 1986.** Evolution géodynamique de la bordure Nord-africaine. Approche mégaséquentielle. *Th. Doc. es-sciences, Université de Pau*. 871p.
- LAGRULA, J., 1951.** Etude gravimétrique de l'Algérie-Tunisie. *BSCG de l'Algérie*, 4ème série, N°2.
- MAISONNEUVE, J. ET RISLER, J.J., 1974.** Le gaz carbonique hydrothermal en Auvergne. *Rev. Sc. Nat. d'Auvergne*. Vol.40, pp 27-47.
- NOVEL, J.P., ZUPPI, G.M., DRAY, M., FUDRAL, S., NICOD, G. AND LACOMPBE, P., 2001.** Mineralised waters and deep circulations in the French-Italian Alps. - *Water - Rock Interaction*, 2001. 569-571. Cidu (ed), ISBN 90-2651-824-2
- PILOT, J., 1974.** Les isotopes en géologie (méthodes et applications). *Ed. Doin*.
- PRINTZ CHRISTENSEN, B., HOLM, P.M., JAMBON, A. AND WILSON, R., 2001.** "Helium, Argon and Lead isotopes in volcanics from Santo Antao and Fogo, Cape Verde Islands," *Chemical geology*, vol. 178, pp. 127-142.
- ROUSSEL, J. ET TRUILLET, R., 1976.** Corrélation sismotectonique sur la bordure Nord de l'Afrique. *Bull. SC. Nat. Afrique du Nord*, Tome 67, Fasc. 3-4.
- VERDEIL, P. ET ISSAADI, A., 1985.** Le thermalisme de l'Ouest Algérien dans le cadre de la tectonique globale. *5ème Sém. Sc. de la Terre. Alger*.