

Tectonique et anomalies géothermiques Les sources thermominérales des bordures orientales et méridionales du massif du Pelvoux

par Jean SARROT REYNAULD *, Pierre André POULAIN **
et Adrien MARÇÉ **

SOMMAIRE. – Les sources thermominérales des bordures orientales et méridionales du Pelvoux se situent à l'intersection d'accidents de socle ayant joué à une période récente qui sont le siège d'anomalies thermiques importantes.

Les eaux des sources thermominérales résultent d'après les données chimiques et isotopiques de mélanges d'eaux chaudes profondes et d'eaux froides superficielles ou semi superficielles. Les indications fournies par les divers géothermomètres permettent d'estimer entre 130 et 200° la température des eaux chaudes en profondeur.

Dans le cadre de recherches systématiques sur les sources thermominérales des Alpes Françaises, un certain nombre d'observations et d'analyses nouvelles ont été réalisées sur les sources thermominérales qui émergent à l'est et au sud du massif du Pelvoux en bordure des vallées de la Guisane et de la Durance dans le département des Hautes Alpes. Les principales de celles ci sont :

– la source de la Liche des Chamois à la cote 1995 en rive droite de la vallée de la Guisane et sur le flanc oriental du massif du Combeynot, un peu au sud d'une fracture de direction N 40° E, de type dextre, qu'a aménagé le torrent de la Liche et qui décale le contact entre le socle granitique et sa couverture de conglomérats, grès et flysch ultra-dauphinois ;

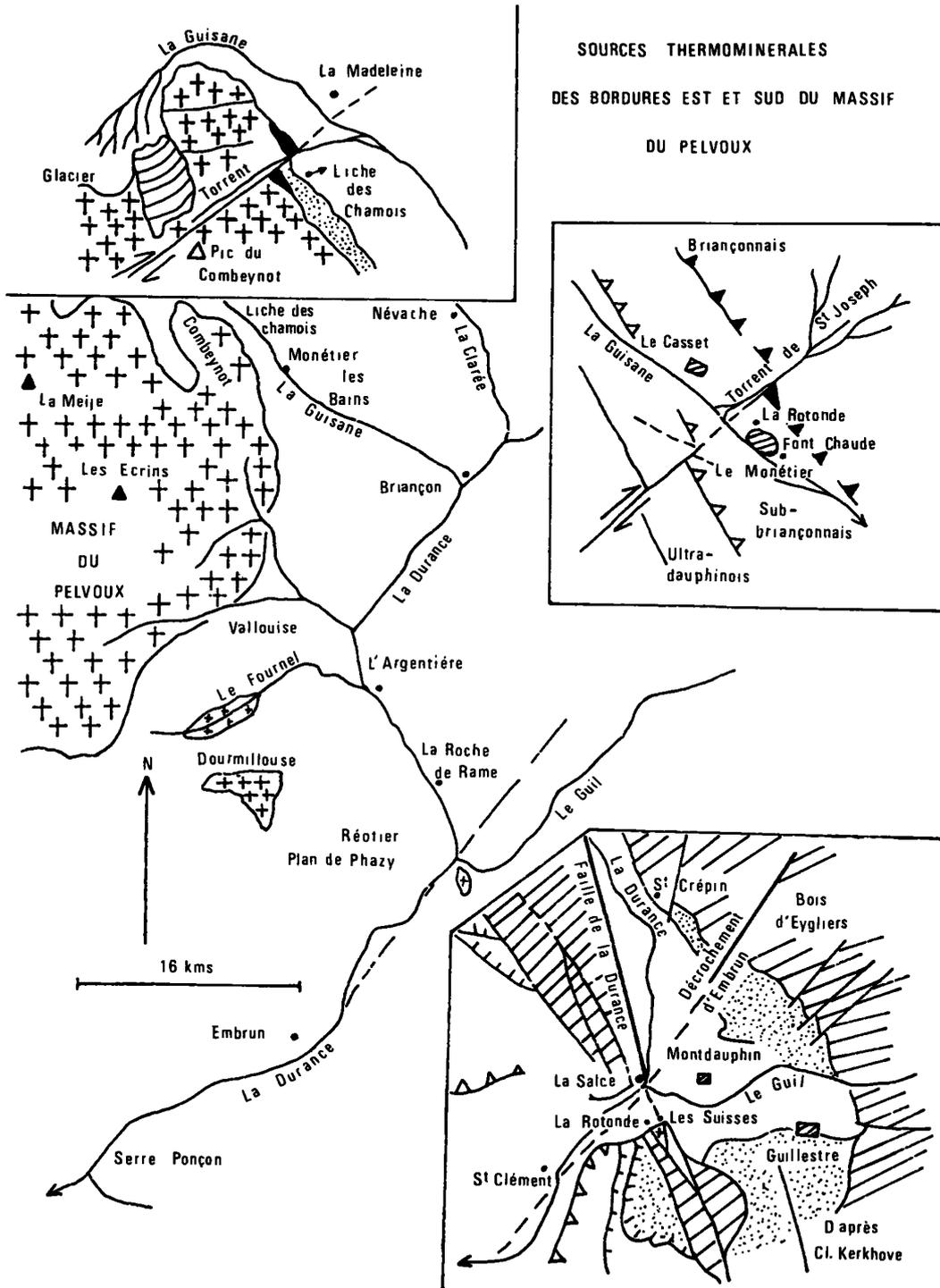
– les sources de Monétier-les-Bains avec deux émergences principales : source de la Rotonde au nord du village à l'altitude 1 500 m et source de Font Chaude à l'altitude 1 455 au sud, qui apparaissent dans la plaine alluviale de la Guisane à travers les formations alluviales et les travertins qui ont été déposés au cours des temps par ces sources. Elles se situent encore au sud d'un accident de type dextre et de direction N 40° E qui affecte au

niveau du torrent de Saint Joseph les formations briançonnaises et les gypses qui jalonnent leur chevauchement sur les formations subbriançonnaises dans lesquelles est entaillée la vallée de la Guisane dont le tracé pourrait correspondre à une grande fracture de direction N 140° E ;

– les sources de Plan de Phazy Réotier avec trois émergences principales : La Salce ou Fontaine pétifiante au bord nord de la vallée de la Durance, sur le territoire de la commune de Réotier, La Rotonde et les Suisses, au sud de la Durance et de la plaine de Barby à une altitude voisine de 890 mètres. Ce dernier ensemble de sources se trouve dans la zone de rencontre de la faille méridienne dite faille de la Durance qui correspond à la zone de fracture de Plan de Phazy et d'un décrochement transverse désigné sous le nom de décrochement d'Embrun qui décale lui le chevauchement des écaillés des unités frontales briançonnaises sur le flysch de l'Embrunais et se poursuit vers l'est dans le massif des Bois d'Eygliers ou de Peyrehaute au nord du Guil. En fait dans ce secteur, il y a un broyage intense de toutes les formations qu'il s'agisse de l'écaillé parautochtone de granite de Plan de Phazy ou des gypses du Trias.

* Laboratoire d'Hydrogéologie, Institut Dolomieu, Université de Grenoble I

** BRGM Orléans



Les eaux de toutes ces sources dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau I sont sulfatées calciques et chlorurées sodiques et proviennent du lessivage des évaporites du Trias (F. Blanchet 1940) (L. Moret 1946). Ce fait est démontré par les teneurs en isotope lourd du soufre des sulfates des eaux qui présentent toutes des valeurs $\delta \text{‰S34}$ comprises entre +15 et +17,5 correspondant aux valeurs observées sur tous les évaporites du Trias français. Les très faibles fluctuations observées entre les diverses sources sont le signe d'une activité bactérienne provoquant un fractionnement isotopique et se traduisant par la production de SH₂ riche en soufre léger et l'enrichissement des eaux en isotope lourd d'où l'apparition de $\delta \text{‰S34}$ moins fortement positifs (B. Bosch et al 1972).

Les valeurs $\delta \text{‰S34}$ observées permettent d'exclure l'hypothèse de réactions exothermiques d'oxydation des sulfures conduisant à la formation de sulfates et à un réchauffement des eaux.

Les valeurs des rapports Ca/Sr comprises entre 105 et 140 et celles des rapports Na/Li comprises entre 10 et 20 semblent bien aussi caractériser les évaporites du Trias, les fluctuations existant d'une source à l'autre pouvant provenir de différences de température des eaux en profondeur ou aux émergences ou de mélange avec des eaux ayant lessivé d'autres formations.

La composition des eaux des sources thermominérales n'est pas fondamentalement différente de celles des nombreuses sources normales que l'on peut observer sur les flancs des vallées de la Guisane et de la Durance qui sont également fortement sulfatées, mais si les concentrations atteintes dans les eaux des sources thermominérales étudiées proviennent de la solubilité croissante des sels minéraux avec la température des eaux, les proportions entre les ions SO₄ et Cl d'une part, Ca et Na d'autre part diffèrent d'une source à l'autre et d'avec celles des sources normales.

L'étude des isotopes qui font partie intégrante de la molécule d'eau : oxygène 18, deutérium et tritium montre que les eaux des sources thermominérales des bordures orientale et méridionale du massif du Pelvoux sont essentiellement des eaux d'origine météorique.

Sur un diagramme représentatif des rapports des valeurs δO18 et δH2 , les eaux prélevées aux émergences se situent de façon quasi parfaite sur la droite de Craig d'équation $\delta \text{H2} = \delta \text{O18} + 10$ qui caractérise les eaux météoriques.

Il n'apparaît pas dans les résultats observés qu'il y ait modification significative de la composition isotopique des eaux thermales par échange entre l'oxygène des eaux d'infiltration et celui entrant dans la composition des minéraux des roches traversées. Cet échange qui se traduit classiquement par l'apparition de valeurs δO18 positives ne se produit généralement qu'à des températures assez élevées et est difficile à déceler en cas de mélange entre de fortes proportions d'eaux superficielles et de faibles proportions d'eaux très chaudes ayant circulé à grande profondeur.

Les valeurs δO18 et δH2 montrent que les eaux étudiées proviennent de précipitations qui se sont produites à des températures moyennes correspondant à des altitudes moyennes de 2 300 mètres pour la Liche des Chamois et le Monétier et d'environ 1 900 mètres pour les sources de Réotier Plan de Phazy.

Ces altitudes sont aussi bien celles des bassins versants probables dominant les diverses sources thermominérales que celles des bassins versants de la Guisane et de la Durance à l'amont des points d'émergence.

La présence de tritium est aussi une preuve de l'origine météorique des eaux des sources étudiées. On peut admettre que la teneur moyenne en tritium dans les eaux de pluie durant l'année 1973 est proche de 100 Unités tritium dans la haute vallée de la Guisane où les influences méditerranéennes et atlantiques se font sentir ainsi qu'un important effet de continentalité (Ph. OLIVE, 1970), et de 80 U.T. dans la partie de la vallée de la Durance située à l'aval du confluent avec le Guil (L. TRON et al, 1975) (P. DULUC, 1973).

L'infiltration des eaux en profondeur se faisant généralement de façon extrêmement lente, alors que leur remontée est rapide, il est généralement admis que les circulations thermales les plus profondes sont pratiquement exemptes de tritium. Il en résulte que dans cette région comme dans beaucoup d'autres, les eaux qui parviennent aux émergences des sources thermominérales résultent de mélanges en proportions diverses entre des eaux chaudes profondes et des eaux froides plus ou moins superficielles provenant soit des versants montagneux soit des nappes des vallées alluviales.

L'utilisation des géothermomètres chimiques permet à partir des teneurs des eaux en certains éléments caractéristiques de déterminer les températures atteintes par les eaux aux diverses profon-

deurs, mais il est nécessaire de confronter entre eux les résultats obtenus par les diverses méthodes préconisées ces dernières années avant de pouvoir déterminer les proportions de mélanges entre les divers types d'eaux et l'importance des anomalies géothermiques existant dans la région.

La plupart des études à partir desquelles ont été définis les divers géothermomètres chimiques ayant été réalisées sur des sources d'eaux thermales issues essentiellement de roches cristallines intrusives ou éruptives et de roches cristallophylliennes, il convient d'être prudent lorsque l'on est amené à utiliser des géothermomètres dans des régions où les échanges entre les eaux et des terrains sédimentaires et en particulier des évaporites peuvent se produire, car les solubilités des minéraux rencontrés dans ces formations ne sont pas identiques à celles des minéraux des roches d'origine magmatique. Il pourrait donc paraître difficile d'utiliser de tels indicateurs dans la région étudiée ici, mais on peut tout de même penser raisonnablement que les eaux d'infiltration pénètrent à des profondeurs suffisamment importantes du fait de la fracturation intense des diverses formations géologiques et circulent pendant des temps suffisamment longs au contact et dans des formations cristallines très comparables à celles du massif du Pelvoux pour que la minéralisation acquise dans la traversée de ces formations traduise malgré ses modifications ultérieures, les températures atteintes en profondeur. Le géothermomètre silice permet de calculer à partir de la teneur en silice observée à l'émergence la température à laquelle le quartz, la chalcédoine, la cristobalite ou la silice résultant de l'hydrolyse des feldspaths des roches cristallines ont été mis en solution, sous réserve de vérification que la silice observée ne provient pas de dissolutions au niveau et à la température de l'émergence de silice de grès, quartzites ou même d'argiles. En fait, dans le cas de mélange entre eaux chaudes profondes et eaux superficielles ou semi-superficielles, la température T1 calculée par ce géothermomètre est la température minimum nécessaire à la mise en solution de la quantité de silice contenue par les eaux à l'émergence étant entendu qu'une partie de la silice contenue dans les eaux chaudes profondes peut avoir précipité dans la zone de mélange du fait de l'abaissement de la température des eaux. Les températures que l'on peut calculer par la formule de R.O. FOURNIER et A.H. TRUESDELL (1974)

$$t \text{ en } ^\circ\text{C} = \frac{1522}{5,75 - \log \text{SiO}_2} \text{ en p.p.m.} - 273$$

sont nettement plus élevées que celles observées aux émergences mais certainement inférieures aux températures maxima atteintes par les eaux chaudes en profondeur. Elles s'échelonnent entre 55 et 95°C.

L'utilisation du géothermomètre Na/K préconisé par A.J. ELLIS (1970) paraît moins bien adaptée au problème d'une région où l'on trouve beaucoup de formations évaporitiques. Les rapports Na/K compris entre 27 et 69 sont trop proches pour la plupart des sources thermales de la valeur de 40 qui caractérise les eaux de mer pour être significatifs bien que les variations de ce rapport d'une source à l'autre puissent être en liaison avec la température des eaux comme nous le verrons plus loin.

L'utilisation du géothermomètre Na K-Ca préconisé par R.C. FOURNIER et A.H. TRUESDELL (1973) et basé sur la solubilité respective de ces ions lors des réactions qui affectent les minéraux des roches cristallines et spécialement les feldspaths doit être faite avec précaution bien que les solubilités relatives de ces ions en fonction de la température semblent varier dans le même sens pour les évaporites et pour les roches cristallines.

$$t^\circ\text{C} = \frac{1647}{\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{Ca/Na}}} + 2,24 - 273$$

à partir de la composition molaire des eaux correspondent à des températures maximales atteintes par les eaux en profondeur puisqu'elles correspondent à des teneurs en sodium potassium et calcium qui restent faibles vis-à-vis des valeurs de saturation et ne sont pas modifiées par refroidissement des eaux lors d'un mélange au cours de la remontée vers la surface. Les températures T2 calculées s'échelonnent entre 130 et 200 degrés mais n'ont pas une valeur absolue en raison de l'influence des couches salifères et des eaux froides qui y circulent.

L'utilisation du géothermomètre géologique mis au point par H. et M. SCHOELLER (1976) est basée elle sur la détermination de coefficients de mise en solution calculés à partir de la composition chimique des roches cristallines dans lesquelles peuvent circuler les eaux profondes et qui fournissent la silice et la plus grande partie de la soude et de la potasse quand il n'y a pas de roches salifères au voisinage de la source considérée :

$$n = \frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{SiO}_2 - \text{SiO}_2'} \quad m = \frac{\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}}{\text{SiO}_2 - \text{SiO}_2'}$$

Les teneurs en Na, K, Ca et Mg sont exprimées en milliéquivalents et celle de la silice en mole; SiO₂' est la quantité de silice restant fixée sous forme d'argile lors de la décomposition du feldspath. Dans le cas d'un feldspath alcalin conduisant à de la Kaolinite SiO₂' est égal à 2 (Al₂ O₃) exprimé en mole.

La composition chimique moyenne du socle granitique au voisinage de la Liche des Chamois : granites du Combeynot, de l'Eychauda et du Pelvoux est la suivante (A. BARBIERI, 1970).

SiO₂ : 71,1, Al₂ O₃ : 14 %, MgO : 1,41 %, CaO : 1,27 %, Na₂ O : 3,28 %, K₂ O : 4,46 %.

Exprimée en équivalents pour Mg, Ca, Na et K et en mole pour SiO₂ et Al₂ O₃, elle conduit à n = 0,220 et m = 0,347.

L'écaille de granite de Plan de Phazy dont la composition est pratiquement celle du granite du Pelvoux malgré son état d'altération montre que ce type de roche peut constituer le soubassement de l'ensemble du secteur étudié. Il est donc possible de calculer la température T₃ atteinte par les eaux dans l'aquifère profond en utilisant les formules :

$$\frac{Na + K + Cl}{n} = SiO_4H_4$$

$$\frac{Na + K + Ca + Mg - Cl}{m} = SiO_4H_4$$

où les teneurs en ions contenus dans les eaux sont exprimées en milliéquivalents et la valeur de SiO₄H₄ est obtenue en millimoles, ce qui permet par les formules classiques de trouver la température atteinte en profondeur puisque cette teneur en silice est la teneur maxima atteinte par les eaux chaudes avant leur mélange lors de leur remontée vers la surface avec des eaux superficielles.

Nous avons obtenu des valeurs qui vont de 165 à 293, sans que le calcul puisse être réalisé pour la Liche des Chamois en raison des trop fortes teneurs en ions sulfates dans les eaux de cette source.

Pour vérifier les résultats assez divergents obtenus, il est encore possible d'utiliser la méthode proposée par R.C. FOURNIER et A.H. TRUESDELL (1974) dans laquelle on étudie les courbes d'équilibre de la température et de la teneur en silice en fonction du pourcentage de mélange entre des eaux profondes et les eaux superficielles.

Connaissant la teneur en silice et la température des eaux normales qui varient de 6 à 9° et de 2 à 6 p.p.m. de silice de 1 900 à 1 000 mètres d'altitude

et en supposant que l'on a seulement des mélanges binaires, on obtient à l'intersection des courbes d'équilibre des températures et des teneurs en silice de chaque source les températures T₄ et les pourcentages de mélange entre les eaux chaudes profondes et les eaux superficielles.

Les valeurs T₄ obtenues diffèrent notablement des températures T₃ et bien que plus faibles sont plus proches des températures T₂. Elles sont vraisemblablement assez voisines de la réalité car non influencées par la présence des évaporites.

La valeur obtenue pour la Liche des Chamois est cependant étonnante et pourrait se trouver fortement exagérée par suite de l'existence d'un déséquilibre dû à un dégagement de gaz ou de vapeur ou au mélange de plus de deux composants qui n'est pas pris en compte par la méthode de calcul.

Il est intéressant de comparer les valeurs des pourcentages d'eau froide dans le mélange obtenus par cette méthode qui s'étagent de 78 à 94 % avec les résultats des études isotopiques et spécialement les teneurs en oxygène 18 et Tritium.

Il est en effet à peu près certain que si un échange se produisait en profondeur entre l'oxygène de l'eau et l'oxygène des minéraux des roches traversées, les modifications qui en résulteraient pour O₁₈ seraient très difficiles à déceler après mélange dans les fortes quantités d'eaux superficielles envisagées ici.

De même si l'on envisage pour la source de la Rotonde de Monétier le mélange d'environ 20 % d'eau chaude profonde sans tritium avec 80 % d'eau superficielle contenant environ 100 unités tritium et qui pourrait être celle de la nappe de la Guisane, on retrouve la teneur de 80 U.T. qui a été observée à l'émergence de la source ce qui semble confirmer la validité des résultats obtenus. Le même raisonnement ne conduit pas à des résultats concordants pour la source de la Fontaine Chaude de Monétier bien que l'ordre de grandeur des proportions de mélange puisse paraître encore acceptable.

Pour les autres sources et spécialement pour la Liche des Chamois, il devient impossible de comparer les pourcentages de mélange calculés par la méthode des courbes d'équilibre avec ceux auxquels conduiraient des mélanges entre eaux profondes chaudes sans tritium et eaux superficielles à 100 U.T.

Il faut alors admettre que pour ces sources le mélange se fait avec des eaux semi-superficielles circulant très lentement mais non profondément dans les formations quaternaires ou sédimentaires

	Sr meq	Ca meq	Mg meq	Na meq	K meq	Li 10-3 meq	HCO ₃ ^s meq	SO ₄ meq	Cl meq	F meq	SiO ₂ ppm
La Liche des Chamois	0,262	27,7	11,3	43,2	1,03	228	7,24	54	24,3	0,07	44
Le Monétier { La Rotonde Fontaine chaude	0,178	24,6	4,16	9,7	0,35	99	8,28	23	9,4	0,07	23
Plan { Les Suisses La Rotonde	0,198	25,2	4,58	11,3	0,39	102	7,52	24,6	9,9	0,08	25
de { La Rotonde	0,308	37	7,5	44,7	0,66	228	10,6	38,3	41,1	0,06	21
Phazy { La Salce	0,239	32,9	8,9	70,2	1,02	350	16	30	69,6	0,057	23
	0,242	30	6,5	32,4	0,49	157	7,2	31,6	30,4	0,046	20

	Altitude en mètres	Débit en l/sec.	° émer- gence en °C	O ¹⁸	Deu- terium	Tritium Nov. 1973 en U.T.	T 1 Silice	T 2 Na-K-Ca équilibre	T 3 équilibre eau-roche	T 4 dia- gramme équilibre	% eau froide
La Liche des Chamois	1995	5	24	- 13,8	- 103,5	4 ± 2	97	197		(298)	
Le Monétier { La Rotonde Fontaine chaude	1500	15	35,4	- 13,6	-	80 ± 6	73	194	165	130	78
Plan { Les Suisses La Rotonde	1455	8	34,5	- 13,7	- 101,2	61 ± 5	76	193	224	135	79
de { La Rotonde	890	5	26,8	- 12,3	-	11 ± 3	70	168	(293)	150	87
Phazy { La Salce	890	5	27,4	- 12,3	- 91,4	30 ± 4	73	176	244	165	88
	890	10	21,2	- 12,3	-	21 ± 3	69	165	248	190	93

plus anciennes des versants ou des fonds des vallées et avec des quantités très variables mais faibles d'eaux de l'année (S. et J. SARROT-REYNAULD, 1977).

On en vient donc à une conception d'un système complexe comportant des circulations profondes atteignant le socle cristallin et s'y thermalisant, des eaux froides semi-superficielles circulant très lentement et des eaux superficielles dont l'âge serait voisin de l'année de prélèvement.

En ce qui concerne la Liche des Chamois en particulier, dont la teneur en silice est inexplicable compte tenu de sa température, il faut admettre soit que ses eaux subissent des pertes calorifiques importantes par conduction ou convection qui ne pourraient se faire que dans une zone très broyée qui alors laisserait pénétrer les eaux de précipitation récentes, soit qu'il se fasse assez près de l'émergence un mélange entre des eaux très froides provenant de la fonte de glaces anciennes et par conséquent presque sans tritium et des eaux chaudes profondes dont le débit serait très peu important. La dernière hypothèse est plausible compte tenu de l'environnement de l'émergence.

Toutes les méthodes de calcul employées permettent donc de penser que les températures des eaux chaudes sont au minimum de 130 degrés et vraisemblablement plus élevées ce qui implique l'existence d'anomalies thermiques importantes mais vraisemblablement localisées sur les bordures est et sud du massif du Pelvoux si l'on ne veut pas envisager un enfouissement des eaux à des profondeurs déraisonnables.

On peut certes essayer de relier ces anomalies thermiques aux phénomènes volcaniques qui se sont manifestés dans la région : andésites permianes du Guil, tertiaires de Puy Goléfre ou encore aux grands chevauchements qui ont amené l'empie-

lement des nappes dans les zones internes des Alpes et qui dans d'autres régions sont responsables d'un léger métamorphisme thermique mais outre que le volcanisme est trop ancien pour être à l'origine des anomalies envisagées, leur localisation permet aussi d'exclure l'hypothèse de l'influence des grands chevauchements d'ailleurs anciens eux aussi, car il existe nombre de sources normales sulfatées mais froides au niveau de ces chevauchements.

Il semble donc que ce soit leur position sur de grands accidents de socle et plus précisément à l'intersection de tels accidents tant nord-sud qu'est-ouest qui sont les plus récents dans la région (J.-C. BARFÉTY et M. GIDON, 1975) et dont certains sont le siège d'une activité sismique non négligeable à mettre en liaison avec des mouvements d'isostasie qui permette d'expliquer l'existence des anomalies correspondant à la présence de sources thermominérales soit que l'énergie mécanique mise en jeu lors de ces mouvements se transforme en énergie calorifique soit que les zones de fracture soient comme dans bien d'autres régions du monde des zones favorables pour la dissipation du flux de chaleur d'origine profonde.

De nouvelles études géochimiques doivent permettre de préciser les températures atteintes par les eaux en profondeur et des mesures géophysiques devraient elles permettre de confirmer la position et l'extension des anomalies thermiques existantes qui ont été reconnues par ailleurs dans le secteur de Serre-Ponçon dans le prolongement du décrochement d'Embrun. Il serait ainsi possible de déterminer les conditions de captage et d'utilisation d'une source d'énergie qui semble accessible dans des conditions assez favorables mais seule une étroite confrontation entre les données géologiques et spécialement tectoniques et les données physico-chimiques peut conduire à une interprétation correcte des phénomènes observés dans ce secteur des Alpes.

BIBLIOGRAPHIE

- BARFETY (J. C.) et GIDON (M.) (1975). - La place des failles longitudinales dans la structure du Briançonnais oriental. *C.R.A.S.*, t. 281, série D, p. 1677.
- BARBIERI (A.) (1970). - Etude pétrographique de la partie orientale du massif des Ecrins, Pelvoux. Les granites. Thèse 3^e cycle, Grenoble.
- BLANCHET (F.) (1940). - Les sources thermominérales de Plan de Phazy et de Réotier. *Trav. Lab. Géol. Grenoble*, t. 22, p. 1
- BOSCH (B.), CORDEAU (J.-Y.), CORDEAU (F.), FOURNEAUX (J. C.), MARÇÉ (A.) et SARROT-REYNAULD (J.) (1972). - Le dosage des isotopes du soufre et la détermination de l'origine des sulfates dans les eaux. 2^e coll. Pollution et Protection eaux, Lyon, p. 675.
- BOSCH (B.), DAZY (J.), LEPILLER (M.), MARÇÉ (A.), OLIVE (Ph.), POULAIN (P. A.) et SARROT REYNAULD (J.) (1976). - Données nouvelles sur quelques sources thermominérales des Alpes Françaises. International Congress on thermal waters. IAHS Athènes, octobre 1976.
- DEBELMAS (J.) (1955). - Les zones subbriançonnaise et briançonnaise occidentale entre Vallouise et Guillore. *Mémoires Carte Géographique France*.
- DULUC (P.) (1973). - Etude hydrogéologique du bassin versant du Petit Buech, région de Veynes. Thèse 3^e cycle, Grenoble.
- ELLIS (A. J.) (1970). - Quantitative interpretation of chemical characteristics of hydrothermal systems. *Geothermics*, U.N. Symposium Pise, p. 516-528.
- FOURNIER (R. O.) et ROWE (J. J.) (1966). - Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet stream wells. *American Journal of Science*, vol. 264, p. 685-697.
- FOURNIER (R. O.) et TRUESDELL (A. H.) (1970). - Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot springs waters of Yellowstone Park. *Geothermics* U.N. Symposium, Pise, vol. 2, part. I, p. 529.
- FOURNIER (R. O.) et TRUESDELL (A.-H.) (1973). - An empirical Na-K Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et cosmochimica acta*, vol. 37, p. 1255-1275.
- FOURNIER (R. O.) et TRUESDELL (A. H.) (1974). - Geochemical indicators of subsurface temperature. *Journal Research. US Geological Survey*, vol. 2, n° 3, p. 263-270.
- KERCKHOVE (Cl.) (1969). - La zone du flysch dans les nappes de l'Embrunais Ubaye. *Géologie Alpine*, t. 45, p. 5-204.
- LACOMBE (J. C.) (1970). - Etude pétrographique de la partie orientale du massif des Ecrins, Pelvoux. Le complexe volcanosédimentaire. Thèse 3^e cycle, Grenoble.
- MORET (L.) (1946). - Les sources thermominérales. Masson, Paris.
- OLIVE (Ph.) (1970). - Contribution à l'étude géodynamique du cycle de l'eau dans l'hémisphère nord par la méthode du tritium. Doctorat, Paris.
- SALEHI (E.) et SARROT REYNAULD (J.) (1977). - Détermination des taux de mélange des eaux thermominérales et superficielles par utilisation des géothermomètres chimiques en Azerbaïdjan oriental (Iran). 102^e Congrès national Sociétés Savantes. Limoges.
- SARROT REYNAULD S. et J. (1977). - Alimentation des nappes et mélanges des eaux souterraines : origine des eaux souterraines dans la plaine de Bourg d'Oisans (Isère). 102^e Congrès national des Sociétés Savantes, Limoges.
- SCHOELLER H. et M. (1976). - Calcul de la température de l'eau des sources thermominérales à leur origine profonde. *C.R.A.S.*, t. 283, p. 753-756.
- TRON (L.), MARÇÉ (A.), OLIVE (Ph.), SARROT REYNAULD (J.) et JAMIER (D.) (1975). - Apports des analyses isotopiques à l'étude d'un bassin versant expérimental : le bassin de Saint Genis (Hautes Alpes). *C.R.*, 100^e Congrès national des Sociétés Savantes, Paris, p. 113-124.