

## LA SOURCE THERMALE DE LAVEY-LES-BAINS (CANTON DE VAUD, SUISSE)

G. BIANCHETTI  
Bureau Hydrogéologie - Géologie - Géothermie  
Rue de l'Asile 5 B, Sierre, Suisse

RESUME La source thermique de Lavey-les-Bains, la plus chaude de Suisse avec ses 62°C, est exploitée depuis 1973 par un forage de 201 m. De nouveaux forages et une étude géothermique régionale ont permis de mettre en évidence le rôle du Trias, qu'on suppose assez redressé dans la région, dans la remontée des eaux thermales, malgré leur chimisme caractérisé par la présence de ions typiques d'une circulation dans le cristallin. La température du réservoir profond a été estimée à environ 100°C et les eaux se seraient infiltrées avant 1953. La similitude chimique avec l'eau thermique de St-Gervais suggère un aquifère thermal semblable.

## INTRODUCTION ET HISTORIQUE

La source thermique de Lavey-les-Bains émerge à une altitude de 420 m à environ 40 km au Sud-Est de Lausanne, près de la ville de St-Maurice (Fig. 1); elle alimente un important établissement thermal, propriété de l'Etat du canton de Vaud. Depuis 3 ans, le site fait l'objet de nouvelles recherches d'eau thermique et une étude géothermique régionale est menée par le Centre de Recherches Scientifiques Fondamentales et Appliquées de Sion, dont le but est le captage d'eau thermique par forage profond (>1000 m) pour le chauffage à distance en ville de St-Maurice. Ces études ont permis de formuler quelques hypothèses quant à l'origine et au circuit hydrogéologique profond de cette eau.

Découverte par hasard en 1831 sur les berges du Rhône, cette source thermique fut exploitée pendant presque un siècle par un captage peu profond. Afin d'éviter les mélanges néfastes de l'eau thermique avec l'eau froide de la rivière et de la nappe aquifère superficielle, le puits fut approfondi en 1943 jusqu'à -28 m, sans pourtant obtenir le succès escompté. Sa température variait irrégulièrement entre 33 et 49°C et sa minéralisation oscillait de 500 à 1250 mg l-1.

Un forage de 201 m fut réalisé en 1972 dans le but d'augmenter le débit, avec succès. La température passa ainsi d'environ 40 à 62°C, ce qui en fait la source la plus chaude de Suisse, et le débit fut décuplé. En 17 ans d'exploitation, l'eau thermique a affiché des caractéristiques physico-chimiques étonnamment stables. Par contre, une diminution notable du débit apparut en février 1984. Ce phénomène, bien que de courte durée, est resté inexplicable et a convaincu les responsables de la source thermique de la nécessité de disposer d'un deuxième puits de pompage. Les travaux de captage, réalisés en 1989, sont décrits ci-après.

## CONTEXTE GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIQUE

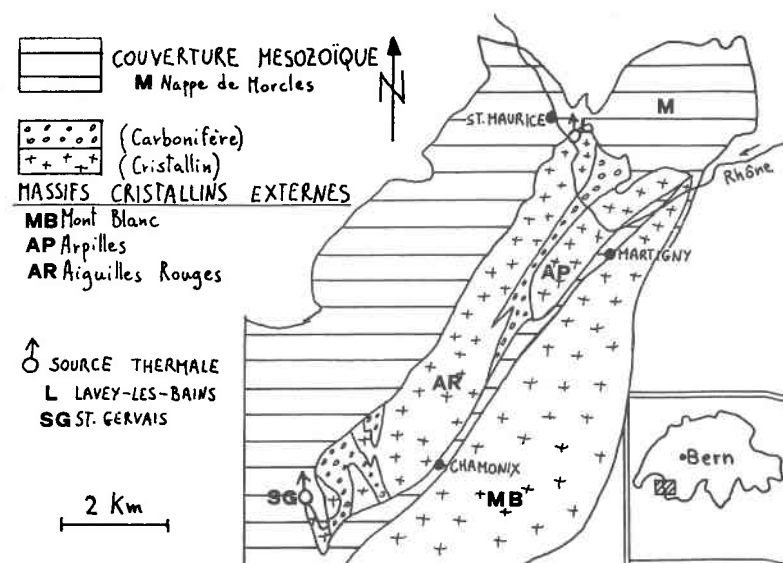


FIG. 1 Ecorché géologique régional et situation du site thermal.

La géologie de la région comprend schématiquement deux ensembles géologiques (Fig. 1) :

- Un autochtone, comprenant le massif gneissique des Aiguilles Rouges et sa couverture sédimentaire, plus ou moins décollée, dont les terrains s'étirent du Trias au Nummulitique. Le socle est composé de gneiss gris-verts fissurés, injectés de microgranites, migmatites et granodiorites. La lithologie de la couverture est très variable avec une succession de roches évaporitiques (gypses et dolomies) suivies par des calcaires en bancs franchement marins, des calcaires siliceux et des grès et pour terminer des schistes et marnes (Flysch).
- Un allochtone, représenté par la nappe de Morcles, une unité sédimentaire représentée par un grand pli couché. Les formations qui la composent vont principalement du Crétacé au Nummulitique. Les faciès sont semblables à ceux décrits ci-dessus.

L'exutoire thermique se situe sur rive droite du Rhône en proximité du contact géologique socle-sédimentaire, qui est assez redressé sur ce versant de la vallée (Fig. 3).

L'hydrogéologie du site thermal est caractérisée par la coexistence d'un aquifère à porosité d'interstices (nappe phréatique) et d'un aquifère à porosité de fissures (nappe d'eau thermique). La nappe phréatique, alimentée en grande partie par le Rhône en période de hautes-eaux, occupe les pores du remplissage quaternaire de la vallée glaciaire et plus précisément sa partie supérieure (plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur) composée essentiellement de graviers et sables fluviaux, et de lambeaux morainiques.

La nappe d'eau thermale circule dans les zones fissurées du cristallin et probablement aussi dans des chenaux de dissolution dans les gypses du Trias.

Un puits de 201 m foré dans les gneiss capte l'eau thermale entre 130 et 200 m de profondeur, la partie haute de l'ouvrage étant complètement cimentée. Les plus importantes venues d'eau à 62°C se localisent dans de grosses fractures ouvertes à remplissage sableux, d'âge récent et postérieur au retrait du glacier du Rhône. Il pourrait s'agir de fractures de décompression et destabilisation des versants rocheux, par lesquelles l'eau thermale transite lors de la partie finale de son trajet ascendant. A plus grande profondeur, l'eau thermale doit remonter le long des bords de la vallée (le fond rocheux de celle-ci aurait une profondeur dépassant 500 m !), car son remplissage est caractérisée par des argiles glacio-lacustres, imperméables. L'exploitation se fait par pompage avec un débit moyen de 400 l min<sup>-1</sup> pour un rabattement d'environ 20 m. En absence de pompage, l'eau thermale ascendante diffuse massivement dans la nappe phréatique, provoquant des anomalies thermiques et chimiques. Si la perméabilité du quaternaire le permet, on aurait alors l'apparition de sources thermales sur les berges du Rhône en période de basses-eaux, comme lors de la découverte de la source thermale en 1831. Depuis la mise en exploitation du puits profond en 1973, l'eau thermale captée par le puits de 28 m a complètement perdu ses caractéristiques thermominérales.

#### CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU THERMALE

Etablissement Thermal				Etablissement Thermal			
Forage profond, 12.8.88				Forage profond, 12.8.88			
<b>1. Kationen</b>				<b>1. Undissolvierte Bestandteile</b>			
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,36	0,02	0,45			
Lithium	Li <sup>+</sup>	3,2	0,46	3,2			
Natrium	Na <sup>+</sup>	331	14,40	335			
Kalium	K <sup>+</sup>	15	0,39	13			
Magnesium	Mg <sup>2+</sup>	2,5	0,21	3,0			
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	53	2,64	52			
Strontium	Sr <sup>2+</sup>	1,1	0,03	2,0			
Mangan	Mn <sup>2+</sup>	0,009	-	0,019			
Eisen	Fe <sup>2+</sup>	0,03	-	0,15			
Kupfer	Cu <sup>2+</sup>	0,006	-	0,004			
Cadmium	Cd <sup>2+</sup>	<0,0001	-	-			
Zink	Zn <sup>2+</sup>	<0,01	-	0,008			
Blei	Pb <sup>2+</sup>	<0,001	-	<0,001			
Summe 1		406,19	18,15	409,24			
<b>2. Anionen</b>				<b>4. Summe der gelösten festen Bestandteile</b>			
Fluorid	F <sup>-</sup>	6,6	0,35	6,7	Summe 1 Kationen	406,19 mg/l	
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	221	6,23	222	Summe 2 Anionen	801,85 mg/l	
Bromid	Br <sup>-</sup>	1,9	0,02	1,6	Summe 3 Undiss. Bestandteile	106	
Iodid	I <sup>-</sup>	0,35	-	0,35		1314,04 mg/l	1320 mg/l
Nitrit	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,01	-	-		rund 1314	
Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<0,1	-	<0,1	<b>5. Trockenrückstand</b>		
H <sup>+</sup> carbonat	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	82	1,35	88,5	a) berechnet unter Berücksichtigung des Ueberschusses des Hydrogenkarbonates in Karbonat		
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	490	10,19	490	2 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> → CO <sub>2</sub> 1273		
H <sup>+</sup> phosphat	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<0,05	-	-	b) bestimmt nach Trocknen bei 104 °C 1289		
Summe Anionen 2		801,85	18,14	809,15	<b>6. Gelöste Gase</b>		
					Sauerstoff O <sub>2</sub>	0	0 mg/l
					Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S	3,9	4,0 mg/l
					Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	0	<5
					<b>7. Physikalische Daten</b>		
					Wassertemperatur	61,4	62 °C
					(Lufttemperatur 25 °C)		
					Leitfähigkeit in Mikrosiemens/cm bei 20°	1833	1720
					Wasserstoffionenkonzentration, Reaktion		7,8
					pH	8,0	
					Redox-Potential: U <sub>0</sub> = -230 mV, U <sub>1</sub> = 180 mV,		
					U <sub>2</sub> = -50 mV		

TABLEAU 1 Analyse chimique de l'eau thermale (1988) et comparaison

L'eau thermominérale captée par le forage de 201 mètres a une minéralisation totale d'environ 1.3 g l<sup>-1</sup>, ce qui est relativement bas si on considère la température élevée de l'eau (62°C) qui en fait l'eau thermale la plus chaude actuellement captée en Suisse par un établissement thermal (un forage de 1547 m à Riehen, près de Bâle, capte depuis 1988 de l'eau à 67°C qui sera exploitée pour le chauffage à distance). La classification chimique basée sur les ions majeurs représentant plus de 20% des cations ou des anions est la suivante (Fig. 2) :

Na ; SO<sub>4</sub> > Cl

La somme de ces ions représente presque 90% de la composition totale.

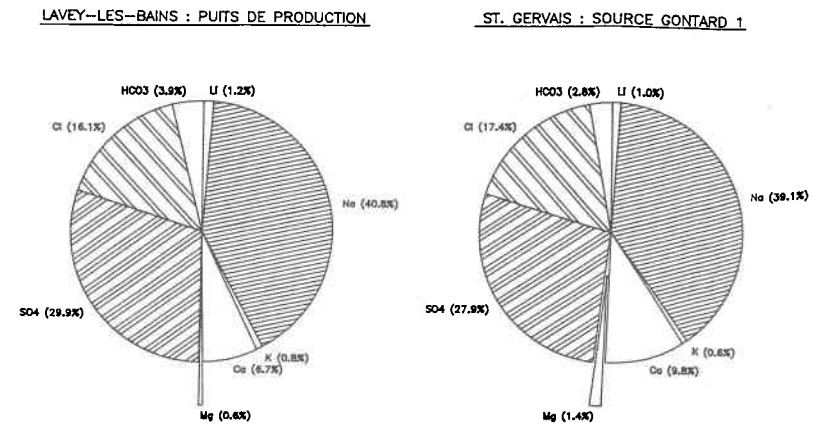


FIG. 2 Répartition des principaux ions des eaux thermales de Lavey-les-Bains et de St-Gervais.

D'après le Manuel Suisse des Denrées alimentaires, l'eau peut être en outre définie sulfureuse, lithinée, fluorée, borique, étant donné que la teneur en ces éléments dépasse 1 mg l<sup>-1</sup>, et riche en silice dissoute (70 mg l<sup>-1</sup>).

La présence des chlorures a été longtemps attribuée au lessivage de sel gemme, dont il existe des mines 5 km au Nord de Lavey-les-Bains. On a mis alors en relation le parcours des eaux thermales avec l'Ultrasuisse de la nappe de Bex (Zahner, 1974). Or, les forages profonds effectués dans les années 80 par la société coopérative nationale pour l'entreposage des déchets radioactifs (CEDRA) dans le cristallin profond du plateau suisse, constitué uniquement de granites et gneiss, ont mis en évidence des eaux saumâtres de type Na-Cl (Pearson, 1985). La présence des chlorures a été expliquée, entre autres, par le lessivage, avec des temps de transit et des températures élevées, de micro-fractures du cristallin à remplissage de sel gemme d'origine marine (Nordstrom & Olsson, 1987). D'autres éléments chimiques, fortement enrichis dans l'eau thermale, sont des

indicateurs certains d'une circulation dans le cristallin : lithium, fluor, silice et, parmi les traces : rubidium et césium. Par contre, la présence des sulfates pourrait être attribuée à un lessivage tardif des gypses du Trias, quoique la teneur en calcium soit insuffisante pour confirmer cette hypothèse, sauf si on imagine un échange ionique dans des argiles, où Ca serait progressivement remplacé par Na.

Le chimisme des eaux froides de la région est de type bicarbonaté-calcique, parfois sulfato-calcique. L'augmentation des éléments alcalino-terreux dans l'eau thermale est le meilleur indice d'un mélange avec les eaux de surface. Les mesures hebdomadaires de température effectuées depuis la mise en exploitation du puits ont montré des variations inférieures à 5% et qui sont imputables aux variations du débit de pompage et aux différents thermomètres utilisés plutôt qu'à des mélanges avec des eaux plus froides.

L'utilisation des géothermomètres Na-K-Ca et quartz donne des températures du "réservoir profond" assez concordantes, de l'ordre de 100°C (Vuataz, 1982) : en Suisse, seule l'eau thermale de Brigerbad promet des températures aussi élevées en profondeur. Ces résultats laissent supposer une solution aqueuse en équilibre avec les feldspaths alcalins et le quartz à 100°C. Le géothermomètre isotopique des sulfates ( $\delta^{18}O$  dans l'eau = -13.50‰ ;  $\delta^{18}O$  dans les sulfates = +8.5‰) donne une température plus faible, d'environ 70°C. Ce phénomène pourrait s'expliquer par une dissolution d'évaporites, qui entraînerait un enrichissement du  $\delta^{18}O$  des sulfates dissouts du fluide analysé : les teneurs en  $\delta^{18}O$  dans les sulfates seraient alors sur-estimées, ce qui induit une sous-estimation de la température calculée. Des valeurs élevées de  $\delta^{34}S$  dans les sulfates (+ 21.9‰) confirment l'hypothèse d'une dissolution tardive de minéraux sulfatés des couches triasiques, qui a probablement lieu lors de la remontée des eaux thermales.

L'origine météorique de l'eau thermale est confirmée par la relation entre l'oxygène-18 et le deutérium, situées sur la droite des eaux météoriques de Craig. On ne constate pas d'enrichissement en oxygène-18, donc il n'y a probablement pas échange isotopique eau-roche à des températures supérieures à 100°C. L'altitude du bassin d'alimentation a été estimée à 1750 m (Vuataz, 1982), mais cette valeur doit être considérée comme minimale, étant donné le faible mélange de l'eau thermale pompée avec les eaux de la nappe phréatique alimentée par le Rhône (lire ci-après).

La teneur en tritium est faible ( $3.2 \pm 0.6$  UT en mars 1990). Sa concentration décroît lentement au cours des années :

Date	1973	1975	1977	1978	1988	1989
Tritium (UT)	13.2	14.9	6	10	3.7	3.2

Cette décroissance peut être expliquée par un mélange (qu'on peut estimer à 5-10%) constant et régulier entre une eau thermale sans tritium venant des profondeurs et une eau tiède ou froide de la nappe phréatique riche en tritium (Vuataz, 1982). L'âge de l'eau thermale dépasserait alors 37 ans et une température d'environ 65-67°C serait probablement mesurée en tête de puits si ce mélange n'avait pas lieu.

#### NOUVEAUX TRAVAUX DE CAPTAGE, RESULTATS ET ENSEIGNEMENTS

Un nouveau puits de pompage a été réalisé en 1989 à 70 m du puits d'exploitation de 201 m. Il s'agissait de pouvoir disposer d'un deuxième puits de pompage, à utiliser comme puits de secours (pour garantir l'approvisionnement de l'Etablissement thermal en cas

d'accident au puits d'exploitation) et puits d'appoint (pour répartir les rabattements sur deux puits lors des périodes de fort pompage).

Plusieurs études précédèrent l'implantation du puits P205, géophysique, réexamen des travaux ayant mené à l'implantation de P201 en 1972, réalisation d'un forage de reconnaissance de 200 m (P13), essais de pompage dans les forages P12 (170 m) et P13. Les travaux du nouveau puits P205, réalisés en deux étapes, ont commencé en juillet 1989 et ont duré, essais compris, 10 mois. La première étape a vu la réalisation d'un forage de 205 mètres avec un diamètre de 25 cm. Les résultats des premiers essais de pompage n'ayant pas été satisfaisants, il fut décidé, lors de la deuxième étape et en accord avec le programme des travaux, d'approfondir le forage à 250 m avec un diamètre de 17 cm.

Le forage a traversé 26 m de quaternaire et ensuite une série monotone de gneiss appartenant à l'unité tectonique du Massif des Aiguilles Rouges. Ces gneiss se sont malheureusement révélés, à l'exception de quelques rares zones fissurées, très compacts à partir de 135 m de profondeur. Le forage a été tubé uniquement jusqu'à -47 m, dans les terrains meubles et le toit des gneiss. Les travaux et les essais effectués dans P205 n'ont pas affecté l'exploitation normale du Puits-source et l'eau thermale pompée et acheminée à l'Etablissement thermal n'a subi aucune altération des caractéristiques physico-chimiques.

Les essais de pompage, dont deux avec obturateur pneumatique (afin de tester séparément la partie profonde du puits) ont montré :

- une zone productive (débit 420 l min<sup>-1</sup> avec un rabattement de 30 m) dans la partie haute du forage (jusqu'à -135 m). L'eau thermale pompée a atteint 36.3°C avec une minéralisation de 0.8 g l<sup>-1</sup>.
- une zone peu productive (débit 25 l min<sup>-1</sup>, rabattement 30 m), dans la partie profonde du forage (entre -135 et -250 m). L'eau thermale pompée a atteint seulement 48.0°C, avec une minéralisation de 1.1 g l<sup>-1</sup>. Chimiquement cette eau est semblable à l'eau thermale pompée au Puits-source P201 et se rapproche beaucoup de l'eau thermale pompée jadis à l'Ancien Puits de 28 m. Un dernier essai de pompage, effectué après le départ de la machine de forage, a malheureusement parfait le curage d'une zone fissurée située à 57 m de profondeur, ce qui a entraîné une augmentation des venues d'eau froide et peu minéralisée. De ce fait, on peut pomper actuellement dans le puits une eau thermale à 32.7°C et 0.7 g l<sup>-1</sup> de sels dissous, avec un débit de 460 l min<sup>-1</sup> (pour un rabattement de 30 m).

Les diagraphies ont révélé qu'approximativement 60% de l'eau pompée provient de la zone fissurée à -57 m, alors que 25% est captée à -131 m. Seulement 6% provient de la partie profonde du puits. L'équipement de celui-ci avec tubes pleins et cimentation jusqu'à 70 m de profondeur permettrait de capter environ 200 l min<sup>-1</sup> à environ 40°C. Le nouveau puits P205 n'a pas atteint les objectifs fixés, à savoir capter de l'eau thermale à 62°C avec un débit minimum de 200 l/mn. Son équipement permettrait de parer au plus pressé en cas d'accident grave au Puits-source et de garantir l'approvisionnement de l'Etablissement thermal en eau thermale.

La réalisation du puits P205 a achevé une étape importante dans l'histoire des recherches d'eau thermale à Lavey-les-Bains. Plusieurs forages profonds ont essayé, avec plus ou moins de succès, de capter de l'eau thermale dans les gneiss fissurés du massif des Aiguilles Rouges. Le principal enseignement qu'on peut tirer de tous ces ouvrages est que les gneiss ne sont pas fissurés de façon homogène. Ceci comporte que même sur de courtes distances, les conditions hydrogéologiques peuvent être complètement différentes et les débits

captés varier fortement. Etant donné la difficulté de détecter ces zones fissurées profondes depuis la surface, par des méthodes géophysiques par exemple, on doit admettre que la réussite d'un nouveau forage dans les gneiss dépend en grande partie du facteur "chance".

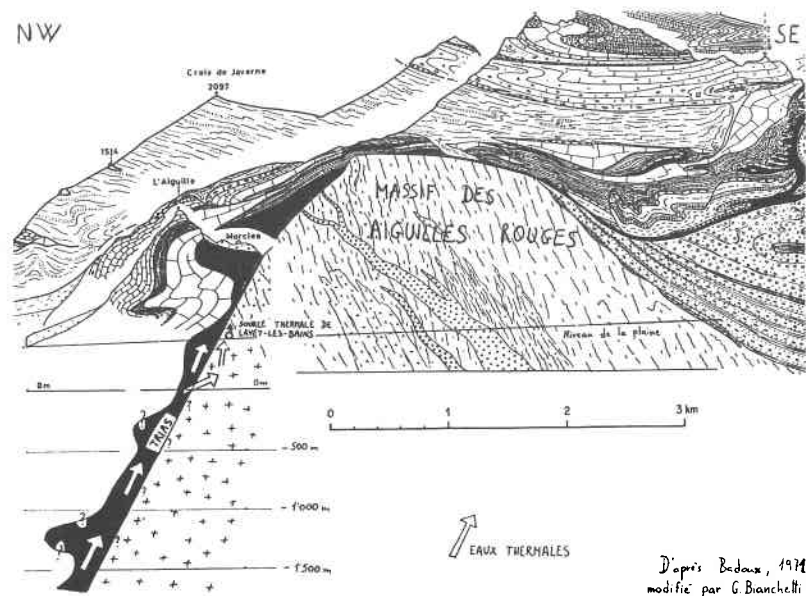


FIG. 3 Coupe géologique schématisée et circuit hydrogéologique supposé des eaux thermales.

Le Trias autochtone du massif des Aiguilles Rouges, qu'on suppose assez redressé dans la région de Lavey-les-Bains, joue probablement un rôle prépondérant pour la remontée des eaux thermales (Fig. 3). Pour connaître les conditions de température et de minéralisation des eaux thermales circulant dans le Trias, nous avons proposé la réalisation de deux forages de reconnaissance en petit diamètre (4"), d'une profondeur d'environ 150 m. L'avantage de ces forages par rapport à ceux réalisés dans les gneiss réside dans la possibilité de recouper des bancs de gypse, roches facilement solubles par l'eau qui peut y créer de véritables chenaux. On peut ainsi s'imaginer que les débits captés dans ces terrains seront supérieurs à ceux dont on a l'habitude dans les gneiss.

#### ORIGINE DE L'EAU ET HYPOTHESE DE CIRCUIT HYDROGEOLOGIQUE PROFOND

L'étude de certains éléments chimiques dissouts permet de connaître les roches traversées par l'eau thermique lors de sa circulation profonde et, avec un peu de chance, de reconstruire le circuit

hydrogéologique profond. De ce point de vue, l'eau thermique de Lavey-les-Bains rechigne jusqu'à maintenant à dévoiler ses secrets.

L'origine météorique de l'eau thermique de Lavey-les-Bains suppose l'existence d'un circuit hydrogéologique profond qu'on peut schématiquement décomposer en trois zones :

- zone d'infiltration et de descente des eaux
- zone de circulation profonde
- zone de remontée et exutoire.

De la première zone on ne connaît que la hauteur approximative (1750 à 2000 m), de la deuxième on peut supposer qu'elle se situe à une profondeur maximum comprise en 1200 et 1500 m, si l'on considère une température en profondeur de 100°C et un gradient géothermique de 40 ou de 30°C Km<sup>-1</sup>. Cette extrapolation a été effectuée sur la base des profils thermiques des divers forages profonds. On suppose que la zone de remontée des eaux thermales soit liée au Trias, qui est assez redressé dans la région (Fig. 3). La même situation structurale peut être observée dans la région de St-Gervais, caractérisée par des exutoires thermaux captés dans les quartzites du Trias. Le chimisme de ces eaux, malgré une minéralisation quatre fois plus élevée, est très semblable à celui des eaux thermales de Lavey-les-Bains (Fig. 2), et la géothermométrie indique aussi des températures d'environ 100°C dans le "réservoir profond". En suivant le Trias de la couverture sédimentaire du massif des Aiguilles-Rouges entre Mégève (altitude 1100 m) et Morcles (1200 m) il y a deux points-bas topographiques, il s'agit justement de St-Gervais et Lavey-les-Bains! On pourrait alors imaginer un mode de circulation commun de ces eaux, avec infiltration et circulation le long du contact cristallin-sédimentaire et dans les nombreuses fractures du cristallin, jusqu'à grande profondeur, ensuite remontée rapide des eaux par le Trias, avec exutoires de l'aquifère thermal apparaissant aux points-bas du système hydrogéologique.

REMERCIEMENTS Ce manuscrit a bénéficié de la lecture critique de F. Vuataz, qui nous a fourni d'utiles renseignements sur le chimisme des fluides dans le cristallin.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Badoux, H. (1971) Notice explicative de la carte géologique 1:25000 Dt. de Morcles. Comm. Géol. Suisse
- Bianchetti, G. (1990) Forage P205 : rapport hydrogéologique. ETLB 90/1, non publié
- Nordstrom, D.K. & Olsson, T. (1987) Fluids Inclusions as a Source of Dissolved Salts in Deep Granitic Groundwaters. Saline Water and Gases in Crystalline Rocks, Fritz & Frapre, Geol. Assn of Canada Special Paper 33
- Pearson, F.J. (1985) Geochemistry of waters from the Böttstein Borehole. NTB 85-05, Baden
- Vuataz, F. (1982) Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes. Matér. géol. Suisse, série Hydrol., 29, Bern
- Zahner, P. et al. (1974) Etude hydrogéologique des sources thermominérales de Lavey, d'Yverdon et de Saxon. Mé. Soc. vaud. Sci. nat., 95, 15, 5