

**173<sup>e</sup> ASSEMBLÉE ANNUELLE DE L'ASSN VERBIER,  
22 - 26 SEPTEMBRE 1994**

**HYDROGÉOLOGIE ET CIRCULATIONS  
HYDROTHERMALES EN MILIEU FISSURÉ**

SYMPOSIUM SPECIALISE, 23 septembre 1993

par François-D. VUATAZ<sup>1</sup>, rapporteur

**INTRODUCTION**

Ce symposium a été organisé conjointement par le Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliquées de Sion (CRSFA), le Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel (CHYN) et l'Institut universitaire Kurt-Bösch de Sion (IKB)<sup>2</sup>. Trois thèmes ont été traités au cours de 14 exposés : la méthodologie d'approche des écoulements en milieu fissuré, les circulations profondes des fluides et les programmes de prospection géothermique.

Treize conférenciers provenant des institutions suivantes ont pris la parole : Bureau Géologie - Géophysique de Genève, Centre d'hydrogéologie de Neuchâtel, Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliquées de Sion, Colenco Power consulting Ltd. de Baden, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Ecole polytechnique fédérale de Zürich, Elektrowatt Ingénieurs S.A. de Zürich, Université de Bâle et Université de Turin.

**Méthodologie d'approche des écoulements en milieu fissuré**

Dans le domaine de la méthodologie d'approche des milieux fissurés, on constate que pour modéliser un système d'écoulement, les effets

---

<sup>1</sup> Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliquées, 1951 Sion et Centre d'hydrogéologie de Neuchâtel, 2007 Neuchâtel.

<sup>2</sup> Ce symposium a bénéficié de l'aide financière de l'Institut universitaire Kurt Boesch, Sion, des Services industriels de la ville de Sion, des Bains de Saillon et de Alpwater, Saxon.

d'échelle (laboratoire, forage, bassin) entraînent des modifications importantes des caractéristiques hydrauliques (KIRALY 1988). Dans l'aquifère fissuré réel en effet, l'eau circule dans les vides liés aux discontinuités géologiques qui existent à toutes les échelles (microfissures, fissures métriques ou décimétriques, failles et décrochements hectométriques ou kilométriques).

Les eaux souterraines contenues dans les terrains karstiques représentent à l'échelle de la planète une ressource considérable. Paradoxalement, ce point positif est fortement nuancé par deux défauts majeurs de ces eaux. Elles sont souvent de qualité peu satisfaisante et nécessitent un traitement pour les rendre potables, en raison d'un processus d'auto-épuration peu efficace. D'autre part, cette déficience géologique nécessite la création de zones de protection exceptionnellement grandes en regard d'autres ressources. L'établissement de ces zones de protection en milieu fissuré karstique pose des problèmes importants liés notamment à la délimitation de celles-ci et à leur étendue. La législation émise il y a une vingtaine d'années ne convient plus et un groupe de travail émanant du Groupe suisse des hydrogéologues prépare de nouvelles normes qui seront publiées en 1994.

Une étude méthodologique des essais de multi-traçage en milieu fissuré a été réalisée dans les grès permocarbonifères fissurés du synclinal de Salvan-Dorénaz, situé sur les communes de Collonges et de Dorénaz, en rive droite du Rhône, à l'aval de Martigny. Deux essais de multi-traçage ont été effectués, l'un en période de hautes eaux (1991) et l'autre en basses eaux (1992). Deux couples de traceurs ont été injectés dans les bassins-versants des lacs de Fully et du Zéman, comprenant à chaque fois un traceur fluorescent (fluorescéine ou rhodamine B) et un traceur activable (Indium-DTPA ou Dysprosium-DTPA). Le prélèvement d'échantillons d'eau aux exutoires a duré respectivement deux et cinq mois pour les deux essais de traçage. Les faibles concentrations des traceurs fluorescents et activables obtenues dans les échantillons montrent l'importance, non seulement du choix et de la quantité des traceurs injectés, mais également des méthodes analytiques utilisées. Les très fortes dilutions subies par les traceurs ont mis en évidence la complexité du cheminement des eaux souterraines dans les grès de ce synclinal. L'utilisation de traceurs activables pour des essais de traçage à une échelle kilométrique a représenté une première en Suisse et montré leur intérêt dans le secteur de la recherche appliquée (GASPAR 1987).

La prospection d'eau thermale dans les gneiss du Massif des Aiguilles Rouges a mis en évidence l'hétérogénéité des systèmes d'écoulements profonds. Les roches cristallines présentent une faible porosité d'interstice et les circulations d'eau sont tributaires de la porosité de fissure, essentiellement d'origine tectonique. Le gneiss est rela-

tivement plastique et tend à refermer ses fractures, alors que le granite, plus cassant, conserve plus fréquemment ses fissures ouvertes. Les débits et les températures obtenus dans les forages de moyenne profondeur sont extrêmement variables, comme on a pu le vérifier lors des campagnes de forage à Lavey-les-Bains (Vaud), Epinassey (Valais) et St-Gervais (Haute-Savoie). Des ouvrages réalisés à proximité les uns des autres ou dans une zone de sources, ont montré des caractéristiques physiques et chimiques très hétérogènes (ZAHNER *et al.* 1974). Les circulations régionales liées au Massif des Aiguilles Rouges suivent préférentiellement une direction générale semblable à celle de son affleurement, soit NE - SW. En conclusion, on constate qu'il est très difficile de donner des pronostics précis à partir d'un seul forage (ou source) pour la prospection de ressources supplémentaires, mais les nombreux forages réalisés dans les zones d'exutoire du Massif des Aiguilles rouges ont tous traversé des formations contenant de l'eau thermale, attestant la présence à une échelle régionale de circulations d'eau chaude.

### **Circulations profondes des fluides**

La relation mise en évidence entre les structures tectoniques et les circulations profondes des fluides dans le Val d'Ossola et dans le Massif du Simplon a permis de discerner plusieurs types de systèmes hydrogéologiques (HUNZIKER *et al.* 1990; BIANCHETTI *et al.* 1994) : des circuits descendants à débit moyen ou faible (venues chaudes dans le tunnel du Simplon), des circuits descendants à fort débit (venues froides dans le tunnel du Simplon, et des circulations ascendantes (sources thermales). En raison de la dissolution karstique, les formations carbonatées sont le siège préférentiel des écoulements souterrains de cette région, et sont responsables d'un accroissement de la perméabilité par augmentation de la fracturation des formations non carbonatées sus-jacentes. Dans la région du Val d'Ossola, l'unité carbonatée inférieure, appelée Synclinal de Baceno, est la plus intéressante d'un point de vue géothermique, tant par ses caractéristiques structurales et lithologiques que par sa localisation en fond de vallée, comme point d'exutoire hydrogéologique.

La forte concentration de sources thermales existant en Valais est induite par plusieurs causes. D'une part la topographie alpine favorise la formation de gradients hydrauliques élevés et d'autre part, la couverture sédimentaire des massifs externes et la fracturation des roches cristallines autorise l'infiltration des eaux à grande profondeur. Finalement, des structures tectoniques subverticales permettent la remontée

des circulations profondes (fig. 1). Quatre familles d'eaux thermales ont été mises en évidence au moyen de leurs caractéristiques chimiques. Les eaux de type  $\text{Ca-SO}_4$  ont pour origine un écoulement dans des roches carbonatées contenant des évaporites solubles de type gypse ou anhydrite. Les eaux de type  $\text{Na-SO}_4$  font généralement partie du groupe des eaux les plus chaudes et proviennent de circulations dans des roches cristallines (granite, gneiss). Le sodium a pour origine l'hydrolyse des feldspaths, alors que le sulfate vient de l'oxydation des sulfures de la roche. Les eaux de type  $\text{Ca-HCO}_3$  ont évidemment circulé dans des calcaires karstifiés, quant aux eaux de type  $\text{Na-HCO}_3$ , il s'agit également d'écoulements en milieu carbonaté avec un échange cationique du Ca par le Na contenu dans les minéraux argileux (BIANCHETTI 1993).

Dans le but d'évaluer le risque d'impact du tunnel de base du Lötschberg sur les sources thermales de Loèche-les-Bains, une étude détaillée a été réalisée pour notamment établir l'état initial (avant percement du tunnel) des caractéristiques physiques, chimiques et isotopiques des sources thermales, ainsi que le domaine de variation de ces caractéristiques à court, moyen et long terme (CRSFA 1993). De nombreuses observations effectuées depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle ont mis en évidence des modifications du débit et de la température dont les causes sont d'origine tant naturelles qu'anthropogènes. L'interprétation des données permet d'établir un modèle des écoulements souterrains du système de Loèche-les-Bains. La zone d'infiltration devrait s'étendre entre les secteurs Wyssese-Torrenthorn et le Lötschepass à une altitude moyenne de 2700 m (fig. 2). Au cours de la branche descendante du circuit, l'eau acquiert son caractère chimique  $\text{Ca-SO}_4$  dans les formations triasiques des synclinaux sédimentaires pincés par le Massif de l'Aar. L'eau pénètre vraisemblablement jusqu'à la profondeur de 2500 m et atteint 60°C. La remontée du fluide s'effectue à proximité de la culmination du Massif de l'Aar sous la zone de Loèche-les-Bains, grâce à l'importante fissuration des calcaires du Bajocien. Le débit total d'eau thermale profonde atteignant la surface est au minimum de 3000 l/mn. C'est une bonne compréhension du circuit hydrothermal de Leukerbad qui a permis d'estimer le risque d'impact du futur tunnel du Lötschberg comme faible.

Le socle cristallin du nord de la Suisse est considéré comme un site potentiel pour le stockage de déchets radioactifs. Des modèles numériques ont été utilisés pour caractériser les mouvements d'eau souterraine advectifs à différentes échelles, variant de la fracture unique à la simulation régionale. L'objectif de cette étude étant d'améliorer la connaissance du régime d'écoulement, une méthode de modélisation hybride a été utilisée, incluant une approche continue (à l'échelle régionale) et une approche discontinue (à l'échelle d'un bloc). Les gradients

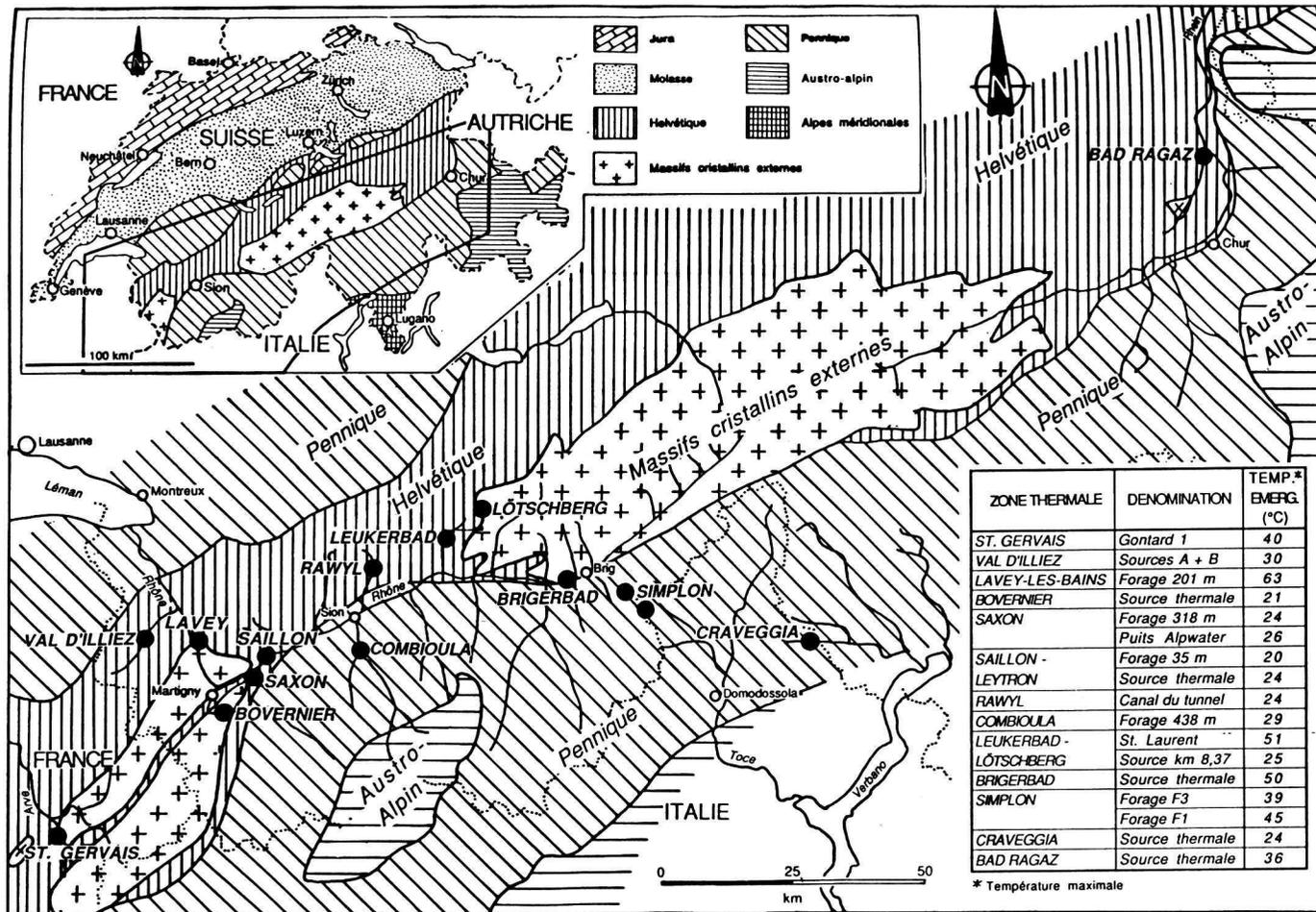


Fig. 1: Situation des zones thermales du Valais et de régions alpines environnantes et leur contexte géologique (BIANCHETTI 1993, inédit).

obtenus par la modélisation sont combinés aux résultats du réseau de fractures pour obtenir des flux volumétriques servant directement dans les analyses de sécurité des sites de stockage. Les modèles hybrides permettent d'effectuer un choix entre plusieurs modèles conceptuels plausibles décrivant les écoulements souterrains profonds dans des roches cristallines fracturées (VORBORNY *et al.* 1993).

L'étude des processus hydrogéologiques et hydrochimiques des aquifères profonds dans les calcaires du Malm le long de l'axe jurassien est concentrée sur les sites des forages récents de Delémont, Yverdon, Genève et Aix-les-Bains (400 à 2500 m). Le but était de comprendre l'origine de ces écoulements, leur temps de transit souterrain, l'extension de ces aquifères et leurs liaisons hydrauliques avec d'autres systèmes hydrogéologiques. Le site d'Yverdon (canton de Vaud) est représentatif d'un système relativement complexe, où la tectonique joue un rôle important sur les conditions limites de l'aquifère (VUATAZ 1982; ZAHNER *et al.* 1974). En effet, deux types de circulations dans le Malm à une profondeur de 400-600 m sont totalement séparées hydrauliquement par un décrochement chevauchant. Des mesures physiques et des analyses chimiques et isotopiques répétées ont permis de mettre en évidence des phénomènes de mélange à plus de deux composantes et une influence non négligeable du cycle hydrologique sur la composition des eaux souterraines profondes.

## **Programmes de prospection géothermique**

L'Office fédéral de l'énergie a mis en place une ligne de budget pour financer certains aspects de la recherche et de la promotion de l'énergie géothermique. Ils concernent essentiellement les sondes terrestres de chaleur, les pieux énergétiques, la géothermie des aquifères profonds et la technologie Hot Dry Rock. Pour les deux derniers domaines de recherche cités, la rentabilité par rapport à une énergie classique (mazout, gaz) reste problématique. En effet, les forages profonds coûtent cher, et le risque de ne pas trouver de l'eau à un débit suffisant est élevé dans les milieux fissurés. Cependant le prix de la réalisation d'un ou plusieurs forages de production pourrait être diminué ou reporté à une autre phase du projet si l'on acceptait de passer par une prospection complète qui inclus un ou plusieurs forages d'exploration. Actuellement, la réalisation de sondages de petit diamètre permet de prouver l'existence d'un réservoir géothermique, de mesurer sa température, de prélever son fluide et de procéder à des tests (diagraphies et production à petit débit). Ces puits de petit diamètre (slim-hole, sondage carotté) sont sensiblement moins chers et l'impact du chantier de forage est beaucoup moins important.

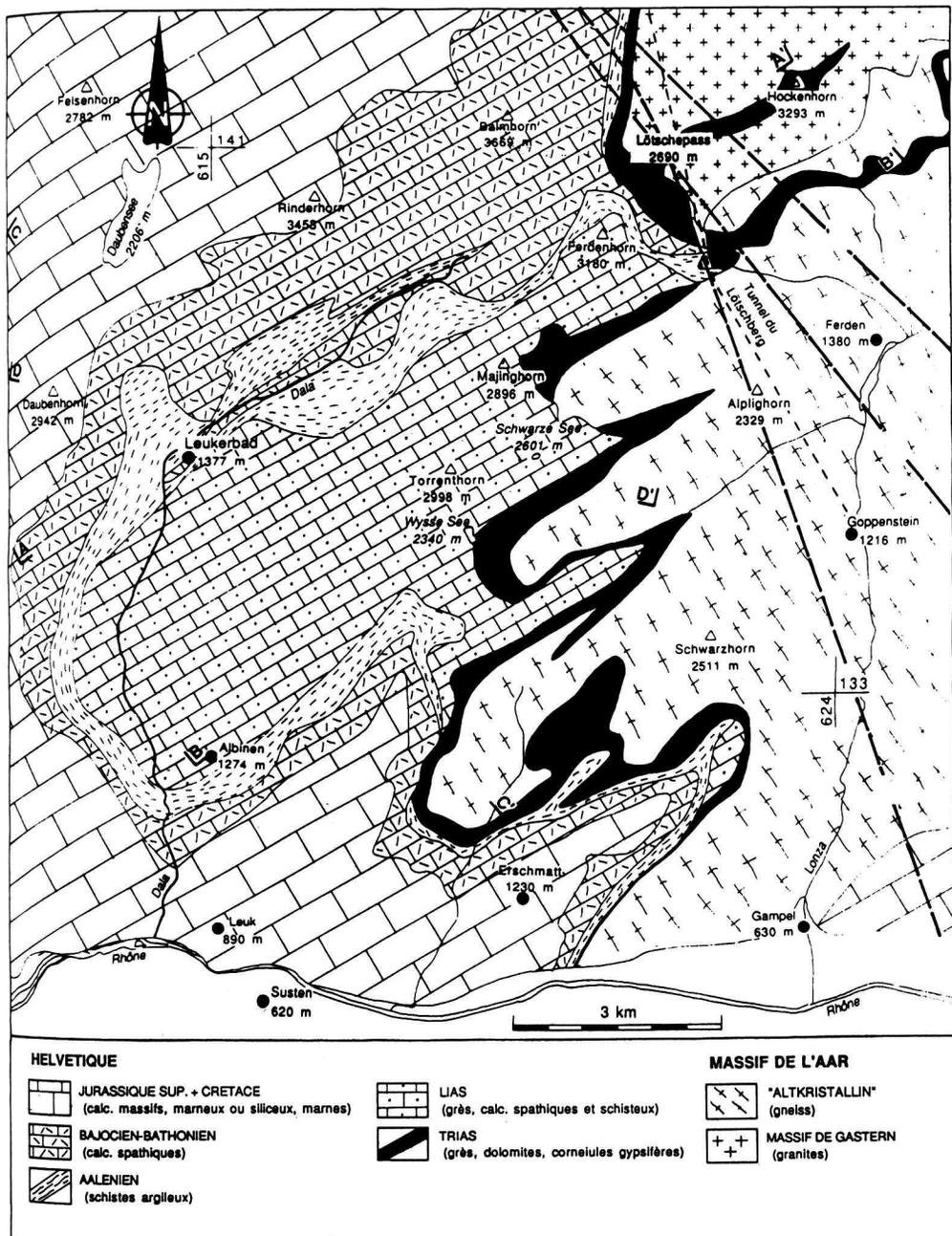


Fig. 2: Carte géologique simplifiée de la région de Leukerbad (CRSFA 1993).

Depuis que l'Office fédéral de l'énergie couvre le risque des forages géothermiques, cinq échecs ont été enregistrés dans des aquifères fissurés de divers environnements géologiques (Reinach, St Moritz, Bulle, Weissbad et Genève). C'est pourquoi des travaux de recherche seraient nécessaires dans le domaine de l'hydrogéologie des aquifères profonds tels que l'identification des régions les plus favorables, l'étude de la karstification, l'évaluation de la zone d'influence des puits et les processus de recharge des aquifères. Finalement, une synthèse des données géologiques et géophysiques acquises dans le cadre de la prospection pétrolière serait extrêmement utile pour l'évaluation des ressources géothermiques de Suisse.

Le programme GÉOTHERMOVAL de prospection des ressources géothermiques du canton du Valais est en cours de réalisation depuis 1988 (CRSFA 1988). Après deux ans de recherches effectuées sur une douzaine de sites au moyen de l'ensemble des méthodes d'investigation à partir de la surface et des forages préexistants, le programme GÉOTHERMOVAL est entré en 1990 dans une phase de réalisation de sondages de reconnaissance de moyenne profondeur (tableau). Dès 1992, la préparation de trois projets de forages profonds a débuté. Le premier d'entre eux devrait débuter en 1994 à Saillon (VUATAZ *et al.* 1993). Les recherches ont permis d'établir que la grande majorité des circulations thermales profondes se trouvent dans des formations géologiques fissurées, telles que les sédiments carbonatés évaporitiques du Trias et le socle cristallin des massifs externes (Mont-Blanc, Aiguilles-Rouges, Aar). L'extension de ces circulations souterraines semble relativement locale (échelle 1-10 km): en effet la probabilité de l'existence de liaisons hydrauliques entre plusieurs zones thermales reste faible, en raison de la complexité tectonique de la région alpine (couches redressées, barrières imperméables). De même, on observe une grande variété des compositions chimiques, des débits et des températures des fluides. Ces systèmes thermaux étudiés dans le cadre du programme GÉOTHERMOVAL, montrent des caractéristiques typiques de l'hydrogéologie en zone montagneuse. Si l'on compare les températures des eaux thermales en Suisse, les plus élevées sont atteintes en milieu alpin (Lavey, Brigerbad, Leukerbad). Les débits des sources et des captages de faible profondeur sont souvent plus élevés en zone de montagne, quant aux gradients hydrauliques ils sont importants et induisent des vitesses de circulation plus rapides. Par conséquent les eaux sont plus récentes et moins minéralisées que pour les régions à topographie plus égale.

Dans les années 1988-1989, trois forages géothermiques ont été réalisés au sud du fossé rhénan à proximité de Bâle (HAUBER 1991). Les trois forages avaient pour but d'atteindre l'aquifère du Muschelkalk

Caractéristiques géothermiques des zones thermales du Valais étudiées par le programme GÉOTHERMOVAL (VUATAZ et al. 1993).

Site étudié	Temp. max. à l'exut. (°C)	Temp. réservoir profond (°C)	Débit prouvé (m <sup>3</sup> /h) [1]	Minéralis. totale (g/l)	Puiss. therm. (MWt) [2]	Roche-réservoir	Profondeur probable de la ressource (m)
<b>BAS-VALAIS</b>							
Val d'Illiez	29	35 -40	70	1,8	2,6	carbonates + évaporites (Trias)	≥ 200
Lavey-les-Bains (Vaud)	62	100	27	1,4	3,0	gneiss, (évaporites du Trias?)	> 500
Epinassey	22	30-40	12	0,7	0,4	gneiss, (évaporites du Trias?)	> 200
<b>VALAIS CENTRAL</b>							
Bovermier	21	35-40	13	0,3	0,5	granite	≥ 100
Val de Bagnes	18	25	9	1,0	0,2	évaporites, quartzites (Trias)	≥ 100
Saxon	26	35 -40	220	0,7-3,2	8,2	gneiss, schistes +évaporites (Trias)	≥ 400
Saillon	24	20 - 40	100	1,4	2,9	carbonates + évaporites (Trias)	150-800
Combioula	28	35	240	2,9-5,2	8,4	grès + évap. (Trias)	≥ 400
Tunnel du Rawyl	30	35-40	65	0,4	2,4	calcaires (Malm)	> 100 (dans le tunnel)
<b>HAUT-VALAIS</b>							
Leukerbad	51	60	180	2,0	11	carbonates + évap. (Trias/Dogger)	400 - 600
Brigerbad	52	110	150	1,3	18	gneiss (Massif Aar)	≥ 800
Tunnel du Simplon	45	60-80	43 [3]	1,5-7,9	3,2	carbonates, granites gneiss, schistes (Nappes penniques)	≥ 200
Total des sources (sortie à Brigue)	13	-	83	0,6	0,8		canal
Tunnel de la Furka (sortie Oberwald)	15	25	324	0,15	3,8	gneiss (Massif du Gothard)	canal
<b>TOTAL</b>	-	-	<b>&gt; 1500</b>	-	<b>65</b>		-

[1] Débit total de la zone thermale: correspond parfois à plusieurs types d'eau d'origine différente.

[2] La puissance thermique a été calculée avec le débit indiqué, la température évaluée en profondeur et une température de rejet fixée à 5°C :  $P(\text{MWt}) = Q (\text{m}^3/\text{h}) * [T(°\text{C})-5]/861$ .

[3] Le débit indiqué correspond à la somme des débits des exutoires ≥ 30°C.

supérieur (Trias moyen). Les résultats ont été très différents d'une zone à l'autre. Les deux forages de Riehen d'une profondeur de 1547 et 1247 m situés à 1 km l'un de l'autre ont rencontré un aquifère dont le débit (22 l/s) et la température (67°C) sont tout à fait satisfaisants (fig. 3). Par contre, à 10 km au sud de Riehen, le forage de Reinach (1793 m) n'a pas rencontré de zone perméable, et malgré une température de la roche de 72°C, le forage a été considéré comme un échec. Dans le

cas des forages de Riehen, des zones de fractures ont été traversées et les diagraphies ont mis en évidence la corrélation entre ces fractures et les venues d'eau. Des phénomènes de karstification isolés (druses, cavernes) ont été observés sur les carottes de roches, mais ces cavités sont plus ou moins remplies de calcite et ne fournissent aucun débit. Les échantillons de carottes du forage de Reinach ont montré que les fissures étaient remplies de calcite qui empêchent toute circulation de fluide.

Les premières études géologiques concernant la géothermie à Genève ont fait ressortir qu'il existe des aquifères susceptibles d'être exploités pour leur chaleur. Ces aquifères potentiels devaient être localisés dans les calcaires du Crétacé inférieur et du Jurassique supérieur. Une étude détaillée de la fracturation et deux campagnes de sismique-réflexion ont permis de tracer les failles sous le site du forage projeté. C'est en avril 1994 que le forage de Thônex-1 a débuté et les limites des formations géologiques ont été atteintes conformément aux prévisions (JENNY *et al.* 1994). La trajectoire du forage dévié a atteint la zone de faille visée et une profondeur verticale de 2530 m, mais la porosité des formations d'âge Crétacé s'est révélée être très faible. Les fractures sont remplies de calcite et la dissolution karstique visible au sommet des calcaires urgoniens est remplie par des sables cimentés. Dans le Jurassique, c'est le niveau du Kimméridgien qui offrait un intérêt potentiel. Quelques indices de perméabilité ont été relevés (perte de boue, vitesse d'avancement, diagraphies), mais les tests d'injectivité, d'acidification et de production par air-lift n'ont pas permis d'obtenir un débit suffisant. La température atteint 88°C en fond de trou et le gradient géothermique moyen est normal avec une valeur de 31°C/km. A la suite des tests et de leur interprétation, le forage Thônex-1 a été considéré comme un échec, la perméabilité horizontale étant presque nulle et la zone d'influence autour du forage très réduite. Une perméabilité verticale liée au système de fractures n'a permis de produire que 20 m<sup>3</sup>/h avec un rabattement de l'ordre de 400 m.

Un cas très différent de réservoirs profonds en milieu montagneux est illustré par le système hydrothermal de Marmara au nord-ouest de la Turquie. De nombreuses manifestations de surface sont observées telles que sources thermales et dégagements de vapeur à la surface du sol. Les remontées de fluide sont liées aux structures tectoniques (failles, fractures) et à la karstification (GREBER 1992). On observe également dans cette région une sismicité élevée, qui est certainement responsable de l'ouverture des fractures et évite le colmatage des conduits d'écoulement des fluides profonds, permettant l'infiltration des eaux météoriques à des profondeurs considérables et leur remontée rapide sans trop perdre d'énergie.

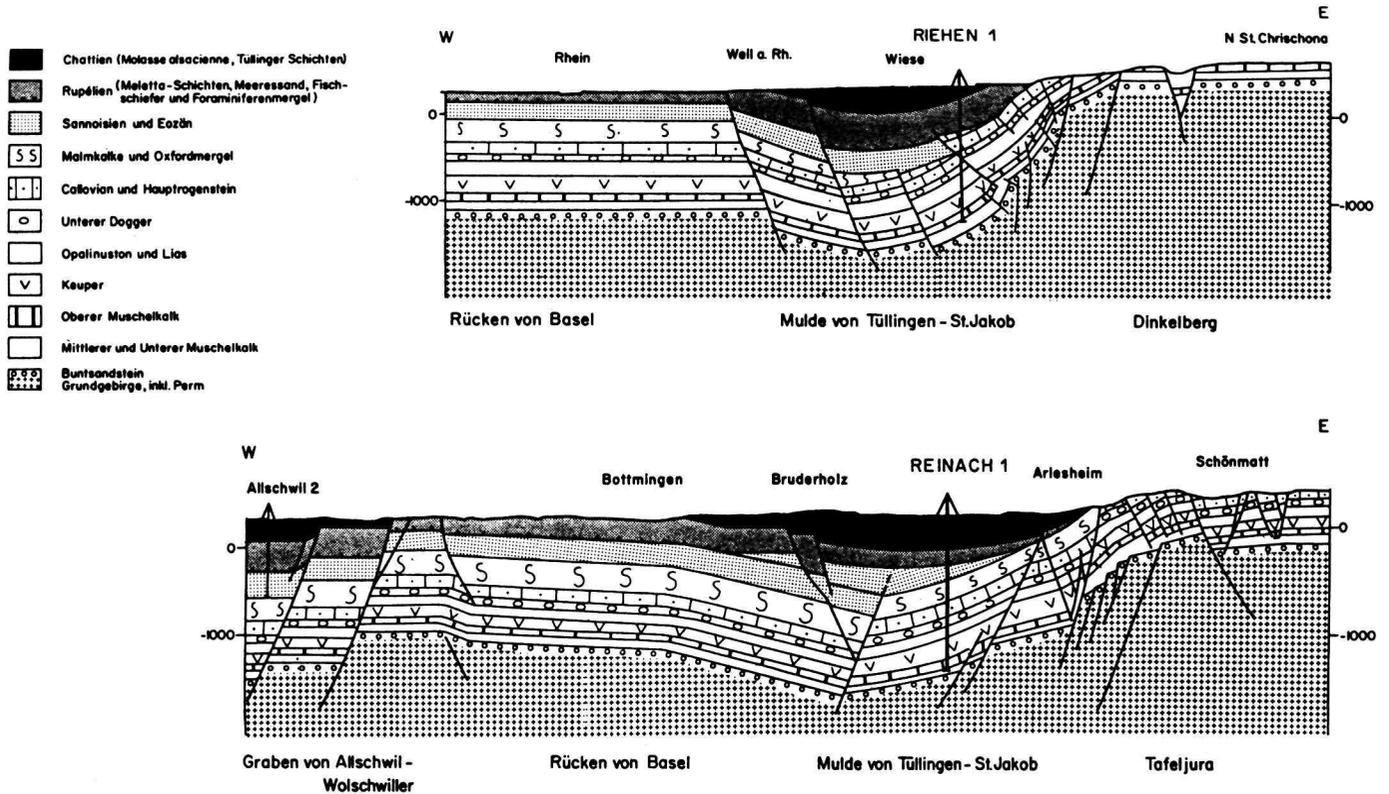


Fig. 3: Profils géologiques passant par les forages de Riehen et Reinach (HAUBER 1991).

## Bibliographie

- BIANCHETTI G. 1993: Hydrogéologie et géothermie des venues d'eau du tunnel du Rawyl (Valais, Suisse). *Bull. Centre d'hydrogéologie*, 12 : 87-109.
- BIANCHETTI G., ZUBER F., VUATAZ F.-D. & ROUILLER J.-D. 1994: Hydrogeologische und geothermische Untersuchungen im Simplontunnel (Wallis, Schweiz und Ossola, Italien). *Matér. géol. Suisse, sér. géotechn.*, 88, 75 p.
- CRSFA 1988: Programme GÉOTHERMOVAL. Termes de références concernant la recherche, l'évaluation et la mise en valeur des ressources géothermiques en Valais. *Rapport CRSFA/88.08*, non publié.
- CRSFA 1992: Programme Géothermoval. Phase I, rapport final - synthèse. *Rapport CRSFA/92.02*, non publié.
- CRSFA 1993: AlpTransit Lötschberg Leukerbad et Brigerbad. Evaluation de l'impact hydrogéologique du tunnel de base du Lötschberg sur les sources thermales de Leukerbad. Etude hydrogéologique de détail des sources thermales de Leukerbad. *Rapport CRSFA/93.13*, non publié.
- GASPAR E. 1987: Modern trends in tracer hydrology. *CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA*.
- GREBER E. 1992: *Das Geothermalfeld von Kuzuluk / Adapazari (NW - Türkei). Geologie, aktive Tektonik, Hydrogeologie, Hydrochemie, Gase und Isotope*. Thèse doctorat ETH - Zürich, n° 9984, 213 p.
- HAUBER L. 1991: Ergebnisse der Geothermiebohrungen Riehen 1 und 2 sowie Reinach 1 im Südosten des Rheingrabens. *Geol. Jb., Hannover, E48* : 167-184.
- HUNZIKER J.-D., MARTINOTTI G., MARINI L. & PRINCIPE C. 1990: The waters of the Simplontunnel (Swiss-Italian Alps) and of the adjacent Ossola district (Italy) : geothermal considerations. *Geothermal Resources Council Transactions*, 14, 1 : 1477-1482.
- JENNY J., BURRI J.-P., MURALT R., PUGIN A., SCHEGG R., ÜNGEMACH P. et VUATAZ F.-D., 1994: Le forage géothermique de Thônex (Canton de Genève) : Aspects stratigraphiques, tectoniques, géophysiques et hydrogéologiques. *Eclogae geol. Helv.*, sous presse.
- KIRALY L. 1988: Large scale 3-D groundwater flow modelling in highly heterogeneous geologic medium. In : *Groundwater flow and quality modelling*, E. CUSTODIS *et al. (eds.)*, NATO ASI Series, 224 : 761-775.
- VOBORNÝ O., VOMVORIS S. & WILSON W. 1993: Hydrodynamics synthesis and simulation of groundwater flow in crystalline rocks of Northern Switzerland. *Nagra Techn. Report 92-04, Nagra, Wettingen*.
- VUATAZ F.-D. 1982: Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes. *Matér. Géol. Suisse, Sér. Hydrol.*, 29, Kümmerly & Frey, Berne, 174 p.
- VUATAZ F.-D., ROUILLER J.-D., DUBOIS J.-D., BIANCHETTI G. & BESSON O. 1993: Programme GÉOTHERMOVAL : résultats d'une prospection des ressources géothermiques du Valais, Suisse. *Bull. Centre d'hydrogéologie*, 12 :1-37.
- ZAHNER P., MAUTNER J. & BADOUX H. 1974: Etude hydrogéologique des sources thermominérales de Lavey, d'Yverdon et de Saxon. *Mém. Soc. Vaud. Sci. nat.*, 95, 15, 5 : 209-234.