

GÉOTHERMOVAL II

POTENTIEL GÉOTHERMIQUE DES CONDUITS À PERMÉABILITÉ ÉLEVÉE À LA BASE DE LA VALLÉE DU RHÔNE

Le Valais est le canton suisse ayant la plus forte densité de résurgences hydrothermales naturelles en surface (N= 10). Cette densité pourrait être encore plus importante si l'on tient compte des remontées hydrothermales sises à la base du remplissage quaternaire de la vallée du Rhône dans les dépôts torrentiels sous-glaciaires. Ces dépôts potentiellement aquifères constituent une cible de choix pour de futurs projets de géothermie de moyenne profondeur.

Romain Sonney; Pascal Ornstein, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)*

Roland Mage, Géologue; Mario Sartori, Cartographie géologique; Jean-Daniel Rouiller, Ingénieur-géologue retraité

ZUSAMMENFASSUNG

GEOTHERMOVAL II – GEOTHERMISCHES POTENZIAL HOCHPERMEABLER SCHICHTEN AN DER BASIS DES RHONETALS IM WALLIS

Das Forschungszentrum CRSFA¹ in Sitten erhielt zwischen 1989 und 1992 vom kantonalen Wirtschaftsdienst den Auftrag zur Durchführung des Programms Geothermoval I zwecks Identifizierung und Erschliessung der geothermischen Ressourcen des Kantons Wallis. In den Jahren 2013–2014 wurde das Projekt von dem Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP²) im Rahmen von Géothermoval II fortgesetzt, um die Position und Tiefe der Basis der quartären Verfüllung im Rhonetal in den Sektoren Vétroz und Martigny dazulegen. Es zeigte sich, dass die Grenze zwischen den quartären Ablagerungen und dem Felsenuntergrund für diese beiden Sektoren bei einer Tiefe von rund 850 bzw. 1000 m liegt. Die Basis der Talverfüllung besteht aus kontinuierlichen subglazialen Ablagerungen, die potenziell wasserhaltig sind und eine Dicke zwischen 50 und 150 m aufweisen. Da das Rhonetal zwischen Martigny und Siders dem grossen Verwerfungssystem Rhone-Simplon folgt und sich die verschiedenen geologischen Formationen bis zu dessen nördlichem Rand erheben, sind die Bedingungen für das Auftreten aufsteigender hydrothermaler Einträge günstig. Mehrere Sektoren im Rhonetal weisen entweder thermische Erscheinungen an der Oberfläche (Saillon und Saxon) oder thermische Anomalien beim Grundwasserspiegel (Fully, Martigny, Sitten und Siders) auf. Das geothermische Potenzial des Rhonetals

SYSTÈME D'ÉCOULEMENT PROFOND

La tectonique des régions alpines favorise la mise en place de systèmes d'écoulement profonds dont les exutoires correspondent souvent à des résurgences hydrothermales. En Valais le nombre de résurgences connues est important (N= 10). La présence d'une vallée glaciaire profondément surcreusée comme celle du Rhône en Valais fait que d'autres apports hydrothermaux non connus à ce jour pourraient également être présents. Le modèle conceptuel d'écoulement profond tiré de Sonney ([1], fig. 1) montre, à la base du remplissage quaternaire perméable, un apport d'eaux thermales qui se diffusent et se mélangent ensuite aux eaux froides de plus faible profondeur issues des versants et de l'aquifère alluvial. Aucun indice (i.e. manifestation hydrothermale) n'est présent en surface en raison de l'épaisseur de l'aquifère phréatique, à l'exception parfois d'anomalies thermiques des eaux souterraines de faible profondeur en pied de versant (ex.: Saillon et Lavey-les-Bains).

JUSQU'À 1 KM DE DÉPÔTS QUATÉNAIRES

Les études menées par le Centre de Recherches Scientifiques Fondamentales et Appliquées (CRSFA) au début des années 1990 sur le potentiel géothermique des conduits à perméabilité éle-

* Contact: romain.sonney@crealp.vs.ch

(Photo: Benoit Bruchez/123RF.com)

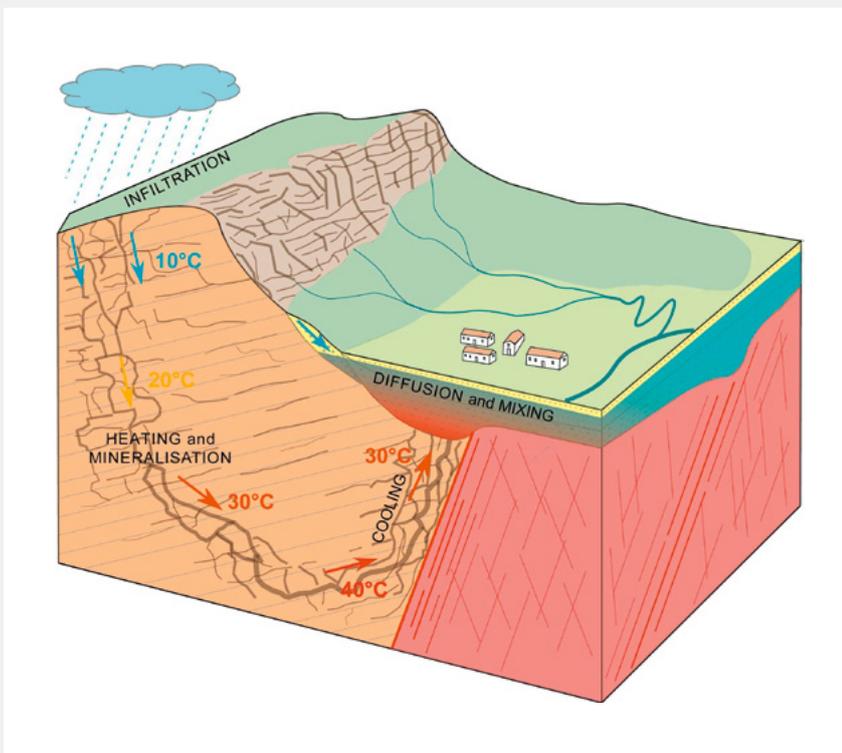


Fig. 1 Modèle conceptuel hydrogéologique d'un système d'écoulement profond [1].

vée du fond de la vallée du Rhône (appelés ensuite dépôts torrentiels sous-glaciaires ou DTSG) ont été reprises en 2014 par le Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP) à travers son projet de recherche «Géothermoval II». Pour mémoire, la mise en évidence de ces DTSG ainsi que la caractérisation du remplissage quaternaire (épaisseur et types de dépôts) de la vallée du Rhône avaient été réalisées grâce à plusieurs campagnes de sismique réflexion menées au début des années 1990 entre Sion et St-Maurice [2] dans le cadre du projet PNR20 «Exploration du soubassement géologique de la Suisse» achevé en 1993 [3]. Deux autres campagnes de sismique réflexion cofinancées par le CREALP et le Canton du Valais ont été effectuées en 2013-2014 dans des secteurs de Martigny et Vétroz pour confirmer et affiner les résultats précédents.

FORMATION DES DÉPÔTS TORRENTIELS SOUS-GLACIAIRES

Les dépôts torrentiels de fond de vallée proviendraient soit d'éboulement depuis les flancs de la vallée au moment du retrait du glacier, soit de l'accumulation de sédiments grossiers déposés par le glacier lui-même lors de sa phase de retrait [4]. Un autre apport pourrait être lié à la présence des tunnels sous-glaciaires et aux écoulements d'eau qui seraient alimentés depuis la surface et/ou par la fusion de la

glace à l'interface avec le socle rocheux sous l'effet de la chaleur géothermique et de l'échauffement lié au frottement glace/substrat [5]. Les sédiments emprisonnés dans la base de la glace se libèrent lentement et se déposent au fond de l'auge s'ils ne sont pas entraînés vers l'aval par

les écoulements s'établissant à l'intérieur des chenaux sous-glaciaires.

DÉPÔTS TORRENTIELS SOUS-GLACIAIRES - RÉGION DE VÉTROZ

Trois profils sismiques ont été réalisés en janvier 2013 par Geo2X SA sur le territoire de la commune de Vétroz; le profil P2 se trouvant en concordance avec l'ancienne ligne sismique du PNR20. Leurs interprétations ont permis de déterminer les isohypses du toit du soubassement rocheux qui atteint la cote de -350 m au centre de la vallée du Rhône (fig. 2). Sous les sédiments, les flancs de la vallée sont abrupts, avec une pente moyenne proche de 25 à 30°. L'épaisseur de 100 m des DTSG est dépassée sur une largeur d'environ 300 m, au droit du fond de l'ancienne auge glaciaire. Les DTSG sont à l'aplomb du contact entre la zone de Sion-Courmayeur au Sud (calcschistes) et la nappe du Wildhorn au Nord (marno-calcaires, calcaires gréseux, gypses, dolomies et argilites gréseuses du Lias-Trias; fig. 3).

DÉPÔTS TORRENTIELS SOUS-GLACIAIRES - RÉGION DE MARTIGNY

Quatre profils sismiques ont été réalisés en février et en décembre 2014 par Geo2X SA dans le secteur du coude du Rhône à Martigny. Leurs interprétations ont permis de tracer les isohypses du toit du sou-

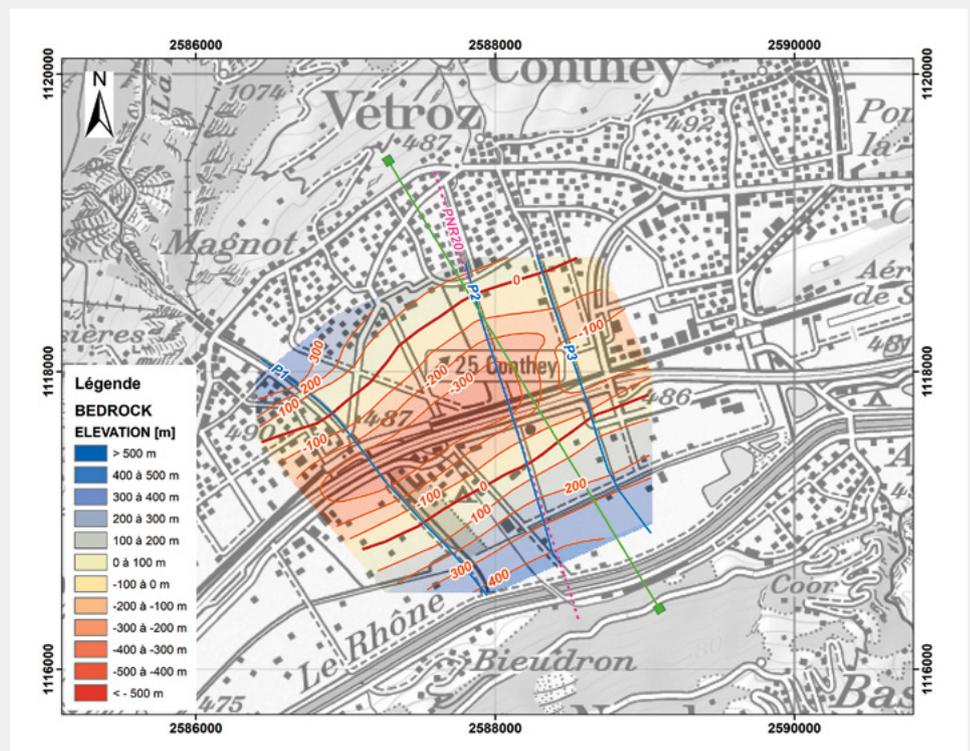


Fig. 2 Isohypses (rouge) du toit du soubassement rocheux dans le secteur de Vétroz et situation des profils sismiques (bleu et rose). Tracé de la coupe géologique de la figure 3 en vert.

basement rocheux qui atteint la cote de -500 m au centre de la vallée du Rhône (fig. 4), ainsi que la position et l'épaisseur des DTSG et des dépôts deltaïques de la

Dranse. Les flancs Nord et Sud de la vallée ont une pente respectivement de 30° et 40°. Le point bas de l'auge glaciaire se situe à l'aplomb du tracé supposé des formations sédimentaires (autochtone, parautochtone et racines de la nappe de Morcles) qui séparent le massif cristallin du Mont-Blanc (au Sud) et le massif cristallin des Aiguilles Rouges (au Nord) (fig. 5). Une série de failles de la ligne Rhône-Simplon accompagne ces structures entre les deux massifs cristallins.

QUEL POTENTIEL GÉOTHERMIQUE?

TECTONIQUE

La plaine du Rhône entre Martigny et Visp montre un réseau dense de failles normales subverticales, d'orientation générale OSO-ENE, à rejet oblique avec prédominance de mouvements décrochant dextres associés à un abaissement relatif du compartiment Sud (fig. 6). Ce réseau de failles entrecroisées serait aligné avec l'axe de la vallée entre les secteurs de Vétroz et de Martigny. Il constituerait un milieu offrant une perméabilité favorable pour la circulation de fluides hydrothermaux depuis le substratum rocheux vers les DTSG. À Vétroz, la présence de roches sédimentaires calcaires, dolomitiques et gypseuses potentiellement karstiques à proximité de ce réseau faillé augmente les chances de se trouver en présence de flux hydrothermaux importants transitant vers les DTSG. Il en va de même pour le secteur de Martigny où de tels flux hydrothermaux ascendants peuvent exister aussi bien dans les roches sédimentaires pincées entre les massifs cristallins des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc que dans les roches cristallines elles-mêmes.

PRODUCTIVITÉ

Les DTSG constituent des aquifères potentiels car ils seraient composés de sables et graviers [5]. Ils n'ont à ce jour jamais été reconnus par forage. En l'absence d'informations hydrogéologiques, il est difficile d'estimer précisément les débits qui pourraient être soutirés de ces aquifères potentiels. Selon la base de données des fluides géothermiques de la Suisse (BDFGeotherm, <https://crege.ch/BDFGeotherm/>; [9]), des débits de 1,3 à 31 l/s avec une valeur médiane de 20 l/s (72 m³/h) sont extraits depuis plusieurs puits géothermiques situés

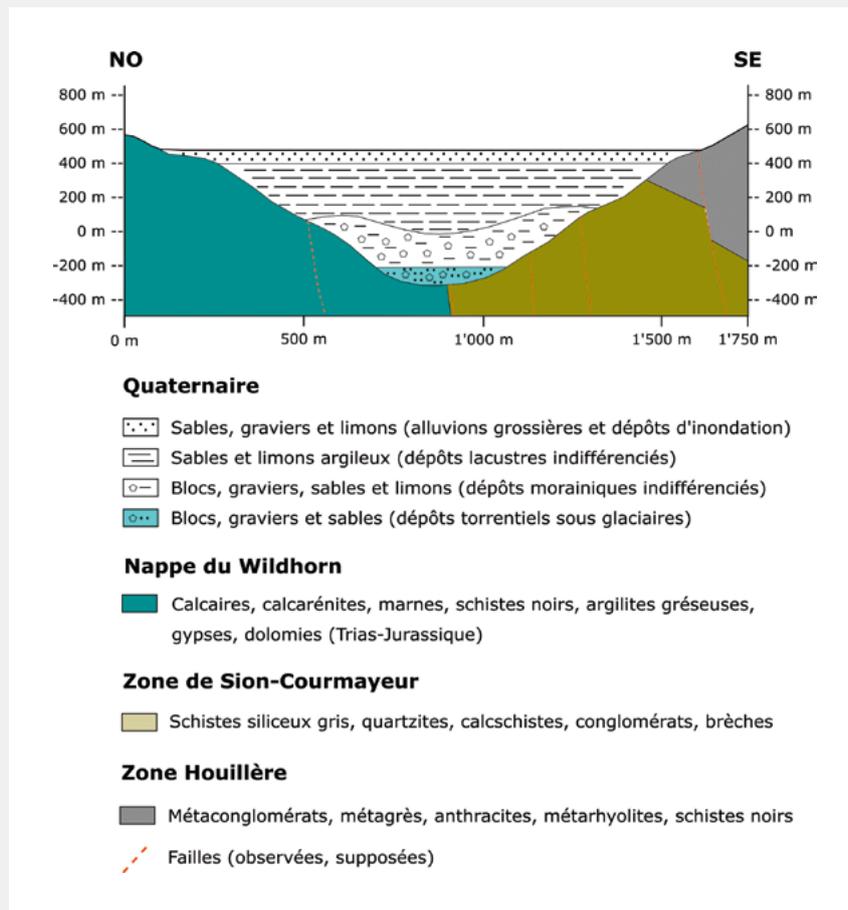


Fig. 3: Coupe géologique de Vétroz (modifiée d'après [6]).

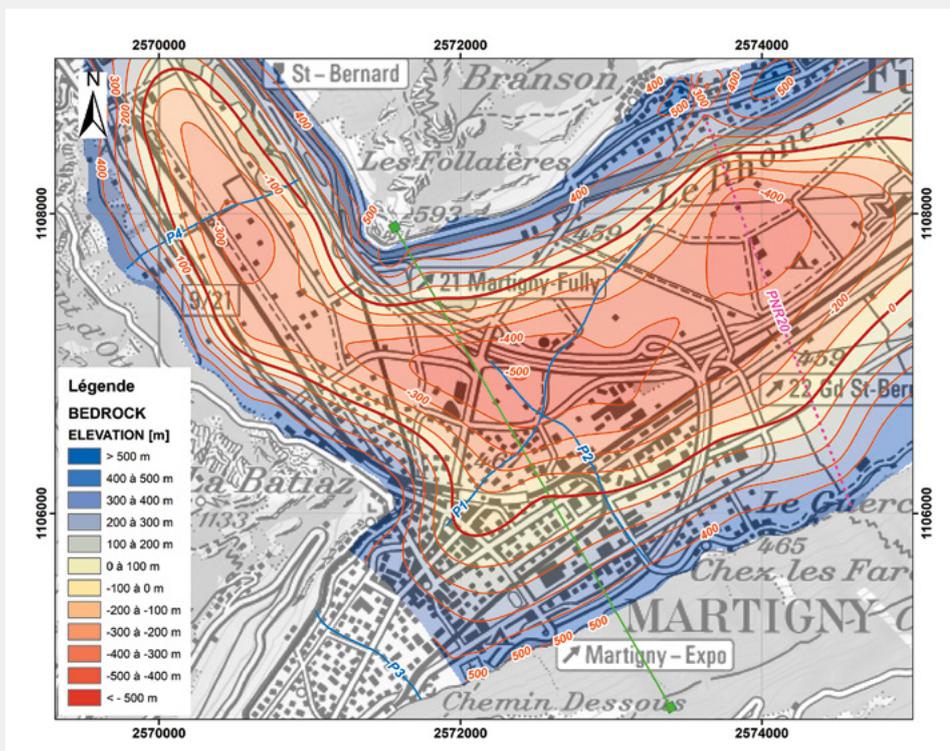


Fig. 4 Isohypses (rouge) du toit du soubassement rocheux dans le secteur du coude du Rhône à Martigny et situation des profils sismiques (bleu et rose).

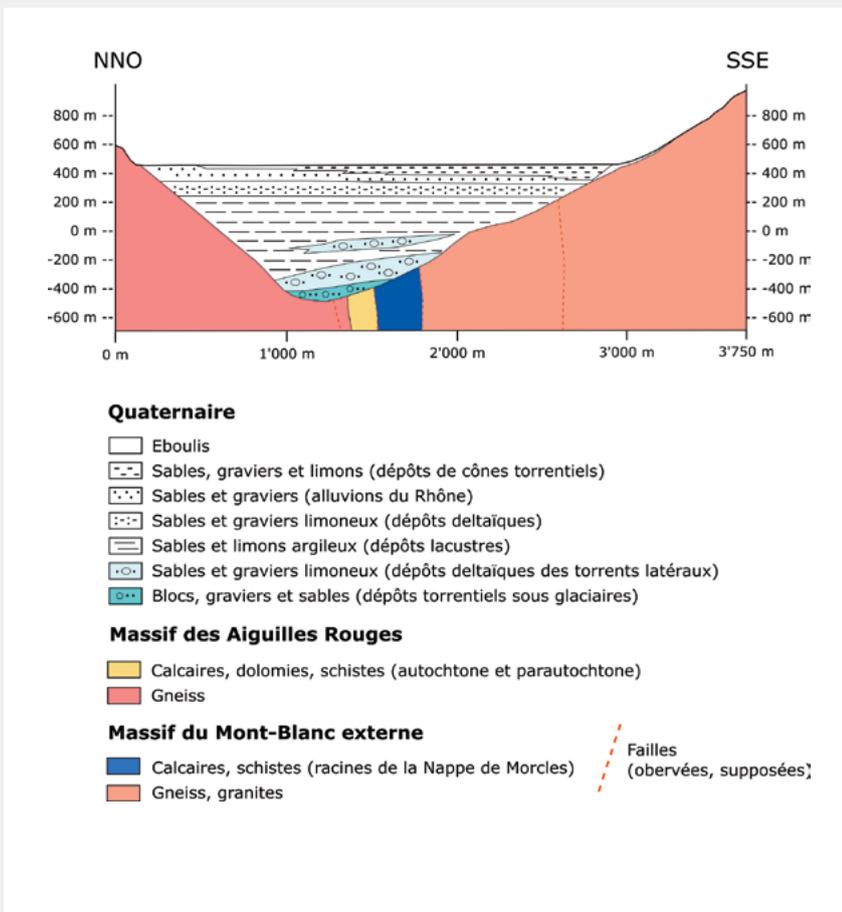


Fig. 5 Coupe géologique de Martigny (modifiée d'après [7]).

dans les Alpes, mais dans des lithologies différentes des DTSG (milieu fissuré). En considérant que la perméabilité des DTSG soit bonne ($K = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s, perméabilité moyenne selon [10] pour ce type d'environnement) sur une épaisseur d'environ 50 m, un débit de 72 m³/h est exploitable depuis un puits de diamètre 0,2 m avec un rabattement de 6 m (formule de Dupuit pour une nappe captive).

TEMPÉRATURE

La température de l'eau contenue dans les DTSG en fond de vallée du Rhône peut être évaluée selon deux scénarios [11, 12, 9, 2]:

- 35 °C à 800 m de profondeur en considérant un gradient géothermique seul de 3 °C/100 m et une température moyenne de surface de 11 °C.
- 45 °C à 800 m de profondeur en considérant un gradient géothermique de 3 °C/100 m couplé à des apports d'eaux thermales depuis les failles du substratum rocheux. Il est cependant possible que la température maximale soit localement proche de celle de Lavey-les-Bains dans le meilleur des cas, soit 65 °C environ, dépendant de la profondeur maximale atteinte par le système d'écoulement des eaux.

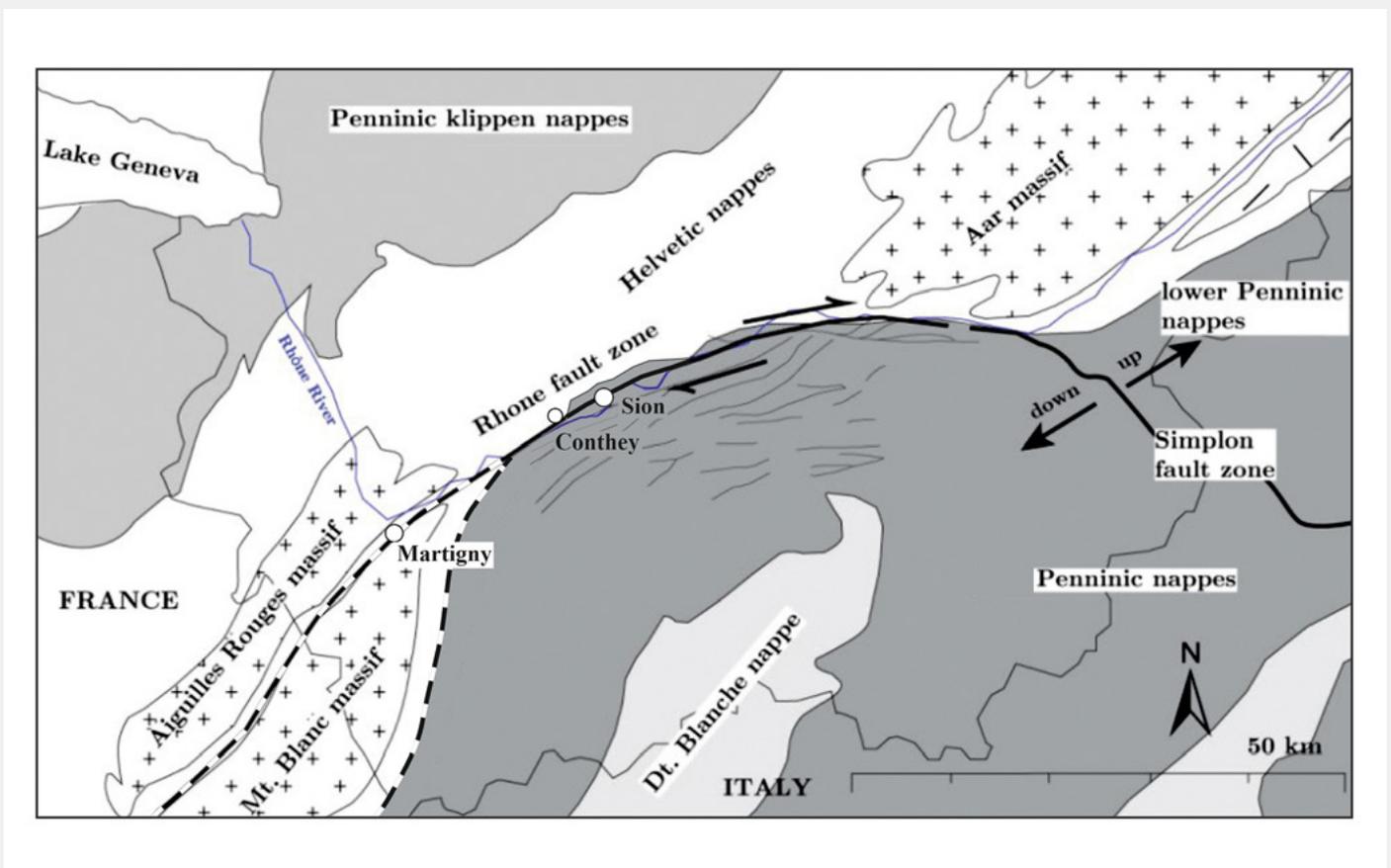


Fig. 6 Tectonique générale de la vallée du Rhône et position de la ligne de failles Rhône-Simplon (modifiée d'après [8]).

POTENTIEL GÉOTHERMIQUE

Sur la base des éléments décrits auparavant, le potentiel géothermique (P) d'un puits dans les DTSG peut être calculé selon l'équation 1 [9]:

$$P = 1000 \cdot Q \cdot (T-t) / 239$$

Eq. 1 Calcul du potentiel géothermique P sur la base du débit Q , de la température de profondeur T et de la température moyenne de surface t .

En admettant $Q=20\text{l/s}$, $T=35\text{ °C}$ et $t=10\text{ °C}$, on arrive ainsi à une puissance thermique P de $2,1\text{ MW}_{\text{th}}$. Pour une eau à 45 °C , la puissance thermique serait de $2,9\text{ MW}_{\text{th}}$.

QUELS RISQUES?

Plusieurs risques peuvent exister pour un forage réalisé dans les DTSG. Ils peuvent être classés en deux catégories: i) les risques d'échec du forage géothermique, ii) les risques inhérents au forage et/ou à son exploitation.

PERMÉABILITÉ TROP FAIBLE

Une perméabilité trop faible des DTSG impliquerait un débit de soutirage insuffisant pour une exploitation économiquement rentable, ainsi que des rabattements importants dans le puits de pompage obligeant à installer la pompe très en profondeur. Ce problème s'est produit au puits «JAFE» à Saillon, mais dans un tout autre environnement hydrogéologique que celui des DTSG (marno-calcaires liasiques), occasionnant des débits relativement faibles (6 l/s) ainsi qu'une partie des incidents liés au système de pompage [12, 13].

PRESSION D'EAU TROP FAIBLE OU TROP ÉLEVÉE

En cas de pression d'eau trop faible des DTSG, la pompe d'exhaure devrait être installée très en profondeur, augmentant ainsi les coûts d'exploitation. Ce scénario est cependant très peu probable. En effet, à titre de référence, dans les forages P100 et P101 aux bains de Saillon qui ont traversé une partie du substratum rocheux sous le remplissage quaternaire (interface sédiments meubles-rocher vers 350 m de profondeur depuis la surface), le niveau de pression d'eau se trouvait proche de celui de la nappe phréatique du Rhône (2 m de profondeur depuis la surface; BEG SA communication personnelle).

En cas de pression d'eau trop élevée, il peut se produire un phénomène d'éruption ou «blowout», c'est-à-dire une remontée incontrôlée de l'eau du réservoir entraînant des sédiments et créant une inondation en surface. Le risque qu'un tel événement se produise est cependant faible sur la base des connaissances hydrogéologiques actuelles sur les circulations d'eau au voisinage de la vallée du Rhône. Il est par contre possible que l'eau soit légèrement artésienne, mais contrôlable (*blowout preventer*), ce qui réduirait éventuellement les coûts de pompage.

TEMPÉRATURE TROP FAIBLE

En dessous de 25 °C environ, les coûts de réalisation et d'exploitation seraient trop élevés par rapport aux bénéfices attendus. Ce risque est nul car une température de 35 °C serait atteinte à 800 m de profondeur en ne considérant qu'un gradient géo-

thermique normal ($3\text{ °C}/100\text{ m}$). À 35 °C , l'énergie est suffisante pour alimenter directement des serres, une piscine ou un centre thermal. Entre 45 °C et 60 °C , l'énergie est suffisante pour une production directe de chauffage à basse température.

COLMATAGE DES CRÉPINES

La présence de sédiments fins dans les DTSG peut entraîner un risque de colmatage des crépines du puits. À cette profondeur, il sera très difficile d'installer un massif de graviers filtrants si bien que les graviers naturellement présents rempliront ce rôle. Un nettoyage du forage pourra être effectué jusqu'à ce que l'eau de sortie soit suffisamment exempte de sédiments fins.

TASSEMENTS DIFFÉRENTIELS

Des tassements différentiels lents et continus peuvent se produire en surface avec l'exploitation de captages d'eau. Ce phénomène est peu probable pour des puits géothermiques car ce sont des aquifères profonds, souvent recouverts par des couches peu perméables et compacts (comme ici les DTSG par des dépôts lacustres et glacio-lacustres épais), qui sont généralement exploités.

SÉISMICITÉ INDUITE

Il s'agit ici d'exploiter par pompage l'eau thermique contenue dans un réservoir poreux, ce qui n'est pas considéré comme une opération associée à un risque sismique. Le débit soutiré diminuera légèrement la pression dans l'aquifère DTSG et éventuellement dans les failles perméables recoupant le substratum rocheux sous-jacent si des connections existent au droit du forage. Au contraire des surpressions, cet effet n'est pas considéré comme un facteur de déclenchement potentiel de séismes induits.

CHIMISME DES EAUX TROP ÉLEVÉ

Un chimisme de l'eau trop élevé peut poser des problèmes de corrosion, de coloration, d'incrustation et/ou de rejet des eaux une fois l'énergie soutirée. Selon [13] et [14] les eaux thermales dans la vallée du Rhône ne présentent pas une forte minéralisation qui pourrait rendre impossible leur exploitation. Les DTSG pouvant être alimentés en partie par les roches évaporitiques du Trias, le Total des Solides Dissous (TSD) pourrait être compris entre 2000 mg/l (ex.: Leukerbad, Vals, Acquarossa, Val d'Illiez, Lavey, Brigerbad, Saillon-Bains, etc.) et 5000 mg/l (ex.: Combioula, Saillon-JAFE, Saint-Gervais-les-Bains, etc.).

Les phénomènes de corrosion des composants métalliques dans les puits (tubes aveugles, crépines, pompe, etc.) peuvent provenir soit d'une fuite de l'alimentation électrique de la pompe, soit d'un chimisme de l'eau agressive. Le deuxième mécanisme est le plus fréquent (ex.: Saillon-JAFE; [12, 13]). Cette corrosion est souvent accompagnée d'un encroûtement des parois du tube par précipitation des sulfures ferreux provoquée par:

- la présence d' H_2S ,
- de fortes concentrations en chlorures,
- les échanges ioniques avec les sulfures ferreux,
- la réduction par des bactéries des sulfates en sulfites le long des parois des tubes,
- le changement de potentiels électriques par les bactéries,
- la création d'un écoulement turbulent,
- le dégazage du CO_2 .

Pour remédier à la corrosion, des inhibiteurs anticorrosifs (ex.: sels d'ammonium et acides gras) peuvent être injectés de façon

continue à travers un petit tube jusqu'au fond du puits, ou des équipements résistants (acier inoxydable ou composite renforcé) peuvent être installés dans le puits.

PRÉSENCE DE GAZ DANGEREUX

La présence de gaz dangereux, tels que des gaz d'hydrocarbures (méthane) ou du H₂S peut occasionner des problèmes de toxicité ou d'explosion. Ces gaz sont formés en présence de matière organique ou de pyrite. Ce risque est faible pour le cas d'un forage à Vétroz ou à Martigny compte tenu des conditions hydrogéologiques attendues. Des mesures de sécurité peuvent être prises pour stopper une pression de gaz trop élevée en tête de puits (vanne) et pour traiter les effluents.

REJET DES EAUX

Les eaux thermales exploitées peuvent être rejetées dans les eaux de surface si les exigences légales sont respectées (OEaux). Selon le type d'eau, des traitements peuvent être parfois appliqués pour satisfaire ces exigences (oxydation, floculation, décantation, neutralisation, filtration, etc.).

QUELS INVESTISSEMENTS?

DÉPENSES

Le coût et l'équipement d'un forage traditionnel (tube plein, crépine et cimentation) à la profondeur d'environ 850 m (ex.: Vétroz) peut être évalué à environ 1000 à 1500 francs/m. Pour des tubages en inox ou en revêtement composite, le prix est plus élevé. En ajoutant les coûts liés aux conduites pour le transport de l'eau thermique, à l'achat d'une pompe immergée, aux rejets dans les eaux de surface (pas de forage de réinjection), aux infrastructures annexes, aux essais de pompage, aux tests de mise en production et aux prestations d'ingénieurs, un investissement d'environ 3-4 mio francs peut être approximativement estimé pour la réalisation d'un tel projet. Les coûts liés à l'abandon du forage lorsque celui-ci sera en fin de vie ne sont pas compris dans ces estimations. Pour la maintenance et l'entretien du dispositif d'exploitation des eaux thermales, on peut estimer les coûts à environ 150 000 francs/an.

REVENUS THÉORIQUES

En prenant un prix de vente moyen de 10 ct/kWh (ex.: Riehen) et un débit d'ex-

Température eaux thermales pompées [°C]	Température eaux thermales rejetées [°C]	Utilisation. Ex: chauffage (2500) ou centre thermal (5000) [h/an]	Puissance thermique [MW _{th}]. Base: 20 l/s	Energie utilisable [MW _{th} /an]	Prix de vente [CHF/an]. Base: 10 ct/kWh
35	10	2500	2,1	5250	525000
35	10	5000	2,1	10500	1050000
45	10	2500	2,9	7250	725000
45	10	5000	2,9	14500	1450000

Tab. 1 Revenus théoriques liés à l'exploitation d'un forage dans les DTSG de la vallée du Rhône selon plusieurs variantes de calcul.

ploitation de 72 m³/h pour un forage, les revenus théoriques sont compris entre 523 000 francs et 1 450 000 francs si l'énergie est utilisée de manière optimale (température de rejet de 10 °C; tab. 1). Pour une durée de 30 ans, les frais seraient d'environ 8 mio francs et les revenus entre 15,7 et 43,5 mio francs.

CONCLUSIONS

Les investigations géophysiques complémentaires au PNR20 menées en 2013 et 2014 dans la vallée du Rhône à Vétroz et Martigny représentent une base scientifique solide donnant des informations nécessaires sur la position, la profondeur et l'épaisseur des dépôts torrentiels sous-glaciaires (DTSG) considérés comme potentiellement aquifères compte tenu de leur environnement de dépôt. Cette ressource reste néanmoins théorique et doit être vérifiée par un ou plusieurs forages exploratoires.

Au plus profond à Martigny, le fond de l'auge glaciaire se situe à environ 1 km de profondeur depuis la surface. Une température des eaux comprise entre 35 °C et 45 °C est attendue dans les DTSG ce qui en fait une cible de choix pour de futurs projets de géothermie de moyenne profondeur. La situation des DTSG à l'aplomb du réseau de failles du système Rhône-Simplon, et au-dessus des extrémités Est des massifs cristallins des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc, est idéale car les DTSG pourraient être alimentés par d'importantes venues d'eau thermale ascendantes. La mise en contact hydrogéologique de ces structures avec les DTSG offre de nombreux avantages:

- Continuité de la ressource sur plusieurs dizaines de km;
- Alimentation en eaux thermale possible depuis différentes unités géologiques et tectoniques;
- Proximité de plusieurs zones de dessertes potentielles;

- Ressource exploitable à partir d'un aquifère à porosité d'interstice ne demandant ni stimulation de réservoir ni rejet en profondeur;
- Température intéressante pour une utilisation optimale de l'énergie;
- En fonction des données acquises, possibilité de proposer une variante de prospection plus profonde et plus chaude dans le substratum rocheux fracturé.

Un projet de géothermie à la base des dépôts quaternaires de la vallée du Rhône s'inscrit parfaitement avec les objectifs énergétiques du canton du Valais qui vise à long terme (2060) un approvisionnement en énergie 100% renouvelable et indigène, et de la confédération (stratégie énergétique 2050) qui souhaite encourager la valorisation de l'énergie d'origine géothermique. Les atouts de la géothermie sont nombreux: utilisation en cascade des eaux thermale, énergie modulable en fonction des besoins, indépendance vis-à-vis du climat et des saisons, disponibilité en tout temps, faible impact visuel des infrastructures et très faibles émissions néfastes pour l'environnement.

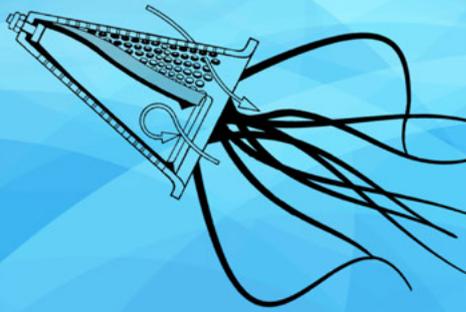
BIBLIOGRAPHIE

- [1] Sonney, R. (2010): *Groundwater flow, heat and mass transport in geothermal systems of a Central Alpine Massif. The cases of Lavey-les-Bains, Saint-Gervais-les-Bains and Val d'Illeiez*. PhD Thesis, Center for Hydrogeology and Geothermics CHYN, University of Neuchâtel, Switzerland
- [2] Besson, O. et al. (1993): *Campagne de sismique réflexion dans la vallée du Rhône entre Sion et Saint-Maurice: perspectives d'exploitation géothermique des dépôts torrentiels sous-glaciaires*. Bulletin du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel 12: 39-58
- [3] Pfiffner, O.A. et al. (1997): *Deep Structure of the Swiss Alps. Results of PNR20*. ISBN 3-7643-5254-X
- [4] CREALP (2015): *GÉOTHERMOVAL II. Potentiel géothermique des conduits à perméabilité élevée en*



Stop Silent® Ventile...

...bewegen
sich wie
die Qualle.



- Wasserversorgung
- Hausinstallation
- Abwasser



stopsilent.ch

fond de la vallée du Rhône – secteur de Martigny-Conthey. CREALP, rapport non publié

- [5] Clerc, S. (2012): Modèles de dépôt sous-glaciaires et dynamique de remplissage des vallées tunnel. Exemple au Quaternaire (Bray, Irlande) et application à l'Ordovicien supérieur de l'Anti-Atlas (Alnif, Maroc). Thèse, Université de Bourgogne
- [6] Sartori, M.; Epard, J.L. (2011): Notice explicative de la carte géologique 1306 – Sion. Atlas géologique de la Suisse
- [7] Résonance Ingénieurs-Conseils SA (2015): Microzonage sismique spectral de Martigny – Rapport technique
- [8] Glenz, D. (2014): Inverse modeling of groundwater flow in the Rhône alluvial aquifer impact of the third Rhône correction. PhD Thesis, Center for Hydrogeology and Geothermics CHYN, University of Neuchâtel, Switzerland
- [9] Sonney, R.; Vuataz, F.D. (2008): Properties of geothermal fluids in Switzerland: A new interactive database. Geothermics 37: 496–509
- [10] Cummings, D.I.; Russel, H.A.J.; Sharpe, D.R. (2012): Buried valleys and till in the Canadian Prairies geology, hydrogeology, and origin. Canadian Journal of Earth Sciences 49(9): 987–1004
- [11] Bianchetti, G. (1993): Circulations profondes dans les Alpes: Hydrogéologie, géochimie et géothermie des sources thermales du Valais (Suisse) et régions limitrophes. CRSFA, rapport non publié
- [12] CRSFA (1996): Forage géothermique Jafe à Saillon. Rapport technique final. CRSFA 96.47
- [13] Bianchetti, G. (2003): Forage géothermique profond Jafe à Saillon (VS). OFEN, rapport final
- [14] Vuataz, F.D. et al. (1993): Programme GÉOTHERMOVAL: résultats d'une prospection des ressources géothermiques du Valais, Suisse. Bulletin du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel 12: 1–37

> FORTSETZUNG DER ZUSAMMENFASSUNG

ist daher für künftige Projekte mittlerer Tiefe in porösen und/oder frakturierten Bereichen hoch. Diese Ressource ist umso interessanter, weil die Region dicht besiedelt ist (viele potenzielle Nutzer) und die Geothermie vom Kanton Wallis und dem Bund unterstützt wird.

¹ CRSFA: Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliquées in Sitten, gegründet 1968 und 1998 umbenannt in CREALP (Centre de recherche sur l'environnement alpin).