

# GÉOTHERMOVAL II

## POTENTIEL GÉOTHERMIQUE À LA BASE DE LA VALLÉE GLACIAIRE DU RHÔNE (RÉGION VÉTROZ-ARDON)

La région de Vétroz-Ardon dans la plaine du Rhône en Valais a un potentiel géothermique intéressant localisé dans des dépôts torrentiels sous-glaciaires supposés et dans le rocher fracturé sous-jacent. Ces réservoirs auraient une épaisseur cumulée de 200 à 350 m (800 à 1150 m de profondeur) avec de possibles circulations hydrothermales alimentées par le réseau du système de failles Rhône-Simplon. D'autres cibles plus chaudes et plus profondes sont également possibles dans les calcaires des nappes helvétiques qui s'ensoufflent sous l'auge glaciaire.

*Romain Sonney\*; Marie Clausen-Luyet, CREALP; Michel Barras; Fabien Kuchler, OIKEN; Mario Sartori; Frank Philippossian, BEG SA Jean-Claude Puech; Claudio Strobbia; Megan Nightingale, RealTimeSeismic; Henk van Paridon, Energeo; David Dupuy, Geo2X*

### ZUSAMMENFASSUNG

#### GEOTHERMOVAL II – GEOTHERMISCHES POTENZIAL IM RHONETAL (REGION VÉTROZ-ARDON)

Die Erfassung eines neuen 3 km langen seismischen Profils des Rhonetals im Jahr 2021 und die neuerliche Aufbereitung von drei alten Profilen, die 2013 erfasst worden waren, verbesserten die Kenntnisse über die Geometrie der quartären Verfüllung in der Region Vétroz-Ardon deutlich. Die neu zusammengetragenen Daten bilden eine solide wissenschaftliche Grundlage, welche die notwendigen Informationen über die Quartär-Gesteinsgrenze und die Position, Tiefe und Dicke der verschiedenen Quartärformationen liefert. Eine an der Basis der Verfüllung identifizierte Ebene könnte potenziell subglazialen Ablagerungen entsprechen. Diese Ressource für die geothermische Nutzung, die sich in einer Ebene über dem zerklüfteten Felsen befindet und vom Netz des Verwerfungssystems Rhône-Simplon durchzogen ist, bleibt jedoch theoretisch und muss durch eine oder mehrere Erkundungsbohrungen überprüft werden. Nur Bohrungen und hydrogeologische Messungen können Auskunft geben über die Lithologie und die Permeabilität der verschiedenen in diesem Gebiet vorhandenen Formationen (Quartär und frakturiertes Gestein) sowie über die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Flüssigkeiten (Temperatur, wichtige Elemente usw.). Weiter in der Tiefe stellen die Kalksteine der helvetischen Grundwasservor-

### INTRODUCTION

Le potentiel d'exploitation géothermique des sédiments profonds de la vallée du Rhône a été reconnu au début des années 1990 par le Centre de Recherche Scientifique Fondamentales et Appliquées (CRSFA<sup>1</sup>) à la suite d'une campagne de sismique réflexion menée dans la vallée du Rhône entre Sion et St-Maurice [1] dans le cadre du projet PNR20 «Exploration du soubassement géologique de la Suisse» achevé en 1993 [2]. L'interprétation de la sismique a mis en évidence, dans la partie la plus basse de l'auge glaciaire, une couche de nature différente du reste du remplissage et présente de manière relativement continue. Selon les diverses hypothèses formulées, ce niveau serait issu soit de dépôts morainiques, soit de coulées de débris depuis les flancs de la vallée au moment du retrait du glacier, soit de l'apport de sédiments grossiers par le glacier lui-même et par les écoulements d'eau dans un chenal torrentiel sous-glaciaire [3]. La dernière hypothèse est considérée comme la plus vraisemblable. Même si elle demeure encore inconnue à ce stade en l'absence de forage de reconnaissance, la perméabilité des dépôts torrentiels sous-glaciaires (DTSG) est supposée bonne car les sismofaciès de ces sédiments sont comparables à ceux observés près du fond de l'auge surcreusée du lac de Zurich

\* Contact: [romain.sonney@crealp.vs.ch](mailto:romain.sonney@crealp.vs.ch)

(Photo: © Richard Semik, Adobe Stock)

[4]. Le carottage sur les bords du lac a démontré que ces sédiments dans la même formation sismique correspondent à des moraines et graviers glaciaires. De même, un forage de prospection pétrolière dans la plaine de l'Orbe a décelé la présence d'un aquifère artésien à la base d'une auge glaciaire surcreusée [5].

D'autres travaux menés par la suite ont contribué à améliorer les connaissances sur le remplissage de la vallée du Rhône, par gravimétrie dans le cadre de travaux de recherche de la Commission Suisse de Géophysique et de l'Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne [6] puis par la sismique réflexion dans le cadre du microzonage sismique spectral (MSS) du canton du Valais [7]. Trois profils sismiques P1, P2 et P3 ont été exécutés en janvier 2013. Le profil P2 concorde avec l'ancienne ligne sismique du PNR20, P3 est à environ 500 m à l'Est de celle-ci et P1 entre 500 m (partie sud) et 1400 m (partie nord) à l'ouest (fig. 1). Les interprétations de ces profils ont permis de situer le toit du rocher à l'altitude de -375 msm au plus profond de l'auge dans ce secteur, soit une épaisseur totale du Quaternaire de 850 m environ. Des DTSG ont été individualisés du fait de leur nature «déstructurée» sur les profils, avec une épaisseur maximale atteignant 175 m. L'épaisseur de 100 m des DTSG est dépassée sur une largeur de 300 m environ.

## INVESTIGATION GÉOPHYSIQUE

### PROFIL DE SISMIQUE RÉFLEXION P4

Suite à ces premiers résultats très encourageants pour la région de Vétroz-Ardon, le distributeur multi-énergie du Valais central OIKEN, qui s'intéresse à la géothermie dans le cadre de la transition énergétique, a décidé de financer une étude détaillée du potentiel géothermique de ce secteur. Ce projet comprend la réalisation d'un nouveau profil de sismique réflexion (P4) de 3 km à travers la plaine du Rhône, ainsi que la construction d'un modèle géologique 3D du remplissage quaternaire dans le but d'identifier de potentiels cibles géothermiques. Afin de minimiser l'impact de l'activité anthropique sur les enregistrements, le profil P4 a été acquis durant la nuit (fig. 2). Les données ont été enregistrées avec un système de

géophones nodaux espacés tous les 5 m environ. La position des géophones et des tirs a été relevée par DGPS (*Differential Global Positioning System*) avec correction RTK (*Real Time Kinematic*) par système

base-rover, garantissant une précision du positionnement centimétrique. Les vibrations ont été générées avec un camion vibreur léger de type *EnviroVibe II*, tous les 10 m et durant 60 secondes [8].

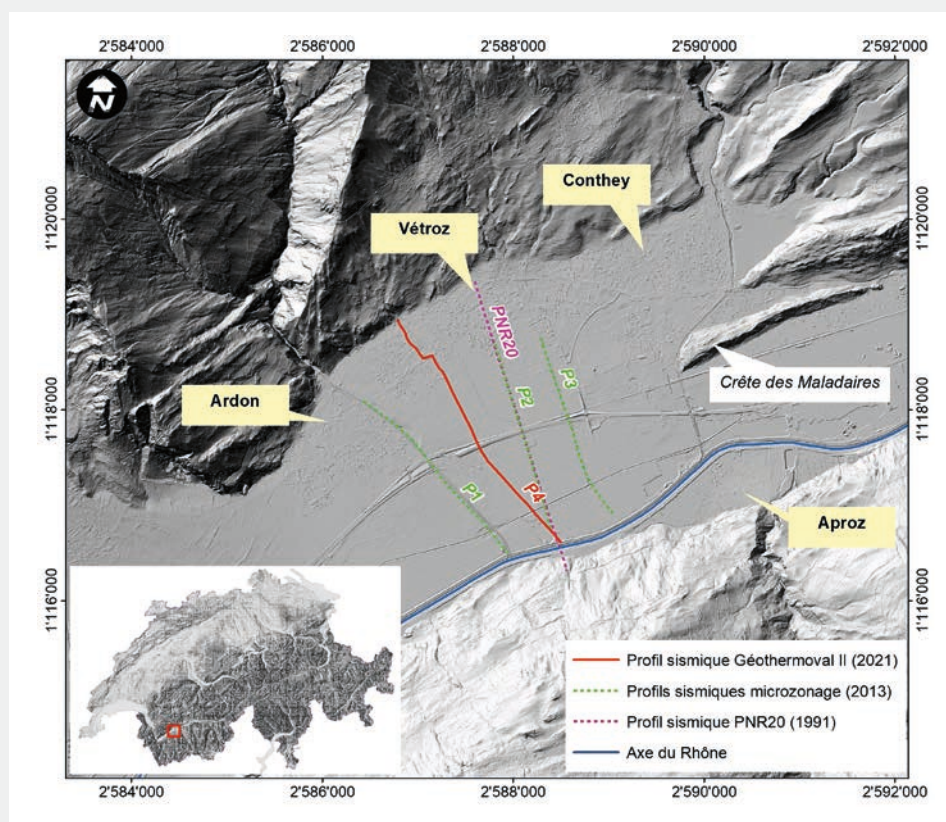


Fig. 1 Situation des profils sismiques réalisés dans la région de Vétroz-Ardon.

(Fond de carte: source © swisstopo)



Fig. 2 Photo du camion vibreur de type EnviroVibe II.

<sup>1</sup> Le CRSFA a été fondé en 1968 et renommé CREALP (Centre de recherche sur l'environnement alpin) en 1998.

<b>Interface</b>	5 m	<b>Intertir</b>	10 m
<b>Traces</b>	587	<b>Format de données</b>	SEGY
<b>Source</b>	EnviroVibe II	<b>Échantillonnage</b>	1 ms
<b>Longueur du sweep</b>	60 s	<b>Fréquence du sweep</b>	12–120 Hz LIN
<b>Longueur d'enregistrement</b>	3 s	<b>Géophones</b>	5 Hz single high sensitivity

Tab. 1 Paramètres d'acquisition du profil P4.

Les paramètres d'acquisition utilisés lors de cette campagne de sismique réflexion sont résumés dans le *tableau 1*.

Les données acquises en 2013 avaient été enregistrées avec un système filaire de 96 canaux actifs, composés chacun d'une grappe de 6 géophones, espacés de 5 m (déport maximum de 480 m). Les tirs espacés de 10 m avaient été réalisés à l'explosif. La longueur approximative des profils était de l'ordre de 2,3 km.

### TRAITEMENT DES DONNÉES

Dans un souci de cohérence, les profils P1, P2 et P3 acquis en 2013 ont été retraités par le même géophysicien, conjointement au profil P4 de 2021 et en harmonisant le plus possible les paramètres de traitement.

En l'absence de forage, la conversion temps-profondeur a été réalisée en utilisant les vitesses  $V_{rms}$  (*root-mean-square velocity*) issues de traitement en temps PSTM (*Pre-Stack Time Migration*) et converties en vitesse de Dix (*fig. 3*). Compte tenu des offsets limités par l'encaissement de la vallée et le dispositif de 2013, l'incertitude sur les profondeurs demeure importante. Lors du traitement, il a été constaté que les vitesses de la

ligne nouvellement acquise (P4) étaient légèrement plus lentes que celles des lignes existantes (P1 à P3). La longueur des offsets du P4 étant de loin supérieure à celle des autres lignes, les vitesses de P4 ont été préférées pour convertir les lignes de 2013. Ce travail a permis d'améliorer significativement les images de P1 à P3 et par conséquent de positionner les différentes interfaces du remplissage quaternaire de manière plus robuste et plus cohérente. Les résultats de la conversion temps-profondeur ont été comparés aux estimations de profondeur existantes basées sur les études antérieures et se sont avérés cohérents.

### INTERPRÉTATION GÉOLOGIQUE

L'interprétation géologique de l'ensemble des données traitées a été effectuée avec l'objectif de délimiter l'interface rocher-Quaternaire et les différentes formations au sein du remplissage sédimentaire là où c'était possible, selon plusieurs attributs sismiques proposés par le logiciel d'interprétation Kingdom<sup>2</sup> (*Amplitude, Average Energy, Envelope, et Phase*). Ces attributs facilitent l'identification des différentes formations. Les connaissances sur les processus de dépôt des types de

sédiments dans les vallées glaciaires, décrites dans de nombreuses références, aident à interpréter les résultats.

#### Toit du substratum rocheux

La limite rocher – remplissage quaternaire est bien imagée sur les différents profils, surtout sur le prolongement des deux versants. Au fond de la vallée, cette limite est moins nette en raison d'une géométrie en V peu favorable à l'imagerie géophysique. Ceci accroît l'incertitude de l'épaisseur du remplissage quaternaire et des DTSG. À noter également sur le versant en rive droite la présence de réflecteurs dédoublés du toit du substratum rocheux. Ceci est probablement dû à la rugosité du versant, où le côté haut et le côté bas d'une crête peuvent être imagés en même temps en raison de propagations hors plan. Il s'agit d'une caractéristique limitante de la sismique 2D.

#### Remplissage sédimentaire

La première couche au fond de l'auge glaciaire (D, *fig. 4*) montre un faciès déstructuré par comparaison aux dépôts qui la surmontent, à l'exception de quelques marqueurs très réfléchifs. Elle représenterait des DTSG et/ou des dépôts morainiques. Un niveau stratifié de 50 à 100 m d'épaisseur (C, *fig. 4*), drapant les DTSG et les flancs de l'auge glaciaire. Il comporte des structures sédimentaires (clinoformes en downlap, troncatures) et pourrait représenter des dépôts glacio-lacustres érodés à leur toit, peut-être par une phase de réavancée glaciaire. Le remplissage principal de la vallée (B, *fig. 4*) montre un faciès finement stratifié, globalement homogène, drapant les niveaux sous-jacents et s'appuyant en onlap contre les flancs de la vallée. Il correspond à des dépôts lacustres atteignant jusqu'à 600 m d'épaisseur. Enfin, le niveau superficiel caractérisé par des réflexions énergiques mais discontinues représente les formations alluvionnaires du Rhône sur une épaisseur d'environ 100 m (A, *fig. 4*). Elles sont imbriquées avec les dépôts torrentiels de la Lizerne (faciès sismique plus transparent) au NNO de la section. Cette succession mise en évidence dans la vallée du Rhône à plusieurs endroits (Martigny, Riddes, Vétroz-Ardon, Sion et Sierre) est comparable à des séquences

<sup>2</sup> Logiciel Kingdom<sup>®</sup> Seismic and geological interpretation, IHS Markit

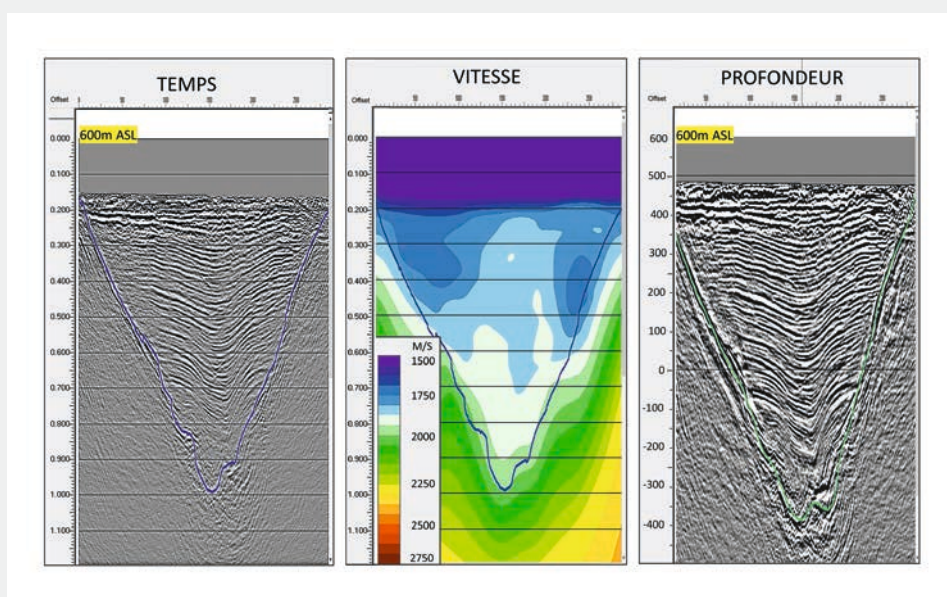


Fig. 3 Conversion temps-profondeur des données du profil P4.

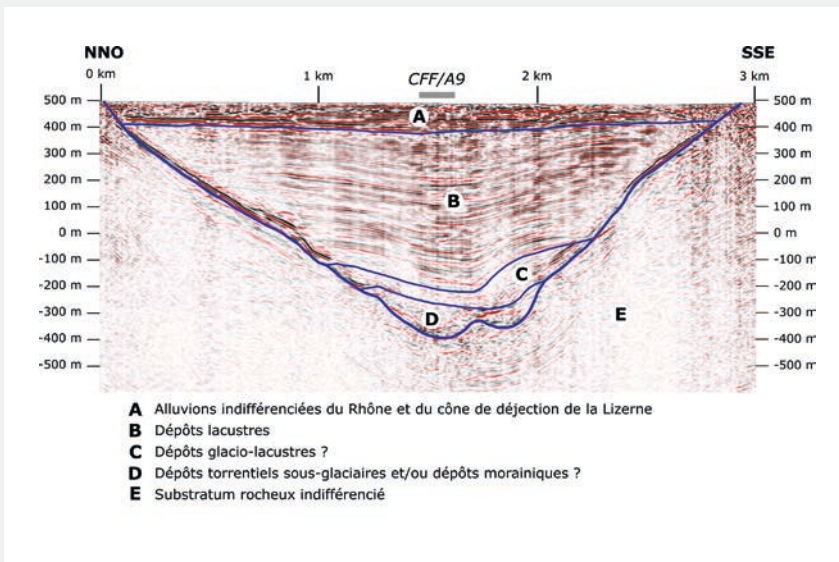


Fig. 4 Interprétation géologique du profil P4. L'axe vertical est exagéré d'environ 1,5 fois.

documentées dans d'autres vallées alpines comme par exemple à Lienz [9], dans les Préalpes suisses [10] ou dans le Tyrol autrichien [11] suite à des reconnaissances par des méthodes géophysiques.

**MODÈLE GÉOLOGIQUE**

L'interpolation de surfaces 3D a été réalisée avec les programmes de calcul *Kingdom et Global Mapper*<sup>3</sup> à partir des données des 4 lignes de sismique réflexion. L'interpolation a engendré dans un premier temps des artefacts qui apparaissent comme des bosses et des creux dans la topologie. Ces ondulations artificiellement

générées qui résultent de la distribution non homogène des points de données et des effets de bord ont été corrigées manuellement de manière à lisser les différentes interfaces (tops). Les surfaces ainsi obtenues ne présentent pas moins d'incertitude, mais elles sont géologiquement plus réalistes (fig. 5 et 6).

**Toit du substratum rocheux**

Dans les profils P2, P3 et P4, le fond de l'auge glaciaire montre deux thalwegs ou paléo-vallées séparés par une structure bombée assimilable au substratum rocheux. Ce relief se situe dans l'alignement direct de la Crête des Maladaires (fig. 1) et il pourrait correspondre à son prolongement sous les formations quaternaires.

Cette structure s'estompe vers le SSO et n'est plus visible sur le profil P1. Le fond de l'auge glaciaire apparaît irrégulier, probablement en raison de l'érosion différentielle des lithologies du substratum rocheux et du surcreusement des zones de dégâts des failles qui longent la vallée (fig. 7 et 8).

La base du remplissage quaternaire se situe au plus profond à l'altitude d'environ -400 m (P1), ce qui est cohérent avec les précédentes interprétations (-375 m selon [7]). L'épaisseur des DTSG est la plus grande dans les deux paléo-vallées, jusqu'à 160 m dans P3 (paléo-vallée Sud). À la jointure des deux paléo-vallées vers P1, les DTSG ont une épaisseur de 100 à 120 m.

**Remplissage sédimentaire**

Découlant de la conversion temps-profondeur, des incertitudes existent sur la position des différentes interfaces du remplissage quaternaire et par conséquent sur les épaisseurs des différentes formations issues de l'interprétation des 4 profils. D'autres incertitudes existent et ne peuvent être levées que par la réalisation d'un forage de reconnaissance. Il s'agit notamment de la lithologie et de la perméabilité des différentes formations du Quaternaire et du rocher sous-jacent, ainsi que de la température et des propriétés physico-chimiques des eaux. Le rocher sous-jacent est supposé fracturé, avec des perméabilités élevées dans les

<sup>3</sup> Logiciel Global Mapper®, Blue Marble Geographics

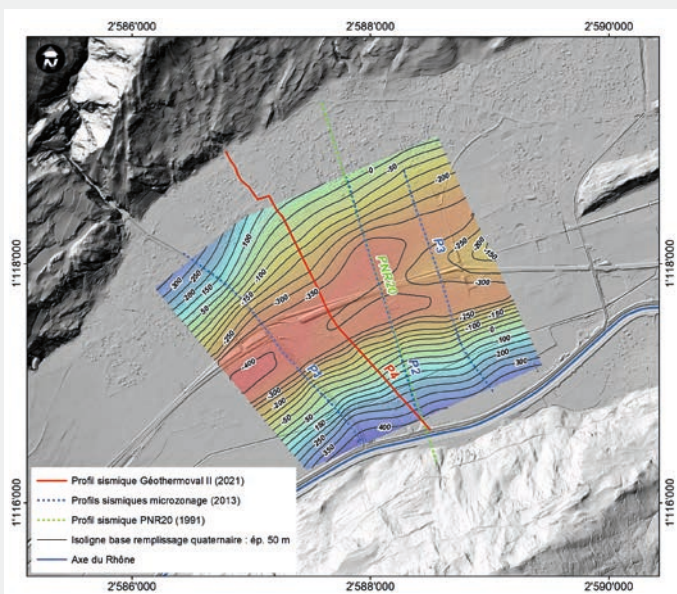


Fig. 5 Carte de l'altitude de la base du remplissage quaternaire (toit du substratum rocheux) dans le secteur de Vétroz-Ardon. (Fond de carte: source © swisstopo)

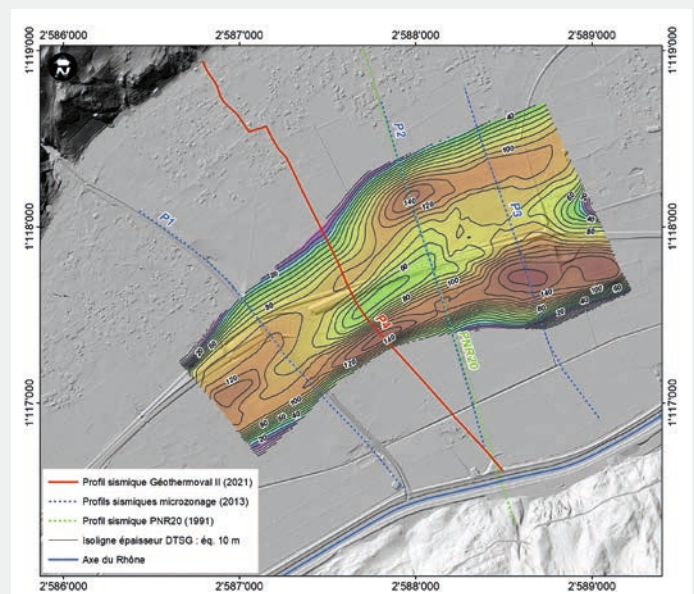


Fig. 6 Carte de l'épaisseur des dépôts torrentiels sous-glaciaires (DTSG) dans le secteur de Vétroz-Ardon. (Fond de carte: source © swisstopo)

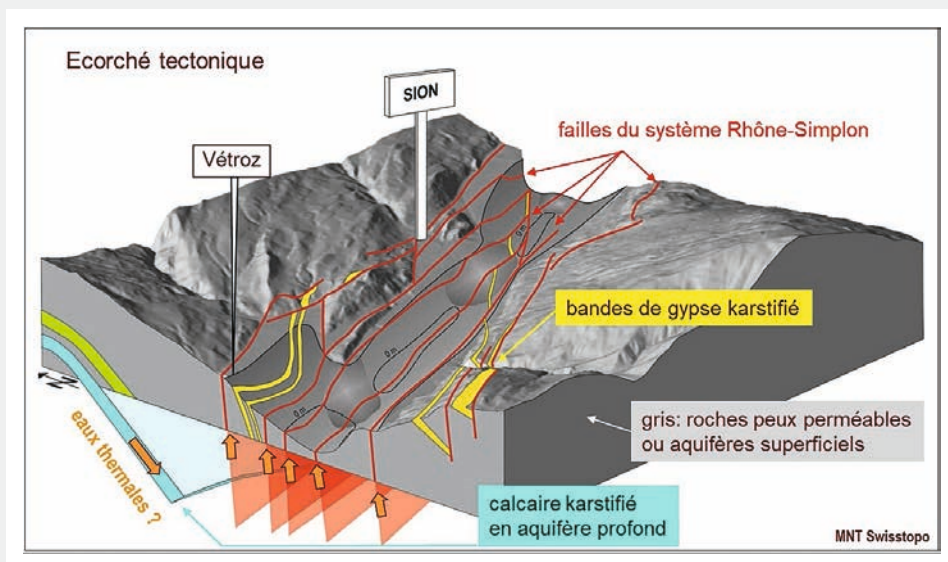


Fig. 7 Bloc diagramme schématique de la vallée du Rhône illustrant les failles du système Rhône-Simplon et les formations aquifères. (MNT: source © swisstopo)

premiers 100 à 200 m environ (comme observé dans le forage P101 à Saillon; communication BEG SA) suite à la décompression de la roche lors du retrait glaciaire. La plus grande incertitude réside sur la nature du rocher au fond de l'auge glaciaire (fig. 8): Nappe de Sion-Courmayeur (Unité du Roignais-Versoyen: méta-flysch; Mélange de la Pierre Avoi: méta-conglomérat, blocs de marbre, de dolomie et de quartzite) ou Nappes du Mont Gond et du Sublage (calcaires, schistes et évaporites)?

## CIBLES GÉOTHERMIQUES

Dans l'état actuel des connaissances, on peut présumer l'existence de deux cibles potentielles pour un projet de géothermie dans la région de Vétroz-Ardon: 1) les DTSG et le rocher décomprimé sous-jacent dans la région de Vétroz-Ardon et 2) les calcaires des nappes helvétiques (Nappes du Mont Gond et du Sublage, des Diablerets, d'Ardon et de Morcles). Ces deux cibles ont donc des contextes hydrogéologiques différents: type de cir-

culatation, volume du ou des réservoirs, perméabilité, porosité, chimisme des eaux, température, etc. Les paramètres de chaque cible pourraient néanmoins être vérifiés à l'aide d'un seul forage de reconnaissance.

### CIBLE 1 DTSG ET ROCHER FRACTURÉ

La première cible (DTSG et rocher sous-jacent supposé fracturé) aurait une épaisseur totale de 200 à 350 m et se situerait vers 800 à 1150 m de profondeur. Il est assez probable que le rocher à proximité de la base de l'auge glaciaire abrite de nombreuses fractures connectées avec des circulations d'eaux thermales. En effet, la plaine du Rhône entre Martigny et Visp montre un réseau dense de failles à fort pendage et à rejet oblique (décrochant dextre et normal), d'orientation générale OSO-ENE, qui serait aligné avec l'axe de la vallée à Vétroz-Ardon (fig. 7 et 8). Il constituerait un milieu offrant une perméabilité favorable pour la circulation de fluides hydrothermaux depuis le rocher 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. Ces der-

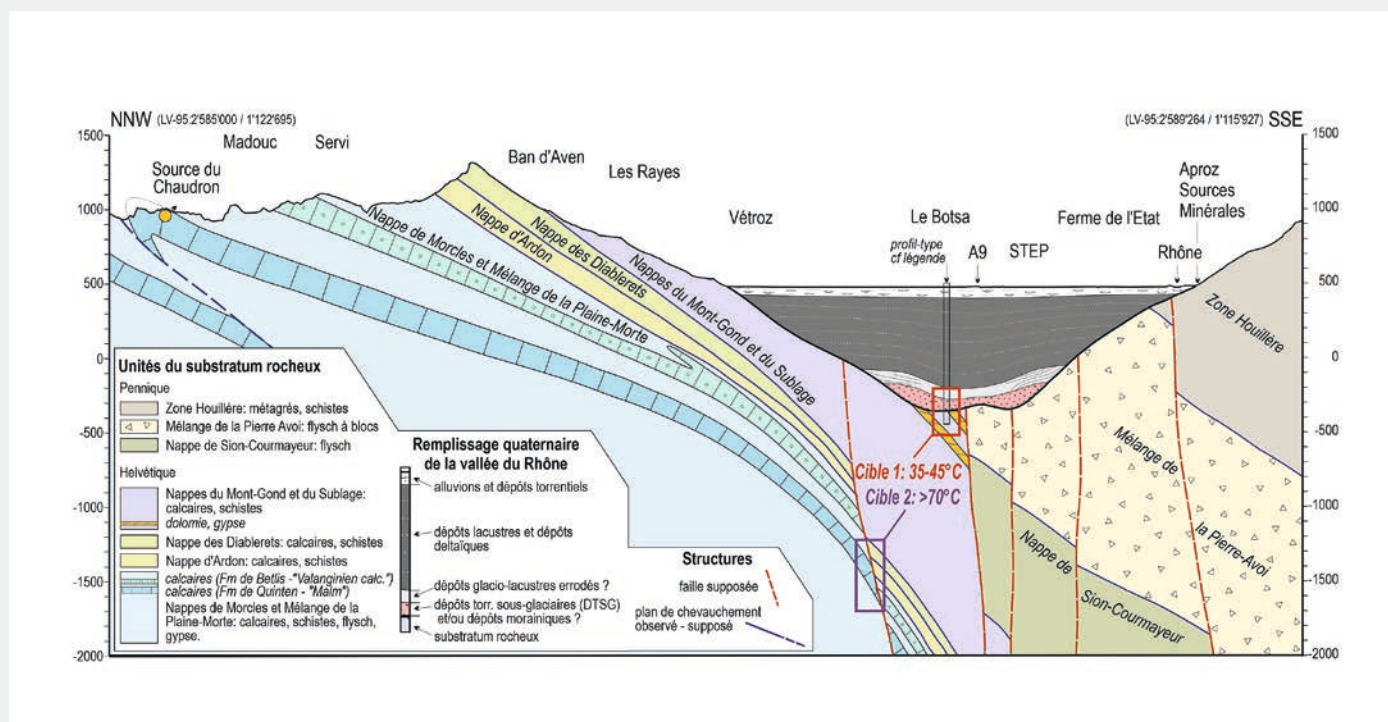


Fig. 8 Coupe géologique entre la source du Chaudron (gorges de la Lizerne) et la rive gauche du Rhône vers Aproz Sources Minérales. Constituant les principales cibles potentielles, les dépôts torrentiels sous-glaciaires (cible 1) sont représentés en rose et les calcaires du Malm de la nappe de Morcles (cible 2) en bleu.

niers constituent un réservoir en forme de chenal qui pourrait être continu sur plusieurs dizaines de kilomètres.

Le potentiel géothermique des DTSG a été calculé par Besson *et al.* [1] et Vuataz *et al.* [12] en admettant un gradient géothermique de 2,5 °C/100 m et une température annuelle de surface de 10 °C. Pour le profil de Vétroz (env. 900 m de profondeur), cela correspondrait donc à une température de 33 °C minimum. Les DTSG étant peut-être alimentés en eau plus profonde par des zones fracturées du substratum rocheux, la température y est éventuellement plus élevée (35 à 45 °C). Du point de vue hydrogéologique, la zone la plus intéressante à prospecter est sans doute la zone où les deux paléo-vallées se réunissent vers P1 à la limite entre les communes de Vétroz et d'Ardon.

Sur la base des éléments décrits auparavant, le potentiel géothermique  $P$  d'un puits dans les DTSG peut être calculé selon l'équation 1 [13]:

$$P = 1000 \times Q \times (T - t) / 239 \quad (\text{éq. 1})$$

En admettant un débit  $Q=20\text{l/s}$ , une température de l'eau  $T=35\text{ °C}$  et une température annuelle de surface  $t=10\text{ °C}$ , on arrive ainsi à une puissance thermique  $P$  de 2,1 MW<sub>th</sub>. Pour une eau à 45 °C, la puissance thermique serait de 2,9 MW<sub>th</sub>.

## CIBLE 2

### AQUIFÈRES DES NAPPES HELVÉTIQUES

La deuxième cible est plus profonde que la cible 1 (2000 à 2500 m) et elle pourrait être suffisamment chaude pour alimenter de manière directe un chauffage à distance. Elle est représentée par les calcaires des nappes helvétiques (Nappes du Mont Gond et du Sublage, des Diablerets, d'Ardon et de Morcles) qui s'annoient sous la vallée du Rhône avec un fort pendage vers le SSE. L'épaisseur de certaines formations calcaires comme le Malm de la nappe de Morcles dépasse 100 m (*fig. 8*). Il n'est pas non plus exclu que d'autres aquifères dans des roches dolomitiques ou gypseuses puissent être présents entre les deux cibles, tout comme des zones fracturées appartenant au réseau de failles du système Rhône-Simplon. Pour atteindre la nappe de Morcles par exemple, un forage dirigé vers le NNO depuis le fond de l'auge est possible, ce qui permettrait une prospection des deux cibles au moyen d'un seul forage.

La source du Chaudron est une résurgence d'eau thermo-minérale naturelle à 17 °C dans les gorges de la Lizerne ([14]; Coordonnées: 2 585 145/ 1 122 340, altitude: environ 900 m). Les eaux jaillissent au sommet d'un anticlinal dans les calcaires du Malm de la nappe de Morcles. Cette source fait l'objet d'un suivi depuis l'été 2021 (niveau, température et conductivité électrique) qui apportera des informations sur les conditions d'écoulement souterrain, en particulier d'éventuelles connections avec d'autres formations calcaires, dolomitiques et gypseuses. En effet, le chimisme particulier de cette source riche en sodium, magnésium, sulfate et chlorure résulte de circulations souterraines dans des environnements géologiques variés.

Sur la base des éléments décrits auparavant, le potentiel géothermique  $P$  d'un puits dans les calcaires de la nappe de Morcles peut à son tour être calculé selon l'équation 1 [13]. En admettant  $Q=40\text{l/s}$ ,  $T=70\text{ °C}$  et  $t=10\text{ °C}$ , on arrive ainsi à une puissance thermique  $P$  de 10 MW<sub>th</sub>.

## CONCLUSION

Les investigations géophysiques complémentaires de 2021 et le retraitement des anciennes lignes de sismique réflexion de 2013 établies dans le cadre du microzonage sismique spectral (MSS) du canton du Valais ont permis une amélioration considérable des connaissances de la géométrie du remplissage quaternaire de la vallée du Rhône à Vétroz-Ardon. Les nouvelles données ainsi produites représentent une base scientifique solide donnant des informations nécessaires sur la position, la profondeur et l'épaisseur des dépôts torrentiels sous-glaciaires (DTSG) et/ou morainiques considérés comme un réservoir potentiellement aquifère, et sur la limite Quaternaire-rocher. Cette ressource reste néanmoins théorique et doit être vérifiée par un forage de reconnaissance. En effet, seuls des travaux de forage et des essais hydrogéologiques donneront des renseignements sur la lithologie et la perméabilité des différentes formations en présence dans ce secteur (Quaternaire et rocher).

La situation des DTSG à l'aplomb du réseau de failles du système Rhône-Simplon est idéale car les DTSG pourraient être alimentés par d'importantes venues d'eaux thermales ascendantes (35 à 45 °C). 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 thermales 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 pas de stimulation de réservoir,
- Température intéressante pour une utilisation optimale de l'énergie,
- En fonction des données acquises, possibilité de proposer une variante de reconnaissance plus profonde et plus chaude (jusqu'aux calcaires du Malm de la nappe de Morcles, > 70 °C).

À ce stade, il n'y a pas encore eu d'analyse d'optimisation sur les options et les techniques de forage pour atteindre les différentes cibles identifiées, elle sera réalisée dans une phase ultérieure du projet. Dans la région de Vétroz-Ardon, au droit du fond de l'auge, il y a plusieurs contraintes en surface à prendre en compte dans la sélection du ou des futurs sites de forage: présence de l'autoroute A9, des voies CFF, de pylônes et de lignes aériennes à hautes tensions pour lesquelles une zone tampon doit être respectée.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] 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
- [2] Pfiffner, O.A. *et al.* (1997): *Deep Structure of the Swiss Alps. Results of PNR20.* ISBN 3-7643-5254-X
- [3] Sonney, R. *et al.* (2020): Géothermoval II. Potentiel géothermique des conduits à perméabilité élevée à la base de la vallée du Rhône. *Aqua & Gas* 6/2020: 58-64
- [4] Finckh, P.; Kelts, K. (1976): Geophysical investigations into the nature of pre-Holocene sediments of lake Zürich. *Eclogae geol. Helv.* 69: 139-148
- [5] Pugin, A. (1988): Carte des isohypses de la base des sédiments du Quaternaire en Suisse occidentale, avec quelques commentaires. *Rapport géologique no. 3, Service hydrologique et géologique national, Berne, 20p.*
- [6] Rosselli, A.; Olivier, R. (2003): *Modélisation gravimétrique 2.5D et cartes des*

isohypses au 1:100 000 du substratum rocheux de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Suisse). *Eclogae geol. Helv.* 96: 399–423

- [7] CREALP (2015): GÉOTHERMOVAL II. Potentiel géothermique des conduits à perméabilité élevée en fond de la vallée du Rhône – secteur de Martigny–Conthey. Rapport non publié
- [8] Sonney, R. et al. (2021): GÉOTHERMOVAL II Vétroz–Ardon. Rapport d'activité 2021. Prospection sismique P4, retraitement des anciens profils et élaboration d'un modèle géologique 3D. Rapport non publié
- [9] Burschil, T. et al. (2019): Unravelling the shape and stratigraphy of a glacially-overdeepened valley with reflection seismic: the Lienz Basin (Austria). *Swiss Journal of Geosciences* 112: 341–355
- [10] Gegg, L. et al. (2021): 3D morphology of a glacially-overdeepened trough controlled by underlying bedrock geology. *Geomorphology* 394. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107950>
- [11] Reitner, J.M. et al. (2010): Alpine overdeepenings and paleo-ice flow changes: an integrated geophysical-sedimentological case study from

Tyrol (Austria). *Swiss Journal of Geosciences* 103: 385–405

- [12] 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. *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel* 12: 1–37

[13] Sonney, R.; Vuataz, F.D. (2008): Properties of geothermal fluids in Switzerland: A new interactive database. *Geothermics* 37: 496–509

- [14] Weber, E. (2005): La source thermique karstique du Chaudron et les sources de la vallée de la Lizerne, Derborence (Valais). Travail de Master, Université de Neuchâtel, Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie CHYN

## > FORTSETZUNG DER ZUSAMMENFASSUNG

kommen, die sich unter dem Gletschertrog befinden, wärmere Ziele für die geothermische Nutzung dar. Damit kann das geothermische Potenzial des Rhonetals für künftige Projekte mittlerer und grosser Tiefe in porösen und/oder frakturierten Bereichen als hoch eingestuft werden, zumal die Region dicht besiedelt ist und zahlreiche potenzielle Nutzer aufweist.