



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

INSTITUT DES SCIENCES
DE L'ENVIRONNEMENT

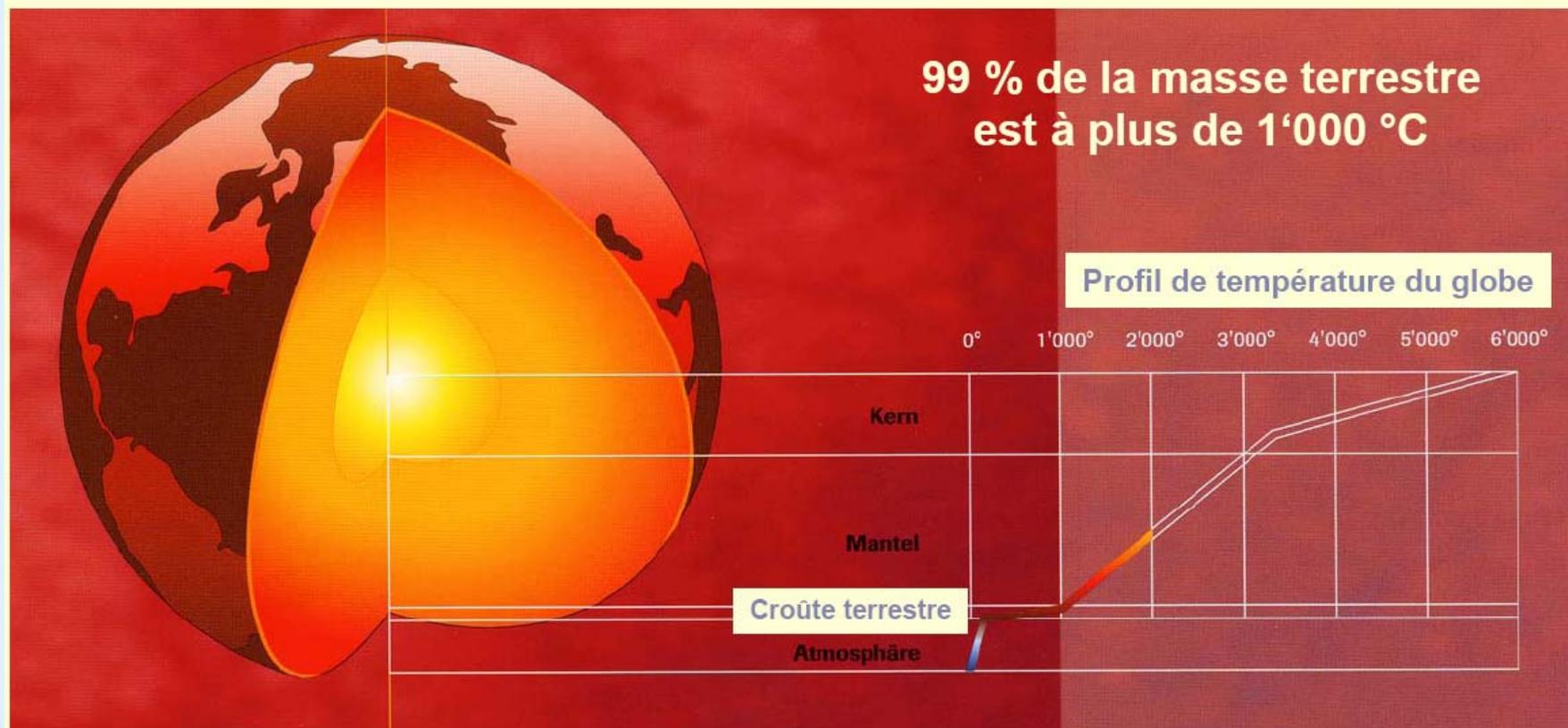
CYCLE DE FORMATION ENERGIE-ENVIRONNEMENT 2012/2013

Géothermie profonde en Suisse : présentation des trois principaux projets en cours en Suisse romande



Gabriele Bianchetti, hydrogéologue
Directeur d'ALPGeo Sàrl, Sierre

1. *Energie géothermique : définitions et contribution au mix énergétique suisse*
2. *Géothermie profonde : atouts, technologies et risques*
3. *Projets de géothermie profonde en Suisse*
4. *AGEPP : projet de géothermie profonde dans le Cristallin à Lavey*
5. *GP ECLEPENS : projet de géothermie profonde aux multiples atouts*
6. *GP LA COTE : projet de géothermie profonde multi-sites sur la côte lémanique*
7. *Synthèse et conclusions*
8. *Canton de Genève : pistes pour une exploitation de la géothermie profonde*



La géothermie est l'énergie en provenance de la Terre

Elle permet de produire de la chaleur, mais aussi de l'électricité et du froid. En Suisse :

- *Géothermie de basse enthalpie : faible (<300 m) à moyenne profondeur (300 - 2'000 m)*
- *Géothermie de moyenne enthalpie : grande profondeur (2'000 – 6'000 m)*

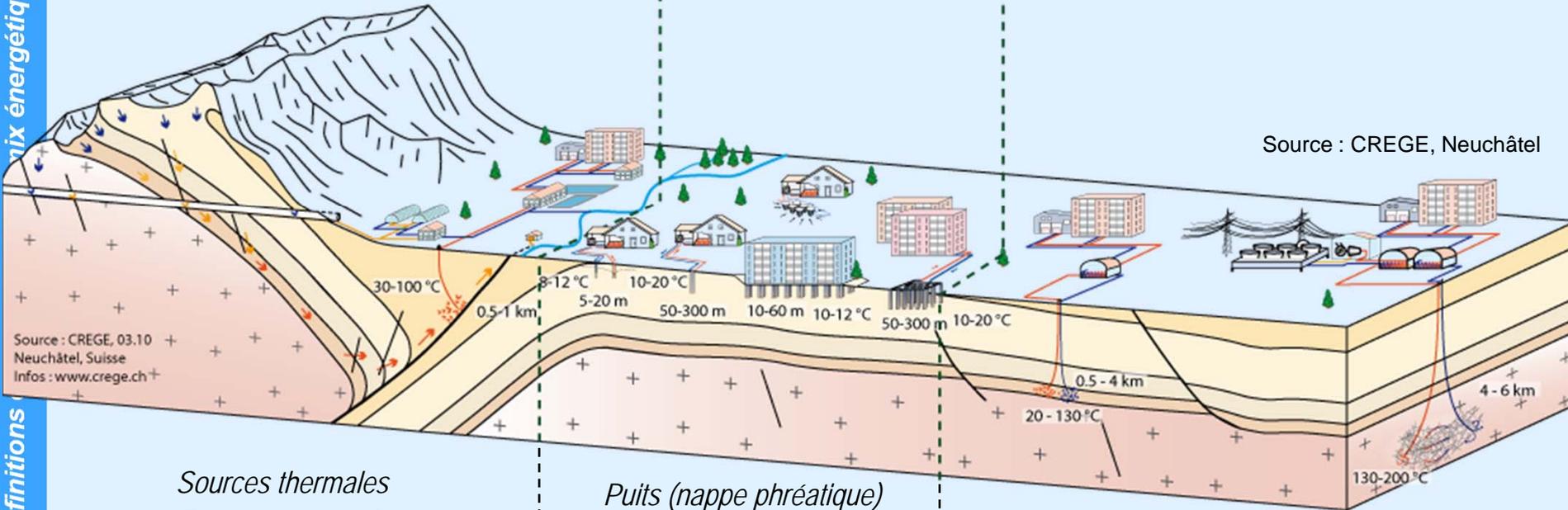
La chaleur est là, mais il faut pouvoir l'extraire (eau)

En région alpine

Basse température et faible profondeur

Température élevée et grande profondeur

Source : CREGE, Neuchâtel



*Sources thermales
Forages et tunnels*

*Puits (nappe phréatique)
Sondes géothermiques
Pieux énergétiques
Champs de sondes*

Forages profonds

*Production de chaud
avec pompes à chaleur*

*Production de chaud
avec pompes à chaleur*

*Production directe de chaud
Production indirecte d'électricité*

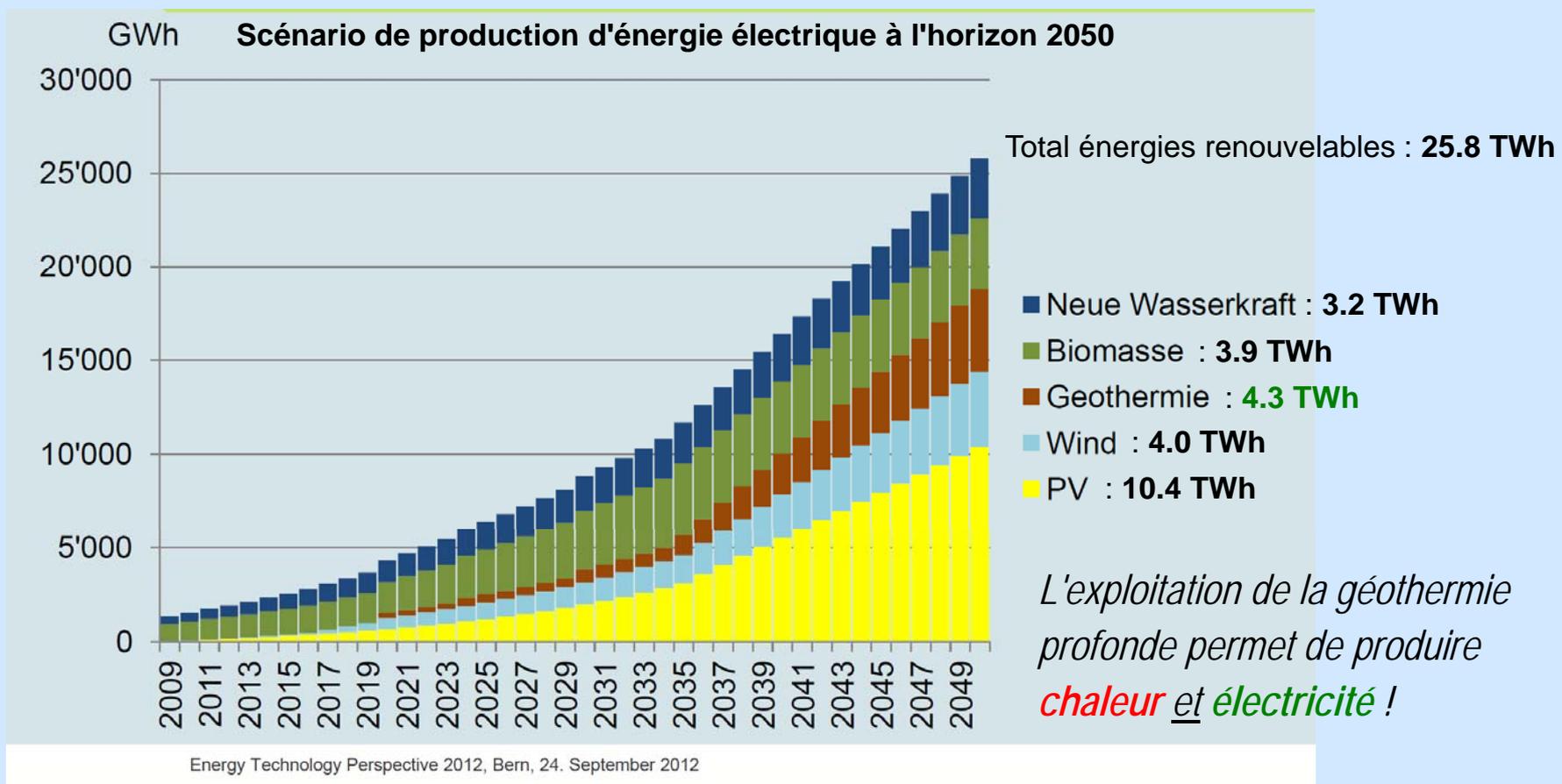
**Production
directe de chaud**

En Suisse, les besoins en énergie sont répartis ainsi :

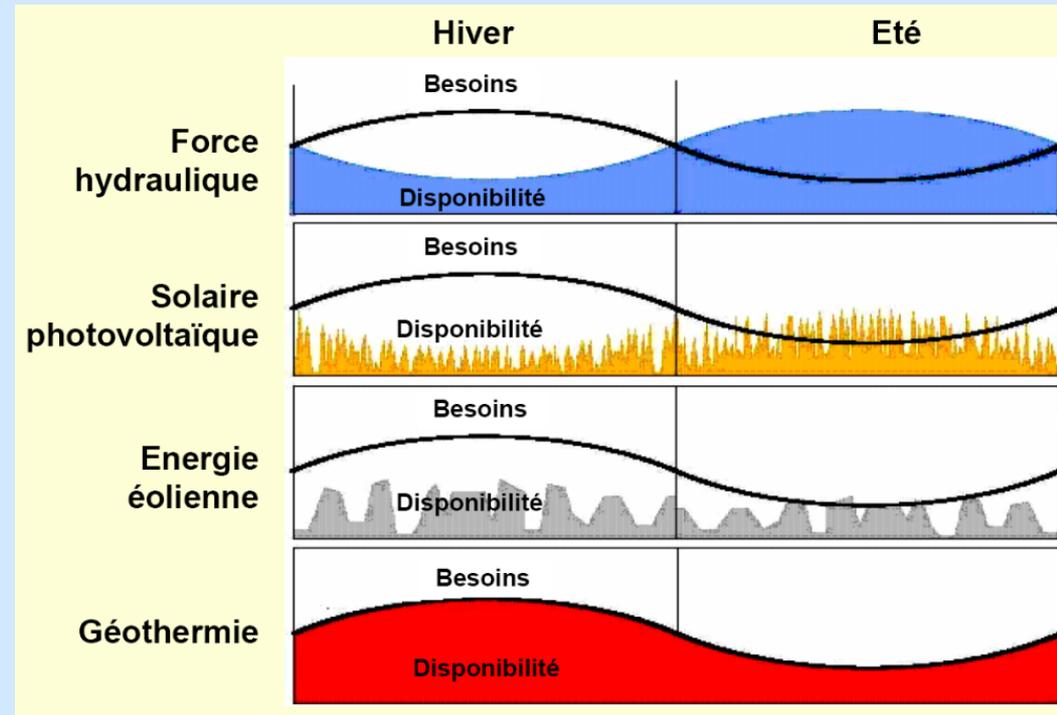
- 90% chaleur (énergies fossiles)
- 10% énergie électrique

Potentiel de **4.3 TWh_{él}** (OFEN, 2012) d'ici à 2050, à savoir :

- 5% de la consommation suisse de courant électrique
- 500 MW_{él} de puissance installée

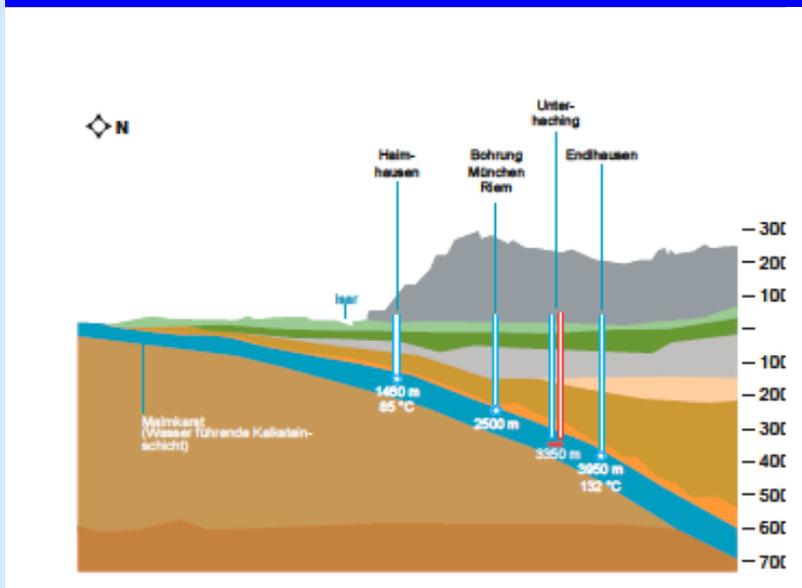


- *Energie indigène, renouvelable et durable*
- *Energie indépendante des conditions climatiques, disponible 24h/24 et 365j/365*
- *Faible emprise au sol, faible impact sur le paysage*
- *Pratiquement pas de déchets et d'émissions de CO₂ ou de NO_x*



- *Source de chaleur importante (en remplacement de combustibles fossiles)*
- *Possibilité de produire de l'électricité en ruban (si température > 100°C)*
- *Coûts de production relativement faibles, stables et indépendants du prix des combustibles fossiles*

Hydrothermal



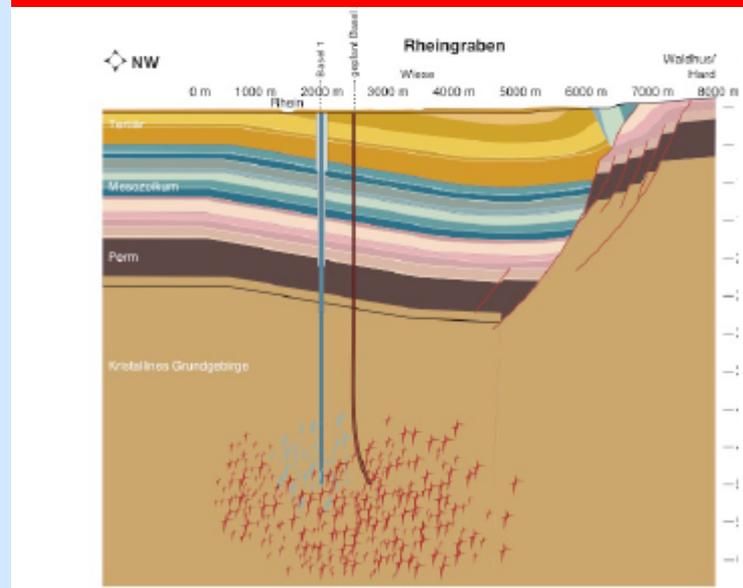
Avantages

- *Eprouvé*
- *Robuste*
- *Simple*
- *Rapide*

Désavantages

- *Limité à des zones spécifiques*
- *Production électrique limitée*
- *Risque d'échec élevé, mais qui peut être réduit par des investigations en amont*

Pétrothermal (EGS)

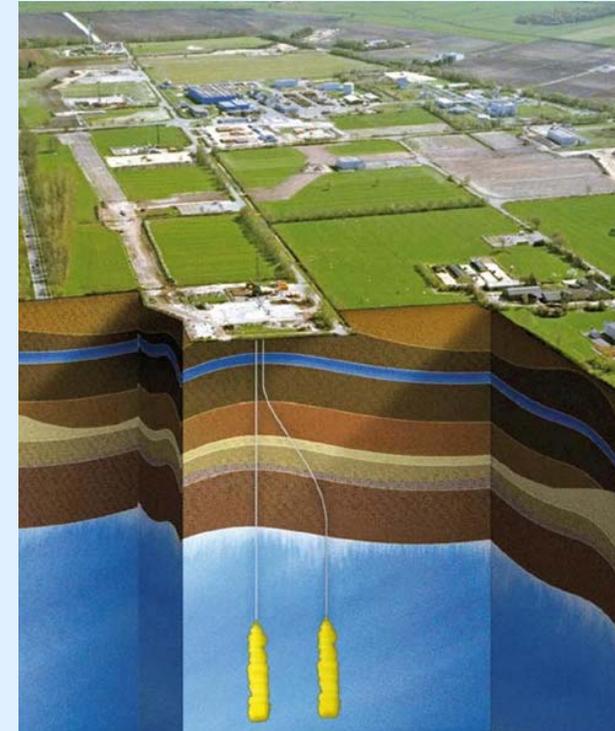


Avantages

- *Ubiquiste, énorme potentiel sur le plateau suisse*
- *Production électrique importante*
- *Effort mondial intense*

Désavantages

- *Manque de précurseurs (1 seule installation à Soultz-F)*
- *Syndrôme post-Bâle (crainte de séismes)*
- *Technologies pas maîtrisées*



- *Le chantier de forage a une surface de 6'000 à 8'000 m²*
- *La plateforme est entièrement imperméabilisée*
- *Après les travaux, le terrain est remis en état*
- *Après travaux, une surface de ~1'000 m² est occupée par les installations de surface (têtes des puits, module ORC, échangeur primaire et salle des machines)*



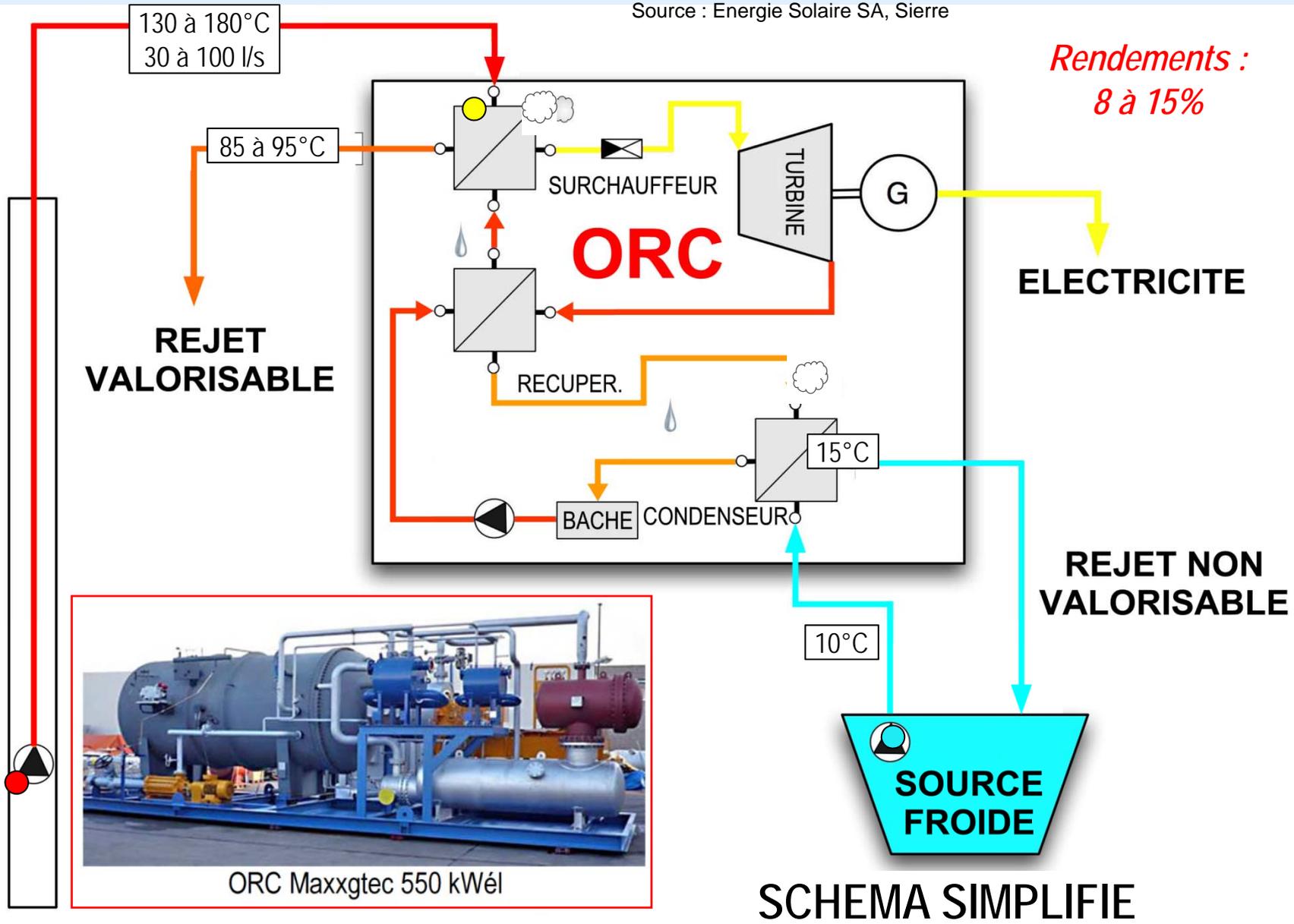
Selon le type de foreuse et la profondeur à atteindre :

- *l'hauteur du mât peut atteindre de 30 à 60 m*
- *l'avancement lors de la perforation est compris entre 20 et 100 m par jour (24h/24h)*

Source : Energie Solaire SA, Sierre

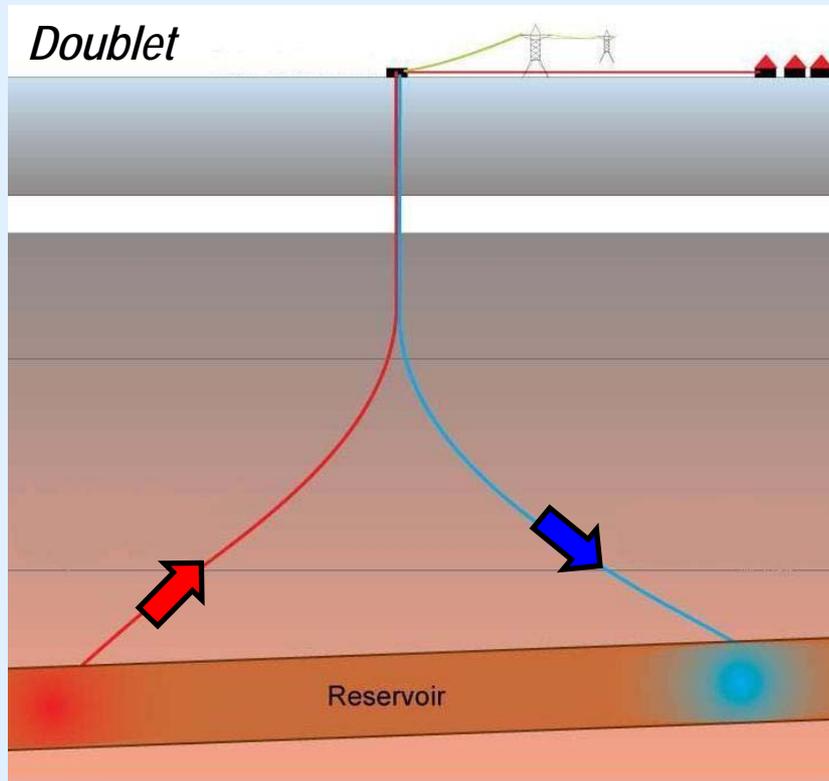
*Rendements :
8 à 15%*

FORAGE GEOTHERMIQUE PROFOND



SCHEMA SIMPLIFIE

Doublet



L'eau chaude est pompée par un puits d'exploitation. Après valorisation de l'énergie thermique, l'eau est réinfiltrée dans l'aquifère profond par un puits de rejet.

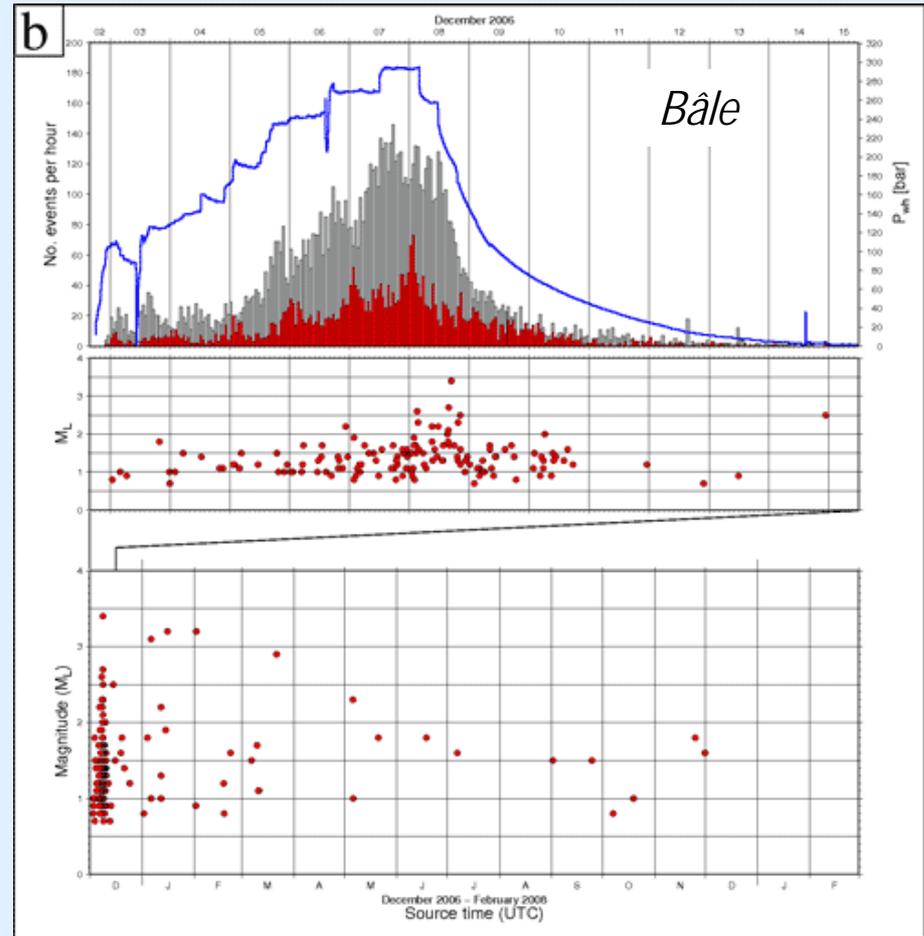
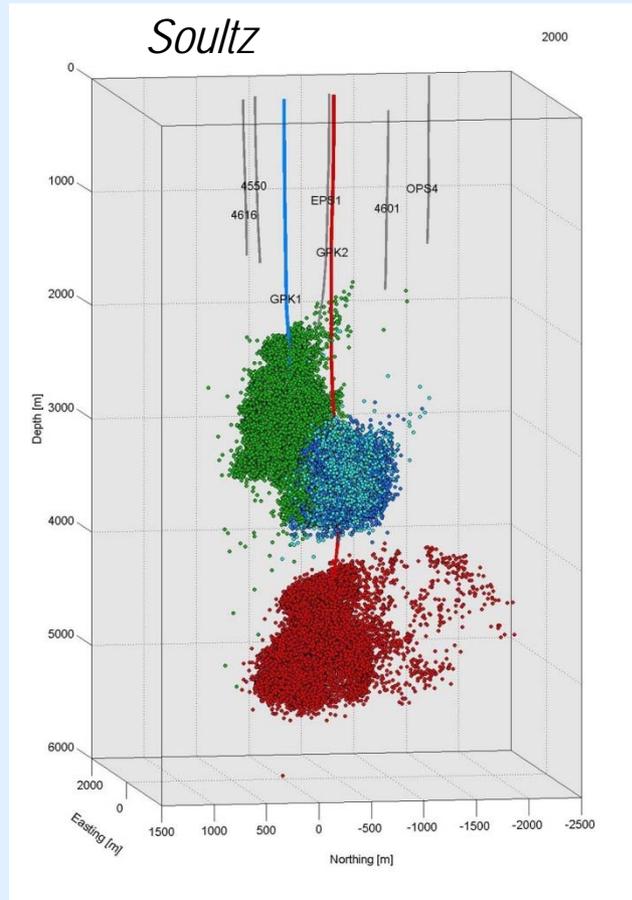
Ces deux puits s'appellent "doublet"

Pour obtenir un débit d'exploitation important, il faut recouper un maximum de fissures avec des forages déviés

Les techniques développées par l'industrie du pétrole permettent aisément de dévier le forage dans toutes les directions

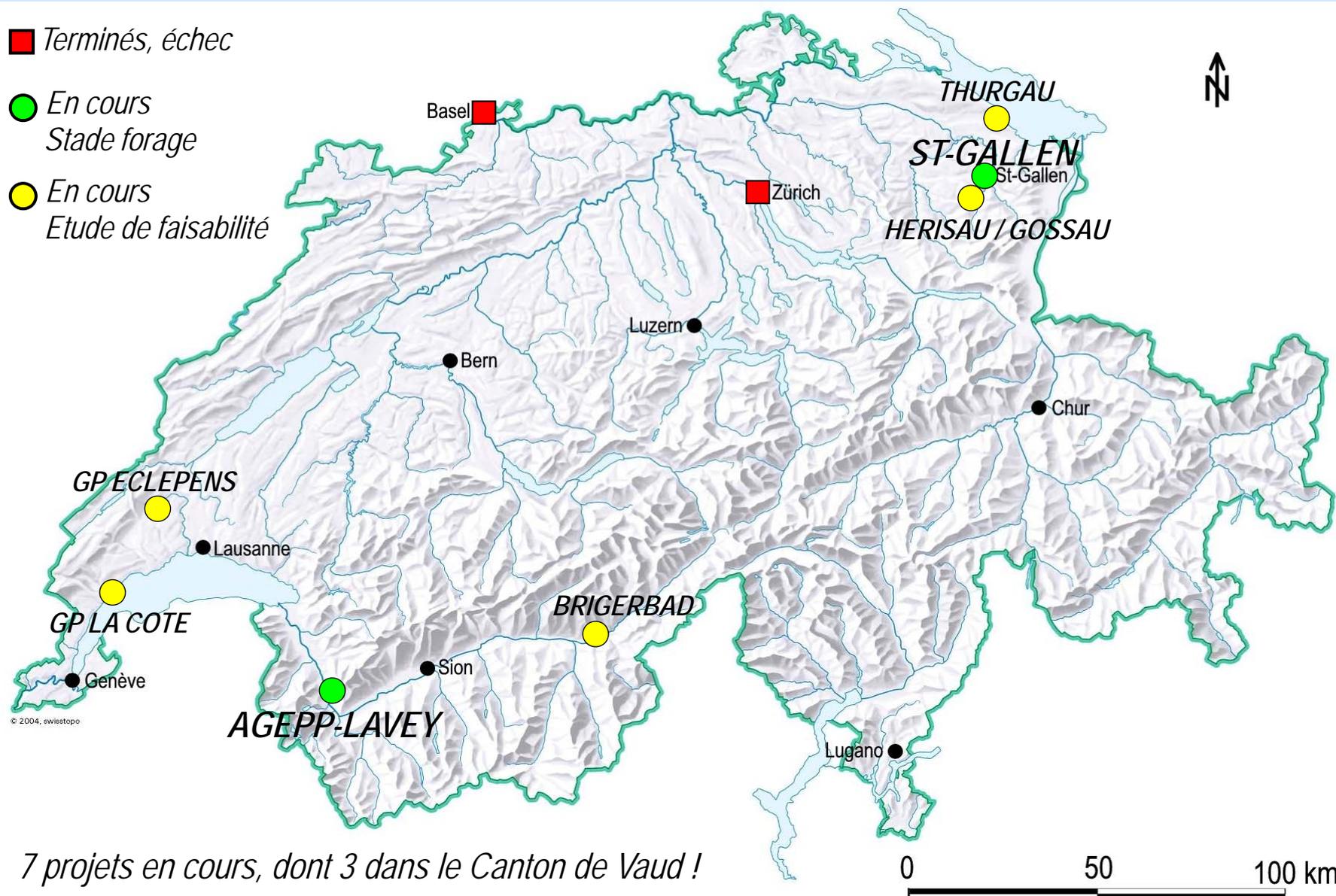


Principale nuisance : *sismicité induite par les forages profonds*

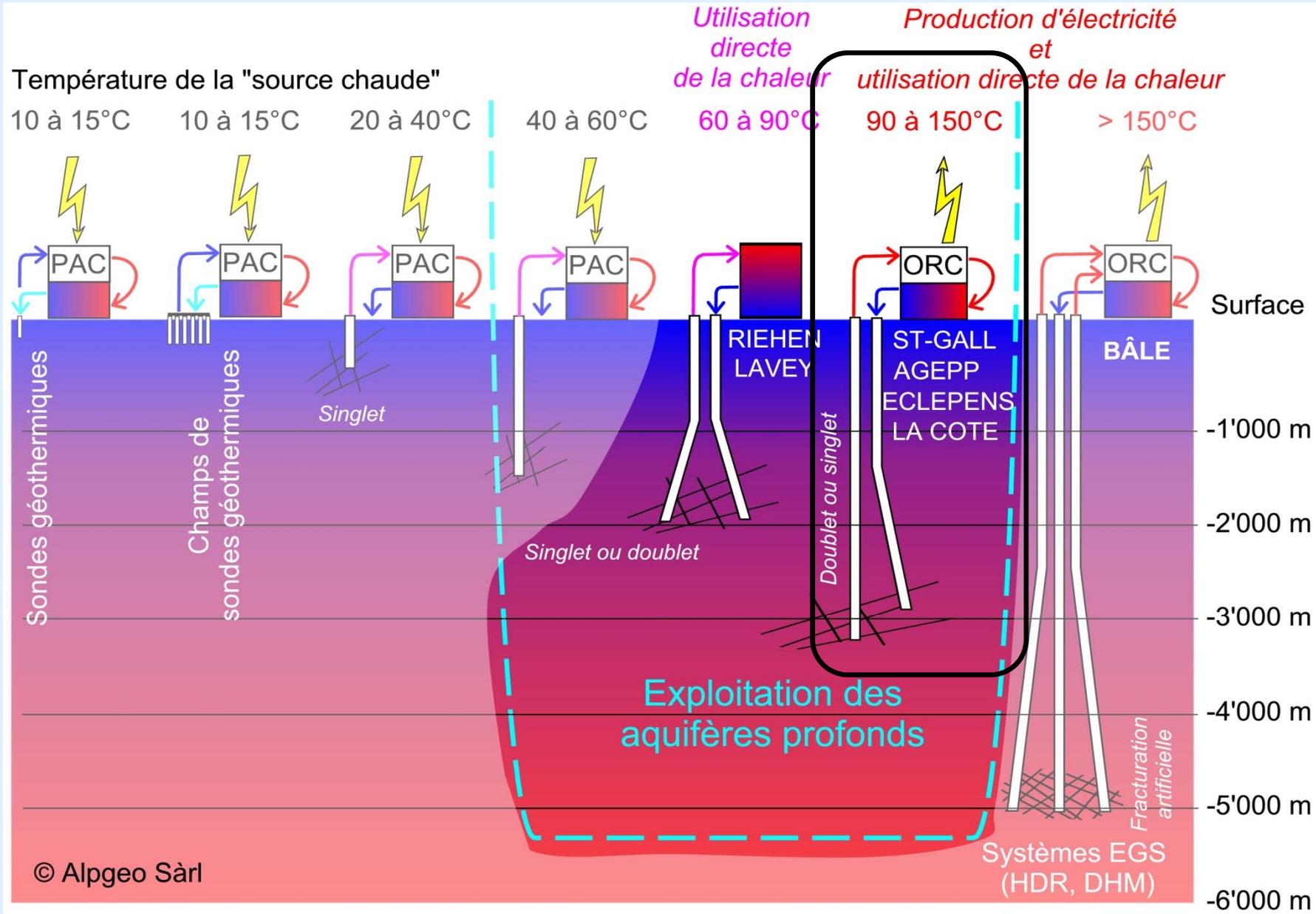


Ne concerne que les projets EGS (fracturation artificielle de l'aquifère)

Magnitude maximale de 3-4 (10'000 à 100'000 fois inférieure au séisme de Fukushima)



7 projets en cours, dont 3 dans le Canton de Vaud !



Objectifs

Exploiter l'aquifère profond de Lavey, dans des zones fracturées à perméabilité élevée, pour produire de l'électricité (ORC) et valoriser en cascade la **chaleur résiduelle**. Il est prévu de chauffer les villages de Lavey et de St-Maurice (deux réseaux CAD), ainsi que l'établissement thermal de Lavey-les-Bains et des bâtiments d'Armasuisse. Possibilité d'implanter une pisciculture.

Planning prévisionnel



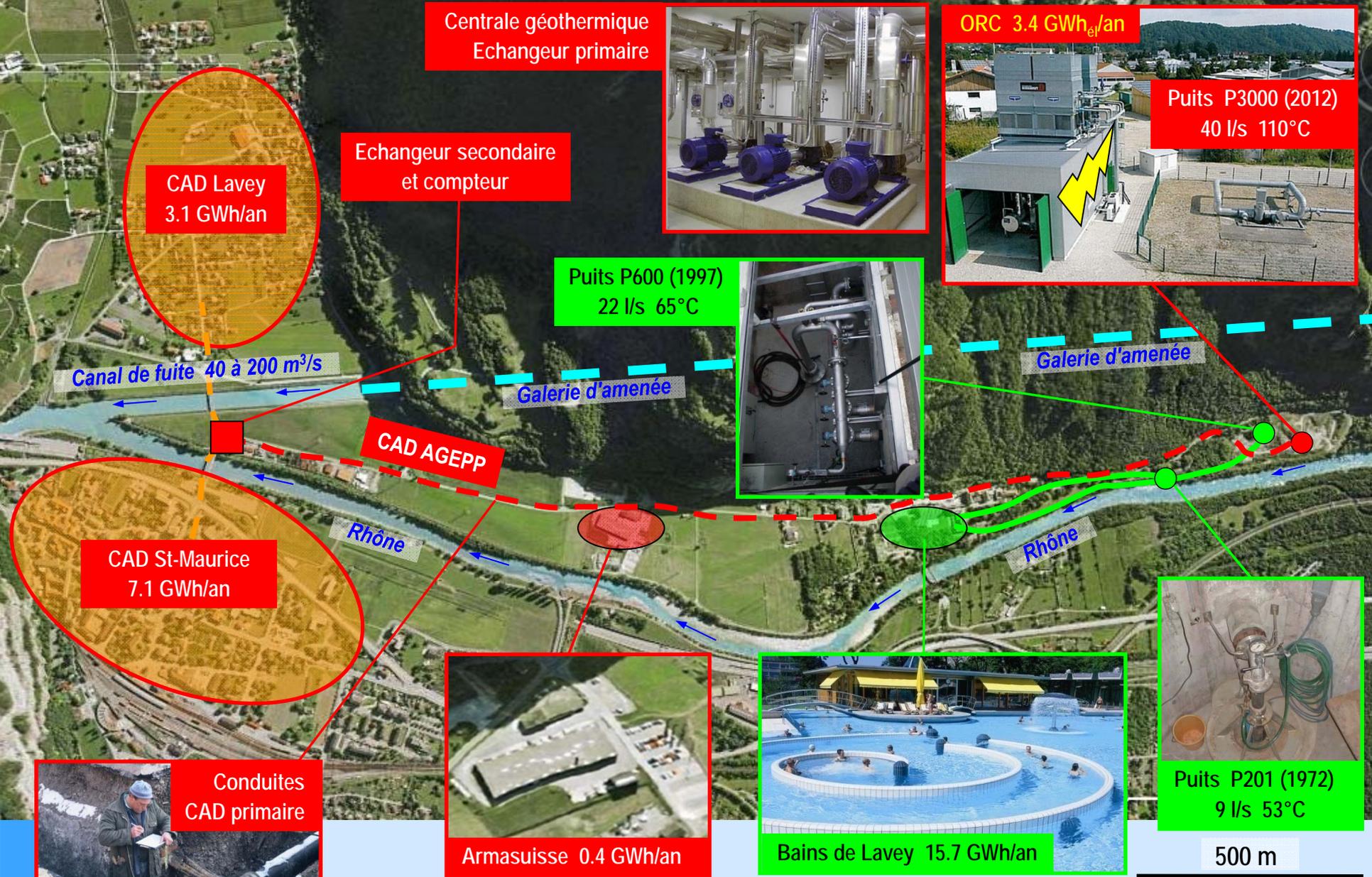
Stade actuel du projet

Planification du forage profond (phase appel d'offres)

Financement (env. 32 MCHF)

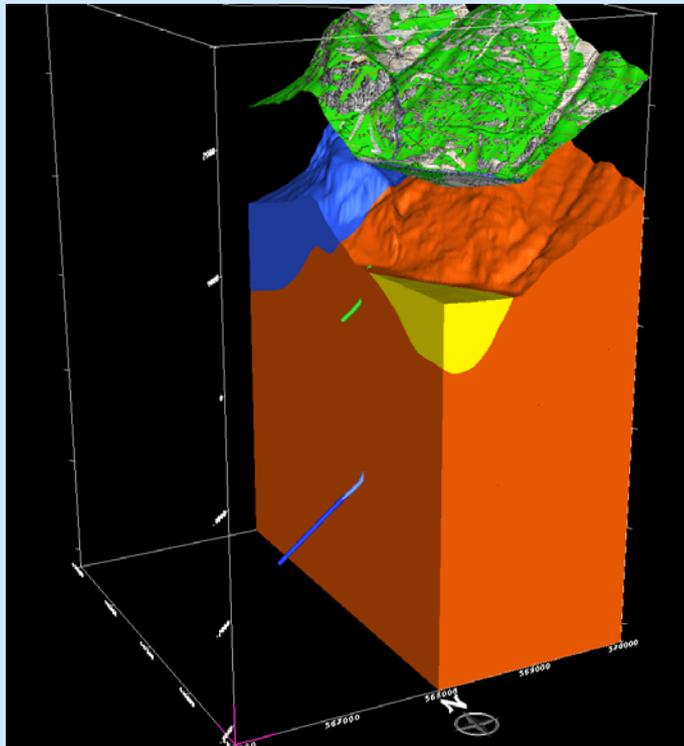
Partenaires



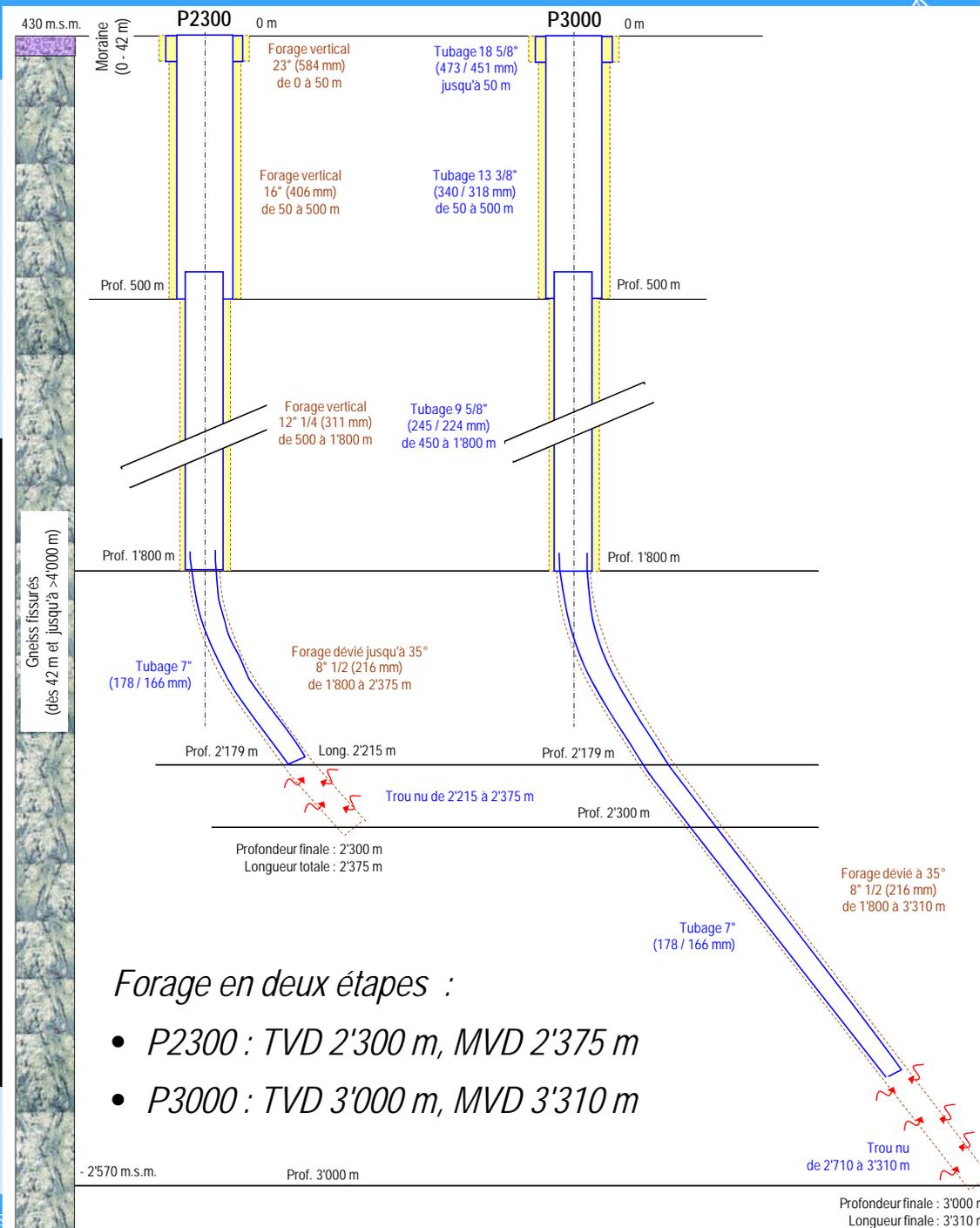


Projet AGEPP : situation *actuelle* et *future*

Modèle géologique 3D et tracé des forages



Source : Terre+, Bevaix



Forage en deux étapes :

- P2300 : TVD 2'300 m, MVD 2'375 m
- P3000 : TVD 3'000 m, MVD 3'310 m

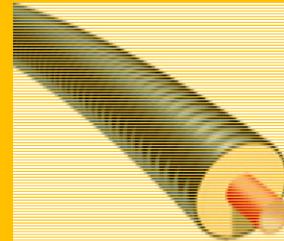
110°

Électricité
3.4 GWh_{él}/an
750 ménages



85°

Chauffage à distance
Lavey + Saint-Maurice
10.2 GWh_{th}/an
1'300 foyers



60°

Chauffage
Bains de Lavey
15.7 GWh_{th}/an



40°

Serres ou pisciculture
10 – 15 GWh_{th}/an



15°

Source : Energie Solaire SA, Sierre

Objectifs

Exploiter un **aquifère fissural profond** au le pied du Jura, dans une zone à perméabilité élevée (accident tectonique régional), pour produire de l'**électricité (ORC)** et valoriser en cascade la **chaleur résiduelle** (réseau CAD de CADCIME SA existant). Possibilité d'implanter des utilisateurs à basse température (bains thermaux, serres, piscicultures, etc.)

Planning prévisionnel



Partenaires



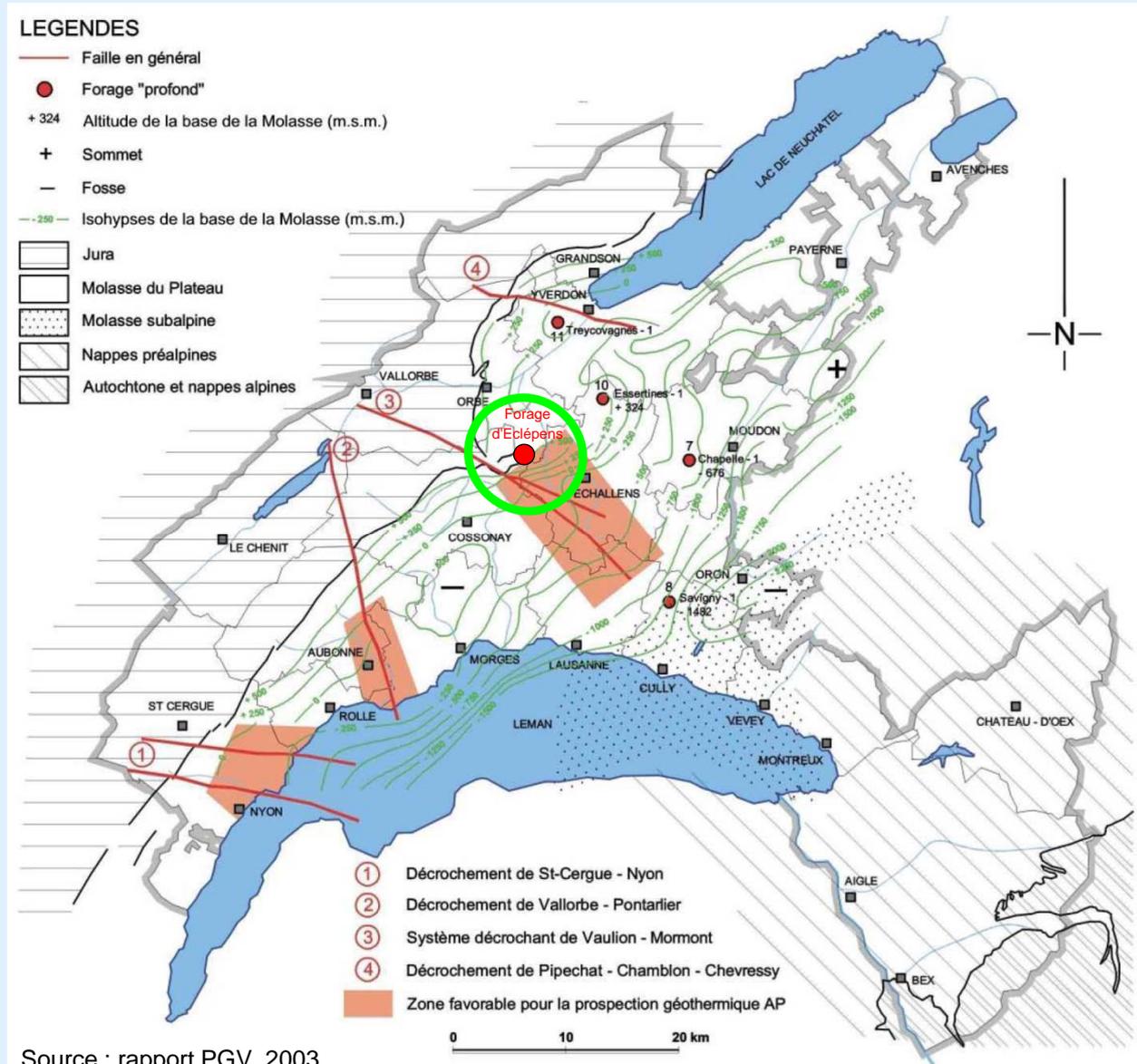
Stade actuel du projet

Etude de faisabilité géologique (phase investigations par sismique réflexion)

Financement



- Accident du Mormont
- Forage pétrolier d'Eclépens
- Gradient géothermique supérieur à la normale
- Températures de 110°C à 2'100 m!
- Réseau de chauffage à distance existant Cadcime
- Synergie avec projet Holcim AIRPOWER



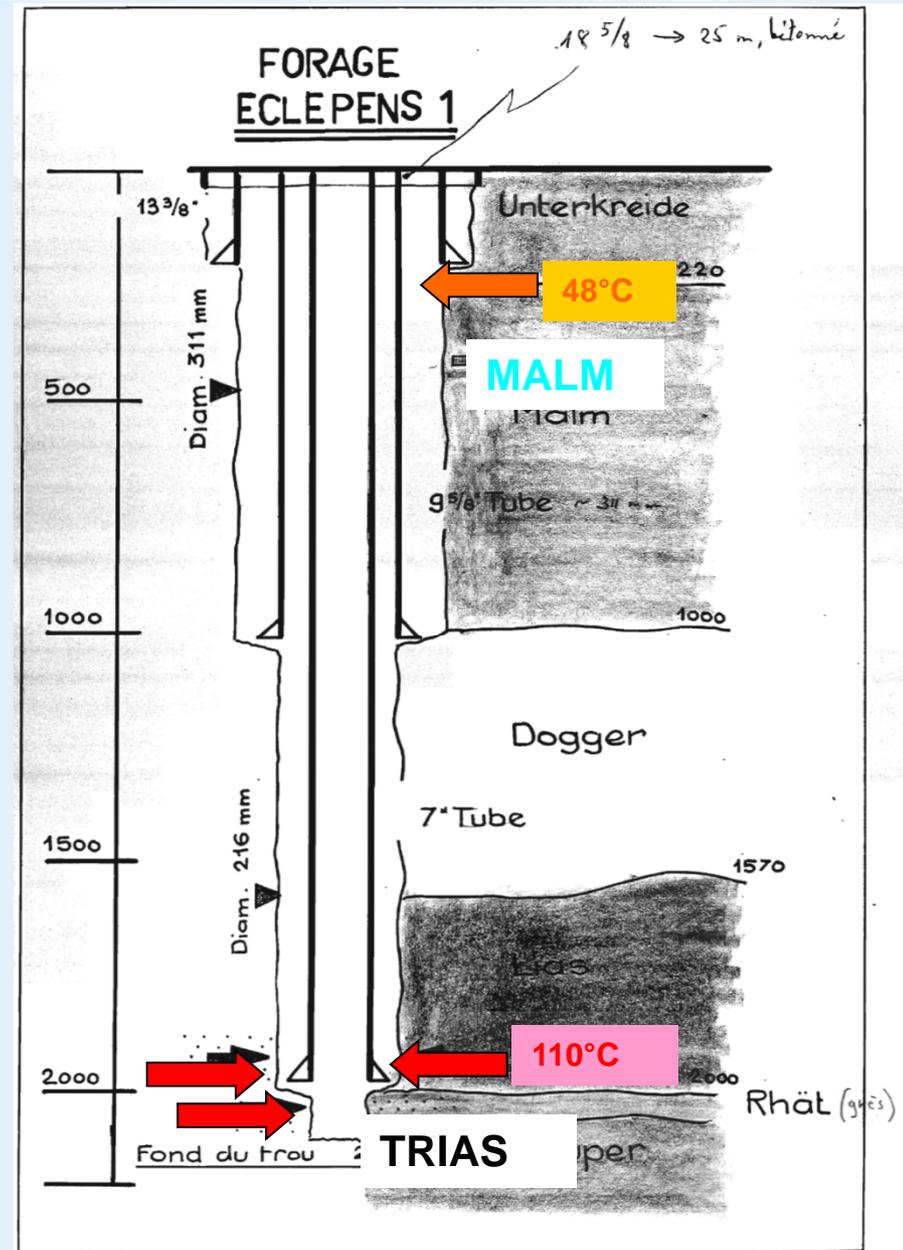
Log géologique complet et informations sur les aquifères

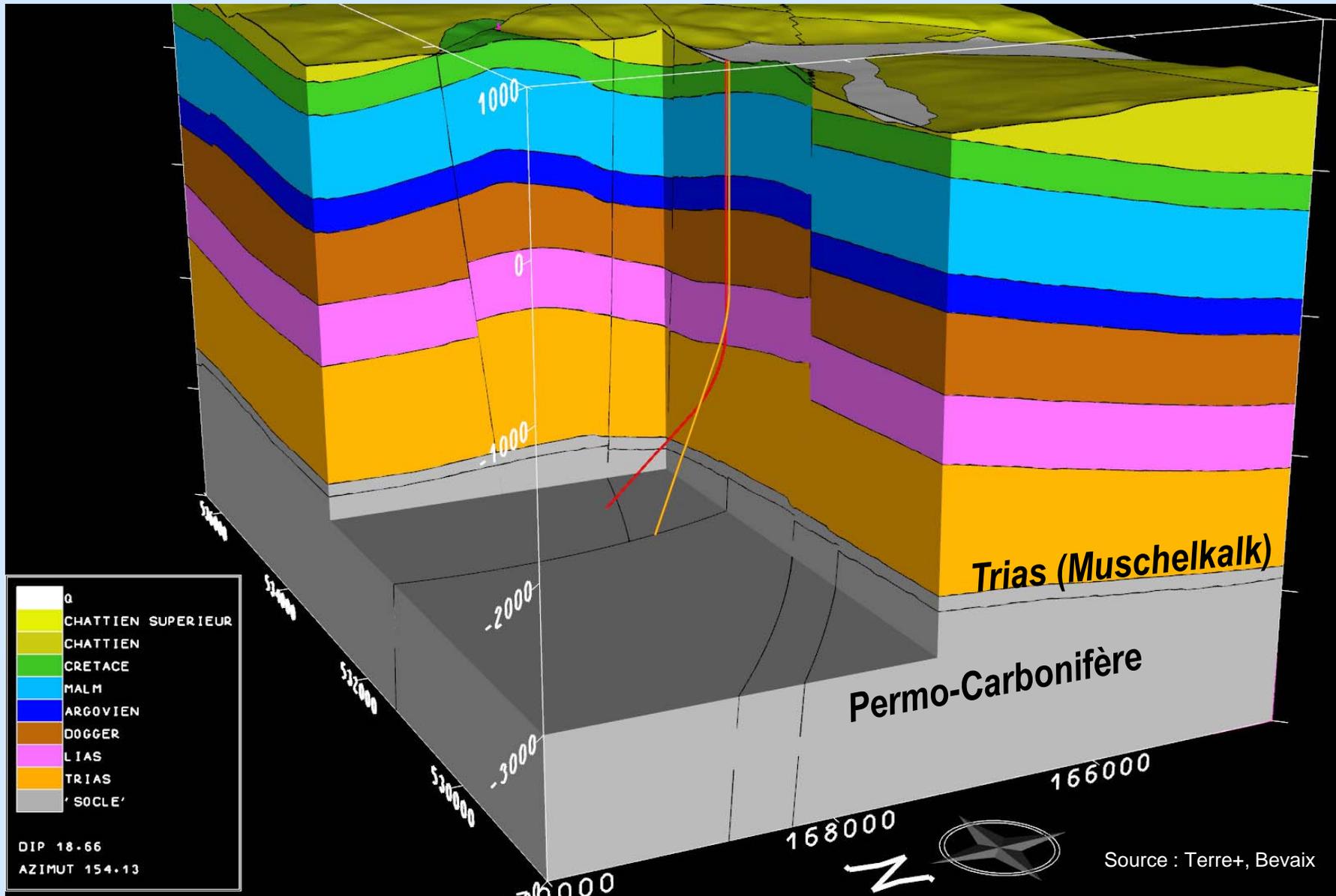
Aquifères prouvés :

- Malm sup. : **48°C**
- Trias sup. : **110°C**

Aquifères potentiels :

- Trias inférieur : **120-130°C**
- Permo-Carbonifère : **140-160°C ?**
- Cristallin : **> 160°C ?**





Objectifs

Exploiter des **aquifères profonds** entre le pied du Jura et le Léman, dans des zones à perméabilité élevée (fractures régionales), pour produire de l'**électricité (ORC)** et valoriser en cascade la **chaleur résiduelle** avec des réseaux CAD, existants ou futurs (quartiers d'habitations, centres commerciaux, bains thermaux, serres, piscicultures, etc.)

Planning prévisionnel



Stade actuel du projet

Etude de faisabilité (phase Business Plan avant planification du premier doublet)

Financement (env. 100 MCHF)



Partenaires

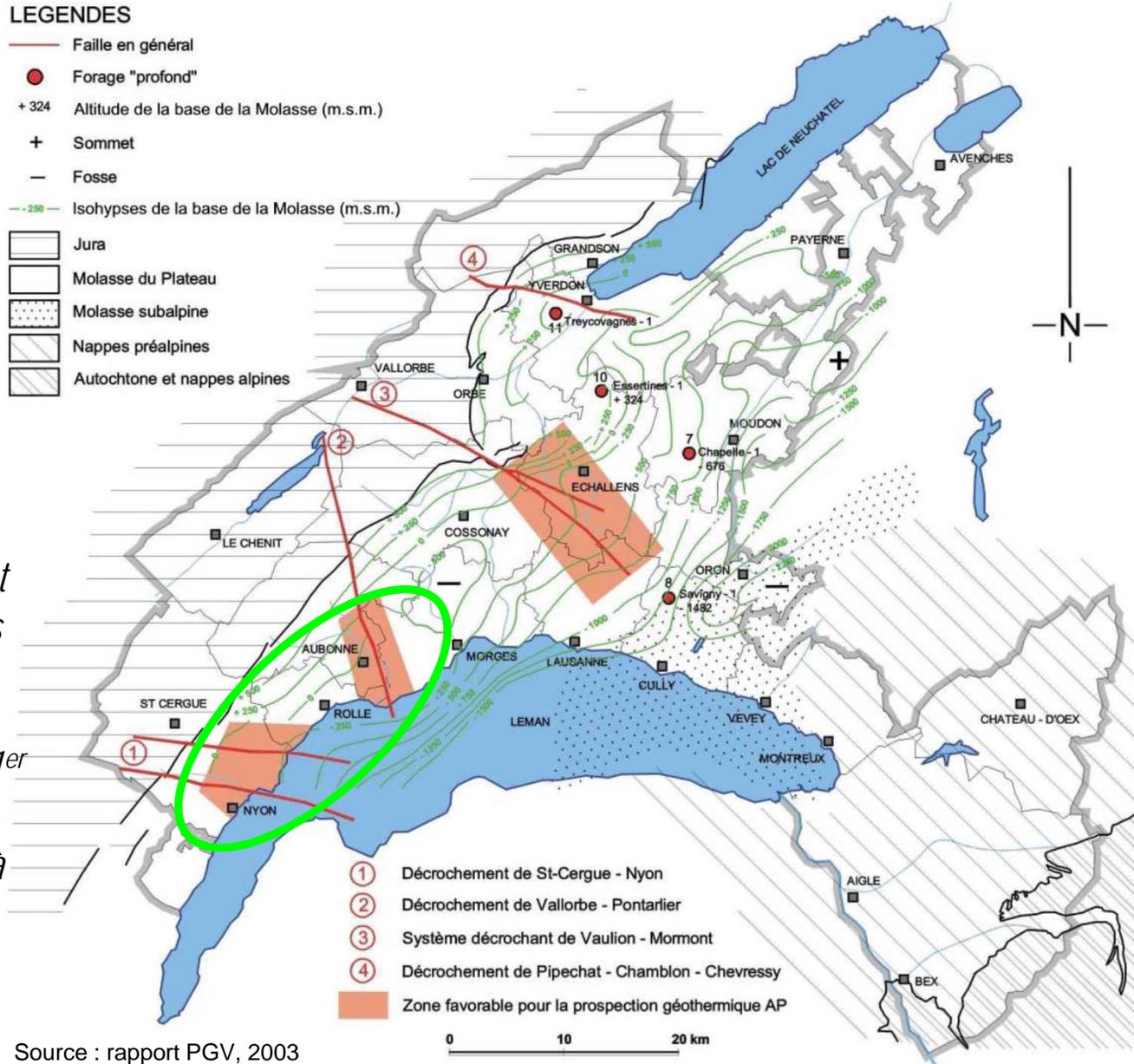


- *Projet multi-sites*
- *Failles régionales très profondes*
- *Potentiel de CAD élevé et forte densité d'utilisateurs*
- *Fort ancrage local*
- *En cas de succès sur le 1^{er} site, projet reproductible sur deux autres sites déjà étudiés*

LEGENDES

- Faille en général
- Forage "profond"
- +324 Altitude de la base de la Molasse (m.s.m.)
- + Sommet
- Fosse
- 250 Isohypses de la base de la Molasse (m.s.m.)

- Jura
- Molasse du Plateau
- Molasse subalpine
- Nappes préalpines
- Autochtone et nappes alpines

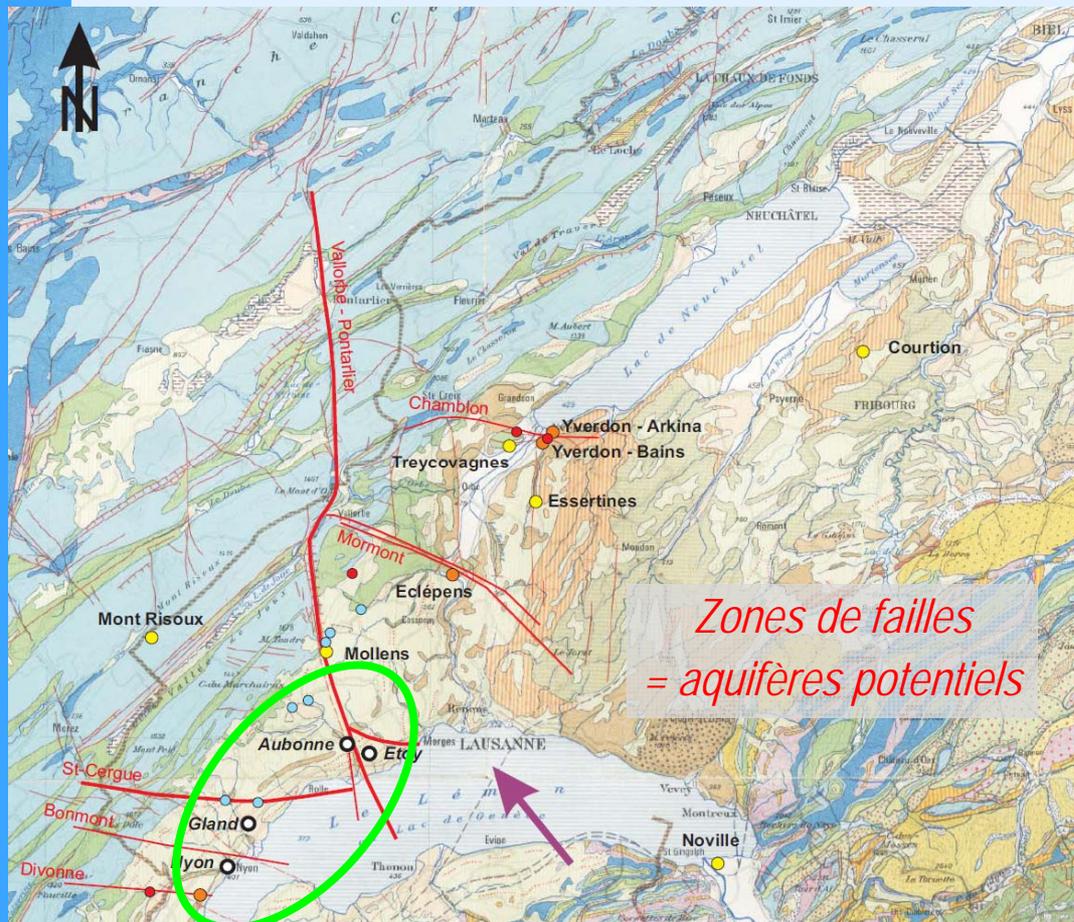


- ① Décrochement de St-Cergue - Nyon
- ② Décrochement de Vallorbe - Pontarlier
- ③ Système décrochant de Vaulion - Mormont
- ④ Décrochement de Pipechat - Chamblon - Chevressy
- Zone favorable pour la prospection géothermique AP

Source : rapport PGV, 2003

Contexte géologique et structural régional

Aquifères potentiels



Source : ARConseils, Buchillon

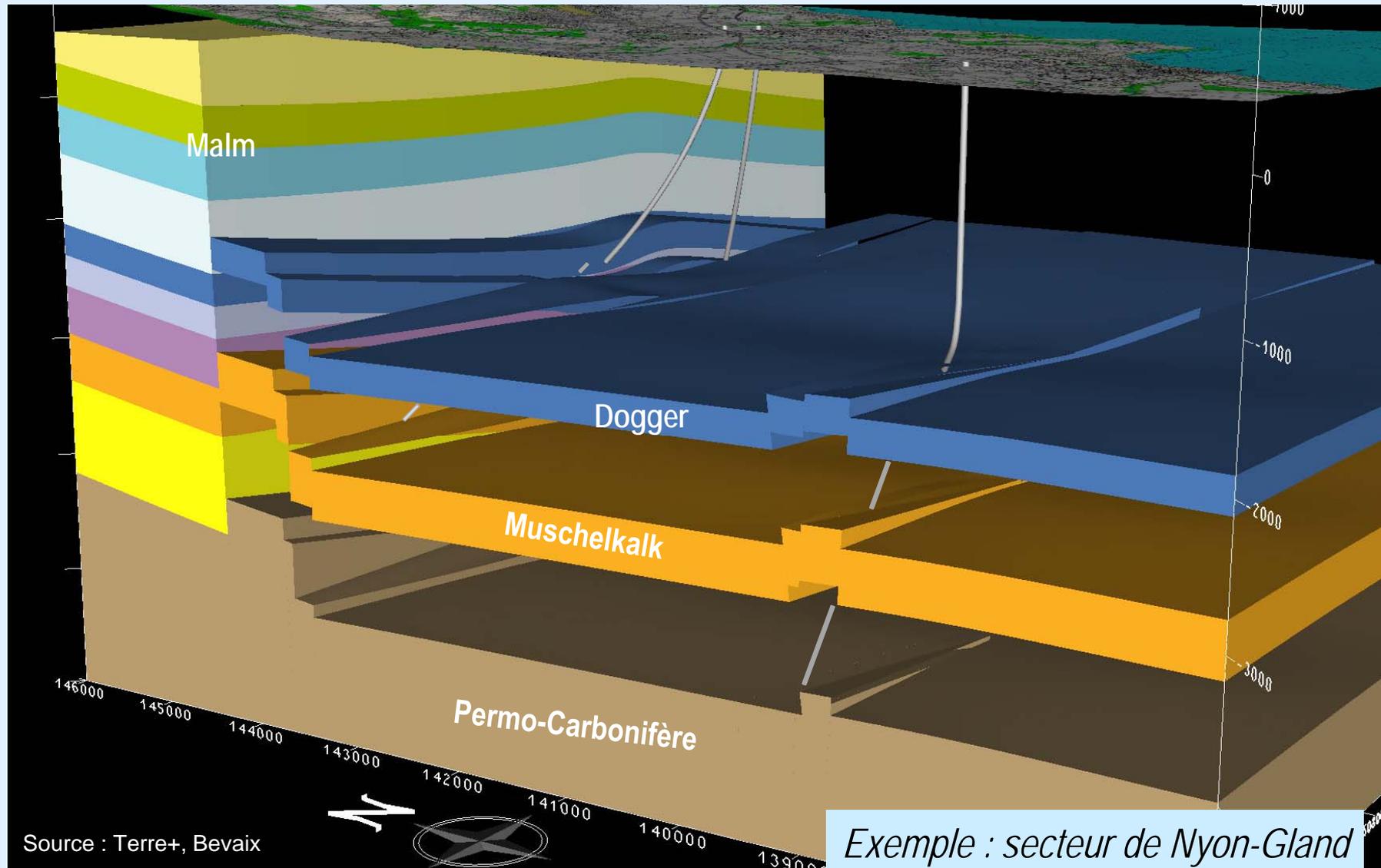
Aquifères visés :

Trias moyen : 10-40 l/s 120-140°C

Permo-carbon. : 30-120 l/s 170-190°C

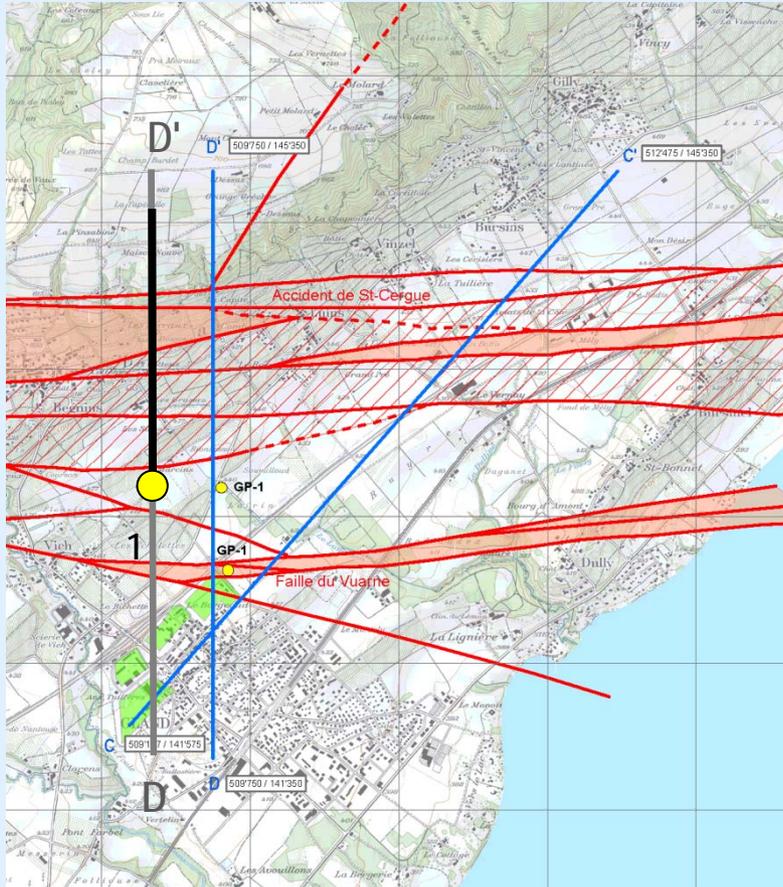
Geologische Identifikation	Lithologie	Aquitard	Generelle Wasserführung/ Durchlässigkeit
		Aquifer	
QUARTÄR	W E K T M		bedeutender Aquifer lokal sehr geringdurchlässige Schichten
TERTIÄR	OSM		einzelne wasserführende Schichten (Schicht- und Kluffquellen)
	OMM		regionaler Aquifer
	USM		einzelne wasserführende Schichten
Eozän			
	MALM		regionaler Karst- und/oder Kluftaquifer
DOGGER	mittlerer unterer		geringe Durchlässigkeit lokaler Aquifer im westlichen Jura ("Rauracian")
	oberer mittlerer	Hr Ws	Parkinsoni-Schichten: geringe Durchlässigkeit Hr: lokaler Aquifer im westlichen Jura
	unterer	Opalinus- ton	geringe bis sehr geringe Durchlässigkeit
LIAS	Ar St Sh		geringe Durchlässigkeit, einzelne lokale Aquifere (St, Sh)
KEUPER	Gipskeuper		sehr geringe Durchlässigkeit
MUSCHEL- KALK	Oberer		sehr bedeutender regionaler Aquifer
	Mittlerer		generell sehr geringe Durchlässigkeit
	Unterer		
BUNTSANDSTEIN			regionaler Aquifer in Verbindung mit oberstem Kristallin/
PERMOKARBON			Permokarbon und Kristallin: wasserführende Zonen
KRISTALLIN			

Source : MÜLLER et al. 2011

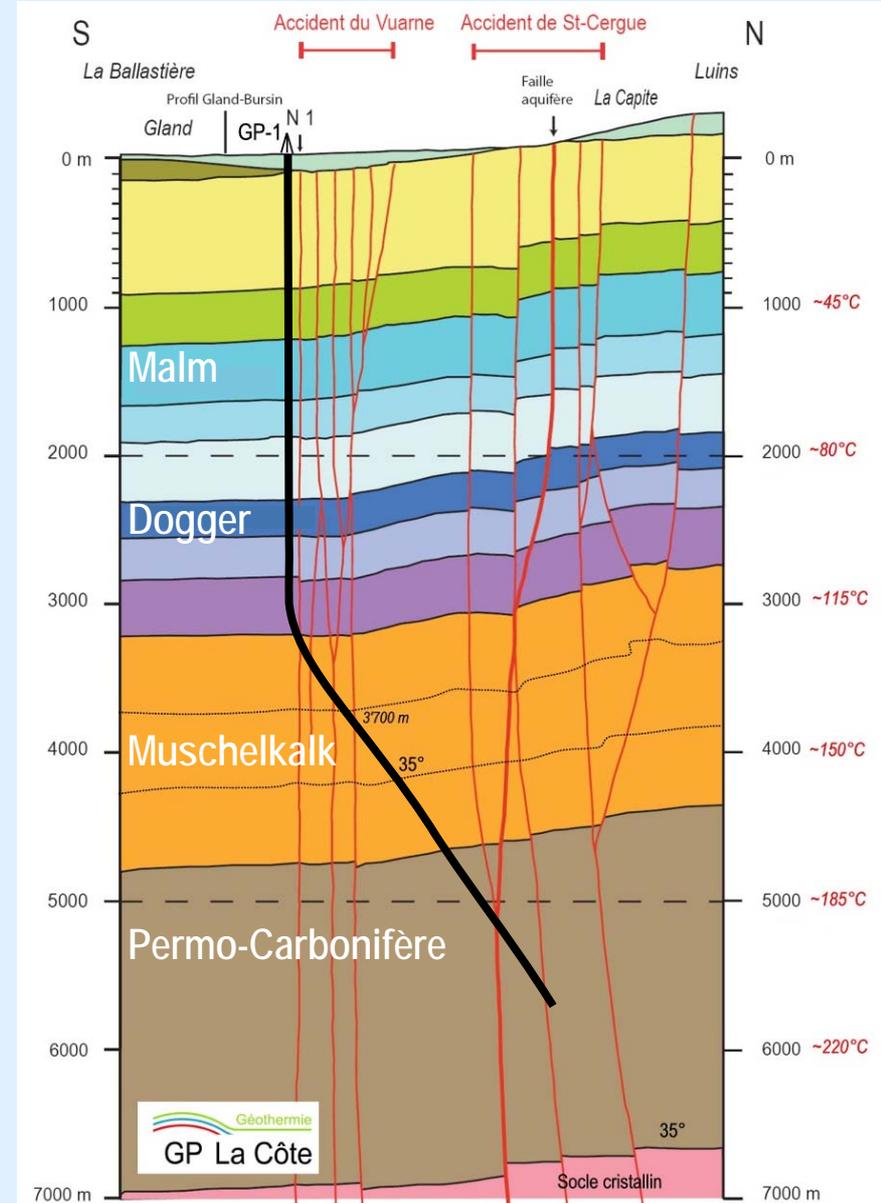


Source : Terre+, Bevaix

Exemple : secteur de Nyon-Gland



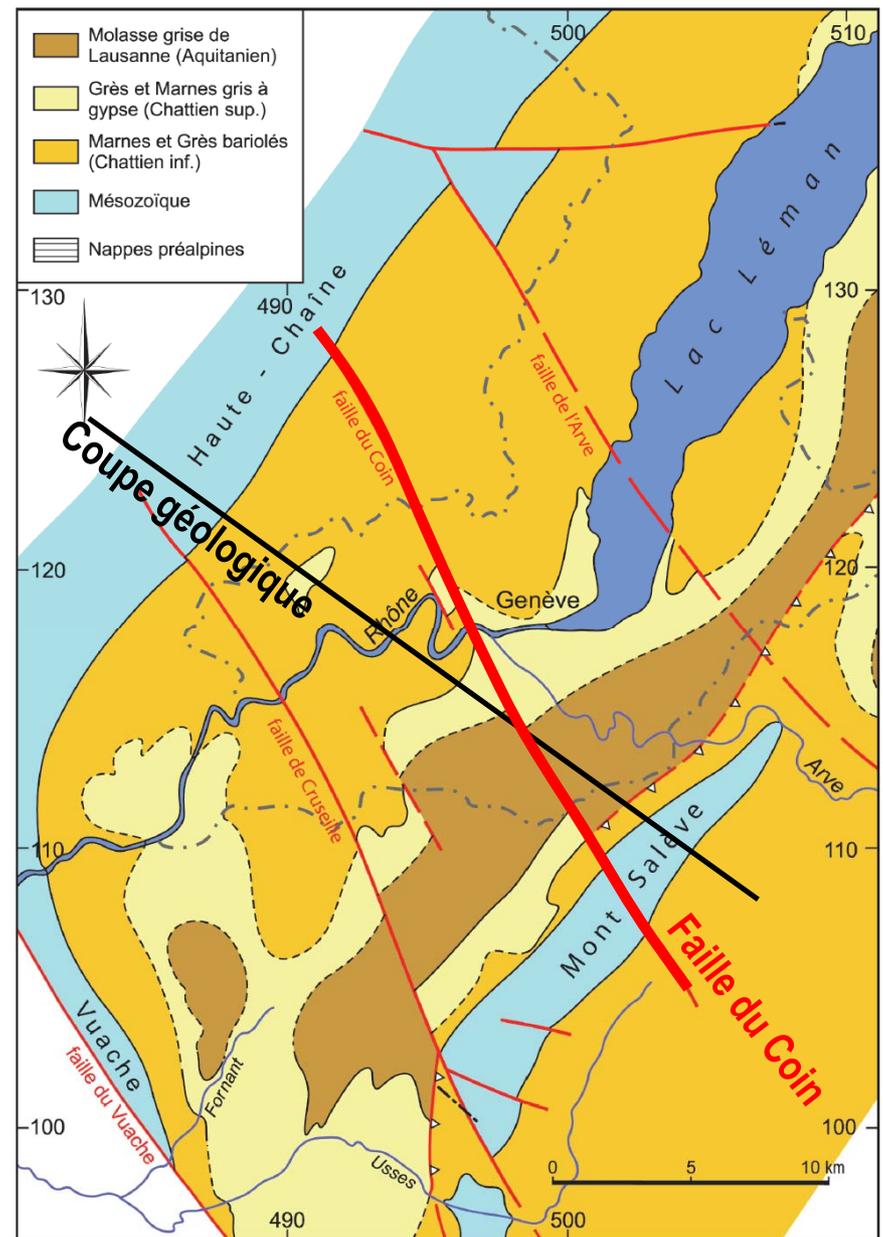
Exemple : secteur de Nyon-Gland



Consommation annuelle pour 1'000 foyers : électricité ~3.5 GWh_e/an , chaleur ~13 GWh_{th}/an

	AGEPP	GP LA COTE	GP ECLEPENS
Objectifs	Electricité + chaleur	Electricité + chaleur	Electricité + chaleur
Type d'exploitation	Singleton	Doublet	Doublet
Longueur forages	2'400 – 3'300 m	4'000 – 6'000 m	3'000 – 5'000 m
Débits d'exploitation	40 l/s	30 l/s (MK) 90 l/s (PC)	10-40 l/s (MK) 30-100 l/s (PC)
Températures de l'eau	110-120 °C (CR)	130 - 140 °C (MK) 180 - 190 °C (PC)	120 – 130 °C (MK) 140 – 160 °C (PC)
Production électricité	3.4 GWh/an	4 GWh/an (MK) 30 GWh/an (PC)	5 GWh/an (MK) 30 GWh/an (PC)
Valorisation chaleur	26 GWh/an	25 GWh/an (MK) 50 GWh/an (PC)	25 GWh/an (MK) 50 GWh/an (PC)
Coûts estimés (y.c. ORC+CAD)	30 MCHF	100 MCHF	70 MCHF
Atouts	Indices de chaleur Bains : 16 GWh/an Refroidissement ORC	Projet multi-sites Densité d'utilisateurs Refroidissement ORC	Gradient géoth. élevé CAD en place Projet industriel

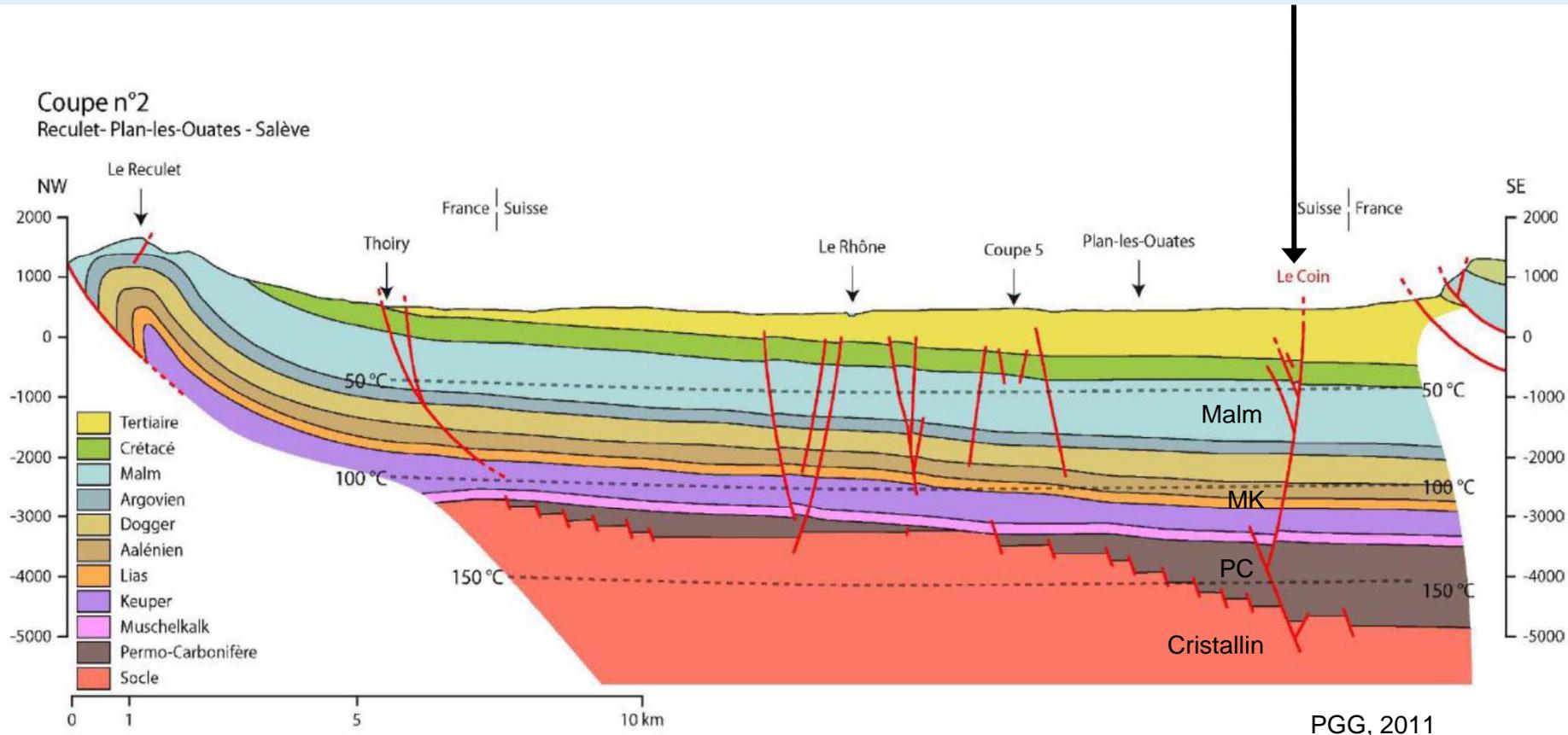
- *La géothermie profonde est une énergie encore mal connue et sous-exploitée*
- *Il s'agit d'une énergie avec un énorme potentiel de développement*
- *Elle permet de produire de l'électricité en ruban (doublet), mais aussi de la chaleur*
- *Les risques d'échec sont élevés, mais peuvent être considérablement réduits par des investigations adéquates (sismique réflexion)*
- *Les mécanismes de soutien à la géothermie profonde (couverture du risque de forage, RPC) permettent de réduire les risques d'investissement*
- *Seul le développement futur des projets de type "pétrothermal" permettra de produire de grandes quantités d'énergie électrique*



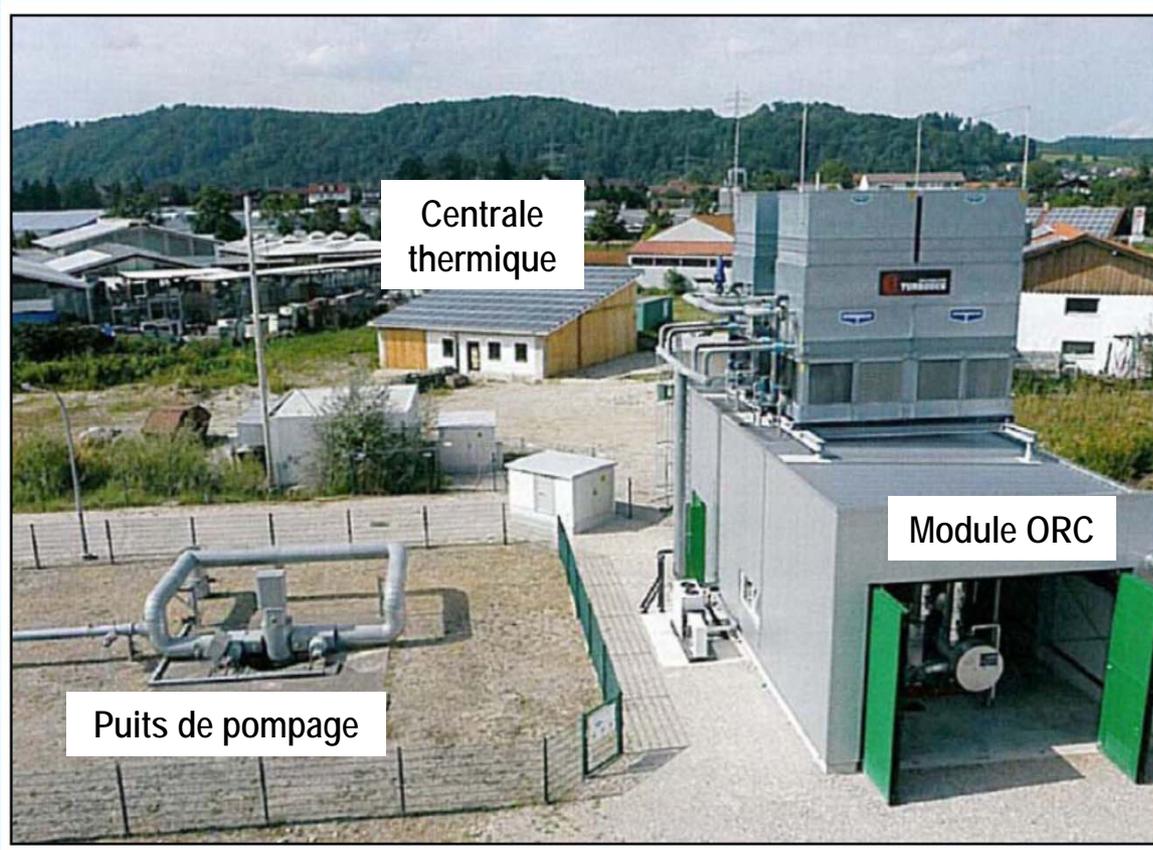
PGG, 2011

3 aquifères potentiels profonds :

- Malm : 50 - 70°C
- MK (Trias) : 110 - 120°C
- PC et Cristallin : >150°C



Nous vous remercions
pour l'attention!



Des questions?

