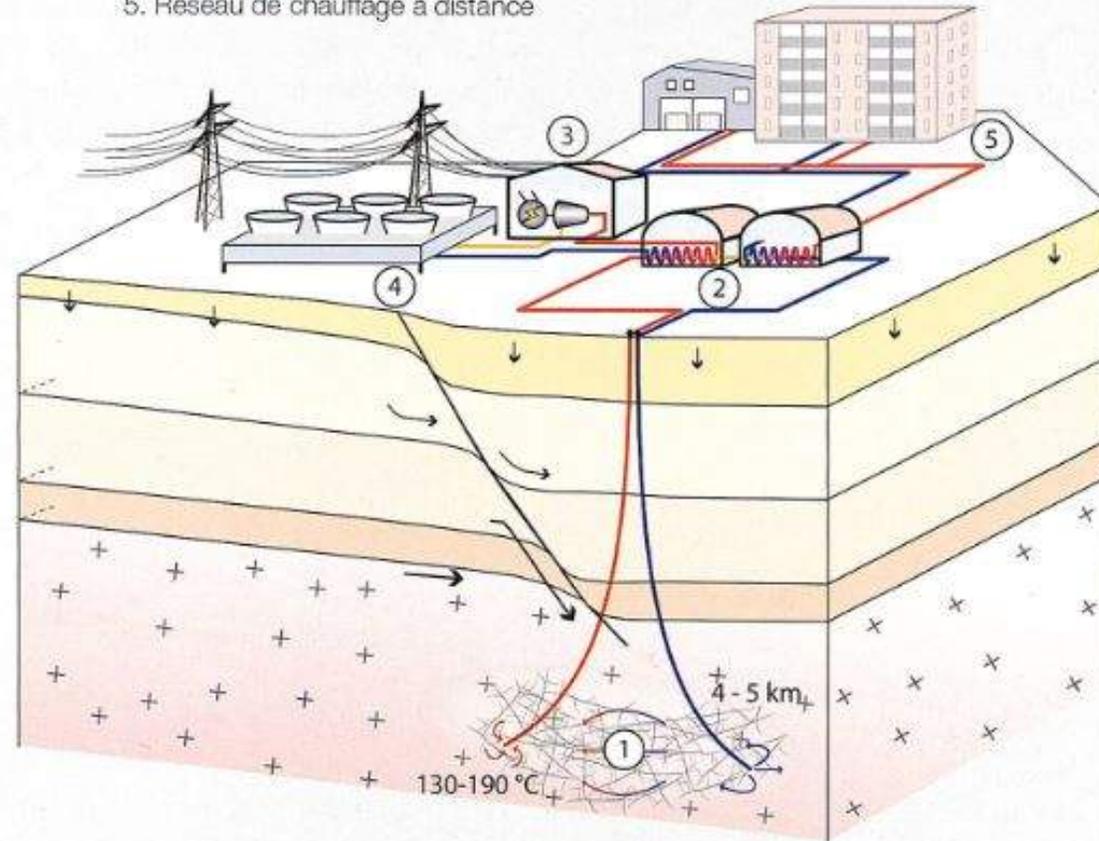


# **Quelques points généraux sur la géothermie de moyenne et de grande profondeur**

Jean Sesiano - Allinges  
9 décembre 2023

### Installation géothermique de production d'électricité et de chaleur

1. Forages de production, de réinjection et réservoir stimulé
2. Echangeurs de chaleur
3. Centrale électrique: turbine ORC et générateur
4. Système de refroidissement à air
5. Réseau de chauffage à distance



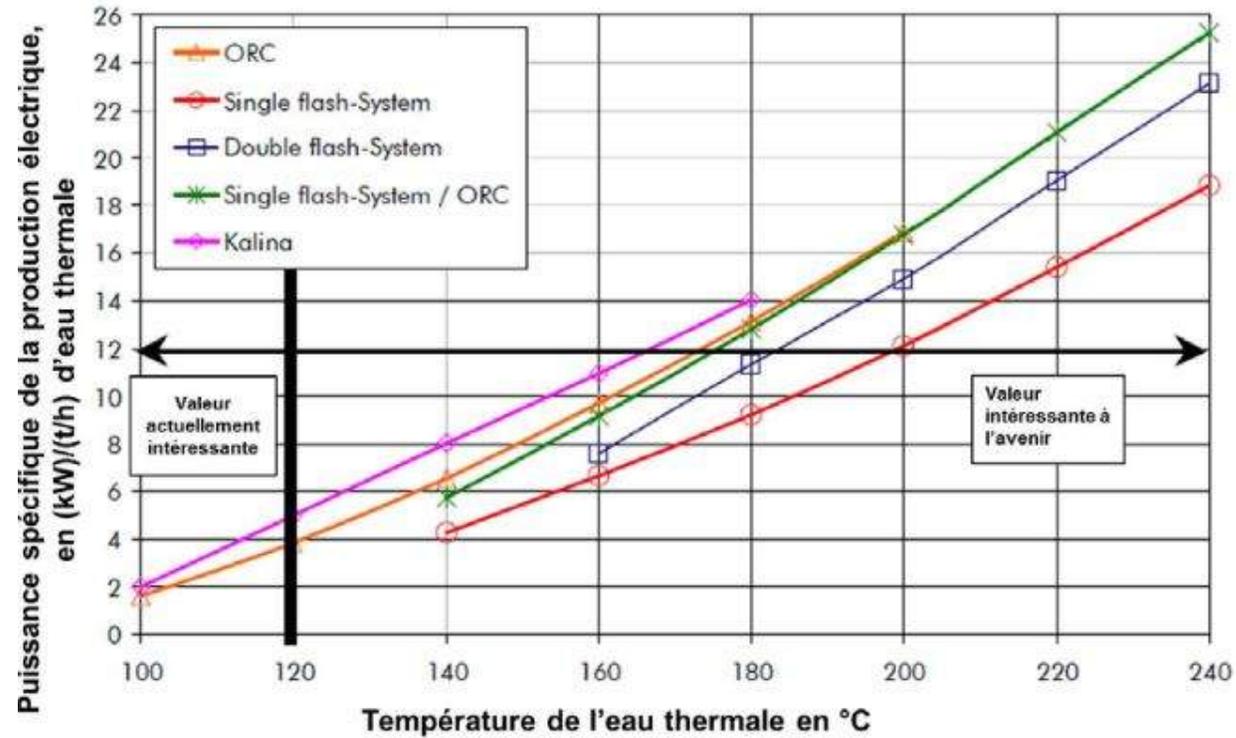


Illustration 3. Comparatif des performances de production d'électricité en fonction de la température de l'eau captée et de la puissance électrique qu'il est possible de générer. A des températures supérieures à 200°C, une installation hybride (flash/ORC) offre le meilleur rendement (source: GTN 2003).

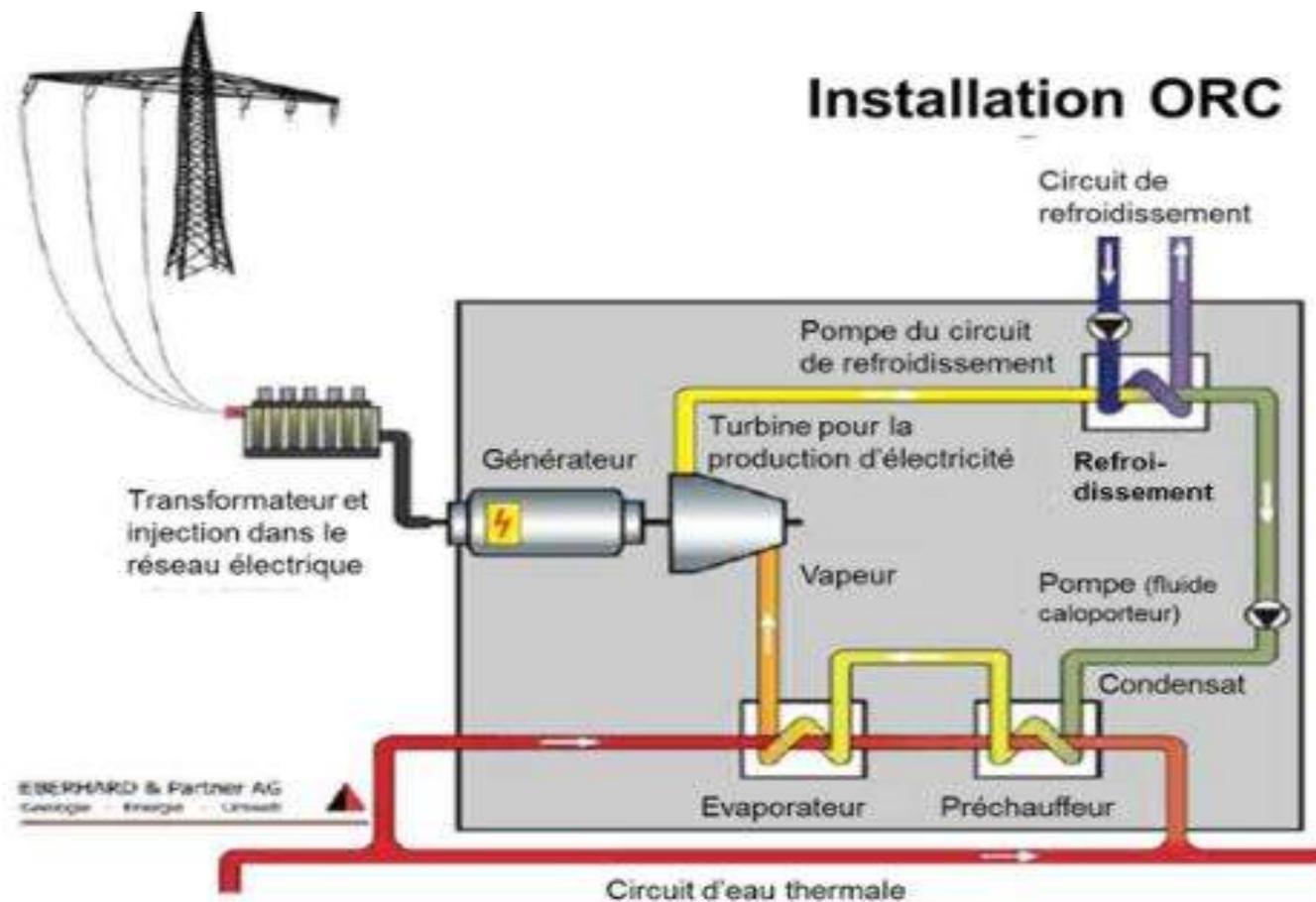


Illustration 2. Schéma de fonctionnement d'une installation ORC (cycle organique de Rankine) utilisant une eau captée dont la température est comprise entre 100 et 160°C (source: ewb 2010).

# **Présentation de quelques projets récents de géothermie de moyennes et grandes profondeurs en Suisse et en France**

## **Vinzel (Vaud) :**

C'est un projet de moyenne profondeur (hydrothermal). Cible : les couches du Dogger, à 2300 m de profondeur, avec 2 forages dont les têtes sont éloignées de 1,5 km. Les couches sont fissurées par nature. Le débit d'eau trouvé dans le Dogger ayant été trop faible, le second forage a donc été moins profond et a visé les calcaires du Malm, à 1500 m de profondeur. Un débit d'eau de 150 l/s a été trouvé, mais sa température était trop basse (33°C) pour une utilisation directe sans pompe à chaleur. Projet momentanément abandonné.

## **Saint-Pierre-Roche (Puy-de-Dôme) :**

C'est un projet de grande profondeur, à 90 MEuros, dans des roches cristallines à 4 à 5 km de profondeur, donc pétrothermal. Forte opposition locale, malgré la fissuration naturelle de la roche. Ce projet a donc pris du retard. Le terrassement du puits a été effectué et un premier forage devrait commencer en 2024 et se poursuivre jusqu'en 2026. Le projet sera viable si la température de l'eau est de 150 °C avec un débit de 100 l/s.



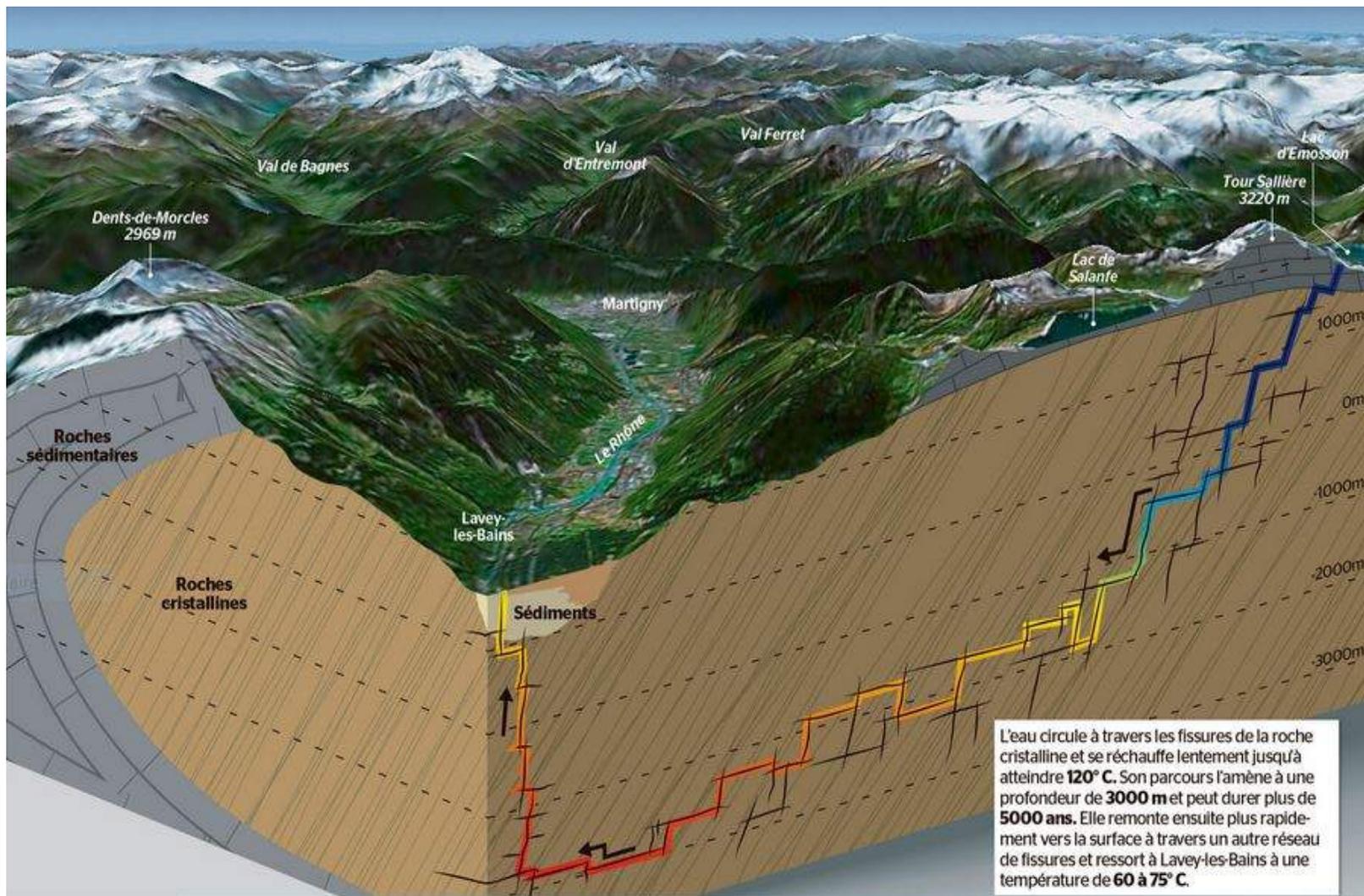
La mairie de Saint-Pierre-Roche en 2021. *Mélodie Houbé / Facebook*

## **Haute-Sorne (Jura) :**

C'est un projet de grande profondeur (pétrothermie) visant le cristallin à 5 km de profondeur, sous les couches sédimentaires jurassiennes. Coûtera environ 90 MCHF. La construction de la plateforme a débuté, malgré la forte opposition locale.

## Lavey-les-Bains (Vaud) :

Source thermale naturelle la plus chaude de Suisse, plus de 60°C. Le projet prévoyait d'atteindre le cristallin, du gneiss, à 3 km de profondeur, avec une eau à 110°C et un débit de 40 l/s. Le forage a atteint 2956 m, la température était au rendez-vous, mais le débit bien trop faible. Le projet a donc été momentanément abandonné.

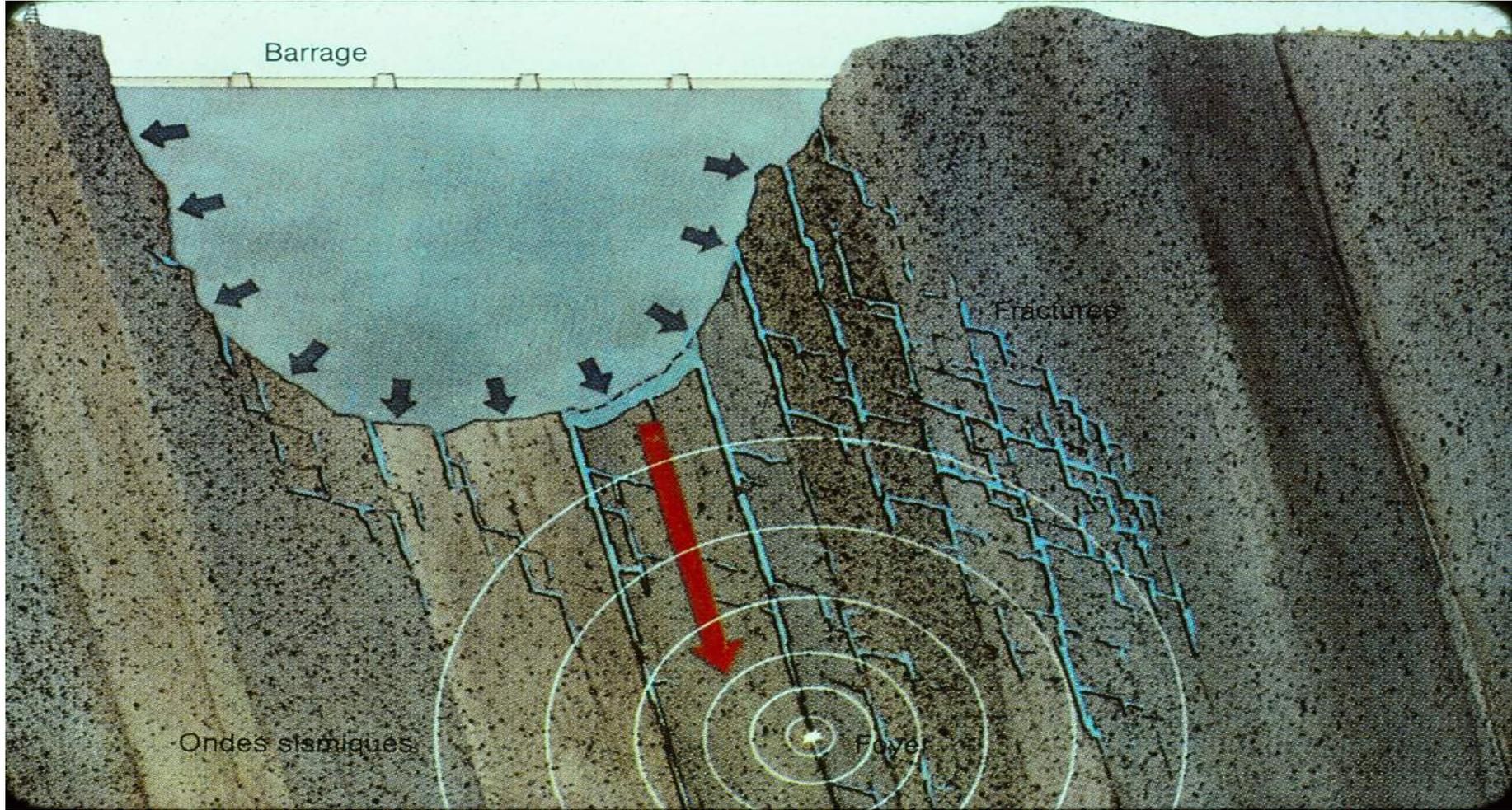




La plateforme de forage du projet de géothermie hydrothermale photographiée à côté du Rhône lors de la présentation à la presse du début du forage profond, le jeudi 13 janvier 2022 à Lavey. Ce projet de l'entreprise Alpine Geothermal Power Production vise — © Keystone

Le barrage de Zeuzier (Valais) : un précurseur de la fracturation hydraulique !





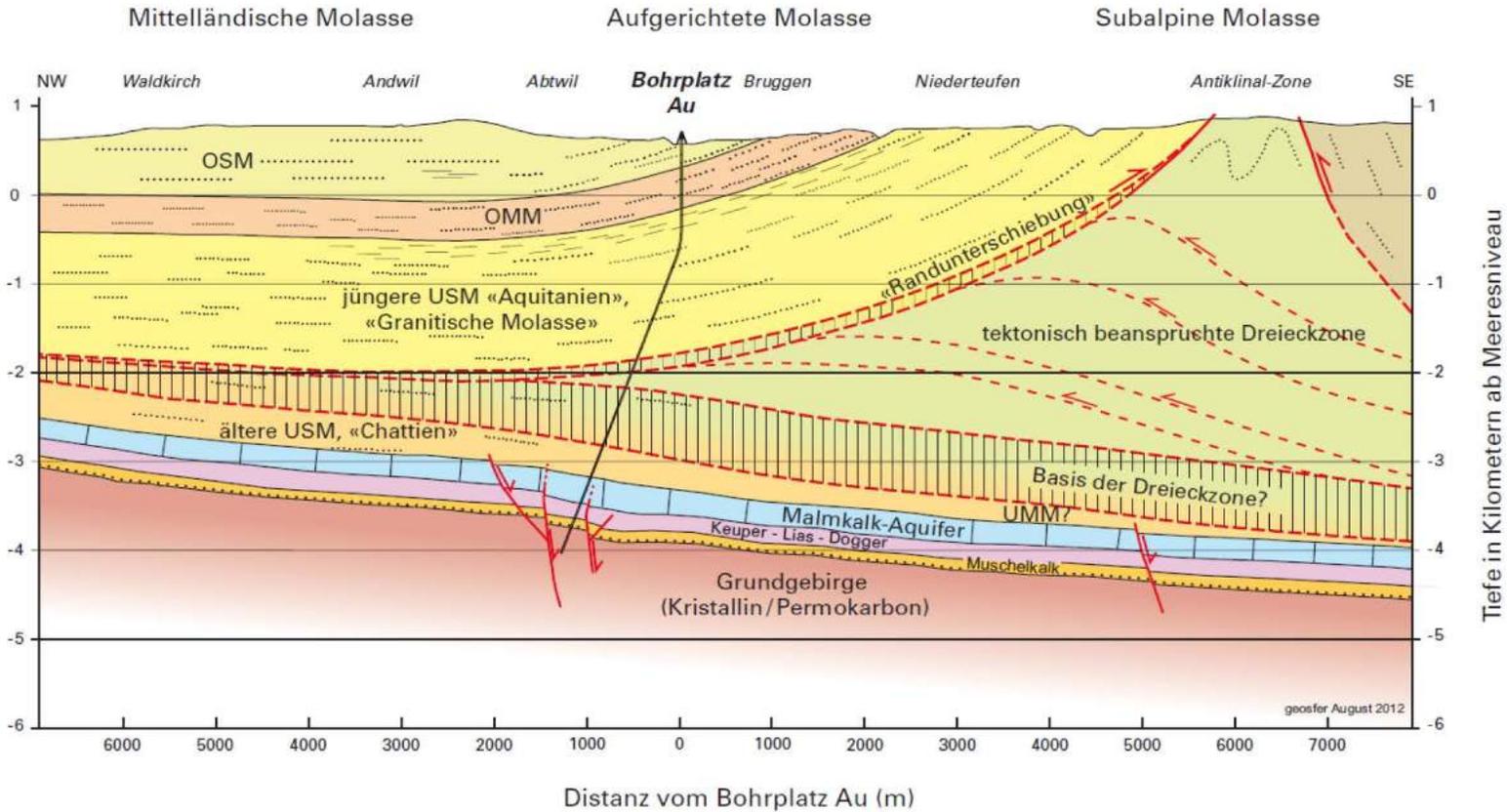
## Saint-Gall (St Gall) :

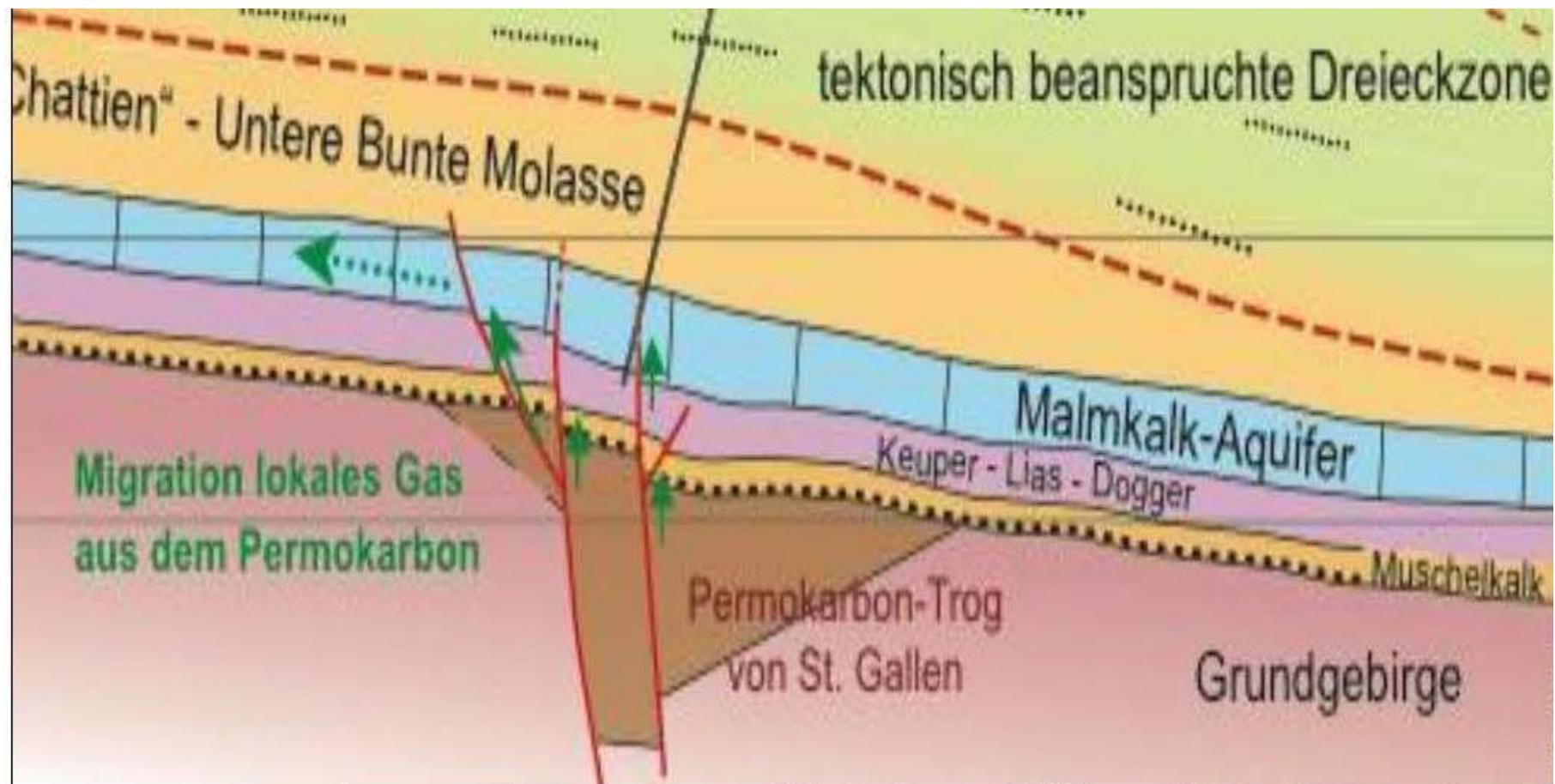
C'était un projet de grande profondeur, à 60 MCHF, mais de type hydrothermal, car la roche contient de l'eau et est fissurée naturellement (roche sédimentaire perméable). La profondeur atteinte a été de 4450 m avec de l'eau à 140 °C. Malheureusement, le forage est tombé dans un graben (fossé) permo-carbonifère et c'est du gaz méthane qui est sorti en lieu et place d'eau ! Pour le contrer, une quantité d'eau a été injectée dans le puits, ce qui a permis aux tensions présentes dans les roches de se relâcher, d'où de nombreux séismes (jusqu'à Richter 3,5 le 20.7.2013). Le débit d'eau n'a pas pu être testé. Le projet a été abandonné pour les raisons officielles suivantes : débit trop faible, projet trop cher et trop dangereux pour la ville de St Gall...

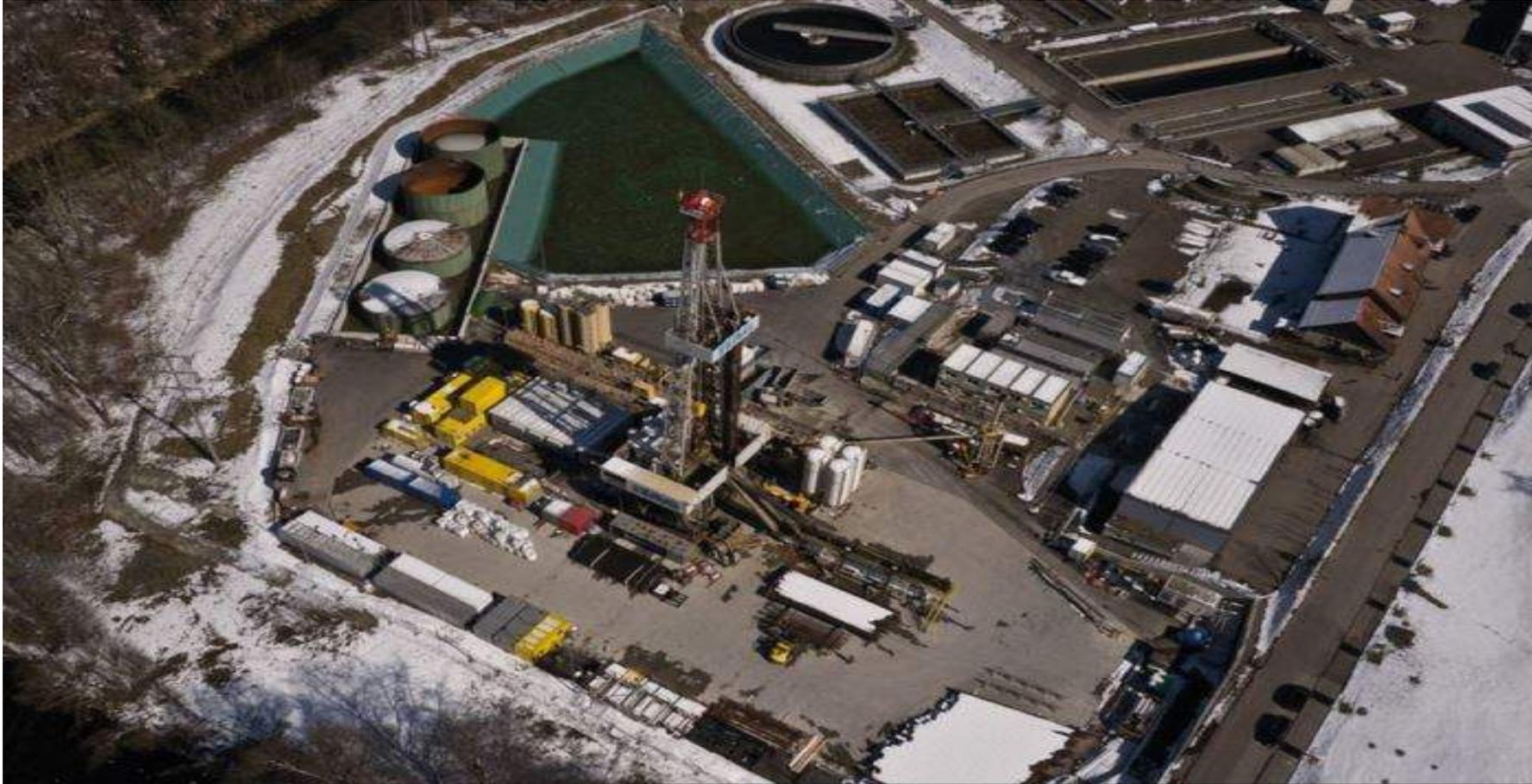


# Géothermie profonde - Cas 1 : aquifères profonds (APR)

## Geologie im Raum St.Gallen







**Vue aérienne du projet d'énergie géothermique à St-Gall**



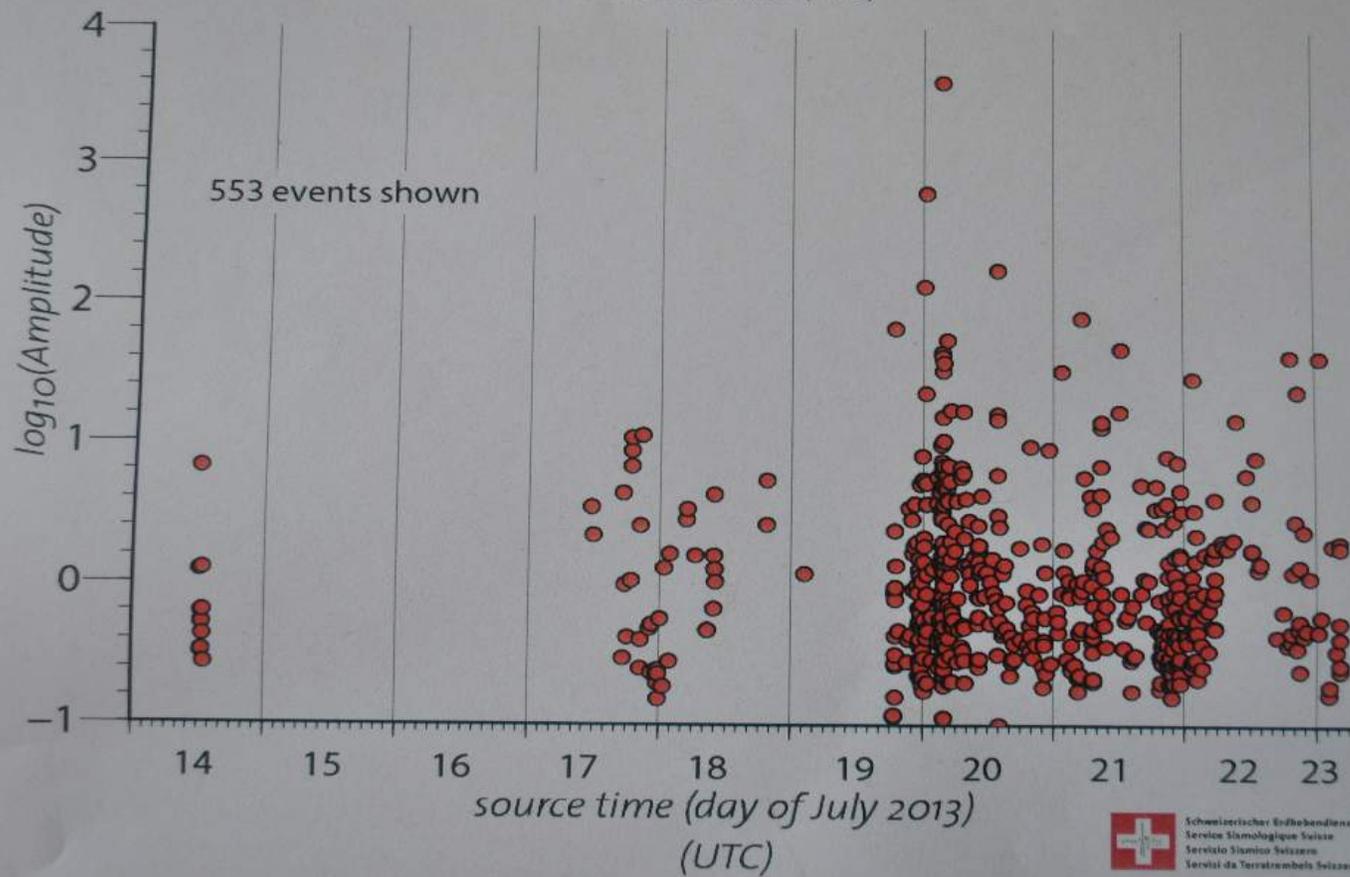
Après le tremblement de terre dans le Sittertobel de Saint-Gall en 2013, les forages d'essai pour le projet de géothermie de Saint-Gall ont été interrompus. (Photo : Ville de Saint-Gall / Services publics de Saint-Gall)



Dessin d'Alex

# St. Gallen induced earthquakes

as of 23.07.2013 07:00 (UTC)





Von Marlene Kovacs

**U**nd wieder bebte in St. Gallen die Erde. Nicht zum ersten Mal seit dem Start des ehrgeizigen Geothermie-Projektes. Das jüngste Beben hatte die Stärke 2,0 und wurde am Mittwoch

um 16.22 Uhr registriert. Das Zentrum lag nur wenige Hundert Meter vom St. Galler Bohrloch entfernt in ungefähr 4000 Metern Tiefe. Bereits am 20. Juli hatte die Probebohrung im St. Galler Sittertobel ein Erdbeben aus-

gelöst. Dem Hauptbeben der Stärke 3,5 folgten damals über 17 schwache Nachbeben. Die Bohrung wurden unterbrochen – bis der Stadtrat im August entschied, das 160-Millionen-Franken-Projekt weiterzuführen.

Magnitude	Énergie libérée (en kg d'explosif)	Puissance par rapport à un séisme de magnitude 3
10	56'000'000'000'000 (56 billions)	31'000'000'000 x
9	1'800'000'000'000 (1.8 billions)	1'000'000'000 x
8	56'000'000'000 (56 milliards)	31'000'000 x
7	1'800'000'000 (1.8 milliards)	100'000 x
6	56'000'000 (56 milliards)	31'000 x
5	1'800'000 (1.8 milliards)	1'000 x
4	56'000	31 x
3	1'800	
2	56	

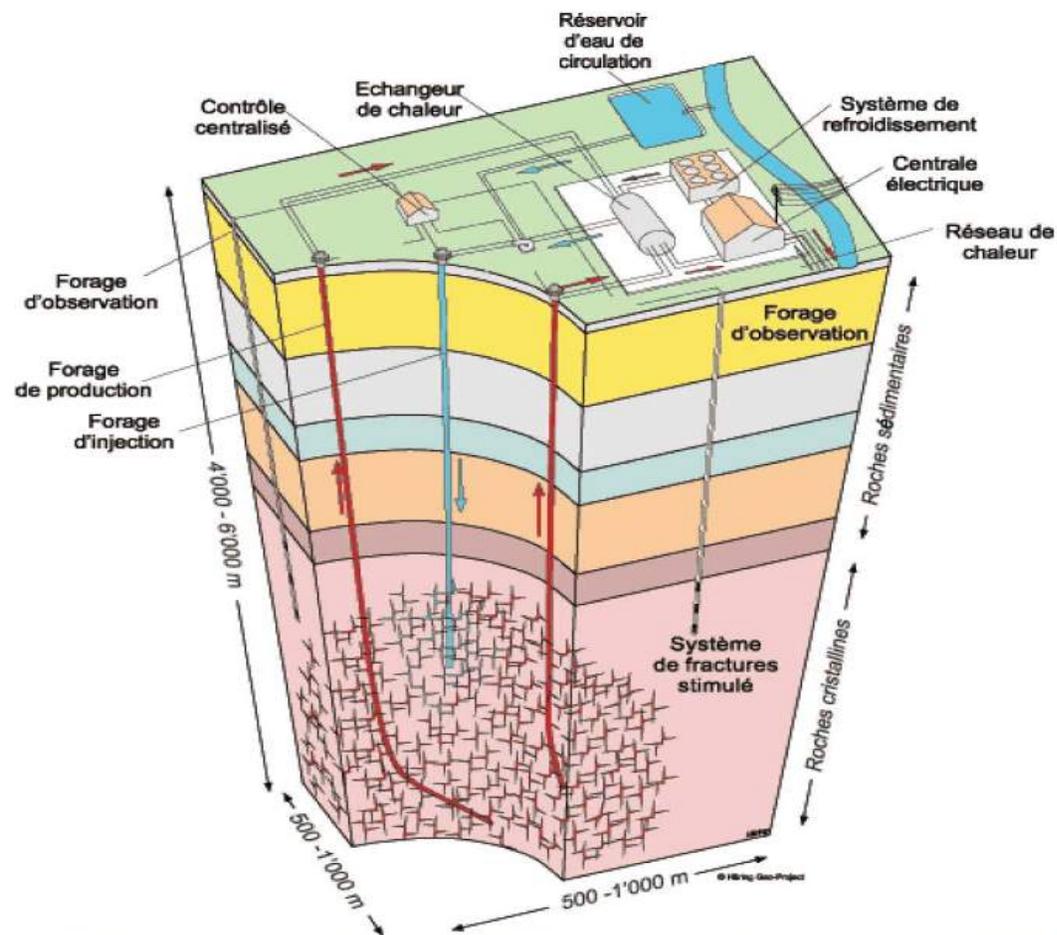
## **Bâle (Bâle-ville) :**

C'était un projet de 2006, de grande profondeur, de type pétrothermal, avec des forages jusqu'à 5 km, dans une roche cristalline dépourvue d'eau. Le site se trouve au début du fossé rhénan (Rheingraben), actif (subsidence) depuis plusieurs dizaines de Ma. Bâle a été détruite en 1356. C'est donc une zone sismique, la plus «agitée» de Suisse avec la région de Sierre en Valais. La fissuration de la roche étant trop faible ou inexistante, il a fallu la créer, puis élargir les fissures avec de l'eau sous pression : c'est la stimulation hydraulique (fracking, comme pour l'exploitation du gaz de schistes).

Comme nous sommes ici en zone sismique, les roches sont sous tension, et l'eau injectée a permis à ces tensions de se relâcher en faisant coulisser les 2 parois des fissures. D'où apparition de séismes. Ceux-ci ont atteint la magnitude de 3,4 sur l'échelle de Richter. Devant l'émoi de la population, le projet a été abandonné en 2007.

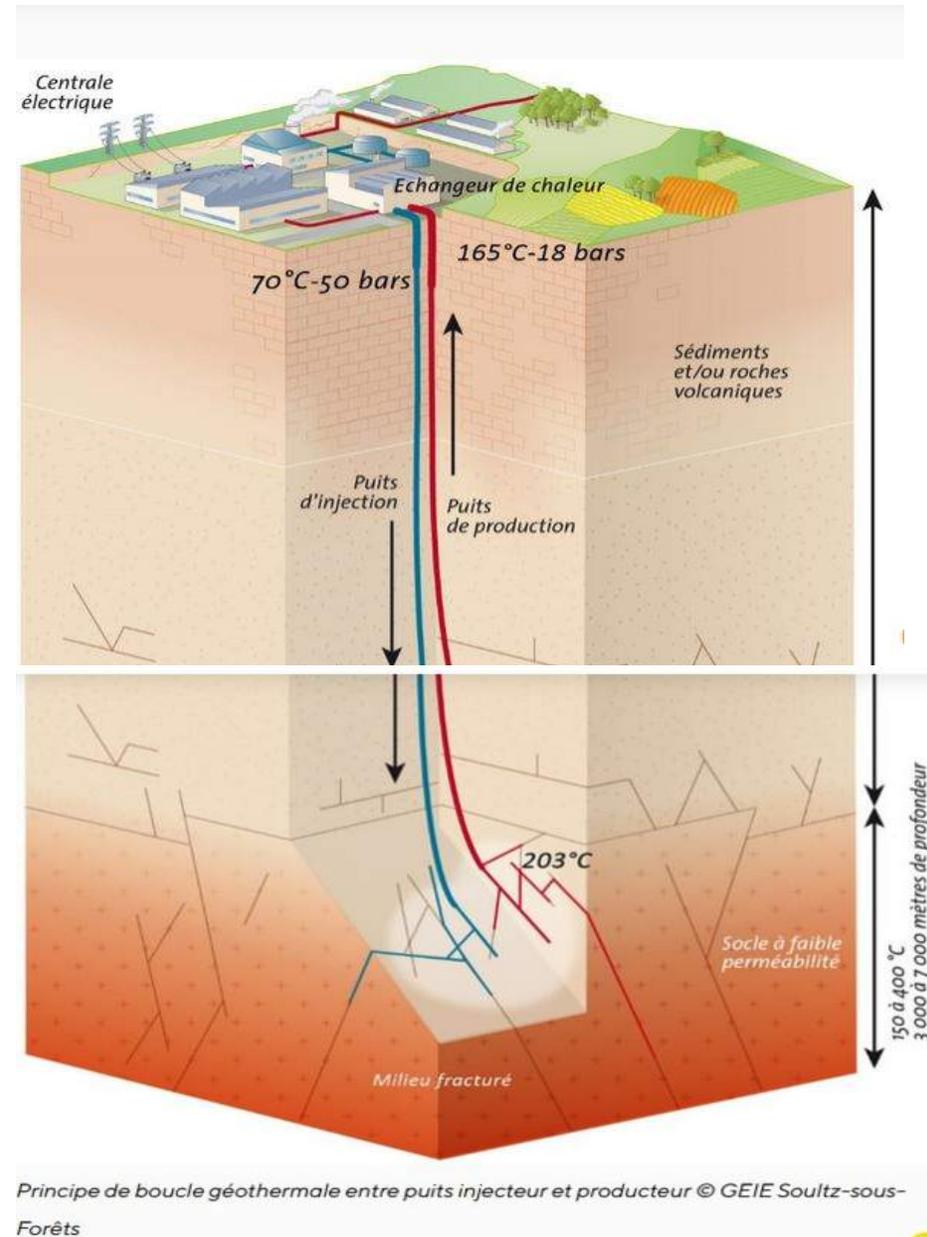
# Géothermie profonde

## Cas 2 : systèmes stimulés (EGS)



# Soultz-sous-Forêts (Alsace) :

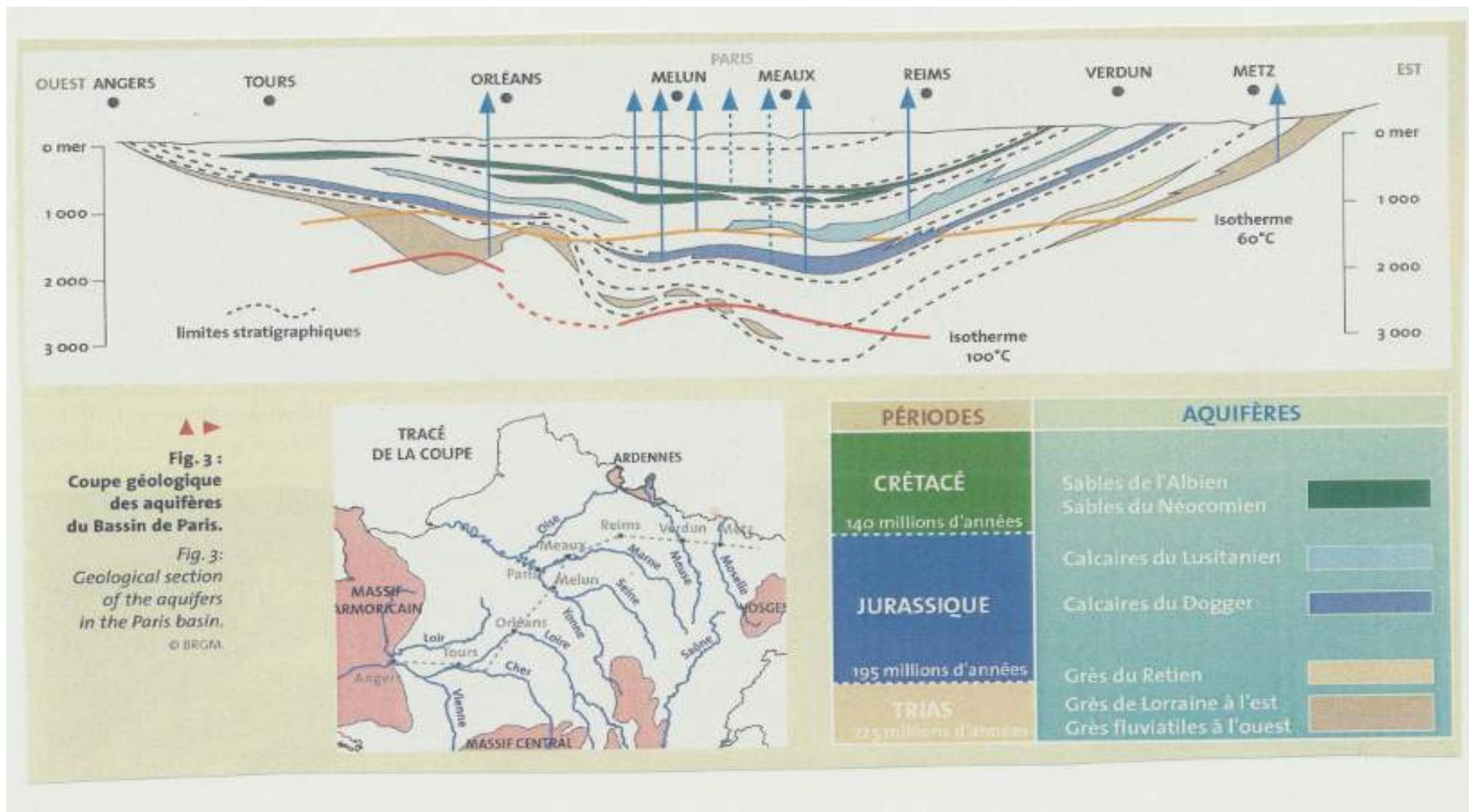
Le site se trouve sur le fossé rhénan. Le projet est de type pétrothermal. Le site est en activité depuis 2007. 3 forages à 5 km, eau à 165°C, dans socle fracturé sous roches sédimentaires et volcaniques.





Le projet européen EGS à Soultz-sous-Forêts en Alsace est à la fois le plus important et le plus avancé.

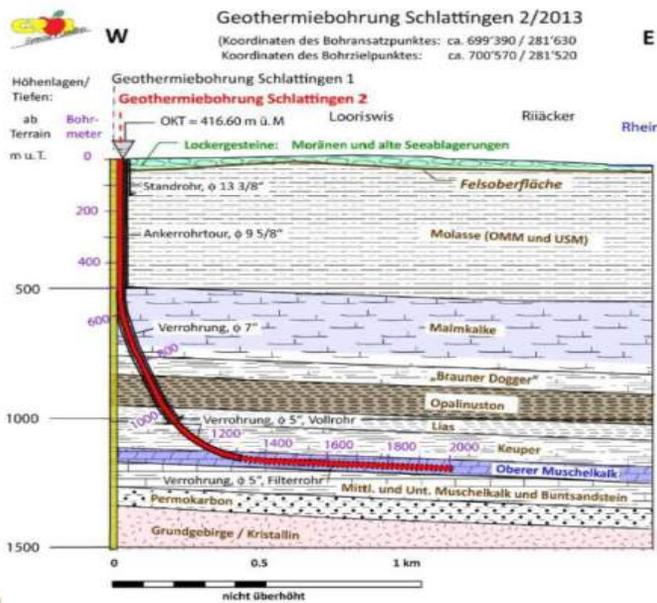
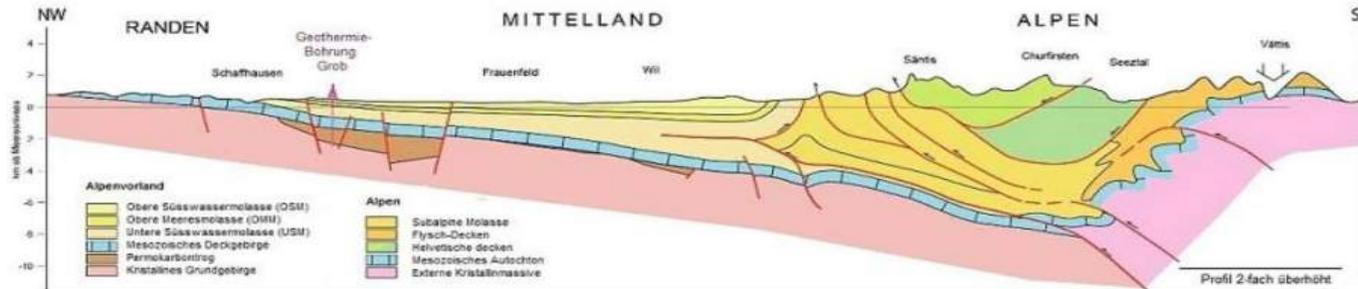
# Géothermie dans l'Ile de France



## **Riehen (Bâle-ville) :**

C'est un projet de moyenne profondeur, utilisant de l'eau à 67°C à 1550 m de profondeur, avec 2 puits. Le système marche à satisfaction depuis plus de 25 ans (1994) chauffant la ville et les serres voisines.

# Aquifères profonds ... pas si profonds que ça !



# Larderello

(Toscane, Italie)

En activité depuis 1913, quelques % de l'énergie totale consommée en Italie. Eau à plus de 160°C, vapeur surchauffée à la surface. Electricité. Importante production chimique (Bore).





## **Forages de moyennes et grandes profondeurs productifs ailleurs dans le monde**

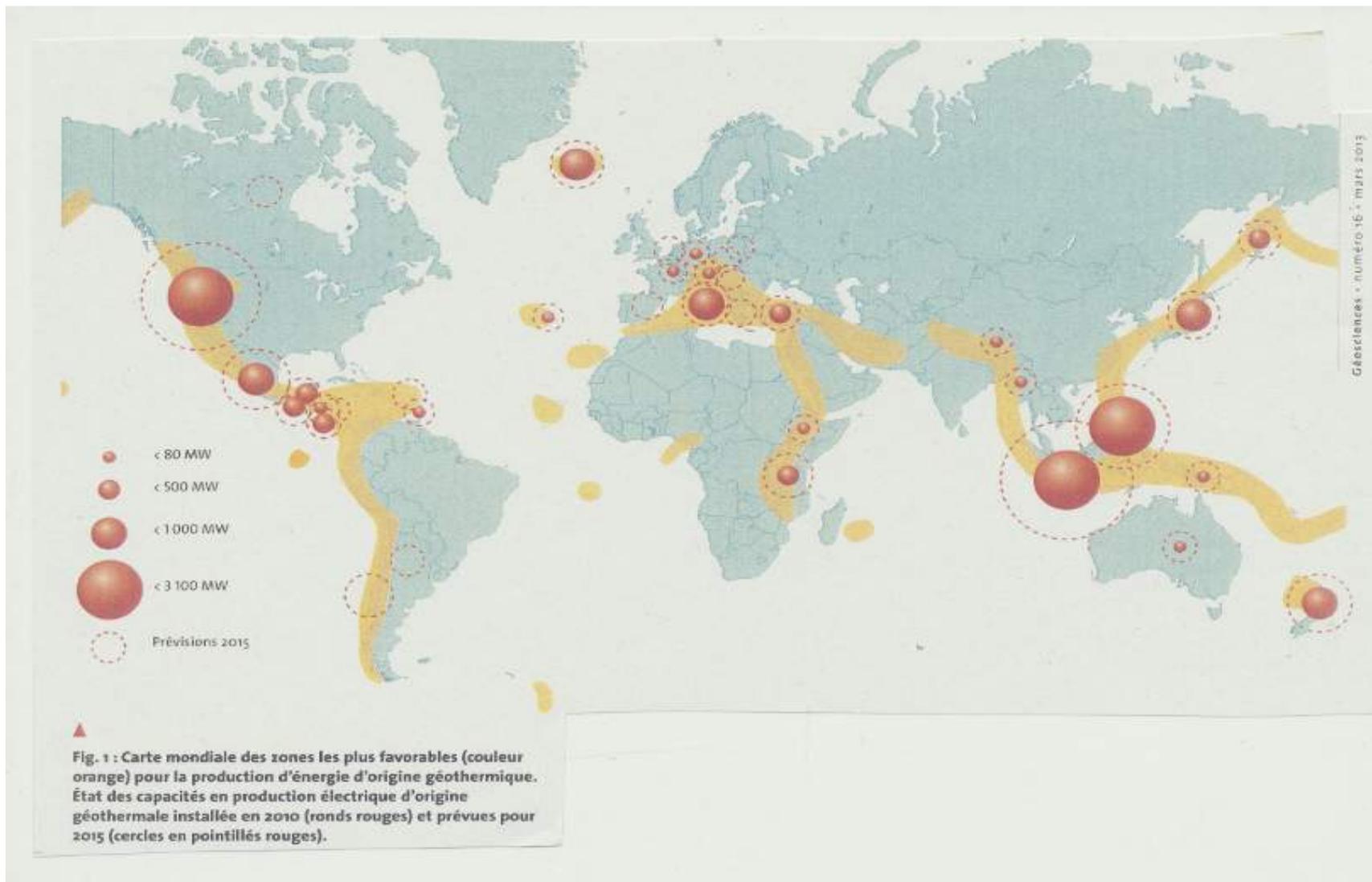
Au nord de S. Francisco, région des Geysers, avec de l'eau à 200°C faisant fonctionner des turbines à vapeur. Electricité.

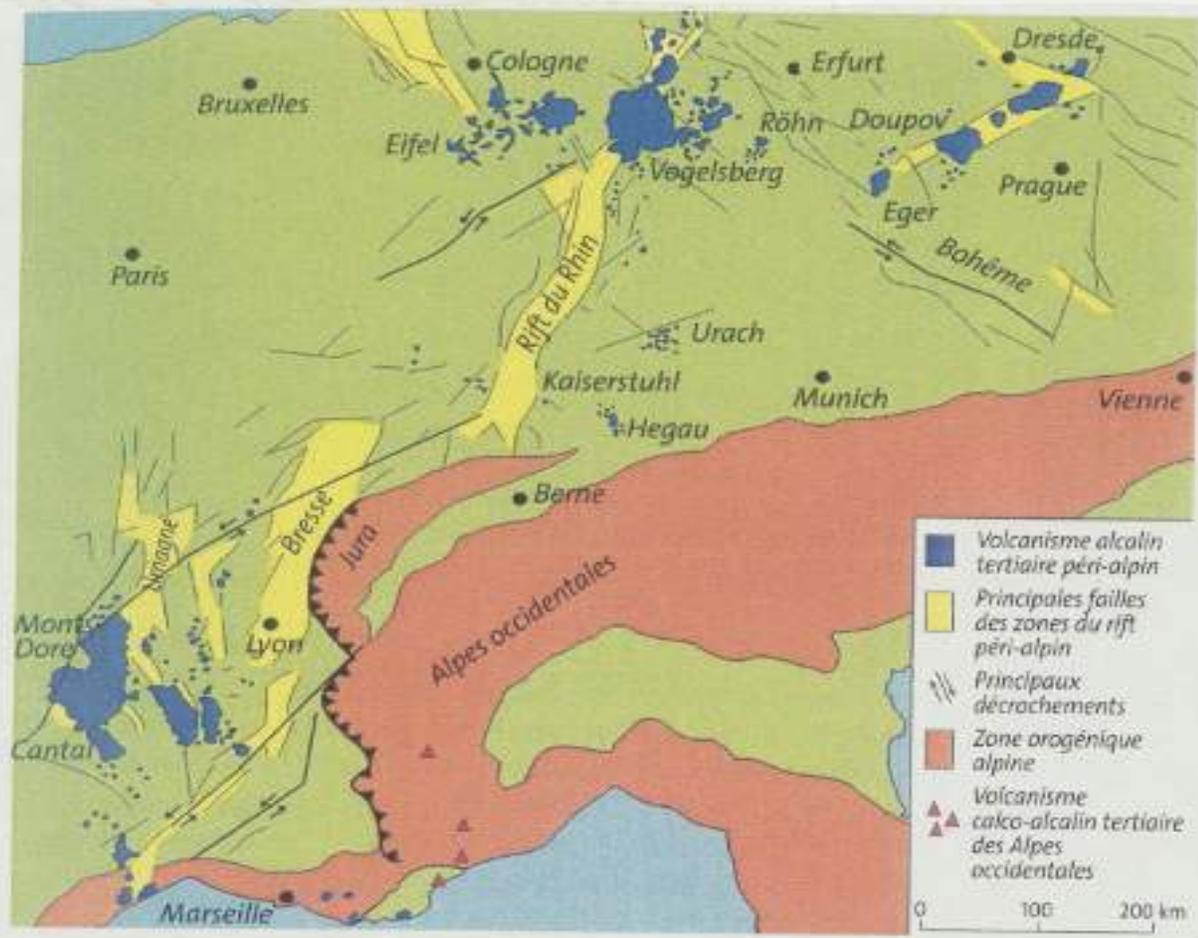
En Indonésie, nombreux forages produisant de l'électricité.

En Islande, en Nouvelle-Zélande et au Japon, idem.

En Allemagne, dans la région de Munich, la géothermie de moyenne et grande profondeur est activement utilisée.

Et dans le sud de l'Australie, dans le Cooper Basin, de l'eau à 80-120°C, captée à 4km de profondeur, sert à la production d'électricité. Etc.





◀ **Fig. 3 :**  
**Localisation du rift**  
**ouest-européen,**  
**montrant le système**  
**de failles cénozoïques,**  
**les fossés**  
**d'effondrement et**  
**les zones volcaniques**  
**récentes.**

*Fig. 3: Location map of the European Cenozoic rift system, showing Cenozoic fault systems (black lines), rift-related sedimentary basins (yellow) and volcanic fields (dark blue).*

© BRGM  
 (modifié par P. Nehlig d'après Brousse et Bellon, 1983).

## **Remarques :**

1) Il faut faire entre 5 et 7 forages pour en voir 1 ou 2 réussir. Au prix du forage, variant exponentiellement avec la profondeur, il vaut mieux s'assurer de la structure géologique du sous-sol auparavant.

La France a en cela une bonne longueur d'avance sur la Suisse, vu sa tradition d'exploration pétrolière et gazière.

Conclusion : la connaissance du sous-sol est impérative (géophysique).

2) La minéralisation des eaux chaudes de profondeur peut souvent poser problème, mais elle peut être aussi un atout, par exemple à Larderello.



Ici : dépôts calcaires à l'intérieur d'un tuyau dans un forage au Kenya

Et pour conclure :

Externes	<p><b>Opportunités</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Réduction considérable des coûts de forage grâce aux progrès techniques</li> <li>– Meilleures méthodes géophysiques pour le choix des sites (projets hydrothermaux)</li> <li>– Améliorations techniques du procédé de production de l'électricité (installations ORC, Kalina )</li> <li>– Meilleure compréhension de la sismicité induite et de la modélisation</li> <li>– Nouvelles approches des risques</li> <li>– Source d'énergie théoriquement inépuisable</li> </ul>	<p><b>Risques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Faisabilité technique et économique encore non démontrée en Suisse</li> <li>– Risque d'échec (hydrothermal)</li> <li>– Sismicité induite</li> <li>– Conditions-cadre mal définies (législation, procédures de concession et d'autorisation)</li> <li>– En l'absence d'une percée de la technologie en Suisse dans un avenir proche, les efforts pourraient ne pas aboutir</li> </ul>
Internes	<p><b>Points forts</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Energie en ruban renouvelable</li> <li>– Production d'électricité et de chaleur décentralisée</li> <li>– Centrales pouvant en principe augmenter leurs capacités</li> <li>– Contribution à la production de chaleur</li> <li>– Approvisionnement en électricité et en chaleur séparables à long terme</li> </ul>	<p><b>Points faibles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Coûts de forage actuellement très importants et risques élevés</li> <li>– Géologie suisse encore inconnue</li> <li>– Manque d'expérience avec cette technologie en Suisse</li> </ul>

Tableau 5. Analyse SWOT.

Merci pour votre attention.