



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final (Présentations) 24. Nov. 2015

Journée romande de la géothermie 2015

Défis de faible à grande profondeur

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Géothermie
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:

Antenne romande de GEOTHERMIE.CH
c/o PAC'info Sàrl
Rue du Four 11
1400 Yverdon-les-Bains
www.geothermie.ch

Auteurs:

voir programme

Organisation :

André Freymond, andre.freymond@geothermie.ch
Natascha Vetroff natascha.vetroff@geothermie.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Gunter Siddiqi

Chef de programme de l'OFEN: Rudolf Minder

Numéro du contrat de l'OFEN: 500'968-03

Le ou les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

Journée romande de la géothermie 2015 – JRG15

Défis de faible à grande profondeur

Mardi 24 novembre 2015 – Technopôle Y-PARC, Yverdon-les-Bains

(Programme au verso)

Avec le soutien de

Partenaires



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN



Sponsors Gold



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX



Sponsors Bronze



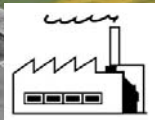
Organisation

Antenne romande de GEOTHERMIE.CH c/o PAC'info Sàrl
André Freymond et Natascha Vetroff – Rue du Four 11, 1400 Yverdon-les-Bains
Tél. : 024 425 22 83, fax : 024 426 02 10
andre.freymond@geothermie.ch, natascha.vetroff@geothermie.ch, www.geothermie.ch

Programme

Thème	Horaire	Intervenant
<i>Accueil des participants – Café, croissants</i>	dès 08:45	
Ouverture de la manifestation		
Message de bienvenue	09:30	André Freymond, Antenne romande de GEOTHERMIE.CH Sandy Wetzels, directeur de Y-Parc SA
Sondes géothermiques profondes à 500 m et 800 m Exploitation, mesures et développement	09:45	Francesco Barone, Services Industriels de Lausanne Martin Bochud, Geoazimut Sàrl
Sonde géothermique à membrane Stockage saisonnier de chaleur	10:15	Georg Putzi, BS2 AG
Check-list Renouvellement d'une pompe à chaleur géothermique	10:35	André Freymond, PAC'info Sàrl
<i>Pause-café</i>	11:00	
Sondes géothermiques groupées Comment éviter un refroidissement excessif du sous-sol	11:20	Florian Ruesch, Hochschule für Technik Rapperswil
Assurance qualité Aperçu des méthodes pour le contrôle du remplissage des sondes géothermiques	11:45	Vincent Badoux, Geotest AG
Les défis de la géothermie profonde Aperçu des activités de recherche au CHYN	12:10	Benoît Valley, CHYN, Université de Neuchâtel
<i>Lunch</i>	12:30	
Géothermie de moyenne profondeur Cas concrets d'exploration d'aquifères de fissures, techniques de forage pour minimiser les coûts et synergies dans la valorisation de l'énergie thermique produite et de l'eau captée	13:45	Gabriele Bianchetti, Alpgeo Sàrl
La géothermie profonde en Alsace Contexte général et cas particulier du projet ECOGI à Rittershoffen	14:15	Clément Baujard, ÉS-Géothermie
Géothermie profonde à Unterföhring Bilan sur le premier double doublet géothermique en Allemagne et perspectives de la géothermie en Bavière	14:40	Frédéric Mirjolet, Erdwerk GmbH
<i>Pause-café</i>	15:05	
Projet AGEPP : nouvelles perspectives et nouveaux challenges Développement du projet et optimisation de la valorisation électrique	15:25	Pascal Helfer, CSD Ingénieurs SA
Développement d'un nouveau concept EGS Le projet pilote de Haute-Sorne (JU)	15:45	Olivier Zingg, Geo-Energie Suisse AG
Synthèse et clôture de la manifestation	16:15	André Freymond, GEOTHERMIE.CH
<i>Apéritif garni</i>	dès 16:20	

Bienvenue @



130+



1'200+

Industrie de précision

Technologies de
l'information

heig-vd

13 instituts de Ra&D
2'000+ étudiants et
chercheurs

Sciences de la vie

Cleantech

Institut de Génie Thermique de la HEIG-VD

travaille en étroite relation avec l'économie dans de nombreux domaines de l'énergétique industrielle et du bâtiment, avec un accent particulier sur l'optimisation énergétique et les énergies renouvelables. L'institut IGT propose des solutions industrielles, avec un objectif d'efficacité et de respect de l'environnement.

43 collaborateurs, 5 laboratoires de recherche et 65 projets en 2014 :

- Laboratoire des processus thermiques
- Thermique industrielle et Systèmes
- Simulation des systèmes thermiques
- Systèmes industriels de Bioénergie
- Laboratoire d'énergétique solaire et physique du bâtiment



Une offre adaptée à toutes entreprises

YOUR MAILBOX

Domiciliation d'affaires temporaire
dès CHF 170/mois

YOUR FIRST OFFICE

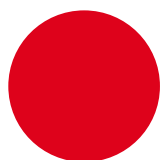
Incubateur d'entreprises Y-START
Open Space ou petits bureaux/ateliers privatifs dès CHF 275/mois

YOUR DEVELOPMENT

10,000+ m² de locaux à louer
Bureaux, ateliers, laboratoires, halles industrielles à CHF 200-300/m²/an

YOUR SUCCESS

25+ ha. de terrain à vendre
Parcelles de 3'000 à 25'000m² à CHF 240/m²



Sondes géothermiques profondes à 500 m et 800 m

Exploitation, mesures et développement

Yverdon-les-Bains, 24 novembre 2015

Francesco Barone, ingénieur en énergétique aux Services industriels de Lausanne

Martin Bochud, Géologue et Ingénieur en électronique, Geoazimut Sàrl de Fribourg



Sommaire

1. Introduction et contexte du projet
2. Simulations EWS
3. Mesures
 - Projet KEPI (Plaines-du-Loup) : GTS – DTS - TRT
 - Projet Sirius : SIRIUS DataXplorer
4. Premiers retours d'expérience
5. Développements en cours
6. Conclusion, remerciements





Introduction et contexte du projet

- Dans le cadre du **projet d'écoquartier des Plaines-du-Loup** prévu par Métamorphose, la solution de production de chaleur répondant aux critères « société à 2000 W » (vision 2150) retenue à ce jour est un système de **pompes à chaleur (PAC)** avec des sondes géothermiques de **500 à 800 mètres**.
- Si elles sont bien maîtrisées jusqu'à des profondeurs de 200 mètres, la **réalisation et l'exploitation de PAC avec des sondes géothermiques à 500 mètres et au-delà doivent encore être optimisées**.
- Il était donc indispensable de réaliser une **installation témoin** permettant de bénéficier d'un **retour d'expérience** avant d'envisager cette technologie à l'échelle d'un quartier entier.



Introduction et contexte du projet

Les buts du projet:



Vérifier la **faisabilité** de l'implantation de sondes géothermiques à **500 mètres** en ayant recours à une technique de forage standard



Vérifier la **fiabilité** des matériaux standards appliqués aux sondes géothermiques profondes (résistance à la pression, 50 bar à 500 m)

En cours...

- Mesurer les **performances** des **PAC** et des **sondes géothermiques** (coefficient de performance annuel, énergie et puissance prélevées, évolution dans le temps)
- Comprendre les phénomènes liés à l'exploitation des sondes profondes (interaction entre sondes, dynamique des échanges thermiques avec le terrain)

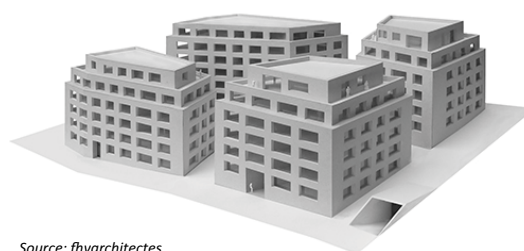




Introduction et contexte du projet

Données de départ et contraintes du projet Sirius:

- 4 nouveaux bâtiments **MINERGIE-ECO®** en milieu urbain à Lausanne, consommation totale de chaleur estimée à ~500 MWh/an (50% chauffage/50% ECS)
- 30% des besoins en ECS couverts par du solaire thermique selon LVLEne (2006)
- Une chaufferie au gaz ne permet pas d'atteindre le label **MINERGIE®**.



Source: fhvarchitectes



Swiss Geo Testing Sàrl
Géothermie et Géomécanique



Simulations

12 sondes géothermiques de 330 mètres



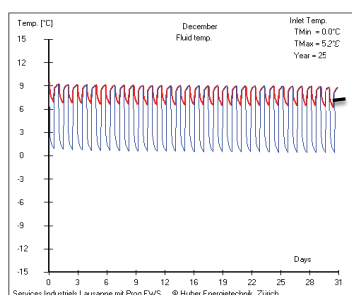
Ecartement 20-25 mètres

8 sondes géothermiques de 500 mètres

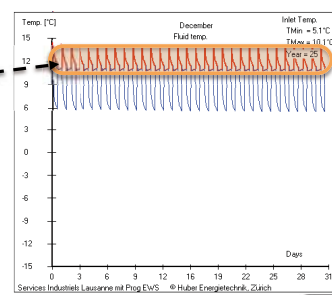


Ecartement 25-30 mètres

VS

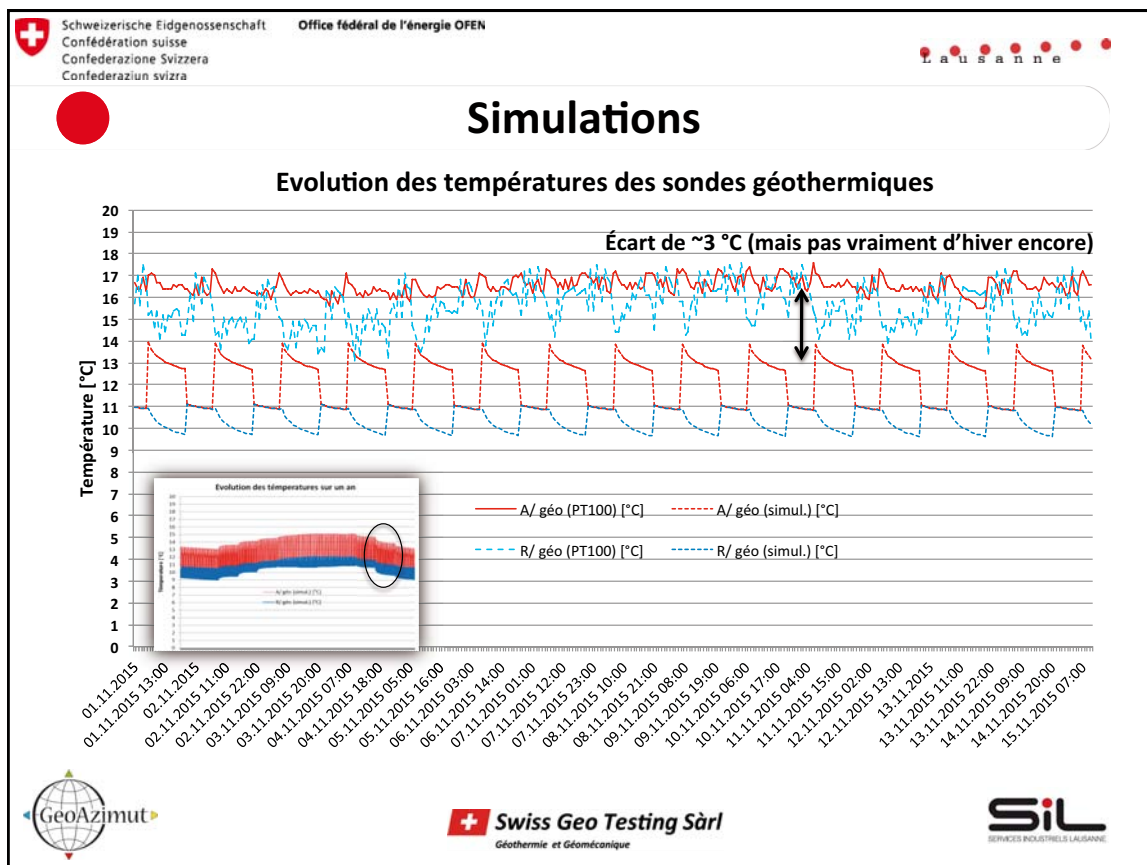
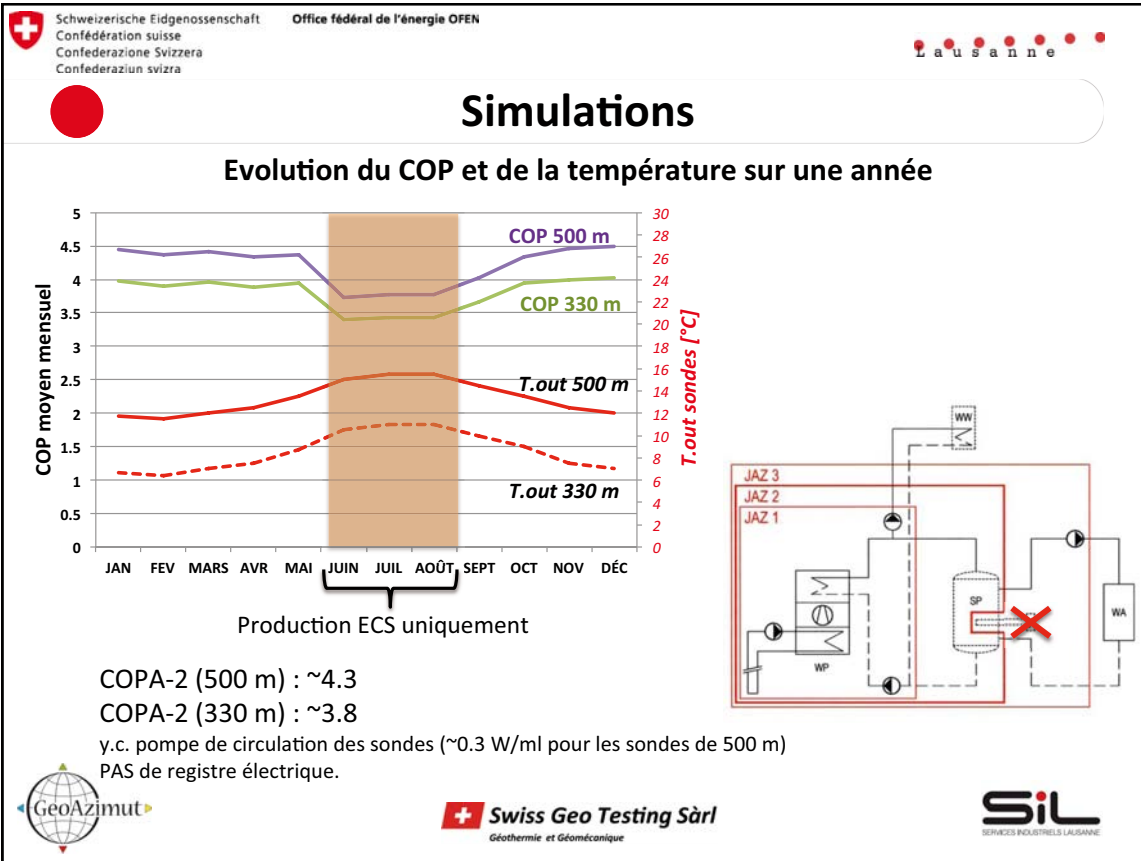


+5°C
(+10-15% sur COPA)



Swiss Geo Testing Sàrl
Géothermie et Géomécanique







Mesures projet KEPI (Plaines-du-Loup)

Longueur forage : 810 m

Longueur sonde géoth. : 750m

Longueur fibre optique : 720 m

1. Mesure de la température du terrain

- GTS - capteur arrêté à 345 m.
- DTS Fibre optique

2. Mesure température initiale : 2 jours

- Débit 36 l/min

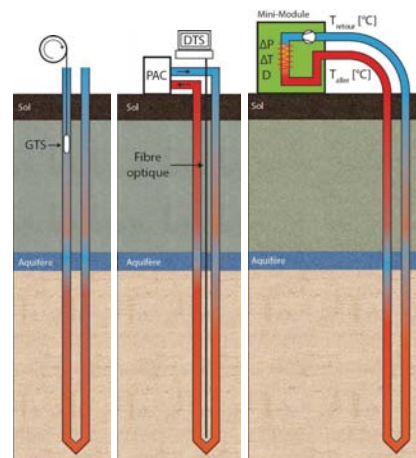
3. Test de réponse thermique froid : 14 jours

- Débit 36 l/min - Puissance_{th} 12 kW

4. Retour température initiale : 14 jours

5. Test de réponse thermique chaud : 13 jours

- Débit : 44 l/min - Puissance_{th} : 30 kW



Mesures GTS et DTS

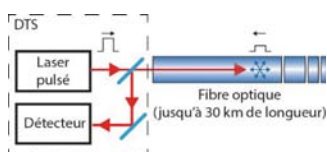


• GTS (Geothermal Tube Sensor)

capteur de température – pression descendu dans la sonde à l'aide d'un fil.

• DTS (Distributed Temperature Sensing)

Utilisation d'une fibre optique comme capteur de température. Cela permet la mesure simultanée et continue de la température le long de la fibre optique tous les 1-2 m sur des distances allant jusqu'à 30 km.





TRT froid et chaud

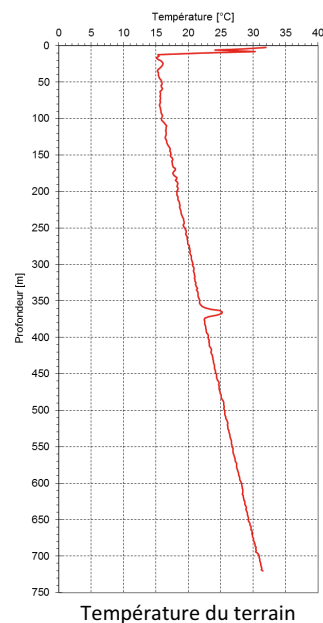


1 PAC Air-eau et 1 Mini-Module
pour TRT froid



2 Mini-Modules
pour TRT chaud

	TRT "à froid"	TRT "à chaud"
T_{initiale}	18.8 ± 0.2 [°C]	18.8 ± 0.2 [°C]
λ	2.42 ± 0.13 [W/(m·K)]	2.45 ± 0.12 [W/(m·K)]
R_b	0.26 ± 0.02 [K/(W/m)]	0.17 ± 0.02 [K/(W/m)]



TRT froid et chaud

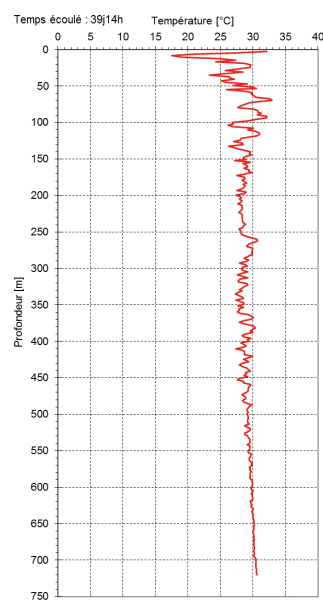


1 PAC Air-eau et 1 Mini-Module
pour TRT froid



2 Mini-Modules
pour TRT chaud

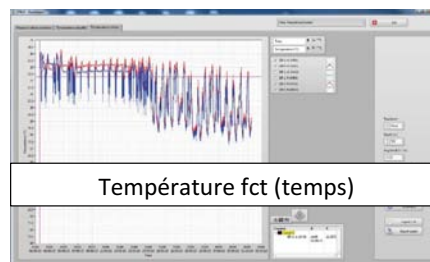
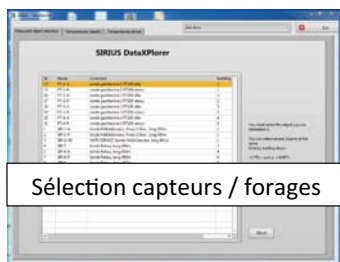
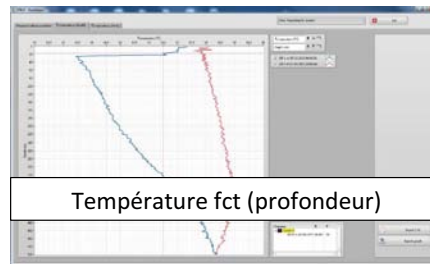
	TRT "à froid"	TRT "à chaud"
T_{initiale}	18.8 ± 0.2 [°C]	18.8 ± 0.2 [°C]
λ	2.42 ± 0.13 [W/(m·K)]	2.45 ± 0.12 [W/(m·K)]
R_b	0.26 ± 0.02 [K/(W/m)]	0.17 ± 0.02 [K/(W/m)]





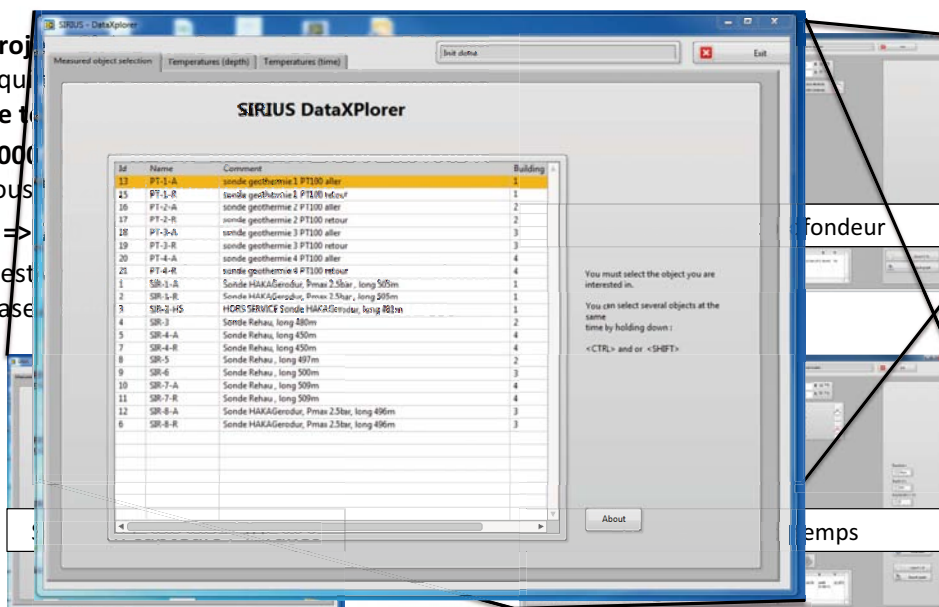
Mesures projet Sirius : SIRIUS DataXplorer

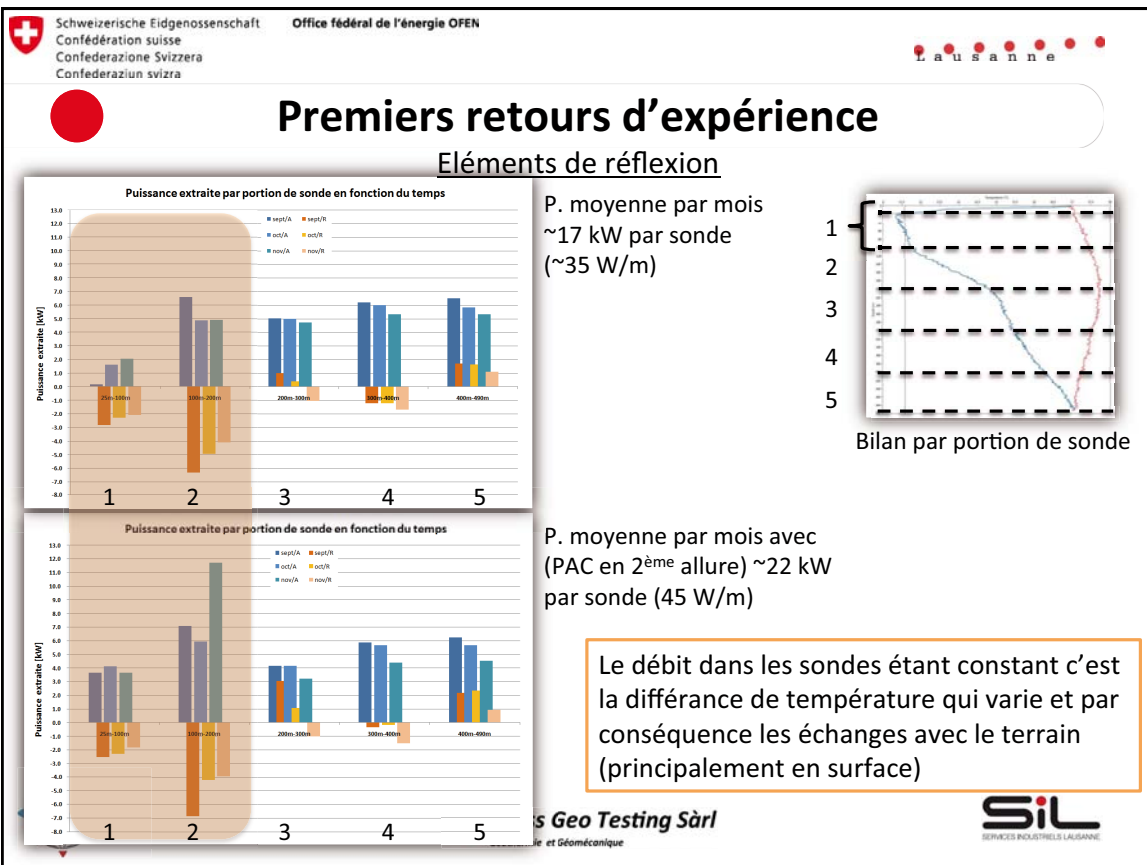
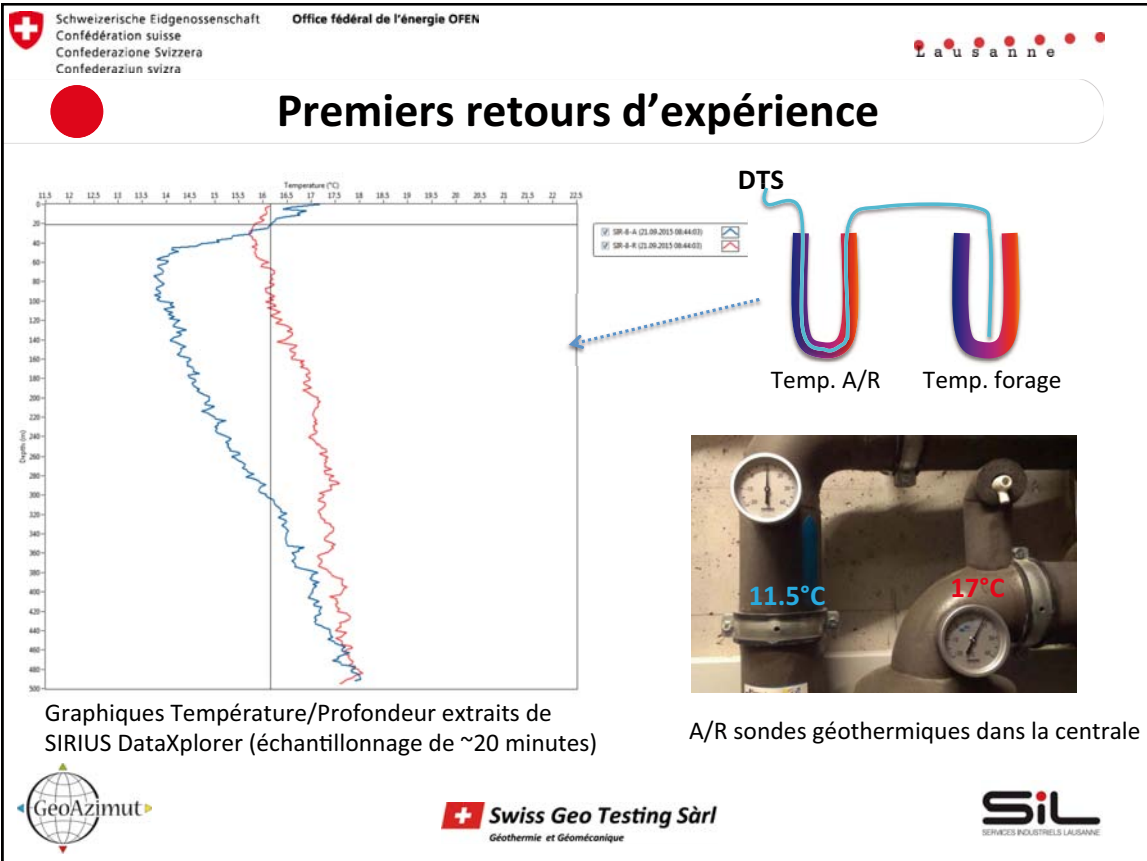
- **Projet Sirius** : 8 sondes de ~500 m équipées de **fibres optiques et de capteurs de température (PT100)**.
- **5000 m de fibres optiques** avec mesures tous les 2m, fréquence 20 min.
=> **7500 données/h.**
- Gestion et exploitation des données dans base de donnée **PostgreSQL et Labview**.

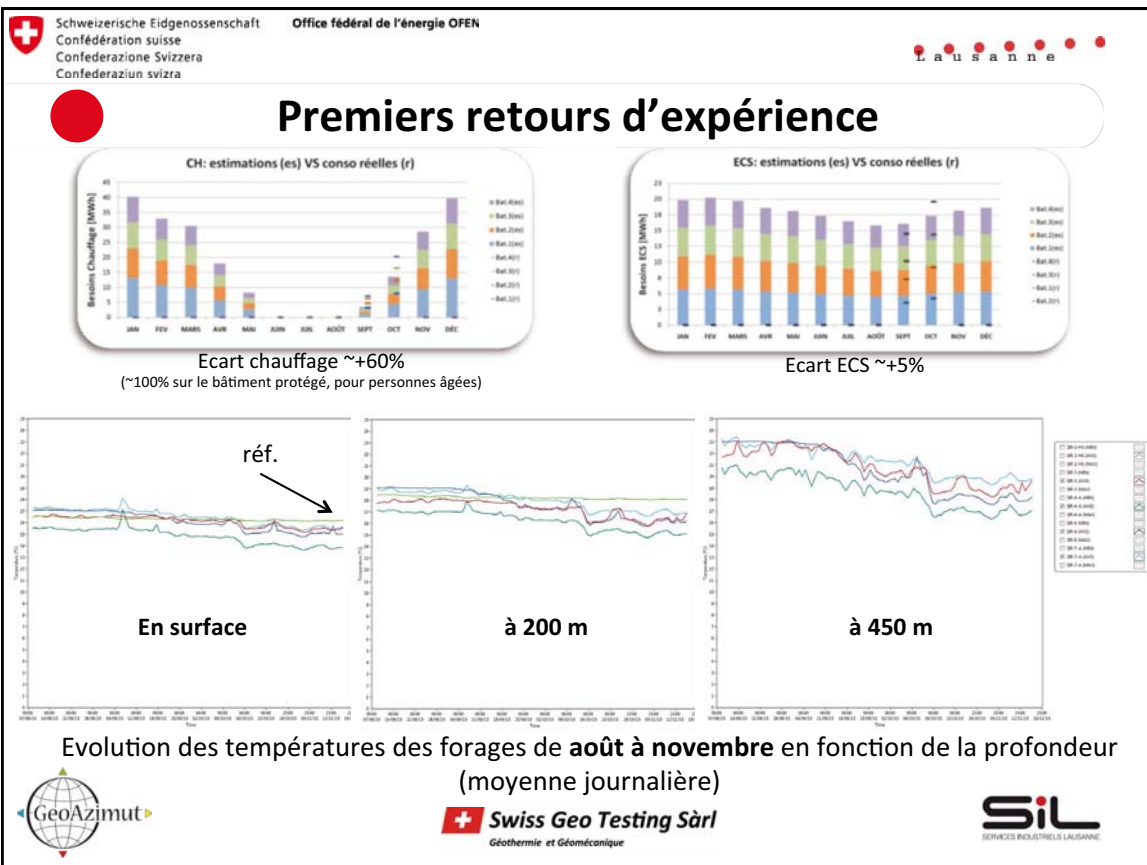
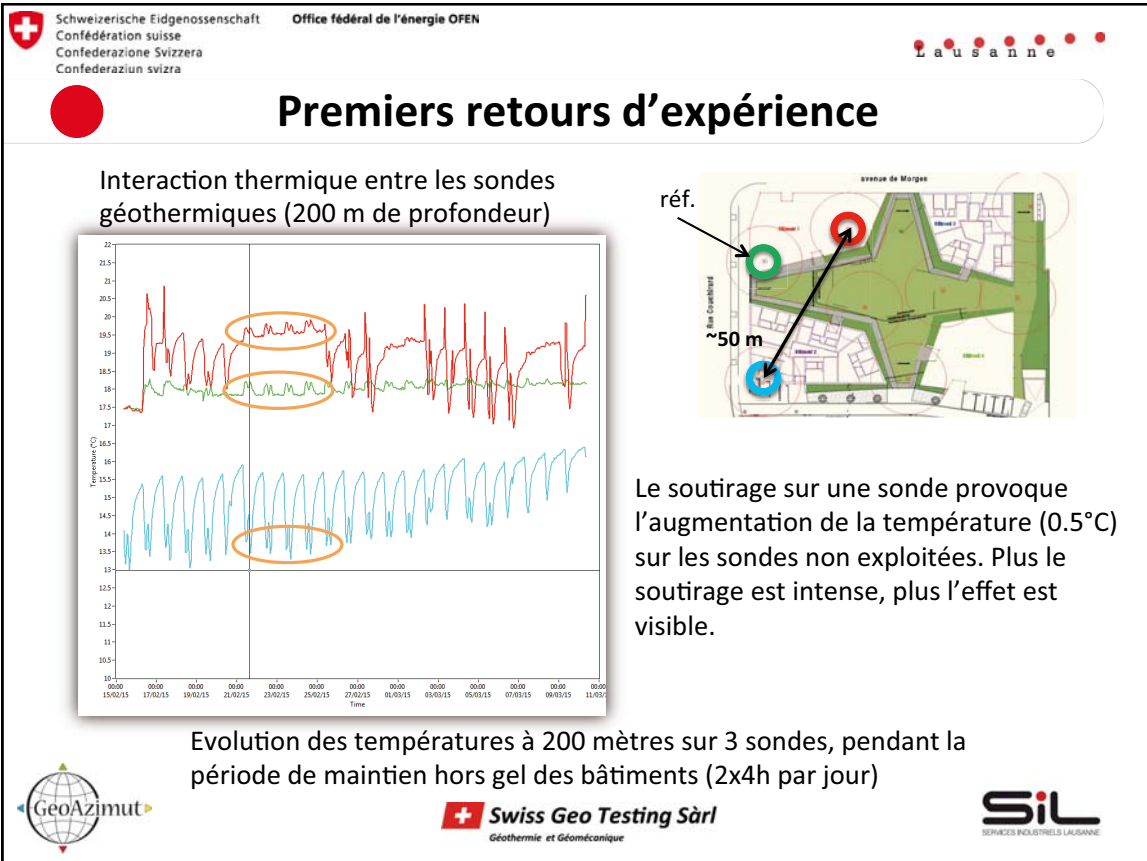


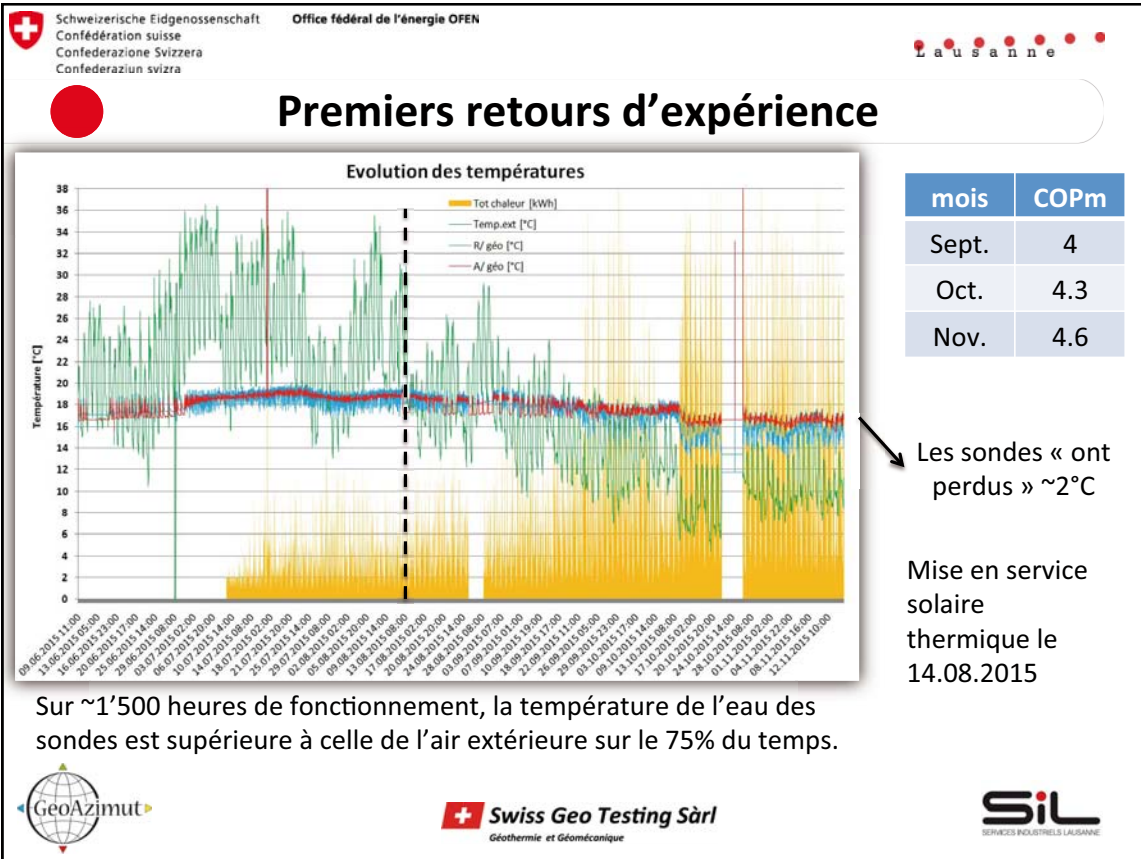
Mesures projet Sirius : SIRIUS DataXplorer

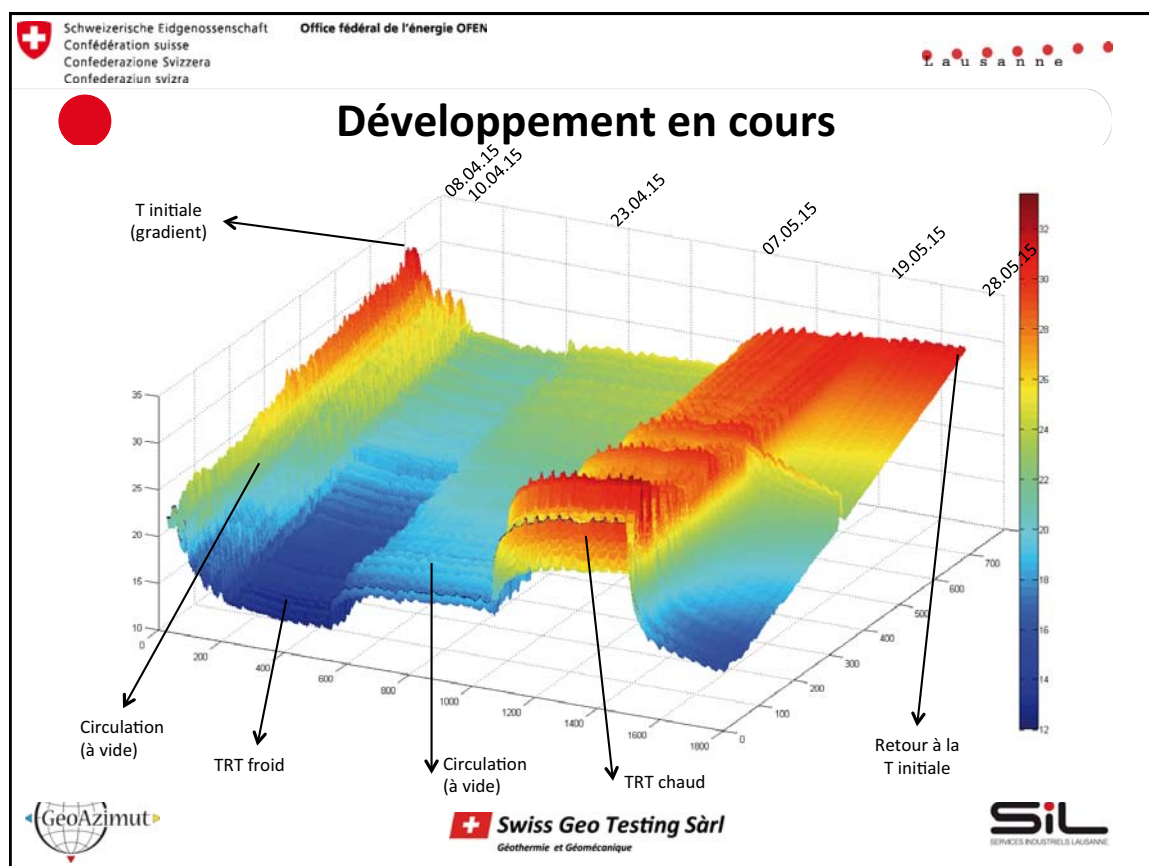
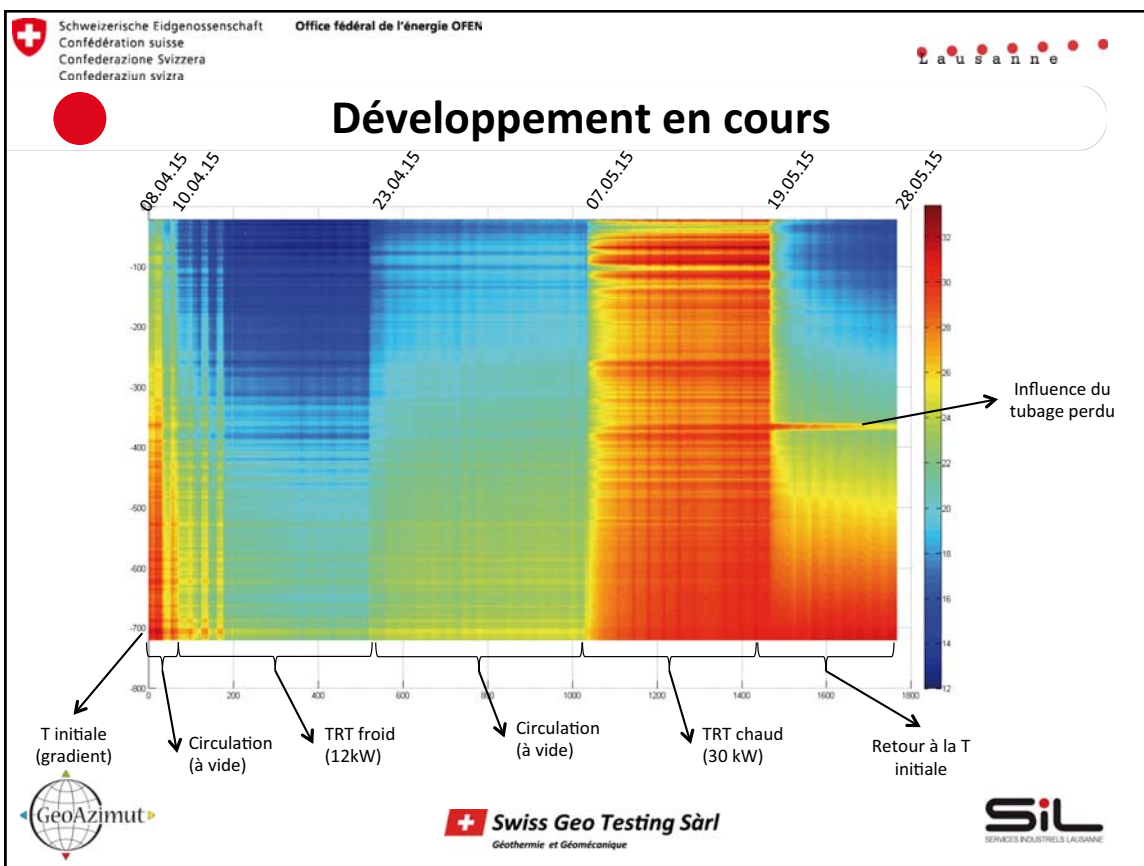
- **Projet Sirius** : 8 sondes de ~500 m équipées de **fibres optiques et de capteurs de température (PT100)**.
- **5000 m de fibres optiques** avec mesures tous les 2m, fréquence 20 min.
=> **7500 données/h.**
- Gestion et exploitation des données dans base de donnée **PostgreSQL et Labview**.





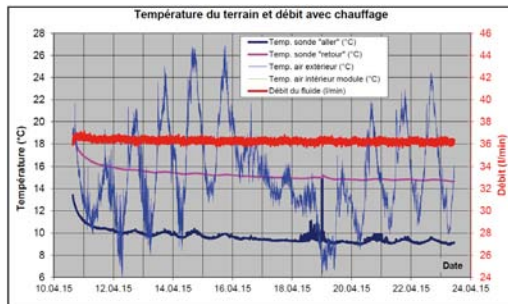








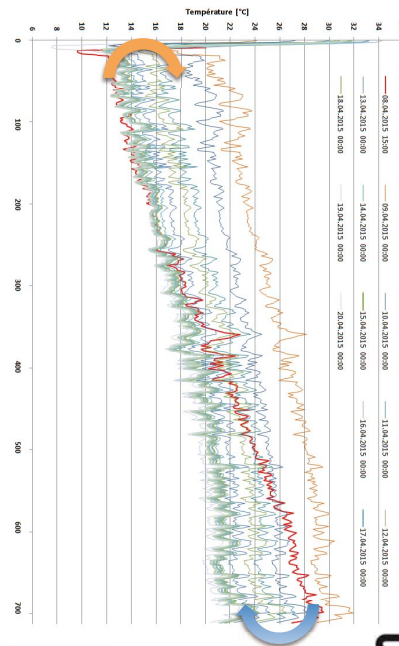
Développement en cours



Source: rapport GeoTesting Sàrl

La température à la sortie de la sonde n'est pas plus élevée que celle des sondes à 500 m (« que » 15°C à la sortie de la sonde en surface).

Au fond du forage la température passe de 30 à 22°C et en surface de 12 à 17°C pour redescendre en suite à ~13°C.



Conclusions

Sirius: PAC 500m

- Sur les premiers mois d'exploitation les sondes présentent une **légère baisse de température** qui est quand **moins significative** que les **simulations** réalisées à l'avant-projet (malgré la surconsommation)
- Il reste encore quelque **incertitude** concernant la **dynamique des échanges de chaleur** à l'intérieur de la sonde et entre la sonde et le terrain
- C'est **encore tôt pour tirer des conclusions** en terme de performances des sondes, de COP annuel, mais **les appareils de mesure** à disposition et **les outils** pour le traitement des données ont fait leurs prévisions et **seront adaptés** à ces analyses.





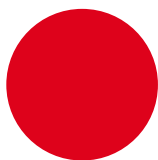
Conclusions

Projet Képi- sonde 800 mètres

- **Un défi et une réussite:** il s'agit de la première sonde géothermique à 800 mètres à être installée dans un forage réalisé avec une foreuse pour sondes géothermiques.
- **La température** en profondeur proche des prévisions (**~30°C**)
- **La sonde double-U : pas adaptée** à ces profondeurs, elle ne permet pas d'extraire la **quantité d'énergie** qui est présente, à des températures plus élevée que des sondes à 500 m (~17-18°C).

En d'autre terme, c'est **OK pour la quantité de chaleur** mais pas pour la **qualité de la chaleur** (le COP de la pompe à chaleur est directement proportionnel à la température de la source).

- **Tests et simulations** : en cours de réalisation sur une sonde coaxiale de 800 m qui permettrait d'extraire la chaleur à des niveaux de température plus élevés.



Merci de votre attention

Remerciements:

- Augsburg forages SA
- Rehau
- Swissgeotesting Sàrl
- GeoAzimut Sàrl
- Bureau Ing. CVS Zahn
- OFEN



BS2 Sonde géothermique à membrane

Stockage saisonnier de la chaleur

Georg Putzi

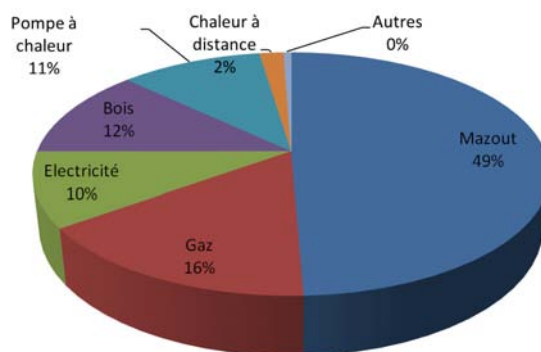
Responsable du secteur Géothermie, BS2 AG

Journée Romande de le Géothermie, Yverdon-les-Bains, 24.11.2015

Pourquoi chauffer avec une pompe à chaleur?

1 tonne CO₂ / P × a : mazout/gaz/charbon: 300 – 350 kg

- 20'000 km en avion
- 10'000 km en voiture
- 1'000 kWh d'électricité de lignite
- Chauffage d'un appartement Minergie d'une superficie de 80 m²



Pourquoi utiliser une sonde géothermique?

	2014	2050
Énergie thermique	80 TWh/a → économies d'énergie	40 - 50 TWh/a
Puissance thermique	40 GW	22.5 GW
Puissance électrique COP = 7	1.4 GW	3.2 GW
Puissance électrique COP = 3	1.4 GW	7.5 GW

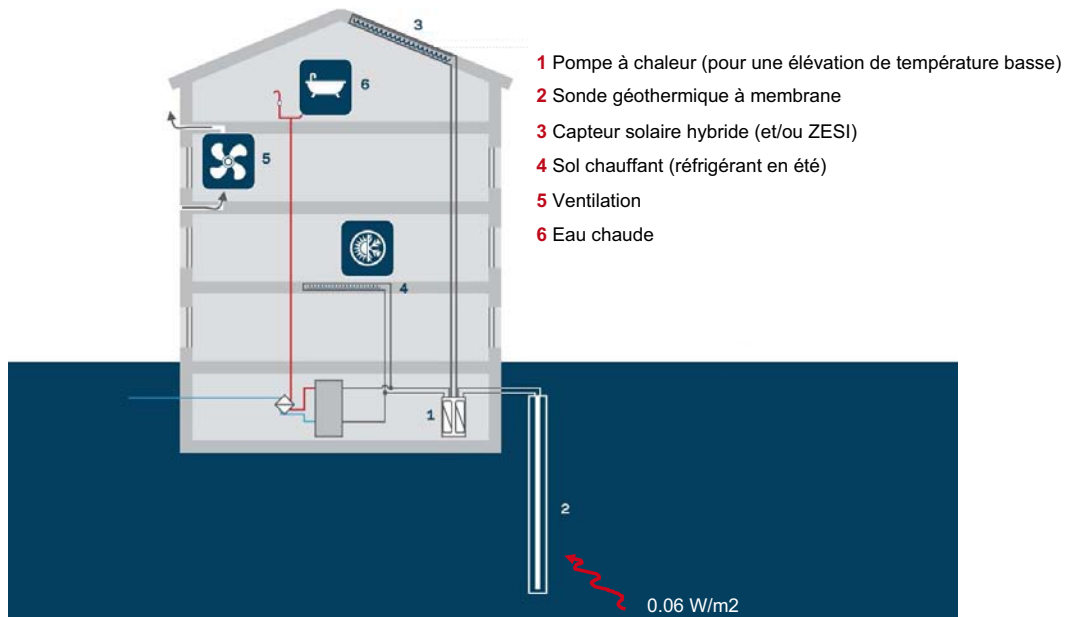
$$\text{COP} = P_{\text{thermique}} / P_{\text{électrique}} = T_{\text{chauffage}} / (T_{\text{chauffage}} - T_{\text{source}})$$

BS2 Zeleganz

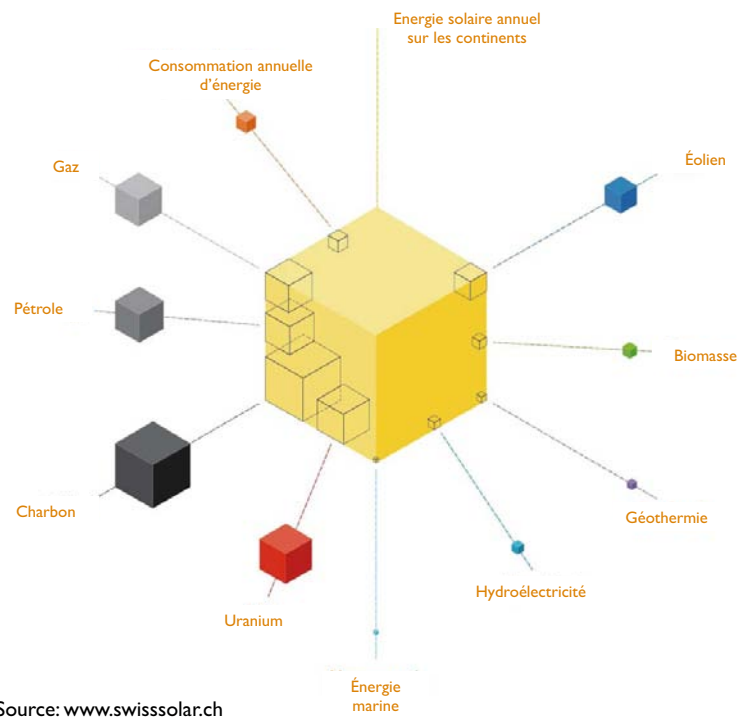
60 W/m² constant

20W/m² électricité

40 W/m² chaleur



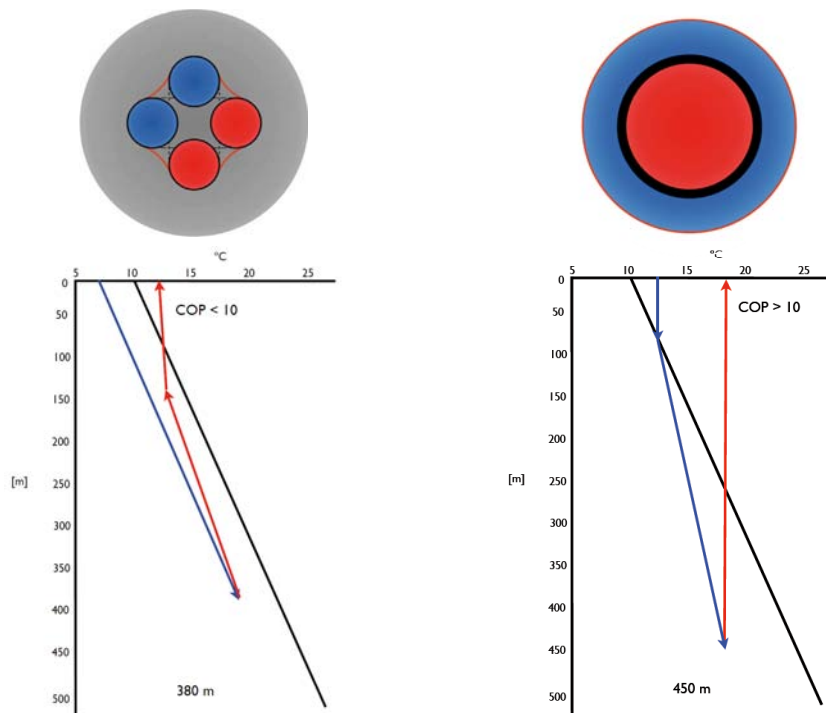
Utilisation de l'énergie solaire



Sondes géothermiques verticales



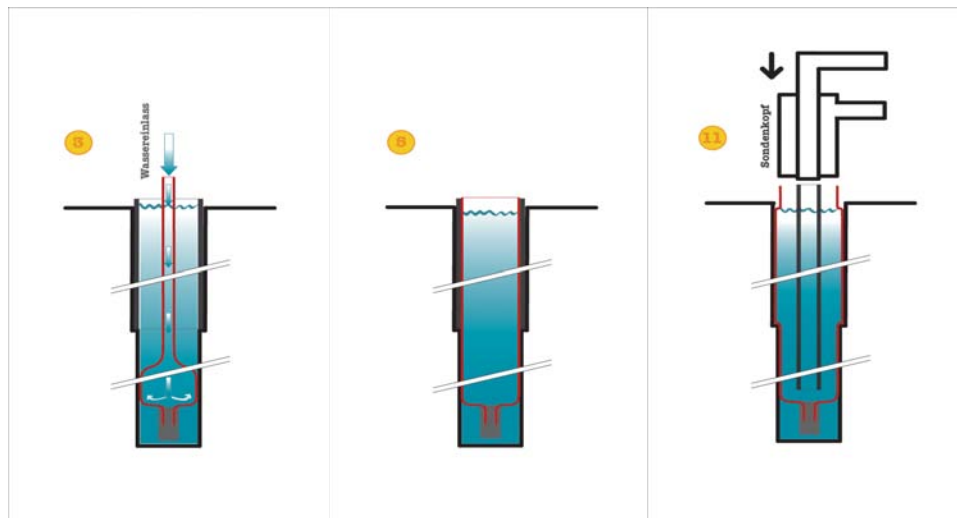
Sonde géothermique classique et coaxiale



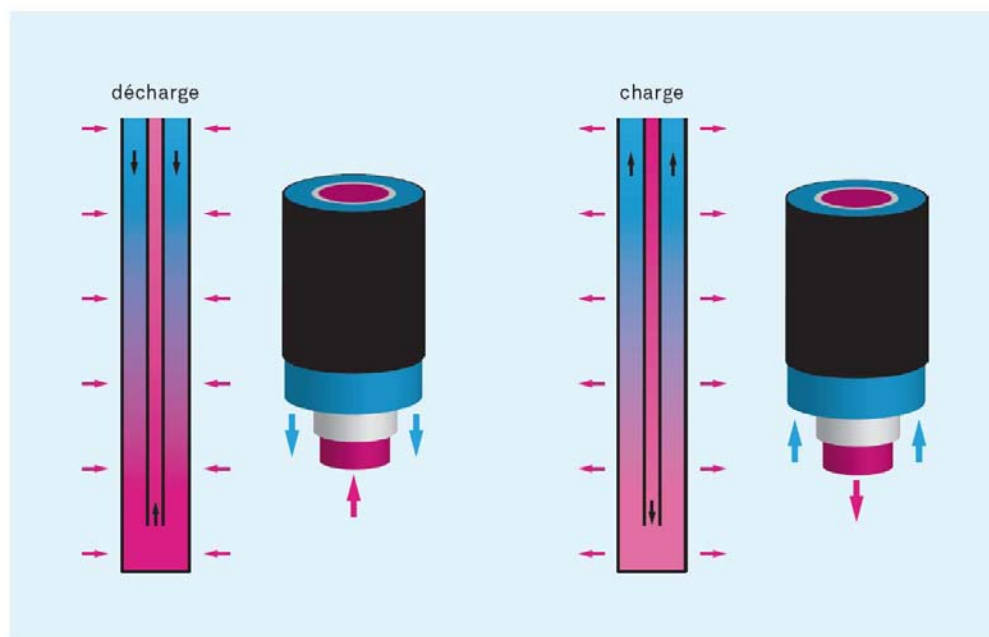
La sonde géothermique à membrane SGV-M



Installation de la SGV-M

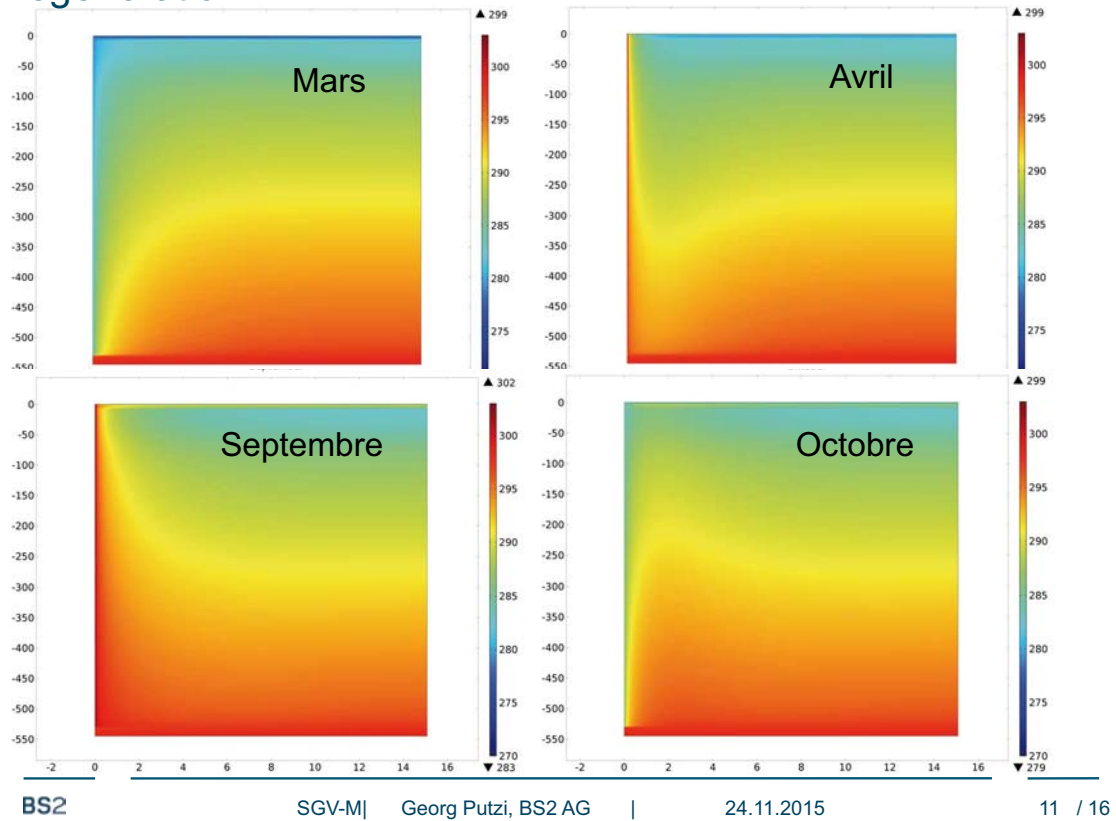


Fonctionnement de la SGV-M

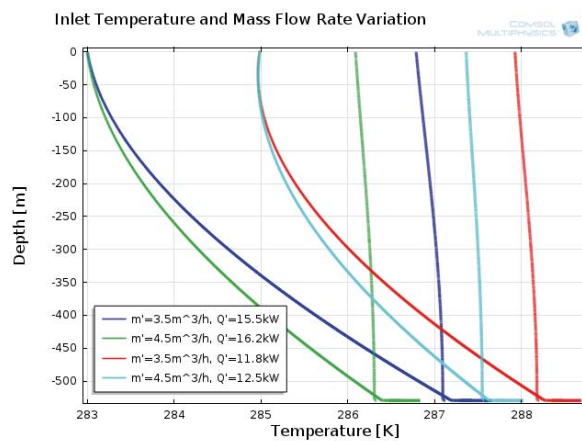


Sonde géothermique coaxiale en fonctionnement hiver et été

Régénération



Performance thermique



Régénération 1:1
-> Température du sol constante

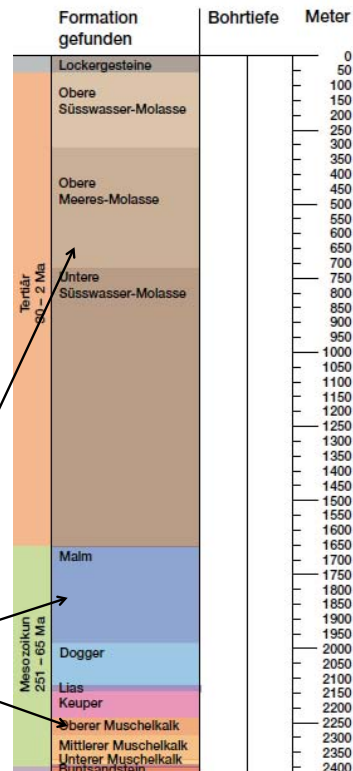
Sans antigel (glycol)!

Tube central isolé
-> Extraction de la chaleur sans pertes

Protection de la nappe phréatique

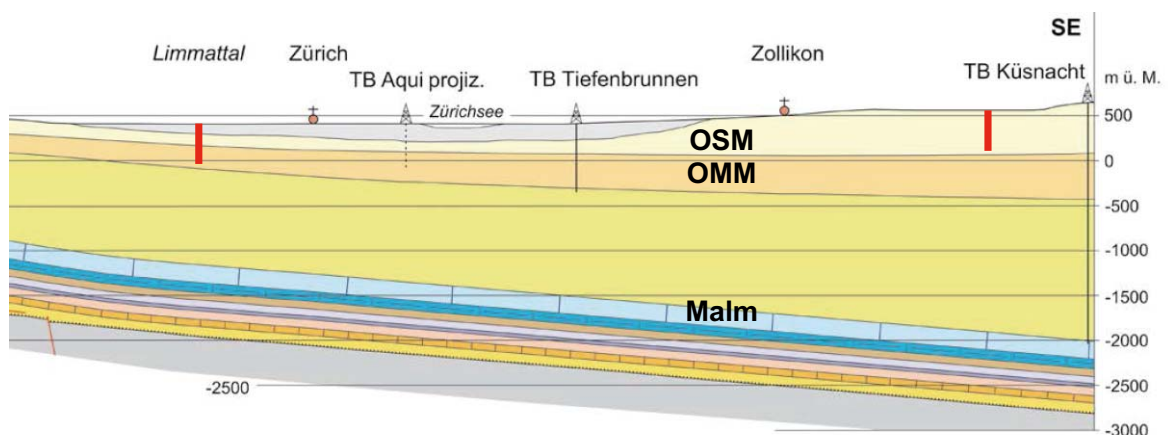
Gebiet gemäss Grundwasserkarte	Gewässer-schutzbereich, Grundwasser-schutzzone	Zone	Erdwärme-sonden
Schotter-Grundwasser-vorkommen, geeignet für Trinkwasser-gewinnung	S	A	-
Schotter-Grundwasser-vorkommen, ungeeignet für Trinkwasser-gewinnung	Au	B	-
Quellwassergebiete geeignet für Trinkwasser-gewinnung	Au	C	+(c)
Ausserhalb nutzbarer Grundwasservorkommen	i.d.R. Au	D	+
	Au	E	+(c)
	i.d.R. üB	F	+

Forage Triemli (Ville de Zurich)
Possibles aquifères



Géologie de l'Espace Mittelland

SGV (450 m)



Source: EWS, Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier Zürich, Schlussbericht.

Aperçu SGV-M

Régénération 1:1

→ pour une géothermie durable

Fonctionnement des bâtiments sans émissions

→ 1-tonne-CO2/habitant

Peu d'électricité additionnelle nécessaire

→ dénucléarisation du réseau électrique Suisse

Technologie suisse, indépendantes d'importation de pétrole

→ plus-value majeure pour l'économie nationale

Protection de la qualité de l'eau souterraine

Merci beaucoup pour votre attention!

Introduction de la SGV-M sur le marché:
Janvier 2016

Contacts:

Technologie & Projets: Georg Putzi, putzi@bs2.ch

Projets dès Mars 2016: Philippe Goffin, goffin@bs2.ch

Check-list



**Comment procéder lorsqu'il s'agit de renouveler
une PAC avec sonde(s) géothermique(s)?!...**

...pour que les propriétaires
gardent toujours le sourire

Une société



PAC'info Sàrl

Rue du Four 11
1400 Yverdon-les-Bains

☎ 024 426 02 10

📠 024 426 02 12

📞 079 669 75 16

💻 www.pacinfo.ch

✉ info@pacinfo.ch

✉ andre.freymond@pacinfo.ch

Deux associations



GSP

Rue du Four 11
1400 Yverdon-les-Bains

 024 426 02 11
 024 426 02 12
 079 669 75 16
 www.pac.ch
 andre@pac.ch

SSG

Rue du Four 11
1400 Yverdon-les-Bains

 024 425 22 83
 024 426 02 12
 079 669 75 16
 www.geothermie.ch
 andre.freymond@geothermie.ch

Renouvellement d'une PAC

Ancienne PAC

$P_{th.}$ 15 kW

$P_{fr.}$ 10 kW

$P_{él.}$ 5 kW

COP 3

70 W/m_{SGV}

L. sonde 143 m

Nouvelle PAC

$P_{th.}$ 15 kW

$P_{fr.}$ 12 kW

$P_{él.}$ 3 kW

COP 5

≈ 40 W/m_{SGV}

L. sonde 300 m

Rappel :

La durée d'exploitation de la ou des sondes géothermiques doit être garantie pour 50 ans d'exploitation au minimum.

Température à l'entrée de la PAC 0 °C, à la sortie -3 °C

Prise de notes

Relever un maximum d'information sur :

La pompe à chaleur installée ?

Pompe à chaleur		
1	Quelle est la puissance thermique de la PAC existante ?	kW
2	Quel est le COP de la PAC existante ?	
3	En quelle année l'installation existante a été mise en service ?	
4	Combien d'heures a-t-elle fonctionné ? (attention compteur parfois limité à 9'999 h, contrôler la plausibilité)	h
5	Type de compresseur ? (puissance électrique)	kW
6	Quelle est la consommation électrique de la PAC, si pas connu, du bâtiment ?	kWh/an
7	Y a-t-il un corps de chauffe électrique d'appoint, si oui de quelle puissance ?	kW
8	Quel est le point de bivalence du corps de chauffe électrique ?	
9	Quel est le nb. d'heures annuelles de fonctionnement du corps de chauffe électrique ?	h
10	Quelle est la température de distribution à la température extérieure selon le cahier technique SIA 2028	°C

Prise de notes

Relever un maximum d'information sur :

La (les) sonde(s) géothermique(s) en place ?

Sondes géothermiques		
11	Quelles sont les caractéristiques des sondes existantes : le nombre, la longueur, l'espace entre elles, l'emplacement de la ou des sondes, le diamètre des tubes, le type de caloporteur ? (Le foreur ou le service de l'environnement du canton est souvent en mesure de transmettre un certain nombre d'informations manquantes)	Nb.....mmmm
12	Quelle est la température min. du caloporteur qui entre dans la PAC en plein hiver ?	°C
13	Le client a-t-il constaté du gel sur les tuyaux de captage ou les collecteurs ?	Oui – Non
14	Le client a-t-il constaté des déformations du sol ou un affaissement du terrain ?	Oui – Non
15	Si vous disposez de suffisamment de temps, poser un enregistreur de données (data logger) pour enregistrer les températures de la ou des sondes ainsi que celles du départ et retour de chauffage les mois les plus froids. Dans la mesure du possible, mesurer également la consommation d'électricité.	

Prise de notes

Relever un maximum d'information sur :

Le bâtiment ?

Bâtiment		
16	Y a-t-il eu des modifications de la maison ? (Agrandissement, remplacement de fenêtres, isolation du toit, des façades, des plafonds de cave ou encore un agrandissement ultérieur du circuit de chauffage dans certains locaux)	Si oui, prendre note sur une feuille séparée
17	Est-il prévu des modifications de la maison ? (Mêmes énumération que 15)	Si oui, prendre note sur une feuille séparée
18	Est-il prévu des augmentations de consommation liées à d'autres points que ceux du point 16 ?	Si oui, prendre note sur une feuille séparée

Calcul de la puissance thermique

Selon le MoPEC, la nouvelle PAC doit assurer :

- La production de l'ECS.
- Le chauffage jusqu'à la température de calcul SIA sans appoint électrique. Ce dernier ne peut s'enclencher qu'en mode secours.
- Le chauffage en mode bivalent mais avec du solaire, du bois, du gaz ou du mazout, pas à l'électricité.

Méthodes de calcul de la puissance thermique selon :

- La consommation.
- La puissance spécifique de chauffage par m² de SRE.
- Une calorimétrie selon SIA 384/201.

Attention à prendre en compte d'éventuels futurs besoins supplémentaires.

Astuces pour limiter le rajout de sonde(s) ou même l'éviter !

1. Pour une villa, produire l'ECS avec un chauffe-eau PAC ou un kit solaire.
2. Installer des panneaux solaires thermiques.
3. Réinjecter à basse température (max 30°C) la chaleur solaire dans les sondes via un échangeur intermédiaire.
4. Rafrâchir en été (free cooling).
5. Installer un aéro-chauffeur pour recharger les sondes durant l'entre-saison et en été.
6. Combiner tout ou partie des points 2 à 5.
7. Installer en complément une PAC air-eau en mode bivalent alternatif ou bivalent parallèle ou encore bivalent parallèle-alternatif.
8. En dernier ressort, installer une PAC air-eau en remplacement de la PAC géothermique. Dans ce cas, se conformer aux directives de l'Office fédéral de l'environnement pour mettre hors service la ou les sondes existantes.

Procédure

Si l'ancienne PAC fonctionnait avec la production d'ECS sans que les sondes gèlent...

...si la puissance frigorifique de la nouvelle PAC est identique à l'ancienne...

...alors il n'y a pas besoin de prendre de quelconques mesures supplémentaires.

Ancienne PAC surdimensionnée

$P_{th.}$ 15 kW
 $P_{fr.}$ 10 kW
 $P_{él.}$ 5 kW
COP 3
Durée fonct. 1200 h/a * 70 W/m_{SGV}
= 84 kWh/m_{SGV} a

Nouvelle PAC correctement dim.

$P_{th.}$ 12.5 kW
 $P_{fr.}$ 10.0 kW
 $P_{él.}$ 2.5 kW
COP 5
Durée fonct. 1200 h/a * 70 W/m_{SGV}
= 84 kWh/m_{SGV} a

Procédure

Si l'ancienne PAC fonctionnait sans la production d'ECS et sans que les sondes gèlent...

...alors il faudra que la puissance frigorifique de la nouvelle PAC soit inférieure à l'ancienne.

Il ne faut pas que l'énergie annuelle soutirée au terrain par mètre de sonde soit plus élevée qu'avec l'ancienne PAC.

Valeurs invariables :

Energie soutirée 84 kWh/m_{SGV} a

Longueur sonde 143 m

Nouvelle variable :

La durée fonctionnement qui passe de 1200 h/a à 1500 h/a

Procédure

Comment calculer la puissance de la nouvelle PAC ?

Energie soutirée 84 kWh/m_{SGV} a / durée fonctionnement 1500 h/a =
une puissance de 56 W/m de SGV

Longueur sonde 143 m * 56 W/m = **8 kW de puissance frigorifique**

Nouvelle PAC correcte avec ECS

P_{th.} 10.0 kW

P_{fr.} 8.0 kW

P_{él.} 2.0 kW

COP 5

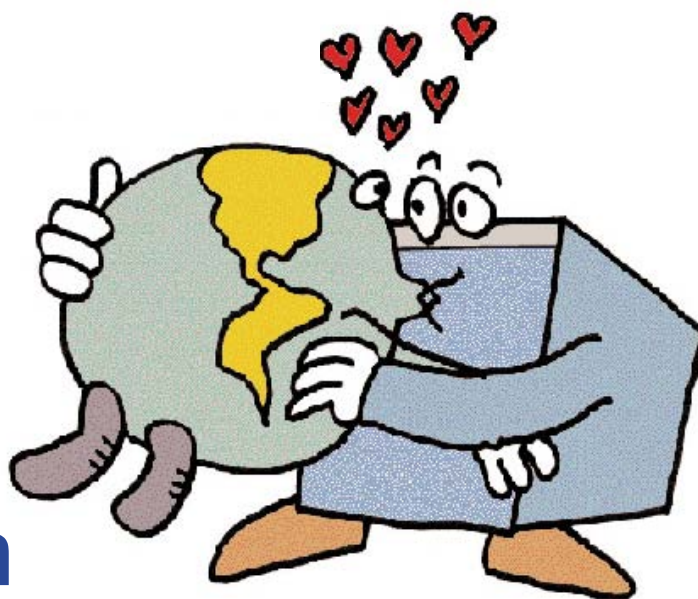
Durée fonct. 1500 h/a * 56 W/m_{SGV}
= 84 kWh/m_{SGV} a

Conclusion

- Il est important de bien appréhender l'installation existante.
- Il faut s'assurer des éventuelles modifications intervenues sur le bâtiment.
- Prendre en considération les paramètres qui pourraient modifier la puissance de la nouvelle installation.
- Proposer des variantes aux clients.
- Ne pas improviser mais faire appel à un professionnel compétent.
- Une check-list est en préparation pour rendre attentif les propriétaires de cette problématique.
- Une méthode d'approche et de calcul est en préparation dans le cadre du projet « Pompes à chaleur système-module »
- www.pac-systememodule.ch

PACSYSTÈMEMODULE
POMPES À CHALEUR EFFICIENTES AVEC SYSTÈME

**Merci de
votre
attention**



www.geothermie.ch ou 024 425 22 83

Sondes géothermiques groupées

-
Comment éviter un refroidissement excessif
du sous-sol?

Florian Ruesch

SPF Institut für Solartechnik; HSR Hochschule Rapperswil



HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL
FHO Fachhochschule Ostschweiz



INSTITUT FÜR
SOLARTECHNIK

Bases

**ZÜRICH
STIMMT
AB
30.11.2008**



1 Ergänzung Gemeindeordnung, Nachhaltigkeit und
2000-Watt-Gesellschaft | Seiten 2-5

$\frac{3}{4}$ pour la société à 2000W



HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL
FHO Fachhochschule Ostschweiz

2

07.05.2015



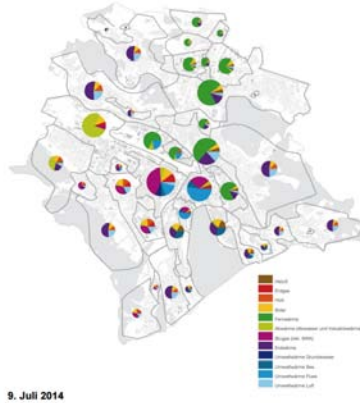
INSTITUT FÜR
SOLARTECHNIK

Bases

Stadt Zürich
Energiebeauftragter

Kurzbericht Konzept Energieversorgung 2050

Szenarien für eine 2000-Watt-kompatible Wärmeversorgung für die Stadt Zürich



9. Juli 2014

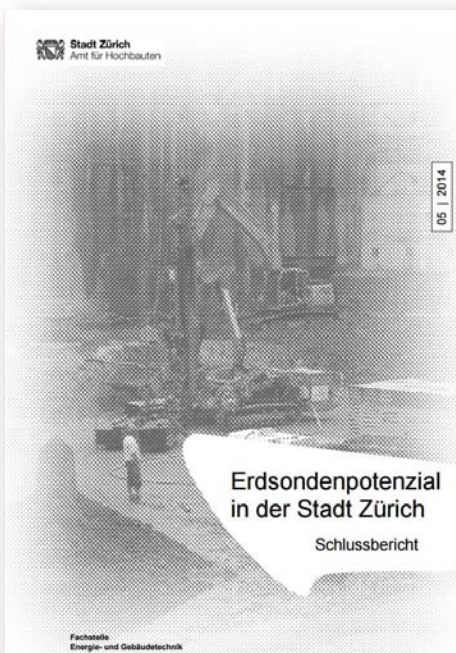
■ 1/6 des pompes à chaleur disposent de sondes géothermiques

■ 20-110 kWh/m²/an

www.stadt-zuerich.ch

Bases

Stadt Zürich
Amt für Hochbauten



Estimation:

seulement 3 kWh/m²/an d'origine renouvelable

(EK 2050: 20-110 kWh/m²/an)

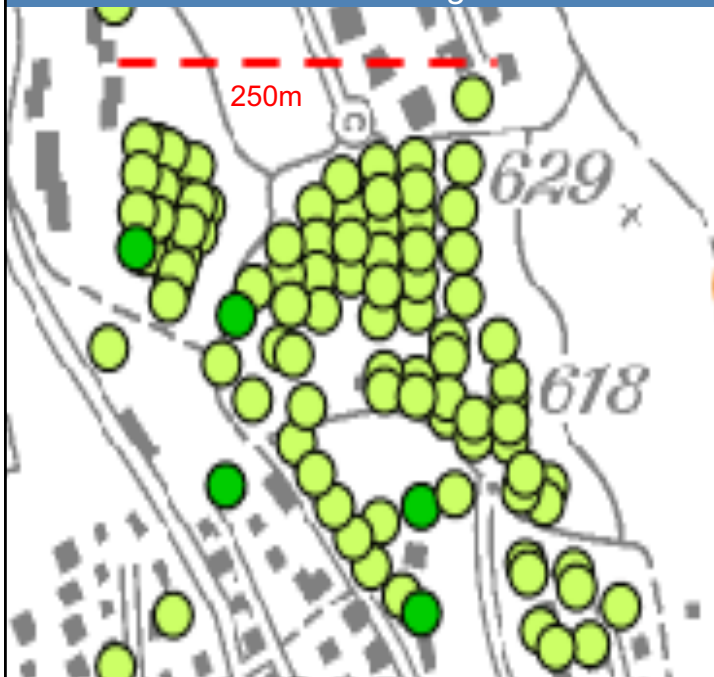
www.stadt-zuerich.ch

Etude RegenOpt – Options pour éviter l'influence négative des sondes géothermiques voisines

Comparaison des méthodes de régénération

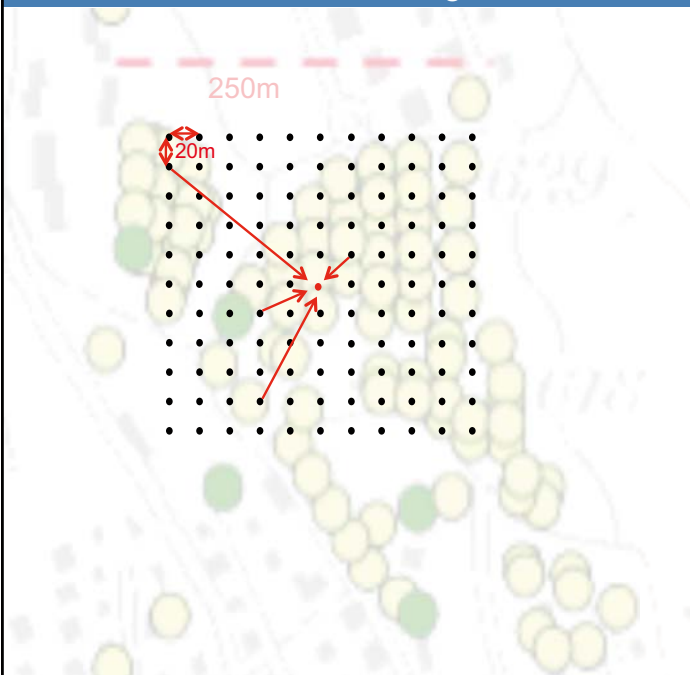
- technique
- économique

Refroidissement à long terme



Extrait du cadastre
géothermique du canton de
Zürich.

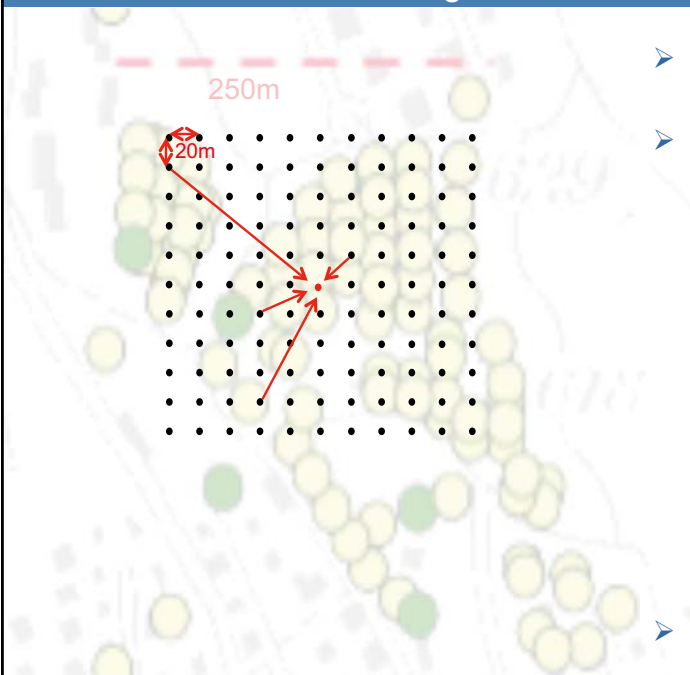
Refroidissement à long terme



Simplification

- 20 m: pas entre deux sondes
- profondeur 200 m
- Propriétés typiques du sous-sol
- 35 kWh/m²/an
- EK 2050 20-110 kWh/m²/an

Refroidissement à long terme



- Refroidissement additionnel:
7 K après 50 ans
- Possibilité de dommages causés
par le gel dès **2 K**



- Régénération nécessaire

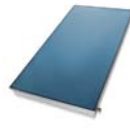
Comparaison de différentes technologies de régénération

Régénération faible



Geocooling

Régénération complète



Capteur vitré

Capteur non-vitré à revêtement sélectif

Le refroidissement du sous-sol facilite la régénération



Echangeur à air



Capteur non-vitré non-sélectif

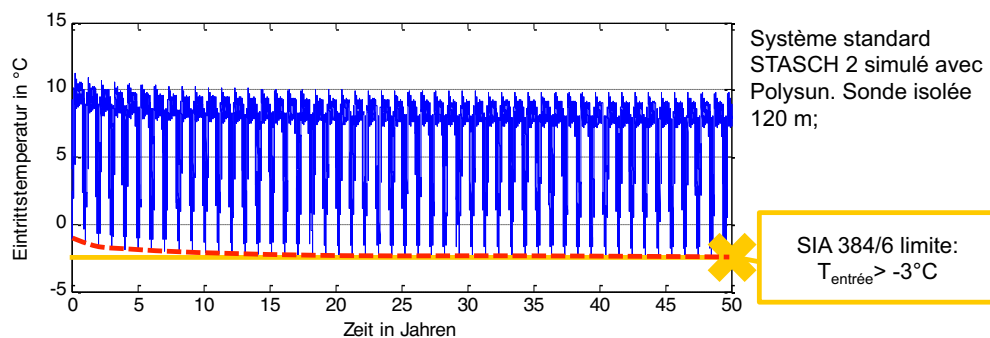


Capteur PV/T

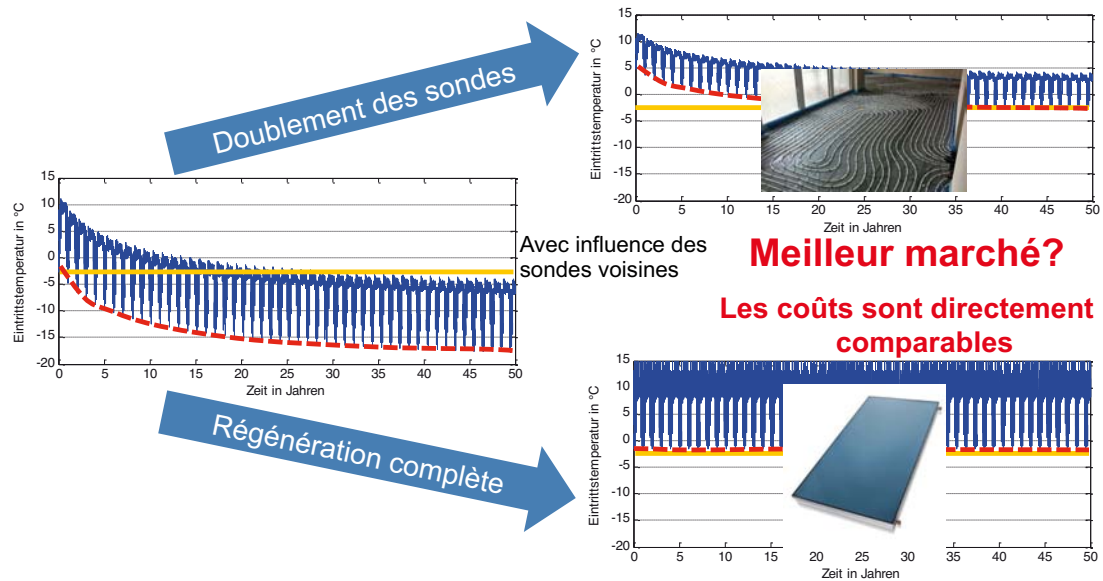
Comparaison équitable?

- Champs régulier de 20 m distance entre les sondes (35 kWh/m²).
- Les sondes voisines sont également régénérées
- Dimensionnement d'après SIA 384/6 $T_{\text{Sole}} > -1.5\text{ °C}$ après 50 ans ($T_{\text{entrée}} > -3\text{ °C}$)

Dimensionnement (sonde isolée)



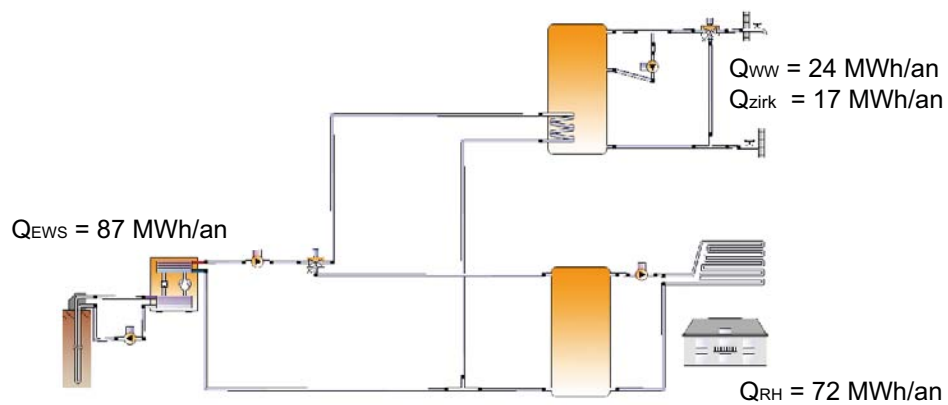
Dimensionnement (sonde isolée)



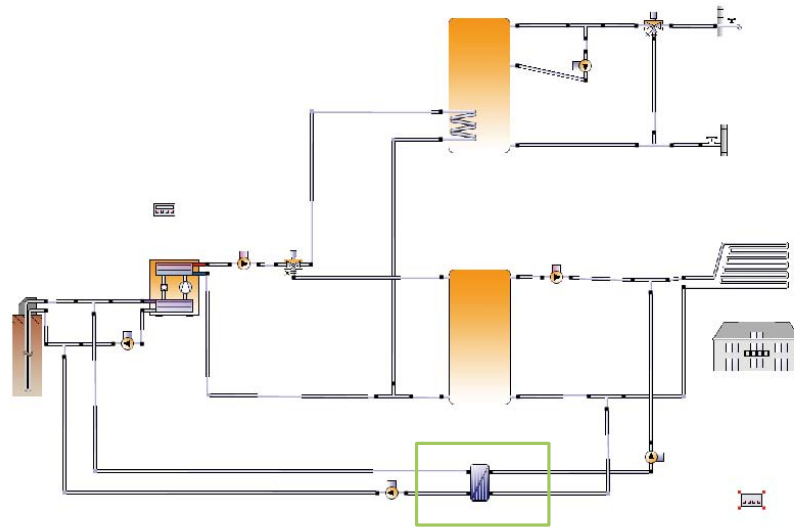
Simulation avec Polysun

Immeuble avec 12 appartements

- Base pour toutes les variantes de régénération

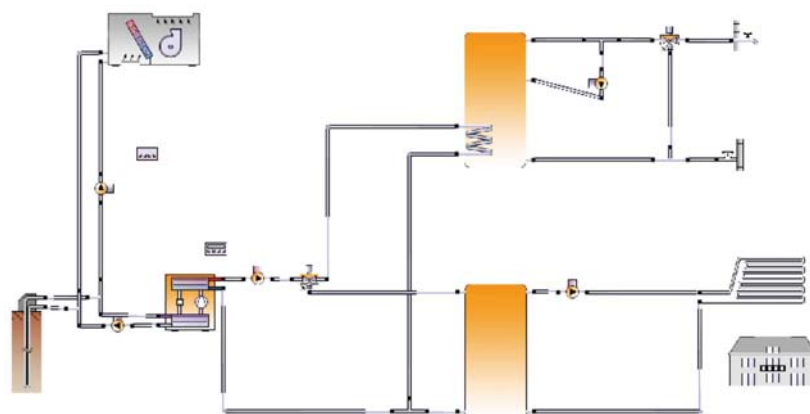


Simulation avec Polysun – Geocooling



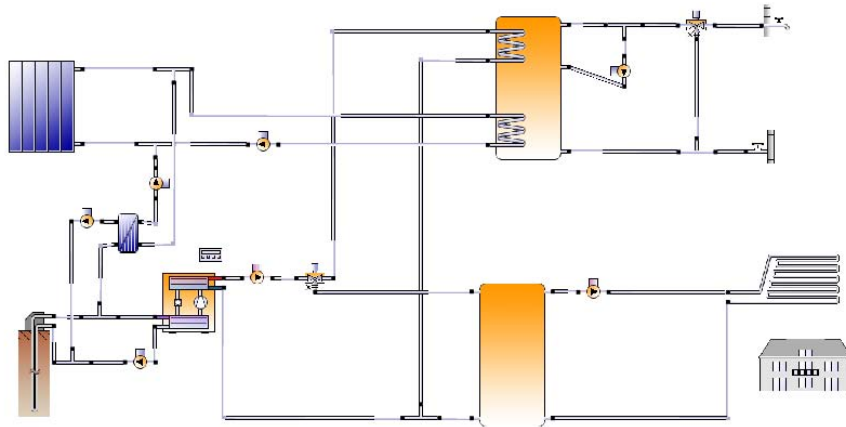
Simulation avec Polysun – échangeur a air

Puissance nominale: 60 kW



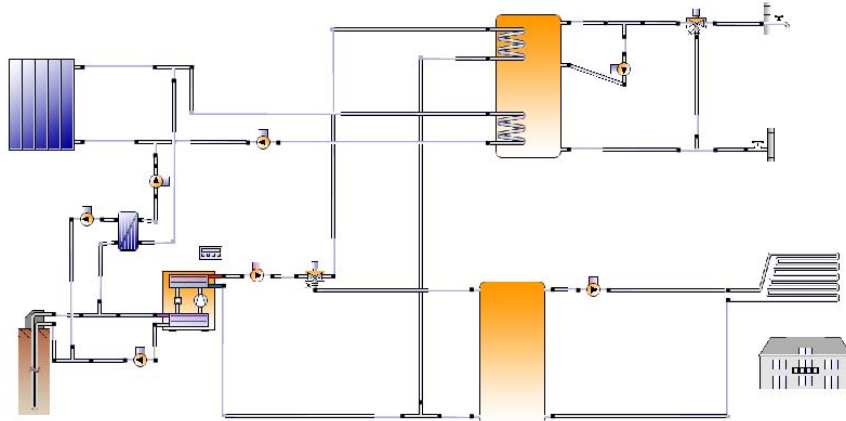
Simulation avec Polysun – Régénération solaire

Surface: 60 m²

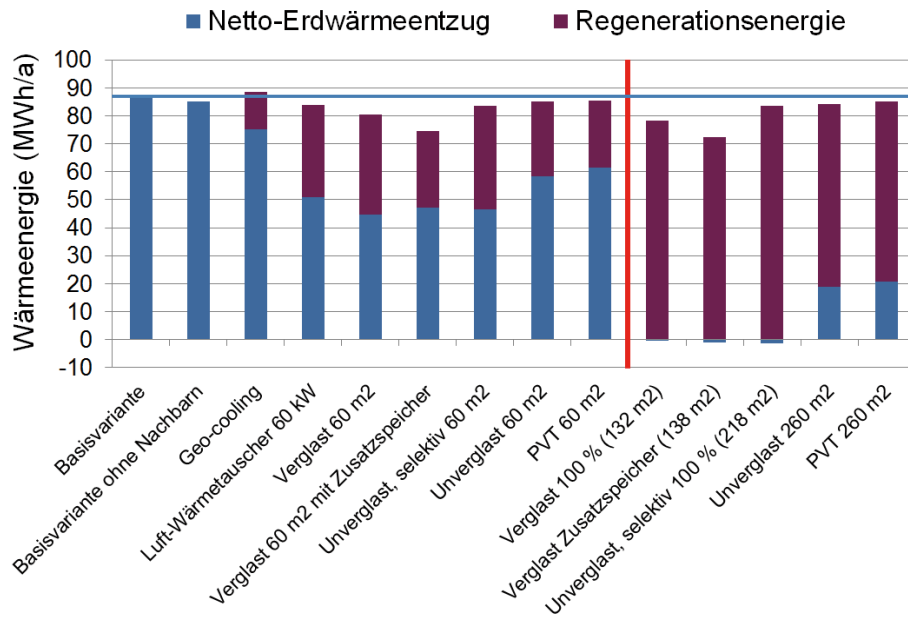


Simulation avec Polysun – Régénération solaire

surface: régénération a 100 % ou toiture exploitée de 100%



Extraction de chaleur et régénération pendant le 1^{ère} année



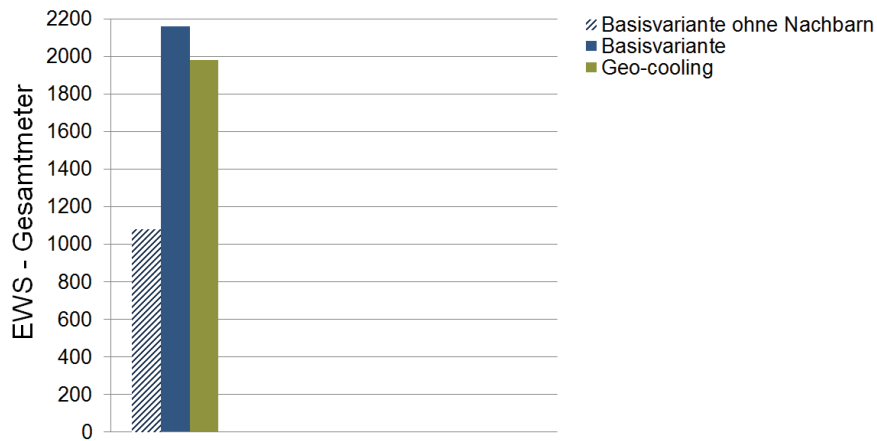
Longueur totale de sonde

Longueur totale de sonde nécessaire pour atteindre le critère SIA 384/6 -3/0 °C



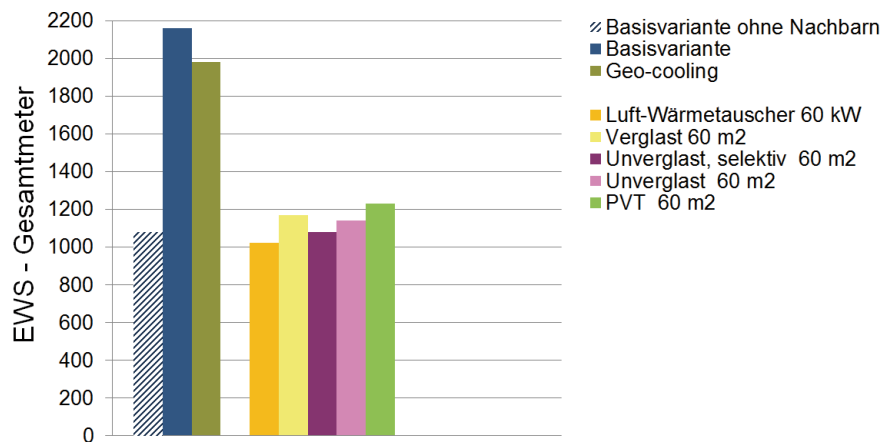
Longueur totale de sonde

Longueur totale de sonde nécessaire pour atteindre le critère SIA 384/6 -3/0 °C



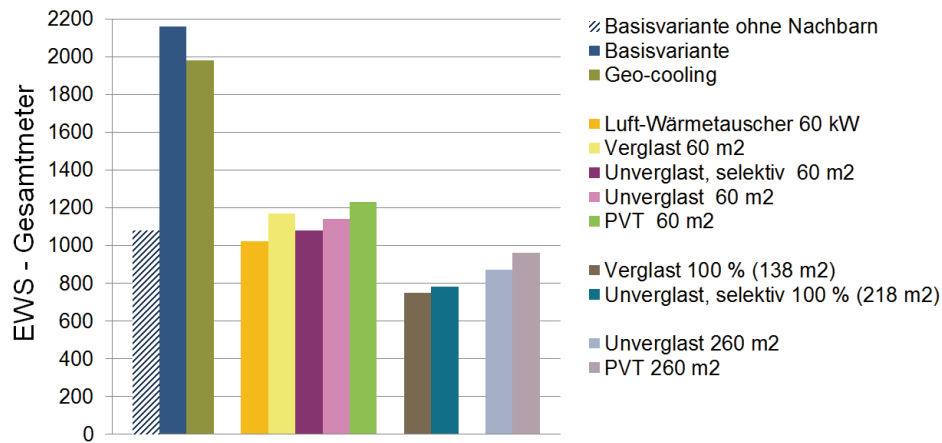
Longueur totale de sonde

Longueur totale de sonde nécessaire pour atteindre le critère SIA 384/6 -3/0 °C



Longueur totale de sonde

Longueur totale de sonde nécessaire pour atteindre le critère SIA 384/6 -3/0 °C

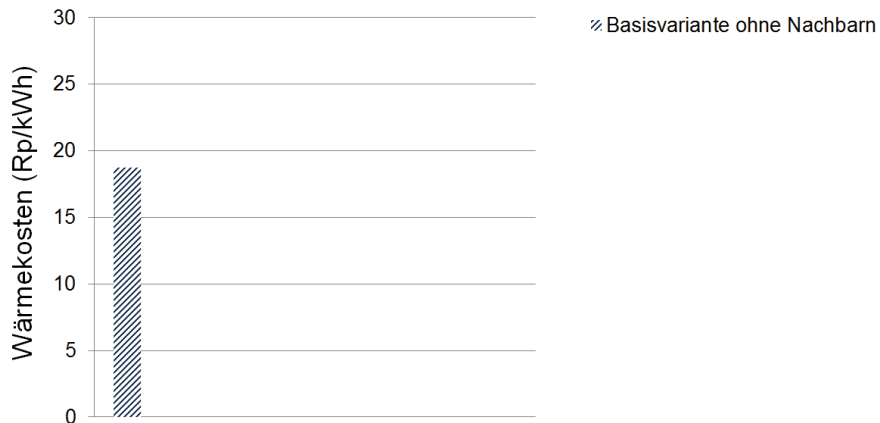


Coût de chaleur

Investissements: indications de l'économie

Méthode: logiciel de la ville de Zürich «Variantenvergleich von Energiesystemen»

www.stadt-zuerich.ch -> Werkzeuge

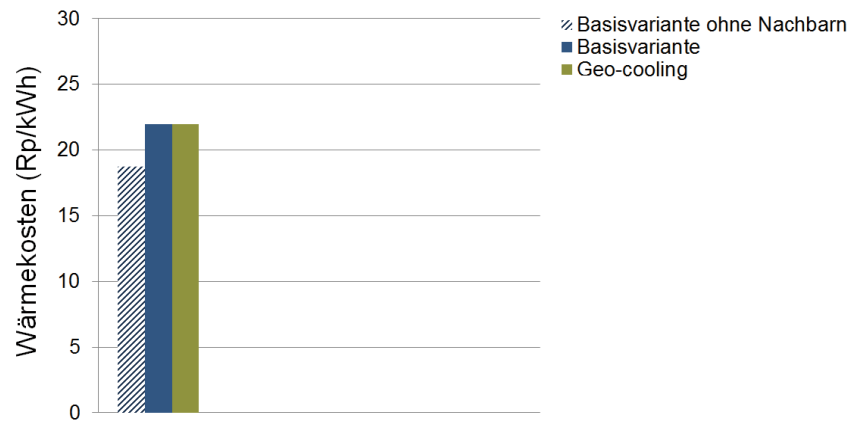


Coût de chaleur

Investissements: indications de l'économie

Méthode: logiciel de la ville de Zürich «Variantenvergleich von Energiesystemen»

www.stadt-zuerich.ch -> Werkzeuge

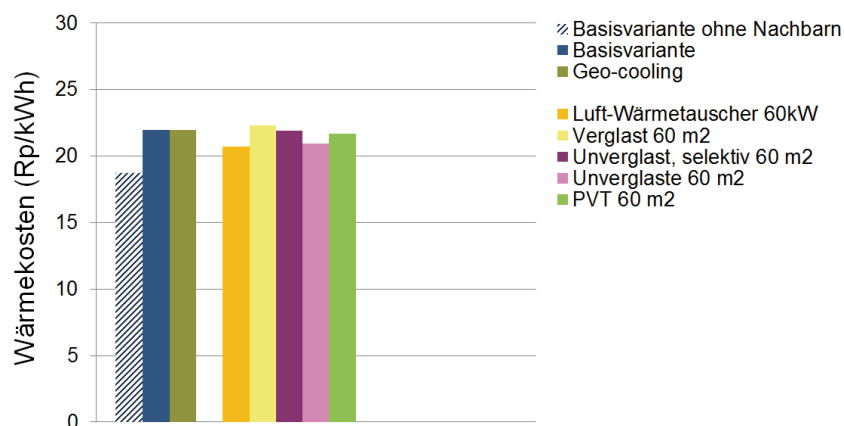


Coût de chaleur

Investissements: indications de l'économie

Méthode: logiciel de la ville de Zürich «Variantenvergleich von Energiesystemen»

www.stadt-zuerich.ch -> Werkzeuge

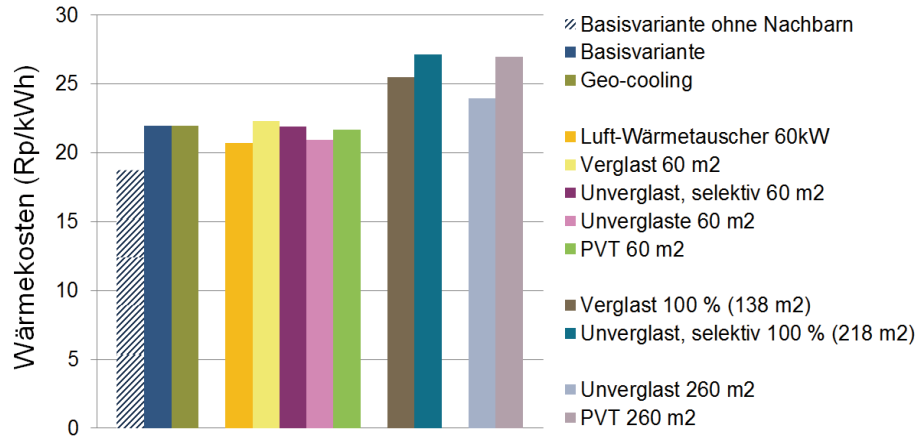


Coût de chaleur

Investissements: indications de l'économie

Méthode: logiciel de la ville de Zürich «*Variantenvergleich von Energiesystemen*»

www.stadt-zuerich.ch -> *Werkzeuge*



Conclusion

- Refroidissement additionnel de 7 K
- La régénération partielle évite un refroidissement excessif
- La régénération partielle est plus économique et plus durable qu'une augmentation de la longueur des sondes
- Une régénération à 100 % est chère et seulement possible avec:
 - Des capteurs vitrés
 - Des capteurs sélectifs non-vitrés
- Les coût des méthodes de régénération sont similaires
 - Le choix de la méthode dépend de la situation individuelle

Remerciements

Etude soutenue par:

Amt für Hochbauten, Zürich



collaborateurs:

Patrick Persdorf, Michel Haller

accompagné par:

Franz Sprecher, Roland Wagner, Nicole Külling (AHB)

Michael Kriegers (Meierhans + Partner AG, Zürich)

Ernst Rohner (Geowatt AG, Zürich)

Rapport finale:

www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/hochbau/beratung/gebaeude_energietechnik/projekte_realisiert.html

Merci pour votre attention!

florian.ruesch@spf.ch

Références

- [1] Jakob, M., Flury, K., Gross, N., Martius, G. & Sunarjo, B., 2014. Kurzbericht - Konzept Energieversorgung 2050 - Szenarien für eine 2000-Watt-kompatible Wärmeversorgung für die Stadt Zürich. Im Auftrag des Energiebeauftragten der Stadt Zürich.
- [2] Bassetti, S., Rohner, E., Signorelli, S., Matthey, B., 2006, EnergieSchweiz, Dokumentation von Schadensfällen bei Erdwärmesonden. (Download www.bfe.admin.ch)
- [3] Wagner, R., & Weisskopf, T. Erdsondenpotenzial in der Stadt Zürich. Im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich, 2014 (Download www.stadt-zuerich.ch/egt -> Projekte realisiert)



GEOTEST AG

Sondes géothermiques verticales

Mesures, contrôle et simulations

Vincent Badoux

24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Plan

1. Introduction

- Motivations
- Description du système
- Propriétés et fonctions des sondes géothermiques verticales (SGV)

2. Méthodes de mesure et de contrôle de la qualité du remplissage

3. Conclusions

24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

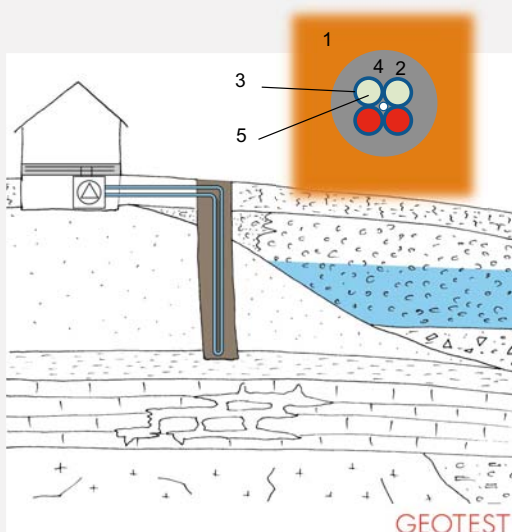
GEOTEST

Motivations

- Stratégie énergétique 2050 de la Confédération:
 - Réduction de la consommation d'énergie
 - Accroissement de la part des énergies renouvelables
 - Diminution des émissions de CO₂
- La géothermie est une source d'énergie renouvelable disponible localement
- Augmentation importante du nombre de SGV en Suisse
- Mise en évidence par le GSP* de défauts d'exécution
- Qualité de réalisation des SGV importante pour:
 - assurer une bonne jonction thermique entre la sonde et le terrain (efficacité énergétique)
 - empêcher des circulations verticales d'eau souterraine (protection de l'environnement)
- Importance de disposer d'outils de mesure et de méthodes de contrôle comme garantie de bonne exécution des SGV

*GSP : Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur

Description d'une sonde géothermique verticale

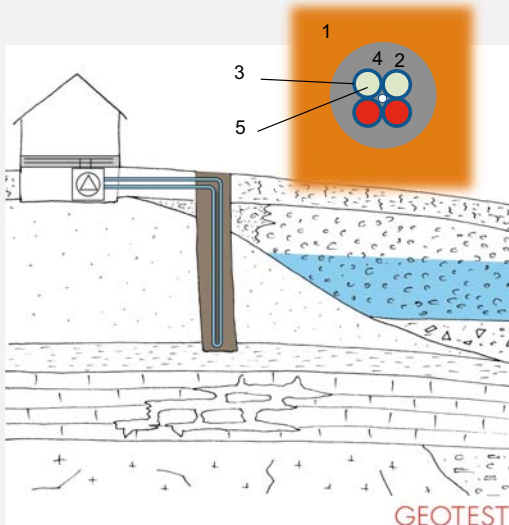


Composantes principales du système SGV:

1. Environnement
2. Forage
3. Tube en U
4. Remplissage
5. Fluide caloporteur

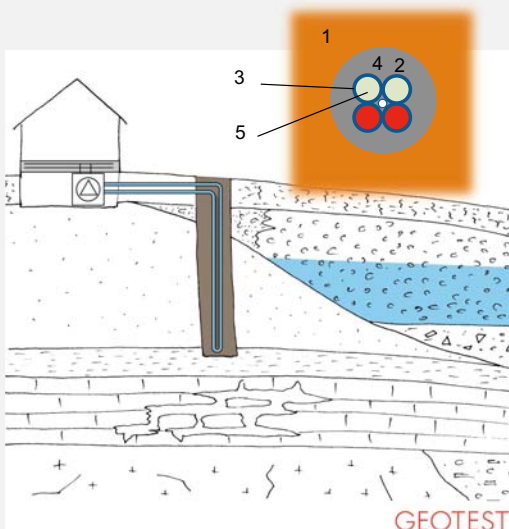
Chaque composante du système possède des propriétés intrinsèques et remplit un certain nombre de fonctions.

Propriétés



1. **Environnement**
 - Propriétés thermiques
 - Température, gradient géothermique, flux géothermique
 - Propriétés hydrauliques
2. **Forage**
 - Diamètre, longueur, verticalité, orientation
3. **Sonde géothermique**
 - Type (coaxiale, double U,...)
 - Diamètre
 - Matériaux (propriétés thermiques et mécaniques)
 - Longueur, spirauté
4. **Remplissage**
 - Composition, granulométrie
 - Viscosité, densité
 - Volume total
 - Comportement mécanique
 - Propriétés thermiques
5. **Fluide caloporteur**
 - Viscosité, densité
 - Vitesse et régime d'écoulement
 - Composition
 - Température de solidification (gel)

Fonctions

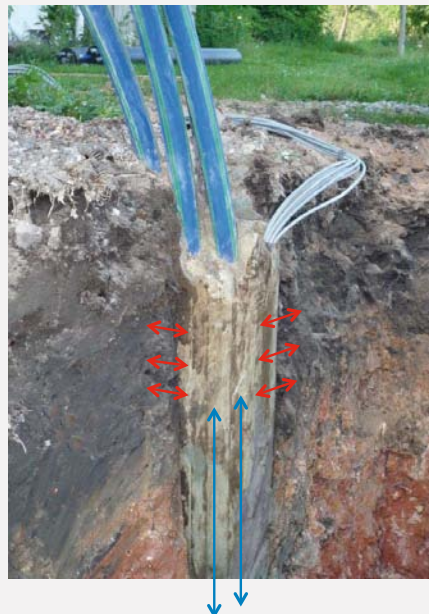
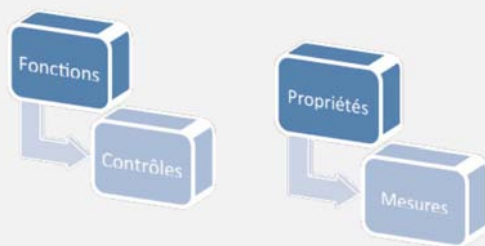


1. **Environnement**
 - Stockage de chaleur
 - Transfert de chaleur
 - Stabilité lors de la mise en place
2. **Forage**
 - Espace réservé à la pose de l'échangeur de chaleur
 - Accès aux zones de plus haute température
 - Augmentation de la surface d'échange
3. **Sonde géothermique**
 - Circulation du fluide caloporteur
 - Régime d'écoulement turbulent
 - Etanchéité (pertes et contaminations)
 - Résistance aux changements de pression
 - Jonction thermique entre le fluide et le remplissage
4. **Remplissage**
 - Stabilité du forage à long-terme
 - Jonction thermique entre le tube et le terrain
 - Obstacle aux écoulements verticaux entre les différents aquifères
 - Enrobage et protection de la sonde
5. **Fluide caloporteur**
 - Stockage de chaleur
 - Circulation dans la sonde (turbulent)
 - Transfert de la chaleur vers la surface

Contrôle du remplissage

4 FONCTIONS PRINCIPALES

1. Stabilité du forage à long-terme
2. Echanges thermiques entre le tube et le terrain
3. Obstacle aux écoulements verticaux entre les différents aquifères
4. Enrobage et protection de la sonde



Plan

1. Introduction
 - Motivations
 - Description du système
 - Propriétés et fonctions des sondes géothermiques
2. **Méthodes de mesure et de contrôle de la qualité du remplissage**
3. Conclusions

Dossier Suisse Energie: assurance qualité des sondes géothermiques

- Mandat «Suisse énergie»
- Etude menée par le bureau CSD Ingénieurs (Berne)
- Auteurs:
- Dr. Maurus Hess, Markus Sommerhalder & Felix Burger, CSD INGENIEURS SA
- Dr. Vincent Badoux (sous-traitance)
- Etude réalisée entre octobre 2014 et avril 2015



24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Aide-mémoire sur les méthodes de mesure de la qualité du remplissage

METHODES DE MESURE DE LA QUALITE DU REMPLISSAGE AXEE SUR LA JONCTION THERMIQUE AVEC LE SOUS-SOL																			
		METHODES THERMIQUES				METHODES RADIOACTIVES				METHODES MECANIKES				METHODES MAGNETIQUES					
Description	ISO 15927	je 1 log par rayon	Mesure d'absence de prise	Méthode 11	11log	Méthode 12	12log	12log	12log	App. mesure remplissage	App. mesure remplissage	App. mesure remplissage	App. mesure remplissage	Magnétique Log	Magnétique Log	Magnétique Log	Magnétique Log		
Type	Test de perméabilité	Enregistrement de la température	Profil de température	Méthode 11	11log	Méthode 12	12log	12log	12log	Appareil de mesure de remplissage	Appareil de mesure de remplissage	Appareil de mesure de remplissage	Appareil de mesure de remplissage	Système de mesure de remplissage	Système de mesure de remplissage	Système de mesure de remplissage	Système de mesure de remplissage		
Avantage	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
Normes	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799	EN 12799		
Principe de fonctionnement	Chaque puits de remplissage mesure la température au point de la jonction thermique avec le sous-sol. Les données sont enregistrées et analysées.	Mesure et enregistrement du profil de température et du point de la jonction thermique avec le sous-sol.	Mesure et enregistrement du profil de température et du point de la jonction thermique avec le sous-sol.	Mesure et enregistrement du profil de température et du point de la jonction thermique avec le sous-sol.	Mesure et enregistrement du profil de température et du point de la jonction thermique avec le sous-sol.	Mesure et enregistrement du profil de température et du point de la jonction thermique avec le sous-sol.	Mesure et enregistrement du profil de température et du point de la jonction thermique avec le sous-sol.	Mesure et enregistrement du profil de température et du point de la jonction thermique avec le sous-sol.	Mesure et enregistrement du profil de température et du point de la jonction thermique avec le sous-sol.	Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu.	Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu.	Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu.	Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu.	Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu.	Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu.	Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu.	Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu. Le remplissage est mesuré en continu.		
Zone d'application	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions		
Conditions géologiques	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions		
Longueur de la sonde	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions		
Étude de la sonde	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions	Non de restrictions		
Précision technique	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.	La sonde doit être étalonnée et vérifiée. L'incertitude de mesure doit être inférieure à 0,5%.		
Matériau	Y	W	N	Y	W	N	Y	W	N	Y	W	N	Y	W	N	Y	W	N	
Moment 1)	Y	W	N	Y	W	N	Y	W	N	Y	W	N	Y	W	N	Y	W	N	
Durée de mesure	6-15 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h	1-2 h		
Coût	ans 2000-4000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €	ans 1000-2000 €		
Personnel	1 collaborateur qualifié	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste	1 spécialiste		
Matériau	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température	Profil de température		
Standard mesuré	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m			
Précision mesurée	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m	0,01% Résolution 1 m			
Calibration	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois	Calibration tous les 12 mois			
Autres	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation	Expérience nécessaire dans l'interprétation			
Interprétation	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données	Sur la base du résultat des données			
Légende	1) Avant l'injection du remplissage	2) Pendant l'injection du remplissage	3) Après l'injection du remplissage	4) Avant l'injection du remplissage	5) Pendant l'injection du remplissage	6) Après l'injection du remplissage	7) Avant l'injection du remplissage	8) Pendant l'injection du remplissage	9) Après l'injection du remplissage	10) Avant l'injection du remplissage	11) Pendant l'injection du remplissage	12) Après l'injection du remplissage	13) Avant l'injection du remplissage	14) Pendant l'injection du remplissage	15) Après l'injection du remplissage	16) Avant l'injection du remplissage			



24. November 2015

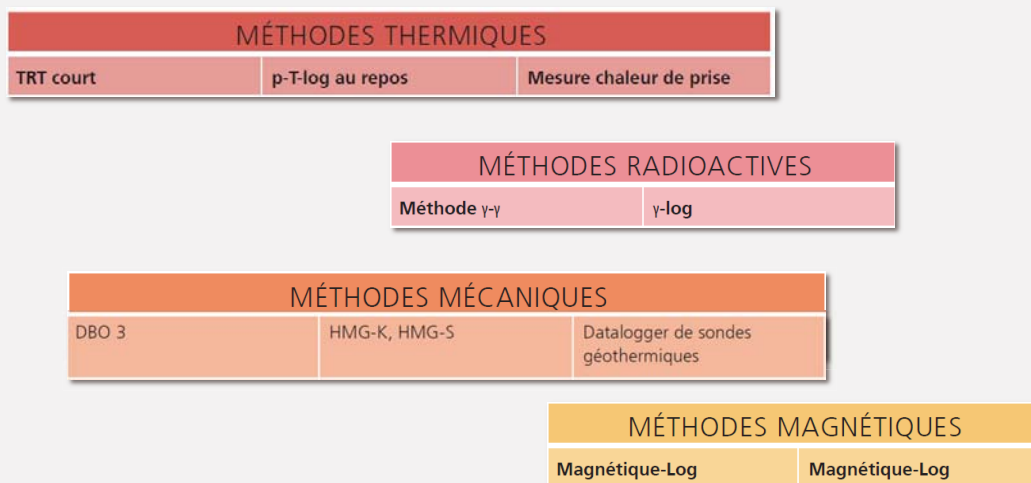
Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Exigences et généralités des méthodes de mesure et de contrôle

- Remplissage en principe inaccessible lors de la mesure
- Présence du tube PE entre la sonde et le remplissage à tester
- Exigences:
 - Peu coûteuses
 - Peu encombrantes
 - Réalisables sur un chantier et par tous les temps
 - Ne doivent pas ralentir les travaux
 - Effectuées soit par le foreur, soit par un tiers
- Mesures possibles à différents moments:
 - Pendant le remplissage
 - Directement après le remplissage
 - Dans une phase ultérieure
- Difficultés liées au faible diamètre des sondes géothermiques.
 - Outils de géophysiques pour la plupart inadaptés
 - Développements spéciaux et miniaturisation requis
 - Coûts plus élevés
- Friction élevée due au matériau (PE) et à la «non-verticalité» du forage et des sondes

Quatre catégories de méthodes



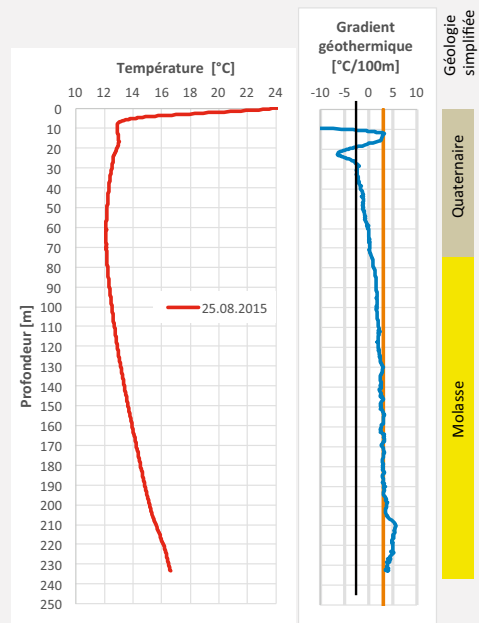
Méthodes thermiques (1/3) – Profils de température (au repos)

- Mesure du profil thermique au repos dans la sonde.
- Le cas échéant, possibilité que l'interprétation du profil thermique indique la présence de circulations d'eaux souterraines
 - Circulations horizontales (nappes)
 - Circulations verticales dues à la connexion thermique entre deux aquifères
- Principes de base des systèmes disponibles sur le marché:
 - Profils pression / température (p.ex. NIMO-T, GEOSNIFF,...)
 - Température et distance (p.ex. Deepdrifter@,...)
 - Fibre optique



24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

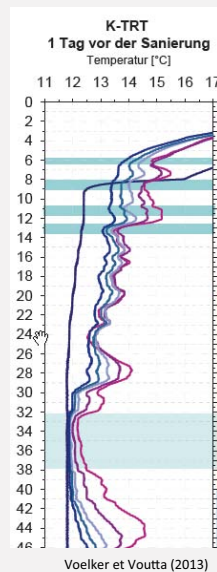


Exemple: profil de température réalisé dans la sonde expérimentale de GEOTEST à Zollikofen (BE) avec l'appareil GEOSNIFF.

GEOTEST

Méthodes thermiques (2/3) – TRT Court

- Principe analogue au TRT normal avec les différences suivantes:
 - Durées de chauffage plus courtes, de sorte à tester uniquement le remplissage et non le sous-sol
 - Combinaison avec des mesures de températures pendant les phases de chauffage et de refroidissement
 - Détermination des propriétés thermiques du remplissage ainsi que de la présence d'eaux souterraines
- Analogie possible avec le «Skin-Effect» des essais de pompage
- Identifications possibles:
 - Cavités remplies d'air
 - Circulations d'eaux souterraines



Appareil TRT de GEOTEST AG

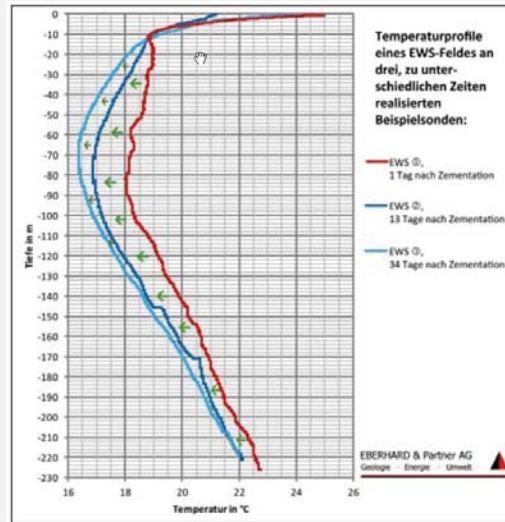
24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Méthodes thermiques (3/3) – Chaleur de prise

- La prise du ciment est un processus qui dégage de la chaleur.
- Suivi du réchauffement puis du refroidissement de la sonde suite à la prise du ciment
- Profils de température à différents moments
- Identification d'éventuelles lacunes du remplissage à l'aide de l'interprétation du signal
- Analogie avec le TRT-court à la différence que la source de chaleur est liée à la prise du ciment et non au TRT
- Uniquement possible directement après le remplissage



24. November 2015

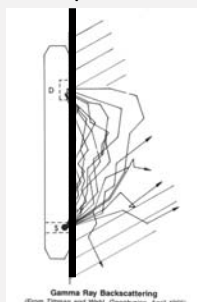
Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Méthodes radioactives (1/2) – Méthode γ - γ -densité

- Mesure du profil de radioactivité gamma dans le forage
- Source de radioactivité artificielle
- Mesure indirecte de la densité du remplissage:
 - Contraste de densité uniquement
 - Meilleurs contrastes si les cavités sont remplies d'air

Principe

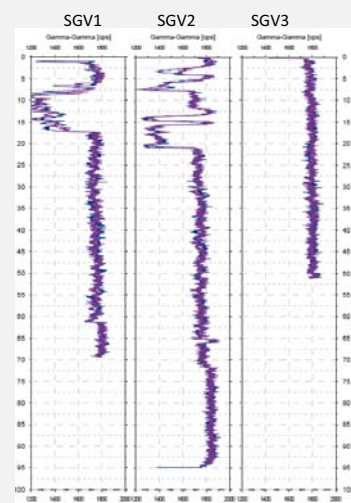


Sonde gamma-gamma



Voutta (2011)

Mesures



Voutta (2013)

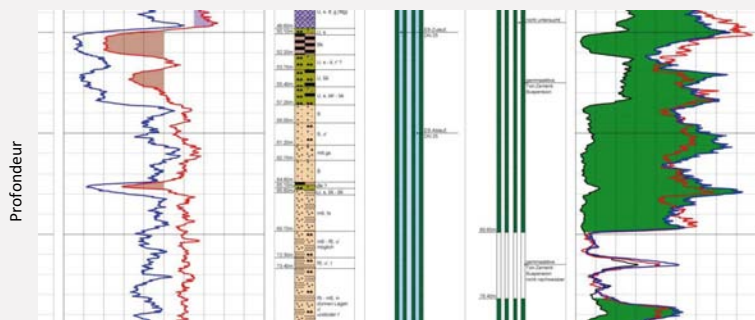
24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Méthodes radioactives (2/2) – Méthode γ -Ray (gamma)

- Mesure du profil de radioactivité gamma dans le forage
- Source de radioactivité naturelle ou issue d'un matériau de remplissage enrichi en particules radioactives
- Mesure indirecte de la densité de remplissage:
 - Contraste de densité uniquement
 - Meilleurs contrastes si les cavités sont remplies d'air



Baumann (2003)

24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Méthodes magnétiques (1/1) – Log susceptibilité magnétique

- Mesure du profil de susceptibilité magnétique dans la sonde
- Source magnétique artificielle: ciment spécial enrichi en particules magnétiques
- Mesures possibles pendant et après l'injection



Source: Santherr Geothermie Technik



24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Méthodes mécaniques (1/2) – HDG / HMG

- Mesure du débit, de la densité et du volume pendant le remplissage
- Appareil placé entre le silo de remplissage et la sonde
- Comparaison entre le volume injecté et le volume théorique du forage
- Exemples d'appareils :
 - HMG/K-S GEOWATT AG (CH)
 - HDG Umwelt-technik (D)
- Etablissement d'un protocole indépendant
- Identification de zones de pertes
- Confirmation de la réalisation du remplissage



24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Méthodes mécaniques (2/2) – Sotronix / Michalik

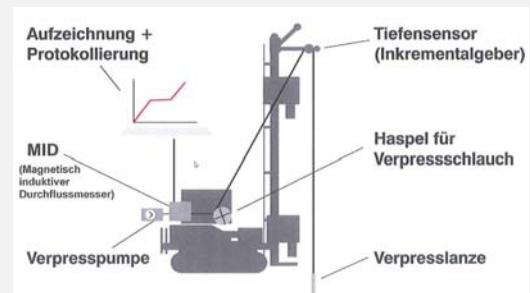
Sotronix und Dietrich

- Mesure du volume de suspension avec le MID
- Sonde pression mobile
- Lance d'injection retirée pendant l'injection et de manière simultanée
- Profondeur de la sonde pression toujours enregistrée

Michalik

- Mesure du volume de suspension avec le MID
- Montage de deux sondes de pression à une distance fixe.
- Appareil de mesure indépendant du système d'injection.
- Déplacement de la sonde indépendant du remplissage

Sotronix



Michalik



24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015. Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Synthèse

Méthodes thermiques	Méthodes mécaniques	Méthodes radioactives	Méthodes magnétiques
Après l'injection	Pendant l'injection	Après l'injection	Pendant et après l'injection
Température en fonction de la profondeur et/ou du temps	Quantité, débit, densité du coulis et pression d'injection	Radioactivité naturelle ou induite	Susceptibilité magnétique
Permettent de tirer des conclusions sur la présence et la qualité du remplissage			
Fournissent avant tout, des informations importantes pour le dimensionnement des champs de sondes géothermiques	Les méthodes qui mesurent directement dans le forage sont jugées plus fiables (EMBW)	Le matériau de remplissage doit, dans la plupart des procédés, être préalablement enrichi pour obtenir un signal de mesure satisfaisant.	Le matériau de remplissage doit préalablement être enrichi.

Conclusions de l'étude (Interview de différents acteurs de la branche)

1. Application et valeur indicative des méthodes:
 - Il n'existe pas encore de méthode «miracle»
 - Idéalement, utilisation combinée de plusieurs méthodes
 - Peu de retour d'expérience en CH avec les méthodes radioactives et magnétiques
2. Informations géologiques fondamentalement importantes
3. Les mesures liées à l'«assurance-qualité» doivent être prescrites et honorées comme prestation
4. Les méthodes de mesure et de contrôle doivent être peu coûteuses et peu encombrantes
5. Optimisation du concept de forage
6. Questions en suspens sur les responsabilités juridiques.

Conclusions personnelles

1. Acteurs concernés par la bonne qualité d'exécution d'une sonde géothermique et intérêts respectifs
 - Autorités environnementales -> impact sur l'environnement
 - Autorités énergétiques -> efficacité énergétique, réduction des émissions de CO₂, protection des consommateurs
 - Maître d'ouvrage -> diminution des coûts, fiabilité à long-terme, «assurance qualité»
 - Locataire -> facture d'électricité, fiabilité
2. Importance du risque et de responsabilités
 - Accepter un risque résiduel
 - Définir un niveau de risque acceptable
 - Définir les responsabilités (bases légales)
3. Définitions d'une stratégie de diminution des risques au niveau national, avec différents axes de priorité:
 - Contrôle et répartition des coûts
 - Garantie de bonne exécution
 - Durabilité des installations
 - Impact sur l'environnement réduit
 - Efficacité énergétique
4. Mise en place de mesures conformément à la stratégie et en considérant les intérêts des différents acteurs
 - Définition des bases légales
 - Bonne planification territoriales et dimensionnement
 - Procédures de contrôle
 - Développement de méthodes et d'outils de mesure et de contrôle
 - Autres mesures

24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

Questions

Questions

Discussion

Commentaires

Dr. Vincent Badoux, Géologue/Hydrogéologue
GEOTEST SA
vincent.badoux@geotest.ch
+41 (0)31 910 01 01

Remerciements



24. November 2015

Journée Romande de Géothermie 2015, Yverdon-les-Bains

GEOTEST

LES DÉFIS DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE

Un aperçu des activités de recherche au CHYN

Benoît Valley - Laboratoire de Géothermie
Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie - CHYN
Neuchâtel, Suisse

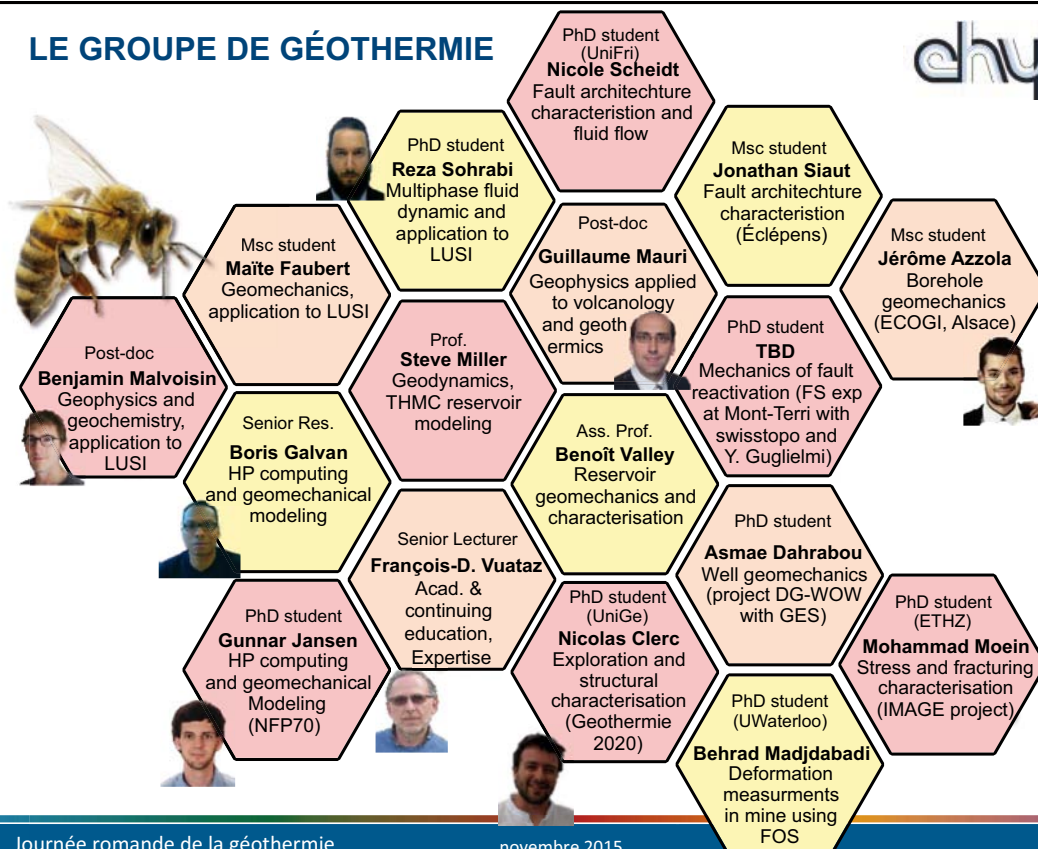


Géométrie
du forage BS-1, Basel



SWISS COMPETENCE CENTER for ENERGY RESEARCH
SUPPLY of ELECTRICITY

LE GROUPE DE GÉOTHERMIE



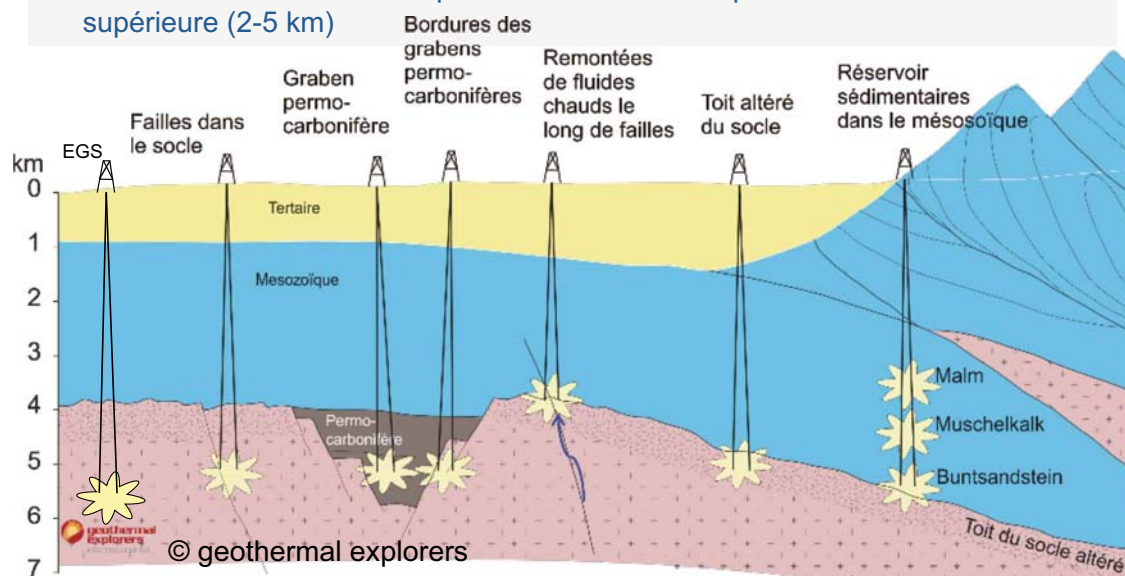
DÉFI DE L' EXPLORATION

- Faire évoluer les concepts de «plays and target» pour l'exploration géothermique profonde en Suisse.
- Identifier des cibles d'exploration avec une résolution suffisante pour planifier des forages.
- Préciser la structure thermique et la distribution de perméabilité dans la croûte supérieure (2-5 km)



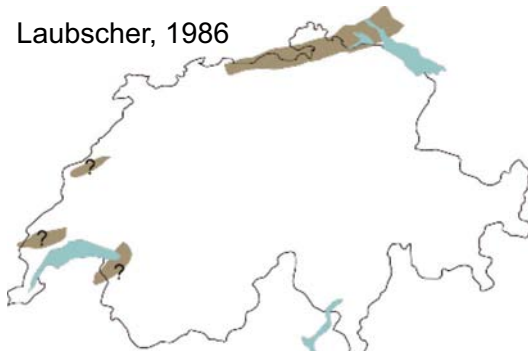
DÉFI DE L' EXPLORATION

- Faire évoluer les concepts de «plays and target» pour l'exploration géothermique profonde en Suisse.
- Identifier des cibles d'exploration avec une résolution suffisante pour planifier des forages.
- Préciser la structure thermique et la distribution de perméabilité dans la croûte supérieure (2-5 km)

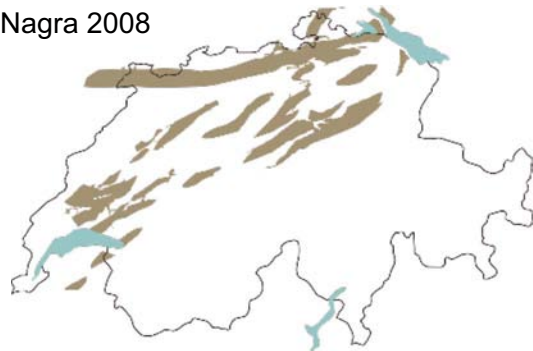


DIFFICULTÉ DE DÉFINIR DES CIBLES PROFONDES: GRABENS PC

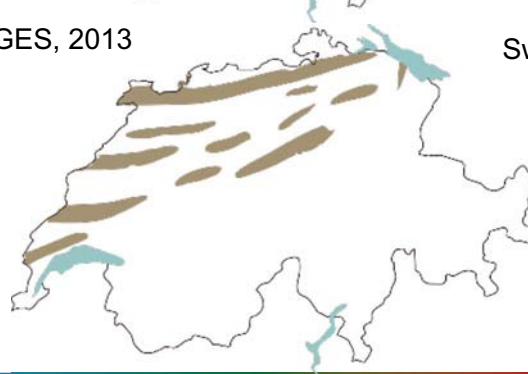
Laubscher, 1986



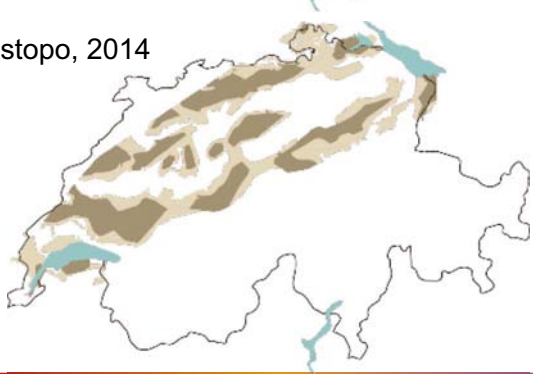
Nagra 2008



GES, 2013



Swisstopo, 2014



GRAVIMÉTRIE POUR L'EXPLORATION GÉOTHERMALE PROFONDE

Objectif:

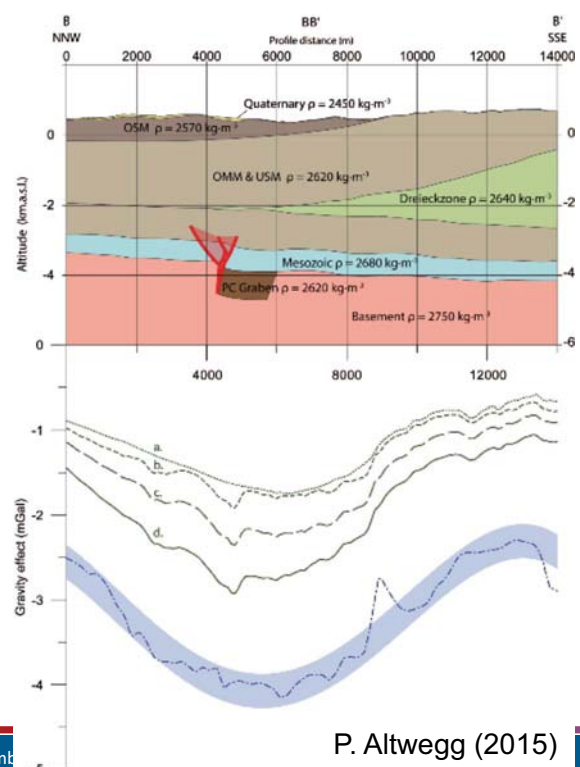
- Quantification des propriétés (fracturation, porosité) des cibles identifiées indépendamment par exemple grâce à la sismique.

Comment:

- En combinant des mesures gravimétriques de précision à de nouvelles méthodes d'interprétation

Où

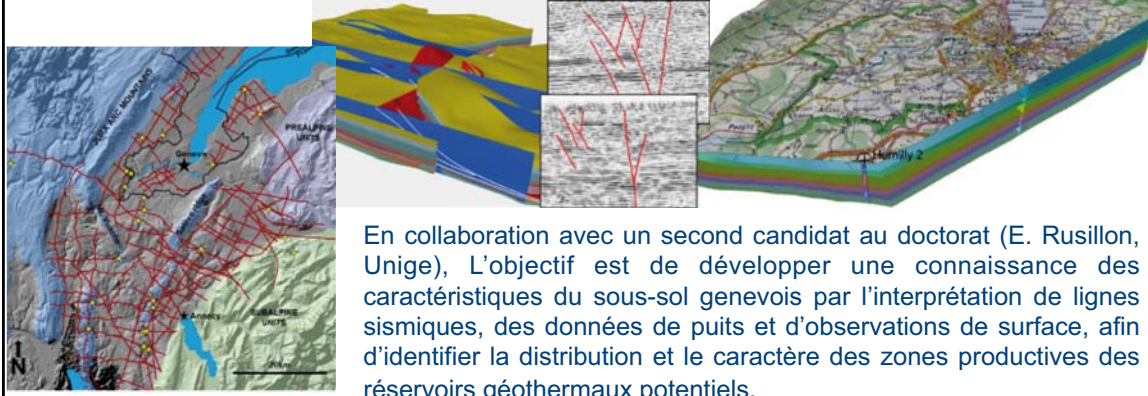
- La méthode a été appliquée sur le site de St-Gall et d'Éclépens.



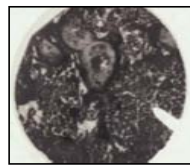
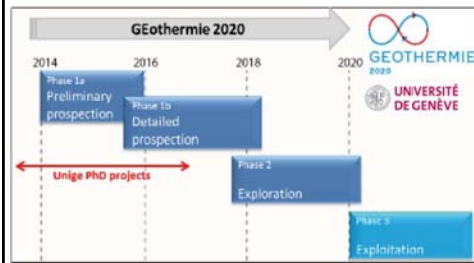
P. Altwegg (2015)

CARACTÉRISATION STRUCTURALE ET MODÉLISATION 3D DU BASSIN GENEVOIS (Thèse de doctorat en cours de Nicolas Clerc Unige/Unine)

Investigation de l'évolution structurale et caractérisation du développement des systèmes des failles dans le bassin genevois afin d'évaluer la ressource géothermale.



En collaboration avec un second candidat au doctorat (E. Rusillon, Unige), L'objectif est de développer une connaissance des caractéristiques du sous-sol genevois par l'interprétation de lignes sismiques, des données de puits et d'observations de surface, afin d'identifier la distribution et le caractère des zones productives des réservoirs géothermaux potentiels.



Ce projet de recherche est financé par les services industriels de Genève (SIG) et contribue aux premières phases du programme «Géothermie 2020».

CIBLES POTENTIELLES

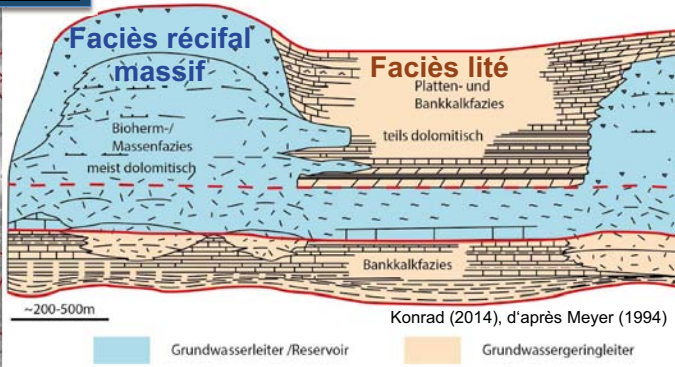
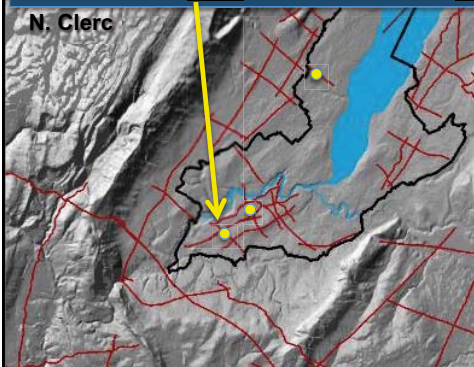
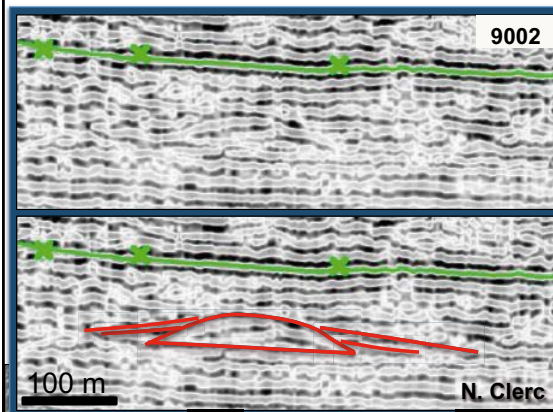
unige



UNIVERSITÉ DE GENÈVE



GÉOTHERMIE 2020



«LABORATOIRE NATUREL» DE LA SARRAZ

Project in collaboration with the University of Fribourg and supported by Swisstopo.



Étude de l'anatomie et des caractéristiques du système de failles dans le «laboratoire naturel» exceptionnel de la carrière d'Éclépens.

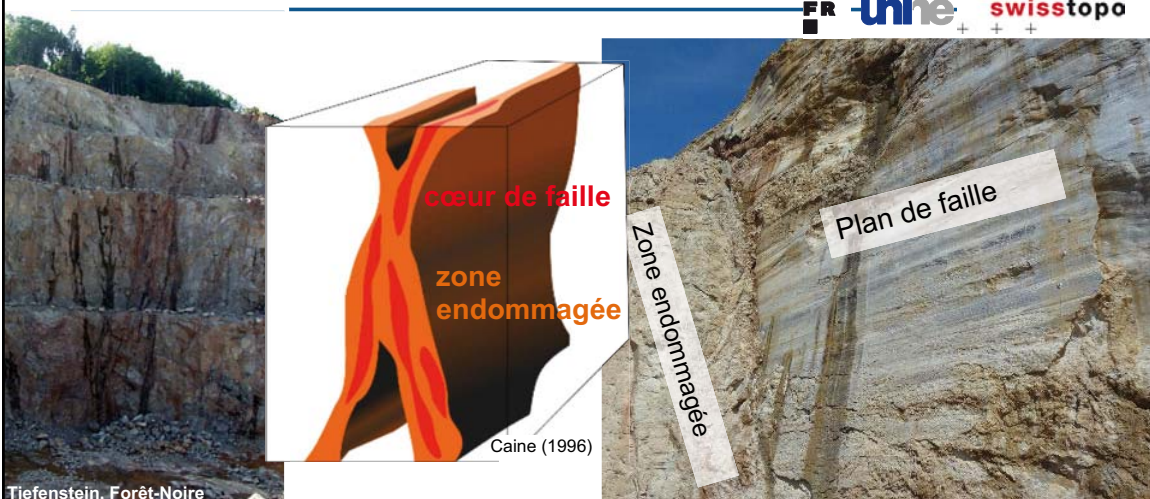
Quelques questions clés à l'origine de cette étude:

- Quel est l'état de stabilité des failles dans le bassin d'avant-pays Suisse ?
- Quels sont les liens entre la stabilité des failles et les écoulements ?
- Comment la complexité de l'anatomie des failles (zones de relais,...) influence les caractéristiques de l'endommagement et les écoulements ?



«LABORATOIRE NATUREL» DE LA SARRAZ

Project in collaboration with the University of Fribourg and supported by Swisstopo.

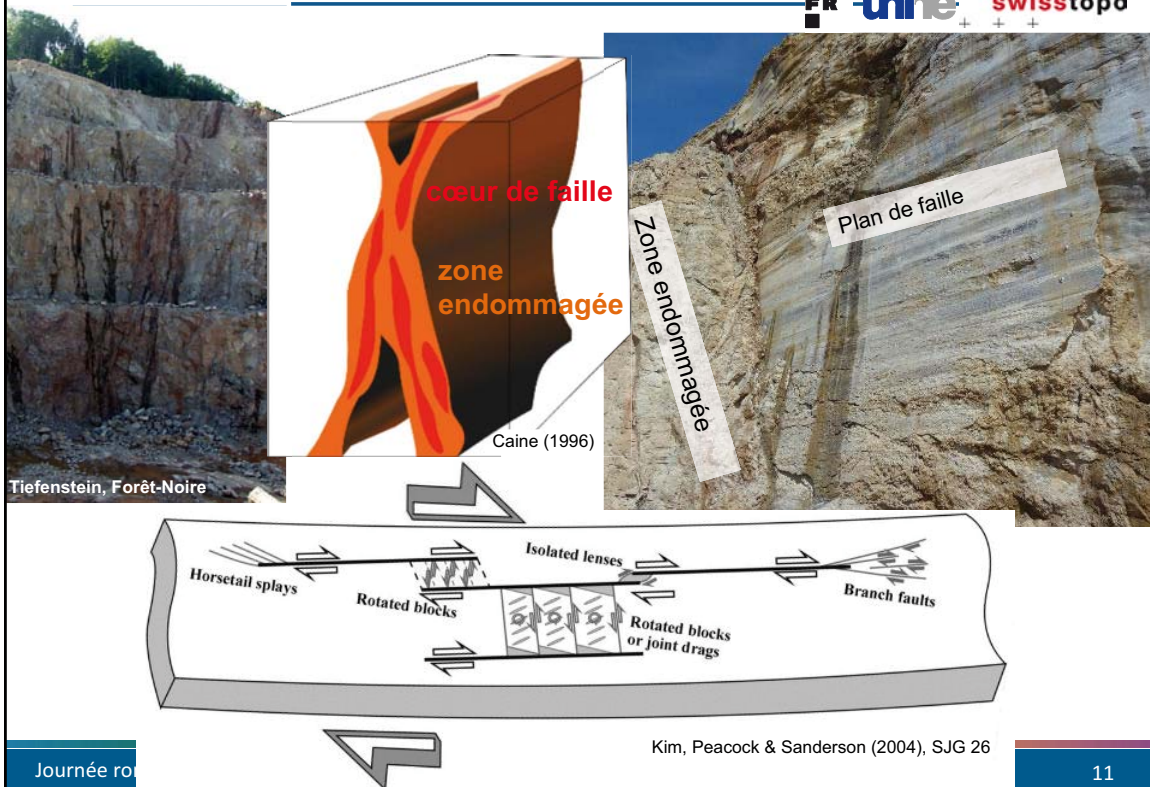


Tiefenstein, Forêt-Noire



LA SARRAZ NATURAL LABORATORY

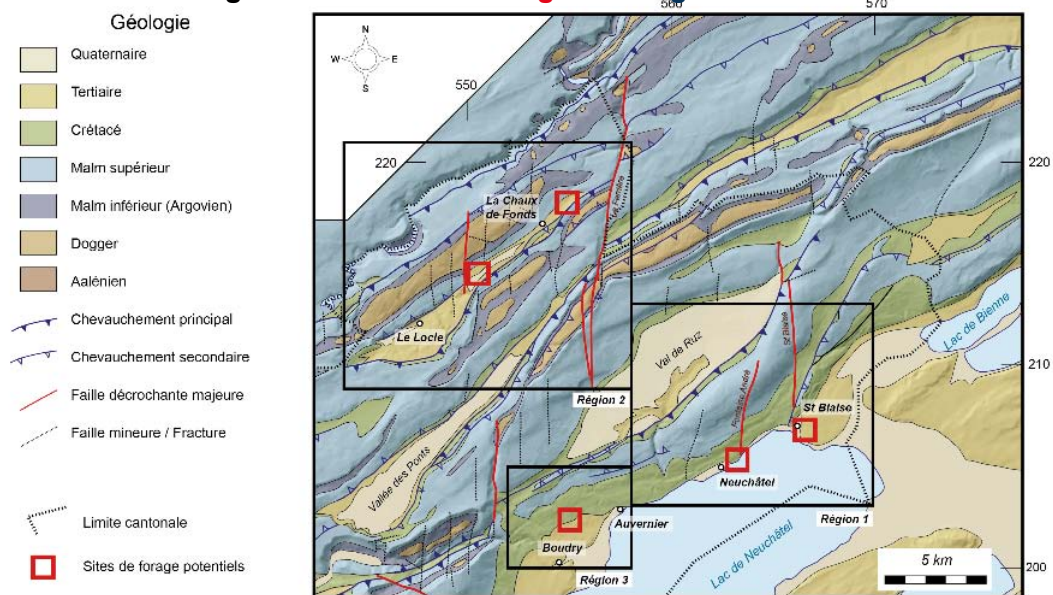
Project in collaboration with the University of Fribourg and supported by Swisstopo.



IMPACT SUR LA PROSPECTION ET L'ÉVALUATION DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE

Prospection et évaluation du potentiel géothermique des 3 principaux aquifères sédimentaires profonds du canton de NE:

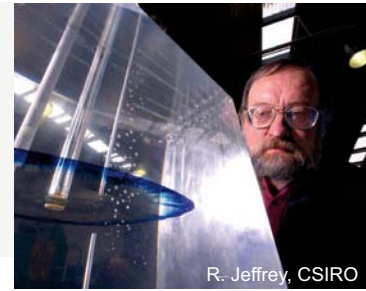
3 régions et 5 sites de forage investigués en détail



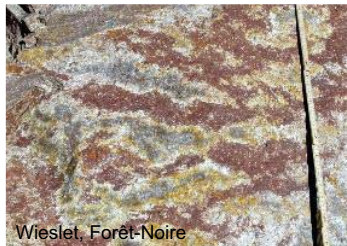
DÉFI DE LA CRÉATION DU RESERVOIR

Le principal défi est de créer le réservoir en profondeur permettant un échange de chaleur durable (en opération pour 20-40 ans).

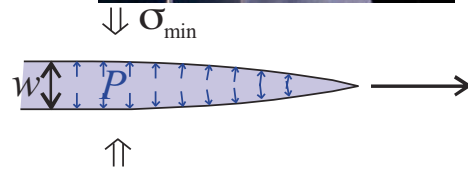
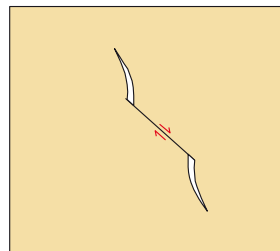
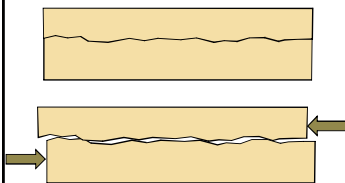
De nouvelles approches sont requises pour stimuler la perméabilité en optimisant la distribution et les caractéristiques des structures du réservoirs.



R. Jeffrey, CSIRO



Wieslet, Forêt-Noire

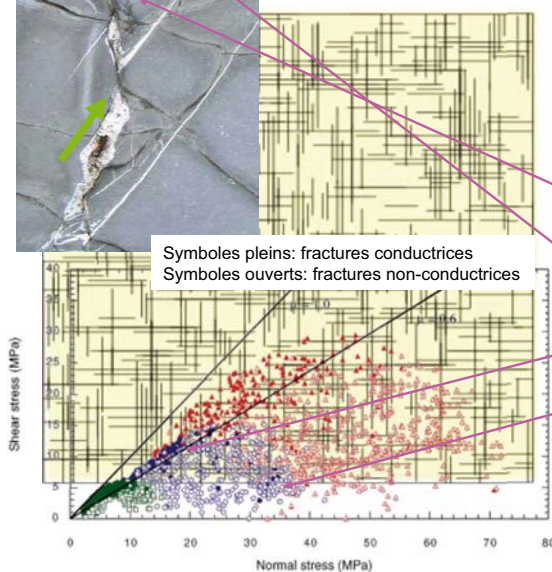


Oman
(photo: RWTH Aachen)

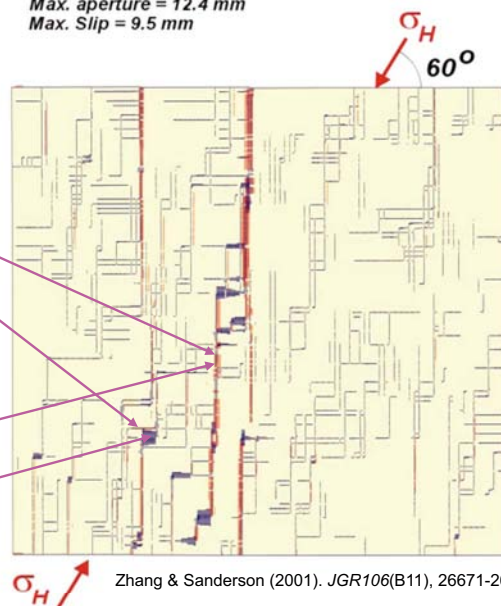
LES CONTRAINTES ONT UN RÔLE CLÉ SUR LES ÉCOULEMENTS



Fluid pressure = 13 MPa
Max. aperture = 12.4 mm
Max. Slip = 9.5 mm



Barton et al. (1995). *Geology* 23 (8), 683-686.

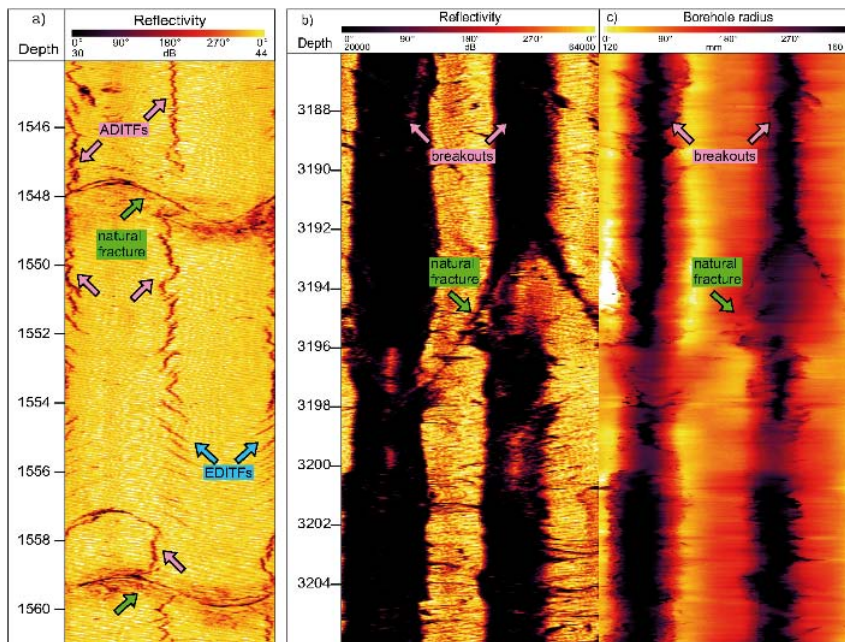


Zhang & Sanderson (2001). *JGR106(B11)*, 26671-26688.

The width of the thinnest line represents a value of 0.35 mm in aperture

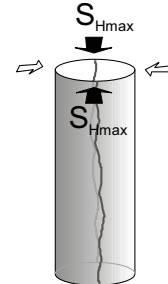
The width of the thinnest line represents a value of 1 mm in shear displacement

RELATION ENTRE CONTRAINTES ET FRACTURES

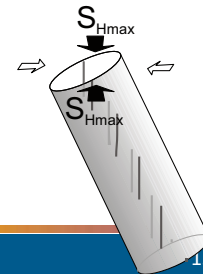


Acoustic borehole wall images from the Soultz deep geothermal hole GPK4.

A-DITFs
Axial drilling
induced tension
fractures



E-DITFs
En-echelon
drilling induced
tension fractures



DEEP GEOTHERMAL WELL OPTIMISATION WORKFLOW



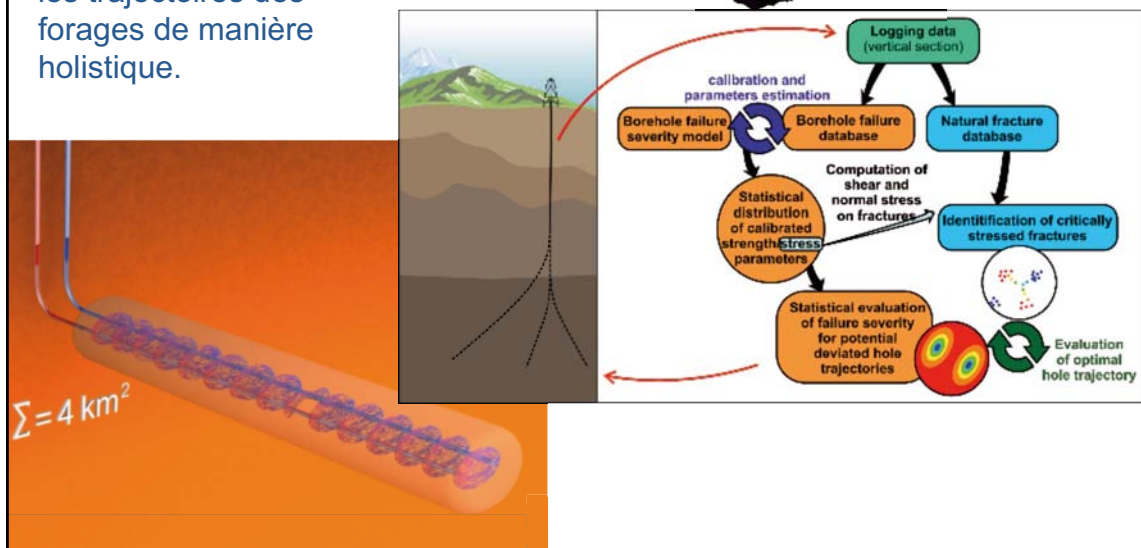
En collaboration avec Geo-Energie Suisse et soutenu par la CTI.

Objectif:

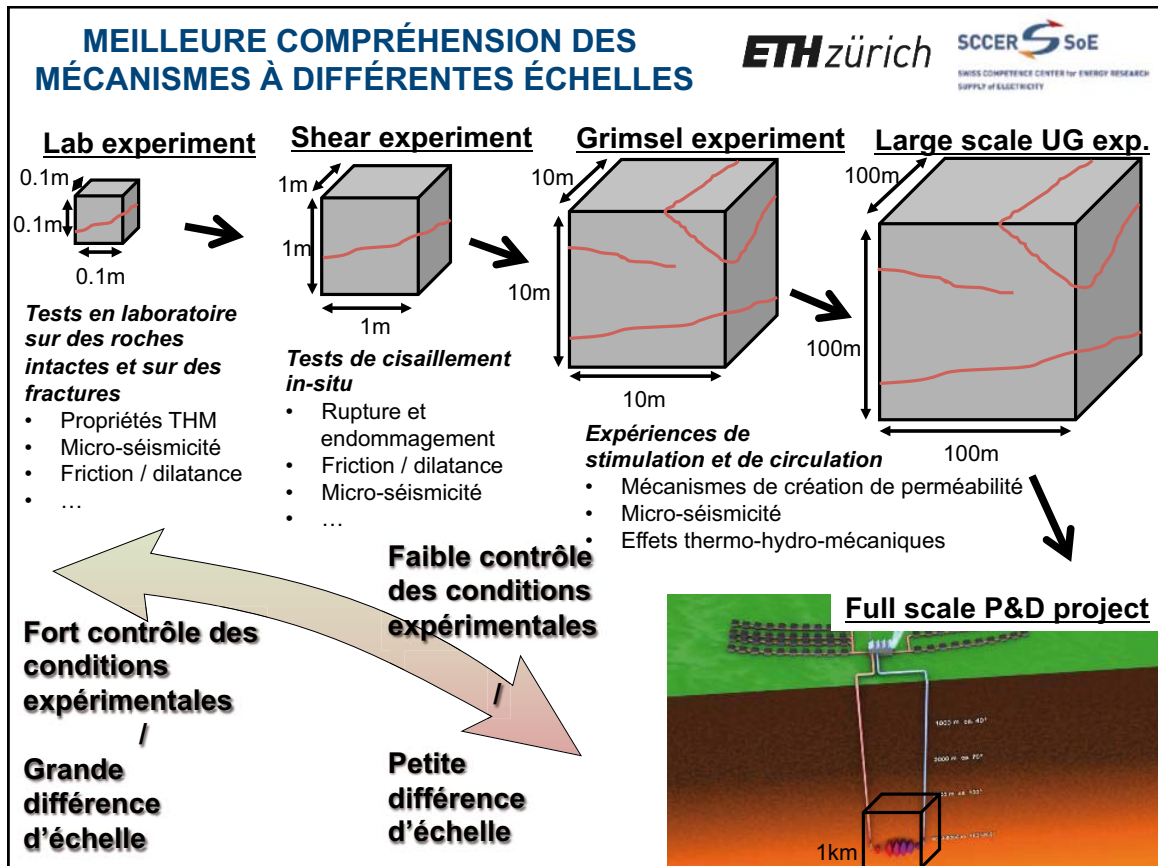
Développer un cadre et des procédures permettant d'évaluer les risques et d'optimiser les trajectoires des forages de manière holistique.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation
Commission for Technology and Innovation CTI



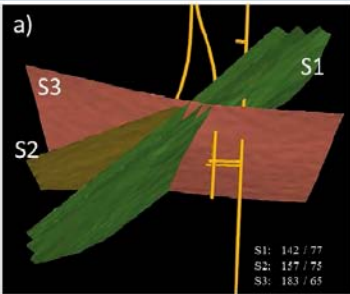
$\Sigma = 4 \text{ km}^2$



PLANIFICATION EXPÉRIMENTALE AU SITE DU GRIMSEL

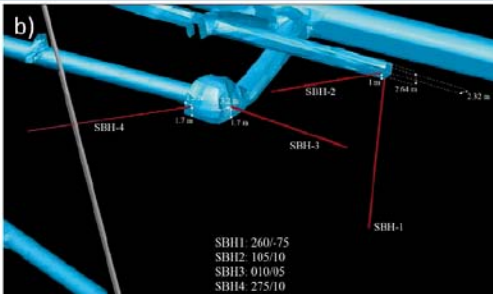
Une planification expérimentale détaillée est en cours au laboratoire du Grimsel incluant une caractérisation complète du volume à tester (contraintes, fracturations,...).

a)

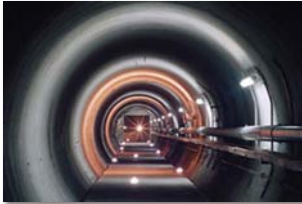


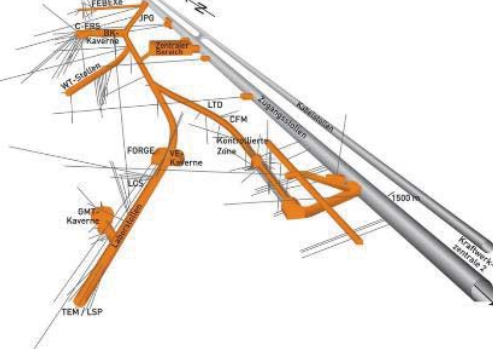
S1: 142 / 77
S2: 157 / 75
S3: 183 / 65

b)



SBH1: 260 / 75
SBH2: 105 / 10
SBH3: 010 / 05
SBH4: 275 / 10

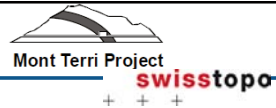




Journée romande de la géothermie

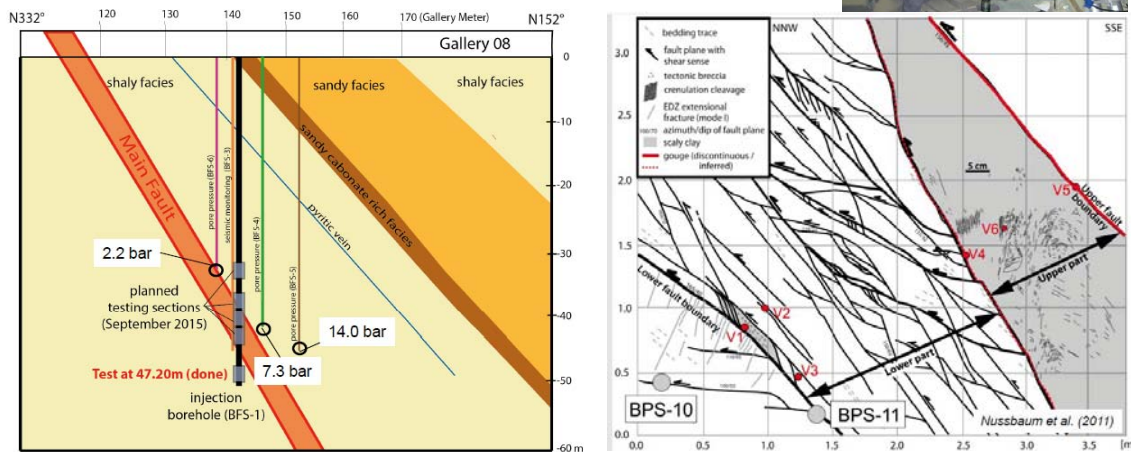
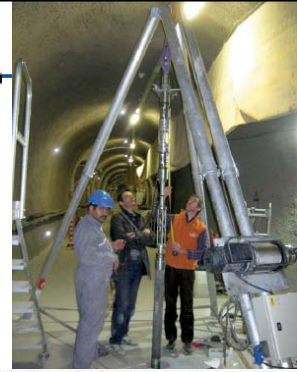
novembre 20

MONT-TERRI EXPÉRIENCE FS



Objectif: comprendre les effets d'une injection sur la stabilité et la perméabilité d'une zone de faille.

Statut actuel: 1^{er} test en juin 2015. Nouveaux tests en novembre 2015.

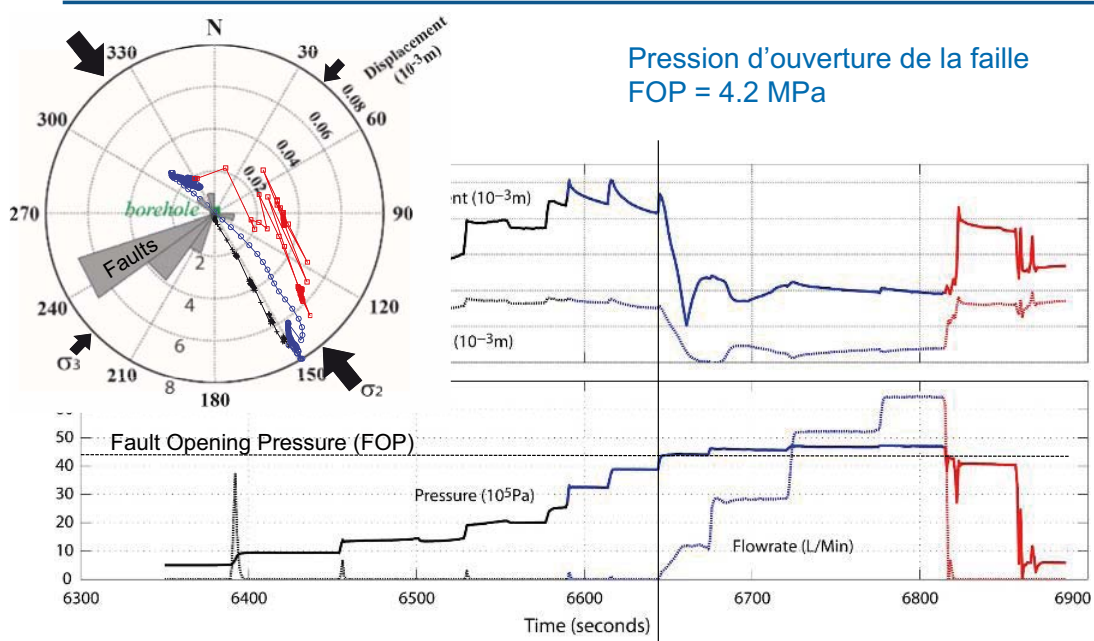


Journée romande de la géothermie

novembre 2015

19

PRESSION, FLUX ET DÉPLACEMENTS EN FONCTION DU TEMPS



Nussbaum, Valley et Guglielmi (2015)

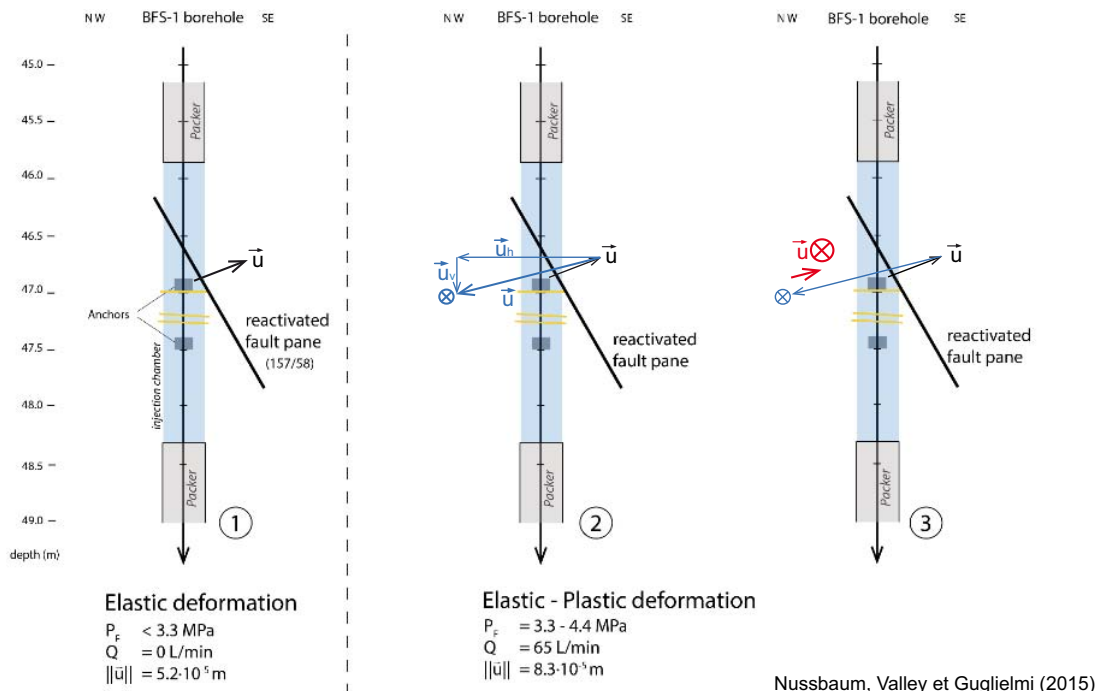
Déplacement relatif avec l'ancrage inférieur comme référence.

Journée romande de la géothermie

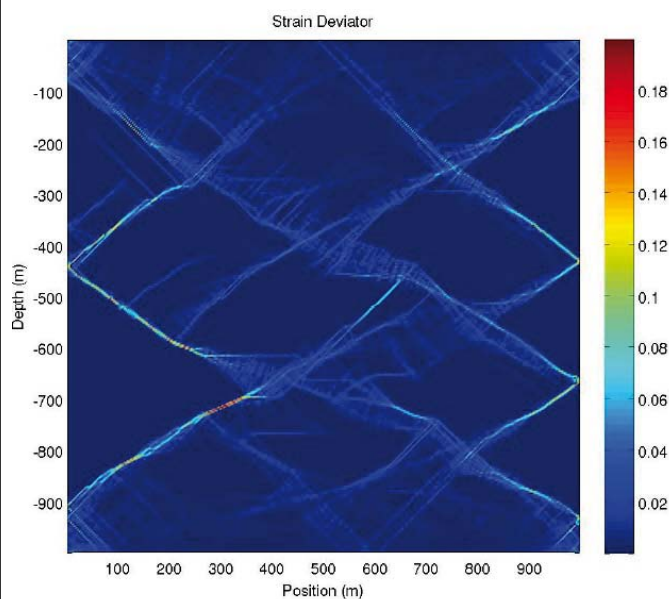
novembre 2015

20

INTERPRÉTATION DES DÉPLACEMENTS



LES DONNÉES IN-SITU PERMETTENT DE CALIBRER DES SIMULATIONS NUMÉRIQUES



Galvan & Miller (2013)

Développement de modèles THMC permettant de capturer explicitement la formation de nouvelles fractures et la réactivation de fractures existantes associées à la création de perméabilité.



Horse-tail structure
(Fossen, 2010)

ENSEIGNEMENT EN GÉOTHERMIE AU CHYN

Bachelor en système naturel:

L'objectif principal de la formation est de fournir aux étudiants des connaissances approfondies sur le fonctionnement des grands systèmes naturels (géosphère, hydrosphère, pédosphère, biosphère) à partir d'une bonne maîtrise des sciences de base. Des cours sur les ressources énergétiques, incluant la géothermie sont également inclus.

Master en hydrogéologie et géothermie

Semesters 1 & 2 : Modules en hydrogéologie et géothermie, 2 camps de terrain

Semester 3 : Cours avancés.

Semester 4 : Travail de master

CAS deepgeosys

Deep geothermal systems

Module 1: Geoth. and geophys.

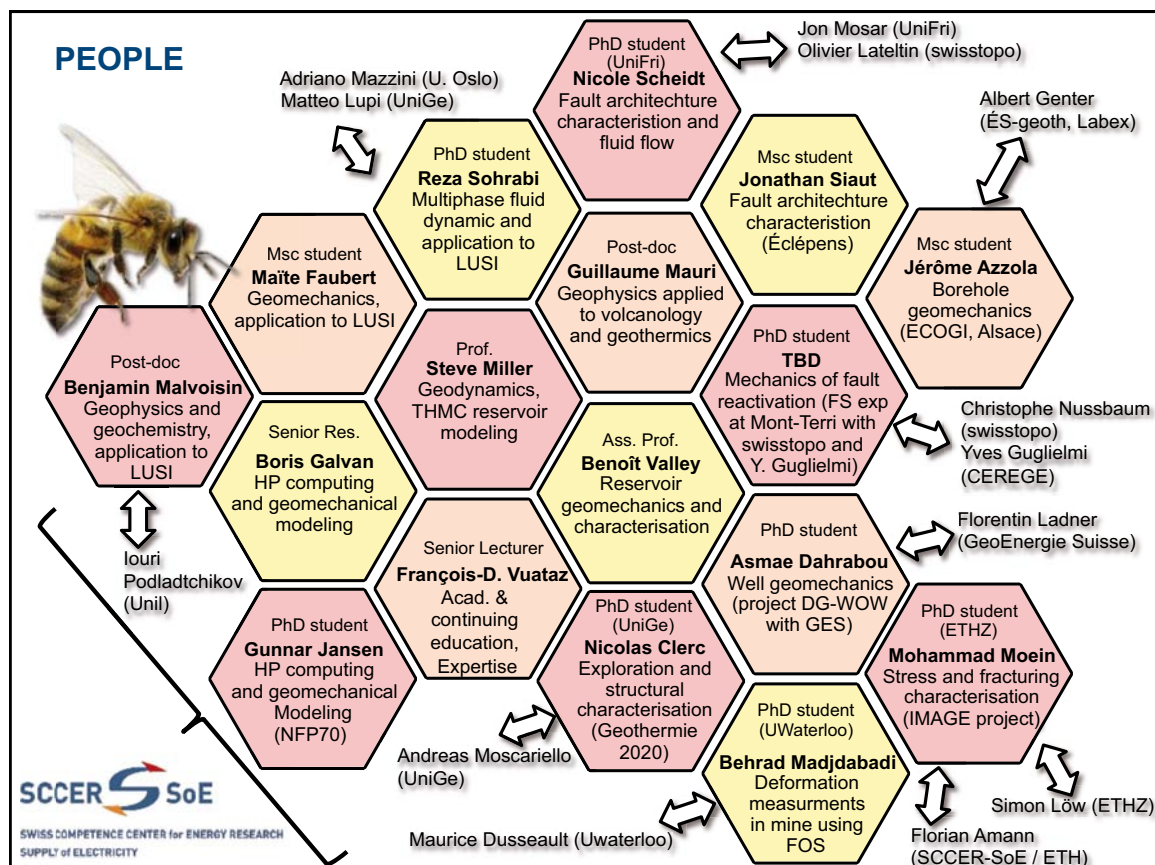
Module 2: Geo- and hydrochemistry

Module 3: Drilling and logging

Module 4: Reservoir evaluation and production



Journée romande de la géothermie



THANKS FOR YOUR ATTENTION

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT





JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24 novembre 2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur

Projets concrets d'exploration et d'exploitation par forages

Valorisation de l'énergie thermique produite et de l'eau captée

Gabriele Bianchetti, hydrogéologue

Directeur d'ALPGEO Sàrl, Sierre



1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage

2. Stratégies pour optimiser le coût des forages de 400 à 1'000 m

3. Cas concrets de réalisations et projets à coûts réduits

4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles

5. Conclusions et recommandations

1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage

2. Stratégies pour optimiser le coût des forages de 400 à 1'000 m

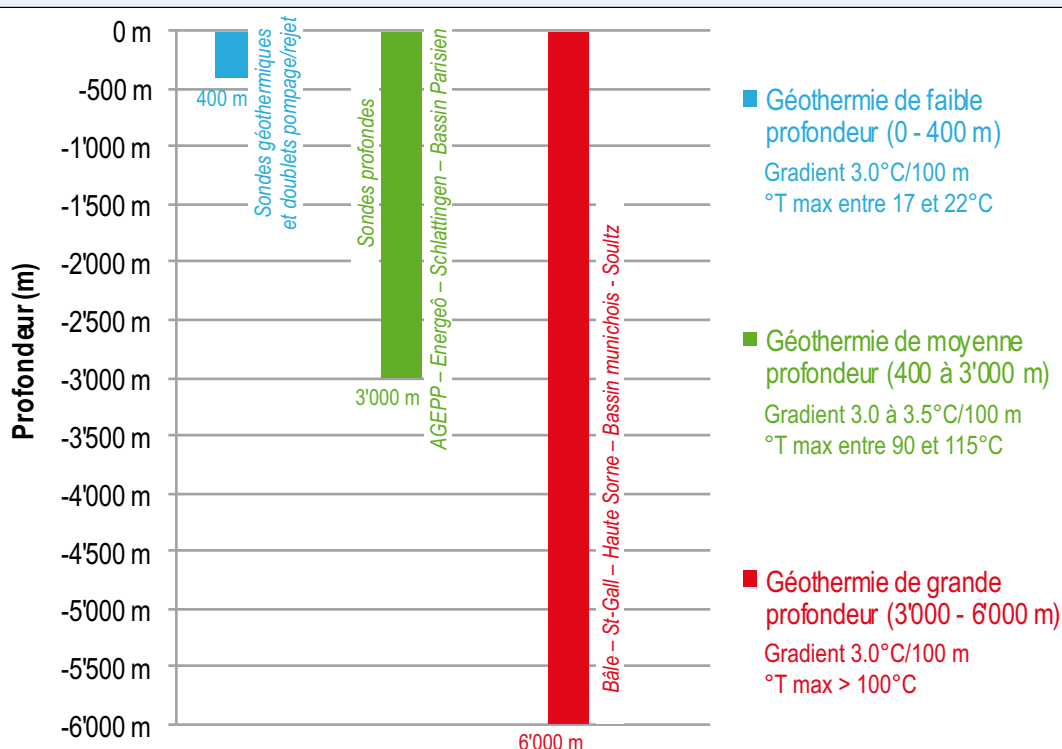
3. Cas concrets de réalisations et projets à coûts réduits

4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles

5. Conclusions et recommandations

Définition des divers types de géothermie en fonction de la profondeur

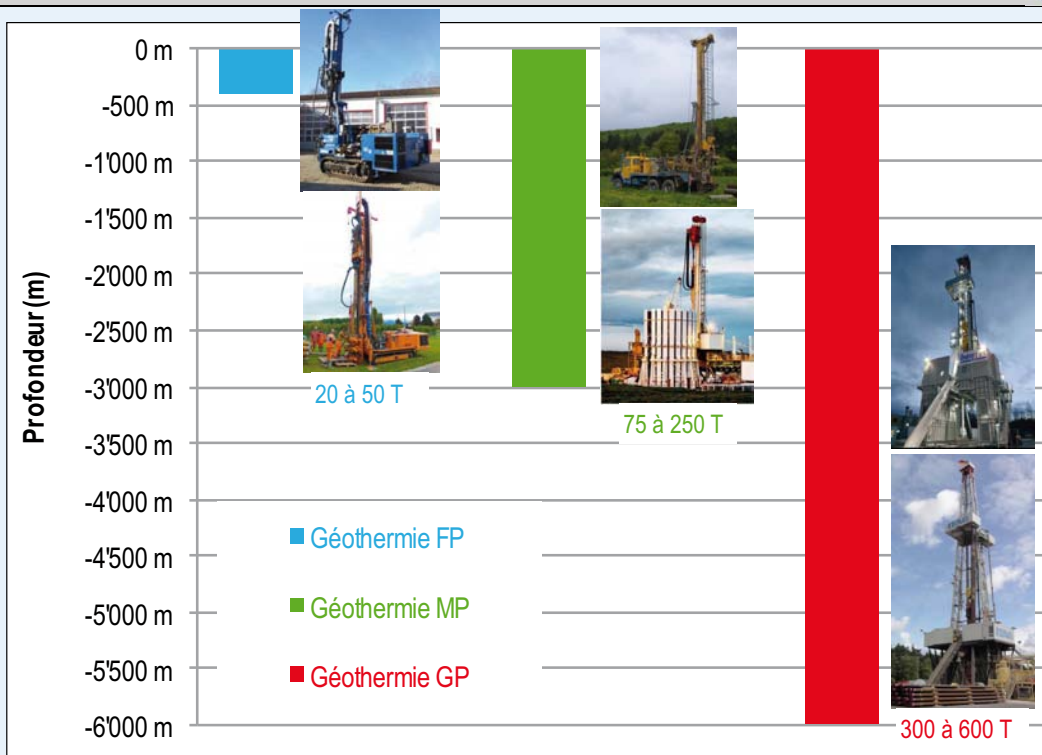
1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage



Types de géothermie et machines de forage



1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage



JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

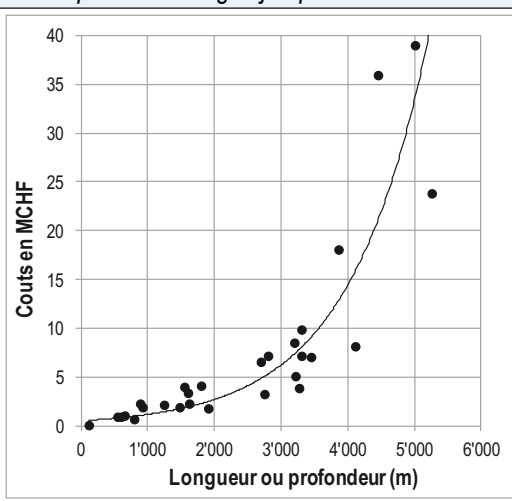
5

Coûts de forage

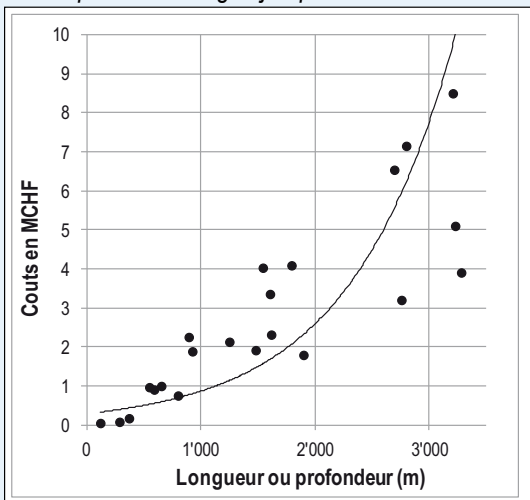


1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage

Coûts pour des forages jusqu'à 5'500 m



Coûts pour des forages jusqu'à ~3'000 m



JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

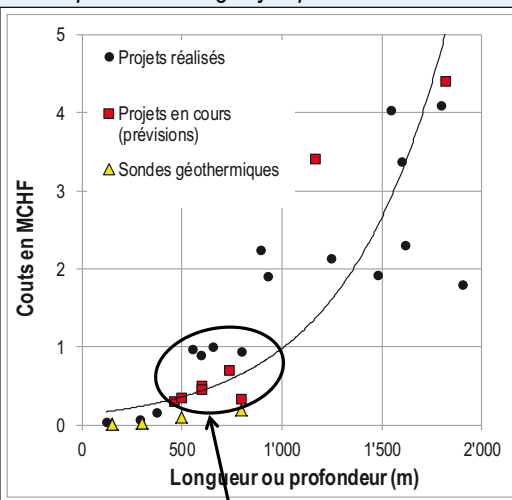
6

Coûts de forage et optimisation possible pour des profondeurs < 1'000 m



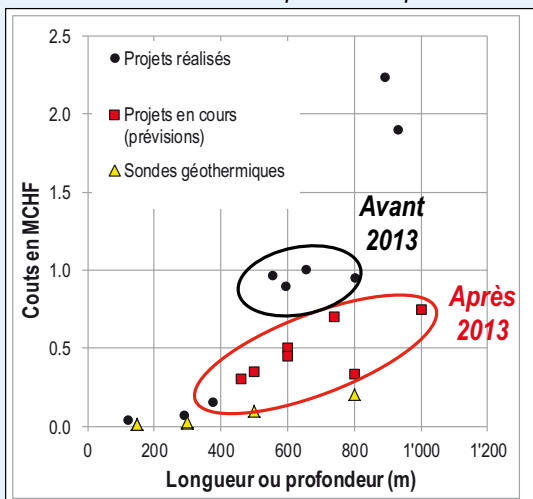
1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage

Coûts pour des forages jusqu'à ~2'000 m



Optimisation recherchée des coûts pour les forages de 400 à 1'000 m

Coûts en Suisse pour des forages de moins de 1'000 m et optimisation possible



1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage

2. Stratégies pour optimiser le coût des forages de 400 à 1'000 m

3. Cas concrets de réalisations et projets à coûts réduits

4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles

5. Conclusions et recommandations

Optimisation de la stratégie de forage pour réduire les coûts



2. Stratégie pour optimiser les coûts des forages de 400 à 1'000 m

Idéalement :

- Mode de perforation utilisé pour mettre en place des sondes géothermiques (coûts de 70 à 100 Fr./m)
- Forage de reconnaissance destructif avec mise en place d'un minimum de casings pour atteindre l'aquifère profond et en tester grossièrement la productivité



Concrètement :

- Perforation en destructif au MFT avec casing dans les terrains meubles et le toit du rocher. Diamètre du casing permettant si nécessaire la mise en place d'un chambre de pompe de 7". Le plus souvent, une profondeur de 100 m est suffisante
- Perforation du rocher peu aquifère au MFT-libre, puis au tricône à la boue
- Dès apparition de l'aquifère, poursuite de la perforation au tricône à l'eau, trou nu
- Diagraphies et tests de productivité pour décider l'équipement du forage en puits

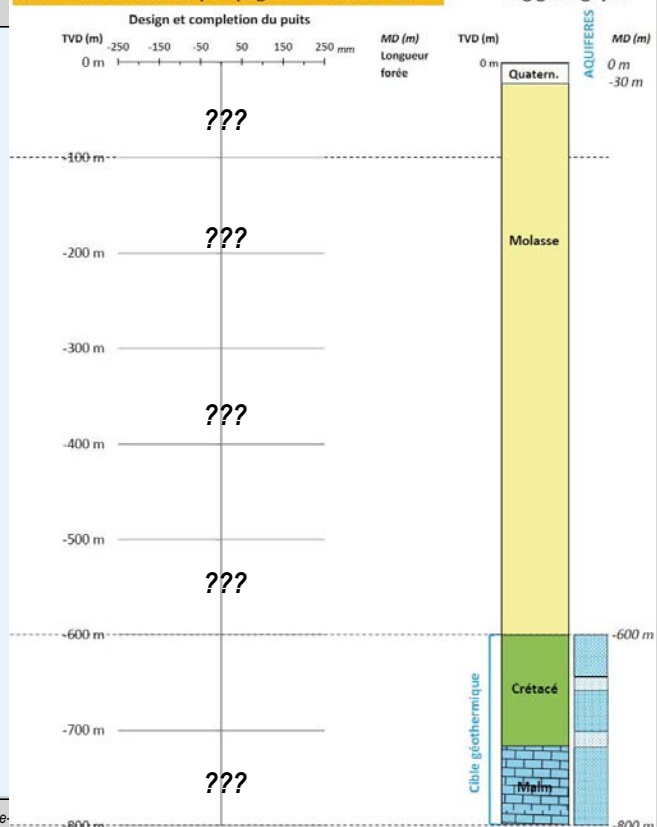
Stratégie de perforation

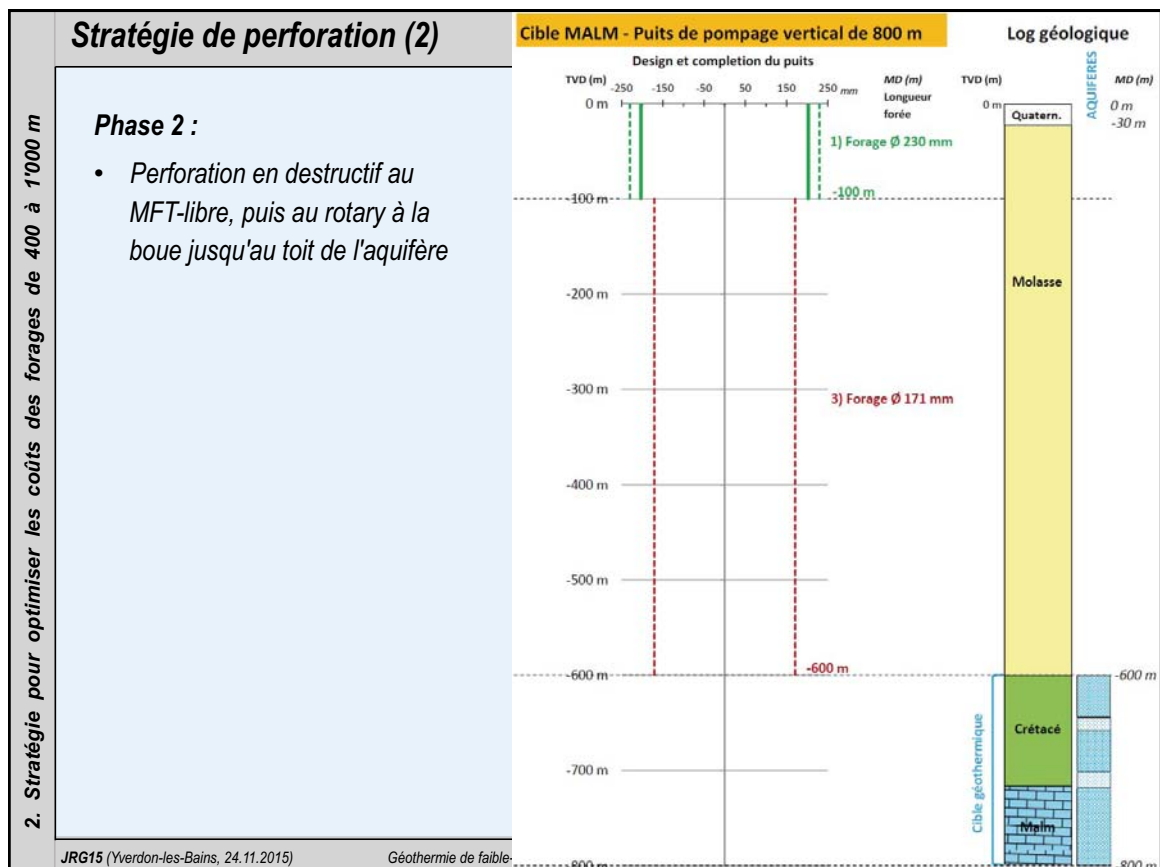
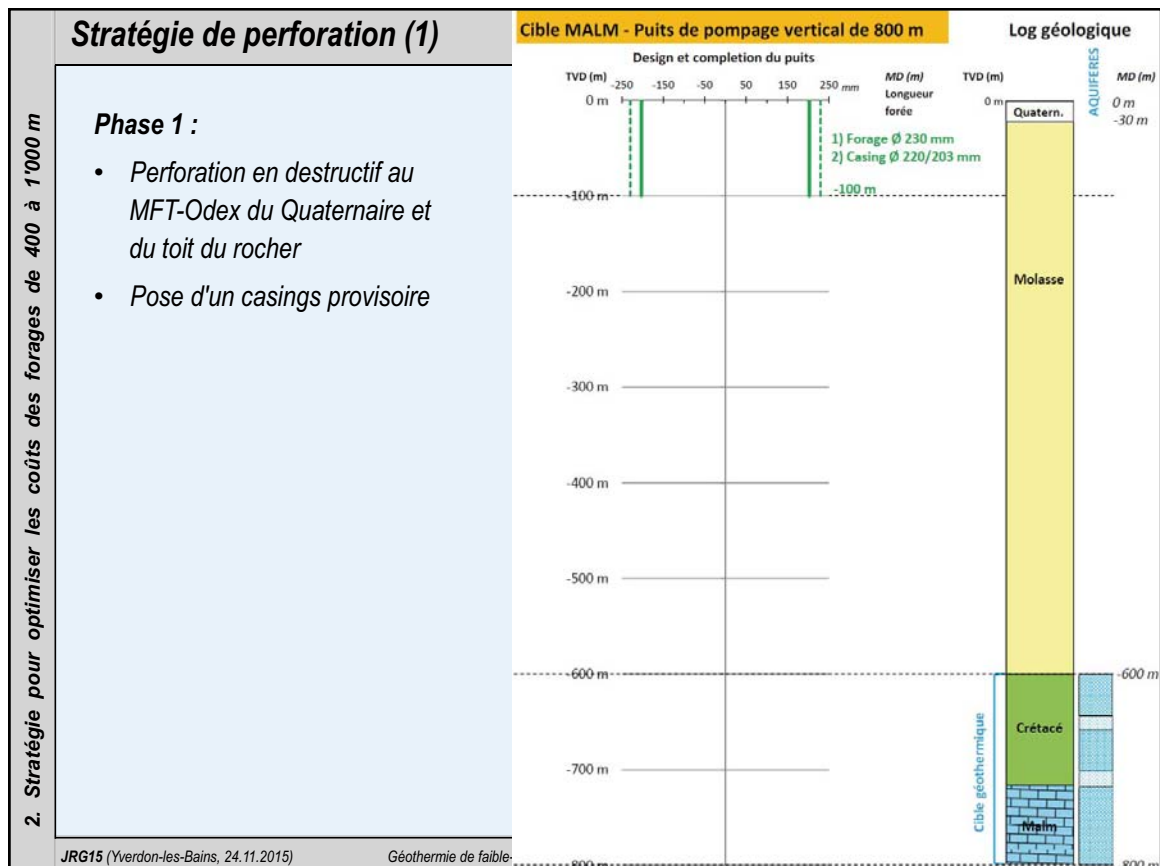
2. Stratégie pour optimiser les coûts des forages de 400 à 1'000 m

Aquifères au pied du Jura :

- Tronçon peu aquifère : Quaternaire et Molasse
- Aquifères potentiels : roches carbonatées fissurées et/ou karstifiées du soubassement rocheux mésozoïque (Urgonien, Valanginien, Berriasien, Malm, etc.)

Cible MALM - Puits de pompage vertical de 800 m

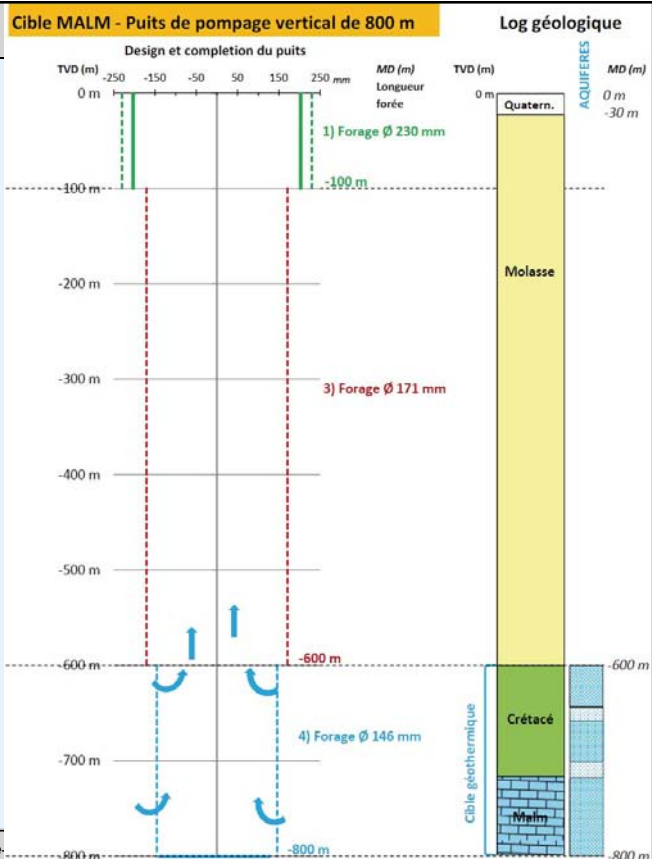




2. Stratégie pour optimiser les coûts des forages de 400 à 1'000 m

- *Perforation au rotary à l'eau du massif rocheux aquifère*
- *Premières indications concernant la productivité et les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines*

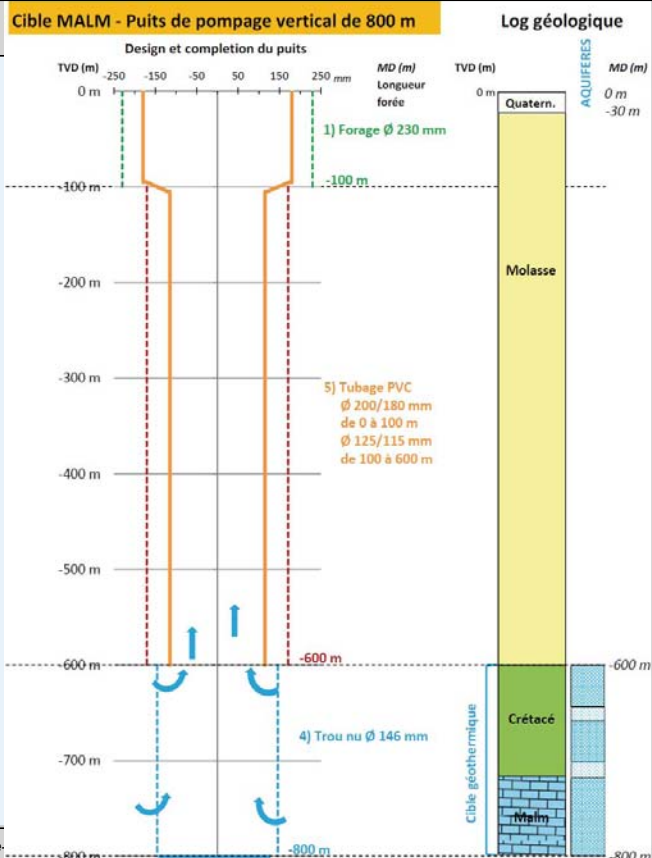
Géothermie de faible-



2. Stratégie pour optimiser les coûts des forages de 400 à 1'000 m

- Tubage et cimentation du tronçon dans le rocher improductif
- Equipement du forage avec une chambre de pompage jusqu'à la base du casings provisoire
- Retrait du casing provisoire
- Le tronçon aquifère est laissé en trou nu
- Profils de température et diagraphies, développement du forage à l'air-lift, essais de pompage

Géothermie de faible-



Chantier pour forage profond jusqu'à 1'000 m



2. Stratégie pour optimiser les coûts des forages de 400 à 1'000 m



JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

15



1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage

2. Stratégies pour optimiser le coût des forages de 400 à 1'000 m

3. Cas concrets de réalisations et projets à coûts réduits

4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles

5. Conclusions et recommandations

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

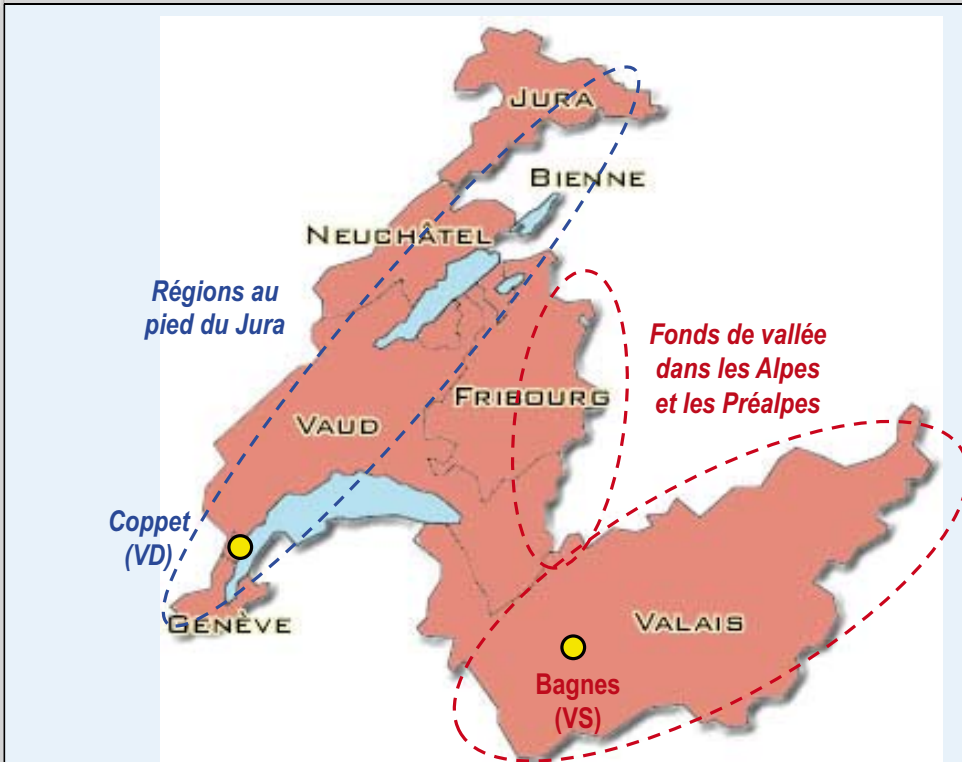
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

16

Localisation des projets de géothermie présentés



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

17

Bagnes : projet de chauffage à distance avec Bains thermaux



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits

Chauffage à distance et centre thermal alimentés par la géothermie ?



Situation actuelle et projets en cours :

- Bâtiments du Châble chauffés au mazout et à l'électricité
- Projet de nouveau quartier dans la zone de la gare
- Solution envisagée : CAD alimenté par centrale à bois
- Salle polyvalente St-Marc (~70 kW_{th})
- Solution mise en place : PAC sur géothermie (10 sondes x 150 m)
- Anomalie thermique dans les alluvions, eaux à 16-18°C



Proposition :

- Forages de reconnaissance dans le cadre des sondes St-Marc
- valorisation de la chaleur des eaux souterraines

Solution proposée suite aux forages de reconnaissance :

- Mise en place d'un puits profond ~450 m pour exploiter les eaux thermales jaillissantes provenant du soubassement rocheux

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

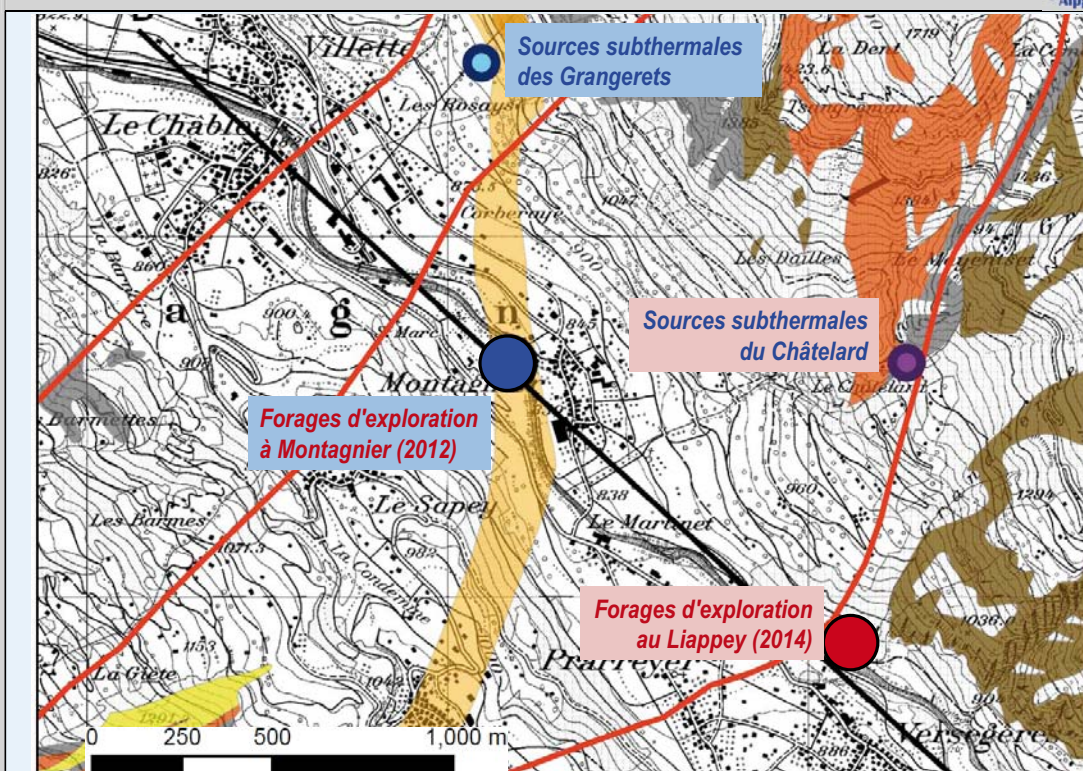
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

18

Bagnes : aquifères profonds au Châble et localisation



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

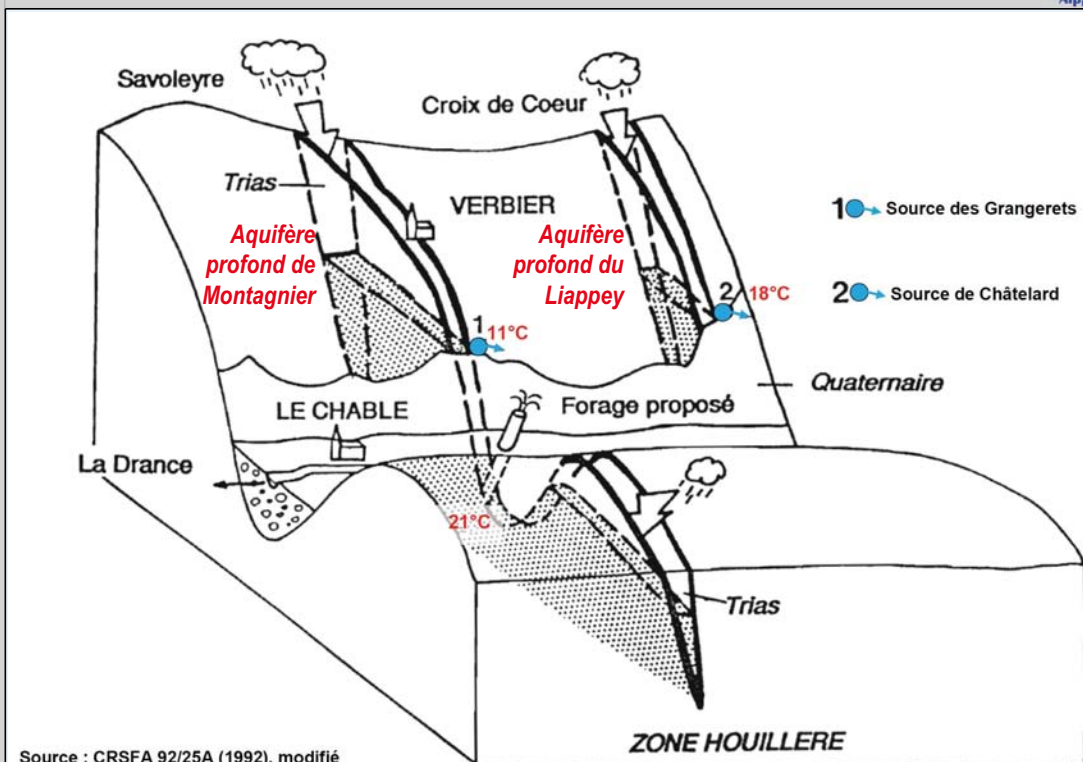
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

19

Bagnes : schéma conceptuel des écoulements profonds



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



Source : CRSFA 92/25A (1992), modifié

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

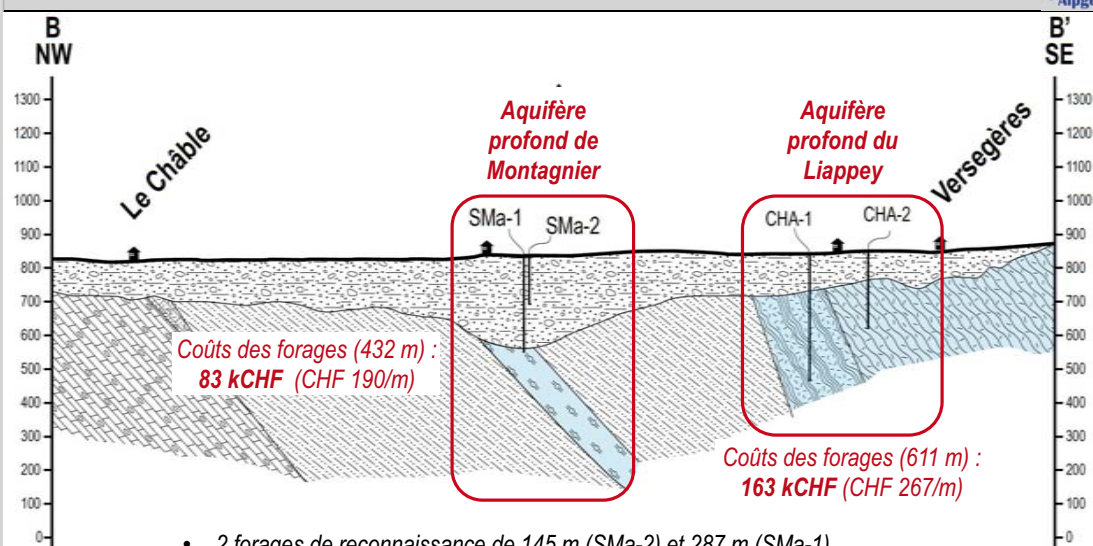
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

20

Bagnes : aquifères profonds et cibles géothermiques investiguées



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



- 2 forages de reconnaissance de 145 m (Sma-2) et 287 m (Sma-1)
- Forage de 145 m dans le Quaternaire, improductif, équipé avec sonde géothermique
- Forage de 287 m équipé avec tube PVC de 3", eau jaillissante avec > 5 bars
- **Débit de 340 l/min**, température de l'eau de **16.4°C** en tête de puits
- 18.5°C au fond du forage SMA-1 (-287 m), **gradient thermique élevé**
- Minéralisation élevée de l'eau (5 g/l), compatibilité avec une valorisation par PAC ?

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

21

Bagnes : profils thermiques

3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits

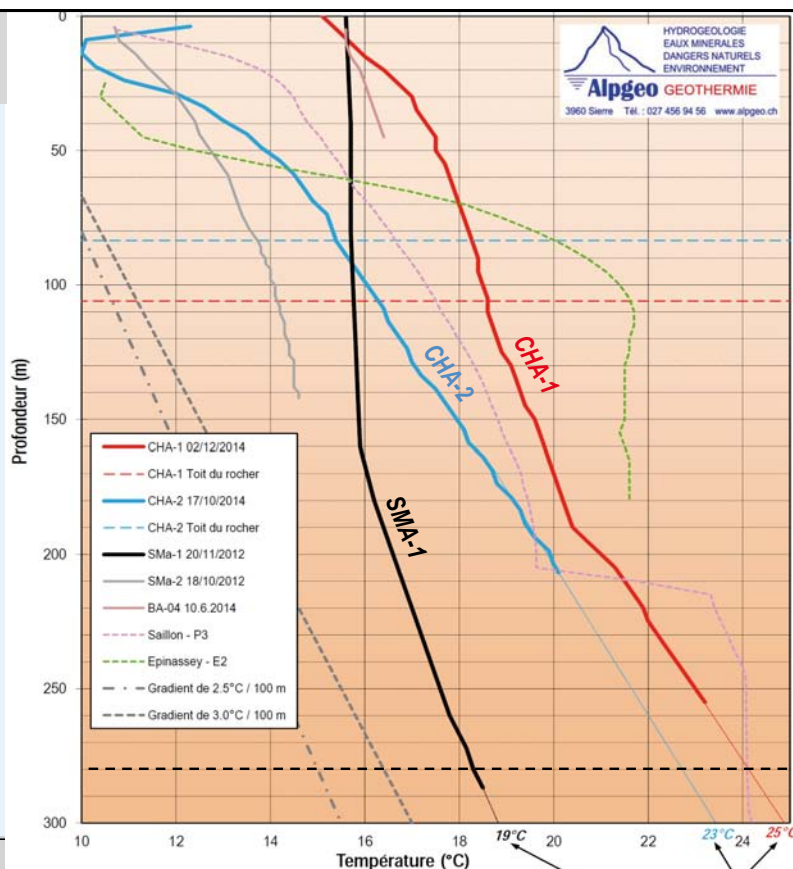
Températures à -300 m :

19°C au SMA-1

23°C au CHA-2

25°C au CHA-1

Température mesurée de
27°C au fond du forage
CHA-1 (375 m)

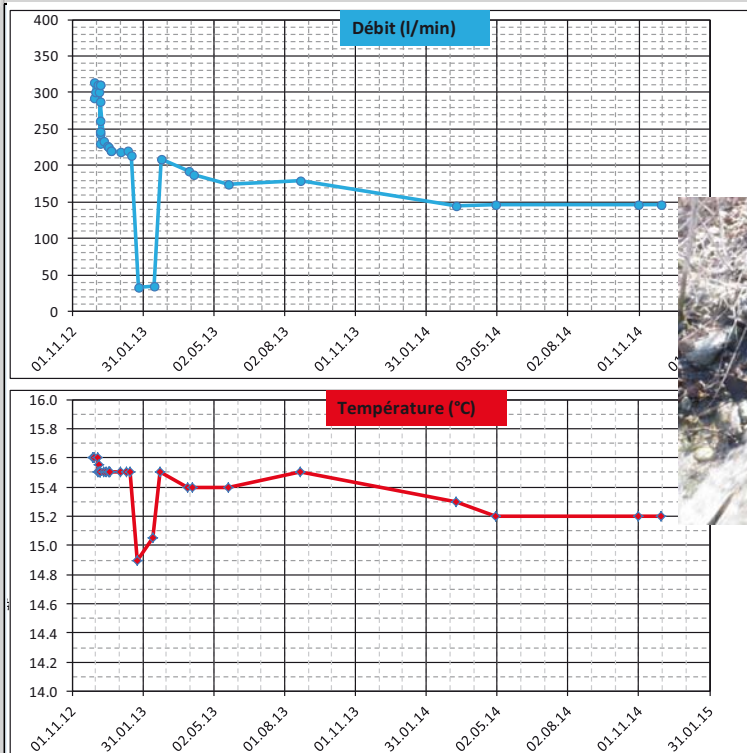


JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Bagnes : suivi hydrogéologique du forage jaillissant SMA-1



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



Débit constant de 150 l/min
Température de 15.2°C
Puits non exploitable

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

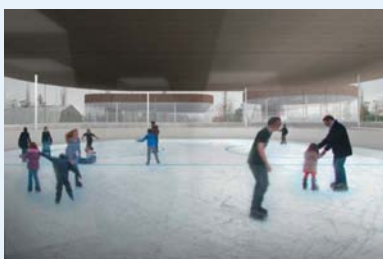
23

Coppet : projet de piscine et patinoire de Terre Sainte



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits

Chauffage et refroidissement grâce à la géothermie ?



Situation actuelle et projets en cours :

- Collège chauffé au mazout (~1'200 kW_{th})
- Projet de quartier d'habitations à proximité du collège
- Solution envisagée : CAD alimenté par centrale à pellets + mazout
- Projet de piscine (~200 kW_{th}) et patinoire (~220 kW_{th})
- Solution envisagée : PAC sur géothermie (27 sondes x 220 m)
- En hiver : besoins simultanés en chaud et froid

Proposition :

- approfondir la 1ère sonde jusqu'à 600-800 m
- valorisation de la chaleur des eaux souterraines

Solution envisagée :

- Projet de puits profond ~800 m pour vérifier la présence d'eaux thermales en pression dans les calcaires fissurés sous la Molasse

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

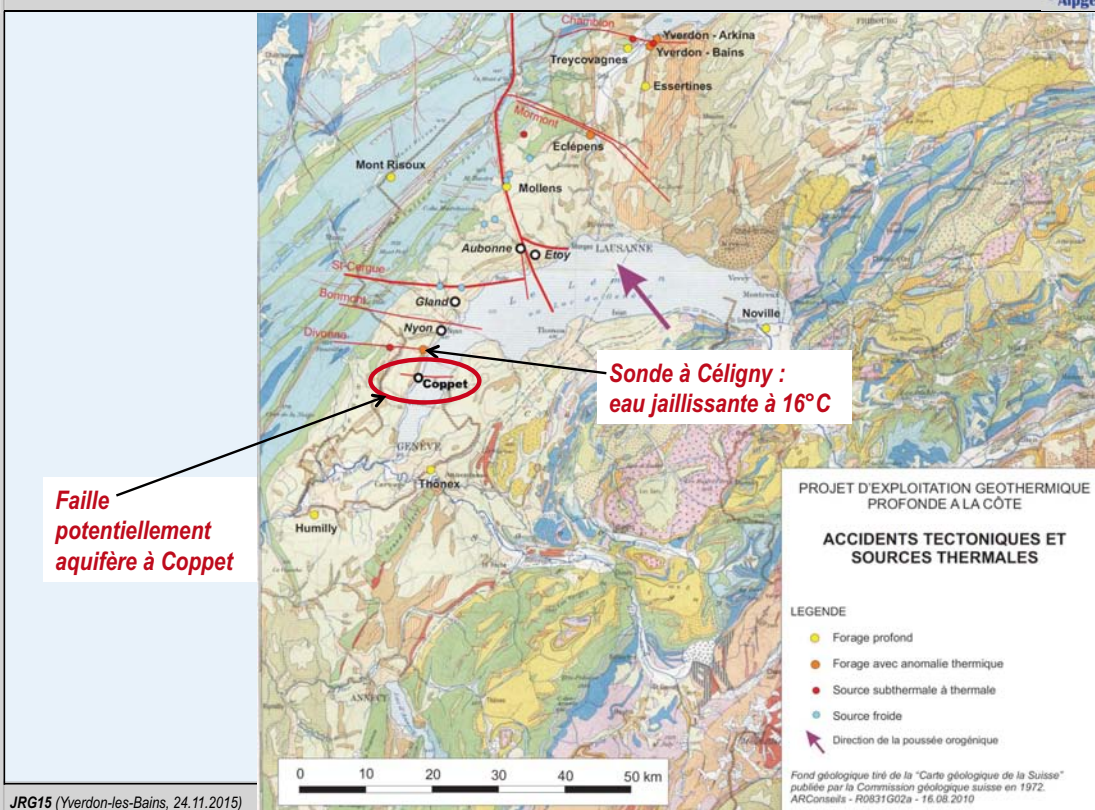
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

24

Coppet : failles régionales potentiellement aquifères du Jura



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits

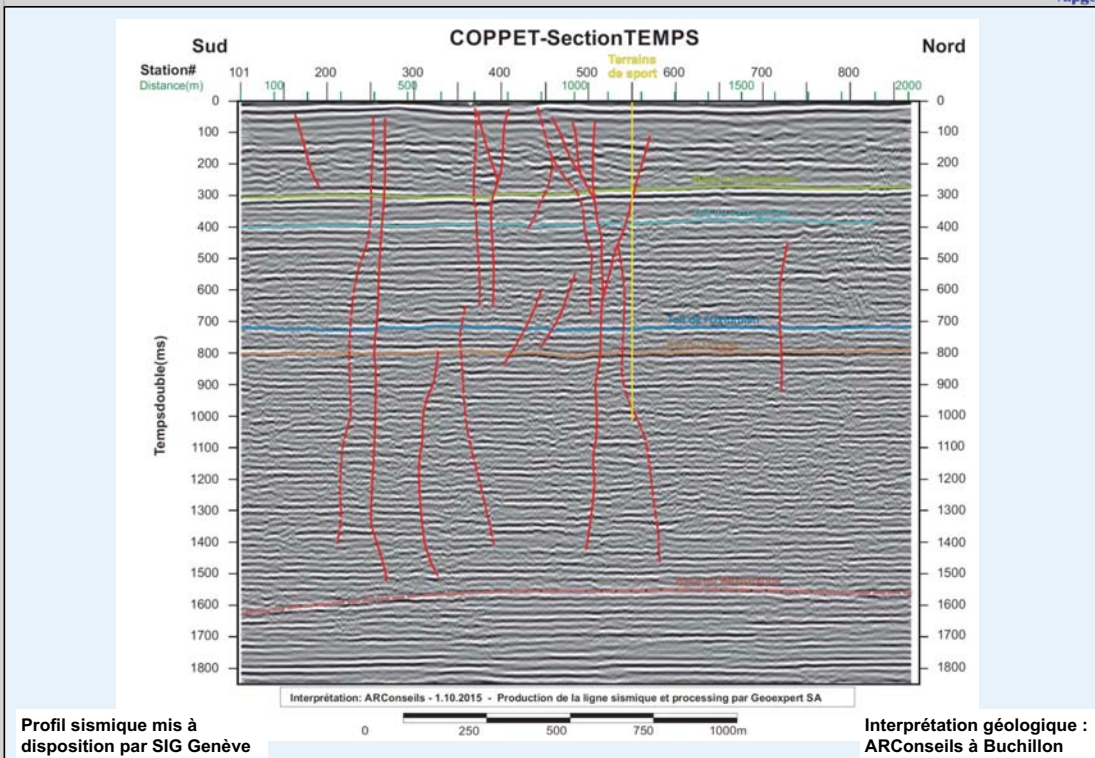


JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Coppet : ligne sismique interprétée et tracé des failles



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

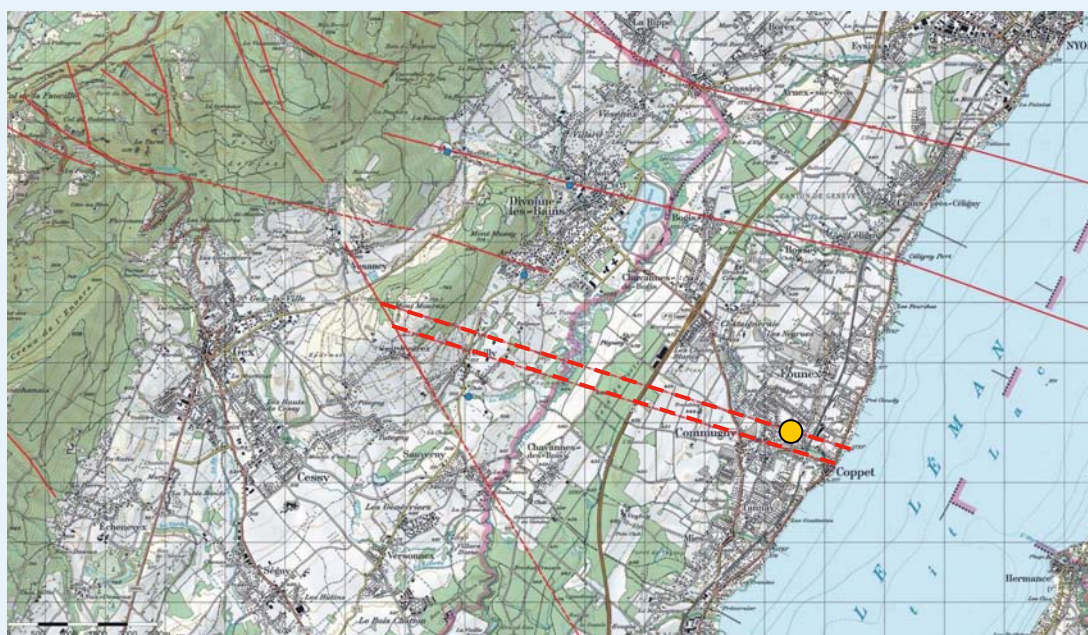
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

26

Coppet : failles mises en évidence par la ligne sismique



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



Confirmation de failles profondes passant par le site du collège de Coppet

Document élaboré par :
ARConseils à Buchillon

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

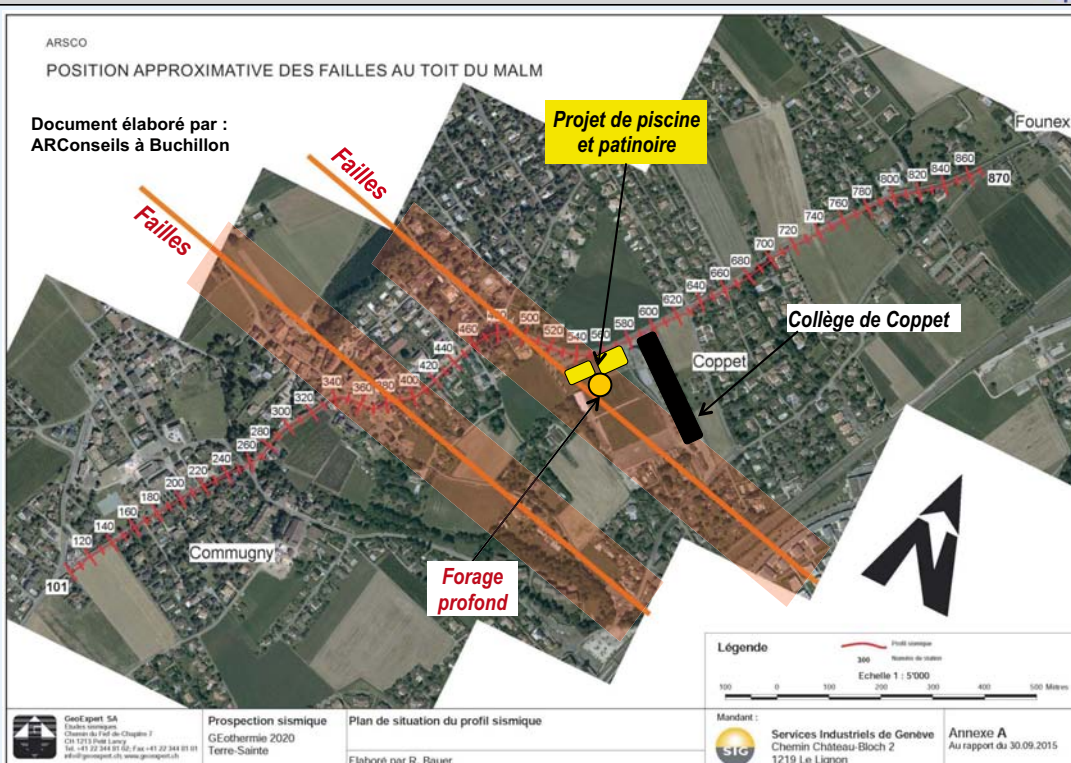
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

27

Coppet : failles et implantation du forage profond



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



Document élaboré par :
ARConseils à Buchillon

Geotopik SA
Chemin de la Vallée de Chippin 7
CH-1213 Chippin-Lancy
Tel: +41 22 344 81 60 Fax: +41 22 344 81 61
info@geotopik.ch www.geotopik.ch

Prospection sismique
Géothermie 2020
Terre-Sainte

Plan de situation du profil sismique
Elaboré par R. Bauer

Légende
Profil sismique
3000
Niveau de roches
Echelle 1 : 5'000
0 100 200 300 400 500 Mètres

Mandant :
Services Industriels de Genève
Chemin Châteaubleu 2
1219 Le Lignon

Annexe A
Au rapport du 30.09.2015

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

28

Coppet : modèle conceptuel des circulations d'eaux profondes



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits

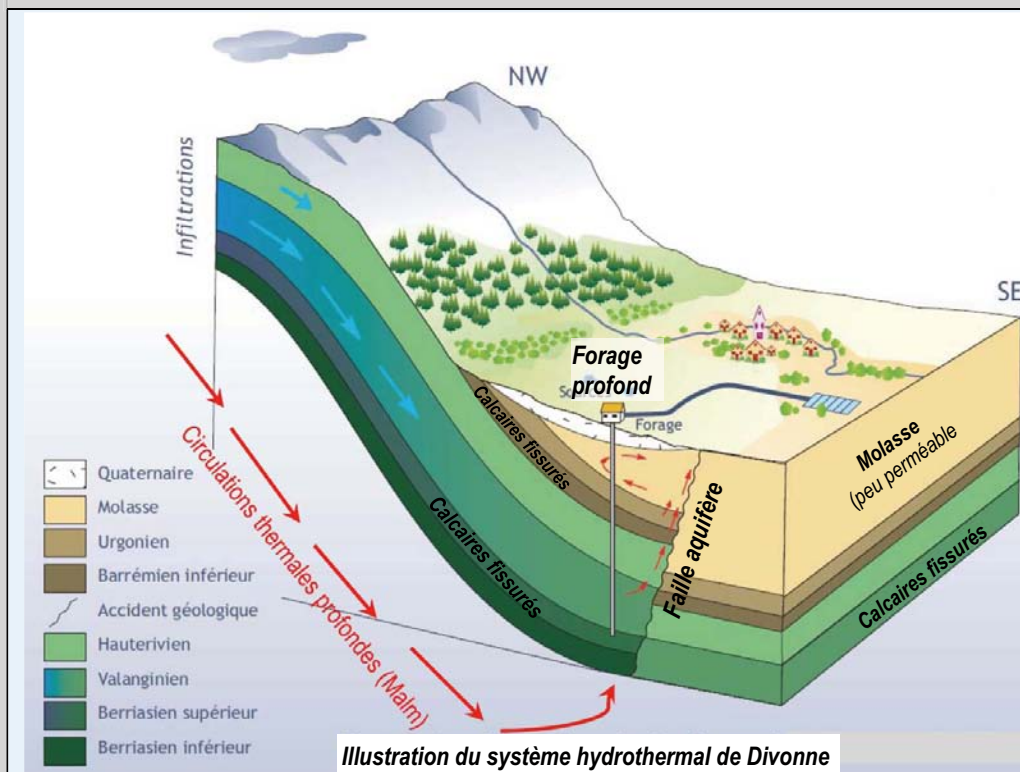


Illustration du système hydrothermal de Divonne

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

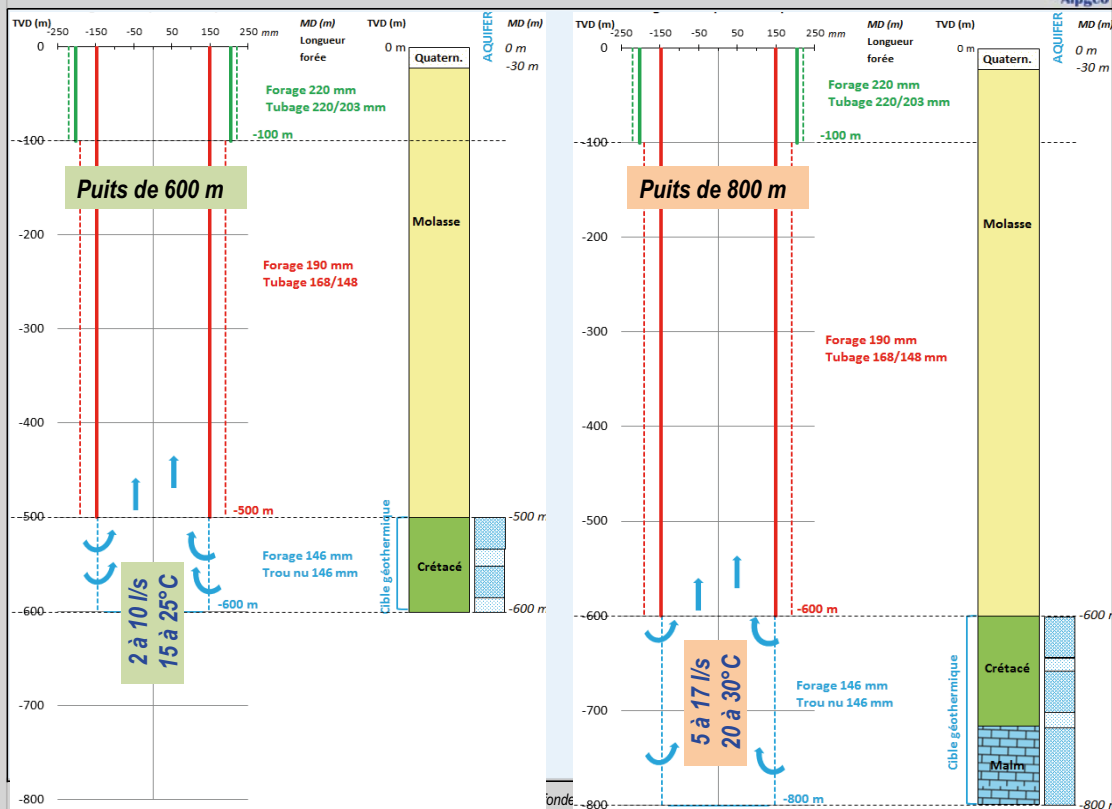
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

29

Coppet : design du forage (options à 600 m et 800 m de profondeur)



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits



Coppet : scénarios financiers en cas de succès du puits profond



3. Cas concrets de réalisations et de projets à coûts réduits

PUITS PROFOND PRODUCTIF	Forage 600 m	Forage 800 m	Champs de sondes	Remarques
Coûts à risque pour perforation forage profond (TTC)	106'855.-	155'045.-	0.-	
Équipement final du puits et essais de pompage (TTC)	144'045.-	169'187.-	0.-	
Coût total géothermie (TTC)	250'900.-	324'232.-	420'394.-	
Prime de risque pour entreprise de forage (TTC)	32'057.-	46'514.-	0.-	Prime de 30% pour prise de risques de l'entreprise + perte financière sur champs de sondes prévu
Coût final géothermie (TTC)	282'957.-	370'746.-	420'394.-	Economie globale : entre CHF 50'000 et CHF 137'000 !!!
Débit minimum du puits	118 l/min	95 l/min	0 l/min	
Puissance thermique minimale (avec PAC)	220 kW	220 kW	220 kW	
Investissement maximal par kW	1'286.-	1'685.-	1'911.-	
Débit maximum du puits	600 l/min	1000 l/min	0 l/min	
Puissance thermique maximale (avec PAC)	558 kW	1'396 kW	220 kW	
Investissement maximal par kW	507.-	266.-	1'911.-	

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

31



1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage

2. Stratégies pour optimiser le coût des forages de 400 à 1'000 m

3. Cas concrets de réalisations et projets à coûts réduits

4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles

5. Conclusions et recommandations

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

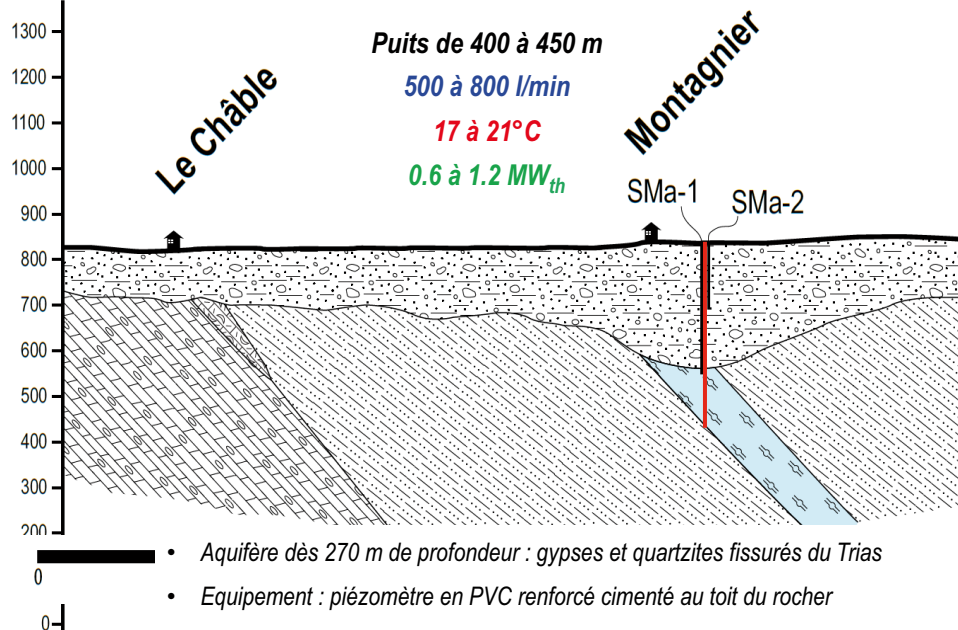
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

32

Bagnes : futur puits de pompage au Châble et résultats attendus



4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles



- Aquifère dès 270 m de profondeur : gypses et quartzites fissurés du Trias
- Equipement : piézomètre en PVC renforcé cimenté au toit du rocher
- Si débit jaillissant, exploitation du puits sans pompage
- Sinon pompe immergée installée à une profondeur de 80 à 100 m
- Investissements total estimé ($\pm 20\%$) : **240 à 320 kCHF**

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

33

Bagnes : emplacement idéal pour un centre thermal



4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles



Le Châble : emplacement centralisé, synergie avec parkings existants

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

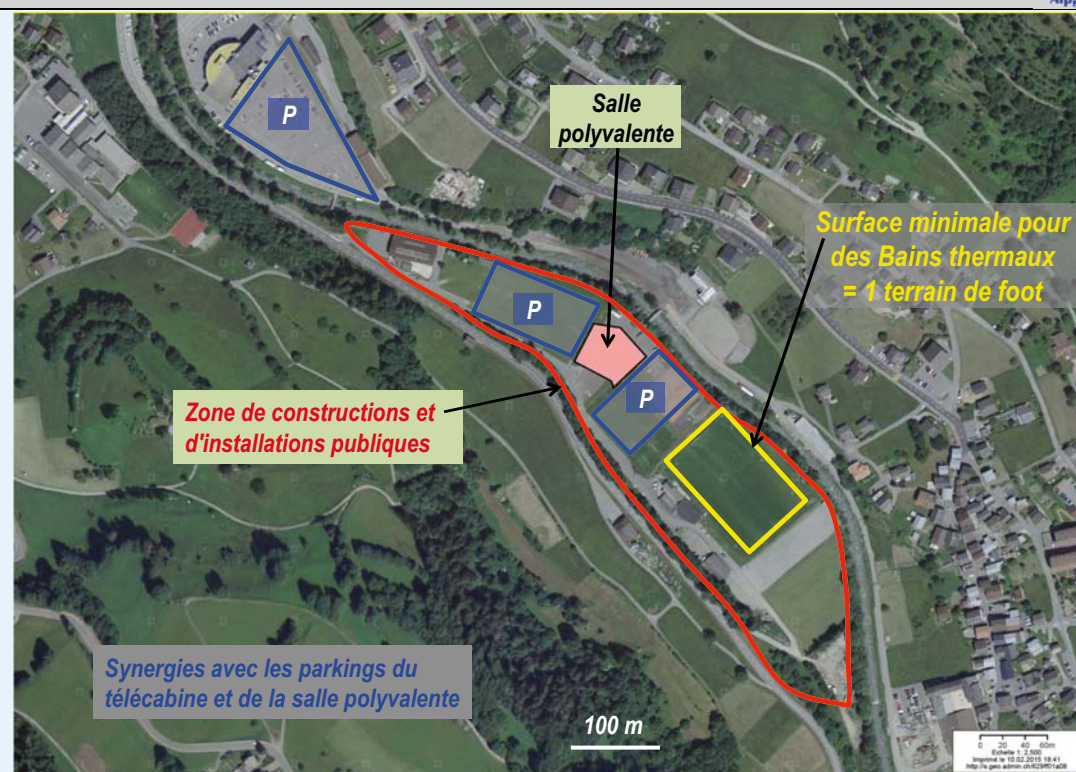
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

34

Bagnes : emplacement idéal pour un centre thermal et synergies



4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles



JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

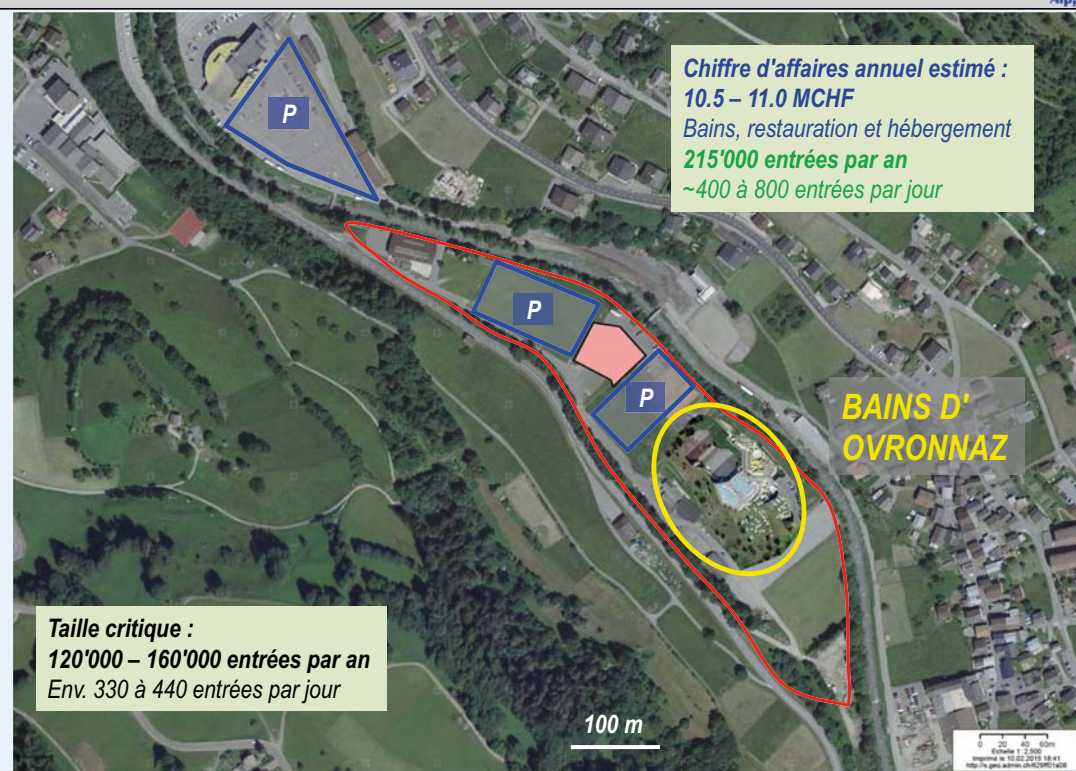
Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

35

Bagnes : gabarit des Bains d'Ovronnaz positionné au Châble



4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles



JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

36

Coppet : puissances de chauffage attendues et comparaisons



4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles

OPTION A : Champs de sondes (27 x 220 m) CHF 420'394 TTC

OPTION B : Futur puits de production de 4 1/2" et profond de 600 m CHF 251'000 TTC

OPTION C : Futur puits de production de 4 1/2" et profond de 800 m CHF 324'000 TTC

		Débit [l/mn]	Débit [l/s]	Pompe immergée	Diam. min crépines	°T eau [°C]	ΔT [°C]	P géotherm. [kW]	P installée [kW]	Equivalents logements
A)	Champs de sondes							165	220	42
Crétacé	B1) 1 puits 600 m (worst case)	236	3.9	4"	115 mm	15.0	10	165	220	42
	B2) 1 puits 600 m (worst case)	118	2.0	4"	115 mm	25.0	20	165	220	42
	B3) 1 puits 600 m (best case)	600	10.0	6"	176 mm	15.0	10	419	558	106
	B4) 1 puits 600 m (best case)	300	5.0	4"	115 mm	25.0	20	419	558	106
Malm	C1) 1 puits 800 m (worst case)	158	2.6	4"	115 mm	20.0	15	165	220	42
	C2) 1 puits 800 m (worst case)	95	1.6	4"	115 mm	30.0	25	165	220	42
	C3) 1 puits 800 m (best case)	1'000	16.7	6"	176 mm	20.0	15	1'047	1'396	265
	C4) 1 puits 800 m (best case)	600	10.0	6"	176 mm	30.0	25	1'047	1'396	265

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

37

Coppet : qualité chimique probable des eaux souterraines



4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles



Similitudes avec l'eau minérale d'Arkina exploitée à Yverdon-les-Bains :

- Hydrogène sulfuré H_2S : éliminé par aération
- Sodium : 6 mg/l
- Magnésium : 22 mg/l
- Calcium : 40 mg/l
- Fluorures : 1.2 mg/l
- Chlorures : 2.8 mg/l
- Nitrates : < 0.1 mg/l
- Hydrocarbonates : 239 mg/l
- Sulfates : 13 mg/l
- Minéralisation totale : env. 325 mg/l

→ **Rejet possible dans un cours d'eau**, à condition d'avoir une température < 30° et de ne pas modifier la température du cours d'eau récepteur de >3°

→ **Eau potable pour approvisionnement**, faibles teneurs en nitrates, valeurs de fluor idéales pour la prophylaxie des caries

JRG15 (Yverdon-les-Bains, 24.11.2015)

Géothermie de faible-moyenne profondeur : cas concrets de projets et de valorisation de l'énergie thermique

38

Coppet : scénarios pour optimiser la valorisation de l'eau captée



1) Scénario de base

1a) Valorisation thermique pour production de chaud

1b) Valorisation thermique pour production de chaud et froid (synergies en hiver)

→ **Rejet total des eaux dans le canal du Grenier**

2) Scénario "optimisation eau de baignade"

2a) Valorisation thermique + remplissage des bassins (>800 m³)

2b) Valorisation thermique + remplissage bassins + renouvellement de l'eau de baignade

→ **Rejet partiel des eaux dans le canal du Grenier**

→ **Valeur de l'eau : 1'600 m³ + 52'560 m³ (100 l/min) = 54'000 m³/an = env. CHF 60'000 par an**

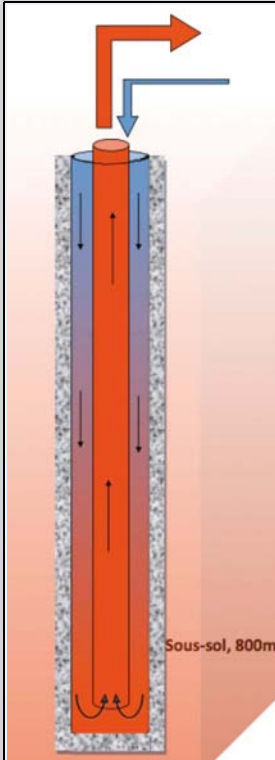
3) Scénario "optimisation eau potable" (tarif actuel : CHF 1.10 par m³)

3a) Valorisation thermique + remplissage bassins et renouvellement + alimentation du réseau d'eau potable (via le réseau du puits Marie à Commugny distant de 800 m)

→ **Aucun rejet des eaux**

→ **Valeur de l'eau : 120 à 1'000 l/min = 63'000 à 525'000 m³/an = CHF 69'300 à 570'000 par an**

Coppet : plan B en cas de forage profond improductif



Projet pilote de sonde coaxiale profonde

- Idée : utiliser le forage profond de Coppet pour tester le concept

Coûts pour une sonde coaxiale de 800 m et installation

- Energie thermique produite : ~60 à 80 kW ?
- Métrage équivalent si champs de sondes : ~2'000 m
- Coûts équivalents si champs de sondes : ~CHF 250'000
- Coûts réels pour sonde coaxiale de 800 m : ~CHF 200'000

1. Types de géothermie, installations de perforation et coûts de forage

2. Stratégies pour optimiser le coût des forages de 400 à 1'000 m

3. Cas concrets de réalisations et projets à coûts réduits

4. Valorisation de l'énergie thermique et synergies possibles

5. Conclusions et recommandations

Conclusions et recommandations

- Depuis quelques années, les coûts de prospection par forage et la mise en place d'un puits de pompage ont pu être **réduits de 30 à 50%** dans la gamme de profondeurs entre 400 et 1'000 m
- Une **stratégie de perforation adéquate** permet d'atteindre et de tester les aquifères profonds avec des coûts réduits
- En cas de succès et en fonction des débits d'exploitation, les puissances thermiques peuvent **dépasser 1 MWth**
- Normalement, la valorisation de la chaleur nécessite l'utilisation de PAC. Toutefois, si la température de l'eau est $> 24^{\circ}\text{C}$, il est possible d'envisager un **chauffage direct des bâtiments durant l'entre saison**
- Des synergies sont possibles pour **améliorer la rentabilité des projets de géothermie de faible-moyenne profondeur** (centre thermique, approvisionnement en eau potable, valorisation en cascade des rejets thermiques, production simultanée de chaud et de froid, etc.)
- En cas d'échec (débits insuffisants), il est possible de valoriser le forage de reconnaissance par la mise en place d'une **sonde coaxiale profonde**

Pour les recommandations, nous nous tenons à votre disposition pour un conseil avisé

*"Lorsqu'on rêve tout seul, ce n'est qu'un rêve alors
que lorsqu'on rêve à plusieurs c'est déjà une réalité"
(Elder Camara).*

*Nous vous remercions
pour l'attention!*

Futurs bains thermaux à Bagnes (décembre 2019 ?)



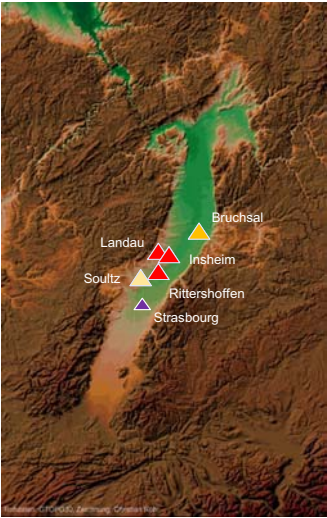
Des questions?



Projets industriels dans le fossé du Rhin



Landau 3MWe + chauffage urbain





Insheim 4.8MWe



Soultz 2.2 MWe



Rittershoffen 24MWe



Le projet ECOGI – aspects hydrothermiques

(Publication geothermics à venir)



Le projet ECOGI

ECOGI: Exploitation de la Chaleur d'Origine Géothermique pour l'Industrie

Joint venture: ES Groupe (40%), Roquette Frères (40%), Caisses dépôts (20%)



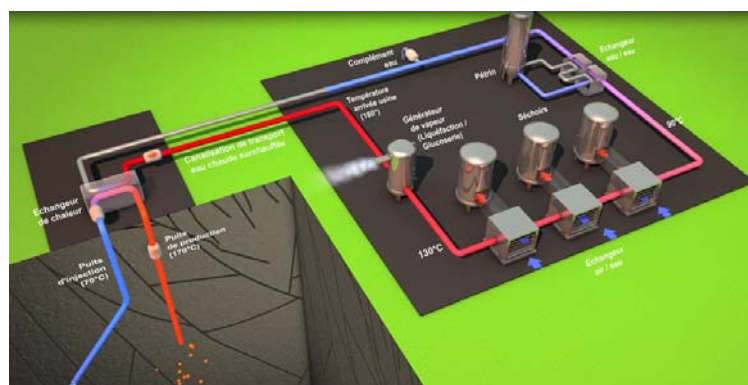
55M€ Investissement total
25M€ Fonds Chaleur



~ 100MWth

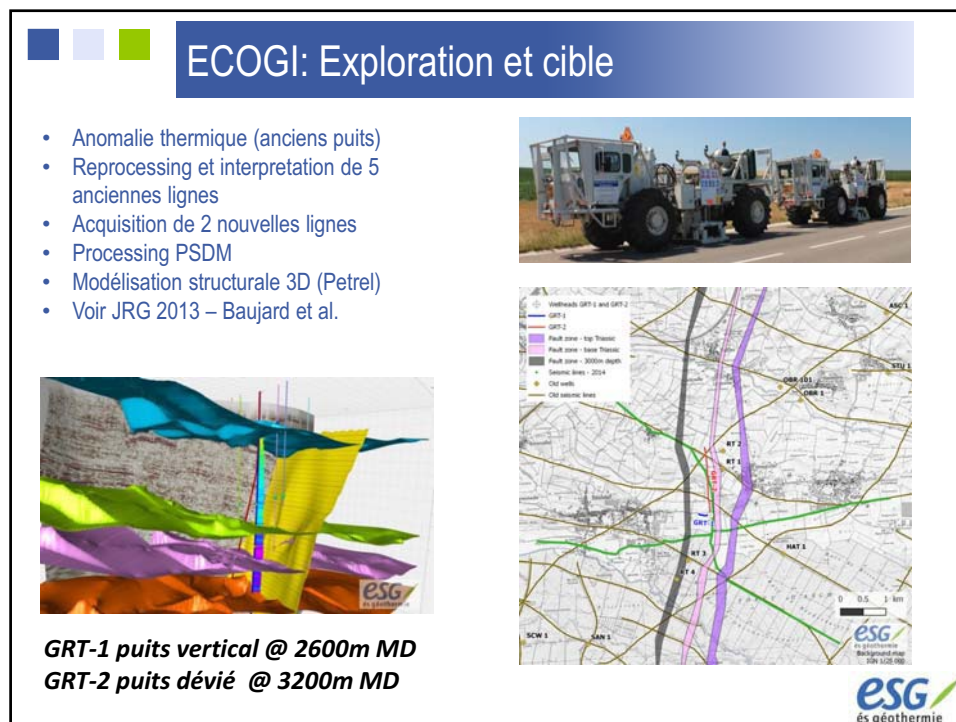


Concept



Triple utilisation de la chaleur







Forages



GRT-2 : Cofor HH300



GRT-1 : Cofor MAS 8000



Développement de GRT-1

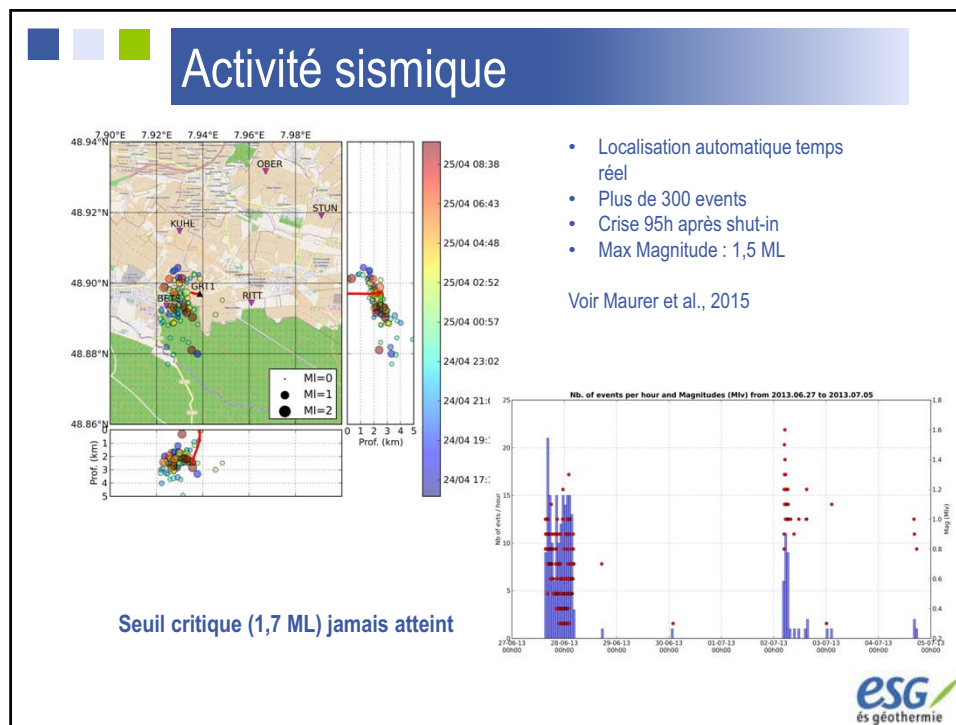


Développement de GRT-1

- Stimulation thermique
- Stimulation chimique
- Stimulation hydraulique

⇒ Injectivité x 5







Propriétés hydrauliques : synthèse

GRT-1

- skin élevé en comparaison avec GRT-2 (faible perméabilité proche puits, mauvaise connection avec le réservoir)
- Observations largement confirmées par la stimulation de GRT-1 : développement d'une connection avec le réservoir et augmentation de la perméabilité proche-puits
- Pas de fracturation (pressions bien trop faibles)

GRT-2

- Propriétés de réservoir selon interprétation des tests hydrauliques bien meilleures que pour GRT-1 (facteur 50)
- Faible skin
- Confirme l'hypothèse d'une faible connection de GRT-1

Système GRT-1 – GRT-2

- Pas de limite clairement identifiable
- Connection hydraulique et massique entre GRT-1 et GRT-2



Lessons learned et questions

// Importance de l'exploration (GRT-1 / GRT-2)

// Au niveau des puits

- 2 puits déviés et non un seul
- Utiliser des diamètres de tubage standard

// Au niveau du réservoir

- Les failles sont des zones d'écoulements (confirmation)
- Convection entre le toit du Muschelkalk et le granite altéré
- Convection intra-faille ?

// Amélioration notable du puits GRT-1



Canalisation



15 km de conduites entre Rittershoffen et Beinheim.

Difficultés:

- 1 forêt protégée (Natura 2000),
- 1 voie ferrée,
- 1 autoroute,
- 6 routes nationales,
- 2 rivières
- 7 conduites de gaz
- 1 pipeline




Canalisation

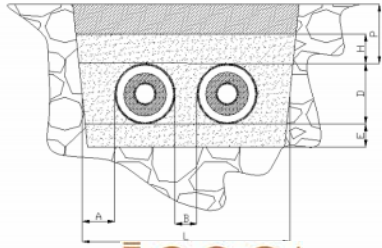


Conduite aller :
double enveloppe
Pertes thermiques
4°C/15km



Conduite retour :
simple enveloppe
Pertes thermiques
1,5 °C/15 km








Travaux






ÉCOGI

L'alliance de la géothermie et de l'industrie

esg

és géothermie

Travaux





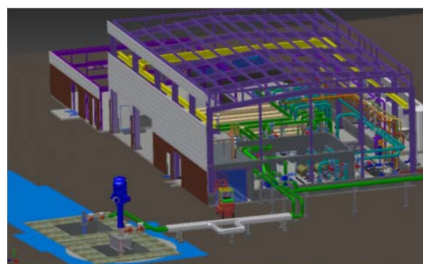

ÉCOGI

L'alliance de la géothermie et de l'industrie

esg

és géothermie

La centrale



ÉCOGI
L'alliance de la géothermie et de l'industrie

esg
és géothermie

Le fonds de garantie Geodeep : financements



Financements du fonds Geodeep

- **Investissement initial**
 - Investisseurs privés (ES, Storengy, Fonroche, etc.)
 - État (CDC, BPI)
 - Investissement rémunéré
- **Redevance** sur le chiffre d'affaire généré par chaque projet
 - Entreprises de projet
 - Environ 10% du chiffre d'affaire

esg
és géothermie



Save the date



[ABOUT](#) - [AGENDA](#) - [EXHIBITION](#) - [SUPPORT](#) - [REGISTRATION](#) - [SUBMISSIONS](#) - [DESTINATION](#) - [LIBRARY](#) - [LIG](#)



EGC²⁰¹⁶
European Geothermal Congress

European Geothermal Energy Congress

19-26 September 2016

Strasbourg, France








Merci



Partenaires ECOGI

ADEME
« Fonds Chaleur »
Assurance risque géologique
Projet « EGS Alsace »

RÉGION ALSACE
Assurance risque géologique

Plus d'information
Baujard et al., 2014, "The ECOGI EGS project in Rittershoffen, France", GRC, Portland, Oregon
Baujard et al., 2015, "ECOGI, a new deep EGS project in Alsace, Rhine Graben, France", WGC, Melbourne, Australia
Maurer et al., 2015, "Seismic monitoring of the Rittershoffen EGS project (Alsace, France)", WGC, Melbourne, Australia
Gaucher et al., 2015, "Migration based detection and location of the seismicity induced at Rittershoffen EGS (France)", WGC, Melbourne, Australia





Bilan du projet de géothermie profonde à Unterföhring et perspectives de la géothermie en Bavière



Hydrogeologie · Geothermie



Frédéric Mirjolet

Sommaire

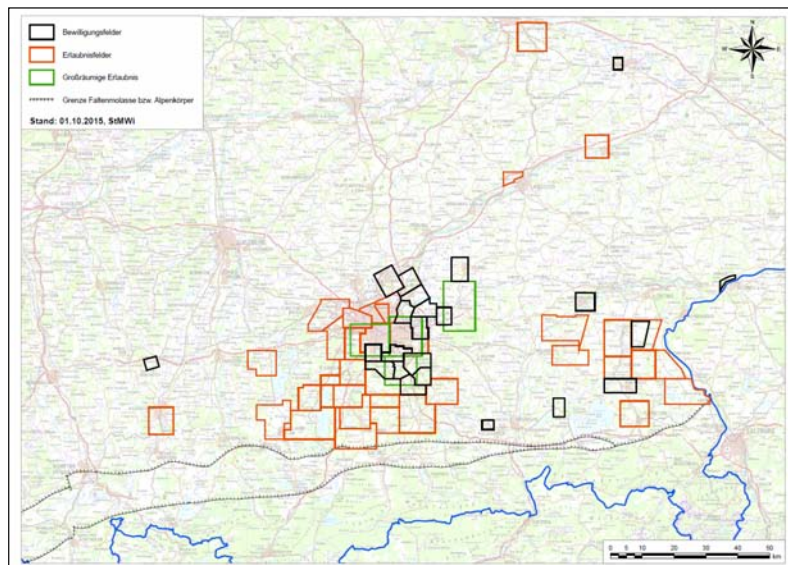


- Situation actuelle de la géothermie en Bavière
- Le projet Unterföhring (2005-2015): premier double-doublet en Allemagne
- Perspectives de la géothermie en Bavière

Situation actuelle de la géothermie en Bavière

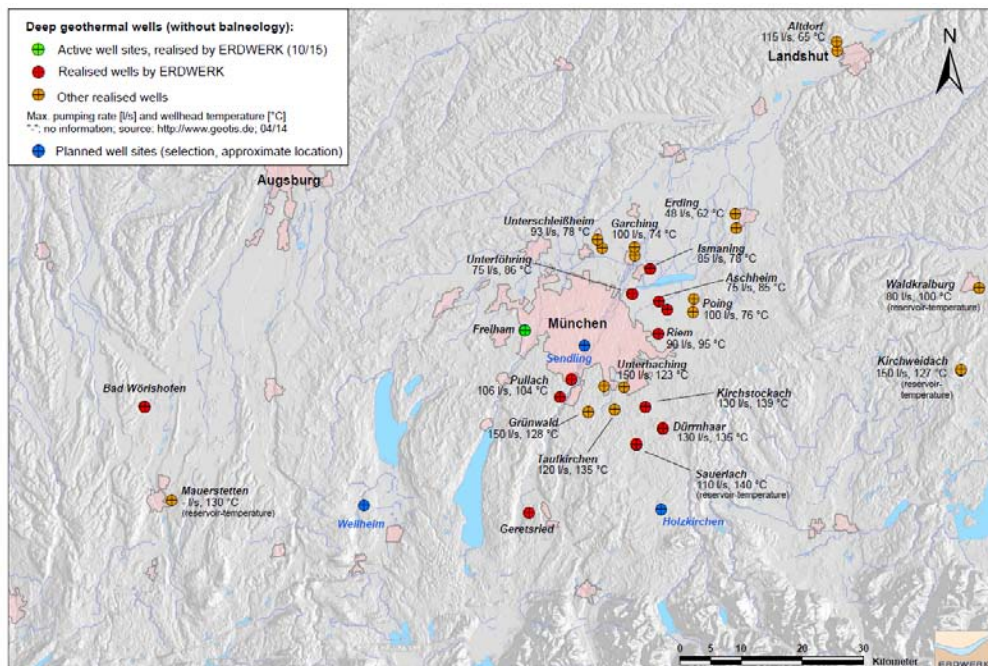
Concessions géothermiques en Bavière du Sud

2015: 25 concessions d'exploitation et 40 concessions d'exploration



Source: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie 2015

Vue d'ensemble des puits géothermiques forés à ce jour dans le bassin molassique



24.11.2015

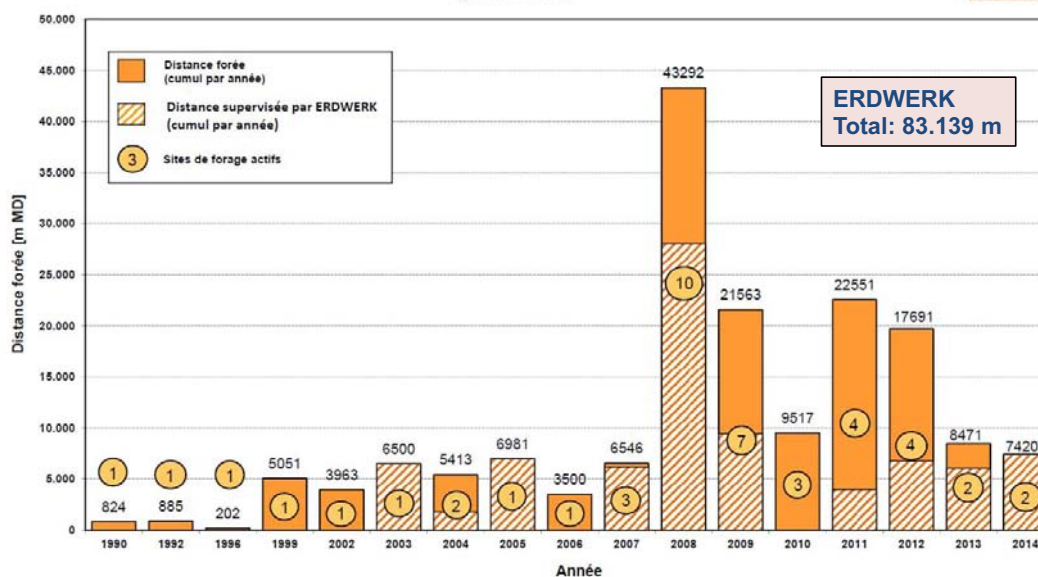
© ERDWERK GmbH 2015

5

Distance forée par an en Bavière



Evolution de la distance forée annuellement en Bavière dans le domaine de la géothermie profonde (janvier 2015)

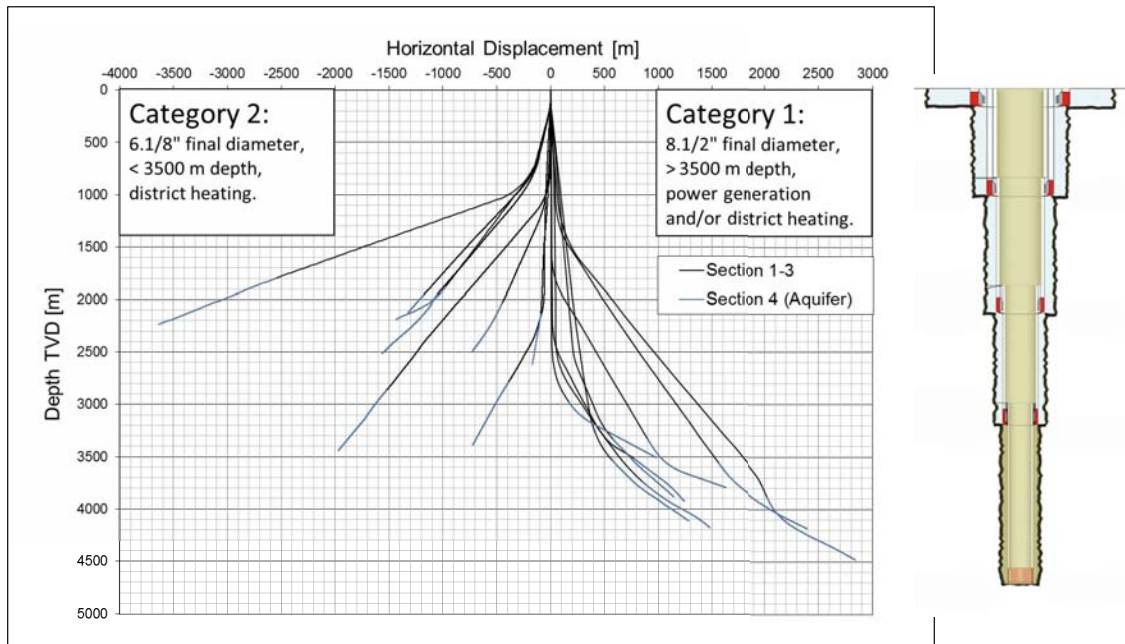


24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

6

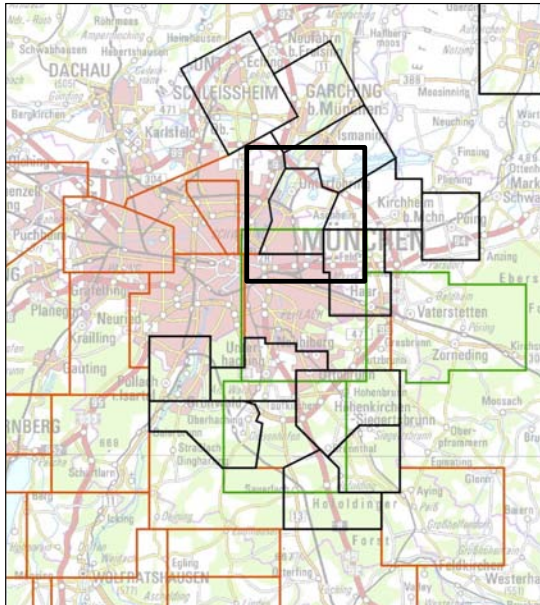
Vue en coupe des forages de géothermie profonde



Le projet Unterföhring (2005-2015): premier double-doublet géothermique en Allemagne



Projet Unterföhring



Chronologie du projet Unterföhring



Unterföhring Th1, Th2

- **06/2005** Obtention de la concession d'exploration
- **11/2006** Mesures sismiques 2D (2 lignes)
- **09/2007** Création de la société d'exploitation Geovol Unterföhring GmbH
- **04/2008** Attribution du mandat de forage
- **06/2008** Premier coût de pioche sur le site de la plateforme
- **06/2008** Début de la construction du réseau CAD
- **11/2008** Début des travaux de forage pour le puits „Thermal 1“
- **05/2009** Succès du puits „Thermal 2“
- **12/2009** Début de l'approvisionnement en chaleur à partir de la géothermie
- **01/2010** Obtention de la concession d'exploitation

Unterföhring Th3, Th4

- **01/2011** Première planification conceptuelle de l'extension Th3 /Th4
- **11/2011** Modèle réservoir Th1-Th4
- **05/2012** Nouvelle campagne sismique 2D (3 lignes)
- **09/2012** Clôture de la planification détaillée Th3 / Th4
- **10/2012** Appel d'offre à l'échelle de l'UE Th3 / Th4
- **05/2013** Négociation des offres et attribution de mandat
- **01/2014** Planification d'exécution Th3 / Th4
- **02/2014** Début des travaux de forage Th 4
- **07/2014** Fin des essais de pompage Th3 = finalisation du doublet

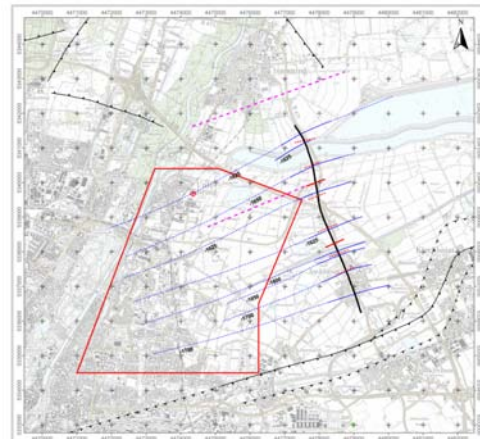
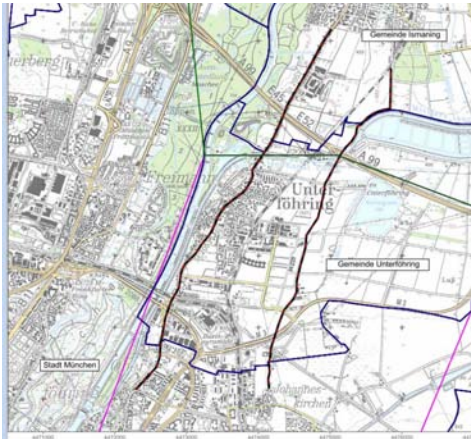
Première phase du projet Unterföhring (Th1-Th2)



Sismique 2D Th1 / Th2

Reprocessing d'anciennes données sismiques (08/2006)

- 2 profils avec en tout 5,75 km
- Interprétation structurale



Nouvelle sismique (11/2006):

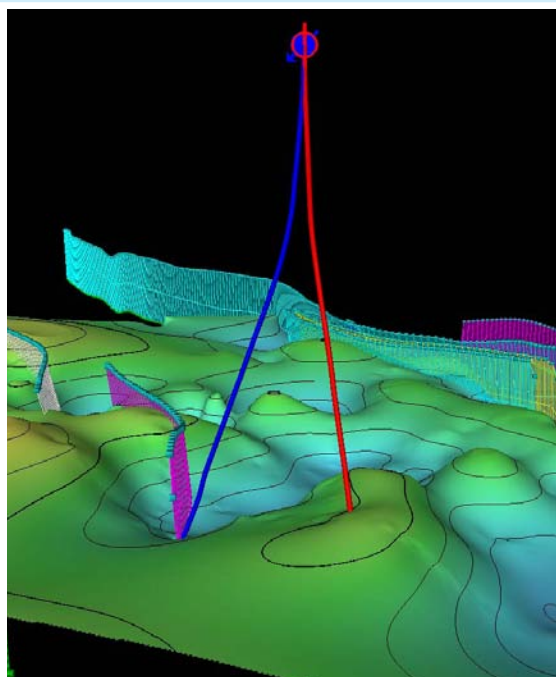
- Mesures sismiques réalisées pour la première fois dans le cadre d'un projet de géothermie en Bavière
- 2 profils, 12 km en tout

Première phase du projet Unterföhring (Th1-Th2)



Stratégie d'exploration Th1 et Th 2

- 2 forages déviés partant d'une seule plateforme
- 1 forage visant une faille
- 1 forage ciblant un faciès du Malm particulier (calcaires massifs)
- 4 sections
- Diamètre final de puits dans le Malm: 6.1/8"



Première phase du projet Unterföhring (Th1-Th2)



Th1 – Puits de réinjection

Profondeur MD: 3.042 m
Profondeur TVD: 2.512 m
Malm traversé: 757 m
Durée du forage: 71 d
Ø m/d: 43
Débit: > 85 l/s
Température: 86°C

Th2 – Puits de production

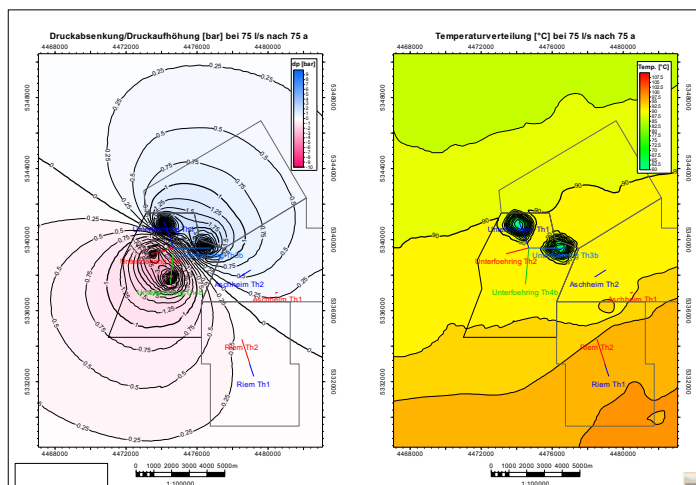
Profondeur MD: 2.578 m
Profondeur TVD: 2.124 m
Malm traversé: 202 m
Durée du forage: 52 d
Ø m/d: 50
Débit: > 85 l/s
PI: 10 l/s*bar
Température: 87°C

- Différenciation facielle du Malm en faciès de bassin (Th1) et en faciès massif (Th2)
- Utilisation d'équipements de forages déviés conventionnels (moteur avec bent housing)
- Coûts de forage env. 1.520 € / m (sans la plateforme et les essais de puits)

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



1ère étape: simulation thermo-hydraulique Th3 / Th4

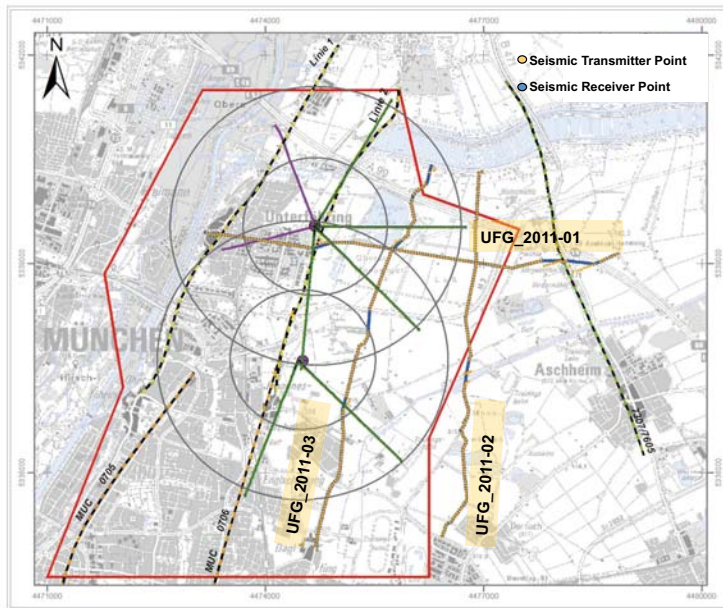


- Base: Modèle géologique calibré sur les puits Th1/Th2
- Considération de différentes variantes, qui montrent un gros potentiel géothermique
- Aide à la décision pour les forages Th3 / Th4: go / no-go, influence et économicité, sismique

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



2e étape: nouvelle sismique 2D pour Th3 et Th4 (2012)



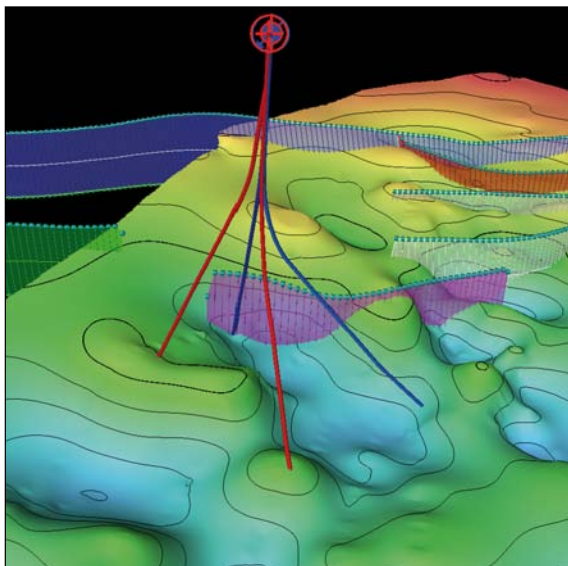
Nouvelle sismique (2012):

- 3 profils, en tout 17 km
- Recouvrement: max. 134

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



3e étape: Réalisation d'un modèle réservoir pour le doublet Th3/Th4 et planification des trajectoires

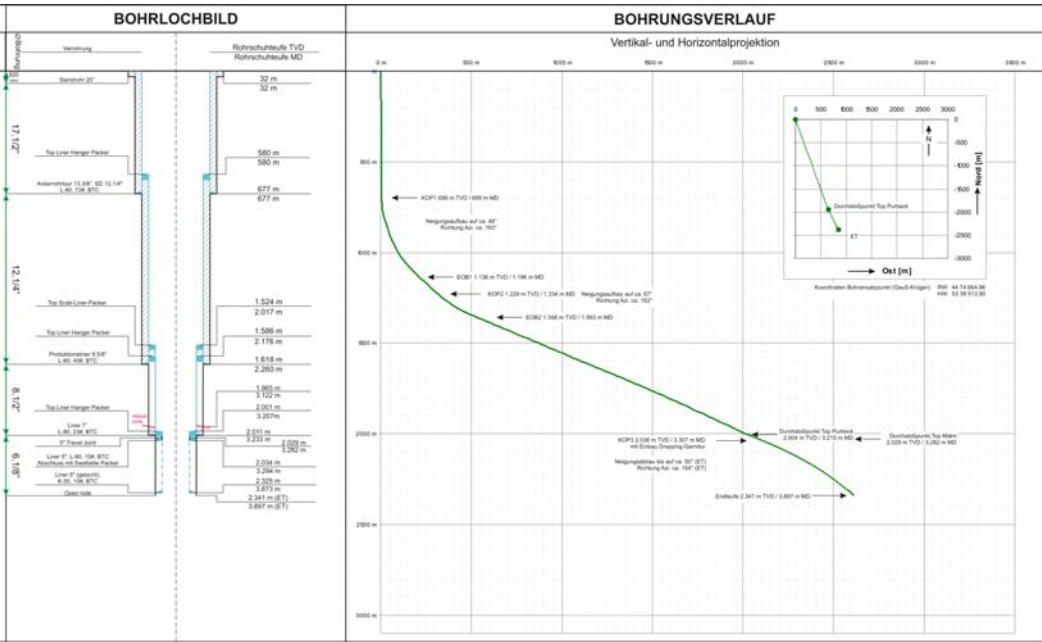


- 2 forages déviés à partir d'une même plateforme (à présent Th1-Th4)
- 2 forages ciblant les faciès massifs du Malm
- Trajectoire au sein du réservoir Th3/Th4:
 - 67° / 66°
 - 1242 / 1252 m MD
 - 500 / 500 m TVD
 - Ø 6.1/8"

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Unterföhring Th4 – Schema de puits



24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

17

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Matrice des risques

Geologisches Problem	Zu bewertendes Szenario (mögliche technische Auswirkung wenn keine besonderen Maßnahmen getroffen werden)	Auftrittswahrscheinlichkeit			Preventive Maßnahmen	Auftrittswahrscheinlichkeit mit Maßnahmen			Verbleibendes Risiko Bewertung: hoch, mittel, niedrig
		Auftrittswahrscheinlichkeit	Schadensumfang	Risikoeinstufung (1. Matrix)		Auftrittswahrscheinlichkeit	Schadensumfang mit Maßnahmen	Verbleibendes Risiko	
Evtl. hohe hydraul. Durchlässigkeit des Lithothamnienkalks	Starke und langanhaltende Spüllungsverluste	möglich	mäßiger Schaden		LCM vorhalten, Scab Liner Szenario (Fußzementation und Scab- Liner) vorplanen und vorhalten, Plan of Action vorbereiten	möglich	kleiner Schaden	Nein	



Beispiel		Auftrittswahrscheinlichkeit				
		äußerst unwahrscheinlich < 0,01 %	unwahrscheinlich 0,01 % - 1 %	möglich 1 % - 10 %	wahrscheinlich 10 % - 90 %	fast gewiss > 90 %
Schadensumfang	Sehr großer Schaden					
	Großer Schaden					
	Mittlerer Schaden					
	Kleiner Schaden					
Vermögensschaden	Geringer Schaden					
	Sehr geringer Schaden					

24.11.2015

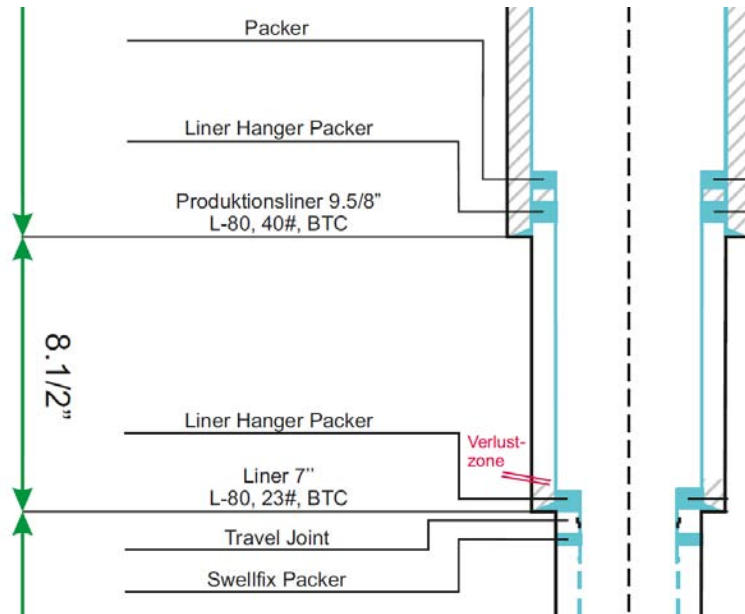
© ERDWERK GmbH 2015

18

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Les problèmes géologiques connus peuvent être rapidement résolus



24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

19

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Matrice d'évaluation des offres

Nr.	Zuschlagskriterium	Punkte
1	Preis	2500
2	Qualität	4500
3	Leistungsbedingungen	2000
4	Zeitliche Aspekte	1000
Erzielbare max. Gesamtpunkte:		10000



Qualität	4500
Anlagenreserve bzgl. Hakenlasten	500
Track Record Tripzeiten / Angabe Gestängezuglängen	300
Spezifikation der Bohranlage und deren Ausrüstung:	
- Anzahl und hydraulische Leistung der Spülpumpen	1000
- Dauerdrehmoment Top Drive	1000
- Ausstattung Spülungstanks (Volumen, Trip-tank)	300
- Durchsatzkapazität Feststoffkontrollsystem	300
Lärmemission und Lärmschutzkonzept Bohranlage	300
Angaben zur Betriebserfahrung des Bohrteams mit der angebotenen Bohranlage (inkl. Organigramm)	200
Konzept zur Ausübung der Generalunternehmerschaft	300
Aufstellungs- und Bohrplatzkonzept auf dem zur Verfügung gestellten Gelände unter Berücksichtigung der vorhandenen Gegebenheiten	300

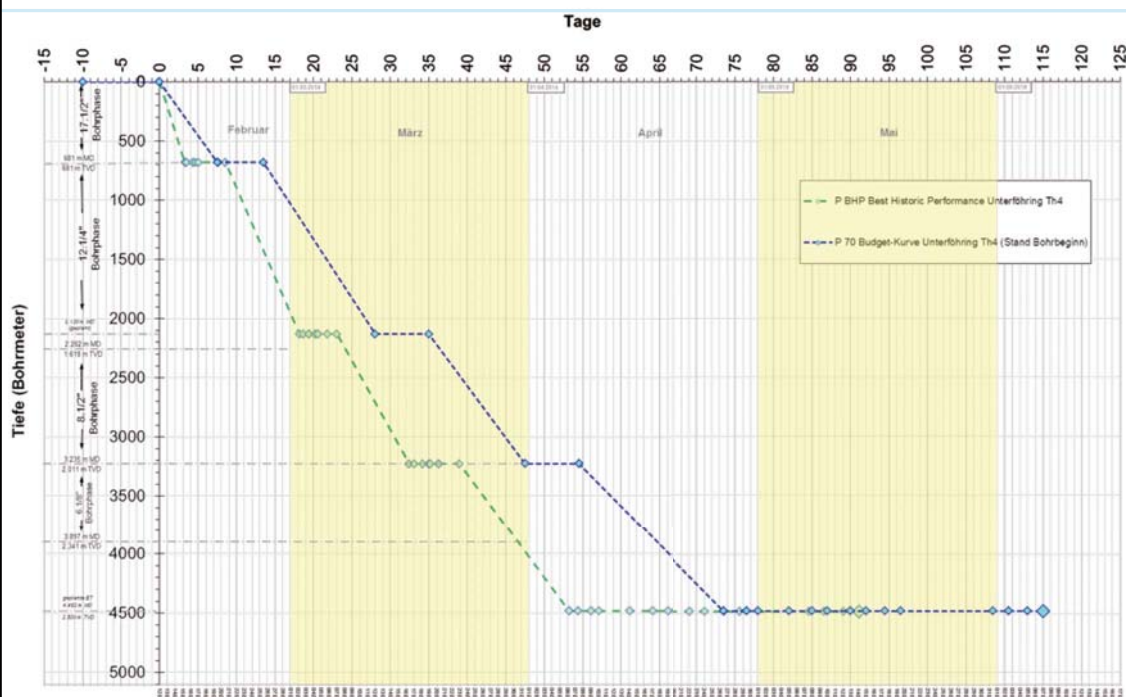


24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

20

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)

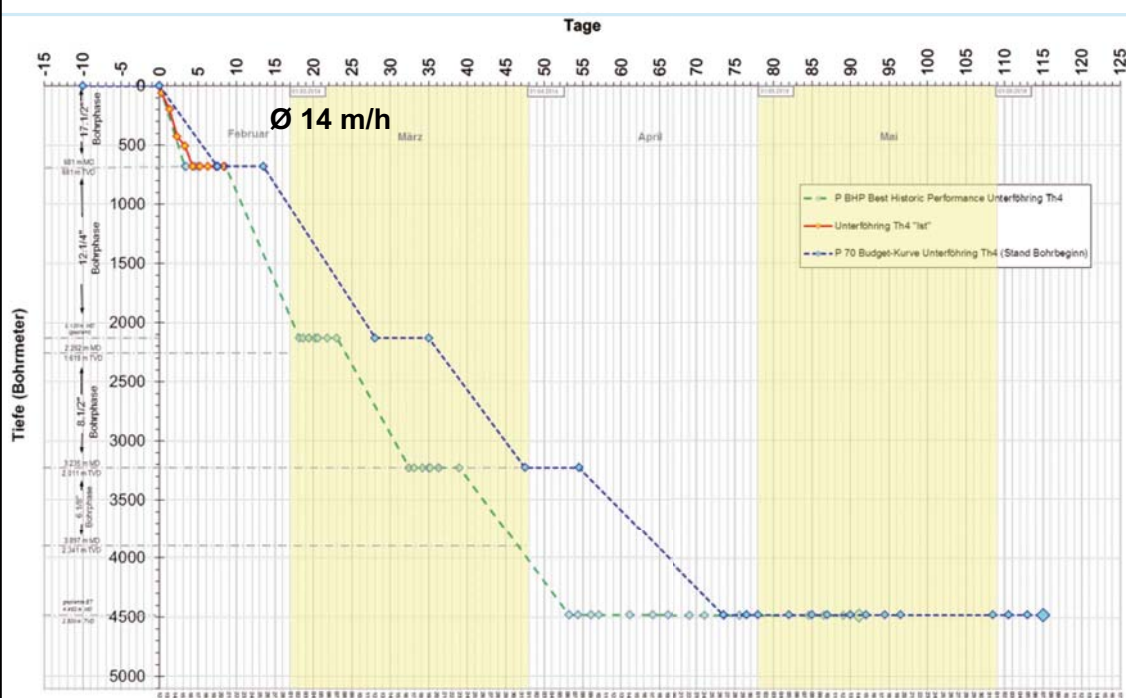


24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

21

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)

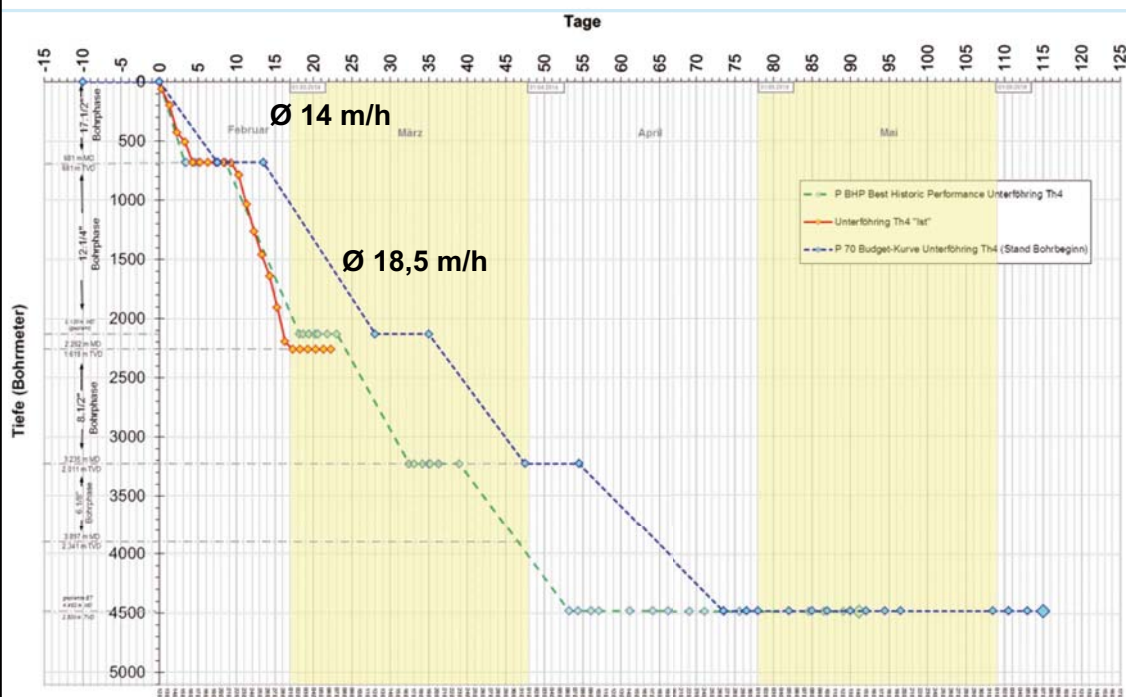


24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

22

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)

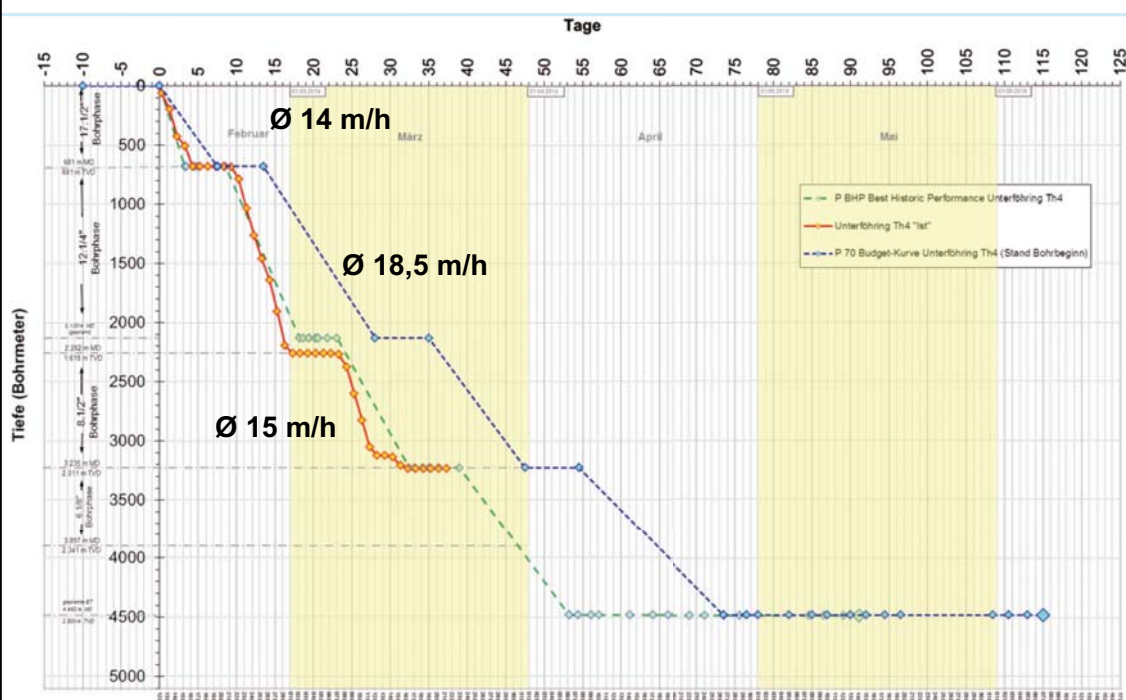


24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

23

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)

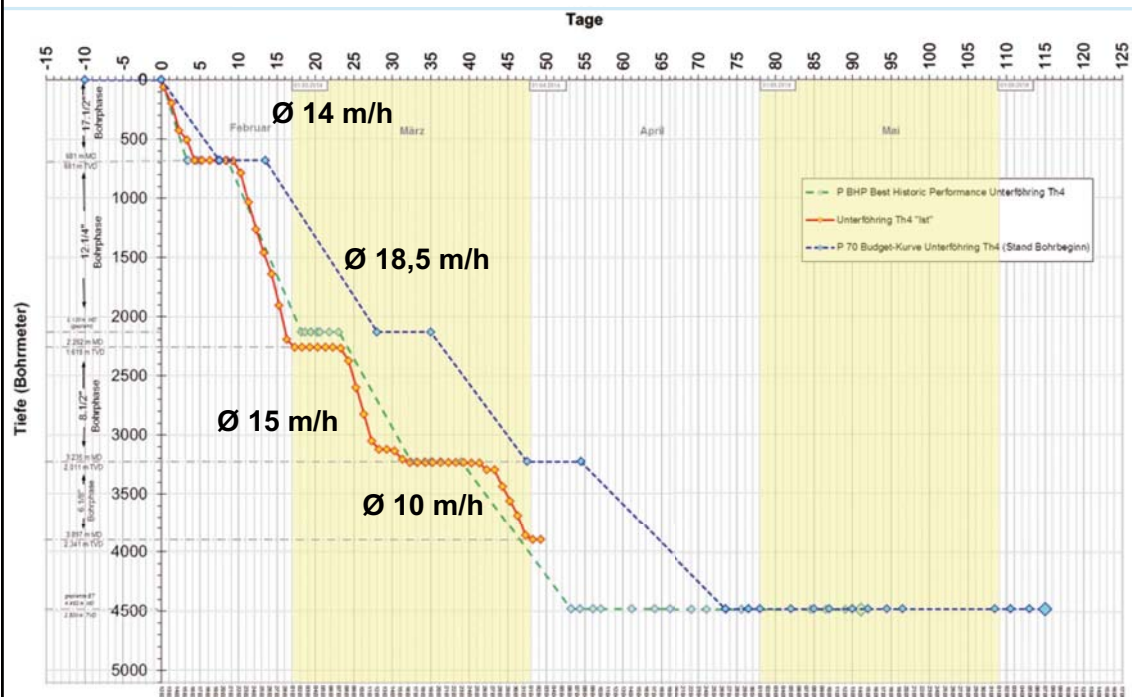


24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

24

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

25

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Ø 14 m/h

Ø 18,5 m/h

Ø 15 m/h

Ø 10 m/h

24.11.2015

© ERDWERK GmbH 2015

26

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Th4 – Puits de production

Profondeur MD: 3.897 m
Profondeur TVD: 2.340 m
Durée du forage: 48 d
Ø m/d: 81
Malm traversé: 615 m MD / 311 m TVD
Débit: > 85 l/s
PI (avec crépine): 11 l/s*bar
Température: > 93°C

Th3 – Puits de réinjection

Profondeur MD: 3.050 m
Profondeur TVD: 2.053 m
Durée du forage: 39 d
Ø m/d: 78
Malm traversé: 167 m / 76 m TVD
Débit: > 87 l/s
PI (avec crépine): 12,5 l/s*bar
Température: > 84°C

Bilan:

- Vitesses de forage très élevées! Pour le forage Th4 même malgré l'apparition de pertes de boue totales dans le Crétacé!
- Utilisation conséquente de systèmes RSS
- Coûts de forage < 1.100 € / m !! (sans la plateforme et les essais de pompage)

-> Les leçons tirées des projets précédents ont eu un impact direct sur les coûts de forage

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Travaux de forage Th4 – Plateforme groupée Th1-Th4



©ERDWERK

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Travaux de forage Th4 – Plateforme groupée Th1-Th4



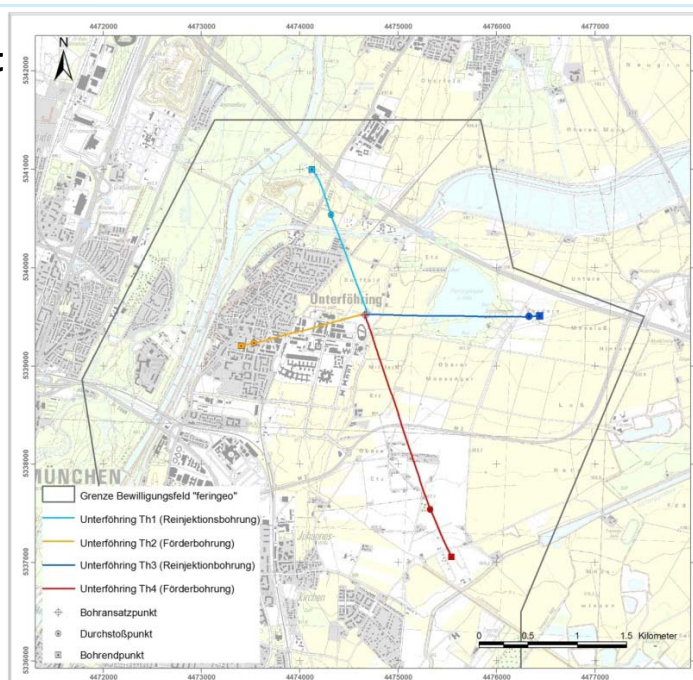
Source: GEOVOL

Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Premier double-doublet en Allemagne

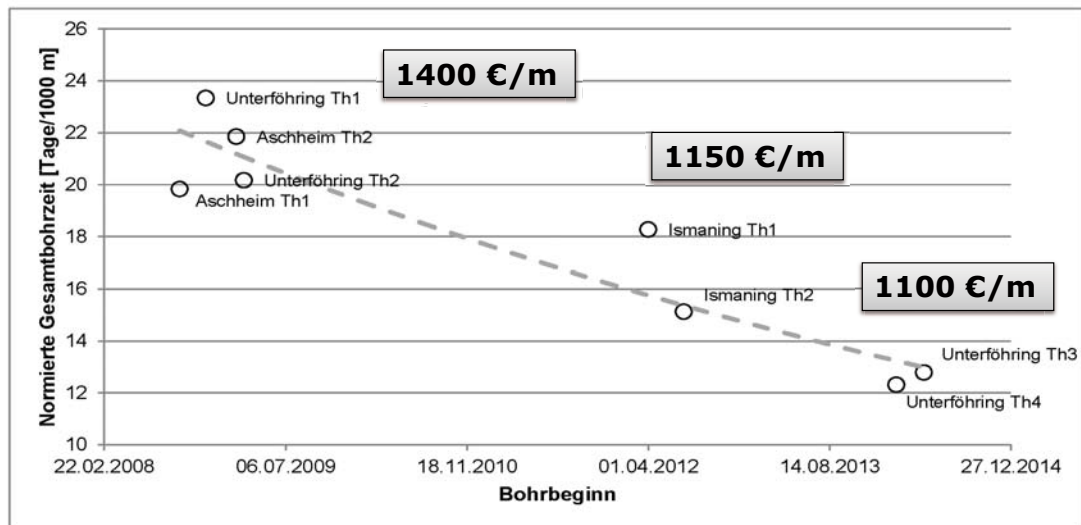
- 2 Puits de production
- 2 puits de réinjection
- 12.567 mètres forés
- env. 22 Mio € de coûts de forage incluant la plateforme et les essais de pompage
(= env. 1.750 € / m)
- env. 23 MWth



Extension du projet Unterföhring (Th3-Th4)



Courbe d'apprentissage



Extension du projet Unterföhring - Bilan



- Le processus de travail „seismic to production“ a été appliqué tout au long du projet = outil très précieux pour l'exploration (= technique standard aujourd'hui)
- Les plateformes groupées avec forages déviés offrent d'énormes avantages et permettent l'exploitation intensive du potentiel géothermique
- Amélioration des vitesses de forage clairement visible malgré des trajectoires de forage exigeantes
- Les problèmes techniques et géologiques sont maîtrisables moyennant une planification préalable adéquate
- Les chances de rencontrer un débit élevé sont très élevées dans le bassin munichois en raison d'une bonne perméabilité présente sur l'ensemble de la région

→ La région munichoise a encore un énorme potentiel de développement!

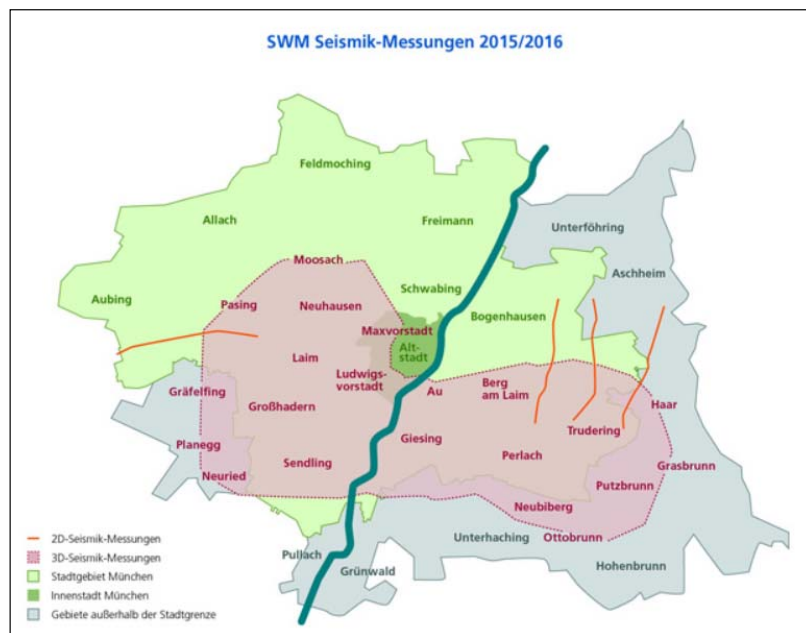
Recette menant au succès d'un projet de géothermie:

Donner la priorité à la qualité plutôt qu'au prix, ne pas lésiner sur les dépenses lors de la planification, assurer un suivi intense des opérations de forage ...et croiser les doigts!

Perspectives de la géothermie en Bavière

Perspectives de la géothermie en Bavière

- **Objectif pour Munich en 2040: réseaux CAD approvisionnés à 100% par les énergies renouvelables**
- **Les services industriels de Munich (SWM) prévoient le développement de plusieurs projets de géothermie d'ici 2025:**
 - **Projet Freiham (doublet): 1er forage en cours de réalisation, mise en exploitation prévue pour 2016**
 - **Projet Sendling (double-doublet): en cours de planification, commencement des opérations de forage prévu en 2018 et mise en exploitation à partir de 2019**
 - **5 autres projets sont envisagés**
- **Actuellement (11/2015-03/2016) une grande campagne sismique 3D (170 km²) est en cours dans la ville de Munich afin d'identifier les zones les plus prometteuses pour les futurs projets**



Source: SWM

Merci de votre attention!

Contact:

Frédéric MIRJOLET
ERDWERK GmbH
Hydrogeologie Geothermie

mirjolet@erdwerk.com

Gérant: Dr. Achim Schubert



AGEPP – Géothermie profonde à Lavey-les-Bains (VD)

Journée romande de la géothermie

Pascal HELFER
Chef de projet AGEPP

Responsable dpt. Environnement, Lausanne

www.csd.ch

24 novembre 2015



AGEPP – Géothermie profonde à Lavey (VD)

Sommaire

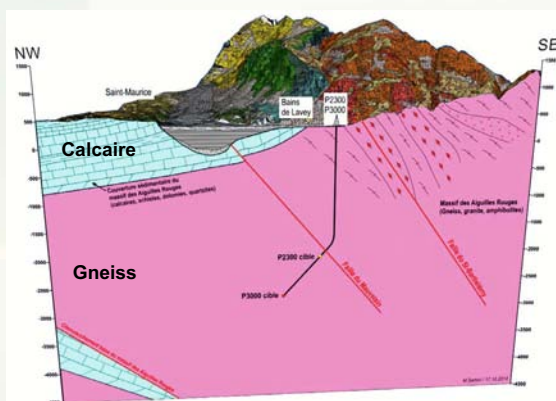
1. Projet AGEPP – point de situation
2. Partenaires et sponsors du projet
3. Mission de la Direction de Projet
4. Organisation de Projet
5. Enjeux principaux
6. Planning prévisionnel



AGEPP – plan de situation



Objectifs et concept du forage profond (singlet)



Vue schématique de la géologie
Source: M. SARTORI

- ❑ **Objectifs** : 40 l/s à 110°C (sortie)
- ❑ **Forage** : vertical + dévié, profondeur soit jusqu'à 2'300 m ou 3'000 m (2 variantes)
- ❑ **Système hydrothermal**
- ❑ **Stimulation chimique** à faible pression et volume injecté restreint (pas de fracturation hydraulique)
- ❑ **Exploitation** : en production (sans réinjection)



CSDINGENIEURS+
INGÉNIEURS PAR NATURE

Valorisation de l'énergie (électricité et thermique)

❑ Production nette d'électricité (ORC)

- 2.5 GWh_{él} à 3.7 GWh_{él} (700 à 1'000 ménages approvisionnés)
- Température : 110°C / 74°C (valorisation électrique : entrée / sortie ORC)

❑ Eaux thermales pour les Bains de Lavey

- 17 GWh_{th}
- Température : 60°C / 32°C (valorisation thermique : entrée / sortie des Bains)

❑ Développements potentiels

- Réseau de chauffage à distance (Saint-Maurice, Lavey-Village, ArmaSuisse)
- Pisciculture (10 GWh_{th}), production maraîchère



Partenaires et sponsors du projet AGEPP

Partenaires

- ❑ EOS Holding
- ❑ HOLDIGAZ
- ❑ SI-REN
- ❑ ROMANDE ENERGIE SA
- ❑ CESLA SA
- ❑ Commune de LAVEY
- ❑ Commune de ST-MAURICE

Sponsors / subventions

- ❑ Etat de VAUD
- ❑ Etat du VALAIS
- ❑ OFEN



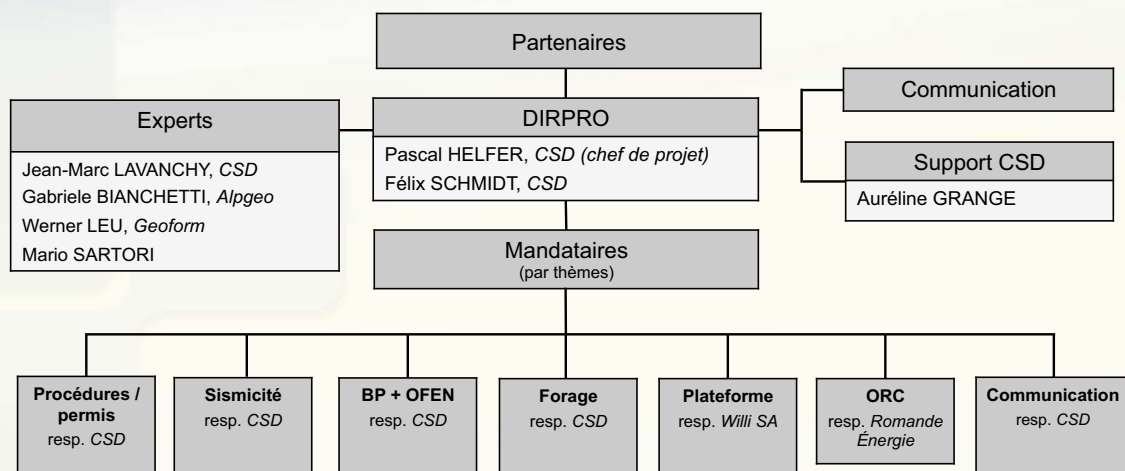
Missions principales de la Direction de Projet

1. **Valorisation** des travaux antérieurs
2. **Permis et procédures d'autorisation** - exploration & exploitation
(aménagement du territoire, impact sur l'environnement, sismicité, ..)
3. **Etudes techniques** → réalisation / coordination
(étude d'impact sur l'environnement, sismicité, ORC, design du forage, ..)
4. **Business plan**
(coûts du forage et des installations de surface, subventions, redevance, couverture de risque, RPC, CAPEX / OPEX)

Engagement des Partenaires



Organisation de Projet



Permis et procédures

- ❑ **But** : définir / obtenir les autorisations nécessaires pour les phases **d'exploration** et **d'exploitation** → exigence des Partenaires
- ❑ **Affectation du sol (LAT)** : PPA vs PAC ?



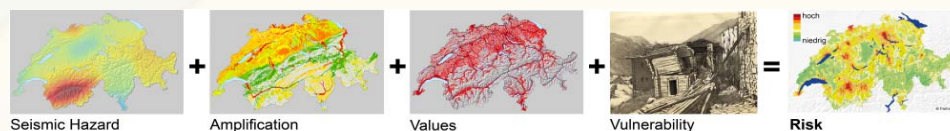
--- Périmètre du PAC



CSDINGENIEURS+
INGÉNIEURS PAR NATURE

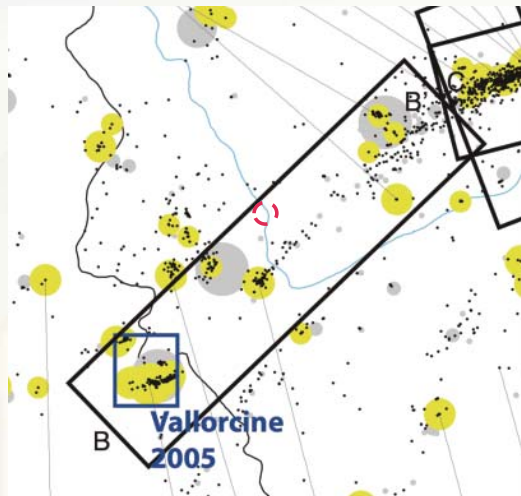
Sismicité

- ❑ Sismicité naturelle
- ❑ Etude de risque sismique (y.c. modèle structural, géologique, hydrogéol.)
- ❑ Design du réseau sismique complémentaire



CSDINGENIEURS+
INGÉNIEURS PAR NATURE

Sismicité naturelle



Zone de Lavey :

- sismiquement calme dans le contexte régional (fréquence, clustering & magnitude)
- aucune structure sismogène liée à une faille active n'a été identifiée

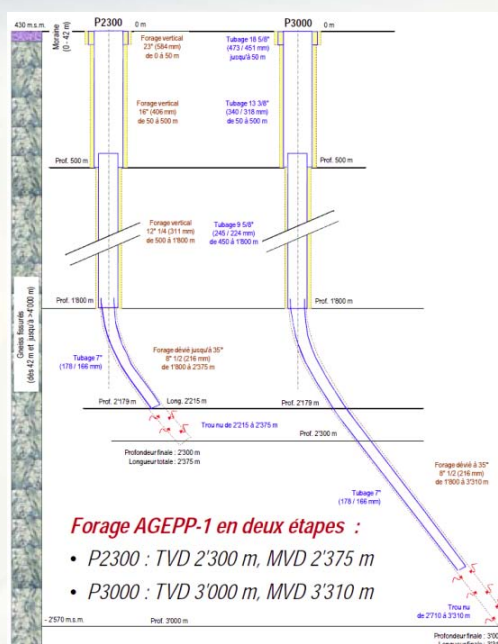
Echelle régionale :

- séismes les plus importants confinés dans des clusters



CSDINGENIEURS+
INGÉNIEURS PAR NATURE

Forage



- Concept de forage de 2011
- Vérification du design du forage validé
- Deux estimations convergentes des coûts du forage



CSDINGENIEURS+
INGÉNIEURS PAR NATURE

Business Plan

- ❑ **Actualisation** de l'ensemble des coûts et évaluation détaillée des éléments les plus significatifs → **TRI** critique pour un engagement des Partenaires
- ❑ Paramètres clés susceptibles d'influencer le BP, le timing et la **décision des Partenaires** :
 - Nouvelle Loi cantonale sur les ressources naturelles du sous-sol (LRNSS) → *en consultation*
 - Projet de modification de Loi sur l'Énergie (LEne, RS 730.0) → *en consultation*
 - Evolution conjoncturelle des coûts de forage
 - Evolution du cours de l'euro (€)



CSDINGENIEURS+
INGÉNIEURS PAR NATURE

Planning prévisionnel

- | | |
|---|----------------------------------|
| ❑ Finalisation des études en cours
(Impact sur l'environnement, sismicité, AT) | 2 ^{ème} semestre 2015 |
| ❑ Subventions OFEN | } 1 ^{er} semestre 2016 |
| ❑ Finalisation du BP → TRI | |
| ❑ Décision des Partenaires | |
| ❑ Extension du réseau de surveillance sismique | |
| ❑ Consultation des autorités compétentes | } 2 ^{ème} semestre 2016 |
| ❑ Mise à l'enquête publique
(traitement des oppositions éventuelles) | |
| ❑ Début du forage | 1 ^{er} semestre 2017 |
| ❑ Début de l'exploitation | 1 ^{er} semestre 2018 |



CSDINGENIEURS+
INGÉNIEURS PAR NATURE



Développement d'un nouveau concept EGS Le projet pilote de Haute-Sorne (JU)

Olivier Zingg, chef de projet Suisse romande

JRG 2015, Yverdon, le 24 novembre 2015



Geo-Energie Suisse SA

Centre de compétence suisse en géothermie profonde
pour la production d'électricité et de chaleur

2

Société fondée en 2010 par 7 producteurs et
distributeurs d'énergie en Suisse

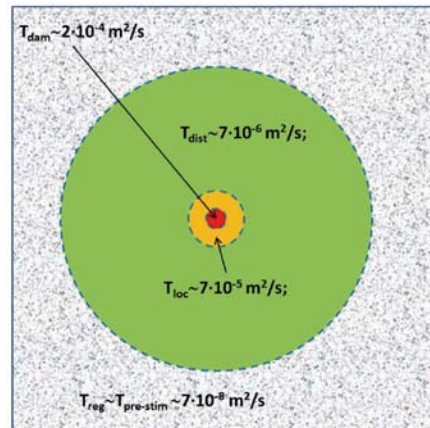
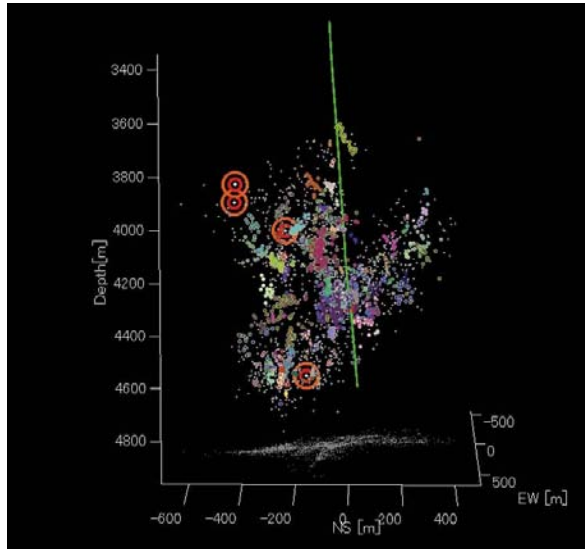
- Evaluer et développer le vaste potentiel de la géothermie profonde
- Projets actuellement en développement ou en planification dans les cantons de JU, TG, LU et VD



Bâle, 2006

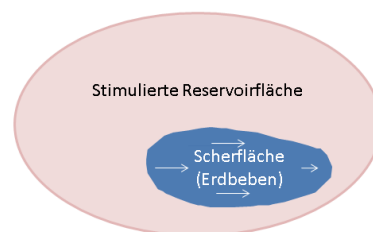
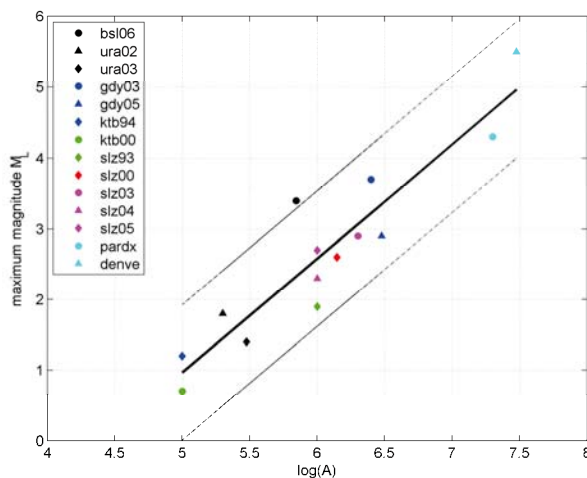
Sismicité trop élevée, perméabilité trop basse

3



Résultat-clé sur la sismicité induite (Serianex, 2009):
la magnitude augmente avec la surface du réservoir stimulé

4



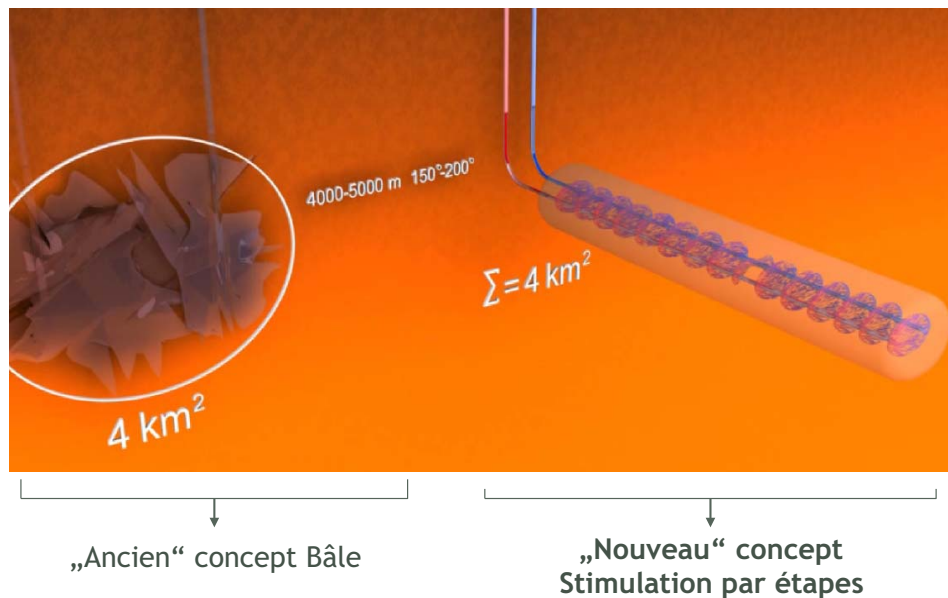
Une analyse détaillée des résultats de Bâle et des simulations numériques corroborent cette observation faite sur plusieurs sites dans le monde

Nouveau concept EGS

Minimiser le risque sismique

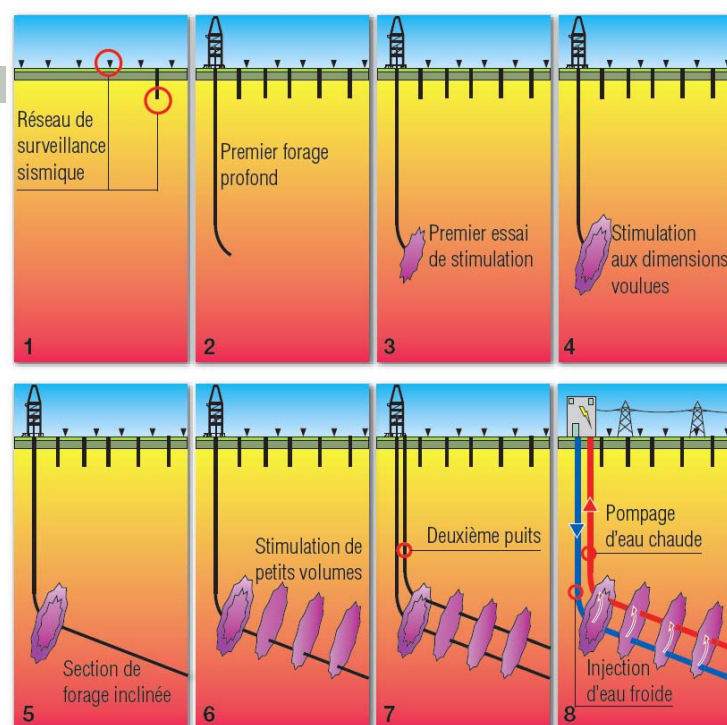
Maximiser le rendement énergétique

5



Etapes de réalisation du projet

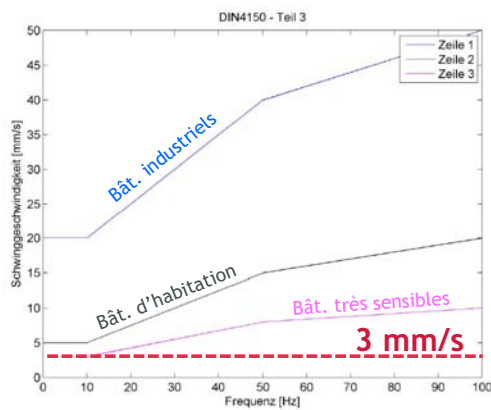
6



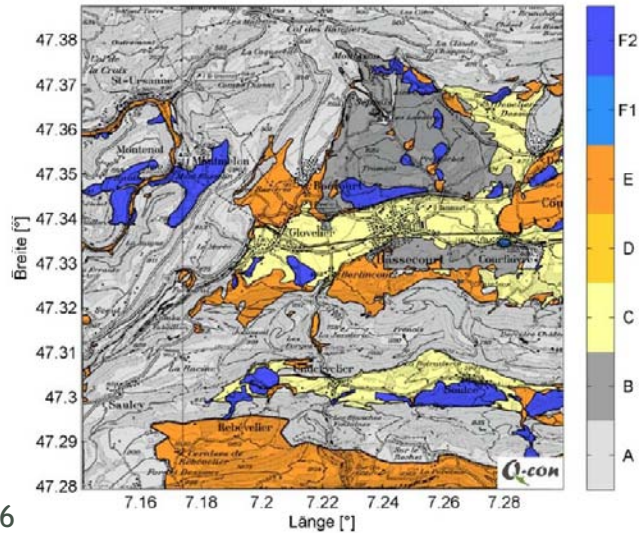
Etude de risque déterministe

Modélisation numérique des mouvements du sol et détermination du seuil des premiers dommages

7



- Limite conservatrice → 3 mm/s
- Seuils des dommages → $M_w = 2.6$
- Modélisation de l'influence sur les failles

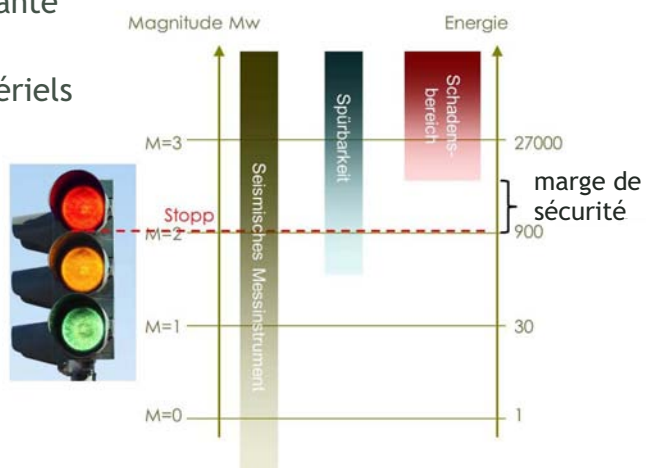


Pgv [mm/s]

Un système de feux de circulation avec des seuils plus bas

8

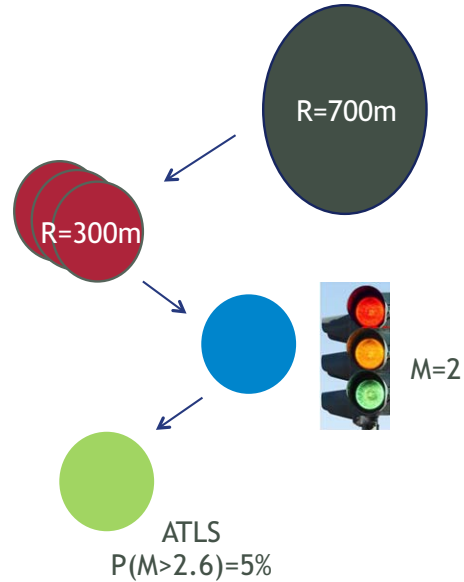
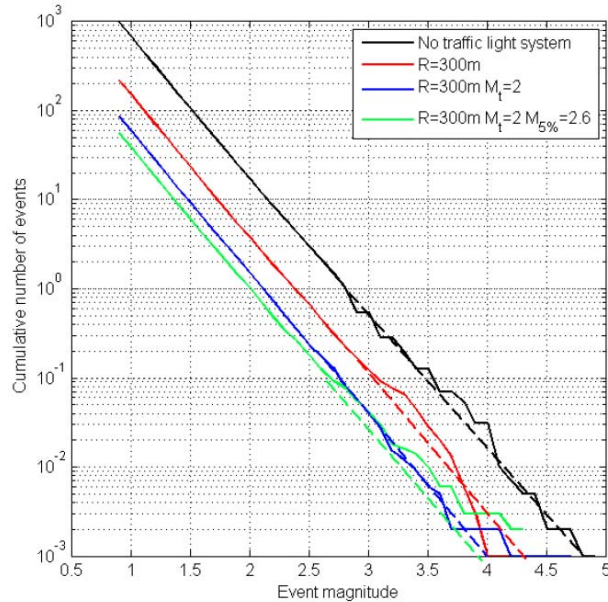
- Seuils prédéfinis conservatifs
- Marge de sécurité importante (effet de traîne)
- Eviter les dommages matériels



Etude de risque probabiliste

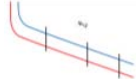
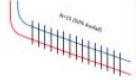
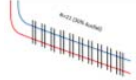
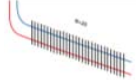
Modélisation du risque résiduel et évaluation des mesures de mitigation

9



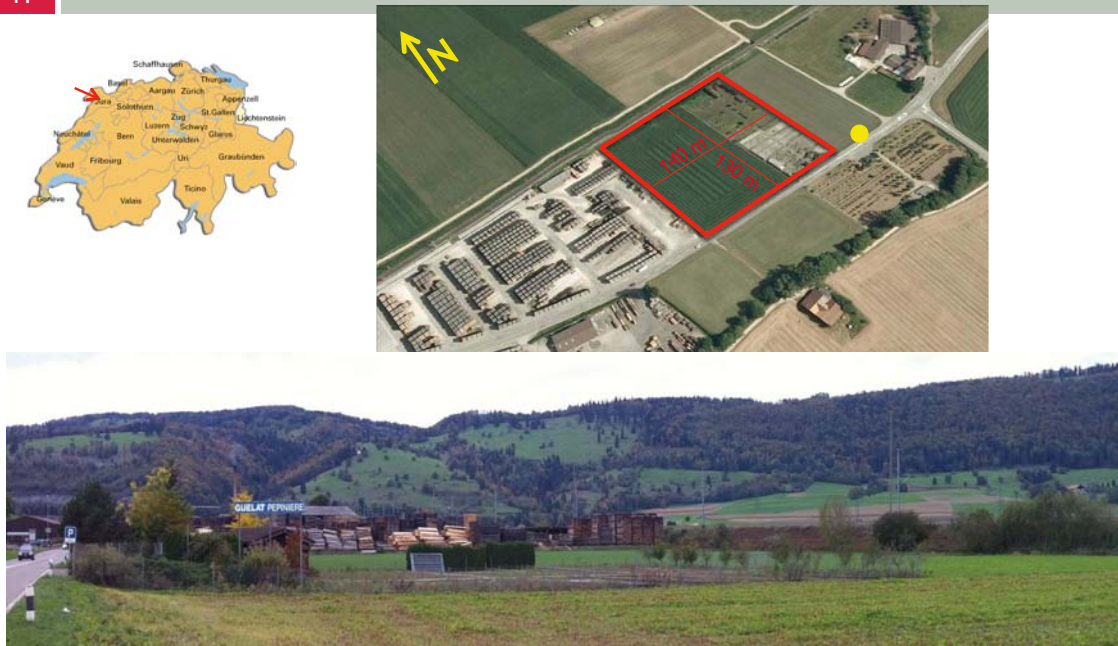
Efficacité de la stimulation par étapes

10

Utilisation System	Increase Factor of:	
	El. Power	Costs
 Vertical Single-Open-Hole-System, 1 fracture	1	1
 Single-Open-Hole-System, 3 fractures	1.8	1.2
 Multi-Stage-System; 50% failure rate of stages.	2.9	1.6
 Multi-Stage-System; 30% failure rate of stages.	4.2	1.6
 Multi-Stage-System; 0% failure rate of stages.	6.2	1.6

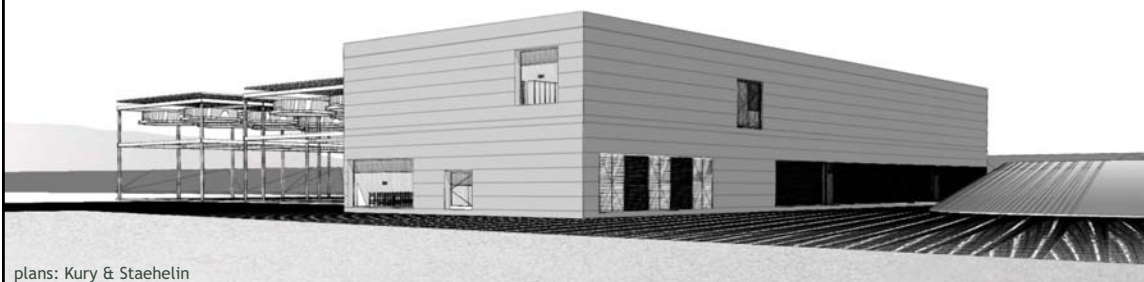
Site du projet pilote de Haute-Sorne, JU

11



Les chiffres-clés du projet pilote

12



plans: Kury & Staehelin

- ❑ Centrale géothermique d'une puissance maximale de 5 MW_{el}
- ❑ Alimentation en électricité d'au moins 6000 foyers
- ❑ Potentiel de valorisation de la chaleur dans un réseau de chauffage à distance
- ❑ Budget global d'environ 100 millions de francs

Procédure

Permis délivré le 15 Juin 2015

13



Peter Meier,
CEO
Geo-Energie Suisse

Philippe Receveur,
Ministre de l'environnement
et de l'équipement

Jean-Bernard Vallat,
Président de la commune
de Haute-Sorne

Conclusions

14

Le nouveau concept EGS et le projet pilote de Haute-Sorne ont pour ambition

- d'apporter la preuve de la faisabilité technique de l'EGS en roches cristallines en Suisse en minimisant le risque sismique et maximisant le rendement énergétique;
- de produire dès 2020 de l'énergie renouvelable indigène, sans émission de CO₂ et avec un faible impact sur la nature et le paysage.

Merci pour votre attention!

