



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) du 26. Novembre 2013

Journée romande de la géothermie 2013

Partage d'expériences, entre 500 et 5000
mètres de profondeur

Mandant:

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

Mandataire:

geothermie.ch – Antenne romande de la Société suisse pour la géothermie
Rue du Four 6
1400 Yverdon-les-Bains
www.geothermie.ch

Auteurs:

voir programme
Organisation :
André Freymond, andre.freymond@geothermie.ch
Stéphane Cattin, stephane.cattin@geothermie.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Gunter Siddiqi

Chef de programme de l'OFEN: Rudolf Minder

Numéro du contrat de l'OFEN: 500'968-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport

Journée romande de la géothermie 2013

Partage d'expériences, entre 500 et 5000 mètres de profondeur

Mardi 26 novembre 2013

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud - heig-vd
Route de Cheseaux 1 – 1400 Yverdon-les-Bains

Programme détaillé

Listes des participants, conférenciers et exposants

NB : Après la manifestation, les présentations seront téléchargeables sur Internet (infos à suivre par mail)

Partenaires



Direction générale de
l'environnement (DGE)
Direction de l'énergie



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Office fédéral de l'énergie OFEN

heig-vd

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion
du Canton de Vaud

Sponsors GOLD



Sponsors BRONZE



Sponsor ETAIN



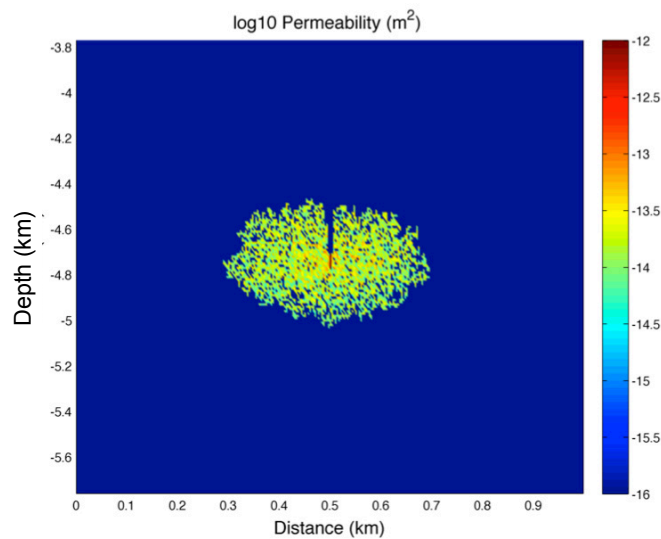
Organisation

GÉOTHERMIE.CH – Antenne romande de la Société suisse pour la géothermie
André Freymond et Stéphane Cattin – Rue du Four 11, 1400 Yverdon-les-Bains
Tél. 024 425 22 83, fax : 024 426 02 12
andre.freymond@geothermie.ch et stephane.cattin@geothermie.ch

Programme détaillé

	Thématique traitée	Timing	Intervenant	Horaire
	<i>Accueil des participants – Café, croissants, réseautage</i>			08:45-09:30
	1. Ouverture de la manifestation par le Responsable de l'Antenne romande de GEOTHERMIE.CH et Message de bienvenue du Doyen de la heig-VD et doyen	10'	A. Freymond & G. Frosio	09:30-09:40
PDF	2. Research challenges for the development and exploitation of deep geothermal energy	40'	Prof. S. A. Miller	09:40-10:20
PDF	3. La moyenne profondeur, la voie la plus directe vers la grande profondeur ?	30'	M. Meyer	10:20-10:50
	<i>Pause café, réseautage</i>			10:50-11:30
PDF	4. Forage géothermique profond ECOGI-Roquette en Alsace, partage d'expériences	40'	C. Baujard	11:30-12:10
PDF	5. Projet de géothermie profonde AGEPP à Lavey : mesures pour minimiser l'impact du forage profond sur les puits exploités pour le thermalisme	25'	G. Bianchetti	12:10-12:35
	<i>Lunch, réseautage</i>			12:35-13:45
PDF	6. Développement du projet de géothermie profonde d'Eclépens dans le contexte de la stratégie énergétique 2050 et dans le sillage de Bâle, Zurich-Triemli et St. Gall : Enseignements, stratégie et développements	30'	P. Vinard	13:45-14:15
no PDF	7. La géologie profonde de la région du Mormont à la lumière du reprocessing de lignes sismiques pétrolières	20'	R. Arn	14:15-14:35
PDF	8. Projets pilotes de géothermie profonde EGS en Suisse romande, à Avenches et à Haute-Sorne	25'	O. Zingg	14:35-15:00
	<i>Pause café, réseautage</i>			15:00-15:30
PDF	9. Sismicité induite dans les projets hydrothermaux et pétrothermaux : causes, enjeux et solutions	25'	V. Badoux	15:30-15:55
PDF	10. Projet Sirius - Sondes géothermiques profondes à Lausanne : retour d'expérience sur 500 mètres	25'	F. Barone & M. Neva	15:55-16:20
PDF	11. Projet de géothermie moyenne profondeur à Schlattigen (TG) : Résultats de l'étude sismique réalisée sans camion vibreur	10'	W. Frei	16:20-16:30
PDF	12. Synthèse, informations diverses et clôture de la journée	10'	A. Freymond & S. Cattin	16:30-16:40
	<i>Apéritif, réseautage</i>			16:40-17:30

Research challenges for the development and exploitation of deep geothermal energy

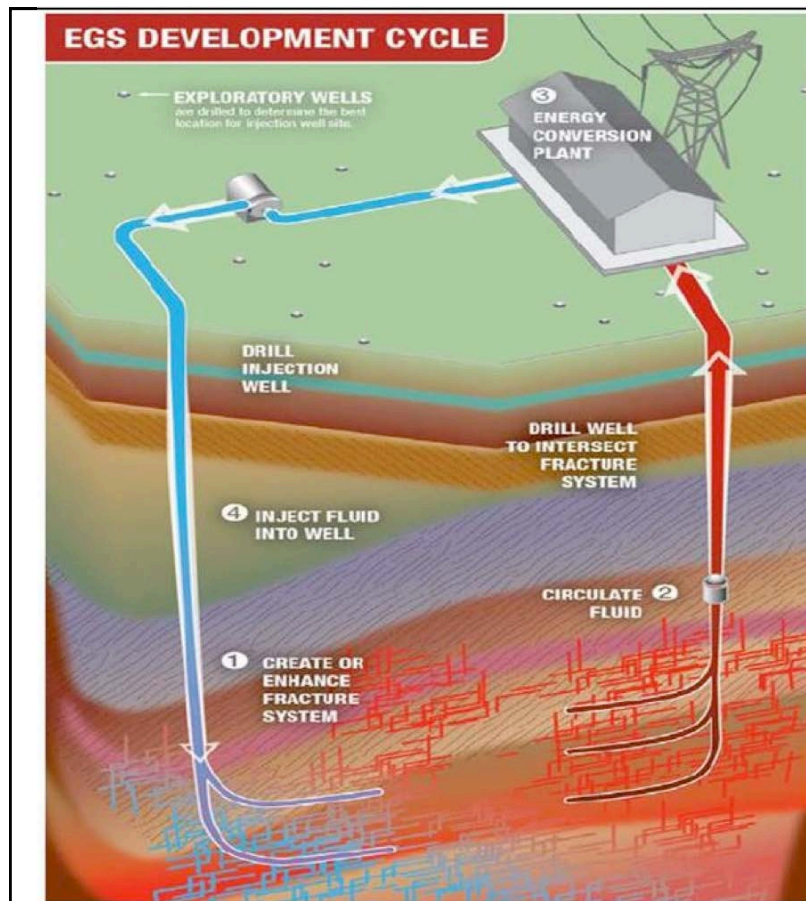


Stephen A. Miller
Boris Galvan
Thomas Heinze
Sahar Hamidi

Geodynamics
University of Bonn

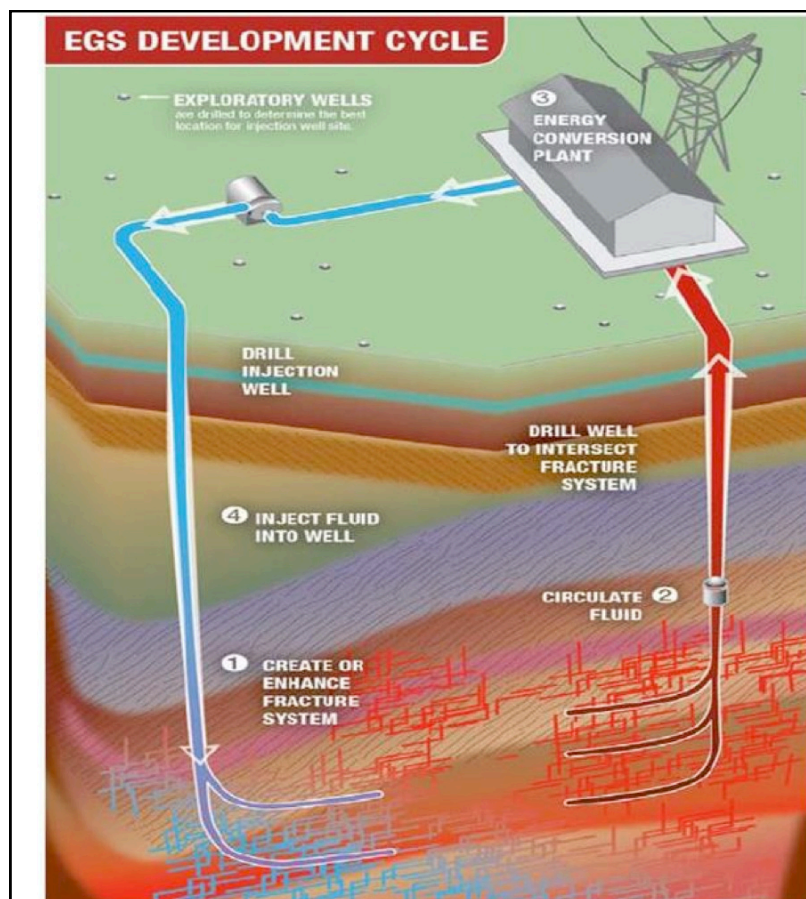






The simple idea.

1. Create or enhance fracture system.
2. Circulate fluid.
3. Recharge iPhone.
4. Repeat.



The Problem.

“Create or enhance fracture system.”

- a) Earthquakes
- b) Crack interaction and growth.
- c) Hydrothermal precipitation
- d) Short-circuit pathways
- e) Fluid losses
- f) Sufficient advection?
- g) ...etc.

No models exist to adequately simulate this.

Outline:

- **Enhanced Geothermal Systems (EGS)**
- Basics of Brittle Rock Mechanics
- THMC- Thermal-Hydraulic-Mechanical-Chemical systems
- A simple model of the of the Basel Fluid Injection experiment.
- GPU-cluster programming and the future of simulating THMC systems.

Outline:

- Enhanced Geothermal Systems (EGS)
- **Basics of Brittle Rock Mechanics**
- THMC- Thermal-Hydraulic-Mechanical-Chemical systems
- A simple model of the of the Basel Fluid Injection experiment.
- GPU-cluster programming and the future of simulating THMC systems.

Outline:

- Enhanced Geothermal Systems (EGS)
- Basics of Brittle Rock Mechanics
- **THMC- Thermal-Hydraulic-Mechanical-Chemical systems**
- A simple model of the of the Basel Fluid Injection experiment.
- GPU-cluster programming and the future of simulating THMC systems.

Outline:

- Enhanced Geothermal Systems (EGS)
- Basics of Brittle Rock Mechanics
- THMC- Thermal-Hydraulic-Mechanical-Chemical systems
- **A simple model of the of the Basel Fluid Injection experiment**
- GPU-cluster programming and the future of simulating THMC systems.

Outline:

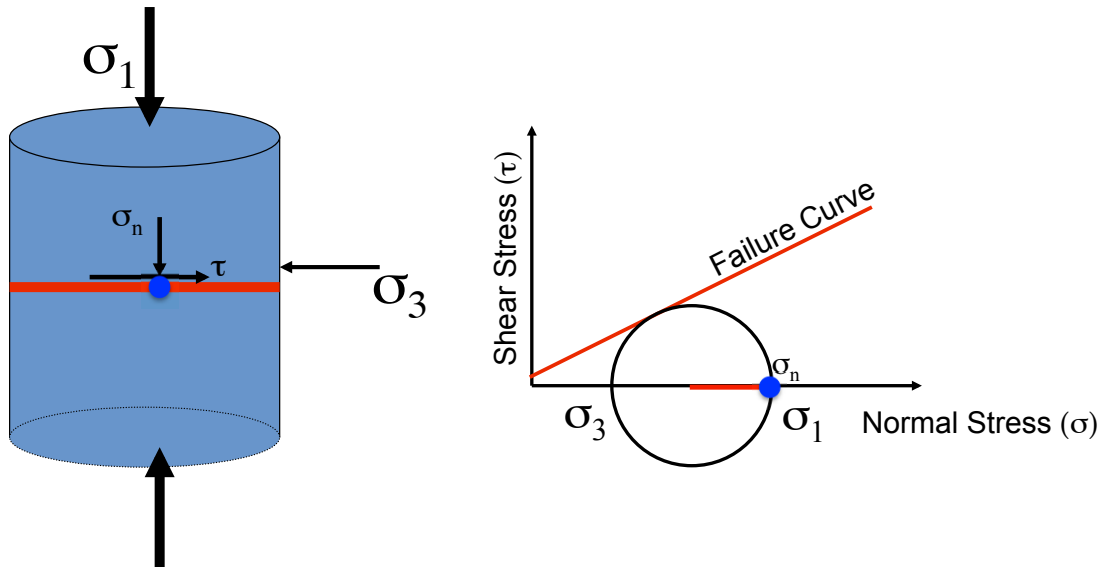
- Enhanced Geothermal Systems (EGS)
- Basics of Brittle Rock Mechanics
- THMC- Thermal-Hydraulic-Mechanical-Chemical systems
- A simple model of the of the Basel Fluid Injection experiment.
- GPU-cluster programming and the future of simulating THMC systems.

Outline:

- Enhanced Geothermal Systems (EGS)
- Basics of Brittle Rock Mechanics
- THMC- Thermal-Hydraulic-Mechanical-Chemical systems
- A simple model of the of the Basel Fluid Injection experiment.
- GPU-cluster programming and the future of simulating THMC systems.
- Geothermal energy exploitation potential at the Lusi mud eruption site.

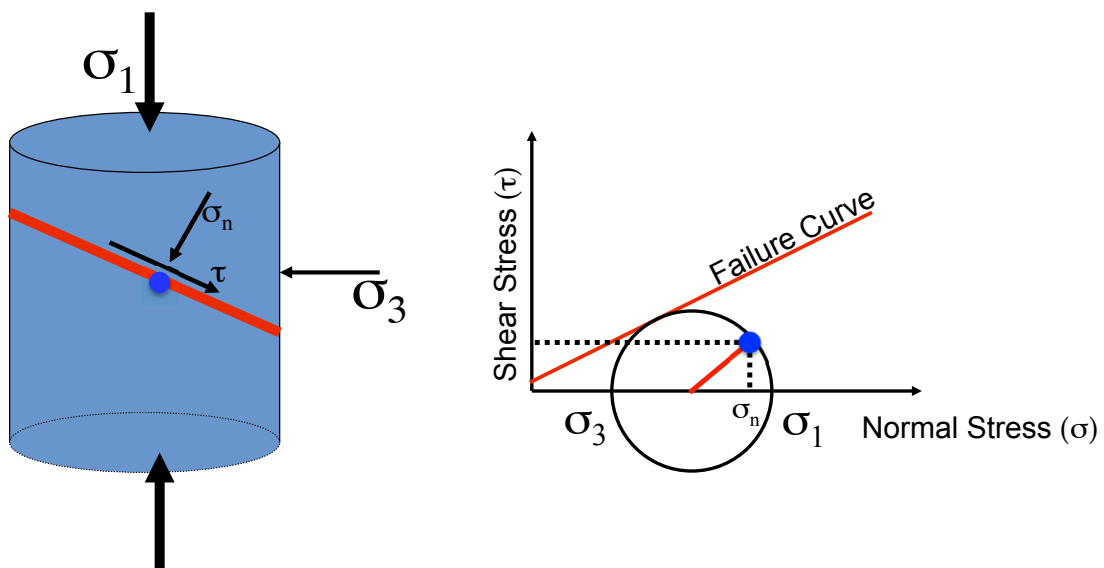
Short Course in Brittle Rock Mechanics

Thermal-**H**ydraulic-**M**echanical-**C**hemical



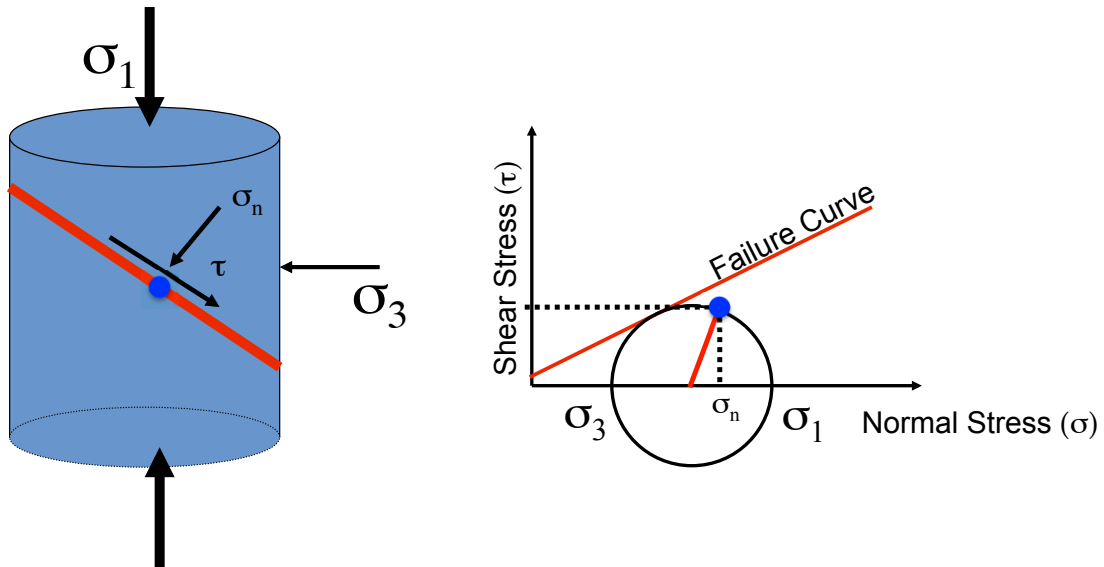
Short Course in Brittle Rock Mechanics

Thermal-**H**ydraulic-**M**echanical-**C**hemical



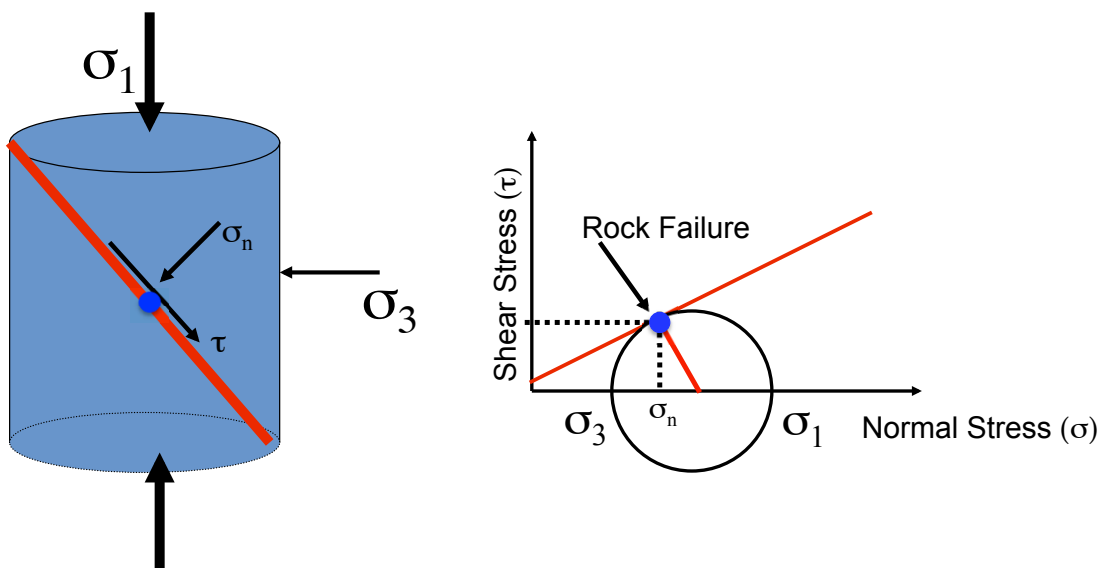
Short Course in Brittle Rock Mechanics

Thermal-**H**ydraulic-**M**echanical-**C**hemical



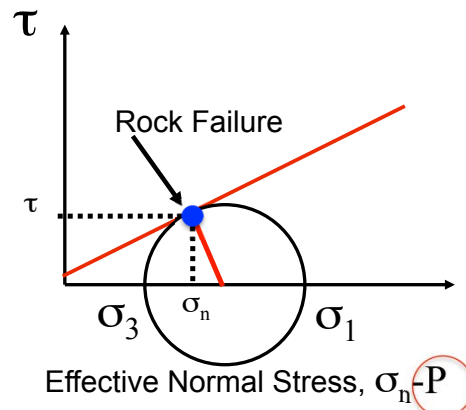
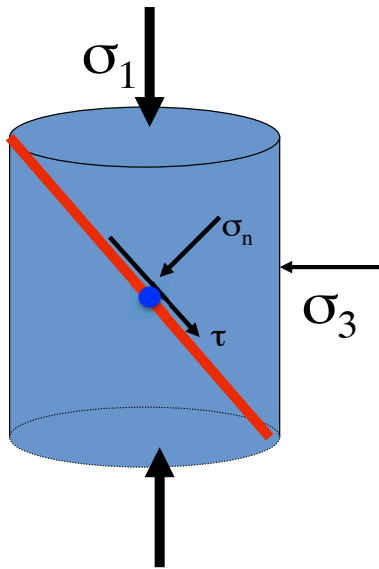
Short Course in Brittle Rock Mechanics

Thermal-**H**ydraulic-**M**echanical-**C**hemical



Short Course in Brittle Rock Mechanics

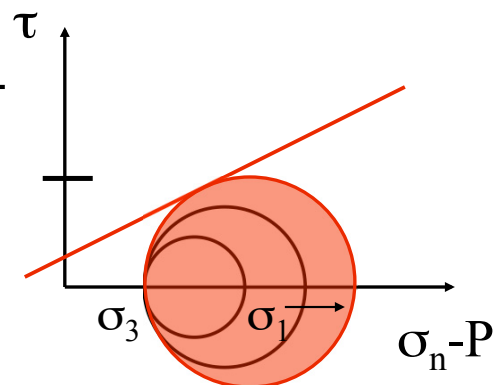
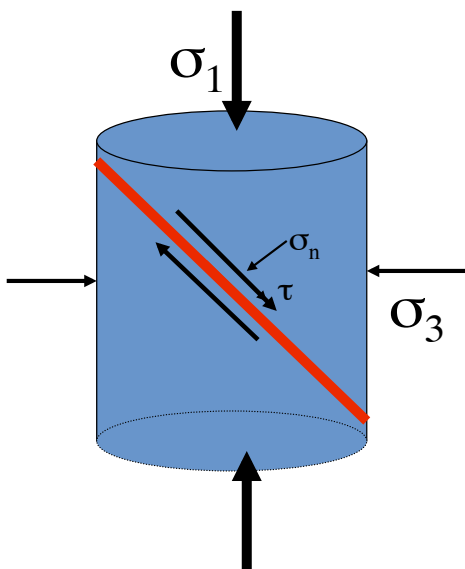
Thermal-**H**ydraulic-**M**echanical-**C**hemical



P =Fluid Pressure

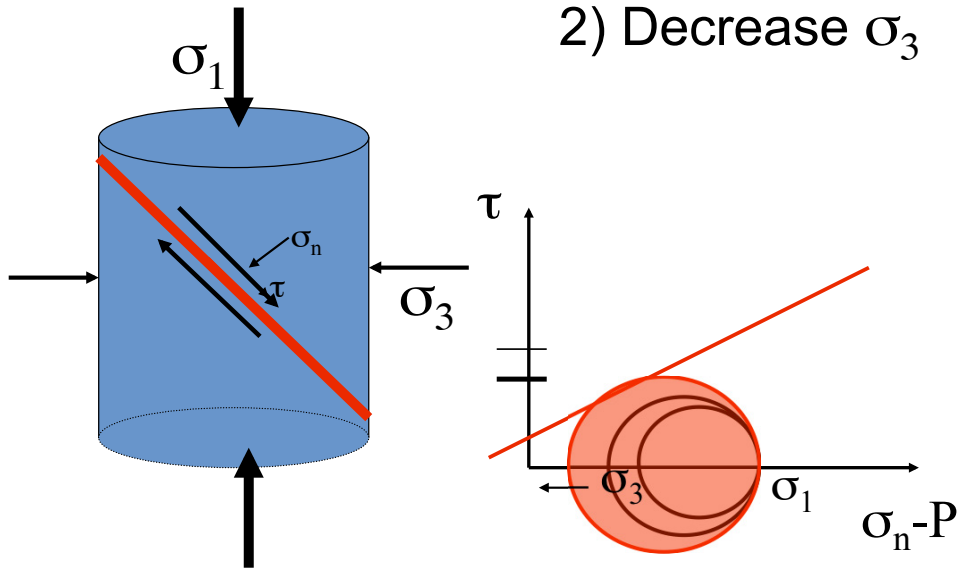
Four Ways to Break a Rock

1) Increase σ_1



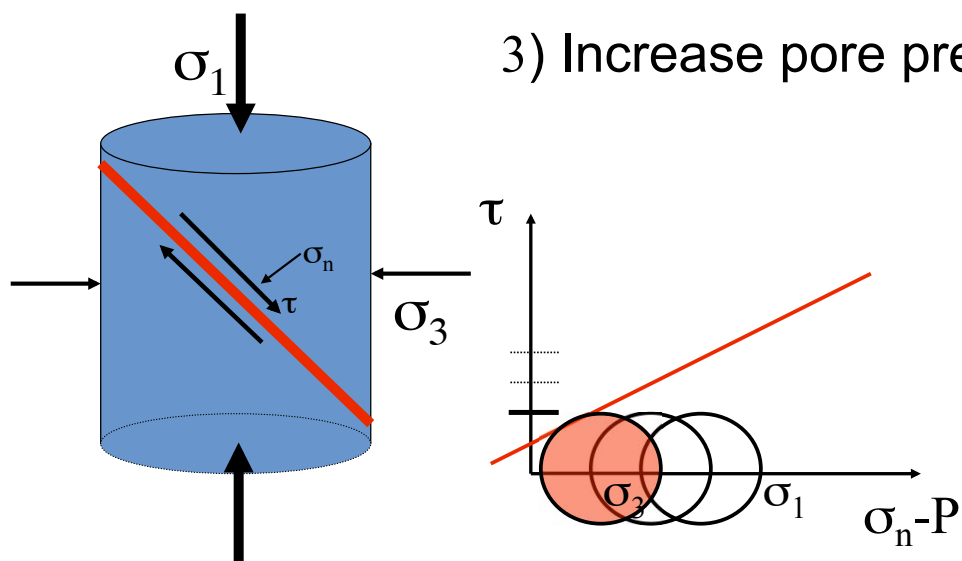
Four Ways to Break a Rock

2) Decrease σ_3



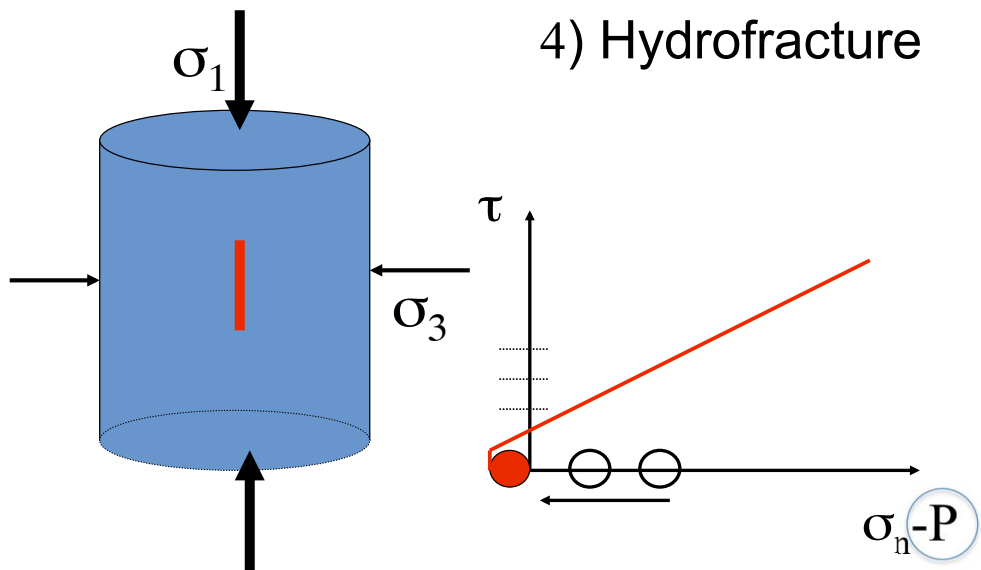
Four Ways to Break a Rock

3) Increase pore pressure P



Shear failure if there is any moderate differential stress at depth (e.g. Basel)

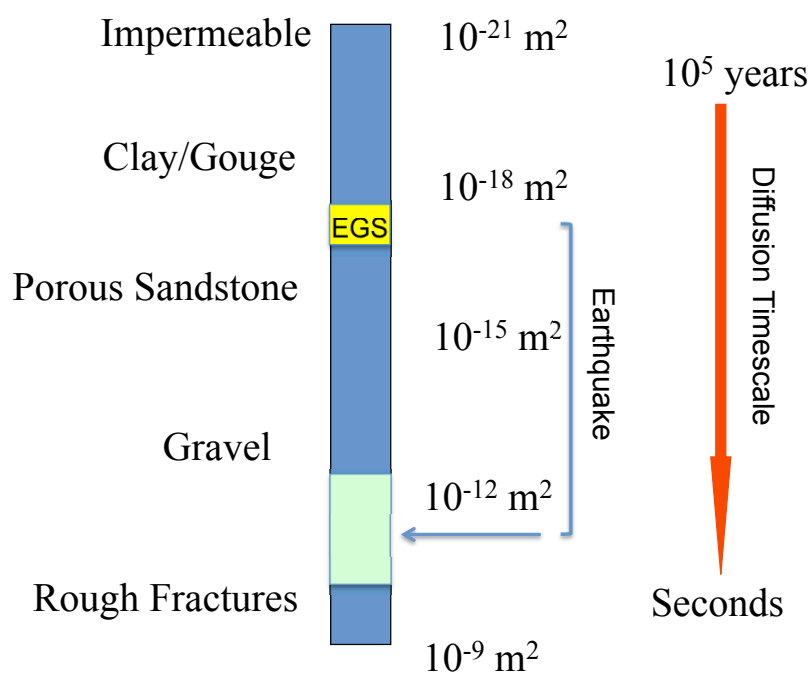
Four Ways to Break a Rock



Tensile failure if there is little differential stress at depth (e.g. Fracking)

Depends on Permeability k

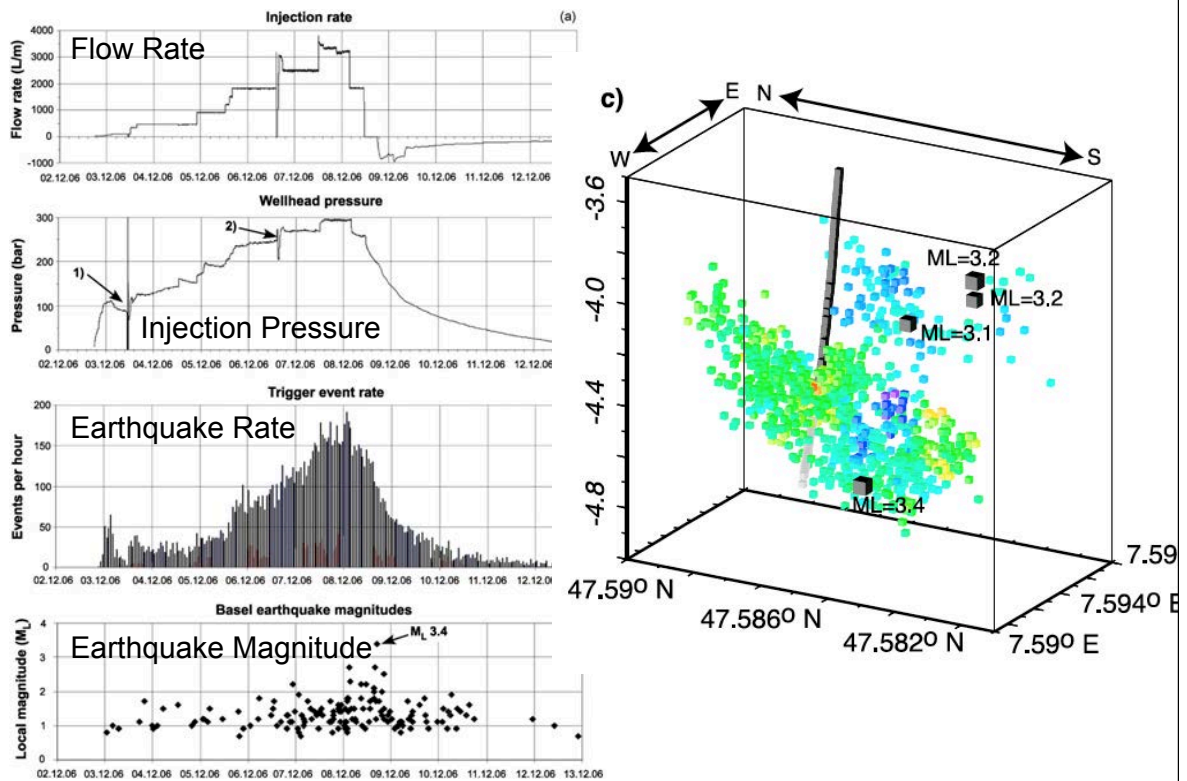
The Permeability Scale:



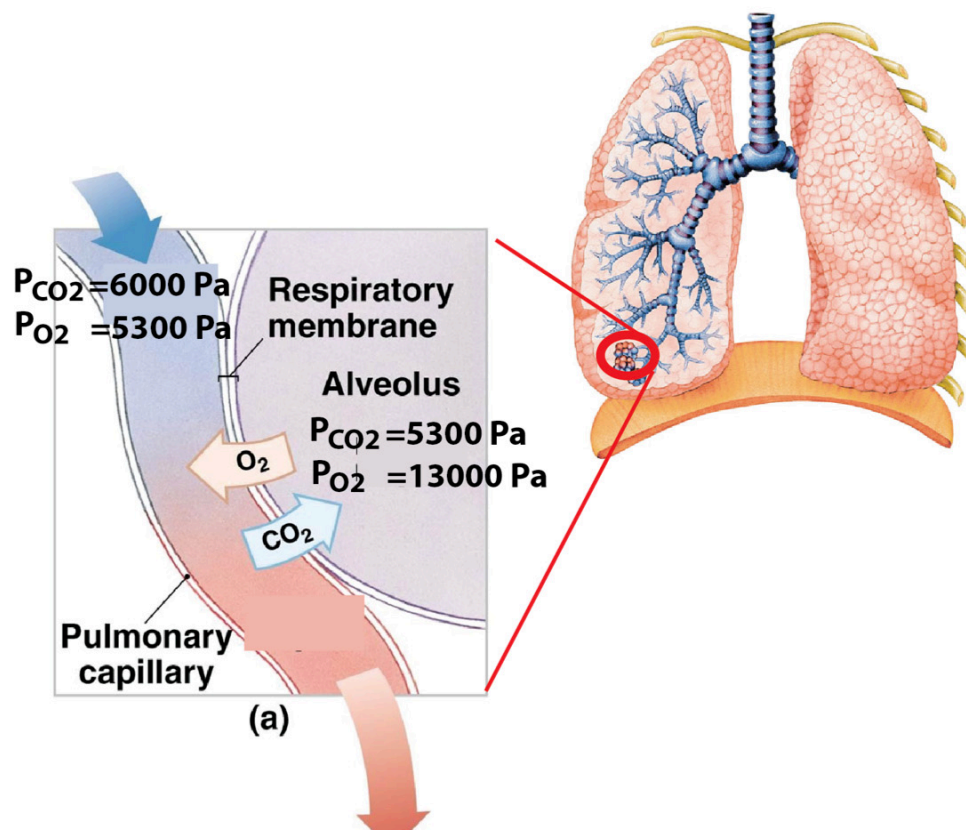
Basel Fluid Injection Experiment

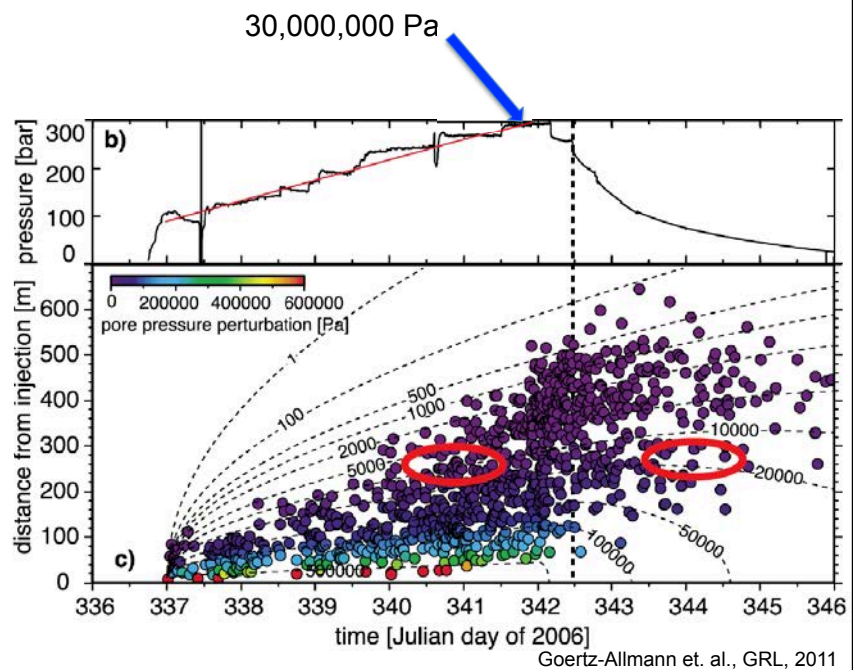
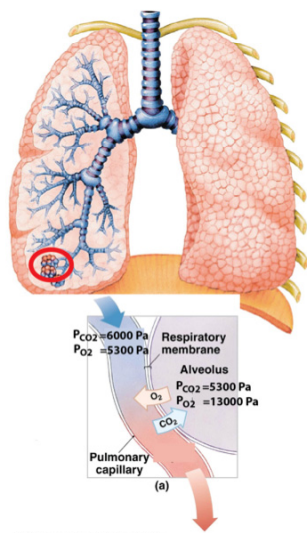
M.O. Häring et al. / Geothermics 37 (2008) 469–495

47



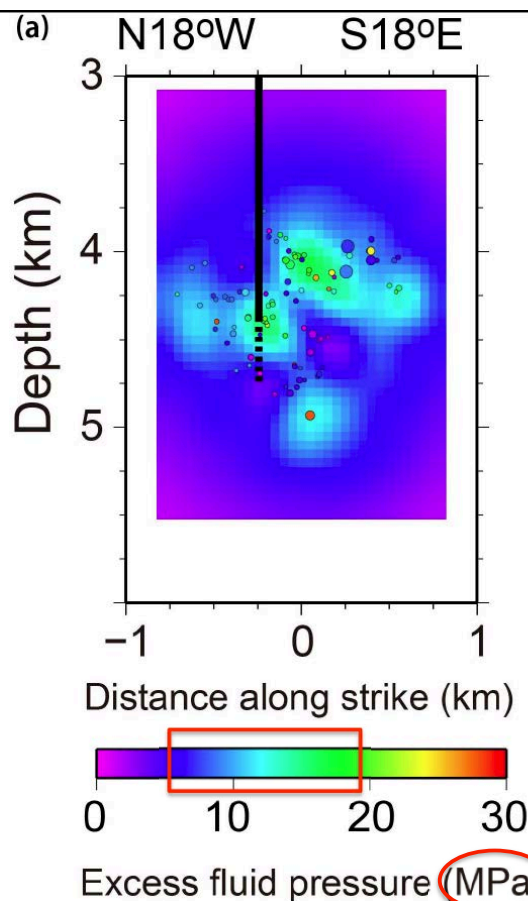
Why linear diffusion models do not apply to EGS Systems





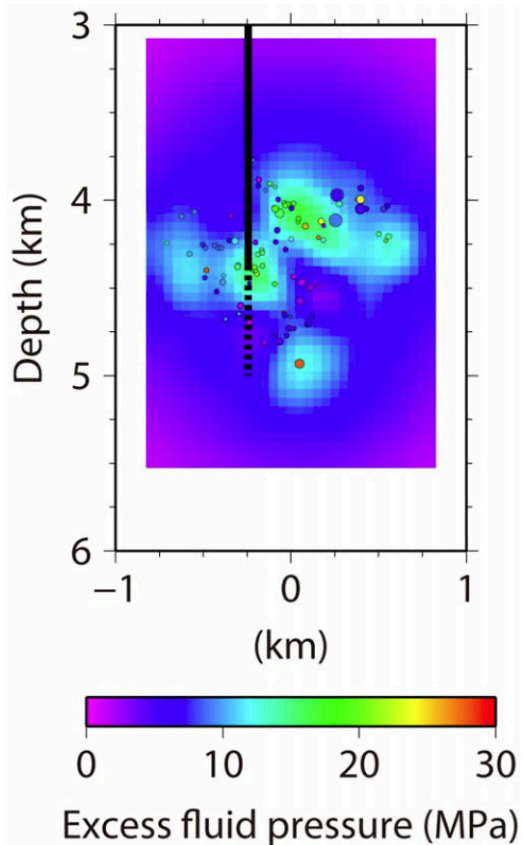
Goertz-Allmann et. al., GRL, 2011

Linear diffusion is a model, but irrelevant to EGS



Fluid pressure distribution in Basel determined from orientation of slip planes relative to the regional stress field.

Terakawa, Miller, & Deichmann, 2012



So how do we model this?

Terakawa, Miller, & Deichmann, 2012

Develop a **minimalist model** to capture the dominant processes controlling EGS reservoirs

Compare model results with:

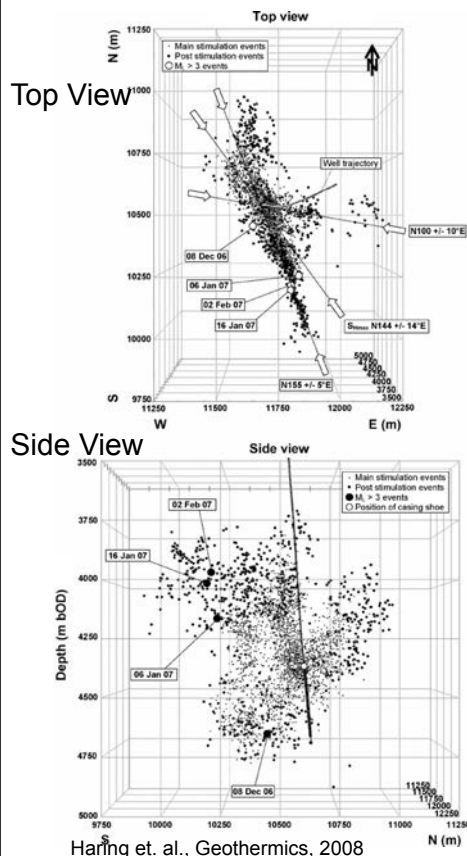
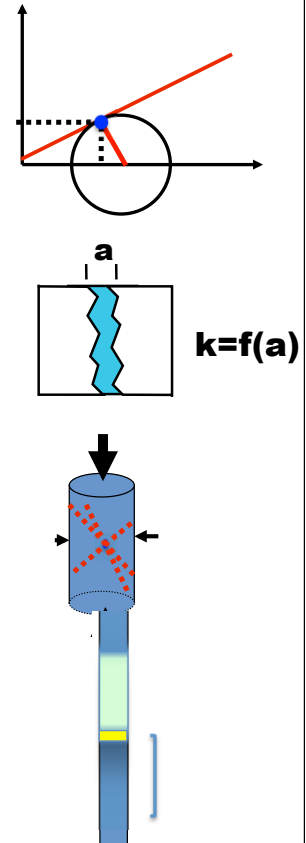
- Earthquake hypocenters;
- Rate of induced earthquakes;
- Flow Rates.

Use model to determine:

- Fluid Pressure at trigger;
- Shear stress at trigger;
- Average fluid pressure of stimulated reservoir;
- **Average permeability of stimulated reservoir.**

The Simplest of Models:

- Byerlee Friction (Mohr-Coulomb failure)
- Fluid-Pressure-dependent permeability (e.g. non-linear diffusion)
- Random Distribution of Incipient faults within regional stress field
- **Large increase in permeability at failure (e.g. 500-1000x).**



Assumptions:

- 1) Two-dimensional
- 2) Non-linear permeability

$$k = k_0 e^{-\frac{\bar{\sigma}}{\sigma^*}}$$

Solve Non-linear diffusion equation

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{1}{\phi\beta} \nabla \cdot \left[\frac{k}{\eta} \nabla P \right]$$

P = fluid pressure

k = permeability

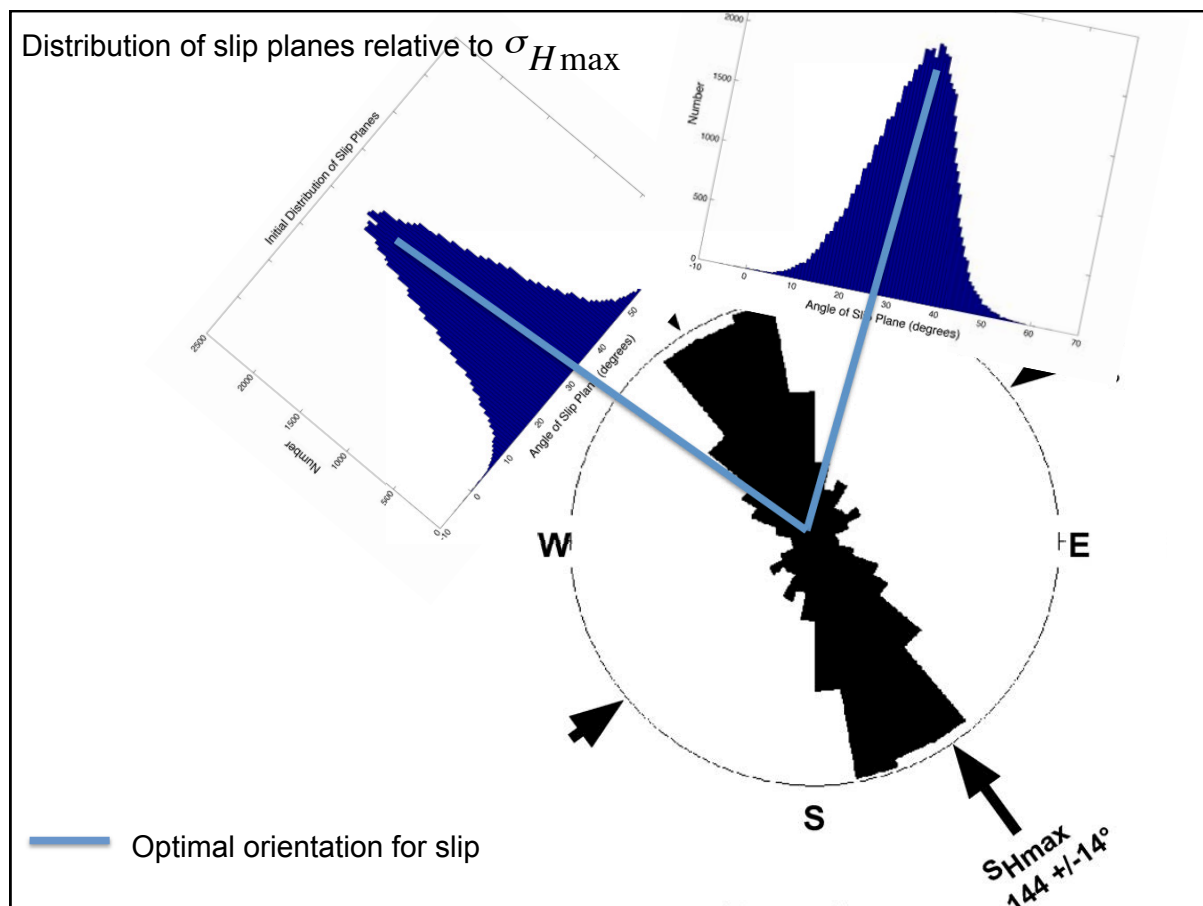
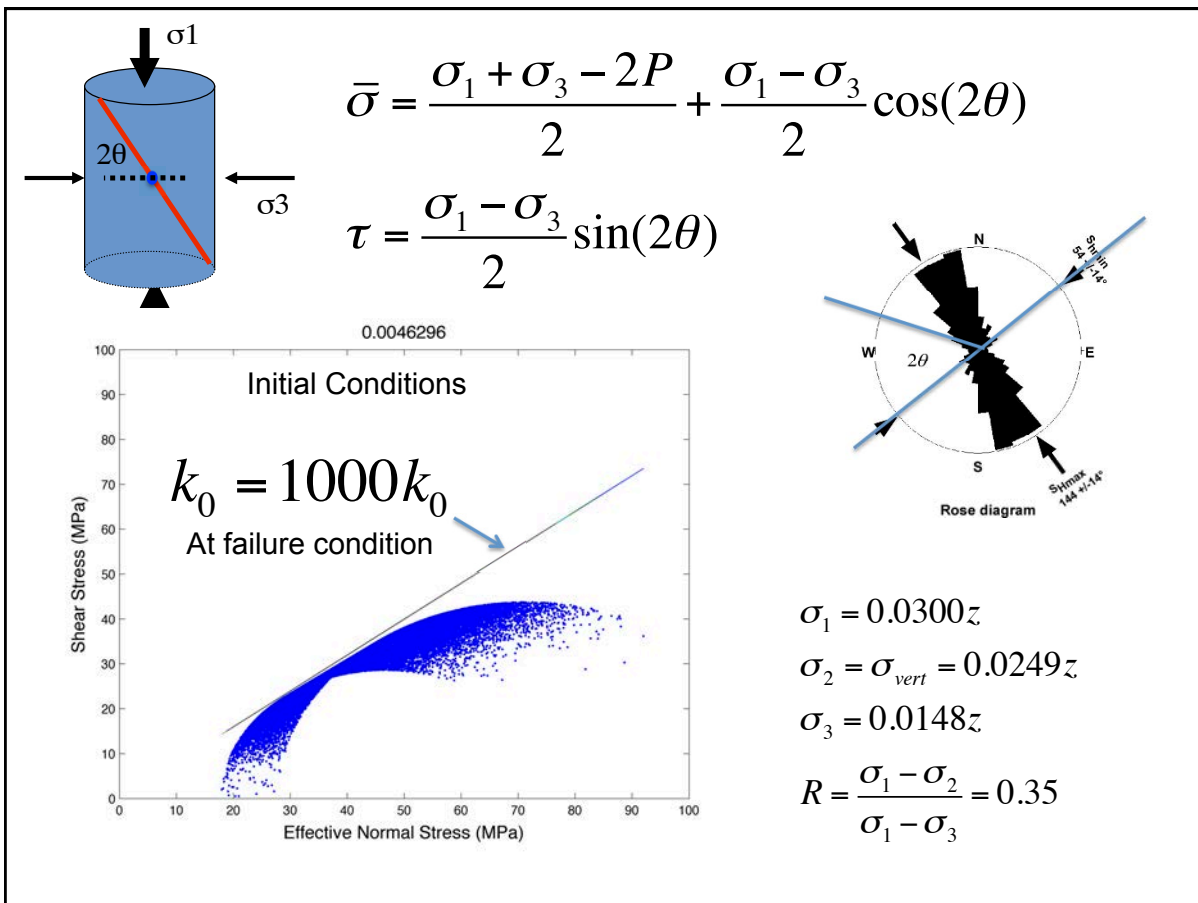
ϕ = porosity

β = compressibility

η = viscosity

$\bar{\sigma}$ = effective normal stress

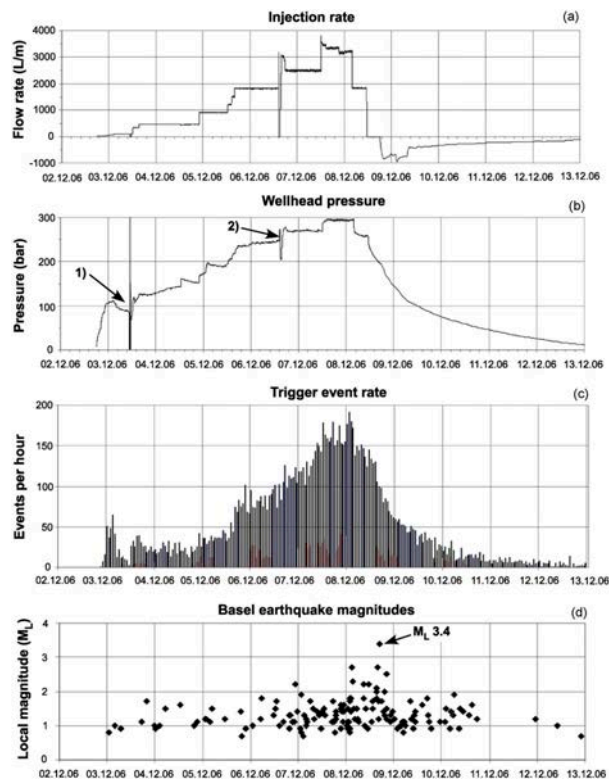
σ^* = const.



The Observations

M.O. Häring et al. / Geothermics 37 (2008) 469–495

47



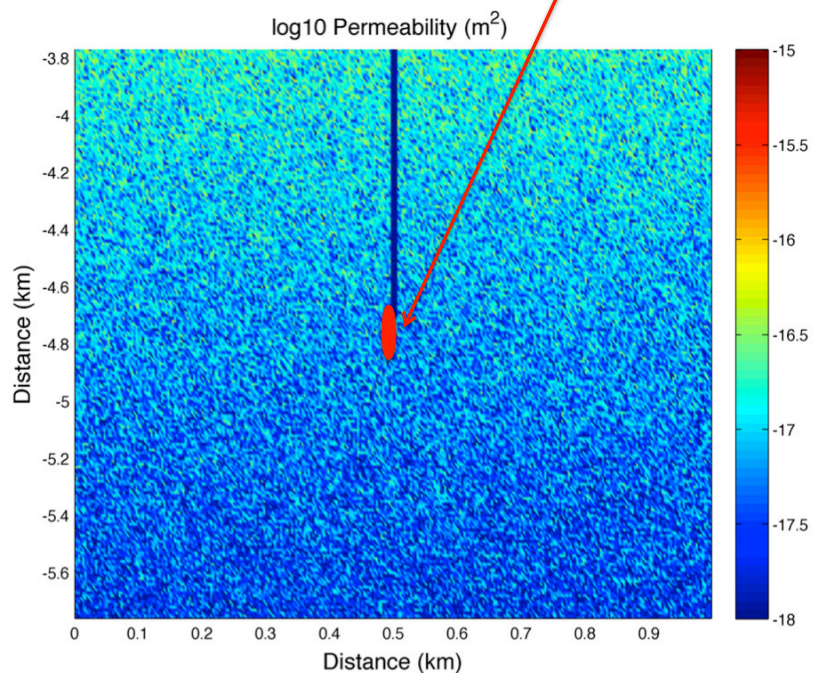
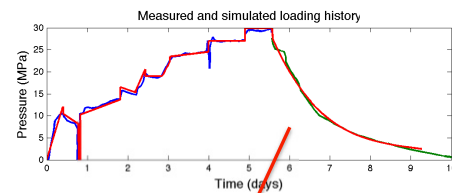
Flow Rate

Injection Pressure

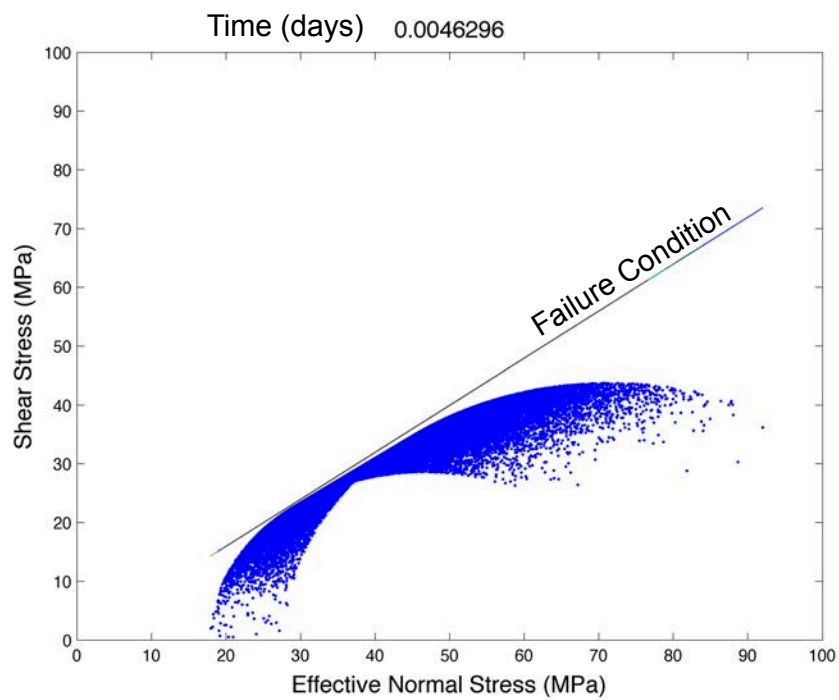
Earthquake Rate

Earthquake Magnitude

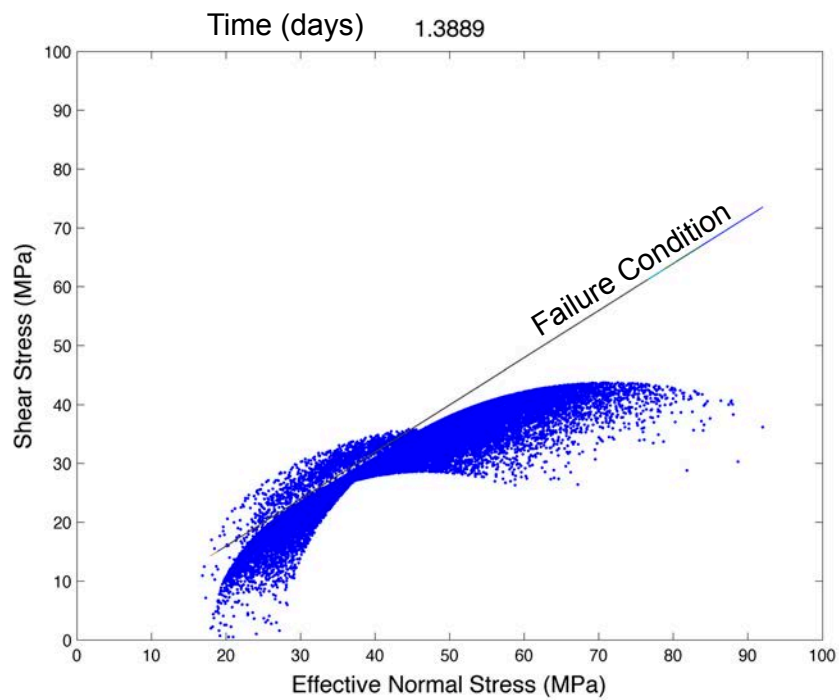
Input Pressure-Time History



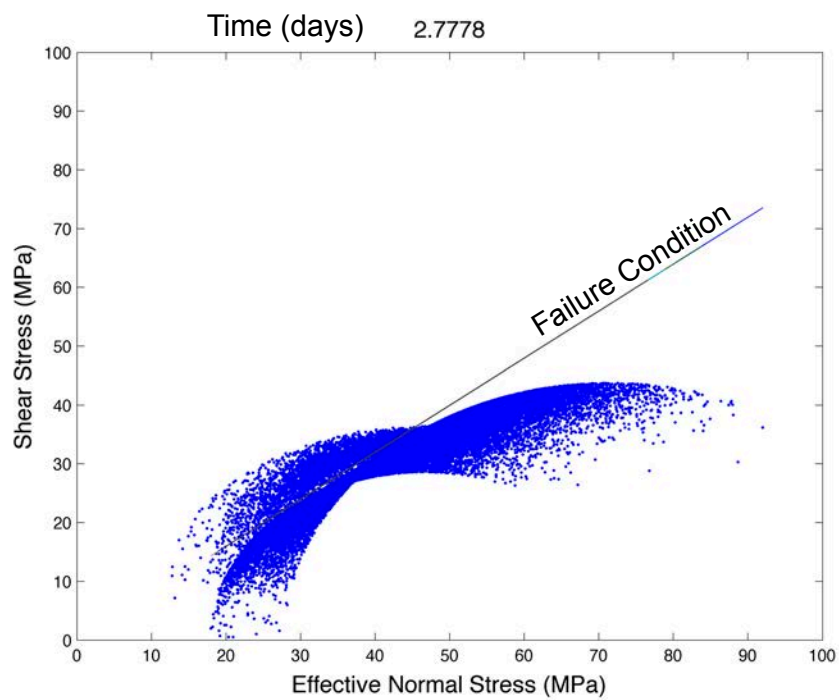
Stress State Evolution



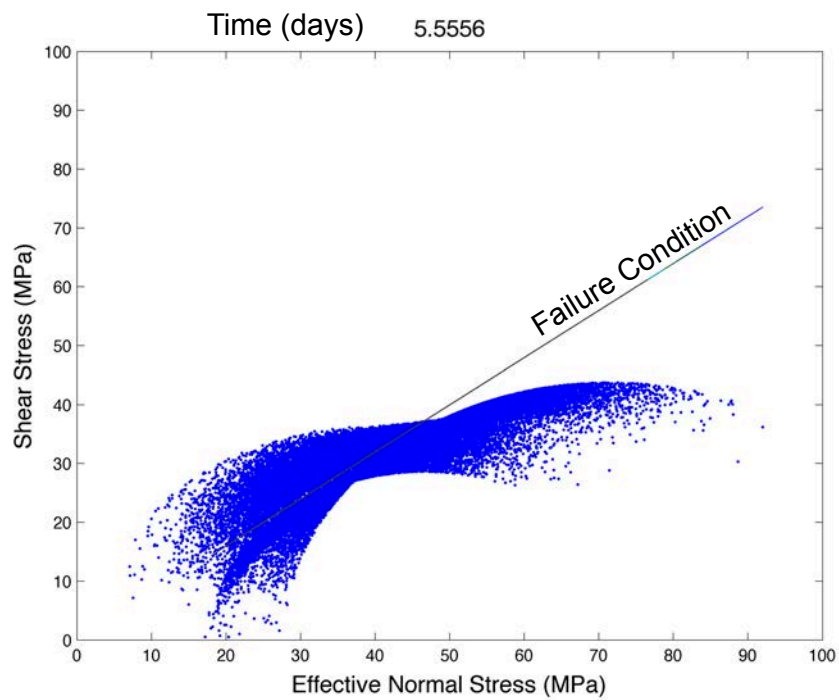
Stress State Evolution



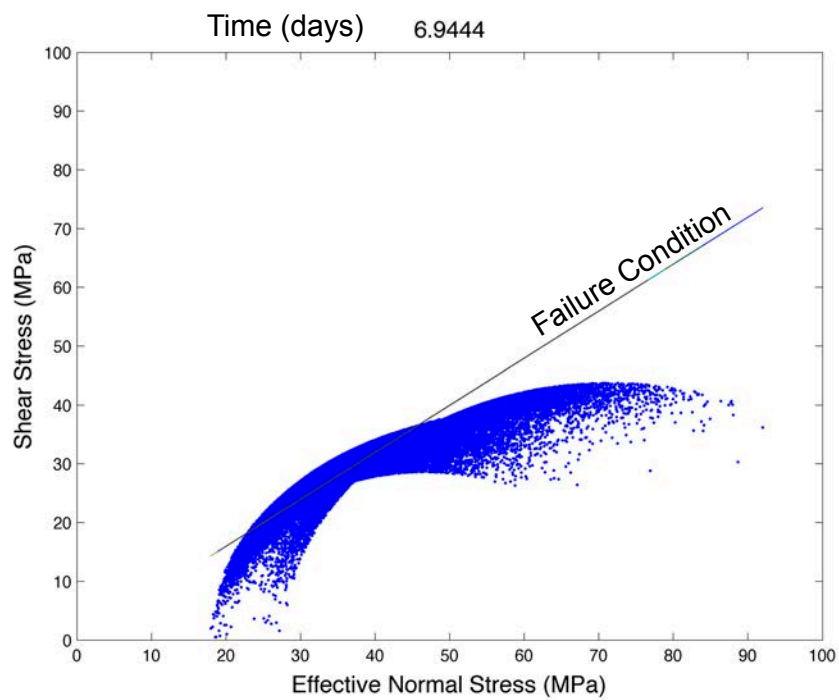
Stress State Evolution



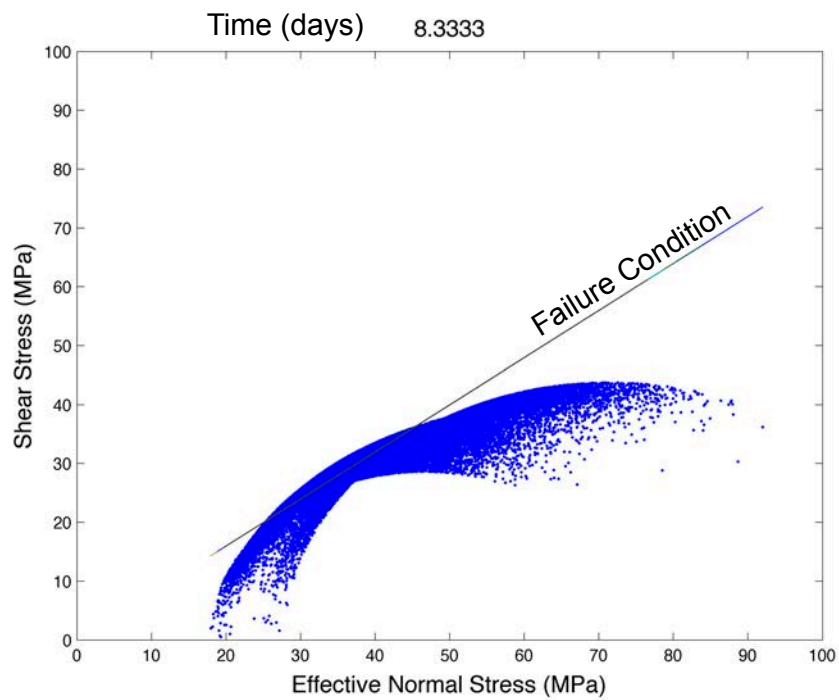
Stress State Evolution



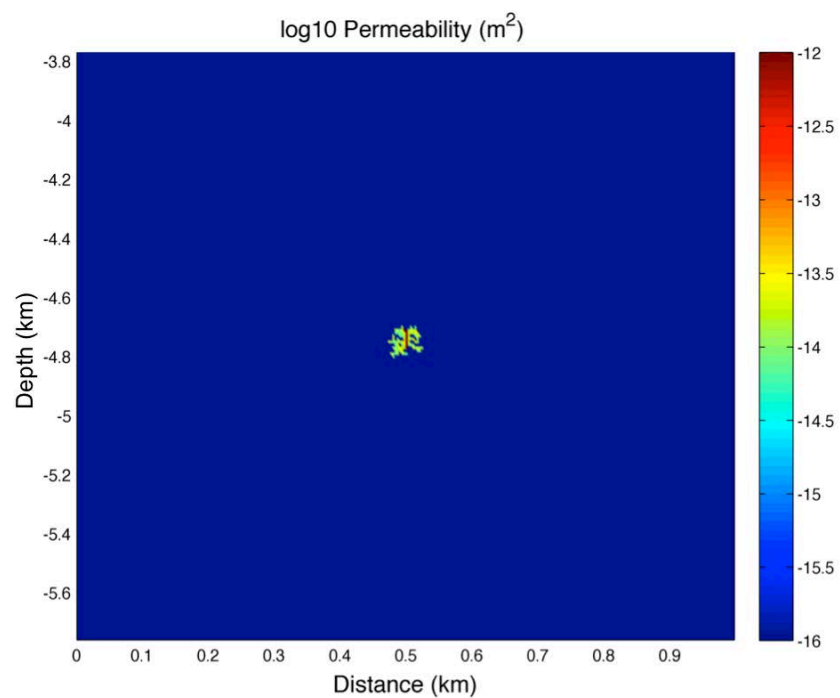
Stress State Evolution



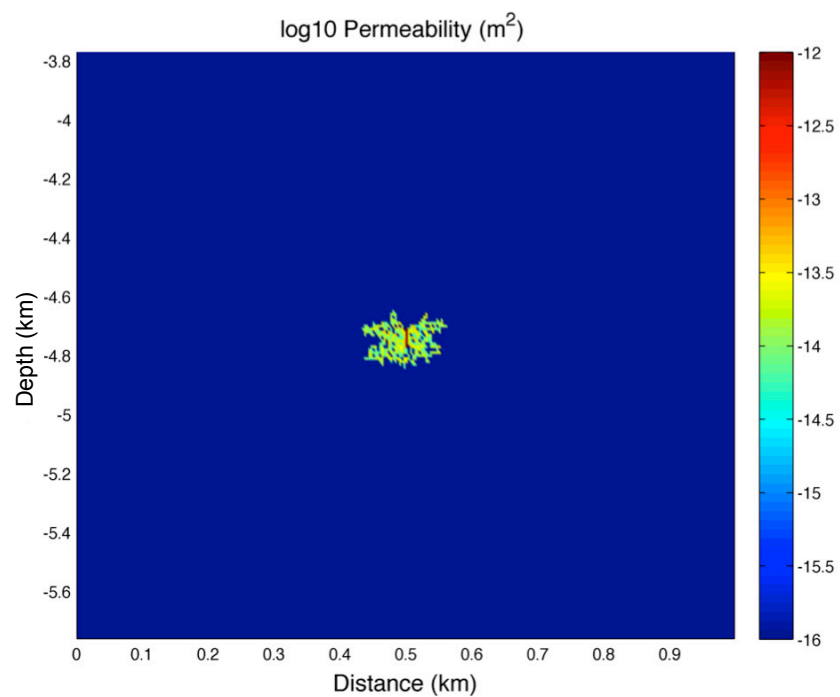
Stress State Evolution



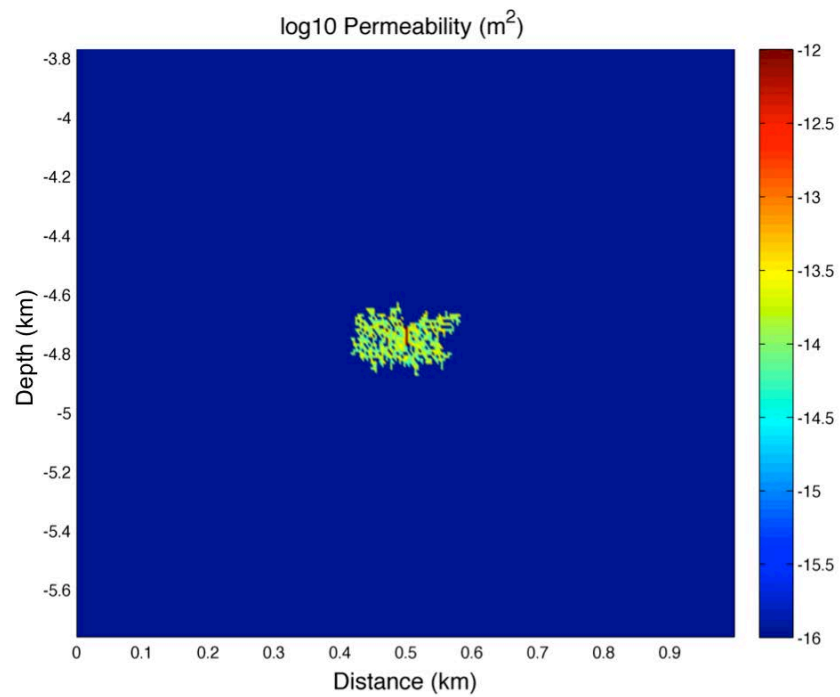
Permeability Evolution



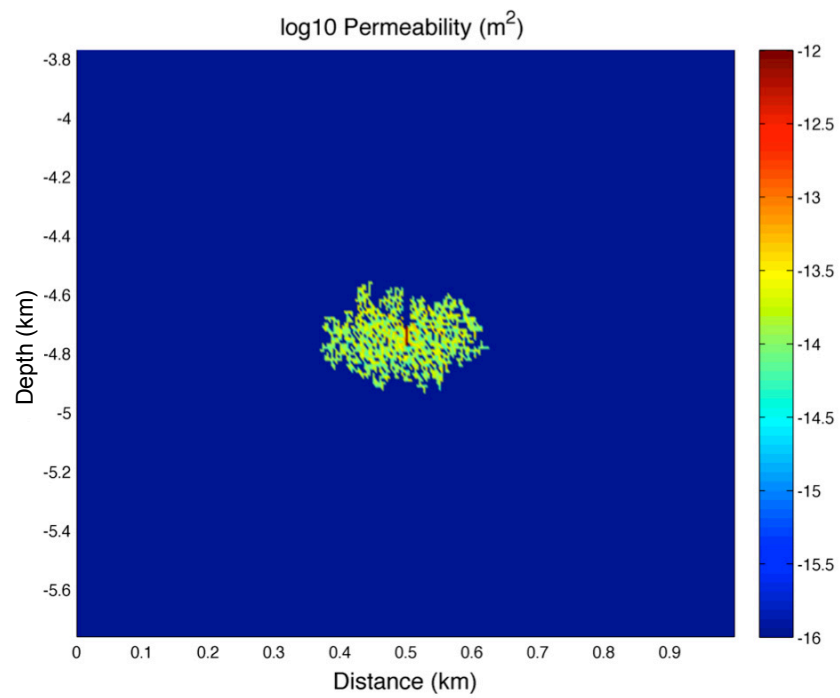
Permeability Evolution



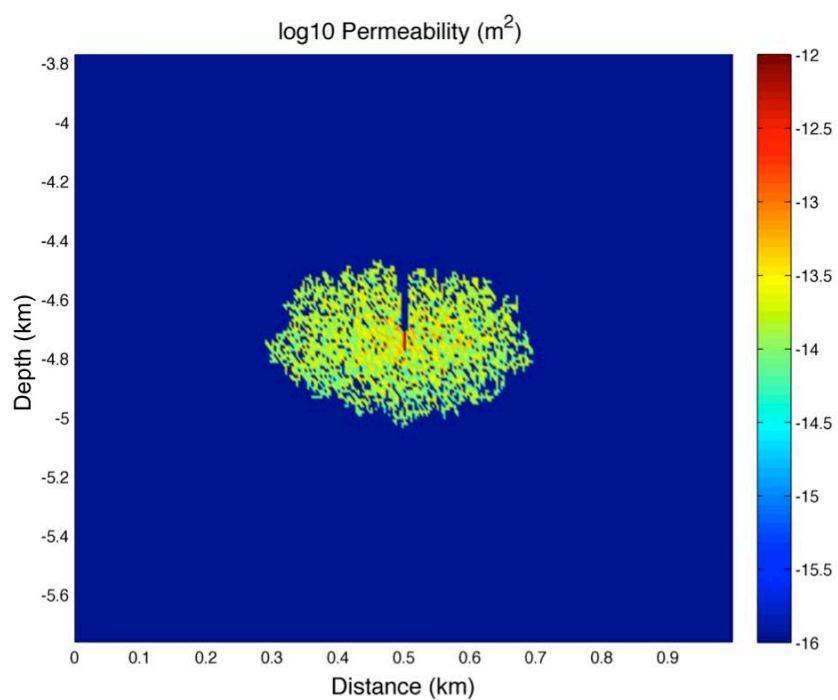
Permeability Evolution



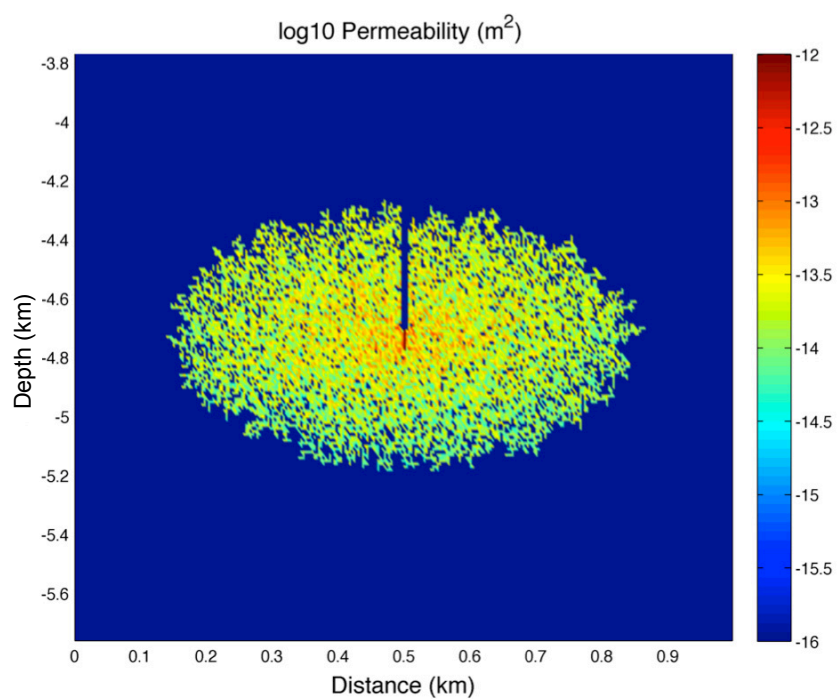
Permeability Evolution

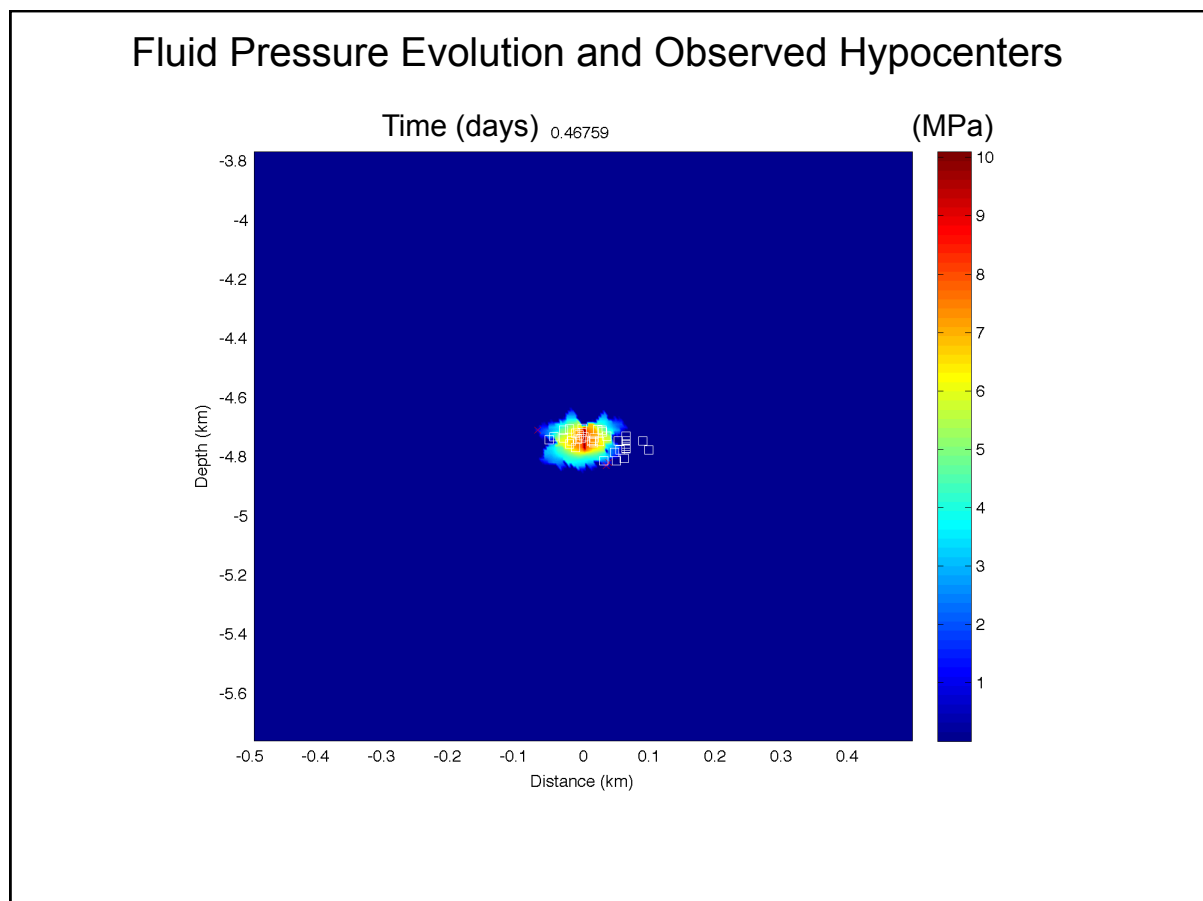
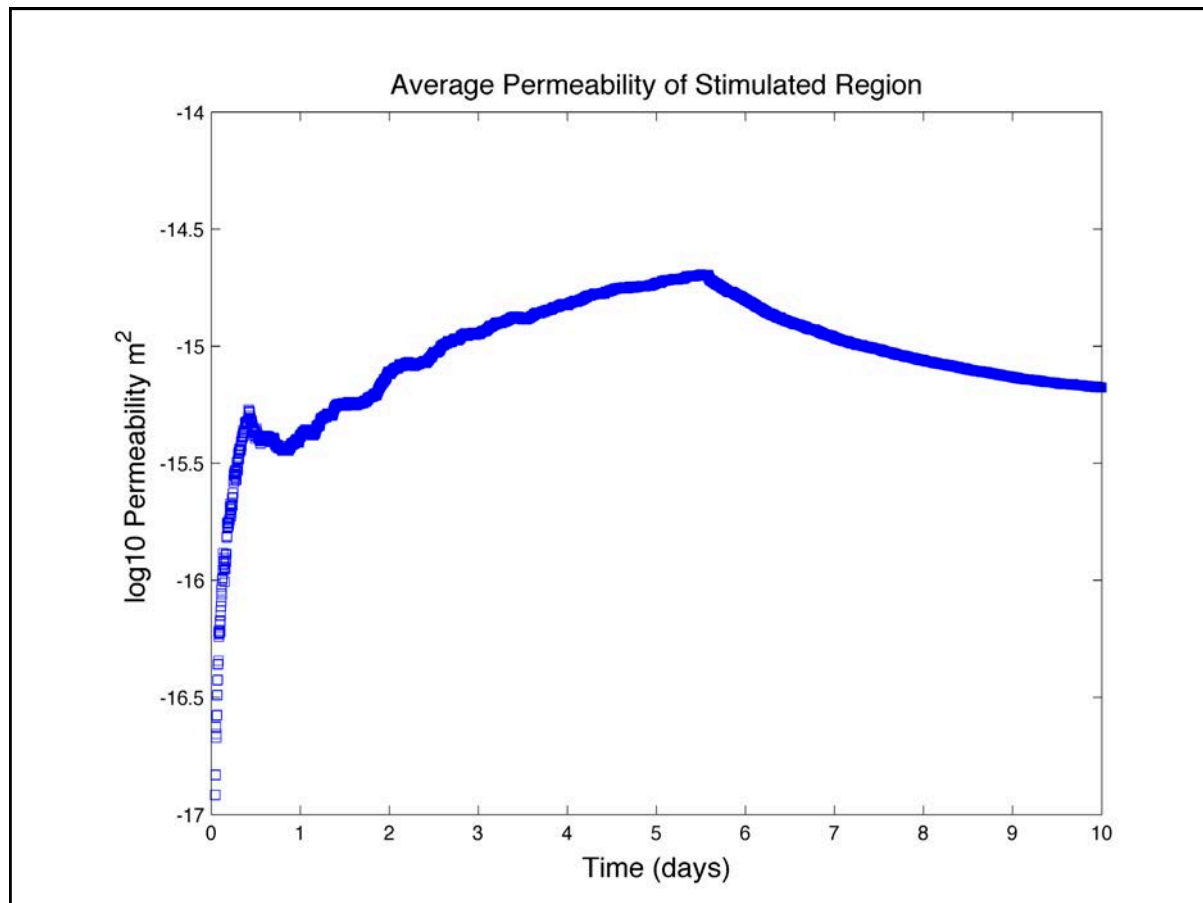


Permeability Evolution

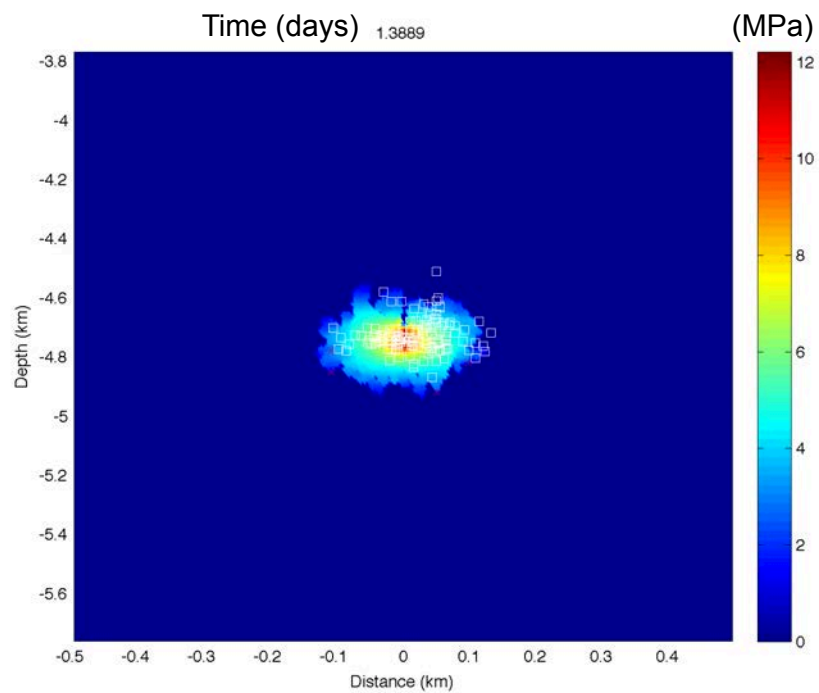


Permeability Evolution

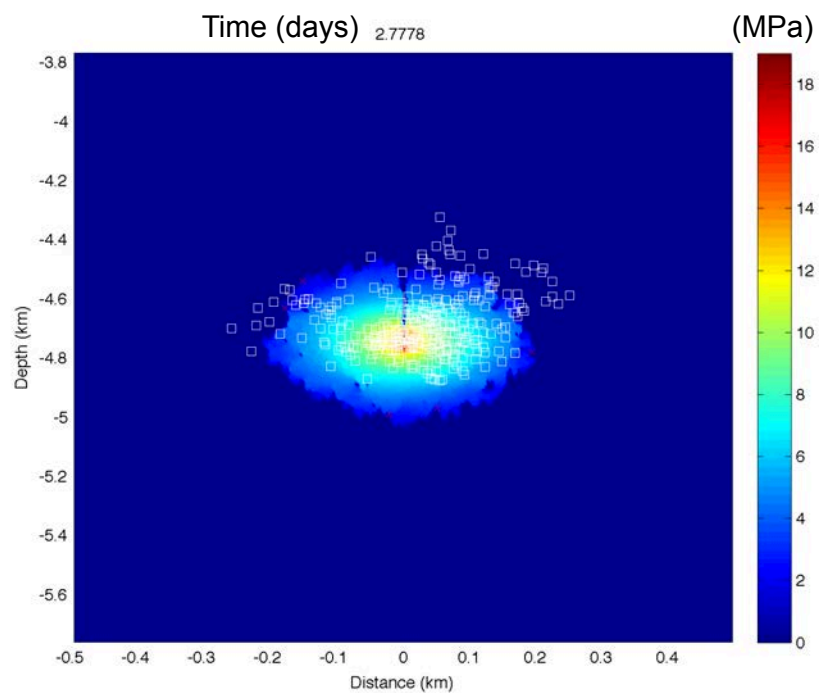




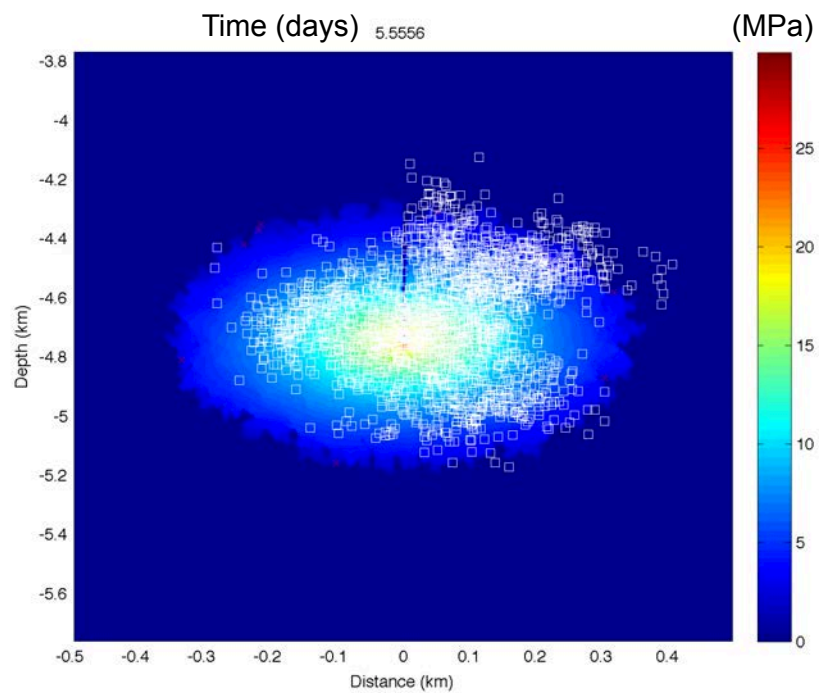
Fluid Pressure Evolution and Observed Hypocenters



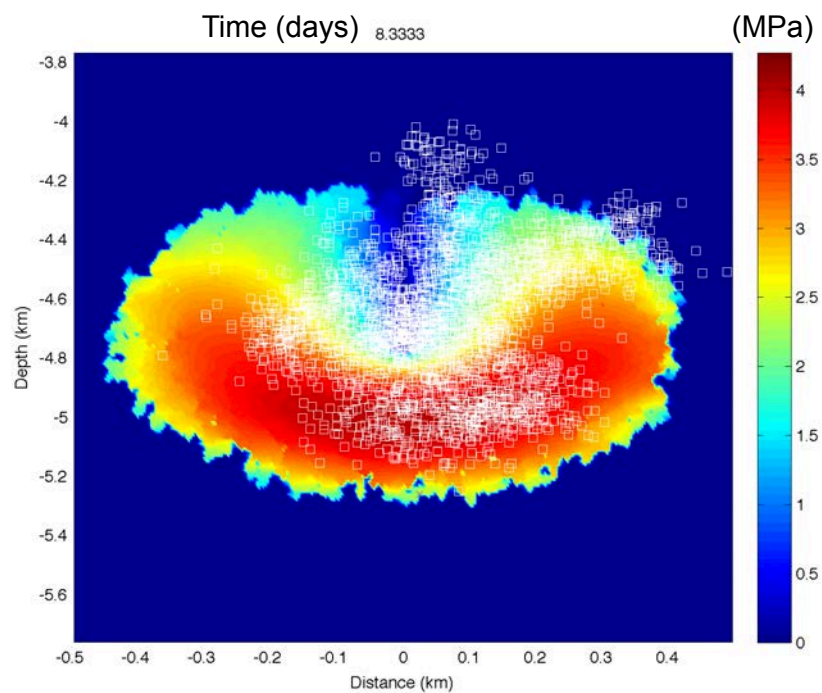
Fluid Pressure Evolution and Observed Hypocenters

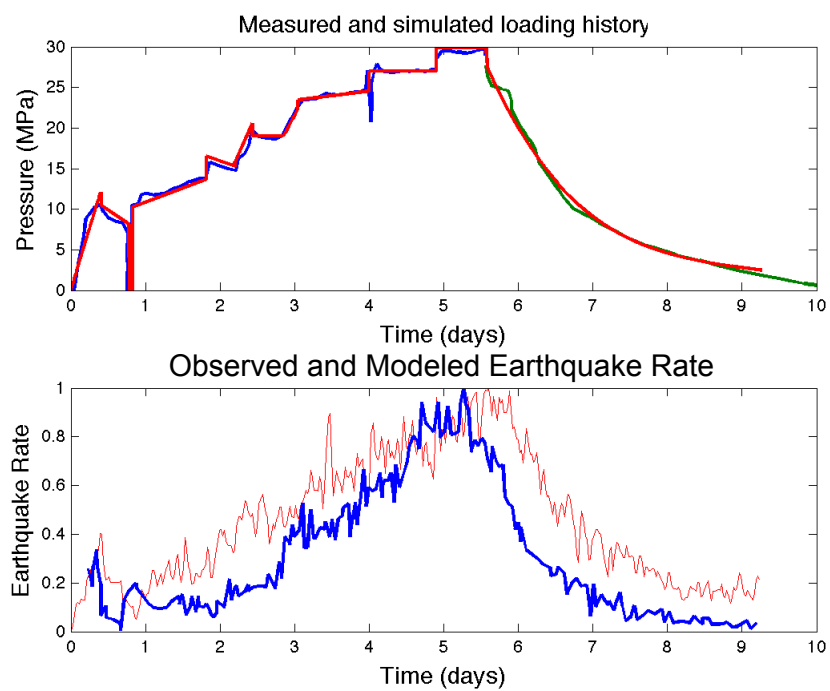
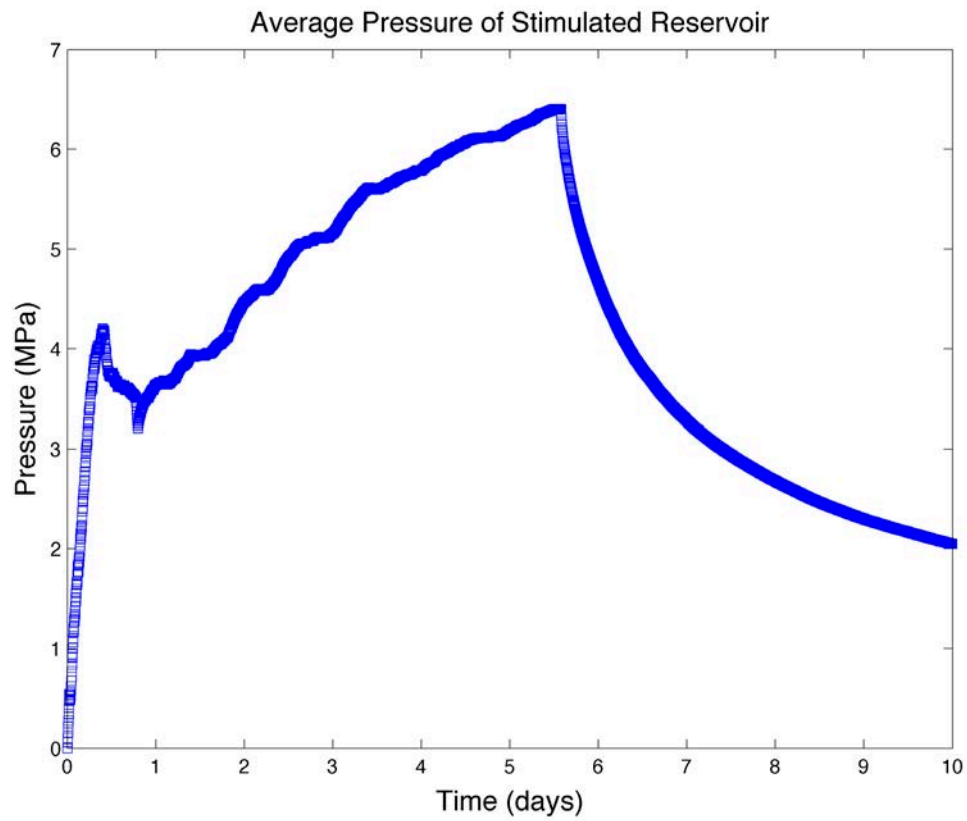


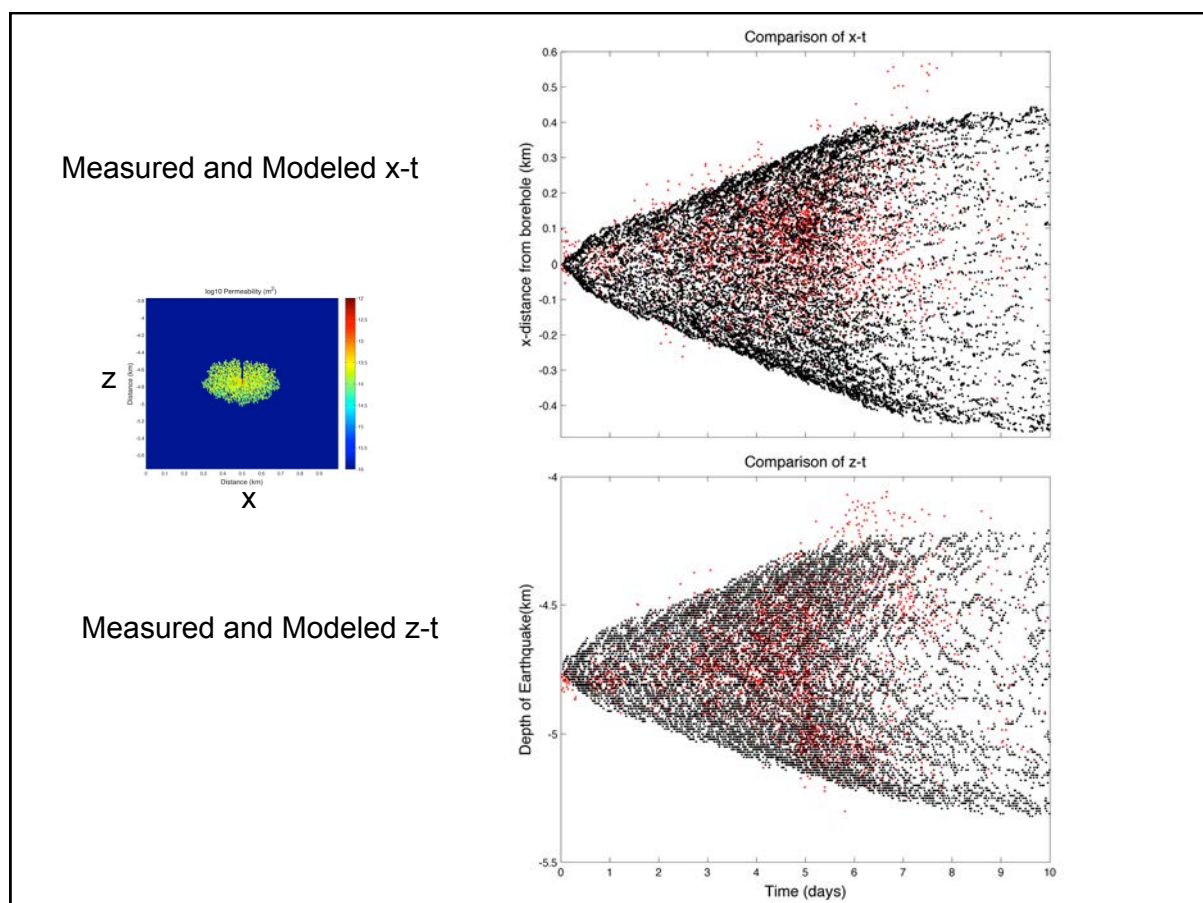
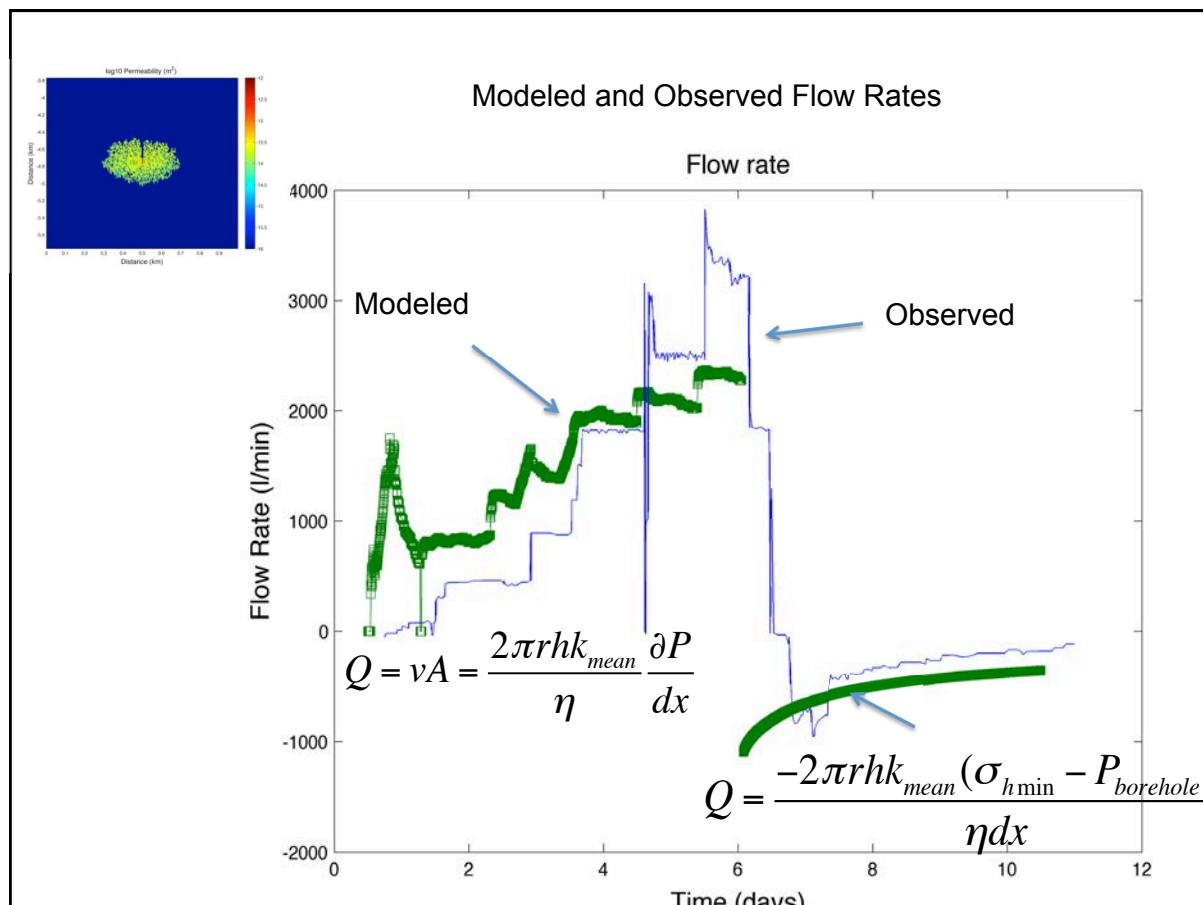
Fluid Pressure Evolution and Observed Hypocenters



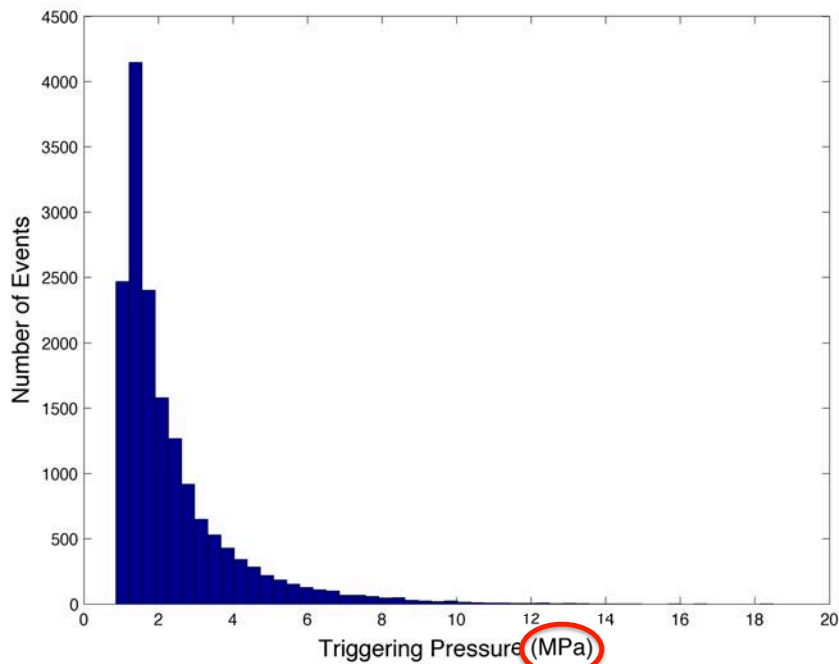
Fluid Pressure Evolution and Observed Hypocenters







Modeled Triggering Fluid Pressure



Simple model shows excellent correlation with:

- 1) Earthquake rates
- 2) Measured and modeled x-t
- 3) Measured and modeled z-t
- 4) Measured and modeled flow rates
- 5) Measured and modeled average permeability

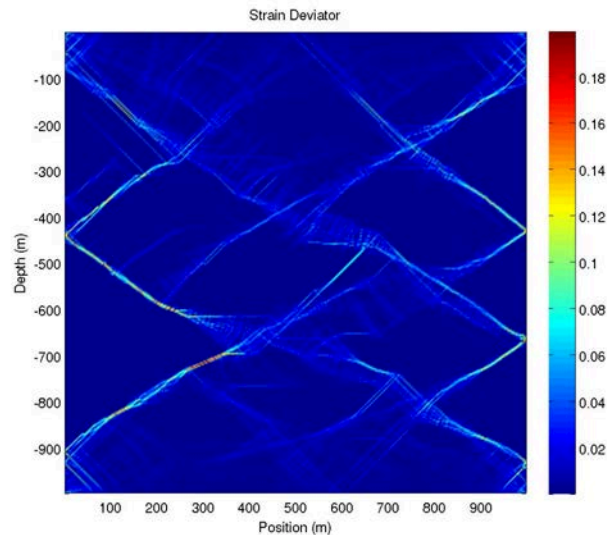
Also shows:

- 1) Triggering pressures 2-12 MPa (orders of magnitude larger than linear diffusion)
- 2) Forward model consistent with fluid pressures inferred from earthquake focal mechanisms

System dominated by large and short timescale changes in permeability. Therefore, models must explicitly include the evolving fracture networks that control THMC system.

New Approach:

Formulate the governing equations using an explicit finite difference scheme, and written in CUDA programming language for simulations on a Graphics Processing Unit (GPU) cluster.



Galvan and Miller, 2013

Pore-elastoplastic model with non-linear diffusion in GPU

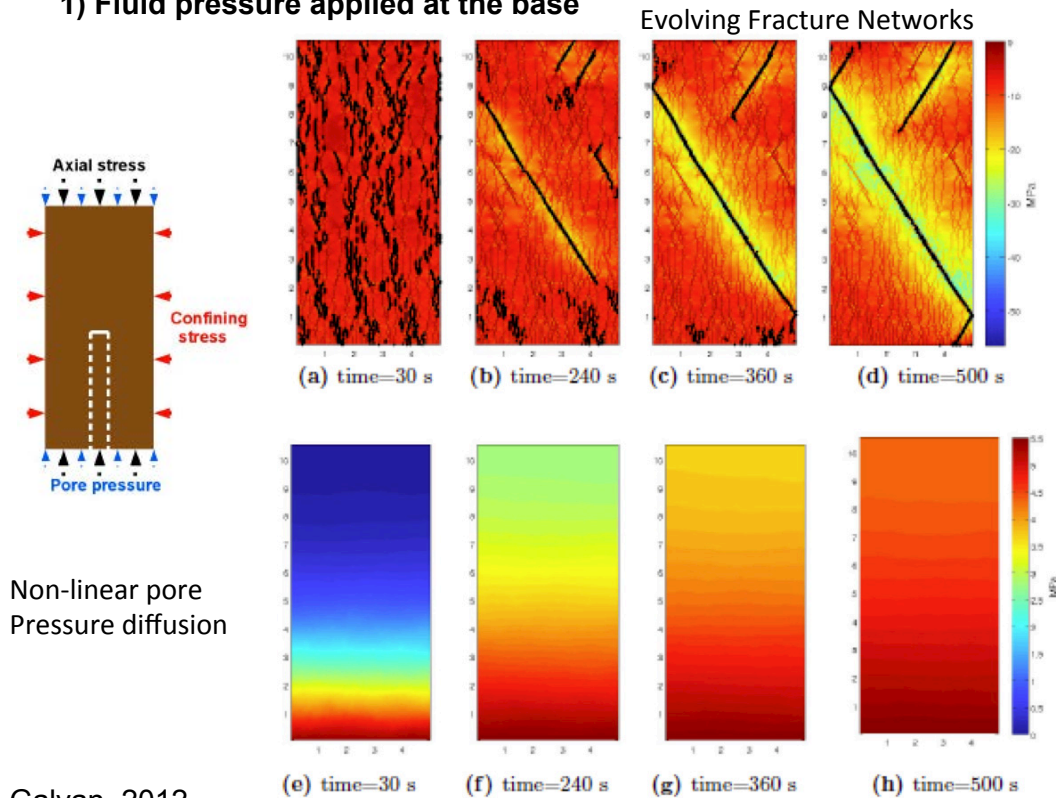
Geodynamics, University of Bonn

Krypton Cluster

- 16 Kepler GPU cards
- Pore elasticity
- Thermo-elasticity
- Plasticity
- Hardening/Softening/Damage
- 2-phase fluid (water and gas)
- 3-dimensions
- Preprocessing, computations, and post-processing all on the GPU.

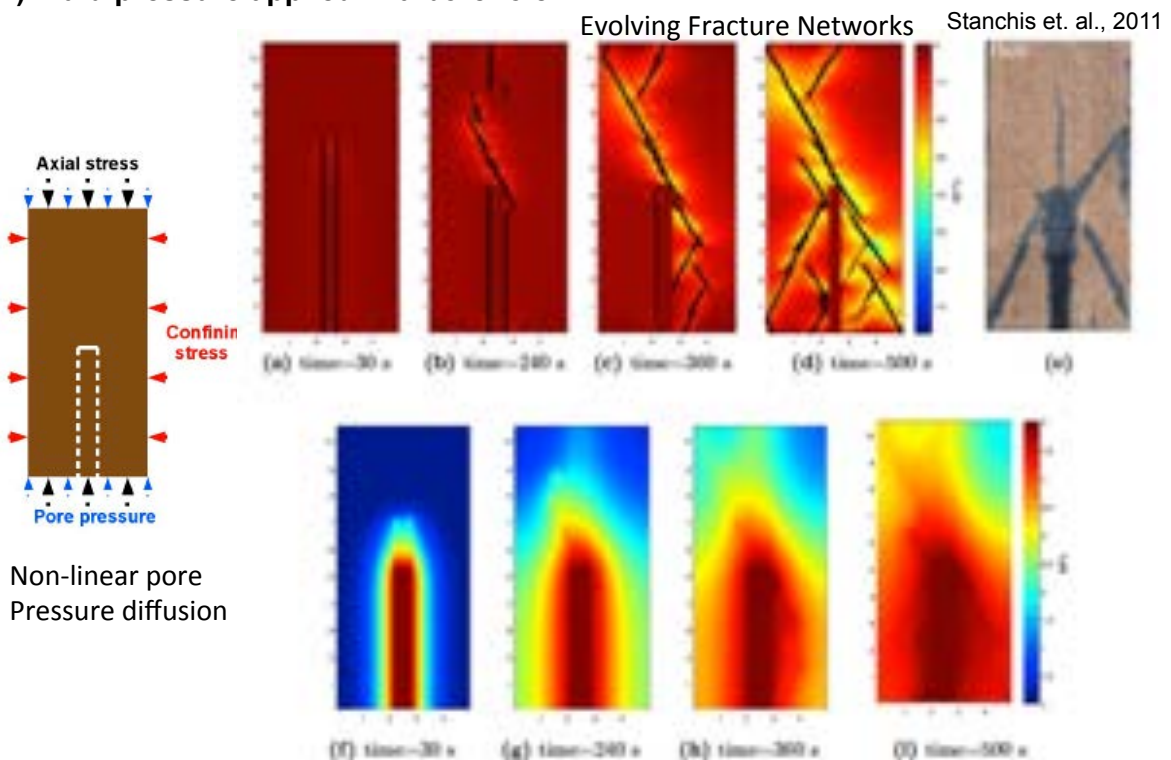
Modeling Laboratory Fluid Injection Experiments in GPU

1) Fluid pressure applied at the base

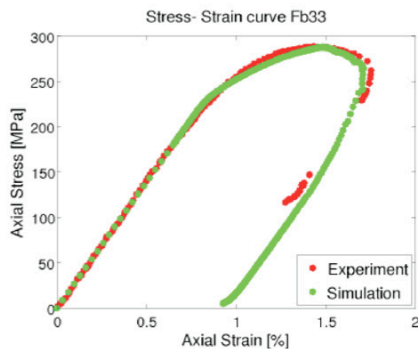


Modeling Laboratory Fluid Injection Experiments in GPU

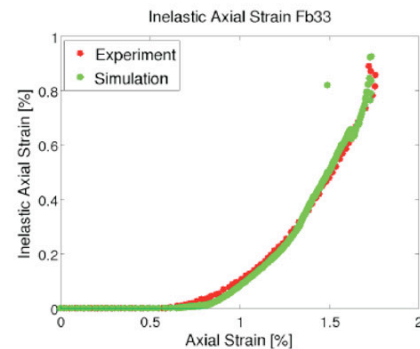
2) Fluid pressure applied in a borehole



Hardening/Softening/Damage Model

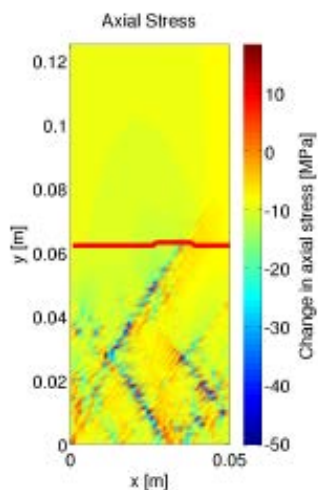


(a) Stress- Strain curve during loading of the dry specimen Fb33 in experiment and simulation

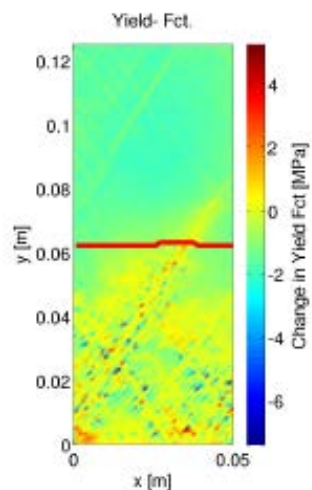


(b) Inelastic axial strain during loading of the dry specimen Fb33 in experiment and simulation

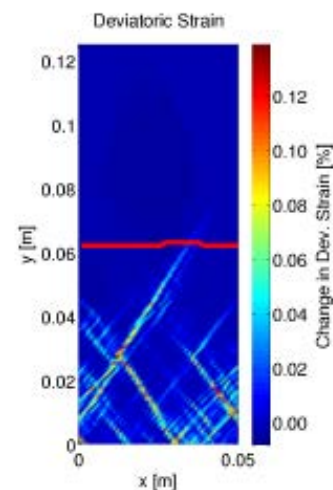
Heinze, MSc. Thesis, Bonn, 2012



(a) Change in the axial stress due to fluid injection at a specific time. The fluid front is indicated by the red line.



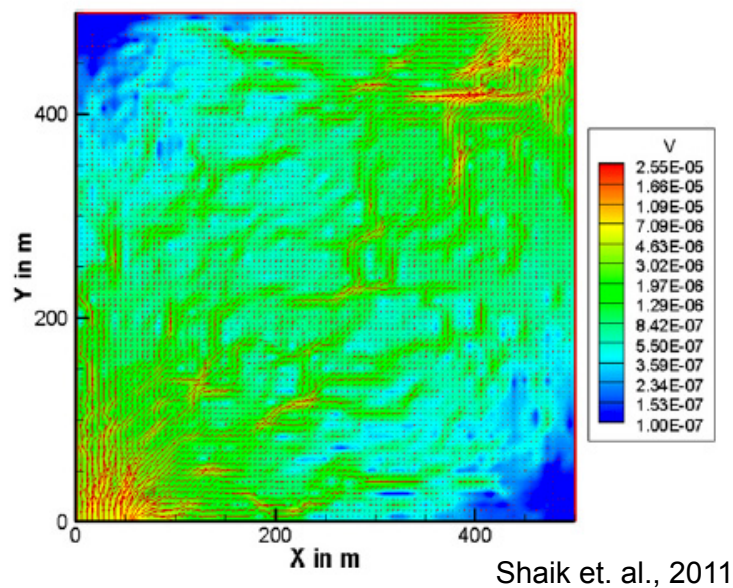
(b) Change in the yield function due to fluid injection at a specific time. The fluid front is indicated by the red line.



(c) Change in the deviatoric strain due to fluid injection at a specific time. The fluid front is indicated by the red line.

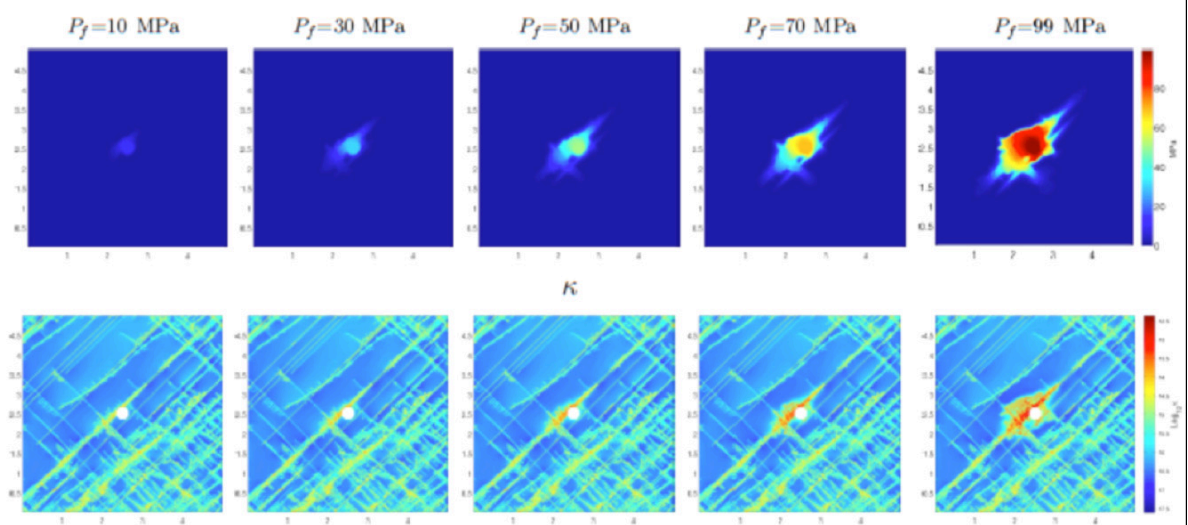
Heinze, MSc. Thesis, Bonn, 2012

Fluid-Rock coupling heat transfer



file:///Users/stephenmiller2/Library/Containers/com.apple.mail/Data/Library/Mail%20Downloads/richards%20shaik%20model.ogv

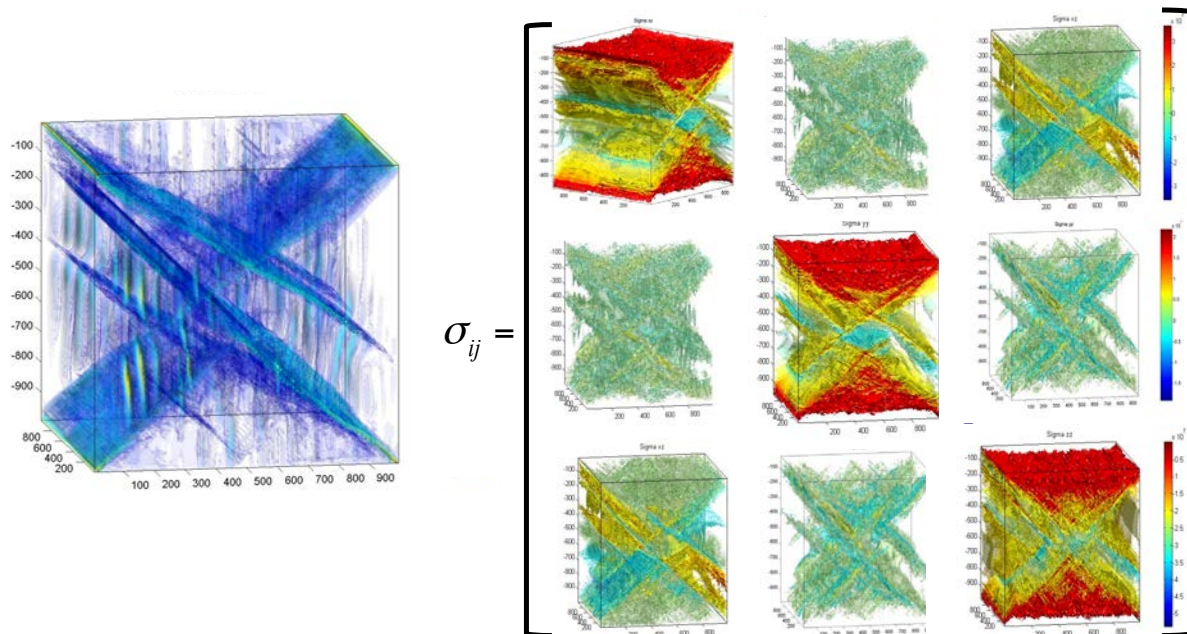
Fluid Injection calculated on GPU



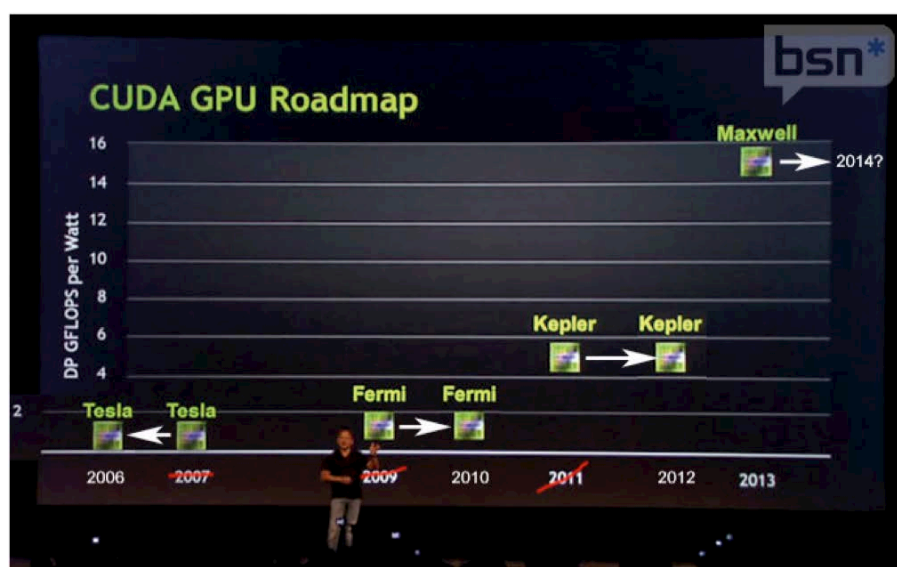
Evolved Fracture Field from Long-term Tectonic Loading

Galvan, Ph.D. thesis, Bonn, 2012

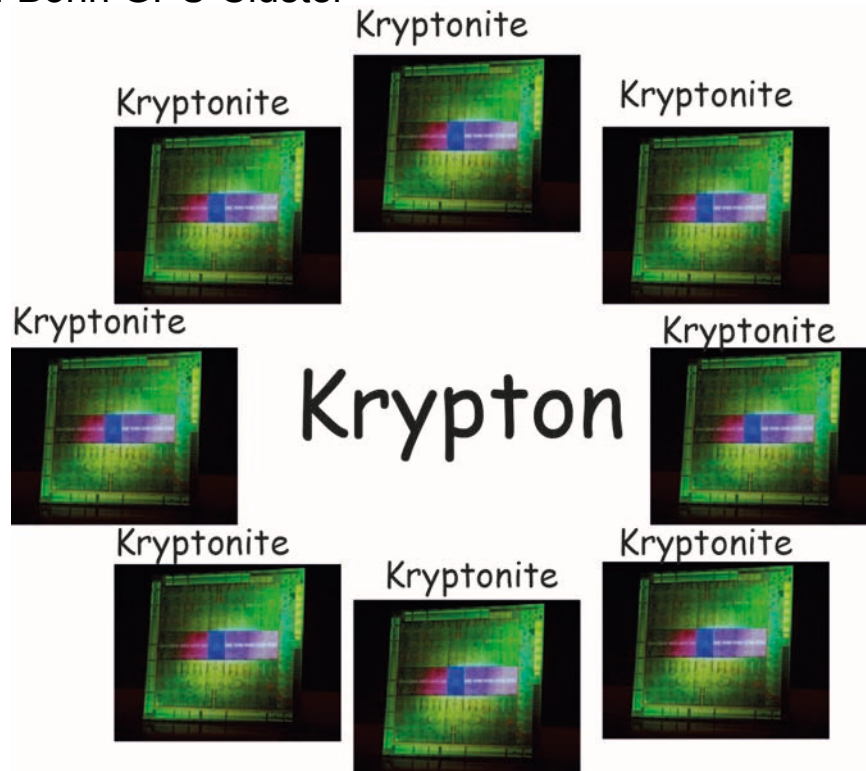
The future: 3D THMC models using GPU and CUDA



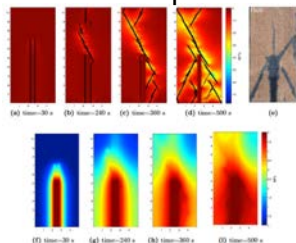
Visualization of the stress tensor



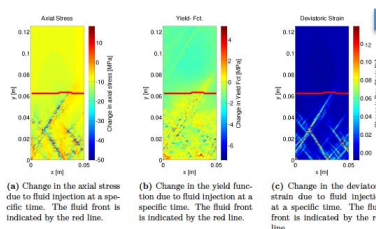
Uni-Bonn GPU Cluster



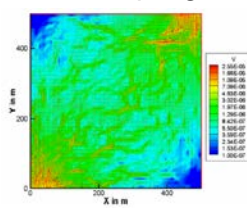
Pore-elastic plastic rheology coupled to non-linear diffusion



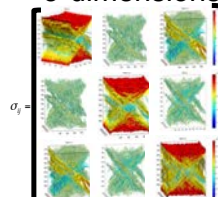
Hardening-softening and Damage



Fluid-Rock coupling heat transfer



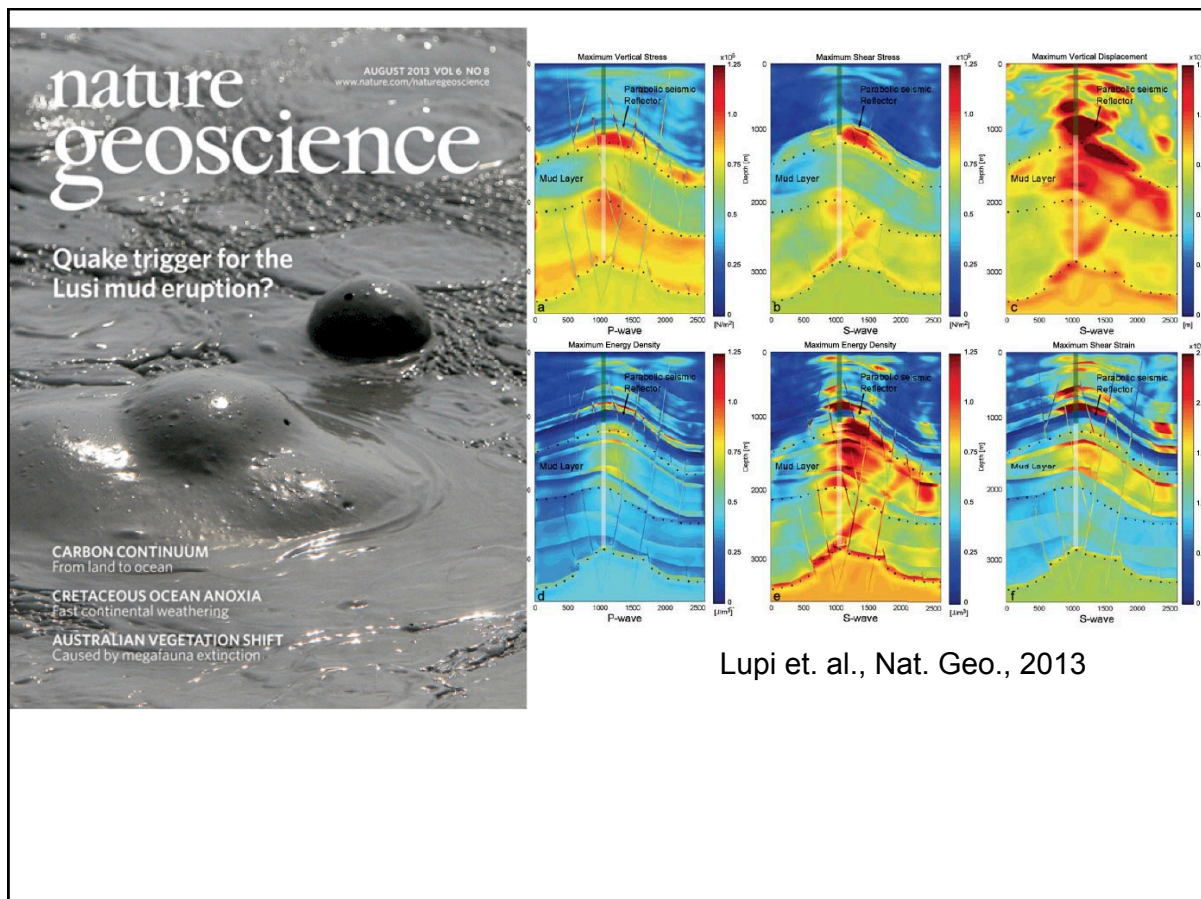
3-dimensions



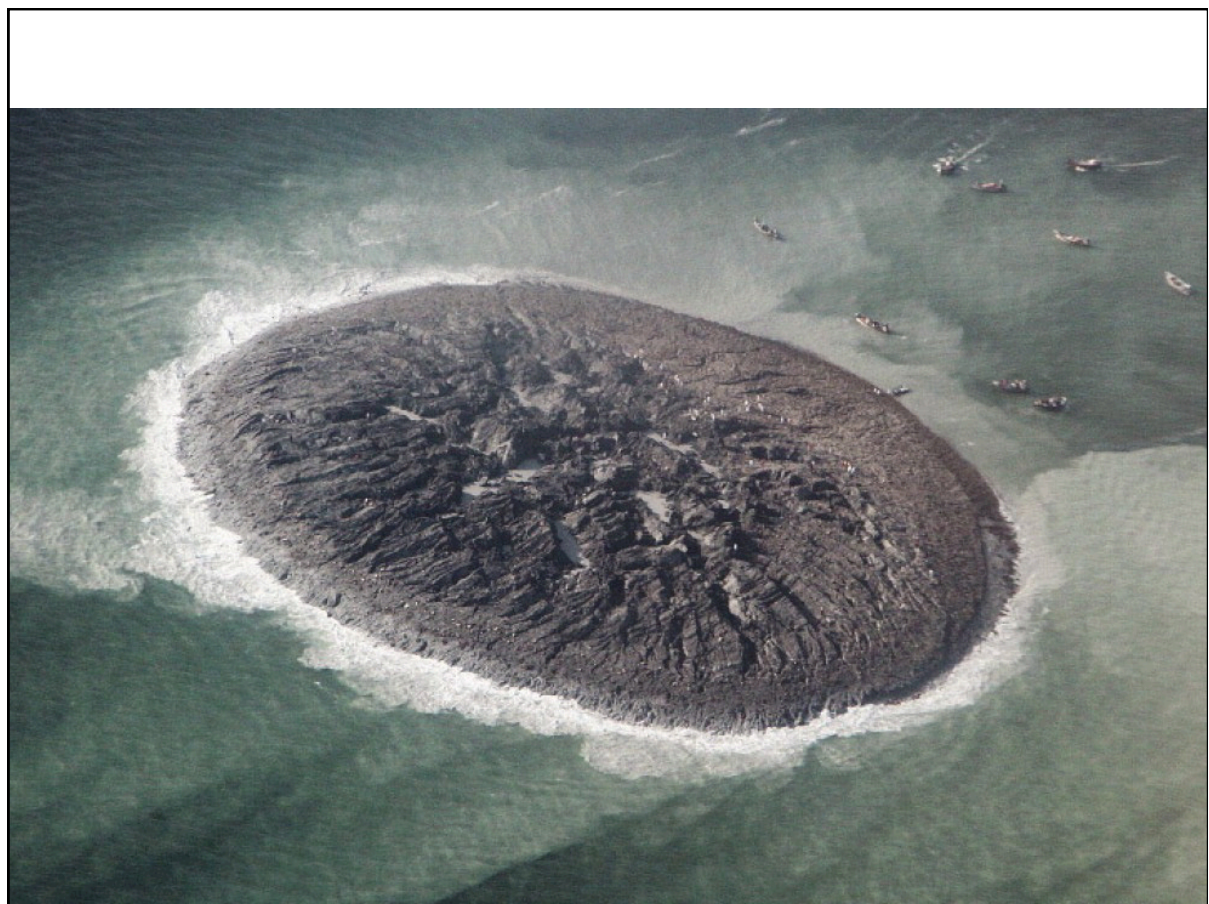
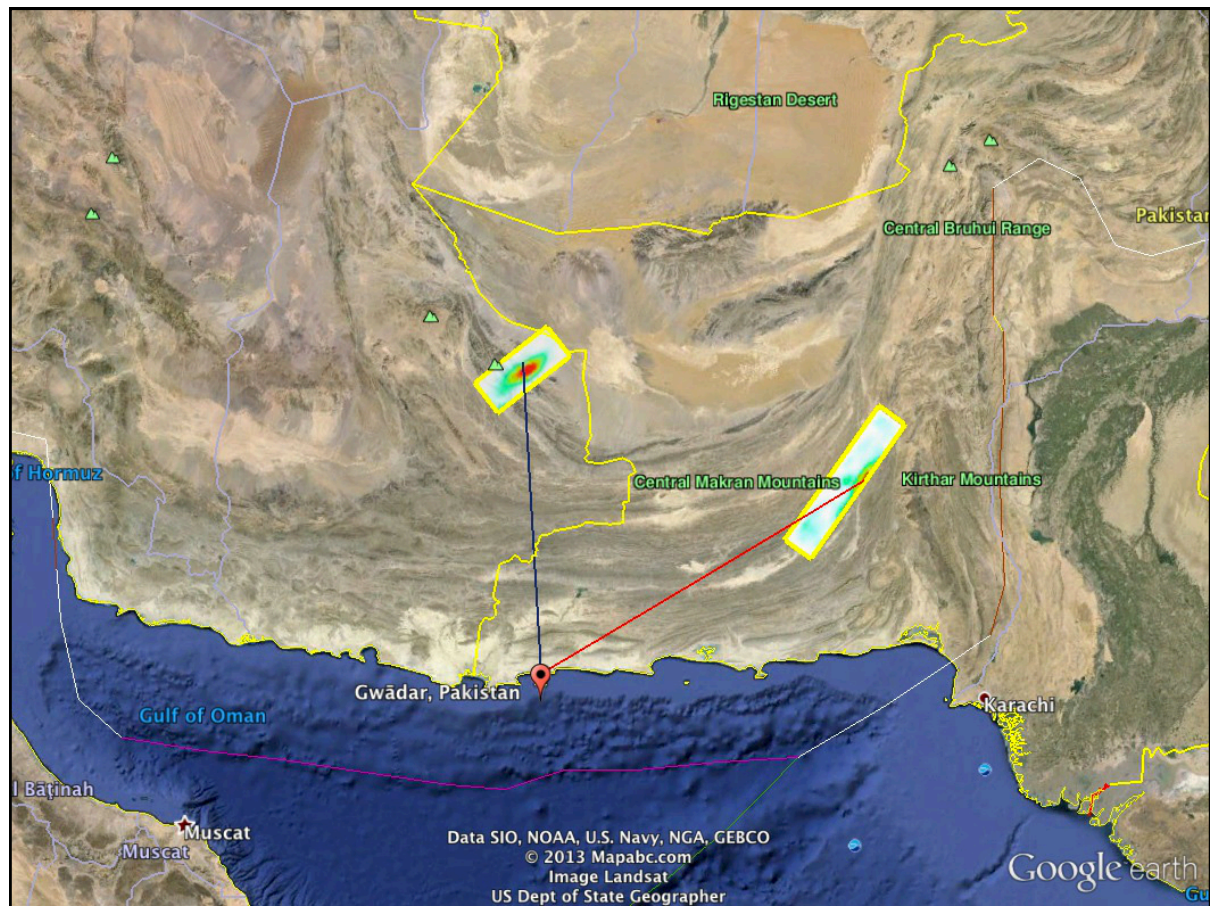
2-phase flow
Thermo-elasticity
Saturated/unsaturated
EOS for CO₂

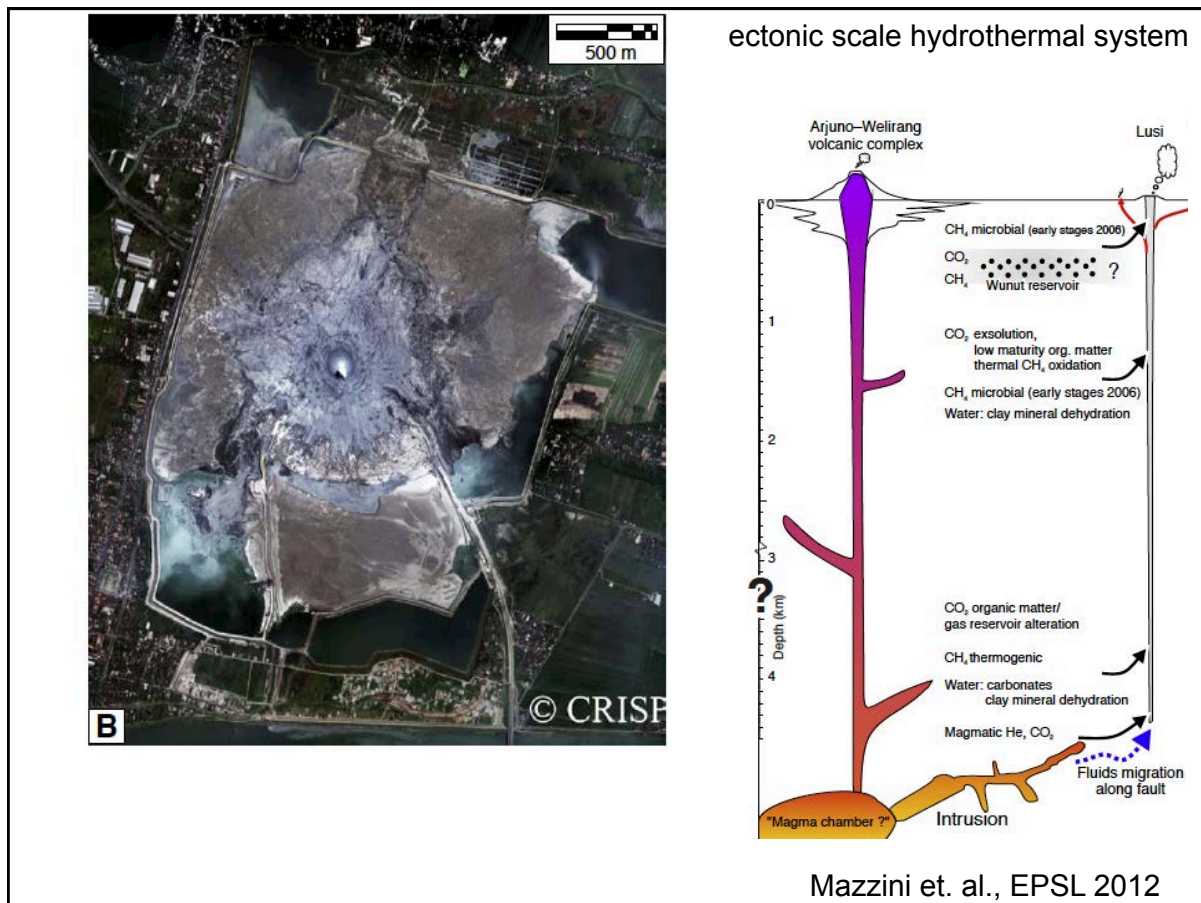
Conclusions

- Numerical modeling of EGS systems, fracking, and CO₂ sequestration require **M**echanical models that allow fracture networks to nucleate, grow, and coalesce in response to the evolving stress field because this network determines the **T**hermal-**H**ydraulic-**C**hemical properties of the system.
- GPU cluster programming can significantly (and cheaply) improve resolution and speed in simulations of THMC processes.



Lupi et. al., Nat. Geo., 2013





Thanks
Merci
Danke



La moyenne profondeur, la voie la plus directe vers la grande profondeur ?

26 novembre 2013
Journée Romande de Géothermie
Dr. Michel Meyer - SIG



Etat de lieux à Genève : Geothermie 2020



Point de Presse du Conseil d'Etat

10 octobre 2012

La version Internet fait foi

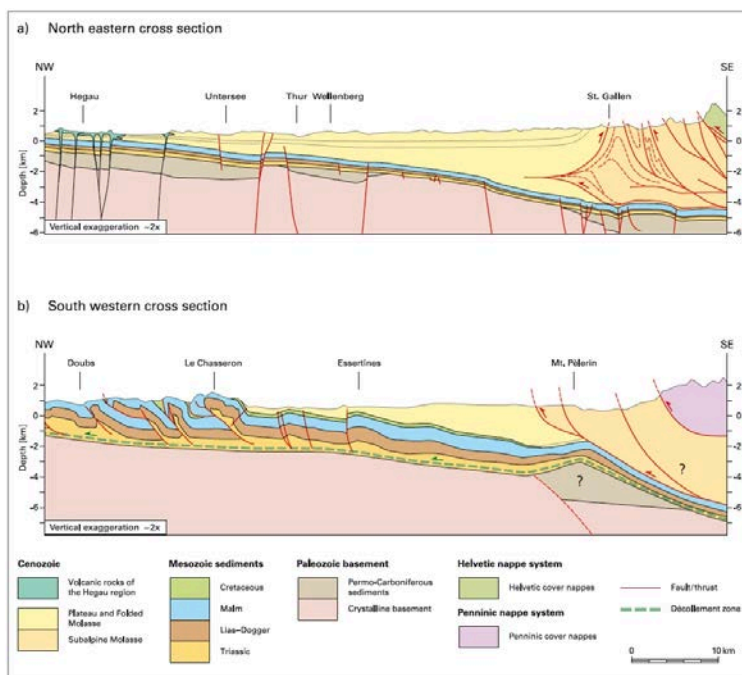


REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX

Lancement du programme de prospection et d'exploration « GEothermie 2020 »
Le Conseil d'Etat a décidé d'initier un ambitieux programme de prospection et d'exploration en matière de géothermie profonde baptisé « GEothermie 2020 ». Dans ce cadre, il a instauré un comité de pilotage co-présidé par les conseillers d'Etat chargés des départements de l'intérieur, de la mobilité et de l'environnement (DIME) et de la sécurité (DS).
Ce comité de pilotage a pour mission de rendre, d'ici fin janvier 2013, un rapport sur la stratégie de mise œuvre du programme de prospection et d'exploration de la géothermie profonde : cadre juridique, structure organisationnelle, rôles et responsabilités des entités concernées, partenariats transfrontaliers et autres collaborations à envisager. Cette décision va dans le sens du récent rapport remis au Grand Conseil par le Conseil d'Etat en réponse à la motion « pour une étude du sous-sol genevois en vue d'une production électrique d'origine géothermique à Genève ».

Le sous-sol varie latéralement

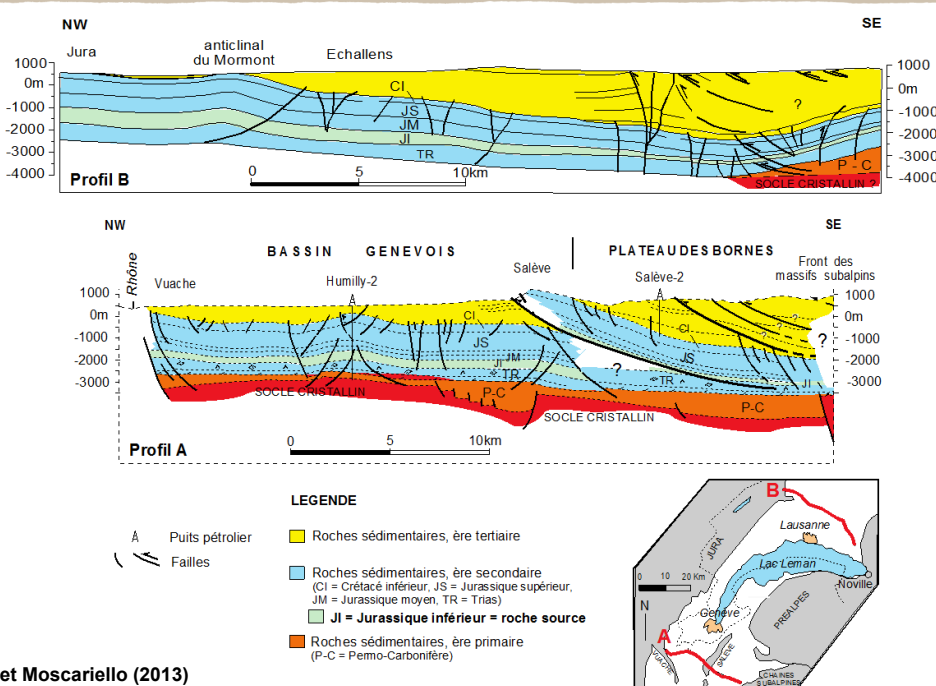


Nécessité d'intégrer cette condition dans les stratégies régionales

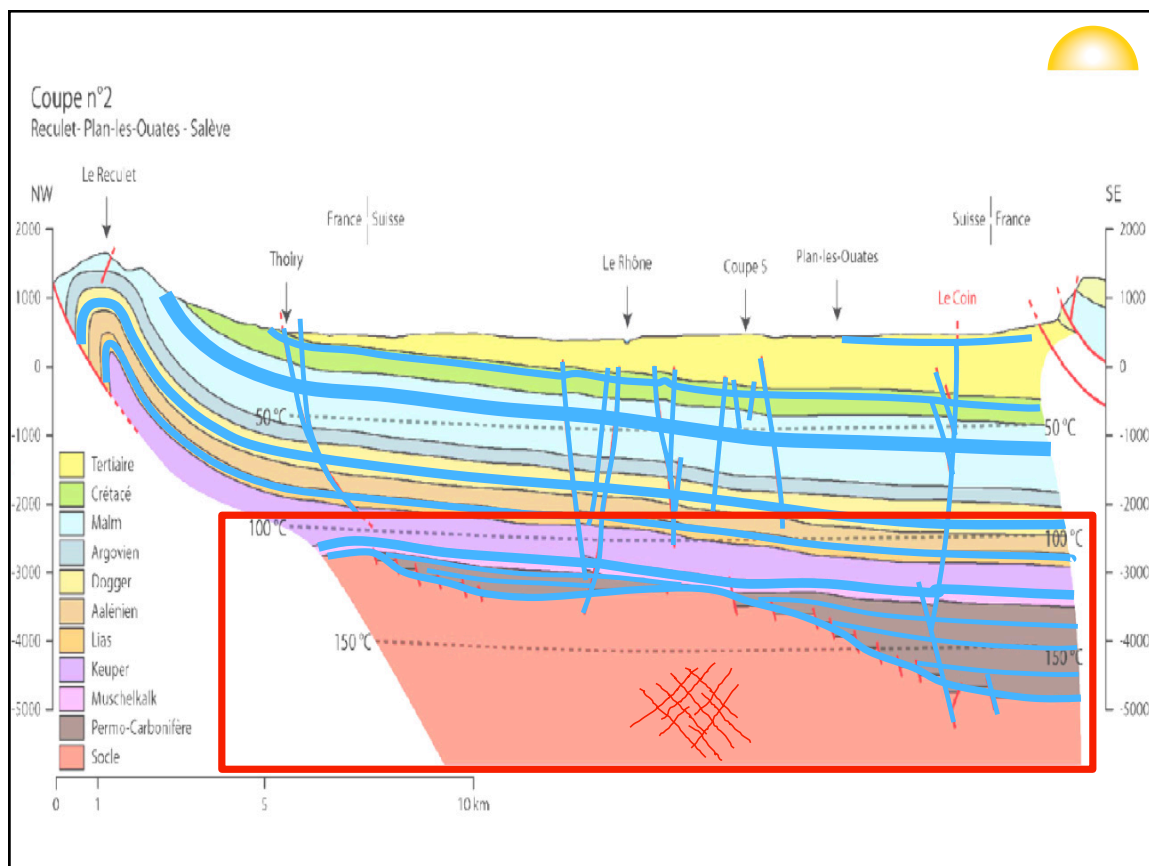
Sommarugua, Eichenberger et Marillier (2012)

Fig. 1.3: a) Cross-section of the northeastern Swiss Molasse Basin (modified from NAEF et al. 1995 and NAGRA 2008). b) Cross-section of the south-western basin (modified from SOMMARUGA, 1999 and from CHEVALIER et al. 2010). Profile locations see Figure 1.1.

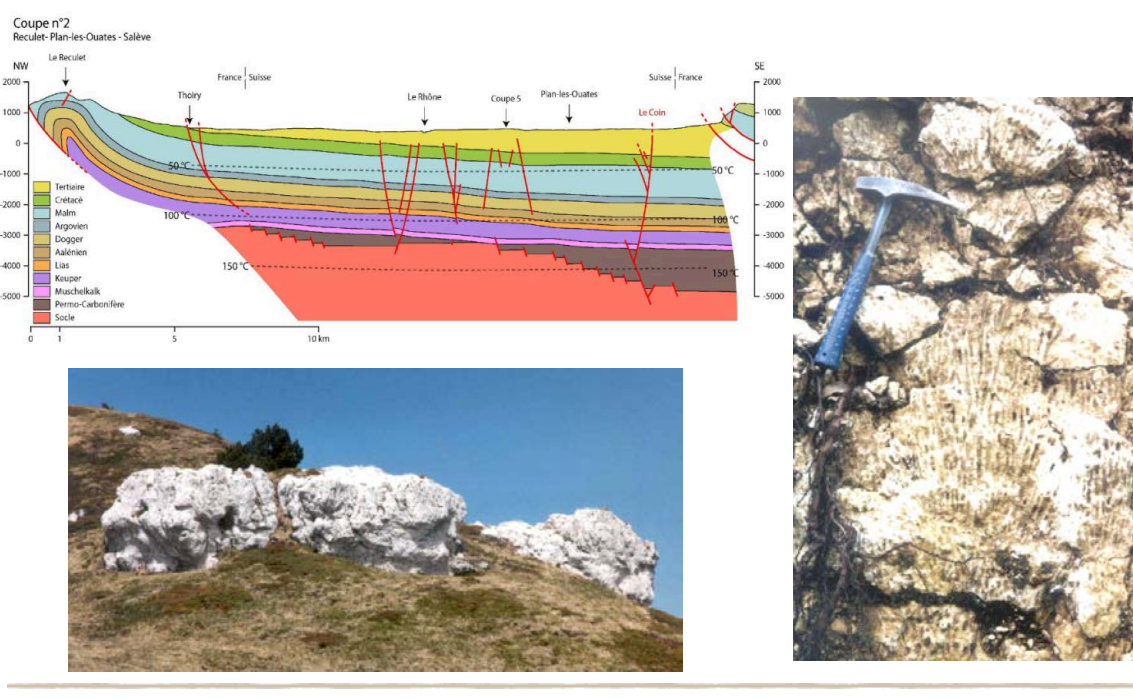
La région lémanique n'est pas que profonde



Gorin et Moscardello (2013)



Certains contextes géologiques semblent potentiellement très intéressants



Valorisation des données



PhD project

Seismic interpretation and structural style (Nicolas Clerc, UNIGE)

PhD project

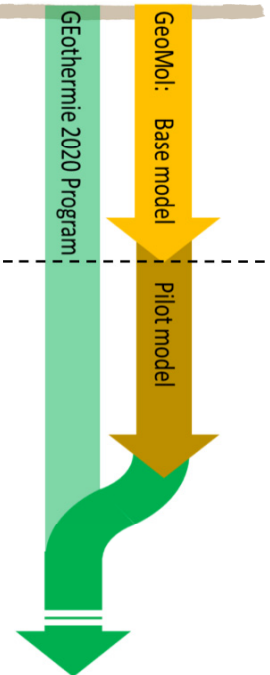
Reservoir facies and Rock typing (Elme Rusillon, UNIGE)

Seismic calibration

- Depth markers
- Time-depth conversion (sonic logs)

Reservoir characterization (log & core data)

- Facies
- μ -facies
- Petrophysical properties
- Thermal properties
- Geochemical signature

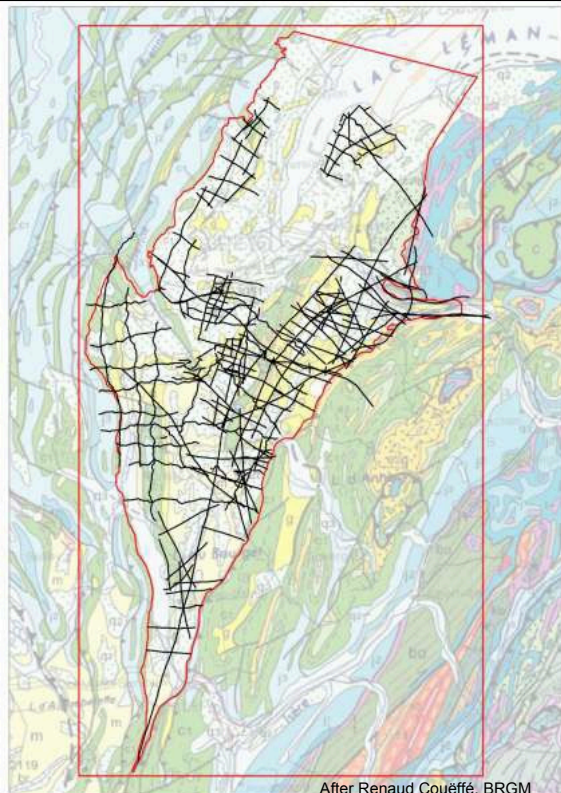


Données existantes

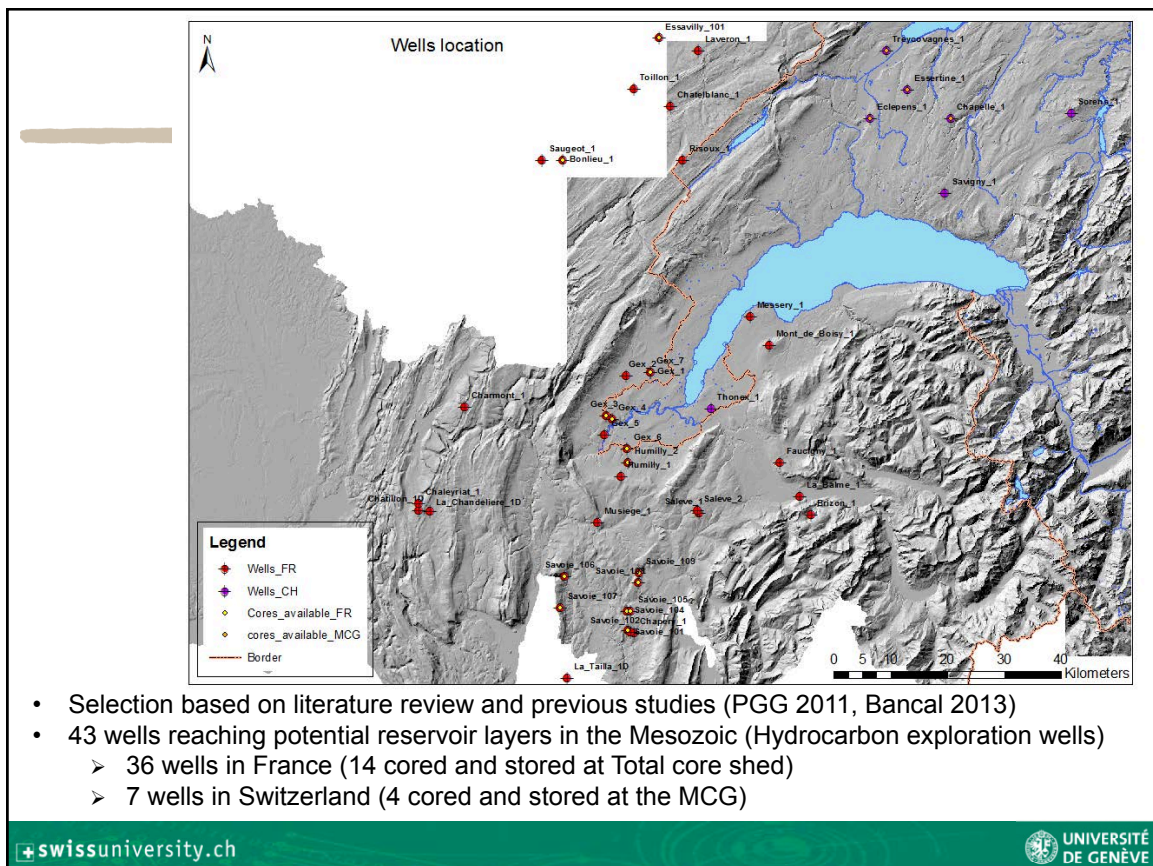
Available seismic lines (complete set):

219 lines (>1720km)
SEG-Y format

- 164 lines before 1970 (~ 1020km)
- 55 lines after 1970 (~ 700km)



After Renaud Couëffé, BRGM



Données de puits

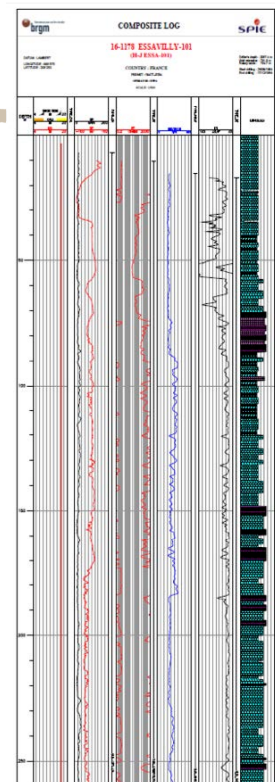
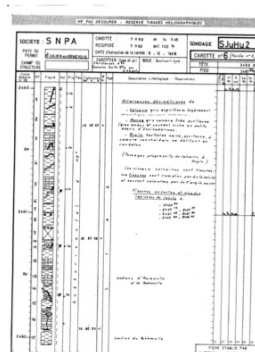
Well reports

Well logs

- Old vs modern suits of logs
- Various format (from paper to .las)
 - Digitalization of non-numerical data in progress

Cores:

- Core sample recovery in progress

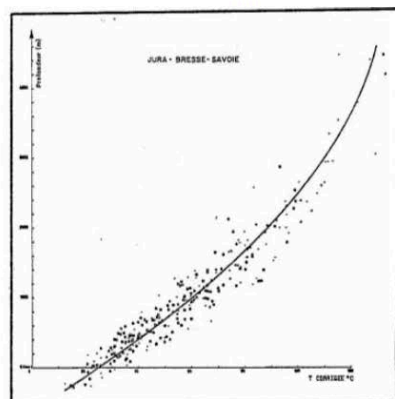


Des informations encourageantes ...

Analyse des réservoirs

> Température

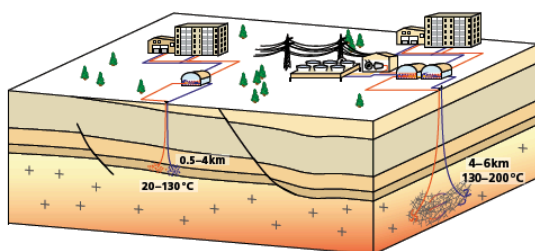
Réservoirs	Température (°C)			
	Urgonien	Portlandien	Séquanien	Rauracien
Nombre de données	10	12	12	1
Moyenne	47,36	61,35	62,93	101,66
Ecartype	23,60	14,03	10,86	0,00
Min	14,30	24,90	24,90	101,66
Max	92,73	74,82	72,20	101,66



Un gradient de 3,9°C par 100 m.

Quelle reconnaissance aux projets moins profonds ?

La chaleur de la Terre est une énergie renouvelable qui est utilisée aussi bien pour produire de la chaleur que de l'électricité. Les formes d'utilisation de cette énergie sont diverses.

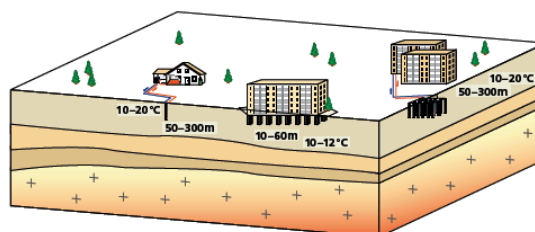


Géothermie haute température et grande profondeur

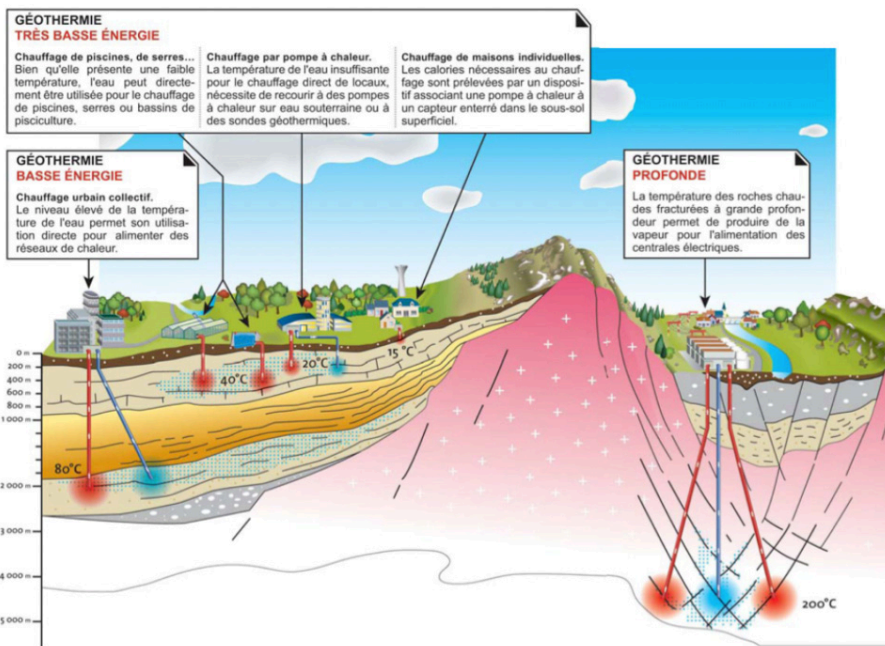
La chaleur des profondeurs de la Terre sert aussi bien au chauffage que, indirectement, à la production d'électricité. En règle générale, la chaleur obtenue à partir de 500 mètres de profondeur permet d'exploiter des installations de chaleur à distance. Dès quatre kilomètres et jusqu'à généralement six kilomètres, la chaleur qui peut atteindre 200°C permet également de produire de l'électricité grâce à la géothermie dite hydrothermale ou pétrothermale (lire article en pages 4-5).

Géothermie à faible profondeur

L'utilisation de cette forme de géothermie est de loin la plus répandue en Suisse pour le chauffage et le refroidissement. La température du sous-sol varie entre 10 et 20 degrés Celsius à des profondeurs de 50 à 300 mètres. Cette énergie, qui est récupérée par des sondes géothermiques, des pieux énergétiques ou encore des champs de sondes, doit être valorisée par une pompe à chaleur (lire article en pages 8-9).

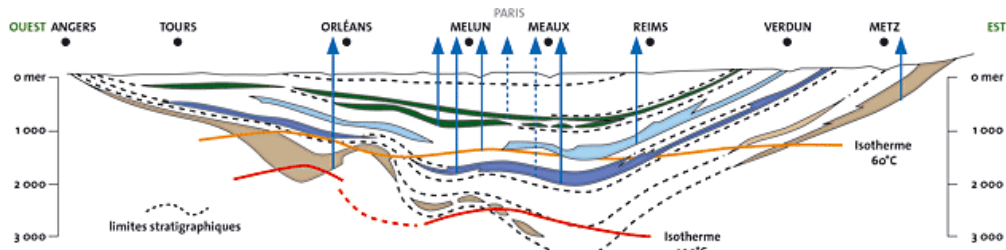


Ces projets ont une vraie place ailleurs



Source BRGM

Le bassin de Paris – 200'000 logements alimentés par la géothermie

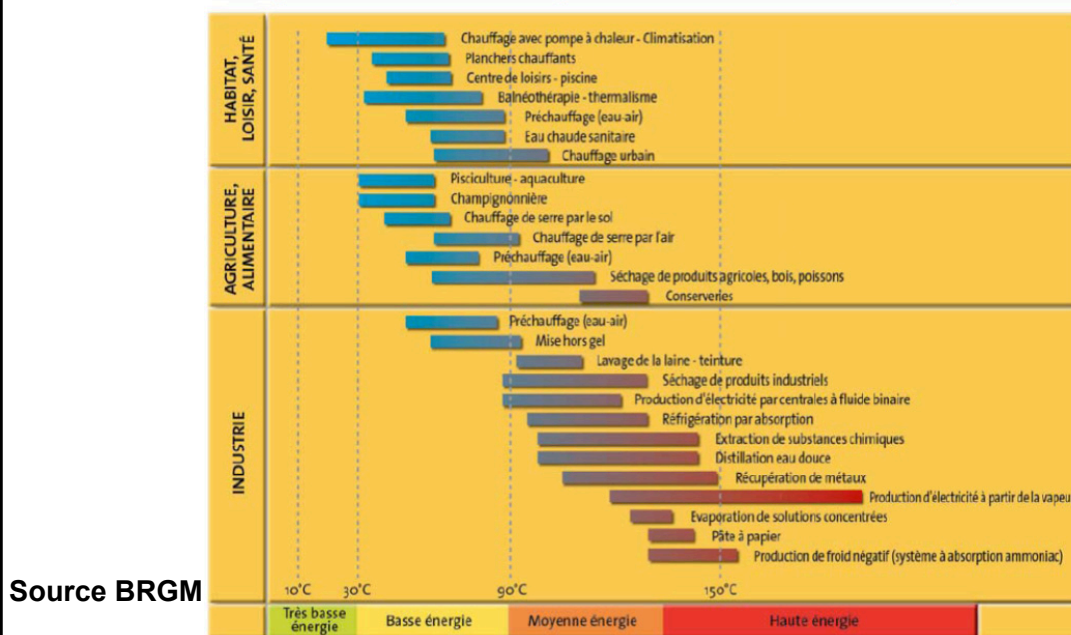


PÉRIODES		AQUIFÈRES
SECONDAIRE	TERTIAIRE 65 millions d'années	
	CRÉTACÉ 140 millions d'années	NÉOCÉTACÉ Sables de l'Albien Sables du Néocomien
		ÉOCÉTACÉ Calcaires du Lusitanien
	JURASSIQUE 195 millions d'années	DOGGER Calcaires du Dogger
	TRIAS 225 millions d'années	LIAS Grès du Retien Grès de Lorraine à l'est Grès fluviatiles à l'ouest
PRIMAIRE		

La fourniture de chaleur renouvelable : un enjeu majeur !



Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures



Les projets moins profonds trouvent toujours plus de sens



Doublent dans l'Albien pour l'écoquartier du Fort d'Issy-les-Moulineaux

La reconversion urbaine du Fort d'Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine) en écoquartier high-tech et écologique, prône des innovations omniprésentes non seulement sur le plan numérique, mais aussi énergétique, grâce à la géothermie qui fournira 78 % des besoins en énergie calorifique.

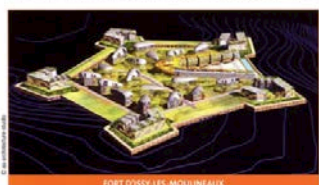
Un cyber-quartier HQE, labellisé Ecopolis

Sur le site historique du fort d'une superficie de 12 hectares, acquise par la ville d'Issy-les-Moulineaux en 2006, l'éco-quartier « fortissys.com » accueillera, à partir de 2013, 1 600 logements (dont 330 logements sociaux) regroupés dans 10 immeubles sur une surface totale de plus de 150 000 m², des commerces (1 600 m²) et divers équipements (écoles, crèche, un verger de 4 hectares, une crèche, une piscine, ...).

Ce nouveau quartier résidentiel conjugue nouvelles technologies et qualité environnementale : intranet de quartier, logements connectés à la fibre optique, systèmes domotiques innovants, chauffage par doublet géothermique à boucle

Premier doublet dans la nappe de l'Albien pour le chauffage d'immeubles

Le chauffage des bâtiments et la fourniture d'eau chaude sanitaire (ECS) sont assurés par



FORT D'ISSY-LES-MOULINEAUX

d'eau tempérée, collecte pneumatique des déchets, voitures en autoparcage. ...

un réseau de chaleur géothermique, comportant deux puits creusés à plus de 600 mètres de profondeur pour atteindre l'aquifère de l'Albien. Cette nappe renoue célèbre par le puits artésien de Combray, qu'elle alimentait à Paris, est exploitée depuis 1963 pour le chauffage de la Maison de Radio France, opération pionnière en France. Cette partie du sous-sol de l'Île-de-France, l'Albien présente une température de 20 °C, stable pour les réseaux de chaleur basse température comme celui du Fort d'Issy.

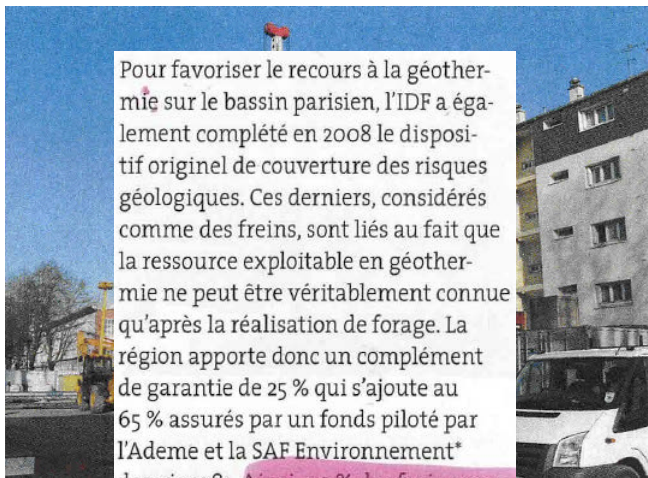
La société Dalkia qui exploite la moitié de la rentabilité d'installations géothermiques opérationnelles en Île-de-France, a été chargée de réaliser cette opération géothermique et d'en assurer l'exploitation pendant 25 ans. C'est le premier doublet pour le chauffage de logements qui est réalisé dans cet aquifère.

À près de 600 mètres, le forage dit de « production » puise l'eau de la nappe, grâce à une pompe équipée d'un variateur de vitesse et immergée à 120 m de profondeur. Avec un débit maximum de 200 m³/h et un débit annuel moyen de 65 m³/h, l'eau remonte à la surface dans un échangeur à plaques installé dans une sous-station d'échange dite « primaire ».

Après avoir traversé ses colonnes, l'eau de l'Albien est renvoyée en surface à une température de l'ordre de 13 °C par le puits dit de « réinjection » profond de 635 m, soit une valorisation de 15 °C. Il a été prévu pour permettre, en fond de puits, un écoulement suffisamment bon du forage de production, à une distance de 140 m, pour éviter un phénomène de recirculation.



La cohérence de ces projets est reconnue, ils sont soutenus !



Pour favoriser le recours à la géothermie sur le bassin parisien, l'IDF a également complété en 2008 le dispositif originel de couverture des risques géologiques. Ces derniers, considérés comme des freins, sont liés au fait que la ressource exploitable en géothermie ne peut être véritablement connue qu'après la réalisation de forage. La région apporte donc un complément de garantie de 25 % qui s'ajoute au 65 % assurés par un fonds piloté par l'Ademe et la SAF Environnement* depuis 1981. Ainsi, 90 % des frais engagés pour le forage pourront être remboursés au maître d'ouvrage en cas d'échec total.

Moins profond et moins chaud que le Dogger, les aquifères de l'Albien et du Néocomien présentent aussi un potentiel intéressant, d'autant plus que les besoins en chaleur ne cessent de diminuer dans les bâtiments. En 2011 et

surfaces», avance Romain Vernier. En associant la géothermie à des PAC de grande puissance (plusieurs MW), deux forages à 500 mètres dans une eau à 30°C sont suffisants pour alimenter un petit réseau desservant 1 500 logements comme c'est le cas

Chapitre 1 Objet, objectifs et principes

Art. 1 Objet

¹ La présente loi vise à contribuer à un approvisionnement énergétique suffisant, diversifié, sûr, économique et respectueux de l'environnement.

² Elle a pour but:

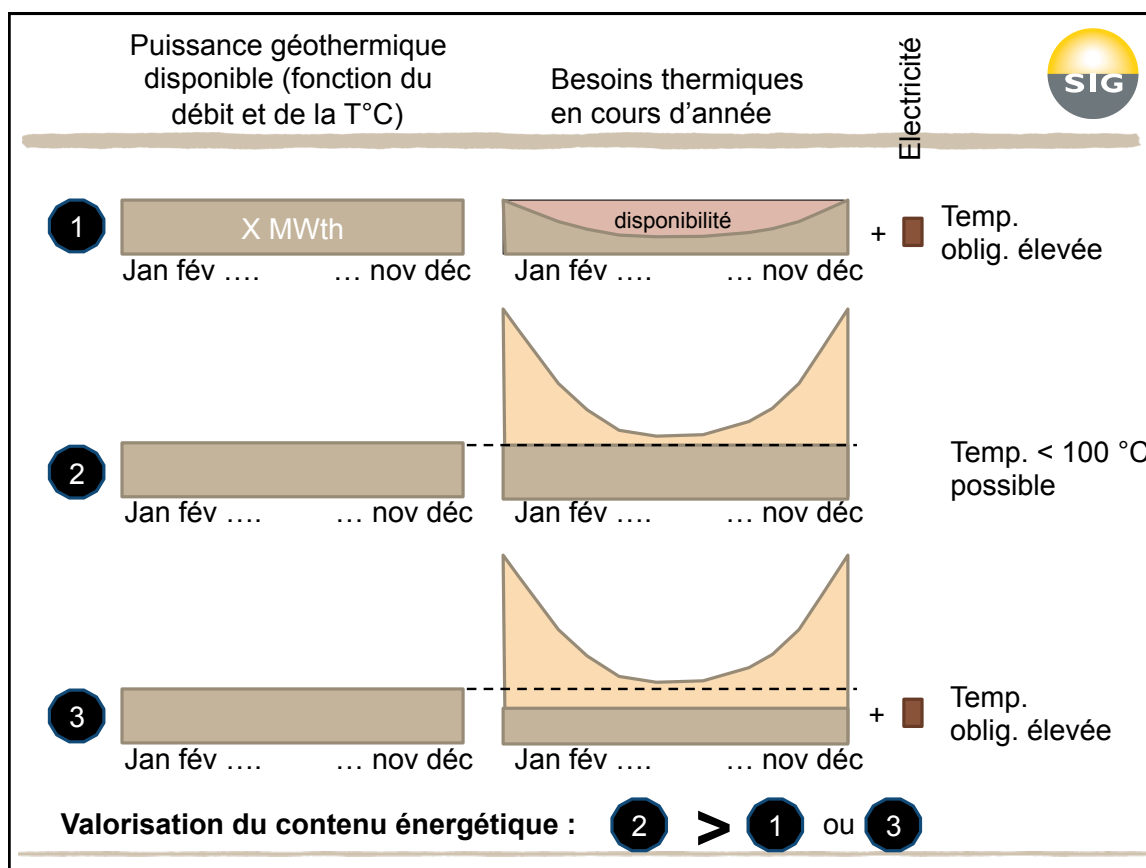
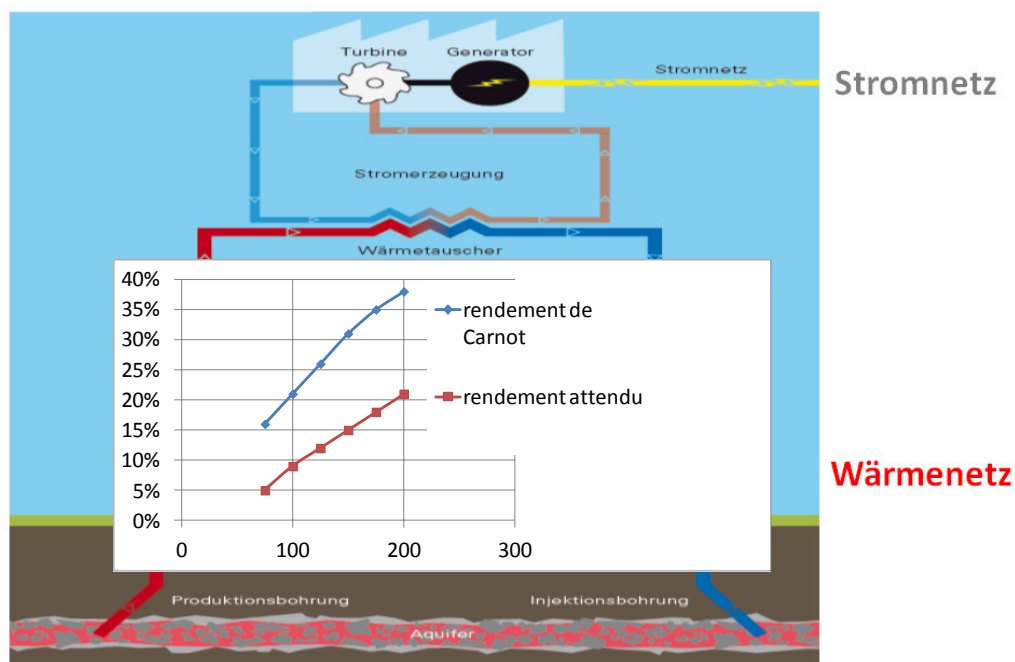
- a. la garantie d'une fourniture et d'une distribution de l'énergie économiques et respectueuses de l'environnement;
- b. l'utilisation économe et rationnelle de l'énergie;
- c. le passage à un recours accru aux énergies renouvelables, notamment par une augmentation considérable de l'utilisation des énergies renouvelables indigènes.

Art. 6 Principes

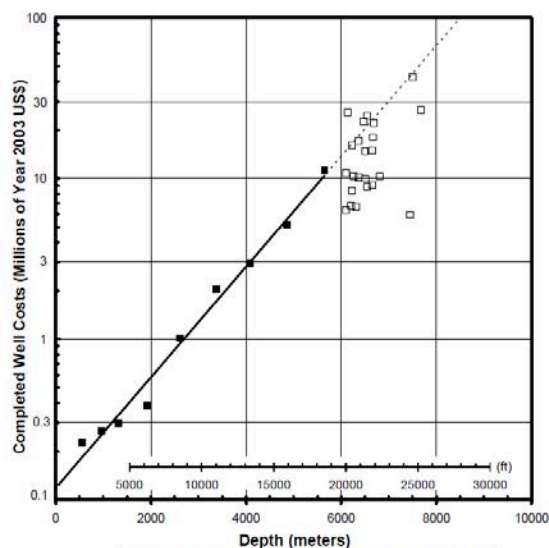
¹ Les autorités, les entreprises d'approvisionnement en énergie, les fabricants d'installations, de véhicules et d'appareils consommant de l'énergie, ainsi que les consommateurs, observent les principes suivants:

- a. toute énergie doit être utilisée de manière aussi économe et rationnelle que possible;

Modalités de valorisation



Des coûts de forage qui augmentent exponentiellement



1. JAS = Joint Association Survey on Drilling Costs.
2. Ultra deep well data points for depth greater than 6 km are either individual wells or averages from a small number of wells listed in JAS (1994-2002).

Drilling Interval (feet)	Average Depth (meters)	Average Depth (feet)	Average Cost (Year 2003 US \$M)
1250-2499	557	1826	0.227
2500-3749	964	3162	0.267
3750-4999	1329	4359	0.300
5000-7499	1912	6272	0.543
7500-9999	2613	8572	1.010
10000-12499	3380	11087	2.033
12500-14999	4092	13424	2.949
15000-17499	4868	15969	5.168
17500-19999	5648	18526	11.177

Augustine, C. et al (2006)

Quels avantages à travailler moins profond



Coûts de forage exponentiellement moins élevés

Disponibilité du matériel de forage plus grande, concurrence existante

Emprise au sol plus faible, nuisances environnementales moins grandes

Fluides parfois moins corrosifs

Proximité des affleurements – géologie prédictive

Conditions de porosité-perméabilité parfois meilleures (débits plus élevés)

Eloignement des surfaces de décollement (exposition à la sismicité induite moins forte)

Eloignement des niveaux Permo-Carbonifères (exposition aux venues de gaz moins grande)

Complexité générale du projet moins grande

Quel intérêt dans une démarche incrémentale ?

Amélioration de la connaissance régionale du sous-sol

Calage pour la géophysique (niveaux repères, sismofaciès, localisation de fractures)

Possibilité de tests à moindre coûts

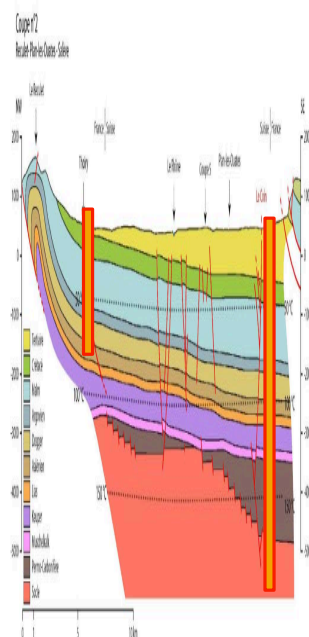
Identification de systèmes éventuellement reproductibles plus profond (débits dans des faciès particuliers, dans des réseaux de fracture)

Echantillonnage pour géochimie (compréhension des circulations d'eau, anomalies des gradients)

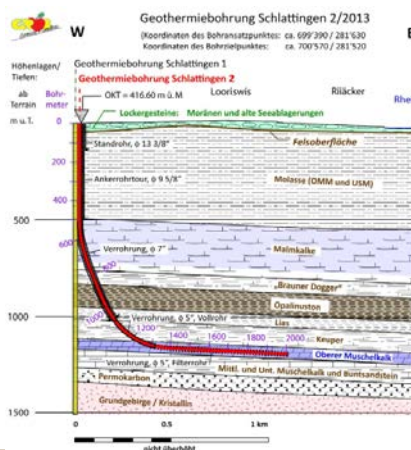
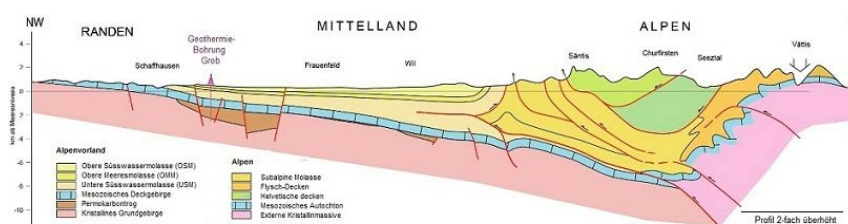
Intégration graduelle dans des réseaux existants (substitution graduelle aux installations existantes)

Nombres d'acteurs et de projets concernés démultiplié

Gain de confiance, adhésion



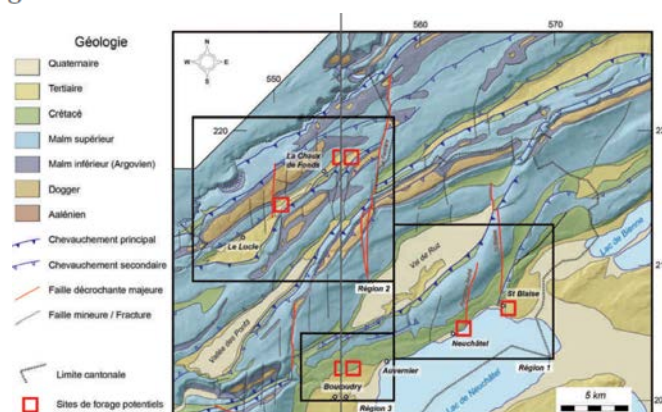
La preuve par l'acte



Une multitude de sites potentiels

Neuchâtel : Développement de la géothermie profonde

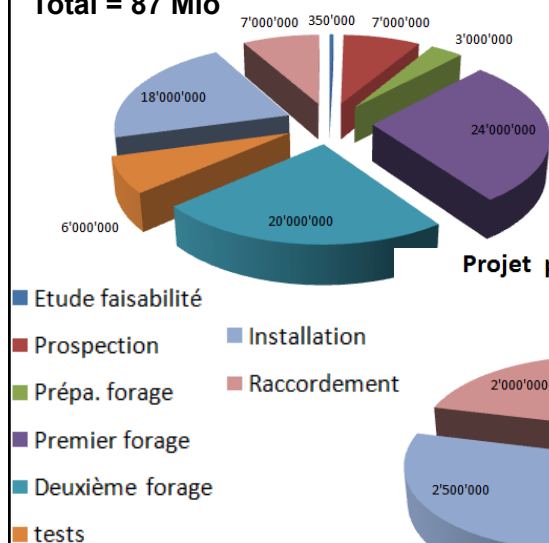
Dès la fin de l'étude du potentiel géothermique PDGN en 2010, le canton de Neuchâtel a souhaité poursuivre les investigations pour le développement de la géothermie profonde dans le canton. Il a mandaté pour cela le Laboratoire de géothermie – CREGE de l'Université de Neuchâtel pour construire et mener le programme GeoNE.



Comparaison des coûts

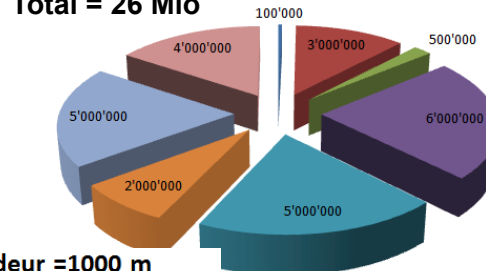
Projet profondeur = 4000 m

Total = 87 Mio

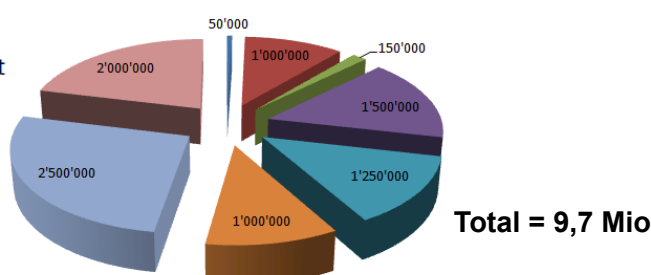


Projet profondeur = 2000 m

Total = 26 Mio

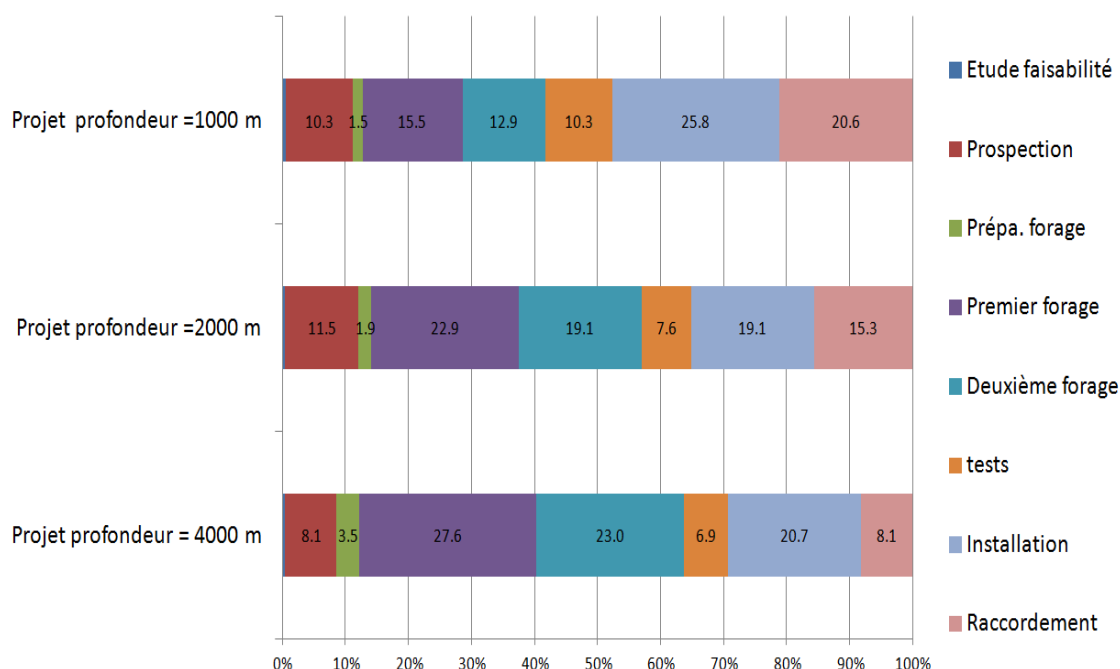


Projet profondeur = 1000 m

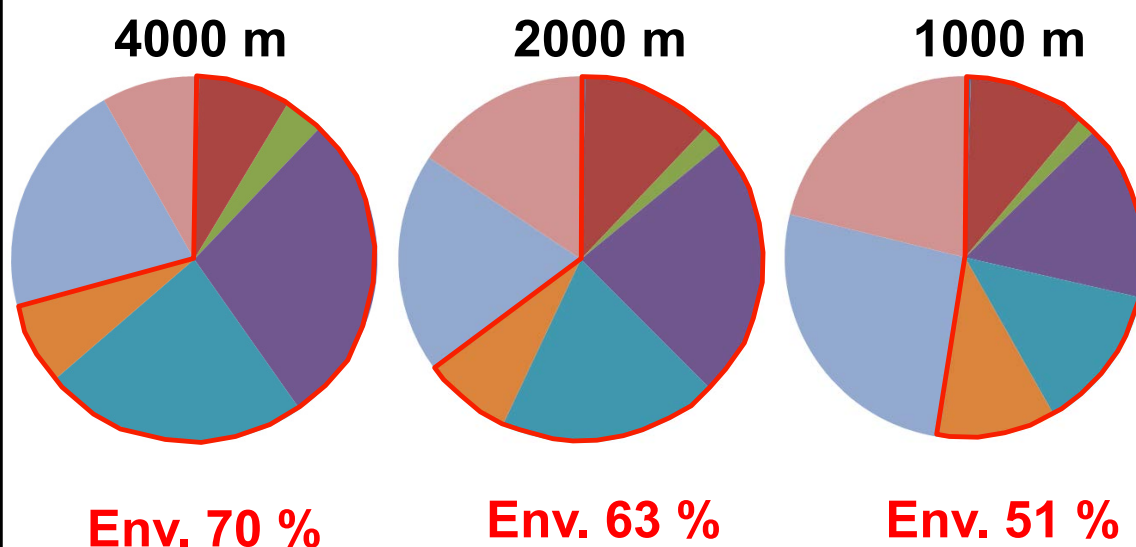


Total = 9,7 Mio

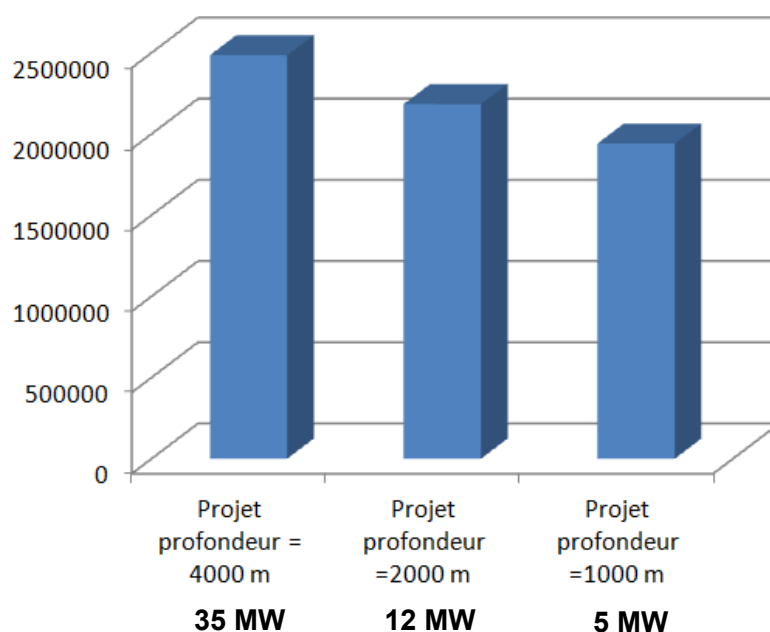
A 1000 m ou à 4000 m, il ne s'agit plus des mêmes projets



Part d'investissement à risque



Comparaison des coûts / MWth



Quels problèmes à régler?

Limitations liées aux températures de réseau

Limitations liées aux besoins des consommateurs

Paradoxe des mécanismes de soutien actuels aux projets électriques

- Garantie de risque
- RPC

Elaborer une stratégie dédiée aux projets de chaleur avec ses règles propres (notamment en matière de couplage avec le fossile et de définition des compétences en matière de questions thermiques)

Trouver des autres mécanismes d'accompagnement

- Compensation carbone ?
- taxe CO₂ ?

Quelle stratégie à court terme ?

Attention : ne veut pas dire que les projets profonds ne doivent pas se faire !!!

Besoin de démonstrateurs !

Nécessité et complémentarité d'une approche en 2 axes :

Démonstrateurs profonds

ET

Soutien aux projets moins profonds de production de chaleur

**Soutien à la prospection et l'exploration
Garantie de risque pour les projets de chaleur
Socle de subvention**

Conclusions



Merci pour votre attention !



**6 Février 2014 : Séminaire ARPEA –
Salon aquapro gaz 5-7 février 2014
Bulle**

**La géothermie de moyenne et grande
profondeur : un maillon essentiel du
mixte énergétique de demain**




Forage géothermique profond ECOGI-Roquette

Clément Baujard
Ingénieur de réservoir / ES-Géothermie

groupeÉS

esg
és géothermie



ES-Géothermie

- /// Assistant maîtrise d'ouvrage
- /// 10 personnes / Haguenau – Strasbourg
- /// Filiale Groupe ES (5 PER HT + 2 PBT + 2 Concessions + dossiers en instruction)
- /// Compétences
 - Montage de dossiers (PER / PBT / Concessions)
 - Études d'opportunité, études de faisabilité, études de potentiel
 - Préparation de la plateforme
 - Coordination acquisition géophysique (sismique, gravi): planning, design, permitting, traitement, interprétation (PETREL), QC, Targeting de puits
 - AMO Forage
 - Suivi sismologique (installation / maintenance stations, acquisition, traitement, reporting)
 - Développement de puits, programme et execution
 - Opération de surface (gestion des têtes de puits, dégazage, tuage, surveillance)
 - Planification / construction / maintenance centrale (cf Soultz)

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Le projet ECOGI

- /// ECOGI: Exploitation de la Chaleur d'Origine Géothermale pour l'Industrie
- /// Joint venture: Groupe ES (40%), Roquette Frères (40%), Caisse des dépôts (20%)
- /// Projet ECOGI = projet Rittershoffen = projet Roquette
- /// Créé en 2011, suivi sismologique dès début 2012, premier forage fin 2012
- /// Partenaires de cette présentation

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

ROQUETTE

groupe ES

GROUPE
Caisse
des Dépôts

LABEX
GÉOTHERMIE PROFONDE

EOST
Ecole et Observatoire
des Sciences de la Terre

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

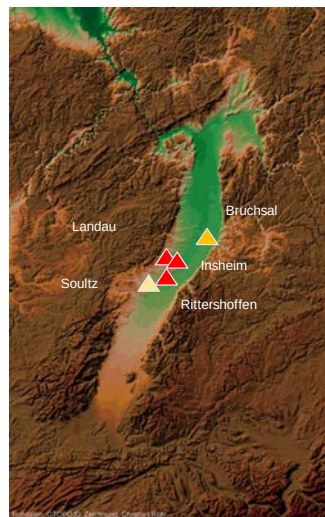
Contexte général



Landau
Combined Heat & Power plant
3MWe+ district heating



Soutz 2.2MWe



Insheim 4.8MWe

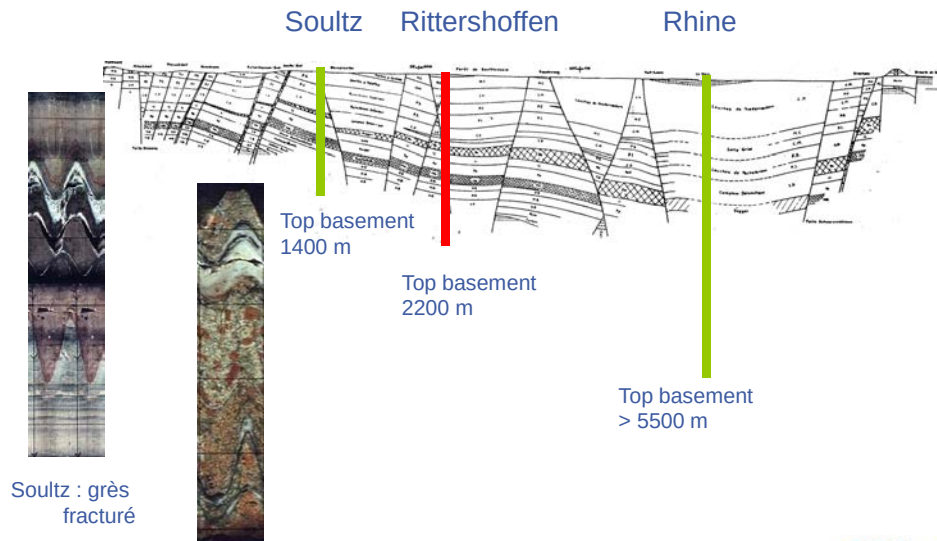


Rittershoffen

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

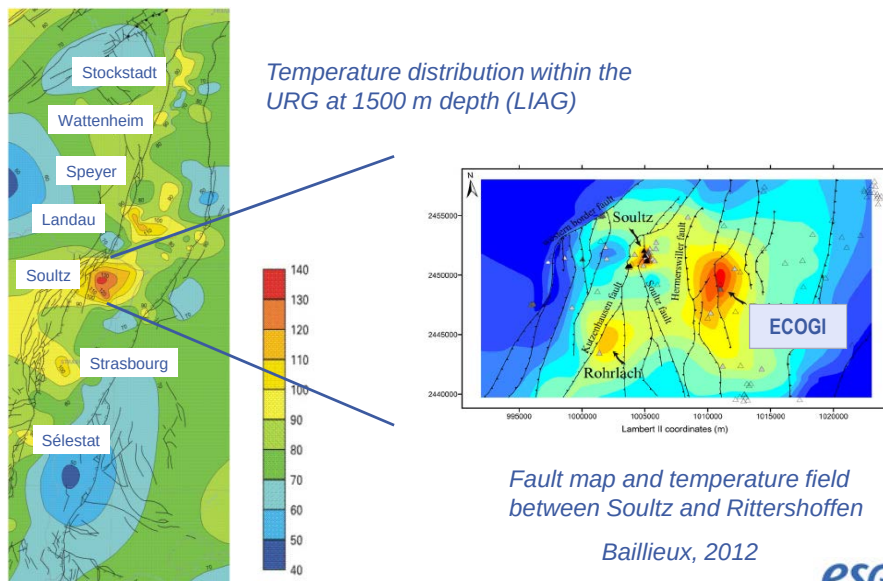
Coupe géologique du fossé Rhénan



JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Contexte particulier de l'Alsace



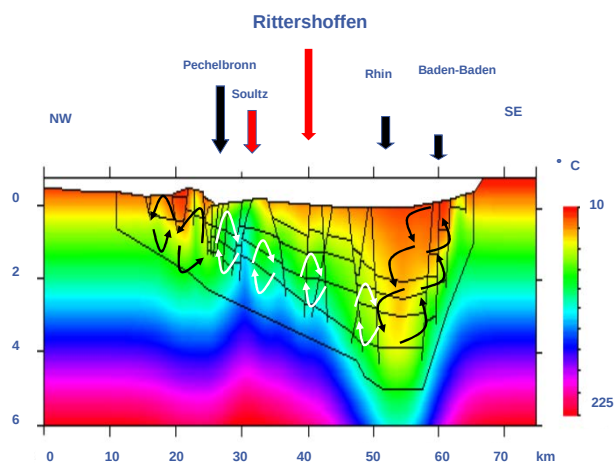
Fault map and temperature field
between Soultz and Rittershoffen

Baillieux, 2012

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Modèle thermique



From Le Carlier et al., 1994

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Localisation du projet ECOGI



Données techniques :

2 Puits	2500-3000 m
Activité	8.000 h/an
Température	170°C
Transport de chaleur	15 km
Puissance thermique	24 MW

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie



JGR 2013 Yverdon-les-bains



Le site de Beinheim

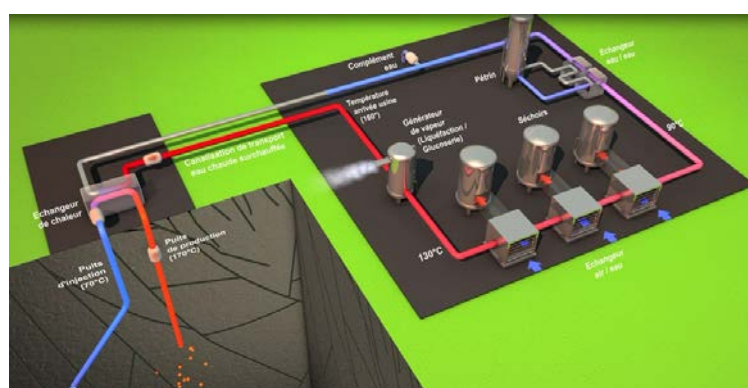


5ième fournisseur mondial d'amidon de maïs
Chimie verte
Beinheim: ~ 100MWth

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Concept



Triple utilisation de la chaleur

JGR 2013 Yverdon-les-bains

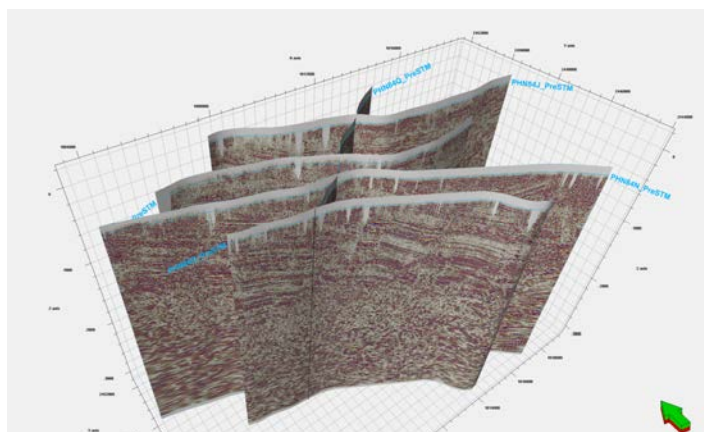
esg
és géothermie



- JGR 2013 Yverdon-les-bains*



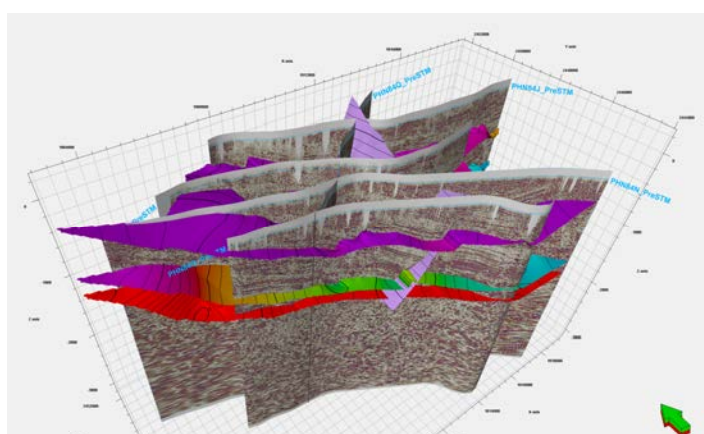
Profils sismiques retraités [temps]



JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

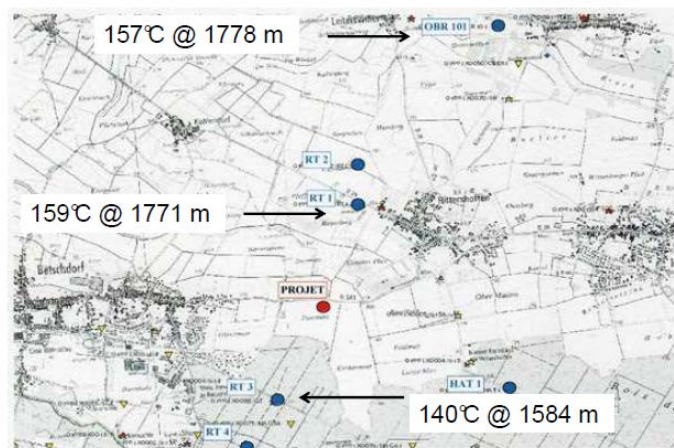
Profils sismiques interprétés [temps]



JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

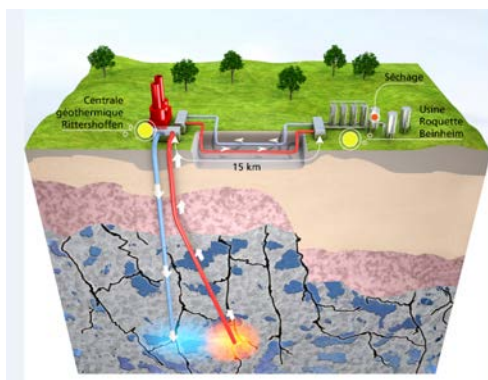
Données thermiques



JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Cible du premier puits

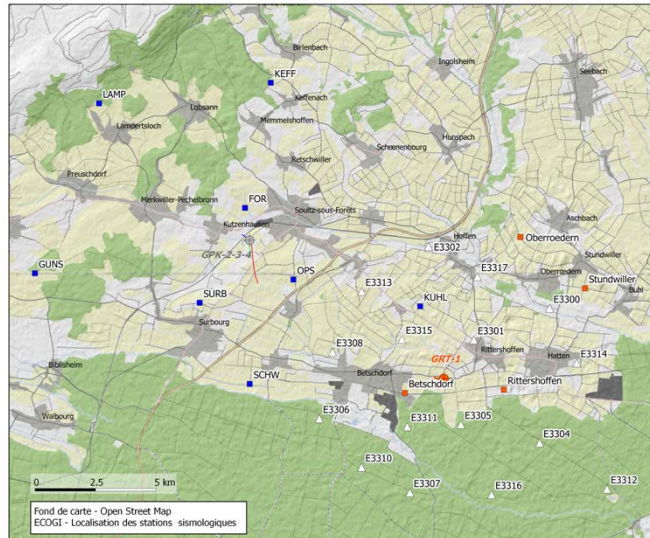


Ciblage sur profils sismiques existants retraités
GRT-1 puits vertical, foré sans MFT, MD 2600 m
Cible: faille à l'interface du buntsandstein et du socle

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

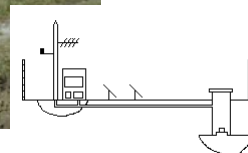
Réseau sismologique



JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Stations



JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Défis

/// Energie locale pour industrie locale

- Utiliser l'énergie géothermique locale à 2500m
- Consommation directe de l'énergie géothermique, comme chaleur de process industriel

/// L'énergie géothermique, un outil de développement stratégique

- Développer un nouveau projet basé sur l'expérience de Soultz
- Améliorer le mix énergétique de l'usine de Beinheim
- Développer le savoir et l'expertise pour de la géothermie profonde en Alsace

JGR 2013 Yverdon-les-bains



Forage [Cofor MR 8000, 200To]



JGR 2013 Yverdon-les-bains



Tests de pompage



- Air-lift (compresseurs)
- évaluation hydraulique du domaine proche-puits et du réservoir
- Premiers résultats prometteurs
- Mise en place d'un programme de développement

JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Test et développement : séquence

/// Nettoyage post-forage:

- Air lift
- Acidification

/// Tests hydrauliques par air-lift, 70h, remplissage bassins

/// Développement du puits

- Stimulation thermique (injection à faible débit, fluide froid)
- Stimulation chimique, acides alimentaires avec design spécifiques, OH packers
- Stimulation hydraulique, monitoring sismologique en temps réel

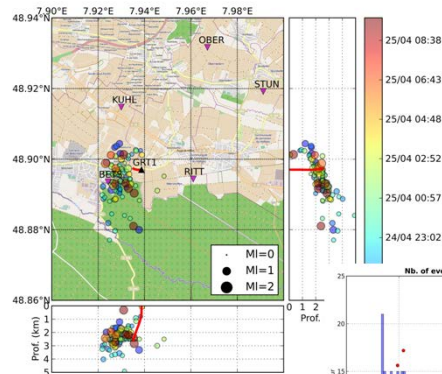
/// Mise en place d'un comité d'expertise

/// Très bons résultats (amélioration de la productivité d'un facteur 5)

JGR 2013 Yverdon-les-bains

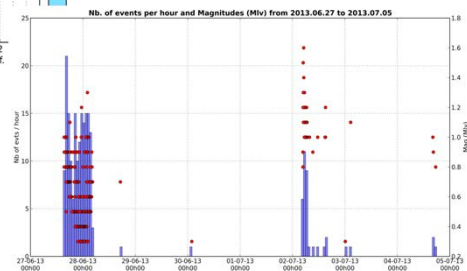
esg
és géothermie

Suivi sismologique



- Pointage automatique et localisation en temps réel pendant les injections
- Total de environ 300 évènements détectés et localisés,
- Crise de 37 évènements 95h après la fin des injections
- Magnitude maximale : 1,5 ML

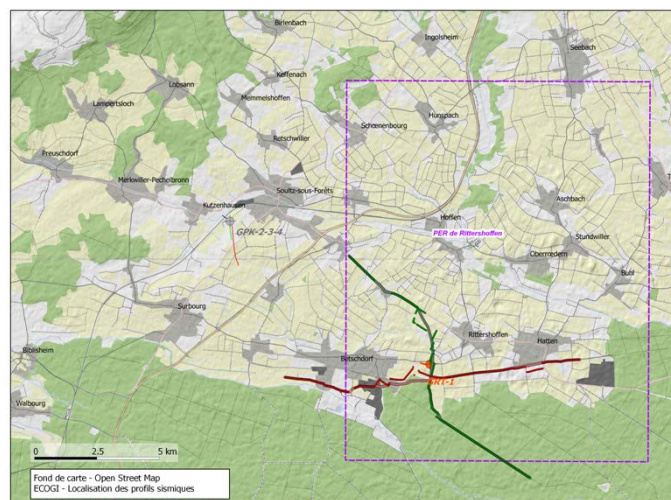
Le seuil critique préalablement fixé (1,7 ML) n'a jamais été atteint



JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Acquisition nouvelles lignes sismiques + VSP



JGR 2013 Yverdon-les-bains

esg
és géothermie

Nouvelles lignes sismiques + VSP

- /// Permitting : juin 2013
- /// Acquisition sismique 2D : fin juillet – début août 2013
- /// Acquisition VSP : début août 2013
- /// Traitement VSP : août 2013 (sismogramme synthétique, front stack, modèle de vitesses)
- /// Traitement sismique PSTM : septembre 2013
- /// Interprétation sismique PSTM : novembre 2013
- /// Traitement sismique PSDM en cours

JGR 2013 Yverdon-les-bains



Statut – Conclusions

- /// Forage GRT-1 conforme aux objectifs (thermiques et hydrauliques)
- /// Sismique 2D et VSP : acquisition et premiers traitements terminés
- /// Appels d'offres canalisation / échangeurs / séparateurs en cours de préparation
- /// Travaux actuels:
 - Traitement PSDM des nouveaux profils
 - Interprétation nouveaux profils
 - Définition de la trajectoire de GRT-2

JGR 2013 Yverdon-les-bains



Naissance du projet AGEPP

Raisons de la naissance du projet AGEPP

- Risque important si panne du pompage des puits actuels en hiver (surtout P600)
- Baisse continue de la température de l'eau du P201
- Nécessité d'un puits de secours (30 l/s à 70°C, profondeur env. 1'000 m)
- Vue les conditions géothermiques favorables, l'idée de faire un forage plus profond permettant d'alimenter un CAD et de produire de l'électricité s'est imposée
- **2005 : naissance du projet AGEPP**

Déroulement du projet AGEPP

- Phase A (2005 - 2006) : étude préliminaire (financement OFEN 50'000 CHF)
- Phase B (2007 - 2009) : étude de faisabilité.
- Phase C1 (2010-2013) : montage financier, préparation et planification du forage profond (autorisation, soumissions, etc.), opposition et recours des Bains
- Phase C2 (2014-2015) : appel d'offres international, création société AGEPP SA, forage profond + essais de pompage

Objectifs du projet pilote AGEPP

Objectifs

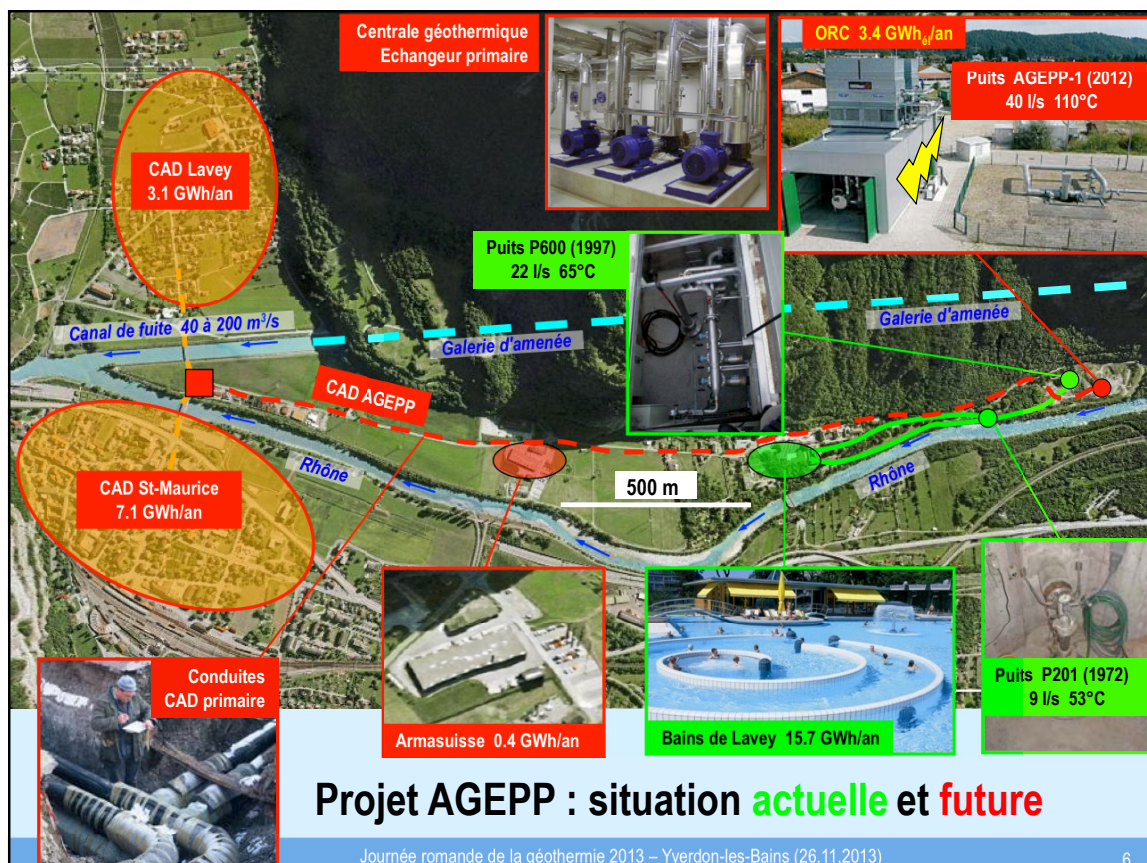
- Exploitation de l'**aquifère profond de Lavey**, dans des zones fracturées à perméabilité élevée
- Démonstration d'une production simultanée d'électricité et de chaleur à partir d'une ressource hydrothermale profonde ⇒ Objectifs : **40 l/s et 110° C**
- Utilisation de la géothermie pour chauffage à distance : communes de Lavey (VD) et de St. Maurice (VS) + établissement thermal de Lavey-les-Bains (VD)
- Démonstration d'une valorisation en cascade de la chaleur ⇒ électricité ⇒ chauffage à distance ⇒ Bains thermaux ⇒ serre tropicale et/ou pisciculture
- Mise en place d'un puits d'appoint/secours pour l'approvisionnement en eau thermale des Bains de Lavey

Projet AGEPP : investisseurs et budget

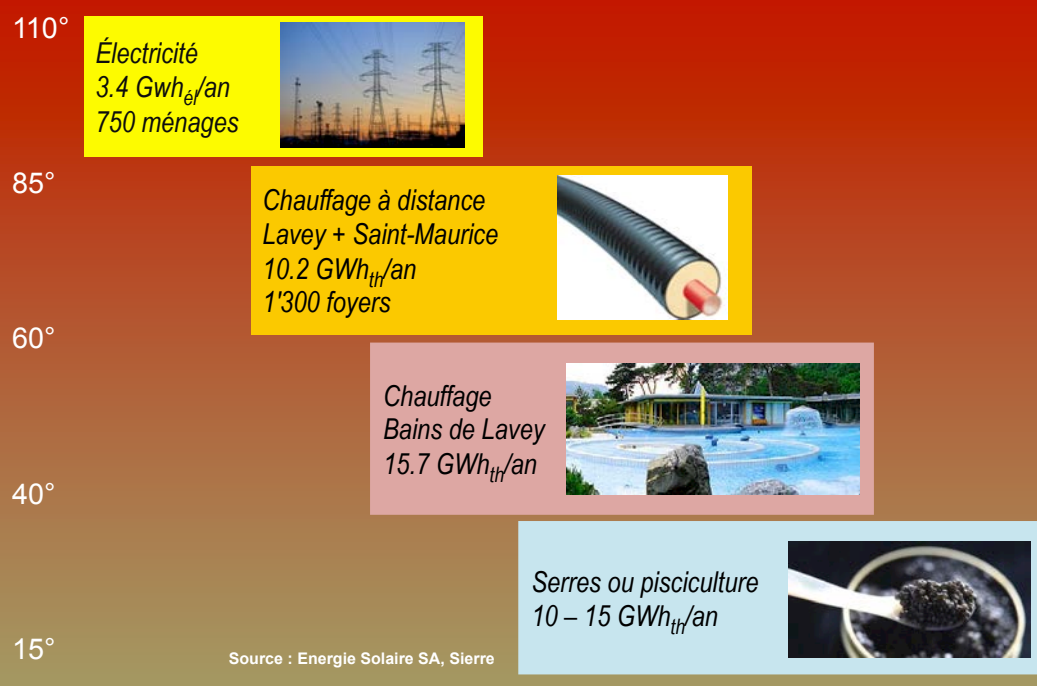
- SI-REN SA (Lausanne)
- EOS Holding
- ROMANDE ENERGIE SA
- CESLA SA
- Commune LAVEY
- Commune ST-MAURICE
- Bourgeoisie ST-MAURICE
- OFEN
- Etat de Vaud (SEVEN)
- Etat du Valais (SEFH)

Budget

- Forage profond + ORC + CAD primaire : env. 32 MCHF



Valorisation de la chaleur en cascade



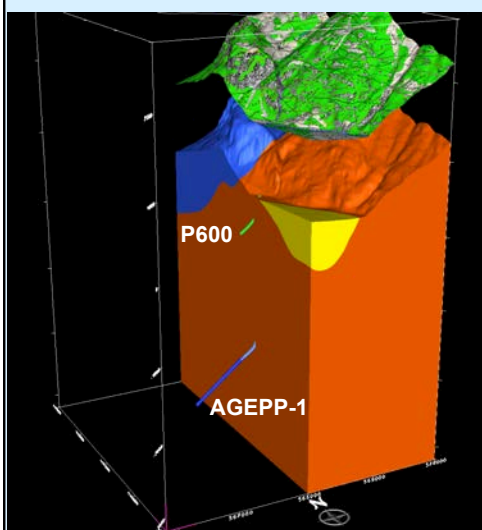
© AGGEP-Lavey

Journée romande de la géothermie 2013 – Yverdon-les-Bains (26.11.2013)

7

Stratégie de forage

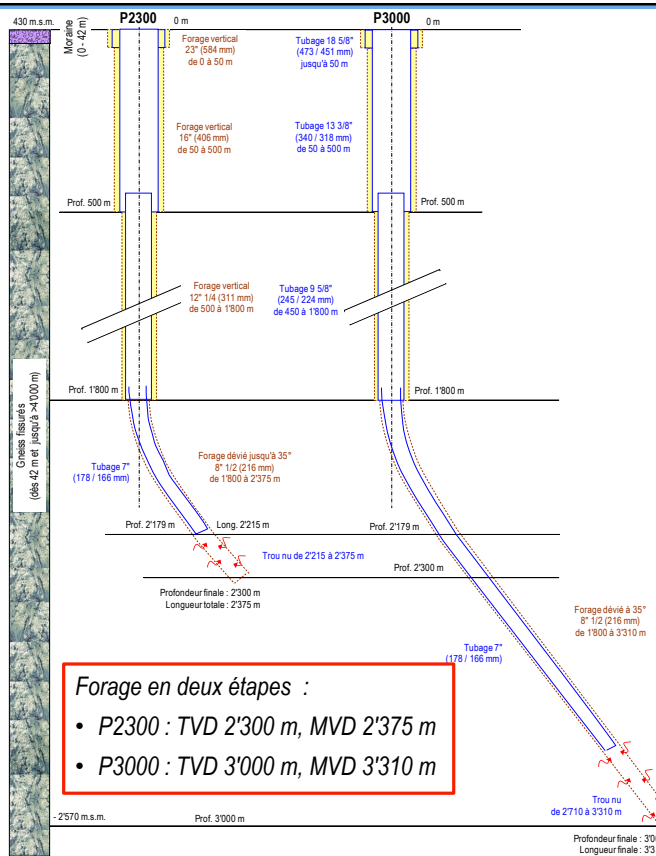
Modèle géologique 3D
et tracé des forages



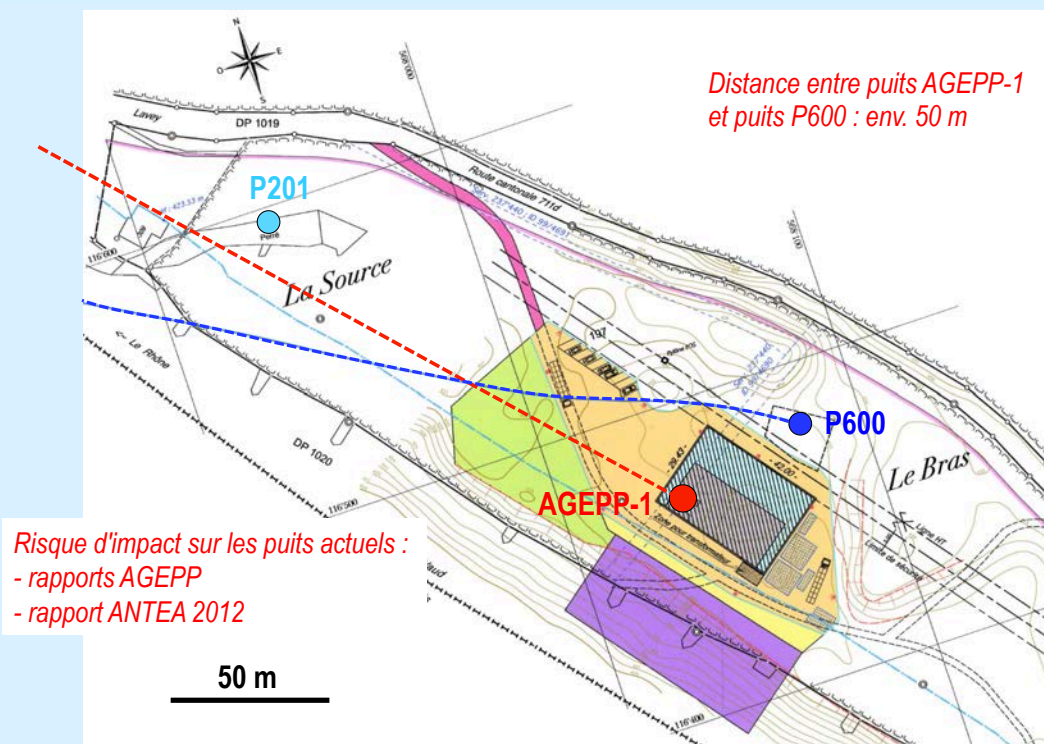
Source : Terre+, Bevaix

© AGGEP-Lavey

Journée romande



Emplacement des puits d'eau thermale et du forage AGEPP-1



© AGGEP-Lavey

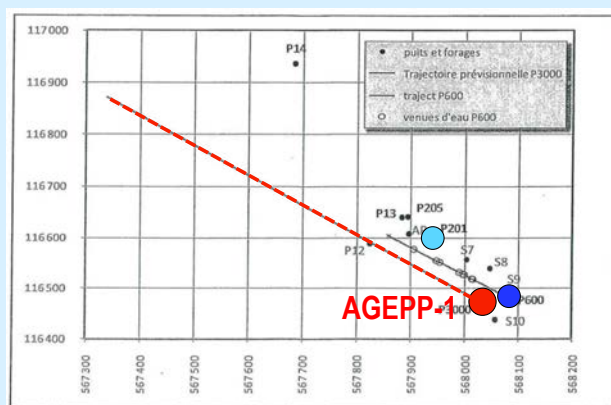
Journée romande de la géothermie 2013 – Yverdon-les-Bains (26.11.2013)

9

Phase de perforation du puits AGEPP-1 : risques pour les puits actuels

Risques en phase de chantier du forage AGEPP-1 :

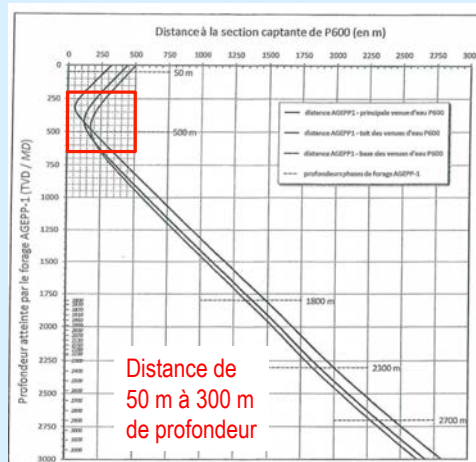
- Risque sur la qualité des eaux (boues, ciments, turbidité).
- Il s'agit d'un risque d'altération temporaire de la qualité des eaux, notamment celles exploitées par le puits P600, le plus proche du futur forage AGEPP-1.
- Le risque le plus élevé est identifié lors de la perforation entre 200 et 650 m de profondeur.
- Solutions techniques peu contraignantes possibles



© AGGEP-Lavey

Journée romande de la géothermie 2013 – Yverdon-les-Bains (26.11.2013)

10



Phase de perforation : mesures proposées par ANTEA pour limiter l'impact

Fluides de forages :

- Bannir tout additif lors de la phase de forage de 50 à 500 m, éventuellement forage à l'eau
- Limiter au minimum les pertes de boue, au moins lors de la perforation entre 200 à 650 m
- Mettre en place un suivi fin des variations du volume de boue de forage, afin de déclencher au plus tôt une "alerte" en cas de pertes.

Cimentation :

- Précautions lors de la cimentation du tubage 13"3/8 (0-500 m), choix d'additifs peu contaminants
- Choix d'un mode de cimentation à faible pression d'injection
- Eventuellement cimentation étagée par intégration d'une vanne différentielle dans la colonne

Tests hydrauliques et réseau de suivi :

- Prévoir un test hydraulique sur la section 50-500 m, qui traverse une bonne part de la zone considérée comme la plus sensible
- Réaliser le test par air-lift sur la section 500-1800 m, qui permettra de récupérer une partie des fluides de forage qui auraient envahi le massif rocheux profond
- Mettre en place un suivi en continu des paramètres sensibles au niveau des puits actuels (turbidité, pH, conductivité, température)

Phase d'exploitation du puits AGEPP-1 - Risques pour les puits actuels

Risques en phase d'exploitation du puits AGEPP-1 par pompage

- Incidence hydraulique modérée à faible selon la transmissivité de l'aquifère profond, ne mettant pas en péril la productivité des ouvrages actuels
- Incidence vraisemblable sur les caractéristiques de l'eau thermique (baisse de température et minéralisation des eaux pompées par les puits actuels)
- Deux scénarios :
 - a) impact faible à modéré, on continue d'exploiter les puits actuels
 - b) impact important, on ne peut plus exploiter les puits actuels (**scénario catastrophe**)
- Quelles solutions lors des interruptions de fourniture d'eau par AGEPP-1 (panne pompe immergée, entretien ORC) ?

Phase d'exploitation - Mesures proposées pour limiter l'impact

- Les différents scénarios d'impacts sur la ressource exploitée par les Bains à partir de P201/ P600 ont été établis, détaillés et analysés par le projet AGEPP
- Des solutions de compensation sont proposées pour couvrir chacun des impacts potentiels.
- Elles vont de la **simple connexion de sécurité** (garantie de fourniture d'eau thermique et de chaleur en cas de panne d'un des ouvrages actuellement exploités), jusqu'à la **fourniture totale de l'eau et de la chaleur par le forage AGEPP-1**
- Ces solutions apportent une certaine sécurité, mais elles nécessitent toutes des aménagements hydrauliques sur les réseaux des Bains de Lavey et donc certains investissements pour ces transformations
- La conception du réseau d'alimentation des Bains à partir du forage AGEPP-1 devra permettre la pérennité de cette alimentation, même lors des périodes de maintenance de l'ORC et du CAD.

Solution en cas d'impact important sur les puits d'eau thermique - PAFAB

PAFAB = Plan d'amélioration de la fiabilité d'approvisionnement des Bains

Objectifs :

- Améliorer et fiabiliser l'approvisionnement des Bains de Lavey en cas de panne prolongée du pompage au puits P600 (fourniture d'eau thermique et couverture des besoins thermiques)
- Assurer l'approvisionnement des Bains de Lavey si l'exploitation du puits AGEPP-1 devait produire un impact important sur les puits actuels (phénomène lent et progressif)
- Assurer l'approvisionnement des Bains de Lavey durant les pannes de pompage au puits AGEPP-1 et lors des arrêts du pompage pour la maintenance des installations

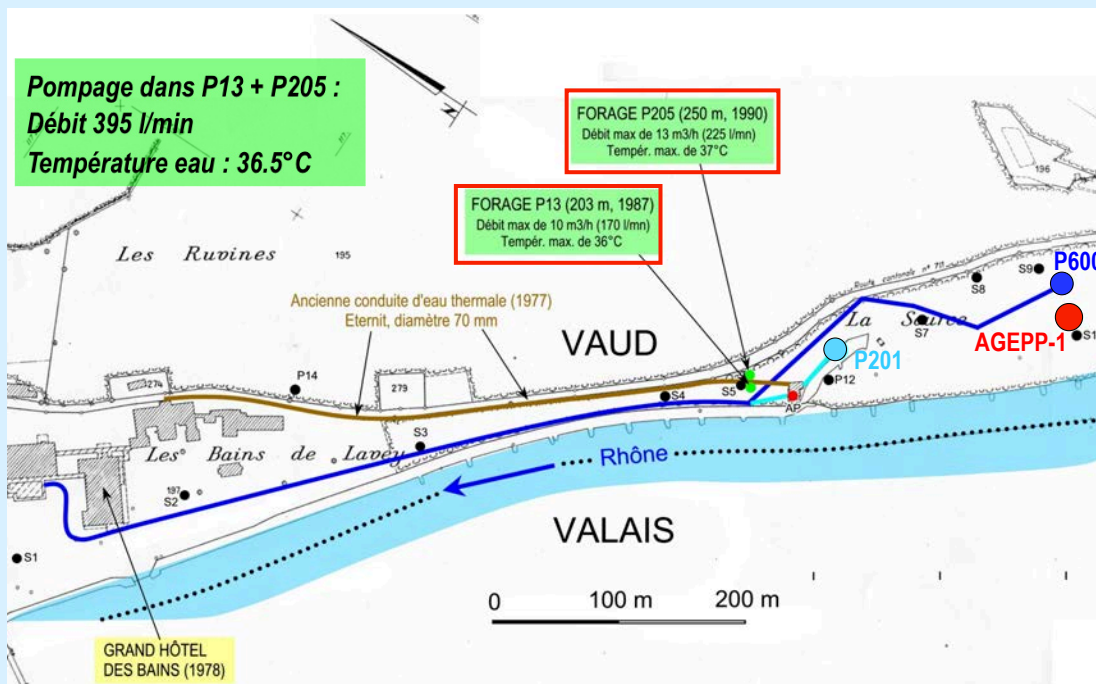
Perforation du forage AGEPP-1 :

Le PAFAB doit être opérationnel avant la perforation de AGEPP-1.

Compatibilité avec le projet AGEPP :

Le PAFAB devra déjà être compatible avec le système d'exploitation futur des pompages qui sera mis en place suite à la réalisation du puits AGEPP-1, pour tous les cas de figure envisagés.

PAFAB – Sources d'approvisionnement alternatives pour l'eau thermique

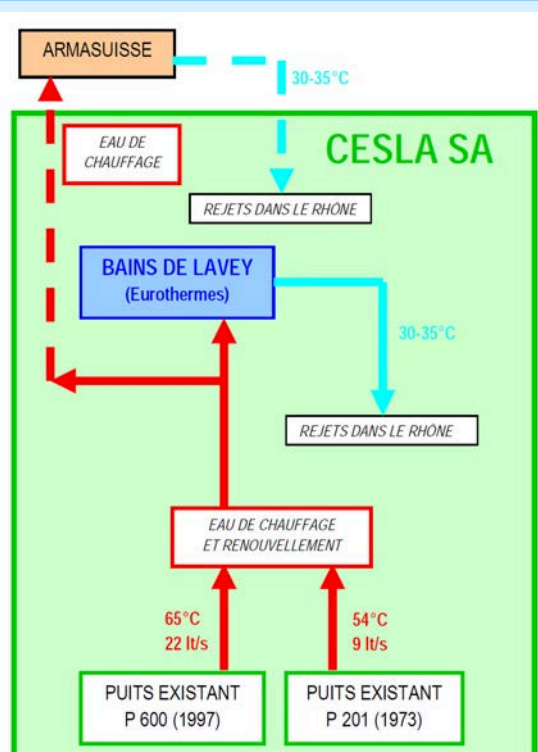


© AGGEP-Lavey

Journée romande de la géothermie 2013 – Yverdon-les-Bains (26.11.2013)

15

Mode d'exploitation actuel des puits d'eau thermique



L'eau thermique entre 54 et 65°C assure :

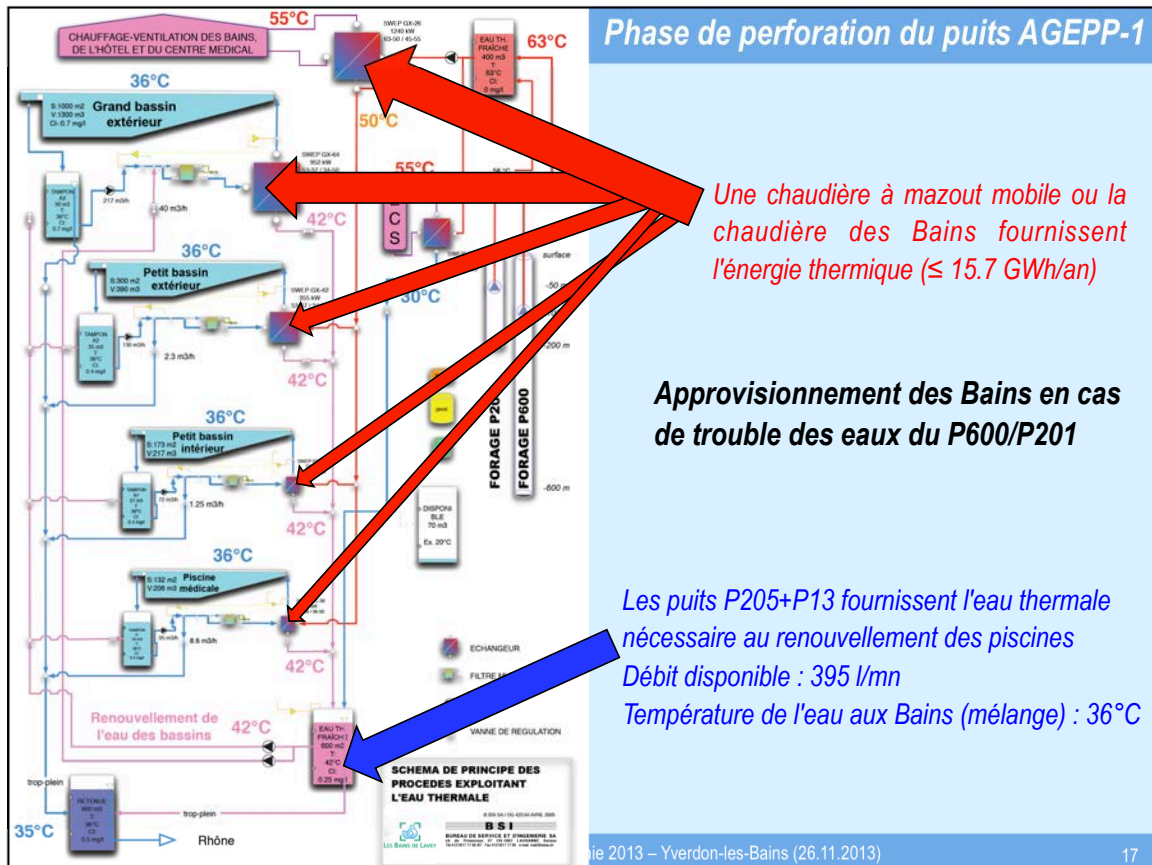
- Le remplissage des bassins
- Le renouvellement des eaux de baignade
- La couverture totale des besoins en chaleur (15.7 GWh_{th} pour maintien en température de l'eau, chauffage et eau chaude sanitaire)

Le débit d'exploitation moyen est de 17 l/s
(débit max : 31 l/s , nécessaire uniquement en périodes de grand froid)

© AGGEP-Lavey

Journée romande de la géothermie 2013 – Yverdon-les-Bains (26.11.2013)

16



S scénarios d'impact sur les puits actuels lors de l'exploitation d'AGEPP-1

Eau de renouvellement pour les bassins :

- Situation actuelle : 870 l/min
- Situation future : ≥ 340 l/min

P1) TRES FAIBLE : débit et température du P600 + P201 ne changent pas (status quo) :

Débit moyen d'au moins 890 l/min à 57°C . Les puits actuels assurent l'eau pour le renouvellement des piscines et l'énergie thermique pour le chauffage

AGEPP-1 assure la sécurité d'approvisionnement en énergie thermique en cas de panne du P600

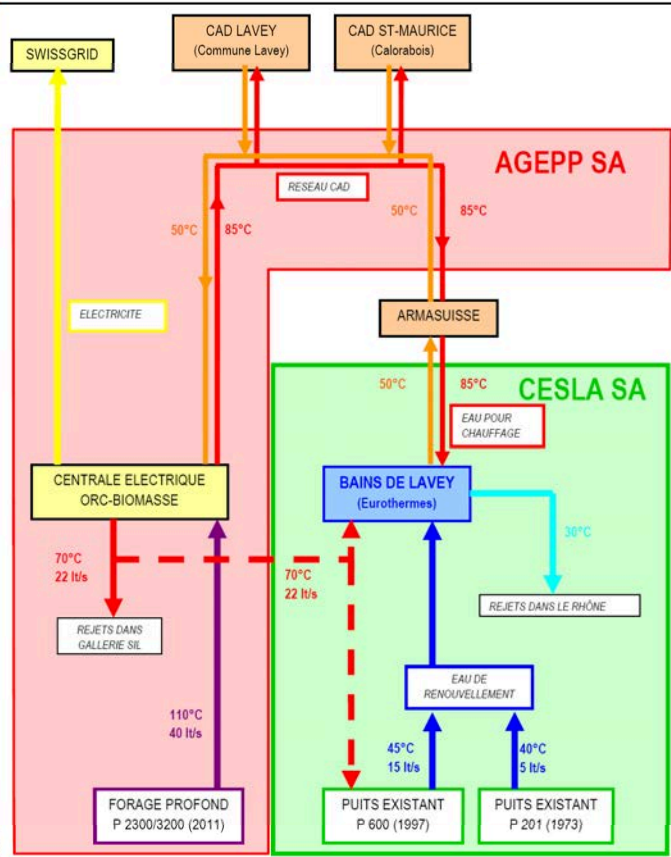
P2) FAIBLE à MOYEN : débit du P600 + P201 suffisant pour l'eau de renouvellement :

≥ 340 l/mn à ≥ 42 °C ≤ 5.7 GWh/an (débit actuel : 890 l/mn à 57°C)

AGEPP-1 apporte le complément d'énergie thermique (10.0 GWh/an)

P3) ELEVE : débit du P600 + P201 insuffisant pour l'eau de renouvellement :

AGEPP-1 fournit l'eau de renouvellement et la totalité de l'énergie thermique (15.7 GWh/an)



Scénario d'exploitation P3

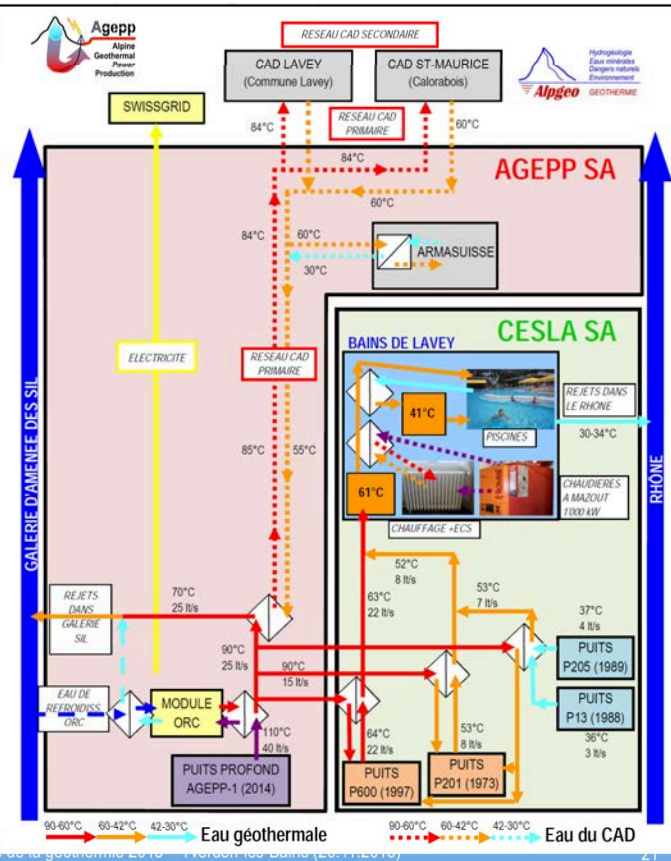
Impact du puits AGEPP-1 : ELEVÉ

P201 et/ou P600 en réserve

Mode d'approvisionnement :

- Les puits existants sont indisponibles (températ. <36°C)
- Le puits AGEPP-1 assure, via CESLA SA, l'eau thermique pour l'approvisionnement des Bains (si nécessaire, mélanges avec l'eau du P600), ainsi que l'énergie thermique pour le chauffage
- P600 (et P201?) assurent la sécurité d'approvisionnement (CESLA SA)

**Hypothèse
peu probable**



Stratégie énergétique 2050 – Cas particulier de la géothermie profonde

Un rappel s'impose !

Energie en Suisse

- ✓ En Suisse, 75% d'énergie fossile et 25% d'énergie électrique!
- ✓ L'énergie fossile est entièrement importée!
- ✓ Nous devons réduire notre production de gaz à effet de serre (respect de conventions internationales, mais surtout la vie future de nos enfants)

Géothermie profonde

- ✓ Produit de grandes quantités de chaleur
- ✓ Rendement électrique faible (10 à 15%)
- ✓ Forages profonds coûteux et risqués

Promotion actuelle de la géothermie profonde : une aberration !

Situation actuelle (tout à l'électrique)

- ✓ Couverture du risque de forage, uniquement pour projets produisant de l'électricité
- ✓ RPC uniquement si production électrique)
- ⇒ Profondeur des forages > 3'000 m
- ⇒ Risques importants, coûts élevés!
- ⇒ Très peu de projets en Suisse!

Actuellement, serait-il plus logique de subventionner les voitures à hydrogène ou les voitures hybrides?

Promotion de la géothermie profonde : il faut changer de cap !

Type de promotion souhaitée

- ✓ Couverture du risque de forage, aussi pour projets produisant de la chaleur, si directement valorisable dans des chauffages à distance
- ✓ RPC aussi sur la production de chaleur (financement par taxe sur le CO₂)
- ⇒ Profondeur des forages < 3'000 m
- ⇒ Risques moins importants, coûts raisonnables!
- ⇒ Multiplication des projets en Suisse!
- ⇒ Exploration à grande échelle du sous-sol suisse

***Il faut donc changer la stratégie
énergétique actuelle concernant
la géothermie profonde.***

***Il en va du futur de cette énergie
renouvelable prometteuse***

Faites le savoir autour de vous!



***Avoir le courage de
changer What else?***

Seuls les imbéciles ne changent pas d'idée



***Merci de
votre
attention!***

***Nous répondons volontiers
à vos questions***



Développement du projet de géothermie profonde d'Eclépens dans le contexte de la stratégie énergétique 2050 et dans le sillage de Bâle, Zurich-Triemli et St. Gall: Enseignements, stratégie et développements



Journée romande de géothermie, HEIG-VD

Pascal Vinard – Responsable Géothermie BKW Energie SA

26 novembre 2013



L'oeuf et la poule...



Peut-être désirez vous en savoir un peu plus...?

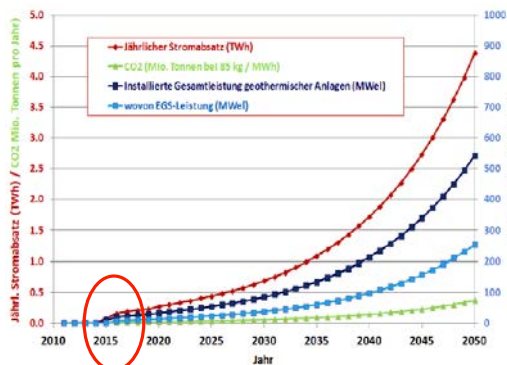


La géothermie profonde joue un rôle important dans la stratégie énergétique 2050 ... mais on peut s'en passer

(porte parole de l'OFEN après les secousses sismiques à St. Gall)



Développement de la géothermie selon la stratégie énergétique 2050



Source: OFEN



Raisonnement

- La géothermie de subsurface (PAC) connaît un développement réjouissant en Suisse. Elle est devenue un vecteur énergétique ET une valeur sûre de nos capacités industrielles clean tech.
- La géothermie profonde a le potentiel de suivre et développer la voie tracée par les PAC.
- La géothermie profonde est le seul vecteur renouvelable capable de fournir de l'énergie en ruban.
- Les résultats dans le bassin rhénan et la région de Munich sont une source d'inspiration en Suisse aussi.
- La technologie et la connaissance du sous-sol profond de notre pays n'en sont qu'aux débuts -> des aides au démarrage de la filière sont nécessaires.
- 4,4 TWh/an dès 2050 = 1/5 de l'objectif de production renouvelable est ambitieux, mais probablement réalisable. Cependant:
- Quand est-ce que l'on commence sérieusement?
- Qui fait quoi, comment et quand?

Journée romande de géothermie 2013

ecce Basel, Zurich-Triemli et St. Gall...



Basel a permis d'établir un protocole de stimulation qui fait référence et d'apprendre à mieux comprendre les processus de rupture et la sismicité induite

Triemli a montré qu'il est possible de forer en milieu urbain sans problèmes
Sonde coaxiale profonde en service

St. Gall semble montrer que les réseaux fracturés peuvent servir de volumes d'échange thermique



Tremblements de terre
Dégâts
Risques importants
Fiasco financier

Echec: Ça fait cher la connaissance du sous-sol zurichois!

Fiasco financier

Tremblements de terre même sans stimulation hydraulique!
Dégâts
Risques
Fiasco financier



Enseignements de Bâle, Zurich et St. Gall ... et les autres?



Basel

- Site peu judicieux pour 1^{ère} expérience, mais voulu par les investisseurs
- Pression du temps et des moyens financiers
- Enseignements intéressants, mais retour d'information limité aux publications scientifiques

Zurich-Triemli

- Pression du temps: pas de phases d'exploration dignes de ce nom en amont du forage proprement dit
- Mélange des genres (objectifs différents des entités participantes)
- Record de dépassement du budget
- Retour d'information peu satisfaisant

St. Gall

- Vision et stratégie remarquable de la Ville et des Stadtwerke – soutien populaire!
- Peu d'expérience préalable
- Excellente préparation (sismique, communication), mais absence d'éléments standard (analyse du champ de contraintes, modèle de réservoir, etc.)
- Forage dans les règles de l'art – résultats intermédiaires encourageants (essai de pompage)
- Informations cloisonnées (guère de valeur quantitative pertinente depuis le début de la phase de forage et tests)



Seite 5

Journée romande de géothermie 2013

Enseignements de Bâle, Zurich et St. Gall ... et les autres?



Points communs les plus saillants:

- Chaque projet planifié et exécuté «dans son coin»
- Peu de prise en compte de l'expérience des projets européens pertinents
- Dans la même logique, information partielle et manque de retour d'expérience (pourtant indispensables pour faire progresser la technologie, augmenter les chances de succès, diminuer les risques et optimiser les coûts)
- Public, autorités et investisseurs échaudés à chaque fois. C'est le seul effet cumulatif de ces trois projets différents!

Résultat: scepticisme des investisseurs d'où base d'investissement insuffisante ou en érosion rapide.

or, la perception des investisseurs, des milieux politiques, des autorités et du public est déterminante et c'est le plus grand défi auquel sont confrontés les rares porteurs de projet dans notre pays!

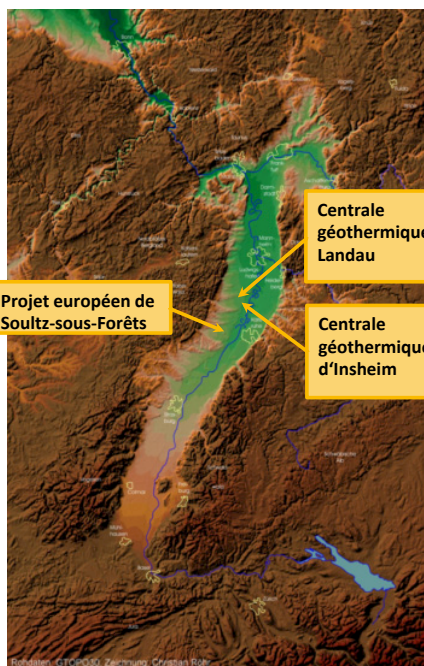
Un coup d'œil par delà nos frontières nous montre d'autres modèles qui devraient nous inspirer:



Seite 6

Journée romande de géothermie 2013

Logique du collier de perles: l'exemple d'Insheim (Rheinland-Pfalz, DE)



1. Projet R&D de Soultz-sous-Forêts
Projet européen commun depuis 1986

2. Projet pilote de Landau (geo x GmbH)

Août 2005:	1 ^{er} forage (soutirage)
Janvier 2006:	2 ^{ème} forage (réinjection)
Été 2007:	Construction de la centrale
Novembre 2007:	Mise en exploitation
Octobre 2010:	Mise en service du CAD

3. Projet commercial d'Insheim (PW geofuture GmbH)

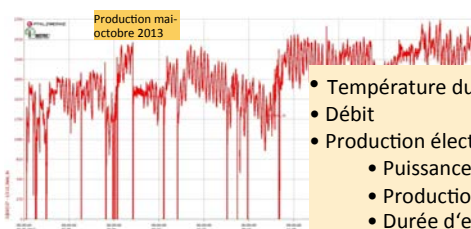
Propriétaire: PFALZWERKE AG (100%)

Été 2008:	1 ^{er} forage (soutirage)
Été 2009:	2 ^{ème} forage (réinjection)
Été 2010:	2 ^{ème} forage (side track)
Automne 2011:	Construction de la centrale
Novembre 2012:	Mise en exploitation

Seite 7

Journée romande de géothermie 2013

Logique du collier de perles: l'exemple d'Insheim (Rheinland-Pfalz, DE)



- Température du fluide: **165°C**
- Débit: **80 l/s**
- Production électrique
 - Puissance (max.) **4,8 MW**
 - Production annuelle **33.000 MWh**
 - Durée d'exploitation **8.000 h/a**
- Puissance (max) pour chaleur **10 MW**
- Besoin propre: **25%**
- RPC selon loi EEG **25 €/kWh (31 c/kWh)**
CH: 40-47.5 c/kWh)
- Coût total **50 M€ (62 MCHF)**



Source: C. Lerch, Pfalzwerke, 2013



FAZIT (TEXTE ORIGINAL)

Geothermieprojekte können technisch umgesetzt werden und Erdwärme ist als nachhaltige Energiequelle dauerhaft nutzbar.

AUSBLICK

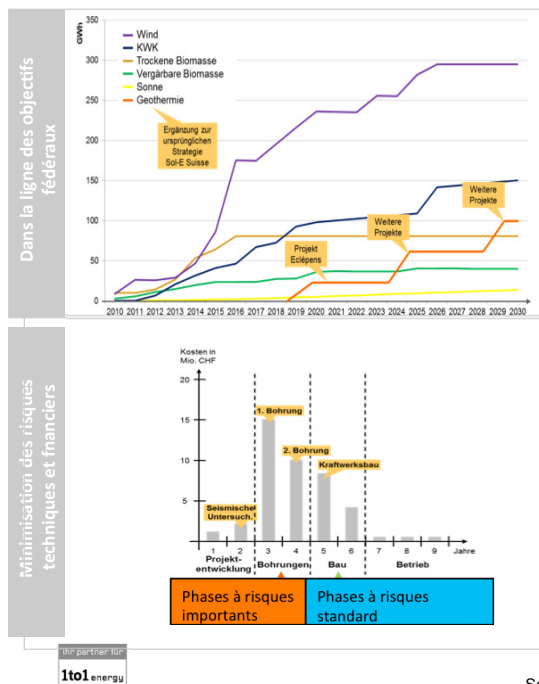
Es bestehen Entwicklungspotenziale in den Bereichen:

- **Seismizität** / Weiterentwicklung von Präventionsmechanismen
- **Wirtschaftlichkeit** / Steigerung Wirkungsgrad, Eigenverbrauch
- **Anlagentechnik** / Werkstoffentwicklung, Thermalwasserchemie

Seite 8

Journée romande de géothermie 2013

Stratégie BKW: Eclépens comme première perle...



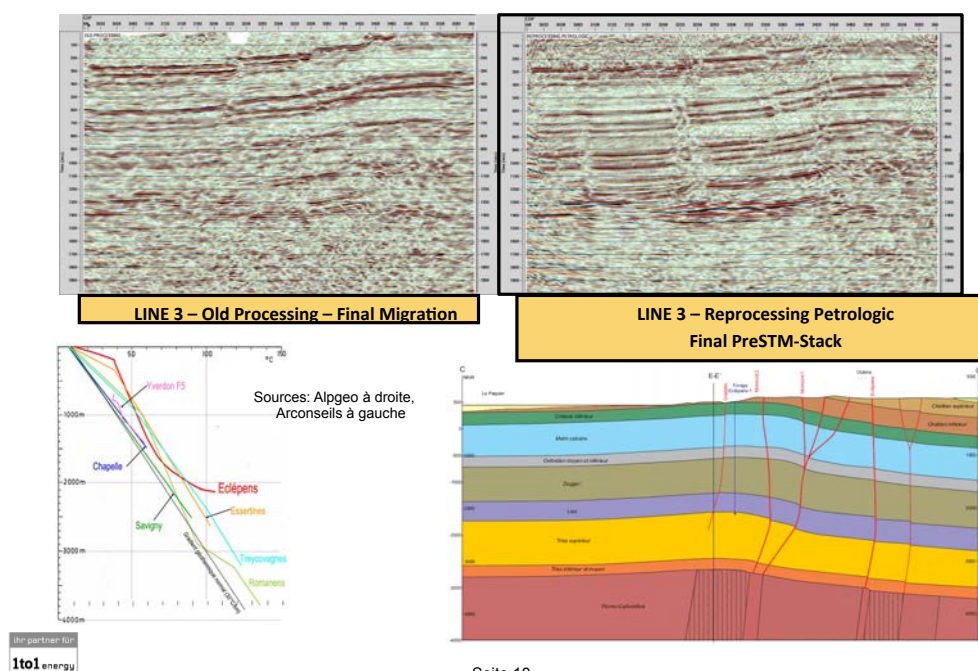
Approche stratégique BKW

- Combiner la géothermie profonde avec le développement des projets chaleur en se basant sur la co-génération avec priorité à la production électrique
- Objectifs quantitatifs indicatifs et provisoires:
 - 0,1 TWh_{él}/an d'ici à 2030 (= Eclépens + 2 à 4 projets futurs)
 - 0,7 TWh_{él}/an d'ici 2050
- Logique du collier de perles (cf. exemple Insheim)
- Diminution des risques par mise sur pied de partenariats forts et de plafonnement des risques par phase

Seite 9

Journée romande de géothermie 2013

Les travaux 2012/13 le confirment: Eclépens est idéal pour lancer un projet P+D national



Seite 10

Journée romande de géothermie 2013

Résultats existants

- Interprétation et reprocessing des données sismiques (2012-2013)
- Propre campagne de sismique (2012)
- Interprétation, réinterprétation géologique
- Modèle géologique 2012 + 2013 (en cours d'élaboration)
- Project Plan et logique de développement prêts pour implémentation
- Business Plan prévisionnel
- BKW partenaire du SCCER-SoE
- BKW partenaire du PCD7 IMAGE avec Eclépens en tant que projet représentatif européen
- Contribution à l'amélioration des conditions-cadre aux niveaux fédéral et cantonal

Analyse de la situation



Site à la fois exceptionnel et représentatif du bassin molassique de Suisse occidentale



Le projet remplit les conditions pour soutiens financiers fédéraux



Le business case est positif si base d'investissement et soutiens fédéraux sont obtenus

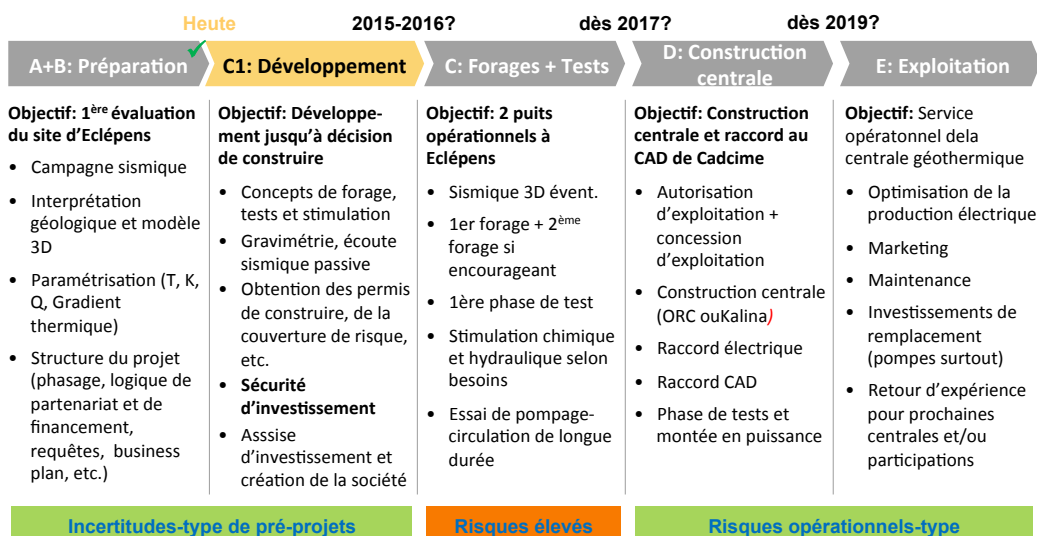


Eclépens représente une belle opportunité à saisir!

Seite 11

Journée romande de géothermie 2013

Le projet est hasage est clair, mais le démarrage et la durée des prochaines phases dépendent de l'amélioration des conditions-cadre



Le seuil de la prochaine étape dépend de l'évolution des conditions-cadre

Seite 12

Journée romande de géothermie 2013

Risque	Appréciation	Mesure(s) prévue(s)
1 Droit de construction	- Conditions-cadre cantonales ne suffisent pas à sécuriser l'investissement: pas de concession d'exploration de type AG ou LU - Améliorations prévues, horizon et les chances d'aboutir pas claires	- Collaboration étroite avec autorités cantonales (sous condition) préparation de demande d'explorer (droit de la construction actuelle)
2 Couverture de risque	- Sismicité naturelle de la région d'Eclépens très faible - Risque d'échec comparativement faible (données existantes) - Couverture de risque fédérale essentielle - Couverture complémentaire privée impossible actuellement	Initier procédure de requête de couverture de risque après appréciation des conditions pour situations intermédiaires entre échec complet et réussite
3 Soutiens financiers de l'Etat	- Eclépens bien positionné pour obtenir des soutiens financiers grâce à son assise SCCER-SoE + IMAGE et la nature de l'installation prévue. - Niveau et conditions financières peu claires	- Dialogue avec autorités - Définition des conditions-cadre et niveaux atteignables - Confirmation du statut du projet (importance internationale et nationale)
4 Recherche de partenaires - investisseurs	1 à 2 partenaires supplémentaires nécessaires pour aller de l'avant de manière efficace Manque de conditions-cadre légales claires freine considérablement intérêt des investisseurs potentiels	- Sécuriser les conditions-cadre - Relationship management & voies alternatives de financement - SCCER-SoE?
5 Optimisation du risque financier restant	- Le risque financier pour participants au projet est acceptable si la structure de financement est possible - Le partenariat visé et l'approche séquentielle permettent de gérer les risques de manière dynamique	- Mise en place d'un plafond maximal de risque financier Développement prudent du projet

1to1 energy

Seite 13

Journée romande de géothermie 2013

Enseignements

- L'OFEN a amélioré les conditions-cadre (couverture de risque, bonus EGS).
- L'OFEN attend des porteurs de projet une démarche entrepreneuriale.
- Le personnel de l'OFEN reste sous-critique pour ce domaine.
- La Confédération mise sur une démarche académique pour faire avancer les projets de géothermie. Cette démarche est opportune pour les besoins en R&D, mais guère efficace pour franchir le pas vers l'industrialisation.
- L'Etat de Vaud réfléchit à améliorer les conditions-cadre, mais considère pour l'heure qu'il n'y a pas besoin/urgence de/à légiférer.
- Les investissements à risque dans les énergies renouvelables sont recherchés par différents milieux (assureurs), mais restent bloqués par une lecture frileuse des directives de la FINMA.



- Les porteurs de projet, dont BKW, font face à un environnement de plus en plus difficile et limitent donc les investissements à risque.
- Or, la sécurité de l'investissement passe par l'obtention de concessions (cf. AG, LU) qui restent impossibles dans le canton de Vaud ET par des mesures supplémentaires de limitation des risques financiers.
- Cet état de fait bloque le développement de projets comme Eclépens qui nécessitent des partenaires.

- La learning curve en Suisse est bloquée par le manque de retour d'expérience.
- Population, autorités cantonales et communales + parlement sont désécurisés.
- La confusion entre HC non conventionnels et géothermie profonde ajoute à.
- Cet état de fait bloque le développement du projet d'Eclépens qui nécessite des partenaires.

1to1 energy

Seite 14

Journée romande de géothermie 2013

- Tout porteur de projet, soutenu par les pouvoirs publics **doit partager les informations** pertinentes avec les autres porteurs de projet indigènes dans le but d'améliorer la learning curve et d'optimiser les coûts et risques.
- Pour sortir de la situation actuelle de blocage, il est nécessaire de mettre sur pied une initiative nationale qui englobe les porteurs de projet, scientifiques et autorités autour de **projets pré-opérationnels** et de **monter en puissance en misant sur les projets chaleur**.
- La motion parlementaire visant à une **meilleure exploration de notre sous-sol profond** est rapidement implémentée et permet de pouvoir compter sur la Confédération pour co-financer les forages d'exploration sur les sites les plus indiqués.
- L'intensification des échanges avec les spécialistes et porteurs de projet à l'international doit viser le **transfert de technologies (in sourcing) dans une optique «clean tech» nationale**.
- La **mutualisation ou fédération du savoir-faire, capacités et projets** permettrait de rassembler expérience et financements actuellement disparates et **améliorer ainsi les bases nécessaires à la réalisation de projets** (mutualisation des risques, diminution des coûts par approvisionnements communs, etc.).

Au niveau technique:

- **Développer les projets chaleur partout où cela fait sens** Créer des **bases de soutien financier aux projets chaleur couplés CAD ou chaleur de groupes d'immeubles (notamment en couplage avec les centrales à cycle combiné ou biomasse)**(avec des soutiens au démarrage de type TG pour Schlattingen)
- **Créer une couverture de risque pour projets chaleur** (sur base taxe carbone par exemple ou de fonds cantonaux)



Projets pilotes de géothermie profonde EGS en Suisse romande - Avenches (VD) et Haute-Sorne (JU)

Geo-Energie Suisse SA

Olivier Zingg, chef de projet

Journée romande de la géothermie, 26 novembre 2013, Yverdon



Petit rappel du principe de la stimulation hydraulique à la base de la technologie EGS...

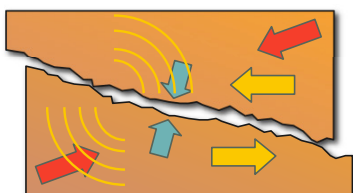
2



- Des fissures naturelles dans la roche représentent des zones de faiblesse.



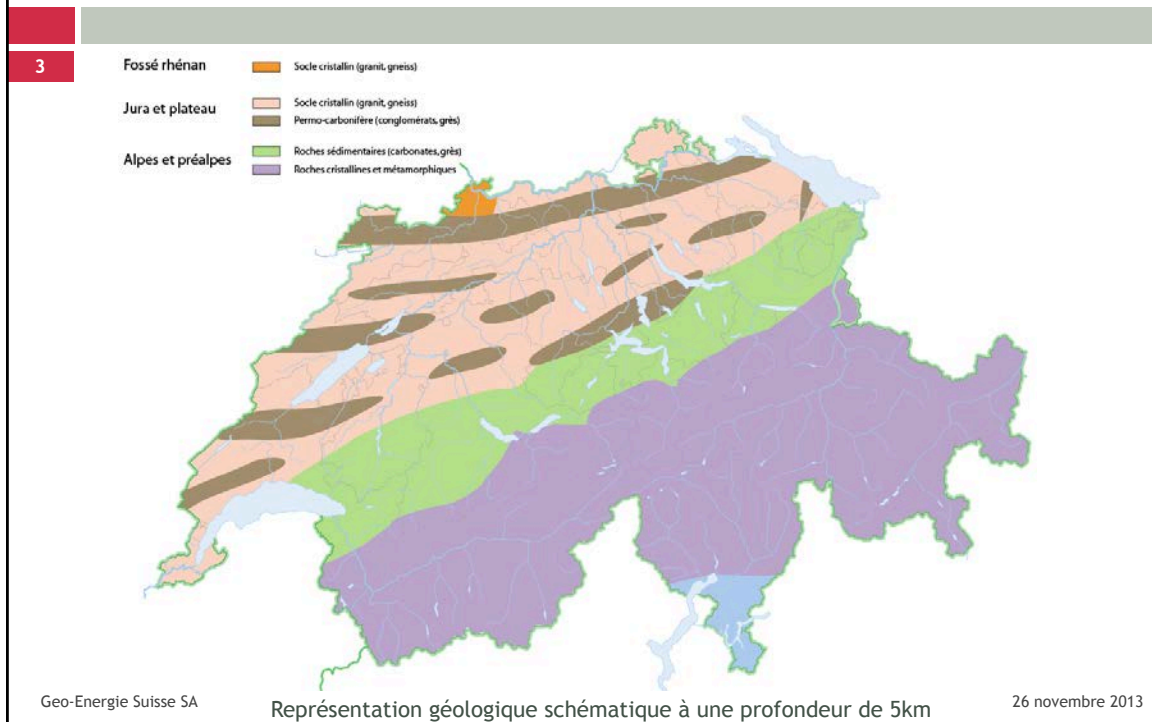
- L'injection hydraulique réduit les contraintes normales s'exerçant sur les fissures (en bleu).



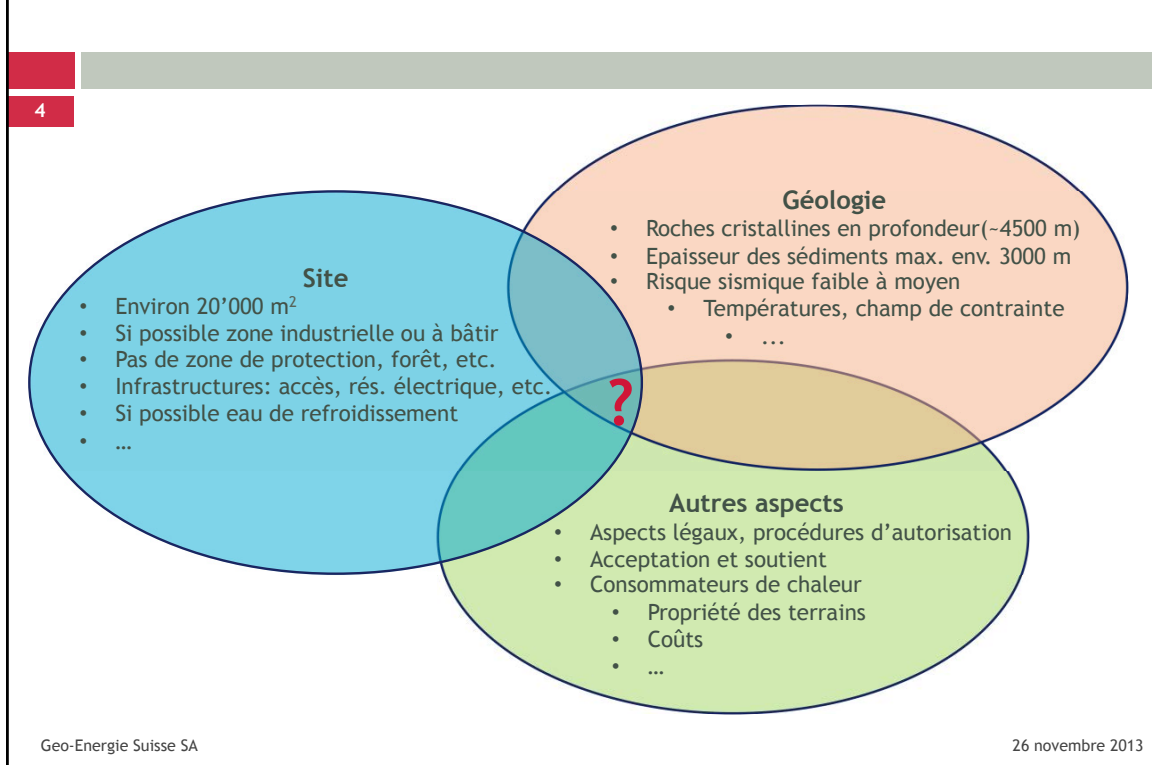
- Les contraintes cisailantes (en rouge) créent un déplacement le long de la faille (en jaune).
- Les deux lèvres de la faille ne se referment plus, la perméabilité a été augmentée!
- Un signal sismique est émis, permettant la localisation de l'événement.

Pourquoi se concentrer sur les EGS?

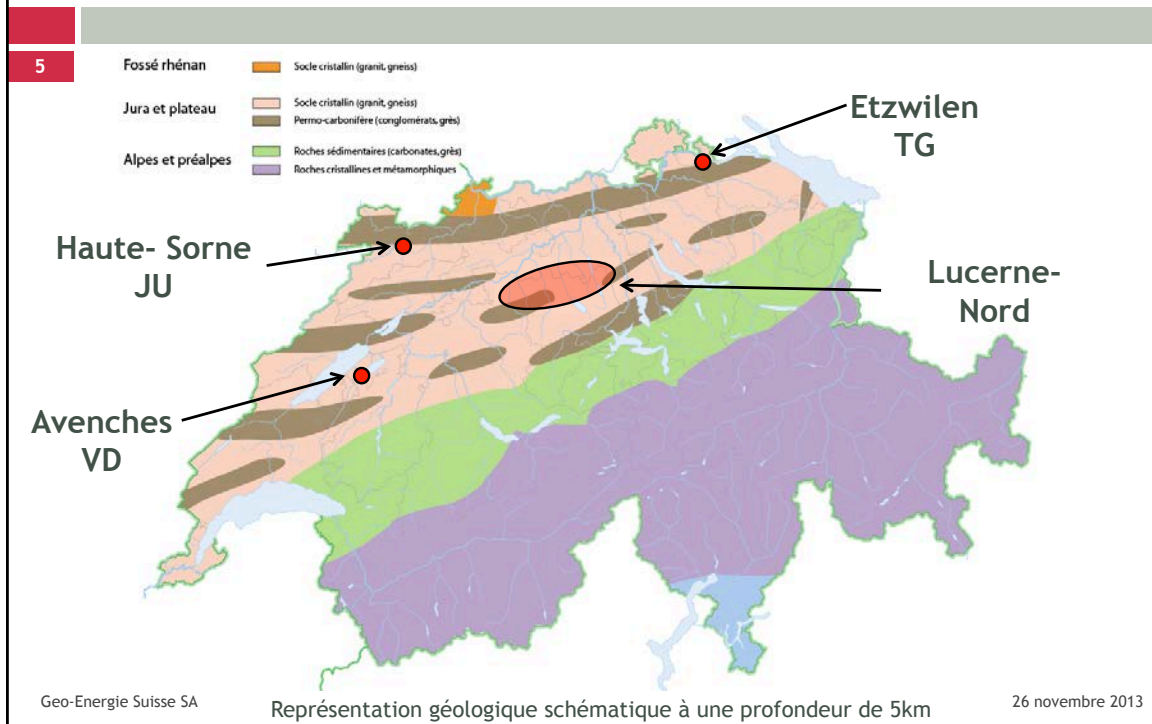
→ Les roches cristallines présentent le plus grand potentiel en Suisse!



Les défis de la recherche du site idéal...



Projets de Geo-Energie Suisse SA

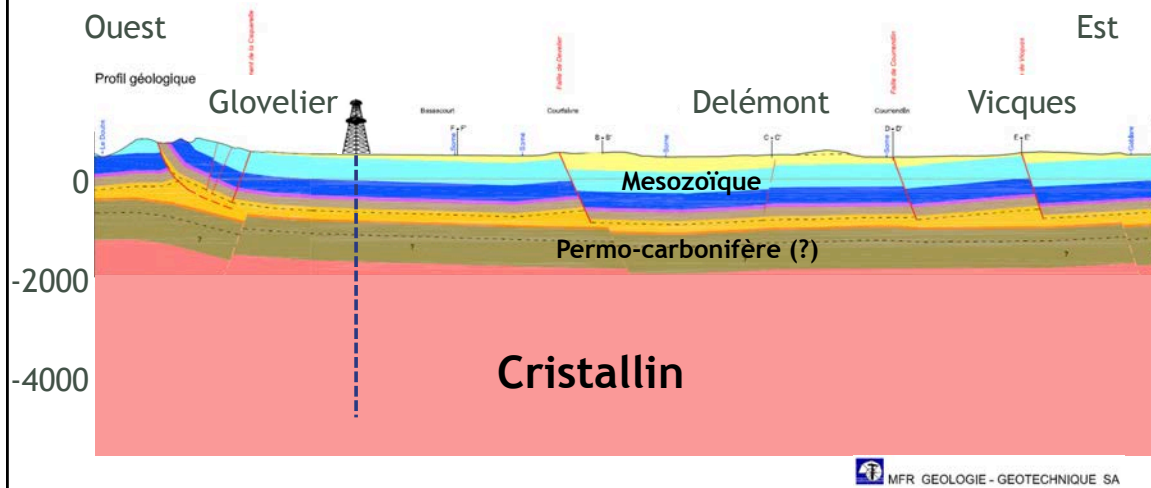


Emplacement du projet Haute-Sorne (JU),



Situation géologique Haute-Sorne

7



Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Emplacement du projet Avenches (VD)

8



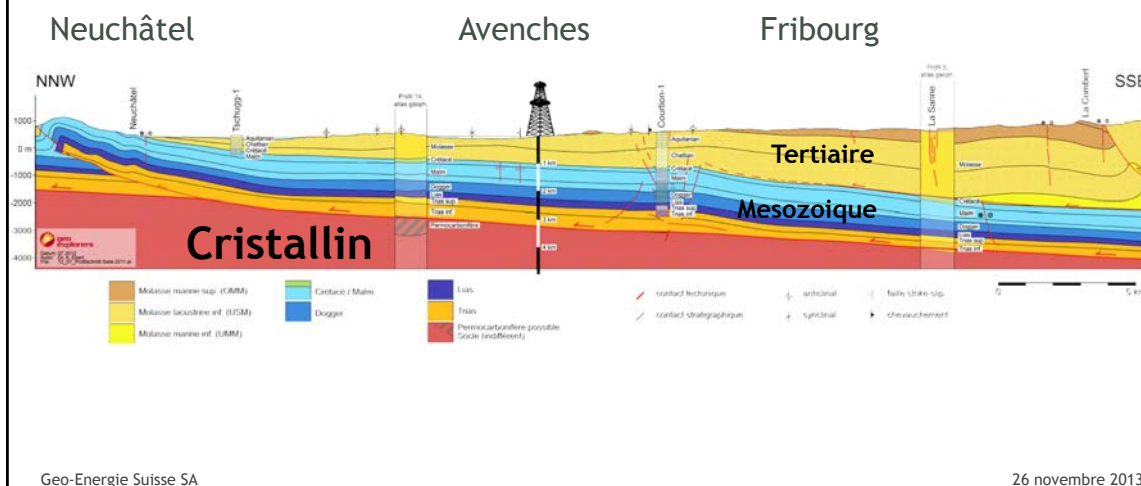
En violet, la zone industrielle d'Avenches

Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Situation géologique Avenches

9



10

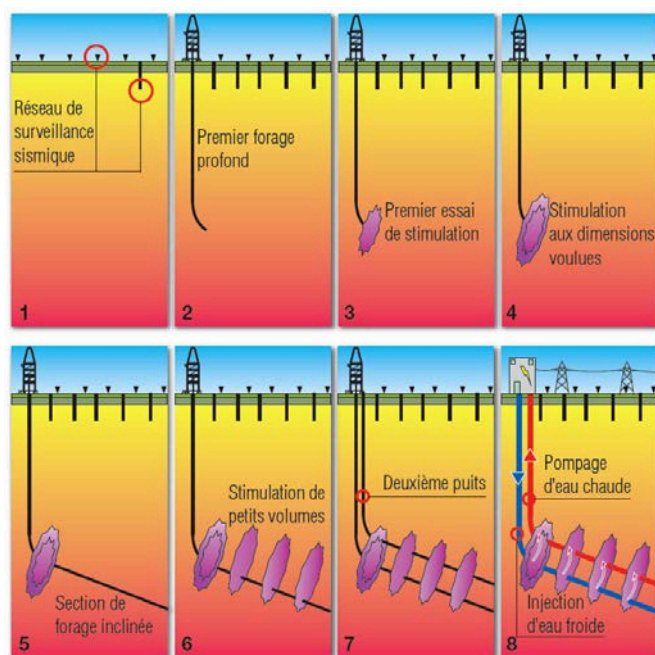
Etapes de réalisation du projet

Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Etapes de réalisation du projet

11



Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Réseau de surveillance sismique (monitoring)

12

Le réseau de surveillance sismique

1. sert à «**écouter**» la **sismicité naturelle** et à la distinguer de la sismicité induite
2. est à la base de la gestion du risque en permettant la mise en place d'un **système de feux de circulation**
3. est **indispensable à l'ingénierie d'un réservoir stimulé**.

→ Les exigences de précision pour ce dernier point sont supérieures à celles liées uniquement au contrôle du risque!

Recommandations du SED pour tout projet de géothermie profonde - GEOBEST



Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Réseau de surveillance sismique

13

- ❑ Les exigences du système de surveillance ont été **définies dans l'étude de risque préliminaire** (magnitude minimale, précision)
- ❑ Ces exigences peuvent être remplies au moyen de **6 à 7 stations de mesures réparties dans un rayon de 7 km** autour du site du projet
- ❑ Afin de les isoler du bruit ambiant, les senseurs sont placés **dans des forages de 100 à 300 mètres de profondeur**.
- ❑ Un workshop a été organisé avec les spécialistes du Services sismologique suisse **qui ont validé le concept de réseau de surveillance proposé**
- ❑ La possibilité de compléter ce réseau par un forage d'observation profond demeure ouverte

Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

A quoi ressemble une station de mesure du réseau de surveillance?

14

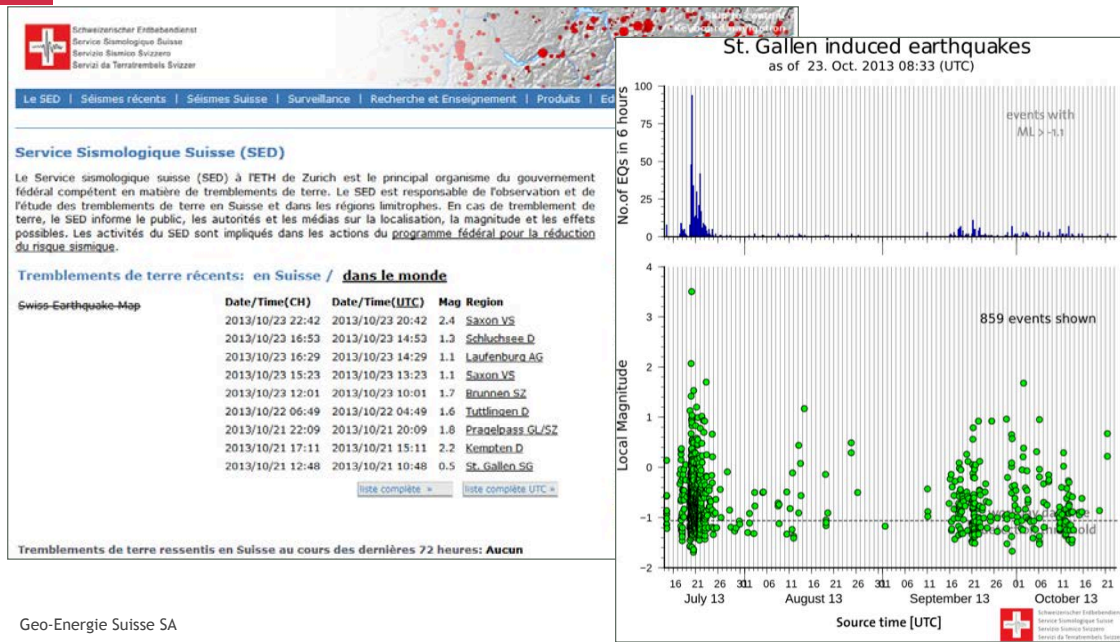


Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Publication transparente et en temps réel des mesures (exemple de St-Gall)

15



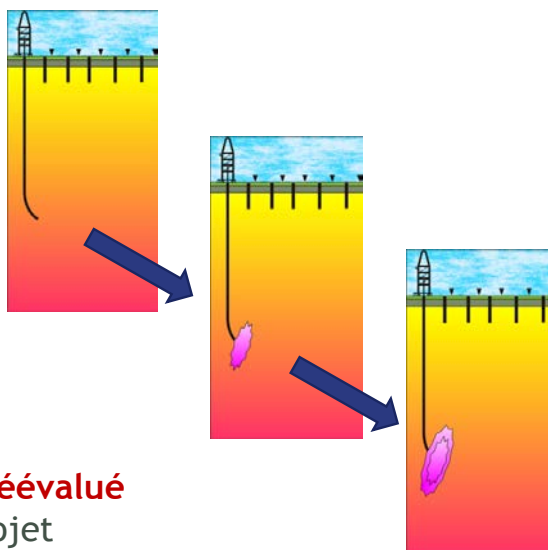
Geo-Energie Suisse SA

Validation du modèle Tests de stimulation

16

Les paramètres du modèle sont validés lors d'un test de stimulation conduit **par étapes** et **avec grande prudence**

Le risque est ensuite **réévalué à chaque étape** du projet



Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Et pourtant le risque zéro n'existe pas...

17



Concept d'établissement des preuves,
protocoles de fissures



Assurances / Indemnisation / Réparation

Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Objectifs de la procédure d'établissement des preuves

18

1. Etablir les bases d'un traitement rapide des plaintes dans le cas où des dommages inattendus seraient causés par le projet
2. Apporter les preuves des immissions effectivement mesurées
3. Règlement clair de la procédure en cas de dommages
4. L'attention est portée sur les risques principaux
5. Garantir une certaine proportionnalité dans la démarche

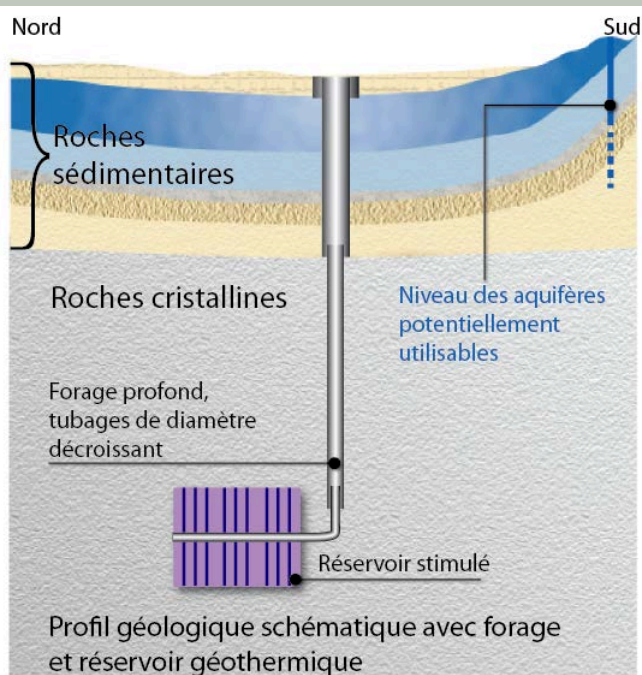


Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Profil géologique schématique (Haute-Sorne) avec forage et réservoir géothermique

19



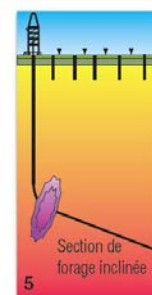
Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Challenges techniques

20

- ❑ Forage fortement dévié
→ Challenging mais éprouvé
- ❑ Cimentation de haute qualité
- ❑ Complétion
→ Open hole + multi-packers string?
→ Cased hole + perforations?



Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Activité en cours

Mars 2013, dépôt de l'enquête préliminaire et du cahier des charges de l'étude d'impact



Information et dialogue avec la population

23

LA LIBERTÉ
MERCREDI 27 FÉVRIER 2013

Un public curieux de géothermie

AVENCHES • Une soixantaine de personnes ont assisté hier à la séance d'information sur le projet de géothermie profonde. Objectif: alimenter en électricité et chauffer 6000 foyers.

HAUTE-SOIRNE

MAUD TORNARE

Le projet promoteur de géothermie profonde à Avenches a été présenté hier à la séance d'information. Pour représenter la commune, le maire...

Ein Kraftwerk im Raum Sursee?

SURSEE Eine Firma sucht ein Gebiet für ihr Geothermie-Werk. Das Projekt sieht Strom für 6000 Haushalte vor und hätte bis zu 4,5 Kilometer tiefe Bohrungen zur Folge.

Geothermie Potenziale Bohrgebiete

Vers un chaud voyage au centre de la Terre

Si ces types évoluent de façon...
Si ces types évoluent de façon...
Si ces types évoluent de façon...

La géothermie, une énergie rêvée

À 99%, le volume de la Terre est à une température de plus de 1000°C. Mais à part dans les zones volcaniques où elle est abordable, cette énergie colossale, naturelle et largement disponible est quasiment inaccessible. La Suisse ne fait pas exception. Le pays dispose d'une technologie de forage coûteuse, et surtout...

La géothermie profonde fait son trou

La géothermie profonde fait son trou...
La géothermie profonde fait son trou...

Geo-Energie Suisse

26 novembre 2013

Groupes d'accompagnement et information de la population

24

Groupes d'accompagnement

- assurer une implication de toutes les parties dès les phases initiales du projet
- Composé de représentants de la commune, du canton et des associations
- établir une communication ouverte et transparente avec la population grâce à un bulletin d'information et une adresse e-mail

GEOTHERMIE PROFONDE EN HAUTE-SOIRNE
Bulletin d'information du groupe d'accompagnement du projet

Aux habitants des communes de Haute-Soirne et de Boécourt

Voici le premier bulletin d'information du groupe d'accompagnement du projet de géothermie profonde en Haute-Soirne. Ce bulletin a pour but de vous informer sur les avancées du projet, de répondre à vos questions et de vous permettre de participer à la prise de décision.

Sommaire

- Page 1: Présentation du groupe d'accompagnement
- Page 2: Fonctionnement du projet
- Page 3: Agendas de la géothermie
- Page 4: Agendas de la géothermie
- Page 5: Agendas de la géothermie
- Page 6: Agendas de la géothermie

Le groupe d'accompagnement

Le rôle du groupe d'accompagnement est d'assurer une communication ouverte et transparente avec la population. Il est composé de représentants de la commune, du canton et des associations.

Le groupe est composé de:

- Pour le canton de Jura: Pierre Bissler, Service de développement territorial (SDT) Jean-François, Office de l'environnement.
- Pour les communes: Bruno Grossmann, Georges Mager, Gérard Ruch, Conseillers communaux de Haute-Soirne.
- Pour les associations: Anne Barthelemy, Philippe Heston, Catherine Noll, Louis et Margot Lottin (pro Natura Jura).
- Pour Geo-Energie Suisse: Dr. Peter Meier, directeur; Dr. David Cifre, directeur du bureau (SDT).

Présentation du projet

La société Geo-Energie Suisse SA prévoit la réalisation d'un projet de géothermie profonde pour la production d'électricité et de chaleur dans la commune de Haute-Soirne. En cas de succès, le projet permettra de produire 1000 mégawatts et de chauffer 6000 ménages. Ce projet est en phase de planification et de consultation de la population.

La géothermie profonde

La géothermie profonde consiste à exploiter la chaleur du sous-sol pour produire de l'électricité et de la chaleur. Cette énergie est renouvelable et écoproduite.

La géothermie profonde en Haute-Soirne

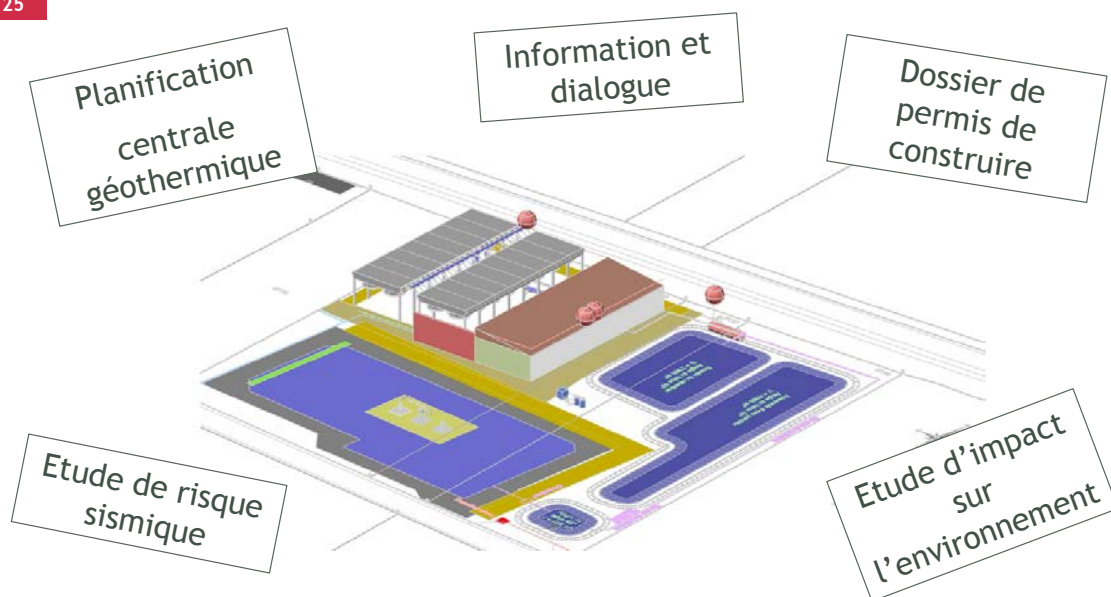
Le projet de géothermie profonde en Haute-Soirne est un projet innovant qui vise à produire de l'électricité et de la chaleur pour la commune. Ce projet est en phase de planification et de consultation de la population.

Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Préparation des dossiers de demande de permis

25



Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

Agenda

26

Agenda du projet pilote en Haute-Sorne



2013

Planification du projet, étude d'impact et étude de risques sismiques

2013-2014

Dépôt du dossier de demande de réalisation (plan spécial cantonal)

2014

Examen par les autorités compétentes et mise à l'enquête publique

2015

Mise en place du réseau de surveillance sismique

2016

Début des travaux de forage et de stimulation du réservoir par étapes successives

2018-2020

Construction et mise en service de la centrale géothermique

Geo-Energie Suisse SA

26 novembre 2013

CENTRE DE COMPÉTENCE SUISSE EN
GÉOTHERMIE PROFONDE POUR LA PRODUCTION
D'ÉLECTRICITÉ ET DE CHALEUR



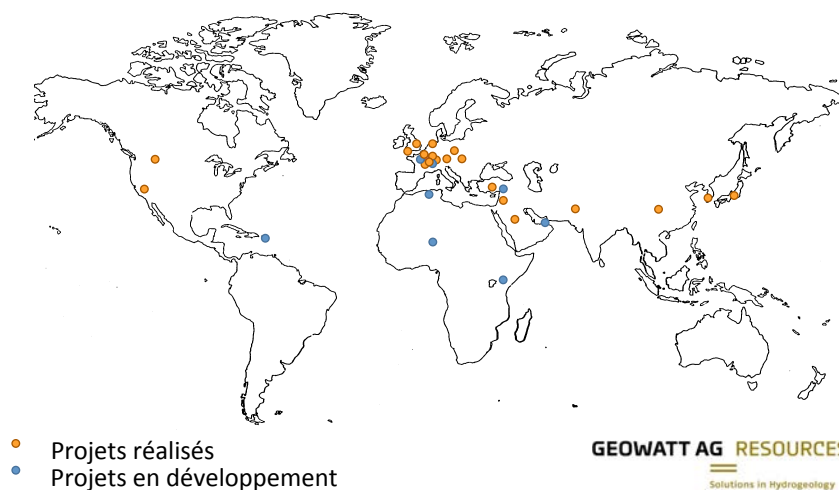
Sismicité induite: causes, enjeux et solutions

Vincent Badoux et Thomas Mégel
GEOWATT AG

Journée Romande de Géothermie
Yverdon, 22.11.2013

Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

EXPERIENCE de 500 à 5000 m



Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

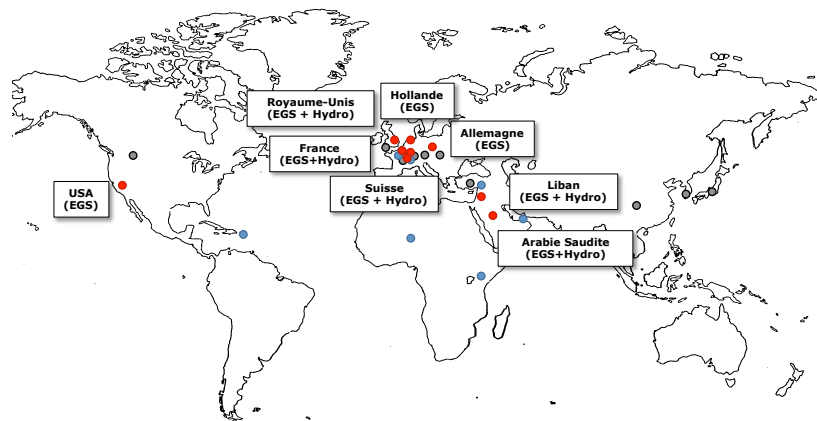
Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

EXPERIENCE de 500 à 5000 m

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

3



- Projets 2013 (EGS et Hydrothermaux)

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

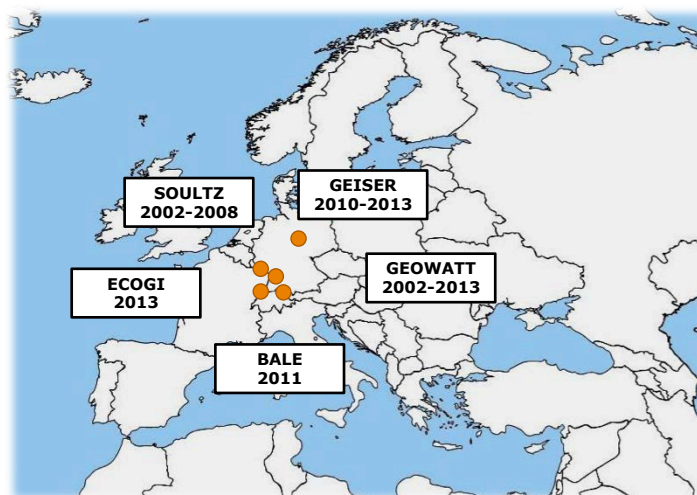
Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

CINQ projets EGS

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

4



Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

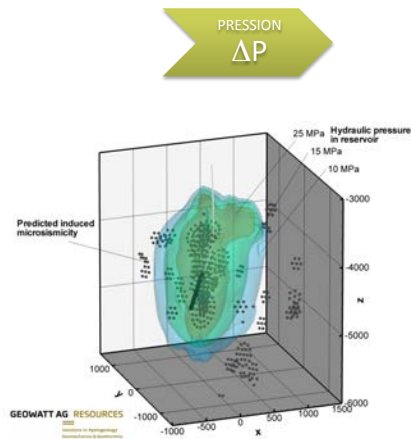
Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Causes

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

5



Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

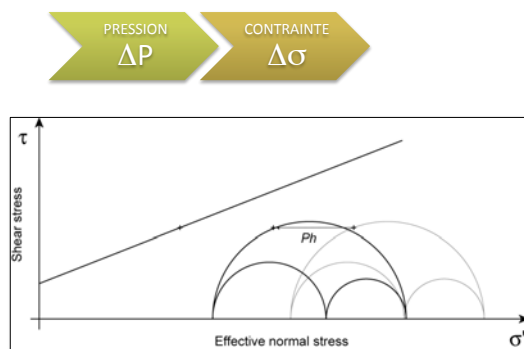
Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Causes et conséquences

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

6



Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Causes et conséquences

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

7



Réactivation, Stimulation,
Fracturation hydraulique,
Shearing, Jacking, Fracking,
Wing Cracks...

Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

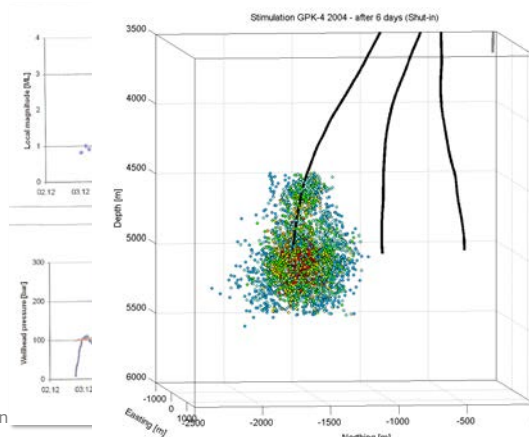
Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Causes et conséquences

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

8



Journée Romande de Géothermie, Yverdon
© GEOWATT AG

Causes et conséquences

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

9



DEGATS MATERIELS
DEGATS HUMAINS

EMOTIONNEL

STOP PROJET
STOP GEOTHERMIE

Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Causes et conséquences

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

10



- **STIMULATION HYDRAULIQUE**
- **STIMULATION CHIMIQUE**
- **REINJECTION**
- **CIRCULATION**
- **EFFETS DENSITAIRES THERMIQUES**
- **TESTS HYDRAULIQUES**
- **ARRET REMONTEE GAS**

Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

ENJEUX

11

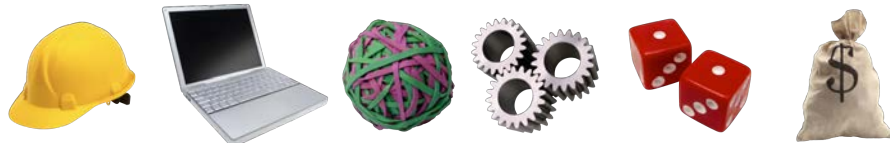


MAITRISE DE L'ENSEMBLE DE LA CHAINE

... des causes aux conséquences !!!

COMPETENCES/MAITRISE

12



- **ENGINEERING**
- **PLANIFICATION**

- **RESERVOIR ENGINEERING**
- **RESERVOIR MODELLING**

- **Mécanique des roches**
- **Géologie Structurale**

- **SISMOLOGIE**

- **Politique**
- **Assurances**
- **Communication**



Risque de sismicité induite

GEOWATT AG RESOURCES

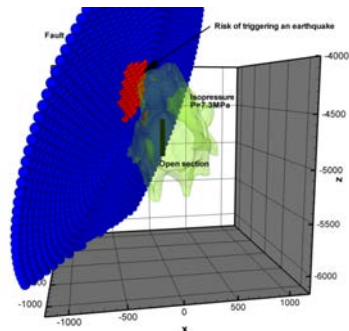
Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

13

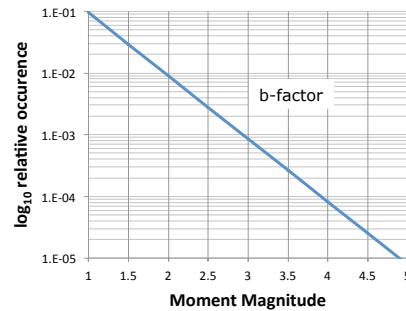
APPROCHE
DETERMINISTE
(Géologie, géophysique)

VS

APPROCHE
PROBABILISTIQUE
(Sismologie)



Exemple: Triggering (GEOWATT AG, Project GEISER)



Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Solutions

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

14

- Notion de risque de sismicité induite est vu aujourd'hui comme un concept probabiliste
-> le risque nul n'existe pas;
- **Objectif:** minimisation des risques de sismicité induite, de sorte que le risque résiduel soit acceptable.
- Pas de solution miracle, mais un ensemble d'outils/méthodes à mettre en oeuvre et cela **dès l'étude de faisabilité** (avant le premier forage).
- Présentation d'une approche globale multicritères avec filtres de réduction!!!

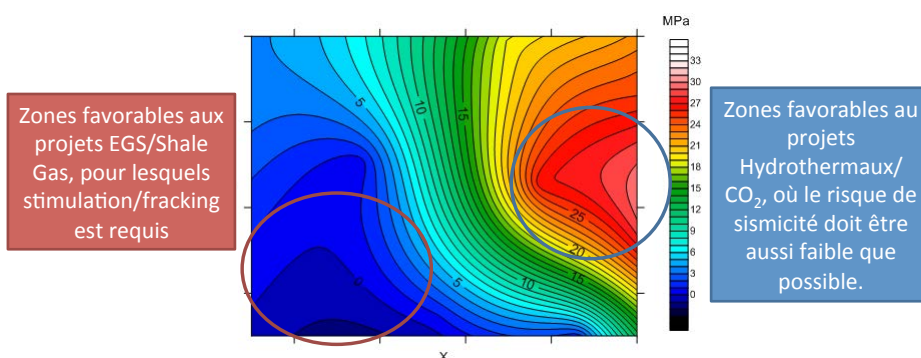
Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Méthode de réduction

- La méthode de réduction des risques est une approche globale qui est appliquée dans le cadre des projets de géothermique hydrothermaux ou pétrothermaux.
- La méthode de réduction des risques est disponible sur demande auprès de GEOWATT AG.
- Les slides suivantes présentent quelques exemples d'outils qui sont appliqués dans le cadre de cette approche globale.

Carte du potentiel de réactivation



Badoux V. & Mégel T. (2013) Cartographic representation of a geomechanical criterion for site-screening of sub-surface projects in the energy sector. Proceedings of the 11th Swiss Geoscience Meeting, Lausanne, 15-16.11.2013

Dépôt de brevet en cours.

Analyse géomécanique

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

17

17

Données de
forage
Acoustic log/
UBI

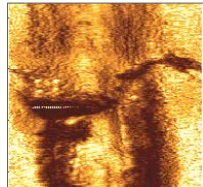


Diagramme de
Wulff

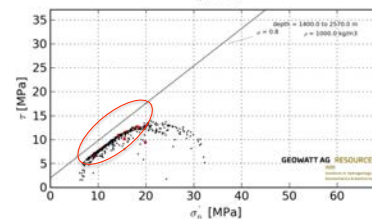
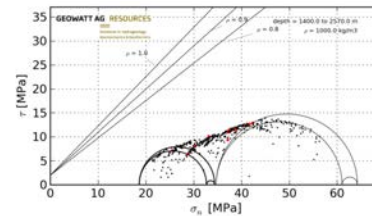
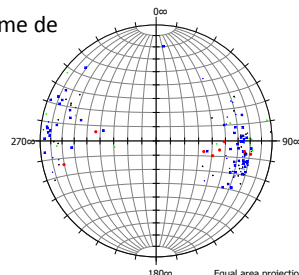


Diagramme de Mohr

Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

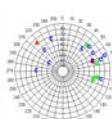
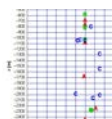
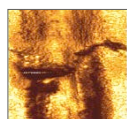
Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Modélisation Hydromécanique (HEX-S)

GEOWATT AG RESOURCES

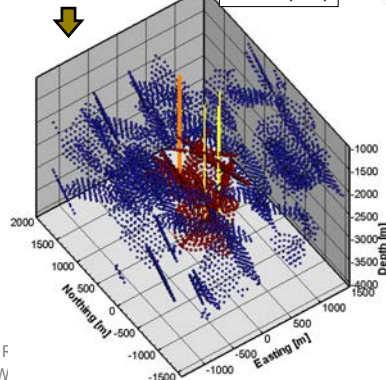
Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

18

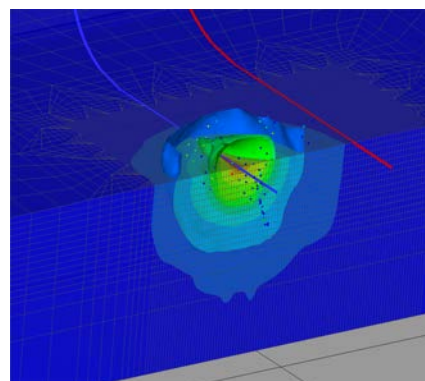


Deterministic
structures (UBI)

Stochastic
structures (Σ UBI)



Front de pression et zone stimulée



Badoux, V., Ollinger, D. et Mégel, T. Coupled hydro-mechanical modelling of reservoir stimulation in case of two horizontal boreholes. Int. Workshop on Geomechanics and Energy, Lausanne 26-28 Novembre 2013

Journée F
© GEOW

Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

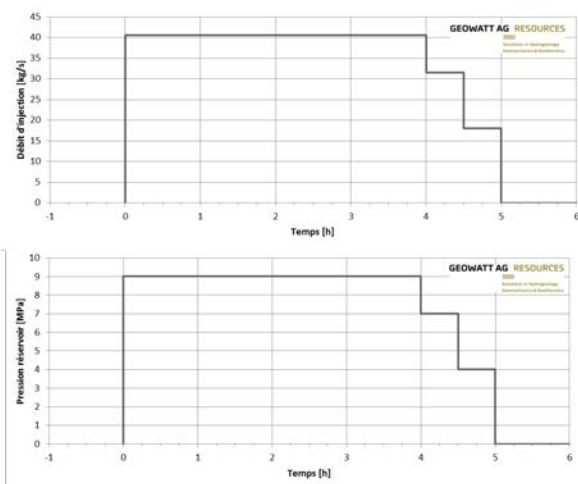
Planification d'un schéma de stimulation

GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

19

Exemple,
Projet ECOGI



Journée Romande de Géothermie, Yverdon 26.11.2013
© GEOWATT AG

Dohlenweg 28 T +41 44 242 14 54 info@geowatt.ch
CH-8050 Zürich F +41 44 242 14 58 www.geowatt.ch

Prediction en temps réel (HEX-M)

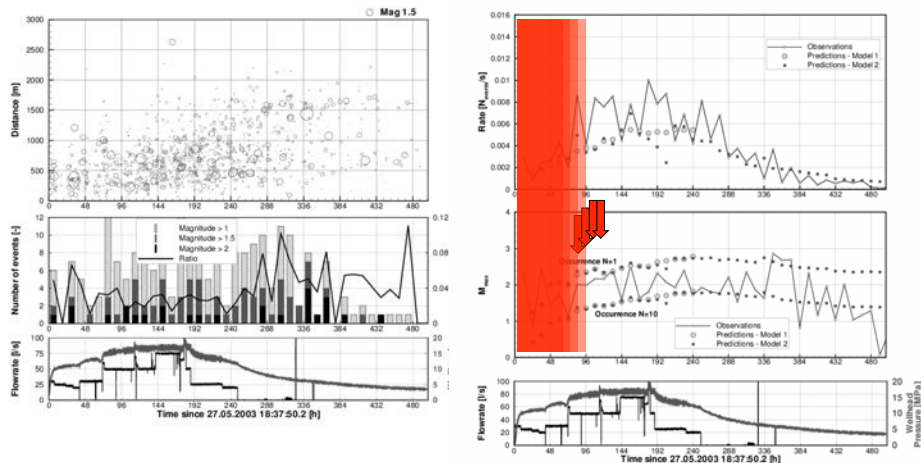
GEOWATT AG RESOURCES

Solutions in Hydrogeology
Geomechanics & Geothermics

20

INPUT

PREDICTION



Baujard, C., Ollinger, D., Mégel, T. and Badoux V. (2013) HEX-M: a new tool to predict the occurrence risk of large magnitude seismic events during geothermal reservoir stimulation and operation. Proceedings of the European Geothermal Congress, Pisa

Journ
© Gt -> OTHER PAPER SUBMITTED IN GEOTHERMICS

Conclusions

- Risque de sismicité induite est réel tant pour les projets hydrothermaux que pétrothermaux;
- Risque de sismicité induite peut être minimisé par l'application d'outils et de méthodes appropriées -> CES OUTILS EXISTENT!!!
- La minimisation du risque débute en phase de faisabilité déjà;
- Intégration des outils/méthodes dans une approche unifiée et globale multicritères par application de filtres de réduction;
- Développements supplémentaires requis:
 - Modèle régional du champ de contrainte (Coût : 250'000FS)
 - Adaptation des outils existants pour y intégrer les notions probabilistes (Coût : 250'000FS)
- Accès aux données pour tester les outils;
- Manque de projets (données) pour la définition des seuils de risques (critère d'acceptabilité)



Projet Sirius

Sondes géothermiques profondes à Lausanne

Retour d'expérience sur 500 mètres

Yverdon-les-Bains, 26 novembre 2013

Francesco Barone, Ing. Portail Energie

Marco Neva, Ingénieur HES



Résumé du projet et enjeux

- Dans le cadre de **Métamorphose**, un système de **pompes à chaleur** avec des sondes géothermiques de **500 mètres** est une solution envisageable comme moyen de production de chaleur.
- La réalisation et l'exploitation de PAC avec des **sondes géothermiques** traditionnelles jusqu'à **300 mètres de profondeur** sont parfaitement **maîtrisées**. Elles doivent encore être **optimisées** pour des profondeurs plus importantes.
- Il est 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.

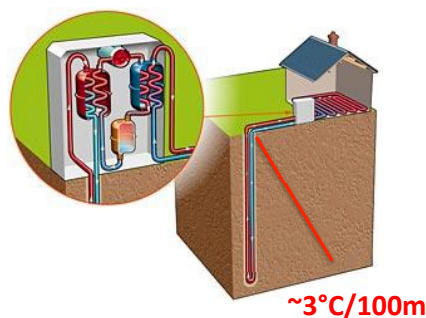
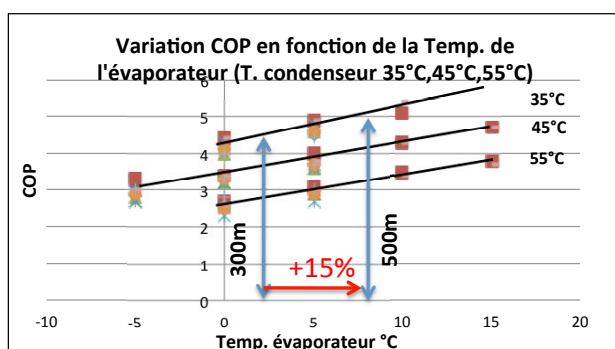


Résumé du projet et enjeux

- Vérifier la **faisabilité de l'implantation** de sondes géothermiques profondes en faisant recours à une technique de forage standard
- Vérifier la **fiabilité des matériaux** standard appliqués aux sondes géothermiques profondes
- Vérifier les **performances des PAC** et des **sondes géothermiques** (COPA, énergie et puissance prélevées, évolution dans le temps)

Principe et application

Intérêt des sondes géothermiques profondes



Avantages

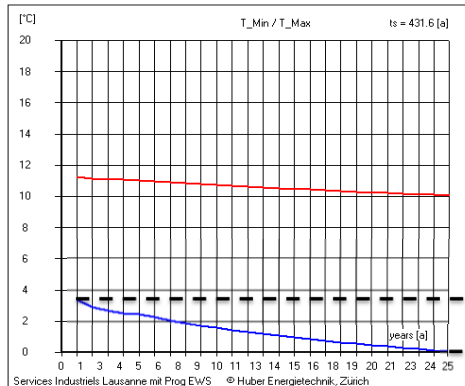
- **Augmentation du COP:** effet du gradient géothermique ($\uparrow$ Temp. évap. = $\downarrow$ électricité)
- **Augmentation du COPA:** utilisation d'eau pure à la place d'eau glycolé (8% des coûts)
- **Moins de raccords** (12% des coûts)
- **Eviter les risques de gel dans le terrain** (plus de volume pour une surface équivalente)
- **Limiter la baisse de température** du sous-sol, donc permet de garder un **COPA ~ constant** avec les années.



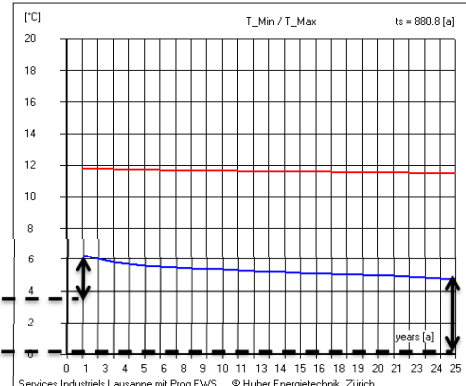
Simulations et comparaison

Températures min et max entrée de la sonde

Variante 330 mètres



Variante 500 mètres



A la **vingt-cinquième** année de fonctionnement, la **différence** entre les deux configurations est de **~5°C**, ce qui correspond une augmentation du COP **~15%**.

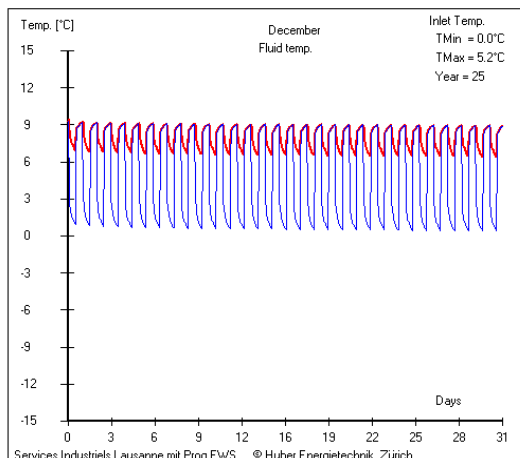
HP: champs de sondes 12x330m et 8x500m, intégration solaire 30% ECS, températures à la sortie de la PAC: stocks chauffage 40°C et ECS 55°C.



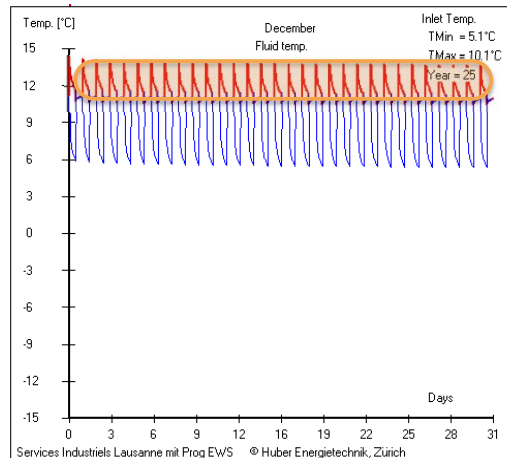
Simulations et comparaison

Températures entrée et sortie de la sonde

Variante 330 mètres



Variante 500 mètres



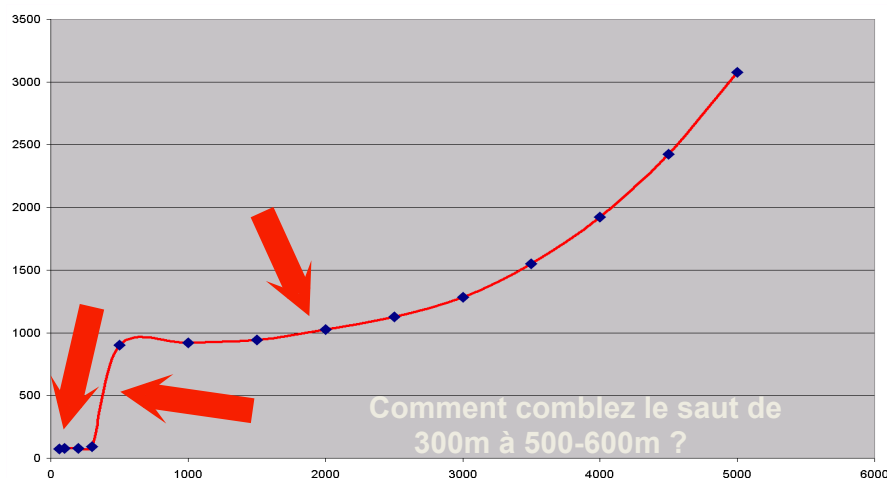
- Chaleur stockée en profondeur et qui remonte?
- Marge de soutirage supplémentaire?

Objectifs et enjeux

- Extension de la **réalisation des sondes** à des profondeurs plus importantes à des **coûts intéressants** (par rapport à l'exploitation des sondes traditionnelles)
- Maintien des **installations de chantier relativement simples** et peu encombrantes (condition fondamentale pour le déploiement en milieu urbain).

Quel est le prix ?

- Forages pour sondes géothermiques 75 à 90 CHF/m
- Forages de 500 à 5'000m 900 à 3000 CHF/m



Expérience forage

Problèmes:

- **Conditions géologiques difficiles** (terrain instable → éboulements fréquents) et présence de sulfates dans le terrain
- **Délais de réalisation** plus longs que prévus.

Solutions :

- **Réalésage et installation de tubage** jusqu'à environ 370 mètres pour éviter les éboulements
- **Changement de la configuration** du champ de sondes.



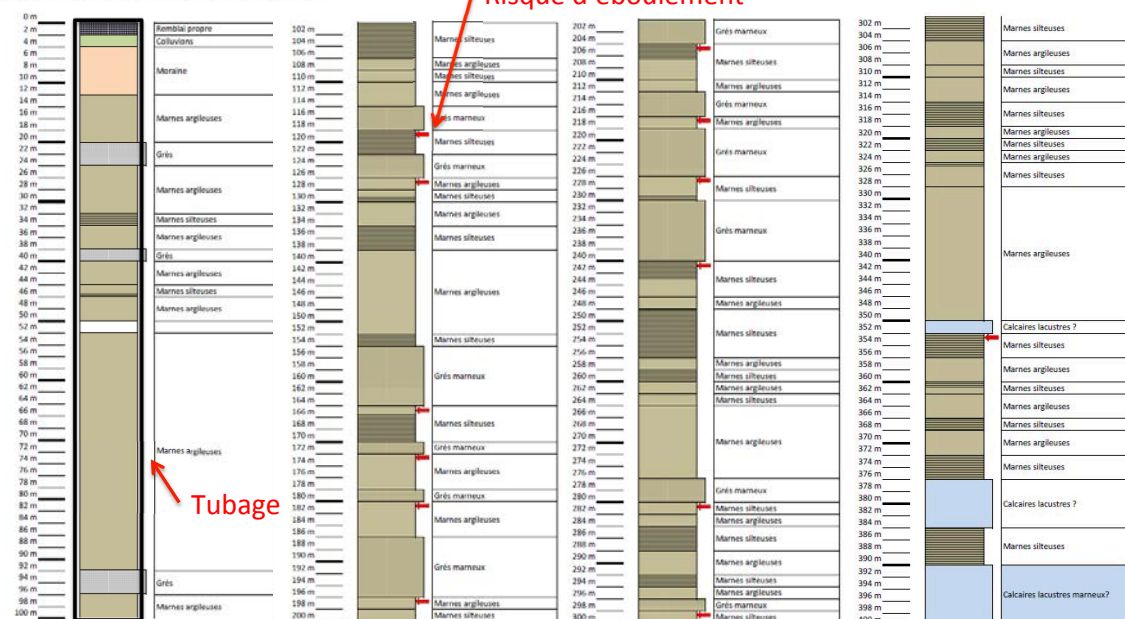
Expérience travaux premier forage

Coupe lithologique:

Projet SIRIUS - Sondes géothermiques profondes à l'av. de Morges 137, Lausanne
LOG LITHOLOGIQUE ET TECHNIQUE DU FORAGE SIR-8

Risque d'éboulement

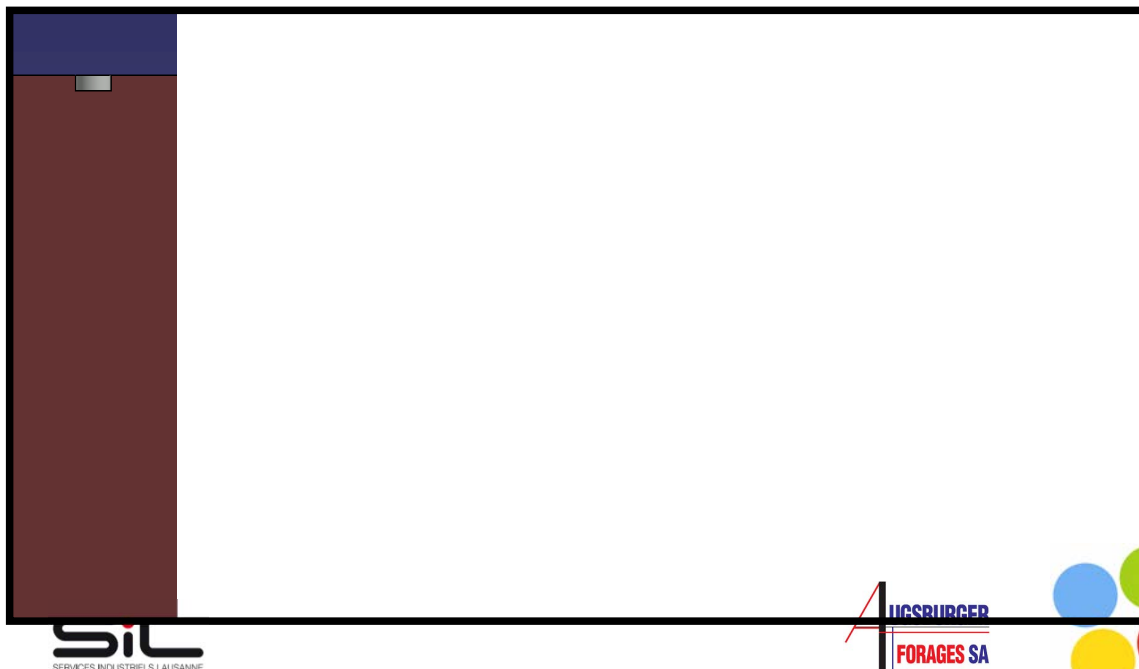
Prélèvement des cuttings tous les 2 mètres



L'exécution des 3 premiers

Les 3 prototypes ont été réalisés avec une foreuse standard

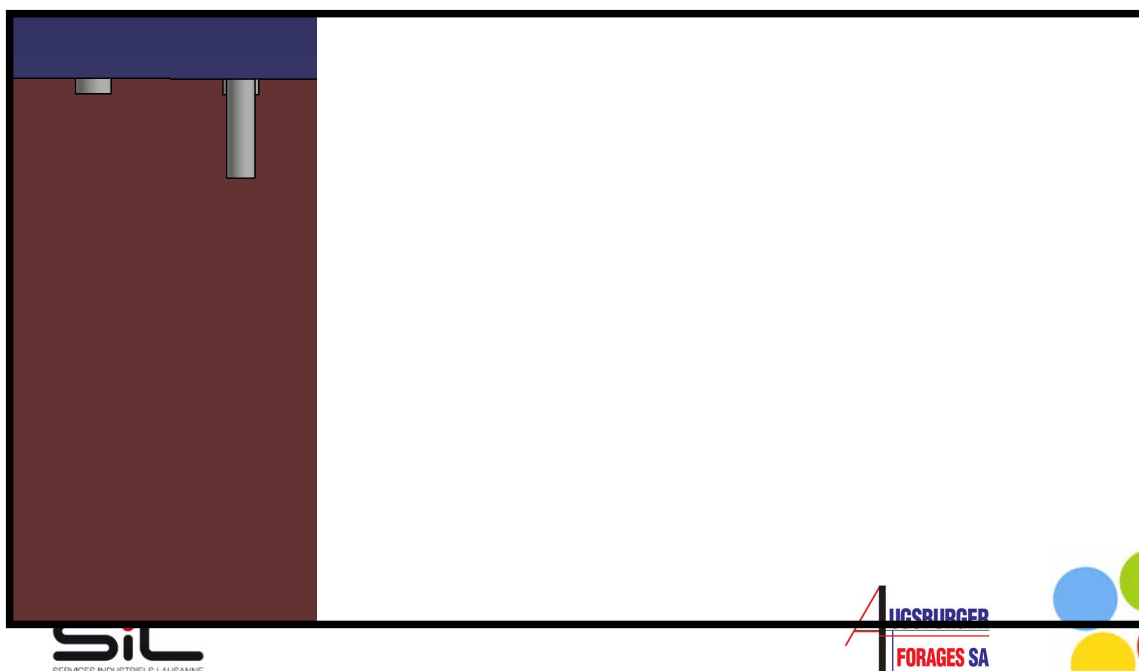
Forage tubé à l'avancement $\varnothing 254\text{mm}$ sur 16m



L'exécution des 3 premiers

Les 3 prototypes ont été réalisés avec une foreuse standard

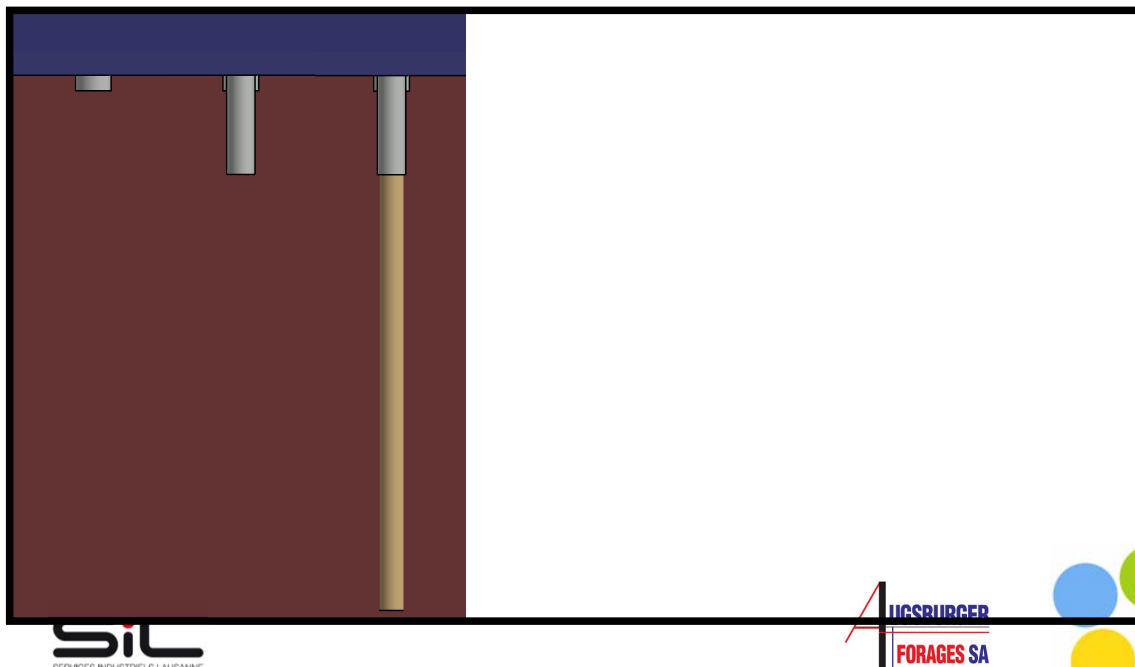
Forage tubé à l'avancement $\varnothing 225\text{mm}$ sur 100m



L'exécution des 3 premiers

Les 3 prototypes ont été réalisés avec une foreuse standard

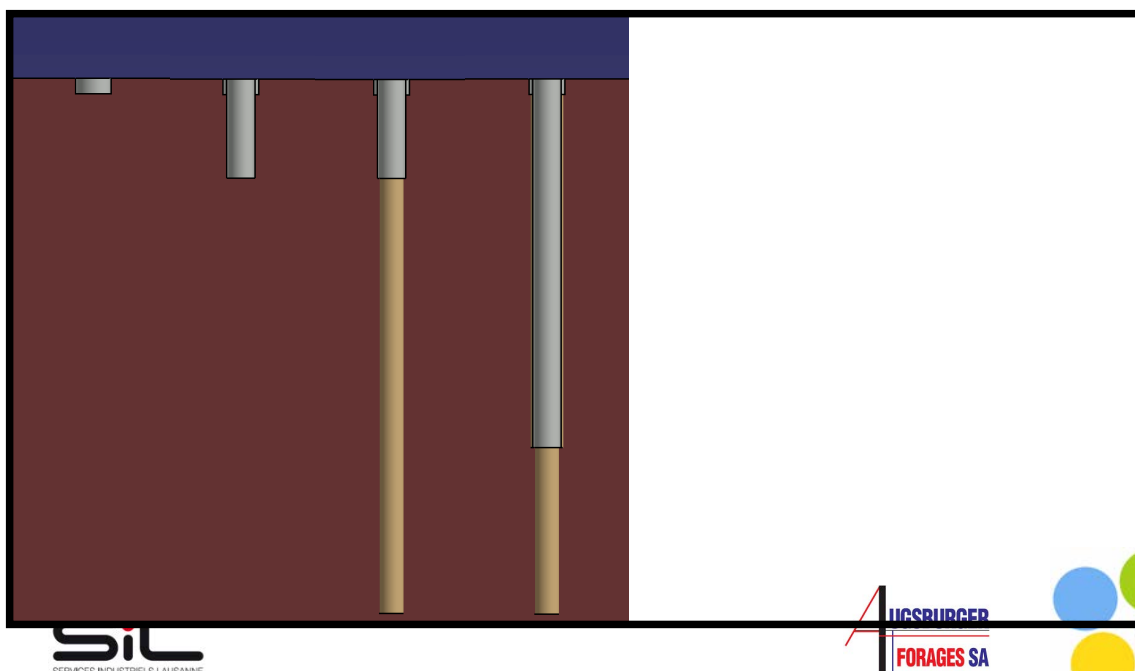
Forage nu $\varnothing 170\text{mm}$ sur 500m



L'exécution des 3 premiers

Les 3 prototypes ont été réalisés avec une foreuse standard

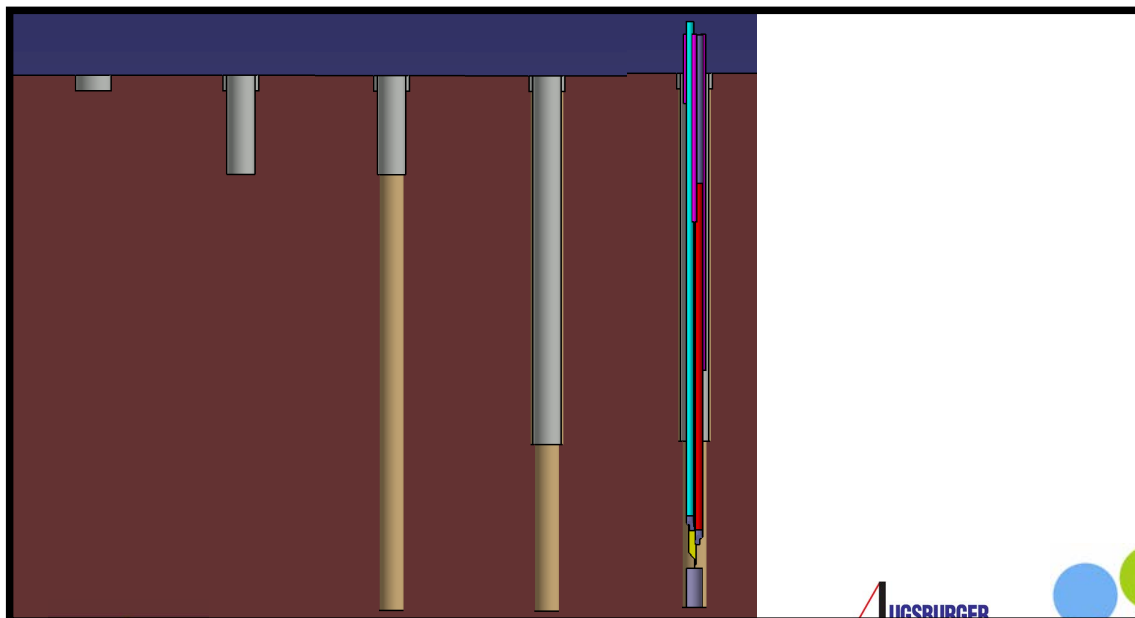
Alésage et tubage $\varnothing 225\text{mm}$ sur 372m



L'exécution des 3 premiers

Les 3 prototypes ont été réalisés avec une foreuse standard

Mise en place de la sonde géothermique Double-U DN50



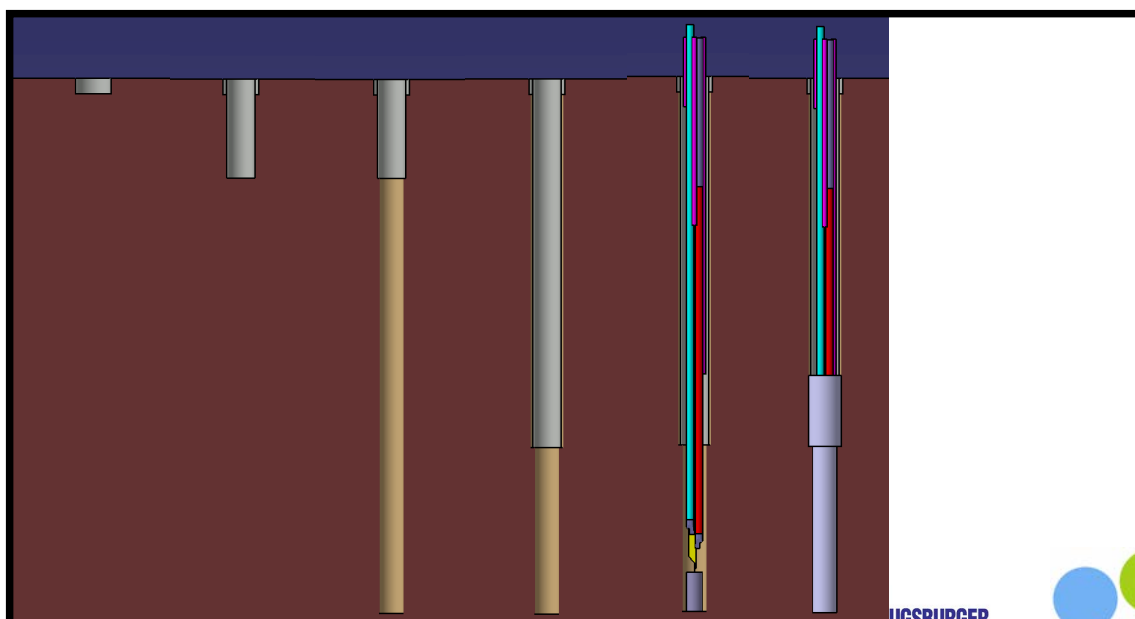
SIL
SERVICES INDUSTRIELS LAUSANNE

UGSBURGER
FORAGES SA

L'exécution des 3 premiers

Les 3 prototypes ont été réalisés avec une foreuse standard

Injection/détubage par le fond jusqu'à -300m



SIL
SERVICES INDUSTRIELS LAUSANNE

UGSBURGER
FORAGES SA



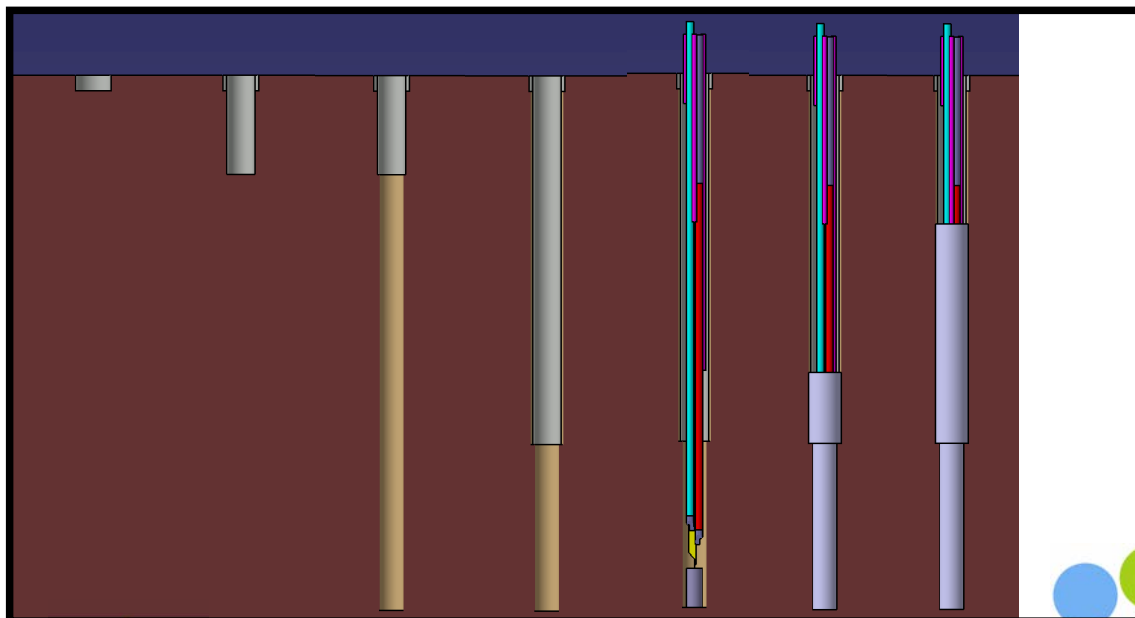
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Lausanne

L'exécution des 3 premiers

Les 3 prototypes ont été réalisés avec une foreuse standard

Injection/détubage de -300m à -100m



SIL
SERVICES INDUSTRIELS LAUSANNE

FORAGES SA



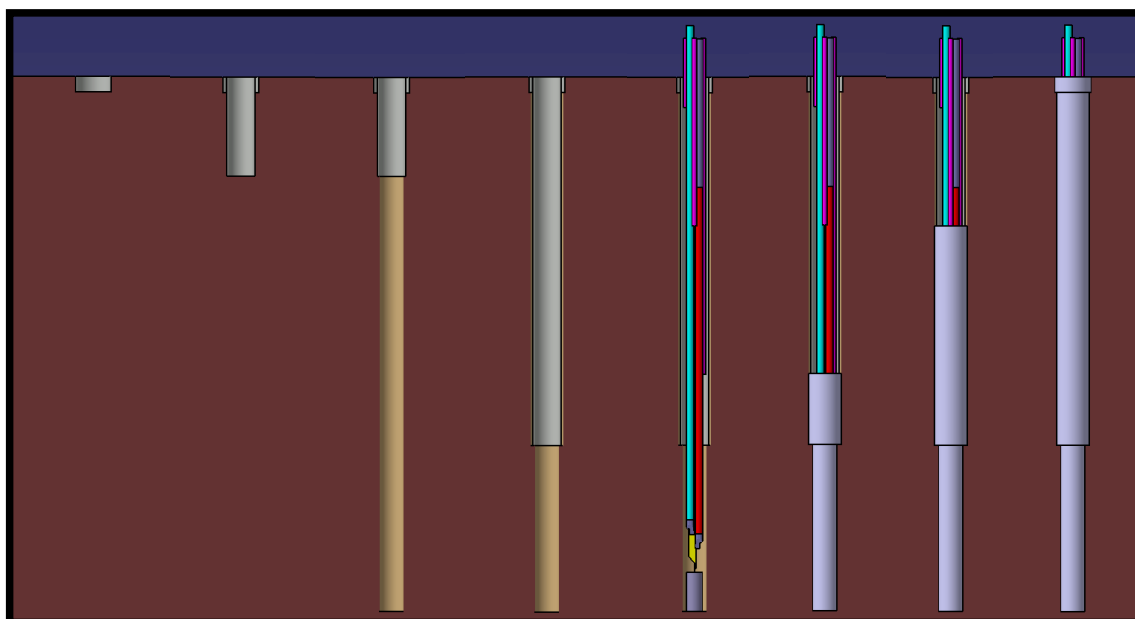
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Lausanne

L'exécution des 3 premiers

Les 3 prototypes ont été réalisés avec une foreuse standard

Injection/détubage de -100m à la surface



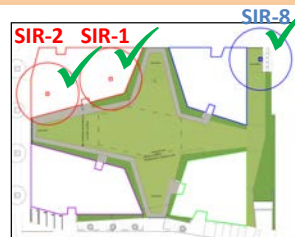
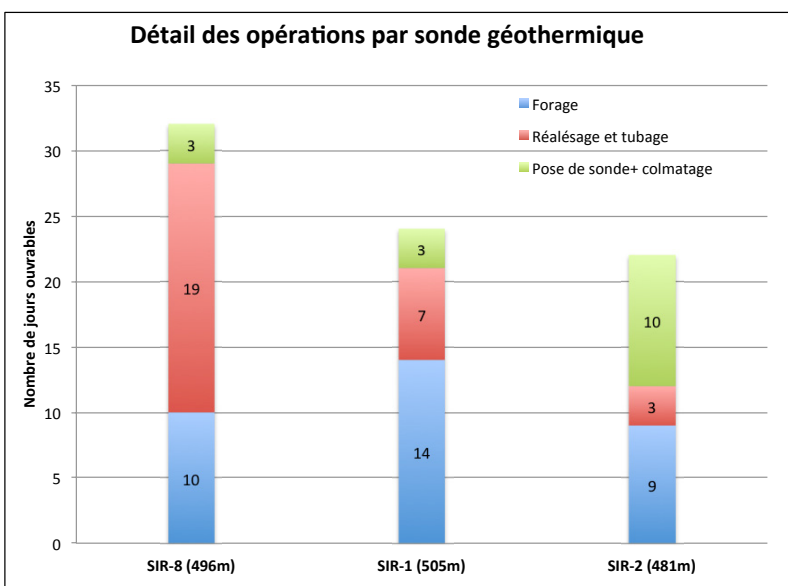
SIL
SERVICES INDUSTRIELS LAUSANNE

FORAGES SA

L'exécution des 3 premiers

Courbe d'apprentissage

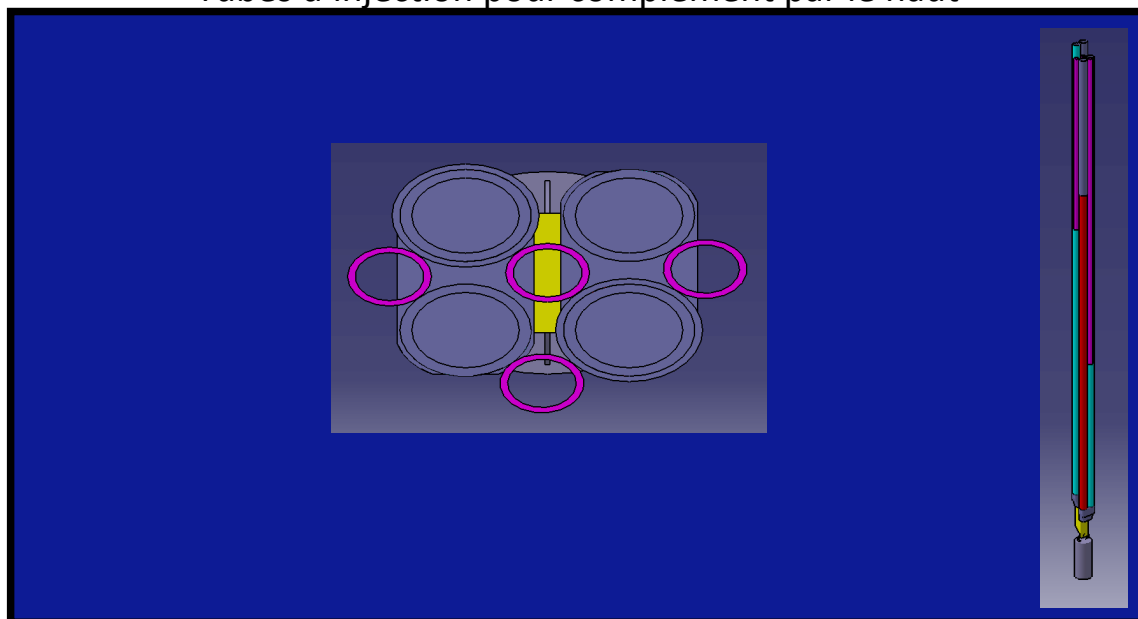
Détail des opérations par sonde géothermique



La sonde géothermique

Prototype en PE 100 RC DN50 double-U avec isolant sur 100m

Tubes d'injection pour complément par le haut



Les travaux en image

Travaux préparatoires



Les travaux en image

Les premières mètres



Les travaux en image

Les derniers mètres



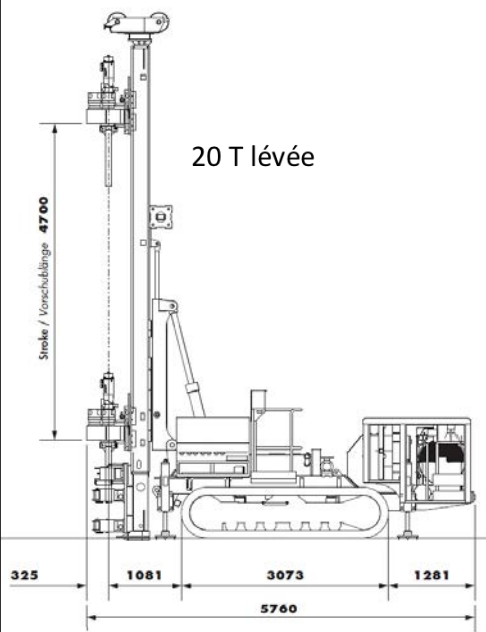
Les premières conclusions/adaptations

- Matériel de forage aux limites
 - Développer une nouvelle foreuse
- La pose de la sonde est essentielle
 - Un dévidoir as été adapté pour l'occasion
 - Améliorer le conditionnement
- Injection lente et complexe
 - Améliorer les sondes géothermiques



Comparaison des foreuses

Foreuses Hütte HBR 205 GT



SIL
SERVICES INDUSTRIELS LAUSANNE

Foreuse Hütte HBR 207 GT

Comparatifs des caractéristiques techniques des foreuses

	HBR605 GT	HBR 205 GT	HBR 207 GT
Moteur	Deutz	Deutz	Deutz
Puissance	147 kW	147 kW	225 kW

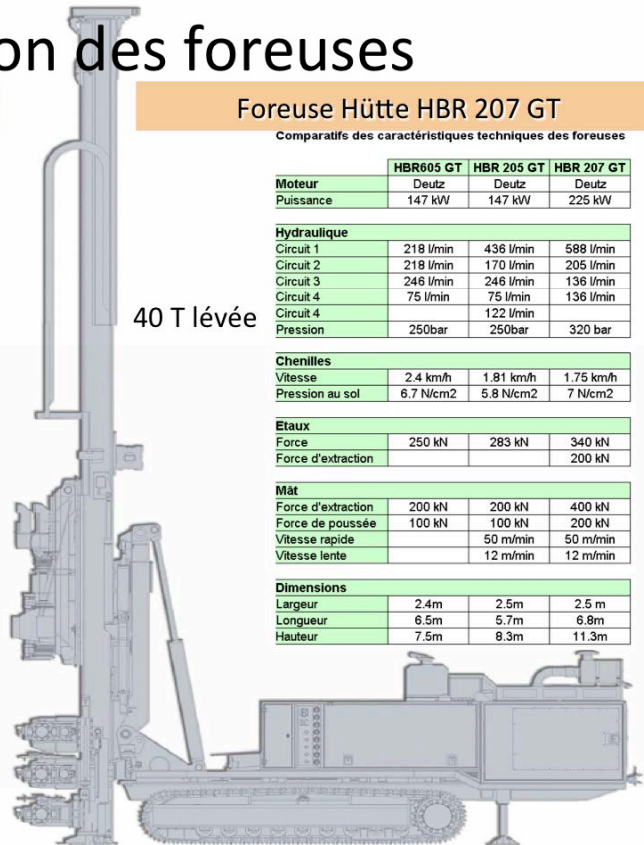
Hydraulique			
Circuit 1	218 l/min	436 l/min	588 l/min
Circuit 2	218 l/min	170 l/min	205 l/min
Circuit 3	246 l/min	246 l/min	136 l/min
Circuit 4	75 l/min	75 l/min	136 l/min
Circuit 4	122 l/min	122 l/min	
Pression	250bar	250bar	320 bar

Chenilles			
Vitesse	2.4 km/h	1.81 km/h	1.75 km/h
Pression au sol	6.7 N/cm2	5.8 N/cm2	7 N/cm2

Eaux			
Force	250 kN	283 kN	340 kN
Force d'extraction			200 kN

Mât			
Force d'extraction	200 kN	200 kN	400 kN
Force de poussée	100 kN	100 kN	200 kN
Vitesse rapide		50 m/min	50 m/min
Vitesse lente		12 m/min	12 m/min

Dimensions			
Largeur	2.4m	2.5m	2.5 m
Longueur	6.5m	5.7m	6.8m
Hauteur	7.5m	8.3m	11.3m

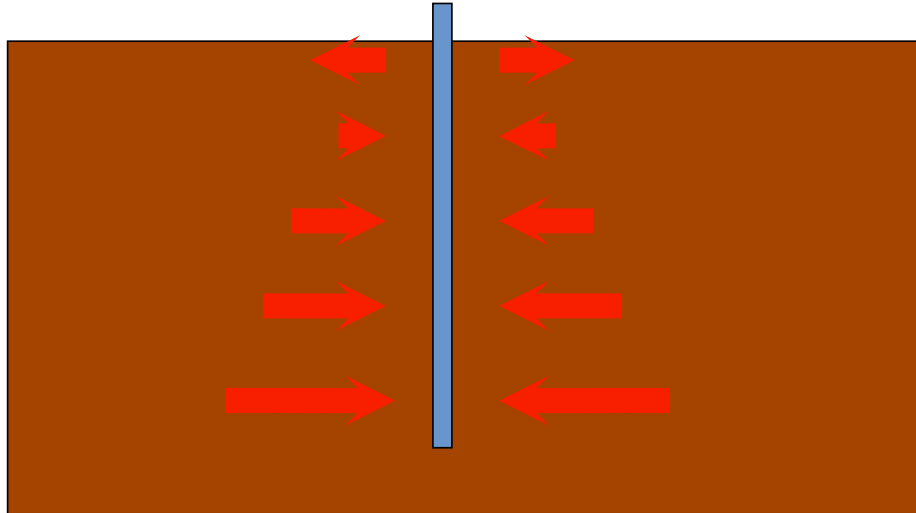


SIL
SERVICES INDUSTRIELS LAUSANNE

UGSBURGER
FORAGES SA

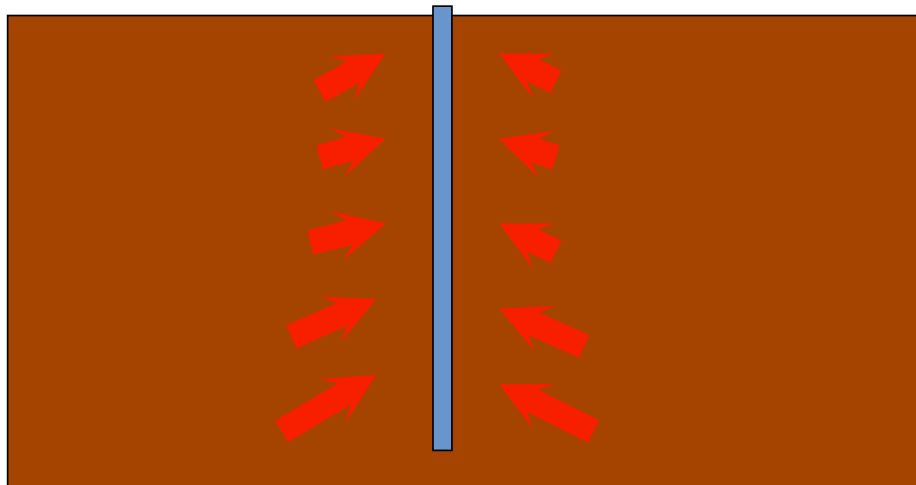
Les inconnues à l'avant projet

- La perte d'énergie



Les inconnues à l'avant projet

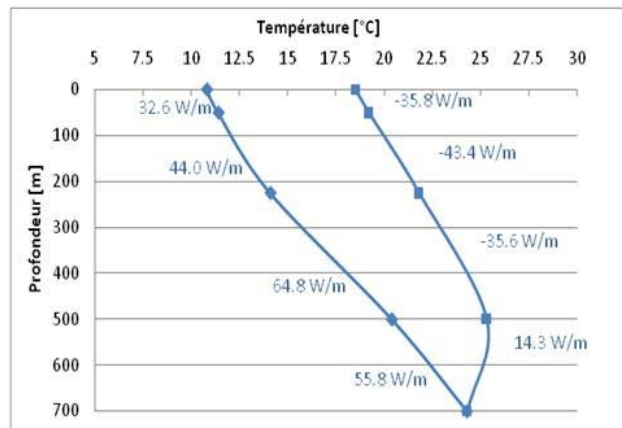
- Stabilisation à long terme ?
- Quel est le flux vertical ?



Oftringen: sonde de 700 mètres

La contribution du conduit montant devient carrément négative.

La perte de température est de $\sim 7^{\circ}\text{C}$.



Installation de fibres optiques dans les sondes de Sirius qui permettront le suivi des températures dans le terrain.

Premiers résultats avec les fibres

Installation de la fibre

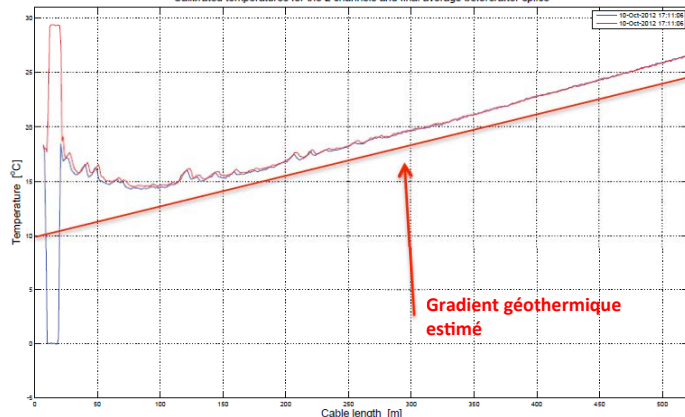


Calibration et mesures SIR-8



Mesure du gradient SIR-8:

Calibrated temperatures for the 2 channels and final average before/after splice

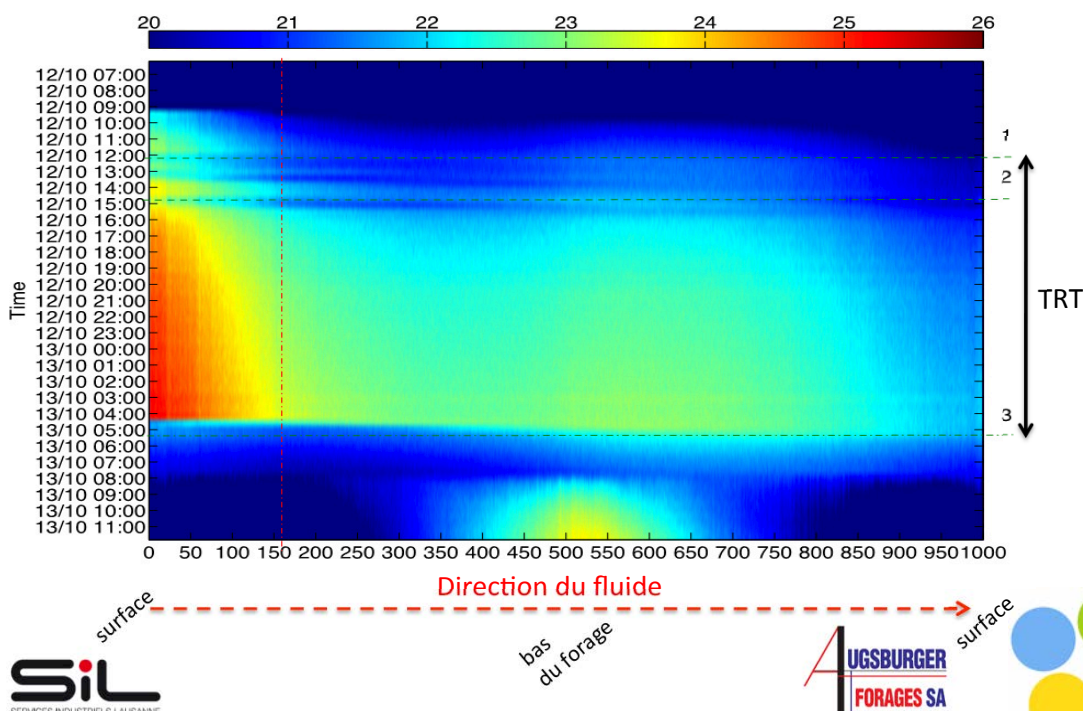


TRT SIR-8



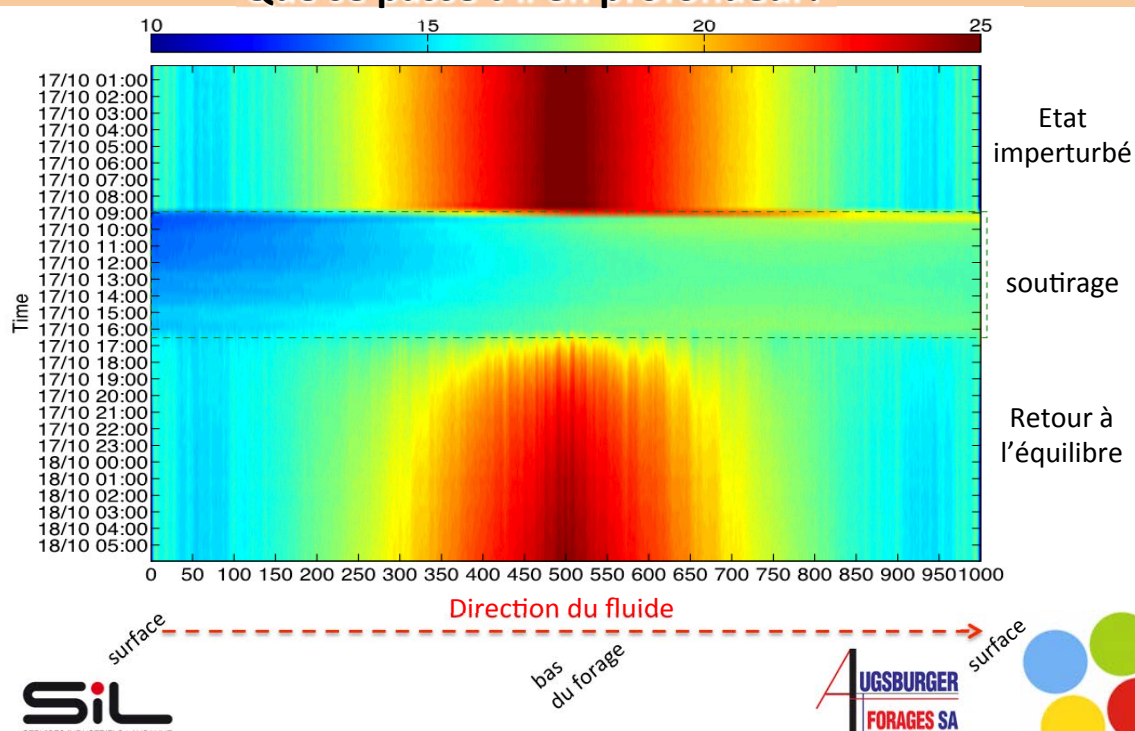
Mesures avec la fibre optique

Que se passe t'il en profondeur?



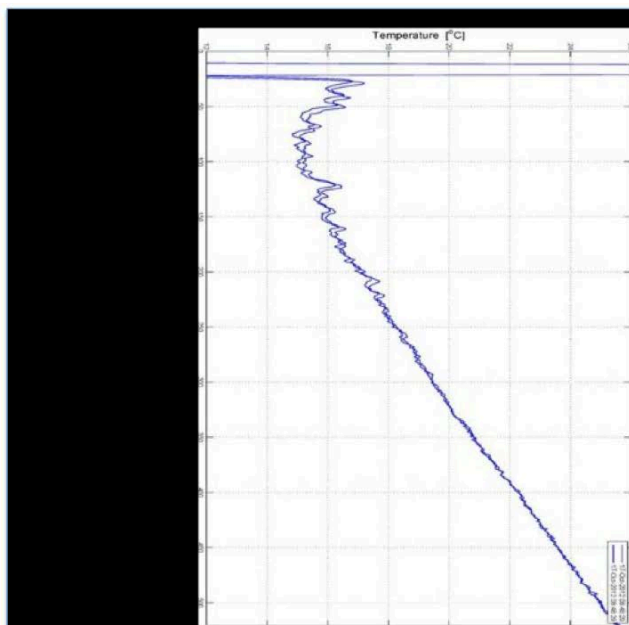
Mesures avec la fibre optique

Que se passe t'il en profondeur?



Mesures avec la fibre optique

Que se passe t'il en profondeur?



P. prélevée ~18kW
Débit~3.5m³/h

0min

Remerciements:

- Ville de Lausanne
- OFEN (Projets Pilote et Démonstration)





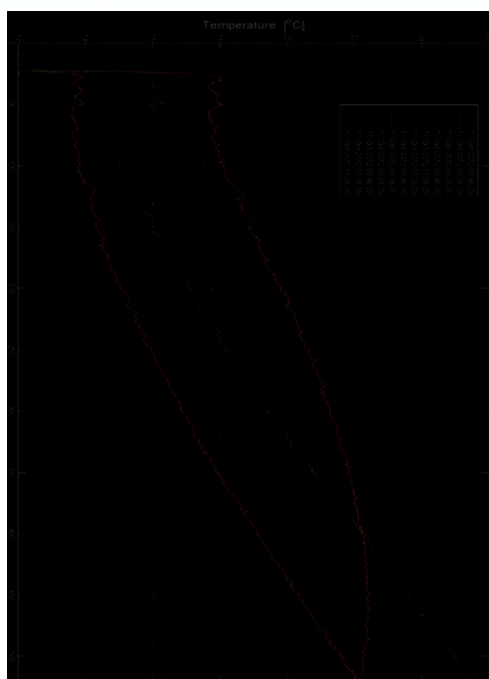
Merci de votre attention

**Toutes vos questions ou suggestions sont
les bienvenues !**



Mesures avec la fibre optique

Que se passe t'il en profondeur?





Projet de géothermie moyenne profondeur à Schlattingen TG

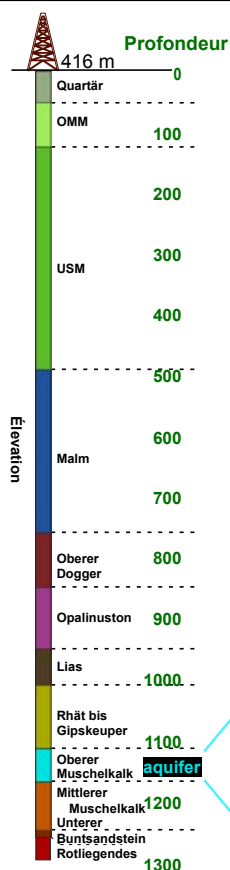
Résultats de l'étude sismique réalisée sans camion vibreur

(mai 2012)



GeoExpert ag
8424 Embrach ZH & 1213 Petit-Lancy GE
info@geoexpert.ch
www.geoexpert.ch

Journée romande de la géothermie 2013



Forage en géothermie
à Schlattingen (TG)

Réalisé 2011 – 2012

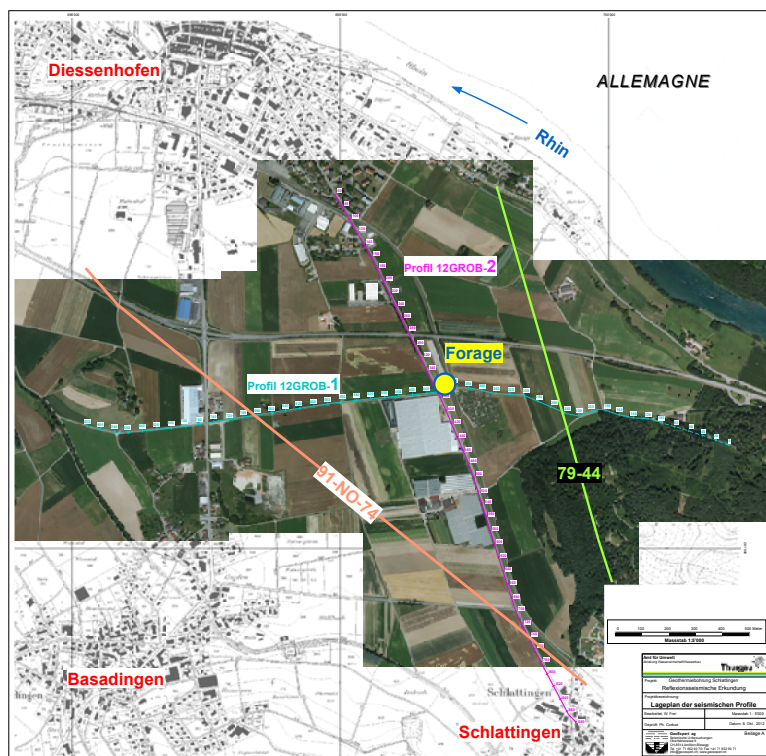
Profondeur ca. 1'300 m

Aquifère géothermique
dans le Muschelkalk
supérieur entre 1'100 m
et 1'155 m de profon-
deur



GeoExpert ag
8424 Embrach ZH & 1213 Petit-Lancy GE
info@geoexpert.ch
www.geoexpert.ch

Journée romande de la géothermie 2013



BUTS DE L'ÉTUDE

- 1) Détecter des zones à réflectivité réduite à une distance de max. 350 m du forage en tant que cible pour un deuxième forage.
- 2) Étude sismique *low cost* en utilisant une chute de poids comme source sismique pour cartographier les structures jusqu'à une profondeur de 1'500 m.
- 3) Réaliser deux profils de sismique réflexion

Profil Ouest – Est: 2.4 km
Profil Nord – Sud: 2.0 km



GeoExpert ag
8424 Embrach ZH & 1213 Petit-Lancy GE
info@geoexpert.ch
www.geoexpert.ch

Journée romande de la géothermie 2013

LOGISTIQUE POUR UNE ÉTUDE SISMIQUE TYPE SCHLATTINGEN

	VIBROSEIS (2 camions vibreur)	SISMIQUE LOW COST
Valeur de l'équipement (en CHF)	> 2 Mio	< 500'000
Personnel d'une équipe sismique	15 - 20	4

Intertrace	2.7 m
Nb de géophones	360
Ligne active	970 m
Ecart source	20 - 22 m
Temps d'écoute	3 secondes
Source	Chute de poids

Engin chute de poids

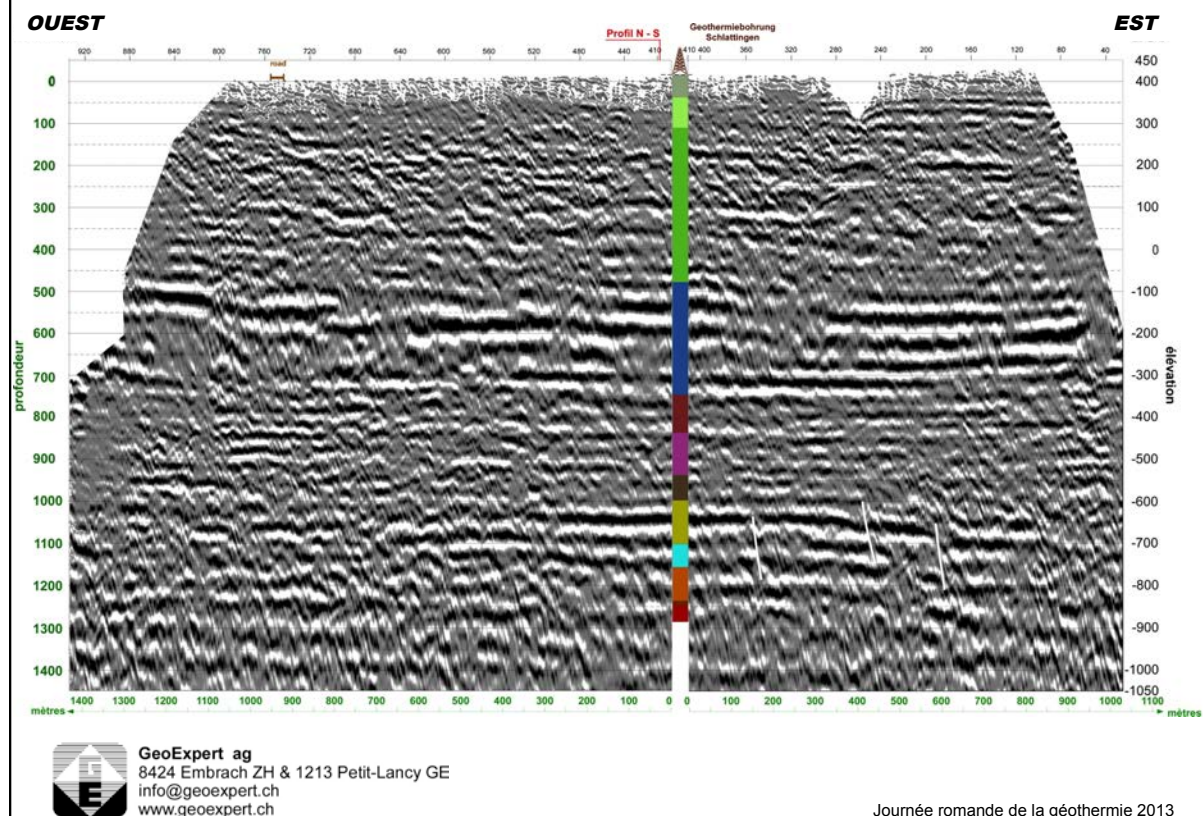
Un poids de 360 kg tombe en chute libre d'une hauteur de 4 m.



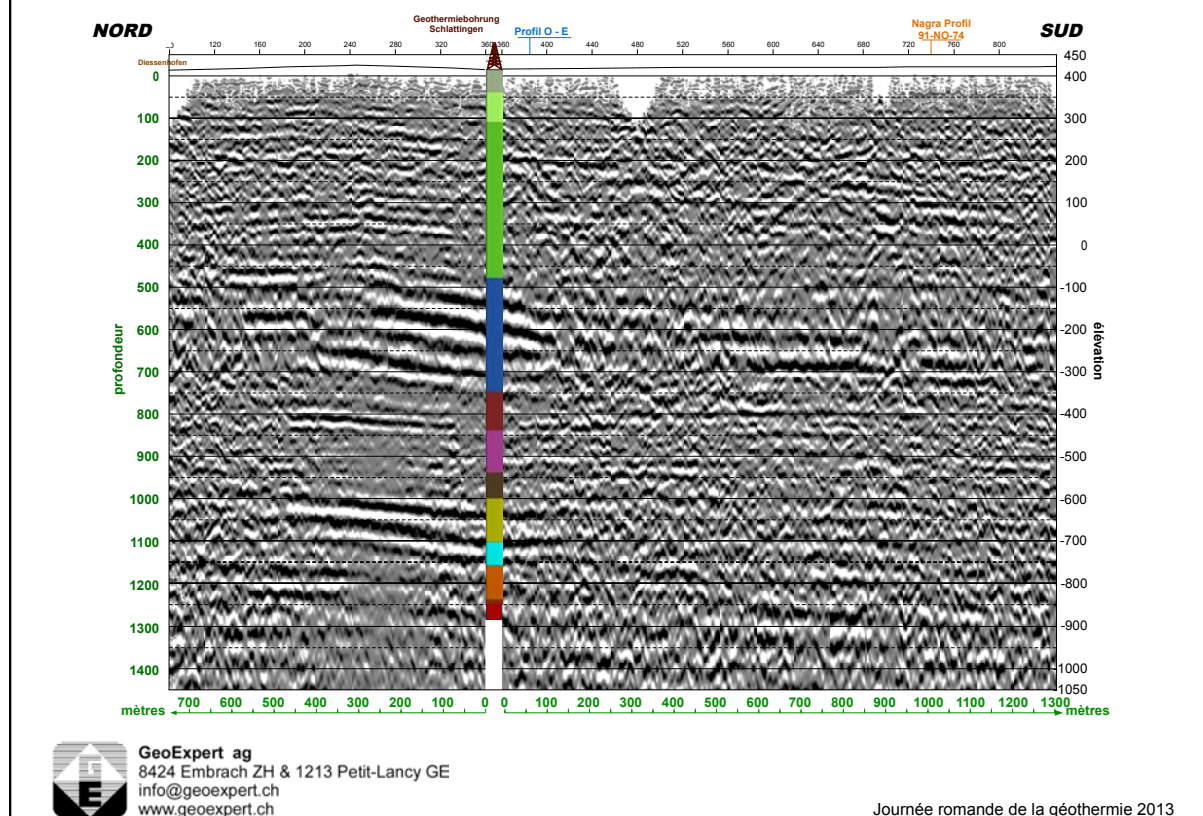
GeoExpert ag
8424 Embrach ZH & 1213 Petit-Lancy GE
info@geoexpert.ch
www.geoexpert.ch

Journée romande de la géothermie 2013

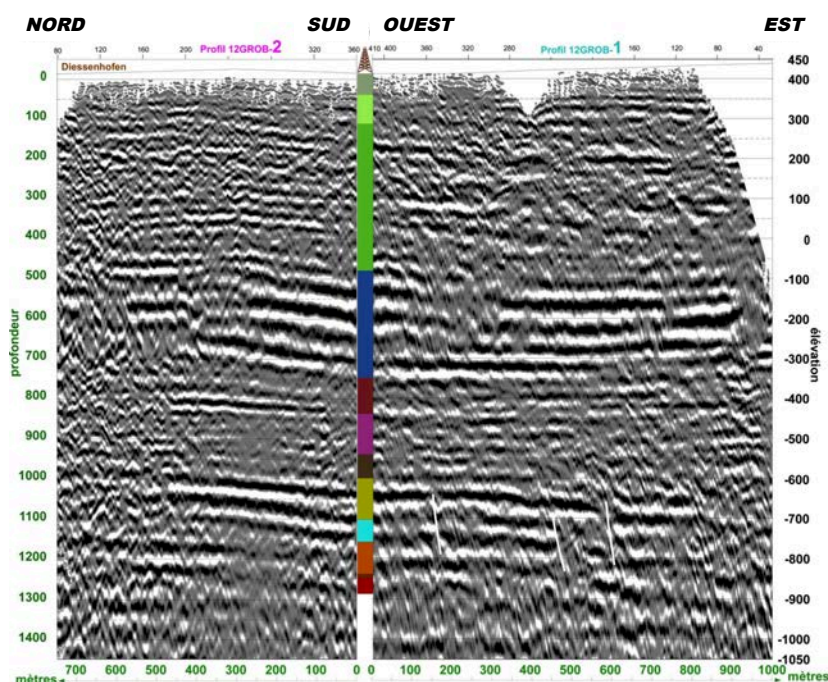
Profil 1 Ouest – Est (2.4 km)



Profil 2 Nord – Sud (2.0 km)



Vue depuis le Nord - Est à l'intersection des deux profils

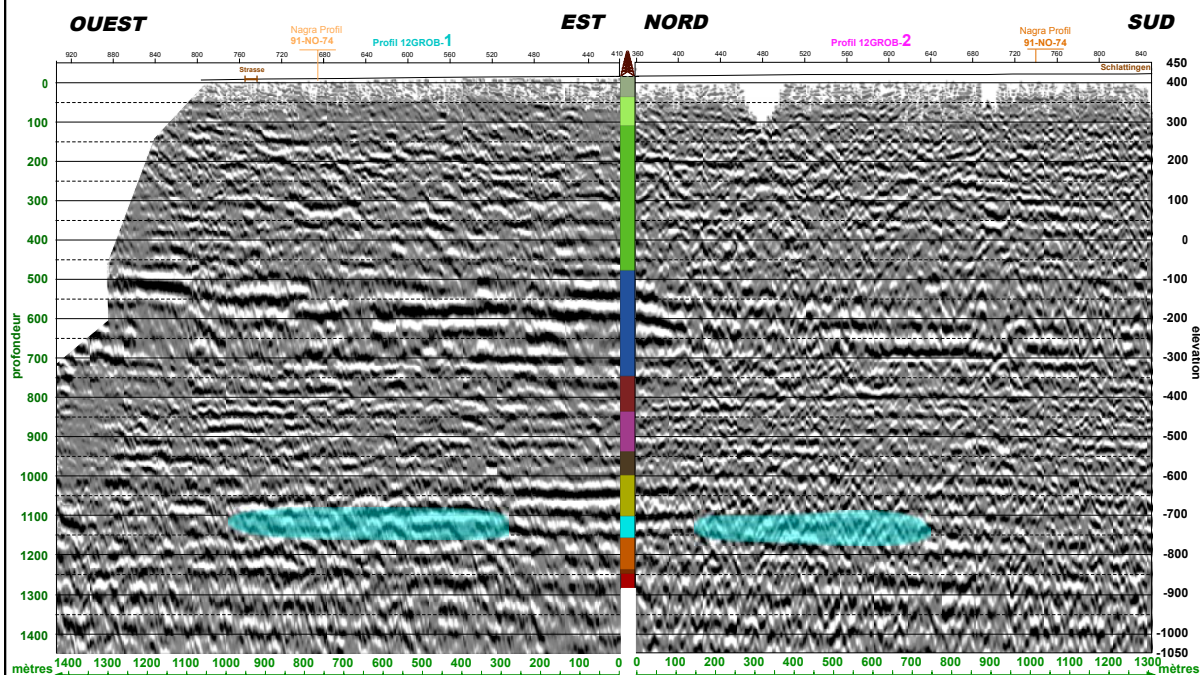


GeoExpert ag
8424 Embrach ZH & 1213 Petit-Lancy GE
info@geoexpert.ch
www.geoexpert.ch

Journée romande de la géothermie 2013

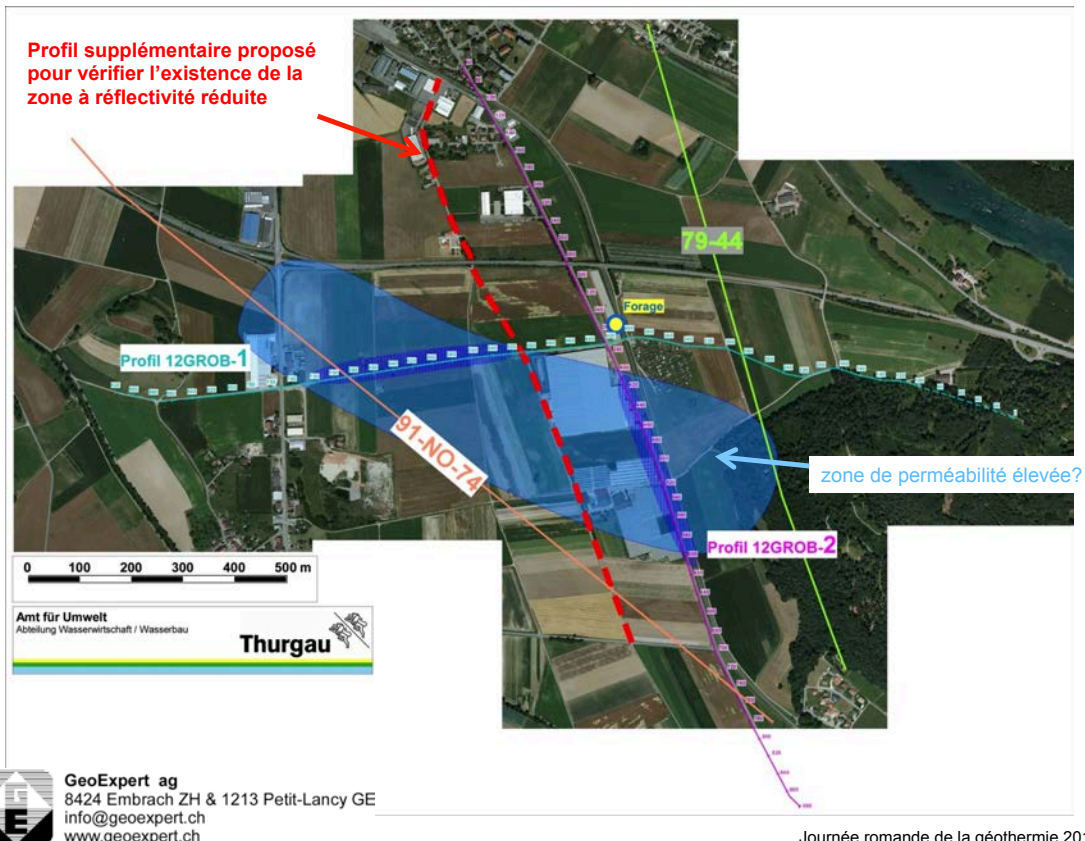
Vue depuis le Sud - Ouest à l'intersection des deux profils

→ Zones d'une réflectivité réduite à observer à une distance < 350 m à l'ouest et au sud du forage



GeoExpert ag
8424 Embrach ZH & 1213 Petit-Lancy GE
info@geoexpert.ch
www.geoexpert.ch

Journée romande de la géothermie 2013



Journée romande de la géothermie 2013



GeoExpert ag Seismic Surveying

Branch office :
Chemin du Fief-de-Chapitre 7
CH-1213 Petit-Lancy
info@geoexpert.ch

Head office :
Tannenstrasse 93
CH-8424 Embrach
info@geoexpert.ch

Merci de votre attention!

Journée romande de la géothermie 2013

Synthèse – Informations – Remerciements

Stéphane Cattin

Journée romande de la géothermie 2013

26 novembre 2013

Yverdon-les-Bains

Synthèse

- > Partage d'expériences
 - Research challenges
 - De la moyenne vers la grande profondeur
 - ECOGI-Roquette
 - AGEPP
 - Eclépens (2 talks)
 - Haute-Sorne et Avenches
 - Sismicité induite
 - Sirius
 - Sismique sans camion
- > Electricité **et** chaleur géothermique – potentiel énorme
- > Continuer à travailler pour améliorer les conditions-cadres
- > Enjeux forts de communication
- > Dynamique positive, notamment en CH-romande

Informations

A vos agendas...

- > **CAS DEEGEOSYS** – www2.unine.ch/chyn/
 - Module 3 – Drilling & Logging – mi-janvier 2014
 - Module 4 – Reservoir Evaluation & Production – mi-mars 2014
- > **Séminaire CHYN** – 02.12.2013 – Olivier Lateltin
- > **Forum ARPEA à Bulle** – 06.02.2014 – www.arpea.ch
« La géothermie de moyenne et grande profondeur : un maillon essentiel du mixte énergétique de demain »
- > **Journée professionnelle de la PAC** – 11.03.2014 – Lausanne

- > **jrg14 – mardi 25.11.2014** – www.geothermie.ch
 - Appel à sujets et/ou à contributions – stephane.cattin@geothermie.ch
- > **Cours EED** (1 jour) et **PILESIM2** (1 jour) – début sept. 2014
- > **Cours SIA 384/6 – Sondes géothermiques** – www.pac.ch
- > Visite technique sur un chantier de géothermie profonde...

Journée romande de la géothermie – 26.11.2013 – Yverdon-les-Bains