

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



Géothermie profonde et Ebranlements

-

Observations et Solutions

Olivier Zingg, géologue, chef de projet pour Geo-Energie Suisse SA

Géothermie Jura - CIP - Tramelan, le 7 mars 2016



Plan de la présentation

1. Ébranlements et géothermie profonde.
De quoi parle-t-on ?
2. Les projets de Bâle et de St-Gall.
Qu'a-t-on observé?
3. Quelles solutions pour les projets futurs?
4. Conclusions

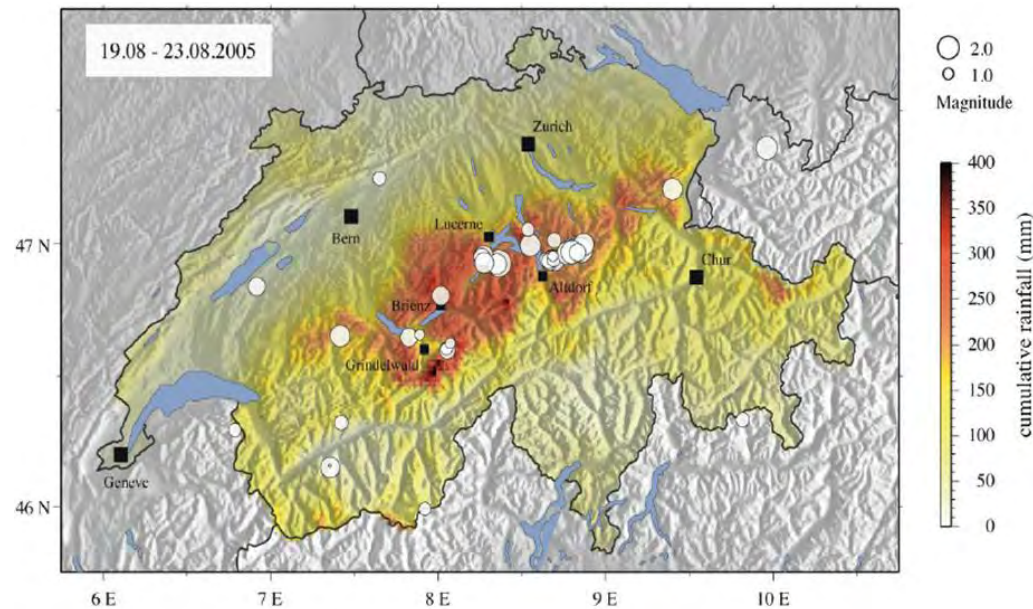
Sismicité induite

3

- ❑ On parle de sismicité induite lorsque des tremblements de terre sont déclenchés par une cause externe.
- ❑ La sismicité induite est toujours le résultat d'une modification des contraintes dans le sous-sol.

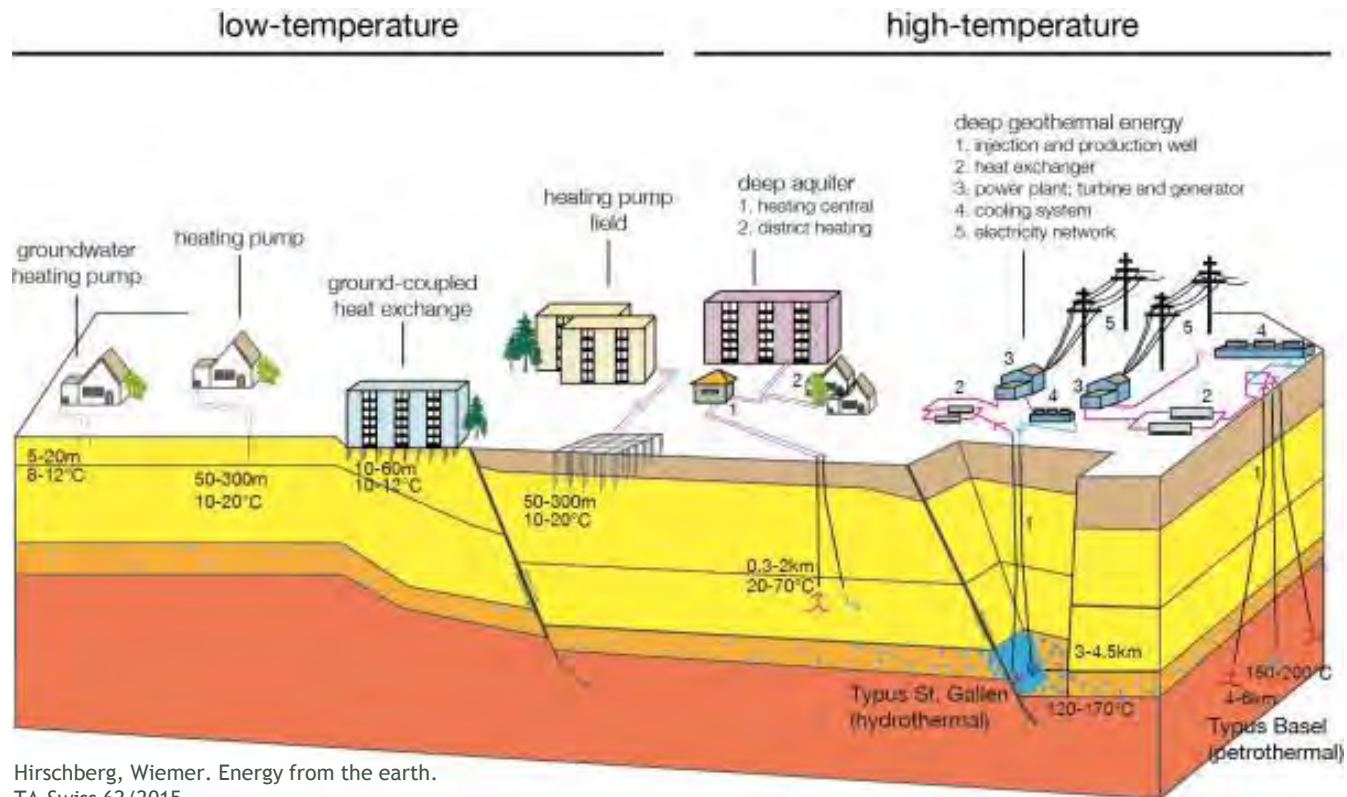
Parmi les causes connues, citons:

- mise en eau de barrages
- production de gaz et pétrole
- stockage / élimination de fluides
- activité minière
- géothermie
- percement de tunnels
- pluie...



Géothermie profonde hydrothermale et pétrothermale

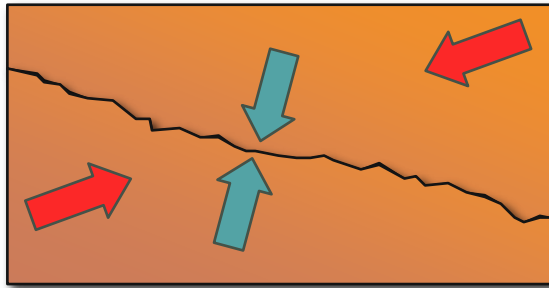
4



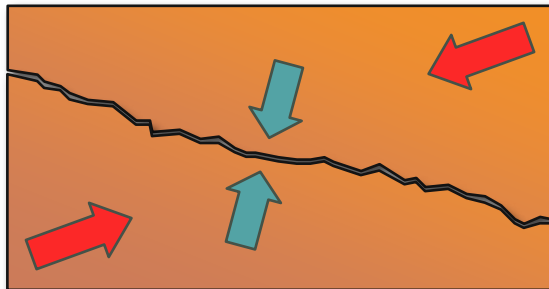
Géothermie pétrothermale

Principe de la stimulation hydraulique

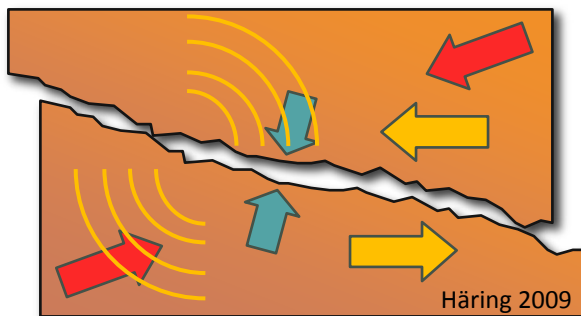
5



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



- L'injection hydraulique modifie les contraintes agissant sur les fissures.



- Les contraintes créent un déplacement le long de la faille.
- 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.

Le projet de Bâle (2006)

6

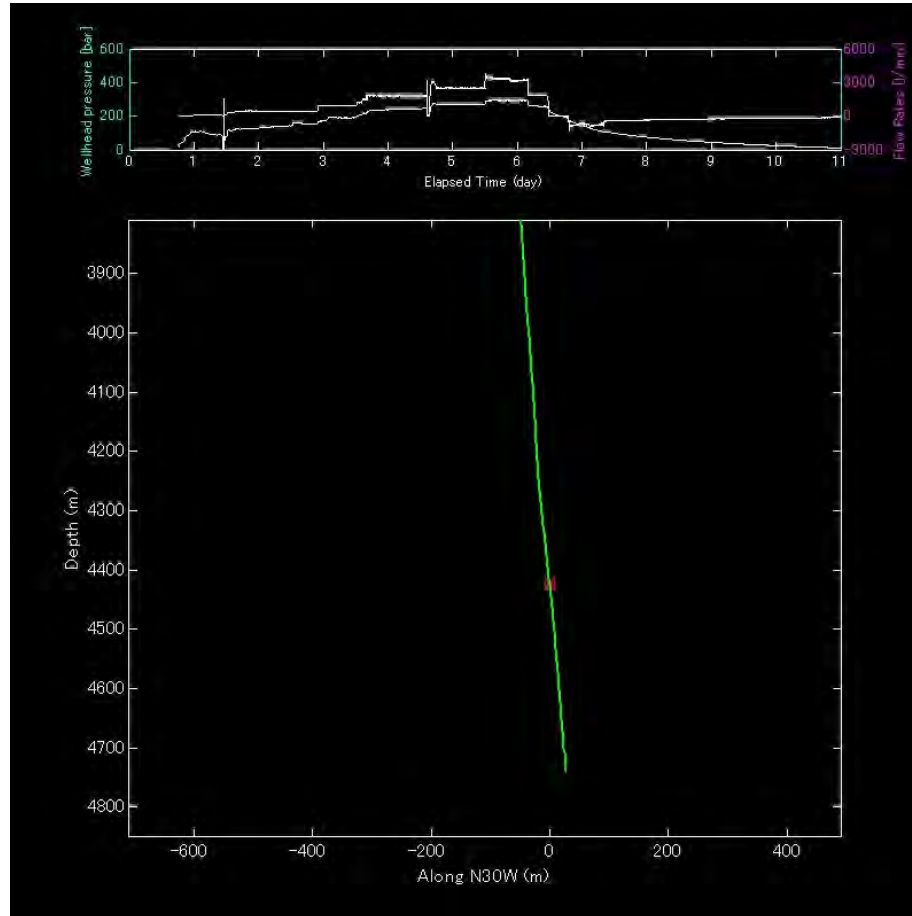
- ❑ Conçu comme le premier projet commercial pétrothermal
- ❑ Basé sur la stimulation d'un réservoir granitique à env. 5 km de profondeur
- ❑ Après 6 jours d'injection, le 8 déc. 2006, un séisme de magnitude M_l 3.4 est largement ressenti et mène à l'arrêt des travaux.
- ❑ L'étude de risque postérieure SERIANEX mène à l'abandon définitif du projet en 2009.



Geothermal Explorers Ltd.

Le projet de Bâle (2006) Stimulation du réservoir

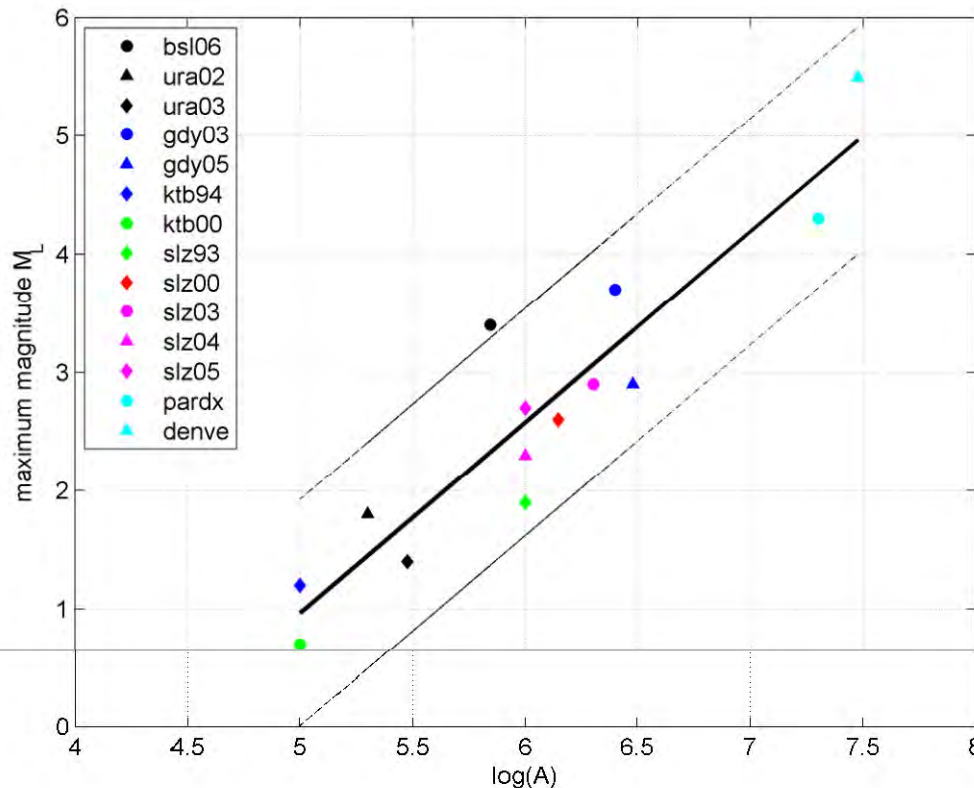
7



Le projet de Bâle (2006)

Qu'a-t-on appris ?

8



1. La magnitude augmente avec la surface du réservoir stimulé

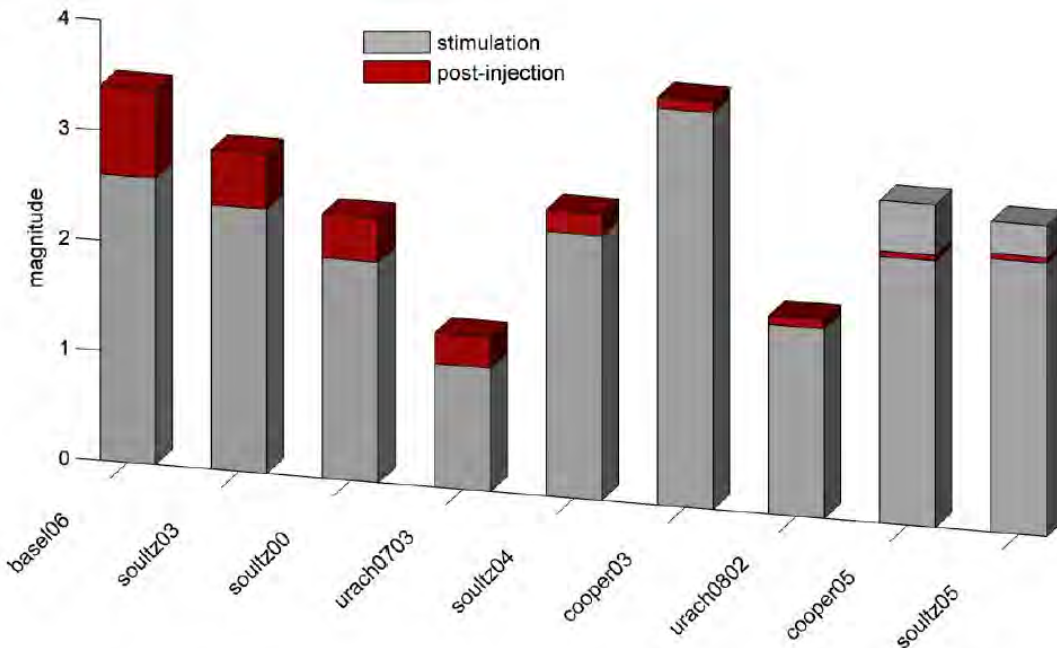
(Serianex, 2009)

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

Le projet de Bâle (2006)

Qu'a-t-on appris ?

9



2. Les séismes les plus forts se produisent après l'arrêt de l'injection
(Serianex, 2009)

Ce phénomène, appelé «effet de traîne», n'avait pas été pris en compte pour la conception du schéma de réaction du projet de Bâle.

Le projet de St-Gall (2013)

10

- ❑ Projet hydrothermal porté par la ville de St-Gall pour produire de l'électricité et alimenter un réseau de chauffage à distance.
- ❑ Conçu sur le modèle à succès de Munich, de l'eau est recherchée dans une grande zone de faille régionale.
- ❑ Durant une phase de tests, une venue de gaz imprévue doit être combattue.
- ❑ Cela provoque un séisme de magnitude M_l 3.5 qui mène à l'arrêt des travaux puis à l'abandon du projet.



Sankt Galler Stadtwerke

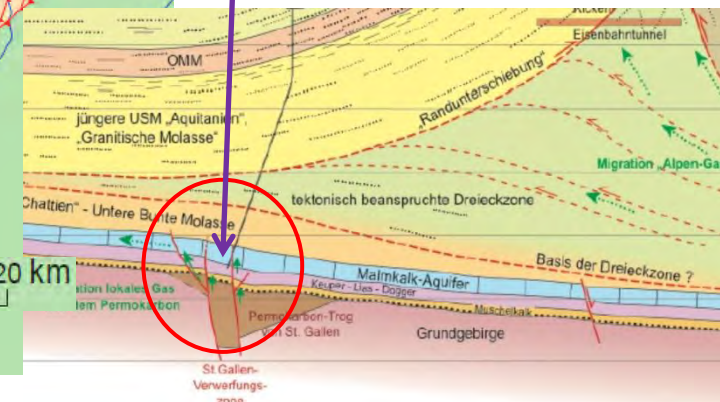
Le projet de St-Gall (2013)

Situation géologique

11



Objectif du projet de géothermie:
Zone de faille de St-Gall



Nagra, NTB 08-04, 2008

Le projet de St-Gall (2013)

Qu'a-t-on appris ?

12

1. Les projets hydrothermaux profonds dans les roches sédimentaires peuvent aussi être concernés par le risque sismique.
2. Les zones de failles régionales sont à considérer avec prudence et à éviter pour les projets pétrothermaux.
3. Les “effets dominos” doivent être pris en compte dans l'évaluation des risques (ici venue de gaz et sismicité induite).

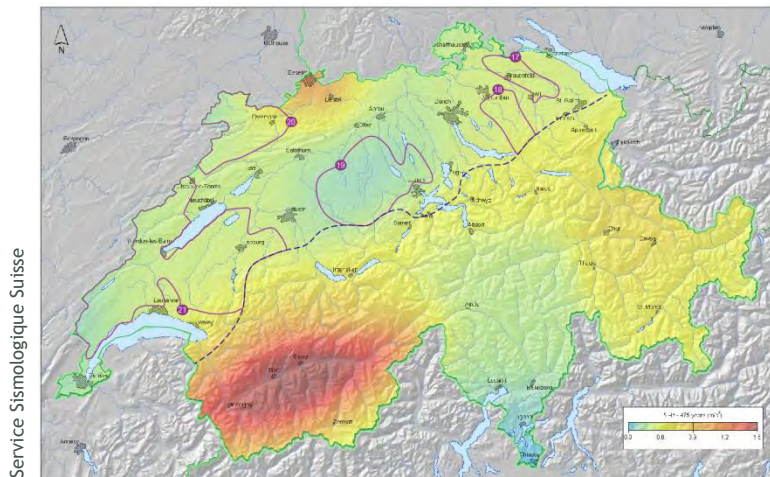
Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

a. Choix approprié du site

14

- ❑ Eviter les zones de sismicité naturelle élevée (Bâle, Valais)
- ❑ Eviter les zones de failles régionales
- ❑ Eviter les grandes villes ayant une forte concentration de bâtiments, souvent anciens (principe de précaution)



Aléa sismique



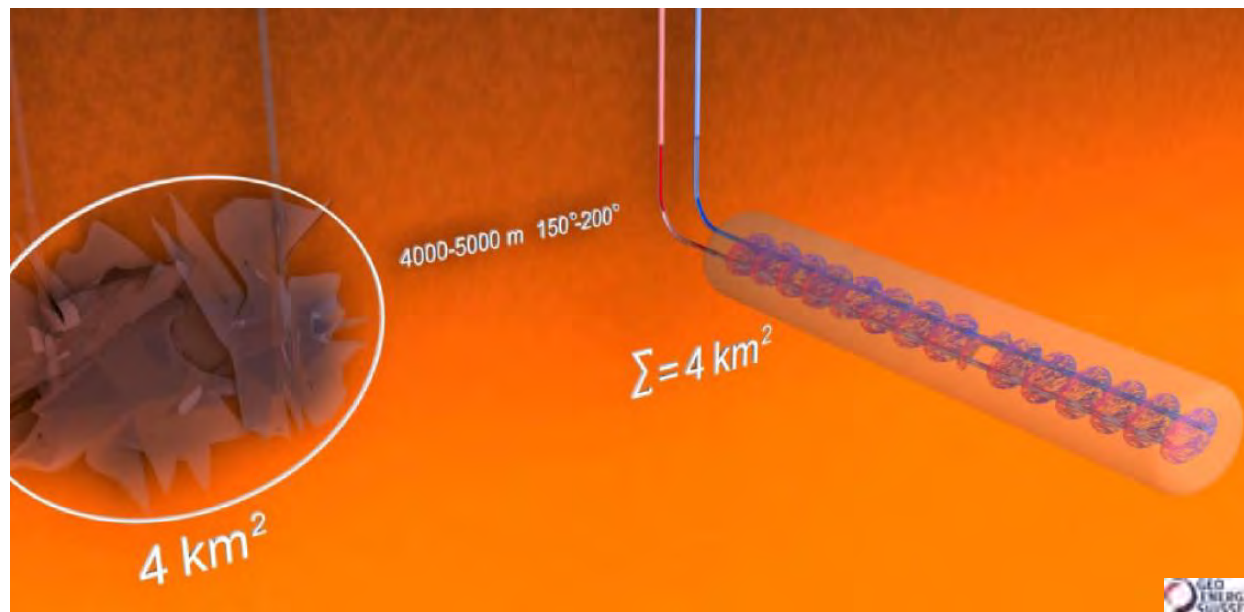
Risque sismique

Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

b. Concept de stimulation «intrinsèquement sûr»

15

- ❑ La sismicité augmente avec l'ampleur de la stimulation → pratiquer de petites stimulations
- ❑ Le rendement énergétique dépend de la taille du réservoir → multiplier les zones stimulées, par étapes



„Ancien“ concept
Bâle

„Nouveau“ concept
Stimulation par étapes

Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

c. Etudes de risque

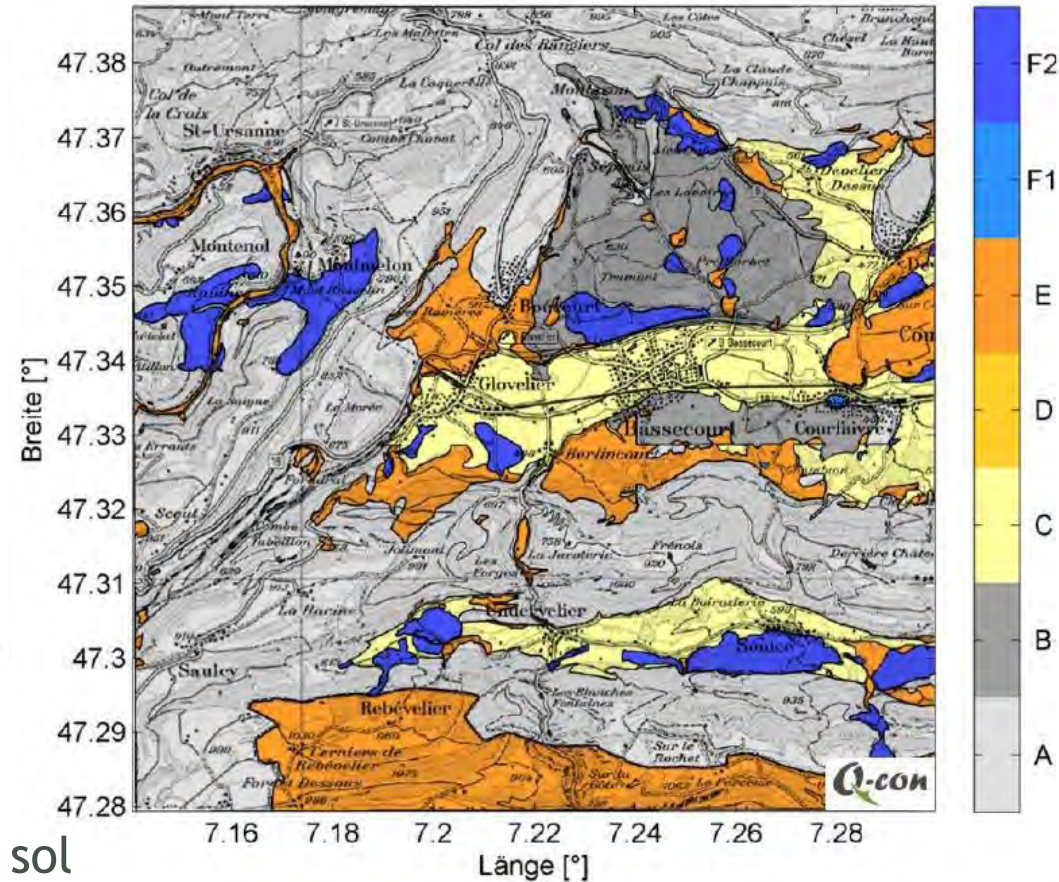
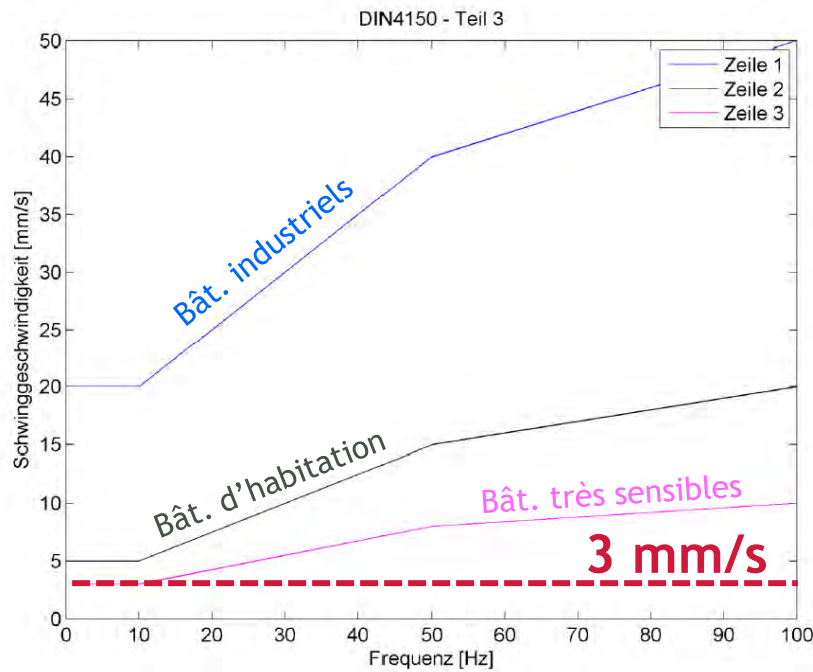
16

- ❑ **Volet déterministe**, basé sur un modèles physique du sous-sol
 - Modélisation des mouvements du sol
 - Détermination de la limite des premiers dommages et des seuils du système de feux de circulation
 - Modélisation de l'influence sur les failles
- ❑ **Volet probabiliste**, basé sur une approche statistique
 - Evaluation des mesures de mitigation
 - Evaluation du risque résiduel

Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

c. Etudes de risque (volet déterministe)

17



- Limite conservative → 3 mm/s
- Modélisation des mouvements du sol
- Calcul du seuil des dommages

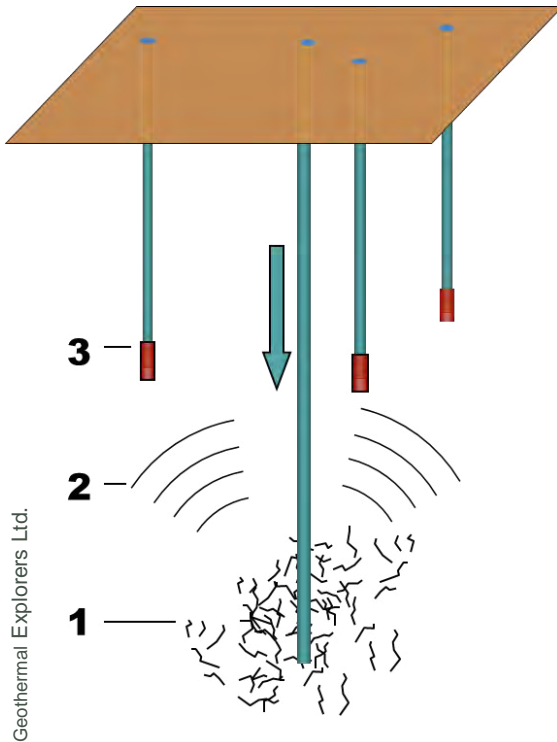
Pgv [mm/s]

7 mars 2016

Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

d. Réseau de surveillance sismique

18



- ❑ Réseau composé de sismomètres placés en surface et dans des forages
- ❑ Enregistrement en temps réel de la sismicité (naturelle et induite)
- ❑ Permet de localiser la source et de déterminer la magnitude



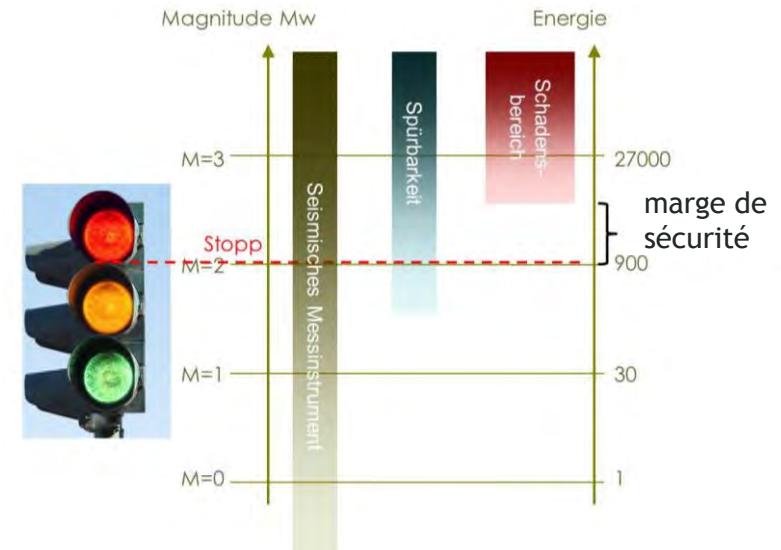
Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

e. Schéma de réaction – Feux de circulation

19

❑ Système «classique»

- Seuils d'arrêt selon étude de risque
- Valeurs conservatives
- Considération de l'effet de traîne → arrêt de l'injection avant d'avoir atteint le seuil des dommages!



❑ Système prédictif ATLS

- Fonctionne comme un «bulletin météo»
- En cours de développement, projet de recherche commun avec le Service Sismologique Suisse
- Premiers résultats prometteurs

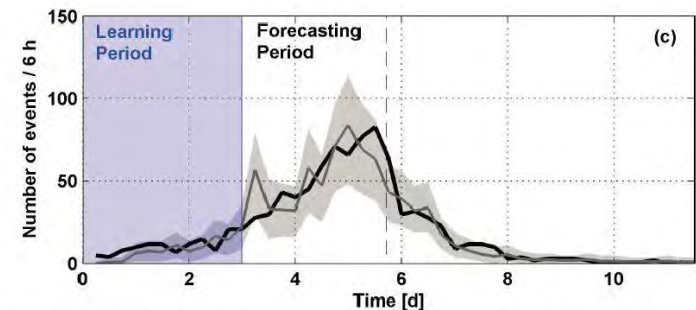
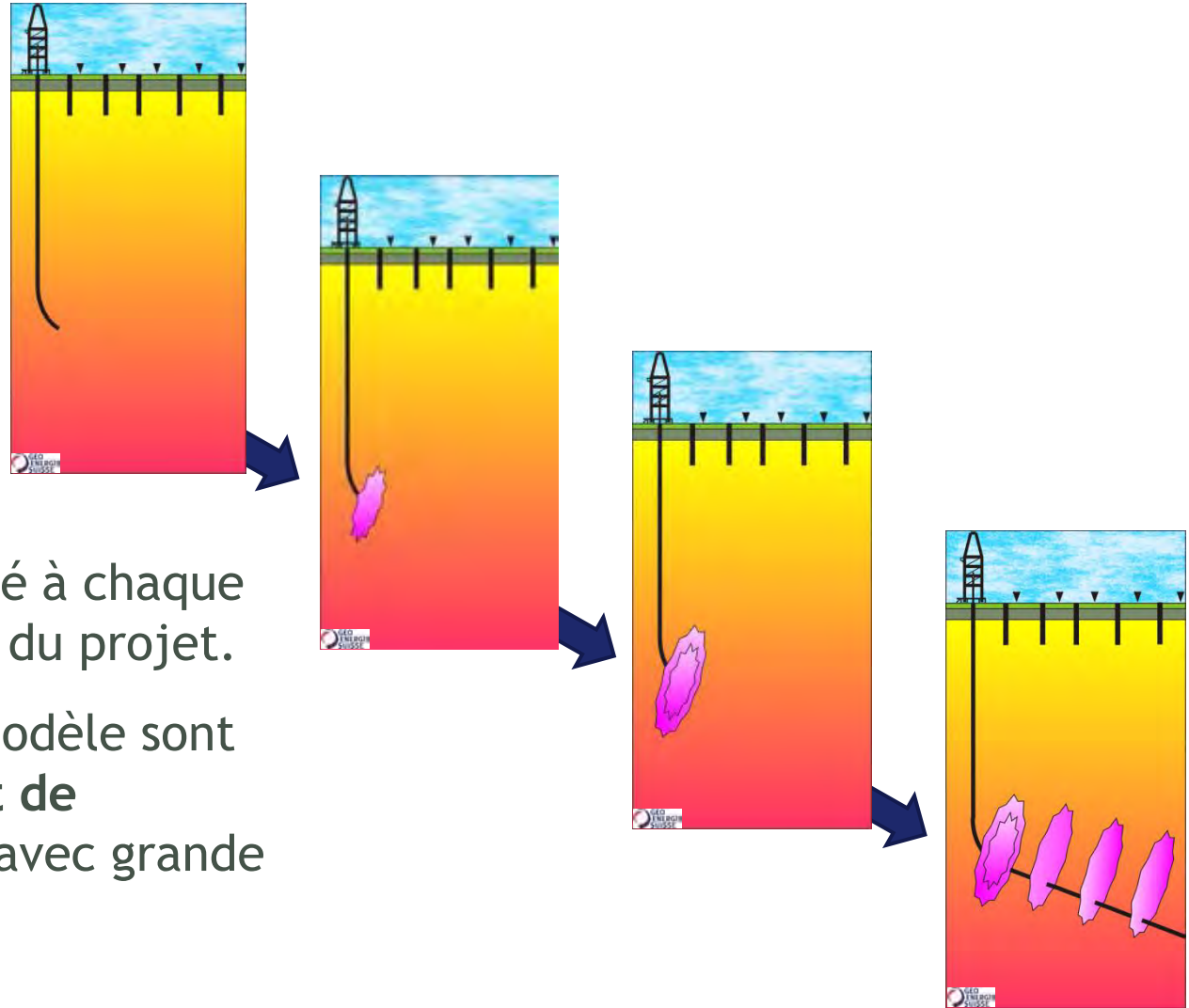


Abb. 26: nach (Gischig & Wiemer, 2013). Die Lernphase von 3 Tagen ist in blau dargestellt. In schwarz die tatsächlich aufgetretene Seismizität, in grau die vorhergesagte. Schattiert sind die 95% Konfidenzgrenzen.

Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

f. Réalisation par étapes et test de stimulation

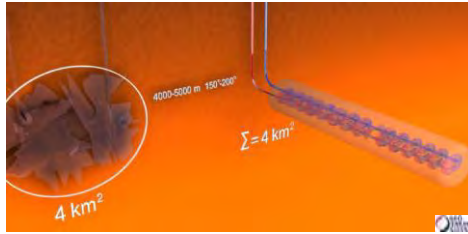
20



- ❑ Le risque est réévalué à chaque étape d'avancement du projet.
- ❑ Les paramètres du modèle sont validés lors d'un **test de stimulation** conduit avec grande prudence.

Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux? En résumé

21



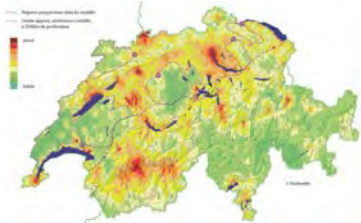
Concept sûr



Etudes de risque

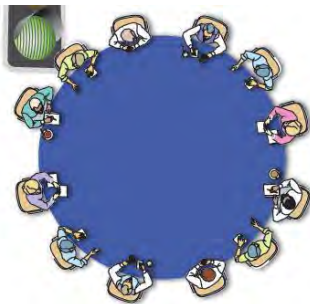


Surveillance en temps réel



Choix du site

Maîtrise du risque

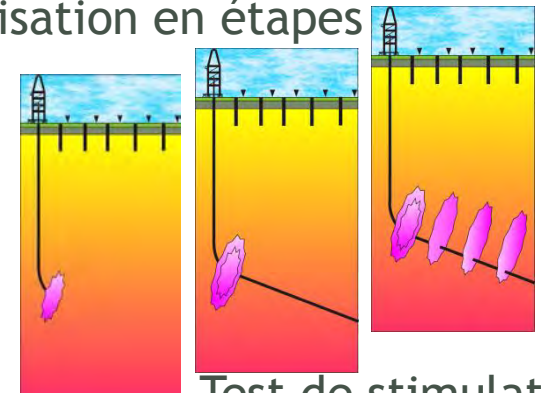


Réévaluation continue du risque



Seuils d'arrêts plus bas

Réalisation en étapes



Test de stimulation

Quelles solutions pour les futurs projets pétrothermaux?

g. Etablissement des preuves et assurance

22

Et pourtant... Le risque zéro n'existe pas!



Etablissement des preuves

- Protocoles de fissure
- Mesures de vibration
- Mise en œuvre avant le début du forage



Assurance RC

- Couverture des risques sismiques et environnementaux
- Expertise aux frais de l'entrepreneur

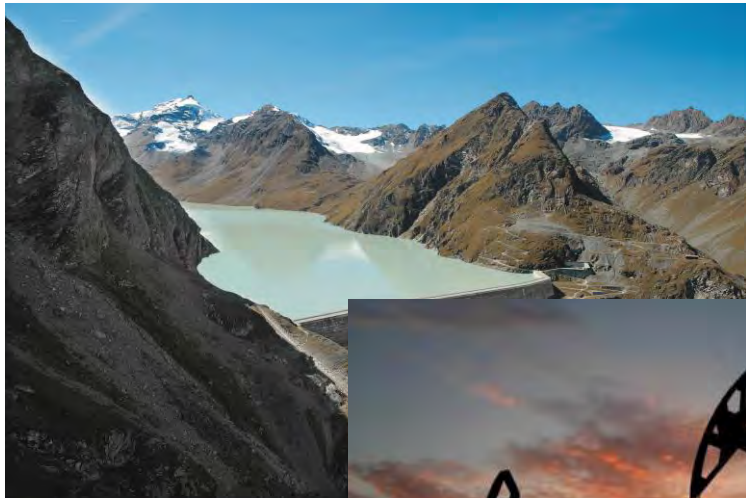
Conclusions

- ❑ La sismicité induite est indissociable de la géothermie profonde. Elle est même au cœur de la technologie pétrothermale.
- ❑ La sismicité induite n'apparaît pas au hasard mais est une réponse aux modifications des contraintes du sous-sol.
- ❑ La compréhension de ses mécanismes la rend maîtrisable moyennant une approche prudente.

Conclusions

24

On a beaucoup parlé des risques associés à la géothermie profonde. Mais l'énergie que nous consommons actuellement présente aussi des risques. Et non des moindres...

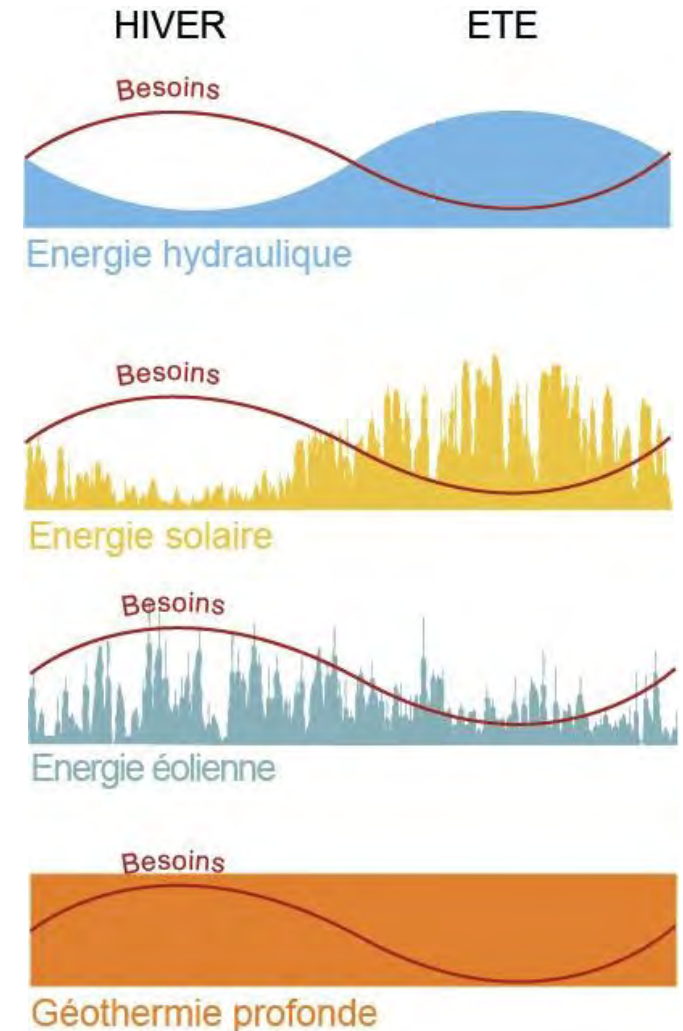


Conclusions

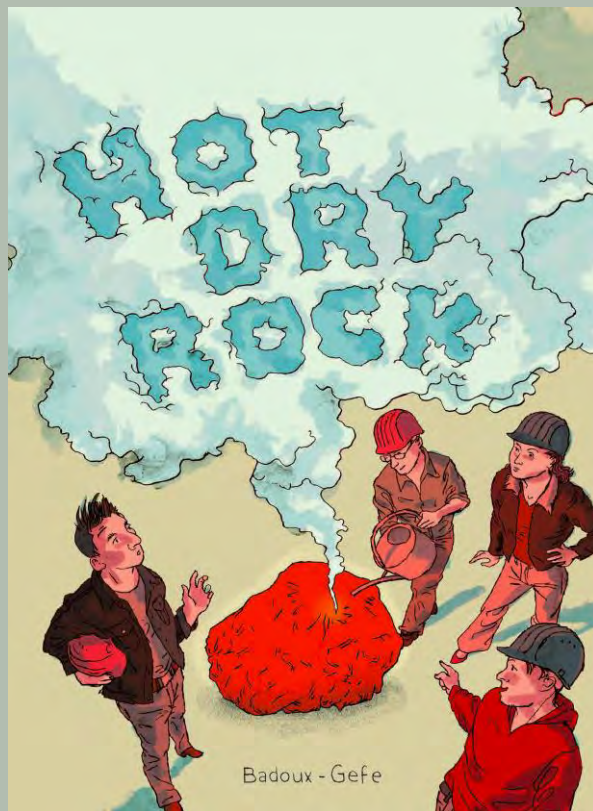
25

Les risques liés à la sismicité induite doivent aussi être envisagés au regard des chances que la géothermie profonde représente:

- Energie en ruban disponible 24h/24h
- Indigène, sécurité d'approvisionnement
- Renouvelable et sans CO₂
- Faible impact sur la nature et le paysage
- Grand potentiel
- Innovation et emploi locaux
- ...



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



Merci pour votre attention!