

# Impacts environnementaux et géothermie profonde sur le site de Sultz-sous-Forêts



CUENOT Nicolas



SPPPI – Séminaire transrhénan – Géothermie Profonde

GEIE Exploitation Minière de la Chaleur  
Route de Sultz – BP 40038  
67250 Kutzenhausen

[cuenot@sultz.net](mailto:cuenot@sultz.net)

[www.geothermie-sultz.fr](http://www.geothermie-sultz.fr)



Centrale géothermique de Sultz-sous-Forêts

# Sommaire



- **Introduction**
- **Le projet géothermique de Sultz-sous-Forêts**
  - **Organisation**
  - **Situation et conditions géothermales**
  - **La centrale de production électrique**
- **Impacts environnementaux**
- **Sismicité induite**
- **Radioactivité naturelle**
- **Conclusion**

# Introduction



**Géothermie profonde : énergie renouvelable – fonctionnement continu 100% du temps (hors période de maintenance)**

**→ Ressource très prometteuse pour fournir chaleur et/ou électricité**

**MAIS contraintes d'exploitation importantes (notamment si installation en zone densément peuplées):**

- zone à fort potentiel géothermique → généralement zones « actives » (zones volcaniques, frontière de plaques tectoniques, zones faillées) → Sismicité induite

- Développement de projet: forages profonds, tests hydrauliques, circulation de fluide → Actions sur le milieu naturel

- Installations de la centrale → Impact paysager, bruit

**Nuisances possibles pour les habitants**

**Risque d'opposition aux projets**

**Suivi, mesures préventives, communication**

# Le site de Soultz-sous-Forêts - Organisation



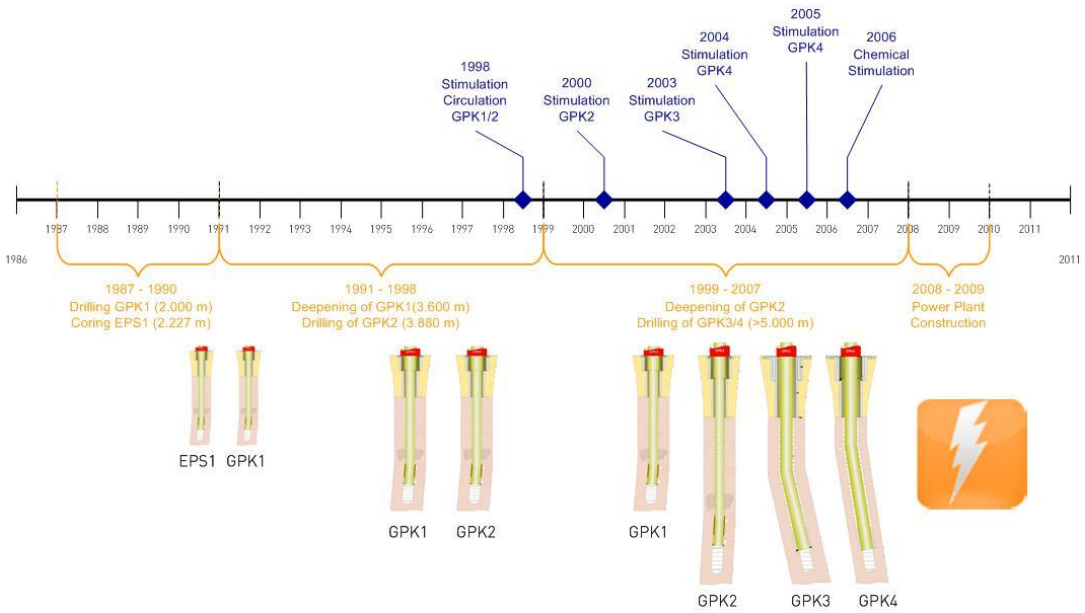
## Historique et objectifs:

- projet européen entamé en 1987, financement public européen et franco-allemand
- objectif: produire de l'électricité à partir d'énergie géothermique dans des régions « non-conventionnelles » - passage d'un pilote scientifique à un site pré-industriel
- projet piloté par un Groupement Européen d'Intérêt Economique « Exploitation Minière de la Chaleur »



## Depuis début 2010:

- Financement franco-allemand (Ademe et BMU)
- Suivi scientifique et technique de la Centrale

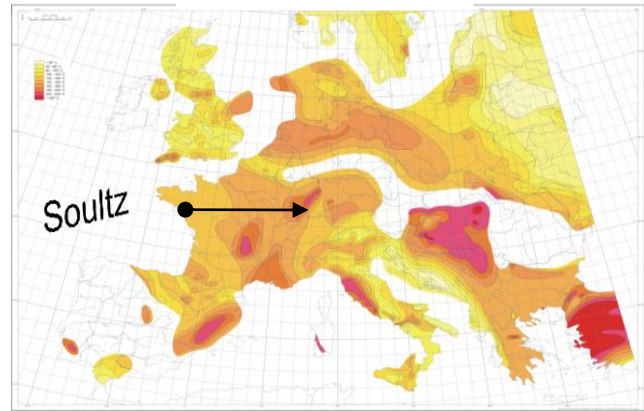


# Le site de Soultz-sous-Forêts – Situation et conditions géothermales

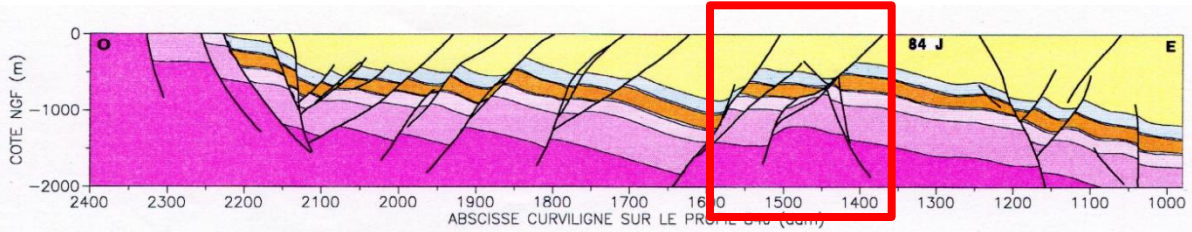


## Localisation:

- Fossé Rhénan, anomalie thermique importante
- Situé localement sur un « horst » dans le fossé d'effondrement



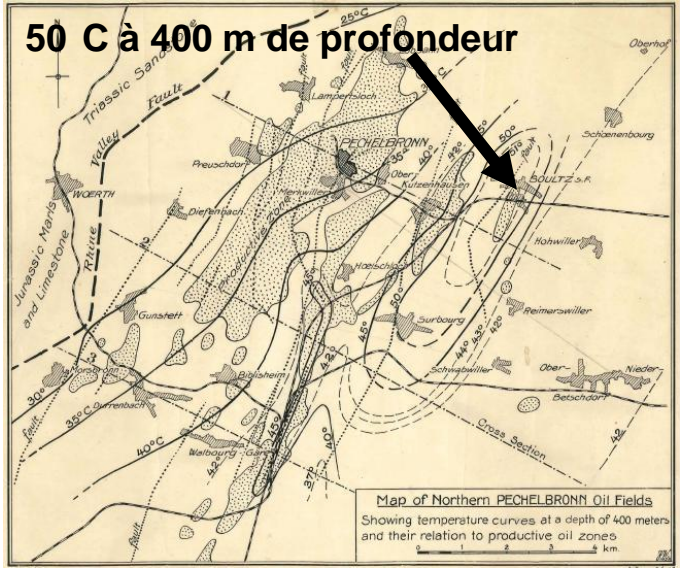
Température à 5 km de profondeur



Coupe sismique interprétée (Cautru, 1987)

## Température:

- Anomalie locale observée de longue date (50 C à 400 m de profondeur, 200 C à 5000 m)
- Gradient thermique influencé par la présence de circulations convectives à l'échelle du Fossé Rhénan



Hass & Hoffmann, 1929

# Le site de Soultz-sous-Forêts – Situation et conditions géothermales



## Géologie:

- 1.4 km de couverture sédimentaire
- Massif cristallin: granite altéré et fracturé

## Hydrogéologie:

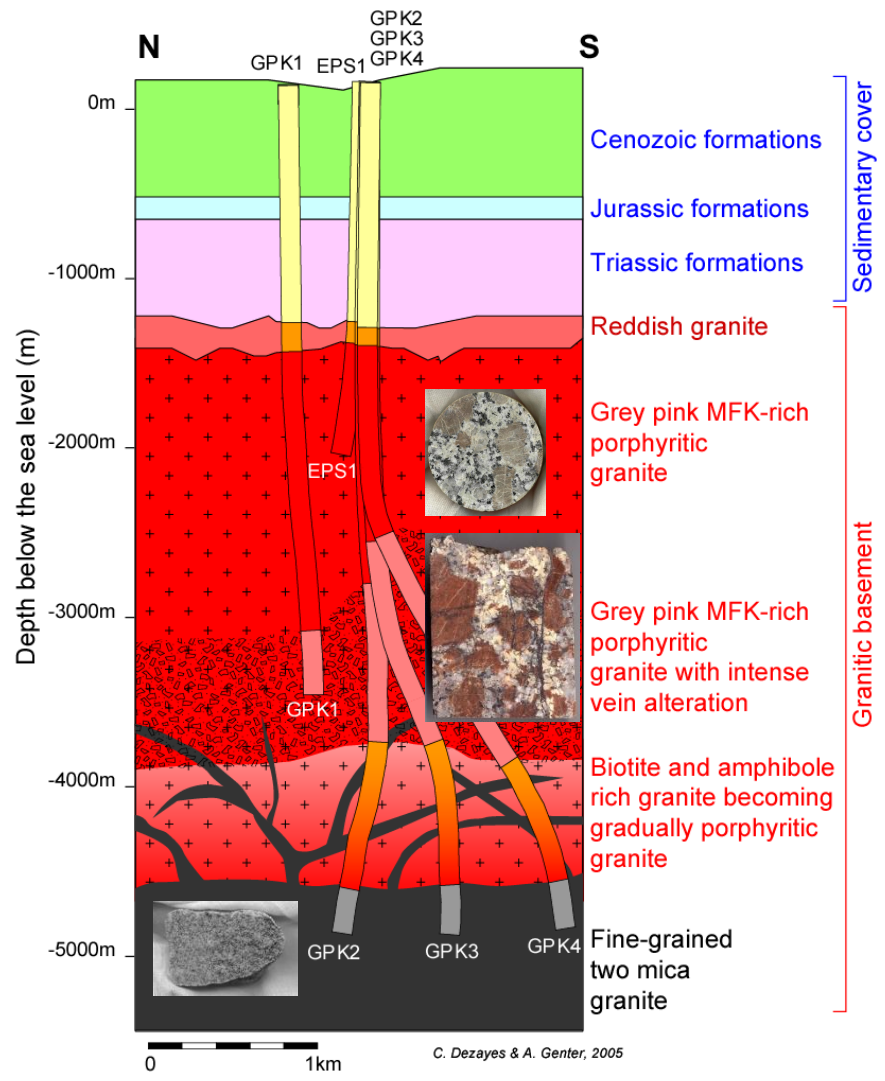
- circulations naturelles d'une saumure géothermale salée (100 g/L, NaCl) dans des zones fracturées et altérées



Granite « sain » - GPK1, 3510 m



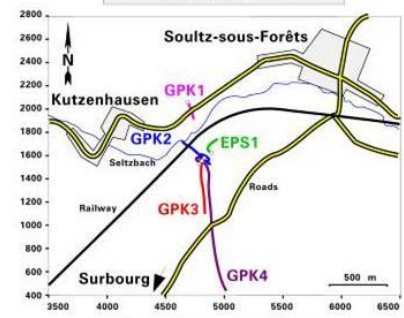
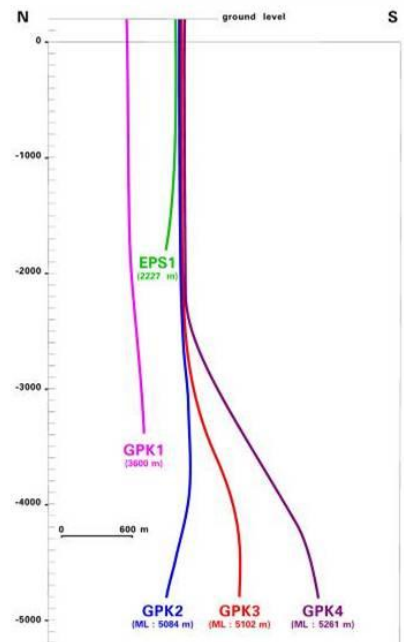
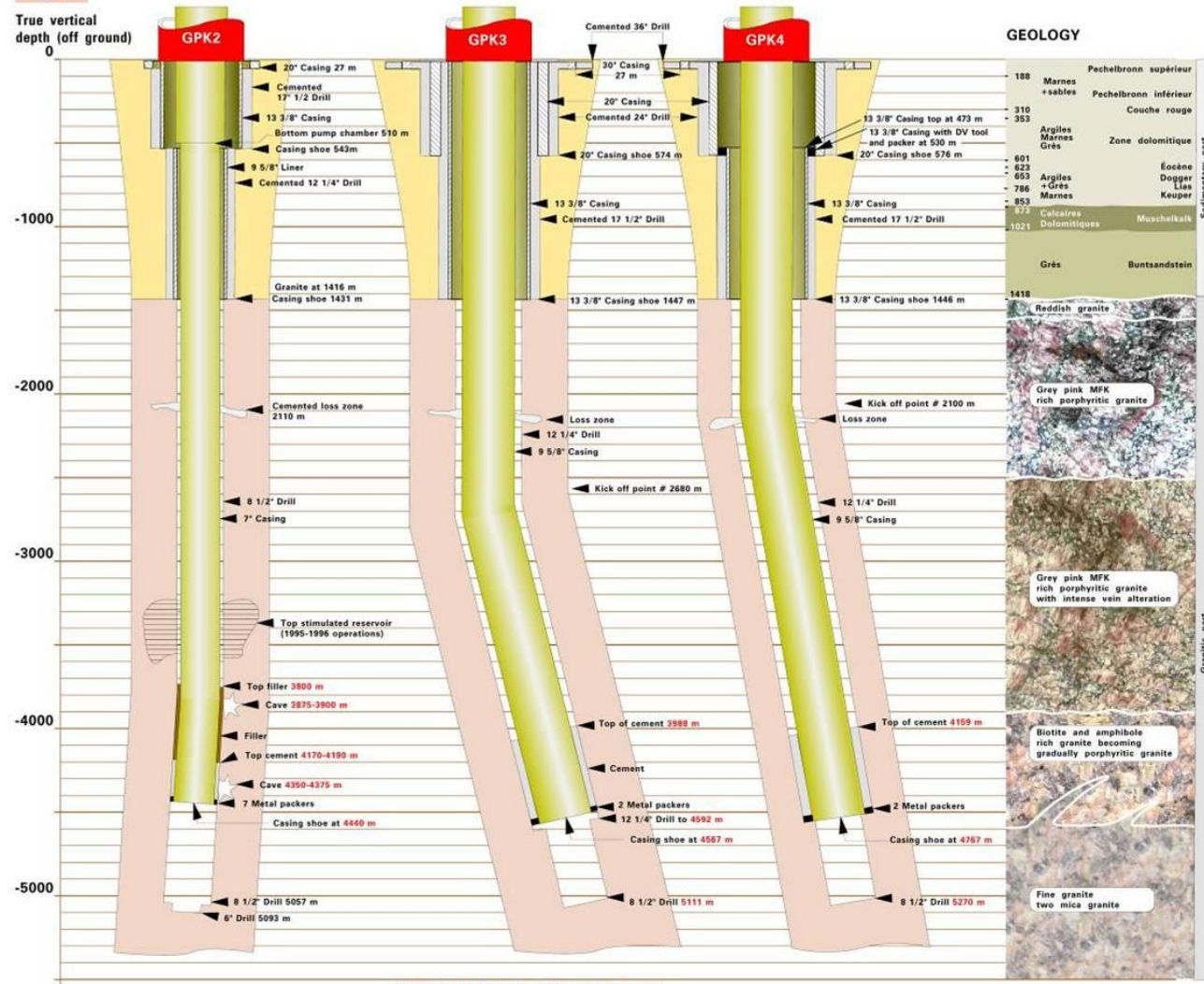
Granite fracturé et altéré



# Le site de Soultz-sous-Forêts – Forages



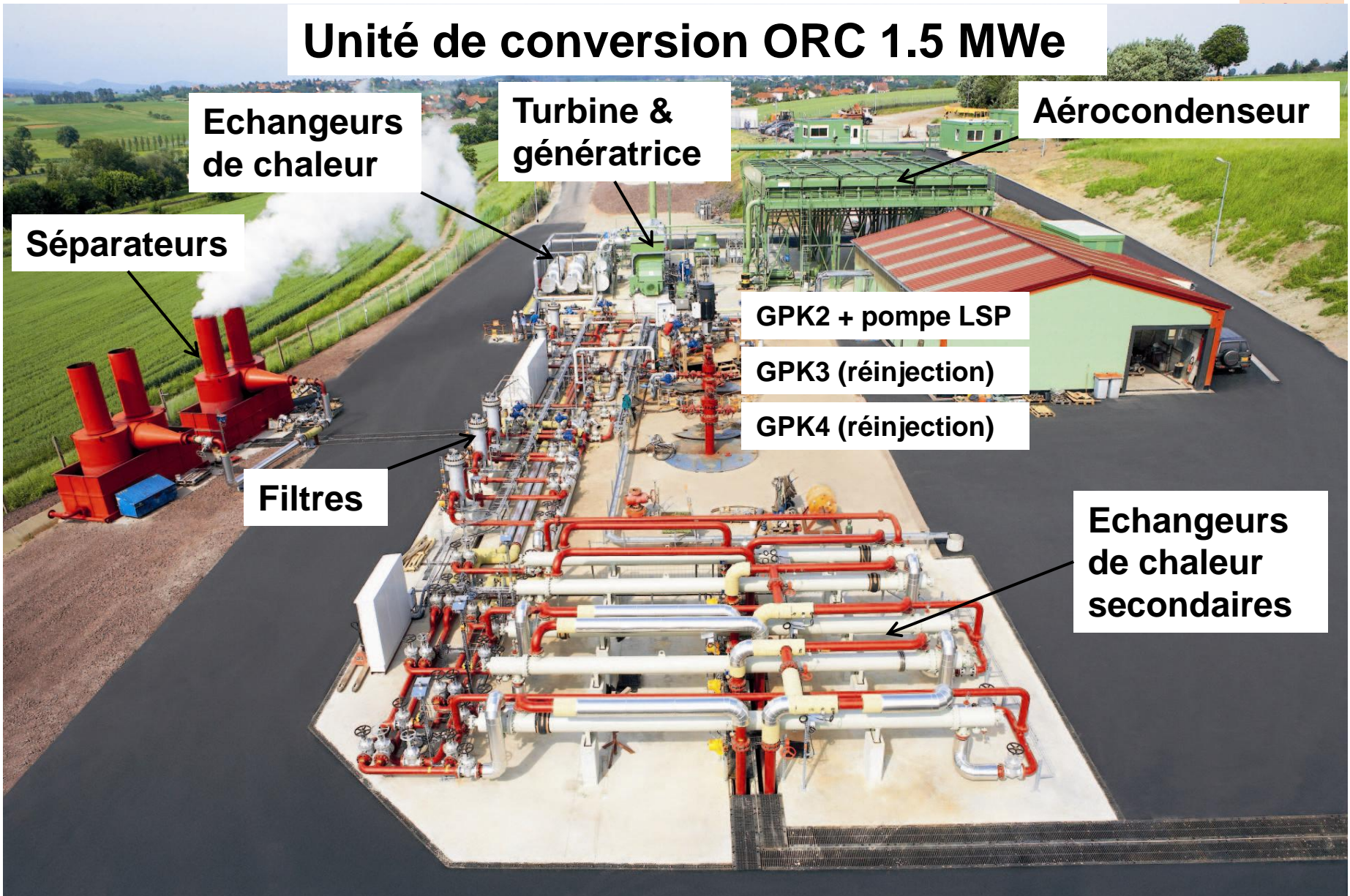
## 3 DEEP WELLS AT SOULTZ SCHEMATIC VIEW



# Le site de Soultz-sous-Forêts – La centrale de production électrique



## Unité de conversion ORC 1.5 MWe





# Principaux impacts environnementaux

## Sous-sol:

### - **Activité microsismique induite:**

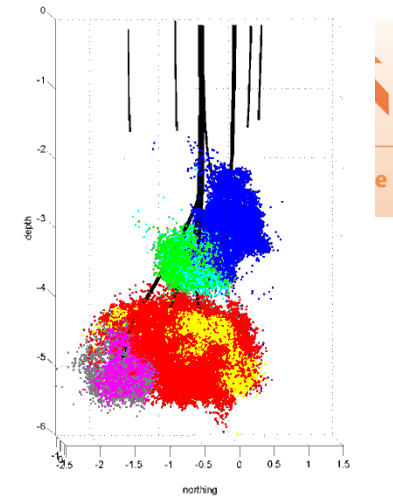
- principal impact environnemental associé à la géothermie profonde
- observé sur plusieurs projets
- source d'inquiétude, voire de plaintes de la population (arrêt du projet bâlois, associations anti-géothermie en Allemagne)

### - **Pollution en sub-surface (nappe phréatique) due à une fuite d'eau géothermale salée:**

- jamais observé à Soultz-sous-Forêts (pas de nappe phréatique, présence en sub-surface de plusieurs tubages imbriqués limitant le risque de fuite du puits vers le milieu extérieur)

### - **Radioactivité naturelle liée aux circulations de fluide dans la granite:**

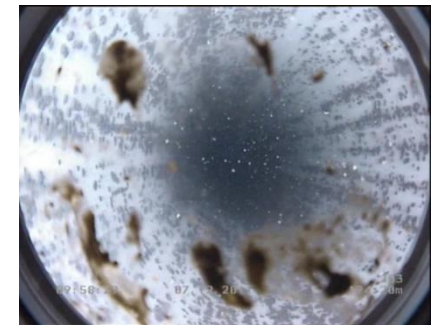
- eau géothermale légèrement radioactive, niveau en-dessous des normes pour l'eau potable (Surbeck, 2005)
- présence de radon dans les gaz contenus dans le fluide, dégazeurs à l'air libre → pas de risque d'accumulation
- dépôts potentiellement radioactifs dans les puits



*Activité microsismique*



*Analyse de fluide*



*Vidéo puits GPK1 - dépôts*

# Principaux impacts environnementaux



## Surface:

### - Radioactivité naturelle:

- piégeage de radionucléides dans dépôts
- suivi régulier de la radioactivité
- mesures de radioprotection

### - Bruit

- émissions sonores de la centrale (turbine, aérocondenseurs)
- 1 plainte pour nuisances sonores reçue (Kutzenhausen)
- campagne de mesures déjà entamée, insonorisation

### - Impact paysager

- intégration paysagère de la centrale

### - Zone ATEX

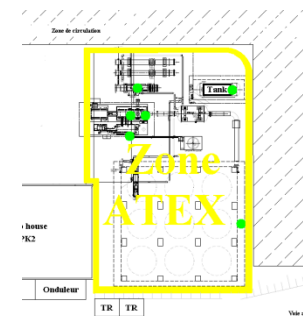
- utilisation d'isobutane dans le cycle ORC: risque d'explosion si fuite
- réglementation spécifique pour travaux en zone ATEX (équipements, outillage, balises de détection de gaz)

### - Pollution

- plate-forme équipée de déshuileur-débourbeur pour eaux de ruissellement
- stockage du fluide géothermique dans bassins étanches



*Insonorisation turbine*



*Zone ATEX et marquage*



*Site d'exploitation – bassins étanches*

# Sismicité induite



## Activité microsismique induite :

- Principal problème environnemental lié à la géothermie profonde
- $M=2.9$  à Soultz (plaintes, mécontentement),  $M=3.4$  à Bâle (plaintes, arrêt du projet),  $M=2.7$  à Landau (plaintes, exploitation réduite, actions contre nouveaux projets)
- Cause majeure de non-acceptabilité des projets
- Sujet de recherche principal en géothermie (projet GEISER, MAGS,...)

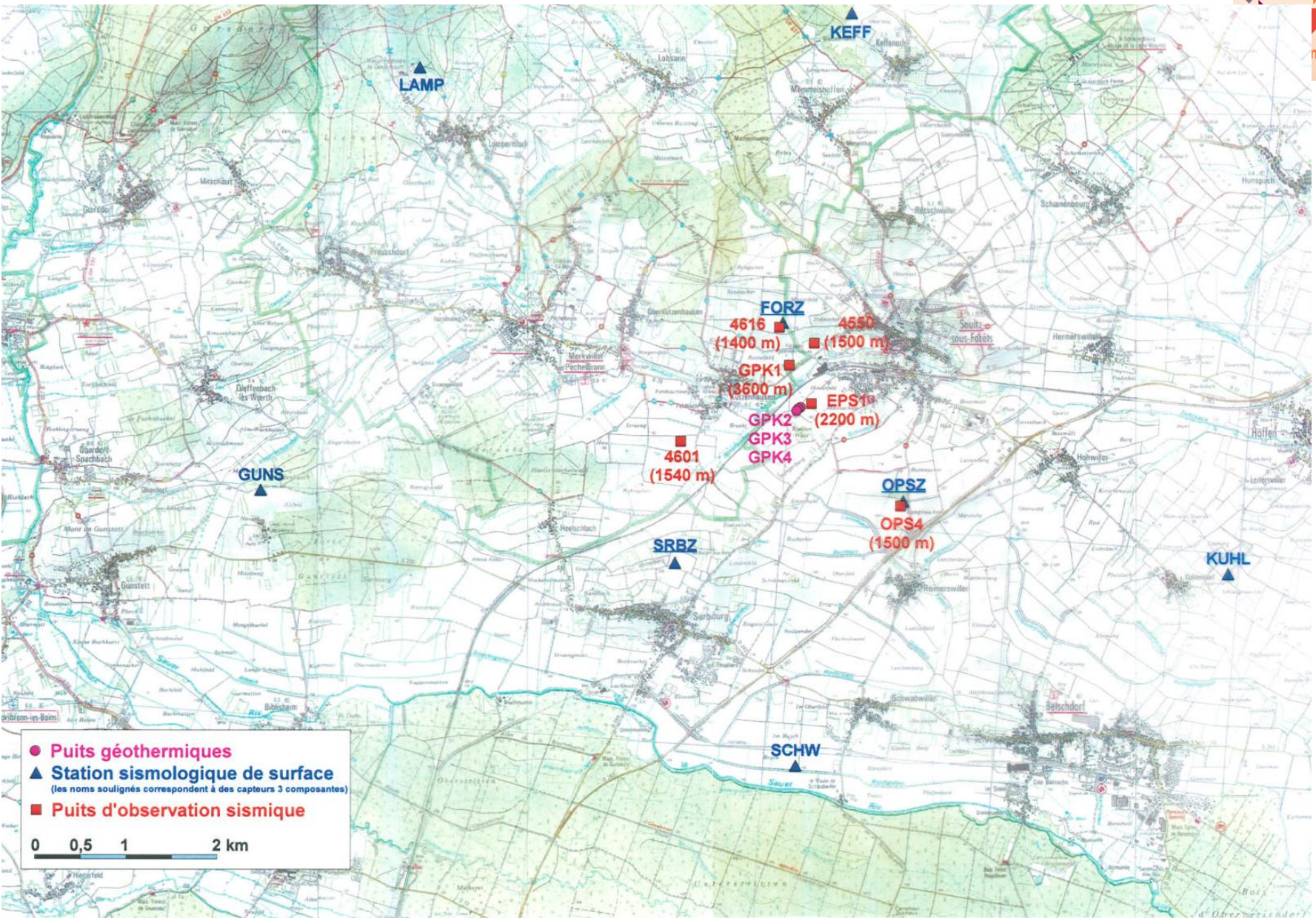
## Causes:

- Interactions hydromécaniques entre circulation de fluide, réseau de fractures et champ de contrainte local → accommodation par microséismes

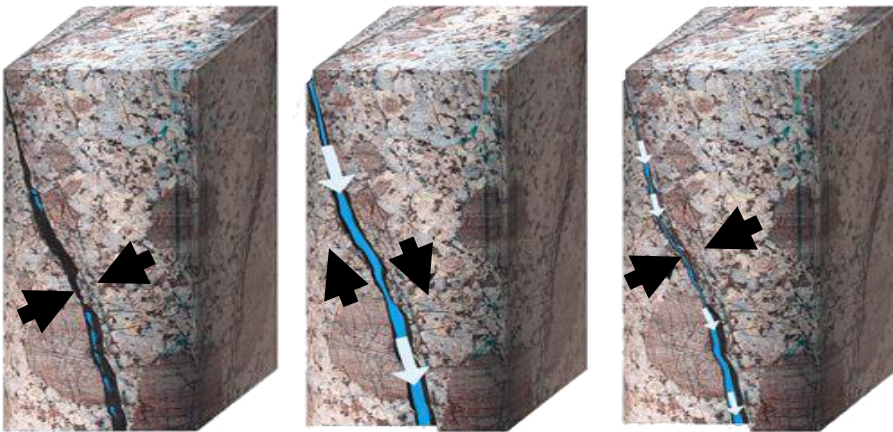
## Observations:

- *Stimulation hydraulique*: activité intense (plusieurs dizaines d'événements / heure), possibilité de séismes ressentis
- *Stimulation chimique*: activité modérée, pas de séismes ressentis jusqu'à présent
- *Circulation (conditions d'exploitation)*: activité modérée à faible, possibilité de séismes ressentis

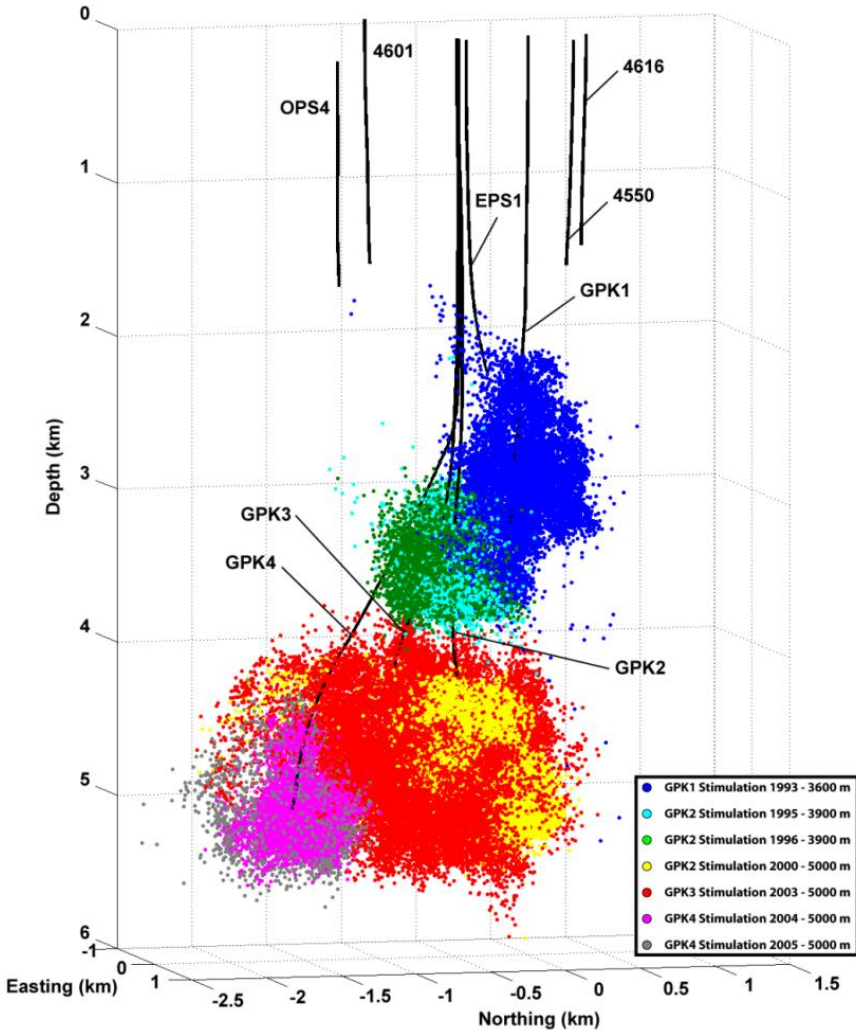
# Sismicité induite – Réseaux sismiques actuels



# Sismicité induite – Stimulations hydrauliques



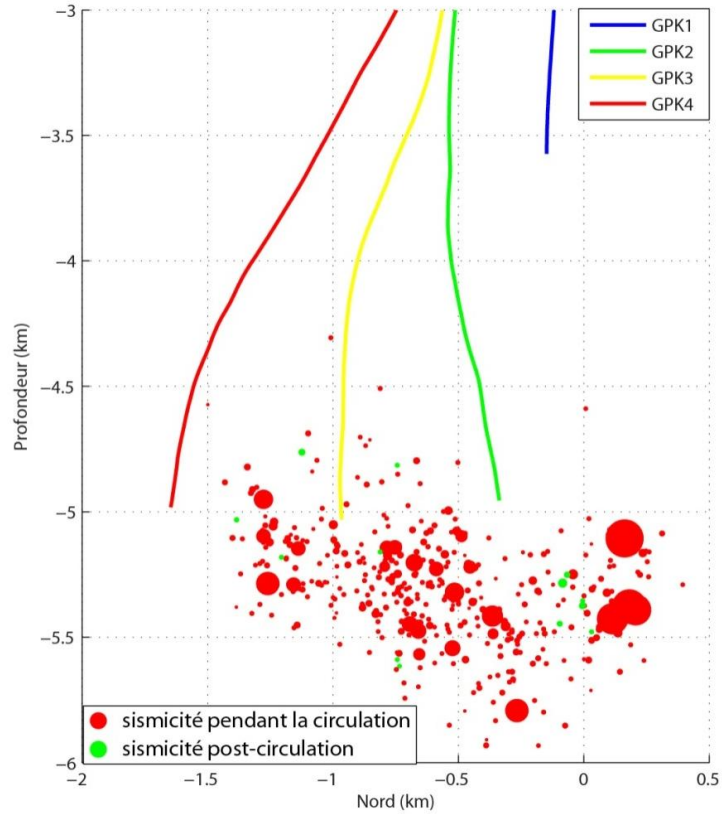
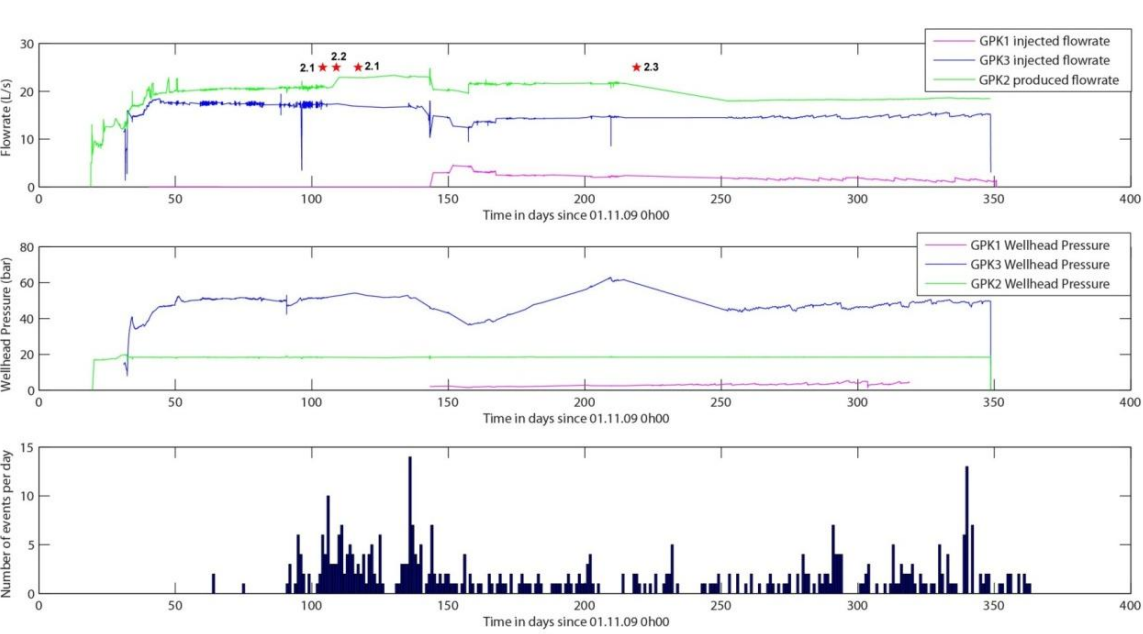
- Plusieurs milliers de microséismes pour chaque stimulation
- Magnitudes:  $-2 \leq M \leq 2.9$
- Plusieurs séismes ressentis
- Magnitudes maximales:
  - GPK2 (2000): 2.6
  - GPK3 (2003): **2.9**, 2.7
  - GPK4 (2004): 2.0
  - GPK4 (2005): 2.6



# Sismicité induite – Circulation (exemple 2010)



Circulation 2010 : 11 mois, production: GPK2, réinjection: GPK3, GPK1



- ~400 microséismes enregistrés
- 4 séismes de magnitude > 2 (non ressentis)

# Sismicité induite – Conséquences pour la population



- nombreux appels téléphoniques (plaintes ou demande d'informations)
- plaintes auprès des autorités locales (individuels ou associations)
- articles dans des journaux locaux
- environ 70 plaintes pour dommages présumés sur des habitations, ayant donné lieu à des expertises de la part des compagnies d'assurance
  - 10 plaintes liées au séisme du 10/07/2000 de magnitude 2,6
  - 48 plaintes liées au séisme du 11/06/2003 de magnitude 2,9
- risque de forte opposition au projet à long terme

Soultz-sous-Forêts

DNA 12/06/03

## Géothermie: la secousse qui inquiète la population

●●● Nombre d'habitants de la large région de Soultz-sous-Forêts, ont été réveillés en sursaut dans la nuit de mardi à mercredi. Peu avant 1 h, il y a eu une violente secousse, perceptible jusqu'à Haguenau. Une conséquence des essais géothermiques.

SOULTZ-SOUS-FORETS

## La géothermie préoccupe les maires

●●● Suite aux secousses qui se sont succédé récemment dans les environs du site géothermique de Soultz-Kutzenhausen (voir en pages régionales des DNA du 12 juin), les maires du canton de Soultz ont bousculé leur programme pour mettre à l'ordre du jour de leur réunion ce thème d'actualité qui préoccupe une partie de la population depuis quelques jours.

Pour répondre aux questions des élus et dissiper leurs inquiétudes, André Gérard et Pascal Vix, deux des responsables du Grou-

pement d'Intérêt économique «Exploitation minière de la chaleur» présents dans la salle étaient accompagnés de deux experts en sismologie, en l'occurrence Catherine et Louis Dorbath, du Bureau central sismologique français situé à Strasbourg.

Après les explications d'André Gérard, quant à la nature des opérations pratiquées pour élargir les fractures contenues dans le granit à 5000 mètres de profondeur et de leurs conséquences, à savoir des déplacements de roches à peine de l'ordre du millimètre, mais aux effets pour le moins impressionnants, les sismologues ont réitéré leurs propos qui se voulaient rassurants à propos de dégâts éventuels provoqués par ces phéno-

mènes: «Pour des secousses inférieures à une magnitude de 3,5 sur l'échelle de Richter, nous ne faisons même pas d'enquête, elles n'ont aucune incidence sur les bâtiments». Or la secousse enregistrée l'autre nuit n'était que de 2,9.

Toutefois, pour les gens qui estiment avoir subi un préjudice causé par ces tremblements répétés, M. Gérard ajoute: «Ces derniers sont invités à signaler les dégâts. Des experts envoyés par l'assurance se rendront sur place pour constater les faits.» Une visite prochaine sur le site de la géothermie a été demandée par certains élus; elle leur permettra d'en savoir davantage sur le sujet.

# Sismicité induite – Actions / Acceptabilité

## Scientifique : meilleure compréhension du phénomène de sismicité induite

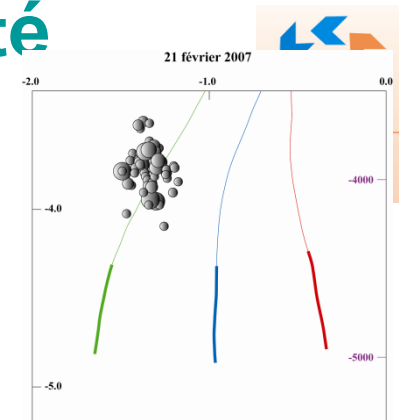
- Utilisation des données sismologiques pour recherches (universités, instituts, groupes de travail)
- Participation à des projets, conférences ou ateliers internationaux dédiés à l'étude de la sismicité induite

## Technique: mesures mises en œuvre pour réduire l'activité microsismique

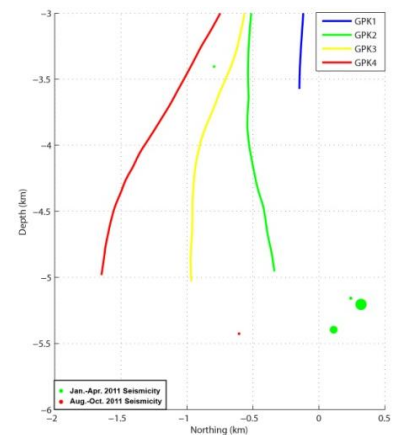
- Stimulations chimiques : activité modérée, pas de séisme ressenti
- Circulations: partage de la réinjection entre plusieurs puits (réduction de la pression d'injection): **400** séismes en 2010, **5** en 2011

## Communication: information du public sur le projet et la sismicité induite

- ~2000 visiteurs/an (associations, élus, étudiants, population locale)
- Avant stimulation, lettre d'information envoyée à la population locale + réunions publiques
- Nouveau site web: [www.geothermie-soultz.fr](http://www.geothermie-soultz.fr)



*Stimulation chimique (Dorbath, 2007)*



*Circulation 2011*





# Radioactivité naturelle - Origine et en surface

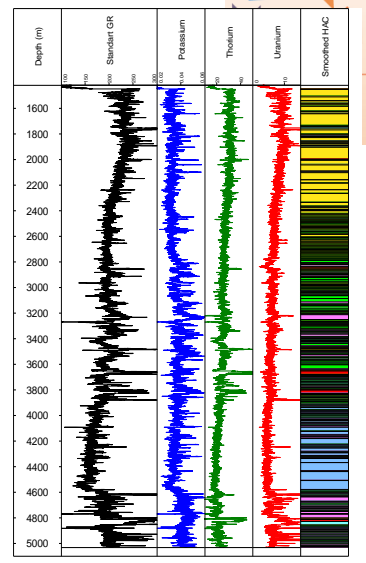


## Origine:

- Roche contenant naturellement des radionucléides
- Diagraphies nucléaires (gamma-ray spectral, U, Th, K) utilisées pour caractériser variations de pétrographie et fractures

## En surface:

- Circulation d'eau géothermale : lessivage des radioéléments
- Eau géothermale légèrement radioactive, mais en deçà des normes pour l'eau potable (Surbeck, 2005)
- Présence de radon dans les gaz (dégazeurs à l'air libre → pas de danger)
- Processus le plus problématique : piégeage des radioéléments dans dépôts



Diagraphies nucléaires



### **Dépôts principaux :**

Barytine ( $BaSO_4$ )  
Célestite ( $SrSO_4$ )  
Barito-Célestite



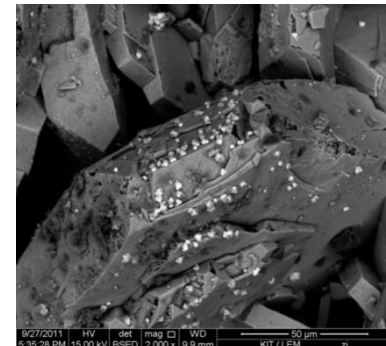
### **Processus de piégeage:**

Substitution de Ba ou Sr par Ra (Radium) car rayon atomique similaire

Galène ( $PbS$ )



$Pb^{210}$ , isotope radioactif du Plomb



Dépôts (canalisation et MEB)

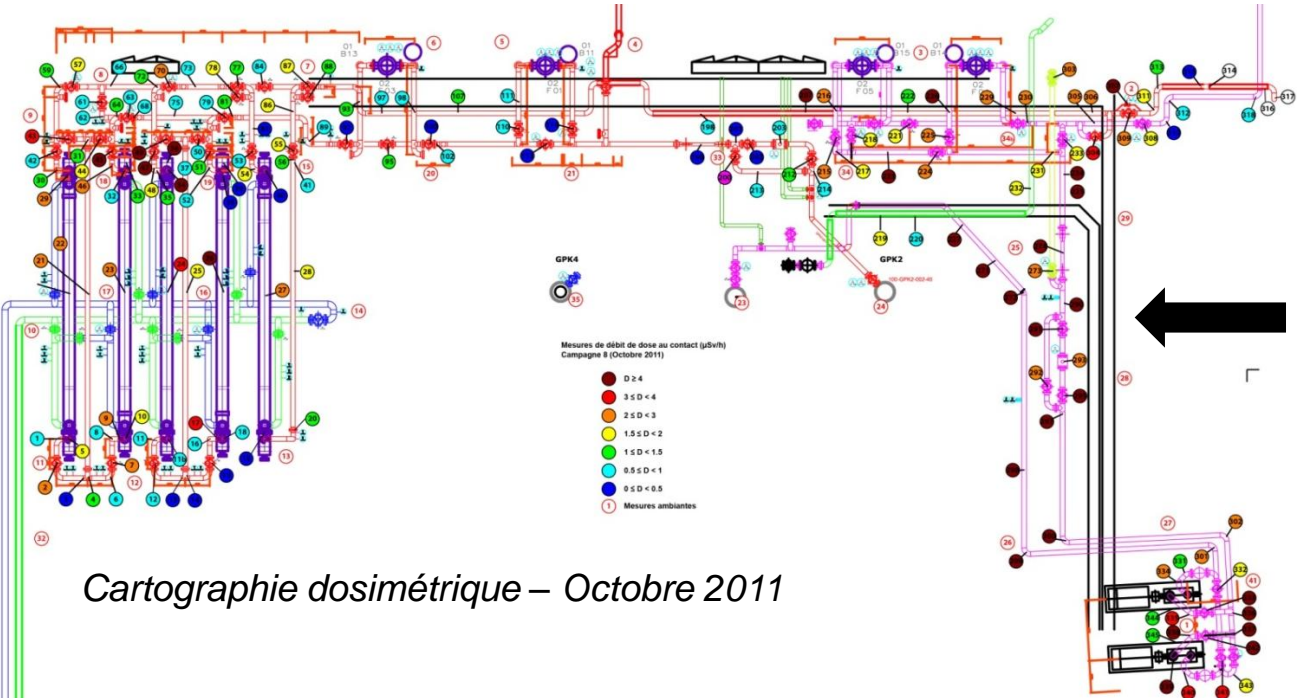
# Radioactivité naturelle - Mesures et suivi



- Suivi de la radioactivité nécessaire et demandé par l'ASN (Autorité de Sureté Nucléaire) pour adopter des mesures de radioprotection
- Mesure de « débits de dose », unité référence pour la réglementation en matière de radioprotection (1mSv par an) à l'aide d'un radiamètre
- Deux types de mesures dosimétriques:
  - Mesures « au contact » : cartographie des installations
  - Mesures « ambiantes » : radioprotection
- Valeurs de débit de dose faibles



Radiamètre



Cartographie dosimétrique – Octobre 2011

Valeurs les plus élevées sur ligne de réinjection → conditions P, T favorables à la formation de dépôts



# Radioactivité naturelle - Radioprotection

## Mesures de radioprotection pour les salariés et le public:

- PCR (Personne Compétente en Radioactivité) dans l'établissement: mise en œuvre des mesures de radioprotection
- Définition d'une zone surveillée (marquage bleu) autour des installations de la centrale (accès interdit pour le public)
- Port obligatoire d'EPI spécifiques pour les salariés si intervention sur canalisations, filtres, échangeurs
- Suivi dosimétrique personnalisé des salariés en liaison avec la médecine du travail
- Stockage des déchets (résidus de filtres) en zone contrôlée (marquage vert) avant enlèvement par l'ANDRA



*Zone contrôlée*



*EPI*

## Moyens de prévention de la radioactivité:

- Mise en place d'un programme de recherche sur l'identification d'inhibiteurs de dépôts
- Essais de différents produits en laboratoire déjà réalisés
- Tests in situ prochainement: Injection et suivi d'inhibiteur de dépôts en conditions opérationnelles



*Dosimètres personnels*

# Conclusions



## Projet de Sultz-sous-Forêts:

- Forte contribution à la démonstration du potentiel géothermique du Fossé Rhénan et aux moyens de l'exploiter
- Exploitation en cours et site de formation, recherche et expérimentation pour de futurs développements

## Impacts environnementaux existants mais faibles:

- En dehors de sismicité et radioactivité, pas d'impacts significatifs observés à ce jour
- Problème de sismicité induite de mieux en mieux appréhendé (meilleure connaissance des mécanismes et des moyens techniques de limitation) → **Pas de problèmes réels depuis presque 10 ans**
- Radioactivité de faible niveau et limitée spatialement, suivi régulier des installations et des salariés en liaison avec l'ASN et la médecine du travail, solutions préventives en cours d'étude → **Pas de problèmes à ce jour**

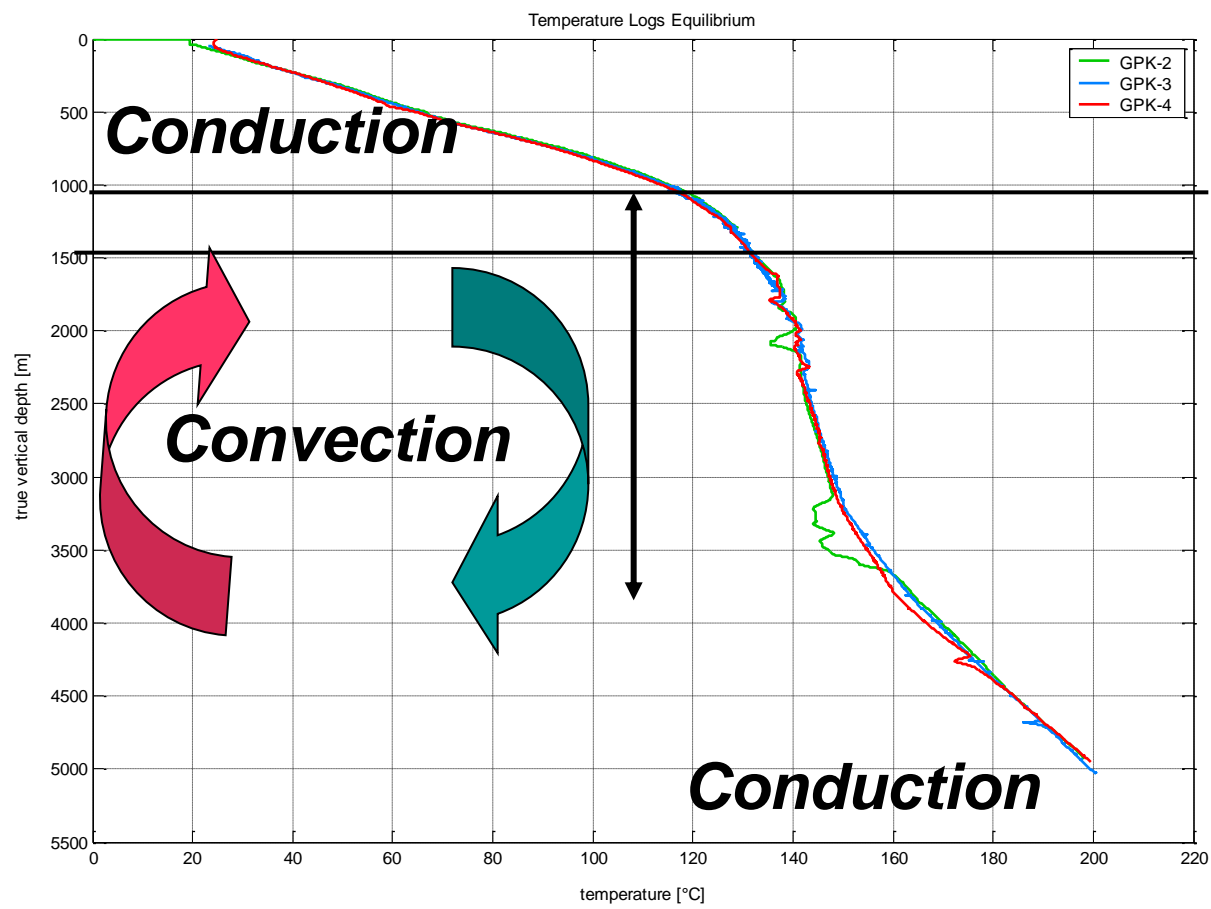
## Acceptabilité:

- Efforts importants sur la **communication** et la **transparence**
- Soutien à **formation** et **recherche** (partenariat avec LABEX G-Eau-Thermie, porté par EOST et ES)

# Le site de Soultz-sous-Forêts – Situation et conditions géothermales



## Gradient géothermique:

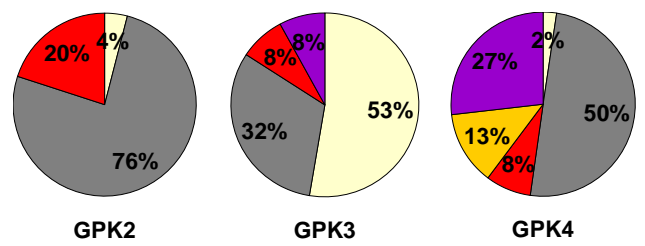
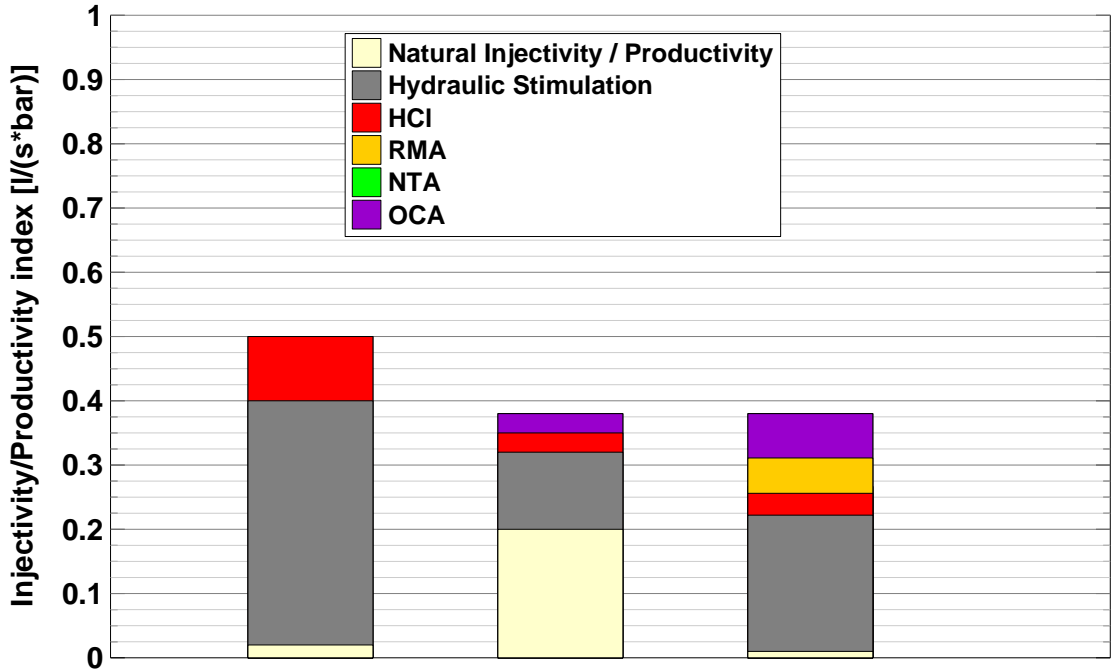


# Le site de Soultz-sous-Forêts – Développement du réservoir



## Stimulation hydraulique et chimique:

- Perméabilité initiale faible → pas exploitable commercialement → nécessité de développer le réservoir → concept géothermie EGS
- Stimulation hydraulique → injection à fort débit pour « rouvrir » les fractures colmatées → augmentation de perméabilité, connexion des puits au réservoir
- Stimulation chimique → injection d'eau + agent chimique pour dissoudre les dépôts colmatant les fractures



Efficacité des stimulations, Nami et al., 2008