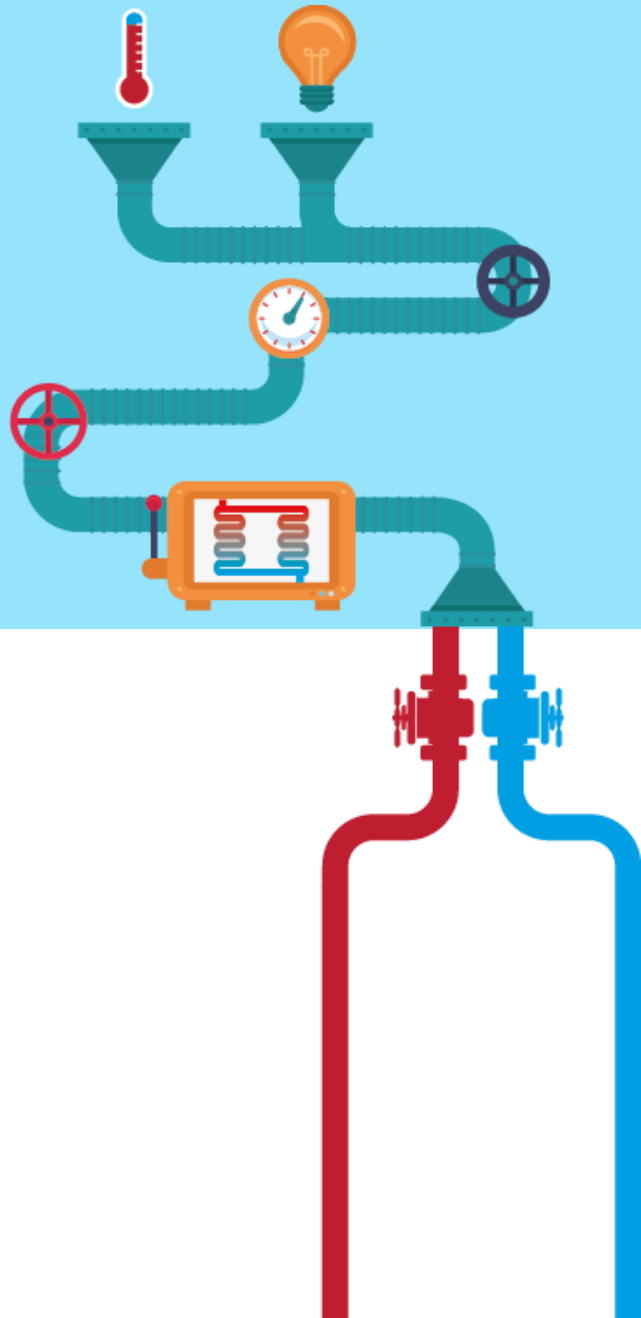


# Exemple en géothermie profonde

La centrale de Soultz

La centrale de Rittershoffen



4 mai 2023

ATEE



Eléonore Dalmais, ES-Géothermie  
Représentante AFPG Grand-Est



# Plan

- Présentation d'ES-Géothermie
- Généralités sur la géothermie profonde dans le Fossé rhénan
- La centrale de Soultz-sous-Forêts (électricité)
- La centrale de Rittershoffen (chaleur industrielle)

# **RAPIDE PRÉSENTATION D'ES-GÉOTHERMIE**

# Electricité de Strasbourg

**es** est une Filiale à 88 % de 

## Chiffres clés 2021

- Plus de **1 300** collaborateurs
- **550 000** clients électricité
- **110 000** clients gaz
- **1 700** clients chaleur (BtoB)
- Chiffre d'affaires : **871 M€**
- Résultat net courant : **60 M€**

Energéticien alsacien depuis **plus de 120 ans**,  
ES est la **1ère ELD française**



## MAISON MERE ET FONCTIONS TRANSVERSES

Électricité de Strasbourg

**STRASBOURG  
ELECTRICITE  
RESEAUX**

**DISTRIBUTION  
D'ELECTRICITE**

Strasbourg Électricité Réseaux

**es**

**FOURNITURE  
D'ENERGIES**

ÉS Énergies Strasbourg

Les **services  
énergétiques** **es**

**SERVICES  
ENERGETIQUES**

ÉS Services Énergétiques

**es**

**ENERGIES  
RENOUVELABLES**

ÉS Biomasse  
ÉCOGI  
GEIE Sultz  
ÉS Développement Durable  
ÉS Géothermie

**es**  
és géothermie

# ES-Géothermie

Bureau d'études & exploitant en géothermie profonde

Concept

Exploration  
de surface

Forage  
exploratoire

Boucle  
géothermale

Construction  
de surface

Exploitation

Remise en  
état du site

Intervention sur l'ensemble du cycle de vie  
d'une centrale de géothermie profonde

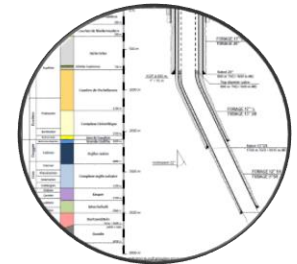
- Conseil et expertise
- Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
- Maîtrise d'œuvre
- Opérations

R&D  
Formation



Promotion et  
Développement  
de la filière

Etudes  
industrielles



Activités  
opérationnelles

Dossiers  
réglementaires



# ESG est l'opérateur de 2 centrales géothermiques en Alsace

## Soultz-sous-Forêts

- Production d'électricité
- 1,7 MWe
- 3 forages profonds @ 5000 m
- $Q > 30 \text{ L/s}$   $T > 150^\circ \text{ C}$
- 12 GWh d'électricité par an
- Économie de 7 000 t de  $\text{CO}_2$



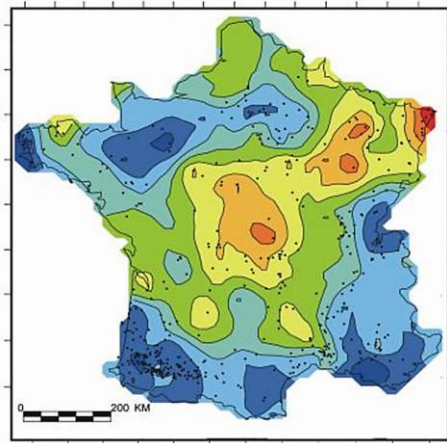
## Rittershoffen

- Production de chaleur industrielle
- 24 MWth de chaleur
- 2 puits profonds @ 2 600m
- $Q > 70 \text{ L/s}$   $T > 168^\circ \text{ C}$
- 190 GWh d'énergie par an
- Économie de 40 000 t de  $\text{CO}_2$

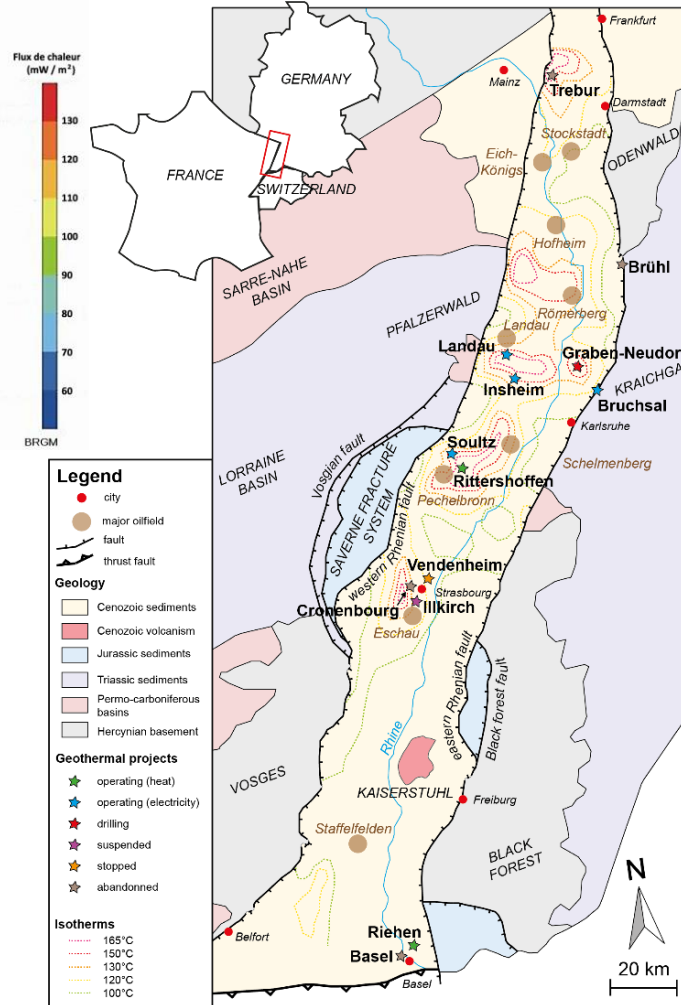


# **GÉNÉRALITÉS SUR LA GÉOTHERMIE PROFONDE DANS LE FOSSÉ RHÉNAN**

# Pourquoi le Fossé rhénan?



Flux de chaleur



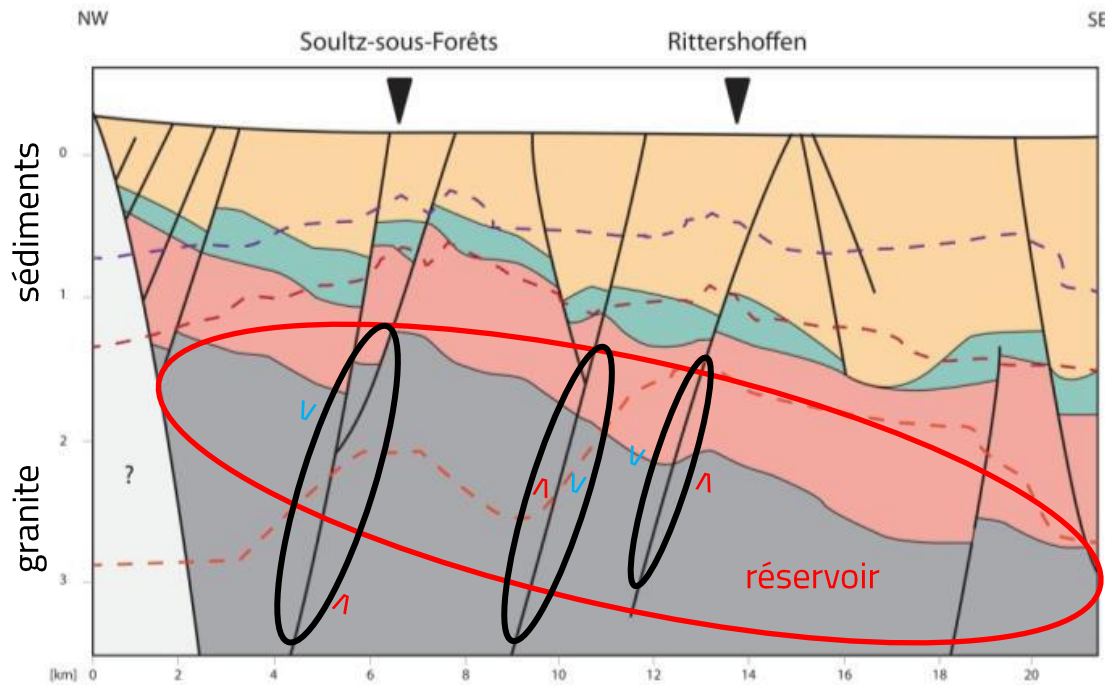
Modifié d'après Glaas, 2021

- Le Fossé rhénan supérieur appartient au système de rift ouest-européen
- Anomalies thermiques connues avec un gradient thermique jusqu'à  $100^{\circ}\text{C}/\text{km}$
- Développement de la technologie « Enhanced Geothermal System » sur le projet de Soultz-sous-Forêts, dans le socle granitique profond (5 km)
- Nouvelles centrales développées sur la base de ces connaissances, qui visent l'interface entre les sédiments et le socle fracturés (moins profond)

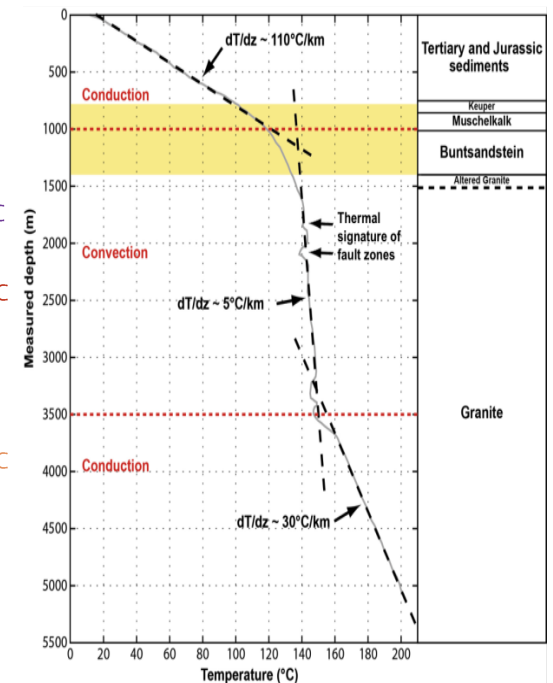


# Convection dans le réservoir fracturé

## Roches naturellement fracturées et altérées



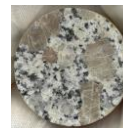
Profil de température sur le puits GPK-2 (Soulz-sous-Forêts)



Grès

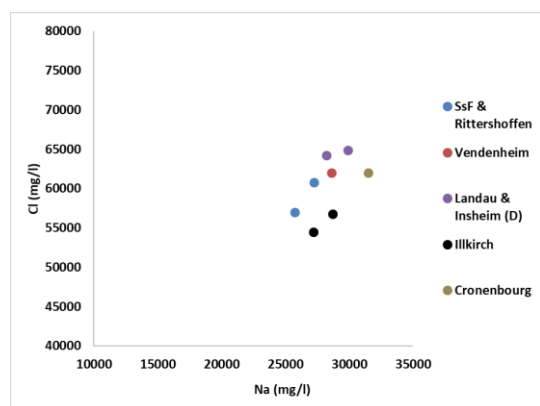


Granite

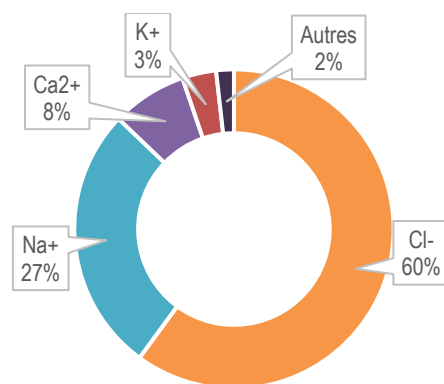


# L'eau géothermale

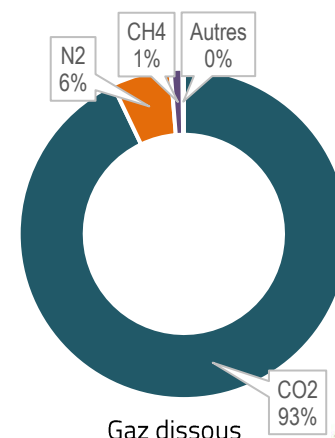
- Salinité ~100g/L, pH ~ 5.0
- Saumure Na-Ca-Cl, avec une importante concentration de K
- Composition homogène dans le Fossé rhénan
- Gas-Liquid Ratio 1 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, essentiellement du CO<sub>2</sub>, maintenu dissous (sous pression)
- Li concentration ~170 mg/L
- Température > 150°C



Bosia et al, 2021

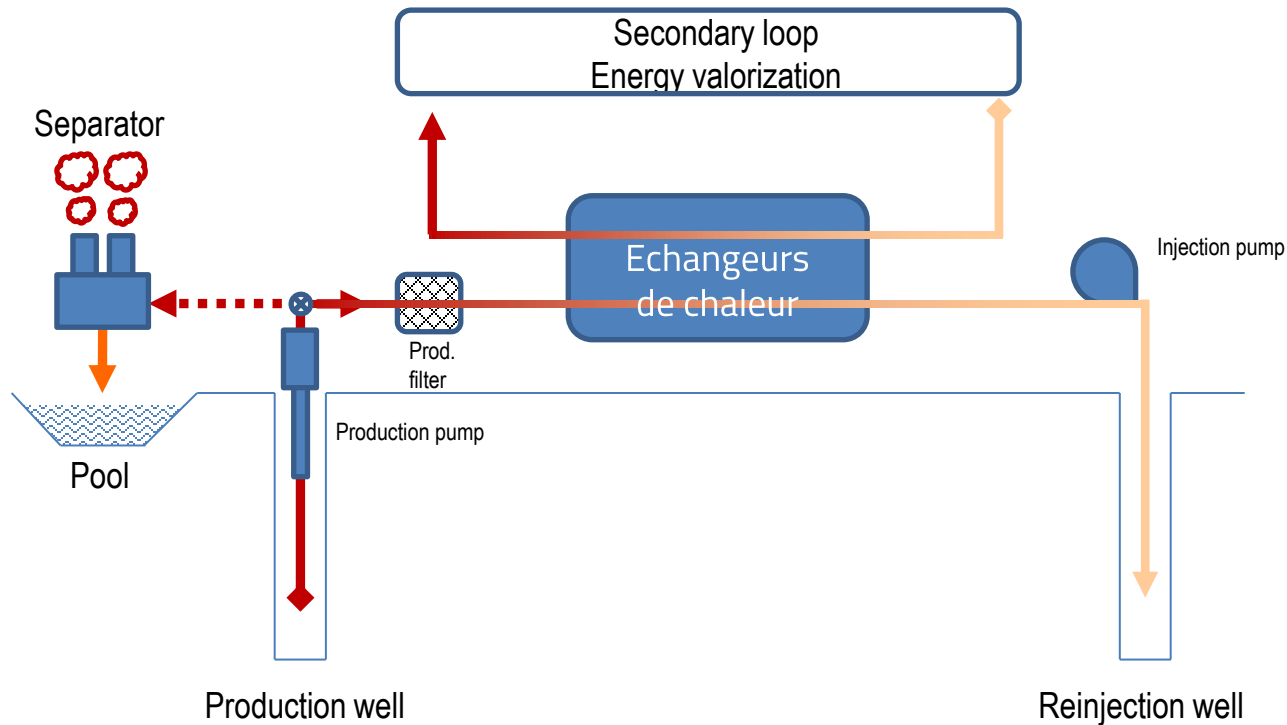


Éléments majeurs



Gaz dissous

# Boucle géothermale



Utilisation de la chaleur (boucle secondaire)

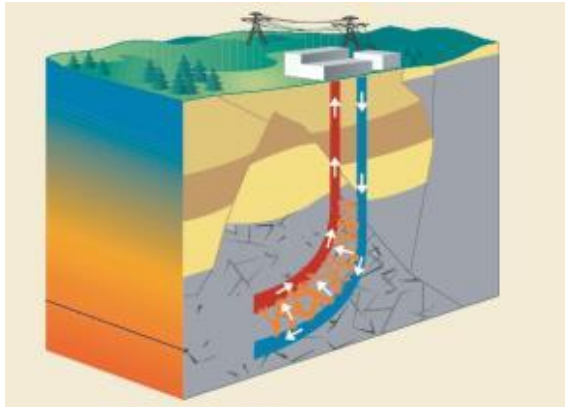
- ➔ • Production d'électricité (SsF)
- ➔ • Fourniture de chaleur haute température (Rittershoffen)
- Coproduction électricité et chaleur (projet Illkirch)



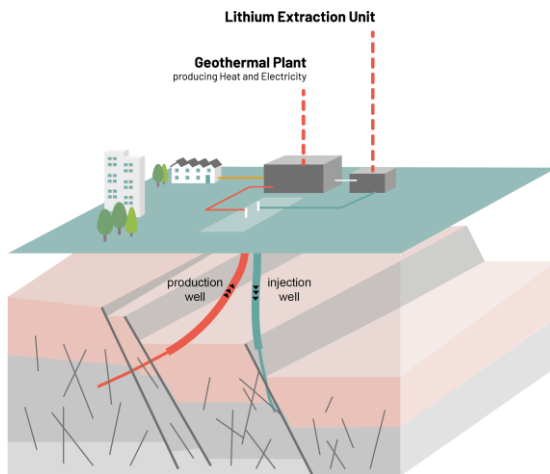
# LA CENTRALE DE SOULTZ-SOUS-FORETS

Le pilote scientifique européen pour la technologie EGS

# L'évolution du concept géothermique de Soultz



- HDR
  - Hot Dry Rock
  - Exploitation de la chaleur des roches dures profondes
  - Haute température à très grande profondeur
  - Indépendante de la localisation (et de la géologie !)
  - Echangeur de chaleur créé artificiellement en profondeur



- EGS
  - Enhanced / Engineered Geothermal System
  - Eau géothermale qui circule dans un réservoir
  - Granite naturellement altéré et fracturé
  - Amélioration de la connexion du puits au réservoir par stimulation
  - Circulation de l'eau amplifiée pendant l'exploitation (pompe de production)

# Historique de la centrale de SsF

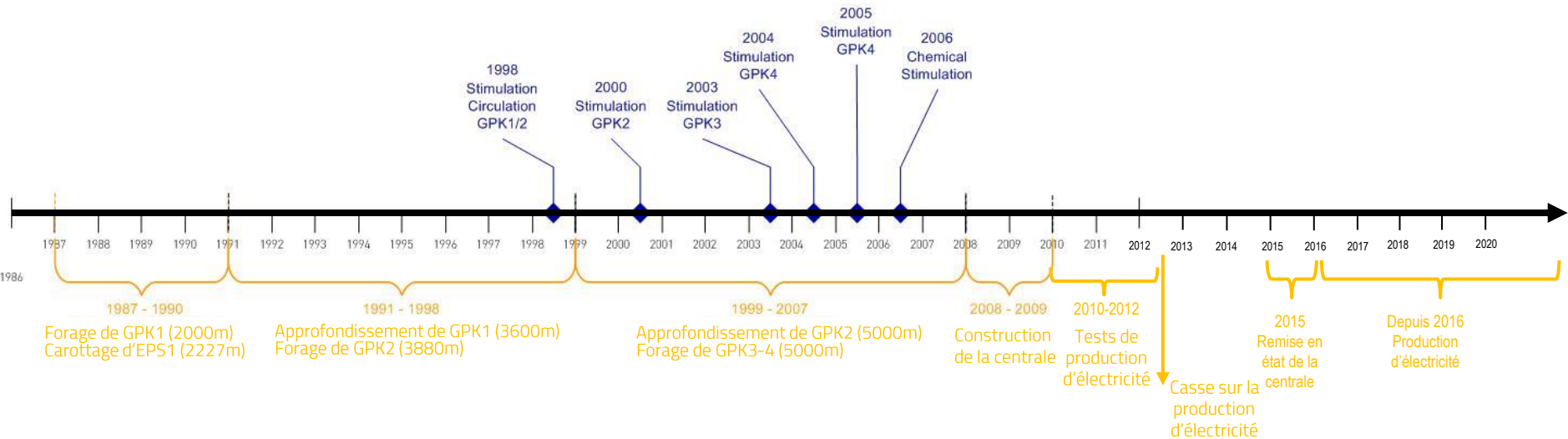
Exploration

Développement d'un réservoir à 3600m

Développement d'un réservoir à 5000m

Mise au point de la production d'électricité

Production d'électricité industrielle



Pilote scientifique européen : 1987 – 2012

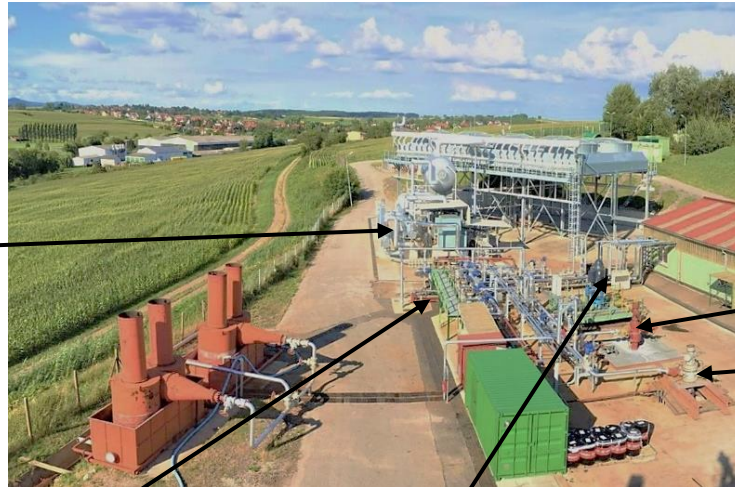
Industrialisation de la production d'électricité : depuis 2015

- 3 forages profonds @ 5000 m (1 producteur, 2 injecteurs)
- Débit > 30L/s ; T > 150° C
- 1,7 MWe
- 12 GWh d'électricité par an
- Économie de 7 000 t de CO<sub>2</sub>

# Boucle géothermale



Echangeurs de chaleur  
(preheaters and evaporator)



Séparateurs



Puits d'injection  
(GPK3 et GPK4)



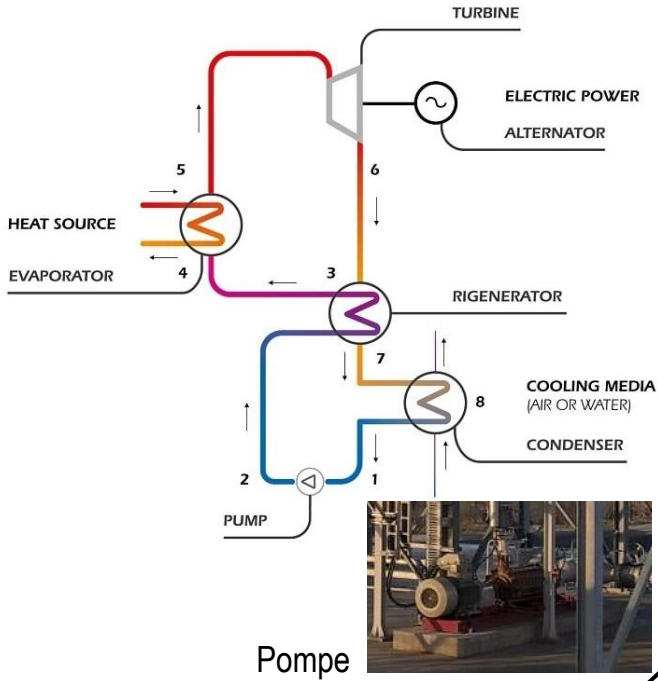
Filtres de production



Puits de production (GPK2) avec une  
pompe à arbre long

# Production d'électricité

Utilisation d'un cycle organique de Rankine  
Fluide secondaire : isobutane



Aérocondenseurs



Turbine



Alternateur



Régénérateur

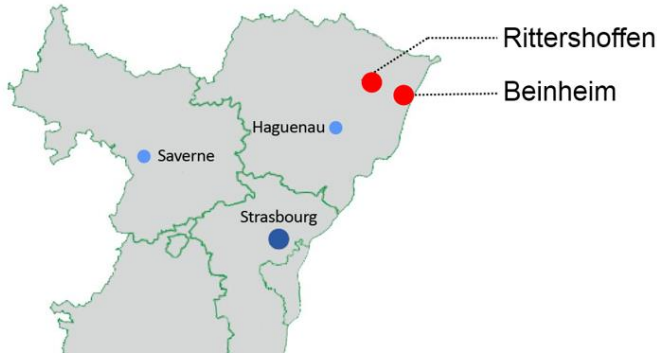
és géothermie





# LA CENTRALE DE RITTERSHOFFEN

# Vue d'ensemble du projet



## Client: bio-raffinerie Roquettes Freres (Beinheim)

- Un acteur de classe internationale dans la fabrication d'amidon
- Engagé dans la chimie verte
- Besoins en énergie du site de Beinheim : ~ 100MWth
- Projet géothermique: couvre 25% du besoin en énergie

## Les données du projet géothermique (Rittershoffen)

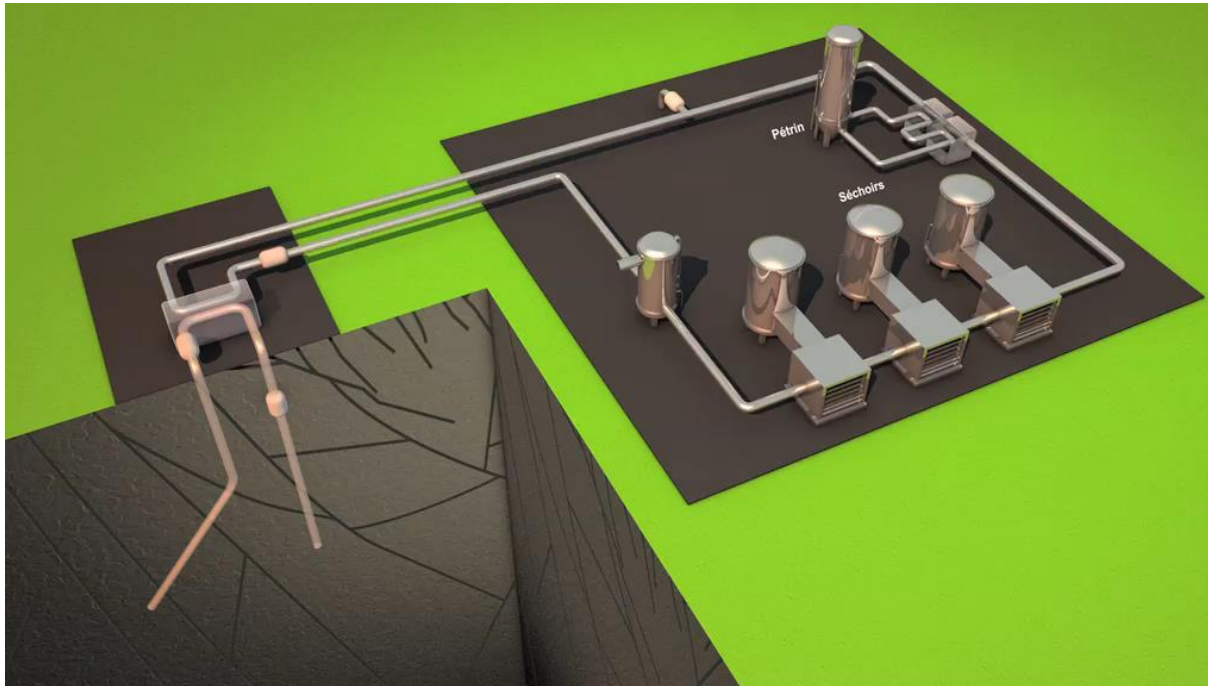
- 2 puits 2500 - 3000m de profondeur
- Température 170°C
- Débit > 80 L/s
- Puissance thermique 24 MW
- Taux de disponibilité > 95%
- 190 GWh d'énergie par an
- 40 000 tCO<sub>2</sub>eq évités /an



## Canalisation de transport de la chaleur

- 15 km de conduites entre Rittershoffen (site de production) et Beinheim (site industriel)

# Principe de fonctionnement



- Doublet géothermique : un puits producteur et un puits injecteur
- Des échangeurs : la chaleur est transmise à un fluide secondaire (eau douce)
- Cette eau circule en boucle entre la centrale de géothermie et l'usine Roquette
- Valorisation de la chaleur en cascade à l'usine Roquette

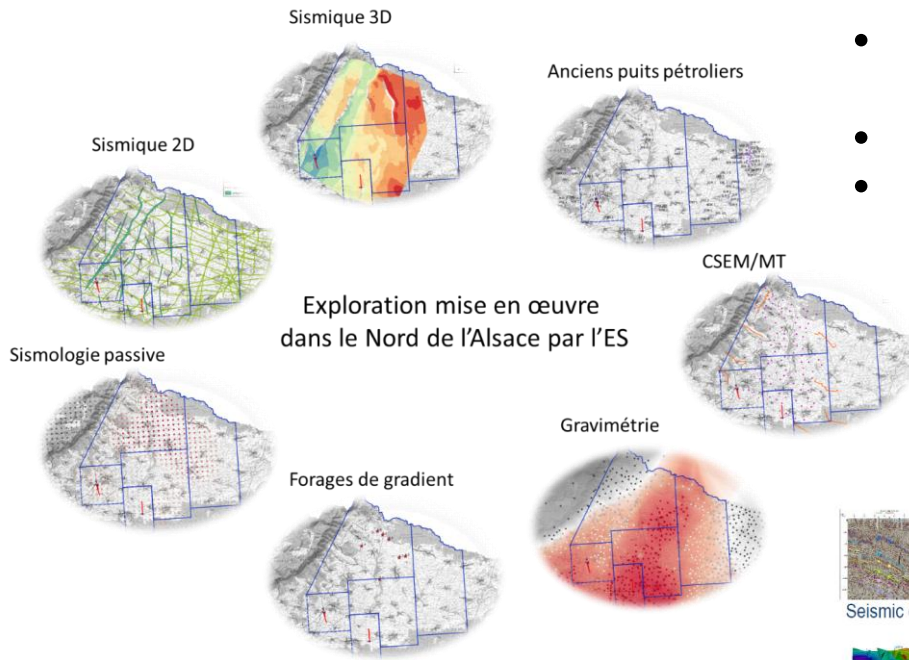
# Historique de la centrale de Rittershoffen



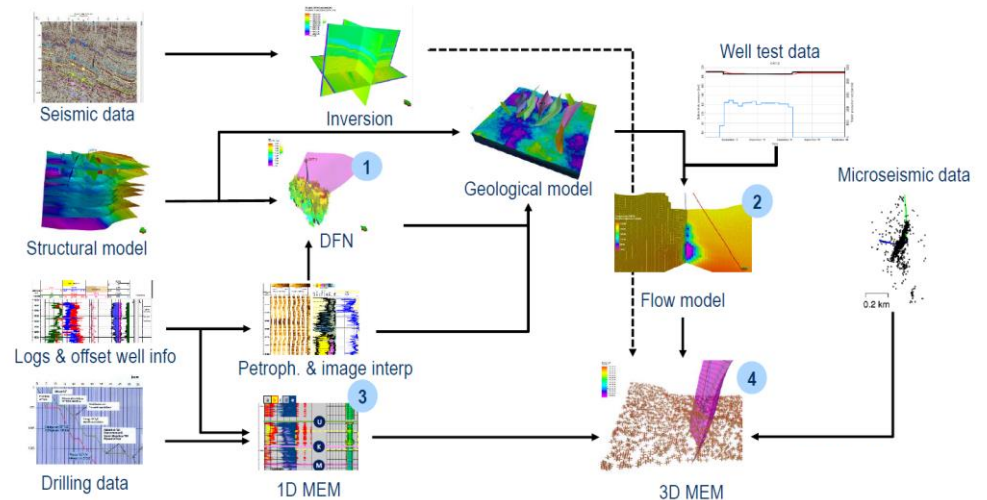
La centrale est détenue par ÉS (40%), Roquette Frères (40%) et la Caisse des dépôts (20%)  
57M€ ont été investis pour sa mise en œuvre (étude, forages, centrale, canalisation, usine)  
Elle a bénéficié de 25M€ du Fonds Chaleur de l'Ademe



# Exploration du sous-sol



- Etudes de données historiques (forage et sismique pétrolières)
- Acquisitions géophysiques
- Modélisation géologique
  - Identification de la ressource et ciblage des puits
  - Probabilité de succès des puits (débit & température)
  - Simulation de la production de chaleur



# Les forages

ÉCOGI

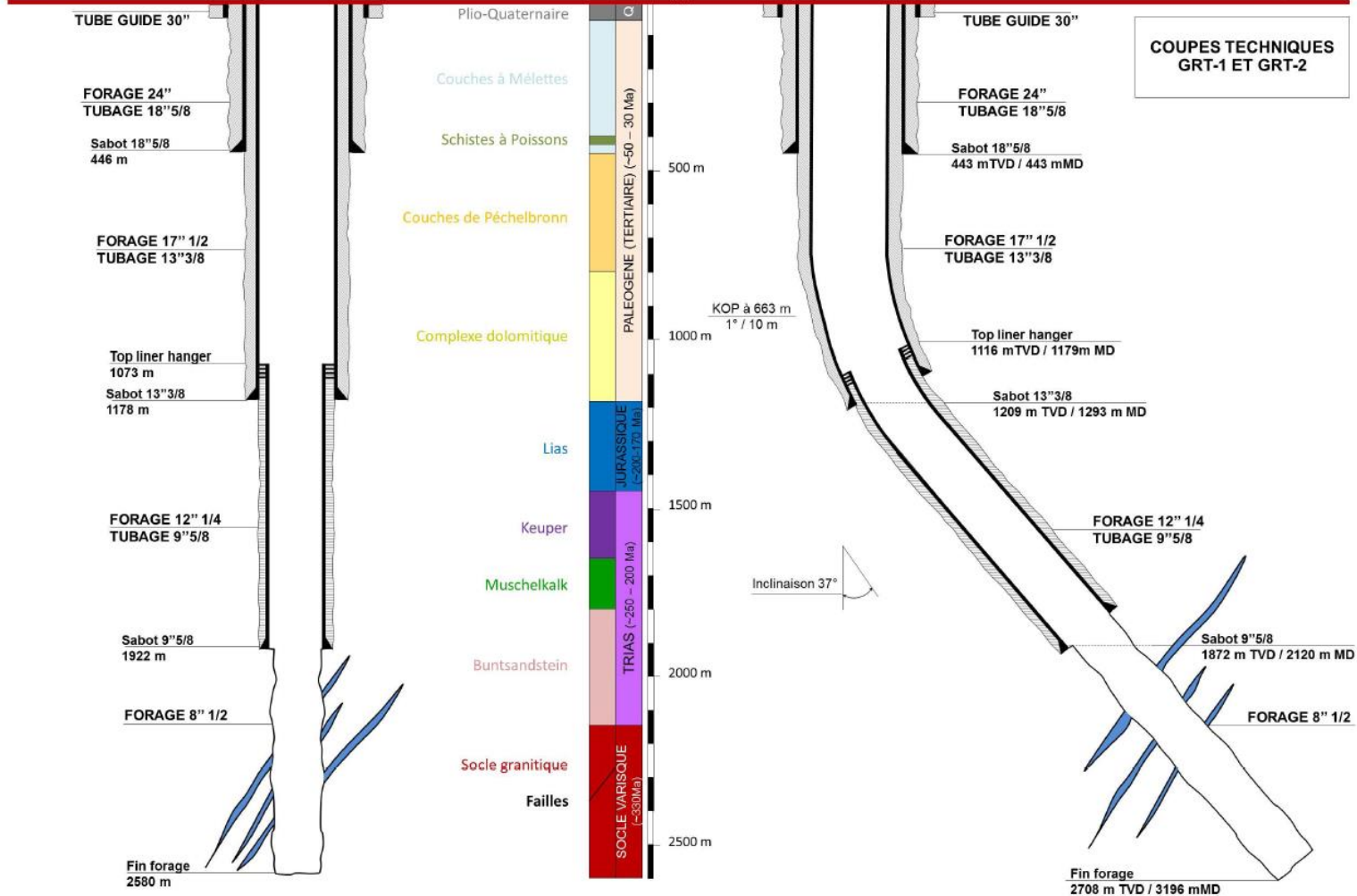
GRT-1.

8 m

0 m

GRT-2

esg  
és géothermie



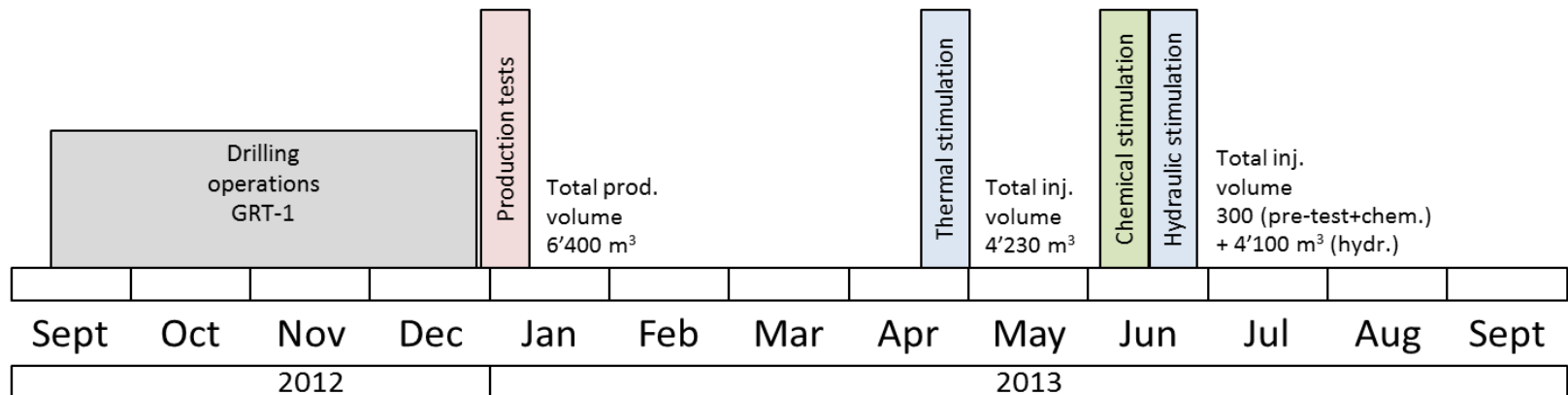
# GRT-1 Essais hydrauliques et développement du puits

## Essais hydraulique GRT-1

- Productivité initiale faible ( $< 0,5\text{L/s/bar}$ )
- Injectivité initiale faible
- Le seuil économique n'est pas atteint

## Développement du puits GRT-1

- Stimulation thermique
- Stimulation chimique
- Stimulation hydraulique



*Baujard et al 2017 Geothermics*

## Résultats

Pas de sismicité ressentie

Très bons résultats du développement du puits

Multiplication par 5 de l'injectivité de GRT-1

Seuil de viabilité économique atteint -> planification GRT-2 actée

# Suivi sismologique



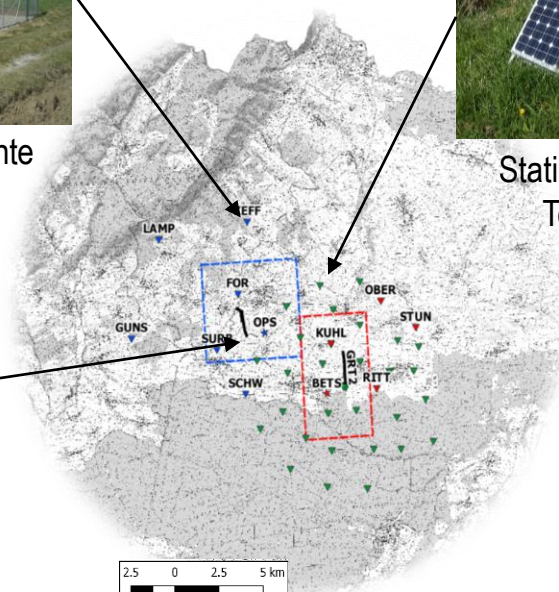
Station permanente temps-réel



Station temporaire Temps-réel



Antenne GPS



- En milieu fracturé, la géothermie profonde est susceptible d'induire des vibrations du sol
- Réseau de stations sismologiques en temps réel
- Aucun séisme ressenti sur les 2 centrales d'ÉS depuis le début de l'exploitation en 2016

Seuil géothermie ▼     
 Tirs de carrière     
 SNCF BTP ▼▼▼     
 Norme Eurocode 8 (maison) ▼

<b>Magnitude</b>	< 2	2,0 à 2,9	3,0 à 3,9	4,0 à 4,9	5,0 à 5,9	6,0 à 6,9
<b>PGV (mm/s)</b>	< 1	1 à 11	11 à 34	34 à 81	81 à 160	160 à 310
<b>Dommages potentiels</b>	Néant	Néant	Néant	Très légers	Légers	Modérés
<b>Vibration perçue</b>	Non ressentie	Faible	Légère	Modérée	Forte	Très forte



# Boucle géothermale

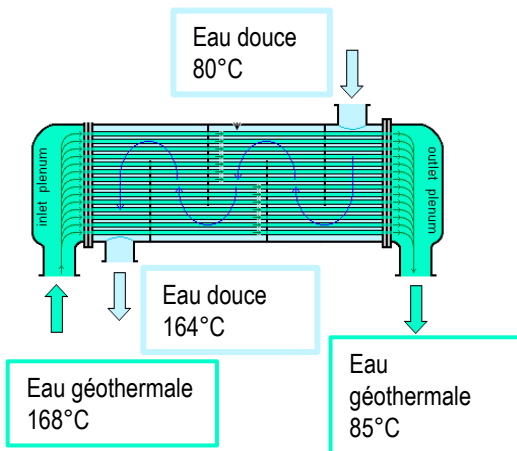


Echangeurs de chaleur



Puits d'injection

Puits et pompe de production



# Boucle de transport de chaleur



Une boucle de 15 km entre la centrale de Rittershoffen et l'usine à Beenheim

- une forêt (Natura 2000)
- une voie ferrée
- une autoroute
- six routes départementales
- deux cours d'eau
- sept gazoducs
- un oléoduc



Aller haute T°C  
Double enveloppe  
Pertes thermiques  
< 4°C/15 km

Vide et laine de roche  
Détection des fuites



Retour basse T°C  
Simple enveloppe  
Pertes thermiques  
1,5°C/15 km

Tube pré-isolé  
Détection des fuites



# Impact CO<sub>2</sub>

- Depuis 2016, la centrale a produit 1000 GWh de chaleur (190 GWh/an)
- Analyse du Cycle de Vie : de l'exploration jusqu'à la déconstruction
  - <5 gCO<sub>2</sub>/kWh
  - Gaz : 250 gCO<sub>2</sub>eq/kWh
  - Réduction de 40 000 tCO<sub>2</sub>eq/ an



# Conclusion

**Depuis sa mise en fonctionnement en 2016, la centrale de Ritterhoffen**

- Fonctionne 24h/24 7j/7
- Taux de disponibilité ~95%
- Chaleur fournie > 1 000 GWh
- CO<sub>2</sub> évité > 250 000 tCO<sub>2eq</sub>
- Aucun événement sismique ressenti



Des questions ?

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**