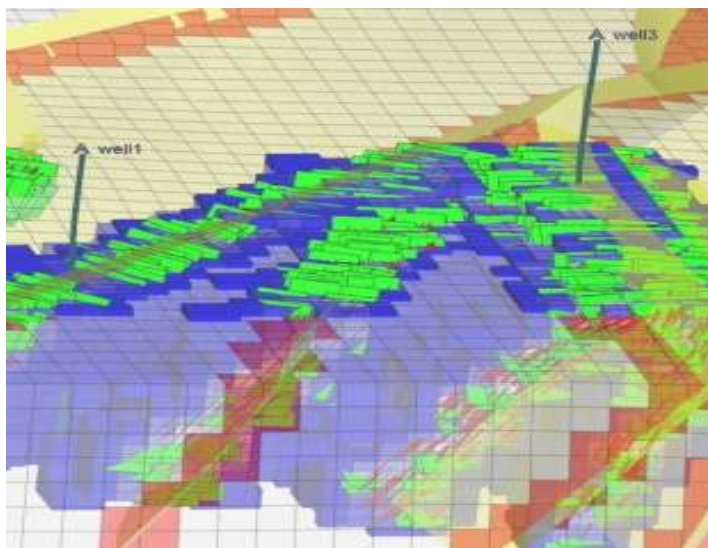
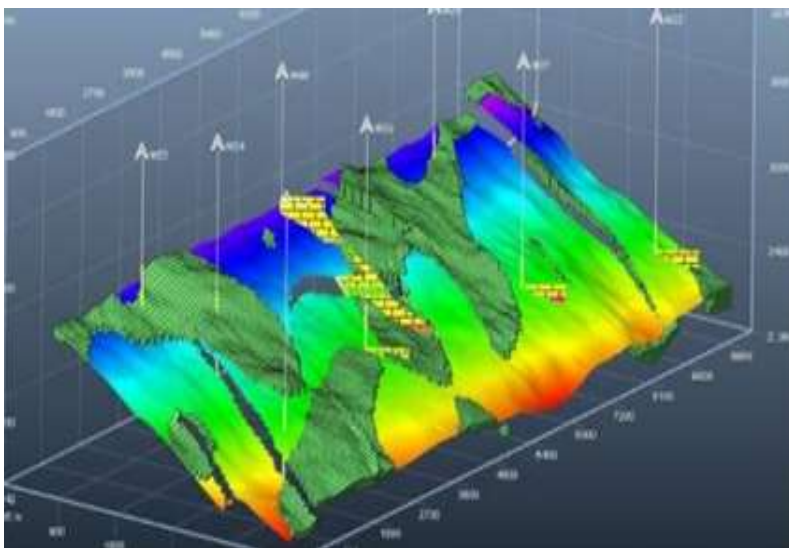




*Innover pour un monde
décarboné et durable*

14/10/2024

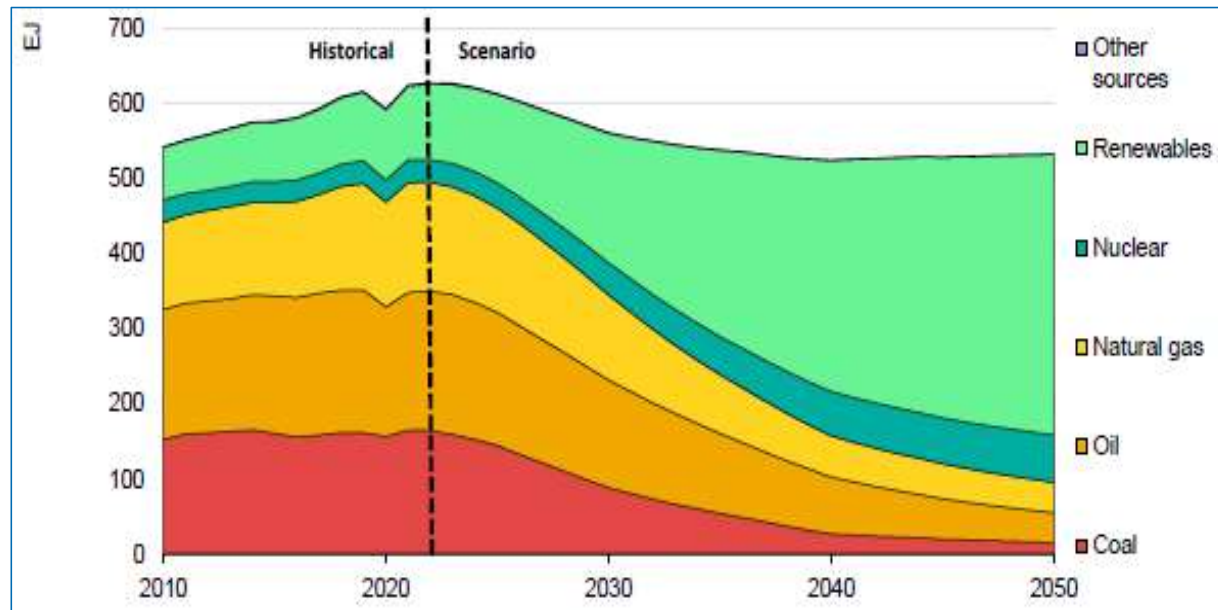
Géothermie profonde Enjeux R&D

Yannick Peysson
Responsable programme R&D

UN CADRE GÉNÉRAL : LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Un engagement de la communauté internationale vers la neutralité carbone pour 2050

Evolution du mix énergétique primaire dans le scénario NZE de l'AIE



Source: IEA

- Une transformation complète du système énergétique à réaliser en 3 décennies
- La part O&G : passer de 80% (2022) à 20% (2050)
- Montée en puissance d'un mix énergétique décarboné : **toutes les énergies renouvelables sont à mobiliser**

LES GÉOTHERMIES

Des besoins :

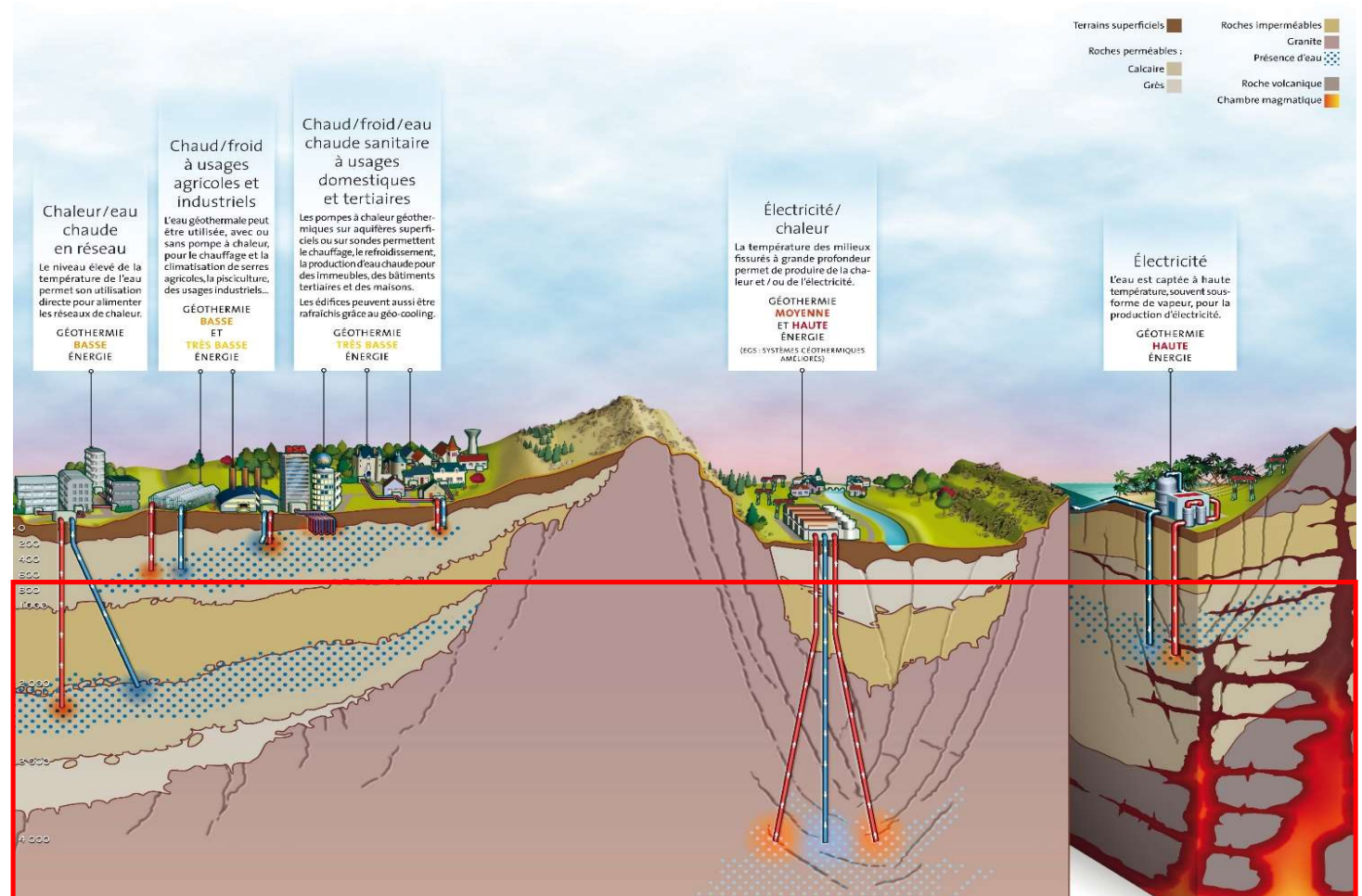
- Chaleur & froid pour décarboner le chauffage
- Electricité (pour certaines zones)

Les différentes géothermies :

Géothermie de surface
(sondes, nappes) 0 à 200m

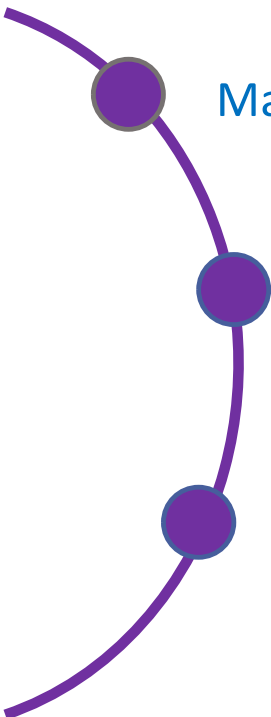
Géothermie profonde

Applications : chaleur ou électricité



- Positionnement IFPEN : contribuer à résoudre les défis de la géothermie profonde
- Apport de l'expérience Oil & Gas

ENJEUX R&D DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE



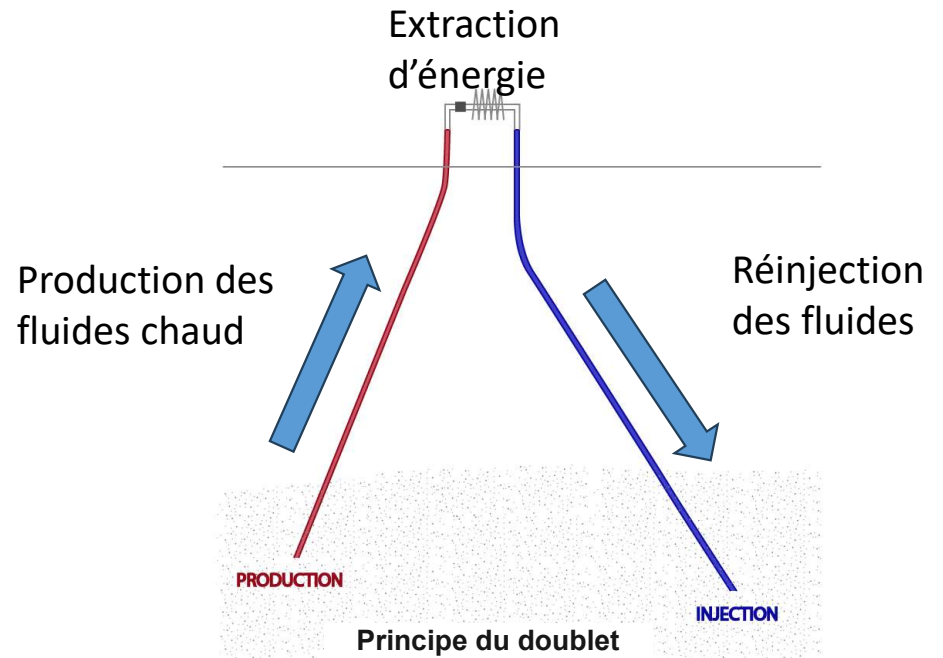
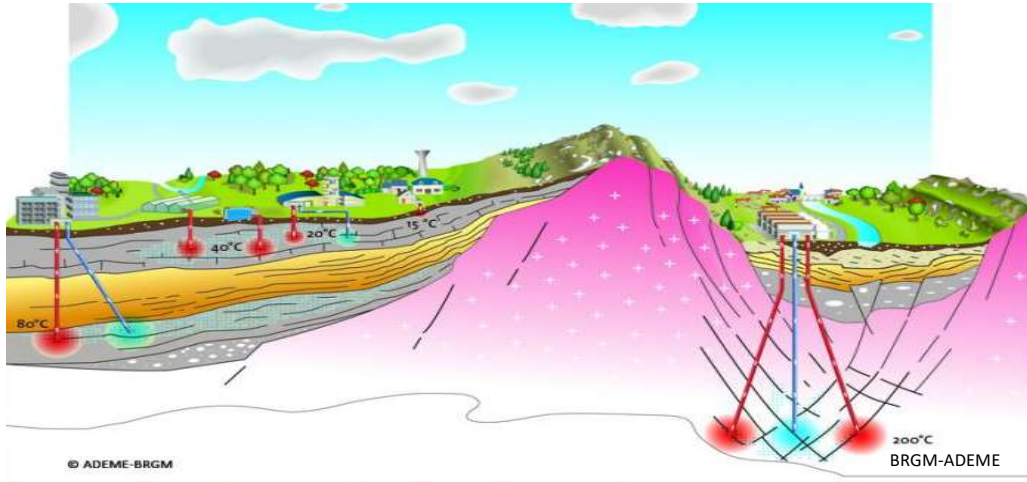
Maximiser l'efficacité de récupération d'énergie

Maximiser la rentabilité des projets
-La co-production lithium

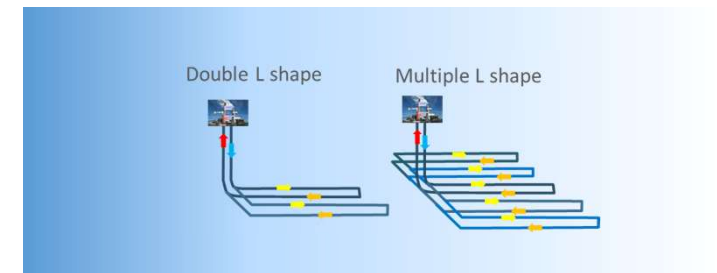
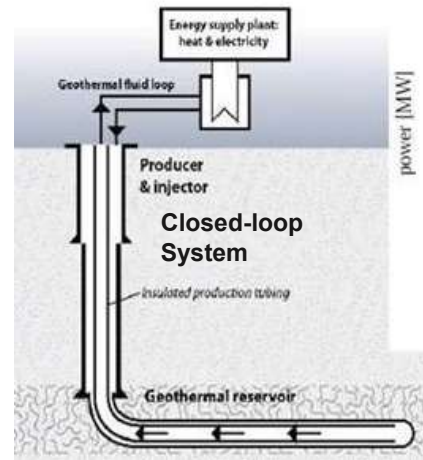
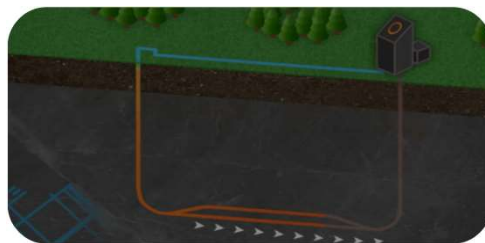
Minimiser les risques en opération

GÉOTHERMIE : MAXIMISER LA RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE

L'exploitation par doublets



D'autres géométries sont possibles :



R&D : ÉVALUATION DES PERFORMANCES

Modèle « puits » - Calcul numérique couplé : Ecoulement – Thermodynamique – Thermique - Chimie

● Single- and two-phase hydrodynamics modelling:

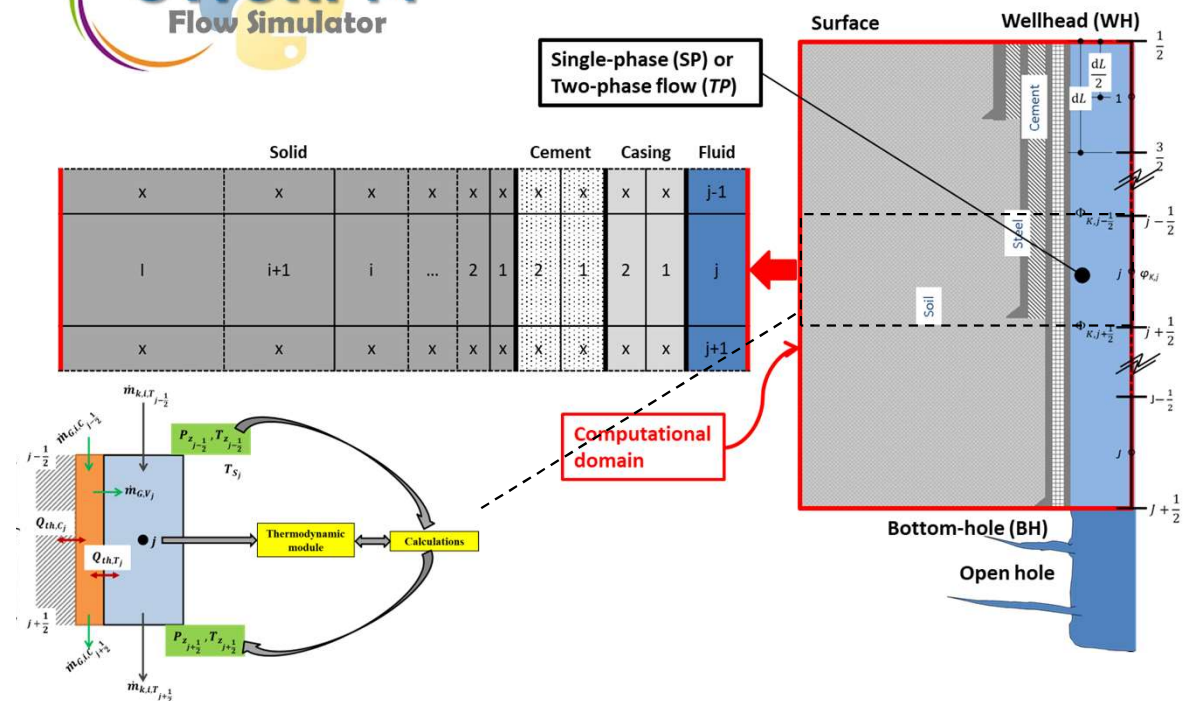
- Upwards and downwards flow (pressure drop and gas void fraction)
- Two phase flow regime identification

● Heat transfer modelling:

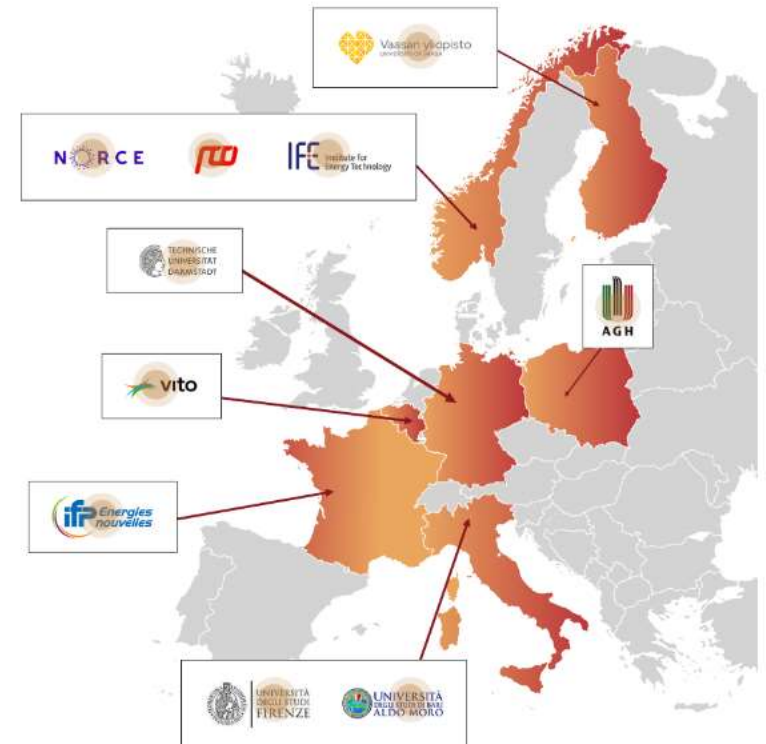
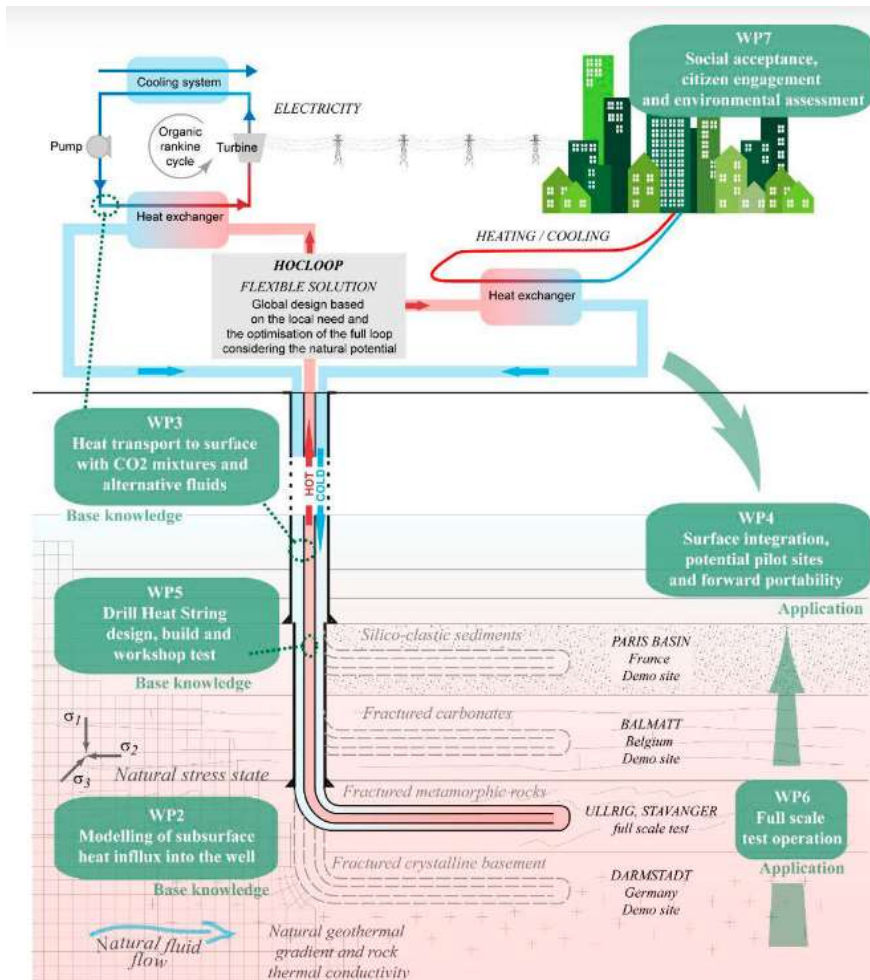
- Conduction between solid materials
 - Steady-state or transient approach
- Convection due to the fluid motion

● Thermodynamic modelling:

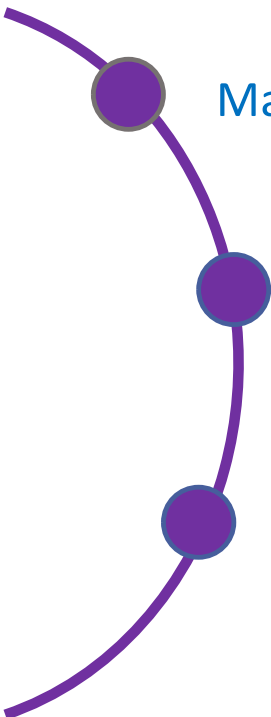
- Equation-of-State compositional models:
 - CPA, Sørense-Whitson, Peng-Robinson, ...
- Equilibrium calculations : Temperatures of two-phase are identical
 - Multiflash™ thermodynamic software
 - IFPEN's Carnot library



PROJET EUROPÉEN (2022-2026)



ENJEUX R&D DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE



Maximiser l'efficacité de récupération d'énergie

Maximiser la rentabilité des projets
-La co-production lithium

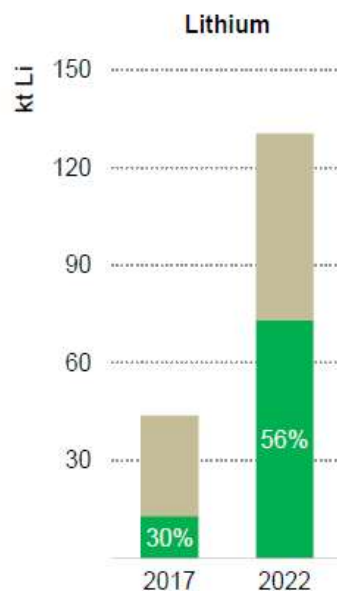
Minimiser les risques en opération

Pourquoi associer lithium et géothermie profonde ?

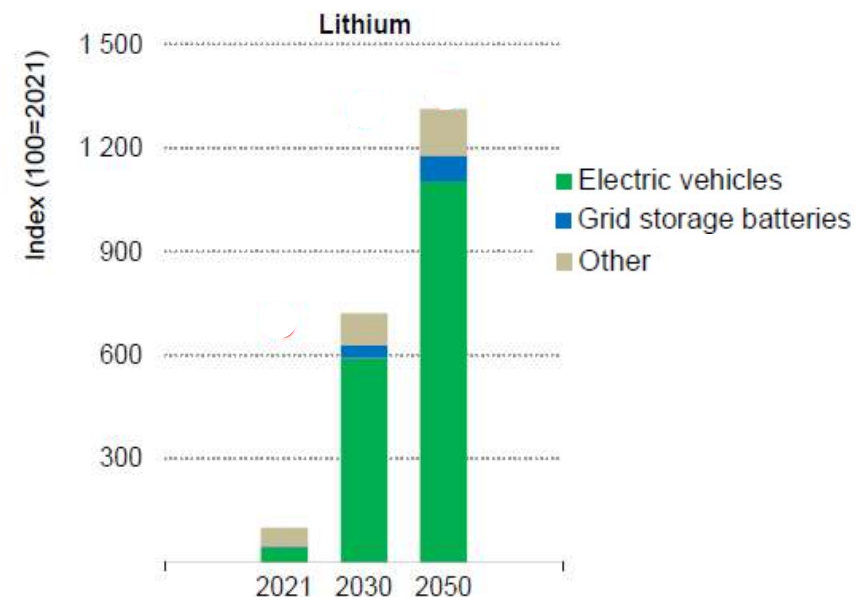
Marché du Lithium

Éléments de contexte :

- Forte croissance du déploiement des batteries Li-ion (véhicules électriques, ...)
- Croissance significative de la demande en Lithium (130 kt produit en 2022)
- Fluctuation importante des prix du Lithium (Forte hausse en 2022)
- Un facteur 12 sur la production dans le *net zero scenario @ 2050* (taux de croissance de 10% par an)



Production

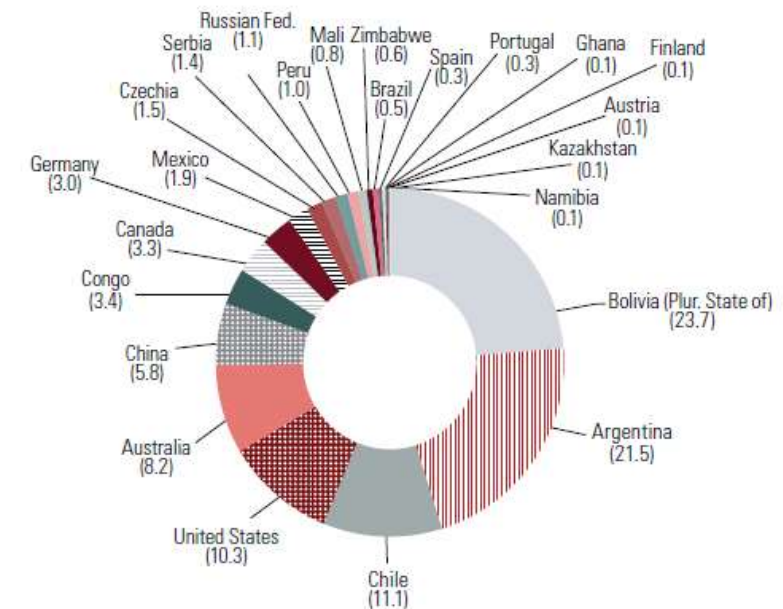


Projection @ 2050 : Net Zero Scenario

Des ressources minières aujourd'hui très localisées

- Ressources de lithium: le Triangle du Lithium (Bolivie, l'Argentine, Chili) : la moitié des ressources en lithium
- Marché contrôlé par un nombre très restreint d'acteurs
➔ besoin de diversification

Ressource en Lithium (2021)



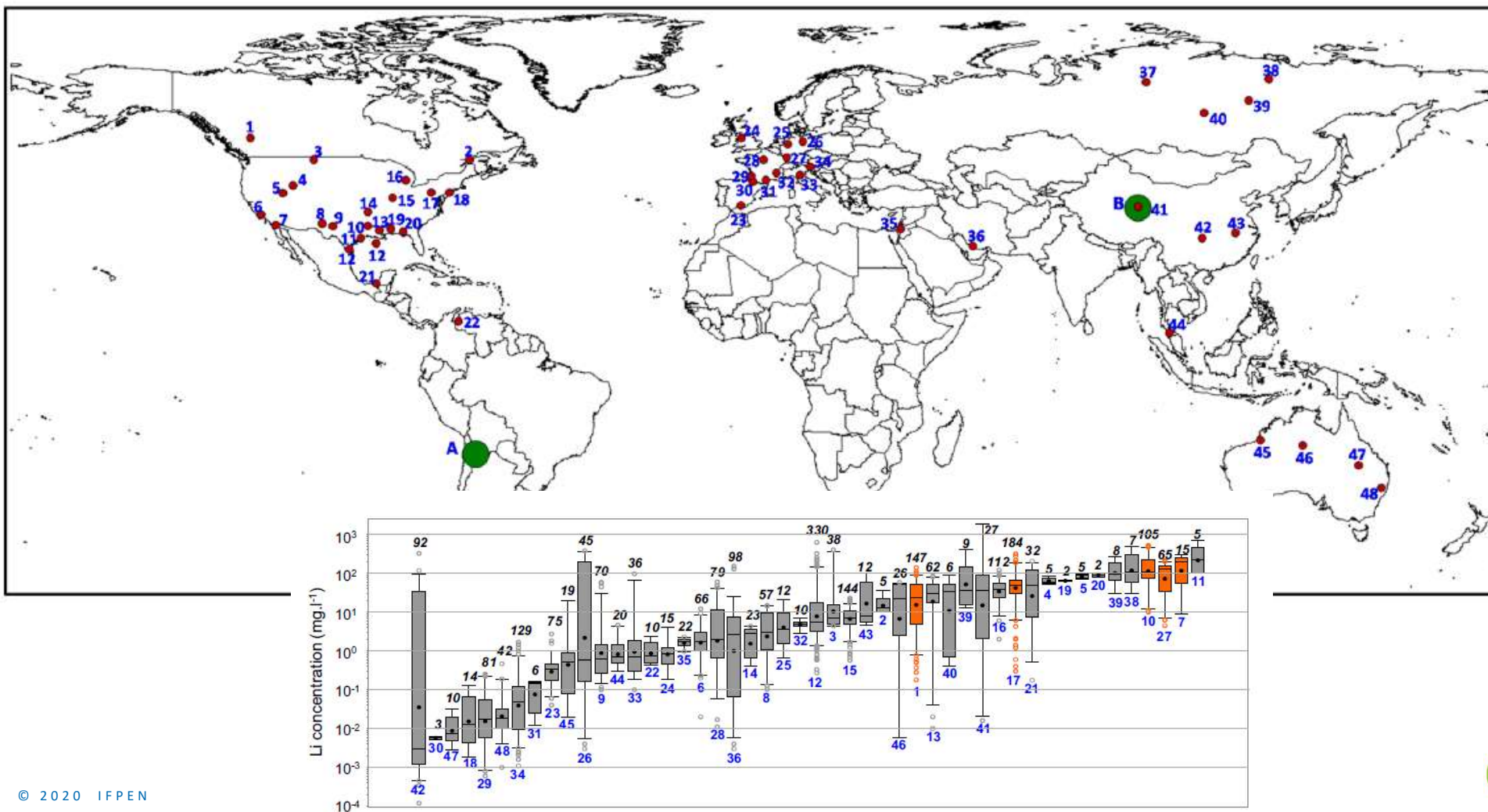
Source: USGS

RESSOURCES



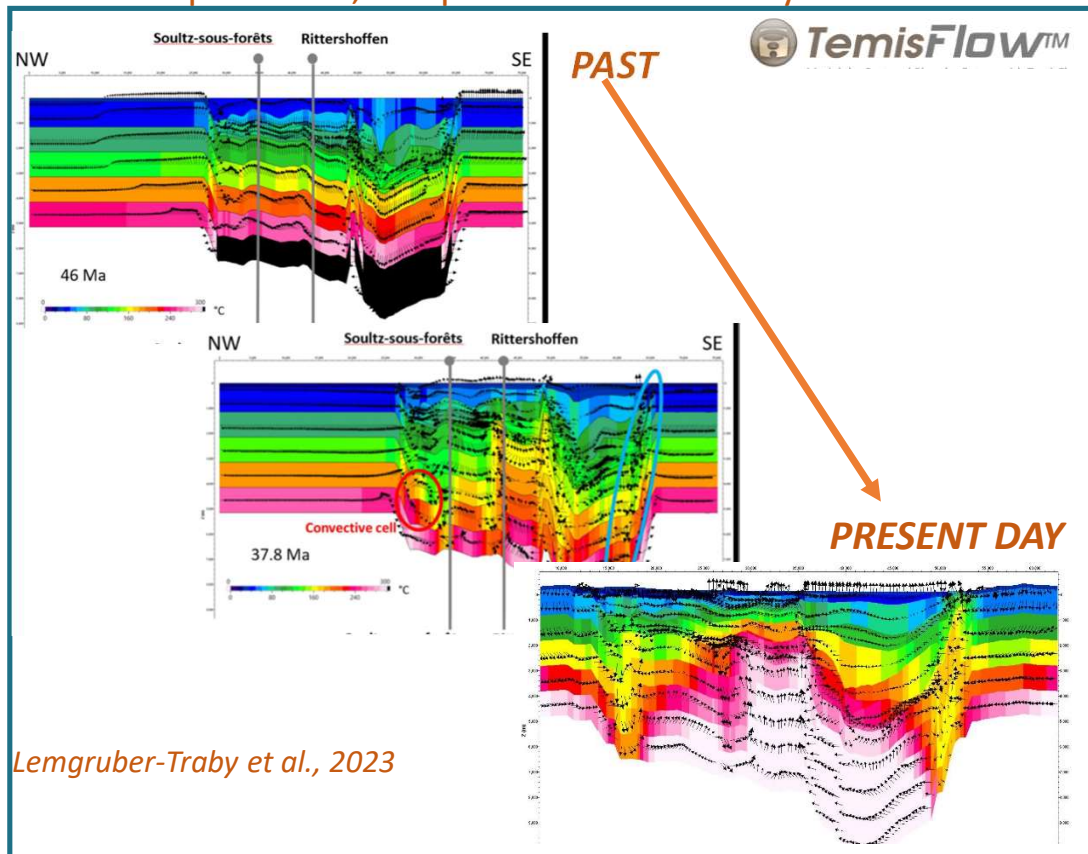
Le lithium issu des saumures hydrothermales

Inventaire dans les bassins sédimentaires : Dugamin *et al.* (Nature 2021)

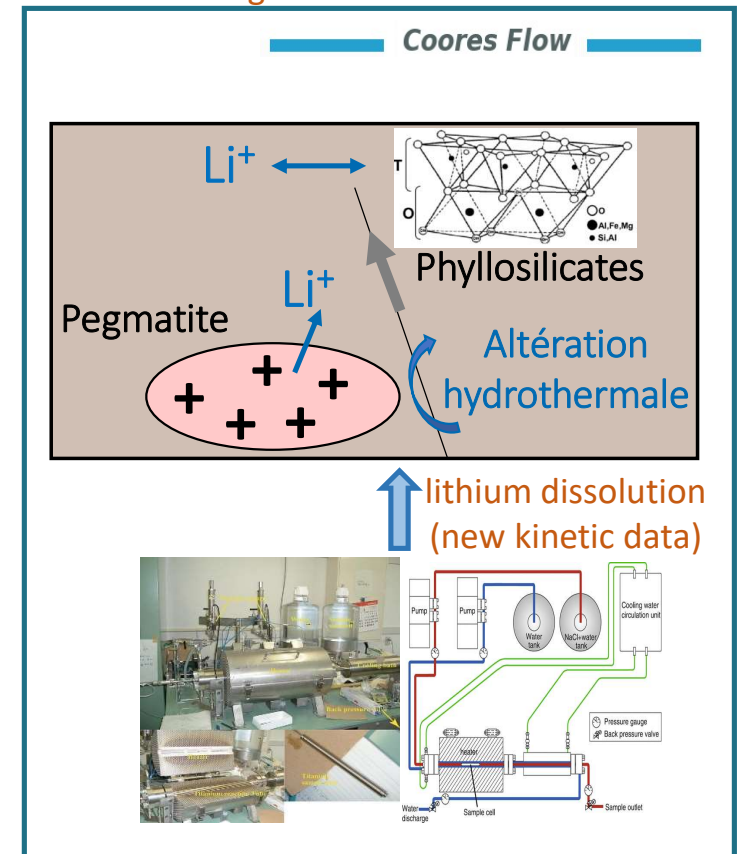


LITHIUM : GEOLOGICAL SYSTEM MODELING

Modelling of geological history: Analyzing changes in petrophysical traits, pressures, temperature and fluid dynamics over time



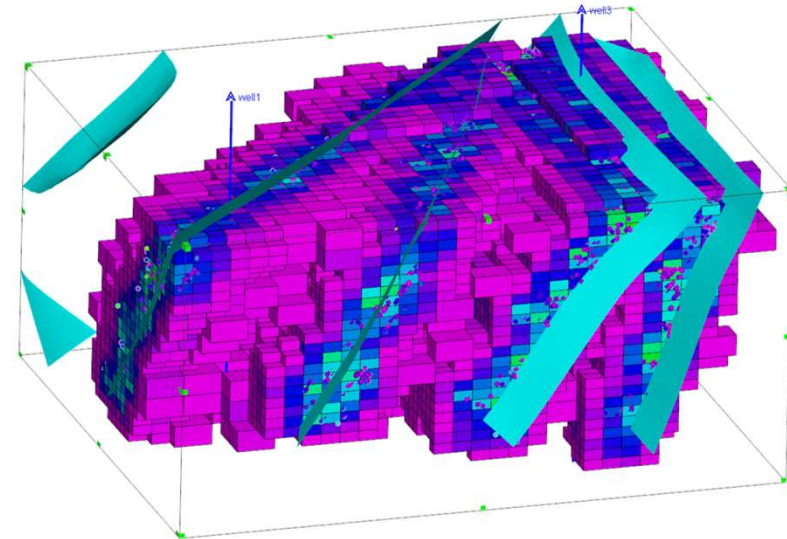
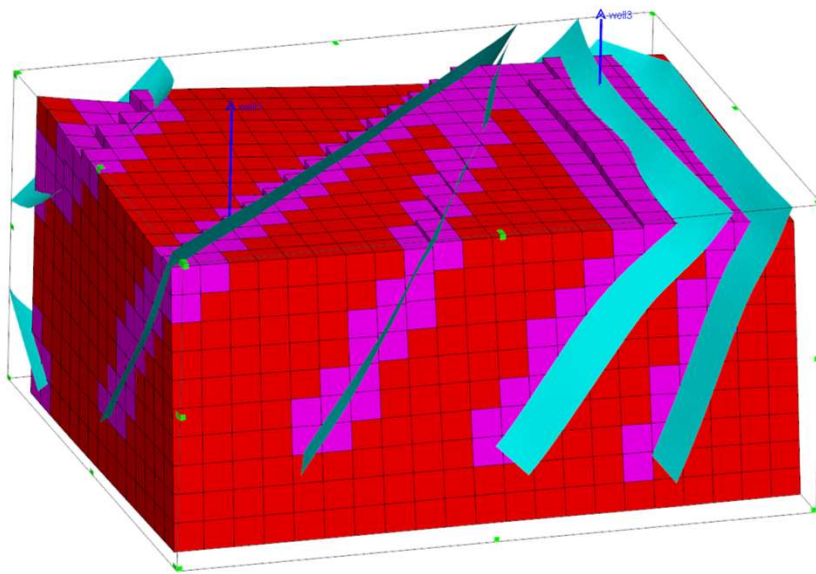
Reactive transport models → hydrodynamics + geochemical model



Experimental component at the GeoResources laboratory, University of Lorraine

Prévoir les réserves exploitables : modélisation des écoulements à l'échelle d'un doublet

- Evaluation à l'échelle d'un doublet de l'évolution de la concentration en lithium :
 - Adaptation de la modélisation de type « réservoir » afin :
 - D'évaluer les quantités produites au cours du temps
 - D'évaluer l'impact du positionnement, de la trajectoire du puits et de son architecture sur la récupération totale du lithium
 - D'améliorer l'évaluation économique de la production de lithium

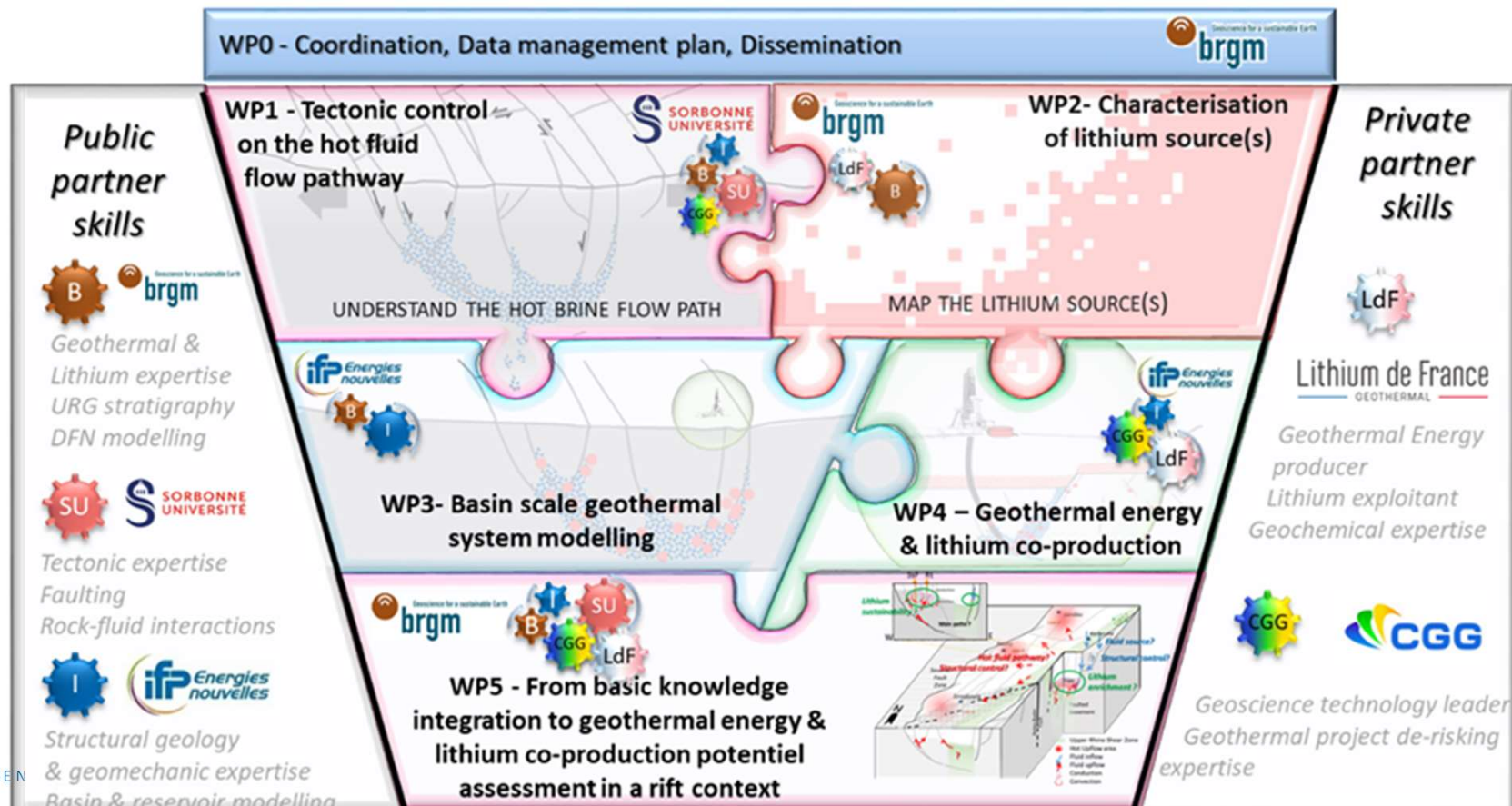


Projet R&D collaboratif GLITER soutenu par l'ANR

Lithium issu des saumures géothermales du fossé rhénan : Quel potentiel ?

INTEGRATIVE MULTISCALE INVESTIGATION OF HEAT AND LITHIUM SOURCE AND PATHWAYS IN DEEP GEOTHERMAL SYSTEM IN A RIFT CONTEXT: FOCUS ON THE UPPER RHINE GRABEN

Coordinateur: BRGM IFPEN, U. Paris Sorbonne, Lithium de France, CGG (Lancé le 1/10/2022 pour une durée de 4 ans)



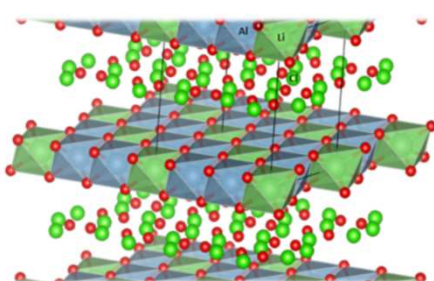
Extraire le Lithium issu des saumures géothermales : Quel procédé ?

R&D : Procédés d'extraction – DLE : Direct Lithium Extraction Travaux IFPEN

Adsorbant

Compétences groupe IFPEN:

-  Synthèse et mise en forme adsorbant
-  Caractérisation matériaux

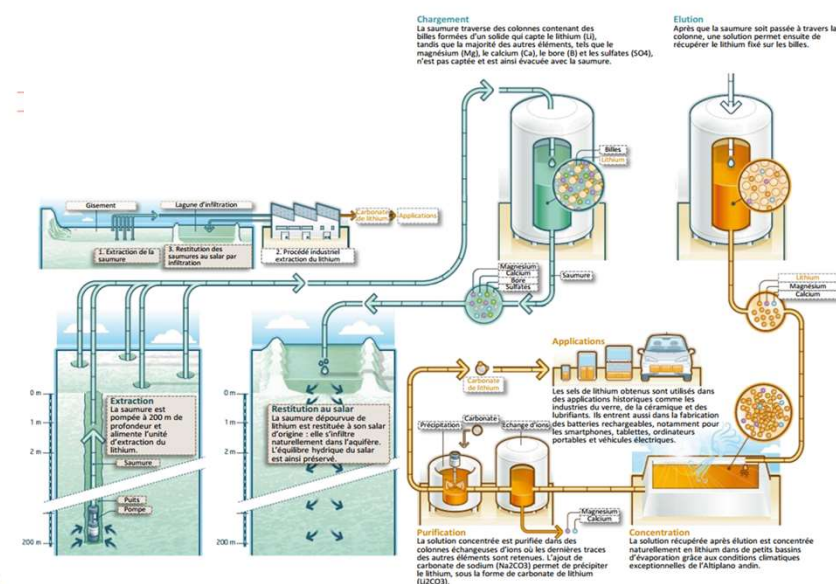


Formulation adsorbant optimisée : très bonne tenue mécanique, sélectivité accrue, capacité accrue

Procédé

Compétences groupe IFPEN:

-  Modélisation procédé adsorption dynamique
-  Analyse technico-économique



De la R&D à l'échelle industrielle

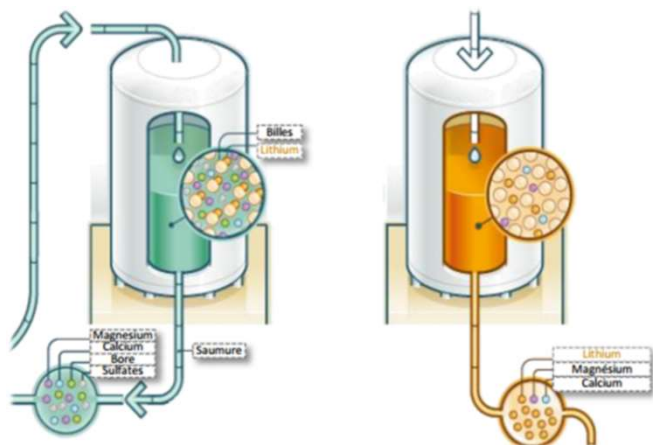
Co-développement par IFPEN & Eramet d'un adsorbant pour *DLE*



Recherche appliquée



2012-2018 : co-développement par IFPEN & Eramet d'un adsorbant pour l'Extraction Directe du Lithium



- 🔑 12 brevets IFPEN-Eramet (formulation adsorbant)
- ♻️ Réduction consommation en eau vs. Bassines solaires
- 🏆 Classé parmi le Top 3 des technologies d'extraction du lithium contenu dans les saumures (Nexant 2023)

Opération industrielle



2024 : démarrage unité DLE sur salar de Centenario (Argentine) / 25.000 t/a Lithium Carbonate

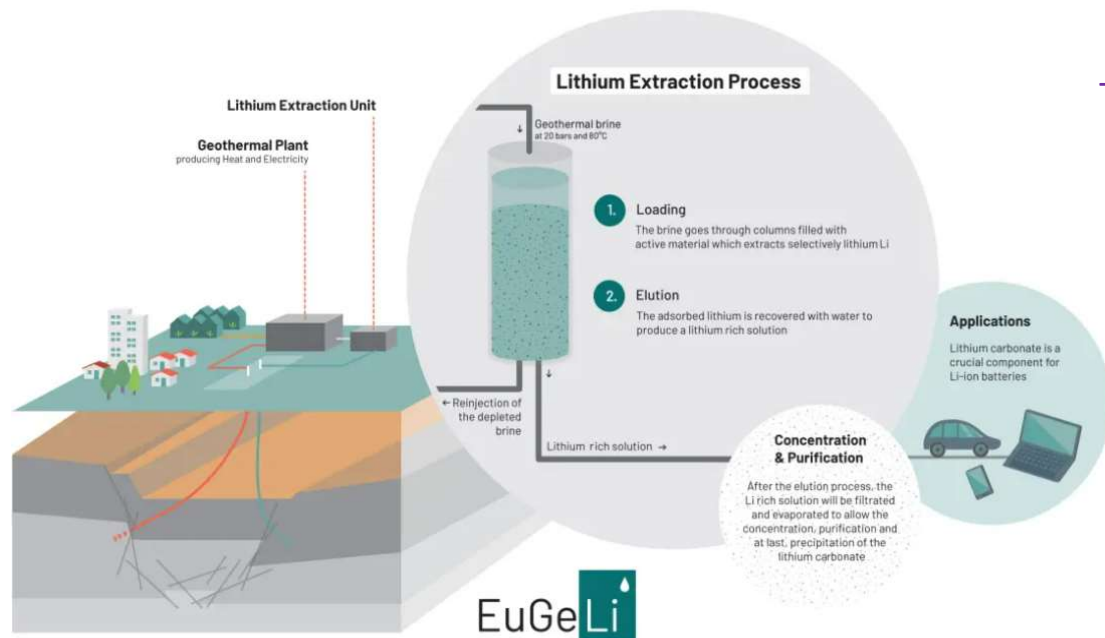


Co-production lithium et chaleur : le projet EuGeLi

Projet européen : EuGeLi : *European Geothermal Lithium* (2019-2021)



Partenaires : ERAMET (Coordinator) - ES (Electricité de Strasbourg) –BRGM - IFPEN - Chimie Paris Tech - BASF - Eifer - VITO - VUB (Vrije Universiteit Brussel)



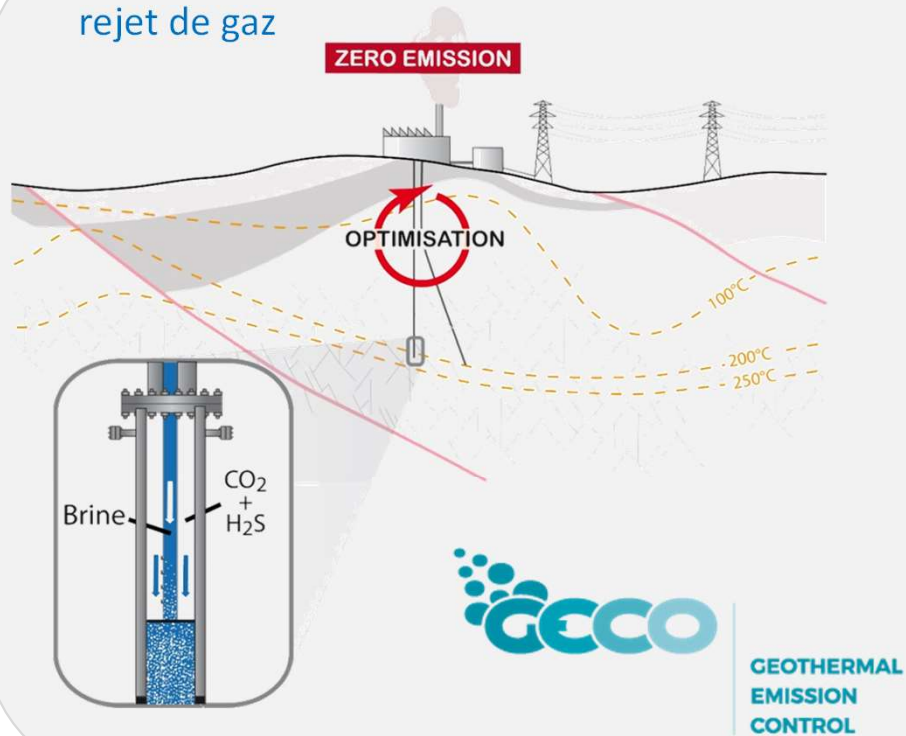
-Enjeux techniques :

- Adéquation du procédé pour un Li de concentration 160 mg/L
- Température et pression (80°C, 20 bars)
- Réinjection de la saumure

➡ Première mondiale : **premiers kg de carbonate de lithium - qualité batterie – produite à partir de saumures géothermales (fin 2021)**

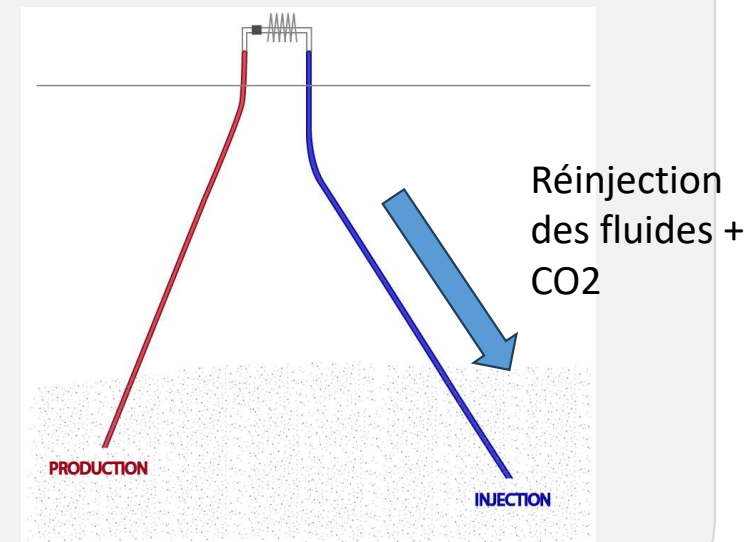
CO-INJECTION CO₂ : PROJET EUROPÉEN GECO (2019-2023)

- Enjeux : Une installation géothermique sans rejet de gaz

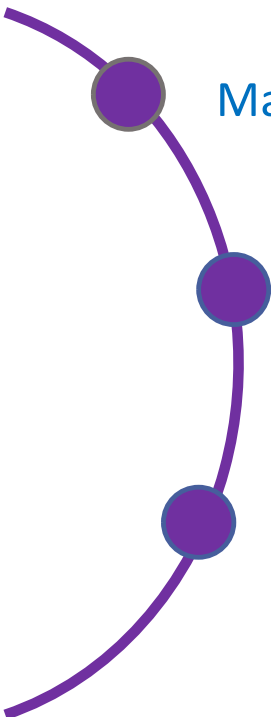


- Axe R&D : Ajout CO₂ dans le puits injecteur

- Injectivité
- Impacts réservoir



ENJEUX R&D DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE



Maximiser l'efficacité de récupération d'énergie

Maximiser la rentabilité des projets
- La co-production lithium

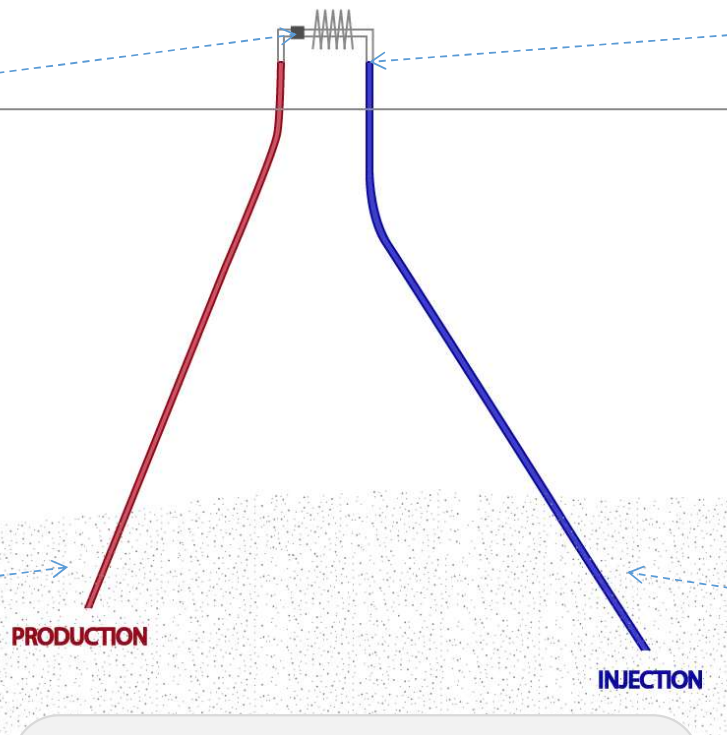
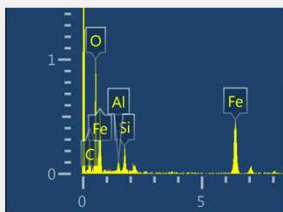
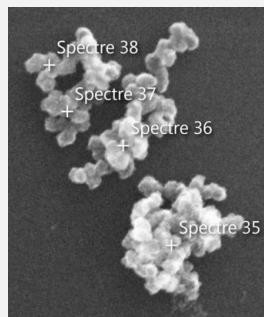
Minimiser les risques en opération
- corrosion, colmatage, réinjection, dépôts minéraux

MINIMISER LES RISQUES EN OPÉRATION

- **Identification of the reservoir microflora** based on available samples (brine, cuttings, filters)



- **Description of the reservoir heterogeneity and petrographic caracterisation**
Sedimentary and diagenetic minerals , to be compared to filter deposits.



- **Corrosion risks in operation**

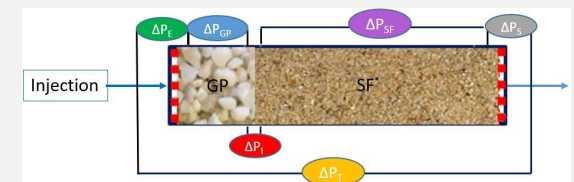
Analysis in different configurations



- **Filtrations** at different diameters and study of the mineral depositis
- **Analysis of the fluid stability** thanks to microfluidic experiments.



- **Injection in corefloods** to analyse deposit risks according to the porous network, flow rates, filtration at the surface and temperature.



Innover les énergies

Retrouvez-nous sur :

 www.ifpenergiesnouvelles.fr

 @IFPENinnovation

