

**BRGM
SERVICE
GÉOLOGIQUE
NATIONAL**

Le rôle du sous-sol dans la transition énergétique

**Christophe POINSSOT,
Directeur Général Délégué et Directeur Scientifique**

Le rôle du sous-sol dans la transition énergétique

Ressources

Géothermie

Utilisation de l'énergie du sous-sol

Ressources minérales (RM) pour la production d'énergie

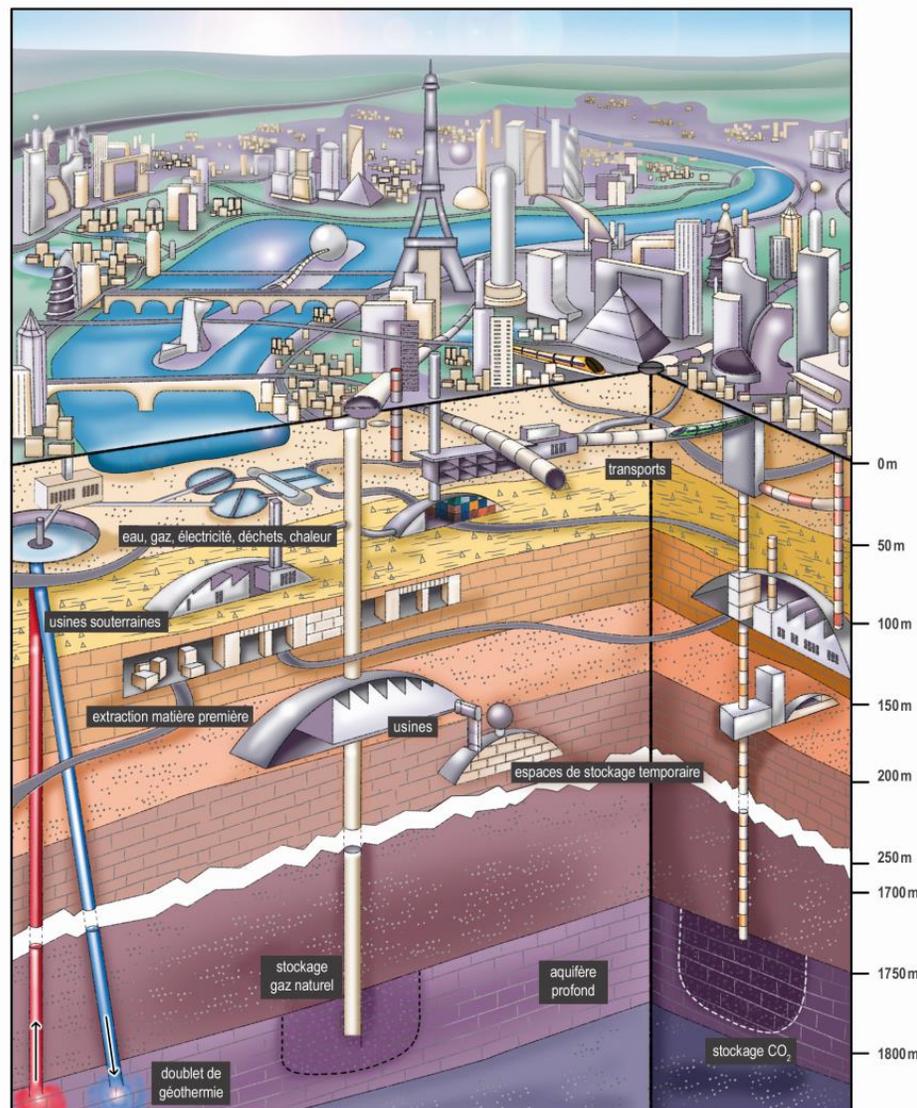
Technos bas carbone
très gourmandes en RM

Eau

Nappes phréatiques =
40% de l'eau industrielle

Hydrogène naturel

Production native ou
assistée d'hydrogène
naturel



Espaces de stockage

Stockage de gaz

Adaptation aux nouveaux
vecteurs énergétiques (H₂)

Stockage de CO₂

Stockage dans réservoirs
déplétés, aquifères ou
réactifs

Stockage de chaleur

Utiliser le sous-sol comme
batterie thermique

Stockage déchets

Stockage des déchets
HAVL et MAVL (CIGEO)

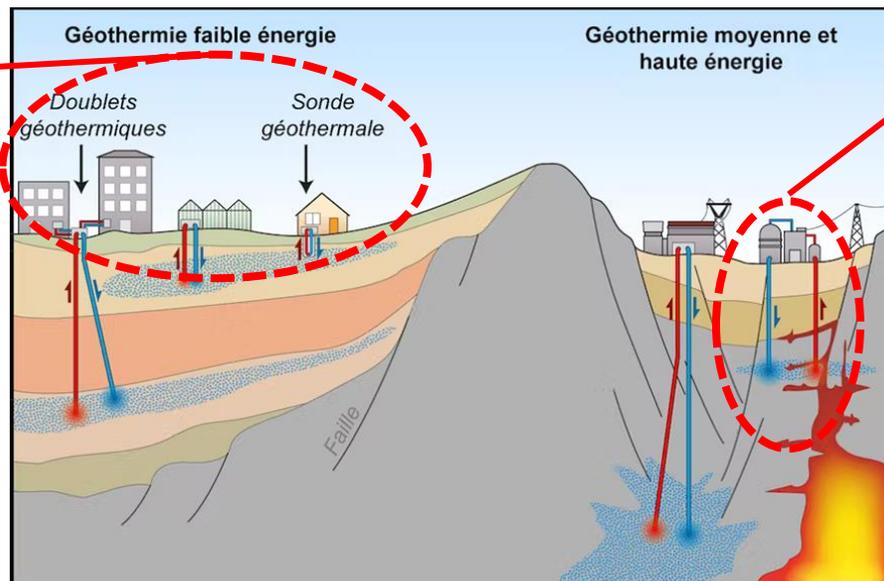


Les géothermies

Les géothermies, un fort potentiel de décarbonation encore sous-développé

- **Faible énergie:** utilisation du tampon thermique du sous-sol pour chauffer de l'eau grâce à une pompe à chaleur (géoénergie) ou un échangeur thermique (doublet géothermique)

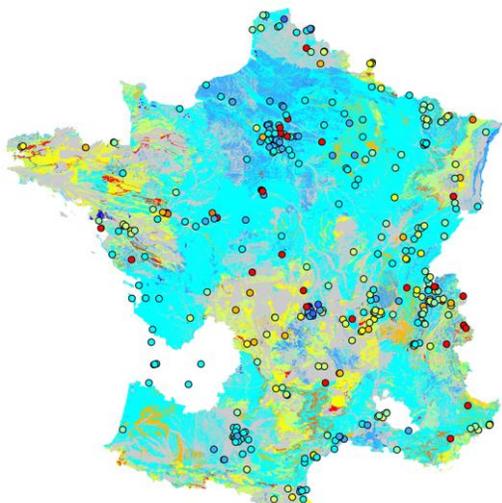
➔ **Objectif : déploiement 100 TWh/an en 20 ans**



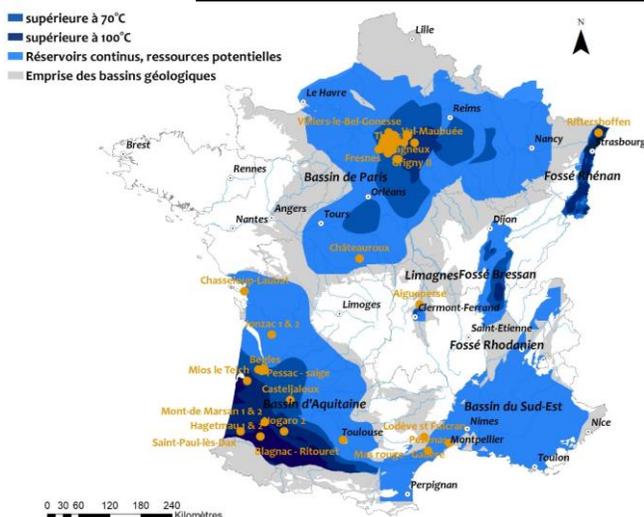
- **Haute énergie =** utiliser la vapeur produite pour produire de l'électricité (+récupération éventuelle de Li).

➔ Pertinent dans les zones à fort ∇T (DROM pour France)

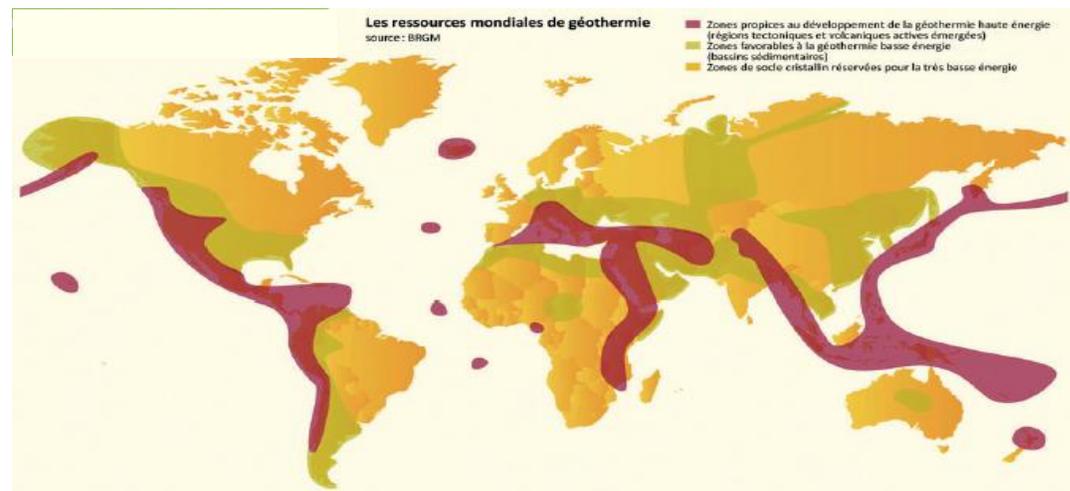
➔ **Besoin innovation** pour limiter les risques et améliorer les performances



Carte du potentiel géothermique du proche sous-sol



Aquifères profonds adaptés pour la géothermie sur doublet



Identification des zones d'intérêt pour la géothermie à haute-température

Les ressources minérales pour la transition énergétique



Les besoins en ressources minérales sont et resteront en croissance ...

Net Zero Carbon



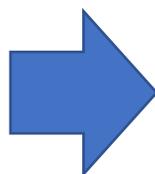
Transition énergétique
 et écologique



Transition numérique

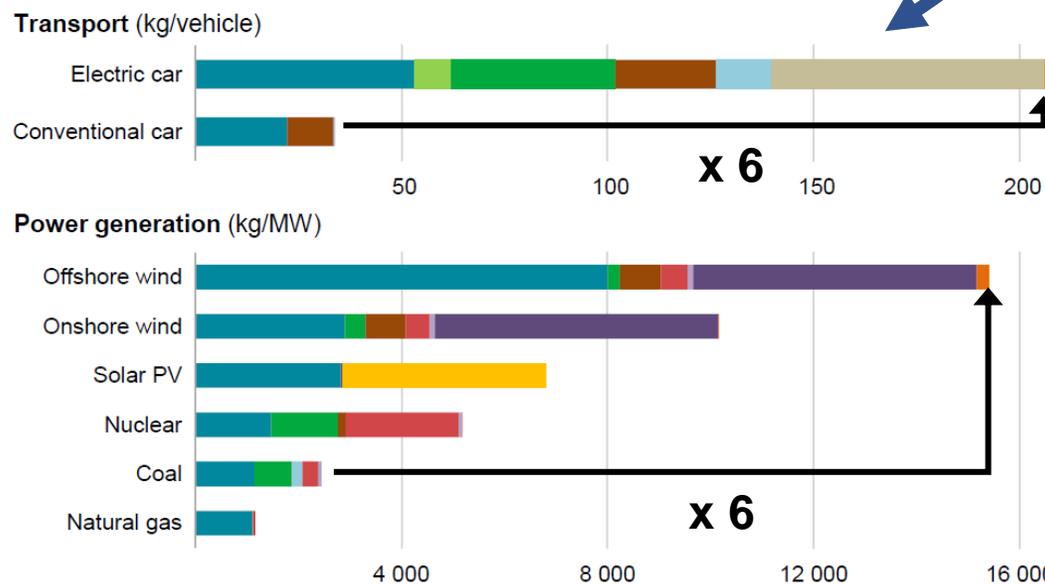
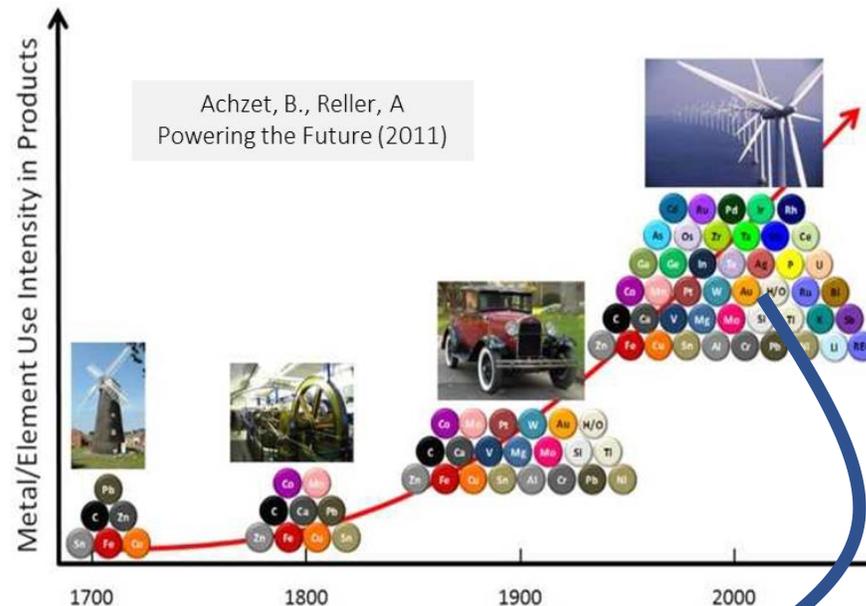


Croissance économique



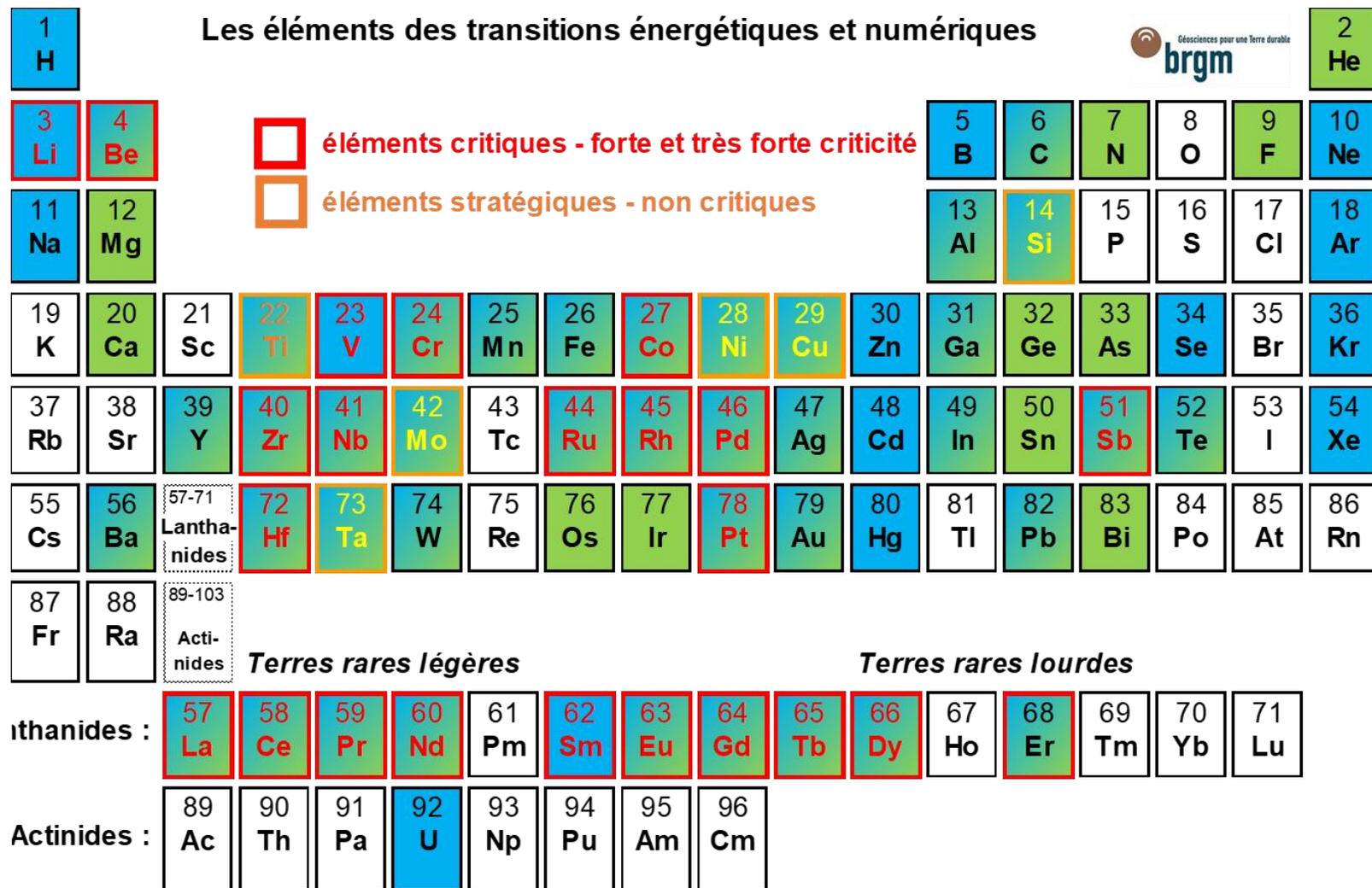
Technologies innovantes
 reposent sur des matériaux
 finalisés de plus en plus
 complexes

Nouvelles
 technologies
 décarbonées très
 gourmandes en
 ressources minérales



Les transitions énergétiques et numériques mobilisent des ressources similaires

Les éléments des transitions énergétiques et numériques



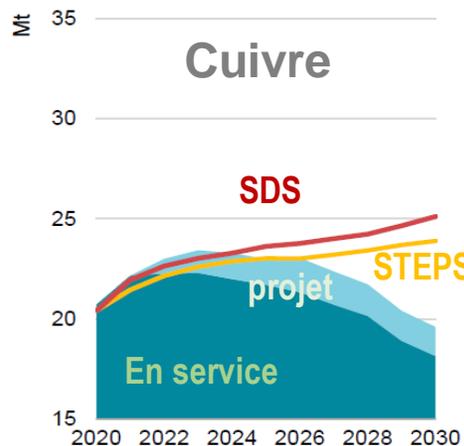
Transition énergétique

Transition numérique

- **Diversité** : Très nombreux métaux nécessaires pour les technologies décarbonées et numériques
- **Quantité**: il faudra produire plus de ressources minérales d'ici 2050 que depuis le début de l'humanité, y compris pour les métaux majeurs
- **Conflit usage**: explosion de la demande va mettre les différents usages en concurrence

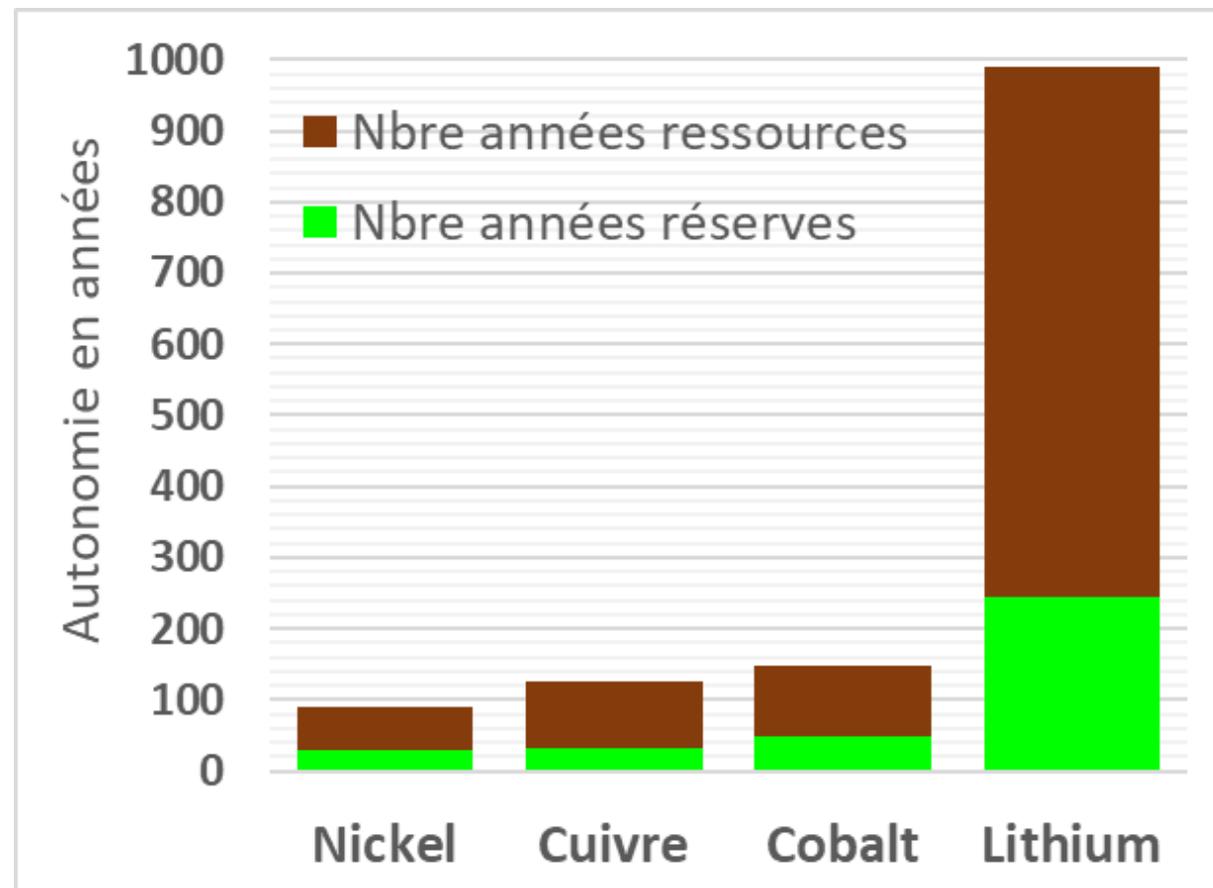
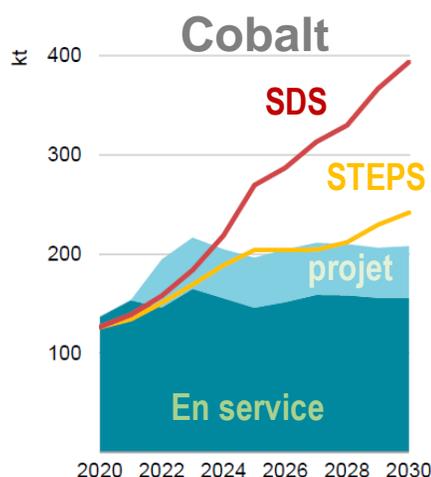
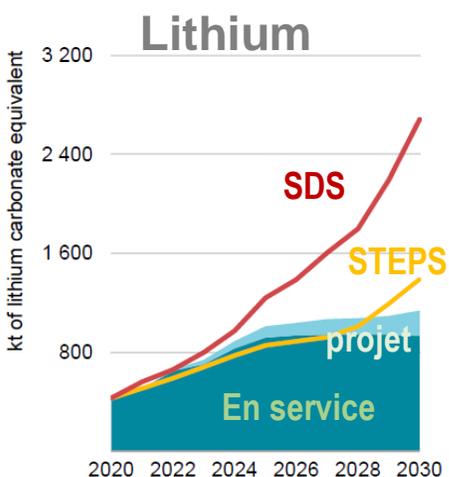
Les transitions énergétiques et numériques risquent d'être freinées par les quantités de métaux disponibles

- Demande très supérieure aux capacités actuelles de production
- Le risque n'est pas dans l'existence de la ressource mais dans sa disponibilité au moment où on en a besoin



STEPS: stated policies scenarios

SDS : Sustainable development scenario (1,5°C)



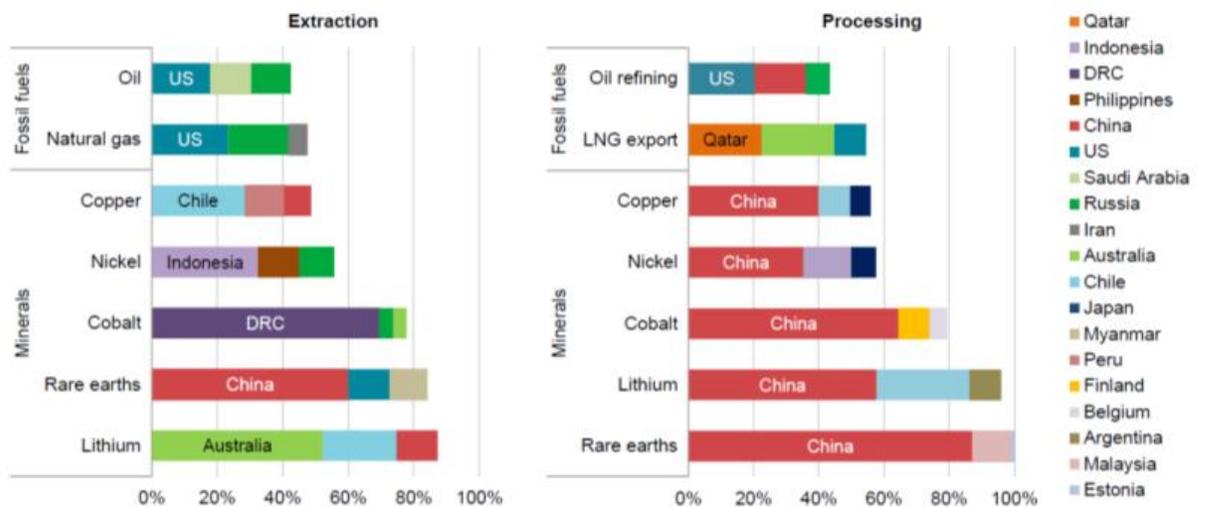
... et il faut plus de 16 ans pour ouvrir une mine (AIE)

La France et l'Europe ont perdu leur souveraineté minérale

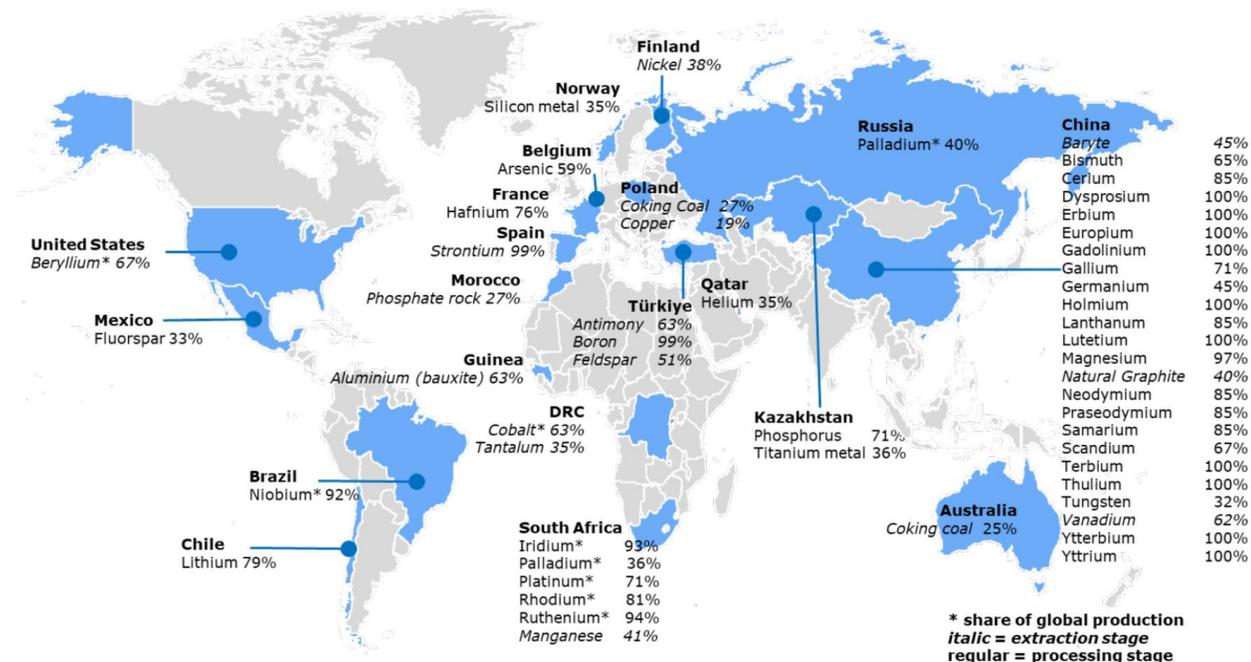
- Activités extractives et de premières transformations **progressivement transférées** vers pays à bas coût de main d'œuvre et moins regardants sur l'impact environnemental et social
→ forte dépendance et forts enjeux éthiques

- **Impact fort sur la géopolitique** alors que l'absence d'industrie minière et extractive a modifié le regard de la société (**pérennité des compétences, du tissu industriel, acceptation sociétale ...**)

Share of top three producing countries in production of selected minerals and fossil fuels, 2019



IEA. All rights reserved.

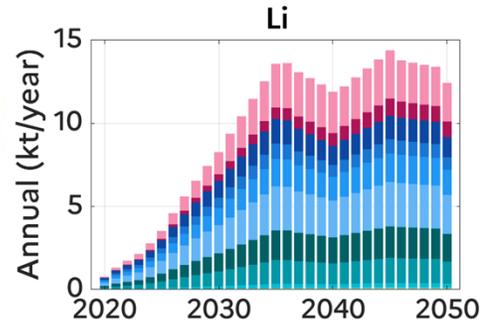


* share of global production
italic = extraction stage
 regular = processing stage

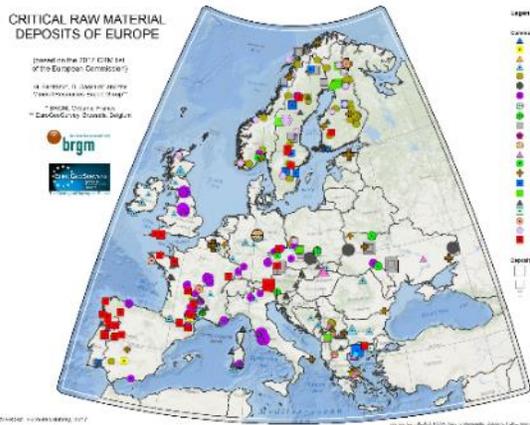
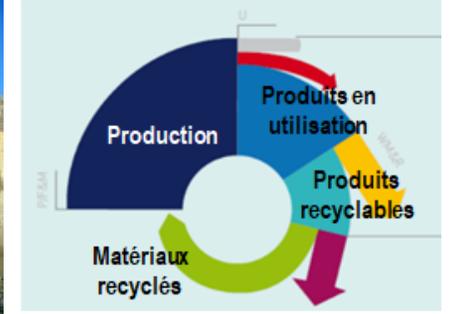
- 78% du Li européen provient du Chili,
- Plus de 70% des platinoïdes d'Afrique du Sud
- Plus de 70% du cobalt de Rep. Démocratique du Congo
- 99% des terres rares de Chine

Nécessité de sécuriser les chaînes d'approvisionnements en ressources minérales stratégiques

1 Développer l'intelligence des chaînes de valeurs minérales et scénarios



2 Développer l'économie circulaire (recyclage, gestion des déchets ind.)



3 Développer une industrie minière EU responsable (standards ESG)

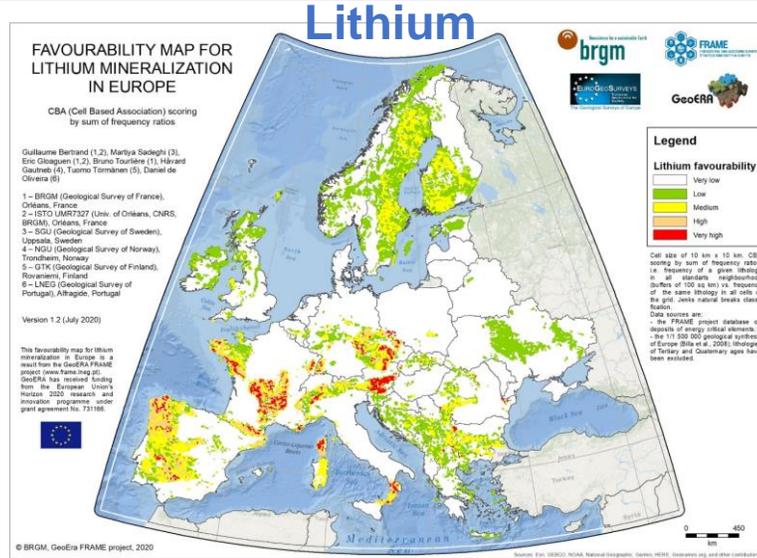
4 Diplomatie des ressources minérales



La France reste un pays avec un potentiel minier important



"Un grand inventaire des ressources minières qui sont nécessaires à la transition écologique". E.MACRON



- L'inventaire actuel est obsolète car date des années 70-90

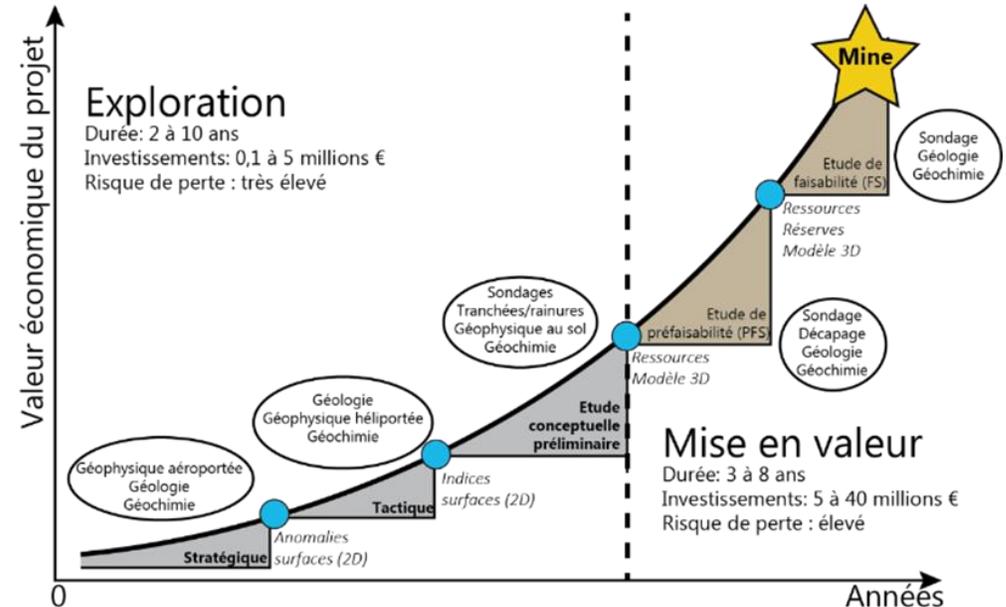
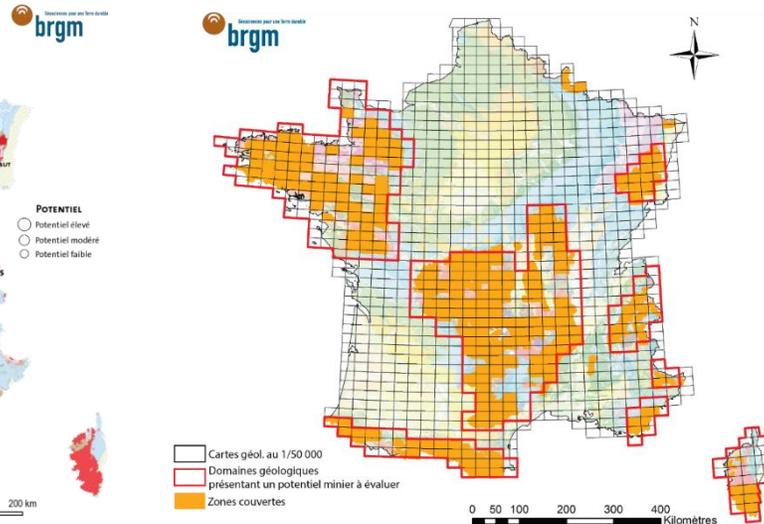
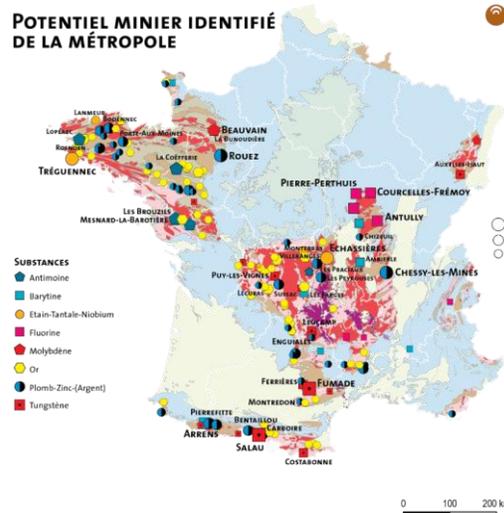
- Faible profondeur d'investigation, pas de géophysique aéroportée, <20% du territoire

- Nombre limité de substances (22 ≠ 50 auj.)

- Métallogénie prédictive → richesse potentielle du sous-sol FR (Li, W, Sb, Pb-Zn, Ge ...)

→ Reprise de la prospection et réouverture de mines en France sera un passage obligé

POTENTIEL MINIER IDENTIFIÉ DE LA MÉTROPOLE



Ouvrir de nouvelles mines, un défi de plus en plus complexe



- **Opposition croissante** aux activités minières pour des raisons environnementales & politiques (décroissance) → concept de **mines responsables**
- **impacts environnementaux** principaux :
 - Consommation énergétique et émissions GES,
 - Déchets, rejets dans l'environnement et perturbation des écosystèmes (biodiversité)
 - Devenir des sites miniers après la phase d'exploitation
- **Impacts sociaux** concernent principalement :
 - Santé et sécurité des travailleurs, droits humains
 - Corruption et financement des conflits armés
- **Conceptualisation de la mine responsable sur la base du développement durable (>90 initiatives selon ONU) :**
 - Impliquer les parties prenantes dans les décisions,
 - Réduire l'impact environnemental
 - Organiser une distribution équitable des bénéfices économiques et financiers



Vers une législation européenne ambitieuse: EU Critical Raw Materials Act

- **Critical Raw Materials Act** : accord entre Parlement et Commission EU le 13/11
 - ➔ vote attendu d'ici fin 2023, directement applicable
 - Définit des cibles ambitieuses pour réduire les dépendances et augmenter la souveraineté

SETTING 2030 BENCHMARKS FOR STRATEGIC RAW MATERIALS



EU EXTRACTION

At least **10%** of the EU's annual consumption for extraction



EU PROCESSING

At least **40%** of the EU's annual consumption for processing



EU RECYCLING

At least **15%** of the EU's annual consumption for recycling



EXTERNAL SOURCES

Not more than **65%** of the EU's annual consumption of **each strategic raw material at any relevant stage of processing** from a single third country

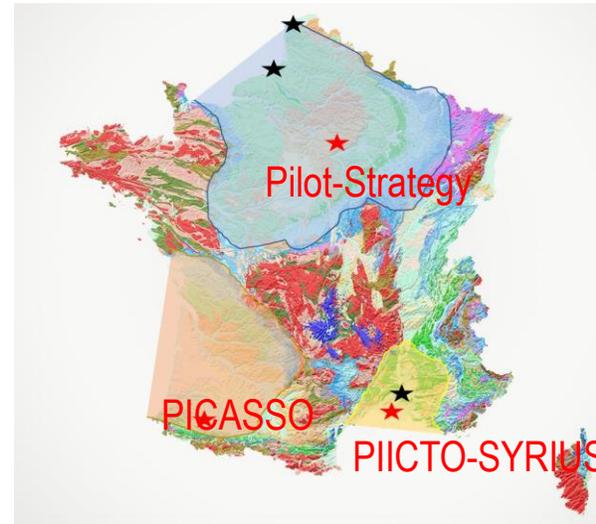
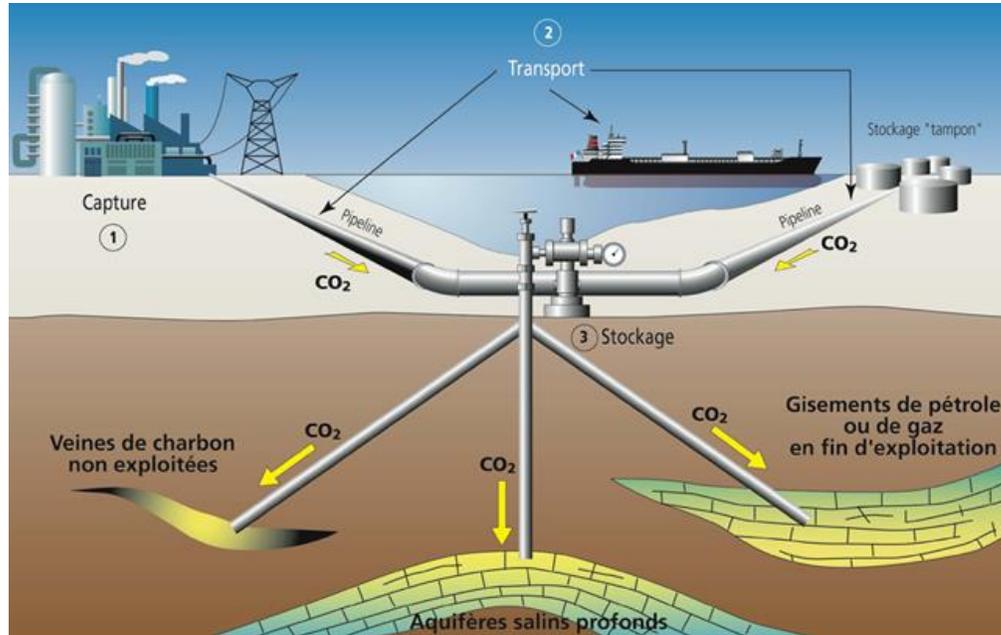
- Inventaires nationaux des CRM, soutien aux projets industriels, réduction temps d'instructions...

Le captage et stockage du CO₂

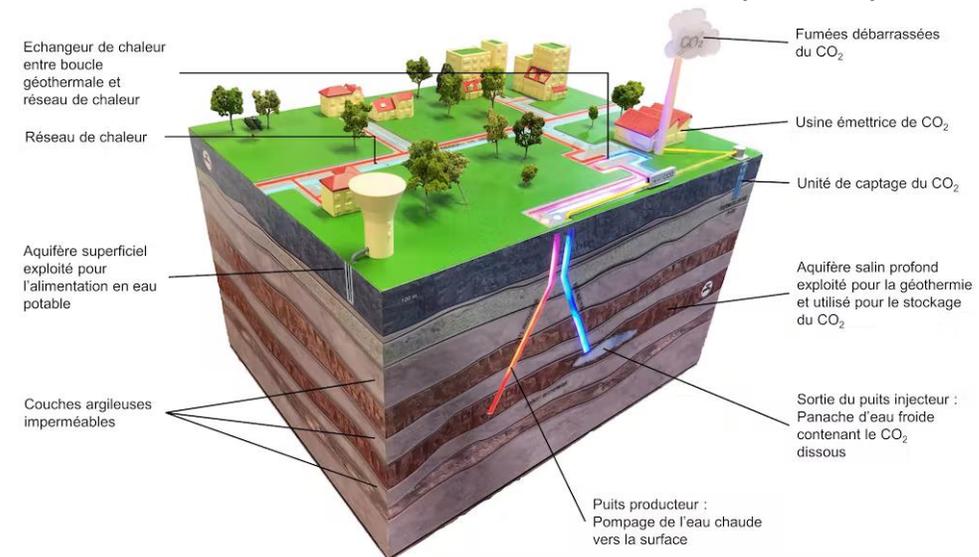


Le stockage du CO₂ (CCS) est indispensable à la neutralité carbone

- Du fait des émissions ultimes irréductibles, nécessité de disposer de "**puits à CO₂**" : végétation +/- CCS/CCUS
- Rôle important du CCUS sur le long-terme, même si l'ampleur dépend des scénarios
- Plusieurs options possibles de stockage
 - ↪ Réservoirs épuisés ou aquifères salins
 - ↪ On-shore / off-shore



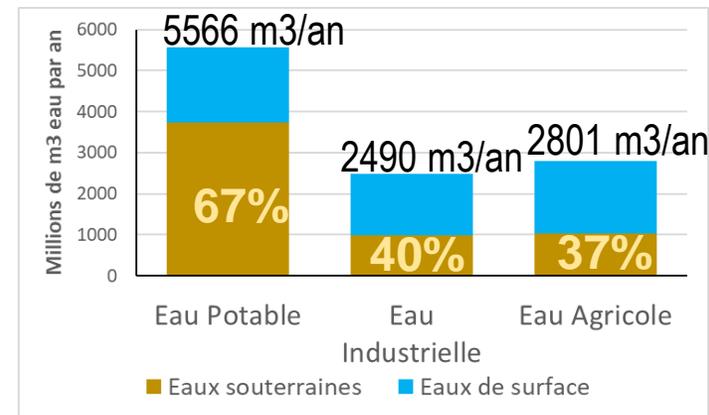
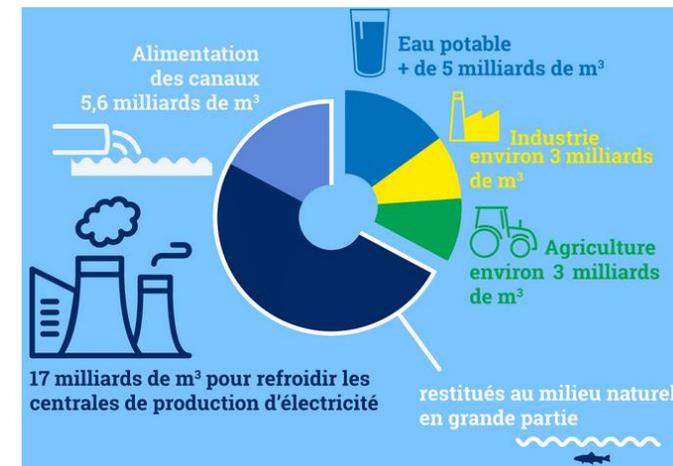
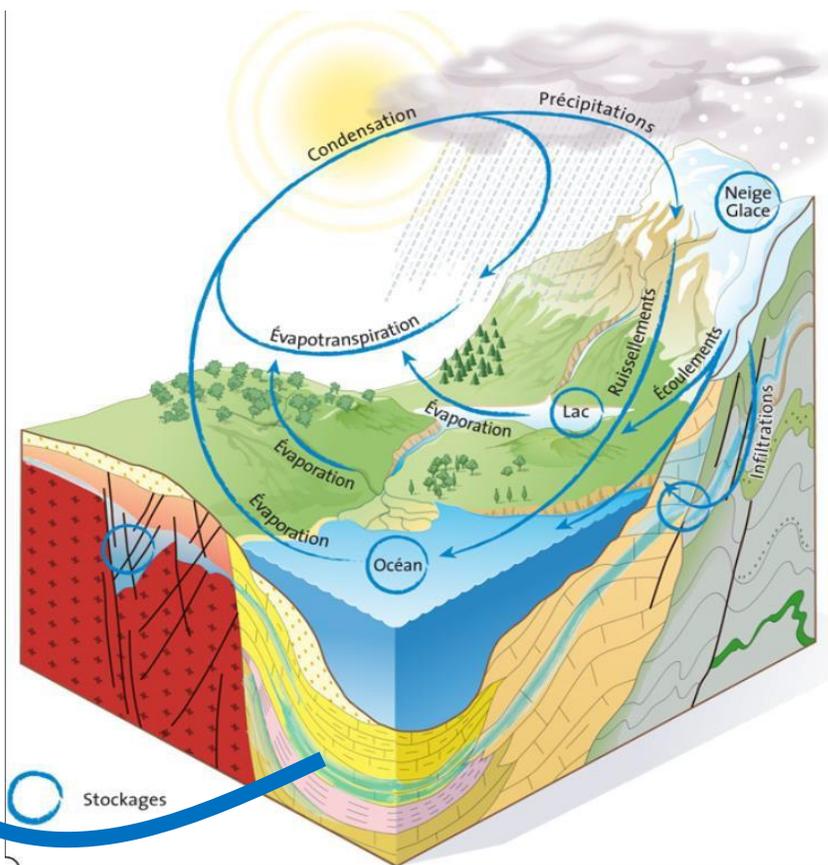
- **Potentiel de stockage** de CO₂ important sur territoire français pour émissaires ultimes + accès aux CCS internationaux (NorthernLight) → projets démonstrateurs
- Besoin de promouvoir **des solutions hybrides**
 - ↪ Ex. géothermie+CCS (+/- Li) : CO₂-dissolved



A scenic view of a river flowing through a forest. The river is surrounded by large, smooth, grey rocks. The water is clear and flows over the rocks, creating small cascades. The forest is lush and green, with sunlight filtering through the trees. The overall atmosphere is peaceful and natural.

**Les enjeux de préservation de
la ressource en eau**

Grand cycle de l'eau

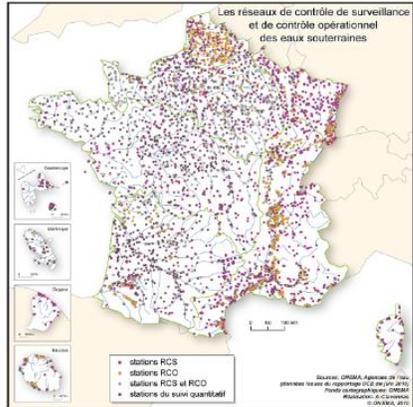


- Sous-sol ≈ éponge
- Si l'eau peut circuler → nappe phréatique
- Taille et réactivité variées

- Eau souterraine = 30% des 2,5% d'eau douce (rivières/lacs: 0,4%)
- Renouvelée par l'infiltration dans sous-sol

- 60% des prélèvements pour énergie + industrie
- 40% provenant nappes phréatiques

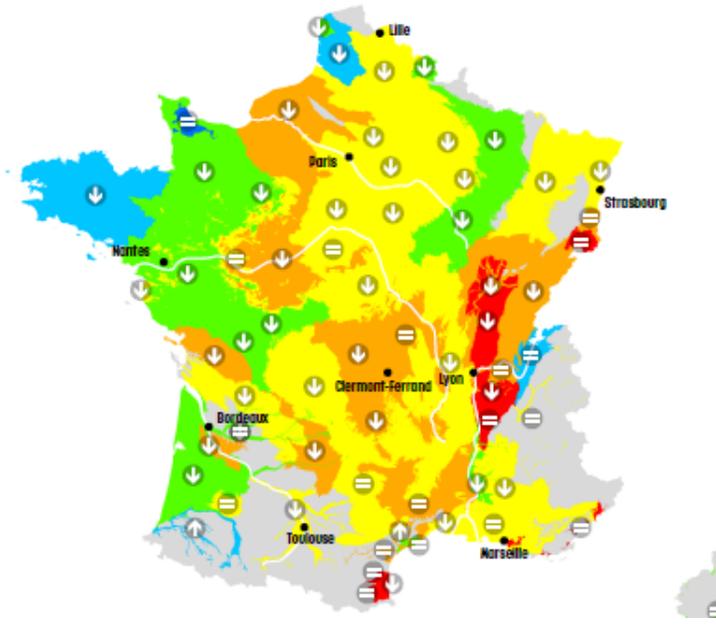
Une ressource en eau souterraine étroitement surveillée et sous tension climatique



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

Géosciences pour une Terre durable
brgm

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Situation des nappes au 1^{er} octobre 2023

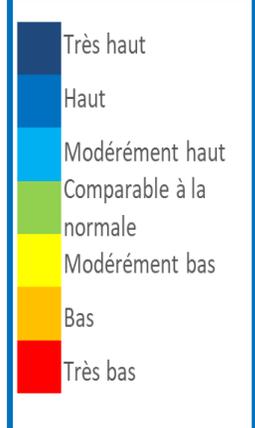
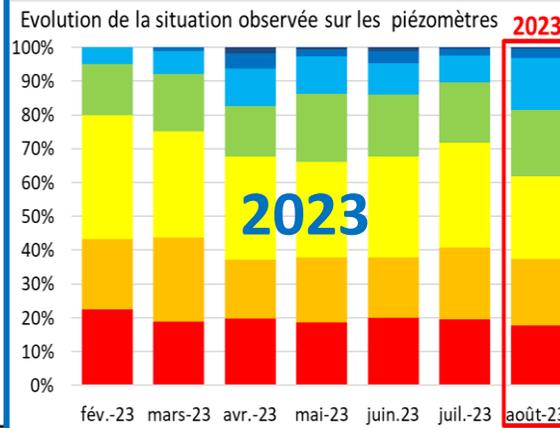
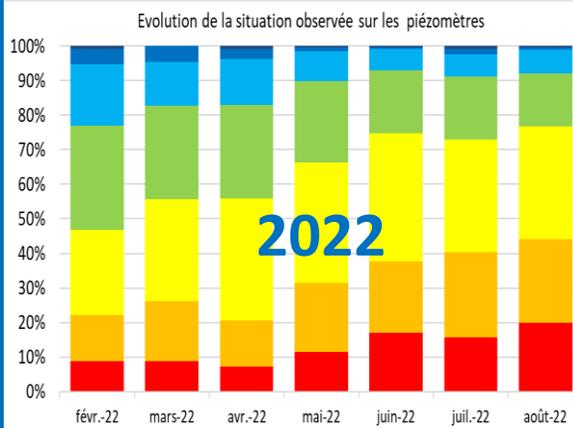


- Nappes phréatiques suivies par réseau piézométrique (BRGM)

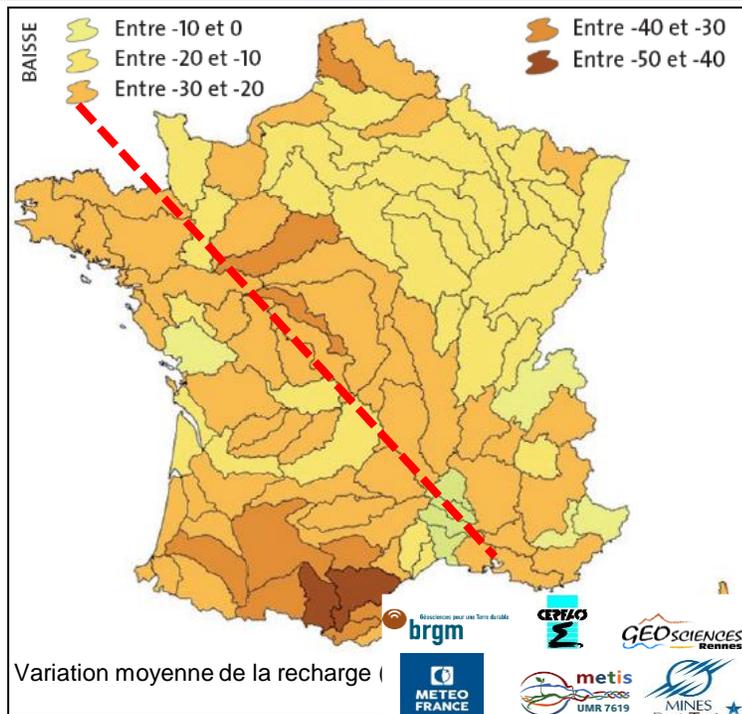
- 2299 points de suivi (1600 temps réel)
- Mise à disposition quotidienne des données brutes issues des capteurs et validation par expert
- Fourniture (bi)mensuelle de cartes de suivi et de prévisions saisonnière → situation spécifique à chaque territoire

- Une situation de tension exacerbée par l'accumulation d'années avec pluviométrie déficitaire

- Impossibilité de recharger suffisamment les nappes → effet cumulatif pluriannuel
- Besoin de réduire les prélèvements en période d'étiage



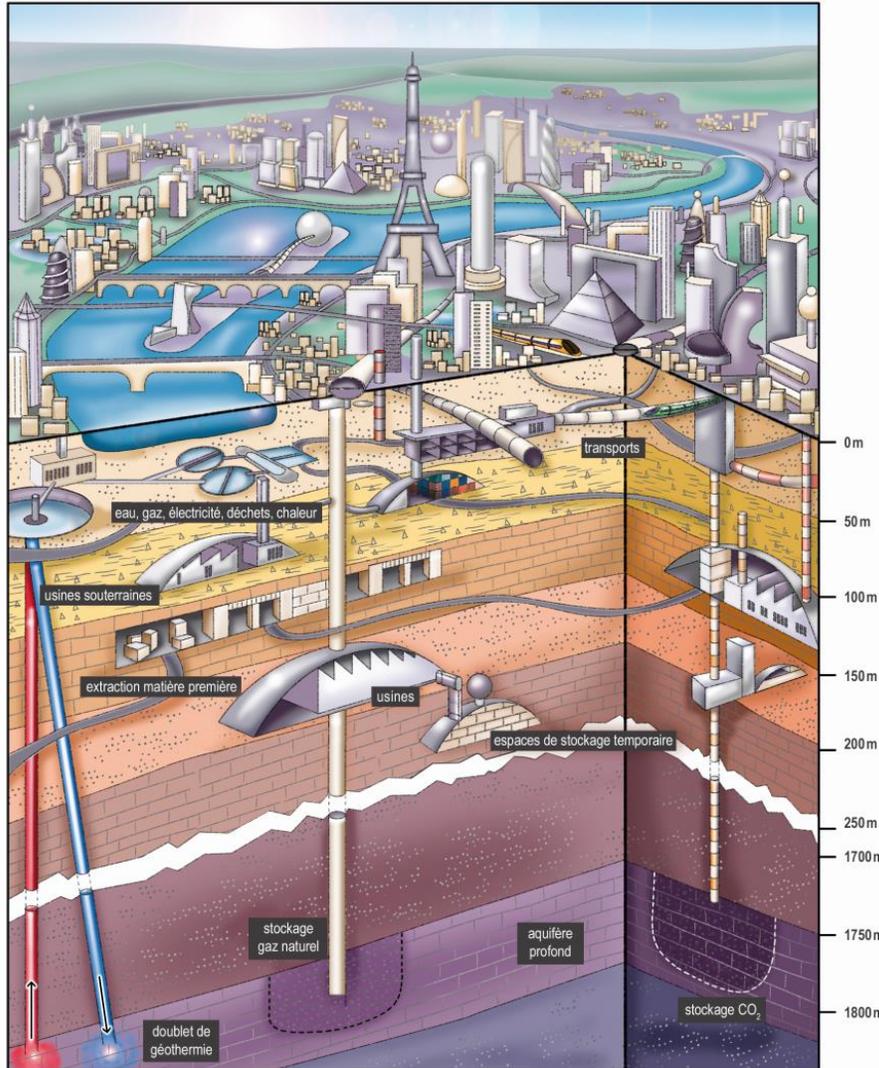
Des nappes sous tensions sous l'effet du changement climatique



- Changement climatique → réduction de la pluviométrie et de la recharge des nappes ⇔ diminution des niveaux
 - Globalement: -10 à -15% de la recharge en France (-25% sur bassin de la Loire, -35% sur Sud-Ouest)
 - Baisse très hétérogène, même localement
- Impact de la **baisse des nappes** :
 - Baisse des débits d'étiage des cours d'eau et augmentation de la durée des assecs (80 à 100% du débit estival des cours d'eau peuvent venir des nappes)
 - Intrusion du biseau salé dans les terres
 - Risque de rupture des prélèvements
- Besoin de développer des **solutions pour préserver la ressource en eau** et lisser les apports pluviométriques
 - Il n'existe pas de solutions uniques ⇔ spécifique à chaque territoire
 - Recharge maîtrisée des nappes, barrages souterrains...
 - Réserves de substitution



Conclusion



- Sous-sol a un **rôle important à jouer** dans la transition énergétique même si son rôle est souvent invisible :
 - ❑ Fournisseur de **ressources** indispensables: ressources minérales, eau, ... H₂ naturel ou assisté ??...
 - ❑ Fournisseur **d'énergies**: géothermies, stockage chaleur ...
 - ❑ Fournisseur **d'espaces de stockage**: vecteurs énergétiques, CCS, déchets ...
- Sous-sol n'étant pas politisé et intégré dans le débat sociétal, **complexité à associer les populations à la coconstruction des projets au risque de voir émerger une opposition forte** → enjeu stratégique à aborder très en amont.
 - ❑ Risque de forte opposition à tout usage du sous-sol → besoin de pédagogie et d'investissement des pouvoirs publics.
 - ❑ Débat souvent réducteur : "sobriété permettrait d'éviter les mines"
- Ressources du sous-sol risquent de devenir un **frein au bon déploiement** de la transition énergétique (ressources minérales, eau...) → **nécessité d'anticiper !**



SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL



Géosciences pour une Terre durable

brgm

SIÈGE - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél.: (33) 2 38 64 34 34
Fax: (33) 2 38 64 35 18

www.brgm.fr



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

Merci de votre attention !

Pour tout contact
Christophe POINSSOT, c.poinssot@brgm.fr