



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# LES MÉTAUX STRATÉGIQUES : LE NOUVEAU DÉFI DES ÉCONOMIES BAS-CARBONE

**Christophe POINSSOT**

Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Directeur Général Délégué et Directeur Scientifique

**Président de EuroGéoSurveys**



The Geological Surveys of Europe



Université d'été  
Sauvons le climat  
15 octobre 2023

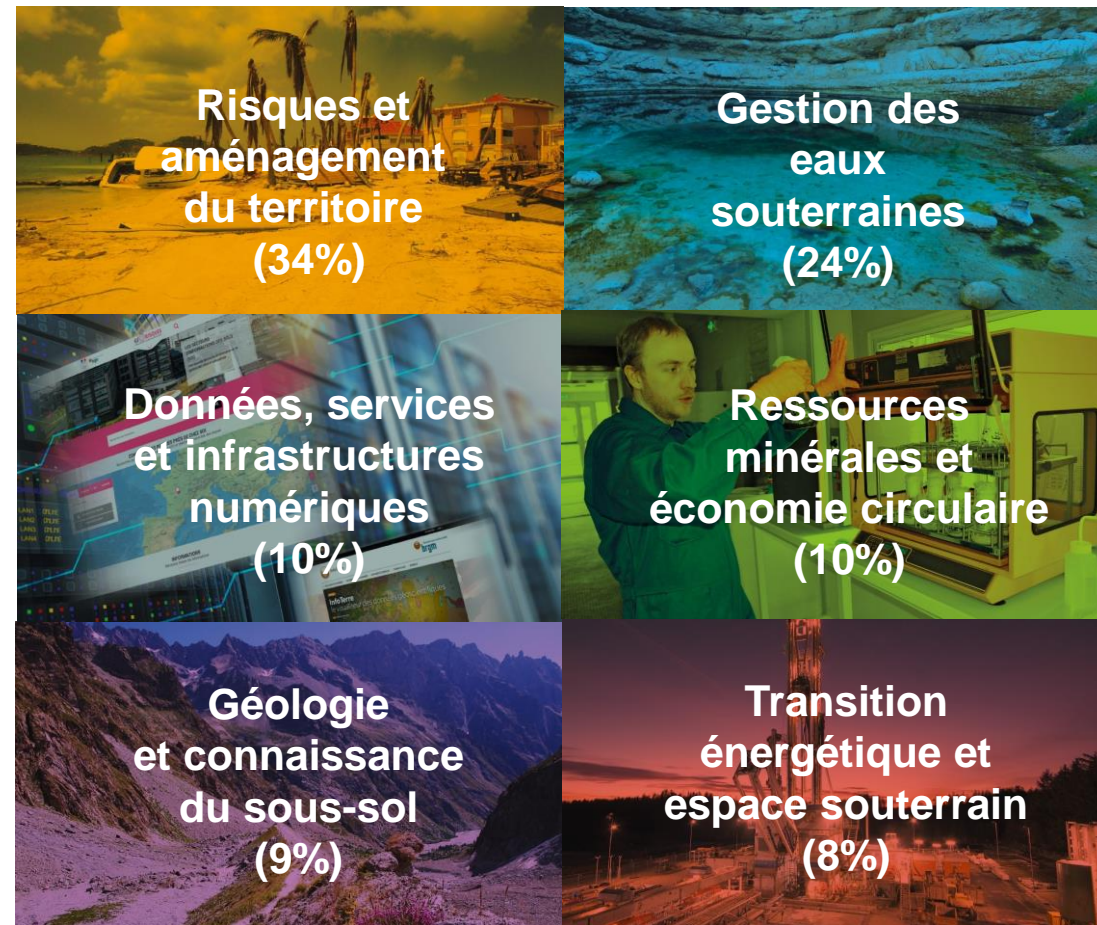
# Le BRGM en quelques mots

**Enjeu** : apporter des réponses scientifiques aux défis sociétaux liés au changement climatique, à la transition énergétique et au développement de l'économie circulaire.

- Assure une triple mission de **recherche** (35%), **d'appui aux politiques publiques** (35%) et de **soutien aux entreprises** (10%) + gestion des anciens sites miniers français (20%)

## Carte d'identité

- Créé en 1959, assure le rôle de **Service Géologique National**
- Etablissement public sous la tutelle du MESR, du MTECT, du MTE et du MIND
- Un **millier de salariés** dont **750** ingénieurs et chercheurs,
- Plus de **90 doctorants** accompagnés par les équipes BRGM,
- Budget d'environ **140 M€** dont **55 M€** de ressources externes et 30 M€ pour l'après-mine
- laboratoires et plateformes expérimentales localisés à **Orléans**
- 18 directions régionales** incluant les DROM



(+ 5% transverse)

# Sommaire

- 1. Pourquoi notre monde est-il de plus en plus gourmand en métaux ?**
- 2. Les spécificités du marché des ressources minérales**
- 3. Quelles solutions possibles pour sécuriser les approvisionnements ?**
- 4. La mine responsable, mythe ou réalité ?**

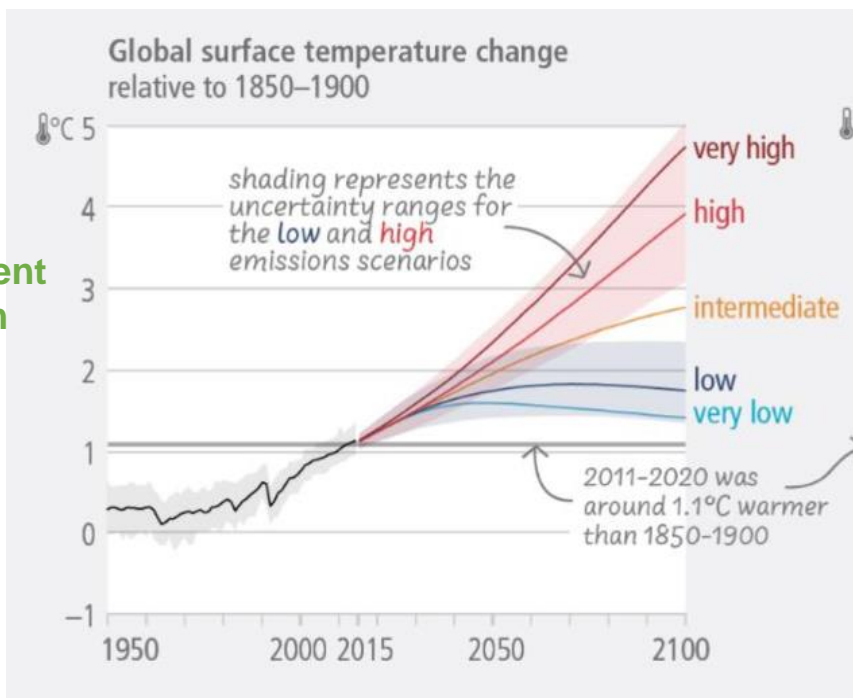
# 1 – Pourquoi notre monde est-il de plus en plus gourmand en métaux ?

*De la dépendance aux énergies fossiles à celles aux métaux*



# Les enjeux de la transition écologique

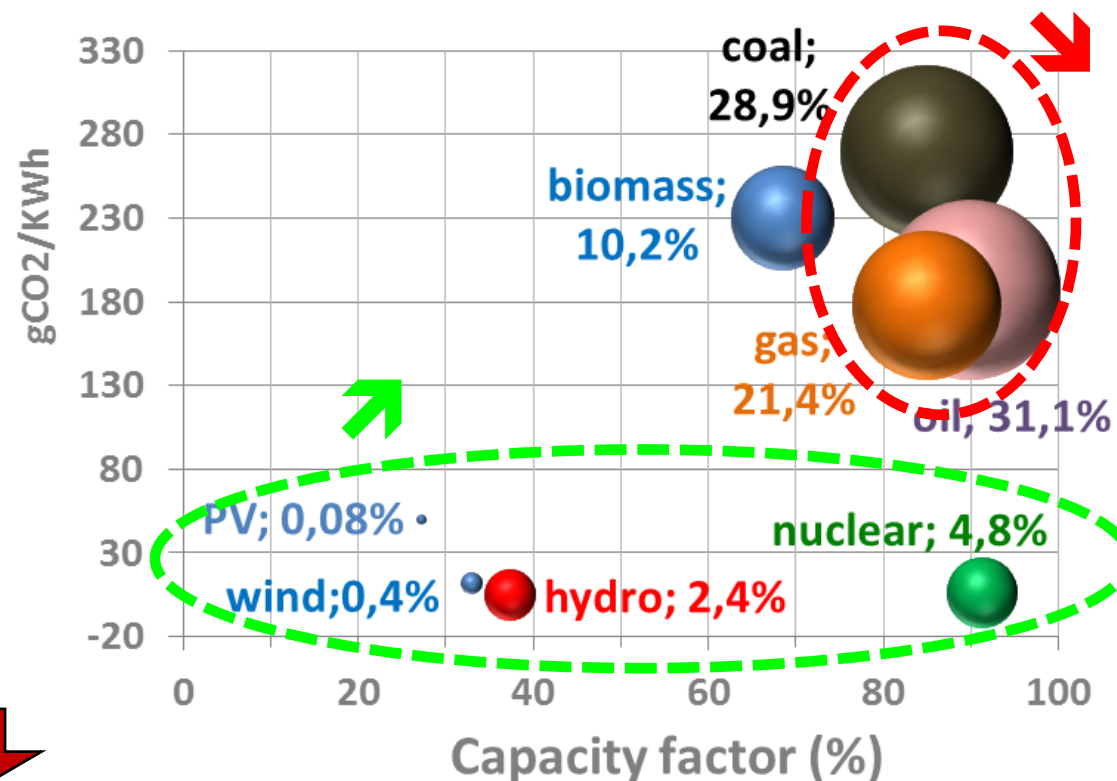
## ① Besoin urgent de réduire les émissions de GES



actuellement  
420 ppm  
CO<sub>2</sub> !

IPCC report 2023

## ② Développer les énergies décarbonées



### Les objectifs clés de la transition énergétique

- ➔ sobriété et efficacité énergétique
- ➔ énergies décarbonées ➔ nucléaire et renouvelables
- ➔ réseau intelligent et capacités de stockage pour compenser l'intermittence

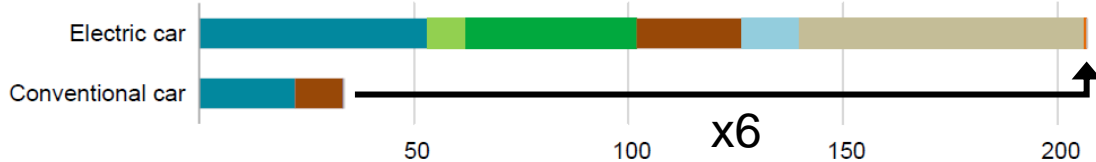
# Les nouvelles technologies bas carbone sont avides en ressources minérales

- Les nouvelles technos bas-carbone sont fortement demandeuses en métaux
- Moyens de production comme d'usages

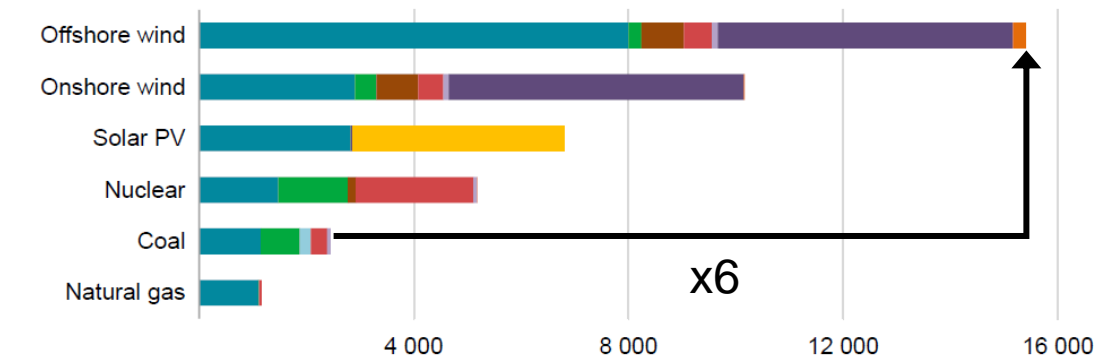
- Forte augmentation des besoins en métaux
- Métaux "historiques" (Cu...) comme "nouveaux" (Li, Mn, Co...)

Minerals used in selected clean energy technologies

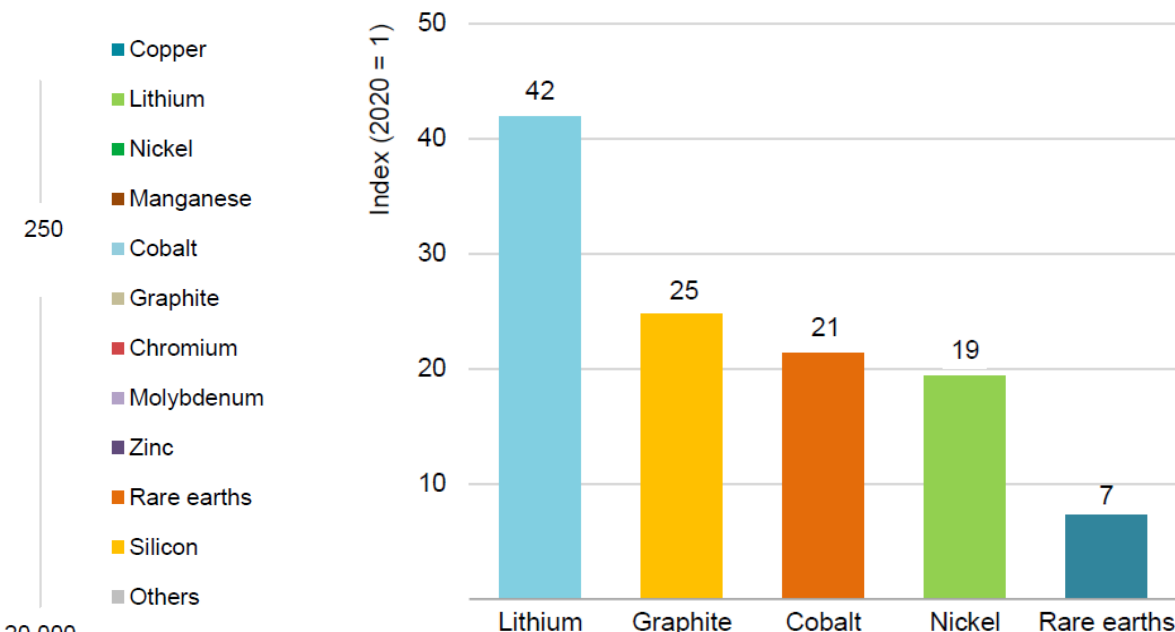
## Transport (kg/vehicle)



## Power generation (kg/MW)



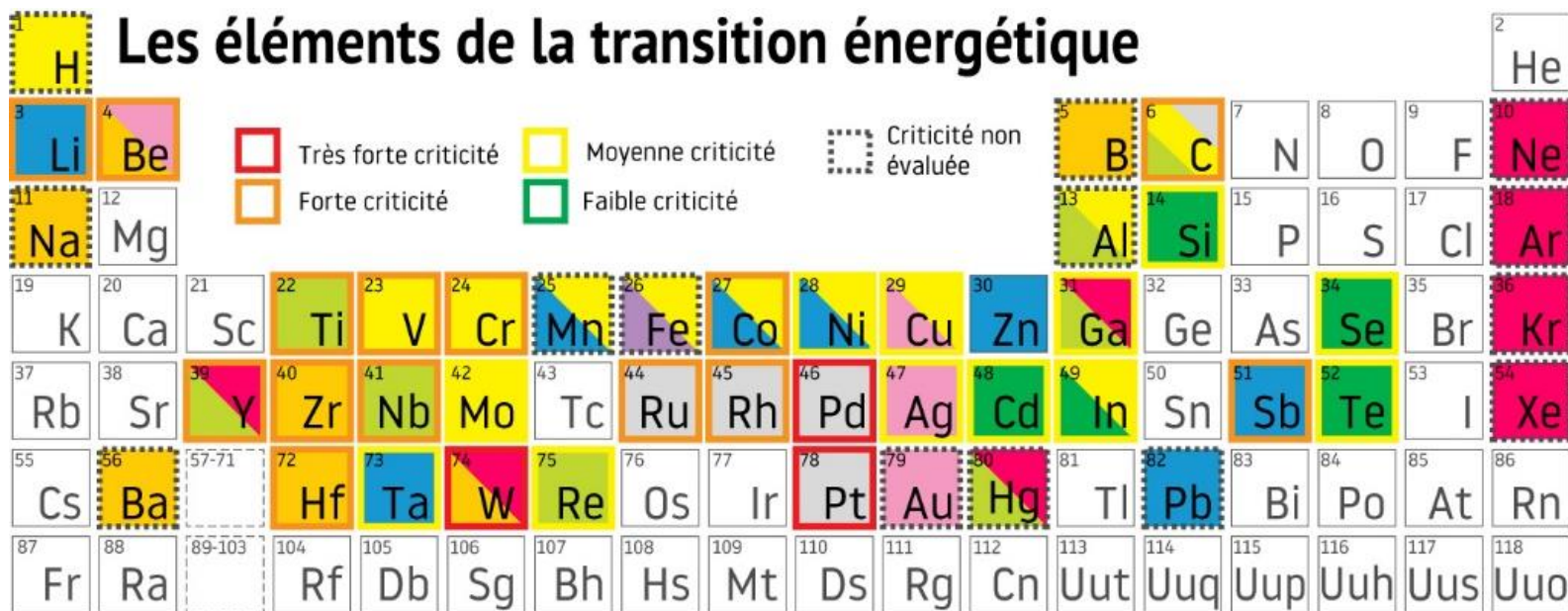
Growth of selected minerals in the SDS, 2040 relative to 2020



IEA. All rights reserved.

IEA. All rights reserved.

# Transition énergétique mobilise des ressources minérales de plus en plus diversifiées...



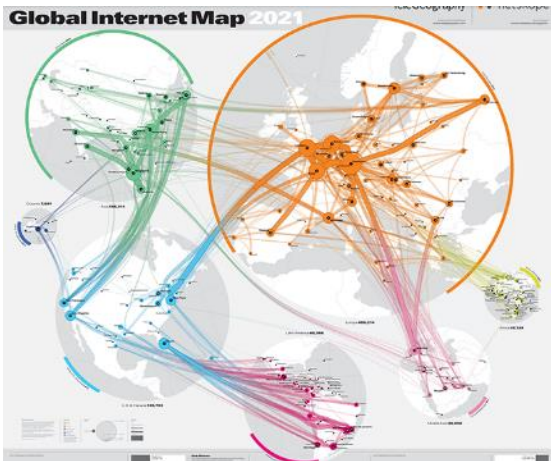
Terres rares légères

Terres rares lourdes



- Stockage de l'énergie
- Photovoltaïque
- Connectique
- Mobilité électrique, énergie éolienne  
(aimants permanents à terres rares)
- Économies de d'énergie
- Éclairage
- Catalyse (automobile, piles à combustible)
- 
- Production et transport de l'électricité
- 
- Industrie électrique nucléaire
-

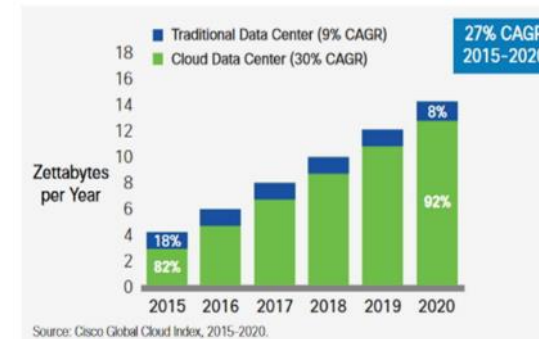
# Le monde numérique est un monde très riche en métaux



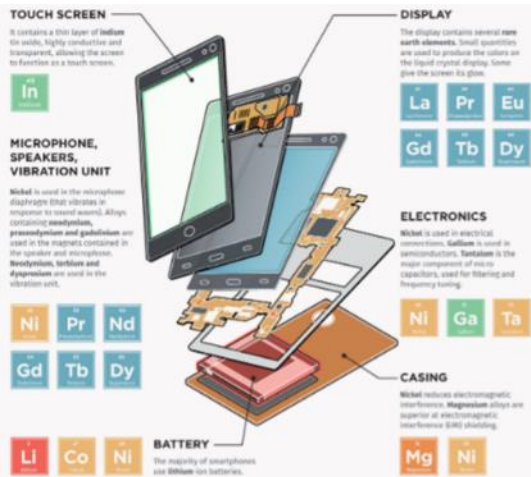
1 Internet est avant tout un réseau physique



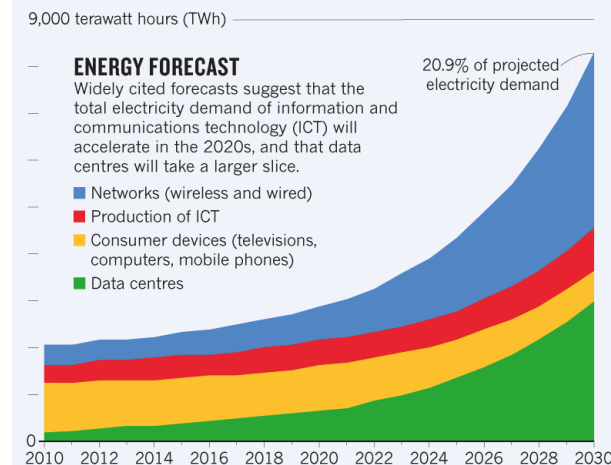
2 Quantité de données stockées explosent



3 Objets connectés sont riches en métaux

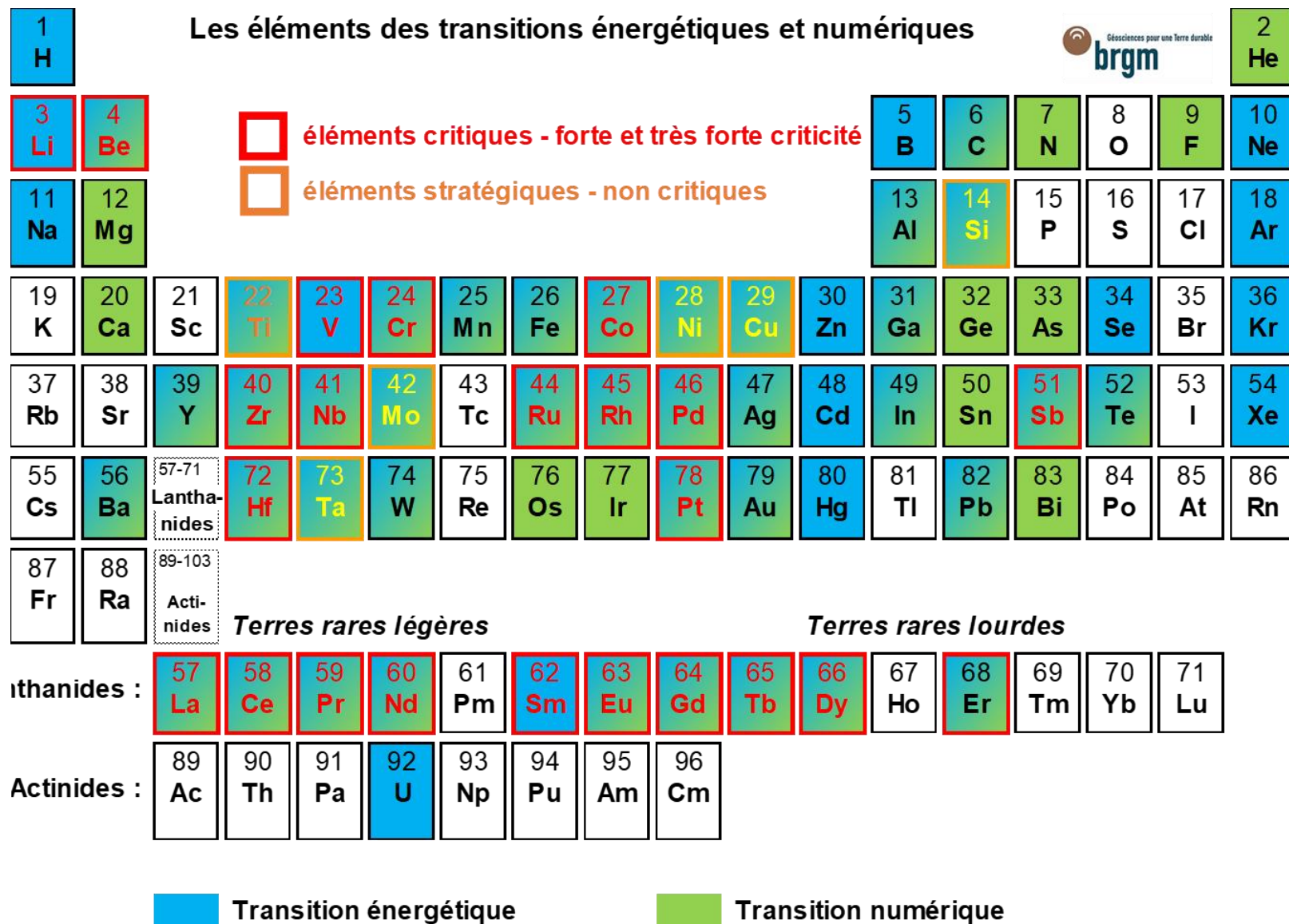


4 Monde numérique consomme une part croissante d'énergie





# Les transitions énergétiques et numériques mobilisent des ressources similaires



- **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 besoins en ressources minérales sont et resteront en croissance ...

## Net Zero Carbon



## Transition énergétique et écologique

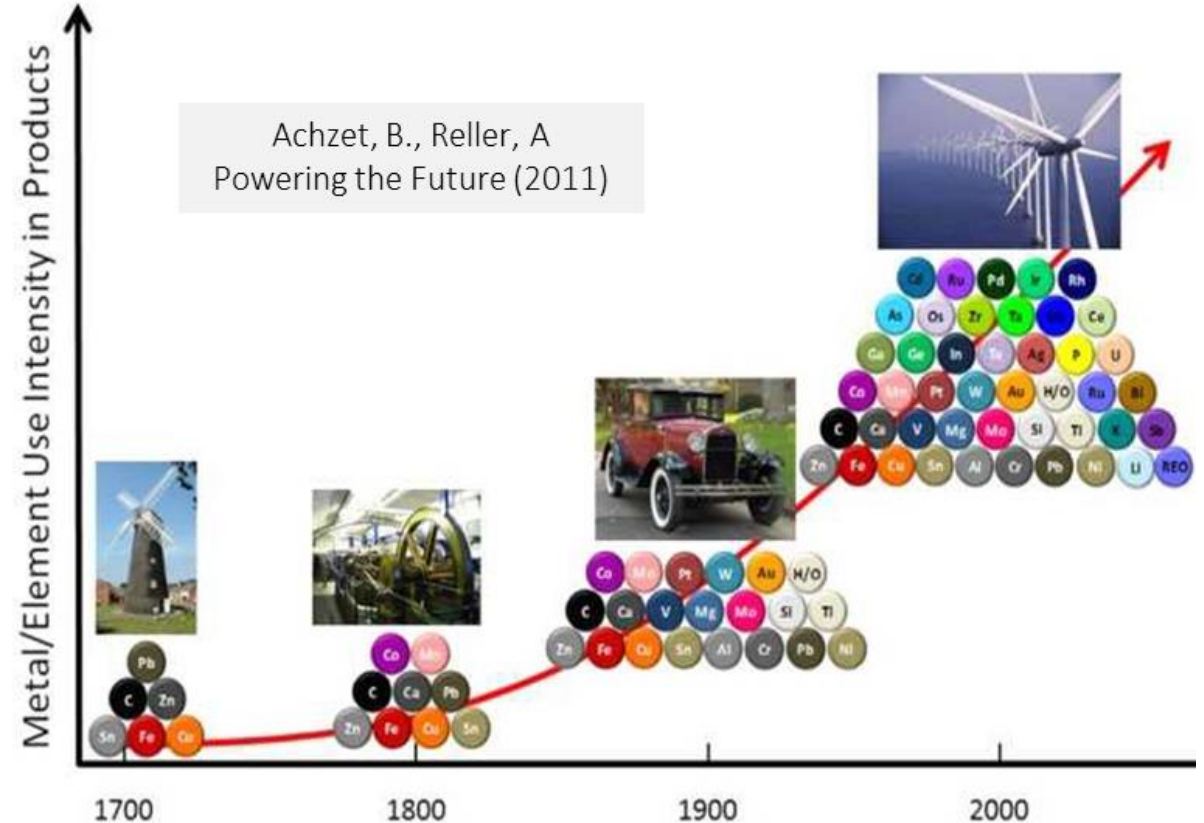


## Transition numérique



## Croissance économique

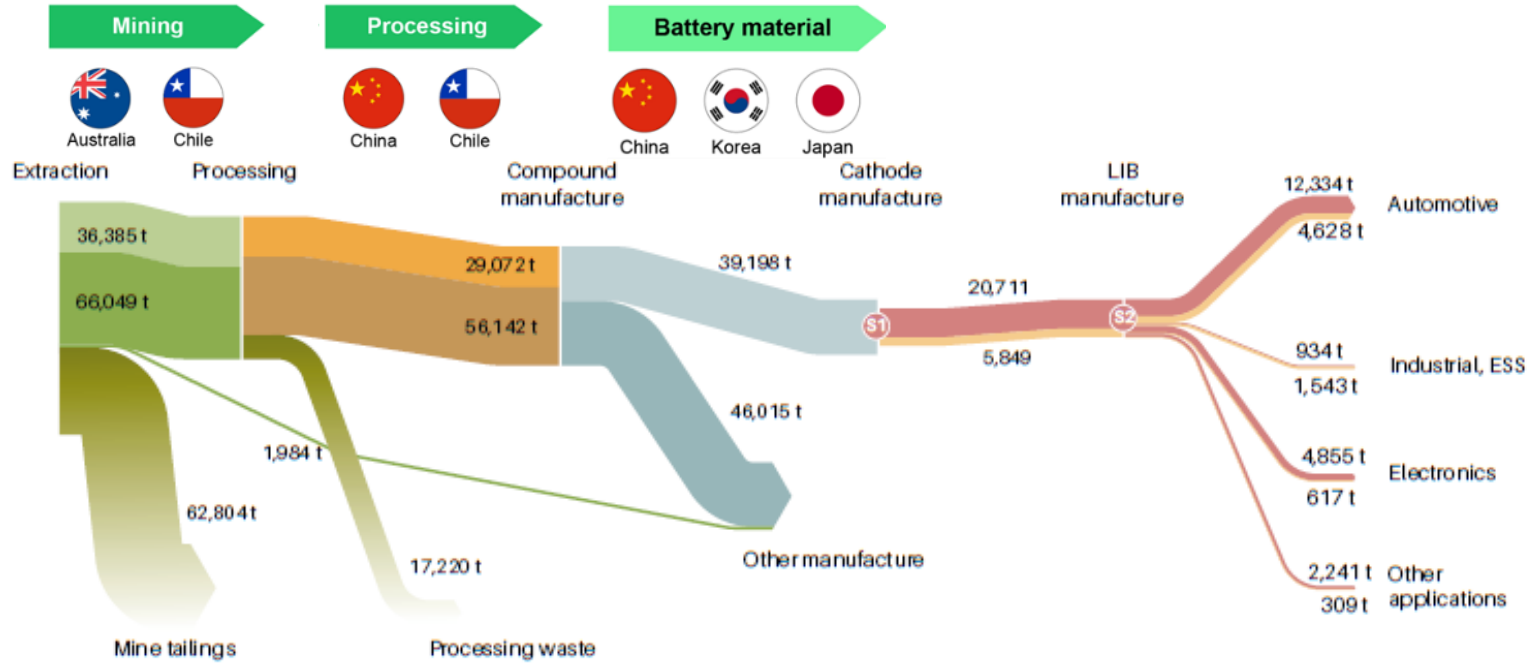
- Technologies innovantes reposent sur des matériaux finalisés de plus en plus complexes → **quantité** ↗  
**métaux mineurs/rares** ↗, **exigences de pureté** ↗



## 2- Les spécificités du marché des ressources minérales

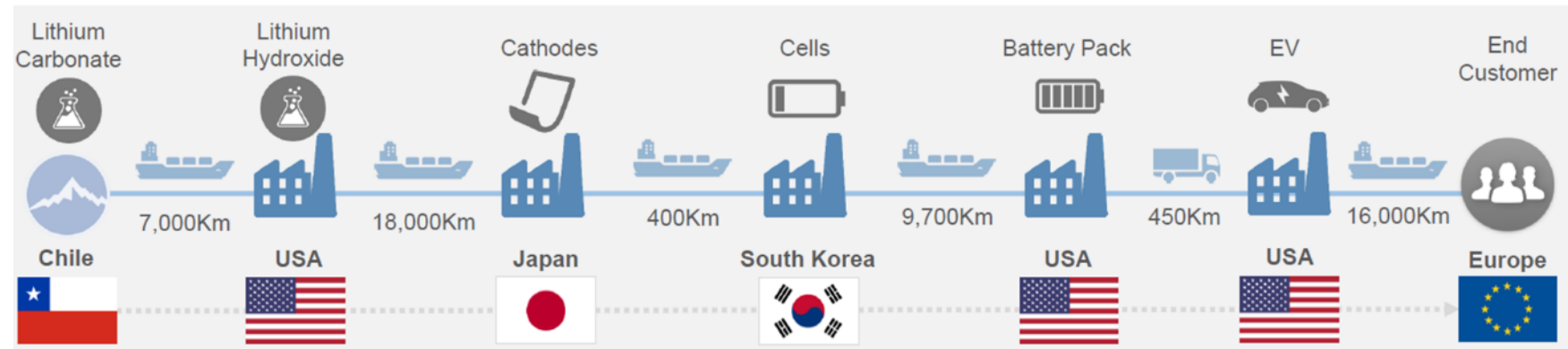
*Des chaînes de valeur mondialisées et complexes*

# Maîtriser une chaîne d'approvisionnement requiert de maîtriser l'ensemble des étapes



- **Chaîne d'approvisionnement** = succession d'étapes de traitement dépendantes de la nature du minéral
- Opérations supplémentaires souvent réparties dans différents pays → contrôle chaîne de valeurs peut se faire à tous les niveaux
- Extraction minière ne détient qu'une part limitée de la création de valeurs → investissement vers aval

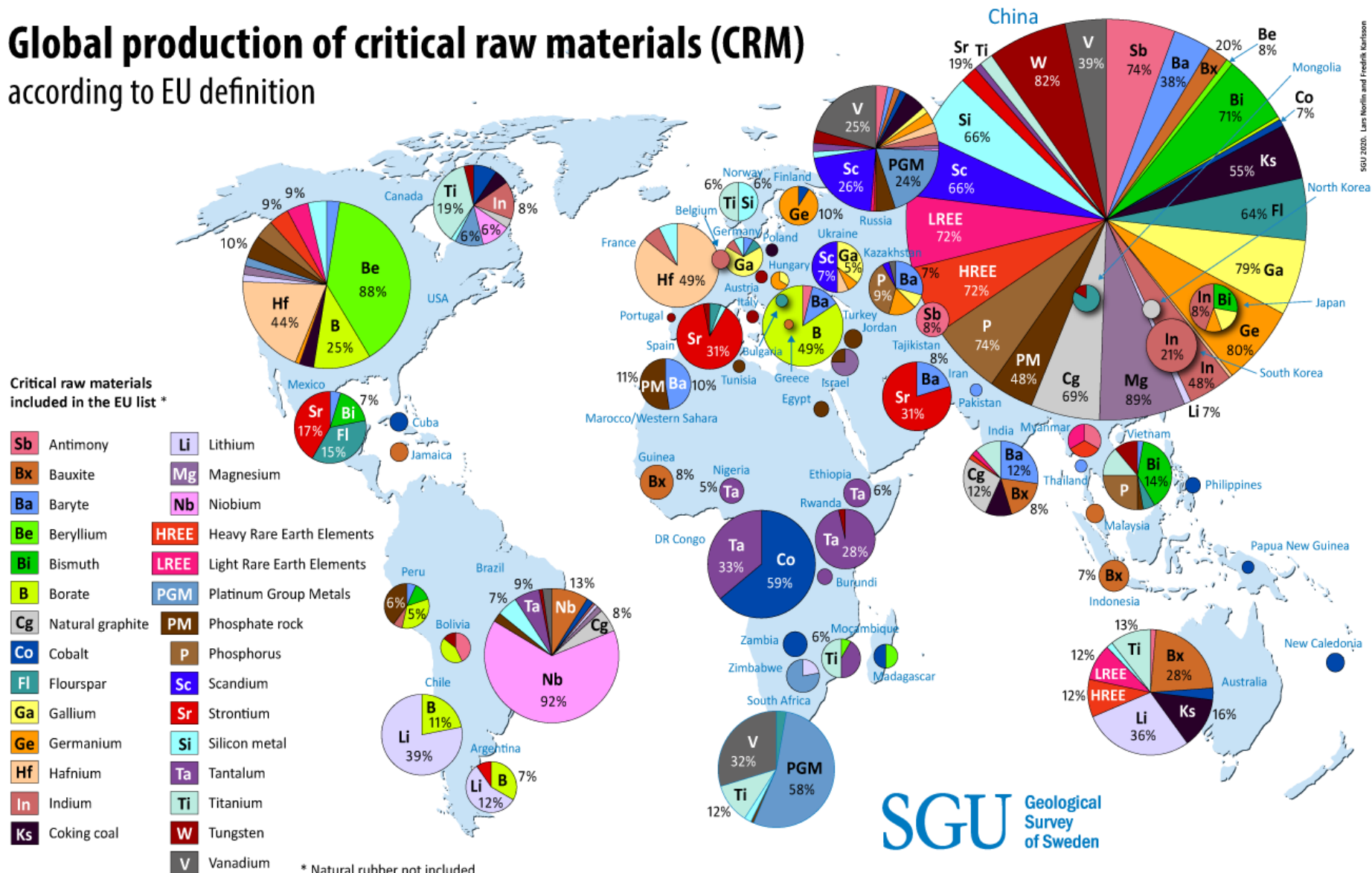
The lithium inside your car travels more than 50,000km before you even start driving\*





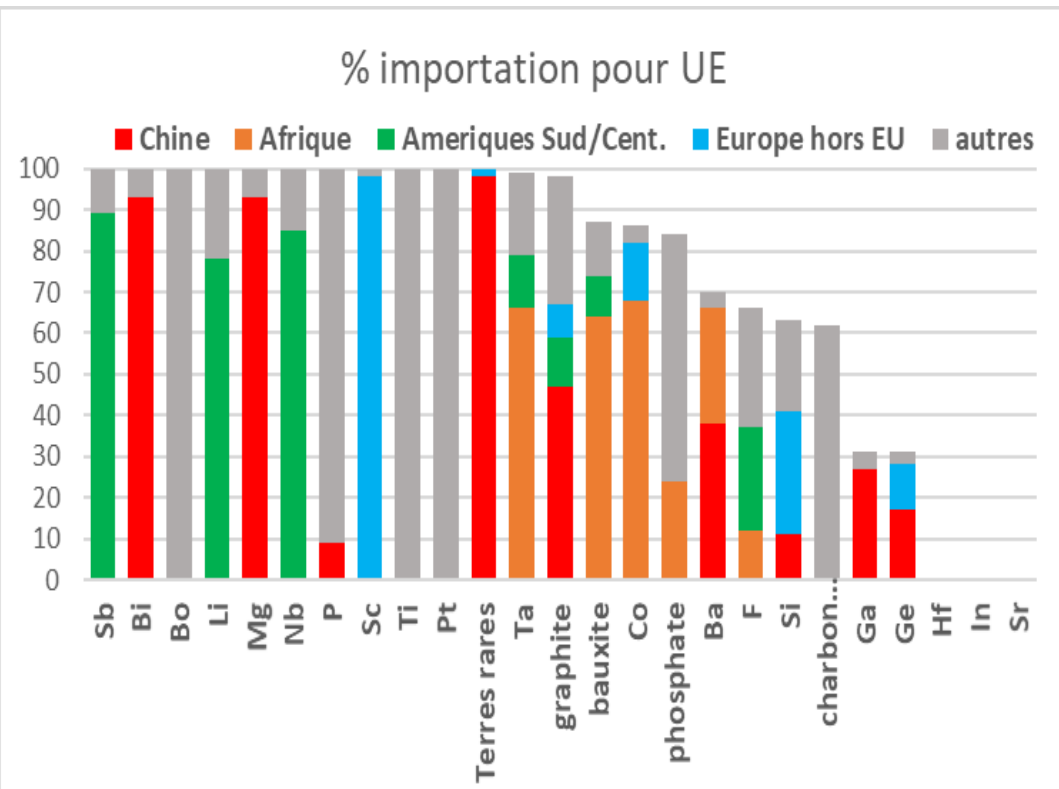
# La production des CRM reste à ce jour dominé par quelques pays clés → nouvelle géopolitique

## Global production of critical raw materials (CRM) according to EU definition



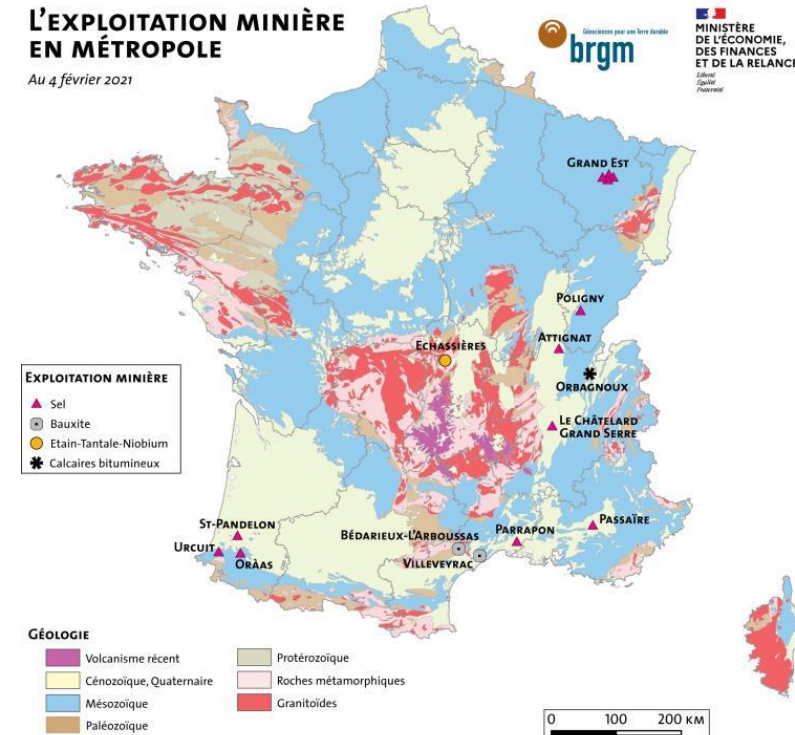
# L'Europe mais surtout la France ont perdu leur souveraineté minérale

- Activités extractives et de premières transformations ont été **progressivement transférées** vers pays à bas coût de main d'œuvre et moins regardants sur l'impact environnemental
  - ❑ **Enjeux éthiques** : exportation des impacts et des contraintes
  - ❑ **Enjeux géopolitiques et stratégiques** : perte d'indépendance et risque systémique
- L'absence visible d'industrie extractive en métropole a modifié le **regard de la société** française sur cette industrie "*dénigrée*" ⇔ **oubli que nos modes de vie n'existent pas sans mines !**

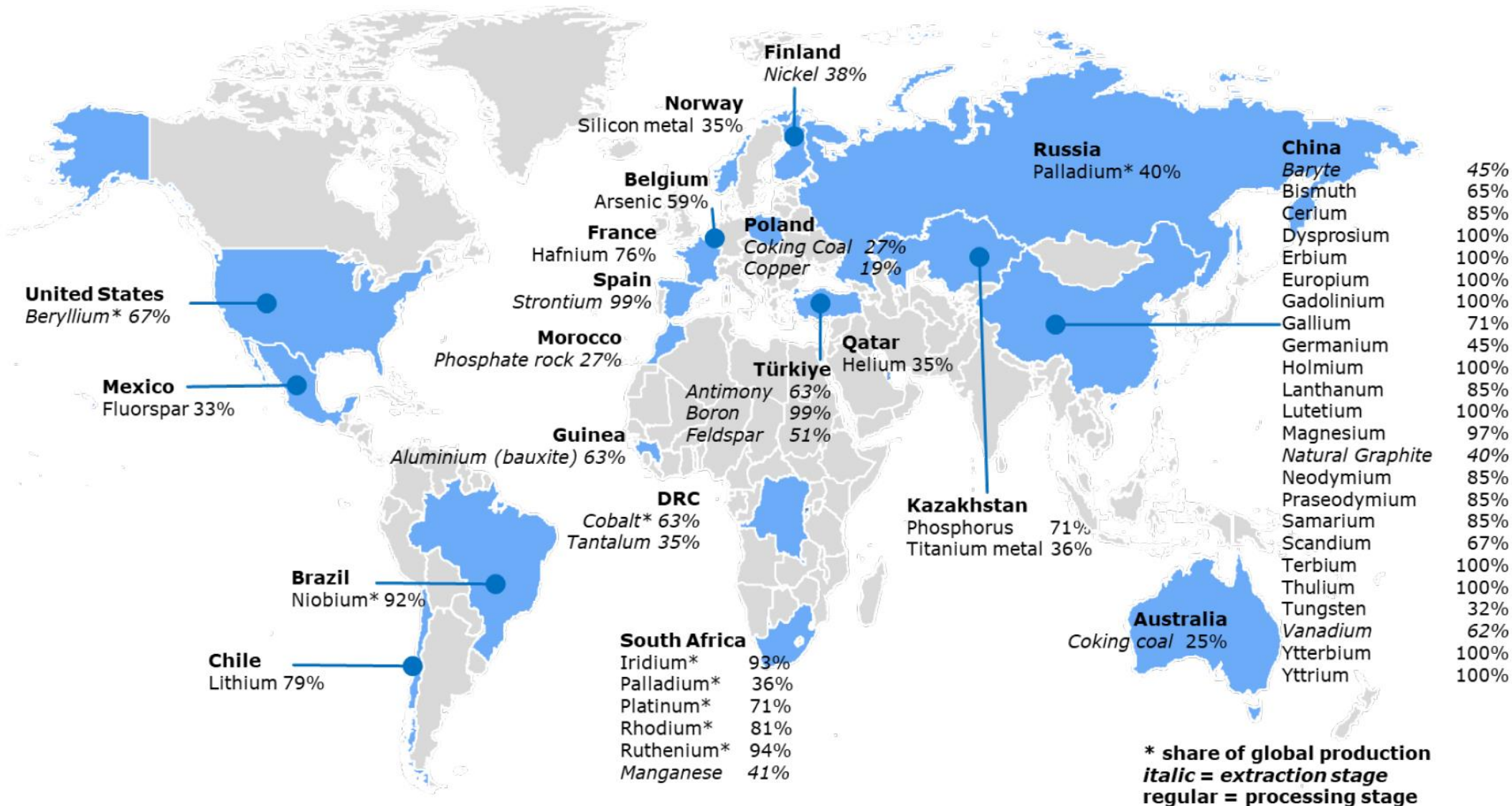


## L'EXPLOITATION MINIÈRE EN MÉTROPOLE

Au 4 février 2021



# Europe est fortement dépendante de ses importations ⇔ nouvelles dépendances





# La Chine a compris de longue date le rôle clé des ressources minérales dans les économies décarbonées

## % de la Chine dans le marché mondial des CRM

China			
Aluminium	56%	LREEs	
Antimony	56%	Cerium	85%
Arsenic	44%	Lanthanum	85%
Baryte	44%	Neodymium	85%
Bismuth	70%	Praseodymium	85%
Cobalt	60%	Samarium	85%
Coking Coal	53%		
Copper	38%	HREEs	
Fluorspar	56%	Dysprosium	100%
Gallium	94%	Erbium	100%
Germanium	83%	Europium	100%
Lithium	56%	Gadolinium	100%
Magnesium	91%	Holmium	100%
Manganese	58%	Lutetium	100%
Natural graphite	67%	Terbium	100%
Nickel	33%	Thulium	100%
Phosphate rock	44%	Ytterbium	100%
Phosphorus	79%	Yttrium	100%
Scandium	67%		
Silicon metal	76%		
Titanium metal	43%		
Tungsten	86%		
Vanadium	62%		

Italique = extraction / normal = raffinage

- Chine ↔ **monopole** basé sur la maîtrise des étapes de transformation plus que sur la localisation des mines en Chine
- **Routes de la Soie** → accaparement des ressources et création de dépendances économiques
- Lutte géostratégique pour l'accès aux ressources minérales

## The Belt and Road Initiative Has Gone Global

Official BRI participants by year of joining



Read the full Task Force report at [cfr.org/BeltAndRoad](http://cfr.org/BeltAndRoad)

Sources: Green Belt and Road Initiative Center; Belt and Road Portal.

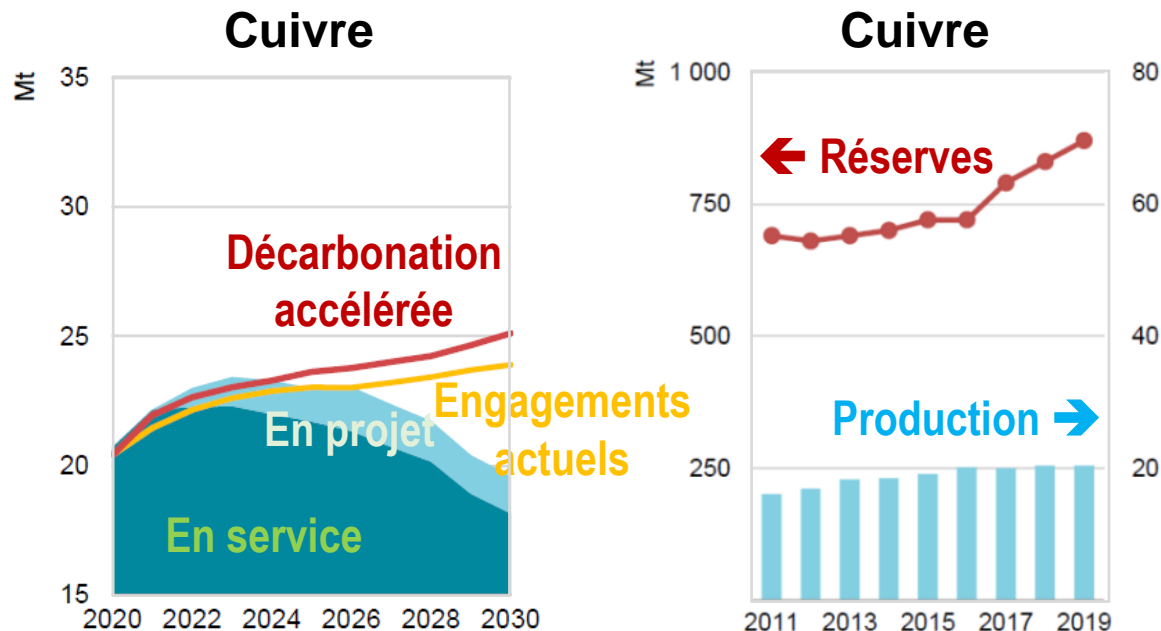
COUNCIL on FOREIGN RELATIONS



Source: EIU.

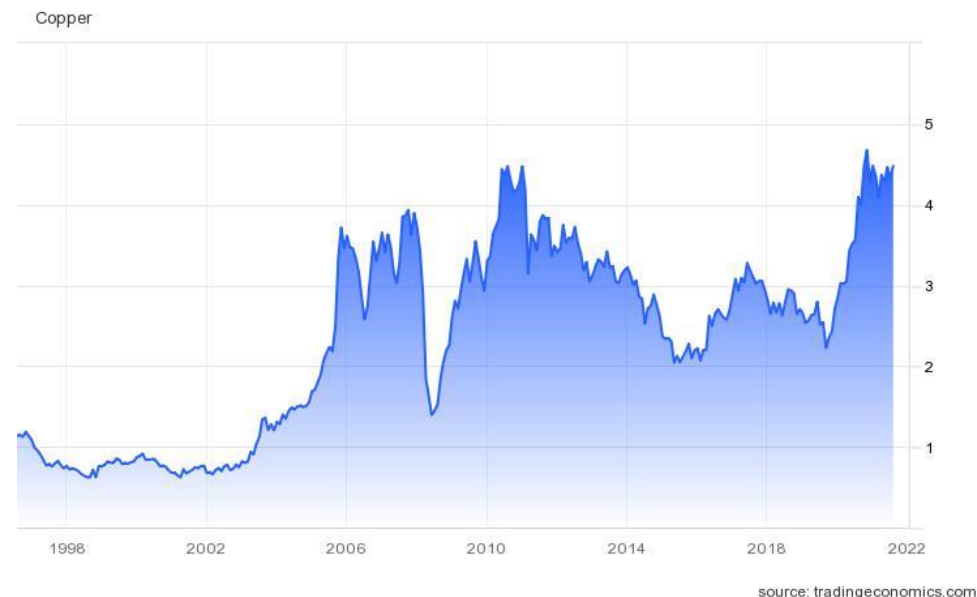


## ❶ Difficultés à ajuster l'offre et la demande



- Tension croissante et difficultés à répondre à la demande → **risque de rupture à moyen-terme**
- Réserves restent importantes mais difficiles à mettre sur le marché : gisements moins concentrés, time-to-market long, tensions sociétales grandissantes ...

## ❷ Forte volatilité des prix



- Forte augmentation des cours → frein au déploiement de la transition énergétique
- Mais augmente mécaniquement les réserves économiquement rentables et favorise des investissements croissants

### 3 – Pourquoi ne pourra-t-on pas éviter d'ouvrir de nouvelles mines ?



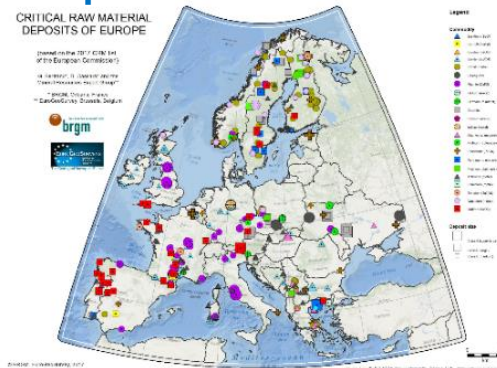
*Le recyclage ne pourra pas répondre à l'ensemble des besoins*

# Que peut faire l'Europe pour retrouver une part de souveraineté économique et industrielle ?

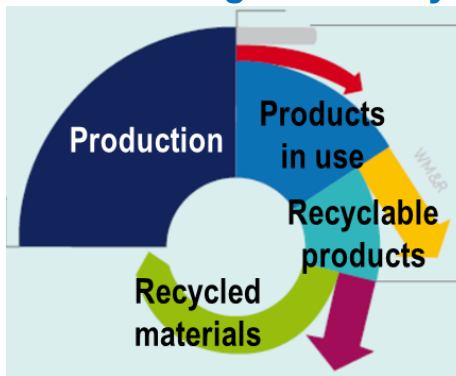
1 Développer l'intelligence minérale pour anticiper et soutenir la gouvernance



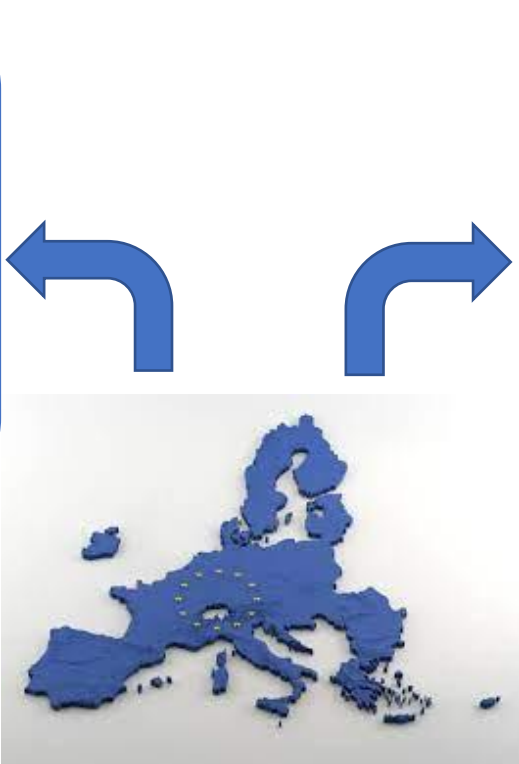
3 Développer l'exploration et l'exploitation minière en EU



2 Développer l'économie circulaire et les technologies de recyclage



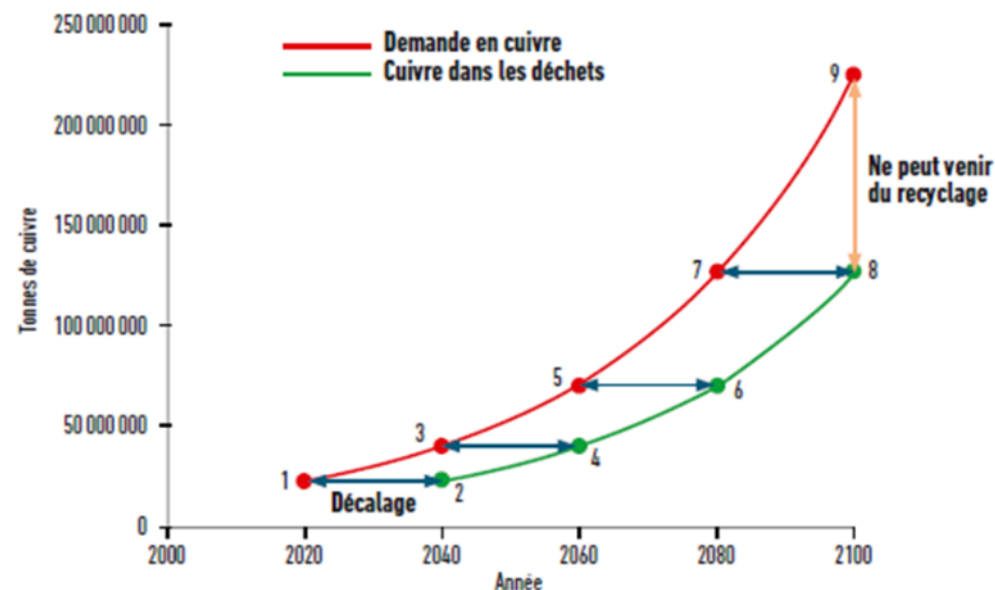
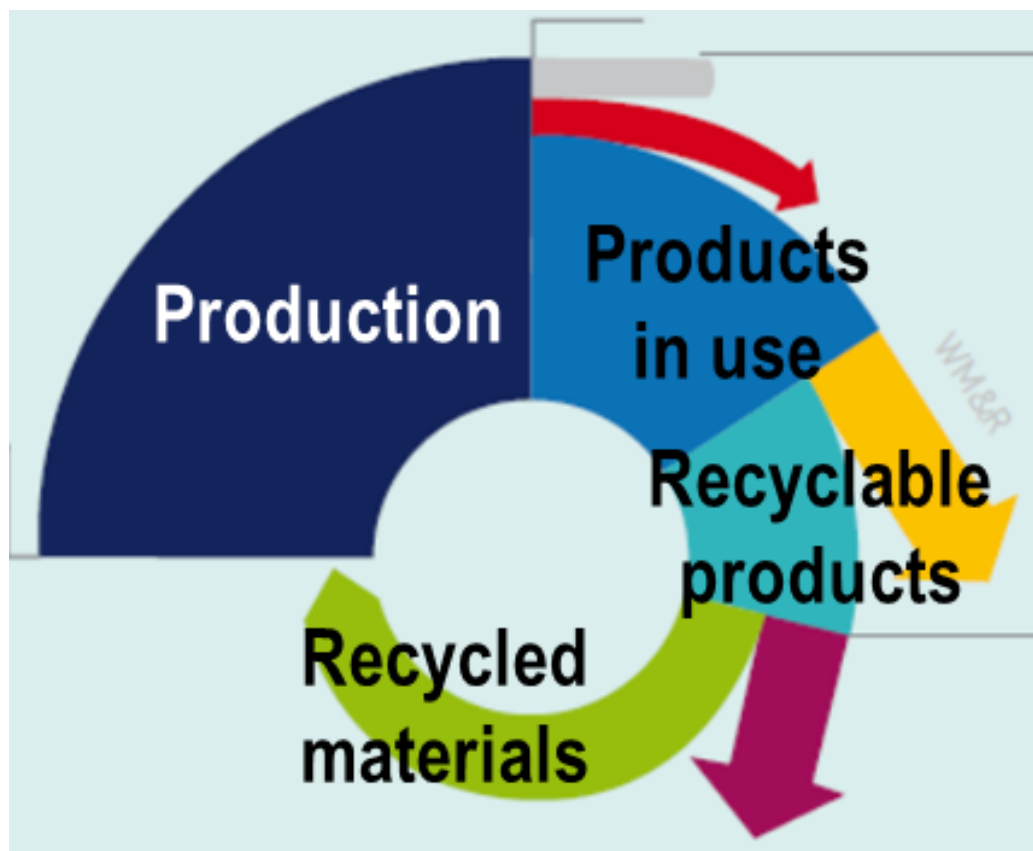
4 Développer des partenariats stratégiques pour sécuriser les approvisionnements



# Le recyclage, une nécessité et une opportunité qui ne répondra pas à la totalité de nos besoins

- Le recyclage est une **opportunité** à saisir en termes de relocalisation, de maîtrise industrielle, d'économie de la ressource et de souveraineté
- Nécessite une **industrie de transformation** nationale pour purifier et transformer les matières recyclées

- **Impossibilité de couvrir 100% des besoins** (*croissance de la demande, difficultés de la collecte, limitation physique et énergétique, nouveaux besoins ...*) → **ne résoudra pas la question des approvisionnements**

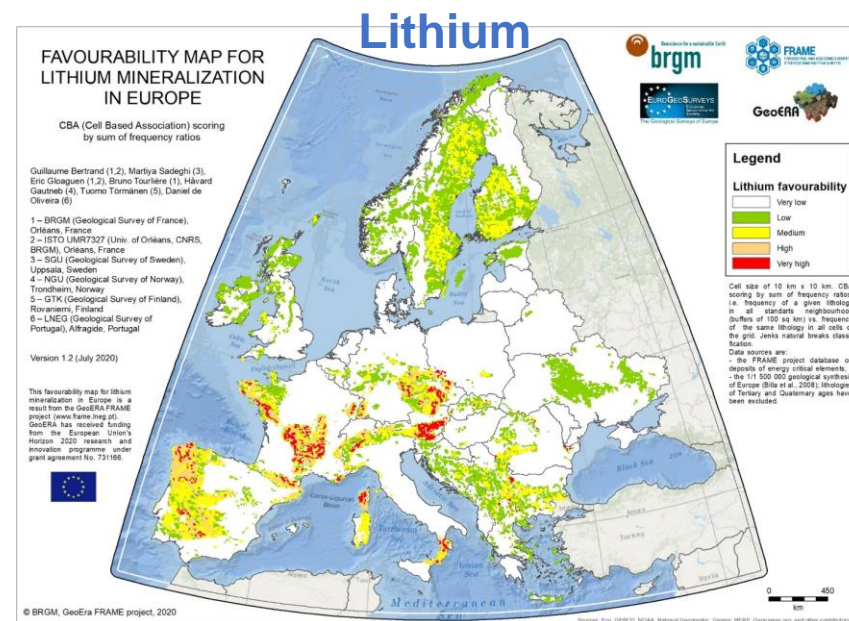
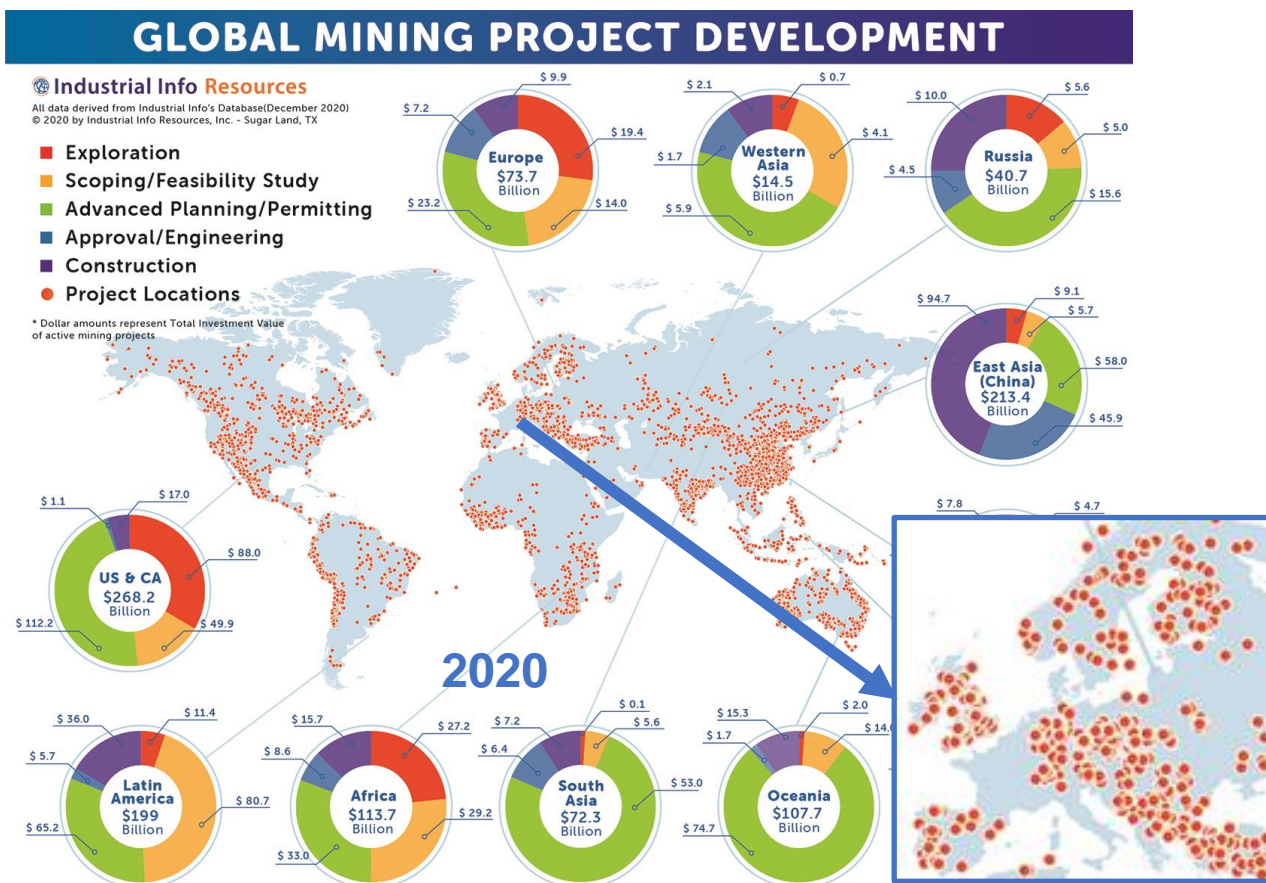


- Complexité des usages fera émerger une **rationalisation des usages** (spécifications décroissantes le long des chaînes de valeur)

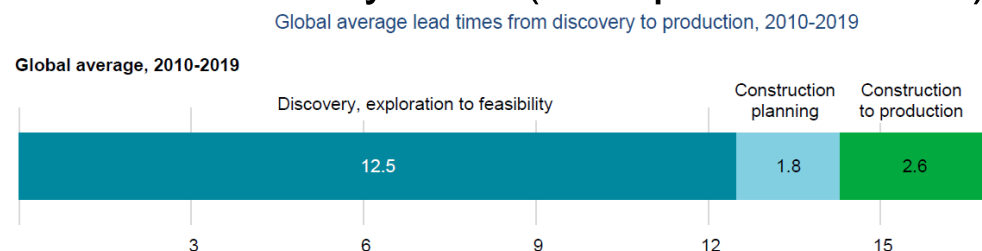
# ③ Développer de nouvelles mines responsables en Europe et en France

- Sous-sol reste **riche en ressource minérales** mais leur exploitation représente un défi énergétique, environnemental, politique et sociétal

- Études prédictives confirment la **richesse** potentielle du sous-sol français, y compris à l'échelle EU (ex.Lithium)



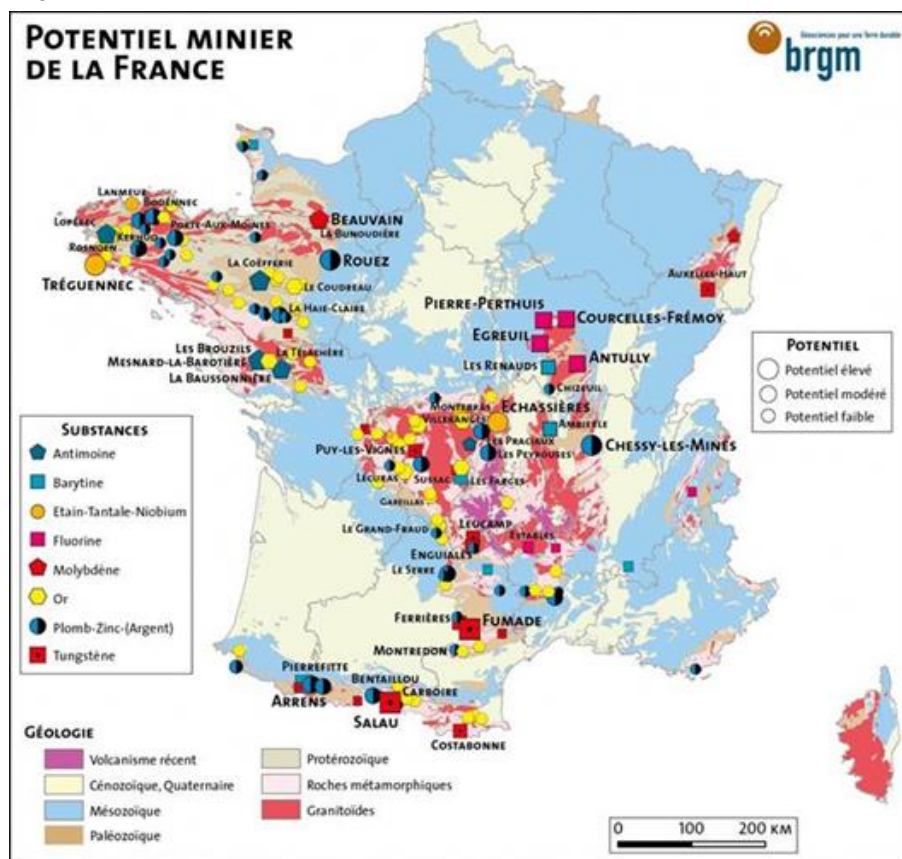
- **Phase d'exploration** longue et coûteuse, 17ans en moyenne (exception = salars)



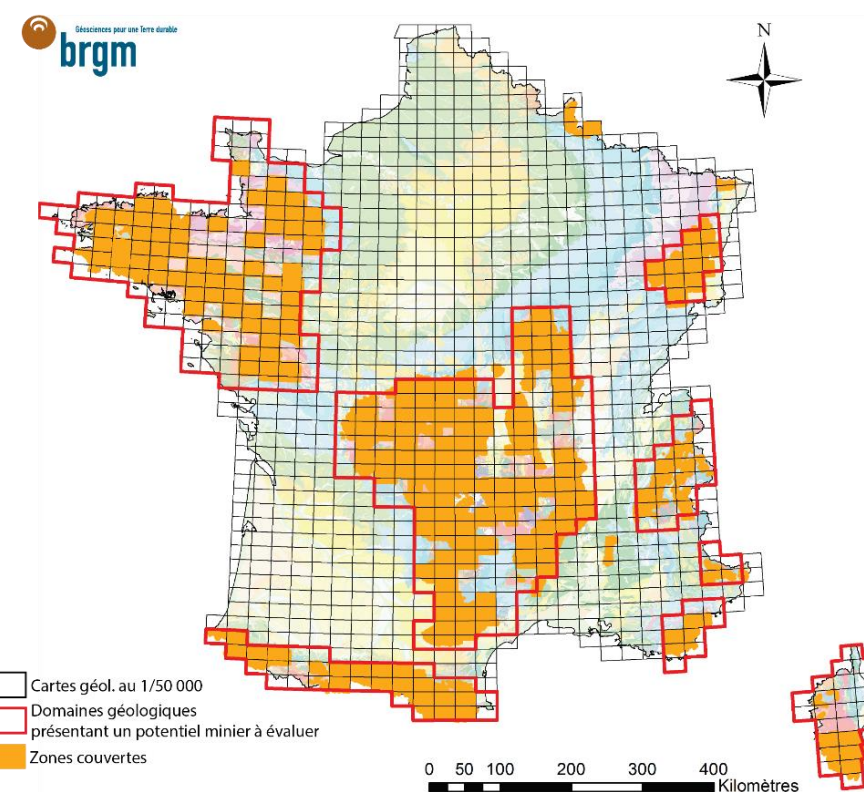
# La France reste un pays avec un potentiel minier important

- Inventaire minier français **obsolète** et restreint à la proche surface (<300m) et pourtant on connaît déjà des gisements, certains de rang mondial (*W, Sb, Au, Mo, F, Pb-Zn, Ge, Sn-Ta-Nb, Li ...*)

- **Connaissance actuelle parcellaire** : seulement **20 %** du territoire et **70 %** des massifs anciens les plus prometteurs, exploration limitée à 22 métaux,
- **Objectif**: réinvestiguer sous-sol → **nouvelles mines**



Inventaire minier (1975-1995)  
Géochimie de sédiments - Localisation des échantillons



# L'Europe dispose également de ressources importantes

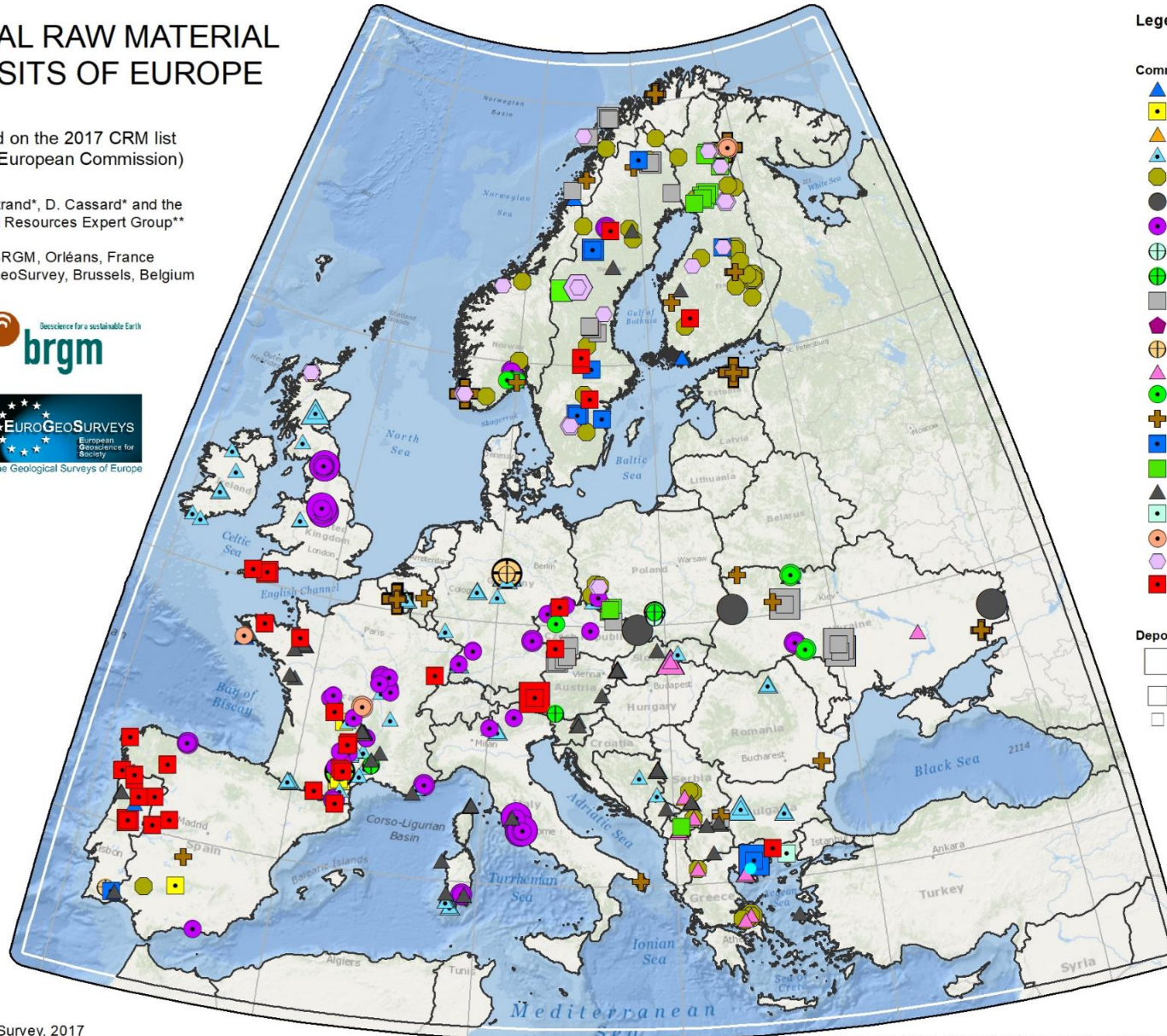
## CRITICAL RAW MATERIAL DEPOSITS OF EUROPE

(based on the 2017 CRM list of the European Commission)

G. Bertrand\*, D. Cassard\* and the Mineral Resources Expert Group\*\*

\* BRGM, Orléans, France

\*\* EuroGeoSurvey, Brussels, Belgium



### Legend

#### Commodity

- ▲ Beryllium (BeO)
- Bismuth (metal)
- ▲ Borates (B2O3)
- ▲ Baryte (BaSO4)
- Cobalt (metal)
- Coking coal
- Fluorite (CaF2)
- ⊕ Gallium (metal)
- Germanium (metal)
- Graphite
- Hafnium (metal)
- ⊕ Indium (metal)
- ▲ Magnesite, magnesium (MgCO3)
- Niobium - columbium (Nb2O5)
- ⊕ Phosphate (P2O5)
- Rare earths elements (RE2O3)
- Platinum, platinum group metals
- ▲ Antimony (metal)
- Scandium (metal)
- Tantalum (Ta2O5)
- Vanadium (metal)
- Wbfram (WO3)

#### Deposit size

- Class A (super-large)
- Class B (large)
- Class C (medium)

- Europe dispose de **ressources variées** qui permettraient de réduire la dépendance aux importations et regagner en souveraineté
- **Complémentarité** des ressources disponibles dans différents pays.
- Intérêt à se rapprocher des **pays scandinaves** qui ont su maintenir une activité extractive en intégrant les enjeux socio-environnementaux



## ④ Développer des partenariats stratégiques à l'international

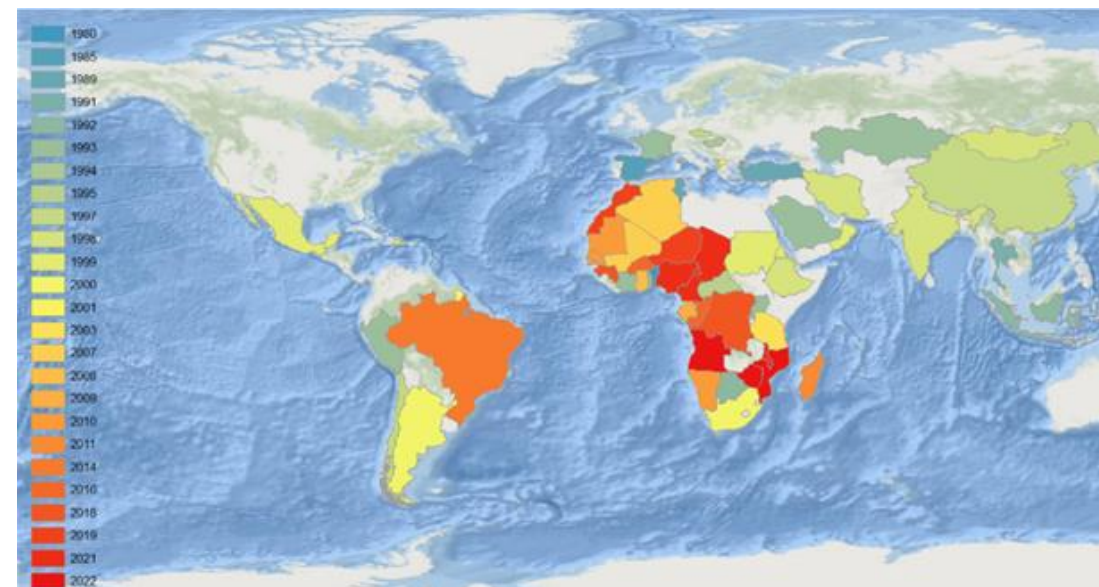
- **Partenariats stratégiques** sur le long-terme dans une logique de soutien au développement local, d'intégration des chaînes de valeurs ( $\neq$  captation des ressources) et de préservation de l'environnement
- Démarche similaire au niveau national = **diplomatie des ressources minérales**

- BRGM fortement impliqué pour aider à la **formation** des experts et à la **meilleure connaissance et maîtrise** des ressources du sous-sol



Partenariats stratégiques EU

*Signature accord de partenariat avec SGNC (RDC, mars 2023)*



*Implications du BRGM en Afrique*

# Formation des experts et développement de la mine responsable

- **PanAfGéo**: projet EU financé depuis 2016 par EU et piloté par le BRGM pour former les cadres des services géologiques africains

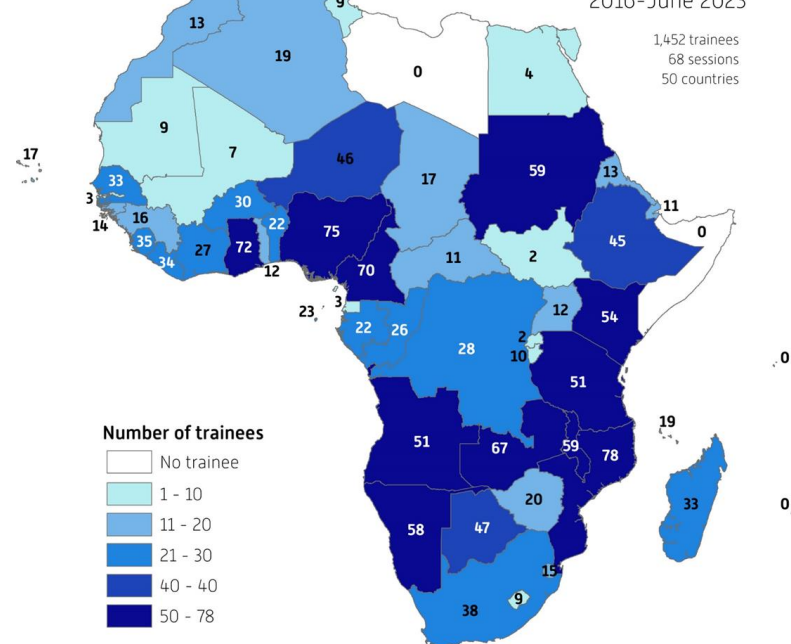


A ce jour, près de 1500 experts de 50 pays ont été formés

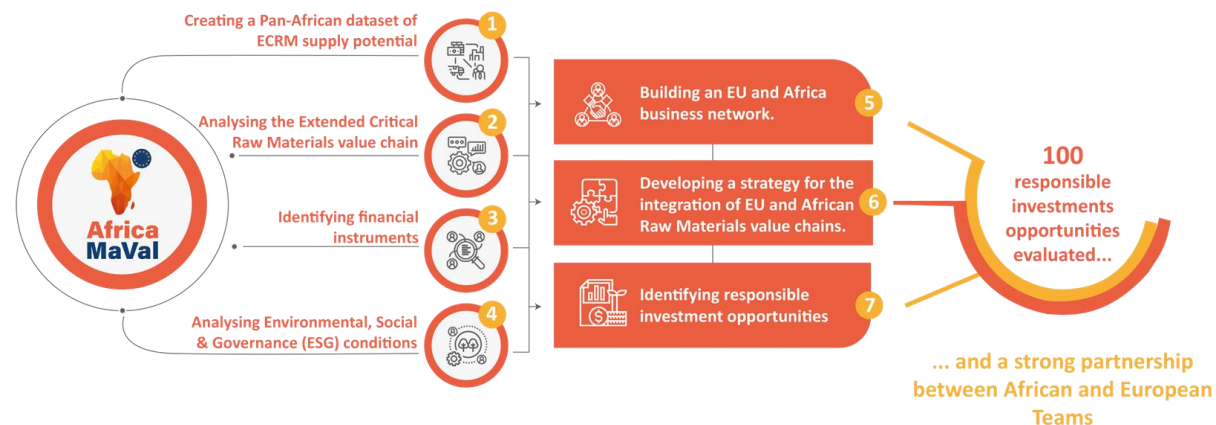
## PanAfGeo - Origin of trainees

2016 - June 2023

1,452 trainees  
68 sessions  
50 countries



- **AfriCaMaVal**: Faire émerger une centaine de projets miniers responsables
  - Contribuer à des approvisionnements responsables pour EU
  - Stimuler le codéveloppement et les partenariats entre EU et Afrique dans le domaine minier;
  - Promouvoir un partenariat durable entre l'Afrique et EU tout au long des chaînes de valeur



- **Développements menés en coopération avec l'OAGS**



Organisation of African Geological Surveys  
Organisation des Services Géologiques Africains  
Organisação de Serviços Geológicos Africanos



# Vers une législation européenne ambitieuse: EU Critical Raw Materials Act

- **Projet de CRM Act publié le 16 mars 2023, actuellement en discussion au niveau trilogue (Parlement, Conseil et Commission EU)**
  - 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

➔ **Soutien au développement de nouvelles mines et industries de transformation**

# 4 – La mine responsable, mythe ou réalité ?

*vue aérienne rupture d'un barrage minier à Brumadinho (Brésil), le 25 janvier*

# Ouvrir de nouvelles mines, une activité qui cristallise une opposition sociétale croissante



- Localement: syndrome NIMBY = Not In My BackYard
- Globalement : débat +/- explicite sur les besoins :
  - croissance vs. décroissance
  - prise en compte de la finitude des ressources
  - mythe autour du recyclage
- Manque fréquent de **vision systémique** indispensable à la cohérence des trajectoires (développement des EnR ↔ nouvelles ressources minérales...)

# Les activités minières passées ont fortement marqué nos paysages

- **France : historiquement pays minier actif et il en reste de nombreuses traces dans nos paysages**



*Effondrement tête de puit  
(Bézenet, 03)*



*Station de traitement des eaux  
(Forbach, 57)*



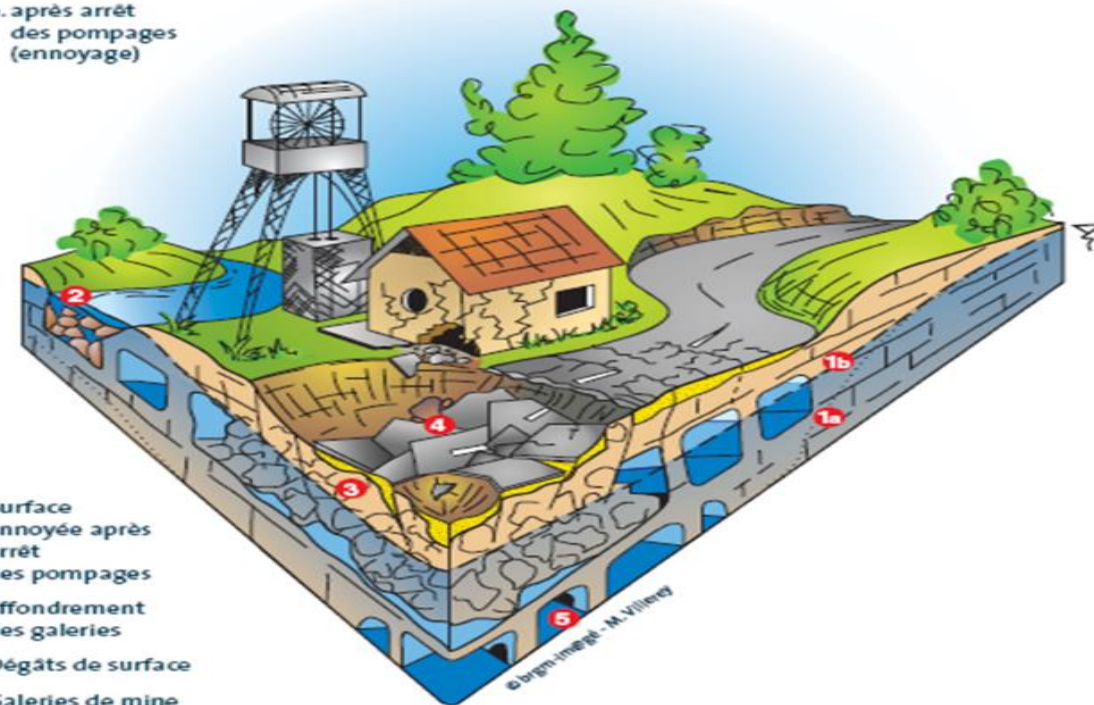
*Terrils en combustion*



*Drainage minier*

- **Principaux impacts concernent :**
  - ❑ Évolution du niveau des nappes
  - ❑ Risque d'effondrement / fontis
  - ❑ Gestion des déchets miniers / terrils
  - ❑ Pollution par drainage minier (souvent acide)

- 1 Niveaux piézométriques**  
 a. rabattus par pompage pendant l'exploitation minière  
 b. après arrêt des pompages (ennoyage)



- 2 Surface ennoyée après arrêt des pompages**  
**3 Effondrement des galeries**  
**4 Dégâts de surface**  
**5 Galeries de mine**

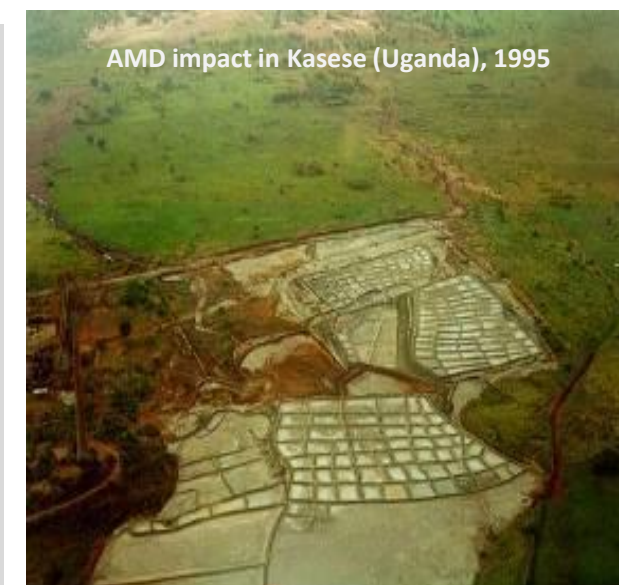
# Quels sont les principaux impacts des activités minières ou extractives ?

- **impacts environnementaux** principaux :
  - ❑ Consommation énergétique et changement climatique,
  - ❑ Rejets dans l'environnement et perturbation des écosystèmes (biodiversité)
  - ❑ Production et devenir des déchets
- **Impacts sociaux** concernent principalement :
  - ❑ Santé et sécurité des travailleurs
  - ❑ Droits humains
  - ❑ Corruption et financement des conflits armés



## Quelques chiffres clés :

- ✓ 10% de la consommation énergétique mondiale sert à l'extraction minière et aux premières purification des minerais (souvent fortement carbonée)
- ✓ 18% des émissions CO<sub>2</sub> en Europe liés à la production de métaux
  - ✓ 70% des opérations minières des 6 plus grandes compagnies mondiales se déroulent dans des pays ayant des problèmes de ressources en eau.
  - ✓ 80 litres d'eau par kg de cuivre en moyenne (© CSIRO)
- ✓ Déchets de l'industrie extractive = 25 à 30% de l'ensemble des déchets produits en Europe



# Qu'entend-on par mine responsable ?

- Principes de la mine responsable sont dérivés du développement durable :

- Impliquer l'ensemble des **parties prenantes** dans les décisions,
- Réduire l'**impact environnemental**
- Organiser une **distribution équitable des bénéfices** économiques et financiers

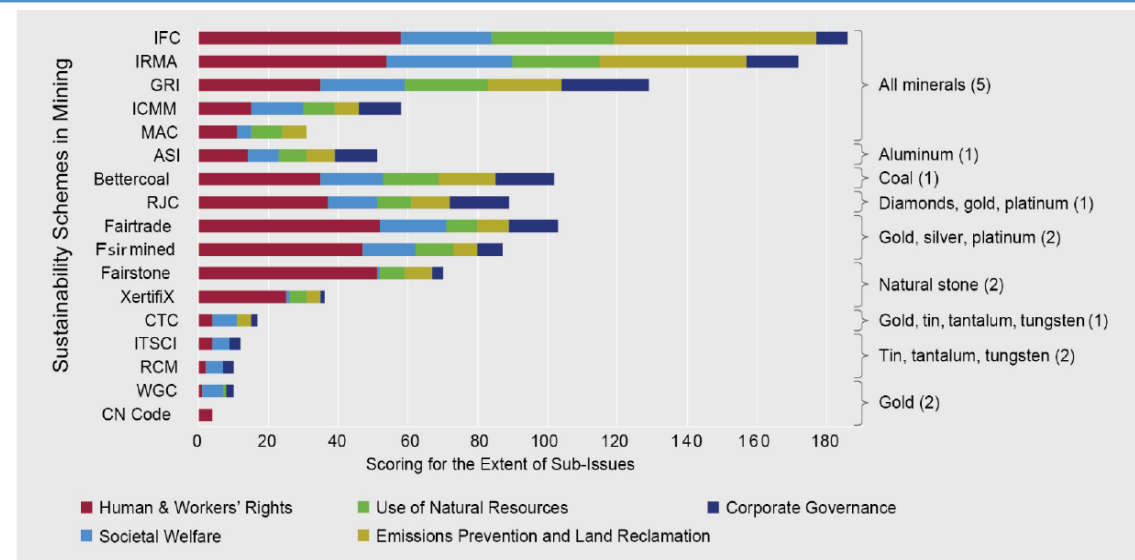


Source: Christmann (2017).

- Selon ONU, >90 initiatives pour soutenir le développement de la mine responsable: définition de standards (45%), processus de certification (20%), initiatives politiques (10%), plateformes d'échanges et de formation (25%)

...

## Mapping Sustainability Standards Systems – Content

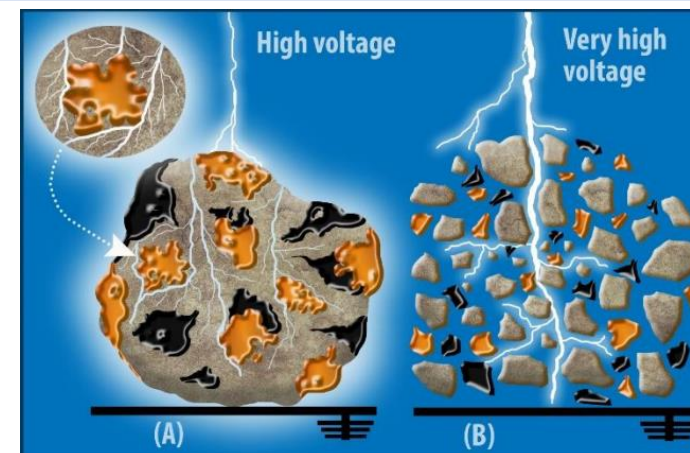


from: Kickler and Franken, 2017, www.namiro-projekt.org



# Nombreux projets de R&D pour réduire l'impact environnemental

- **Energie** : double enjeu de réduction des consommations et de décarbonation :
  - ❑ Electrification des véhicules et des procédés
  - ❑ Optimisation des technologies de broyage (40% de l'énergie totale consommée)
  - ❑ Stockage sur site du CO<sub>2</sub> produit
- **Eau** : réduction de la consommation en eau
  - ❑ Mise en place de procédés de recyclage pour réutiliser l'eau dans les procédés et réduire les consommations
  - ❑ Mise en place de station de traitement pour dépolluer l'eau avant tout rejet dans l'environnement
- **Déchets**: minimisation et valorisation des déchets
  - ❑ Valorisation de l'ensemble des ressources présentes
  - ❑ Projets de reprise pour valorisation et dépollution des anciens stériles miniers
  - ❑ Réflexion sur la réutilisation des terres excavées



Michaux  
&  
O'Connor,  
2019



1989-1999: 10 years from laboratory to industrial scale



Kasese: valorisation du cobalt présent dans les stériles miniers (Ouganda)

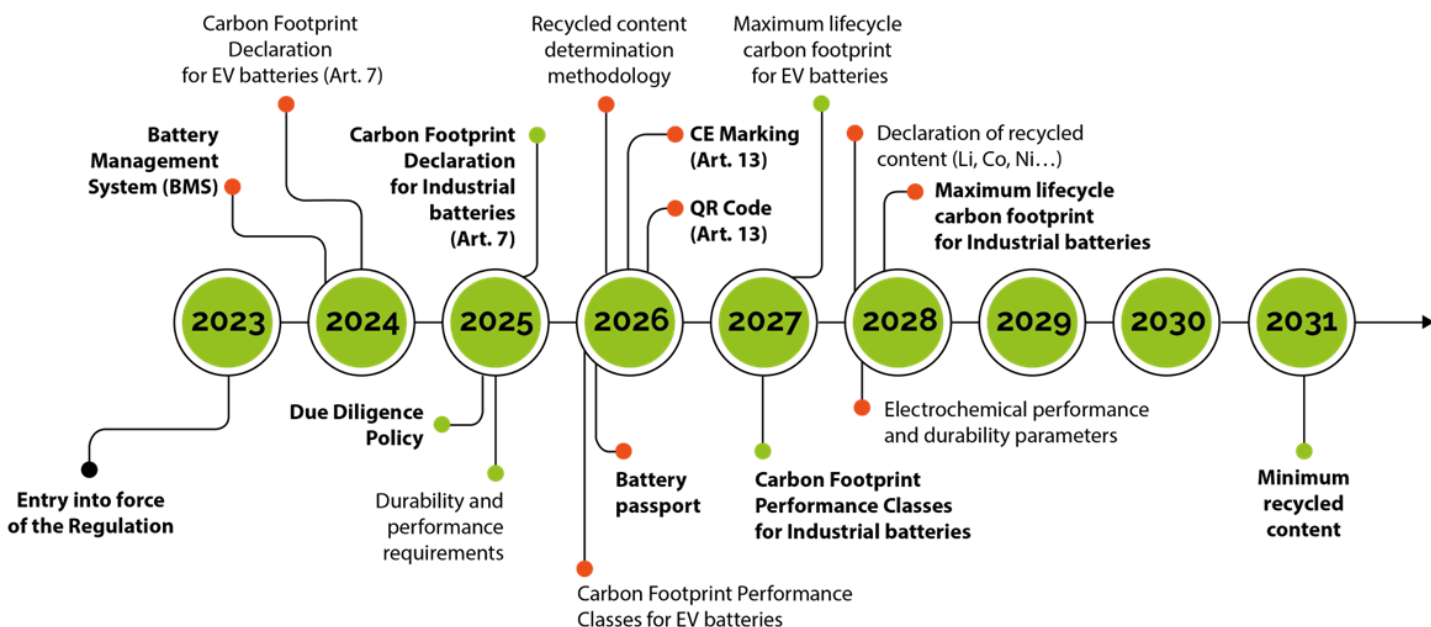
# La "mine responsable", nouveau paradigme des politiques publiques dans ce domaine

- Volonté politique forte d'intégrer la dimension ESG comme critère déterminant dans les approvisionnements et importations EU → promouvoir "mine responsable" à l'étranger en appliquant les mêmes critères ESG qu'en Europe

- Initiatives politiques** pour soutenir le développement de filières d'approvisionnement responsable

➤ Exemple de la filière batterie

➤ Exemple du Material Security Partnership



**MSP** est une collaboration de 13 pays + EU pour catalyser l'investissement public et privé sur des filières d'approvisionnement responsable :

- Empreinte environnementale réduite;
- Engagement sur un dialogue consultatif et participatif avec les populations locales
- Garantir des conditions de travail sûres, équitables, inclusives et éthiques;
- Garantir un retour économiques pour les travailleurs et les populations locales
- Garantir la transparence et l'éthique des opérations

- ❑ Transition écologique → besoin en ressources minérales ↗↗
  - Besoin en métaux liés aux énergies renouvelables (& batteries) car nucléaire peu gourmand
  - Passage d'une dépendance aux énergies fossiles à une dépendance aux ressources minérales → **nouvelles dépendances et nouveaux risques géopolitiques**
- ❑ Malgré des réserves abondantes, l'industrie aura du mal à répondre à la demande
  - Risque majeur de rupture d'approvisionnement dans les prochaines années
  - Les trajectoires de décarbonation devront être adaptées et diversifiées (ex.véhicules électriques) et les ressources risquent d'être un goulet d'étranglement de la décarbonation
- ❑ Pour préserver notre liberté, besoin de reconquérir une souveraineté industrielle via sécurisation des approvisionnements
  - Besoin de réinvestir les ressources présentes en EU : recyclage (indispensable mais insuffisant !) mais aussi nouvelles mines, ce qui sera un défi sociétal majeur → **Assumer les impacts de nos modes de vie !**
  - Diplomatie des ressources minérales → sécuriser des importations responsables
- L'accès aux ressources minérales devient un driver majeur de la géopolitique et un initiateur probable de futures crises



# SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL



Géosciences pour une Terre durable

## brgm

### SIÈGE - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

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

[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

# Merci !

*Pour tout complément, [c.poinssot@brgm.fr](mailto:c.poinssot@brgm.fr)*