



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

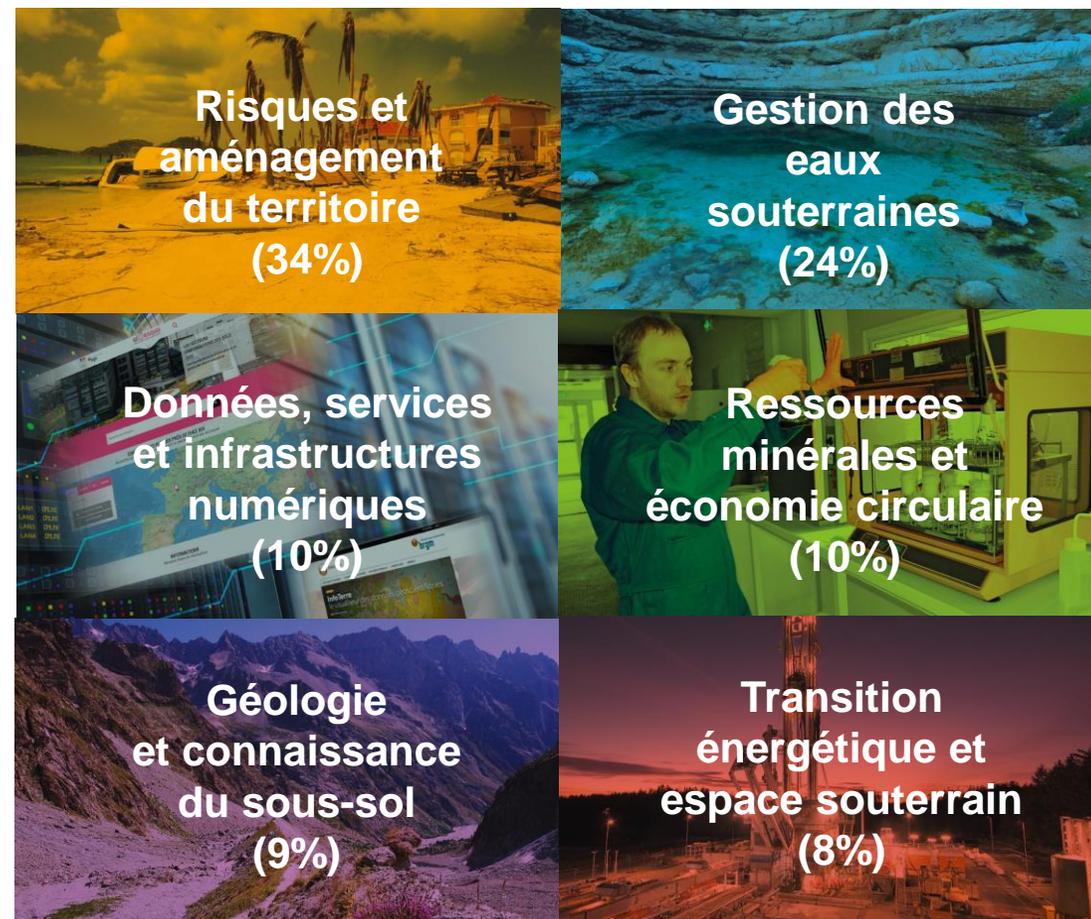
Le BRGM en quelques mots

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 ?**

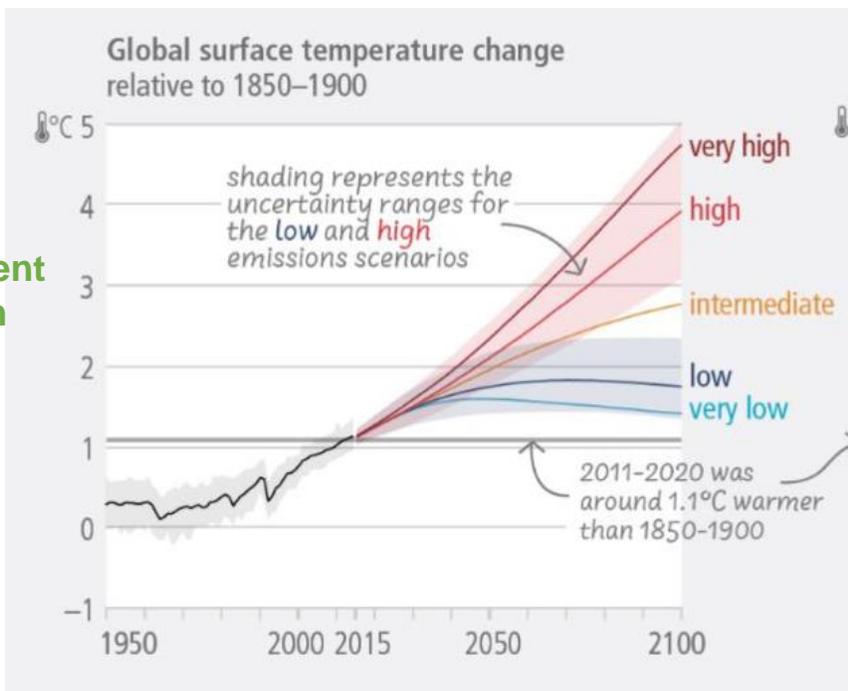
1 – Pourquoi notre monde est-il de plus en plus gourmand en métaux ?

De la dépendance aux énergies fossiles à celles aux métaux



Les enjeux de la transition écologique

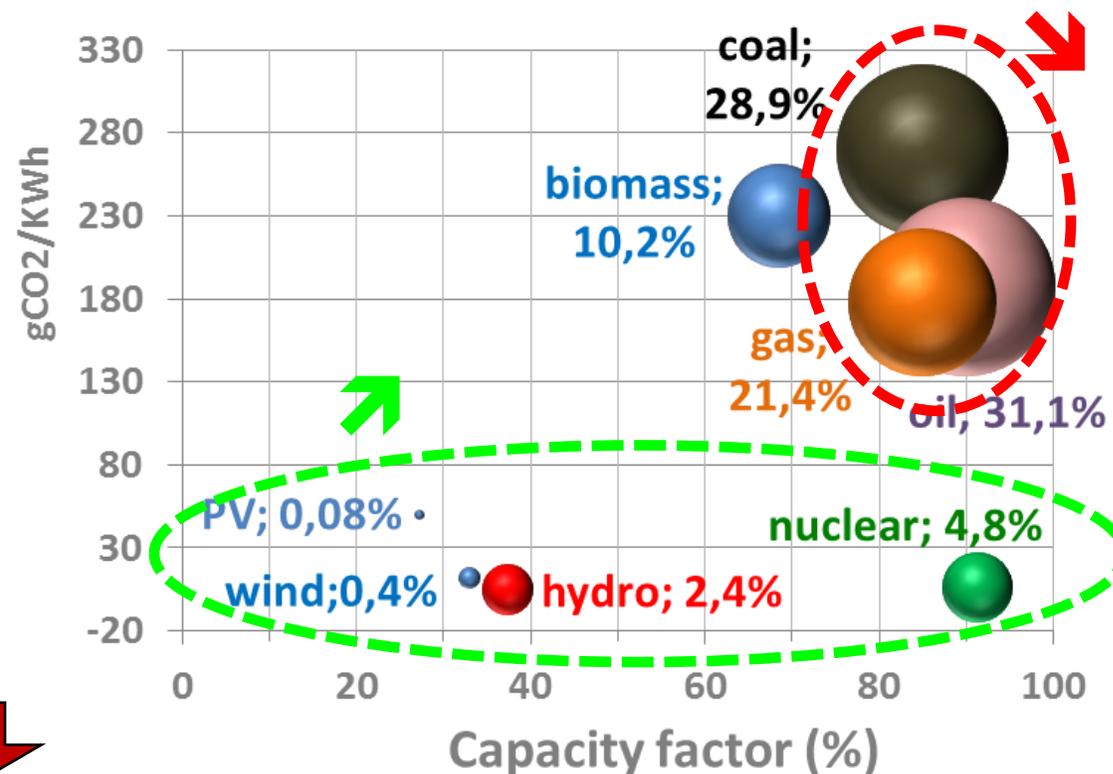
① Besoin urgent de réduire les émissions de GES



actuellement
420 ppm
CO₂ !

IPCC report 2023

② Développer les énergies décarbonées



Les objectifs clés de la transition énergétique

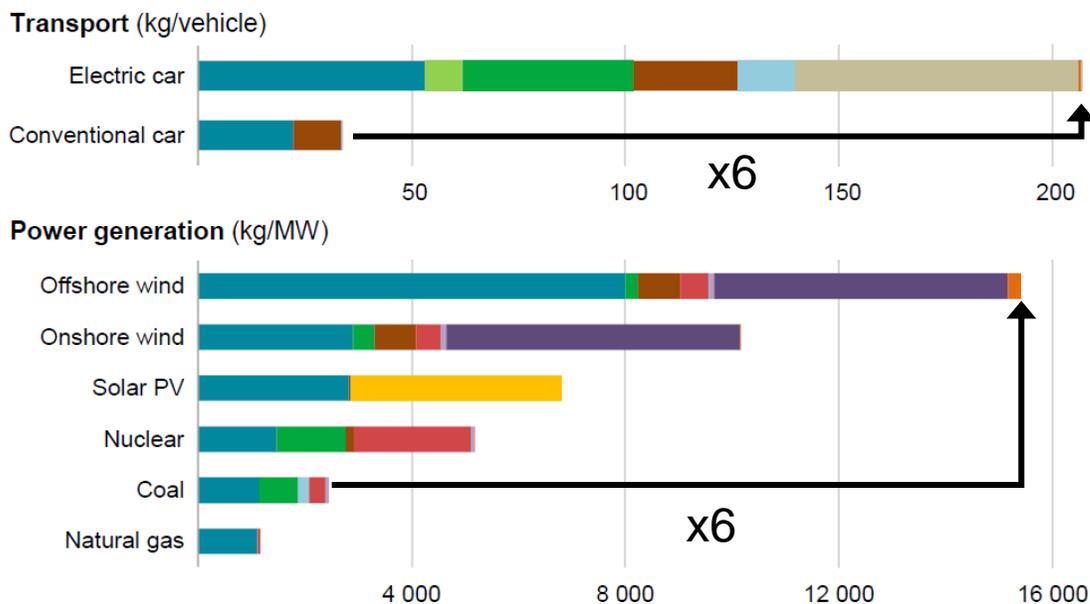
- ↗ sobriété et efficacité énergétique
- ↗ énergies décarbonées → nucléaire et renouvelables
- ↗ réseau intelligent et capacités de stockage pour compenser l'intermittence

Les nouvelles technologies bas carbone sont avides en ressources minérales

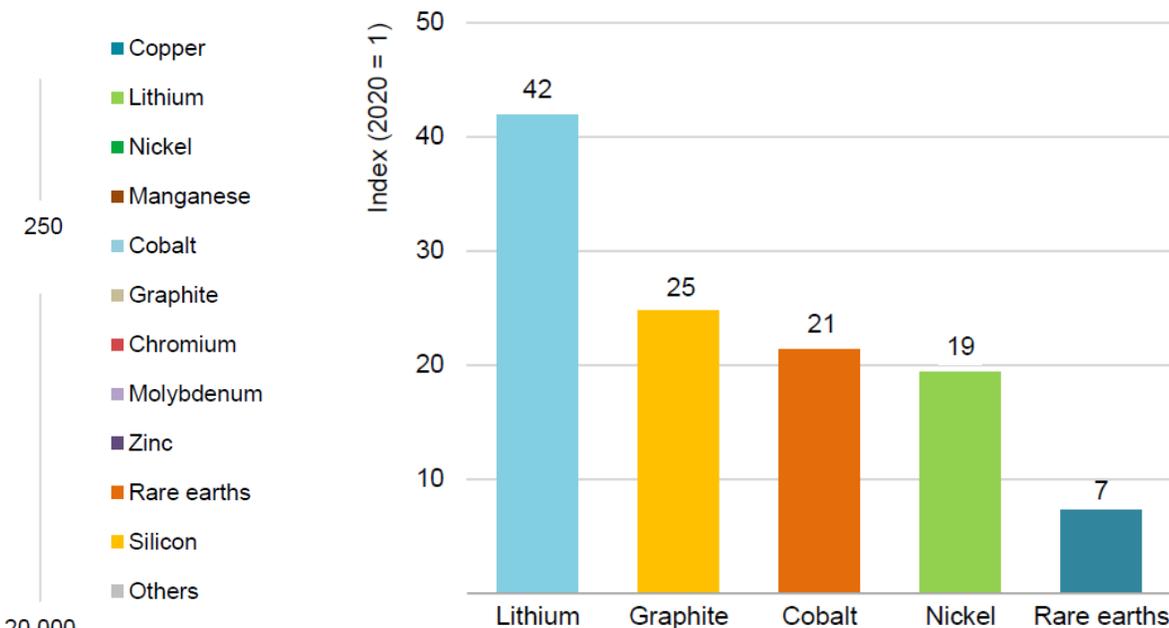
- Les nouvelles technos bas-carbone sont fortement demandeuses en métaux
- Moyens de production comme d'usages

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

Minerals used in selected clean energy technologies



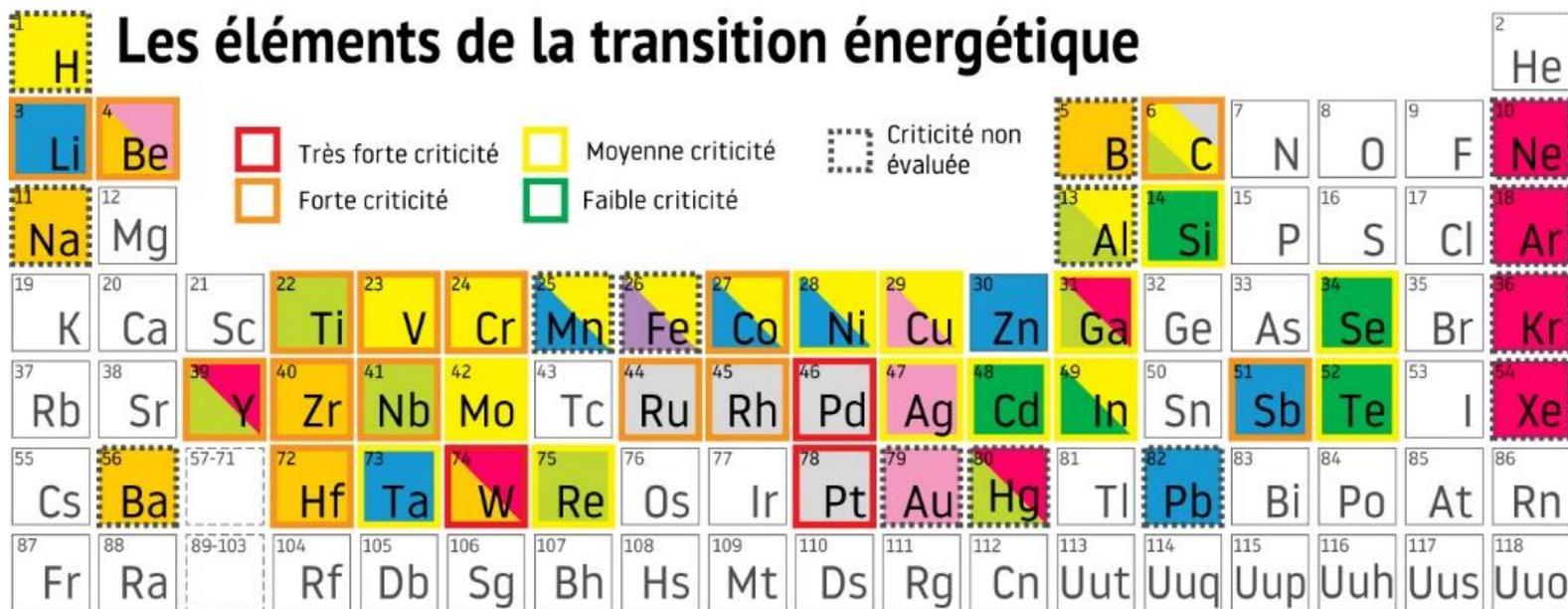
Growth of selected minerals in the SDS, 2040 relative to 2020



IEA. All rights reserved.

IEA. All rights reserved.

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



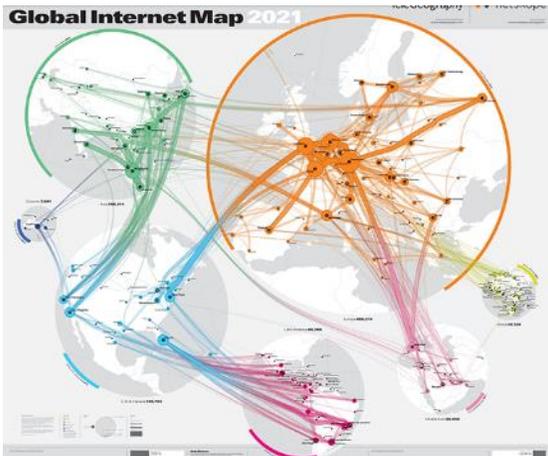
Terres rares légères

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

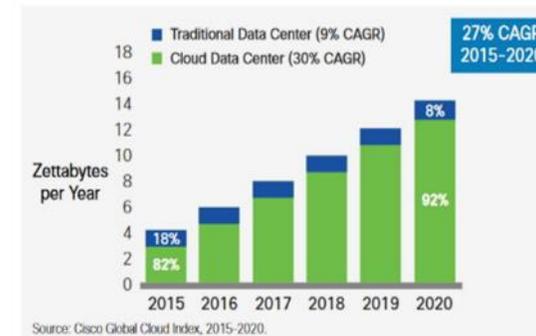
Le monde numérique est un monde très riche en métaux



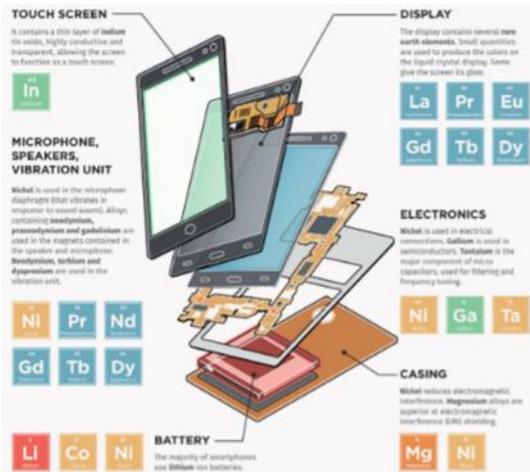
1 Internet est avant tout un réseau physique



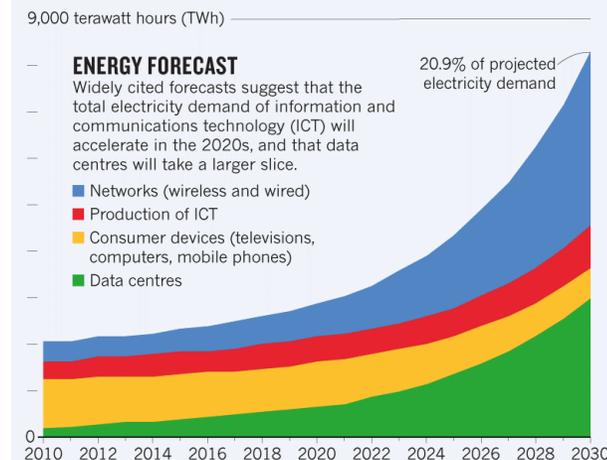
2 Quantité de données stockées explosent



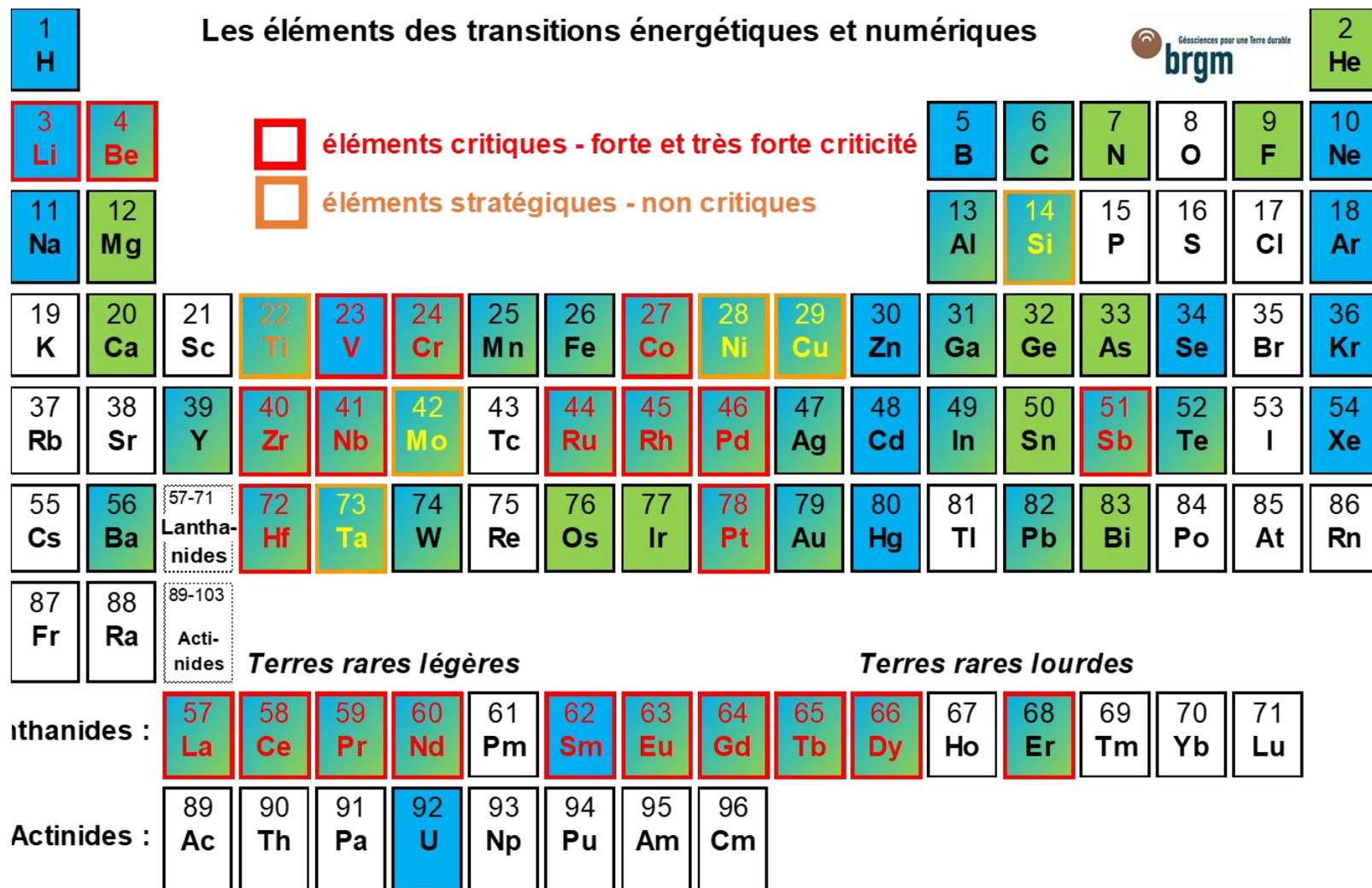
3 Objets connectés sont riches en métaux



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

Transition énergétique

Transition numérique

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

Net Zero Carbon



Transition énergétique et écologique

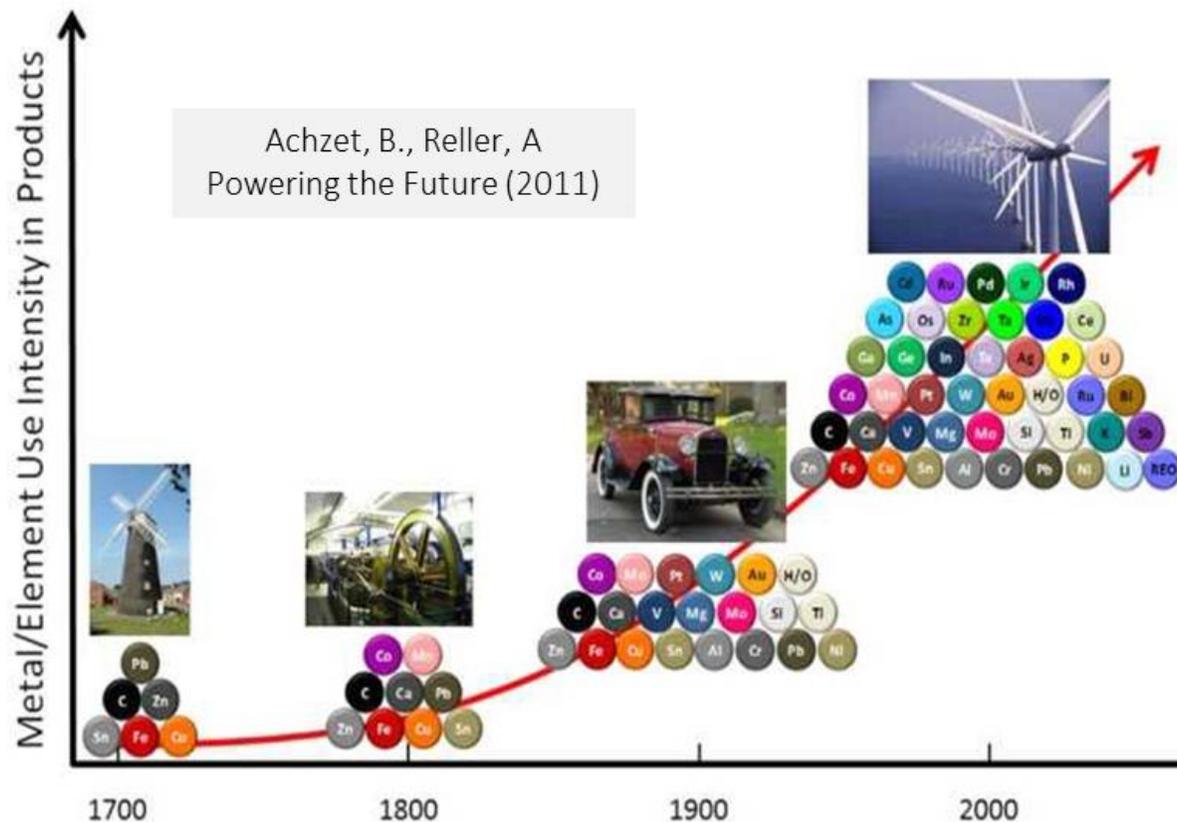


Transition numérique



Croissance économique

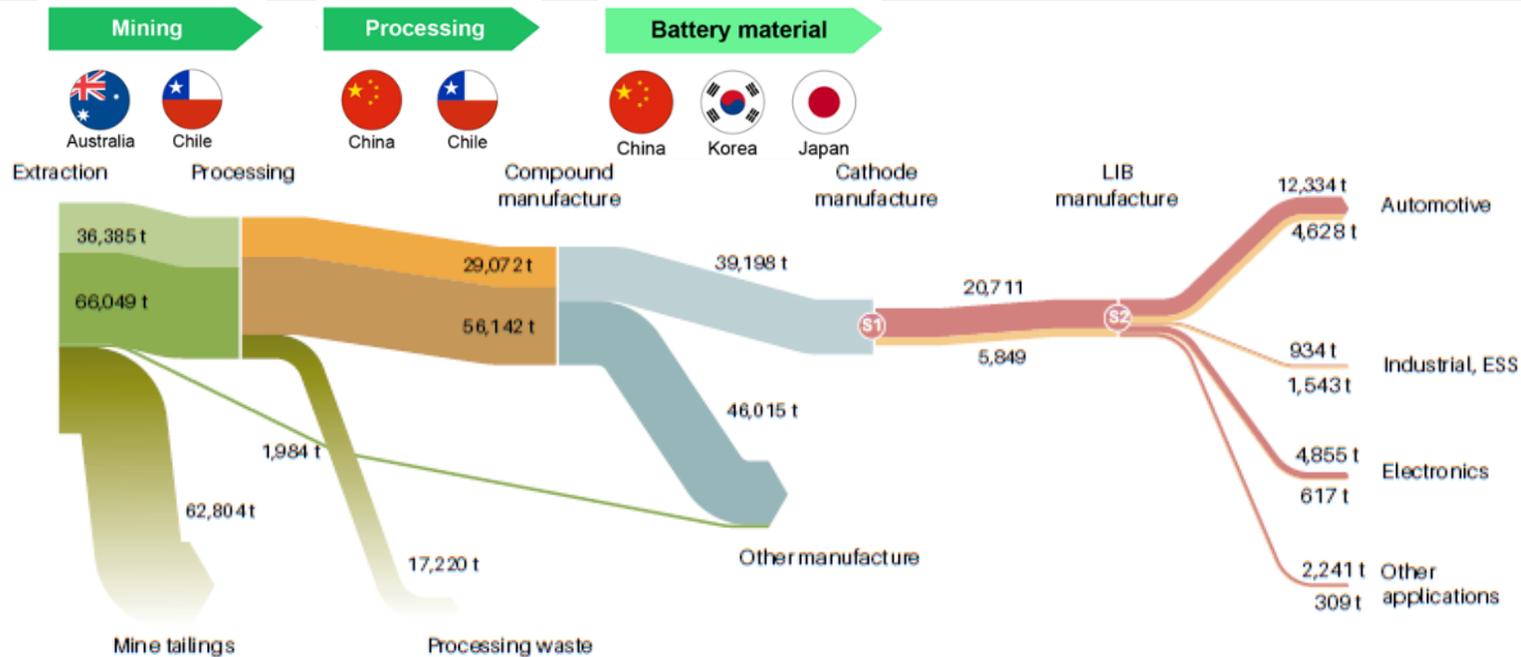
- Technologies innovantes reposent sur des matériaux finalisés de plus en plus complexes → **quantité** ↗
métaux mineurs/rares ↗, **exigences de pureté** ↗



2- Les spécificités du marché des ressources minérales

Des chaînes de valeur mondialisées et complexes

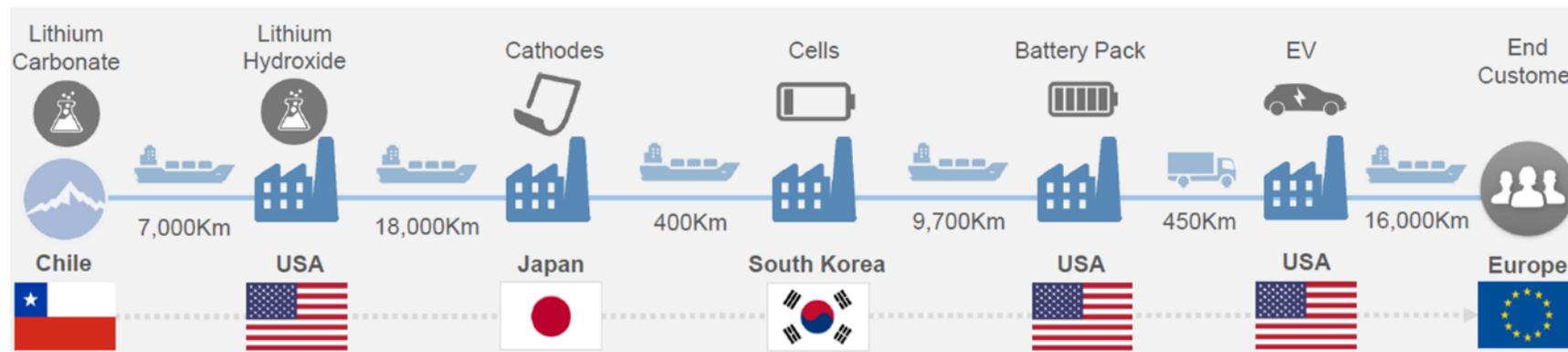
Maîtriser une chaîne d'approvisionnement requiert de maîtriser l'ensemble des étapes



- **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

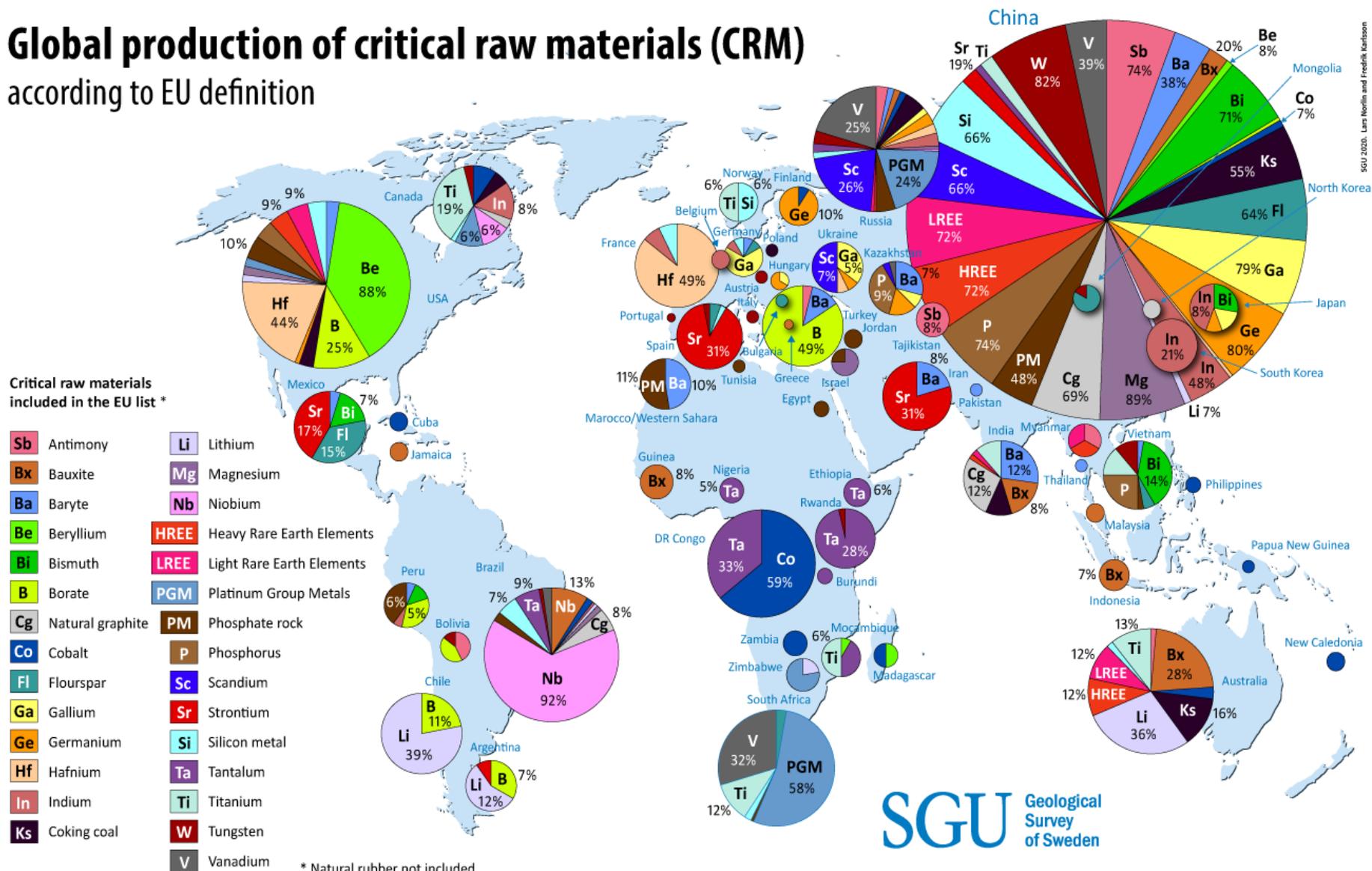


The lithium inside your car travels more than 50,000km before you even start driving*



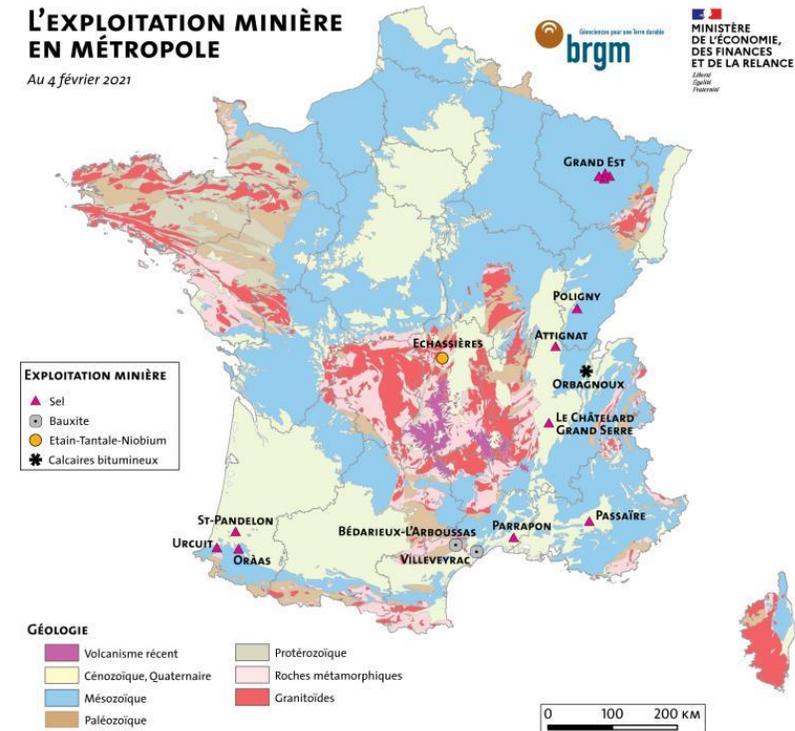
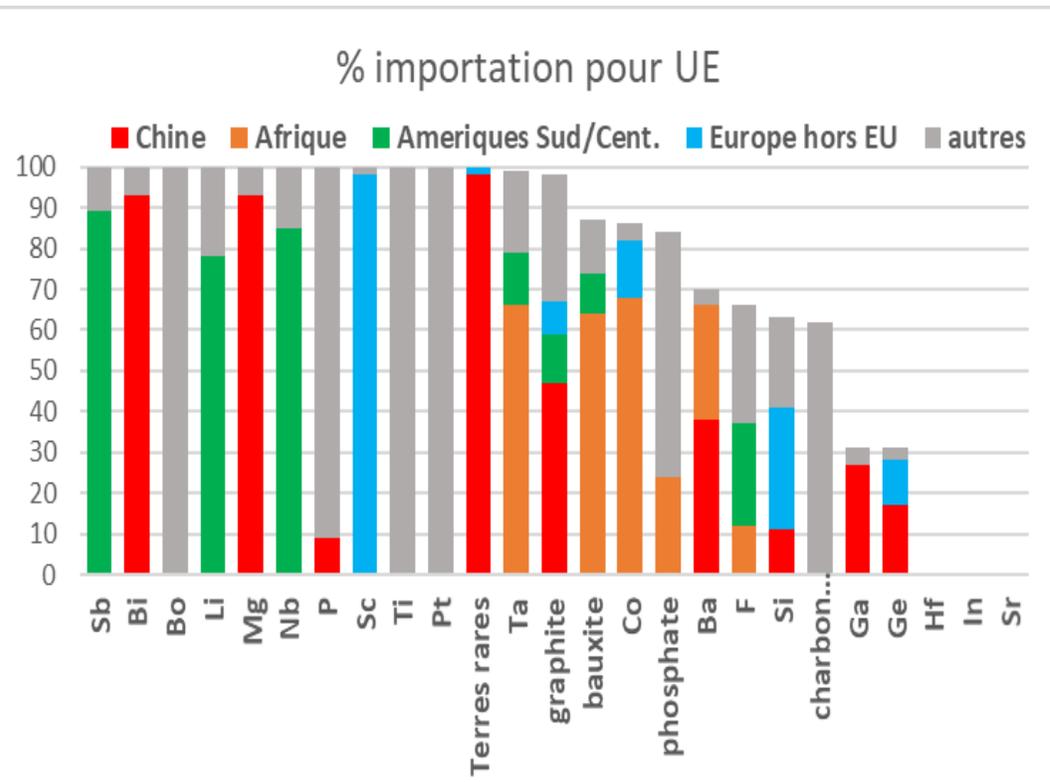
La production des CRM reste à ce jour dominé par quelques pays clés → nouvelle géopolitique

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

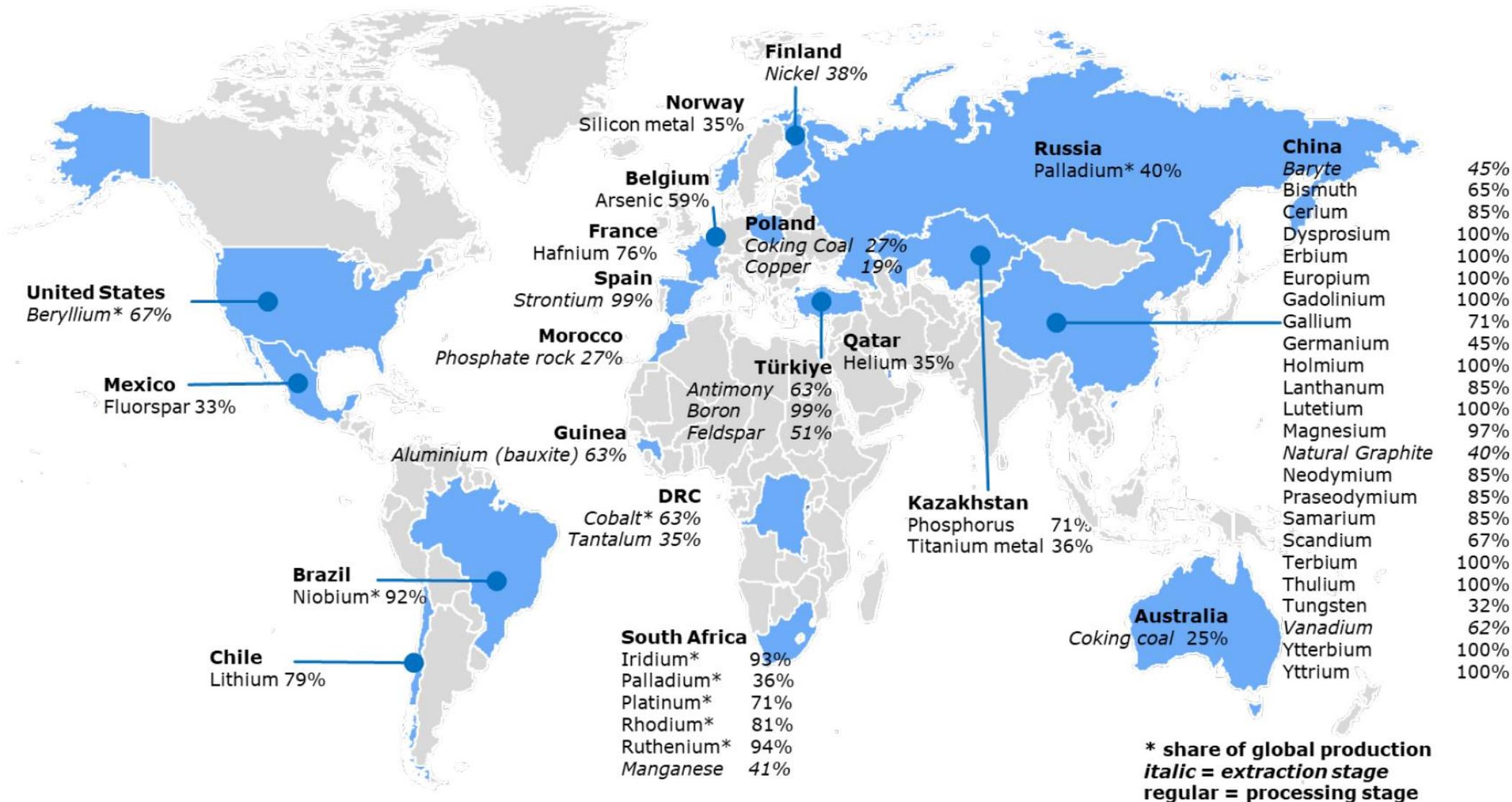


L'Europe mais surtout la France ont perdu leur souveraineté minérale

- 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 !**



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

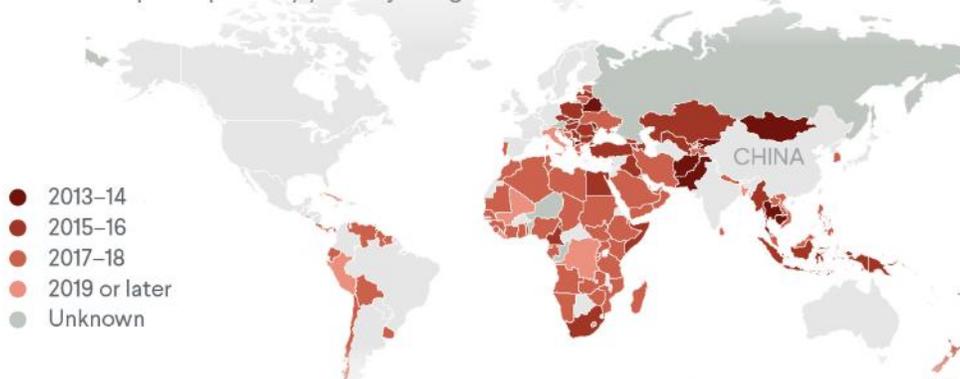
China			
Aluminium	56%	LREEs	
Antimony	56%	Cerium	85%
Arsenic	44%	Lanthanum	85%
Baryte	44%	Neodymium	85%
Bismuth	70%	Praseodymium	85%
Cobalt	60%	Samarium	85%
Coking Coal	53%		
Copper	38%	HREEs	
Fluorspar	56%	Dysprosium	100%
Gallium	94%	Erbium	100%
Germanium	83%	Europium	100%
Lithium	56%	Gadolinium	100%
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

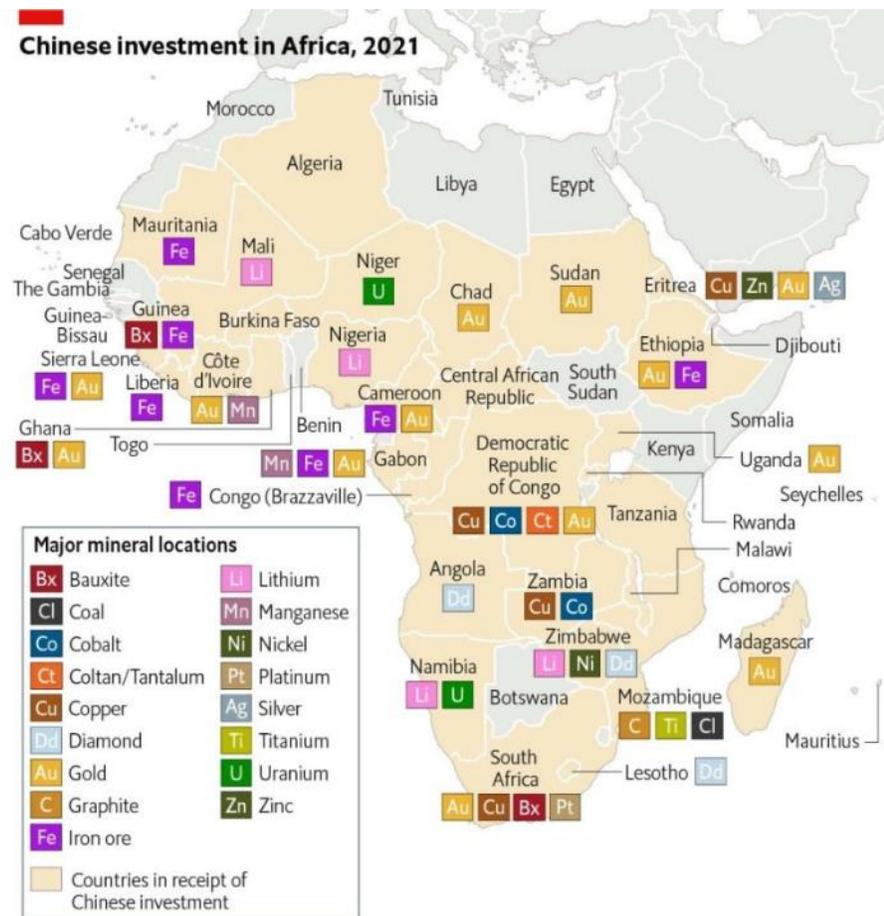
Official BRI participants by year of joining



Read the full Task Force report at cfr.org/BeltAndRoad

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

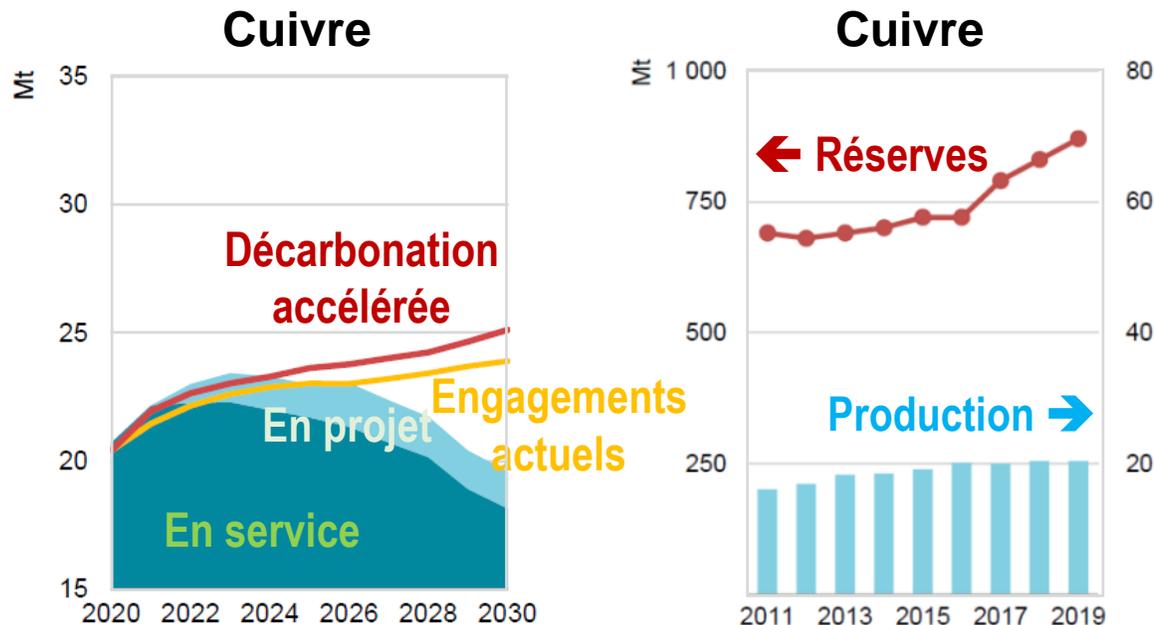
COUNCIL ON FOREIGN RELATIONS



Source: EIU.

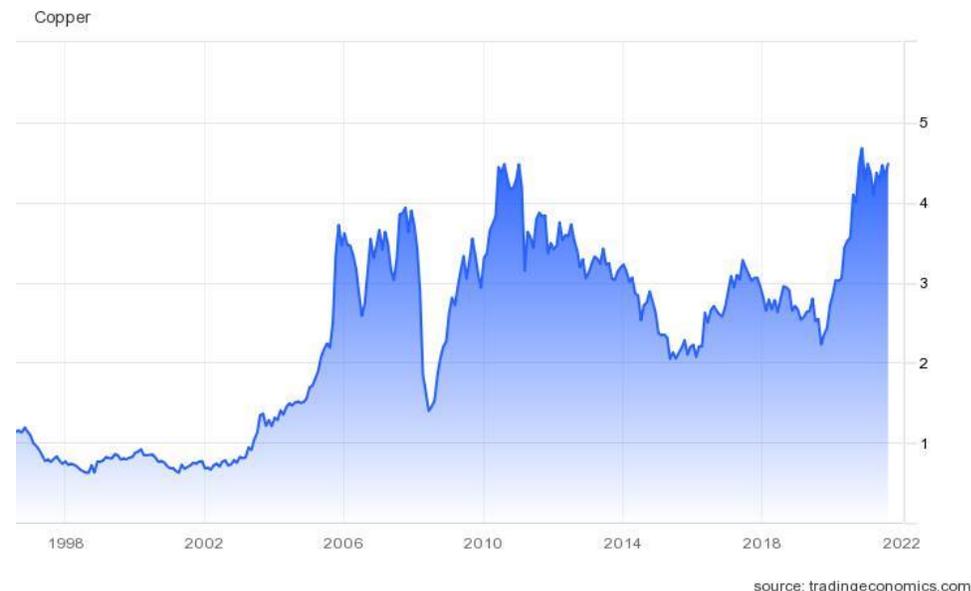


① Difficultés à ajuster l'offre et la demande



- 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 ...

② 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

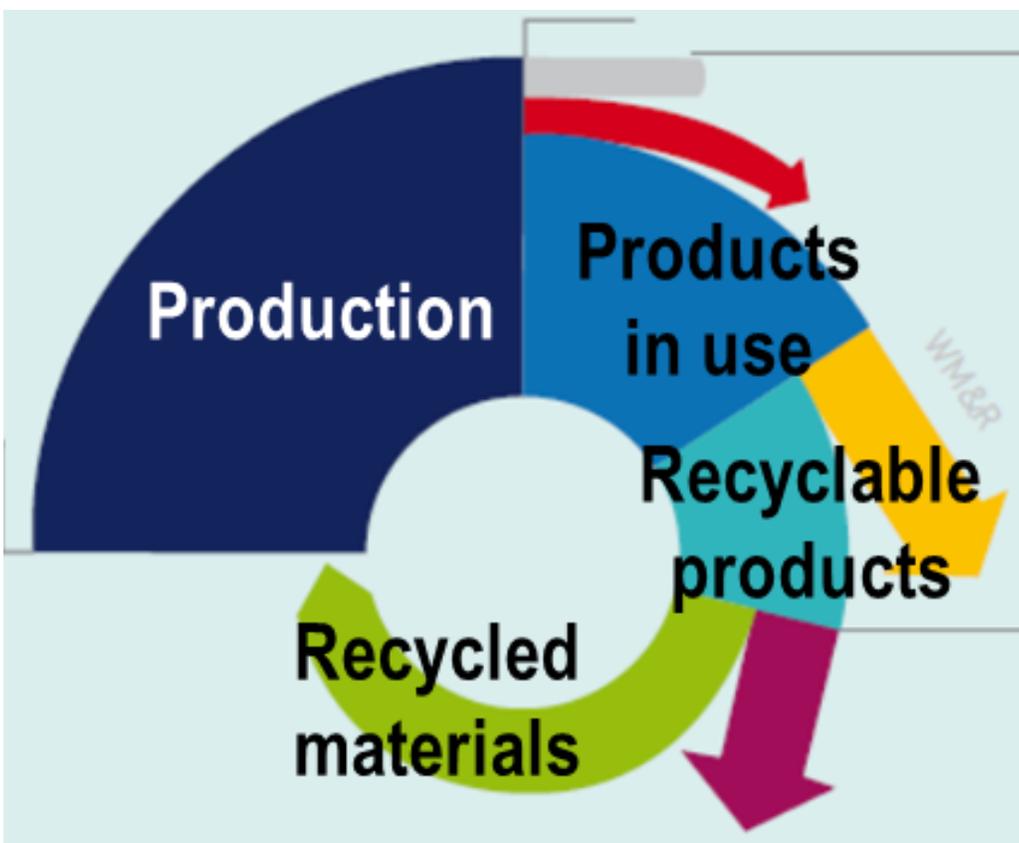
3 – Pourquoi ne pourra-t-on pas éviter d'ouvrir de nouvelles mines ?



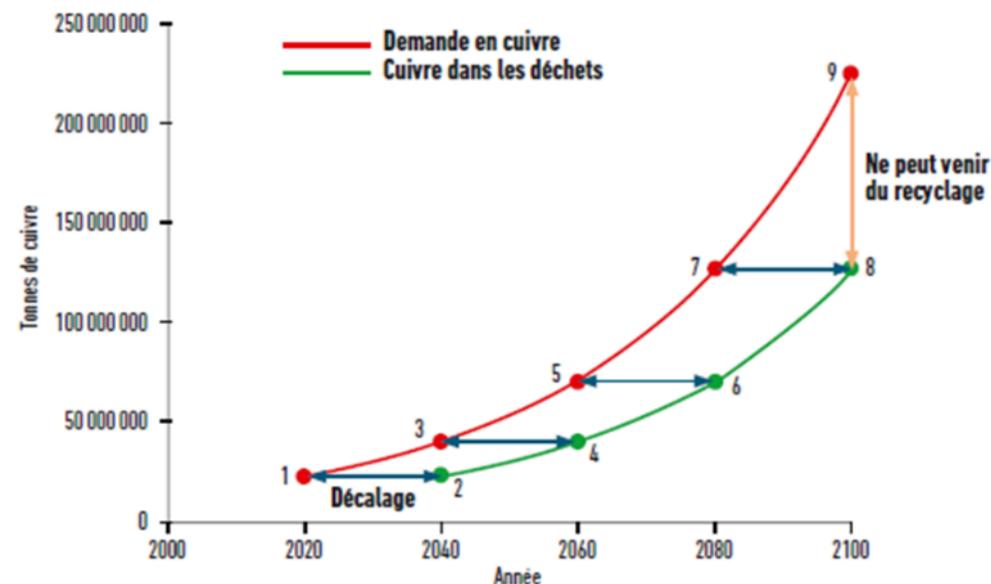
Le recyclage ne pourra pas répondre à l'ensemble des besoins

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**

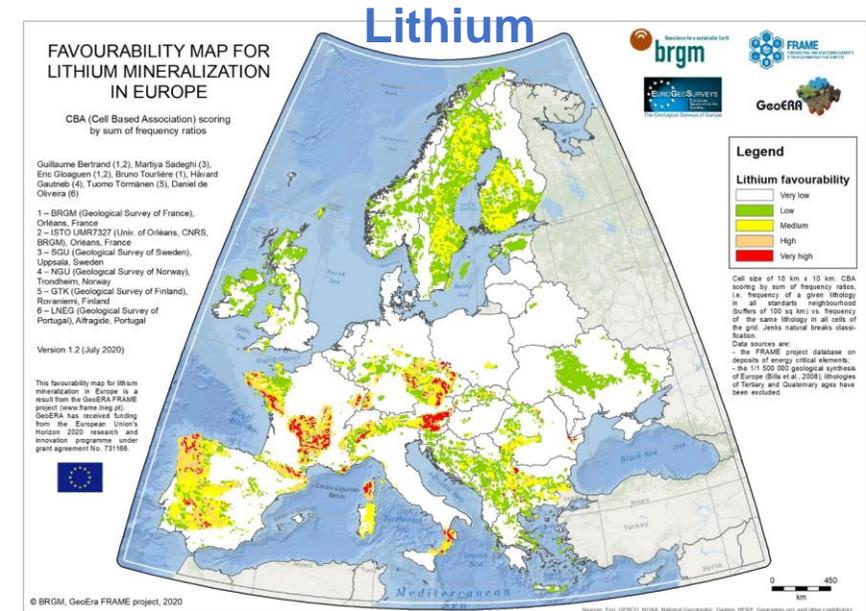
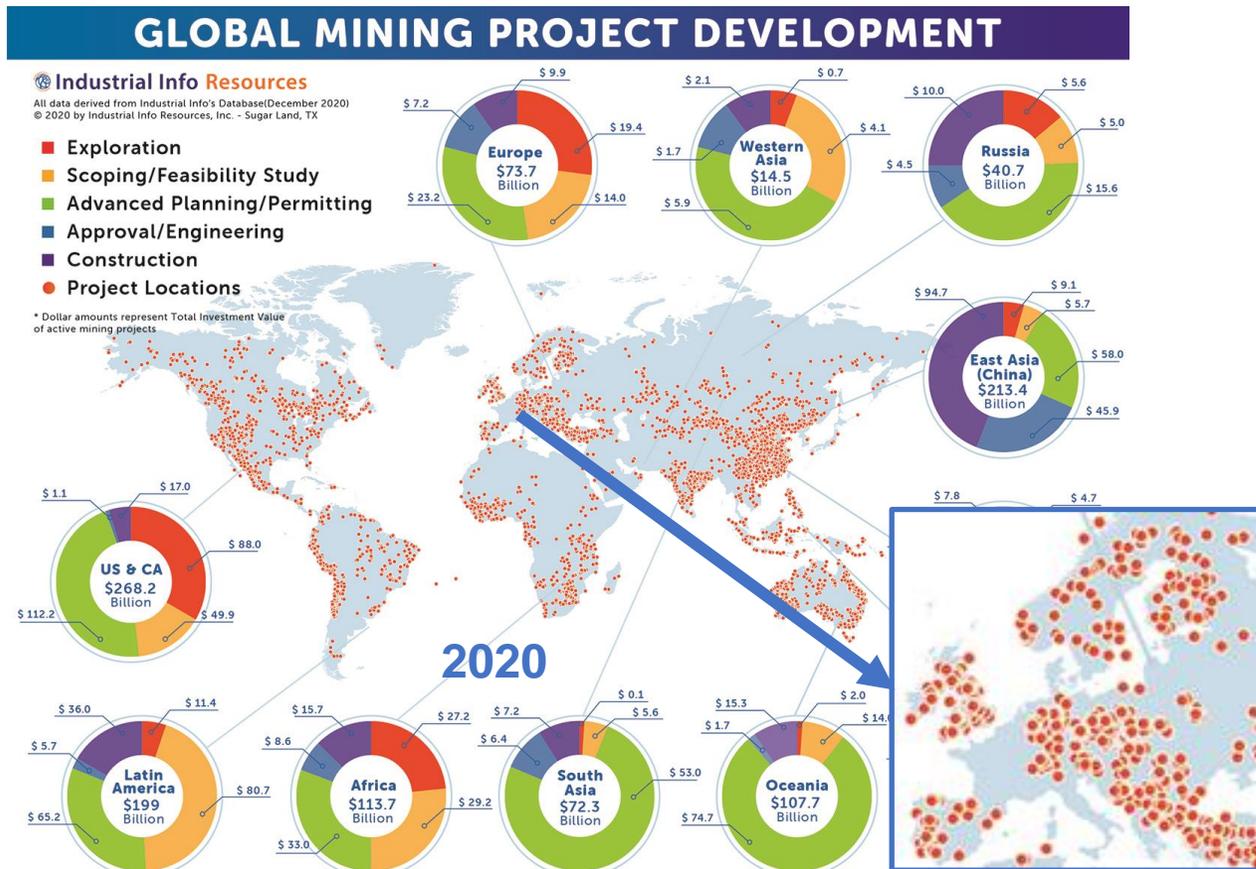


- Complexité des usages fera émerger une **rationalisation des usages** (spécifications décroissantes le long des chaînes de valeur)

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)



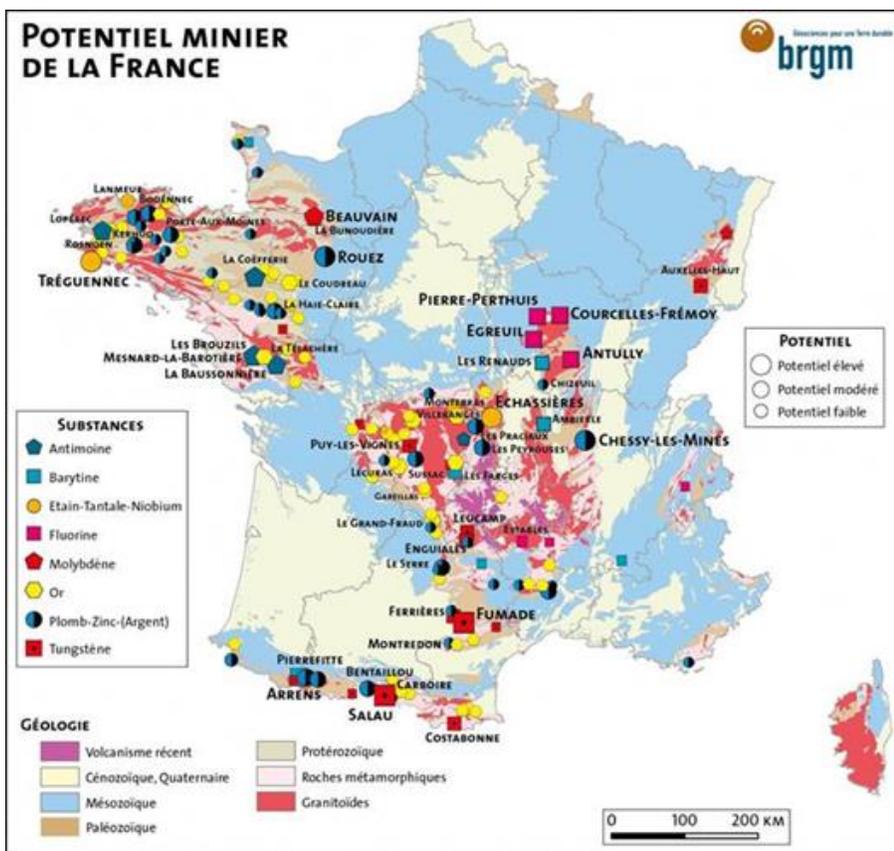
- **Phase d'exploration** longue et coûteuse, 17ans en moyenne (exception = salars)



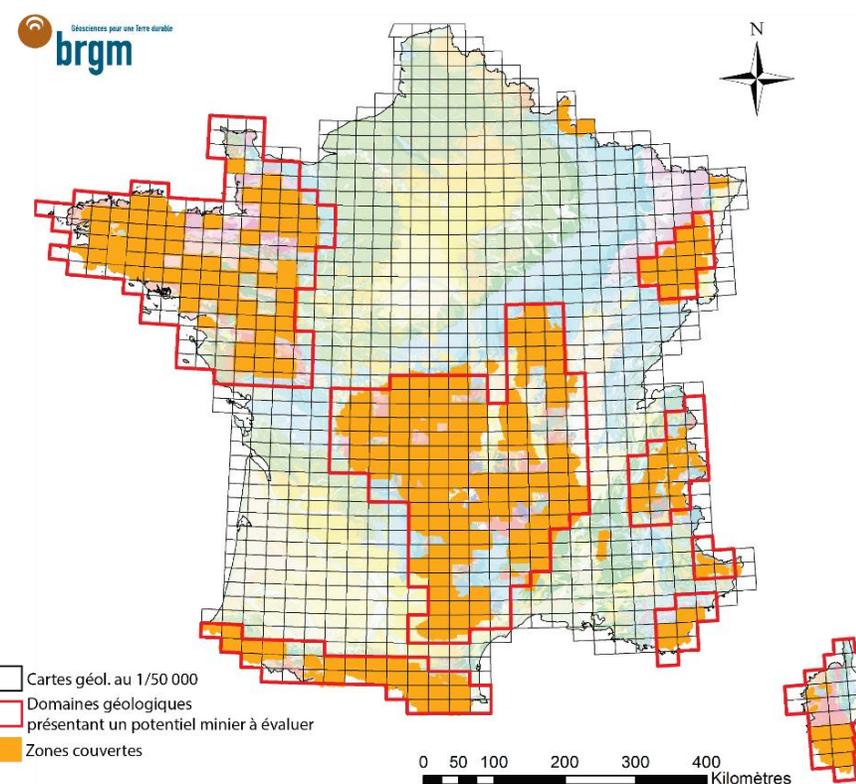
La France reste un pays avec un potentiel minier important

- 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

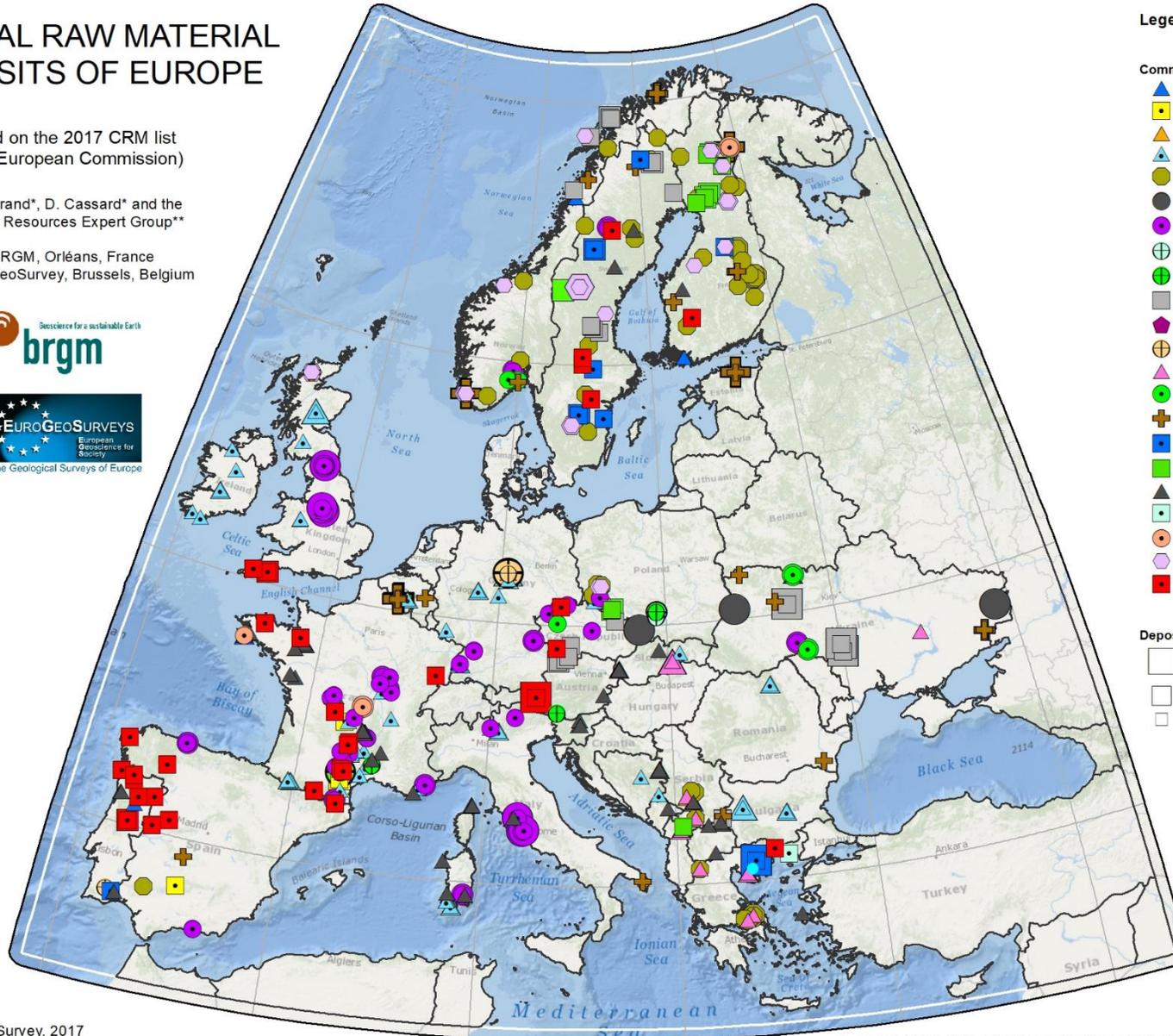
CRITICAL RAW MATERIAL DEPOSITS OF EUROPE

(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)
- Wolfram (WO3)

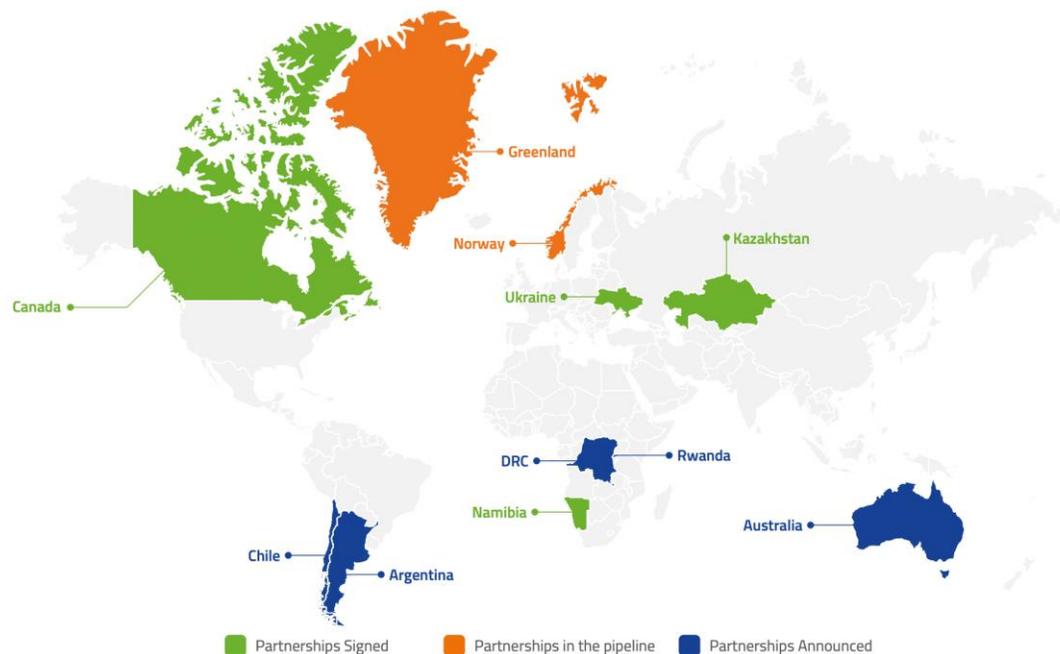
Deposit size

- 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

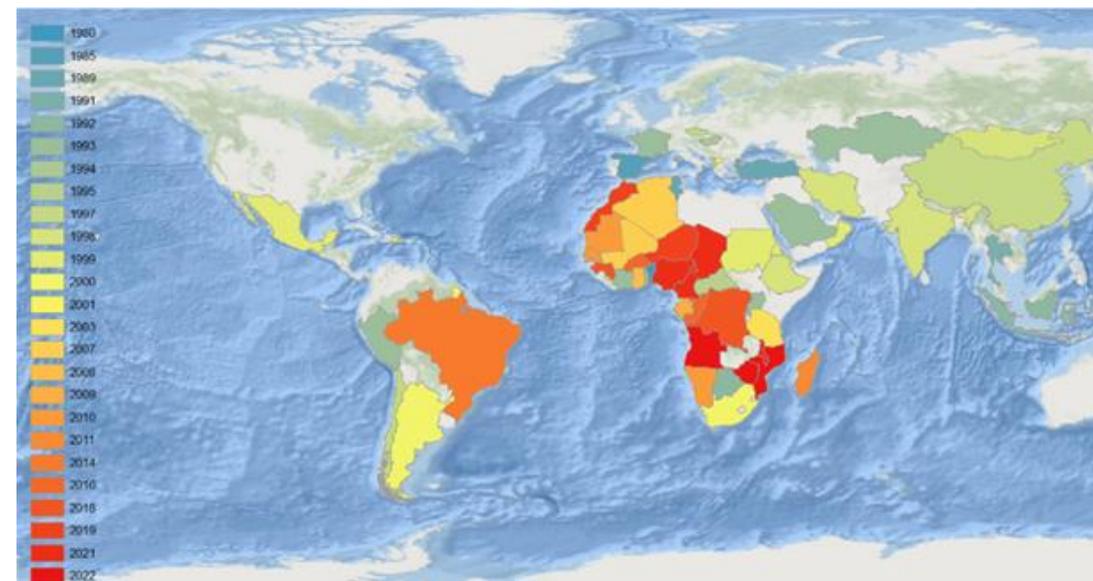
- **Partenariats stratégiques** sur le long-terme dans une logique de soutien au développement local, d'intégration des chaînes de valeurs (≠ captation des ressources) et de préservation de l'environnement
- Démarche similaire au niveau national = **diplomatie des ressources minérales**



Partenariats stratégiques EU

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

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



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

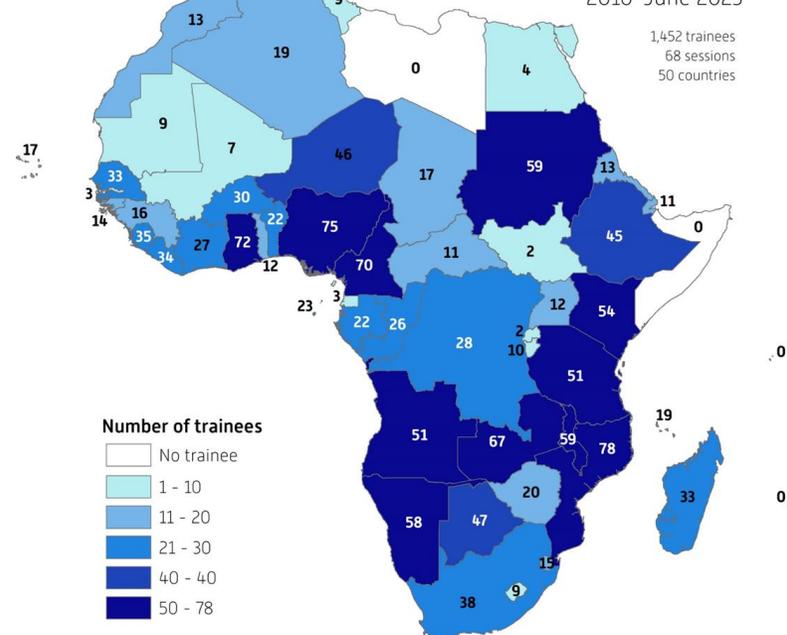


A ce jour, près de 1500 experts de 50 pays ont été formés

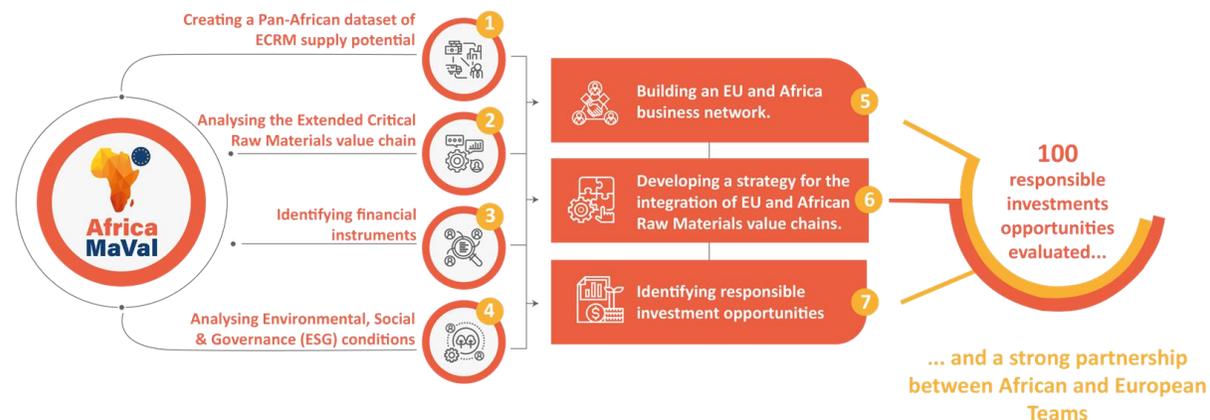
PanAfGeo - Origin of trainees

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



Patrice Christmann, researcher & consultant
 Krysmine@gmail.com

- 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

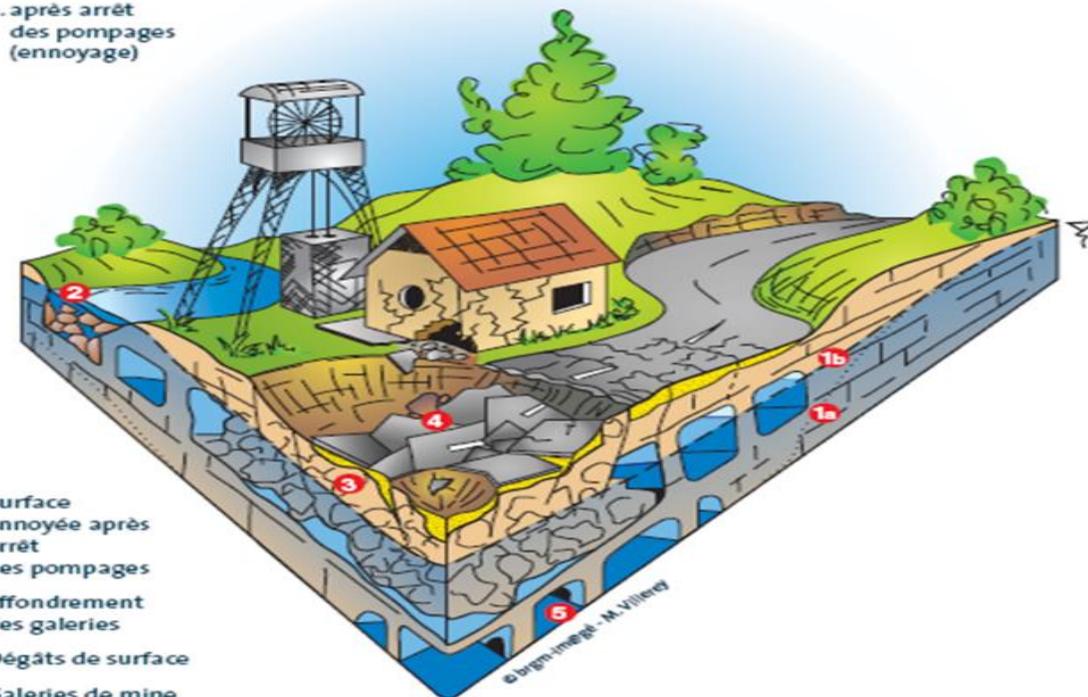


Drainage minier

- **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

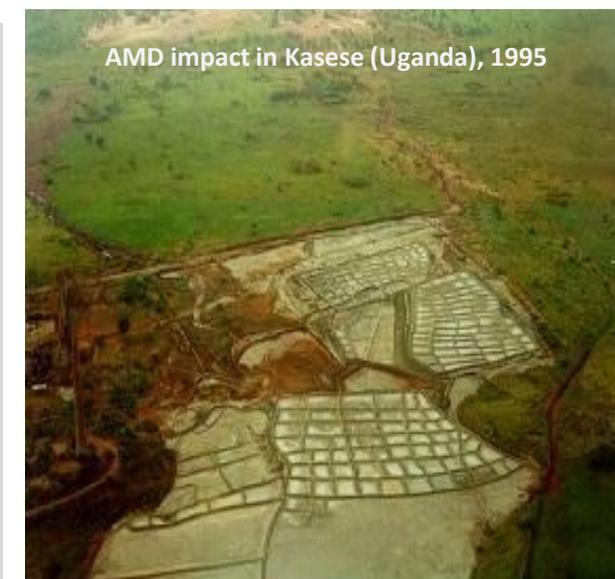
Quels sont les principaux impacts des activités minières ou extractives ?

- **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 :

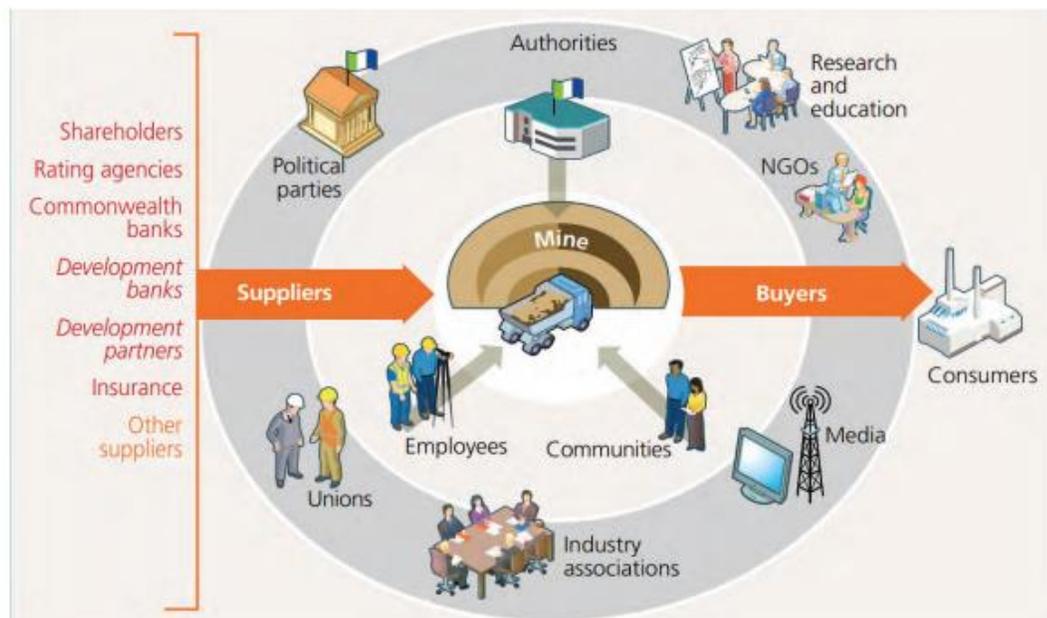
- ✓ 10% de la consommation énergétique mondiale sert à l'extraction minière et aux premières purification des minerais (souvent fortement carbonée)
- ✓ 18% des émissions CO₂ en Europe liés à la production de métaux
 - ✓ 70% des opérations minières des 6 plus grandes compagnies mondiales se déroulent 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

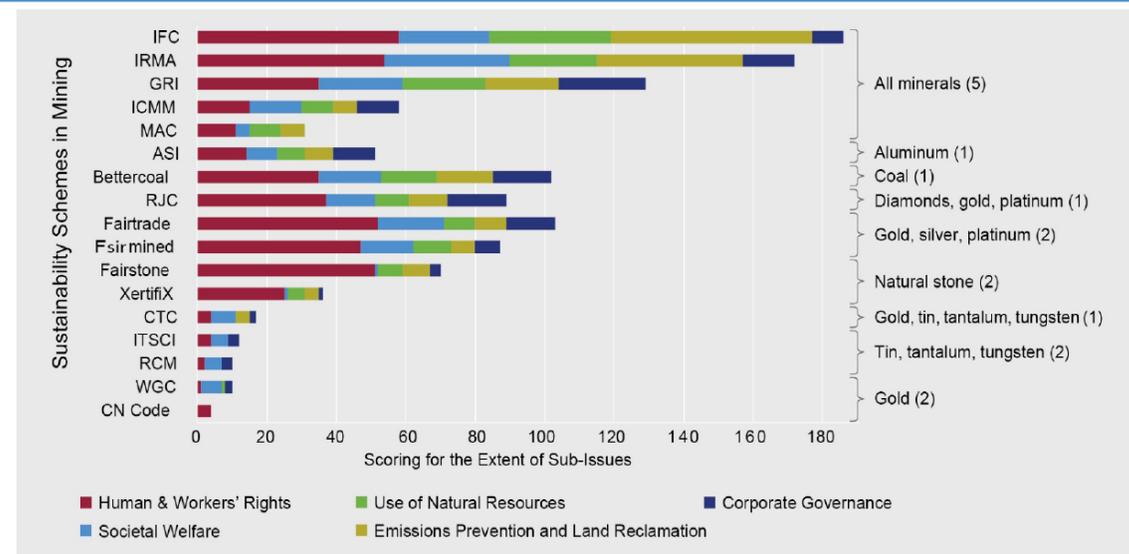


Source: Christmann (2017).

- 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%)

...

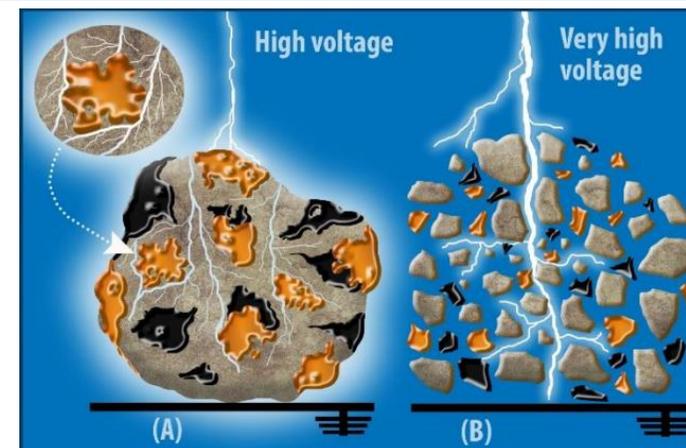
Mapping Sustainability Standards Systems – Content



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 CO₂ 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



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

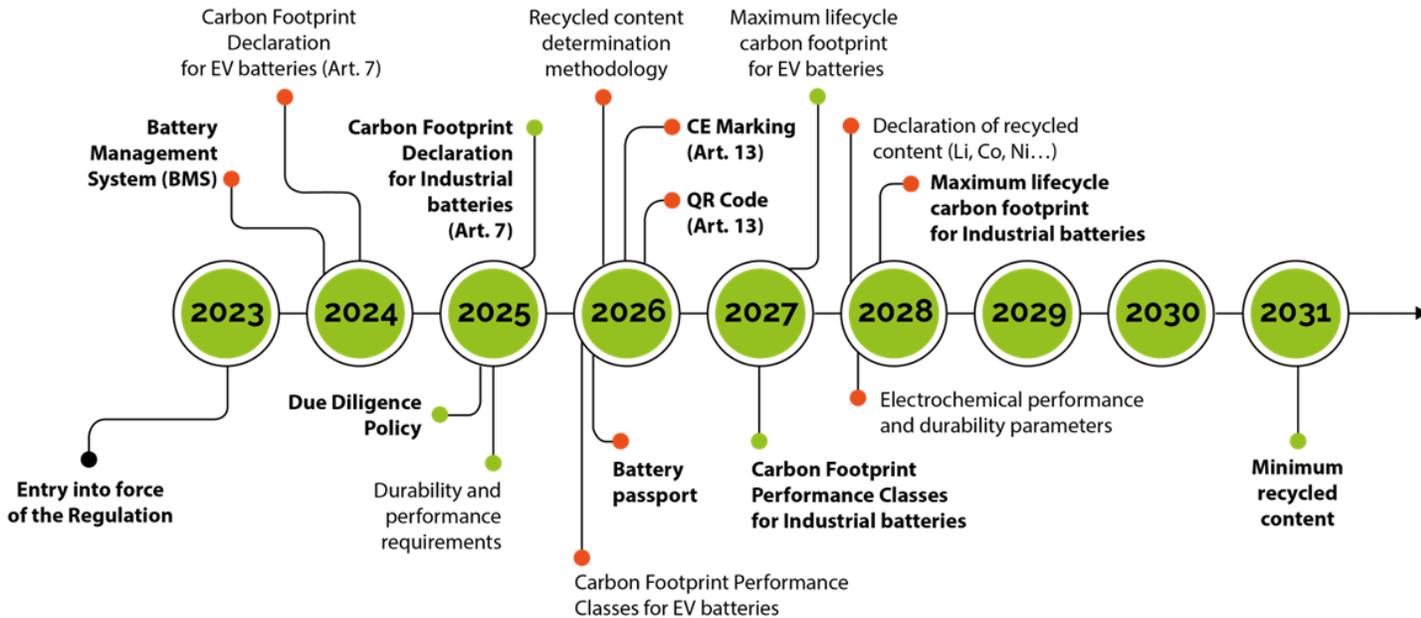
La "mine responsable", nouveau paradigme des politiques publiques dans ce domaine

- 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



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Merci !

Pour tout complément, c.poinssot@brgm.fr