



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

LES MÉTAUX STRATÉGIQUES : LES NOUVELLES DÉPENDANCES DES ÉCONOMIES BAS-CARBONE

Christophe POINSSOT

Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Directeur Général Délégué et Directeur Scientifique



Conférence ARCEA – Mars 2024

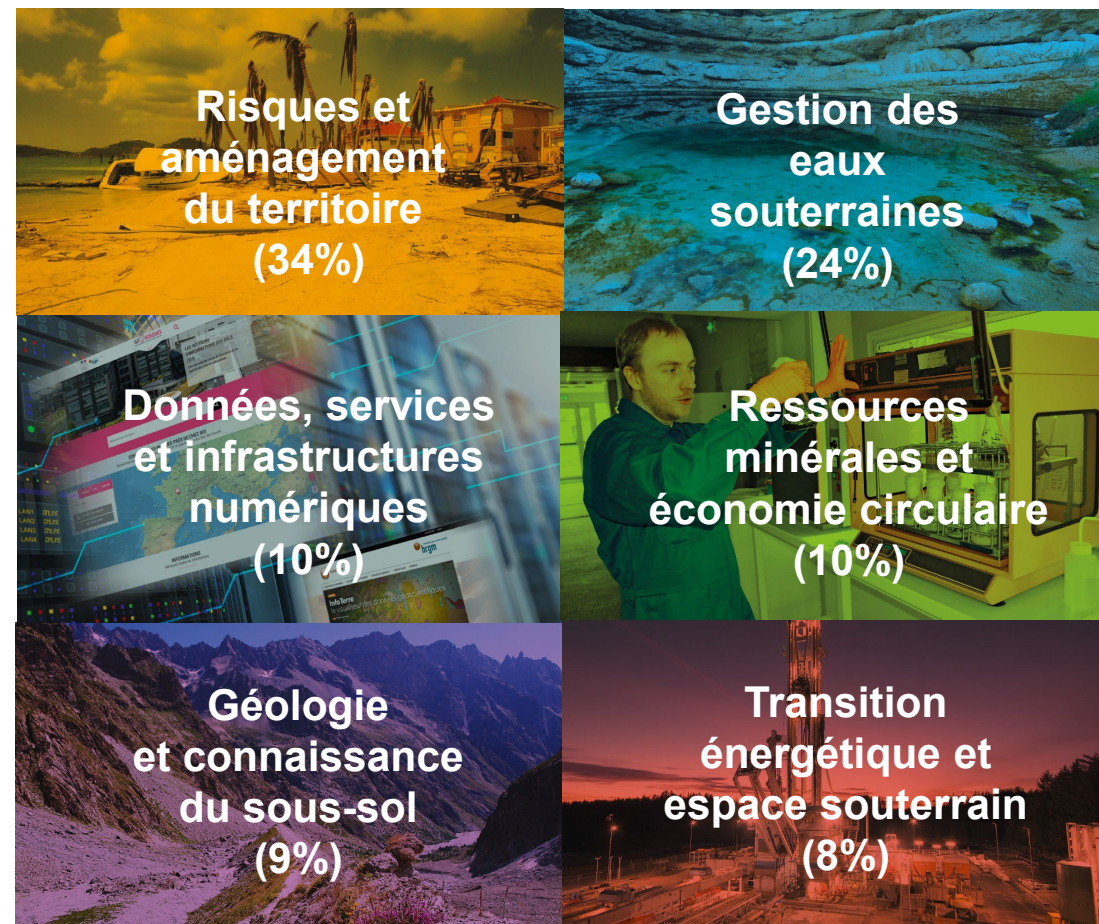
Le BRGM en quelques mots

Mission : 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 activité 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, et du Ministère en charge des Mines.
- Un **millier de salariés** dont **750** ingénieurs et chercheurs,
- Plus de **90 doctorants** accompagnés par les équipes BRGM,
- Budget d'environ **150 M€** dont **65 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. De la dépendance aux énergies fossiles à celles aux métaux**
- 2. Les spécificités du marché des ressources minérales**
- 3. Nature et spécificités des besoins liés à la transition énergétique**
- 4. Quelles solutions possibles pour sécuriser les approvisionnements ?**
- 5. Mines responsables, mythe ou réalité ?**



1 – De la dépendance aux énergies fossiles à celles aux métaux

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

Net Zero Carbon



Transition énergétique et écologique

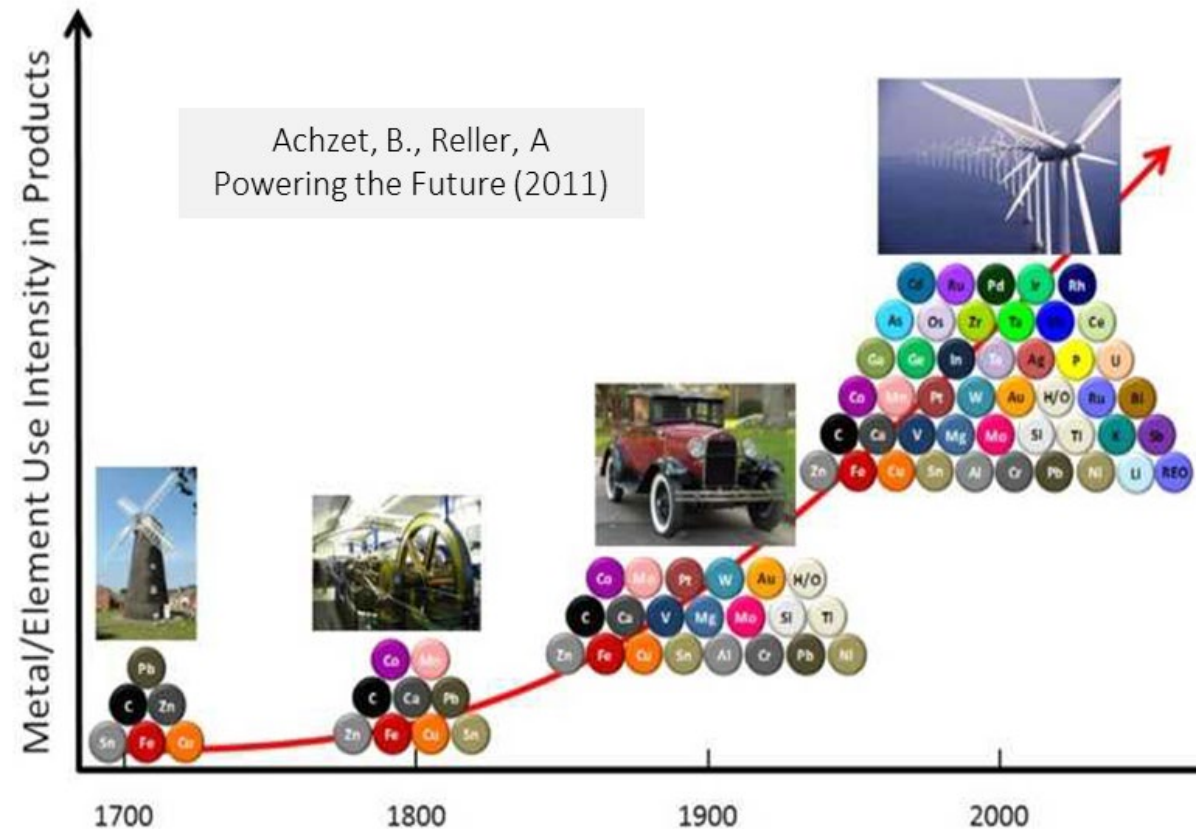


Transition numérique



Croissance économique

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

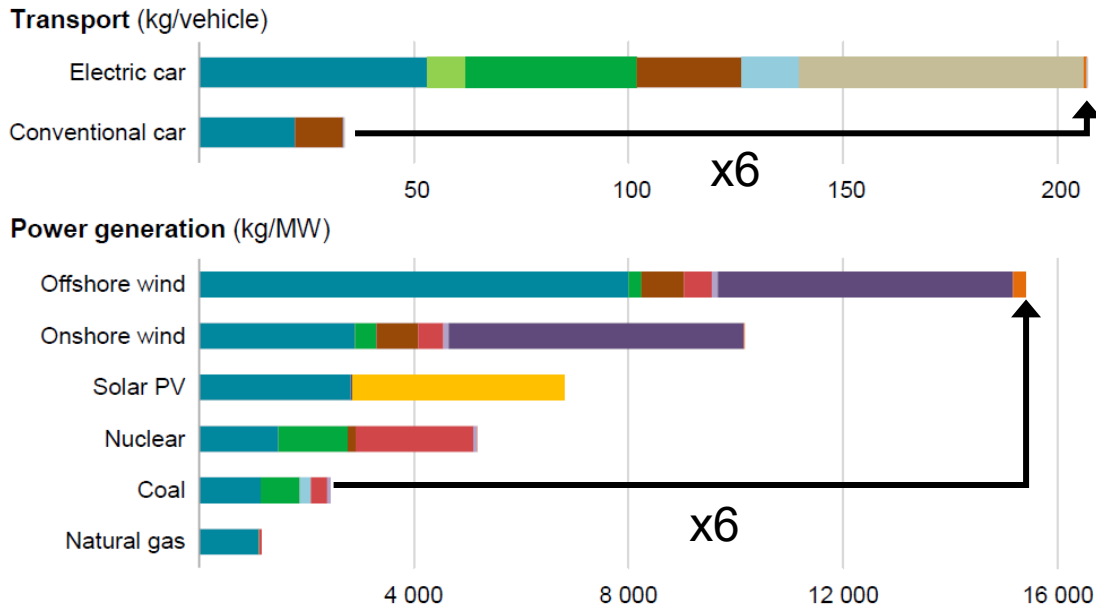


Les nouvelles technologies bas carbone sont avides en ressources minérales

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

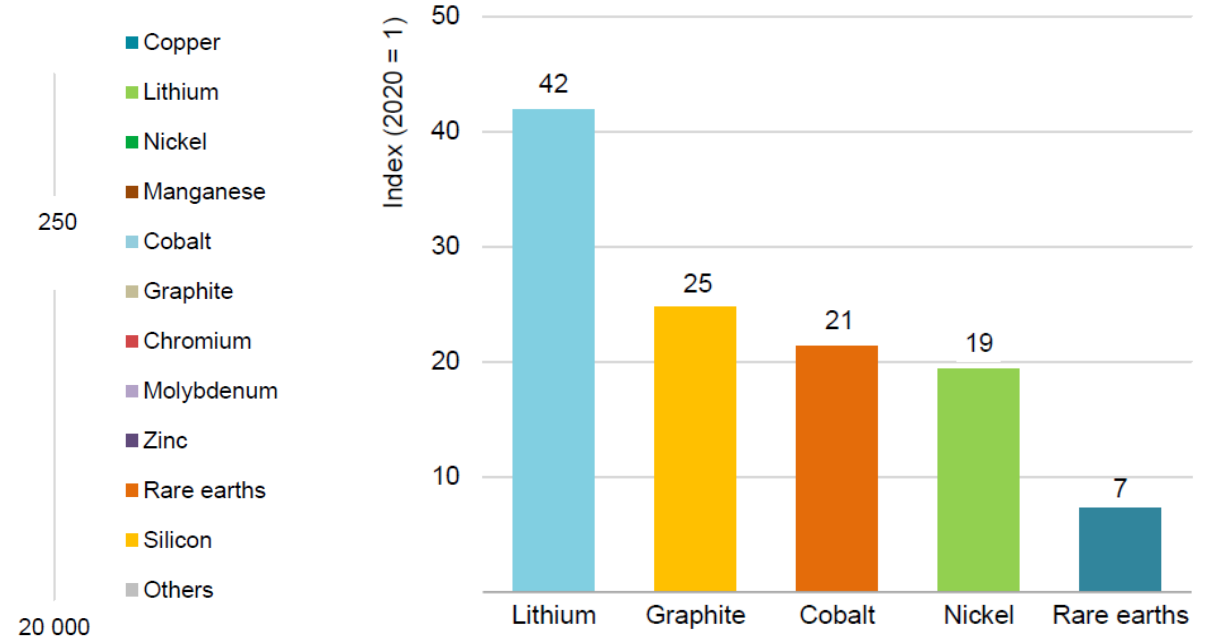
- Forte augmentation des besoins en métaux
- Concerne les métaux "nouveaux" (Li, Mn, Co...) comme ceux "historiques" (Cu...)

Minerals used in selected clean energy technologies



PS: écart par KWh est 3-4 fois plus important pour les EnR du fait de la différence de disponibilité (intermittence)

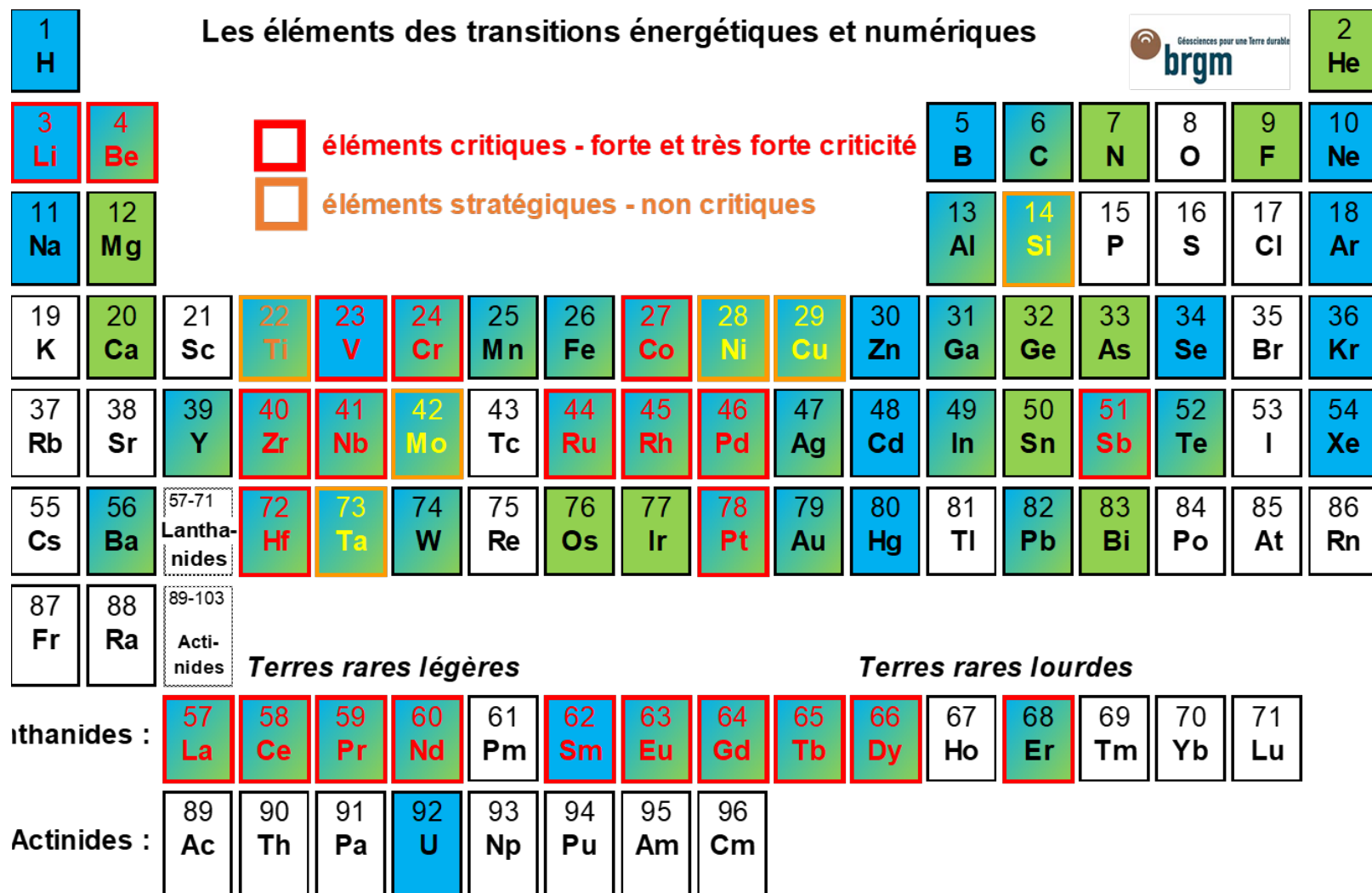
Growth of selected minerals in the SDS, 2040 relative to 2020



IEA. All rights reserved.

IEA. All rights reserved.

Les transitions énergétiques et numériques mobilisent des ressources similaires



Transition énergétique

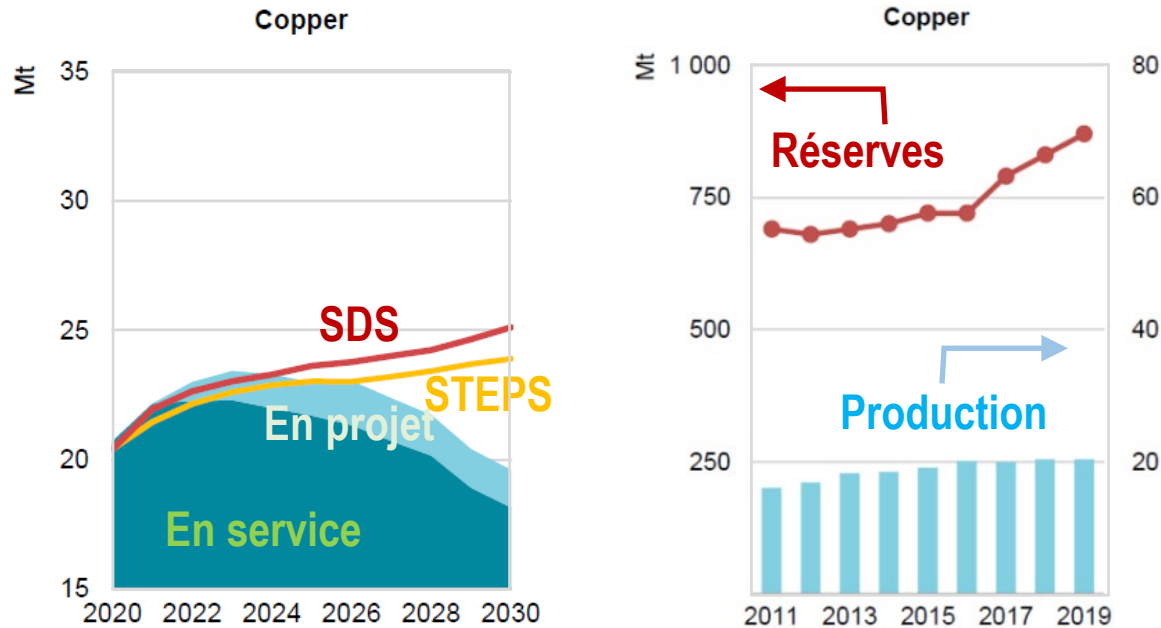
Transition numérique

- **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



2- Quelques spécificités du marché des ressources minérales

① Difficultés à ajuster l'offre et la demande



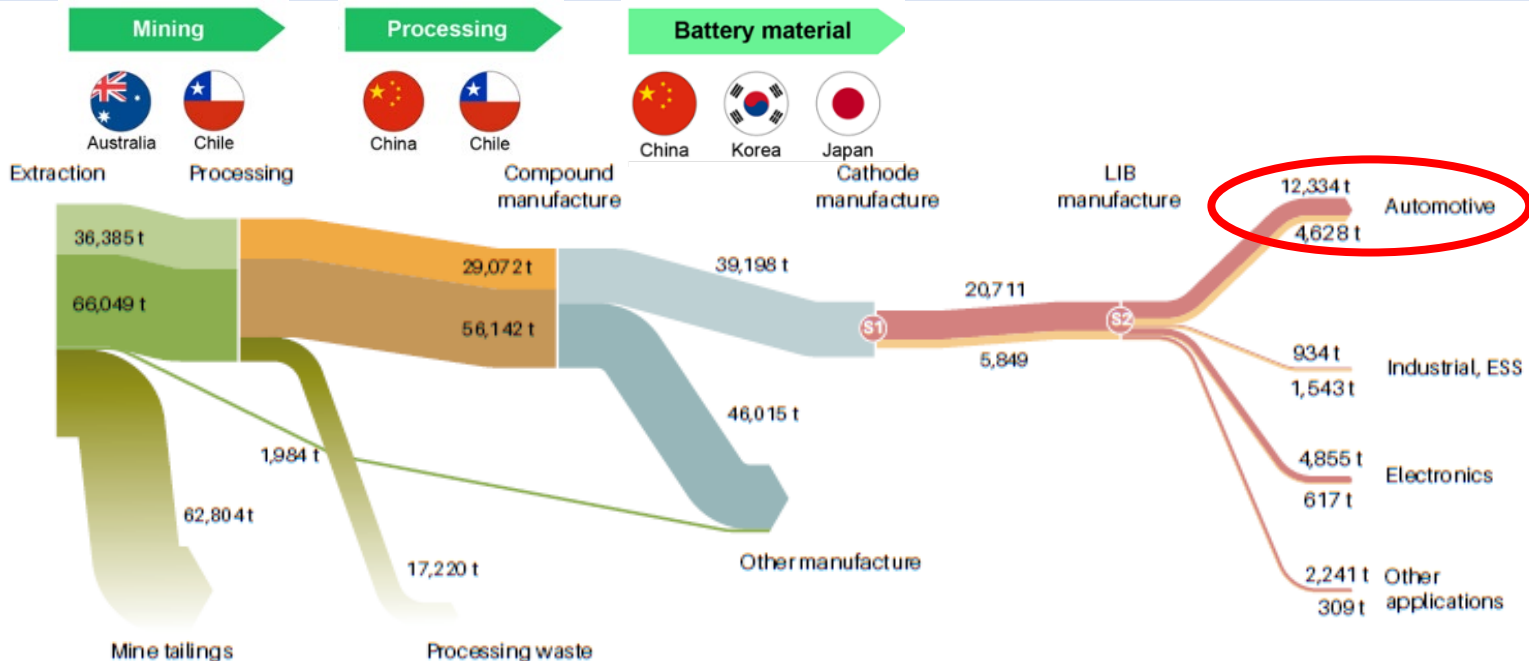
- Tension croissante et difficultés à répondre à la demande
- Réserves restent importantes mais difficiles à mettre sur le marché : gisements moins concentrés, time-to-market important, oppositions sociétales grandissantes ...

② Forte volatilité des prix



- Volatilité des cours → frein aux investissements et au déploiement de la transition énergétique
- réserves économiquement rentables dépendent mécaniquement des cours

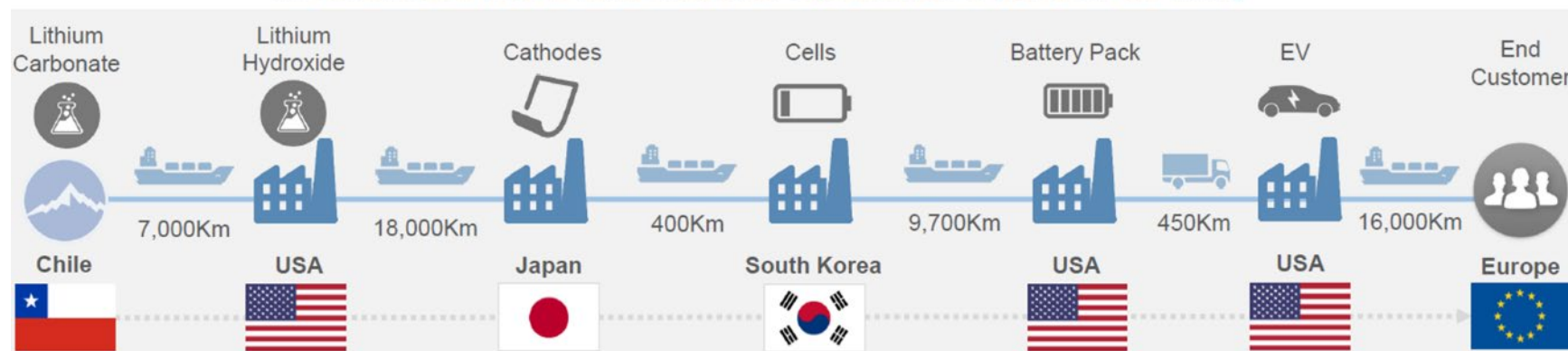
Maîtriser une chaîne d'approvisionnement requiert de maîtriser l'ensemble des étapes



- **Chaîne d'approvisionnement** = succession d'étapes de traitement, raffinage, transformation du minerai
- **Optimisation** a souvent conduit à les répartir dans différents pays en fonction des contraintes
- **Contrôle** des chaînes de valeurs peut se faire à n'importe quel niveau, de plus en plus souvent sur le raffinage
- **Chine** a progressivement investi l'ensemble des chaînes de valeurs

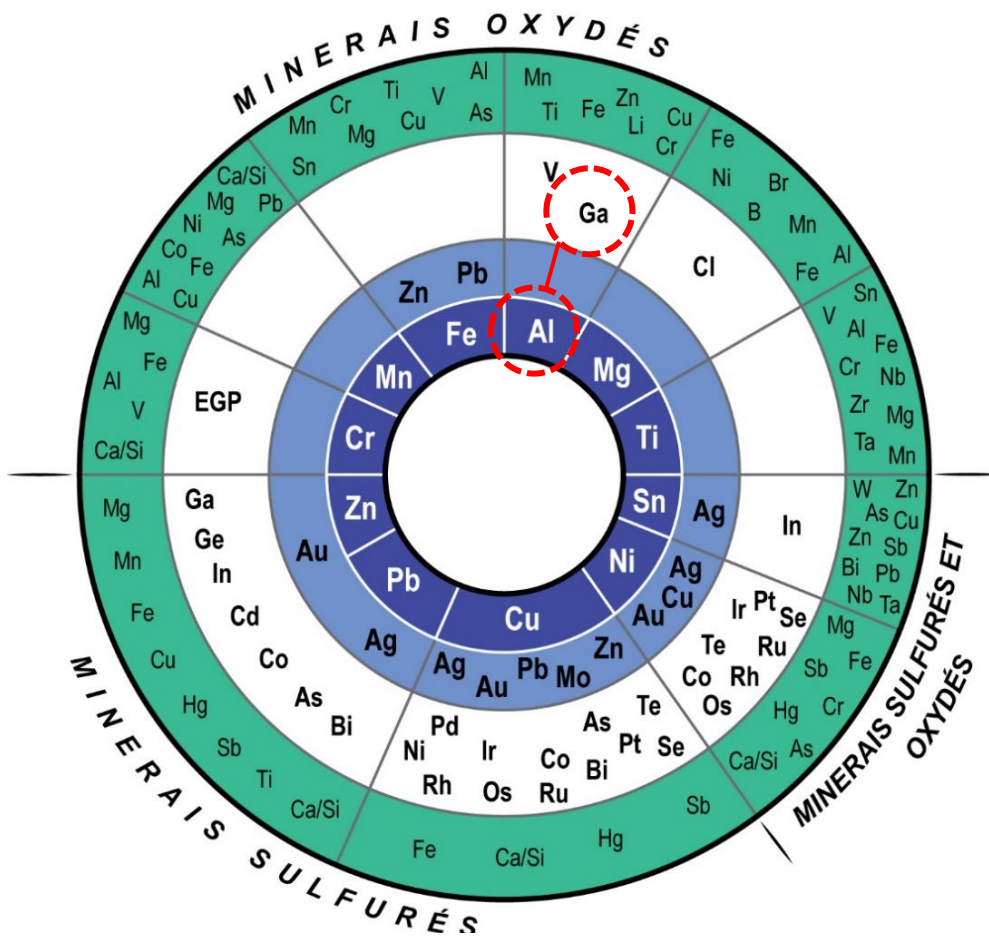


The lithium inside your car travels more than **50,000km** before you even start driving*



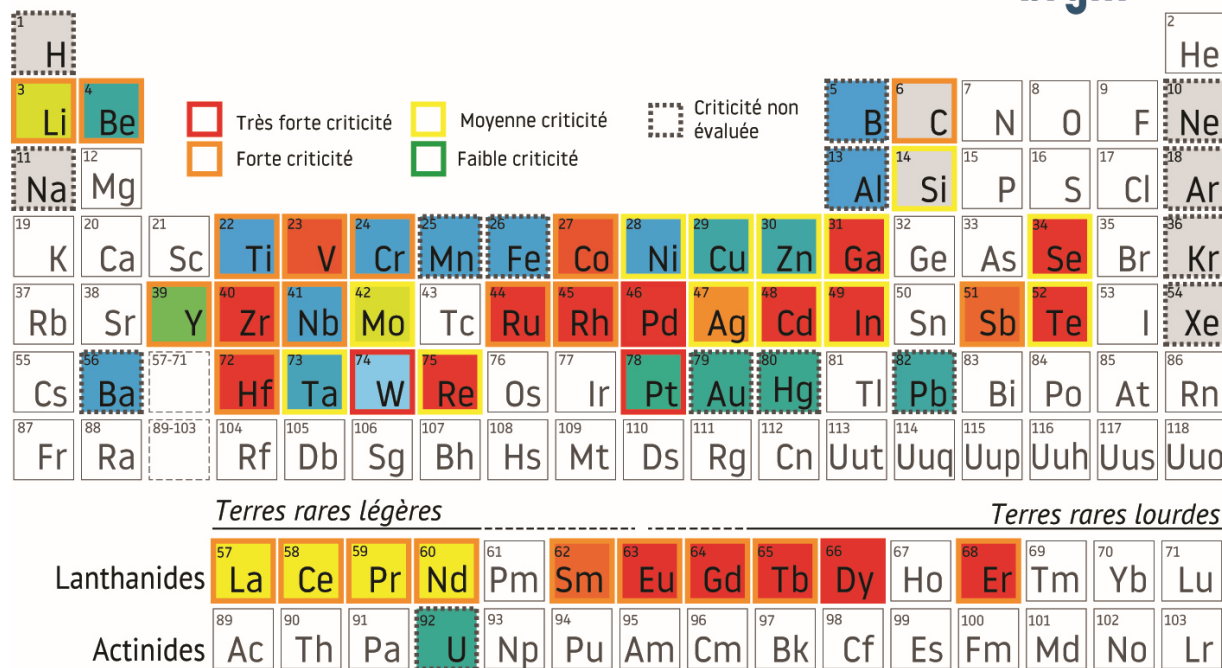
Pour une grande part, les métaux stratégiques ne sont pas « extraits pour eux-mêmes »

- Petits métaux dépendent de la production d'un « métal hôte » → **inélasticité de l'offre**

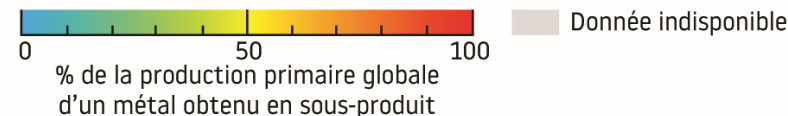


Métaux porteurs. Métaux principaux, généralement de moindre valeur.
 Co-éléments qui ont une infrastructure propre conséquente. Valorisables à haute valeur économique: certains utilisés dans les hautes technologies
 Co-éléments qui ont une infrastructure propre absente ou limitée. La plupart fortement valorisable, métaux de haute-technologie (ex. électronique)
 Co-éléments finissant en déchets ou en émissions. Coûteux du fait de la gestion des déchets ou des procédés en fin du cycle de vie.

Les éléments de la transition énergétique



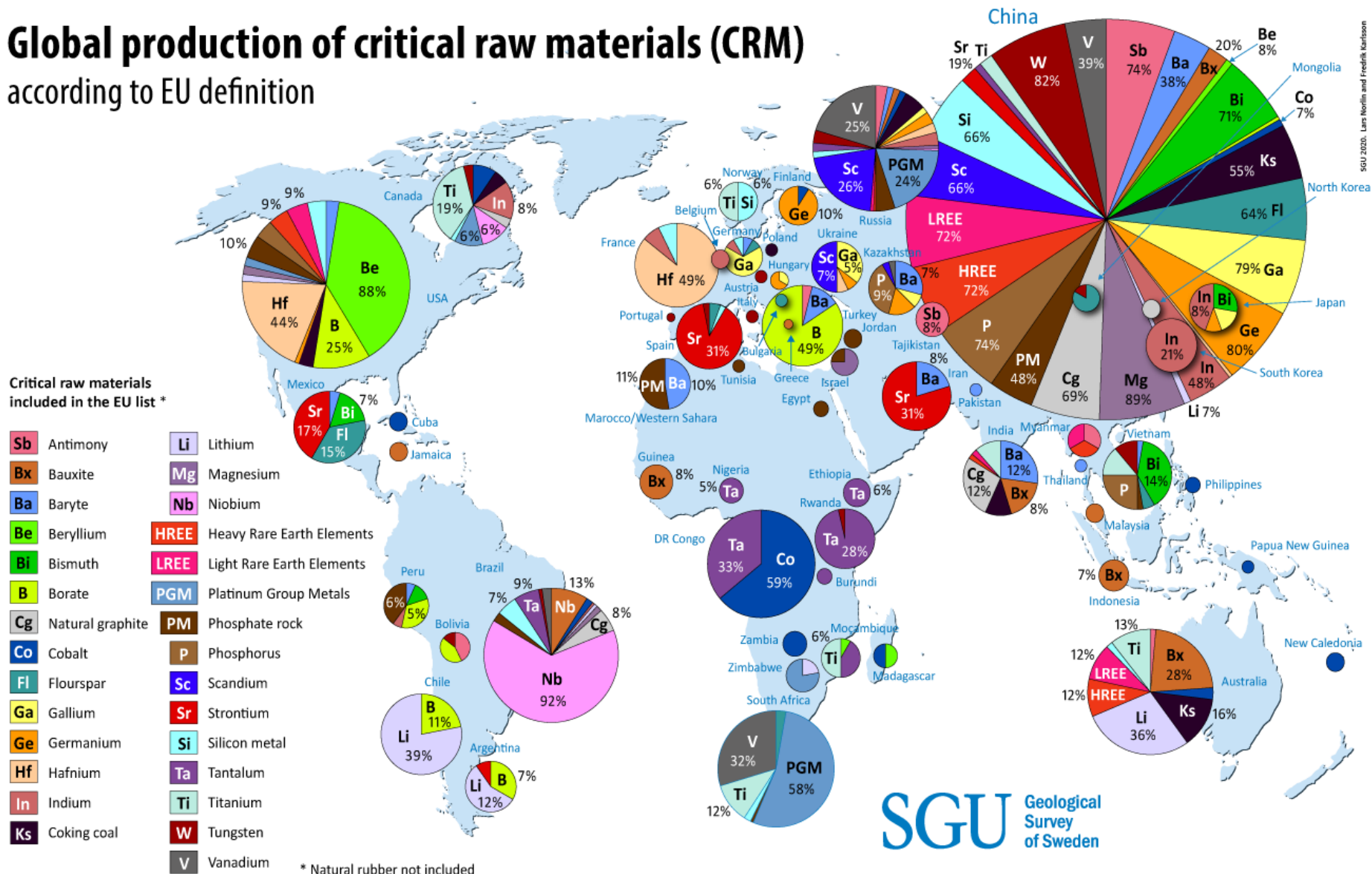
D'après Nassar et al., 2015



→ Grande complexité et opacité des chaînes de valeurs minérales

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

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



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%		

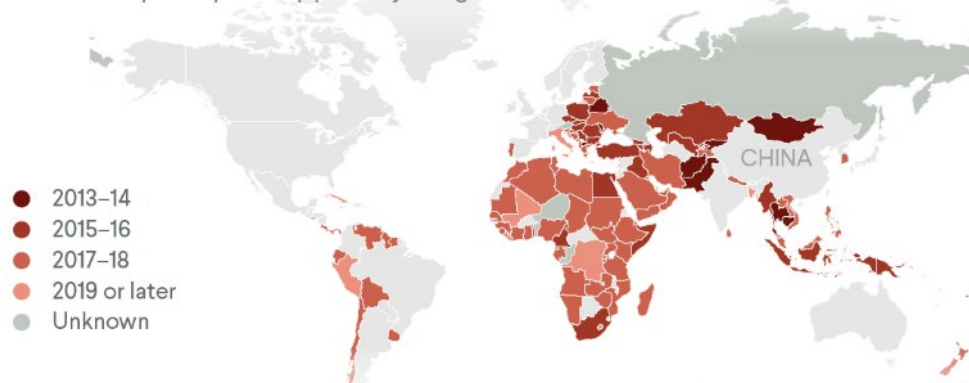
- Chine ↔ **monopole** basé sur la maîtrise des étapes de transformation plus que sur la localisation des mines en Chine
- **Routes de la Soie** → accaparement des ressources et création de dépendances économiques
- **Tensions** dans de nombreux pays

Italique = extraction / normal = raffinage



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

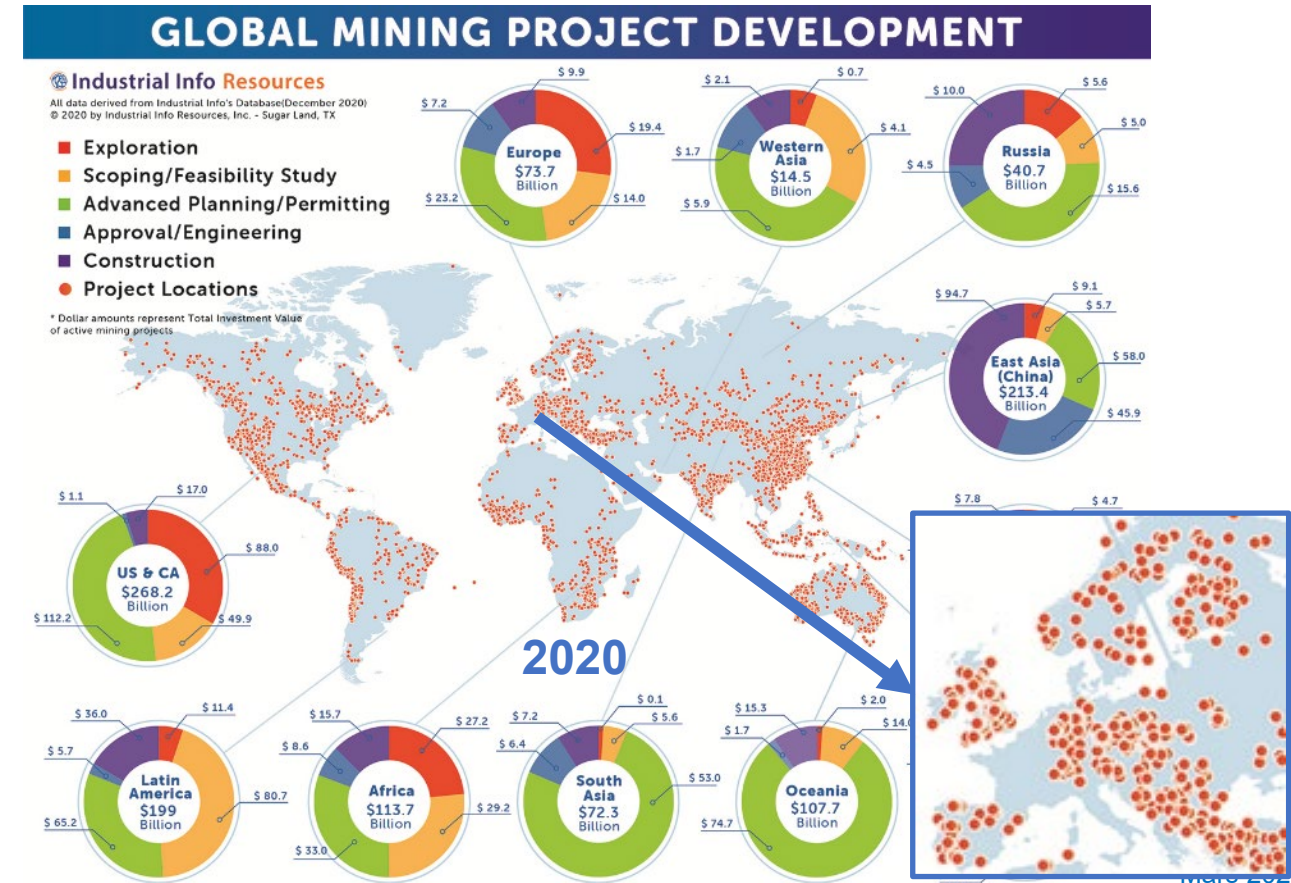
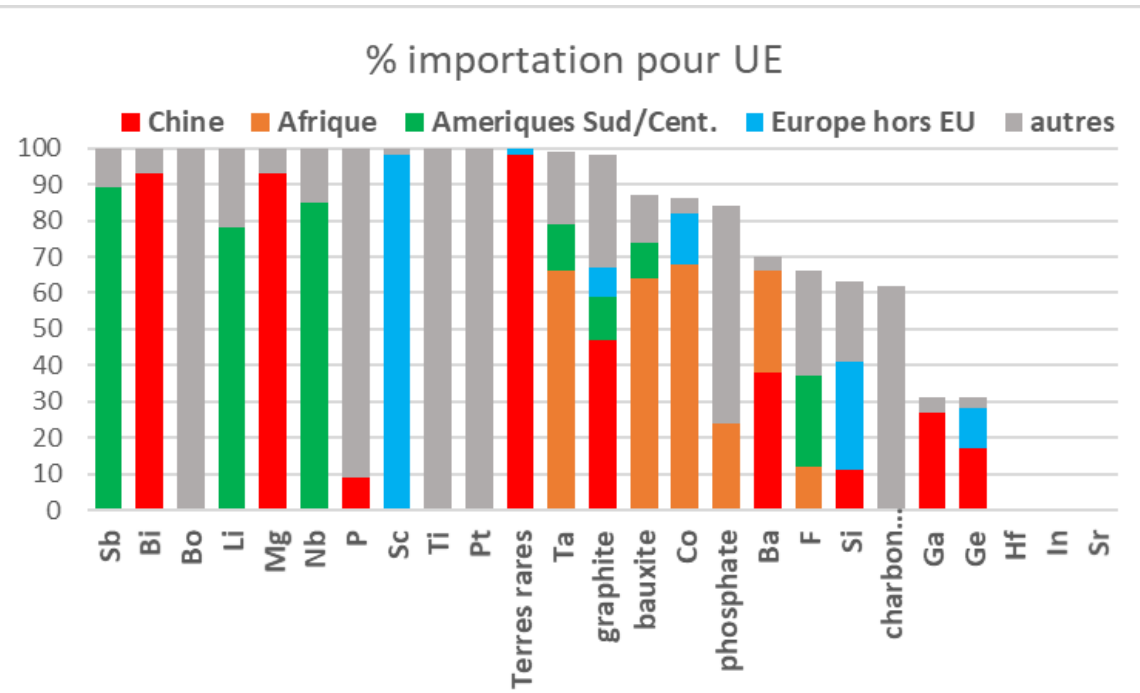


Source: EIU.

La France et l'Europe 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 → forte dépendance
- L'absence visible d'industrie extractive en métropole a modifié le **regard de la société française** sur cette industrie "*dénigrée*"

- **Dynamisme** du secteur minier reste important mais insuffisant pour répondre à la demande
- **Vision française biaisée** car situation atypique dû à l'absence notable d'investissements ou de projets

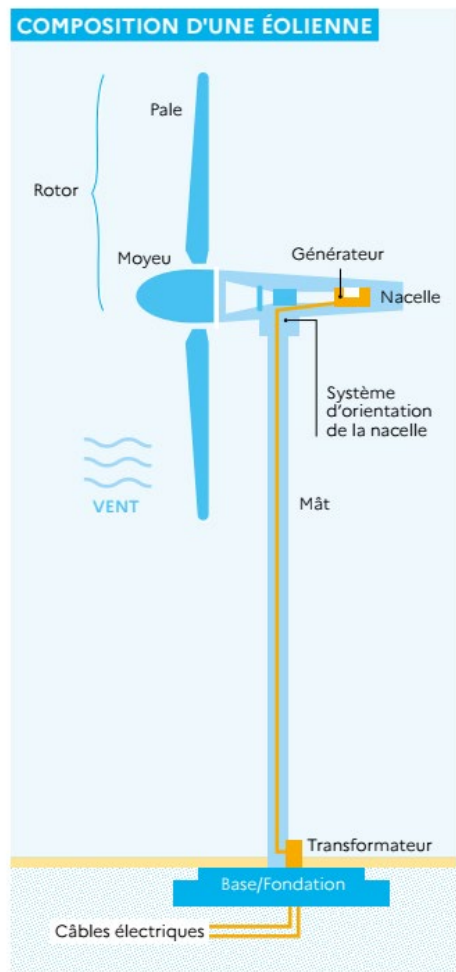
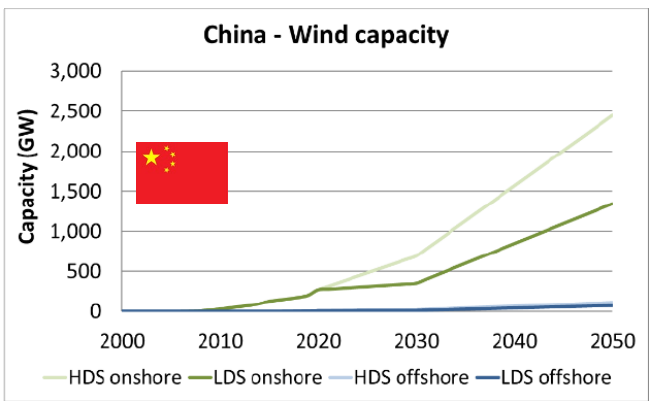
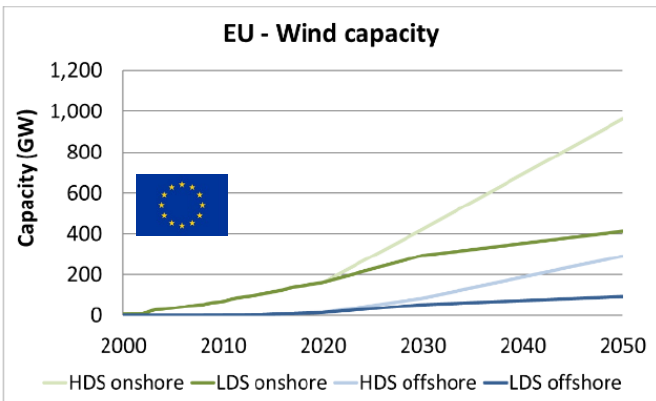
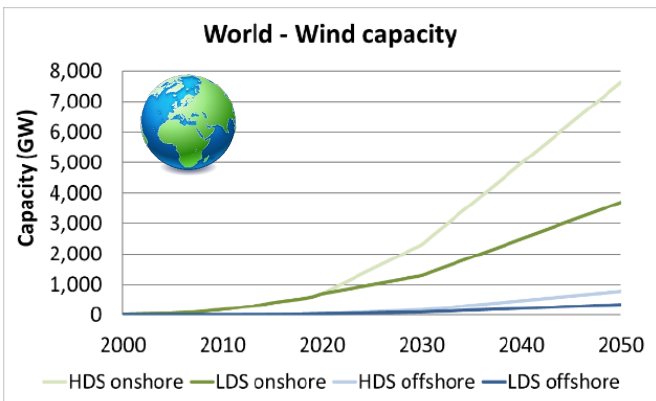


The image features a vibrant green electric car on the left, with a matching green charging cable plugged into its side. The car's side mirror is visible, reflecting a blue sky with white clouds. In the background, several wind turbines stand against a bright blue sky with scattered white clouds. To the right, a lush green tree is partially visible. The overall scene is bright and clean, symbolizing sustainable energy and green technology.

3 – Les besoins liés à la transition énergétique

1 Exemple de l'éolien

- **Augmentation** importante du parc installé (x8), croissance annuelle x5 d'ici 2050, tiré par la Chine en termes industriels et de déploiement
- **Technologie** nécessitant des quantités importantes de matériaux, notamment off-shore (aimants permanents)



Iron: as cast iron or in steel composition for tower, nacelle, rotor and foundation; in neodymium-iron-boron (NdFeB) permanent magnets

Chromium: essential for stainless steel and other alloys in rotor and blades

Manganese: essential for steel production used for many parts of a turbine

Molybdenum: in stainless steel composition for many components of the turbine

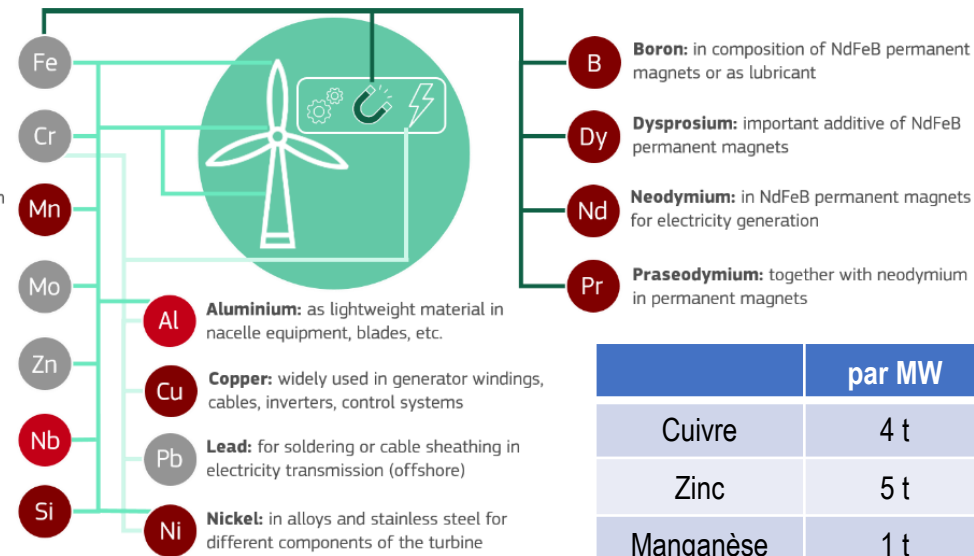
Zinc: in protective coatings against corrosion

Niobium: a microalloying element in high strength structural steel for towers of a turbine

Silicon: as alloying element in high-performance steels and as silicone in polymers (sealants, adhesives, lubricants)

● Strategic Raw Material

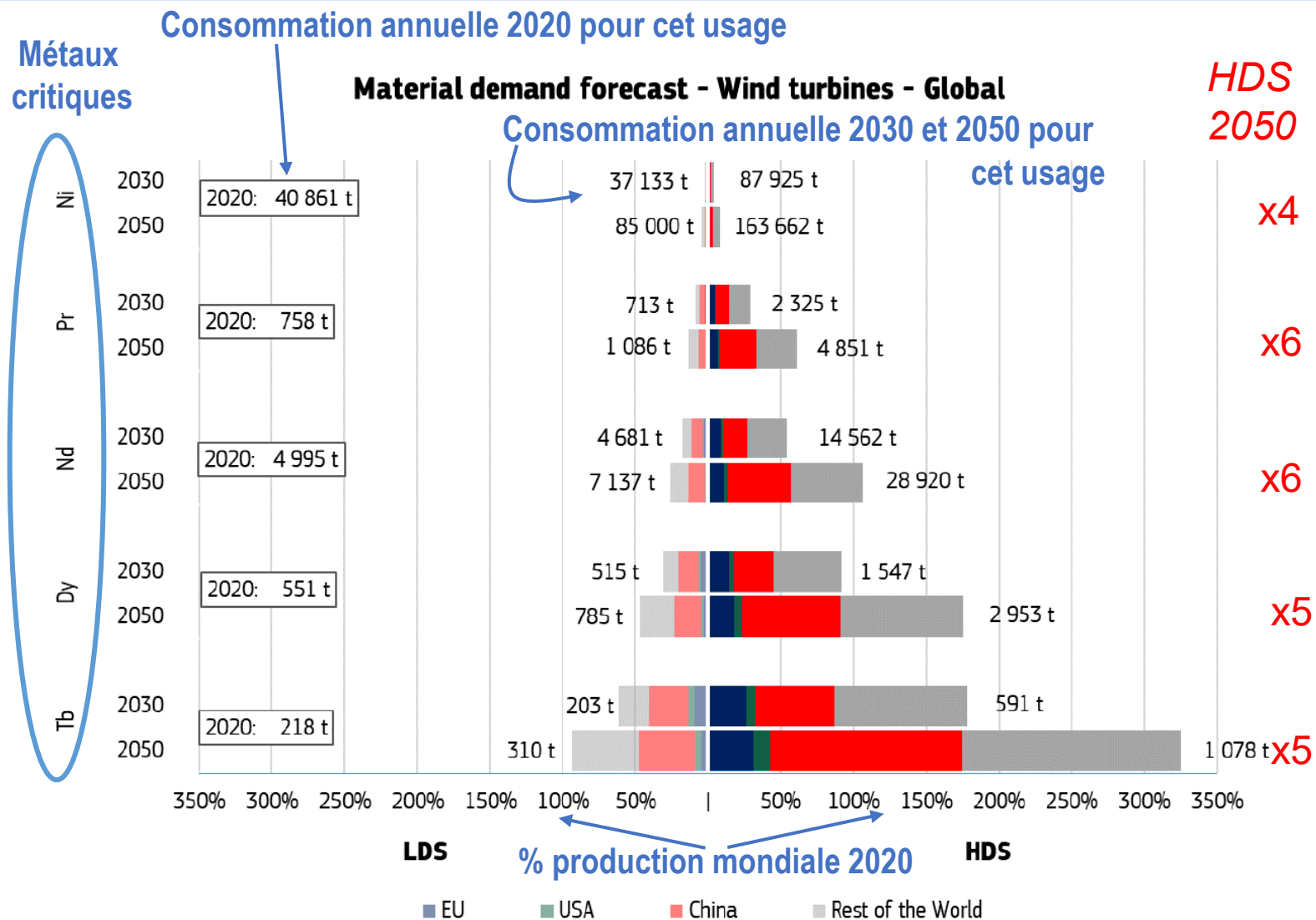
● Critical Raw Material



	par MW
Cuivre	4 t
Zinc	5 t
Manganèse	1 t
Chrome	0,5 t
Nickel	0,25 t
Molybdène	0,1 t
Néodyme	0,02 t
Béton	300 t
Acier	120 t



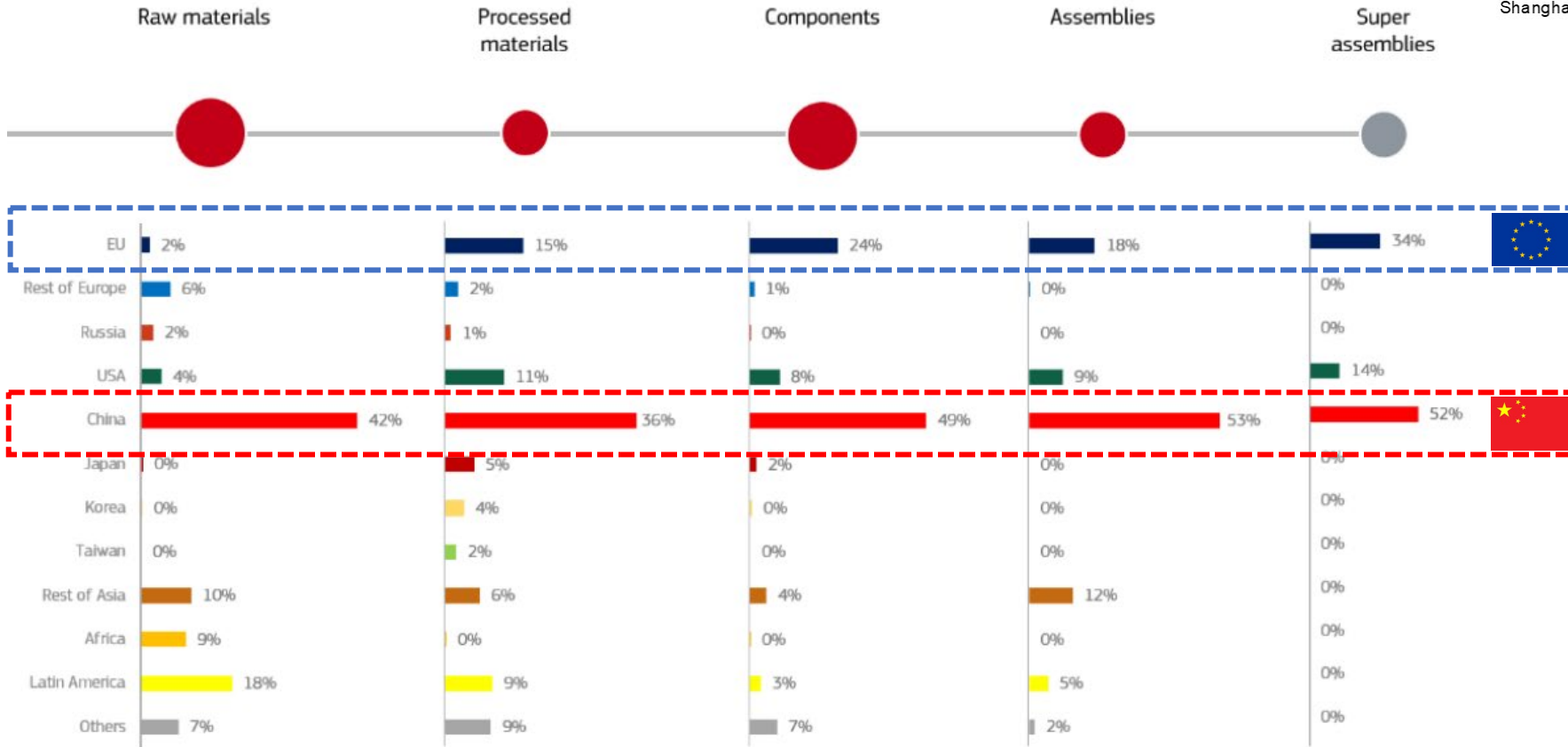
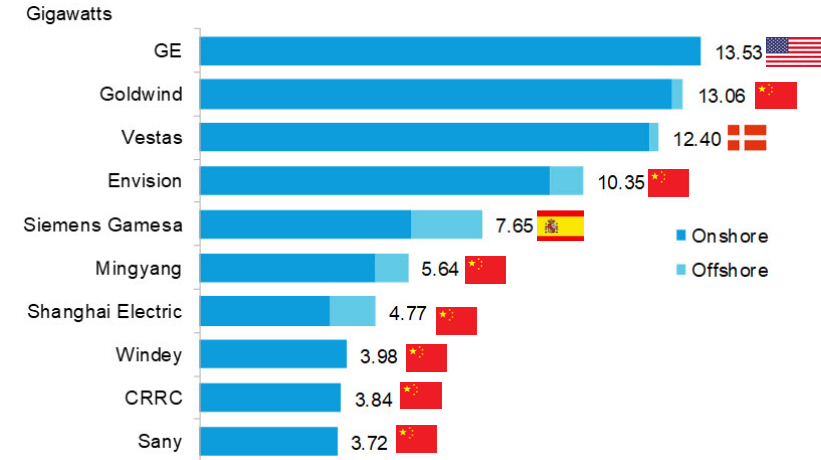
Les besoins liés à l'éolien (2/3)



LDS: Low demand scenario with slow technology deployment
HDS: High demand scenario with rapid technology deployment, in line with 1,5°C target (REPowerEU targets)

Marché dominé par la Chine mais où subsistent des entreprises EU et US

- **Chine** domine globalement la moitié du marché des matières premières comme des composants
- **L'Europe** reste le 2^{ème} acteur important pour les technos via les entreprises danoise Vestas et espagnole Siemens Gamesa (1^{er} acteur pour off-shore)

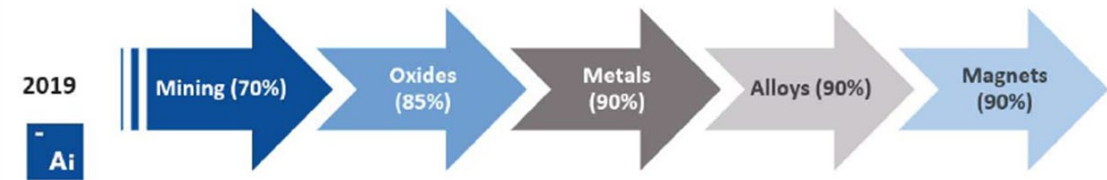


Malgré tout, la Chine reste quasiment le seul pays capable de fabriquer des aimants permanents



- Les **gisements** de terres rares sont fréquents mais souvent difficiles à exploiter (*très faible concentration, minéralogie complexe, procédés complexes et polluants...*)
- **Chine** reste le seul pays à purifier les terres rares lourdes → aimants permanents
 - Importations croissantes de minerais
 - Impact environnemental très important
 - Investissement dans l'ensemble de la chaîne de valeur → monopole

Rare earth metals production and reserves

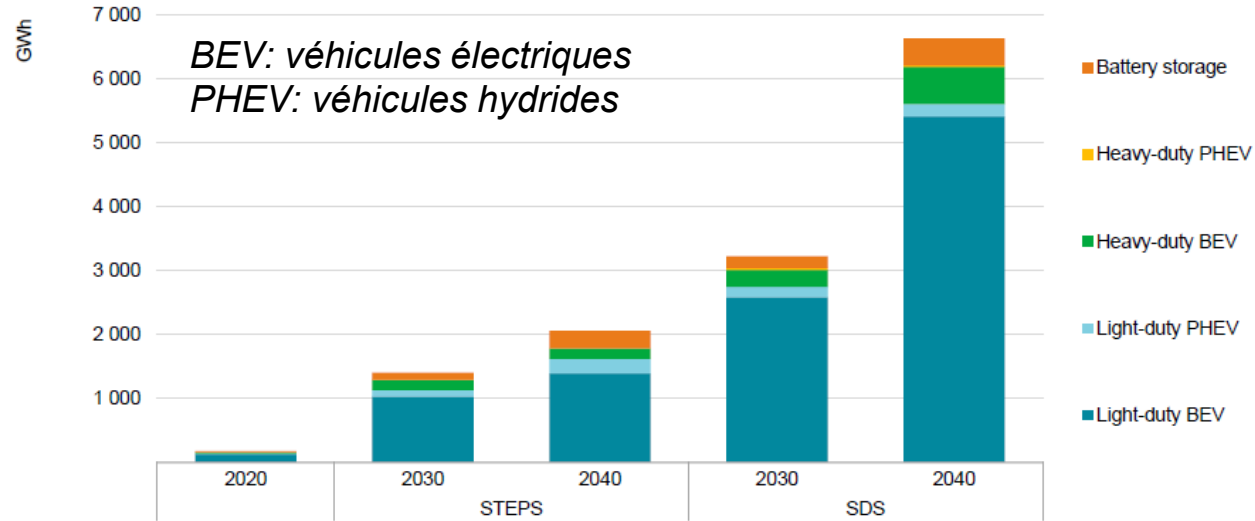


Source: Adamas Intelligence

- Développement de **projets alternatifs**, d'abord miniers (ex.: Mountain Path US) puis d'usines de raffinage (US, France...)

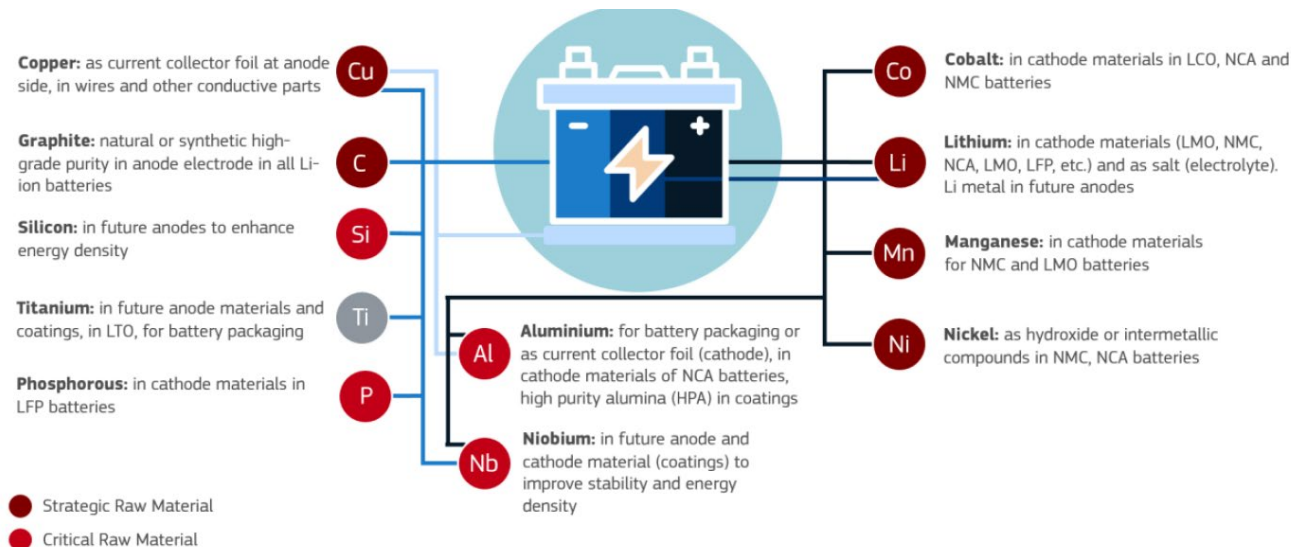
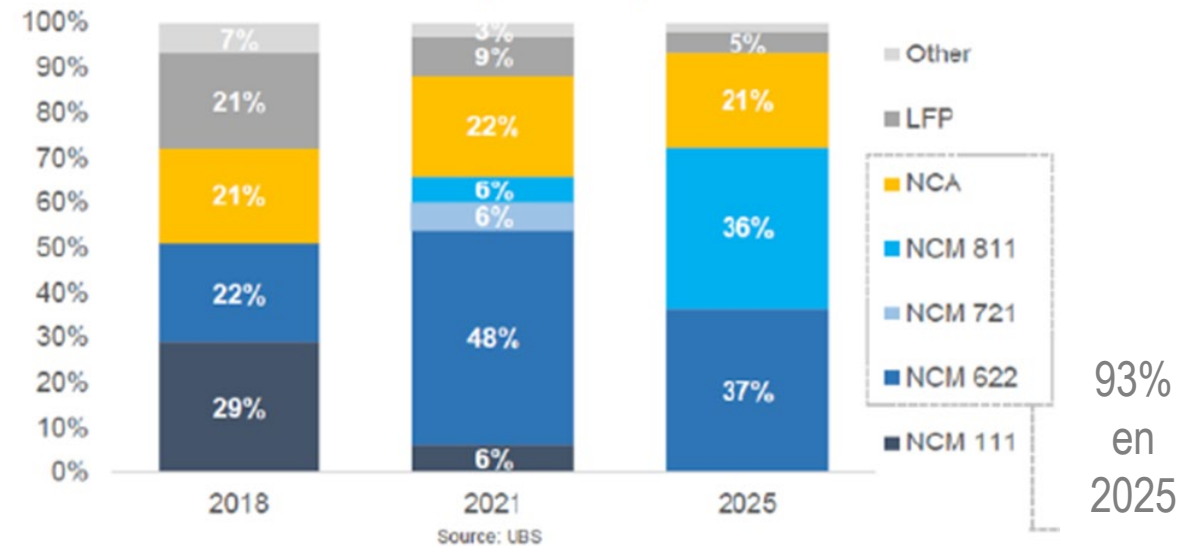
② Exemple des besoins liés à la mobilité électrique (1/3)

Global battery capacity additions

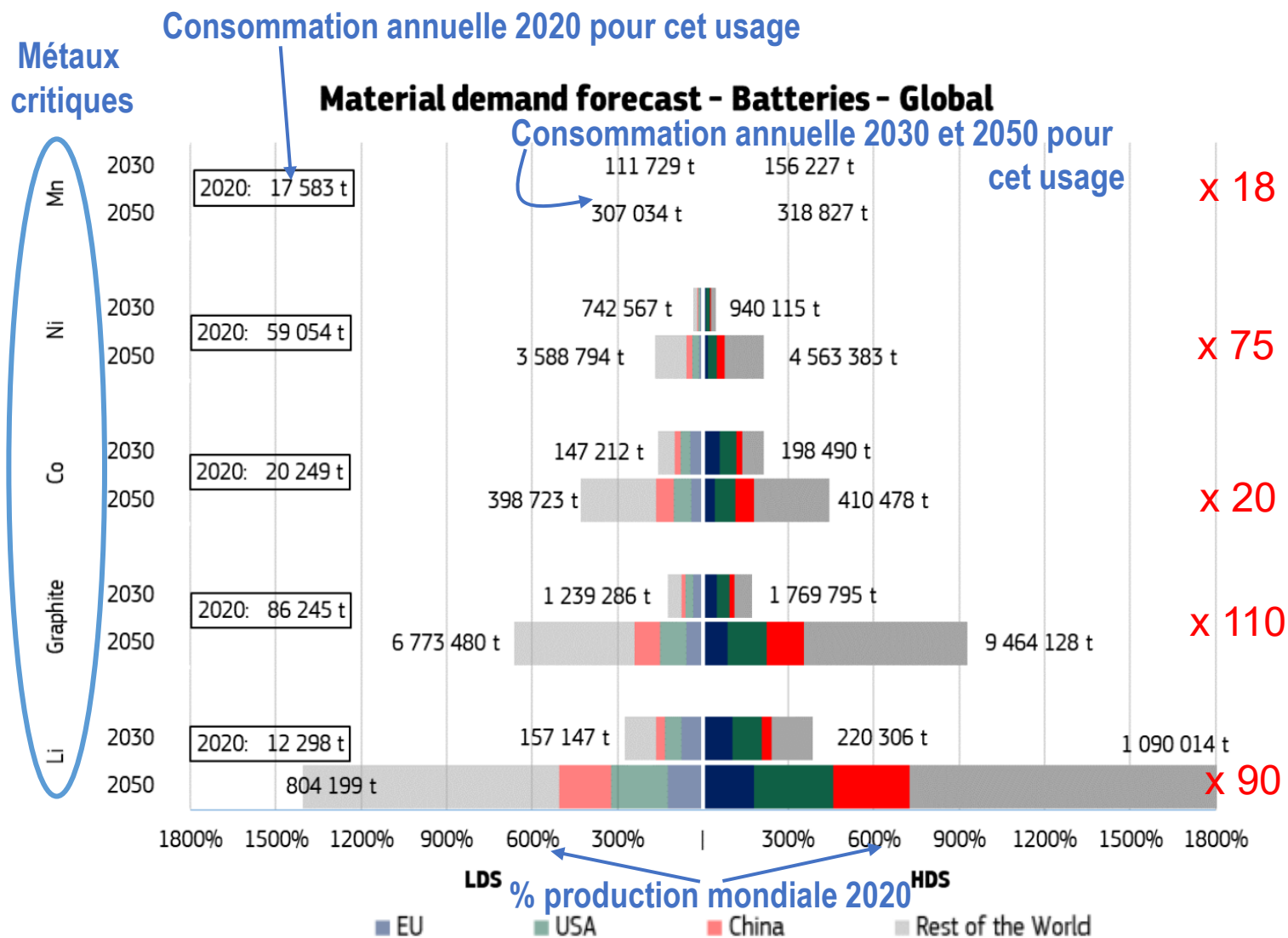


- **Batteries** = enjeu majeur pour la transition énergétique ⇔ croissance très rapide
- Technologies majoritaires à ce jour = Li-ion:
 - cathode Ni-Mn-Co + Li
 - anode graphite fonctionnalisé
 - Électrolyte = lithium
- Mais **évolution rapide** des technologies rend délicat les exercices prospectifs

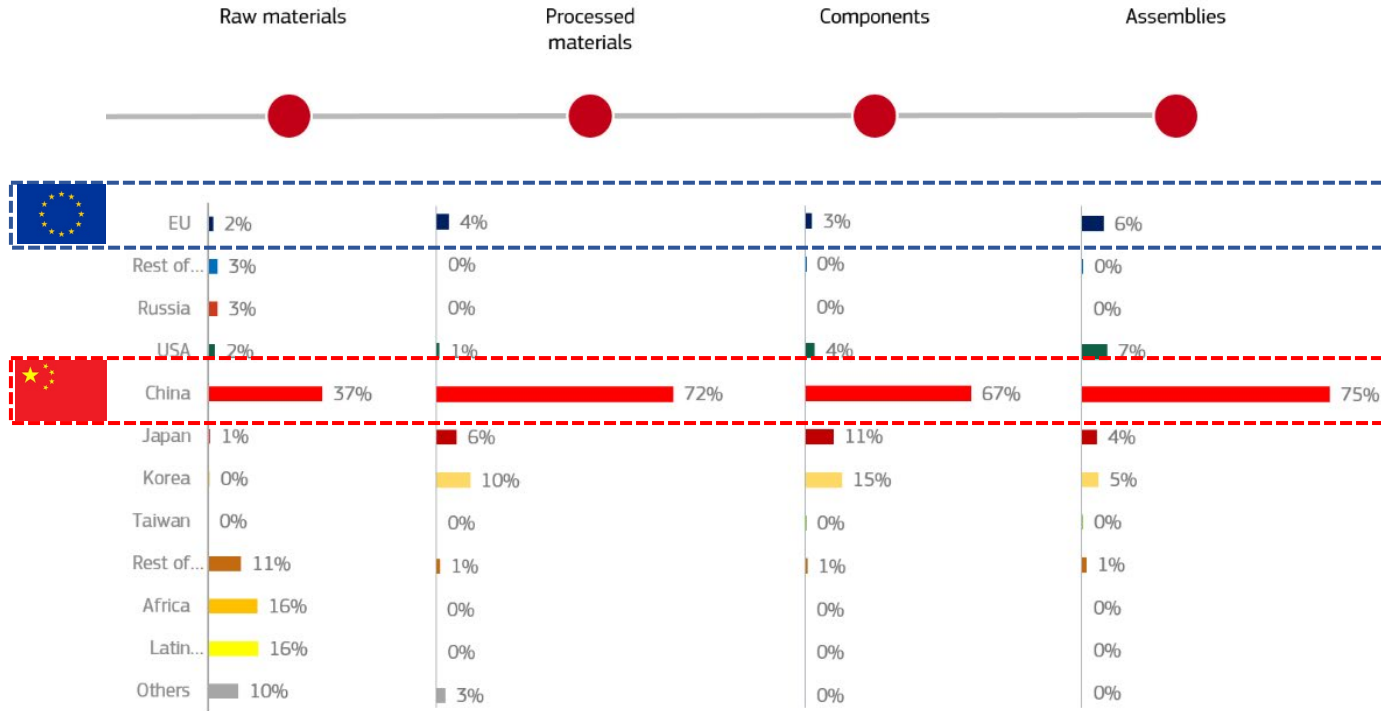
EV Battery Chemistry Mix



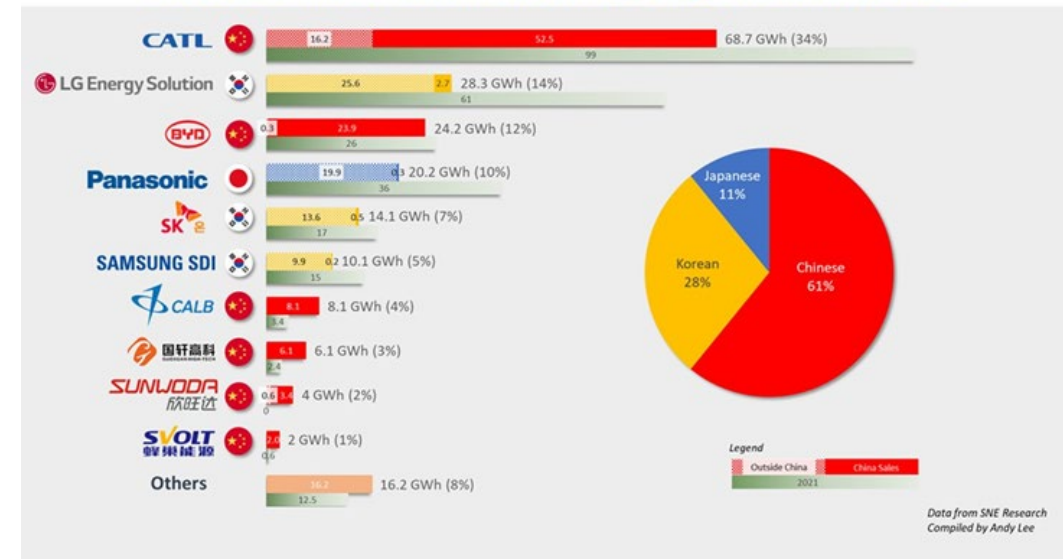
Des besoins bien au-delà de la production actuelle



La Chine domine très largement le marché mondial

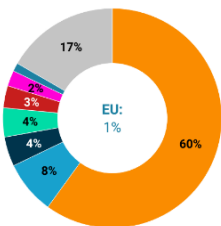


1H2022 Global EV Lithium-ion Battery Usage and Market Share

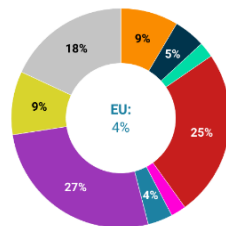


Cobalt

DRC, Zambia, Russia, Australia, China, Canada, EU, Switzerland, Kazakhstan, Other



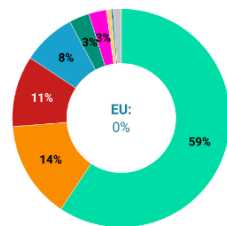
by location



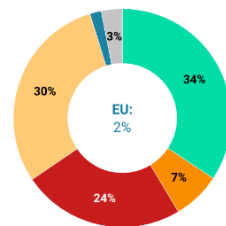
by ownership

Lithium

Australia, Chile, China, Argentina, Brazil, Canada, USA, EU, Other



by location

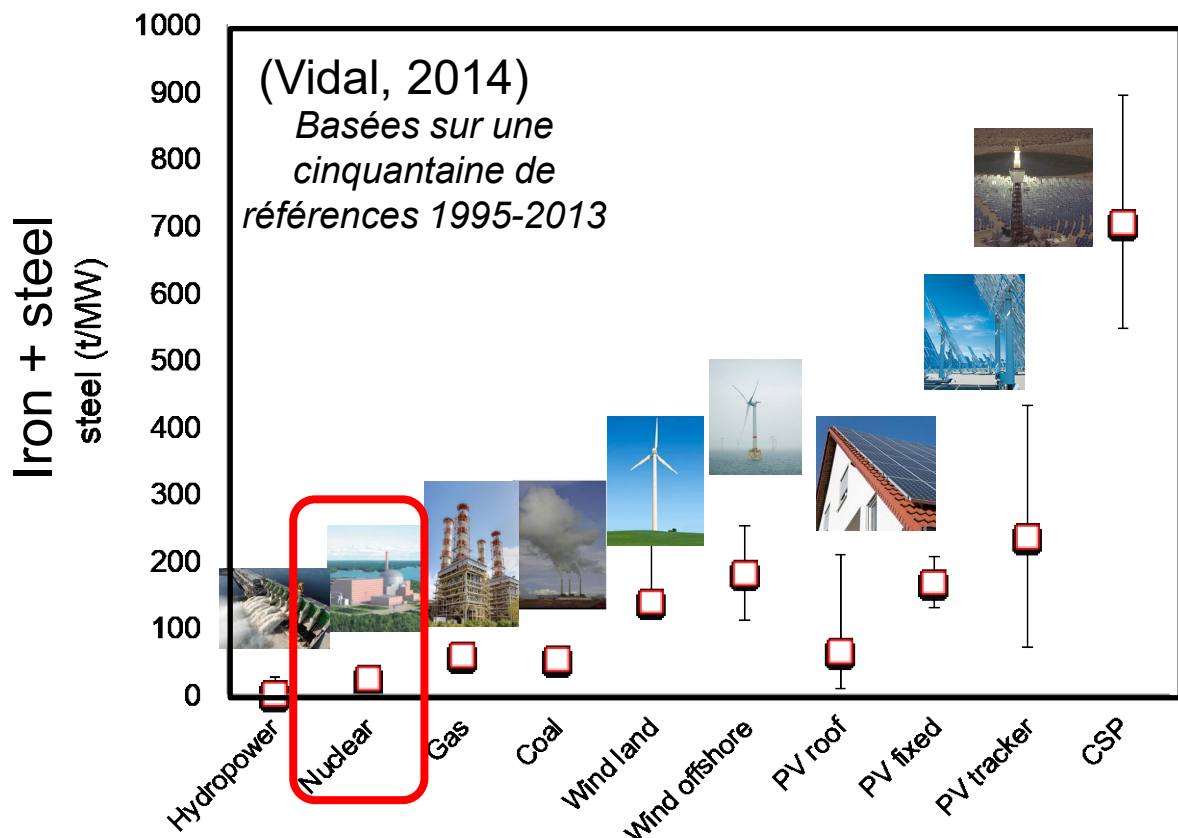


by ownership

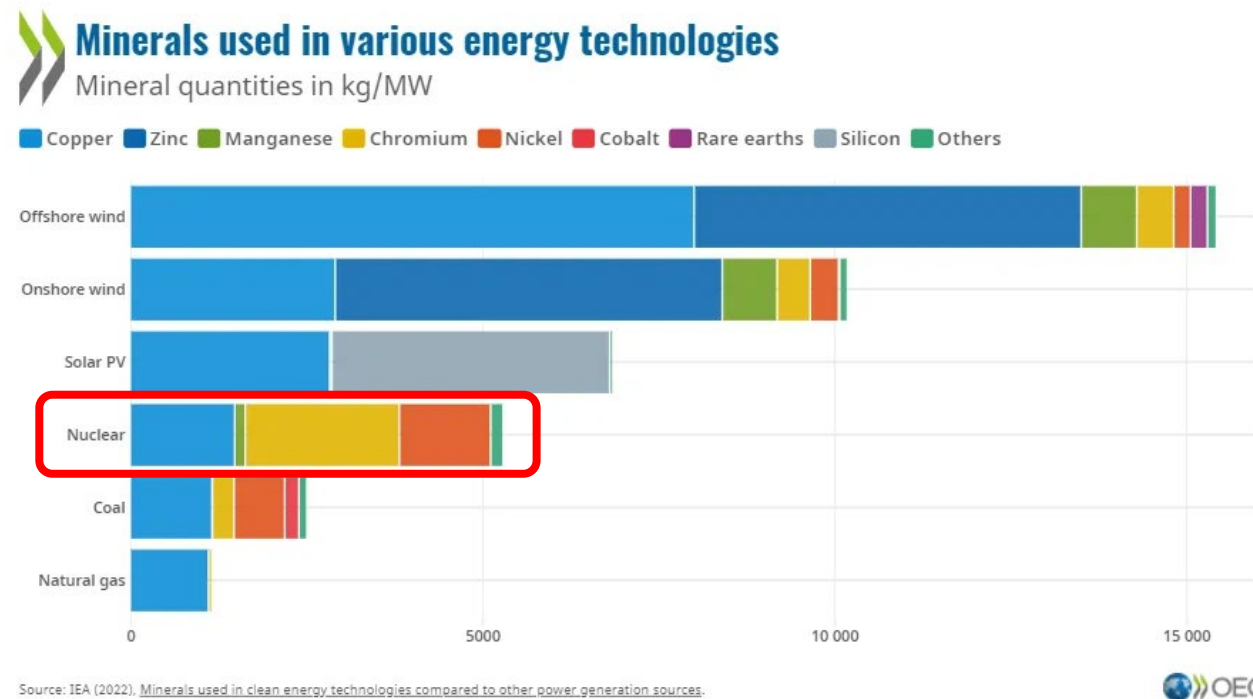
③ L'énergie nucléaire requiert peu de ressources minérales par MWh produit

- Recours aux matières premières nettement moindres que pour EnR

- De par sa forte densité énergétique et sa longue durée de vie, nucléaire est peu gourmand en ressources minérales



© Projet SURFER (2021), Moos et al. (2011)



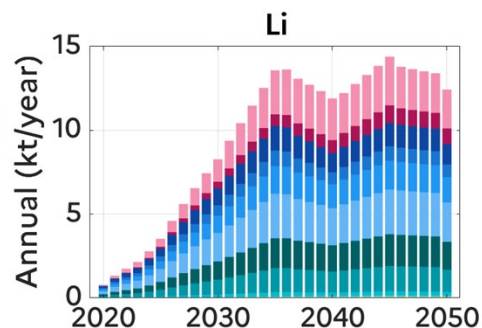


4- Quelles solutions pour retrouver une nécessaire souveraineté minérale ?

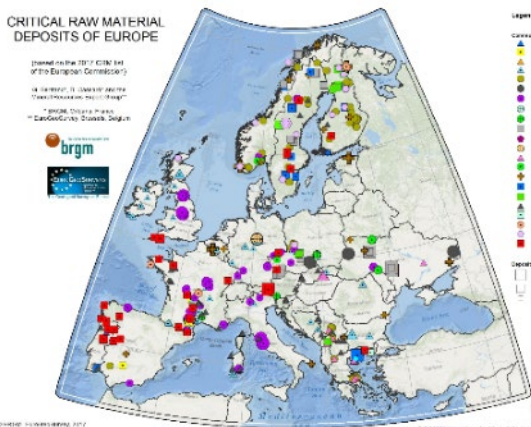
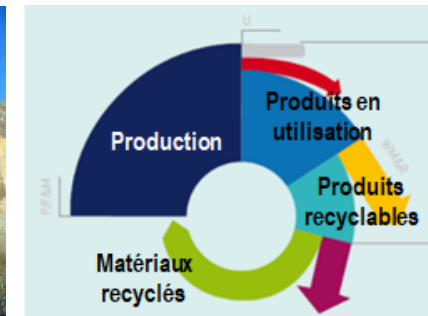
Carrière Echassières (Allier)

Nécessité de sécuriser les chaînes d'approvisionnement 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

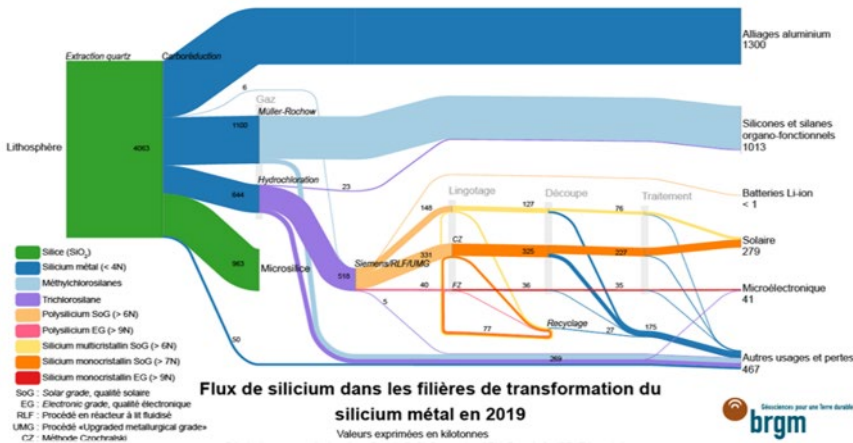


① Création d'un observatoire des ressources minérales auprès du BRGM : OFREMI

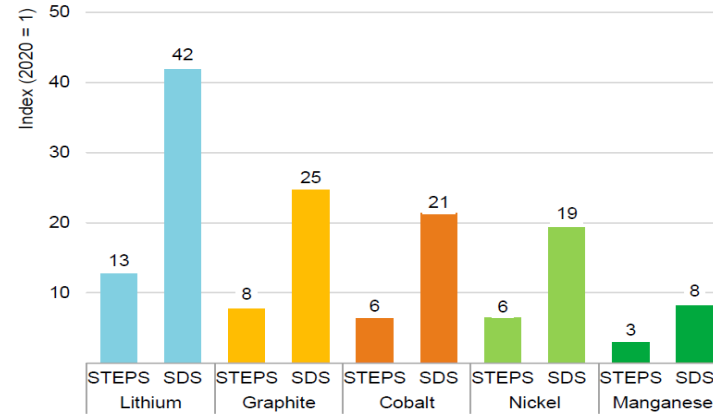


- Pluridisciplinaire (BRGM, CEA, IFPEN, IFRI, ADEME, CNAM)
- Budget 5M€/an, amorçage France 2030
- Financement public (90%) + privé (10%)
- Gouvernance partagée
- Démarré depuis Nov. 2022,

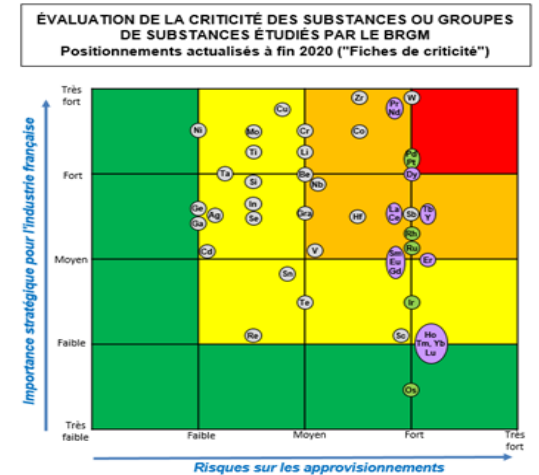
① Décrypter et suivre les chaînes de valeurs minérales à l'échelle mondiale



② Evaluer l'impact des évolutions technologiques → offre/demande



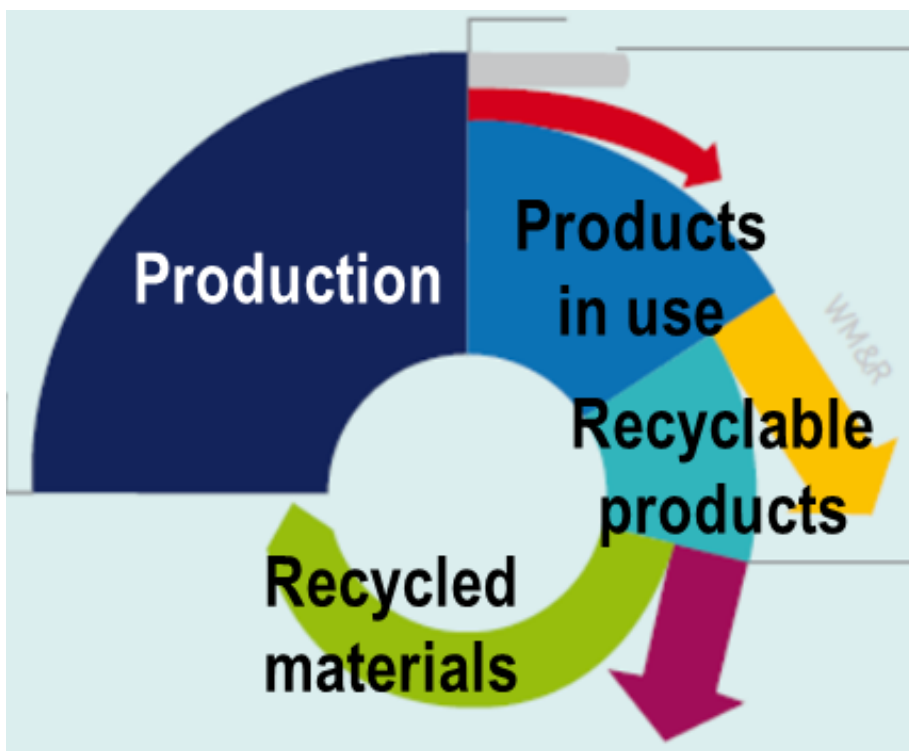
③ Quantification des risques, stress-test, propositions de plan d'action



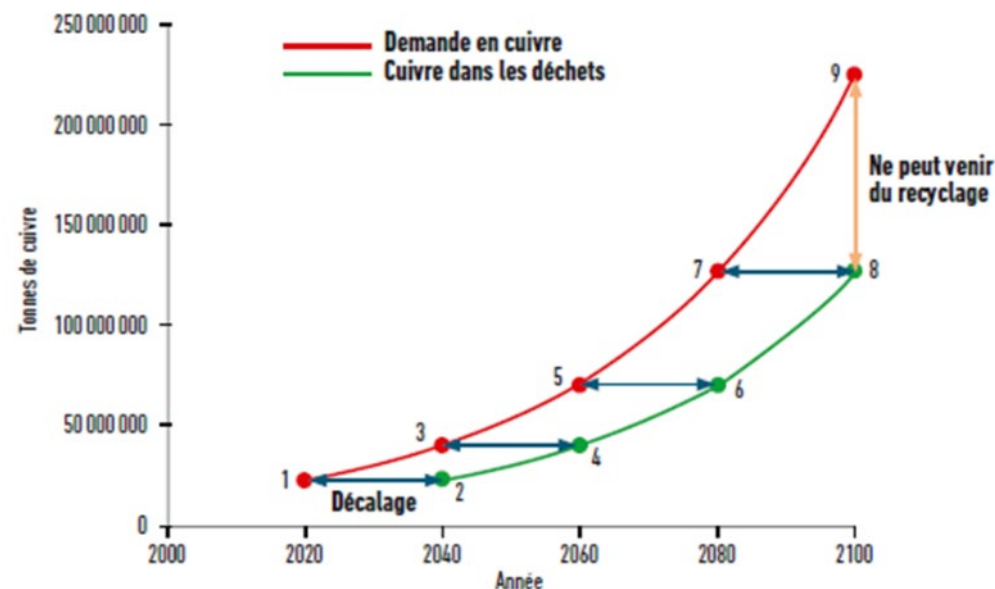
➔ Alimenter les décisions des pouvoirs publics et des filières et acteurs industriels

② 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**



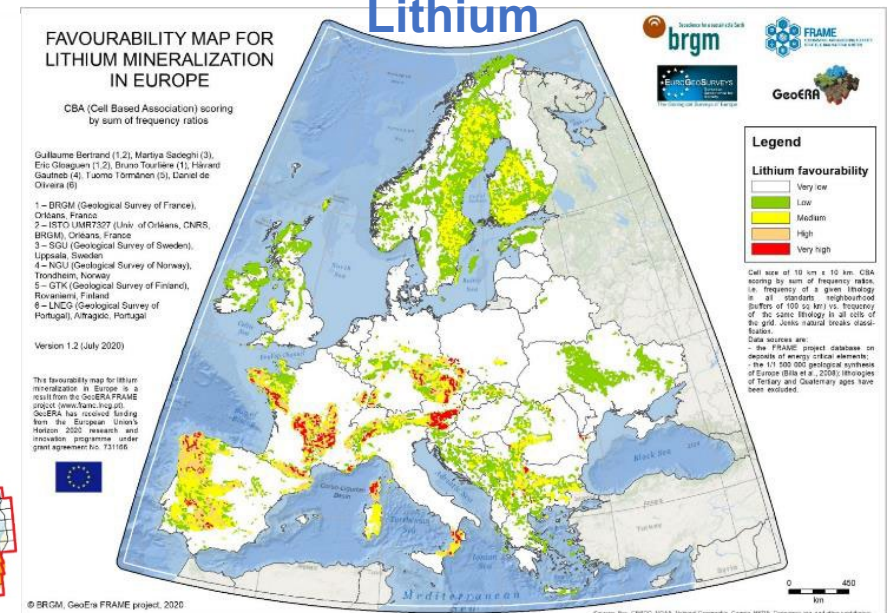
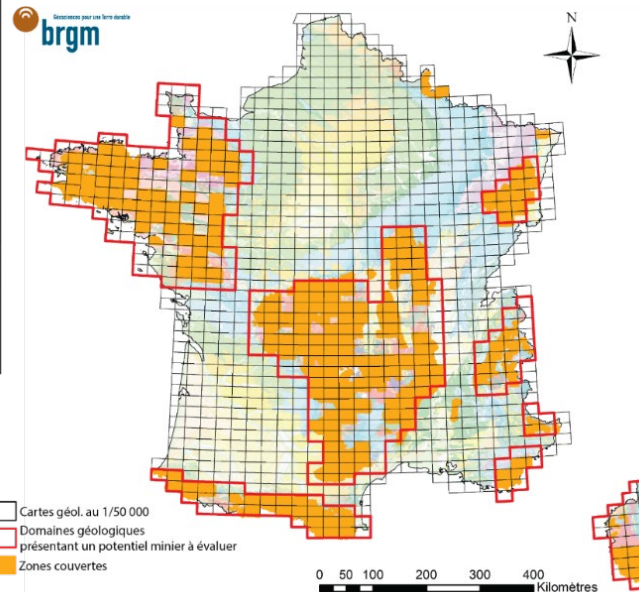
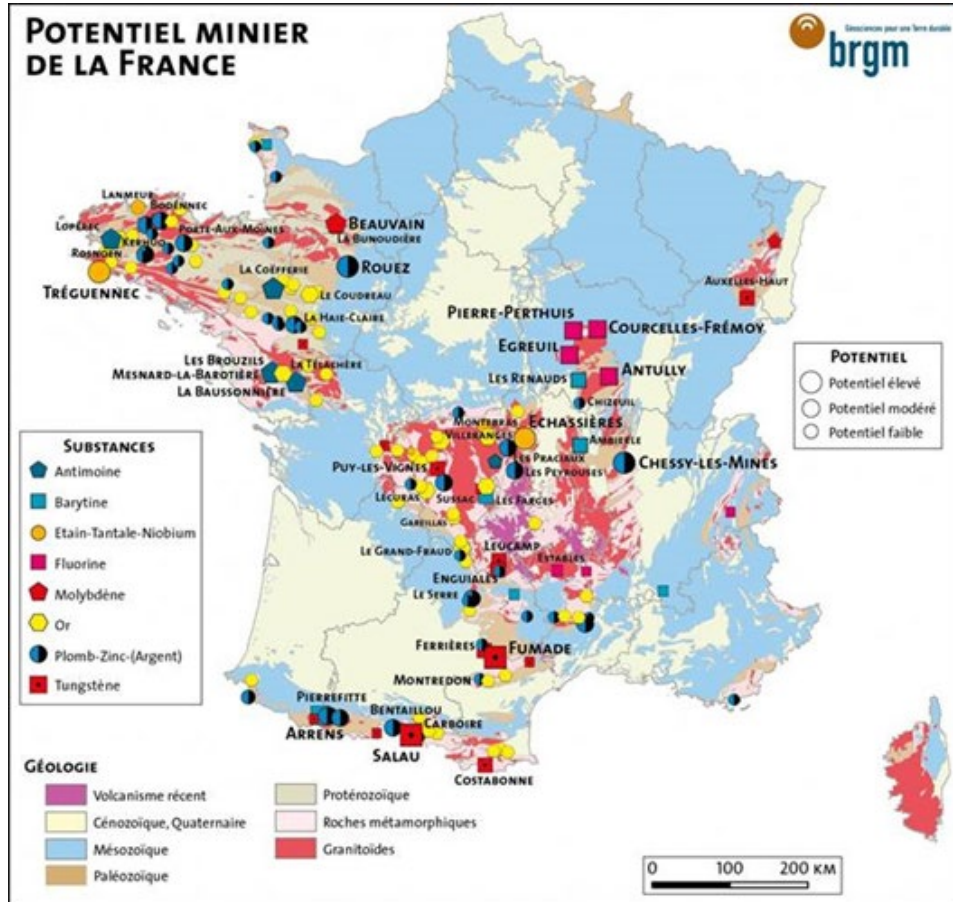
- Complexité des usages fera émerger une **rationalisation des usages** (spécifications décroissantes le long des chaînes de valeur)

③ La France reste un pays avec un potentiel minier important

- 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 ...)

→ Nécessité de reprendre l'exploration du sous-sol en vue de l'ouverture éventuelle de nouvelle mine

Lithium

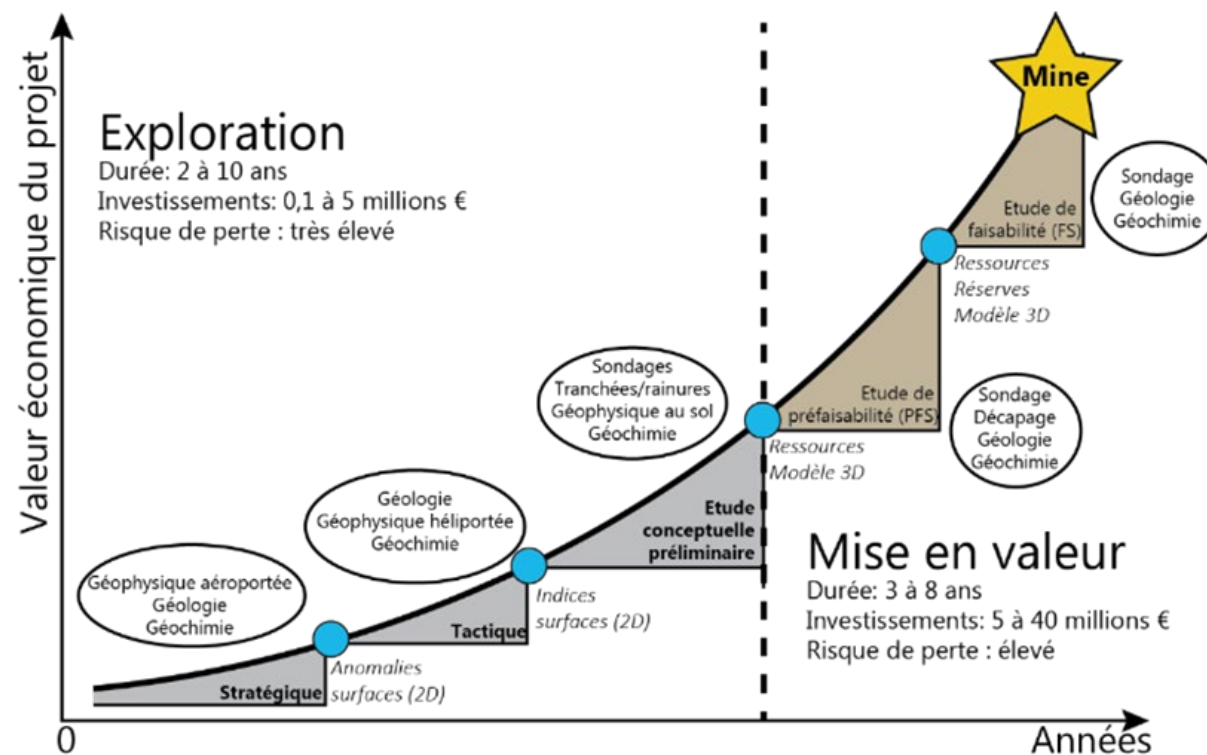


Relance d'un nouvel inventaire des ressources minérales (IRM)



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

- Annonce du **Président de la République** de réaliser un nouvel inventaire des ressources minérales
 - Financement France2030, piloté par le BRGM, focalisation sur les zones les plus prometteuses, déploiement d'innovations technologiques et numériques (IA)
- Correspond à la 1^{ère} étape de **prospection stratégique** → attirer des investisseurs pour réaliser les étapes de prospection tactique, de (pré)-faisabilité → mine



L'Europe dispose également de ressources importantes et diversifiées

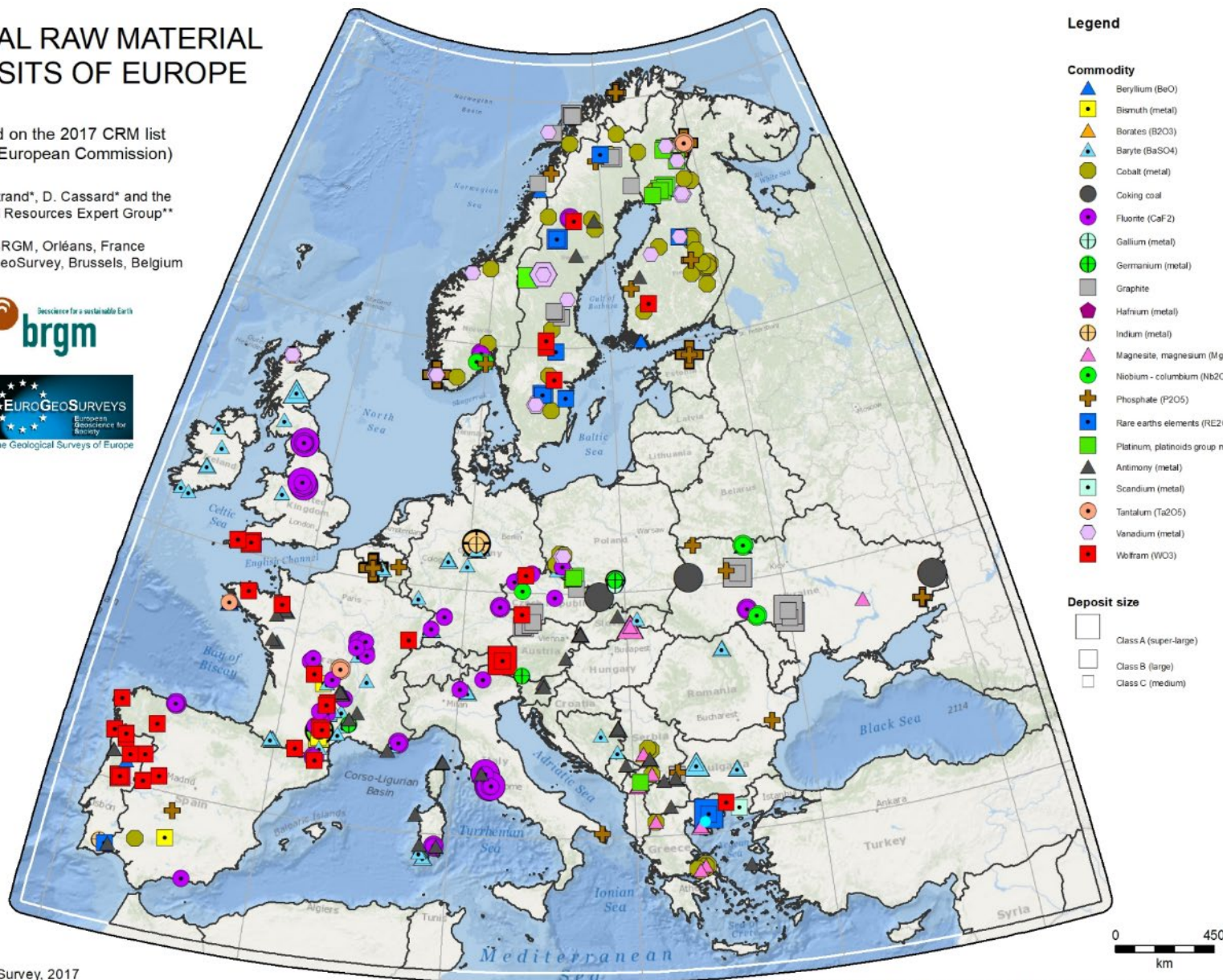
CRITICAL RAW MATERIAL DEPOSITS OF EUROPE

(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 (REEO3)
- Platinum, platinoids group metals
- ▲ Antimony (metal)
- Scandium (metal)
- Tantalum (Ta2O5)
- Vanadium (metal)
- Wolfram (WO3)

Deposit size

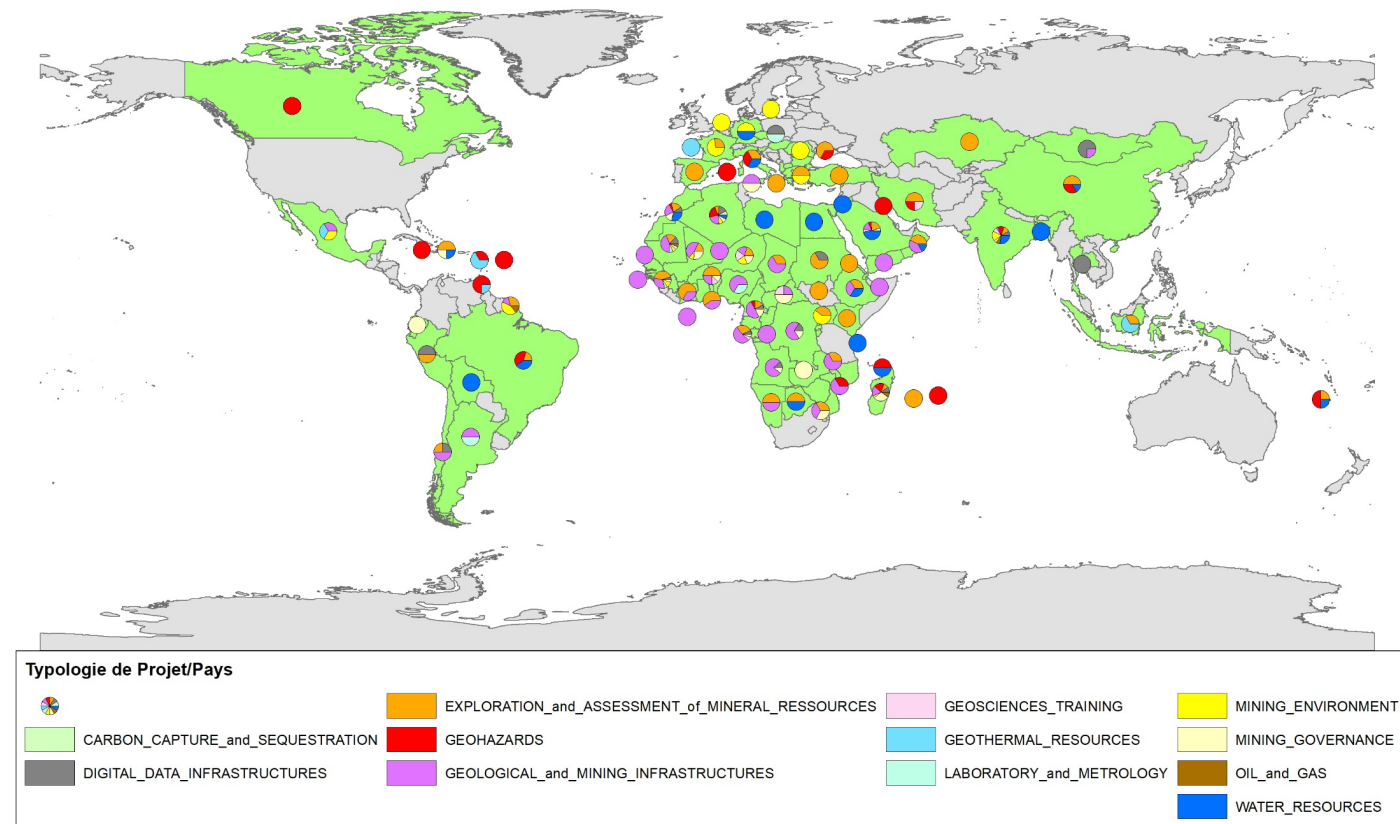
- Class A (super-large)
- Class B (large)
- Class C (medium)

- Europe dispose de ressources 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 de **mines responsables** et d'intégration des chaînes de valeurs (≠ captation des ressources)
→ **diplomatie des ressources minérales**

- BRGM apporte son **expertise technique** et noue des accords de collaborations
 - Formation et développement de systèmes d'information
 - Projets de cartographie et d'exploration



Implications du BRGM à l'international

Une nouvelle législation européenne ambitieuse: EU Critical Raw Materials Act

- **Critical Raw Materials Act** : voté décembre 2023, applicable dès 2024
 - Définit des cibles ambitieuses pour réduire les dépendances et augmenter la souveraineté
 - Inventaires nationaux des CRM, soutien aux projets industriels, réduction temps d'instructions...

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



The image shows a natural landscape with a river. The water in the river is a striking, unnatural orange-brown color, indicating contamination, likely from mining. The river flows through a rocky, hilly area with sparse green trees and dry grass. The background shows a forest of tall, thin trees on a hillside. A semi-transparent grey banner is overlaid across the middle of the image, containing the text.

5 – Mines responsables, mythe ou réalité ?

L'extraction minière, une activité potentiellement à fort impact et sociétal

- L'activité minière cristallise souvent une opposition sociétale croissante :

- ❑ Syndrome NIMBY = Not In My BackYard
- ❑ Débat implicite sur la pertinence des besoins (sobriété, décroissance, recyclage ...)
- ❑ Difficultés à développer une vision systémique cohérente (*ex. besoins en ressources minérales pour développer les EnR...*)



- Nombreuses traces des activités minières dans les paysages français

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

- Niveaux piézométriques
 - rabattus par pompage pendant l'exploitation minière
 - après arrêt des pompages (ennoyage)



- Surface ennoyée après arrêt des pompages
- Effondrement des galeries
- Dégâts de surface
- Galleries de mine

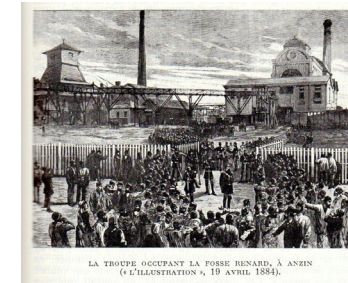
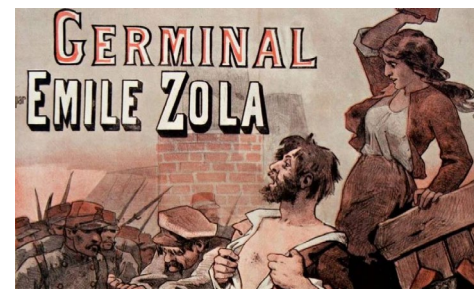
Les mines d'aujourd'hui ne sont plus celles de Germinal ...

- **impacts environnementaux** principaux :

- ❑ Consommation énergétique (10% énergie mondiale)
- ❑ Emissions CO₂ (18% des émissions CO₂ en Europe)
- ❑ Rejets et impact sur la biodiversité
- ❑ Production et devenir des déchets

- Nombreux progrès en cours grâce R&D :

- ❑ **Energie** : ↘ consommations et décarbonation
 - Electrification des véhicules et des procédés
 - Optimisation des technologies de broyage (40% de l'énergie totale consommée)
- ❑ **Eau** : ↘ de la consommation en eau
 - Recyclage de l'eau des procédés
 - Station de traitement
- ❑ **Déchets**: minimisation et valorisation des déchets
 - Valorisation de l'ensemble des ressources
 - Valorisation et dépollution des anciens stériles
 - Réutilisation des terres excavées



- **Impacts sociaux** concernent principalement :

- ❑ Santé et sécurité des travailleurs
- ❑ Droits humains
- ❑ Corruption et financement des conflits armés
- Modification radicale des conditions de travail dans les grandes sociétés minières
 - ❑ Automatisation, robotisation, pilotage à distance
→ travail en profondeur fortement réduit
 - ❑ Implication forte auprès des populations locales
- Enjeu reste surtout celui des mines artisanales



Qu'entend-on par mine responsable ?

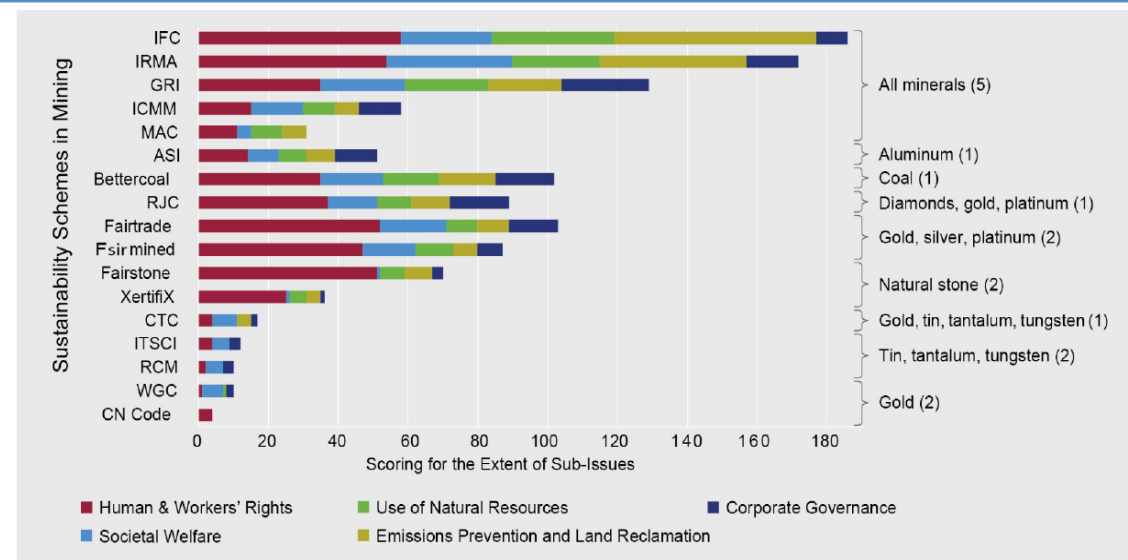
- Principes de la mine responsable sont dérivés du développement durable :

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



- 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

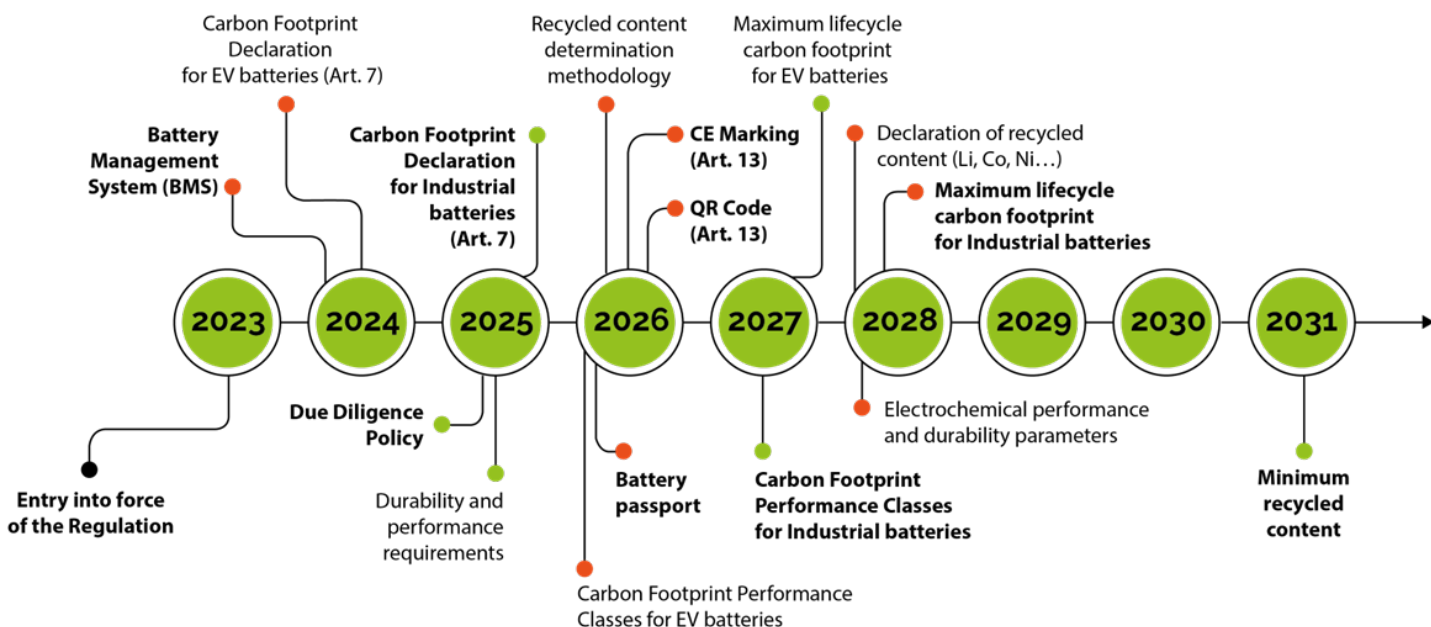


Source: Christmann (2017).

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

➤ Exemple du "passeport" batterie



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

➤ 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

Conclusion

- ❑ 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 extractive aura du mal à répondre à la demande
 - Risque majeur de rupture d'approvisionnement dans les prochaines années
 - Au-delà de la nécessaire sobriété, trajectoires de décarbonation devront être diversifiées (ex.véhicules électriques) et les ressources risquent d'être un goulet d'étranglement de la décarbonation
- ❑ Pour préserver notre souveraineté, nécessité 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 malgré la mine responsable → **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 possible de tensions dans un contexte où la Chine contrôle un grand nombre des chaînes de valeurs



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