

# RESSOURCES MINERALES STRATEGIQUES EN EUROPE ETAT DES LIEUX



Prof. Alain Pr at  
Université Libre de Bruxelles  
16 décembre 2024



**TRANSITION VERTE : pourquoi, comment?**

**BESOINS EN METAUX: réserves, production**

**LES TERRES RARES : une demande exponentielle**

**LES MINES : exploration, déchets**

**LES PERSPECTIVES GEOLOGIQUES**

**CONCLUSION**

# TRANSITION VERTE ... un fameux DILEMME

## TROIS TRANSITIONS ECOLOGIQUE-ENERGETIQUE-NUMERIQUE

La transition écologique, énergétique et numérique programmée par l'Europe (Green Deal) nécessite de gigantesques quantités de **métaux critiques** (= tension entre offre et demande) **que notre continent n'a pas**, faute d'un contexte géologique favorable.

Face à cette quadrature du cercle la Commission a proposé en mars 2023 un ensemble complet de mesures afin de garantir un **approvisionnement diversifié**, **abordable** et **durable** en matières premières critiques. Est-ce réalisable et à quel prix, et avec quel impact environnemental ?

**Pour cela il sera nécessaire de ré-exploiter des mines ou d'ouvrir de nouvelles mines**

**Y a-t-il un consensus?**



# LA CRITICITE REVELE LA COMPLEXITE DES TRANSITIONS

Un métal peut devenir critique pour de nombreuses raisons

- ses réserves sont insuffisantes
- hausse de son utilisation (applications industrielles)
- un prix élevé et en augmentation
- l'absence de substituts identifiés
- une production dans des pays instables politiquement
- impacts environnementaux négatifs

= mélange économie-technologie-environnement-géopolitique

=> la criticité n'est pas statique

=> quantification des risques pour chaque métal

Pour 'sortir' de la criticité?

- ouverture de nouveaux gisements (17 ans en moyenne)
- innovation technologique = ?peu prévisible
- recyclage des métaux : très insuffisant aujourd'hui

'Métaux stratégiques' : surtout défense (militaire)



## UNE TRANSITION VERTE .... Pourquoi?

CLIMAT COP21/2015 => baisser les GES (neutralité carbone en 2050)

Il faut passer d'une énergie carbonée (fossile) à une énergie bas-carbone (EnRi)  
càd d'une énergie continue/dense à une énergie intermittente/± 4 à 6 fois moins dense

COMMENT? : coupler énergies vertes et algorithmes (numérique)

=> Capacité énergétique (**délivrer en temps voulu**) et gérer le stockage

⇒ Technologies bas-carbone: photovoltaïque, éolien, réseau électrique, VE (= transport s.l.)

⇒ nécessite métaux **très diversifiés** et **REE** (*Rare Earth Elements*) **en grandes quantités**

**On passe d'une dépendance au fossile à une dépendance aux métaux,**  
(aussi au béton, à l'acier pour construire les infrastructures, à l'eau [mines] ...)

Ex: VE nécessite 6 X plus de ressource et 3 à 4X plus d'énergie pour sa fabrication par rapport à un VT

⇒ La transition écologique-énergétique-numérique va entraîner une croissance très importante des besoins en ressources minérales

=> Il faudra 42X plus de Ni, > 30 à 50X Li, 7X plus de REE etc. **et d'énergie** => REALISTE?

## UNE TRANSITION VERTE .... Un défi!

On passe d'un 'ancien' monde utilisant quelques éléments chimiques du tableau de Mendeleïev, facilement exploitables, à un 'nouveau monde' nécessitant de nombreux éléments chimiques **en grandes quantités** et **difficilement exploitables**

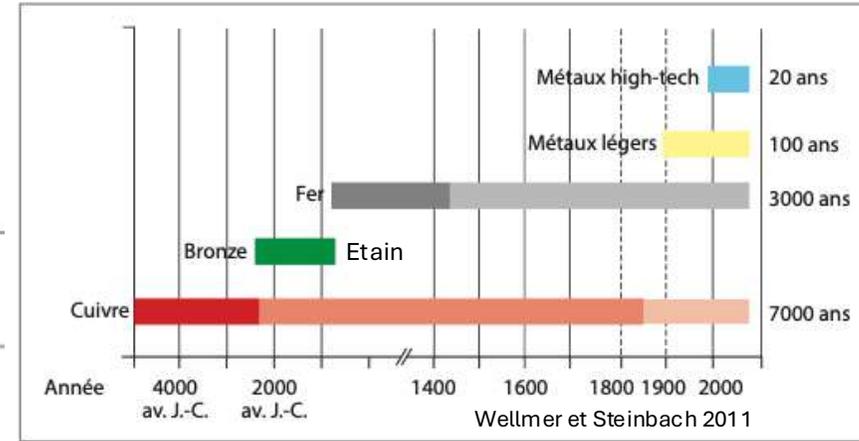
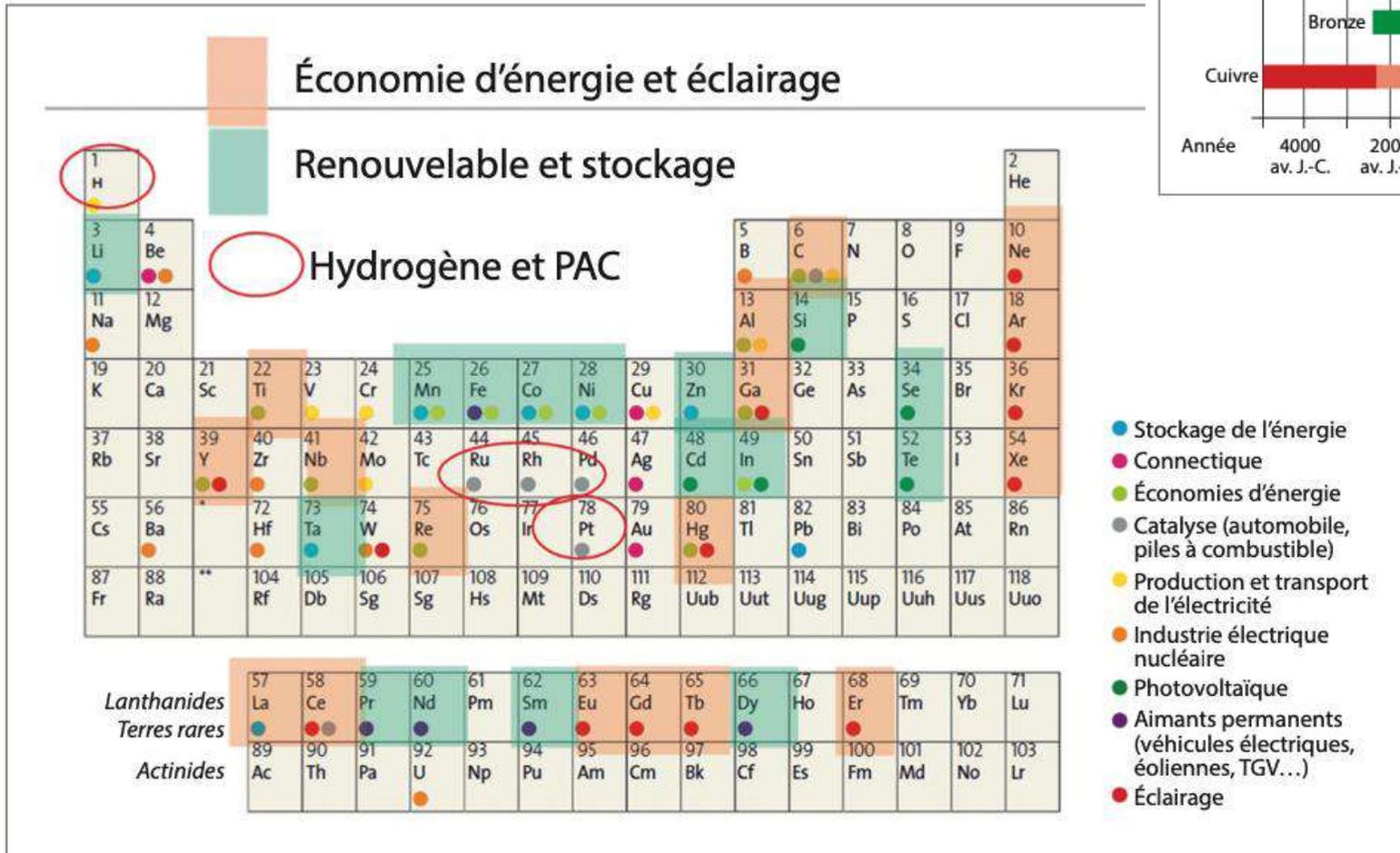
De nombreux éléments sont requis **à la fois** pour la transition énergétique et numérique  
=> complexité des chaînes d'approvisionnement et risque de conflits d'usage  
(ex: aérospatial militaire, industrie de l'armement ... = 'métaux stratégiques', Al, Ti, W..)

Et ... Quid des réserves pour satisfaire la demande?

Réponse: les mines **actuelles** sont insuffisantes

car les teneurs sont plus basses => de + en + énergivores (coûts...)

# UNE TRANSITION VERTE .... Eléments en jeu

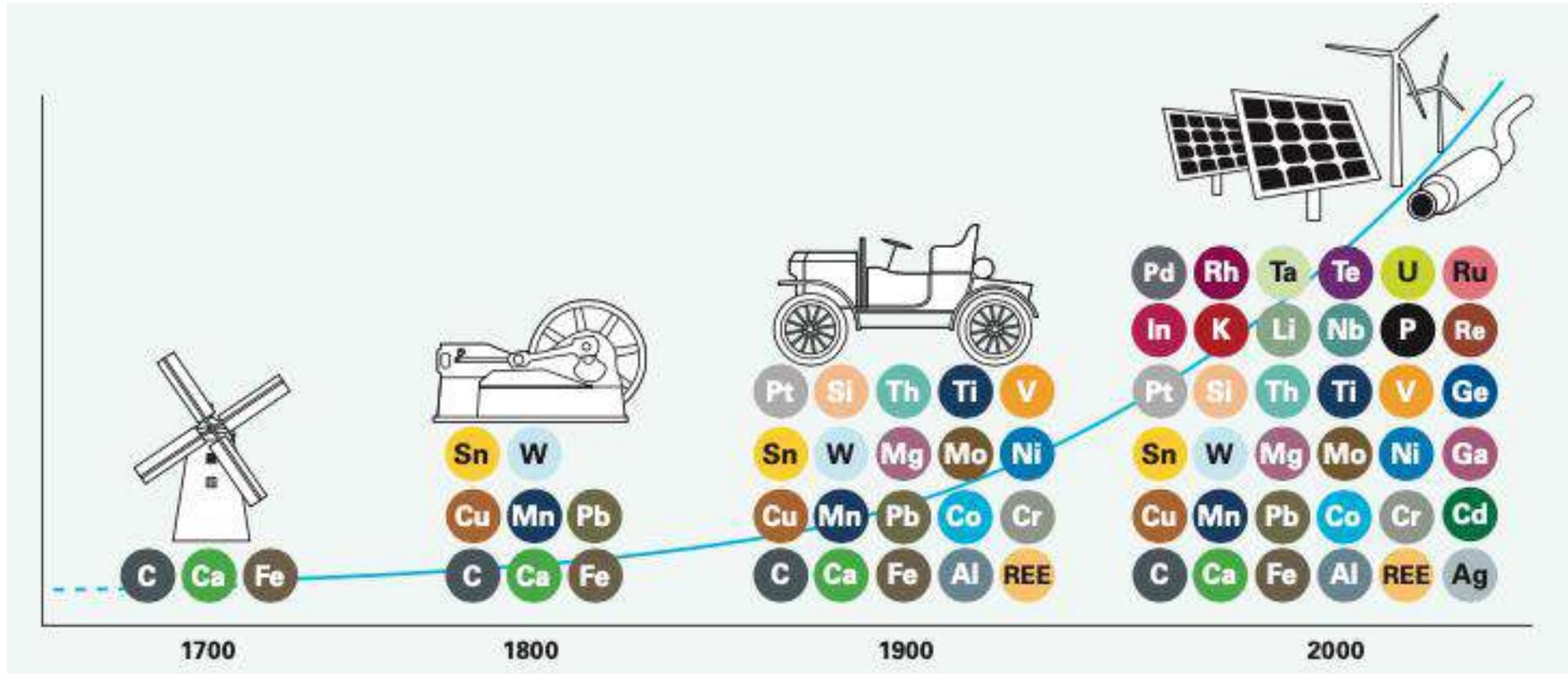


<http://www.mediachimie.org/sites/default/files/FC4-8-materiaux-energie.pdf>

## UNE TRANSITION VERTE .... C'est complexe

De plus en plus d'éléments

De plus en plus de mélanges d'éléments dans les technologies 'vertes'



BP (2014): Materials critical to the energy industry

## UNE TRANSITION VERTE .... matériaux critiques, une thématique connue

Dès 1939 aux USA 'Strategic Materials Act' : constitution de stocks stratégiques pour 42 matériaux en vue d'un conflit en Europe et en Asie = secteur de la défense et des armées

1951 : Truman USA 'Commission présidentielle sur la politique des matériaux 'pour maintenir la civilisation américaine' face à une guerre nucléaire  
⇒ stocks stratégiques Al, Cu, Pb, Zn ...

...

Fin des années 2000 : crise des terres rares (REE) suite à un contentieux avec le Japon et la Chine => [liste de matériaux critiques](#) dans les principaux pays consommateurs  
= économie et armées

2011: première liste élaborée par la Commission européenne (14 matériaux), actualisation tous les trois ans  
(idem USA, Chine, Japon ...)

2023 : EU- Green Deal, [Net-Zéro \(2050\)](#) => l'Europe doit (r)ouvrir des mines

## UNE TRANSITION VERTE .... matériaux critiques, une thématique connue

**Matériaux CRITIQUES : 34 en 2023** (14 en 2011, 20 en 2014, 27 en 2017, 30 en 2020)

2020 Critical Raw Materials		
Antimony	Hafnium	Phosphorus
Baryte	Heavy Rare Earth Elements	Scandium
Beryllium	Light Rare Earth Elements	Silicon metal
Bismuth	Indium	Tantalum
Borate	Magnesium	Tungsten
Cobalt	Natural Graphite	Vanadium
Coking Coal	Natural Rubber	Bauxite
Fluorspar	Niobium	Lithium
Gallium	Platinum Group Metals	Titanium
Germanium	Phosphate rock	Strontium

# UNE TRANSITION VERTE .... matériaux critiques dans le monde

Figure 3. Les minéraux essentiels à la sécurité de la Chine, de l'UE et des États-Unis

La Chine est leader dans le traitement des minerais, contrôlant 100% de l'offre mondiale de graphite naturel raffiné, plus de 90% du manganèse, 70% du cobalt, près de 60% du lithium et 40% du cuivre raffiné.



Europe

**B**  
Bore  
Charbon à coke  
L'UE est un importateur important de charbon à coke utilisé dans la production d'acier.

**Roche Phosphatée**  
**Ga**  
Galium  
**He**  
Hélium  
**Feldspar**

**Sc**  
Scandium  
**Si**  
Silicon  
**Sr**  
Strontium

**P**  
Phosphore

**Sb**  
Antimoine

**AL**  
Aluminium/  
Bauxite

**Cu**  
Cuivre

**Bi**  
Bismuth  
**Ge**  
Germanium

**As**  
Arsenic  
**Ta**  
Tantale

**Nb**  
Niobium  
**Ti**  
Titane

**Co**  
Cobalt

**CaF<sub>2</sub>**  
Fluorspar

**Ni**  
Nickel

**Be**  
Beryllium

**As**  
Arsenic  
**Ta**  
Tantale

**Nb**  
Niobium  
**Ti**  
Titane

**Li**  
Lithium

**C**  
Graphite

**CaF<sub>2</sub>**  
Fluorspar

**Ni**  
Nickel

**Hf**  
Hafnium

**Pt**  
Platinium  
**V**  
Vanadium

**W**  
Tungstène

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Fe**  
Fer

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mo**  
Molybdène

**CaF<sub>2</sub>**  
Fluorspar

**Ni**  
Nickel

**Hf**  
Hafnium

**Pt**  
Platinium  
**V**  
Vanadium

**Mn**  
Manganèse

**U**  
Uranium

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Sn**  
Étain

**Zr**  
Zirconium

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Li**  
Lithium

**C**  
Graphite

**CaF<sub>2</sub>**  
Fluorspar

**Ni**  
Nickel

**Hf**  
Hafnium

**Pt**  
Platinium  
**V**  
Vanadium

**W**  
Tungstène

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**U**  
Uranium

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Sn**  
Étain

**Zr**  
Zirconium

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Li**  
Lithium

**C**  
Graphite

**CaF<sub>2</sub>**  
Fluorspar

**Ni**  
Nickel

**Hf**  
Hafnium

**Pt**  
Platinium  
**V**  
Vanadium

**W**  
Tungstène

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**U**  
Uranium

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Sn**  
Étain

**Zr**  
Zirconium

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Li**  
Lithium

**C**  
Graphite

**CaF<sub>2</sub>**  
Fluorspar

**Ni**  
Nickel

**Hf**  
Hafnium

**Pt**  
Platinium  
**V**  
Vanadium

**W**  
Tungstène

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**U**  
Uranium

**REEs**  
Terres rares

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse

**Mg**  
Magnésium

**Mn**  
Manganèse



Chine

La Chine est leader dans le traitement des minerais.



États-Unis

Le zinc est essentiel à la protection de l'acier par la galvanisation. Les États-Unis importent 76% de leur zinc raffiné.

# UNE TRANSITION VERTE .... L'Europe dépendante

# 2023

n = 34 en 2023

Nous sommes dépendants de la Chine à > 50%



An analysis of global supply confirms that China is the largest supplier of several critical raw materials. Other countries are also important global suppliers of specific materials. For instance, Russia and South Africa are the largest global suppliers for platinum group metals, Australia for lithium, the USA for beryllium and helium, and Brazil for niobium.

25 éléments

Russie-Australie-USA-Brésil-AfrS

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/57318397-fdd4-11ed-a05c-01aa75ed71a1>

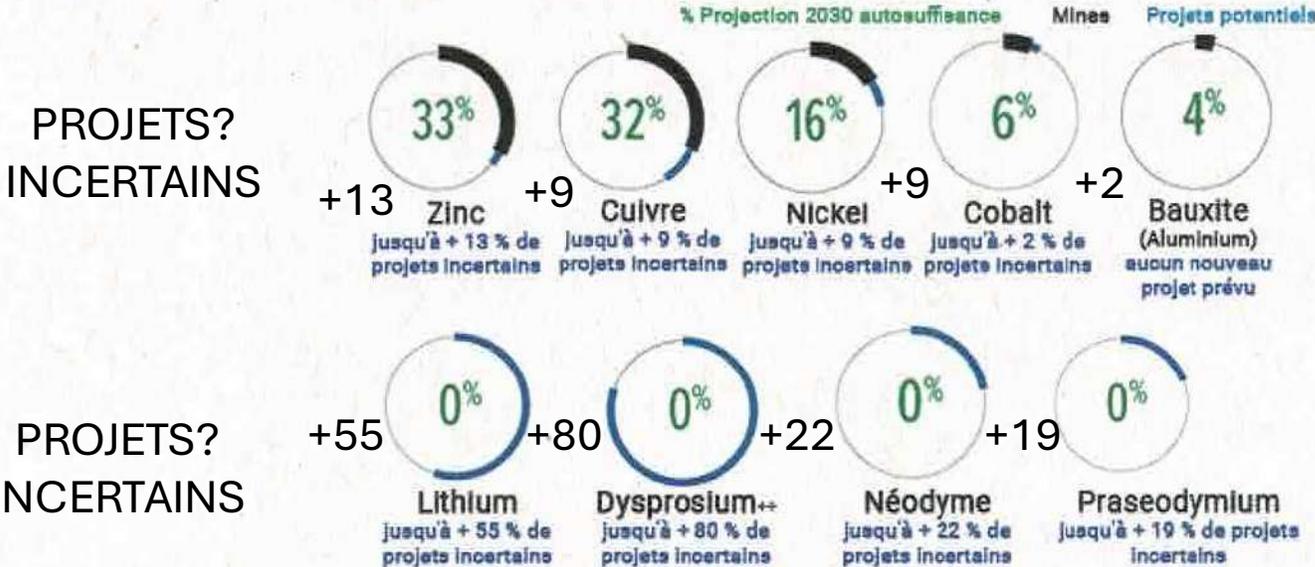
*italic* = extraction stage  
regular = processing stage



# UNE TRANSITION VERTE .... L'Europe dépendante, projections pour 2030

GRESEA ÉCHOS N. 118 MÉTAUX CRITIQUES : QUAND L'EUROPE MINE SA TRANSITION

Figure 1. Autosuffisance de l'UE pour certains métaux nécessaires aux technologies domestiques (en 2030), avec l'impact théorique de nouveaux projets inclus.



Source : Metals for Clean Energy. Pathways to solving Europe's raw materials challenge, KU Leuven report for Eurometaux, 2022. En ligne.

# BESOINS EN METAUX CRITIQUES pour équipements bas-carbone



1 à 4 kg REE  
80 kg Li  
60 kg Cu  
50 kg graphite

...

**Gigantesques!**



220g/70-200kg minerais

Au : 100x plus concentré

par rapport au sous-sol exploité

3g REE dont Nd => aimant (petit) et

In => oxydes sur surface écran = tactile

Auj: >60 métaux différents (env. 40% du poids)

...

Batterie NMC: Cathode = Ni, Mn, Co, (Li), traces - Electrolyte = Li - Anode = graphite, traces  
Tous ces éléments sont hors EU => importés

=>? Sécurisation = 22 gigafactories planifiées EU, dépendance de 90% de l'étranger (surtout Chine)

Exemple: Douvrin (ACC) 2000 à 2500 (<) batteries fin 2024 => ?250 000 d'ici quelques années

Exemple: NORTHVOLT (2021 SE): faillite (?2024) suppression de 1600 emplois sur 6500, 5,84 G\$ de dette...

Nb Chine innove? = batteries LFP: Li, Fe, phosphate... (moins performant, 20 à 30% moins cher)

En octobre 2024 la vente des véhicules électriques EU n'a progressé que de 2,4% sur un an contre 54% en Chine... => baisse des investissements dans les gigafactories?

## BESOINS EN METAUX CRITIQUES pour équipements bas-carbone



Idem **aimants permanents** = éoliennes off-shore et moteurs VE = **REE**

⇒ chaîne d'approvisionnement dominée par la Chine

⇒ à 70% pour les mines

⇒ à 90% transformation (alliages)

⇒ et séparation à >90% <LREE et 100% HREE

Chine = stratégie à long terme profitant de nos désindustrialisations et mesures environnementales (depuis au moins 30 ans)

## BESOINS EN METAUX CRITIQUES pour équipements bas-carbone

Quelques exemples

- **VE vs thermique** = 2xCu + >Ni, Mn, graphite, Li, Co =>

Exemple : parc EV Grande Bretagne

⇒ = 2x la production mondiale Co

⇒ = 75% production mondiale Li

⇒ = 50% production mondiale Cu (IAE, 2018)

Mondial 2017-2030: Nix69, Alx50, Cux50, Cx40, Ux46, Cox31, Mnx28 ...



EV moyen 200kg matériaux critiques <> 50 kg VT



- **Eolienne 3MW** (120m haut) = 3tAl, 2tREE, 4,7tCu, 335tFe et **1200t béton** + Externalités : CO<sub>2</sub>

À puissance égale, un parc offshore = 10x plus de métaux qu'une centrale électrique à gaz



- **Transition Energie-Ecologie-Numérique vers le renouvelable bas carbone** (Accords de Paris)

⇒ il faut extraire 5 à 10x plus de métaux que la production actuelle

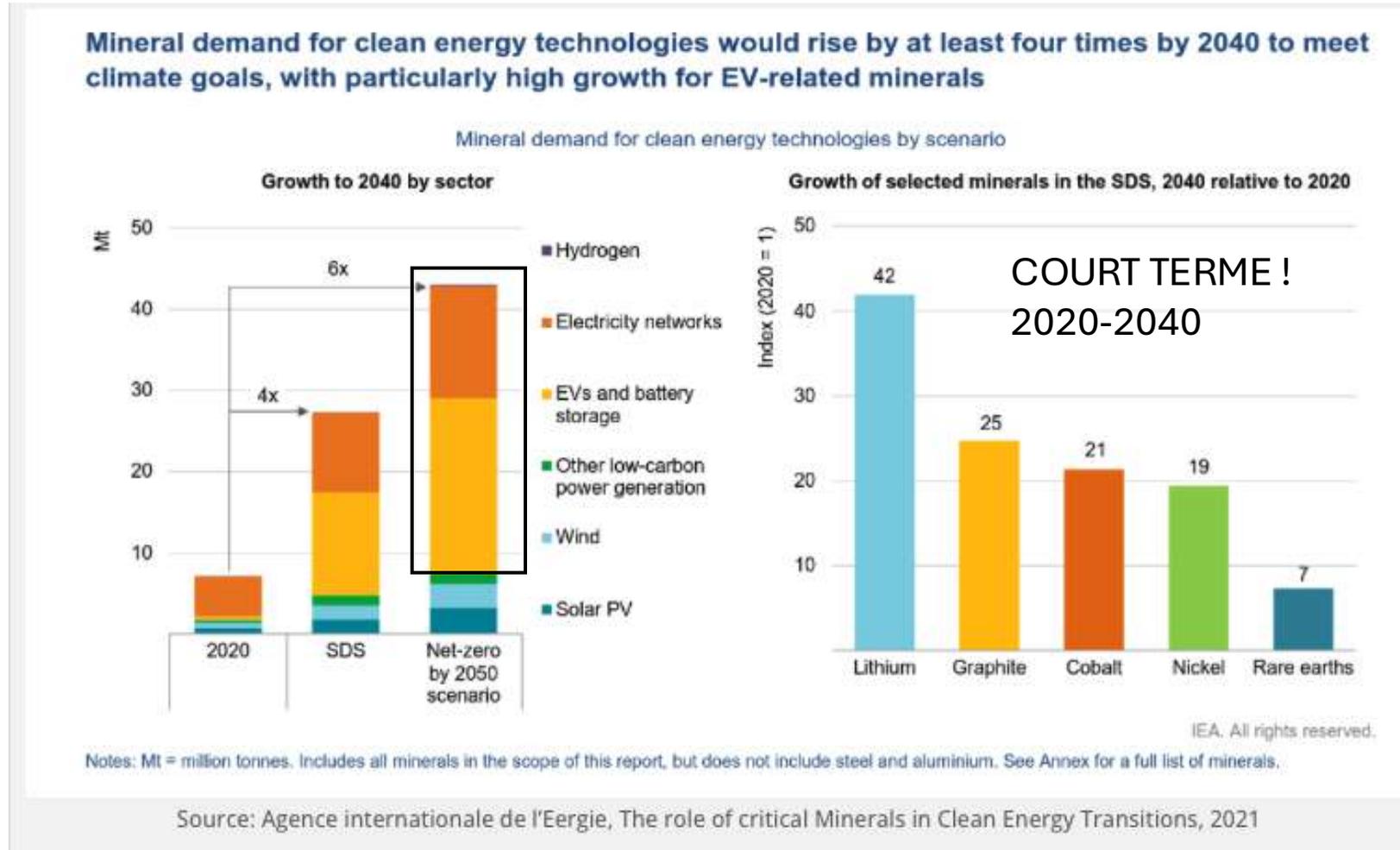
⇒ **Il faudra extraire en 30 ans (échéance 2050) plus de métaux que dans l'histoire humaine**

**depuis ses débuts il y 2500 ans pour une Europe 100% VE** (in Garcia Olivares, 2012)

=> compétition pour la ressource (USA, Chine, Inde, etc.)

# BESOINS EN METAUX CRITIQUES pour équipements bas-carbone

FINALITE?



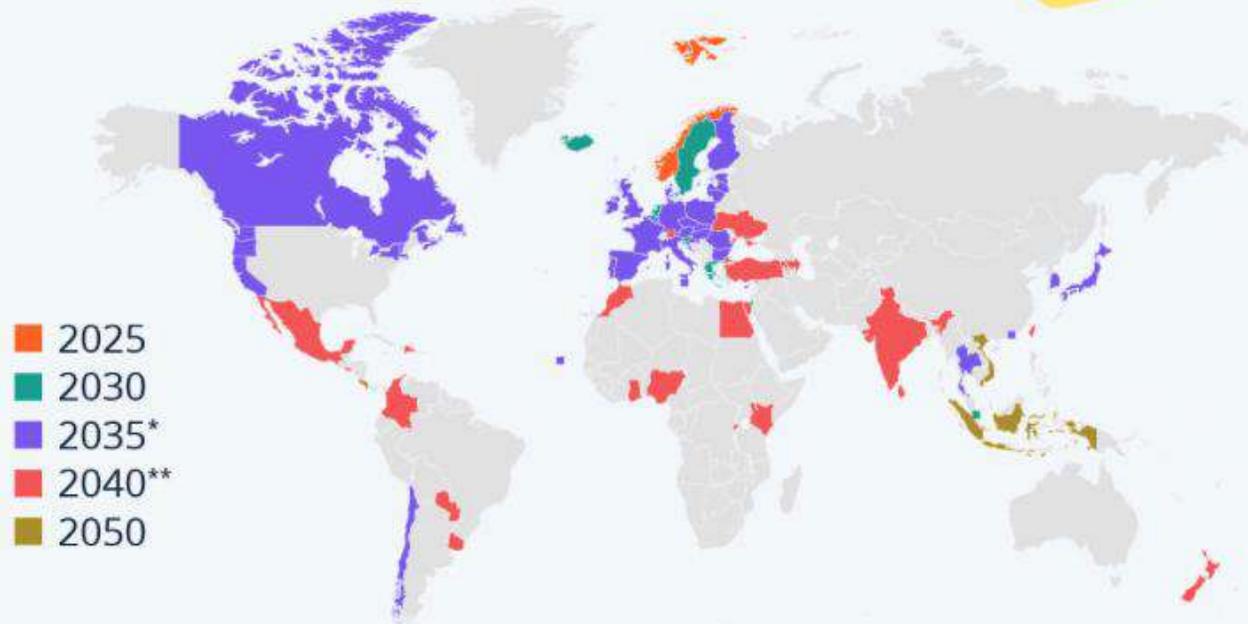
**LA MOBILITE ELECTRIQUE VA ENGLOUTIR LA MAJORITE DES METAUX!!!**

# Quels pays prévoient d'interdire les voitures à essence ?

Objectifs officiels de fin des ventes de véhicules essence et diesel neufs, par pays



et diesel  
et hybride



La Slovénie, le Japon, le Canada, Singapour et certains États américains continueront d'autoriser la vente de véhicules hybrides. Sri Lanka : interdiction de circuler.

\* inclut l'interdiction à l'échelle de l'UE.

\*\* inclut les signataires des engagements 2.A et 2.B de la COP26.

Sources : A2Z Coalition, Coltura, ICCT, recherches Statista



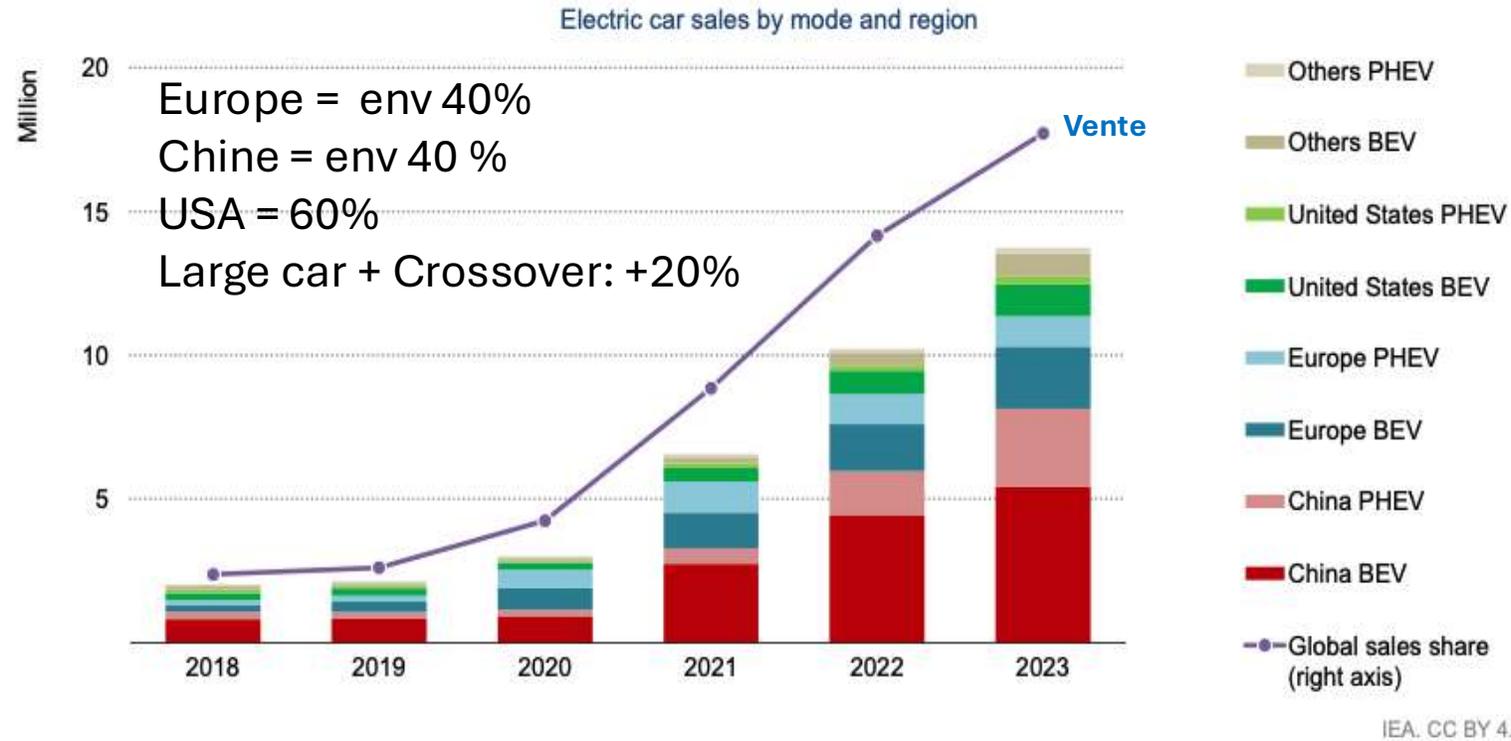
statista

07.2024

60 pays se sont engagés  
Objectif : neutralité C en 2050  
Norvège 2025  
Les 'hybrides' devront disparaître  
Compétition pour les ressources

# BESOINS EN METAUX CRITIQUES pour équipements bas-carbone

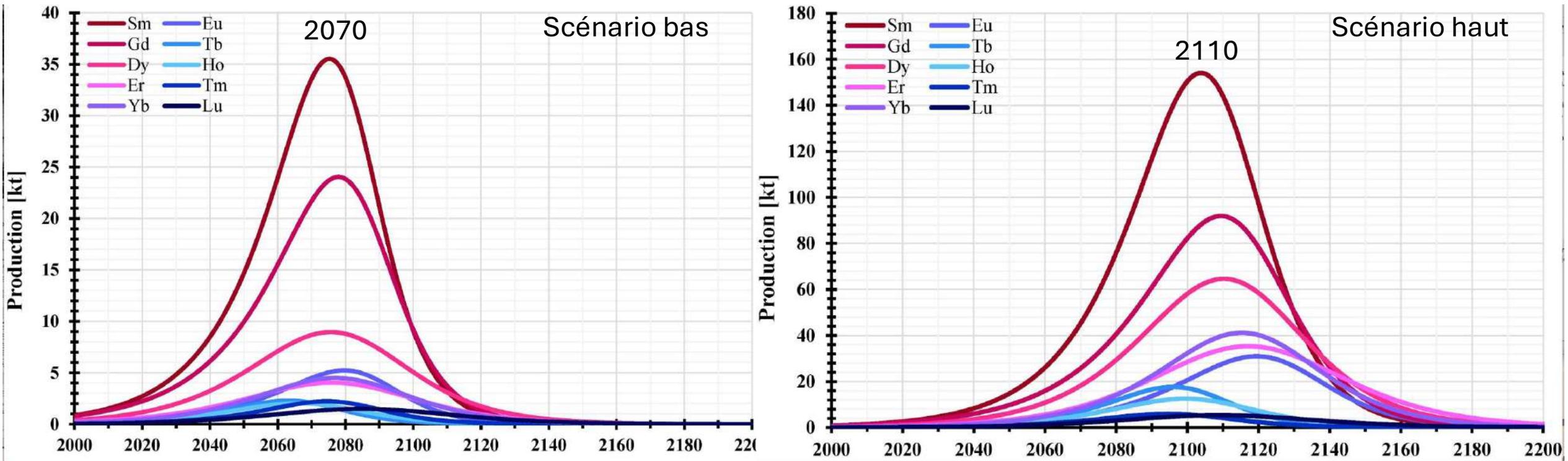
**2023 : LA MAJORITE DES VEHICULES FABRIQUES = SUV**  
 The growth story continued in 2023 for EVs



Note: BEV = Battery electric vehicle; PHEV = Plug-in hybrid electric vehicle.  
 Source: IEA (2024), [Global EV Outlook 2024](#).

**LA REDUCTION DES CONSOMMATIONS OU LE RALENTISSEMENT DE NOS ECONOMIES NE SONT PAS ENVISAGEES PAR L'IAE, NI PAR L'EU...**

## BESOINS EN METAUX CRITIQUES pour équipements bas-carbone : Projections production REE



Au taux de production actuel le pic est atteint dans un peu moins de 50 ans

# BESOINS EN METAUX CRITIQUES pour équipements bas-carbone : Projections production REE et métaux

Li = X 60 2050

% metal required in 2050 for clean energy technologies vs. 2020 overall use (Global SDS ambitious climate scenario).\*\* †

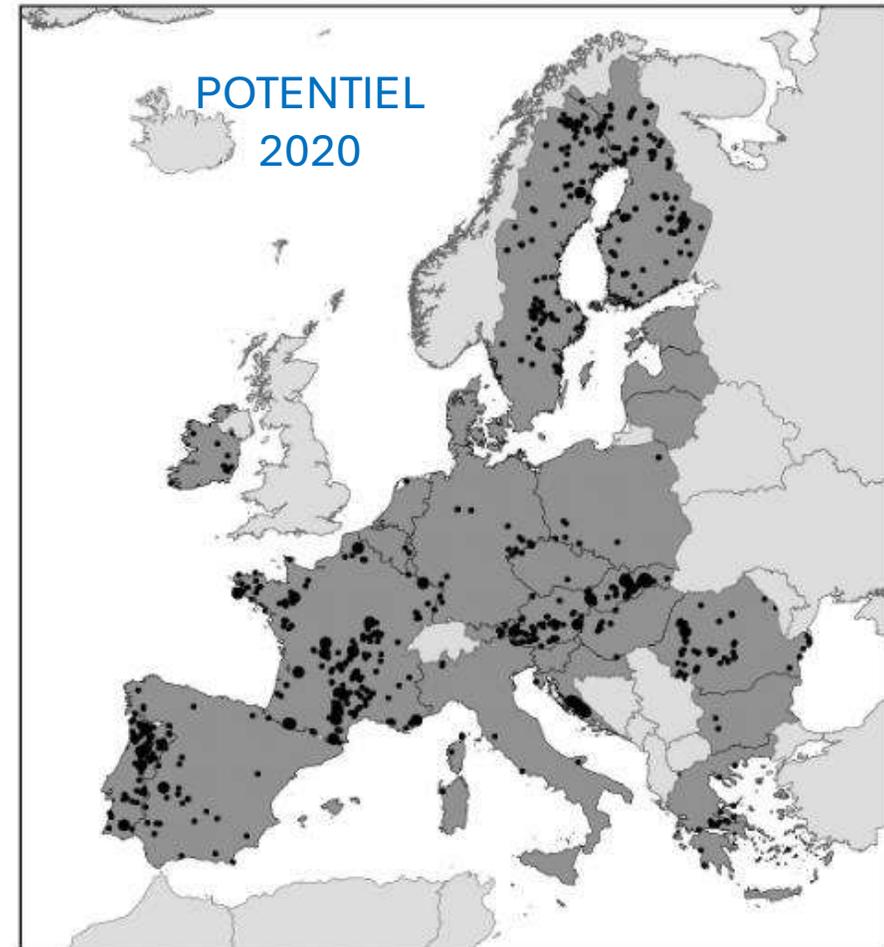
Lithium	2,109%	Silicon	62%
Dysprosium	433%	Terbium	62%
Cobalt	403%	Copper	51%
Tellurium	277%	Aluminium	43%
Scandium	204%	Tin	28%
Nickel	168%	Germanium	24%
Praseodymium	110%	Molybdenum	22%
Gallium	77%	Lead	22%
Neodymium	66%	Indium	17%
Platinum	64%	Zinc	14%
Iridium	63%	Silver	10%

L'Europe n'assure actuellement que 0 à 30% (en moy = 5%) de sa demande  
Parmi les 200 plus grandes compagnies minières, seules 17 ont des projets miniers en Europe

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>  
<https://eurometaux.eu/media/20ad5yza/2022-policy-maker-summary-report-final.pdf>  
<https://www.investigate-europe.eu/posts/mining-minerals-not-european-business>

2023 : UE dépend de > 90% pour 51 des métaux pour la transition bas-carbone

CRITICAL RAW MATERIALS RESOURCES POTENTIAL IN THE EU



Data provided by EuroGeoSurveys combined with other EU data sources

## BESOINS EN METAUX CRITIQUES, l'Europe démunie

A part pour le Sr (Espagne) l'EUROPE compte pour quantité négligeable

Raw Material	Global production, 2021 [t]	EU27, UK, NO mining production, 2021 [t]	EU27, UK, NO global share [%]	countries potential hosting primary deposits [country code]
Antimony	9724	n.d.	n.d.	AT, CZ, FR, IT, RO, PT, SI, SP
Barite	6,795,998	127,921	1.88	AT, BG, CZ, DE, GR, IE, IT, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SP, UK, UA
Bauxite	380,131,540	157,490	0.04	AT, FR, GR, IT, HU, HR, RO, SI
Beryllium	6805	n.d.	n.d.	FI, FR, NO, PT, SE, UA
Borate	6,897,867	n.d.	n.d.	DE, IT
Cobalt*	131,766	1084	0.82	DE, FI, IT, PL, SE, SP, UA
Fluorspar	8,417,382	215,155	2.56	BE, BG, DE, FR, GR, IT, NO, PL, RO, SE, SP
Natural Graphite	1,159,618	6574	0.57	AT, CZ, DE, FI, IT, NO, SE, SP, UA
Phosphate†	74,316,730	363,720	0.49	EE, FI, FR, PL, SE, SP, UA
Strontium	583,586	281,535	48.24	CY, IT, SP, UK
Tantalum*	1319	n.d.	n.d.	FI, NO, SE, SP, PT, UA

Note: \* given in tonnage of yield; † as P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; n.d. no data available or not significant; source of data [128].

## LES MINES, passé ou futur? - la question du mix énergétique

Pas de transition 'VERTE' sans métaux critiques => ENERGIE



(cc) Rina Meyer / Pexel

2022, Ursula von der Leyen, présidente Commission européenne, dans son discours sur l'état de l'Union, **'le lithium et les REE seront bientôt plus importants encore que le pétrole et le gaz.'**

*Chine : premier producteur mondial de REE, également de >30 ressources minérales avec souvent > 50%*

## LES MINES, passé ou futur? - Le mix énergétique



Energie dans le monde

E fossiles : 93% -1973 => **83%** 2023

Electricité: charbon 36% (+1,4% pr 2022)

Mix électrique UE 2030?

fossile <**20%** électricité EnR 70% à 80%  
(technologies bas-carbone/EnR)

Extraction matériaux sol et sous-sol : 27,1Gt en 1970 => >  
100Gt/2022 (dont métaux: 11,3Gt en 2000 à 17,3 Gt en 2020  
=> 5x à 10X plus en 2050 pour la production minière)

**extraction minière et métallurgie  
= 12% consommation énergie mondiale  
et augmente de 9%/an (surtout 'fossile')**

### COÛT TRANSITION ENERGETIQUE

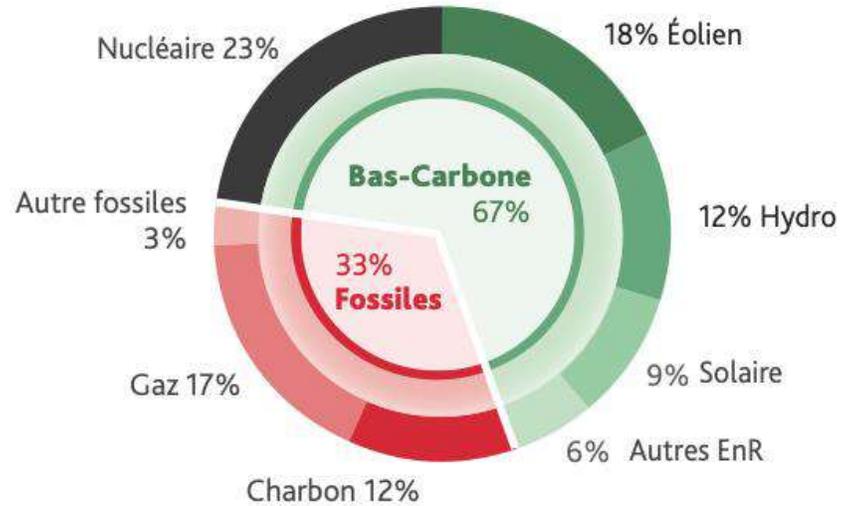
AIE 2021-2030 : Europe **1300 milliards \$/an**, ensuite **1540 milliards \$/an** jusqu'en 2050

Objectif: 2030 diminution de 55%GES par rapport 1990, Net-Zéro 2050

Dépenses militaires mondiales 2024 = **\$ 2440 milliards**

C.Lagarde (BCE), Financial Times 7 nov 2024 : le monde doit investir **11000(!) milliards \$/an** = 10% PIB mondial 25

# LE MIX ENERGETIQUE



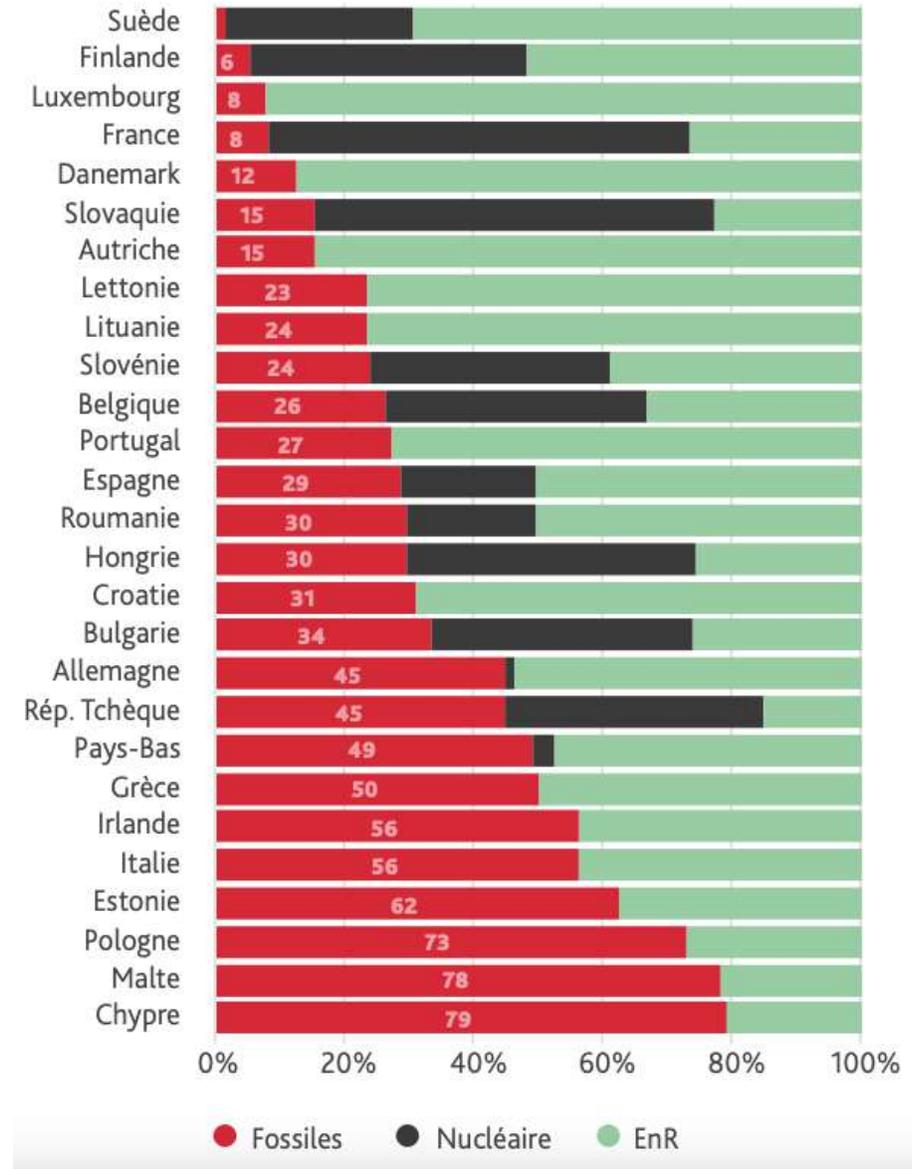
2023 : 1/3 fossile 2/3 bas carbone

Forte réduction en 2023 E fossile  
 (-26% aussi liée à l'explosion des prix 2022...)  
 => diminution de 9% GES en EU (2023)  
 => et +2,5% (2024)

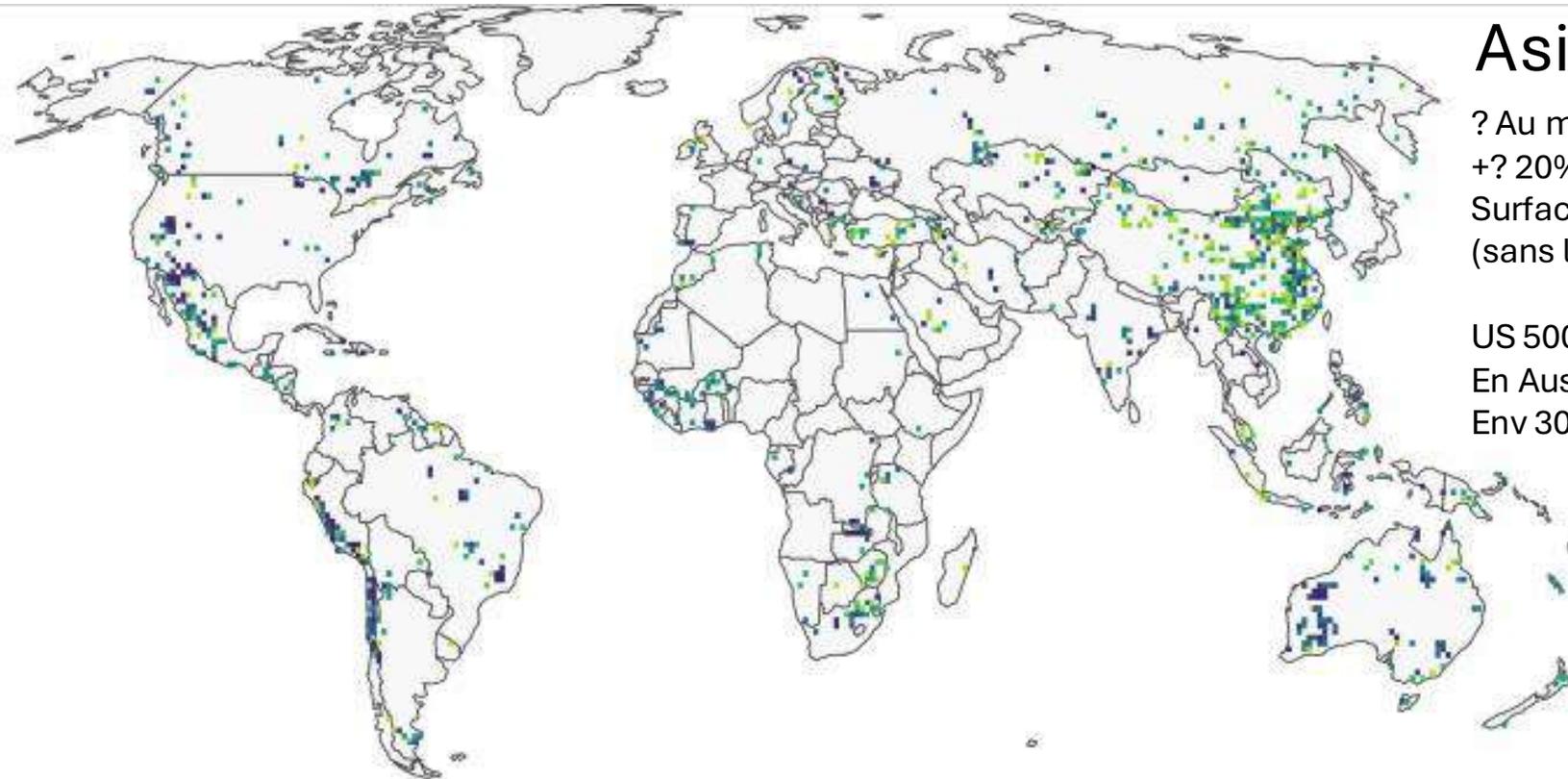
## Objectif 2030

Mix décarboné EnR à 80%  
 Augmenter Eoliennes et PV solaire

Mix électrique par grandes filières  
 Etats membres UE, 2023



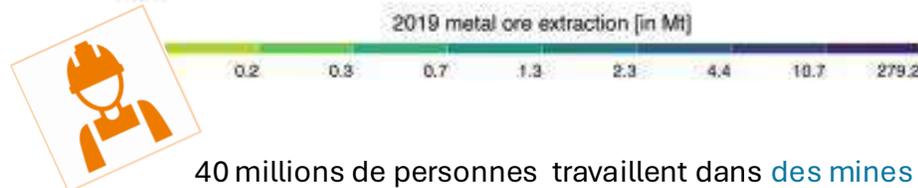
# LES MINES, situation actuelle de l'activité minière 2022 (satellites)



## Asie et Pacifique

? Au moins **34 820 mines répertoriées**  
+? 20% (mines souterraines)  
Surface = 101583 km<sup>2</sup>  
(sans les carrières)

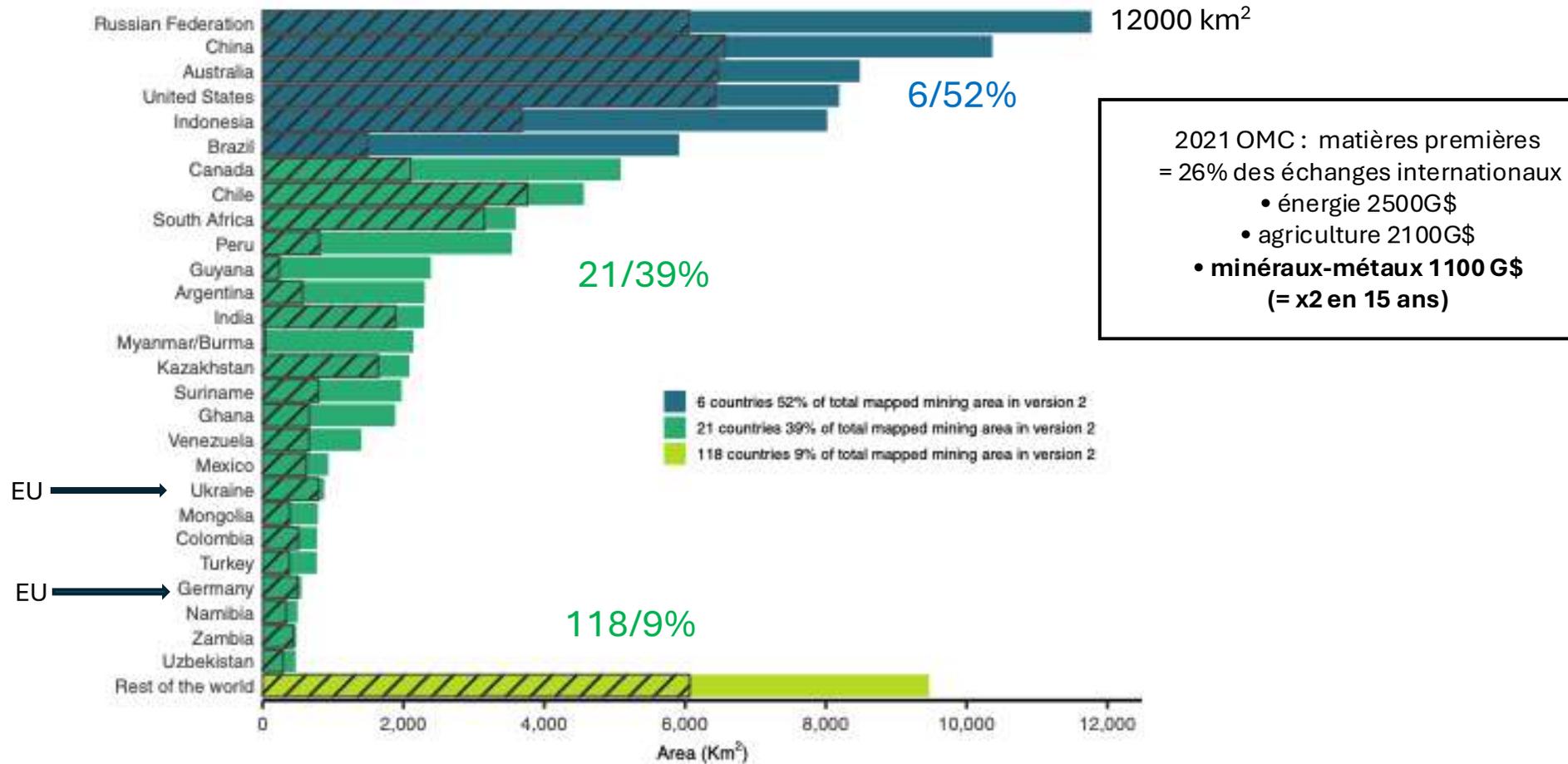
US 500 000 mines abandonnées  
En Australie 60000 ...  
Env 30 000 parcs à résidus miniers (monde)



40 millions de personnes travaillent dans **des mines artisanales**  
4,7 millions de personnes **dans des mines industrielles** et produisent 88 % de métaux (= digitalisation et automatisation)  
=> emplois 'verts'...?

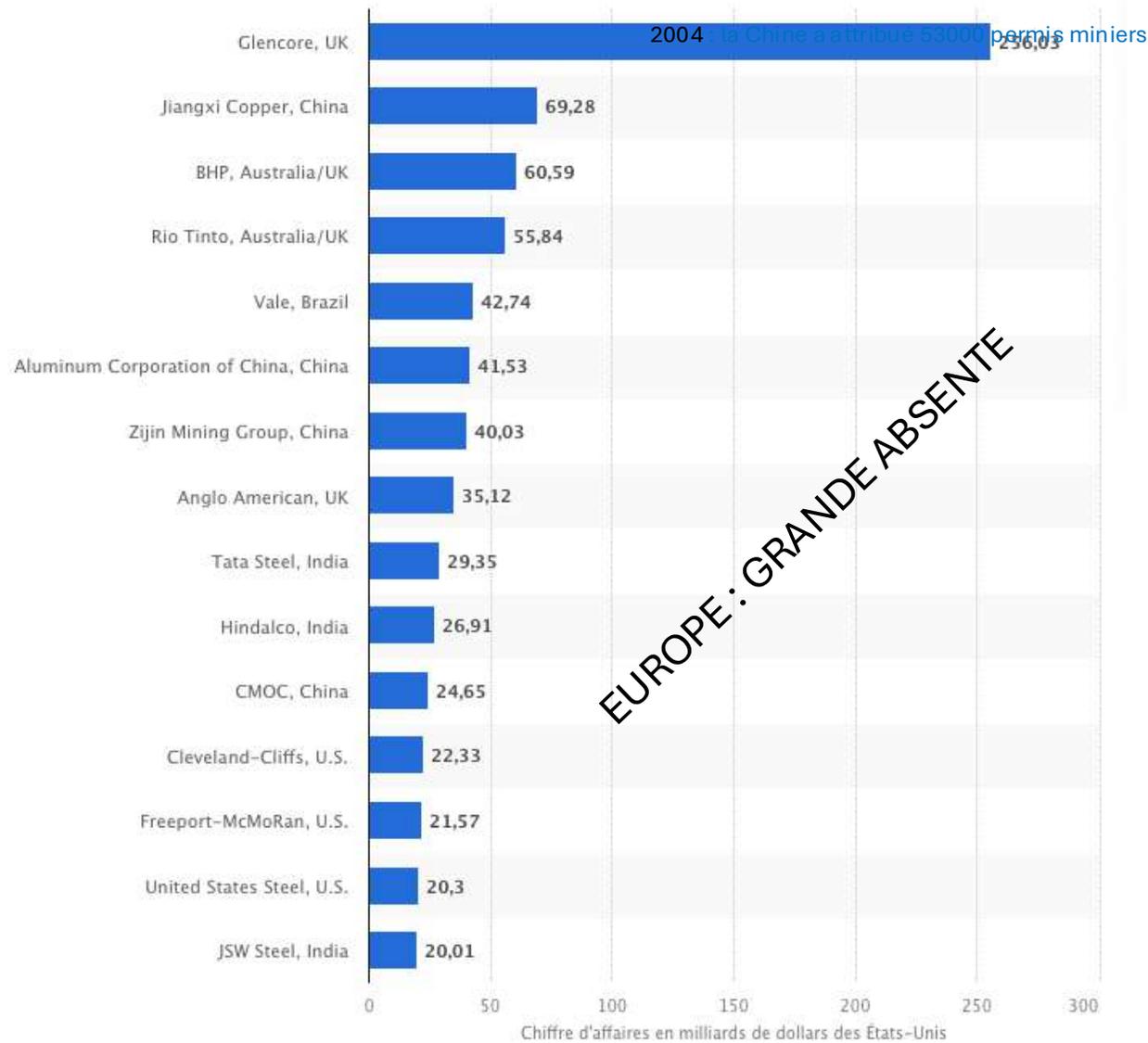
# LES MINES, sont concentrées dans quelques régions seulement

Les nouveaux gisements **des pays du Sud** sont plus riches que les mines EU-USA



**Fig. 3** Mining land use per country in square kilometres. The dashed bars indicate the areas mapped in Version 1 of the dataset.

# LES MINES, chiffres d'affaires en milliards d'US\$ 2023

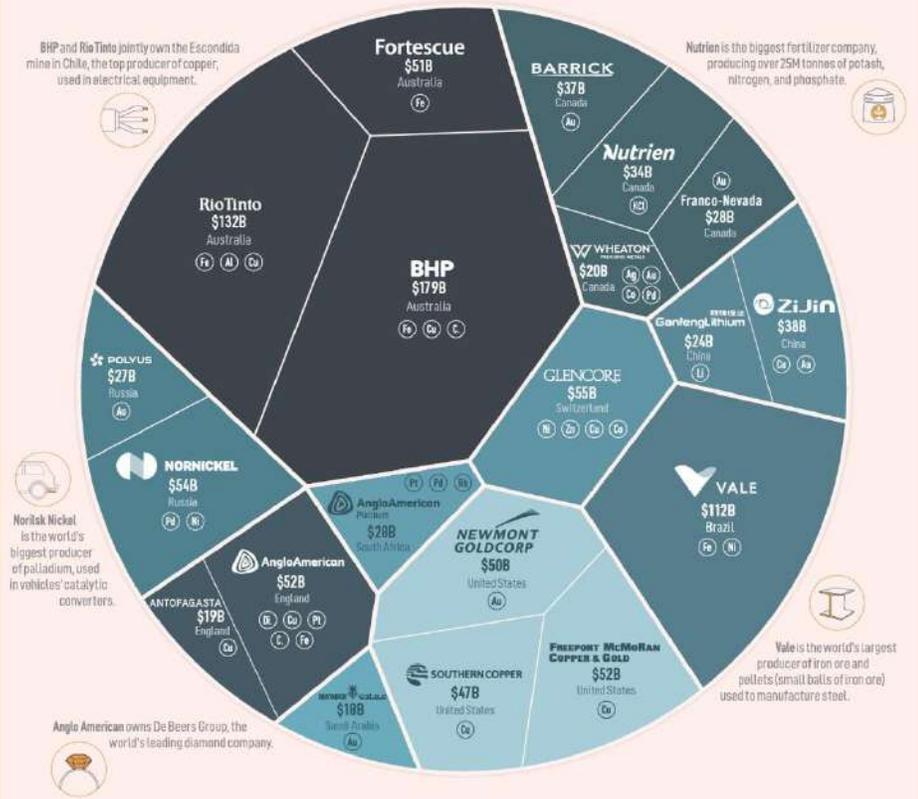


## THE TOP 20 MINING COMPANIES IN THE WORLD IN 2021

Mining is one of the few industries that emerged from the COVID-19 pandemic in excellent financial and operational shape and the forecast is even brighter.

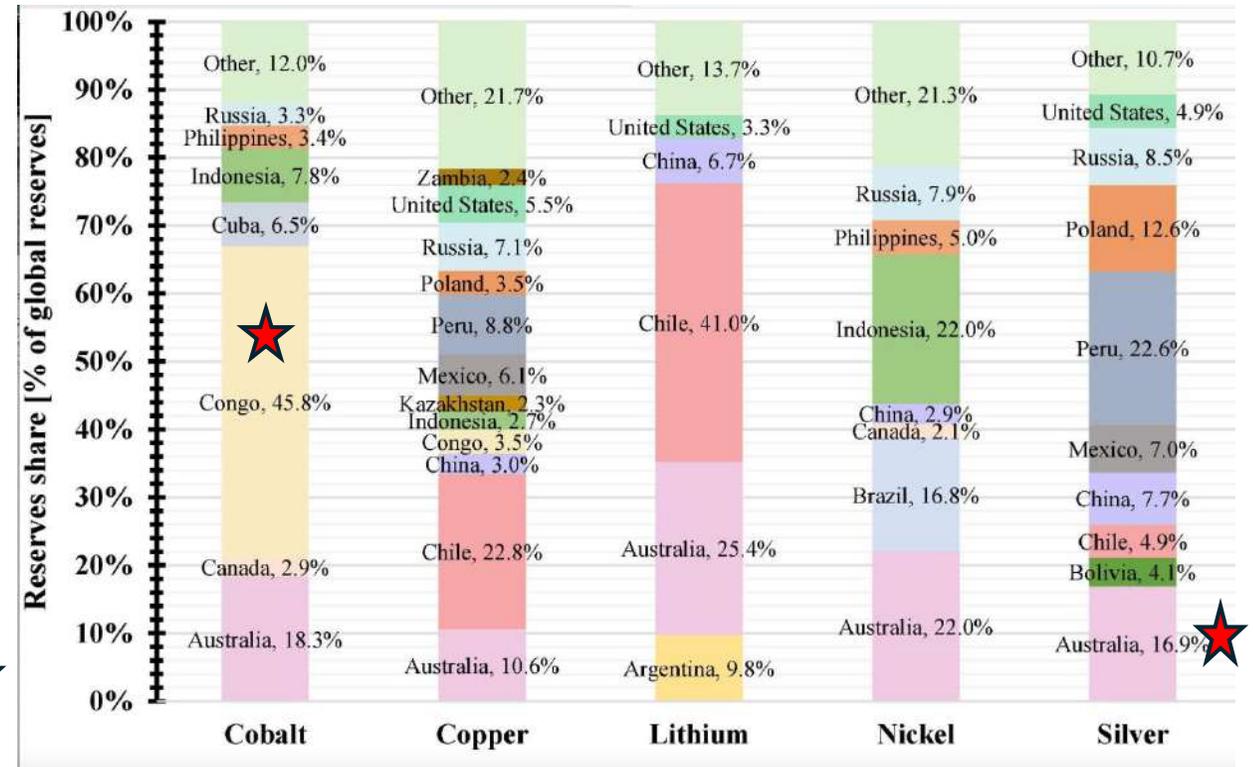
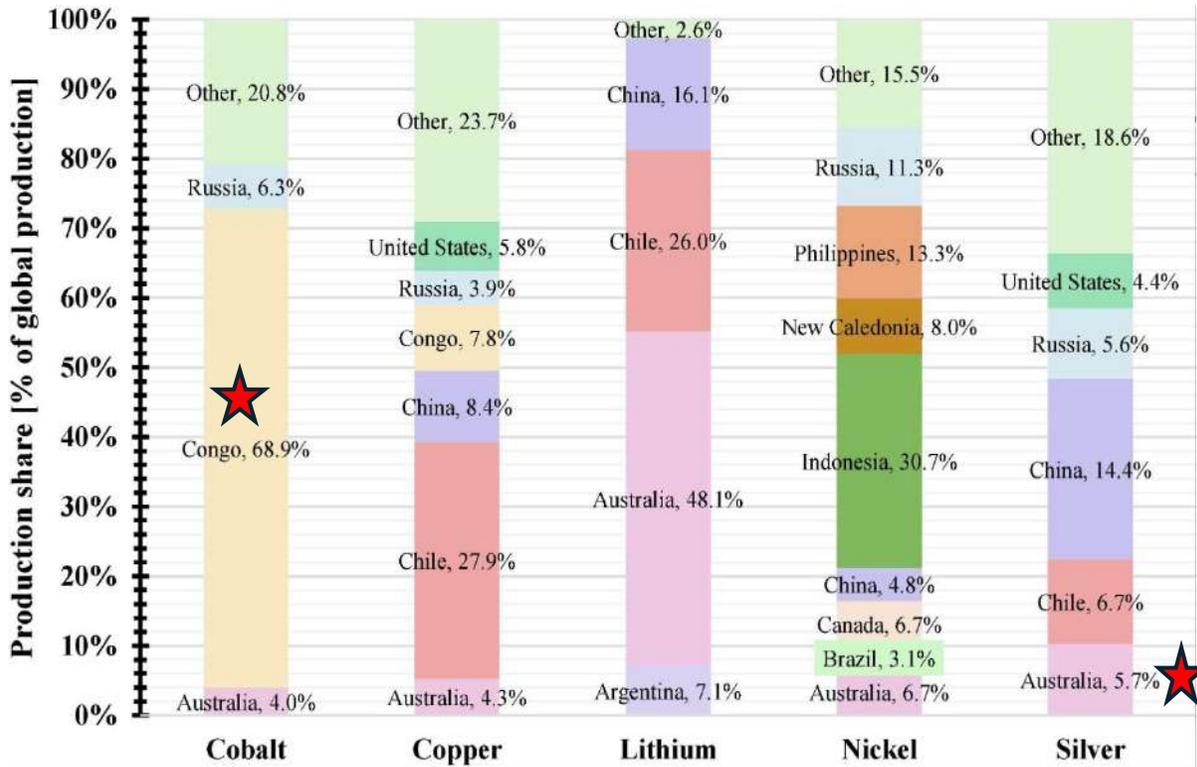
In today's graphic, we show the world's biggest mining companies by market capitalization and their main mining activity.

### Main Mining Activity



Source: Yahoo Finance, Google Finance, company reports. Ranking excludes unlisted companies. Data as of June 22, 2021. All figures are in USD.

## LES MINES, PRODUCTION ET RESERVES EN 2020



- Les matières ne sont pas produites en fonction de leurs réserves connues dans un lieu spécifique
- Les réserves ne sont pas réparties de manière égale dans le monde  
La coordination mondiale des flux de matières est compliquée, car les limitations liées à la localisation ne sont pas seulement le fait de la répartition géologique, **mais aussi de la politique, et vice versa.**
- Par exemple, **la criticité** du cobalt repose sur la stabilité politique du pays qui possède les plus grandes réserves et dont la production est actuellement la plus importante.  
Au contraire, la criticité de l'argent est liée à la limitation des gisements (surexploitation et la diminution de la ressource).

## FINALEMENT quelle est la situation?

- UE dépend de 75 à 100% pour la plupart des métaux (en 2023)
- 68% du Co provient de la RDC; 78% du Li provient du Chili => CRITICITE
- > 90% des REE sont en Chine, **elle raffine la quasi-totalité des REE consommées par les entreprises du monde** => CRITICITE
- ...
- La crise covid et la guerre russe ont montré notre vulnérabilité dans l'approvisionnement des matières premières critiques (masques, médicaments etc... => hypothéquant la transition énergétique et numérique) et contexte géopolitique très incertain
- **1992 : les 3/4 des métaux sont consommés par les pays développés**
- **2012 : les pays du Sud consomment les 3/4 des métaux**

**FINALEMENT** quelle est la situation?

## **L' EUROPE ?????**

UE = 6% population mondiale et consomme 25 à 30% des ressources minières produites dans le monde  
... et n'en produit que 5%

### **Que faire?**

### **Comment faire?**

# FINALEMENT quelle est la situation?

An official website of the European Union How do you know? ▾



FR français

Recherche

Recherche

Accueil > Coin presse > Législation européenne sur les matières premières critiques

Langues disponibles: français ▾

COMMUNIQUÉ DE PRESSE | 16 mars 2023 | Bruxelles

## Matières premières critiques: garantir des chaînes d'approvisionnement sûres et durables pour l'avenir écologique et numérique de l'UE

Contenu de la page

Haut de page

Citation(s)

Thèmes connexes

Version PDF imprimable

Contacts pour les médias

La Commission propose un ensemble complet de mesures afin de garantir l'accès de l'UE à un approvisionnement sûr, diversifié, abordable et durable en matières premières critiques. Les matières premières critiques sont indispensables pour un large éventail de secteurs stratégiques, notamment l'industrie «zéro net», l'industrie numérique, l'aérospatial et la défense.

Alors que la demande de matières premières critiques devrait augmenter de manière drastique, l'Europe dépend fortement des importations, souvent en provenance de fournisseurs d'un pays tiers en situation de quasi-monopole. L'UE doit atténuer les risques pour les chaînes d'approvisionnement liées à ces dépendances stratégiques afin de renforcer sa résilience économique. Les pénuries constatées au lendemain de la pandémie de COVID-19 et la crise énergétique qui a suivi l'invasion de l'Ukraine par la Russie témoignent de ces dépendances et peuvent mettre en péril les efforts que l'UE déploie pour atteindre ses objectifs climatiques et numériques.

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip\\_23\\_1661](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_23_1661)

## FINALEMENT quelle est la situation?

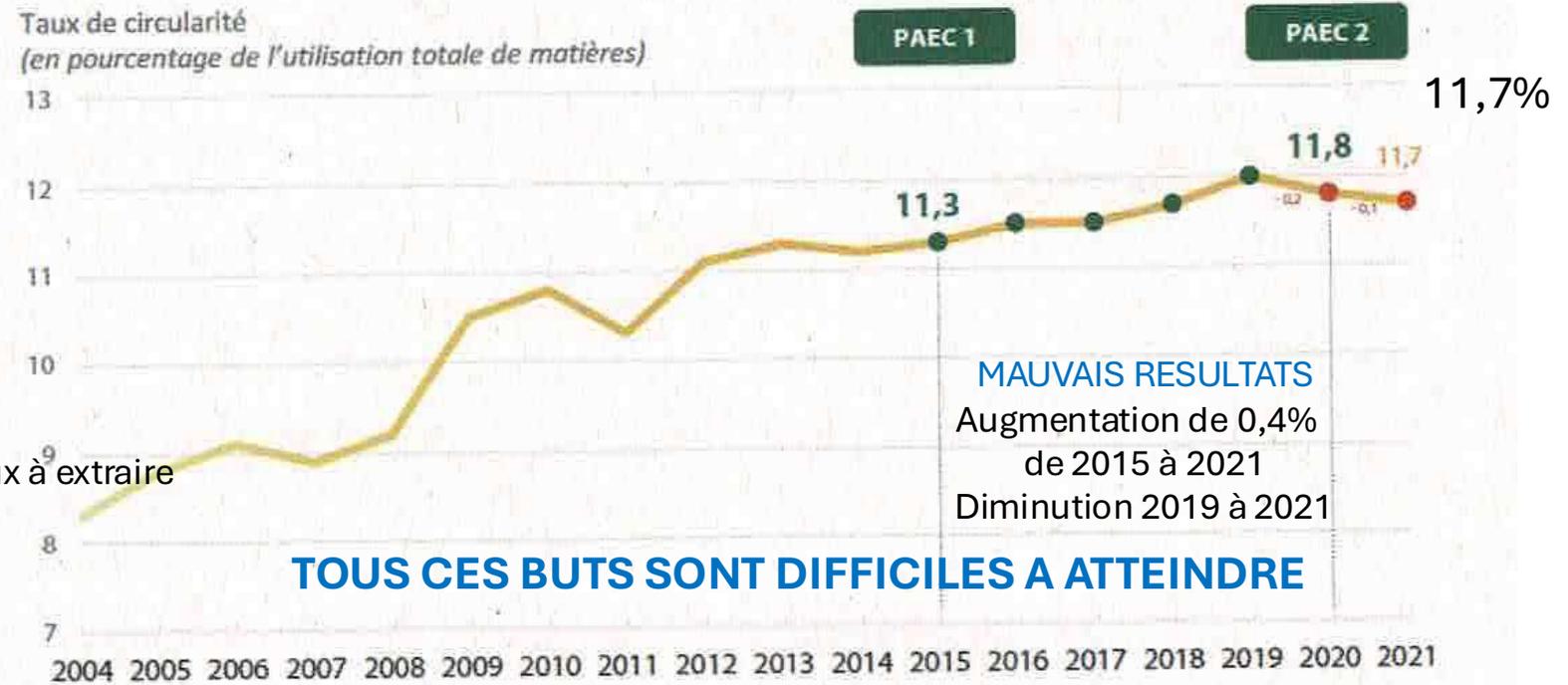
- **l'extraction** dans l'UE doit permettre de produire au moins 10 % de sa consommation annuelle,
- **la transformation** opérée dans l'UE doit permettre de produire au moins 40 % de sa consommation annuelle,
- **le recyclage** effectué dans l'UE doit permettre de produire au moins 15 % de sa consommation annuelle,
- **pas plus de 65 %** de la consommation annuelle de l'Union de **chaque matière première stratégique à n'importe quel stade de transformation** pertinent ne doit provenir d'un seul pays tiers.

- Diversification des sources d'approvisionnement (partenariats stratégiques).  
Financements de projets miniers via le Global Gateway, un fonds d'investissement de 300 milliards d'euros
- Recyclage : non? env. 30% pour les métaux 'faciles' (Fe, Cu...) et <5-10% métaux 'hightech'  
*Exemple: Ni recyclé 33% en 2015 et 16% en 2023*
- **RELANCE MINIERE => 'nouveau discours'** : mine = 'vert', = 'durable', = 'responsable' et 'clean'  
Il s'agit d'une nouvelle taxonomie 'verte' comme pour le nucléaire  
On mise sur l'innovation technique et technologique de l'industrie minière  
Impact limité sur l'environnement?
- **'nouveau discours vertueux'** : attirer les GROS investissements !

# FINALEMENT quelle est la situation?

GRESEA ÉCHOS N. 118 MÉTAUX CRITIQUES: QUAND L'EUROPE MINE SA TRANSITION

Figure 1 - Taux de circularité dans l'UE (2023)



## ECONOMIE CIRCULAIRE

= moins de déplacements,  
plus de transport en commun,  
pas d'obsolescence,  
et recyclage

**BUT UE : 75%**

=> diminution de moitié des métaux à extraire

## MAUVAIS RESULTATS

Augmentation de 0,4%  
de 2015 à 2021

Diminution 2019 à 2021

**TOUS CES BUTS SONT DIFFICILES A ATTEINDRE**

Source : Cour des comptes européenne (2023) <https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-17/SR-2023-FR.pdf> (page20)

## LES MINES, il faut (r)ouvrir des mines( responsables)?

- Les pratiques de l'industrie minière partent de loin => améliorations faciles?
- ONG suisse *Responsible Mining Fondation 2012* : analyse les pratiques minières (>250 mines)  
=> **Mine 'responsable'** si les informations de base sont publiques/**si** les lois du pays sont respectées/**si** le respect des droits humains est effectif/**si** les normes environnementales sont respectées,  
Bilan (ONG 2012): c'est rarement le cas, surtout dans les pays du Sud  
=> l'EU échappe-t-elle à ce constat?  
**NON** car elle importe sans cesse des métaux des pays du Sud (sans grand souci...)  
**NON** car elle doit sacrifier des zones pour stocker les déchets de plus en plus volumineux (suite à la baisse des teneurs)  
**NON** car elle abaisse les normes environnementales : exemple mine de Cu en Andalousie... (Rio Tinto) avec rehaussement d'une digue minière à proximité d'une rupture de barrage et prélèvement d'eau dans une région touchée par la sécheresse....  
= SECURITE NATIONALE/INTERET PUBLIC
- **Conclusion**: la relance minière en EU s'accompagne d'un **abaissement général des mesures de protection** pour créer des sites miniers compétitifs à l'échelle internationale  
= des 'mines pour sauver la planète?' (*in Agenda stratégique 2018-2022 de l'EIT RawMaterials*)

## LES MINES, nombreux goulets d'étranglement pour le produit fini

CAS DU LITHIUM (Australie-Chili-Argentine = 82% production et 70% réserves mondiales en 2022)

- Traitement différent suivant l'origine (ex: saumures en Am Sud vs roches dures en Australie)
- Premières opérations = purification/traitement sur le site => concentré
  - roches dures: extraction (ouvert ou souterrain), broyage, lavage, dissolution, purification
  - Opérations supplémentaires dans usines (souvent ailleurs) et mise en forme chimique
  - Ex: LiOH pour batteries



Le produit fini du Li passe par plusieurs pays et parcourt 3x le tour du monde avant que la batterie soit intégrée à destination finale ... empreinte carbone?

Nov 2024 : production test de Li en Allemagne à partir saumures à 165°C, 2km profondeur

Production pour 2027 = 240000t LiOH/an, soit 10% demande UE  
Auj : 28 projets pilotes UE (Serbie, Alsace, Portugal, Tchèque ...)

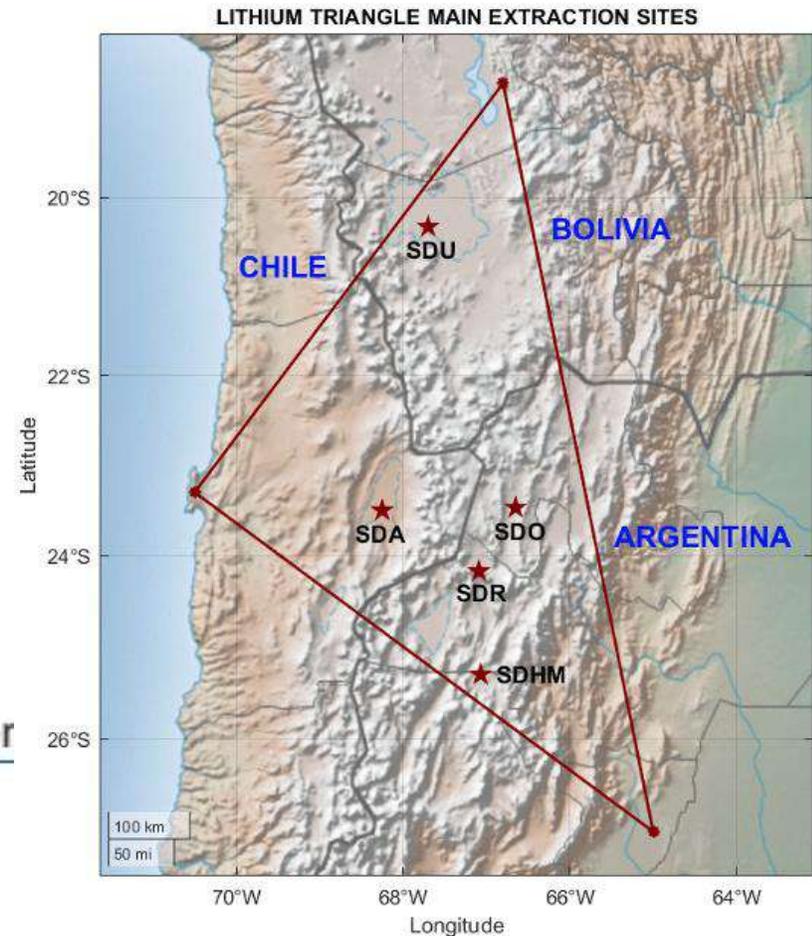
**Objectif : assurer 50% Li en 2030**

# LES MINES, les coûts environnementaux cachés

EAU-AIR-SOLS + SUBSTANCES TOXIQUES  
CONTAMINATION NAPPES et RIVIERES...

## Content Sections

- Lithium mining: the hidden environmental costs
- Destroying the landscape
- Environmental Degradation
- Can the mining of the future offer a technological solution
- Dwindling incentives and public responsibility



## LES MINES, une relance nécessaire pour tous?

- Toutes les puissances économiques sont en concurrence pour les mêmes ressources car elles développent les mêmes technologies. Le Green Deal européen (préservation du climat) doit permettre l'adhésion de nos populations à la poursuite et au développement des mines  
**Y a-t-il consensus? ou débat public? = NON, La loi européenne sur la transition a été une des plus rapidement adoptée de l'histoire de l'UE = ?'urgence climatique'... 'transition à marche forcée?'...**

cfr. Rapport Draghi, publié **APRES** les récentes élections européennes

- UE: relance minière avec fonds publics et administrations nationales  
=> procédure octroi permis sur un site traitement ou de recyclage < 15 mois  
=> permis minier pour extraire une matière stratégique < 27 mois

## IL S'AGIT D'UN CHALLENGE MONDIAL

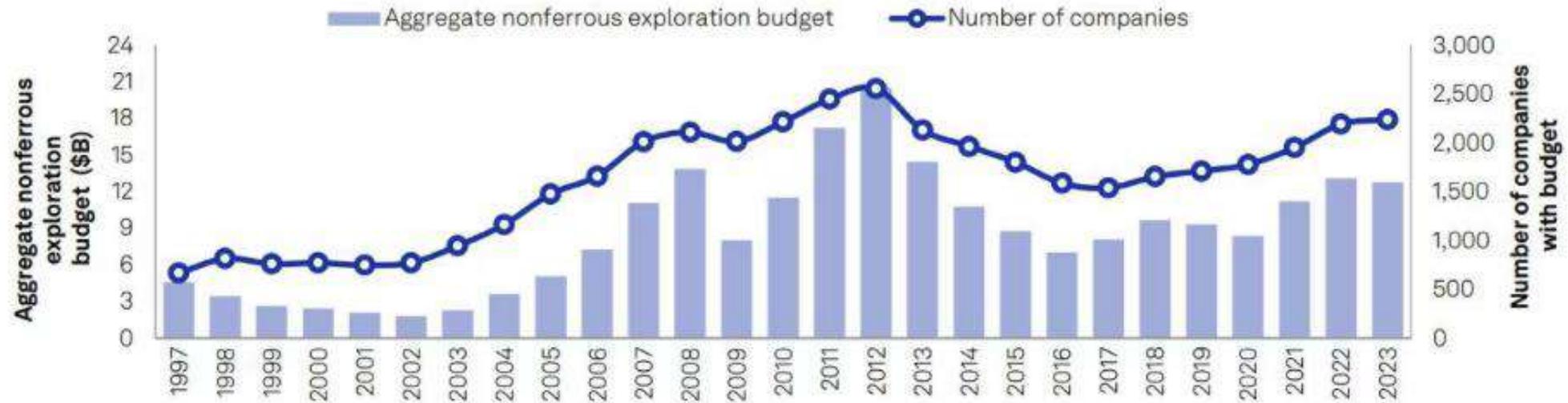
Le Moyen Orient a le pétrole et la Chine a les terres rares (Président chinois, 1992 déjà!)

Les USA **créent** (ex GAFAM...), la Chine **copie** et l'Europe **réglemente** (notamment Green Deal)

## LES MINES et l'exploration

69000 forages en 2021  
70008 forages en 2022  
53 582 forages en 2023

Budgets and active explorers peak in 2022 well below the highs of 2011 & 2012



As of Oct. 24, 2023.  
Source: S&P Global Market Intelligence.

### L'EUROPE : UN SCENARIO COURT TERME PROBLEMATIQUE?

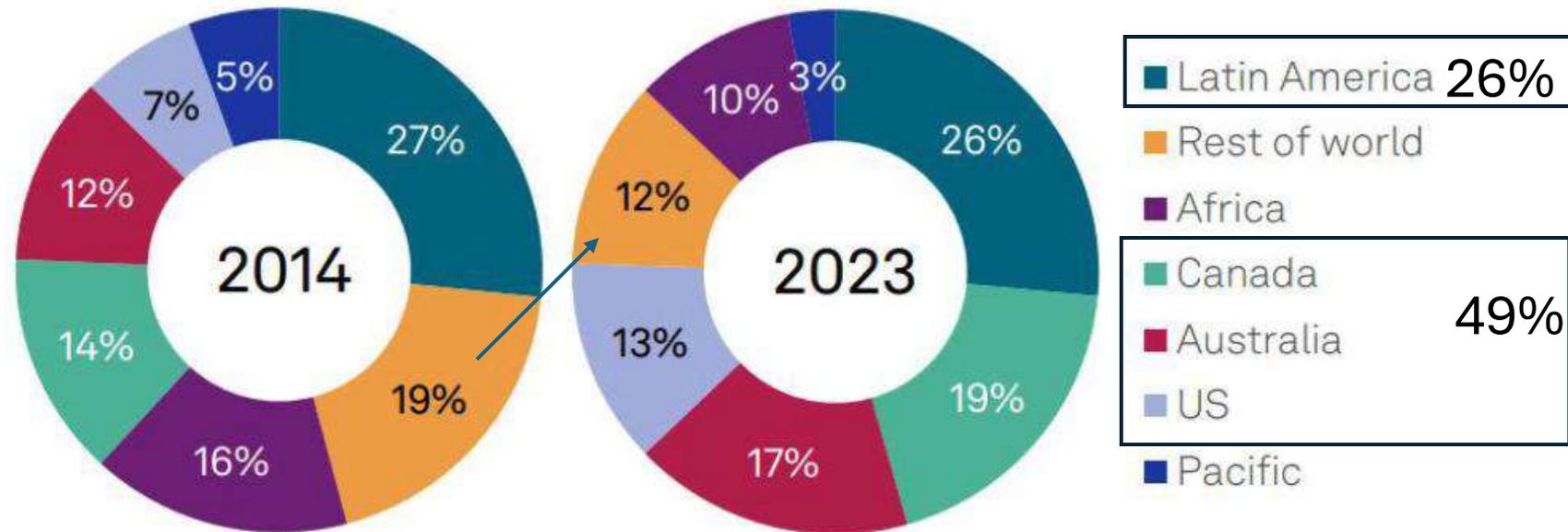
2023 : baisse de 3% par rapport rapport 2022, 12,76 G\$ au lieu de 13,10 G\$

2024 : ?5% en moins par rapport 2023 après 6 années de croissance (2017-2023)

- géopolitique incertaine (=tensions) affecte la macroéconomie
- inflation => récession
- nombreuses études non encore abouties = expectative
- les groupes miniers préfèrent investir dans l'amélioration des rendements de gisements existants

## LES MINES et l'exploration

### Share of global exploration 2014 vs. 2023



Li: +75% en 2023 soit 156 projets forés par rapport 89 en 2022,  
Cu, Pb, Zn, Pt, Ag : diminution des projets...

### Drilling activity in decline despite boost to specialty metals exploration

## LES MINES et l'exploration

Les coûts d'exploration de l'Europe, < 5% des investissements mondiaux d'exploration et les plus bas à l'échelle internationale depuis les années 1990

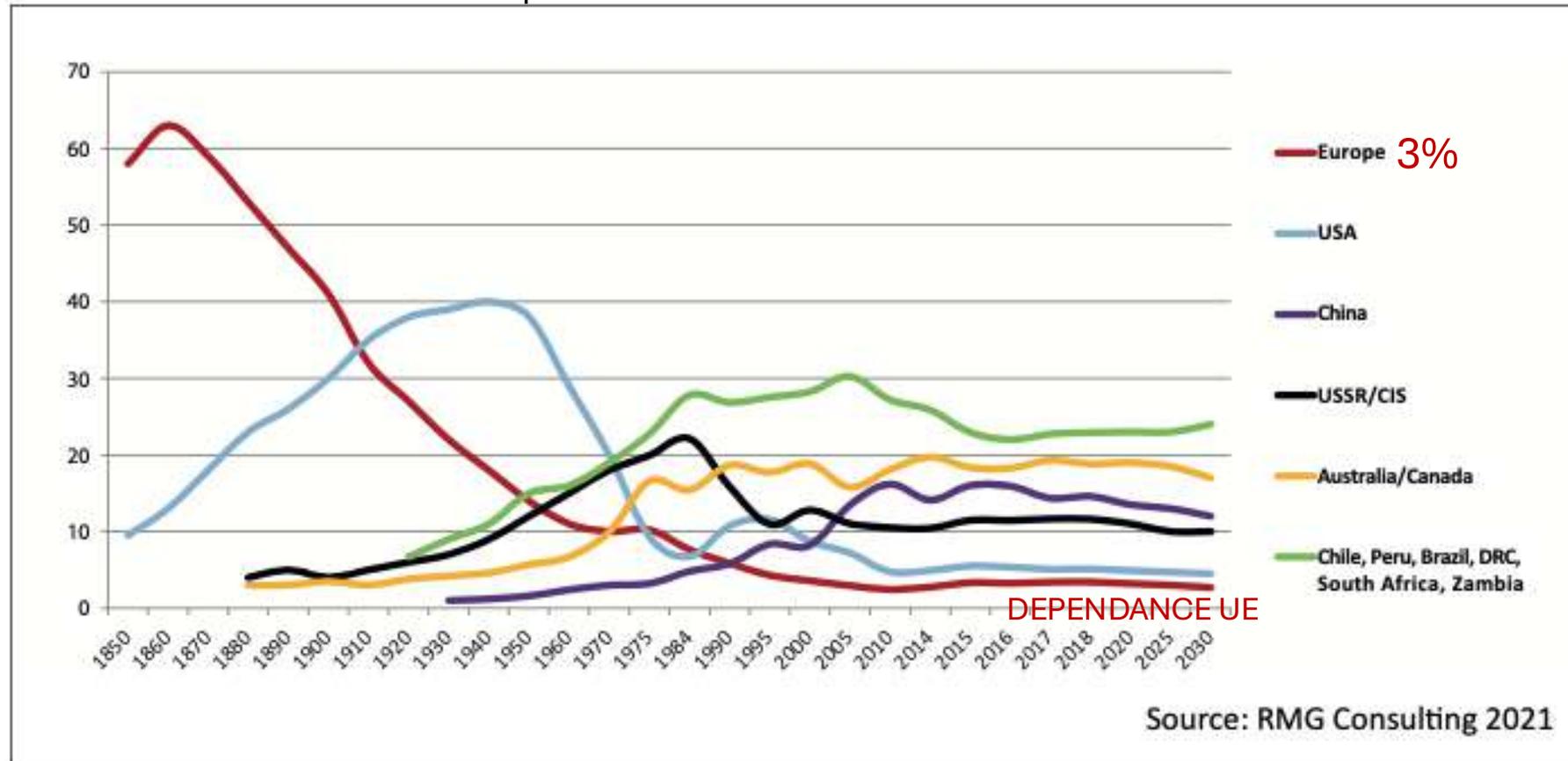


Figure 4.5: Exploration expenditures expressed as percentage of world mining share starting in the year of 1850; source RMG CONSULTING, 2021, their figure 1.

# ORIGINE DES METAUX

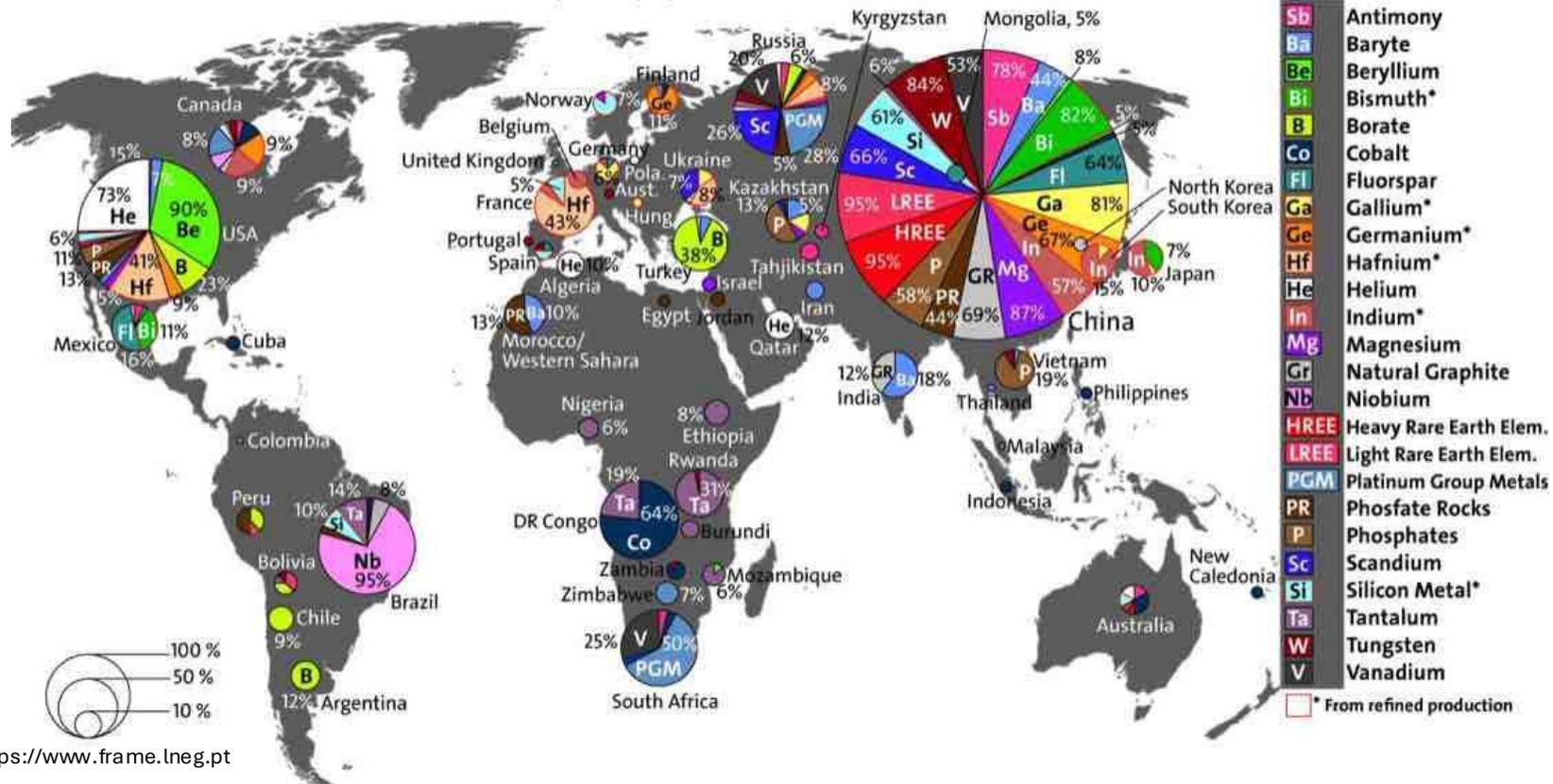
La plupart des **METAUX SONT IMPORTES en Europe (le recyclage ne suffit pas)**  
**ASIE-PACIFIQUE-AFRIQUE > 80% PRODUCTION METAUX (2022)**

Les Minéraux/Métaux Critiques primaires sont surtout liés aux **BOUCLERS** ou **AIRES CRATONIQUES**  
 (boucliers ... amazonien...[guyannais](#) ... craton nord-américain (Laurentia), Brasiliano Sao Francisco, Ouest-africain, sino-coréen...).

[Europe: Bouclier Scandinave et Bouclier Ukrainien](#)

## Global Supply of EU Critical Minerals and Metals

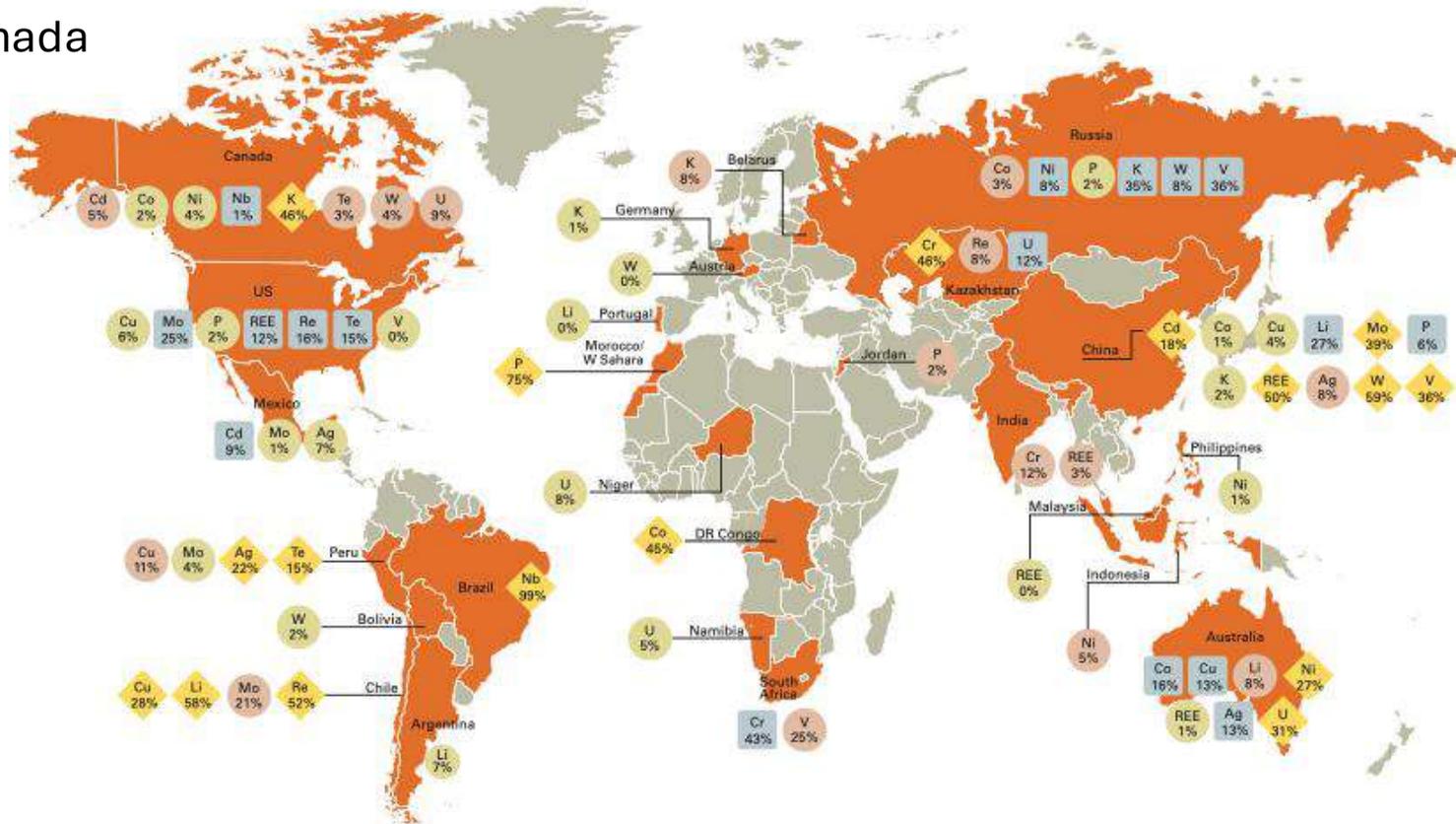
The pie charts show the percent distribution of the production of critical metals and minerals. In total, it is 100% for each raw material. The area of the pies are proportional. SGU 2017.



# ORIGINE DES METAUX

Top reserves countries

- 1 Chine-Am latine
- 2 USA-Russie-Australie
- 3 Canada



Elements, for which no reliable reserves data are available, are not depicted on the map, as ranking not possible.

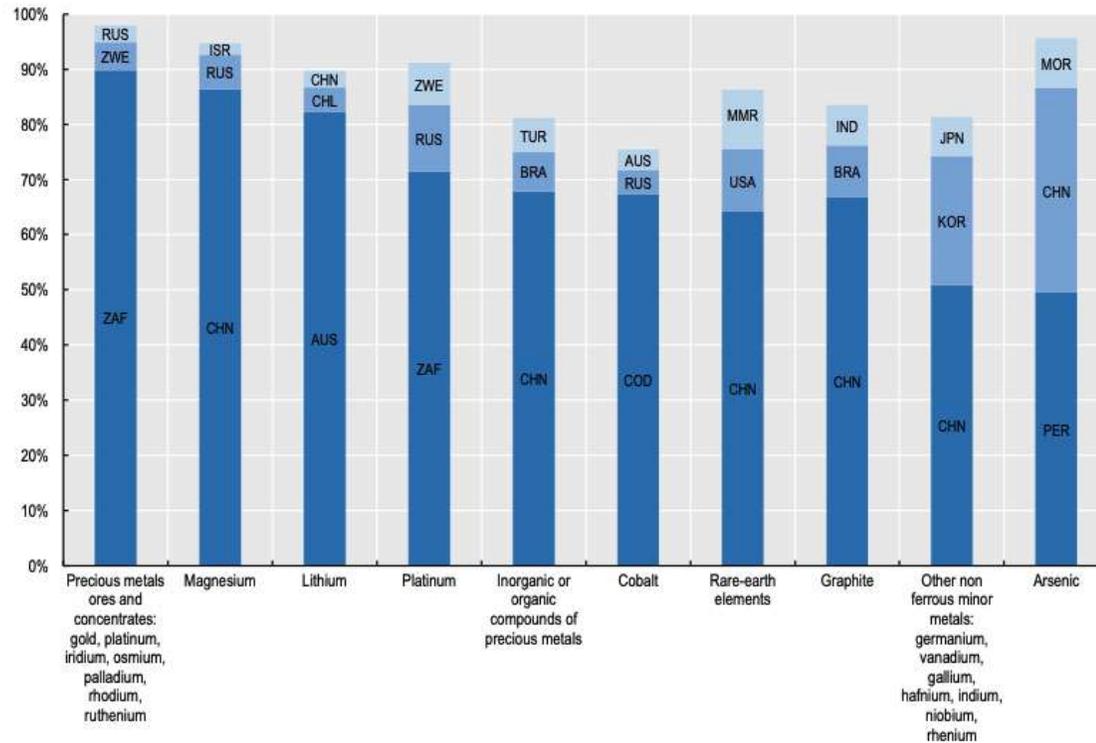
# ORIGINE DES METAUX

## CHINE-AFRIQUE-AUSTRALIE-(COREE N)-Am S

Russie-Usa-Turquie-(Israel-Maroc-Japon-Inde)

Figure 3.5. Top 3 producers of the top 10 most production-concentrated critical raw materials

Shares in global production (%) 2020 EU grande absente



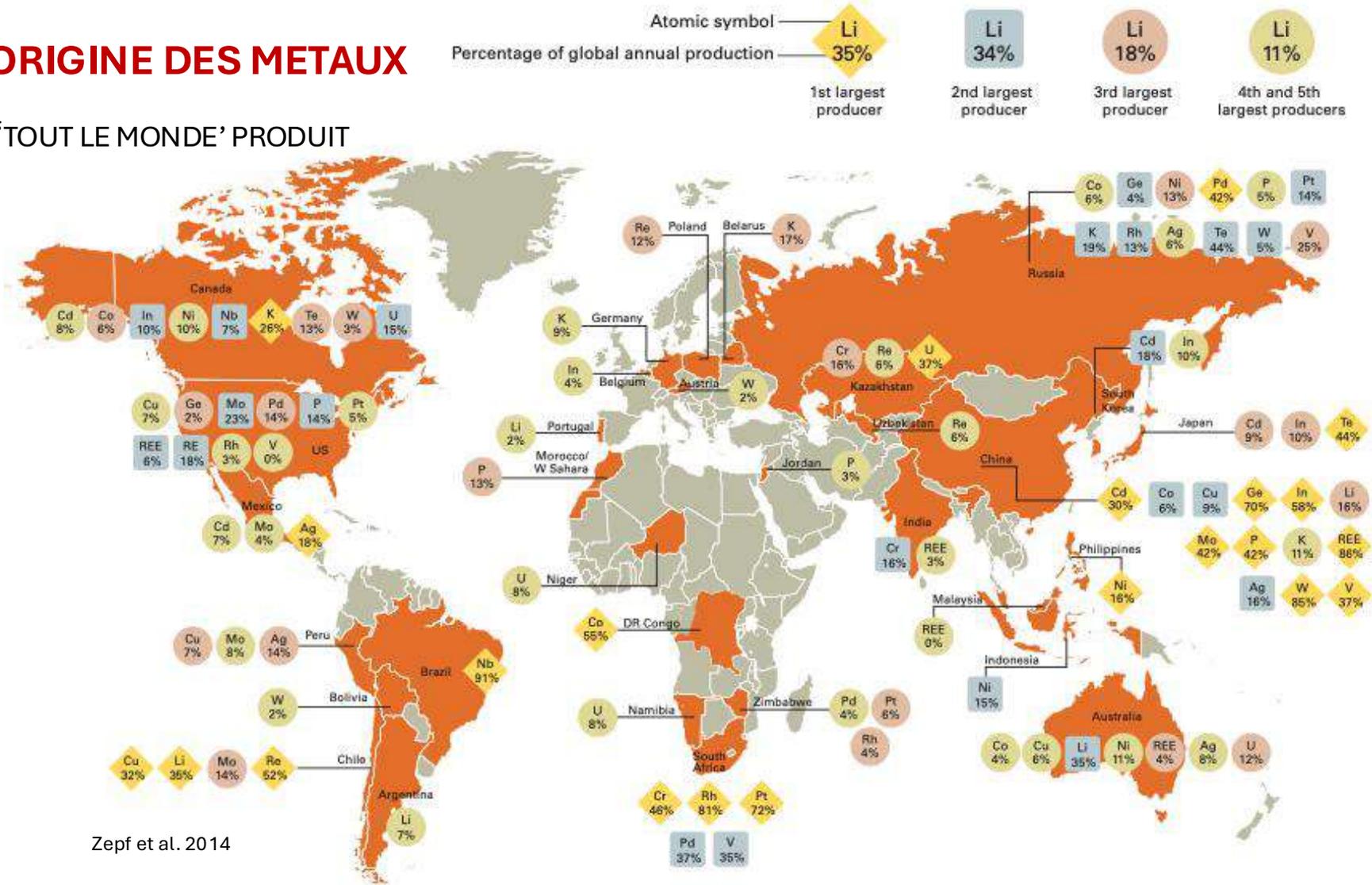
Note: AUS – Australia; BRA – Brazil; CHN - China; CHL – Chile; COD – Democratic Republic of Congo; ISR – Israel; KOR – Korea; MAR – Morocco; MMR – Myanmar; MOZ – Mozambique; PER – Peru; TUR – Türkiye; RUS – Russian Federation; ZAF – South Africa; ZWE – Zimbabwe.

Shares in global production based on gross weight of production.

Source: OECD calculations based on the United States Geological Survey data.

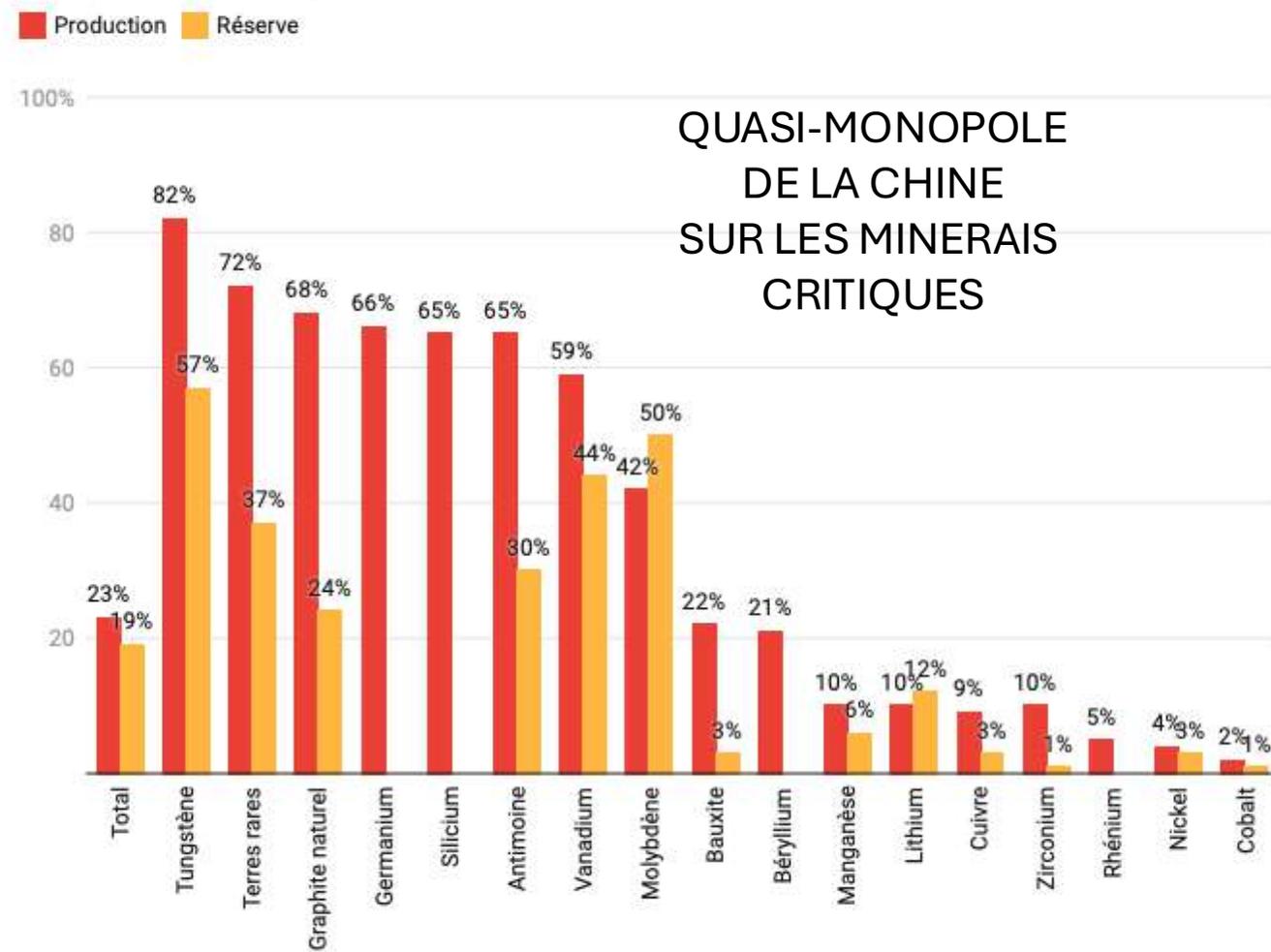
# ORIGINE DES METAUX

‘TOUT LE MONDE’ PRODUIT



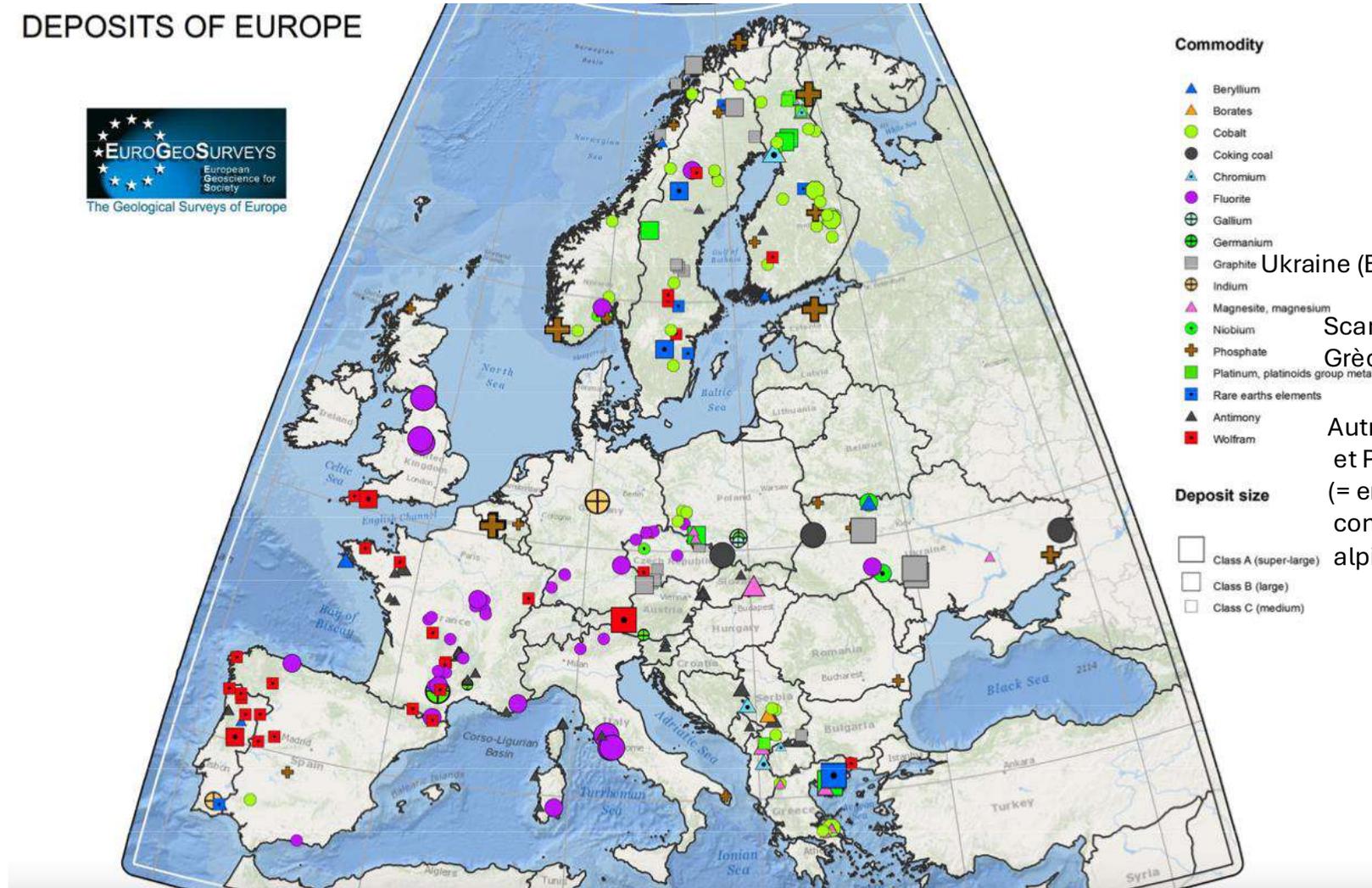
# ORIGINE DES METAUX

## Parts de la Chine dans la production et les réserves mondiales de matériaux critiques



# ORIGINE DES METAUX

## DEPOSITS OF EUROPE



### Commodity

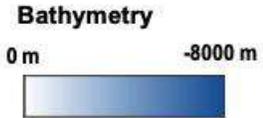
- ▲ Beryllium
- ▲ Borates
- Cobalt
- Coking coal
- ▲ Chromium
- Fluorite
- ⊕ Gallium
- ⊕ Germanium
- Graphite Ukraine (Bouclier Ukrainien)
- ⊕ Indium
- ▲ Magnesite, magnesium
- Niobium Scandinavie (Bouclier Baltique)
- ⊕ Phosphate Grèce (Placers)
- Platinum, platinoids group metals
- Rare earths elements
- ▲ Antimony
- Wolfram

### Deposit size

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

Autriche  
et Péninsule Ibérique  
(= ensemble de boucliers  
compressés lors de l'orogénèse  
alpine)

# ORIGINE DES METAUX?



**Commodity**

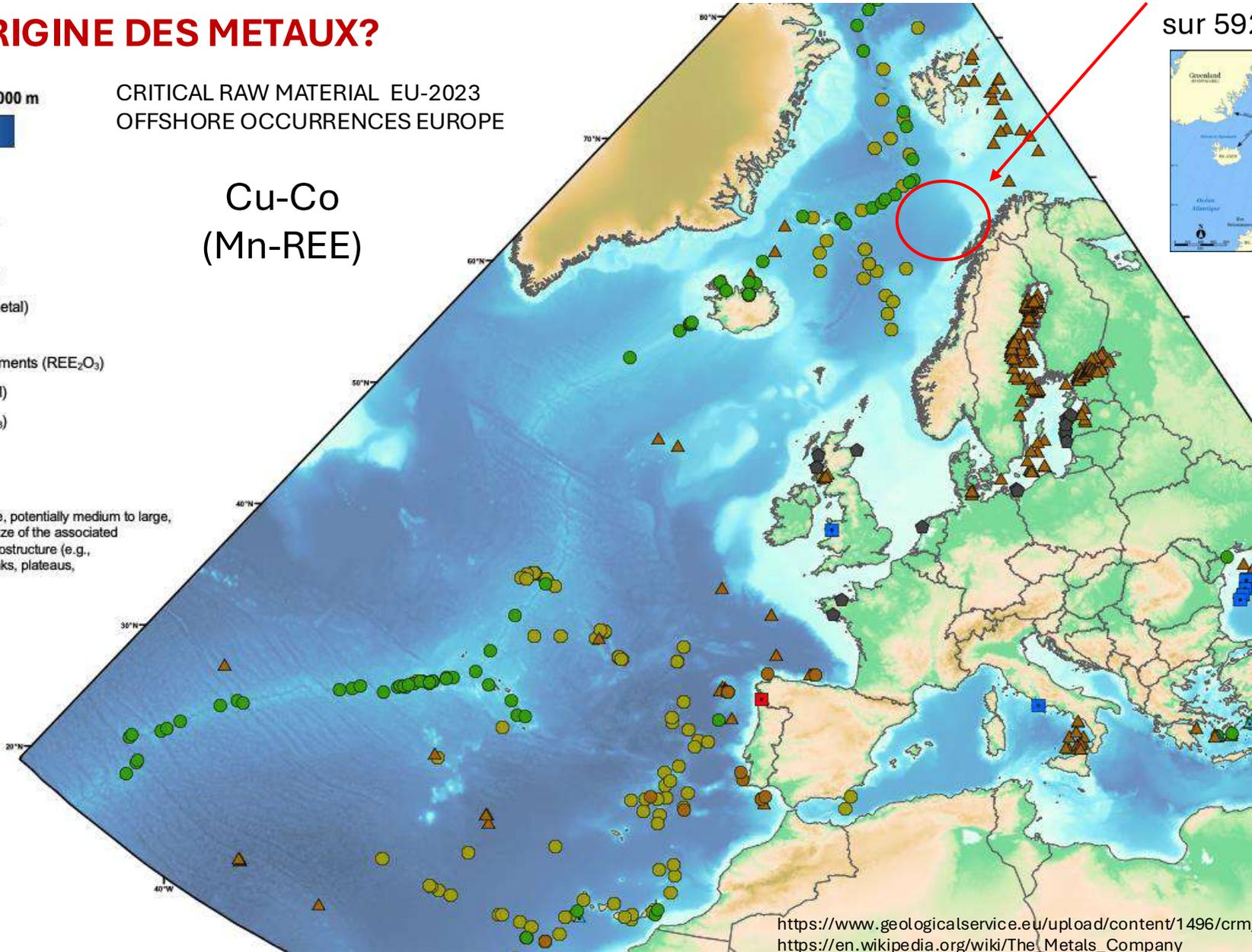
- ▲ Barite (BaSO<sub>4</sub>)
- Cobalt (metal)
- Copper (metal)
- ▲ Manganese (metal)
- Phosphorous
- Rare Earth Elements (REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- Titanium (metal)
- Tungsten (WO<sub>3</sub>)

**Size**

□ Occurrence  
 (The deposit size, potentially medium to large, depend on the size of the associated favorable morphostructure (e.g., seamounts, banks, plateaus, abyssal plains))

CRITICAL RAW MATERIAL EU-2023  
 OFFSHORE OCCURRENCES EUROPE

Cu-Co  
 (Mn-REE)



01/2024 – Norvège  
 Exploration fonds marins Atl N  
 sur 592.500 km<sup>2</sup> (hot spot)



- Hydrothermalisme
- sulfures riches en Pb, Zn, Va, Cu, Co, Au, Ag et hautes teneurs en Li, Sc et REE

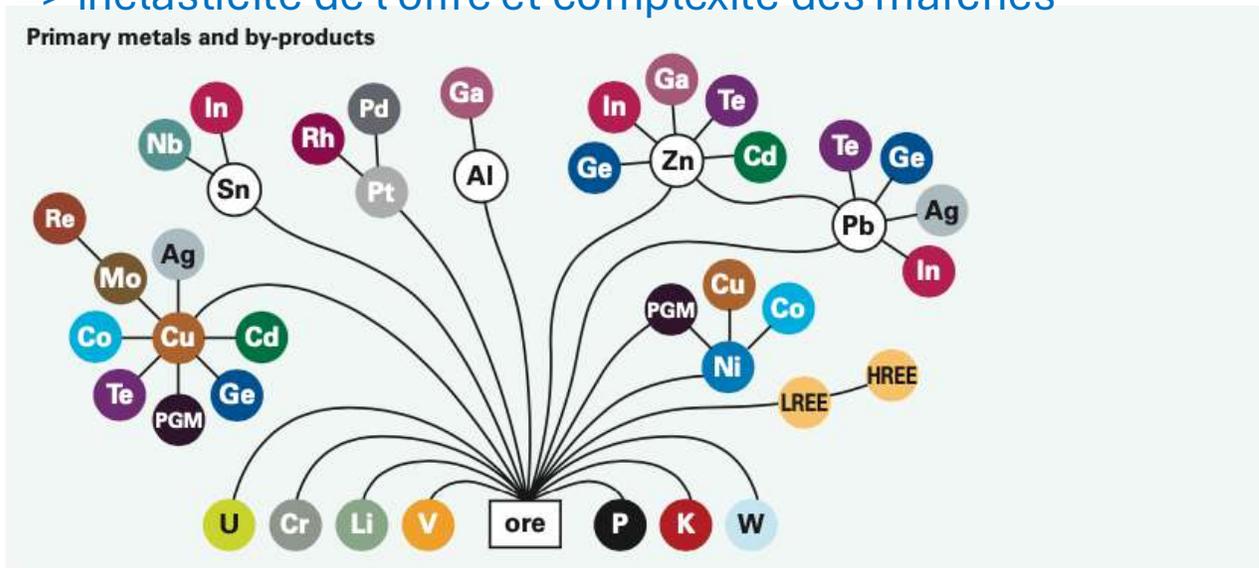
02/2024  
 EU vote un moratoire sur le Deep Sea Mining  
 ...

Nb GSR, entreprise belge dispose fin 2021 d'un permis d'exploration pour les nodules polymétalliques dans le Pacifique ...et applaudit le moratoire!!!!

## ORIGINE DES METAUX

Les métaux critiques ne sont généralement pas extraits pour eux-mêmes  
Certains dépendant de la production d'un métal hôte à partir de sources géologiques et métallurgiques

Ex: il n'y a pas de mines de Co, de Hf etc. en tant que tel => Co = sous-produit exploitation Cu  
=> inélasticité de l'offre et complexité des marchés



Schematic representation of the routes from ore to elements described in this handbook, indicating primary versus those produced as co- or by-products (adapted from Hagelüken & Meskers, 2010).

Les éléments sont géologiquement/minéralogiquement associés

Il y a les éléments principaux, secondaires et résiduels

=> complexité stratégique de leur exploitation/production et criticité



# LES TERRES RARES OU REE, chimie

15 lanthanides + Sc et Y dans un peu plus de 200 minéraux, forme stable = **OXYDES** (surtout monazite et bastnäsite)

- propriétés chimiques très voisines, HREE moins abondantes => plus de valeur stratégique
- assez répandues (malgré leur nom) surtout dans les roches magmatiques **en faible concentrations pour la plupart**

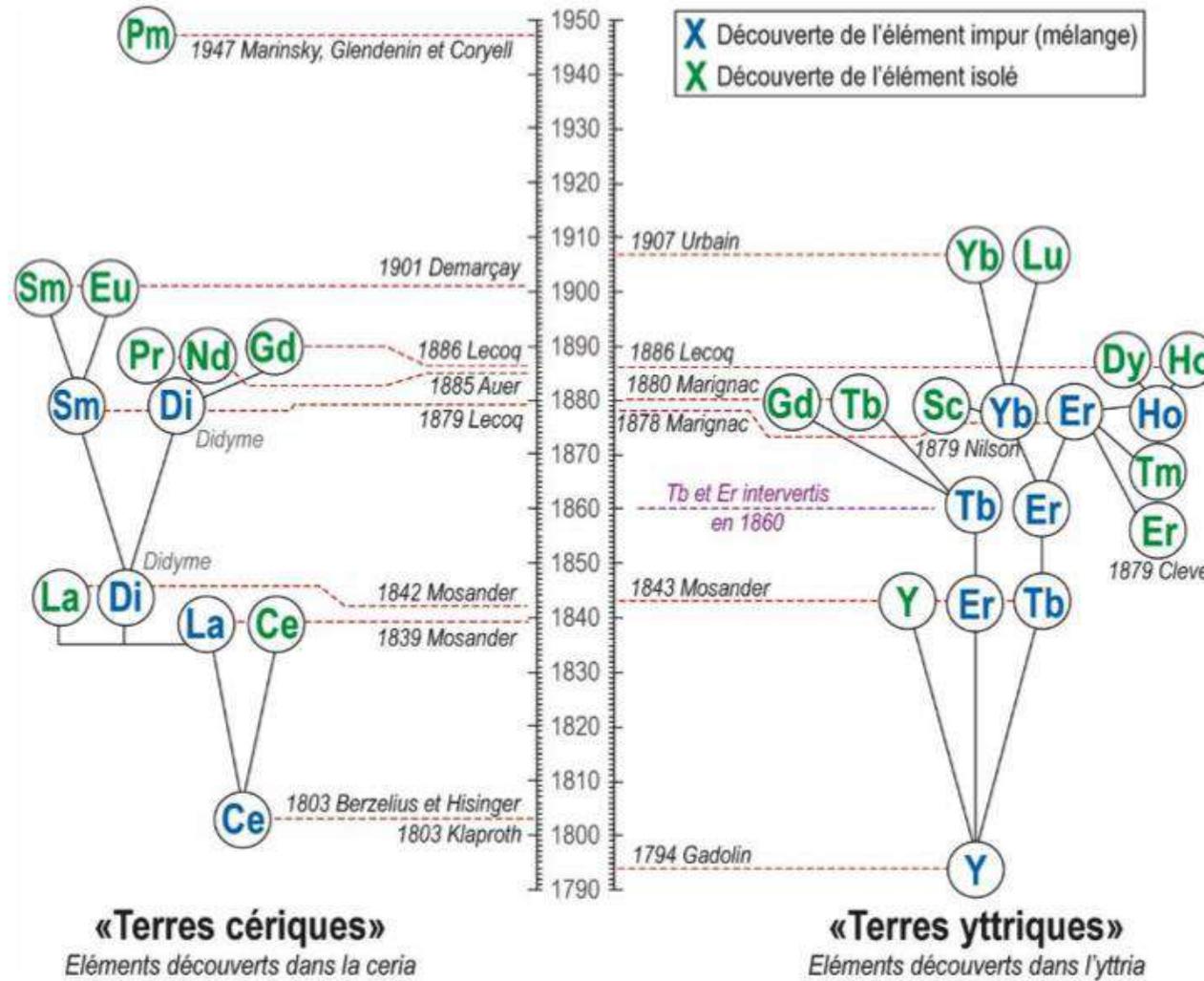
1 H																	2 He										
3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne				
11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar				
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr										
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe										
55 Cs	56 Ba	57-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn										
87 Fr	88 Ra	89-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo										
											<b>Terres rares légères (LREE)</b>							<b>Terres rares lourdes (HREE)</b>									
<b>Lanthanides</b>		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu											
<b>Actinides</b>		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr											

L'extraction des REE et leur raffinage **sont très polluants** (dont U/Th)

HREE : produites uniquement en Chine

# LES TERRES RARES OU REE, découverte

Charles et al., 2021. ISTE Science Publishing Ltd-Wiley



## LES TERRES RARES OU REE, usages



= 17 éléments : **15 lanthanides** : Lanthane ; Cérium ; Praséodyme ; Néodyme ; Prométhium ; Samarium ; Europium ; Gadolinium ; Terbium ; Dysprosium ; Holmium ; Erbium ; Thulium ; Ytterbium et Lutécium, **ainsi que** Scandium et Yttrium. **Les terres rares légères** sont utilisées pour leurs propriétés magnétiques exceptionnelles, et **les terres rares lourdes** (celles qui ont le plus de valeur) servent à repousser le point de température où les aimants perdent leur magnétisme.

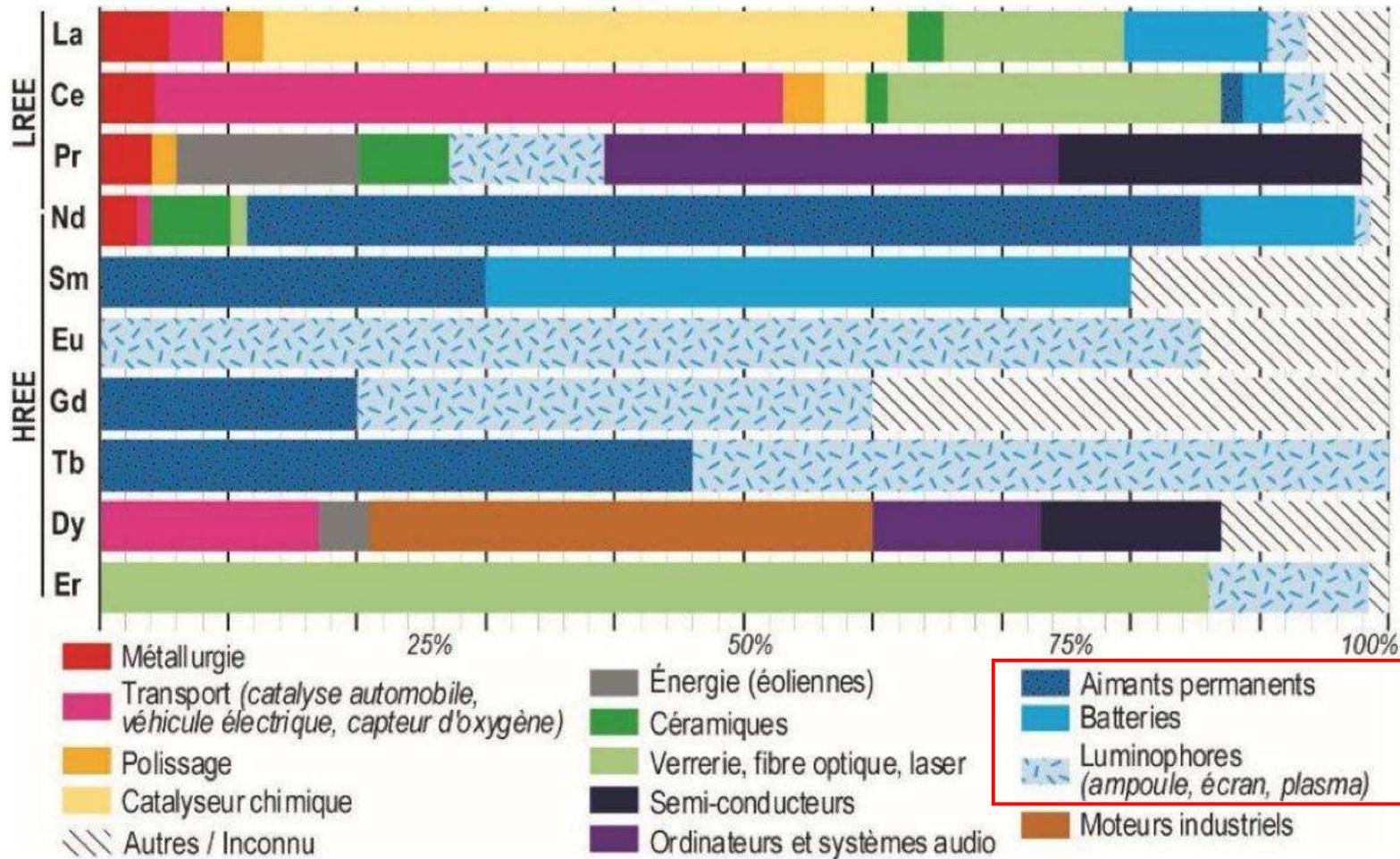
Elles sont omniprésentes, surtout dans quatre secteurs industriels qui représentent 10% de l'économie mondiale :

- numérique (téléphones portables, disques durs, écrans) ;
- énergie (turbines d'éoliennes en mer, moteurs EV et hybrides) ;
- médical (appareils, robots) ;
- armement.

Leurs usages sont diversifiés (données pour 2021):

- le premier (31%) étant **les aimants permanents** (utilisés dans les générateurs, les volants magnétiques, les alternateurs, les moteurs de jouets, d'horlogerie) ;
- **les catalyseurs** (18%) (utilisés dans les pots catalytiques des voitures) ;
- les **alliages métallurgiques** (18%) (utilisés dans la construction aéronautique, militaire, médicale, etc.) ;
- le polissage (13%) (utilisé sur la surface de nombreux produits industriels) ;
- les verres et céramiques (11%) ;
- le reste représentant 9%.

## LES TERRES RARES OU REE, usages



Usage REE en Europe, 2016 in Sebastiann et al., 2017

## LES TERRES RARES OU REE, teneurs et usages

Les REE ne sont pas 'rares' (concentration)

- rareté des gisements très localisés
- aussi abondantes que le Cu, Zn, Pb... plus abondantes que Au, Ag, Pt
- difficulté de leur séparation dans les minerais, très polluant
- HREE : beaucoup moins abondant => stratégique

Nom de la terre rare	Concentration moyenne dans la croûte terrestre (ppm)	Usages connus
Lanthane	39	Catalyseurs, batteries
Cérium	66	Polissage du verre, catalyseurs
Praséodyme	9,2	Aimants, alliages
Néodyme	41	Aimants puissants
Prométhium	Extrêmement rare	Générateurs nucléaires
Samarium	7,05	Aimants, réacteurs nucléaires
Europium	2	Phosphores, écrans
Gadolinium	6,2	Imagerie par résonance magnétique (IRM)
Terbium	1,2	Phosphores, dispositifs électroniques
Dysprosium	5,2	Aimants, réacteurs nucléaires
Holmium	1,3	Applications en IRM
Erbium	3,5	Fibres optiques
Thulium	0,52	Laser, équipements médicaux
Ytterbium	3	Optique, métallurgie
Lutécium	0,8	Catalyseurs, applications nucléaires
Scandium	22	Alliages légers
Yttrium	33	Céramiques, lasers

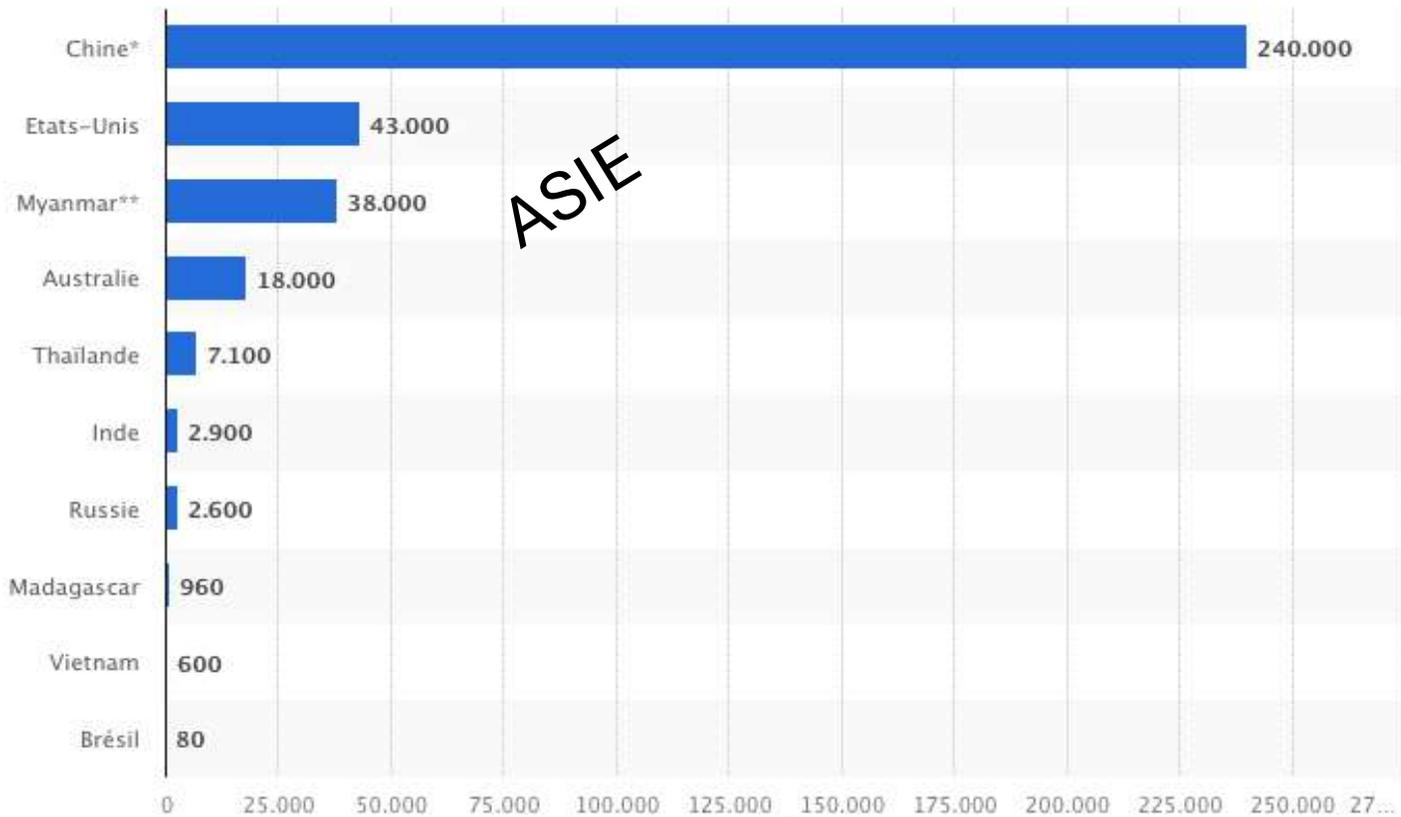
1 ppm = 1 mg/kg = 1 g/t  
(1 µg/g ou 1 kg = 1000t)

## LES TERRES RARES OU REE, production

RESERVES REE – 2023 = 120 millions de tonnes

En tonnes d'oxydes de terres rares

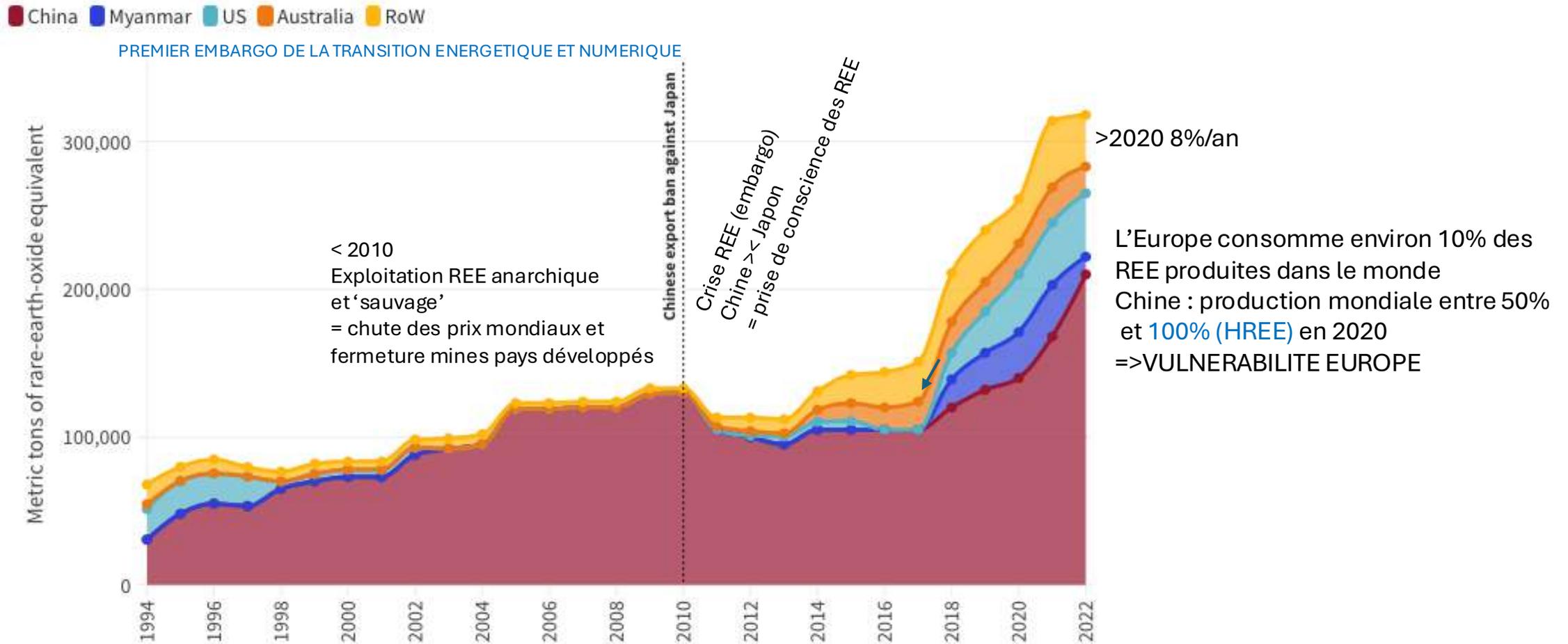
PRODUCTION REE 2023 = 350 mille tonnes d'oxydes de REE



<https://fr.statista.com/statistiques/570471/principaux-pays-producteurs-de-terres-rares/>

# LES TERRES RARES OU REE, production

Figure 3: Global mining production of rare earths, 1994-2022



Source: Bruegel based on U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries.

LES ECHOS – 22 décembre 2023

## **Terres rares : la Chine interdit l'exportation de certaines technologies de production 🇨🇳**

La mesure de Pékin vise à freiner le développement de la filière en dehors de Chine. Les Etats-Unis cherchent à relocaliser la production de ces métaux stratégiques pour la défense et la transition énergétique. La Chine raffine 90 % des terres rares dans le monde.

La Chine a considérablement renforcé les règles régissant les exportations de plusieurs métaux cette année, dans le cadre d'une bataille de plus en plus intense avec l'Occident pour le contrôle des minerais essentiels.

...

## LES TERRES RARES OU REE, Mountain Pass, California, 1952



Mountain Pass in California is the only U.S. mine producing rare earth elements. The U.S. Geological Survey hopes the Earth Mapping Resources Initiative will encourage more mining. TMY350/WIKIMEDIA COMMONS

- une des mines les plus riches au monde (aux USA, à la frontière du Nevada), minerai 75mx700m  
=> jusqu'à 16% de la production mondiale LREE en 2020, Réserves (1P2P) 19 millions/t à 7,98% OTR
- nombreux conflits entre l'EPA et l'industrie (pollution nappe, tailings U/Th, boues à sulfures de Pb...)  
=> fermée 2002 (achat REE en Chine) puis ré-ouverte en 2012

# In search of natural riches, China plans \$1 billion geoscience survey

Massive SinoProbe II project will probe the depths with drill rigs and a countrywide deployment of instruments

18 NOV 2024 • 1:45 PM ET • BY RICHARD STONE

## 'SURENCHERE A L'EXPLOITATION'

**Priority No. 1 for the project,** which is managed by the China Geological Survey, is to help the country wean itself off imported fossil fuels and ores such as iron and aluminum.

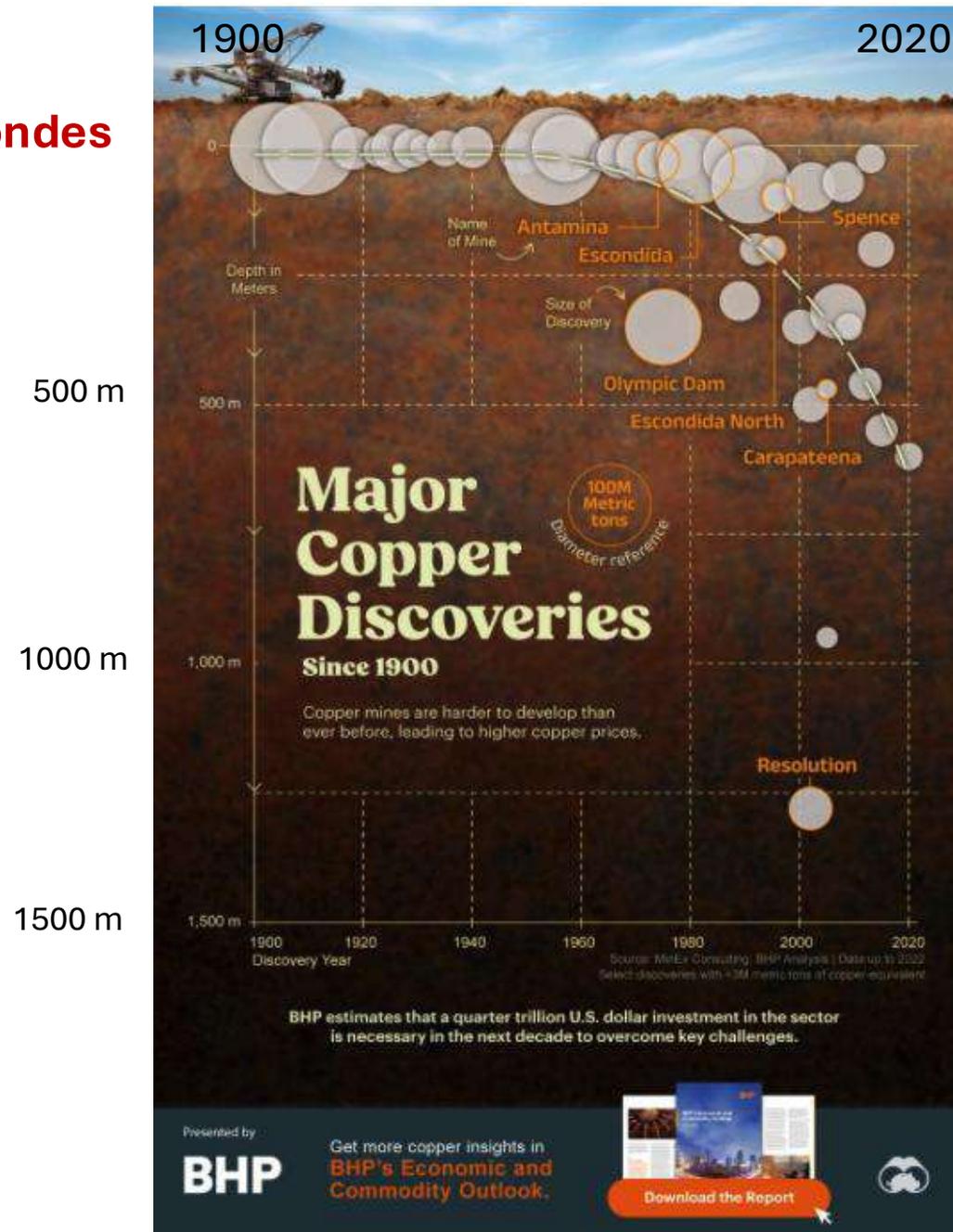
“We need to firmly grasp resource security,” says Dong Shuwen, a geologist at Nanjing University who conceived SinoProbe.

**He notes that China’s shallower natural resources, within 500 meters of the surface, “are almost depleted.”**

Echoing an [ongoing U.S. mineral survey called the Earth Mapping Resources Initiative](#), SinoProbe II aims to chart ore formations and fossil fuel basins as deep as **3 kilometers and develop extraction technologies.**



# LES MINES de plus en plus profondes



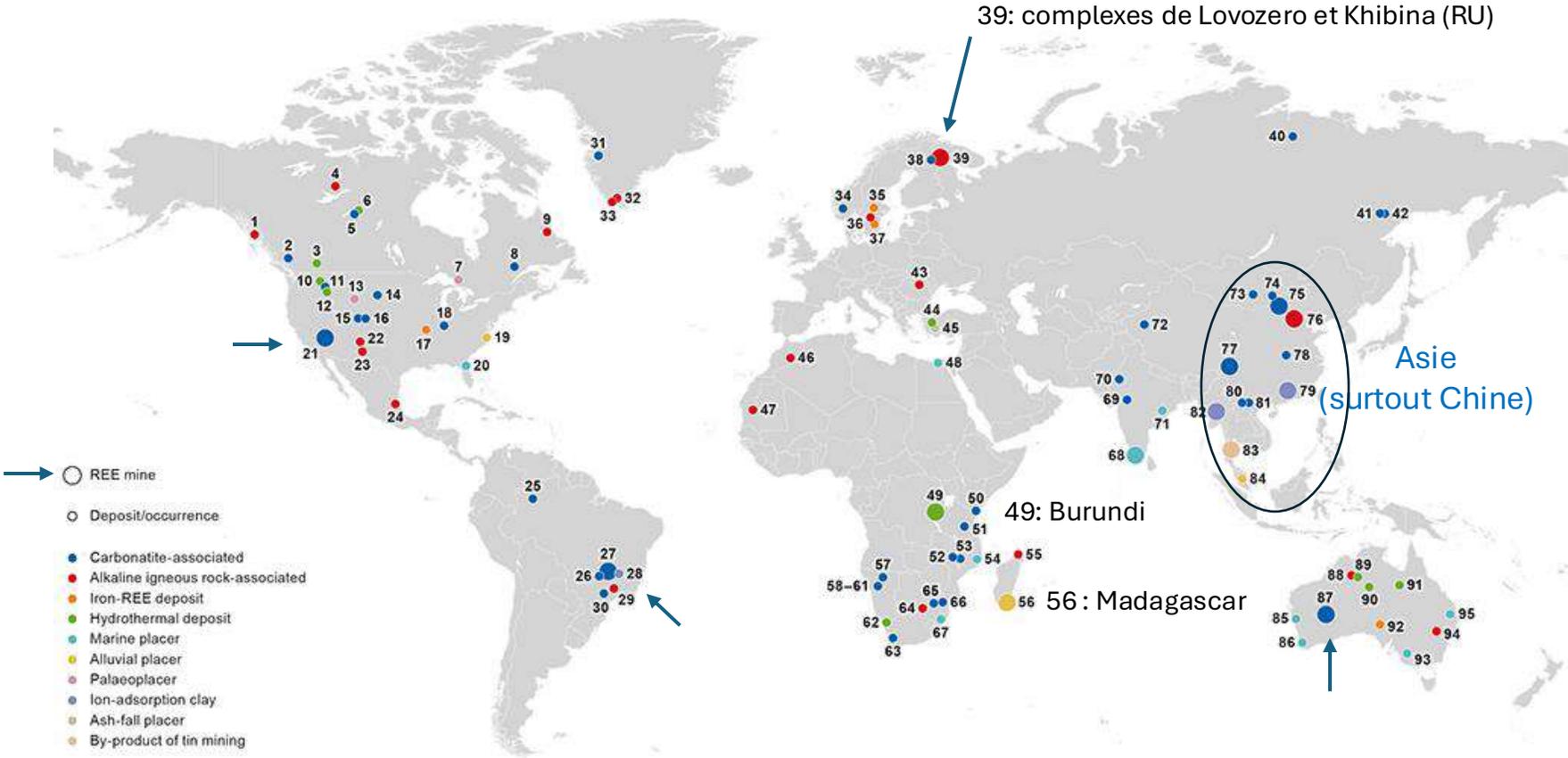
- Mine de Cu et Mo Arizona  
Resolution: 2014 projet 6G\$
- 1200-1600 m de profondeur, T 79°C
  - 1,8 Gt à 1,5% Cu
  - ?51000 à 115000 t/minerai/j
  - préparation 10 ans (en finalisation)
  - production 40 ans
  - fermeture et réclamation 5-10 ans
  - 25% production USA

# LES TERRES RARES OU REE, dépôts et mines

Global rare earth element (REE) mines, deposits and occurrences (May 2021)



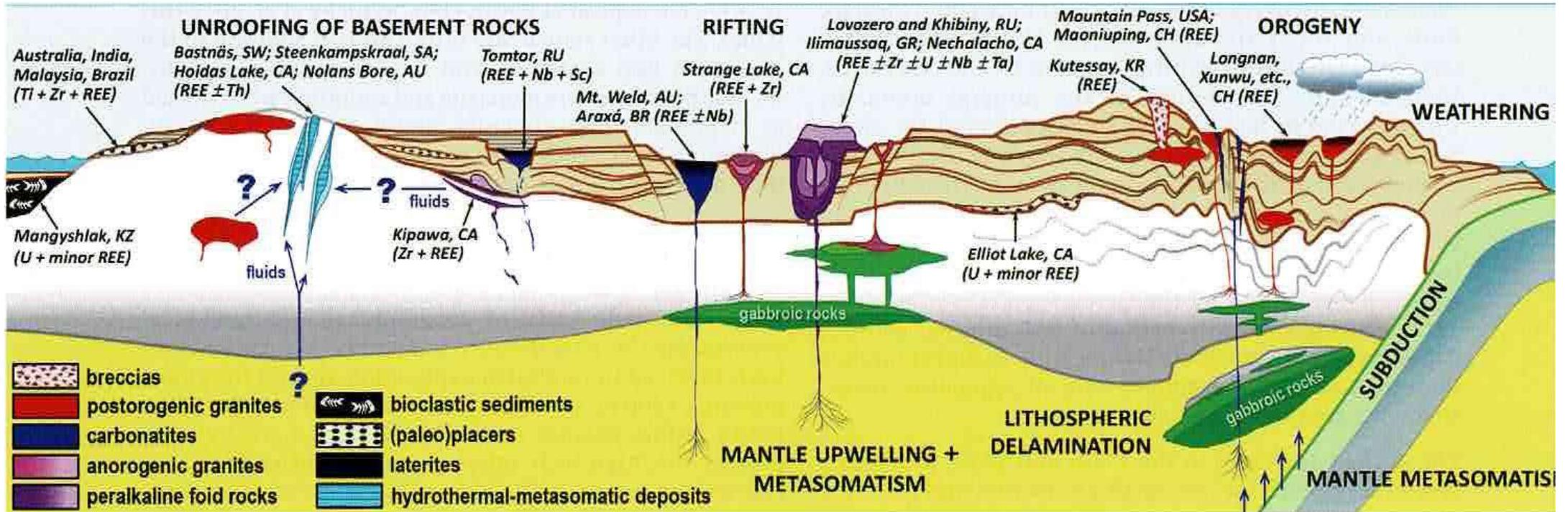
34 pays



# LES TERRES RARES OU REE, géologie et gîtologie

REE surtout liées au contexte tectonique

Rappel: épaisseur de la lithosphère continentale 100-120km/ océanique 7 km (moyenne)



Les REE forment des gisements dans **des roches magmatiques et volcaniques** (granites, rhyolites, gabbros ...) **et leurs produits d'altérations** => formation des **REGOLITHES/PLACERS** ou gisements de REE de 30 à 60 m d'épaisseur dans les roches décomposées, lessivées (régions subtropicales)

# LES TERRES RARES, gîtologie

## GISEMENTS REE : Gîtes primaires ou endogènes et Gîtes secondaires ou exogènes

Seuls 5 types sont exploités: carbonatites (48% production mondiale), argiles ioniques (36%), latérites (12%), magmatisme alcalin (2%), placers (2%)

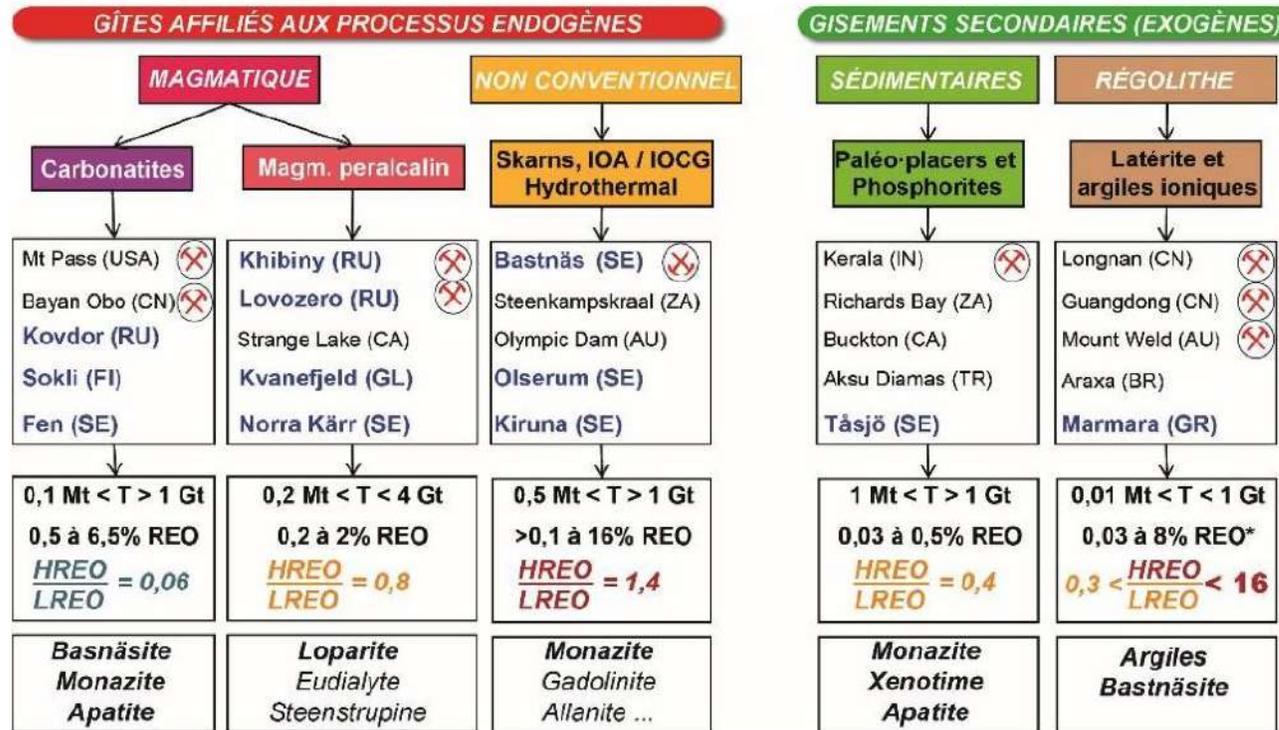


Figure 9 : Caractéristiques des principaux modèles de gisements. En bleu, les gîtes majeurs localisés en Europe ou au Groenland. T : tonnage, \* la valeur de 8% correspond au gisement de Mont Weld, le rapport HREO/LREO correspondant est de 0,3. Les mines en activité sont suivies d'un symbole minier. Bastnäs relève du patrimoine minier. Abréviations : AU (Australie), BR (Brésil), CA (Canada), CN (Chine), FI (Finlande), GL (Groenland), GR (Grèce), IN (Inde), RU (Russie), SE (Suède), TR (Turquie), US (États-Unis), ZA (Afrique du Sud).

Facteur de concentration des principaux métaux dans les gisements (MT, millions de tonnes)

1% = 10 000 ppm

Métal	Teneur moyenne dans la croûte terrestre (en %)	Teneur moyenne d'exploitation (en %)	Facteur de concentration	Taille d'un grand gisement	Prix du kilogramme US\$(2014)
Aluminium	5,13	30	4	40 Mt	2
Fer	5	60	12	100 Mt	0,1
Cuivre	55 ppm 0,0055	0,5	22	4 Mt	6,6
Terres rares	(190 ppm) 0,019	1,6	84	100 000 t	4-500
Or 0,005 ppm = 5 ppb	0,00000005	0,00023	460	200 t	44 000
Uranium	0,0002	0,1	500	20 000 t	77
Zinc	0,007	4	600	2 Mt	2,2
Étain 2 ppm	0,0002	1	5 000	50 000 t	20
Argent 0,1 ppm	0,00001	0,05	5 000	5 000 t	614

# LA TRANSITION ET LES METAUX



80 kg Li = 4000t de roches à 20ppm  
60 kg Cu  
50 kg graphite  
... REE

2024 : 1,2 milliards de voitures

⇒ autant de batteries

⇒ pour des voitures type Tesla, il faudra:

- 56 millions de tonnes de Ni,
- 6,6 millions de tonnes de Mn,
- 7,1 millions de tonnes de Co,
- 88 millions de tonnes de Cu,

...

⇒ 'Deep Sea Mining'?

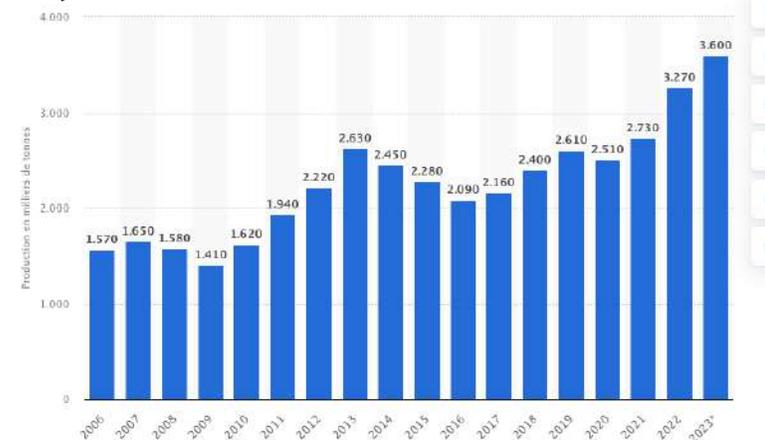
⇒ Boues à REE 500-2200 ppm >< 190

⇒ REE 100Gt = ajout >> 500 années de réserves)

Production minière de nickel dans le monde de 2006 à 2023

(en milliers de tonnes)

**3,6 millions de tonnes en 2023**



# LES MINES et les déchets

300m



© Dillon Marsh, photographe, dillonmarsh.com

La sphère représente la quantité de cuivre produite par la mine de Palabora en Afrique du Sud jusqu'à 2007, le reste n'étant que stériles. La mine atteint une profondeur de 300m environ.

## Mines = déchets (tailings/stériles)

UN EXEMPLE

Rio Tinto (Espagne)

1873-2001

0,4% chalcopirite

$\text{CuFeS}_2$  avec 34,5%Cu

Déchets 99,6%

berges fleuve pH1,8

...

Les déchets ne peuvent  
qu'augmenter  
avec la baisse des teneurs

## LES MINES et les déchets

### EXEMPLE D'UNE GRANDE MINE DE CUIVRE

(programme pour l'environnement des Nations Unies, 2017)

Extraction **quotidienne** => 270 000t/j => 180 000t stérile/j et 90 000t/j minerai à traiter

Utilisation 114 000m<sup>3</sup> eau/j => **1750t/j** de concentrés = **0,6% du total**

⇒ raffinage avec production de déchets sous forme de scories et de boue (= 20t/j de 'résidus')

avec réutilisation d'une partie de l'eau. Environ 200 000t de résidus souvent toxiques sont déversés chaque jour souvent pendant 20 ans et laissés sur le site après la fermeture de la mine.



Comme les teneurs baissent, les volumes extraits –et donc les stériles- augmentent considérablement  
Rio Tinto : Cu à 2% (début XX<sup>e</sup>) => ensuite 0,4% (nécessite 17% de plus d'énergie/t) et quantité de déchets = **X75!**  
=> accumulations et ruptures de barrage ...

## LES MINES et les déchets

### PROJET DE MINE DE LITHIUM DANS L'ALLIER (à ECHASSIERES) intérêt national supérieur (FR) pour la transition énergétique

Présenté en 2022 => mise en œuvre fin 2028

= Mine responsable? Transport souterrain du minerai, 90% recyclage de l'eau, valorisation déchets ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{SO}_4$ ...)

MAIS déchets >>> ressources: 2,1 millions t de granite/an (*aussi à stocker*) => 34 000 t d'hydroxyde de Li (soit 0,16%)

But: équiper 700 000 voitures/an

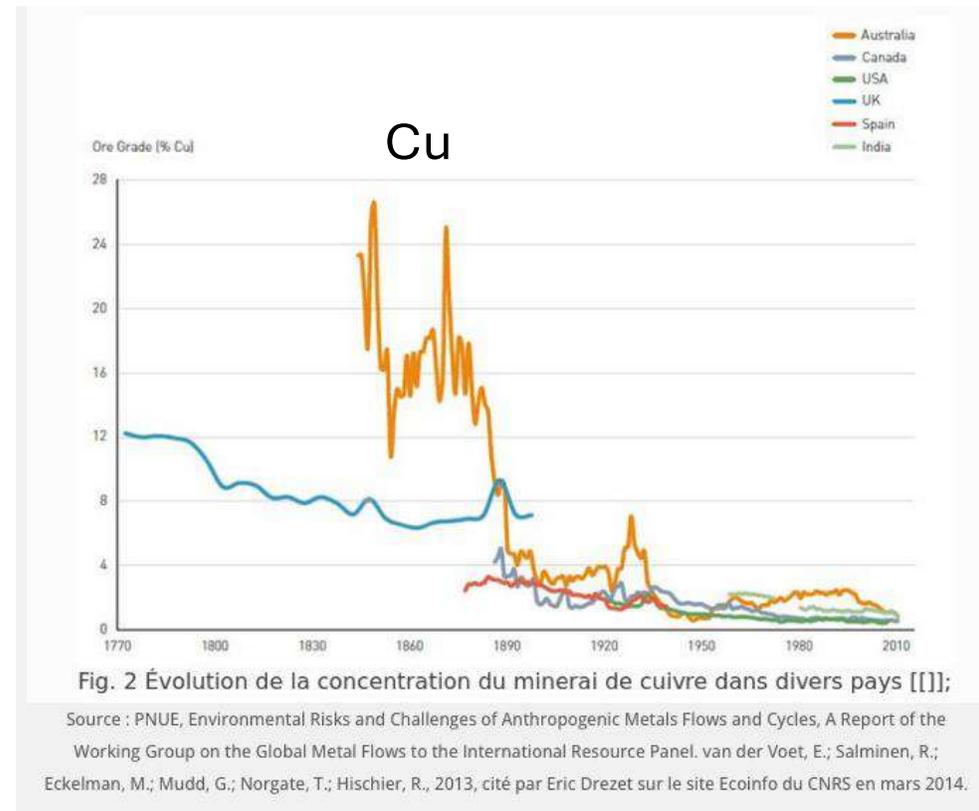


## LES MINES et les déchets

**Les teneurs en minerais ou éléments critiques ne cessent de diminuer**

Logique : on a d'abord exploité les gisements plus riches et les plus faciles  
(idem hydrocarbures, 'peak oil')

⇒ mines plus profondes, plus étendues, **augmentation des déchets** etc.<> technologies

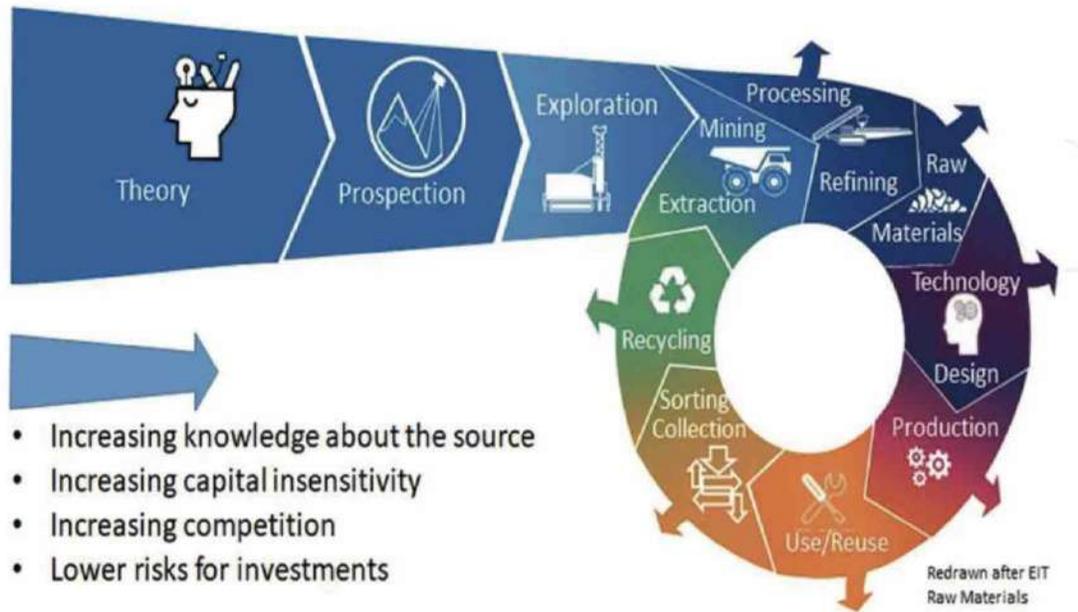


Exemple : La teneur moyenne du minerai de cuivre chilien a diminué de 30% au cours des 30 dernières années

(AIE, 2021)

# LES MINES, un temps long

Activité à risques: 1% des projets miniers sont rentables à long terme



- Increasing knowledge about the source
- Increasing capital insensitivity
- Increasing competition
- Lower risks for investments

Wittenberg, 2023

**PROSPECTION - EXPLORATION** : phase longue et coûteuse **17 ans en moyenne** (4 ans pour le Li dans les salars, 20 ans pour le Ni...)

- 145 des 228 dépôts de Cu identifiés en 1990 ne sont pas toujours en production
- 2021: permis Finlande, Serbie, Espagne, Irlande, Pologne, Portugal
- On compte 626 permis de recherche en Norvège, 586 en Suède

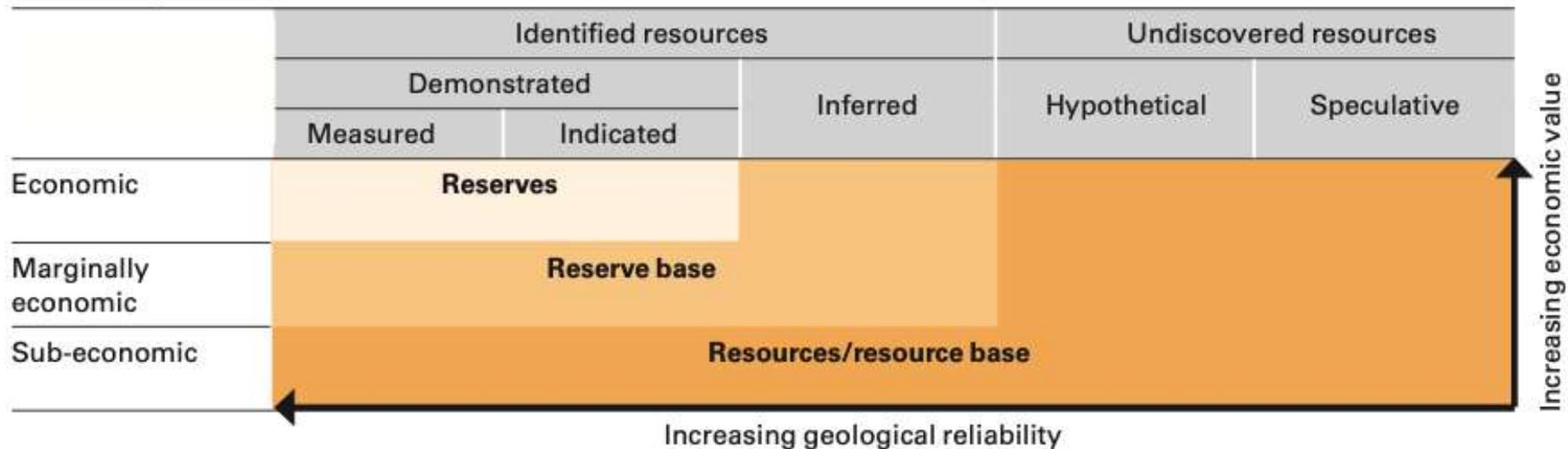
## EN TERMES REELS

**Sur 1000 dépôts découverts, 1 ou 2 deviennent des mines**  
**Sur 10 mines productrices, 2 ou 3 feront faillite**

## LES MINES, un temps long

La notion de réserve est dynamique, varie en fonction du temps, surtout des prix sur le marché

Relationship between resources and reserves



Source: Adapted from USGS Bulletin 1450-A.

Règle des 3P: 1P-2P-3P. Exemple diminution 1P si coût augmente => augmentation 2P

Pour les métaux et REE: nombreuses incertitudes

- niveau des réserves et extension des réserves = actualisation constante (ex BP)

## LES MINES, un temps long

Les réserves 1P (2P, 3P) augmentent cf exploration surtout géophysique à échelle régionale et ‘technologie’

Les réserves 1P (2P, 3P) diminuent cf production

+ rôle du politique

Nb Ressource augmente en fonction de l’exploration (géologie-géophysique à grande échelle)

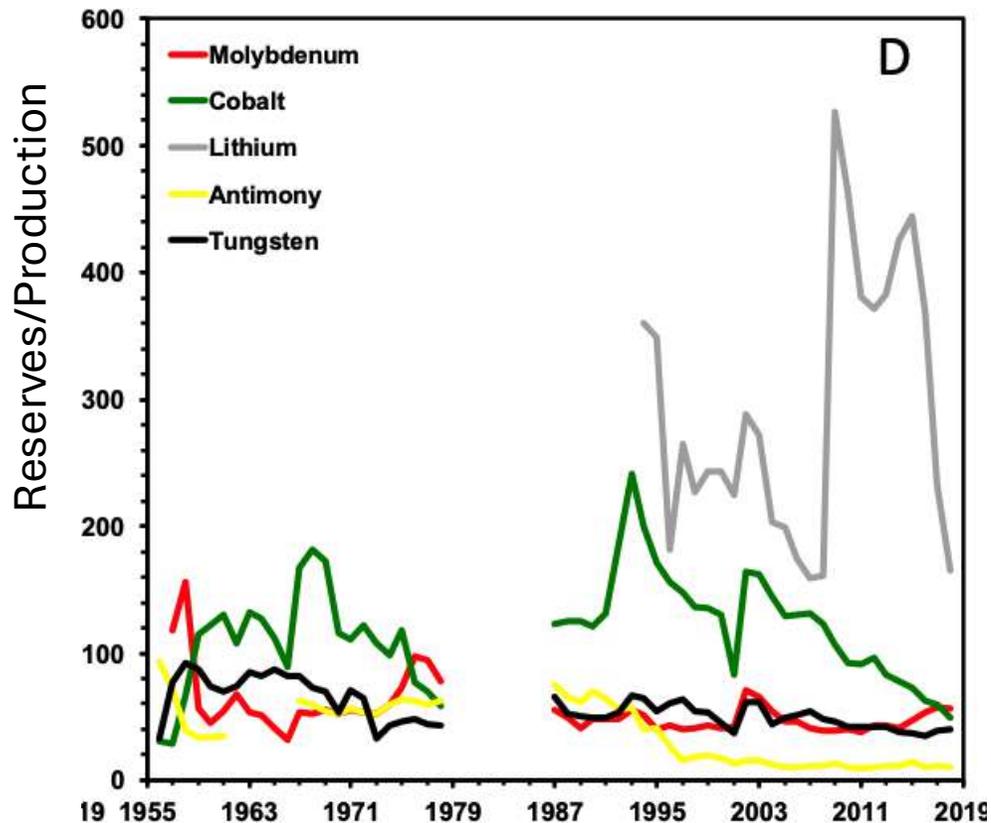


Tableau 4: Ratio de réserves/production pour une sélection de matières premières

	1995	2009	2016	2021
Cuivre	32	40	37	42
Pétrole	41	42	50,6	53,5
Minerai de fer	150	71	60	70
Lithium	350	550	400	220
Terres rares	1390	744	952	428
Nickel	45	51	34	35
Cobalt	181	91	56	44

Sources : BP Statistical Review 2022, USGS (2022), calculs des auteurs.

## EU: GEOLOGIE PROSPECTIVE

- UE importe >90% des REE depuis la, Chine, les réserves en REE de l'Europe = <1% réserves mondiales **et est très vulnérable => >2018 développement de nombreux programmes d'estimation du potentiel (Mineral4EU, EURare, Comes, Mima, ERA-MIN, ERECON ...)**

**Résultat : EU a un bon potentiel en REE (surtout Groenland), quelques gisements sont repérés et leurs ressources estimées**

=> Pour les autres métaux : EU fort dépendante => diversification des sources d'approvisionnement (gisements/mines), ? réutilisation déchets (anciennes mines) et ?recyclage

⇒ mais surtout retrouver la maîtrise du raffinage (entièrement aux mains de la Chine)

⇒ Ex: la Chine produit 1% du Co mais raffine 2/3 du Co mondial (idem Cu...)

- Ex: 2020 USA ont fourni une aide de 40 millions US\$ pour la construction de deux usines de séparation des REE sur le sol américain = '**Intérêt National**'
- Ex: 2021 Projet Dubbo (Australie), construction d'une usine pour maîtriser à long terme toute la filière REE (Nd, Pr, Te, Dy, Zr, Nb, Hf ...) = '**Intérêt National**'

## EU: GEOLOGIE PROSPECTIVE

UE : première exploitation mondiale de REE Ce (4500t) 1888 (Bastnäs-Bergslagen, Suède)  
Fermeture 1979; première mention en 1692 (pour le Fe)

- **Auj: aucune mine de REE sur le Vieux continent (excepté Lovozero en Russie)**

Auj : pas de certitude sur la viabilité économique de l'exploitation de REE en Europe et au Groenland

- études économiques trop peu nombreuses, pas de comparaison avec les grands gisements mondiaux => les compagnies hésitent à investir, **car le point clé est l'équilibre entre la technologie extractive et l'impact environnemental**

- Le Groenland est riche du point de vue minier (cf. Trump!) : surtout en gisements de REE contenant aussi U et Th (radioactifs) => interdiction d'exploiter les REE par le gouvernement groenlandais

## EU: LES PROGRAMMES GEOLOGIQUES - EURARE



[About EURARE](#) [Events](#) [News](#) [Partners](#) [Publications & downloads](#) [Useful links](#) [Contact us](#)

[Home](#)

EURARE

[What are Rare Earth Elements?](#)  
[Rare Earth Element deposits in Europe](#)  
[Sustainable European REE Exploitation Technologies](#)  
[Regulation in the REE industry](#)

### Welcome to EURARE

EURARE was a project funded by the European Commission for the 'Development of a sustainable exploitation scheme for Europe's Rare Earth ore deposits'.

The rare earth elements (REE) are vital components of many modern technologies, including electric and conventional cars, computers and smartphones, renewable energy infrastructure, and phosphor lighting.

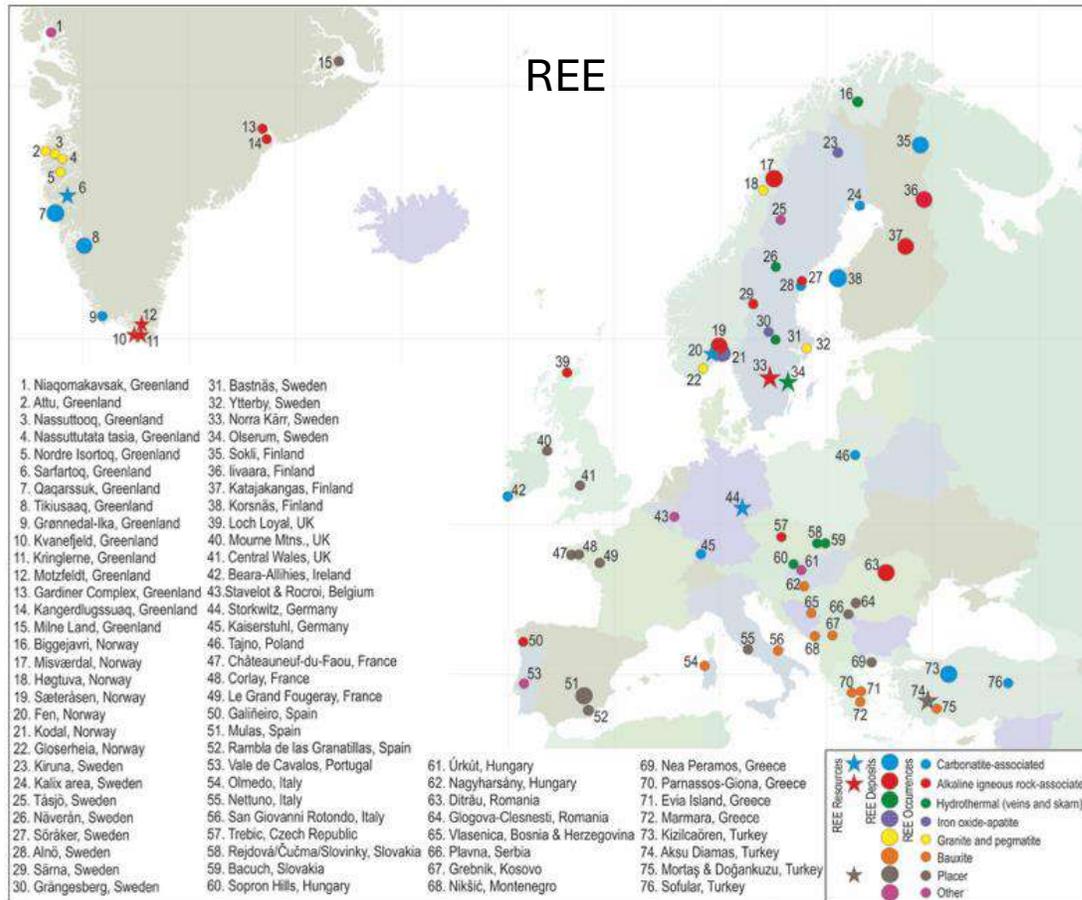
The main goal of the EURARE project was to set the basis for the development of a European REE industry that will safeguard the uninterrupted supply of REE raw materials and products crucial for the EU economy industrial sectors, such as automotive, electronics, machinery and chemicals, in a sustainable, economically viable and environmentally friendly way.

The EURARE project included work packages on [geological resources](#), mining and [beneficiation, extraction and separation of the REE](#), and [regulation](#). For more information, see [About EURARE](#).

PROJET EURARE

[https://www.eurare.org/docs/EURAREbrochure\\_vfinal.pdf](https://www.eurare.org/docs/EURAREbrochure_vfinal.pdf)

# EU: LES PROGRAMMES GEOLOGIQUES - EURARE



## BOUCLIER BALTIQUE

U, Fe, Ni, P, Cu, REE

‘ARCTIC LAND RUSH’

Perspectives suite à l’ouverture de nouvelles routes maritimes? (réchauffement climatique)

Figure 3 REE resources, deposits and occurrences in Europe recognised by the EURARE project. Resources are those deposits that have been explored in enough detail to have publicly available resource estimates (Table 3). ©NERC.

## EU: LES PROGRAMMES GEOLOGIQUES (REE) - EURARE

### Actuellement pas de mines de production de REE

mais l'Europe possède différents ensembles géologiques avec des ressources identifiées

- ⇒ Roches alcalines ignées dans le SO du [Groenland](#) (Province de Gardar) actuellement en exploration (projets de Kvanefjeld et Kringlerme)
- ⇒ Bouclier Fenno-Scandinave
  - carbonatites en [Norvège](#) (Fen), en [Finlande](#) (Sokli)
  - syénites en [Suède](#) (Norra Kärr)
- ⇒ Placers (alluvions d'accumulations de minéraux lourds) en [Grèce](#) et [Serbie](#)
- ⇒ Autres 'indices' ou occurrences à objectiver (France ...)

[L'Arctique dans sa globalité est la deuxième zone mondiale à haut potentiel pour les REE](#)

## Découverte du plus gros gisement européen de terres rares : quelles conséquences pour l'approvisionnement européen ?

Interview 18 janvier 2023

Le point de vue de Emmanuel Hache *IRIS*

Groupe minier LKAB Suède (gisement de Per Geijer, en Laponie): 1million de tonnes d'oxydes de REE +P, Fe... (près de 1% réserves mondiales) => production et vente REE d'ici 10 à 15 ans

# EU: LES PROGRAMMES GEOLOGIQUES (REE) - EURARE

## CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EUROPEAN UNION

### Primary commodity

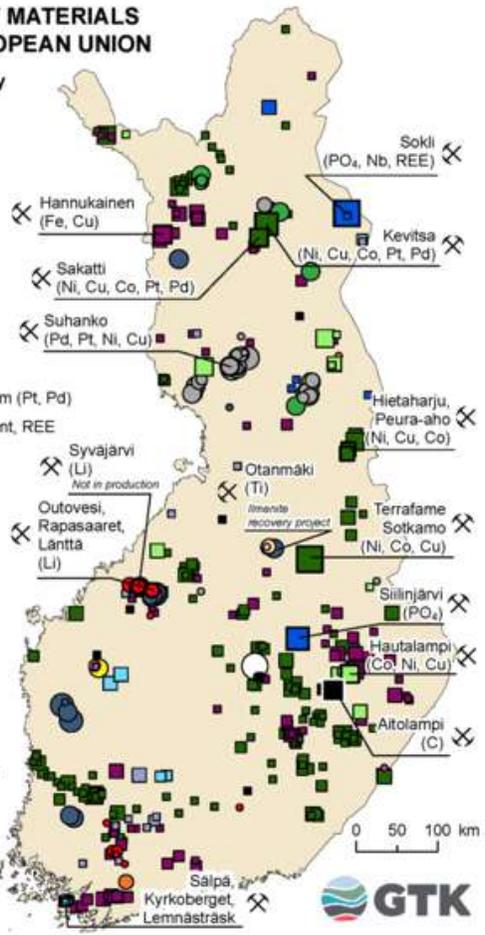
- Antimony (Sb)
- Beryllium (Be)
- Phosphate (PO<sub>4</sub>)
- Graphite (C)
- Cobalt (Co)
- Copper (Cu)
- Lithium (Li)
- Feldspar
- Nickel (Ni)
- Niobium (Nb)
- Platinum, palladium (Pt, Pd)
- Rare Earth Element, REE
- Scandium (Sc)
- Titanium (Ti)
- Vanadium (V)
- Tungsten (W)

- ### Size\*
- Very large
  - Large
  - Medium
  - Small
  - Very small
  - Unknown

\*Remaining + extracted amount of the commodity

- ✂ Mine
- ✂ Mine project
- ✂ Advanced exploration project

6.3.2024



## FINLANDE

### Mines, projets miniers, projets d'exploration

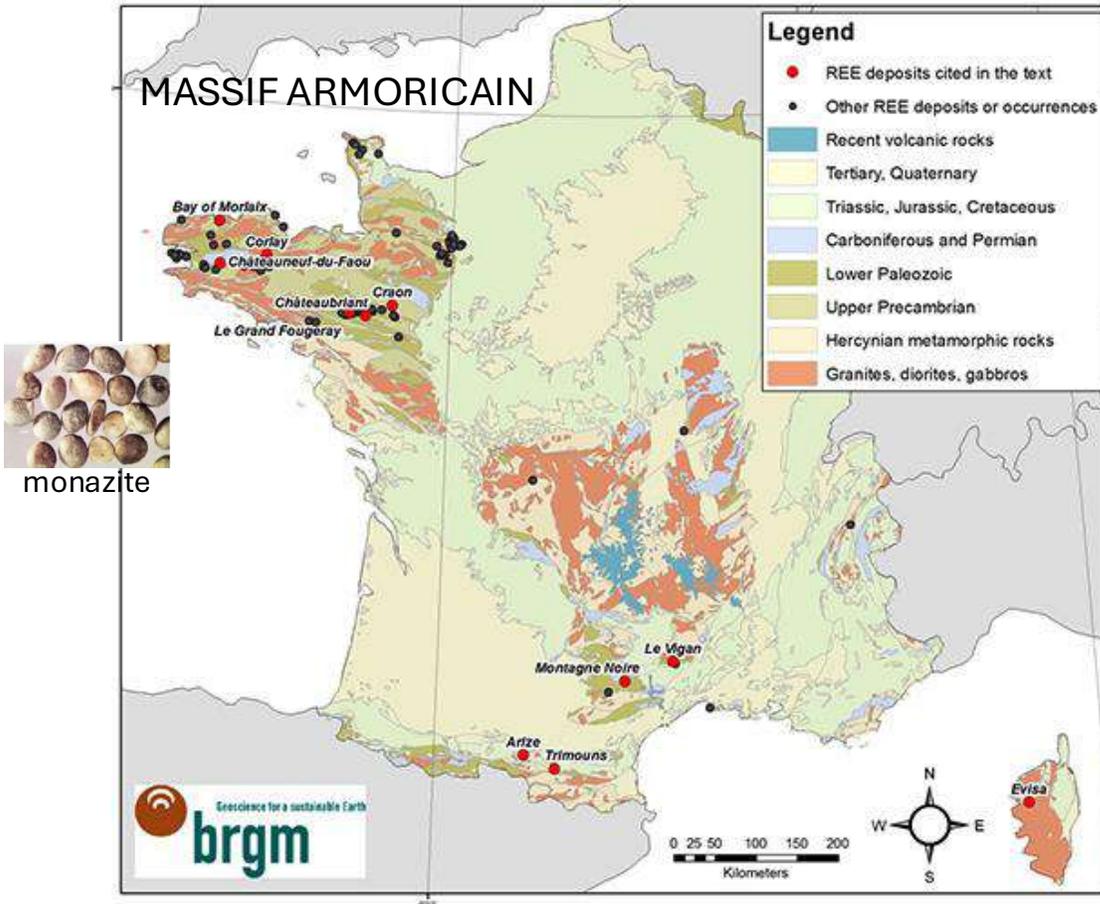
A mining project here refers to a project that the company actively promotes towards starting mining production and whose planning has advanced to the point where the contact authority has announced the project's EIA programme. In the advanced exploration project, these conditions have not yet been met.

Critical raw materials produced from the Finnish mines are:

- Phosphate (Silinjärvi)
- Cobalt (Terrafame, Kevitsa)
- Copper (Kevitsa, Terrafame)
- Nickel (Terrafame, Kevitsa)
- Platinum and Palladium (Kevitsa)
- Feldspar (Sälpä, Kyrkoberget, Lemnästrask)

Note: Lithium is not yet produced, although on the map Syväjärvi has already been marked as a working mine.

## EU: LES PROGRAMMES GEOLOGIQUES (REE) - EURARE



### REE

- ?Potentiel : magmatisme alcalin Massif Central, Pyrénées, Corse
- **Dépôt identifié** : uniquement nodules de monazite détritique dans les shales de Bretagne Centrale
- Enrichissements dans placers de black shales carbonifères ou ordoviciens et dans le socle/craton néoprotérozoïque.

Ex: Le placer de Grand-Fougeray (nodules de monazite dans shales ordoviciens)

Tonnages modestes: 2 à 2,6 kg/t de monazite

⇒ **exceptionnellement riche en Eu** (0,2 à 1%  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ )

⇒ **Nd** (13-14%  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ )

⇒ **Pauvre en Th** (<1%  $\text{ThO}_2$ )

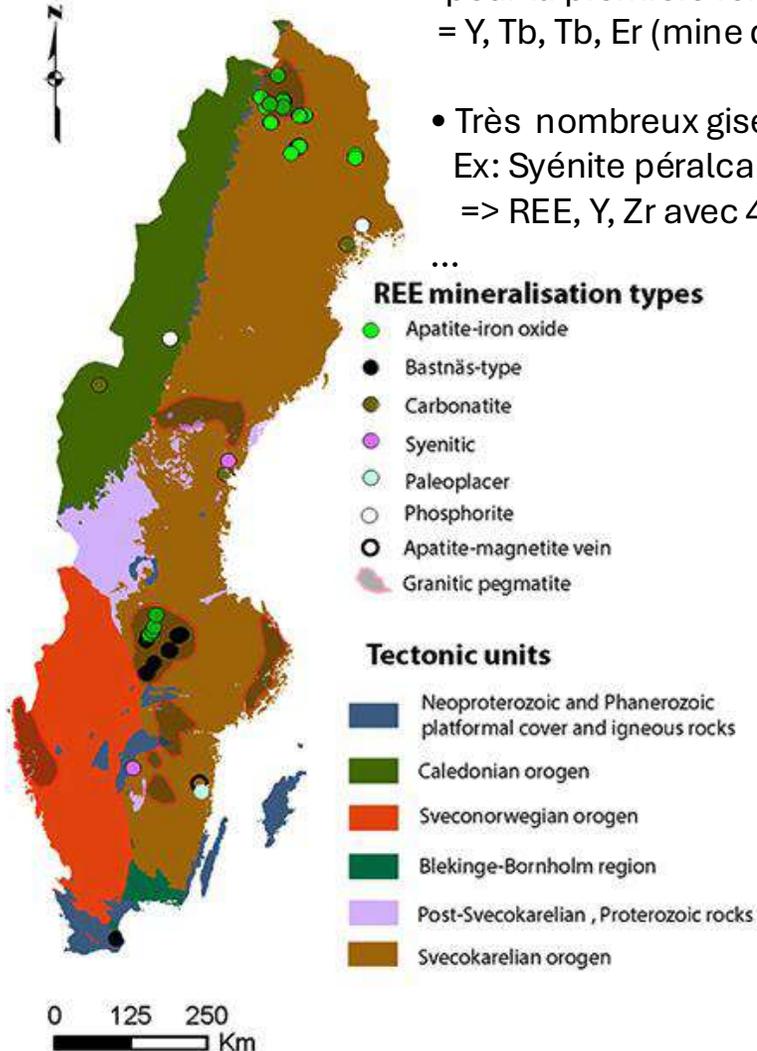
Exploitation en 1967-1968 => 78t de monazite

Récemment: nouvelles analyses => 0,25% Dy et 0,1% Tb

Autres occurrences mais pas intéressantes (Massif Central, Estérel, Ardenne)

## EU: LES PROGRAMMES GEOLOGIQUES (REE) - EURARE

- Suède = 'pays des REE' car les LREE e HREE furent découvertes ensemble pour la première fois à la fin 18<sup>ème</sup> (Ce déjà en 1804)  
= Y, Tb, Tb, Er (mine de Ytterby, près de Stockholm) + Ho (Stockholm).
- Très nombreux gisements de différents types => nombreuses REE découvertes en Suède  
Ex: Syénite péralcaline (intrusion mésoPz)  
=> REE, Y, Zr avec 41,6 millions t contenant 0,57% d'oxydes de REE



## About EURARE

The main goal of the EURARE project was to set the basis for the development of a European Rare Earth Element (REE) industry. Establishment of an REE value chain in Europe would safeguard the uninterrupted supply of REE raw materials and products crucial for sectors of the EU economy (including automotive, electronics, machinery and chemicals) in a sustainable, economically viable and environmentally friendly way.

EURARE Home

Rare Earth Element deposits in Europe

Map of European REE mineralisation

REE mineralisation in the UK and Ireland

REE mineralisation in Finland

REE mineralisation in France

REE mineralisation in Greenland

REE mineralisation in Norway

REE mineralisation in Spain & Portugal

REE mineralisation in Sweden

REE mineralisation in Turkey

REE mineralisation in circum-Mediterranean Bauxites

## Découverte du plus gros gisement européen de terres rares : quelles conséquences pour l'approvisionnement européen ?

Interview 18 janvier 2023

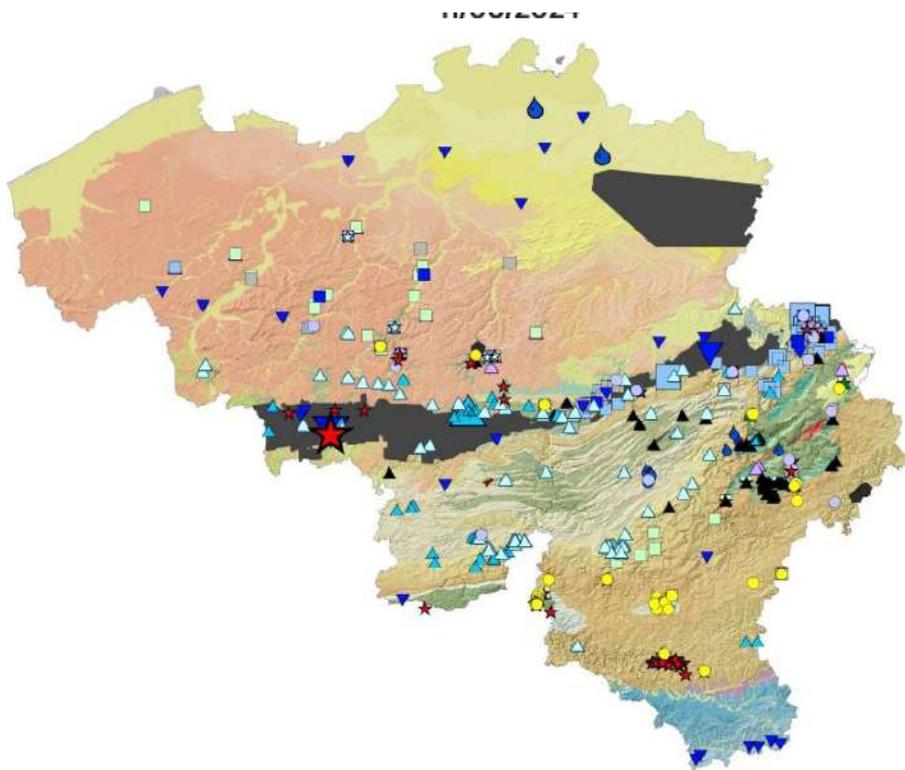
Le point de vue de Emmanuel Hache

<https://www.iris-france.org/173030-decouverte-du-plus-gros-gisement-europeen-de-terres-rares-quelles-consequences-pour-lapprovisionnement-europeen/>

<https://www.eurare.org/countries/sweden.html>

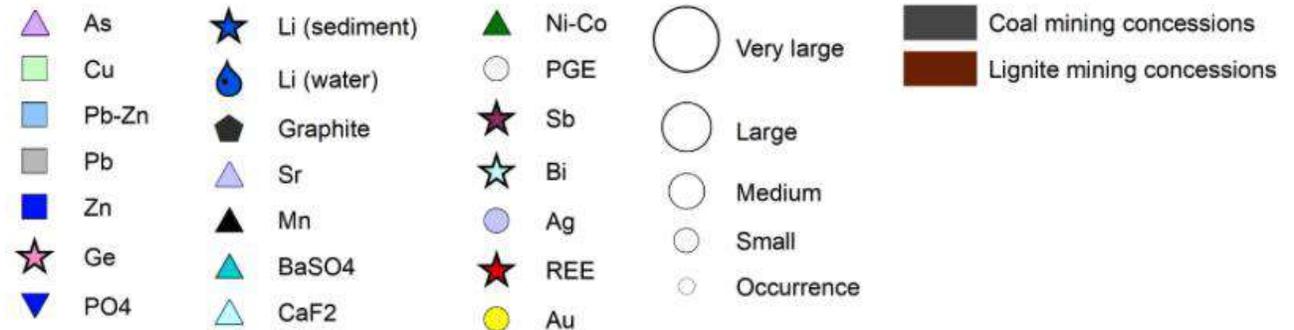
# New Atlas shows where to find Critical Raw Materials in Belgium

11/06/2024



- Massif Stavelot Mn, Li
- Bassin de Mons deuxième réserve européenne de phosphate =?REE  
⇒ Agriculture et batteries Li-Fe-PO<sub>4</sub>
- Est Belgique et le long de la Meuse Pb, Zn +?? In,?? Ga, ??Ge
- Massif Brabant: dépôts de sulfures avec Cu, Bi, As
- Anciennes mines => déchets ('métaux')
- Eau géothermale profonde contient du Li

## Legend



Map of Belgium with the locations and estimated quantities of some critical and important raw materials. (Image: RBINS)

## CONCLUSION

- Les réserves sont aujourd'hui insuffisantes pour Cu, Zn, Ni, Co et REE (cf <https://eurometaux.eu/> et IFPEN, <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr>) => il faut ouvrir **rapidement** (< 5ans) environ 70 mines (taille équivalente à la moyenne mondiale actuelle) pour Li, pour Ni... et 80 pour le Cu (AIE, 2023)
- La question n'est pas tant savoir s'il y a assez de métaux dans le sous-sol pour réaliser la transition, que de les extraire **à la vitesse de développement fixée**. Ce rythme est imposé par la réduction du CO<sub>2</sub> (**NetZéro-CO<sub>2</sub>**) en 2050
- Il faut aller vite? (mines = 17ans) => investissements risqués (science et géopolitique) => financements difficiles AIE 2023: il faut investir \$180 milliards/an , soit deux fois les investissements actuels
- Coût? Il s'agit en gros d'un ajout aux secteurs traditionnels => hausse des coûts

## CONCLUSION



Débats

### « Nous dénonçons le développement à marche forcée des énergies renouvelables »

TRIBUNE. Henri Proglio, Louis Gallois... Dans une lettre ouverte, 10 anciens dirigeants alertent le Premier ministre Michel Barnier, et dénoncent une politique ruineuse de développement massif des renouvelables.

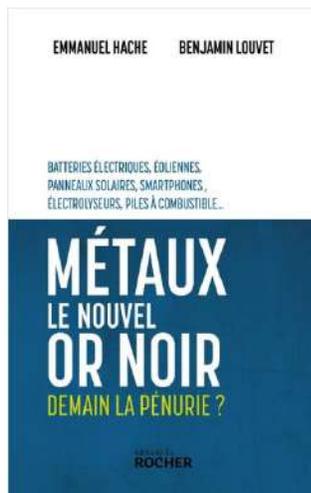
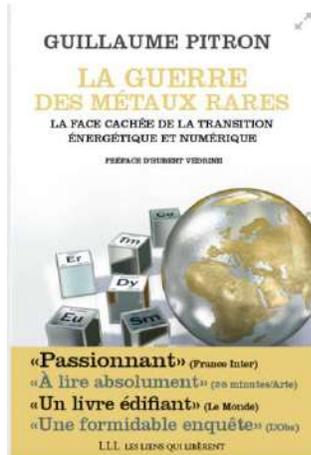
Par Collectif\*

Publié le 01/12/2024 à 08h00

[Nous, anciens ministres, anciens parlementaires, anciens dirigeants d'entreprises et de production d'électricité, animateurs de centres de réflexion et spécialistes des questions énergétiques](#), dénonçons par cette lettre, l'extrême gravité pour la France de poursuivre la politique énergétique proposée par le projet de Programmation Pluriannuelle de l'Énergie récemment publié par la DGEC.

Nous dénonçons la poursuite à marche forcée d'installation d'éoliennes marines ou terrestres, ou de panneaux solaires qui ne servent en aucun cas à la décarbonation de notre pays [puisque, grâce au nucléaire et à l'hydraulique, l'électricité y est abondante et déjà décarbonée à 95 %.](#)

## CONCLUSION



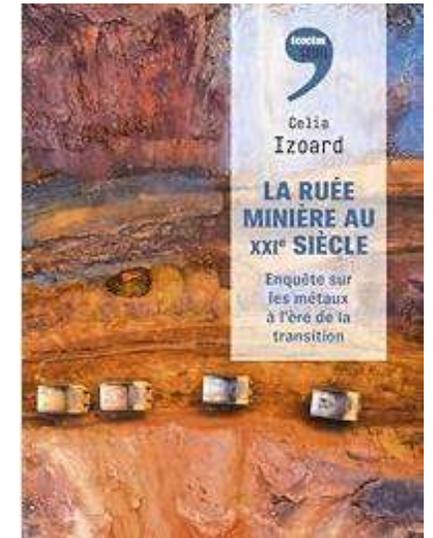
‘Au fond, nous ne réglons en rien le défi de l’impact de l’activité humaine sur les écosystèmes nous ne faisons que le déplacer’ (Piétron, 2018).

‘L’argument de la préservation des **forêts** a vaincu les résistances d’une partie des élites à l’usage du charbon XIXs. => aujourd’hui l’industrie minière, contestée pour ses impacts destructeurs est plébiscitée comme un moyen de préserver le climat’ (Izoard, 2024)

⇒ Après le remplacement des forêts, du charbon du pétrole, du gaz ... aujourd’hui les métaux ...

⇒ extraire des métaux est source de pollutions (**en plus**)

⇒ **l’histoire des transitions est une histoire d’additions d’énergie et de pollutions**



## CONCLUSION



RAPPORT SysText SUR LES CONTROVERSES MINIERES (2023)  
'La mine 'durable' ou 'responsable' n'existe pas'  
<https://www.systext.org/node/1937>



*Association SYSTEXT 2023 (Igr miniers, Igr géologues)*

...

*'Les projets de transition énergétique fondés sur des technologies dites propres ou vertes actuellement portés par nos décideur·euse·s politiques, tendent à masquer ou à minimiser la réalité des impacts de l'industrie minière'*

...

...

## CONCLUSION

**CNRS Terre & Univers – 22 avril 2022**

**Le paradoxe des terres rares : une industrie particulièrement polluante**

« [Penser que l'on peut avoir des énergies vertes sans déchets ou sans impact environnemental est aujourd'hui un leurre.](#) » Dans le cadre de la transition énergétique, nos pays vont continuer à se tourner vers les « énergies vertes ». Nous allons donc continuer à avoir besoin de terres rares. La recherche doit également inventer de nouvelles manières d'extraire les terres rares pour limiter l'impact environnemental et les conséquences sur la santé humaine.

# CONCLUSION

Juillet 2024

**La transition à marches forcées vers la motorisation électrique en Europe se heurte à des oppositions grandissantes et provoque une vague de fermetures d'usines et de licenciements. La nouvelle Commission européenne, qui entre en fonction au début de l'année prochaine, semble commencer à comprendre les conséquences mal mesurées des décisions imposées. Reste à savoir, si c'est seulement pour obtenir dans les prochaines semaines les bonnes grâces des parlementaires européens et des gouvernements.**

La pression économique et politique pour reporter l'échéance de l'interdiction en Europe de la vente de véhicules neufs à moteur thermique ne cesse de grandir sur la Commission européenne.

Mais même si l'industrie automobile européenne est confrontée à une crise existentielle, la plus grave depuis 80 ans, les eurocrates ne veulent surtout pas admettre s'être lourdement trompés et ne pas avoir mesuré, une fois encore, les conséquences des décisions qu'ils imposent. **Le fameux nouveau pacte vert européen lancé en fanfare en juillet 2021 par la Commission et par sa présidente Ursula von der Leyen, ce sont des milliers de pages de normes et de réglementations.** Il est vrai que les commissaires et les fonctionnaires européens sont par nature irresponsables devant les populations et les électeurs.

<https://www.transitionsenergies.com/pacte-vert-europeen-delire-technocratique/>

## CONCLUSION

IREF : Institut de Recherches Economiques et Fiscales (décembre 2024)

« Nous devons garder le cap sur les objectifs du Pacte vert européen et nous allons le faire », déclarait [Ursula von der Leyen](#) le [27 novembre](#), à l'aube de son second mandat. Derrière cet entêtement affiché, les contradictions du Pacte vert s'accumulent, tout comme les retards et les critiques. Même au sein du Parti populaire européen (PPE), dont von der Leyen est présidente, le scepticisme grandit... »

Judith Curry, 2024 Climatologue américaine

**« Les gens ont moins envie d'agir pour la transition énergétique s'ils ne voient ni à quoi ça mène, ni en quoi cela améliorera leur avenir »**

[https://fr.irefeurope.org/publications/les-pendules-a-lheure/article/climat-le-pacte-vert-est-un-piege-pour-leurope/?utm\\_source=IREF&utm\\_campaign=210204daea-EMAIL\\_CAMPAIGN\\_2024\\_12\\_08\\_03\\_00&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_-210204daea-522510039](https://fr.irefeurope.org/publications/les-pendules-a-lheure/article/climat-le-pacte-vert-est-un-piege-pour-leurope/?utm_source=IREF&utm_campaign=210204daea-EMAIL_CAMPAIGN_2024_12_08_03_00&utm_medium=email&utm_term=0_-210204daea-522510039)

<https://www.science-climat-energie.be>

Préat A. Les métaux sales de l'énergie propre ou la face cachée de la transition énergétique. [06/2018](#)

<https://www.science-climat-energie.be/2018/06/09/les-metaux-sales-de-lenergie-propre-ou-la-face-cachee-de-transition-energetique/>

alain.preat@ulb.be