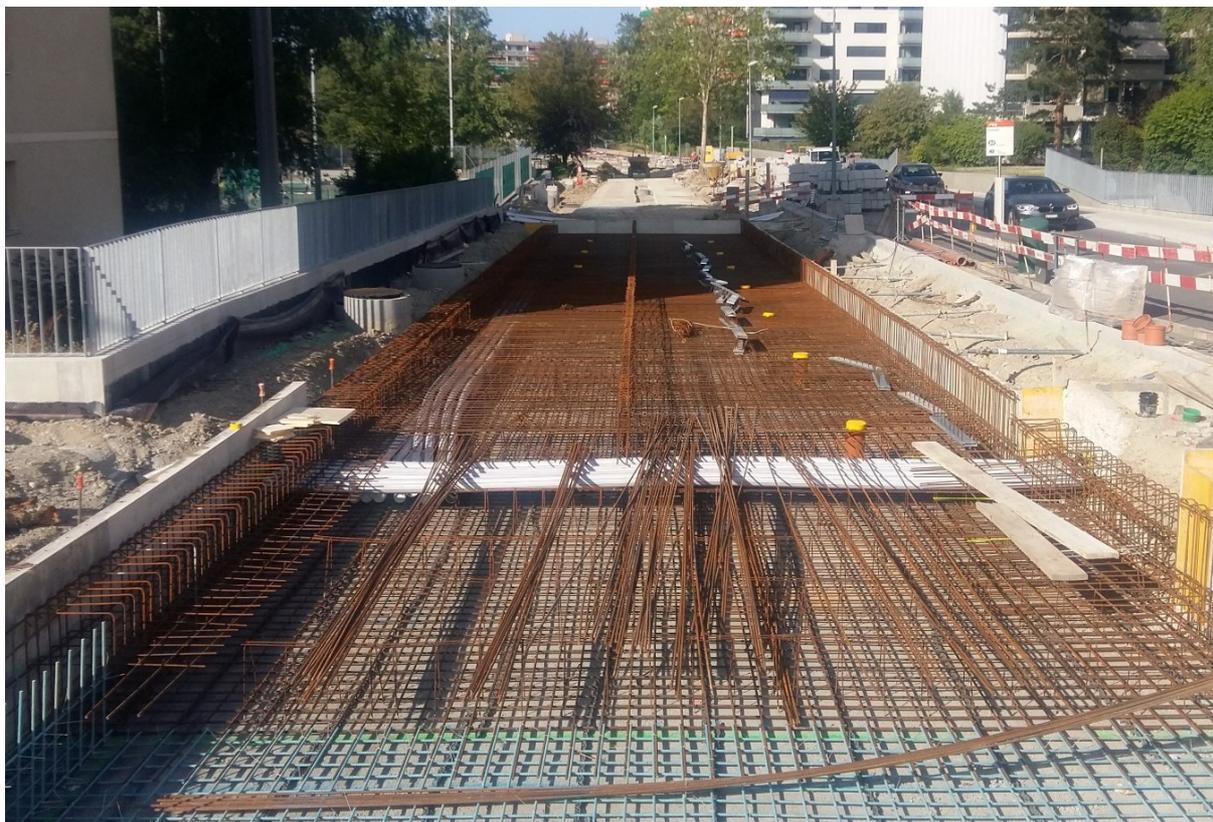




Y a-t-il une transition énergétique possible dans un monde de raréfaction des ressources ?

Mai 2024



Le béton est la première ressource consommée sur terre devant l'eau potable et ce, particulièrement chez nous. Celui-ci est composé notamment d'eau et de sable. Si la raréfaction progressive de l'eau utilisable sur la planète est déjà bien connue, la pénurie de sable de construction qui s'annonce l'est un peu moins. Pour le moment, en Suisse, nous ne manquerons pas de si tôt de l'un ou de l'autre. A l'inverse, notre sous-sol est relativement pauvre en minerais industriels, ce que nous savons heureusement compenser habilement par un savoir faire exceptionnel dans la transformation de matières premières en objets manufacturés à haute valeur ajoutée. Toutefois, avec l'augmentation de la demande mondiale, la « transition énergétique » entreprise par de nombreux pays mais aussi l'électrification à tous crins de la mobilité individuelle, la pression sur les approvisionnements en matériaux stratégiques et critiques ne va pas sans poser de nouveaux défis pour l'avenir. Si l'on évoque régulièrement les difficultés de production d'énergie faiblement carbonée destinée à remplacer le tout pétrole, on reste étrangement silencieux sur son corollaire, l'extraction des minerais. Que recouvrent au juste tous ces enjeux ?

Dans les grandes lignes

L'industrie électrique en général, et à plus forte raison, la production de véhicules électriques, est grande consommatrice de minerais divers en particulier de cuivre, le 3^e métal stratégique sur terre après l'or et l'argent. La production actuelle couvre à peine les besoins. La perspective de découvrir de nouveaux gisements rentables s'est évaporée depuis plusieurs décennies maintenant. Au surplus, le cas échéant, on prévoit au minimum une quinzaine d'années pour rendre exploitable un

gisement nouvellement découvert. Malheureusement les technologies vertes (éolien ou photovoltaïque principalement) sont elles aussi de grandes consommatrices de métaux rares et de terres rares (en fait, d'autres métaux encore plus rares dotés de propriétés exceptionnelles). La difficulté d'approvisionnement de ces matières dépend, d'une part, de leur rareté dans la croûte terrestre mais surtout de la demande, des besoins industriels et du taux de recyclage. Et ce, sans même aborder la question des disponibilités géostratégiques.



Un échiquier mondial

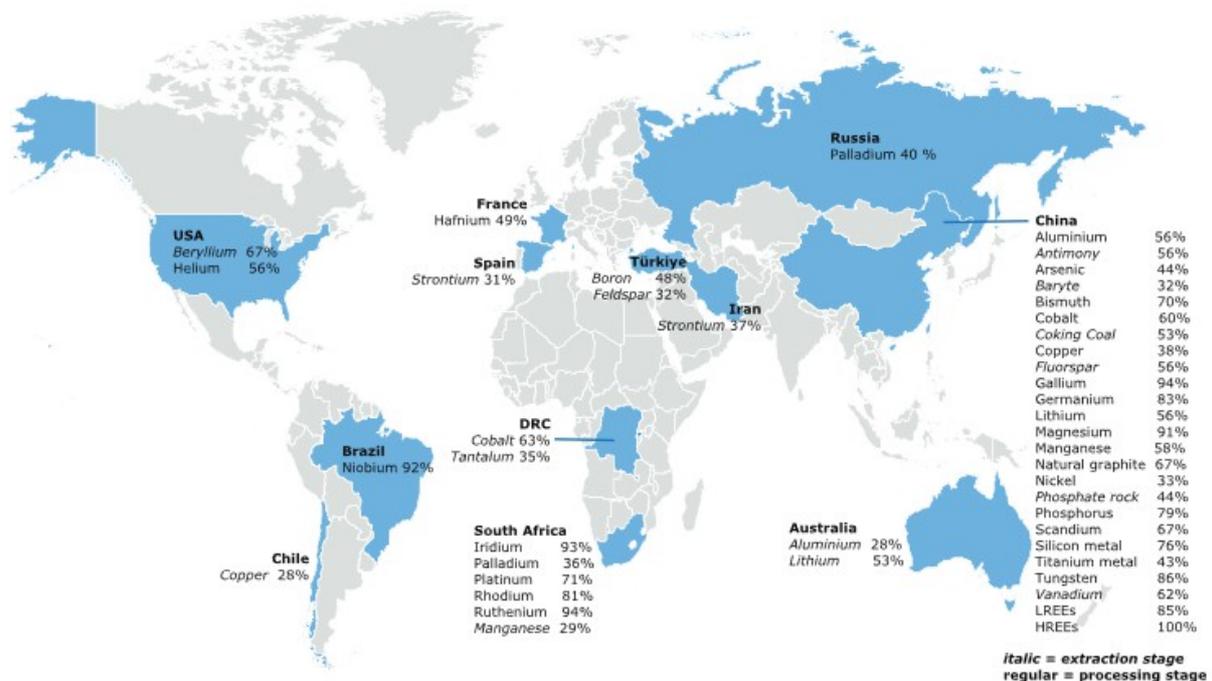
Pour comprendre les enjeux, il est important de bien distinguer différentes notions :

Les minerais stratégiques sont ceux qui sont nécessaires à un pays pour assurer ses conditions d'existence et sa défense. Ainsi, l'uranium pour la France, par exemple, est indispensable à son réseau énergétique et elle doit s'assurer d'un approvisionnement suffisant et régulier sans exclure une éventuelle intervention militaire si besoin...

Les minerais critiques sont ceux qui sont nécessaires à une économie pour bien fonctionner et rester compétitive. Il existe sur le marché mondial une quantité de minerais, de métaux et de terres rares considérés comme critiques et pour lesquels une compétition féroce entre les nations est un levier important de la

géostratégie et de la diplomatie mondiale.

Un des leviers les plus connus qu'un état peut exercer pour faire pression sur un autre est de décréter un embargo à l'exportation pour une matière donnée. Ainsi, dans les années 1930, les USA ont décrété un embargo sur l'exportation d'hélium vers l'Allemagne. Pour palier ce manque, l'Allemagne a dû utiliser de l'hydrogène (gaz très léger mais aussi extrêmement inflammable) pour faire voler ses zeppelins. La catastrophe du Hindenburg à Lakehurst, le 6 mai 1937, en est un tragique exemple bien connu. D'autres embargos, comme pour l'exportation du pétrole américain au Japon, à la même époque, qui a été à l'origine de l'expansionnisme de l'Empire du Soleil Levant, peuvent par voie de conséquence, être un motif suffisant pour le déclenchement d'une guerre de la part du pays lésé.



Extrait de « Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 », couverture.

Un marché très restreint

Un risque important concernant la disponibilité des minerais sur le marché mondial est la création de cartels par certains états, voire pire, d'un monopole exercé par une super puissance. Les pays producteurs quasi exclusifs de lithium sont en train de s'organiser en cartel pour exercer ainsi un contrôle unique sur les prix. De même, la volonté d'hégémonie et de toute puissance de la Chine l'a conduite dans des choix géostratégiques visant à s'assurer le contrôle sur l'extraction et le raffinage de 80 % des terres rares dans le monde. Un fabricant de téléphone portable souhaitant, par exemple, se pourvoir en tantale n'a pas d'autre solution que de bénéficier de la bienveillante caution de l'empire du Milieu pour lancer sa production. A elle seule, la Chine raffine

aussi 70% des métaux dans le monde. Difficile donc pour un gouvernement d'exercer une pression diplomatique sur ce pays sans en subir les conséquences pour son économie.

Ainsi, certains minerais indispensables au bon fonctionnement de l'économie mondiale sont concentrés entre quelques mains :

Selon diverses sources :

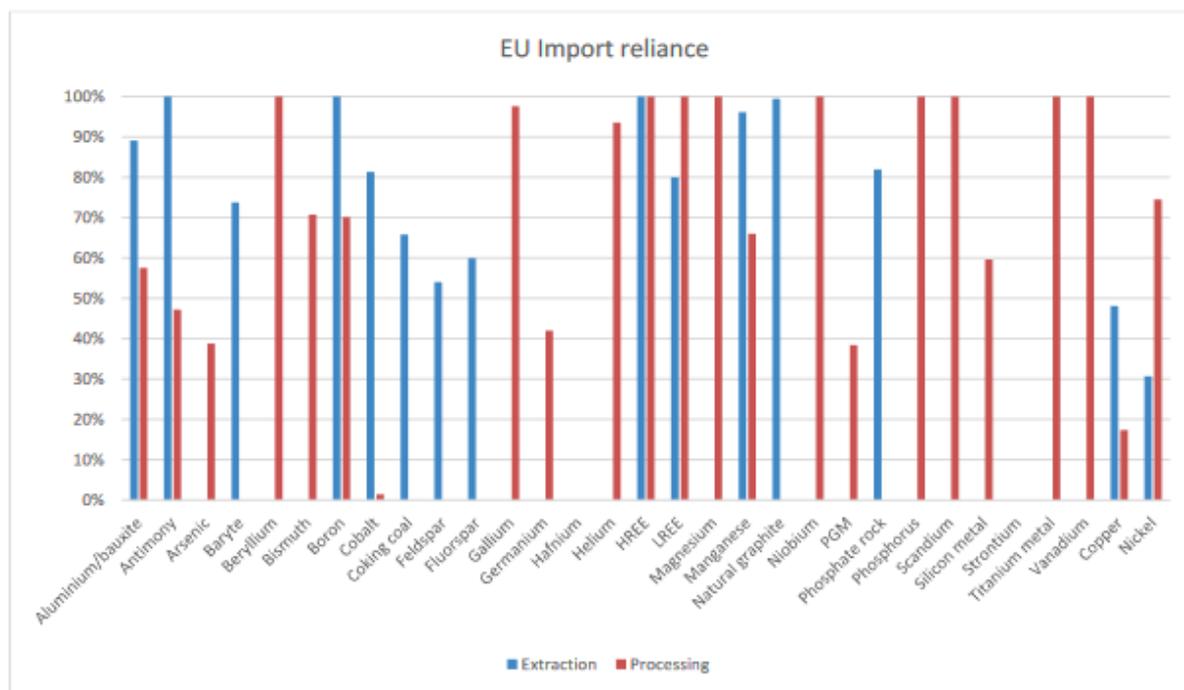
85% du lithium provient d'Amérique du Sud et d'Australie

80% des terres rares se trouve en mains chinoises

80% du platine s'extrait en Afrique du Sud

70% du cobalt est arraché à la terre de la République Démocratique du Congo (RDC)

Figure E: EU Import reliance for extracted and processed CRMs



Extrait de « Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 », p.10

Une question d'éthique

L'extraction d'une ressource ne va pas sans poser des problèmes de toute

sorte. Si tout le minerai extrait de RDC est expédié en Chine pour y être raffiné, les conditions d'exploitation sur place restent très dures. Exploitation des

populations locales avec un travail harassant pour un salaire de misère, travail des enfants, conditions de sécurité déplorables, exposition aux poussières cancérigènes sans protections adéquates, etc. Bref l'extraction du cobalt a aussi un coût humain élevé.

Côté pollution mais surtout en consommation d'eau, l'extraction du lithium, par exemple, est très gourmande. La production sur une

année dans le désert d'Atacama au Chili représente 430 milliards de litres d'eau potable consommés. Et ce, souvent au détriment des besoins des populations et de l'agriculture locales qui doivent tout simplement s'en passer. Autre exemple, on a aussi beaucoup parlé ces temps de l'entreprise TSMC qui fabrique la majorité des semi-conducteurs (puces électroniques) dans le monde. L'usine de Taïwan consomme à elle seule plus de 150 000 l d'eau par jour pour sa production.

Annex 4. Comparison of 2023 results and previous assessments

Table 15: Comparison of 2023 results and previous assessments³⁸

Criticality studies	2011		2014		2017		2020		2023	
	SR*	EI	SR*	EI	SR	EI	SR	EI	SR	EI
Aggregates	-	-	-	-	0.2	2.3	0.2	2.7	0.2	3.2
Aluminium	0.2	8.9	0.4	7.6	0.5	6.5	0.6	5.4	1.1	5.5
Antimony	2.6	5.8	2.5	7.1	4.3	4.3	2.0	4.8	1.8	5.4
Arsenic	-	-	-	-	-	-	1.2	2.6	1.9	2.9
Baryte	1.7	3.7	1.7	2.8	1.6	2.9	1.3	3.3	1.3	3.5
Bauxite ³⁹	0.3	9.5	0.6	8.6	2	2.6	2.1	2.9	-	-
Bentonite	0.3	5.5	0.4	4.6	0.2	2.1	0.5	2.8	0.4	3.1
Beryllium	1.3	6.2	1.5	6.7	2.4	3.9	2.3	4.2	1.8	5.4
Bismuth	-	-	-	-	3.8	3.6	2.2	4.0	1.9	5.7
Boron	0.6	5	1	5.7	3	3.1	3.2	3.5	3.6	3.9
Cadmium	-	-	-	-	-	-	0.3	4.2	0.2	4.1
Chromium	0.8	9.9	1	8.9	0.9	6.8	0.9	7.3	0.7	7.2
Cobalt	1.1	7.2	1.6	6.7	1.6	5.7	2.5	5.9	2.8	6.8
Coking coal	-	-	1.2	9	1	2.3	1.2	3.0	1.0	3.1
Copper	0.2	5.7	0.2	5.8	0.2	4.7	0.3	5.3	0.1	4.0
Diatomite	0.3	3.7	0.2	3	0.3	3.8	0.5	2.2	0.3	2.3
Feldspar	0.2	5.2	0.4	4.8	0.6	2.4	0.8	2.8	1.5	3.2
Fluorspar	1.6	7.5	1.7	7.2	1.3	4.2	1.2	3.3	1.1	3.8
Gallium	2.5	6.5	1.8	6.3	1.4	3.2	1.3	3.5	3.9	3.7
Germanium	2.7	6.3	1.9	5.5	1.9	3.5	3.9	3.5	1.8	3.6
Gold	-	-	0.2	3.8	0.2	2	0.2	2.1	0.4	2.4
Gypsum	0.4	5	0.5	5.5	0.5	2.2	0.5	2.6	0.6	2.7
Hafnium	-	-	0.4	7.8	1.3	4.2	1.1	3.9	1.5	4.3
Helium	-	-	-	-	1.6	2.8	1.2	2.6	1.2	2.9
HREEs	4.9	5.8	4.7	5.4	4.9	3.7	5.6	3.9	5.1	4.2
Hydrogen	-	-	-	-	-	-	0.4	3.8	0.5	2.9
Indium	2	6.7	1.8	5.6	2.4	3.1	1.8	3.3	0.6	2.6
Iron ore	0.4	8.1	0.5	7.4	0.8	6.2	0.5	6.8	0.5	7.2
Kaolin clay	0.3	4.4	0.3	4.8	0.5	2.3	0.4	2.4	0.8	2.8
Krypton	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	3.3
Lead	-	-	-	-	0.1	3.7	0.1	4.0	0.1	4.2
Limestone	0.7	6	0.4	5.8	0.1	2.5	0.2	3.5	0.3	3.6
Lithium	0.7	5.6	0.6	5.5	1	2.4	1.6	3.1	1.9	3.9
LREEs	4.9	5.8	3.1	5.2	5	3.6	6.0	4.3	3.7	5.9
Magnesite	0.9	8.9	2.2	8.3	0.7	3.7	0.6	3.2	0.6	3.6
Magnesium	2.6	6.5	2.5	5.5	4	7.1	3.9	6.6	4.1	7.4

Extrait de « Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 », p.61

Toujours plus de besoins

La Chine n'est évidemment pas le seul pays minier, il y a aussi le Canada, la Russie, l'Australie et surtout les USA, pour ne citer que quelques uns des plus importants. Pour un pays, développer ou augmenter ses capacités pour l'industrie minière ne se fait pas en un jour et la demande mondiale ne cesse d'augmenter. Aujourd'hui, on extrait chaque jour dans le monde plus de 100 milliards de tonnes de matières. Rapporté à la population mondiale, cela correspond à 34 kg de matière première par personne. On estime qu'en 2060, la consommation individuelle brute passera à 45 kg de matière extraite du sol pour satisfaire nos besoins quotidiens. La part des métaux utilisables représente

La transition bas carbone

Le fantasme de la « transition bas carbone » prévoit grossièrement de substituer notre dépendance au pétrole par les technologies dites « vertes ». D'une part, la quantité d'énergie nécessaire pour réaliser les infrastructures voulues est considérable. Pour fabriquer une seule éolienne, par exemple, la masse de béton nécessaire, la chimie utilisée pour les pales en fibre de carbone, les tonnes d'acier du mât, les quantités astronomiques de cuivre du réseau électrique, les multiples composants des aimants et du

Le tout électrique

Selon un rapport du congrès américain, la fabrication des voitures électriques consomme 60% d'eau potable en plus que celle de leurs équivalentes à moteur thermique. En effet, le lithium, principal composant des batteries, en raison de sa légèreté et de sa formidable capacité de stockage de l'énergie, requiert, à lui seul, d'énormes quantités d'eau potable

seulement 3.5 kg de ce total.

Certes une partie des métaux provient des filières de recyclage. Seulement voilà, les objectifs en la matière sont peu ambitieux et difficilement atteignables. L'UE vise un objectif de 15% de récupération à l'horizon 2035. En effet, nombre d'éléments précieux, comme par exemple l'argent qui peut être utilisé comme agent de blanchiment des peintures, restent parfaitement irrécupérables et sont perdus à jamais. Du fait de leur diversité et de leur complexité, d'autres éléments élaborés, produits manufacturés, tels que les batteries sont également très difficiles à recycler, souvent faute d'une standardisation généralisée en amont du processus de fabrication.

générateur, sans oublier son recyclage dépasse bien souvent toute l'énergie susceptible d'être produite durant tout son cycle de vie! On estime que pour 1 kWh « d'énergie verte » produit, une éolienne en aura consommé 2 autres en énergie fossile pour sa fabrication, son exploitation et son recyclage... D'autre part, les minerais critiques impliquent eux aussi une consommation substantielle de ressources vitales. De leur côté les panneaux solaires photovoltaïques sont moins voraces mais ils nécessitent tout de même silicium, nickel et aluminium en quantité.

pour son extraction. De plus il faut des tonnes de roches pour obtenir 200 kilos de métaux critiques (cuivre, nickel, manganèse, cobalt) contre seulement 50 kilos pour une voiture thermique, sans prendre en compte, dans un cas comme dans l'autre, l'acier (matériau non critique) ou l'alu de la carrosserie. On prétend parfois que la sortie du pétrole va nous affranchir de la dépendance aux pays producteurs.

Cependant, avec la dépendance aux minerais, les acteurs de ce marché sont encore moins nombreux et par voie de conséquence, nos économies deviendront encore plus dépendantes. Quant au lithium, indispensable pour la fabrication de batteries performantes, qui

était jusque là disponible en quantité suffisante, il vient d'être listé récemment parmi les minerais critiques. De plus, son extraction depuis des carrières de granit est un processus complexe qui requiert lui aussi une énorme quantité d'énergie et d'eau potable.



Les besoins futurs

Difficile de se faire une idée de nos besoins à venir ; la demande actuelle des métaux les plus contraints tels que cuivre, nickel (surtout pour fabriquer l'inox), lithium, cobalt, etc. est bien connue. Qu'en sera-t-il dans 10, dans 20 ans ? Impossible de le savoir, cela dépend aussi des avancées technologiques et des habitudes de consommation qui évoluent constamment. On peut cependant dégager 3 domaines fondamentaux qui représentent des enjeux majeurs du développement planétaire :

-L'alimentation avec la production de nitrates et d'engrais azotés pour nourrir bientôt 10 milliards d'êtres humains selon les projections courantes.

-L'énergétique avec l'enjeu de l'après pétrole et d'une production d'électricité bas carbone.

-Le digital avec le tout numérique et les technologies de l'information.

Pour finir avec un exemple type représentant à lui seul la réalité de l'extraction minière, songez qu'il faut entre 70 et 200 kg de minerais contenant environ 60 métaux et terres rares différentes pour fabriquer un seul téléphone portable ne pesant au final que 200 g. Loin de se simplifier avec le temps, la technique évolue et requiert constamment de nouveaux matériaux aux propriétés toujours plus fantastiques. Dans les années 2000, seule une trentaine de métaux et terres rares était nécessaire pour réaliser les téléphones d'alors. Pour l'heure, rien n'indique que la tendance soit à la réduction de la demande mondiale, bien au contraire.

Table A: Major global supplier countries of CRMs – individual materials

Material	Stage *	Main global supplier	Share	Material	Stage *	Main global supplier	Share
1 aluminium	E	Australia	28%	27 magnesium	P	China	91%
2 antimony	E	China	56%	28 manganese	E	S. Africa	29%
3 arsenic	P	China	44%	29 natural graphite	E	China	67%
4 baryte	E	China	32%	30 neodymium	P	China	85%
5 beryllium	E	USA	67%	31 niobium	P	Brazil	92%
6 bismuth	P	China	70%	32 nickel	P	China	33%
7 boron	E	Türkiye	48%	33 palladium	P	Russia	40%
8 cerium	P	China	85%	34 phosphate rock	E	China	48%
9 cobalt	E	DRC	63%	35 phosphorus	P	China	79%
10 coking coal	E	China	53%	36 platinum	P	S. Africa	71%
11 copper	E	Chile	28%	37 praseodymium	P	China	85%
12 dysprosium	P	China	100%	38 rhodium	P	S. Africa	81%
13 erbium	P	China	100%	39 ruthenium	P	S. Africa	94%
14 europium	P	China	100%	40 samarium	P	China	85%
15 feldspar	E	Türkiye	32%	41 scandium	P	China	67%
16 fluorspar	E	China	56%	42 silicon metal	P	China	76%
17 gadolinium	P	China	100%	43 strontium	E	Iran	37%
18 gallium	P	China	94%	44 tantalum	E	DRC	35%
19 germanium	P	China	83%	45 terbium	P	China	100%
20 hafnium	P	France	49%	46 thulium	P	China	100%
21 helium	P	USA	56%	47 titanium metal	P	China	43%
22 holmium	P	China	100%	48 tungsten	P	China	86%
23 iridium	P	S. Africa	93%	49 vanadium	E	China	62%
24 lanthanum	P	China	85%	50 ytterbium	P	China	100%
25 lithium	P	China	56%	51 yttrium	P	China	100%
26 lutetium	P	China	100%				
Grouped materials				Stage	Main global supplier	Share	
HREEs				P	China	100%	
LREEs				P	China	85%	
PGMs ⁶ (iridium, platinum, rhodium, ruthenium)				P	South Africa	75%	
PGMs (palladium)				P	Russia	40%	
Legend							
Stage		E = Extraction stage P = Processing stage					
HREEs		Dysprosium, erbium, europium, gadolinium, holmium, lutetium, terbium, thulium, ytterbium, yttrium					
LREEs		Cerium, lanthanum, neodymium, praseodymium and samarium					
PGMs		Iridium, palladium, platinum, rhodium, ruthenium					

Extrait de « Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 », p.6

Conclusion

Les 8 et 9 mai, on fête la fin de la seconde guerre mondiale. Et si celle-ci n'avait en réalité jamais pris fin ? Si cette guerre avait eu pour enjeu véritable d'imposer la domination d'un système politico-économique au reste du monde ? Ce serait donc une guerre

permanente de tous contre tous, luttant sans cesse pour s'appropriier le plus de ressources possibles afin de dominer économiquement les autres nations. Pour nuancer, on peut cependant observer que des alliances se forment continuellement entre certains états dans le but de sécuriser tel ou tel approvisionnement. C'est peut-être aussi

une forme de maintien d'une paix relative et précaire mais généralisée.

Plus une économie dispose de ressources abondantes et bon marché (énergie, minerais et biomasse principalement), plus elle est florissante et croissante. Et si l'avenir imposait de revoir le paradigme de la croissance pour redimensionner les économies vers plus de stabilité et de durabilité ?

Même si le monde n'en prend pas le chemin, il nous faudra certainement passer à l'avenir par une réduction drastique de nos besoins matériels. En plus de la « sobriété énergétique » que

l'on entend proclamer de plus en plus souvent, il nous faudra certainement envisager aussi une forme de « sobriété matérielle ». Celle-ci devrait se faire idéalement sans pour autant diminuer trop notre qualité de vie, un exercice difficile en perspective. Ne pourrions-nous pas simplement nous inspirer de la réalité du corps humain qui, une fois sa croissance achevée, n'a plus besoin de grandir indéfiniment pour autant ?

Christophe Ogi
Architecte HES, ECO-BIO

Ci-dessous figure un tableau à double entrée avec en ordonnée une appréciation sur les risques d'approvisionnement et en abscisse la contrainte économique des métaux critiques. On constate que la majorité des minerais utiles se trouvent déjà dans la zone rouge.

Fort risque d'approvisionnement	Bois précieux (1)	Arsenic (3) (4) Helium (3) (4) Graphite (2) (4) Lithium (2) (3) (4) Tantale (3) (4) Aluminium (1) (3) (4) Xenon (3) Bismuth (3) (4) Beryllium (3) Germanium (3) Bore (3) (4) Tungstène (3) Niobium (3) (4) Phosphore (3) (5) Cobalte (2) (3) (4) Titane (3) (4) Phosphates (2) (5)
Faible risque d'approvisionnement	Bois d'œuvre (1) Gypse (1) Perlite (1) Kaolin (1) (5) or (4)	Cuivre (1) (3) Argent (3) Nickel (1) (3) Zinc (1) (3) Etain (1) (3) Fer (1) (3) Plomb (3) Krypton (3) Néon (3) Talc (3)
	Faible importance économique	Forte importance économique
Utilisé principalement pour : (1) construction, (2) énergies vertes, (3) industrie, (4) technologies numériques et de pointe, (5) agro-industrie.		

Sources:

-Synthèse et résumés de nombreuses interventions de M.Emmanuel Hache, directeur de recherche à l'IRIS, Institut de Relations Internationales et Stratégiques, spécialiste des questions relatives à la prospective énergétique et à l'économie des ressources.

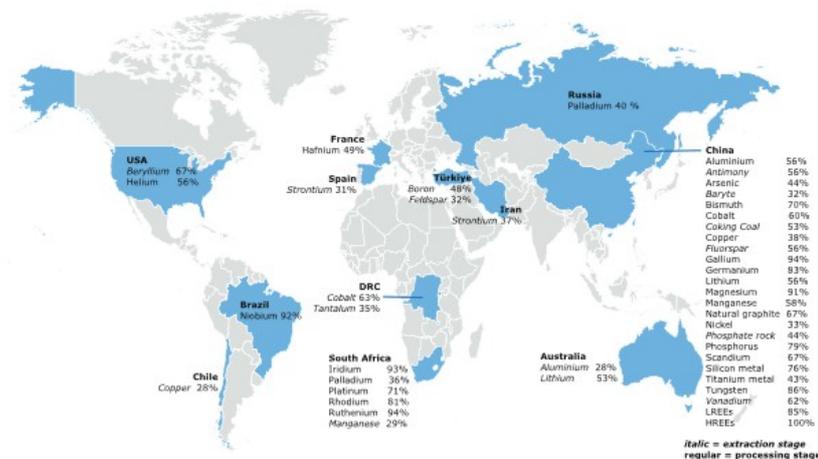
-Study on the critical raw materials for the eu 2023-ET0723116ENN (interprétation simplifiée)

-Métaux rares : <https://lingot-swiss.com/fr/p/listes-metaux-rares-terres-rares>



Study on the Critical Raw Materials for the EU

2023



Final Report

RAW
MATERIALS