

12^{ÈME} COLLOQUE ANNUEL DU CLUB STOCKAGE



Les matériaux et ressources premières critiques dans le cadre de la transition énergétique et du stockage. De l'extraction au recyclage

Raphael Danino-Perraud (PhD), Chercheur associé à l'IFRI
daninoperraud.raphael@gmail.com

- Contexte
- Un bref état des lieux
- Perspectives

CONTEXTE

La chaîne de valeur

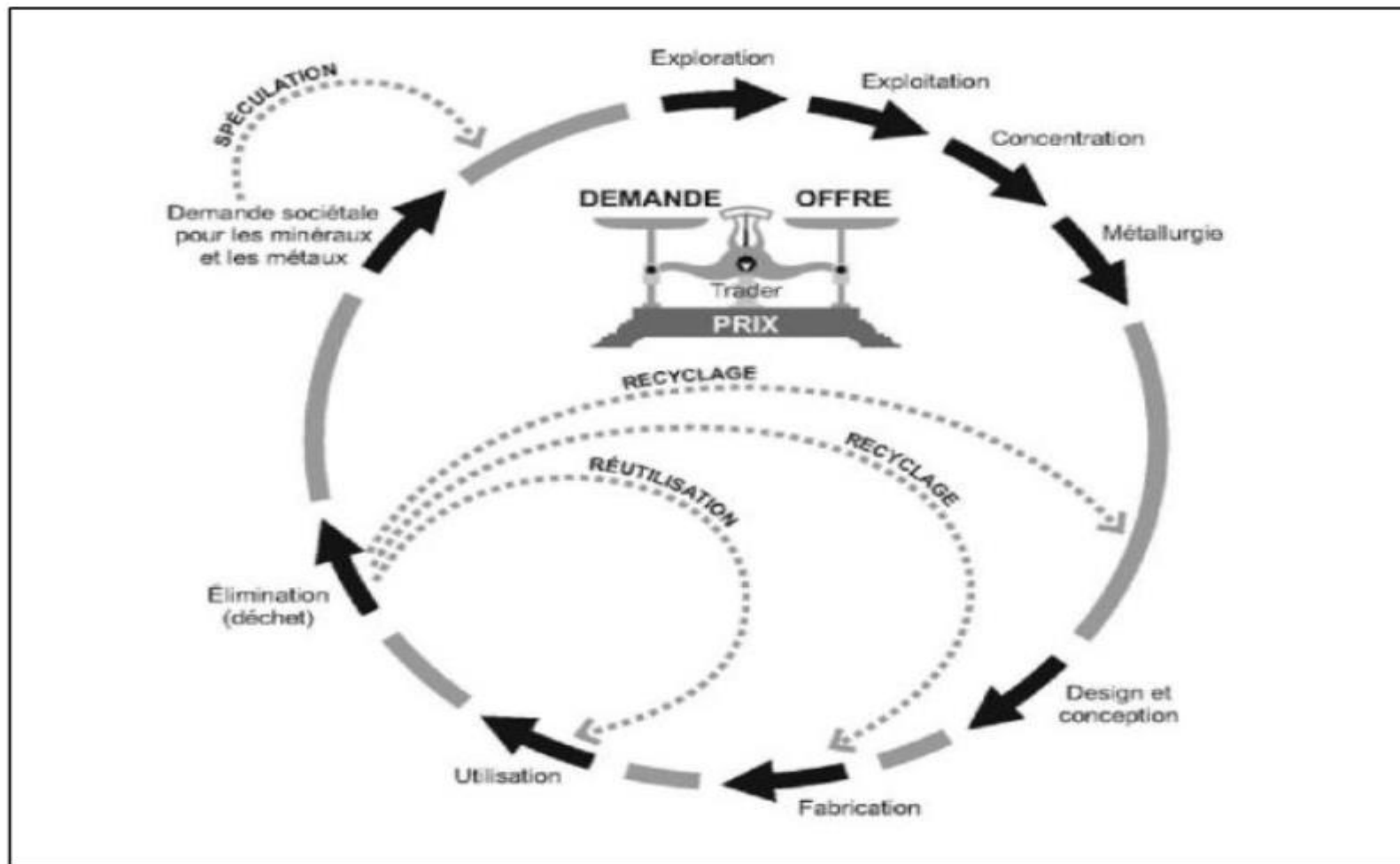
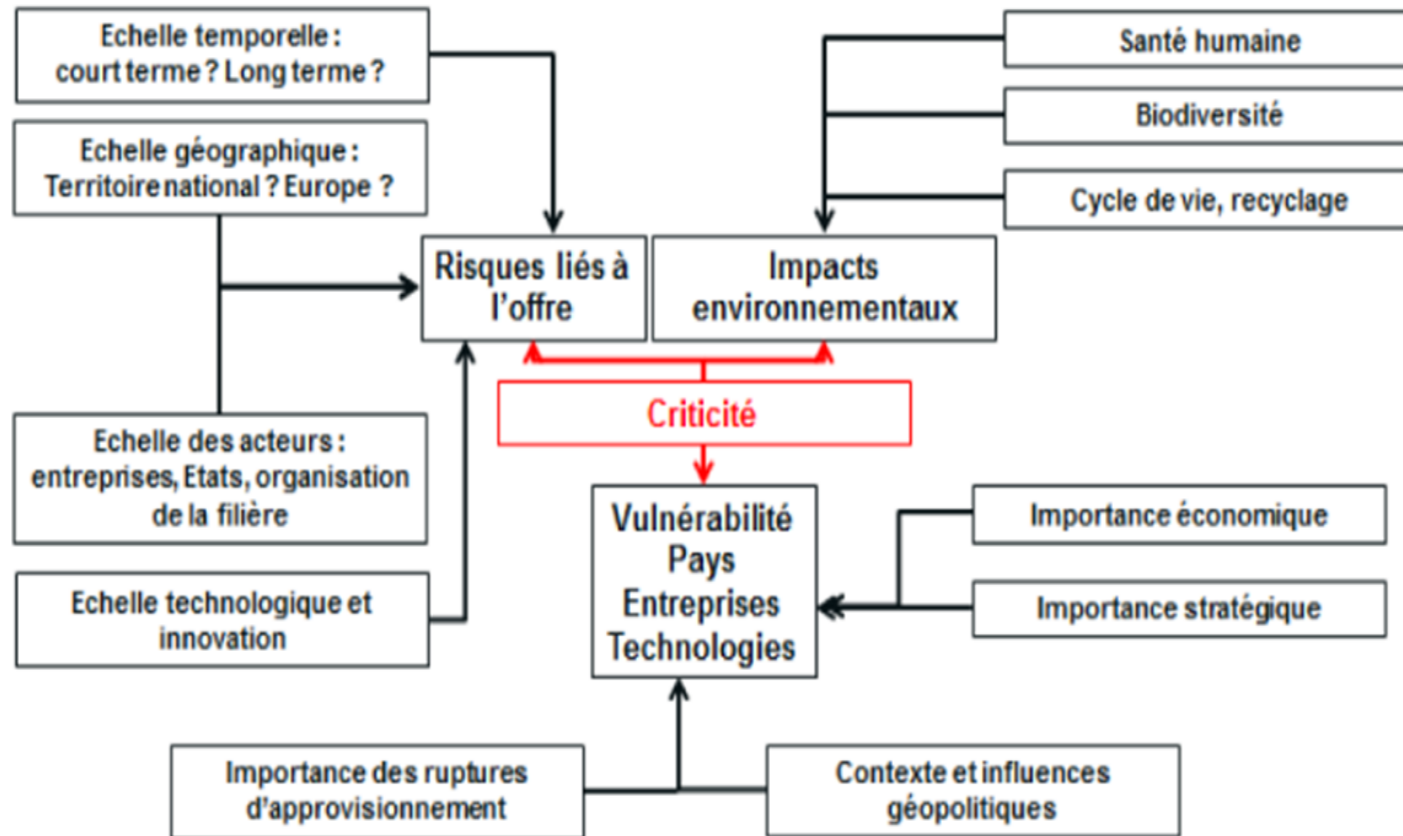


Figure 4 : Equilibre de l'offre et de la demande dans le cycle des ressources minérales, et cycle des ressources (Fleury et Davies, 2012)

Une approche par la notion de criticité

Bonnet et al., (2019), à partir de Helbig et al., (2016)



Indicateurs de vulnérabilité économique	Indicateur de risque sur l'offre
Existence d'un substitut (Qualitatif)	Concentration de la production par pays (HHI)
Valeur des produits affectés (en % du PIB)	Gouvernance (Qualitatif ou Index de gouvernance)
Ratio de demande future sur l'offre (Qualitatif)	Temps de déplétion des ressources (années)
Valeur des matériaux utilisés (en % du PIB)	Dépendance aux coproduits (en %)
Importance de l'utilisation (en % de la population, en % du PIB)	Concentration d'entreprises minières (HHI)
Dépendance aux importations (en %)	Croissance de la demande (Qualitatif ou ratio)
Importance stratégique (Qualitatif)	Dépendance aux importations (en %, en valeur)
Capacité à innover (Qualitatif)	Potentiel de recyclage (en volume)
Variation des importations (en %)	Existence d'un substitut (Qualitatif)
Concentration des entreprises productrices (HHI)	Volatilité des prix des matières premières (en \$)
Volume de consommation (en volume)	Dépenses d'exploration (en \$)
Variation de la production minière (en %)	Coûts d'extraction (en \$)
Recyclabilité du produit (Qualitatif)	Équilibre du marché (en volume)
	Taux d'utilisation de la capacité minière, capacité de raffinage (en %)
	Existence d'un marché financier
	Investissement dans le secteur minier (en \$)
	Vulnérabilité au changement climatique (Qualitatif)
	Existence de pénurie temporaire (Qualitatif)
	Risque stratégique (embargo) (Qualitatif)
	Présence dans la croûte terrestre

Une approche par la notion de criticité

Des listes

Métaux stratégiques, critiques ou rares ?

- Japon, des métaux « rares » concernés par la politique de stockage japonaise : **gallium**, chrome, **cobalt**, **indium**, manganèse, molybdène, nickel, **vanadium** et **tungstène** ;
- UE (et USA), des métaux « critiques » : Antimoine, baryte, béryllium, bismuth, borate, **cobalt**, charbon à coke, spath fluor, **gallium**, germanium, hafnium, hélium, **indium**, magnésium, graphite naturel, caoutchouc naturel, niobium, phosphate naturel, phosphore, scandium, silicium métal, tantale, **tungstène**, **vanadium**, platinoïdes, terres rares lourdes et légères, strontium, lithium, titane, bauxite ;
- OTAN, des métaux « stratégiques » pour l'industrie de défense : Lithium, scandium, **titane**, chrome, manganèse, **cobalt**, **gallium**, germanium yttrium, niobium, palladium, **indium**, tellure, lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, samarium, europium, dysprosium, thulium, tantale, tungstène, rhénium

Nationalisme des ressources ou stratégie de sécurisation?

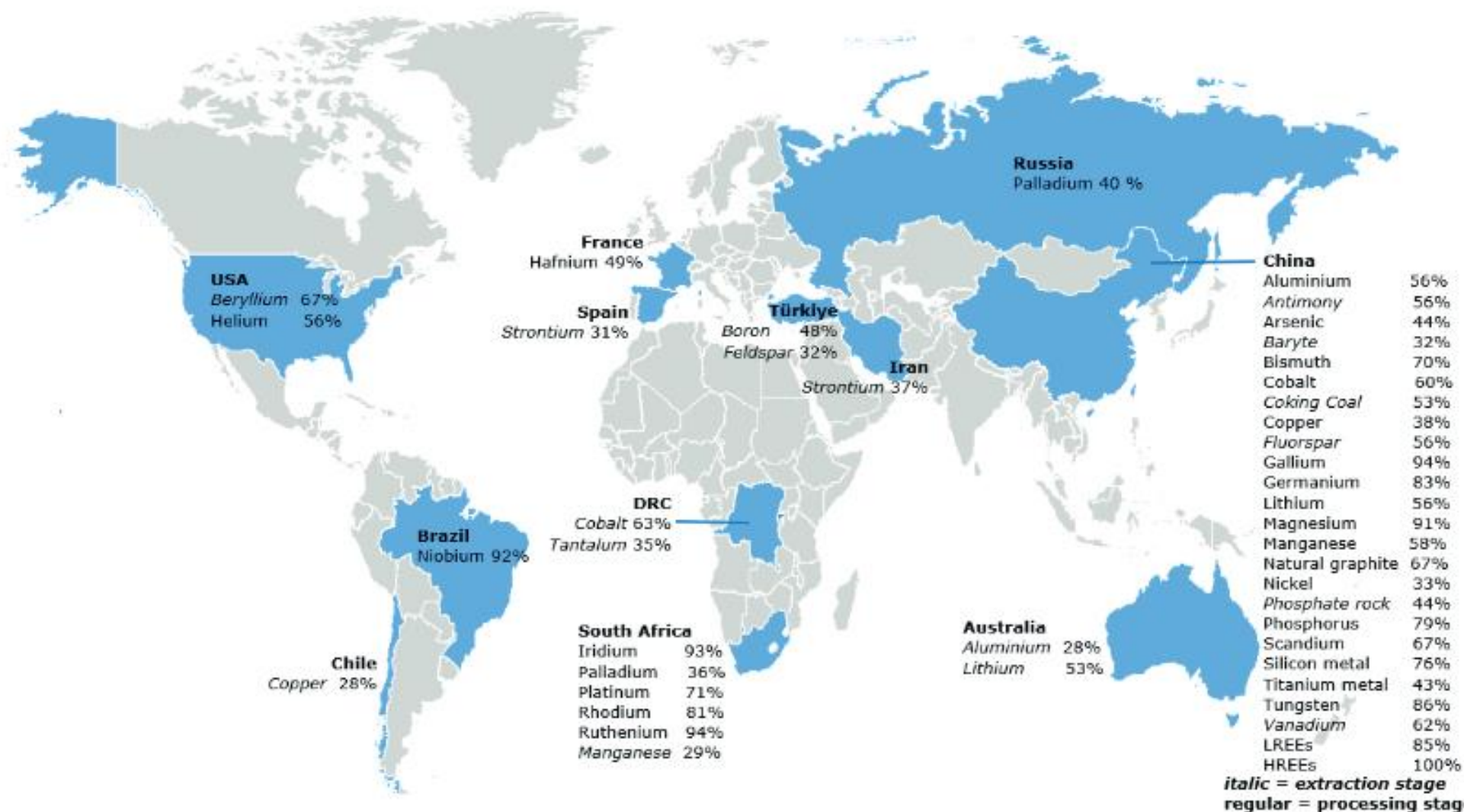
- Stratégie d'accaparement des ressources : Chine, Russie...
- Stratégies d'accaparement de la valeur : Zimbabwe, Mexique, Indonésie...
- Stratégie de sécurisation : Inflation Reduction Act (IRA), CRM Act (UE), Critical Mineral Strategy (Australie et Canada)

ETAT DES LIEUX

Importance de la Russie pour la production de CRM

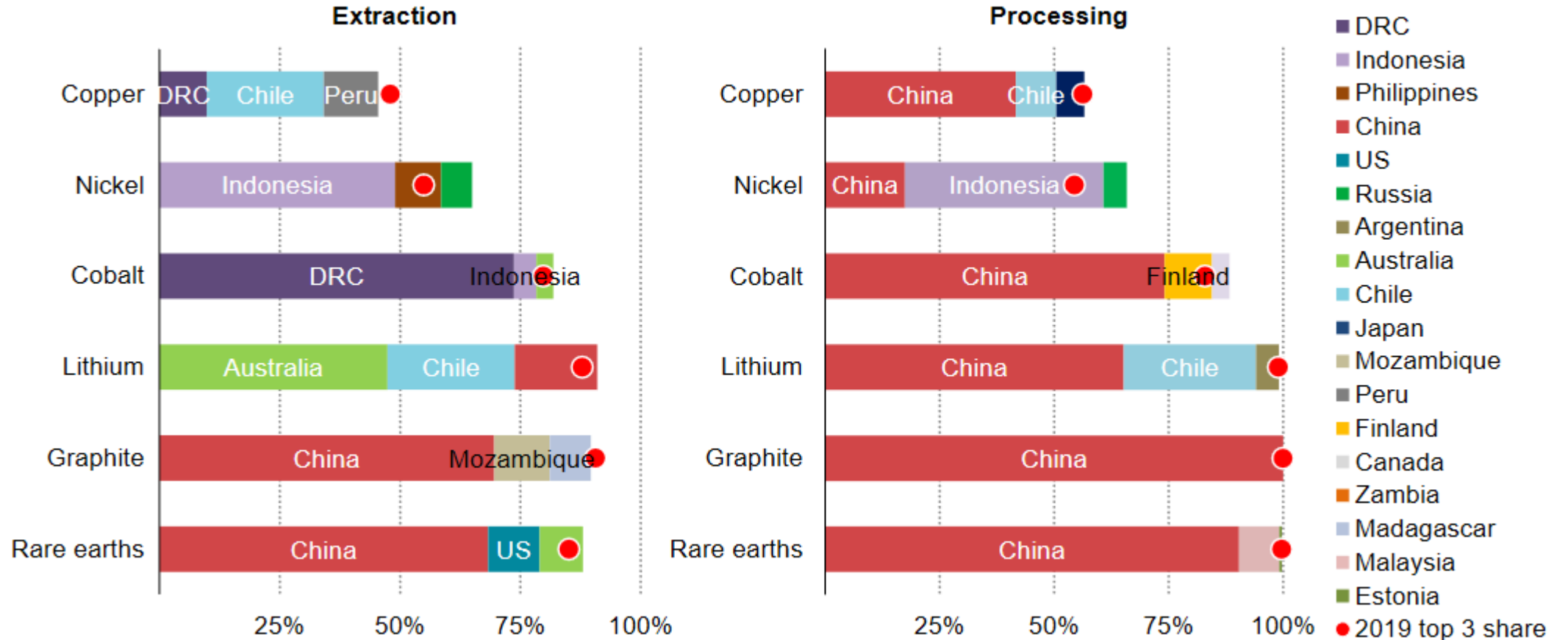
Métal	Poids Russie Total	Poids Russie UE	Poids Ukraine UE
Aluminium	10%	15-20%	Activités de raffinage importantes
Cuivre	5%	63% de cuivre raffiné	
Germanium	5%	20%	
Métaux du groupe platine	40% palladium 20% platine 15% rhodium 1% iridium et ruthénium	25% palladium 5% platine 15% rhodium, 7% iridium 5% ruthénium	
Nickel	10-15%	30-40%	
Tellure	10%	5%	28%
Terres rares	2%	36% des oxydes de terres rares, 33% des alliages et métaux de terres (peut-être de Russie)	
Titane (métal qualité aéronautique)	40%	30-40%	Production du minerai de titane pour l'industrie Russe
Vanadium	25%	32% (oxydes de vanadium, 68%)	

Figure B: Countries accounting for largest share of global supply of CRMs



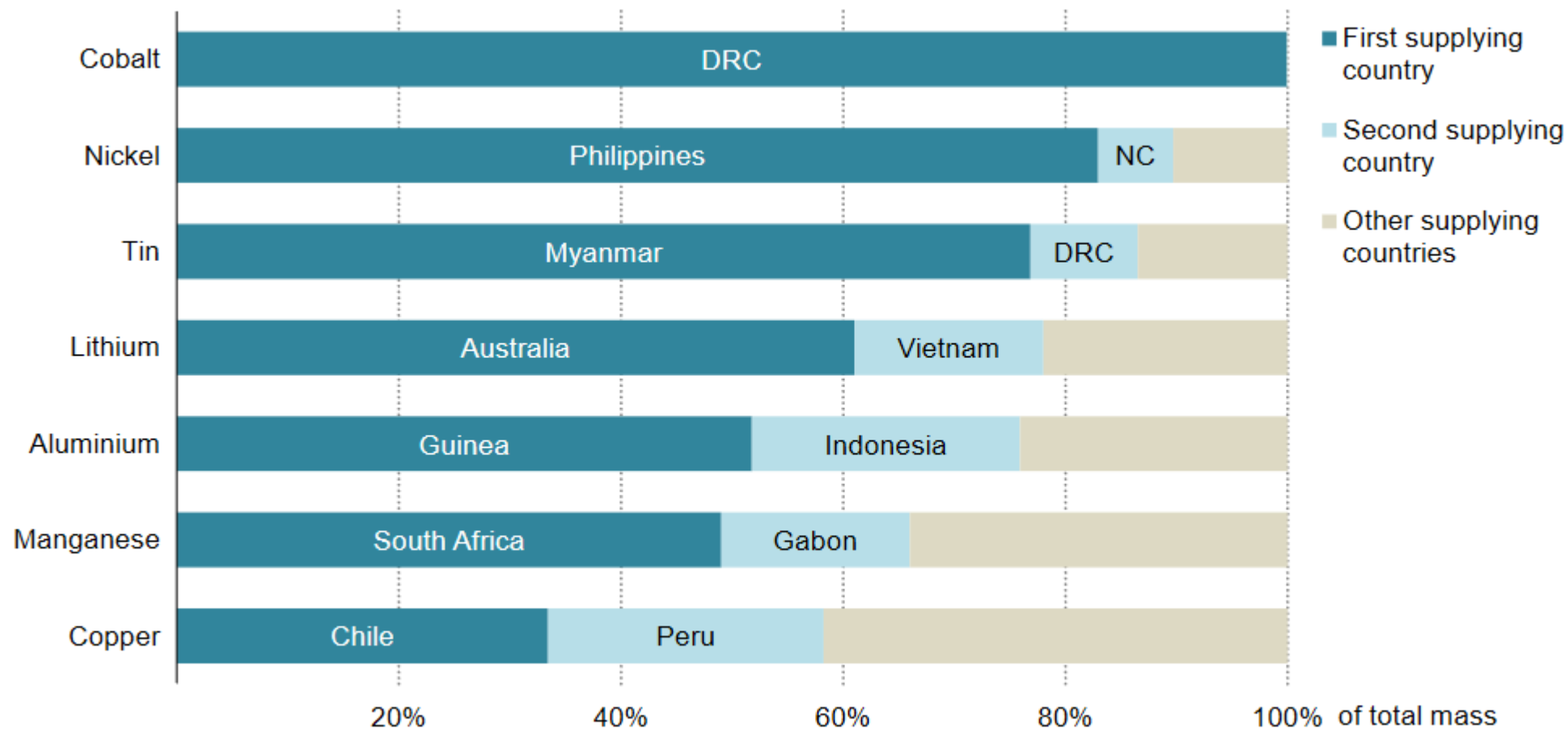
Géopolitique de l'extraction et du raffinage

(AIE, 2023)



Provenance des approvisionnements chinois

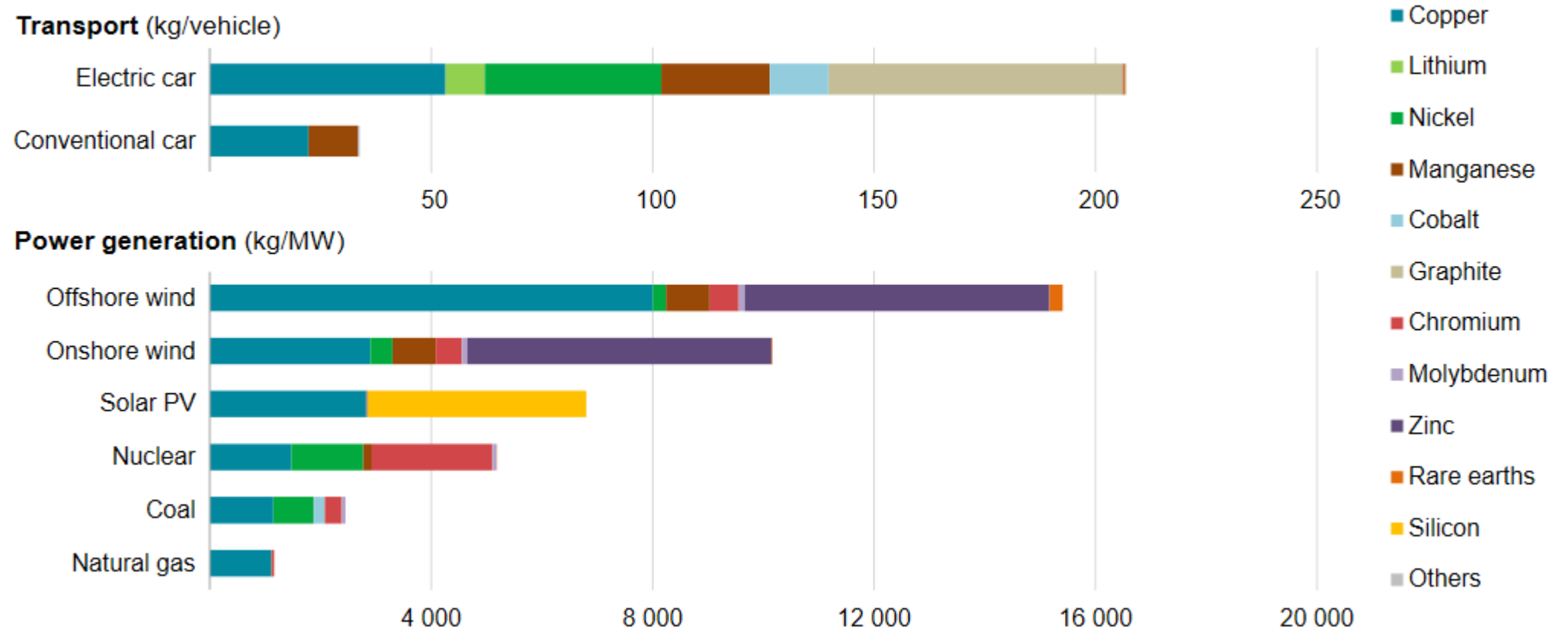
(AIE, 2023)



Les métaux de la transition énergétique

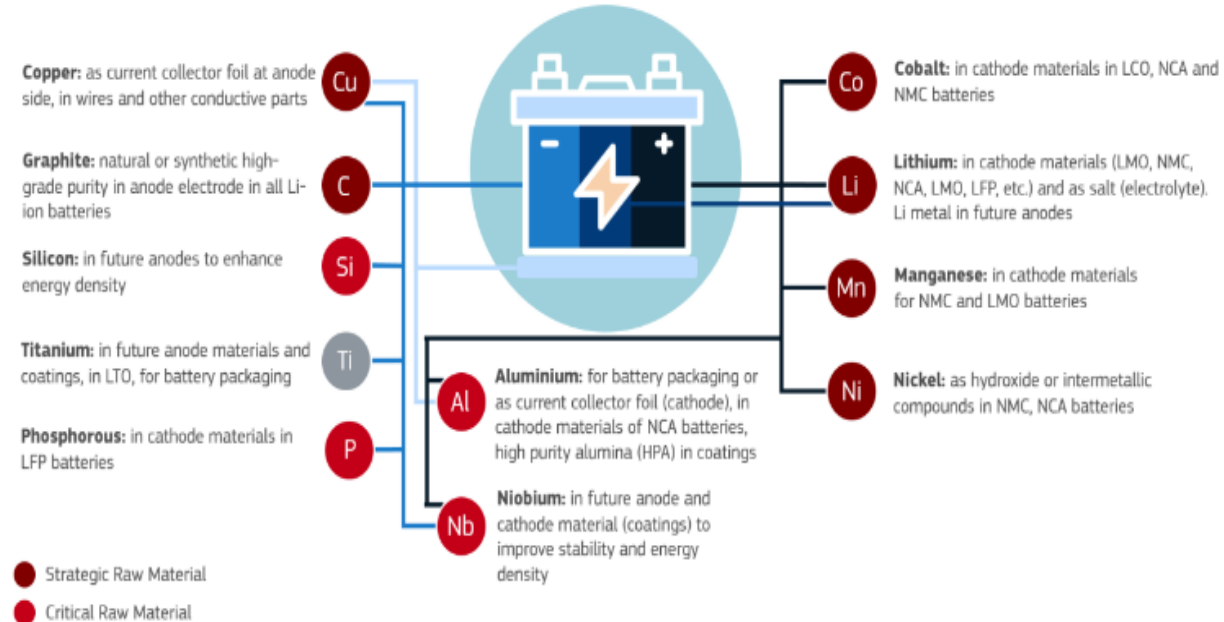
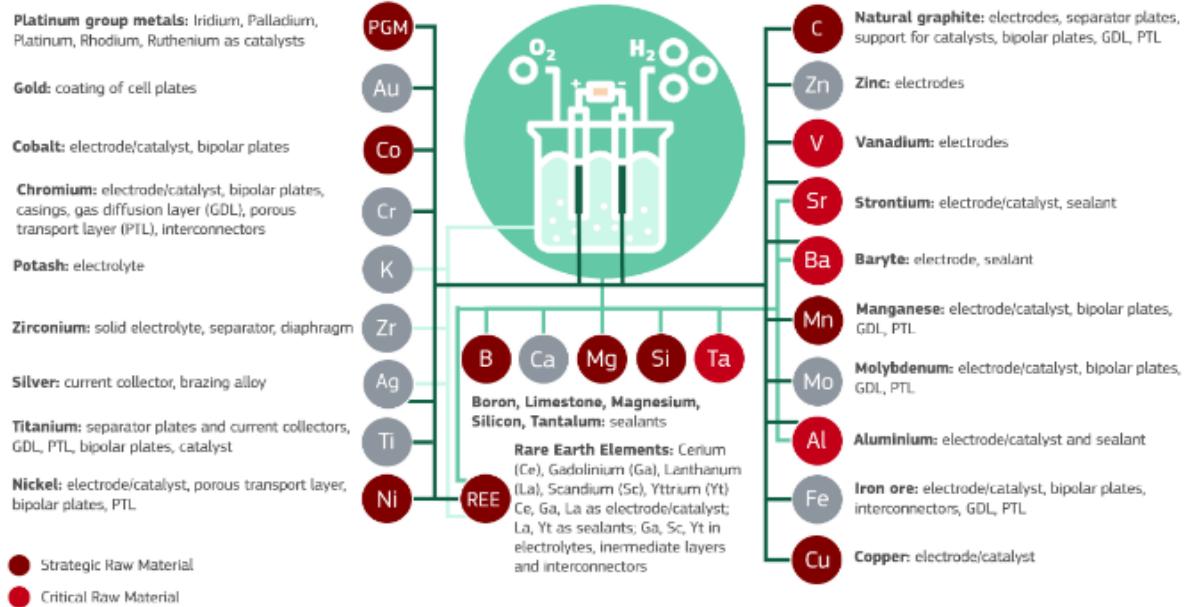
(AIE, 2021)

Minerals used in selected clean energy technologies



CRM Présents dans un électrolyseur et une batterie

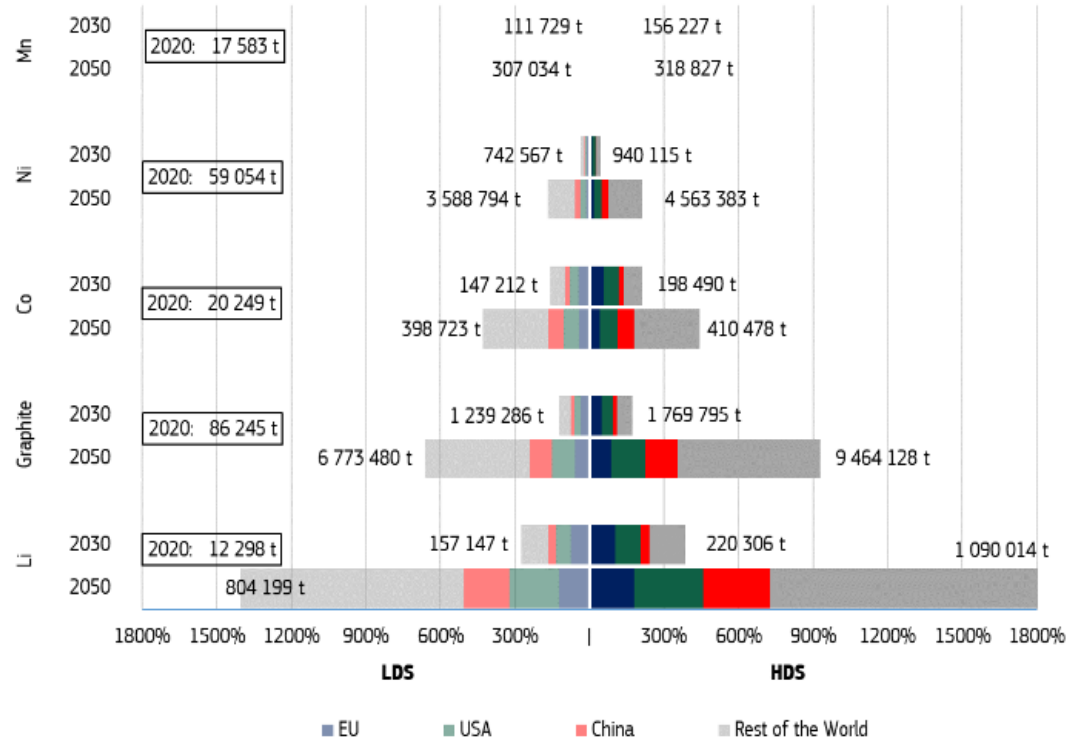
(Joint Research Center, 2021)



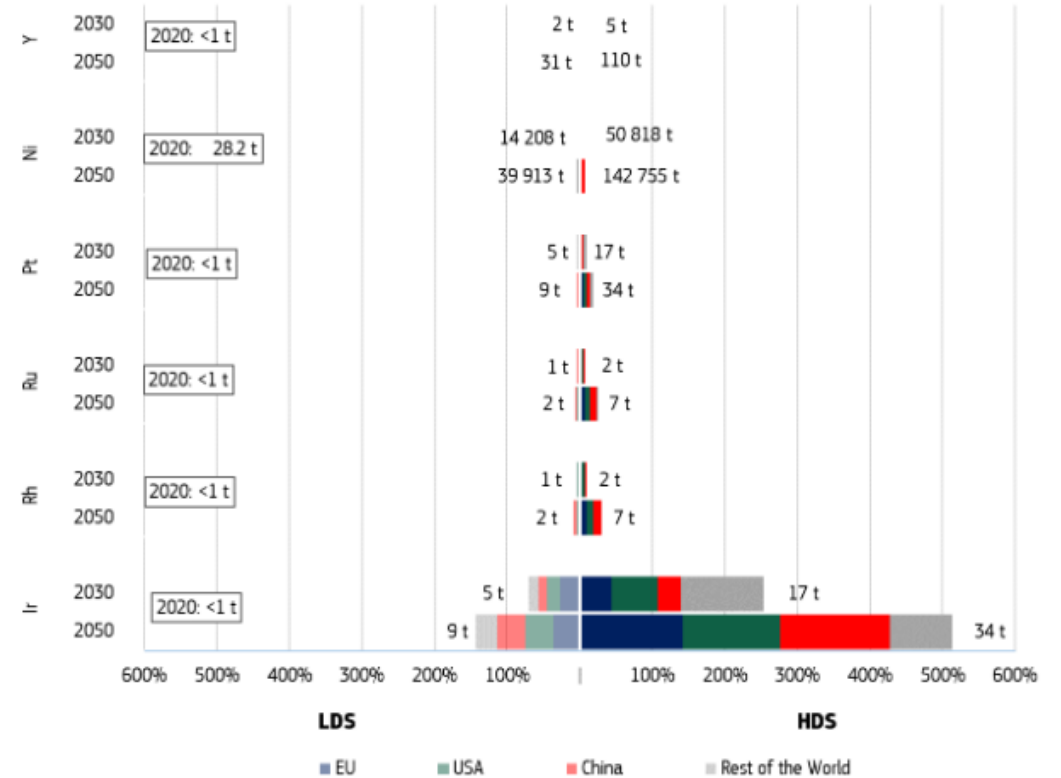
Consommation des scénarios de transition énergétique pour l'hydrogène et les batteries

(JRC, 2021)

Material demand forecast - Batteries - Global

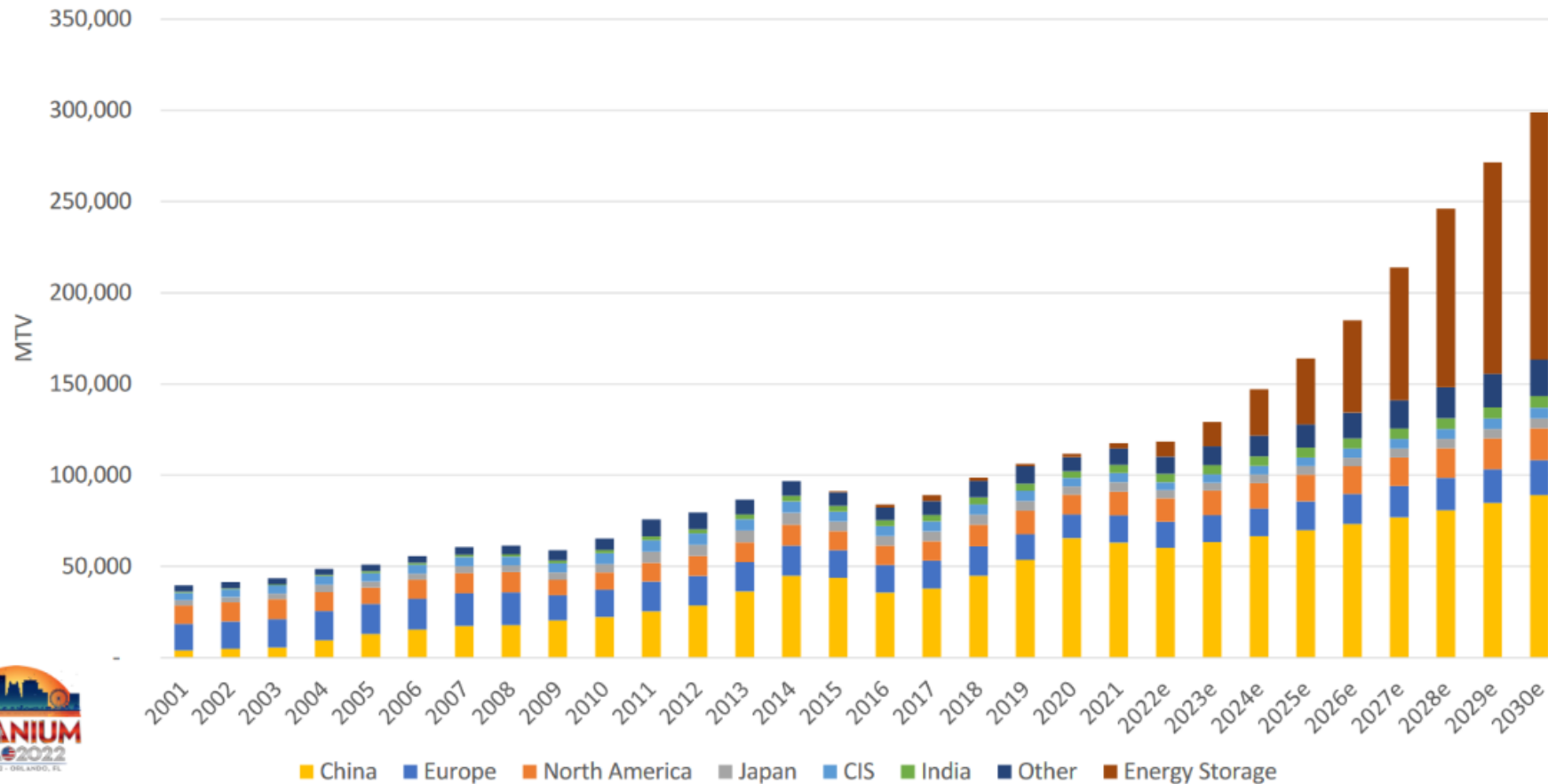


Material demand forecast - Electrolysers - Global



Le vanadium, un métal encore hors scope

Vanadium Consumption Forecast



PERSPECTIVES

Impact environnemental

(Bonnet *et al*, 2019)

	Energie (MJ/kg)		Eau (M ³ /tonne)	
	Scrap	Minerai	Scrap	Minerai
Fer	6	20-100	12-16	50-600
Aluminium	10	238-925	2-10	11-320
Magnesium	10	165-230	2	2-15
Cuivre	14	31-2 040	15	40-200
Zinc	11	32-63	20	75-100
Plomb	9	32-45	40	50-75
Chromium	6	22-51	12	52-92
Nickel	20	130-370	20	60-320
Cobalt	20-140	140-2100	30-100	40-2 000
PGM	1 400-3 400	18 860-254 860	3 000-6 000	100 000-1 200 000
Zirconium	230	1 320-1 500	260	12 600-13 000
Or	140-230	13 300-52 300	30	120 000-420 000
Argent	80-180	480-4 280	20-40	60-200
Etain	15	480-2 180	5	75-130
Terres rares	1 000-5 000	5 500-7 200	250-1 250	1 275-1 800

La chaîne de valeur (du recyclage)

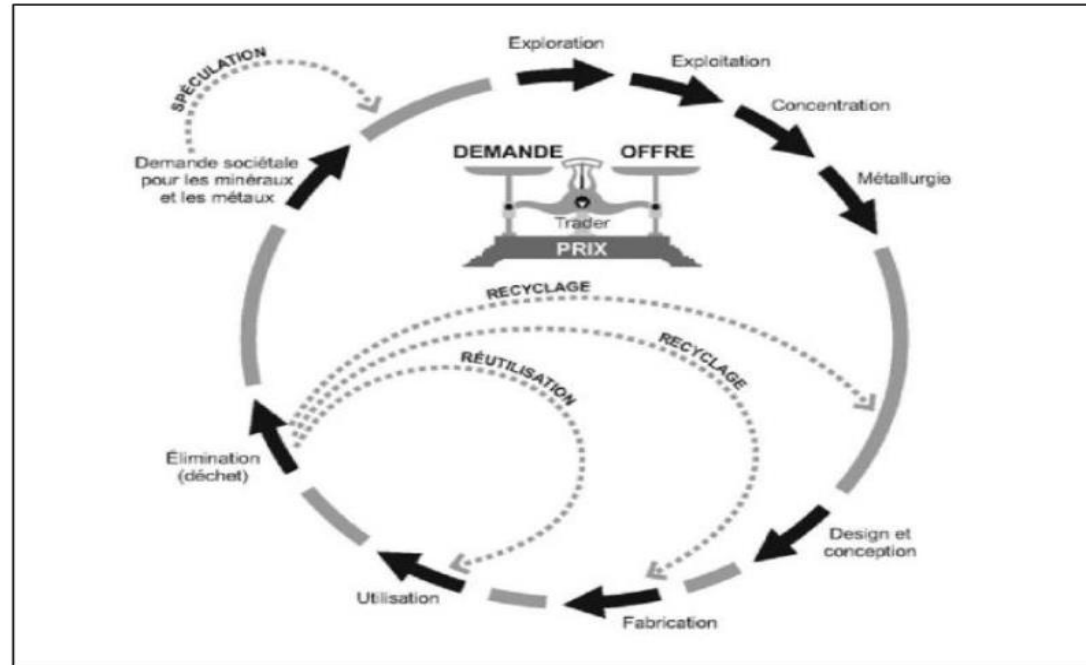
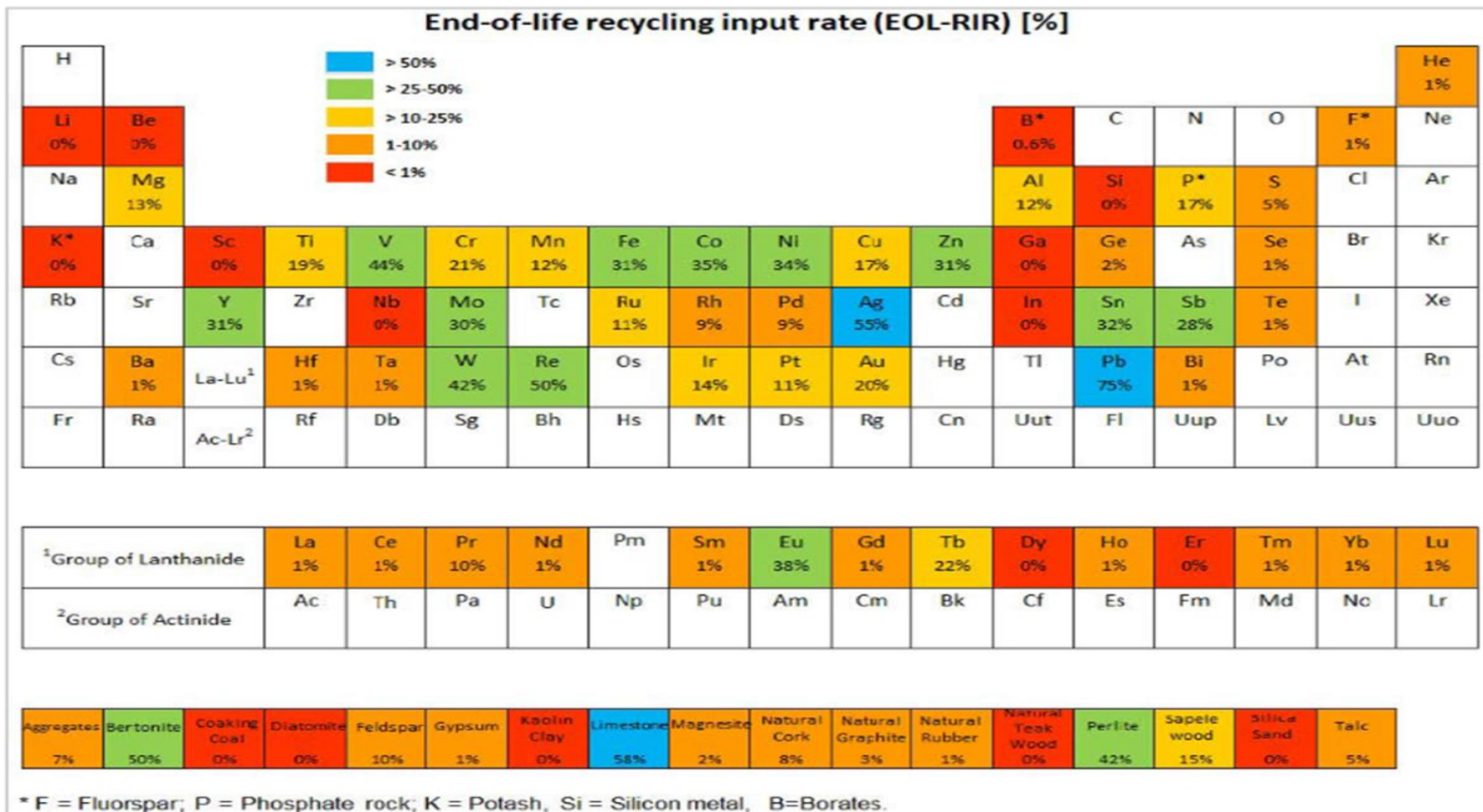


Figure 4 : Equilibre de l'offre et de la demande dans le cycle des ressources minérales, et cycle des ressources (Fleury et Davies, 2012)



Les chiffres de recyclage

(Commissariat Général au Développement Durable, 2023)



Le retour du concept « d'autonomie stratégique »

- CRM Act et régulation batterie
 - Extraction intra-européenne d'au moins 10% de la consommation annuelle de l'UE
 - Transformation européenne d'au moins 50% de la consommation annuelle de l'UE
 - Production par recyclage d'au moins 20% de la consommation annuelle de l'UE
 - Diversification des importations
 - Déterminer les projets stratégiques et réduction des procédures
- OFREMI (5Meuros) et Fond métaux (2 Mds d'euros)
 - OFREMI : Veille, Monitoring, stress test
 - Investissements (à déterminer)