



TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET TENSIONS INTERNATIONALES : LES
DÉFIS DES SUPPLY CHAINS DES MÉTAUX CRITIQUES

VINCENT DONNEN, CIIA

CONTEXTE

URGENCE ÉCOLOGIQUE ET CLIMATIQUE

- Pressions croissantes pour une décarbonation de nos économies.
- La baisse du niveau de vie n'étant pas une option, l'efficacité et l'innovation sont donc les seules pistes acceptées (à ce stade).

ESSOR TECHNOLOGIQUE EXPONENTIEL

- Espoirs placés en un technologisme qui apporterait la solutions à tous les problèmes (IA).
- Boucles de rétroactions rendant les innovations toujours plus rapides.
- Concurrence technologique exacerbée entre les blocs économiques.

BASCULEMENT GÉOPOLITIQUE

- Guerre en Ukraine.
- zone Asie-Pacifique devenue le barycentre économique mondial.
- Fin du moment hégémonique états-unien.
- Retour des enjeux de souveraineté et essor généralisé des budgets militaires.

DETTE ET RELANCE MONÉTAIRE

- Incertitude monétaire et retour de l'inflation.



LES PARADIGMES ÉCONOMIQUES ET INDUSTRIELS DU XXÈME SIÈCLE SONT DÉSORMAIS REMIS EN QUESTION

UNE DÉPENDANCE CROISSANTE AUX MÉTAUX RARES

DÉCARBONATION :

Echange d'un coût variable en énergies fossiles en un coût fixe en métaux rares

- Dans la production d'énergie (+électrification)
- Dans l'acheminement et le stockage de l'énergie (VE)

EFFICIENCE :

Recours à des matériaux toujours plus spécifiques
Envolée du nombre de capteurs et d'objets connectés
Fractalisation des besoins

INTELLIGENCE :

Explosion du stockage de données
Explosion des capacités de calcul
Explosion du nombre de capteurs et d'objets connectés
Essor des réseaux de communication

RÉARMEMENT MONDIAL :

Recours à des matériaux toujours plus spécifiques
Tensions et risques accrus sur la disponibilité en métaux stratégiques

UNE OFFRE SOUS CONTRAINTE

RENDEMENTS DÉCROISSANTS :

Hausse constante de l'énergie nécessaire à la production de métaux
Risques certains de pénuries futures (cf Olivier Vidal)
Limites thermodynamiques : gains de productivités marginaux décroissants

DÉPENDANCE À L'EAU :

Concurrence croissante avec les besoins des populations locales

ACCEPTATION SOCIÉTALE :

Enjeux croissants de traçabilité
Rejet sociétal croissant des projets miniers et industriels
Contraintes réglementaires croissantes
Coûts et délais croissants des projets miniers

CYCLES DES MATIÈRES PREMIÈRES :

Bas de cycle des matières premières
10 années de capex baissières dans la mine

NATIONALISME DES RESSOURCES :

Réforme des codes miniers
Volonté des pays miniers de monter dans la chaîne de valeur

I. NOUVEAUX ENJEUX

OCCURRENCE DES MÉTAUX (EN MASSE) RAPPORTÉE À LA POPULATION HUMAINE

Silicium	2 565 707 373.90	Chine + US + Europe
Oxygène	2 442 817 754.71	
Fer	971 526 499.12	Pakistan
Aluminium	726 194 276.76	
Calcium	542 637 441.66	
Potassium	277 770 552.88	Indonésie
Sodium	187 922 775.15	Bengladesh
Magnésium	187 073 321.25	
Titane	89 308 258.14	Allemagne
Baryum	19 798 844.92	Roumanie
Manganèse	17 932 827.31	Pays-bas
Phosphore	11 214 927.04	Jordanie
Strontium	10 599 134.49	Suède
Zirconium	5 404 946.84	Norvège
Soufre	4 221 964.63	Koweït
Fluor	3 908 471.31	Croatie
Rubidium	3 544 727.71	Uruguay
Cérium	3 009 365.64	
Chlore	2 995 219.10	
Chrome	2 550 156.59	
Tungstène	2 484 200.28	Gabon
Vanadium	2 313 985.46	
Nickel	2 040 036.03	Macédoine du Nord
Néodyme	1 827 916.08	Lettonie
Carbone	1 676 311.92	Kosovo
Lanthane	1 646 007.29	
Zinc	1 582 007.31	

Cuivre	1 413 984.75	Estonie
Yttrium	914 513.60	La Réunion
Plomb	886 631.00	
Bore	870 693.45	
Thorium	588 689.22	Luxembourg
Niobium	484 964.38	Grand Nancy
Cobalt	471 121.40	
Hydrogène	430 315.66	
Gallium	424 390.33	
Praséodyme	346 449.68	Mayotte
Samarium	327 386.67	
Gadolinium	318 152.30	
Scandium	302 211.94	
Dysprosium	214 445.32	
Hafnium	189 942.00	
Erbium	177 994.40	
Ytterbium	171 242.09	
Uranium	122 638.98	
Azote	119 211.74	
Césium	114 655.29	
Tantale	98 791.71	
Europium	70 575.45	
Holmium	70 334.70	
Étain	58 066.54	
Terbium	53 720.54	
Brome	47 597.23	
Thallium	46 022.79	

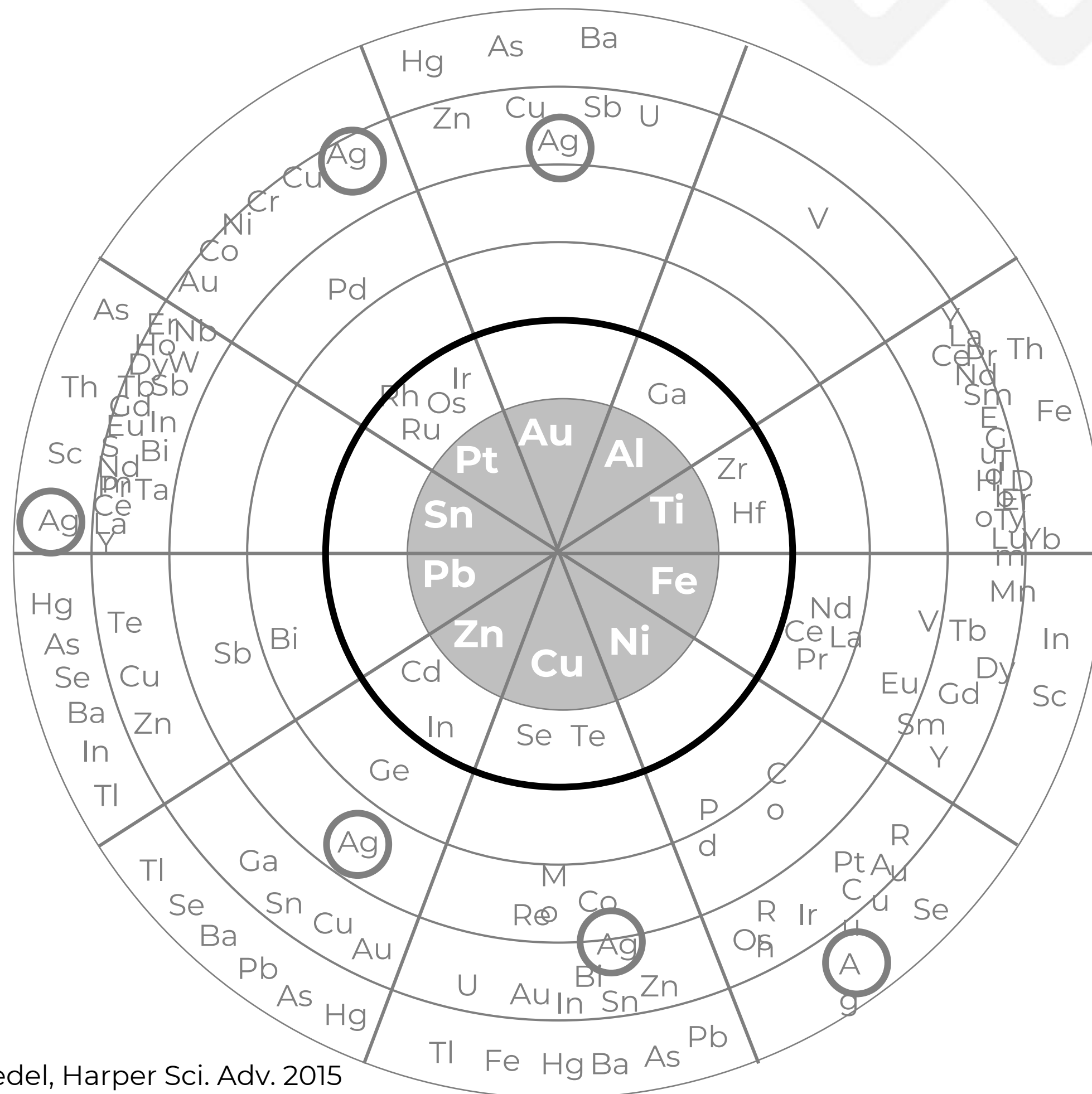
Argon	44 390.42	
Arsenic	43 980.75	
Lithium	39 474.76	
Molybdène	37 045.71	Monaco
Germanium	33 999.34	
Lutécium	28 796.25	
Thulium	27 386.28	
Iode	15 977.84	
Antimoine	8 015.10	
Béryllium	7 490.33	
Indium	6 699.06	
Cadmium	5 180.20	
Mercure	4 737.41	
Argent	2 662.96	
Bismuth	1 547.74	
Sélénium	1 299.53	
Palladium	323.15	
Platine	268.09	
Or	197.74	
Tellure	84.00	
Osmium	76.70	
Rhénium	67.42	
Iridium	42.71	
Ruthénium	33.27	
Néon	33.21	
Rhodium	24.56	
Hélium	10.54	

PRODUITS PRIMAIRES ET SOUS-PRODUITS

Métal cible de l'exploitant minier.
Coût de production connu.

Co-produit : métal obtenu en parallèle à un autre et dont la valeur de production représente une part substantielle de cet autre métal avec lequel il est extrait. Ex : Cobalt

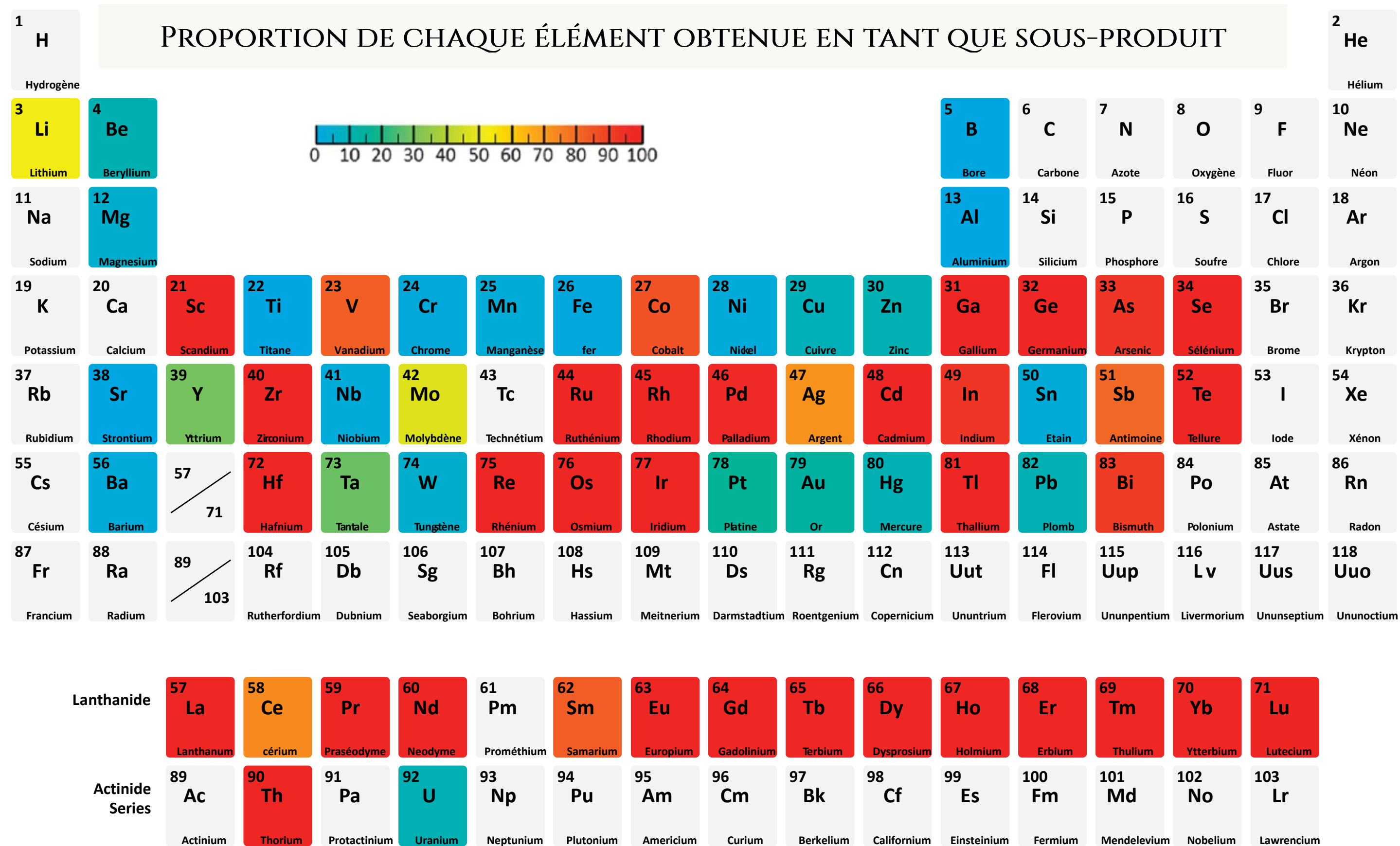
Sous produit : métal issu de la production d'un autre métal primaire. Coût de production non calculable car recettes imputés au métal primaire.



Nassar, Graedel, Harper Sci. Adv. 2015

I. NOUVEAUX ENJEUX

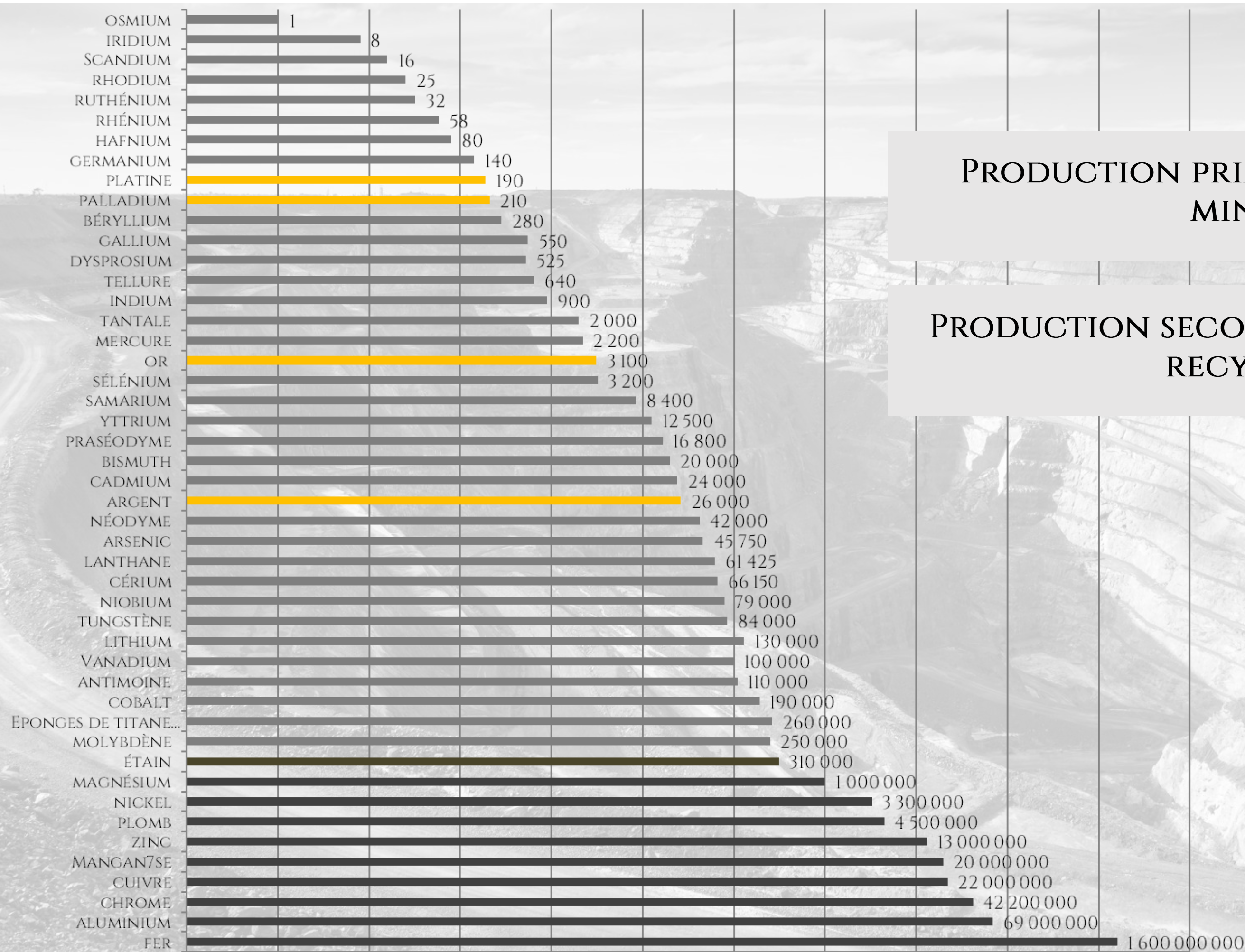
PRODUITS PRIMAIRES ET SOUS-PRODUITS



Nassar, Graedel, Harper Sci. Adv. 2015

I. NOUVEAUX ENJEUX

PRODUCTION PRIMAIRE MONDIALE ANNUELLE DE MÉTAUX (TONNES)

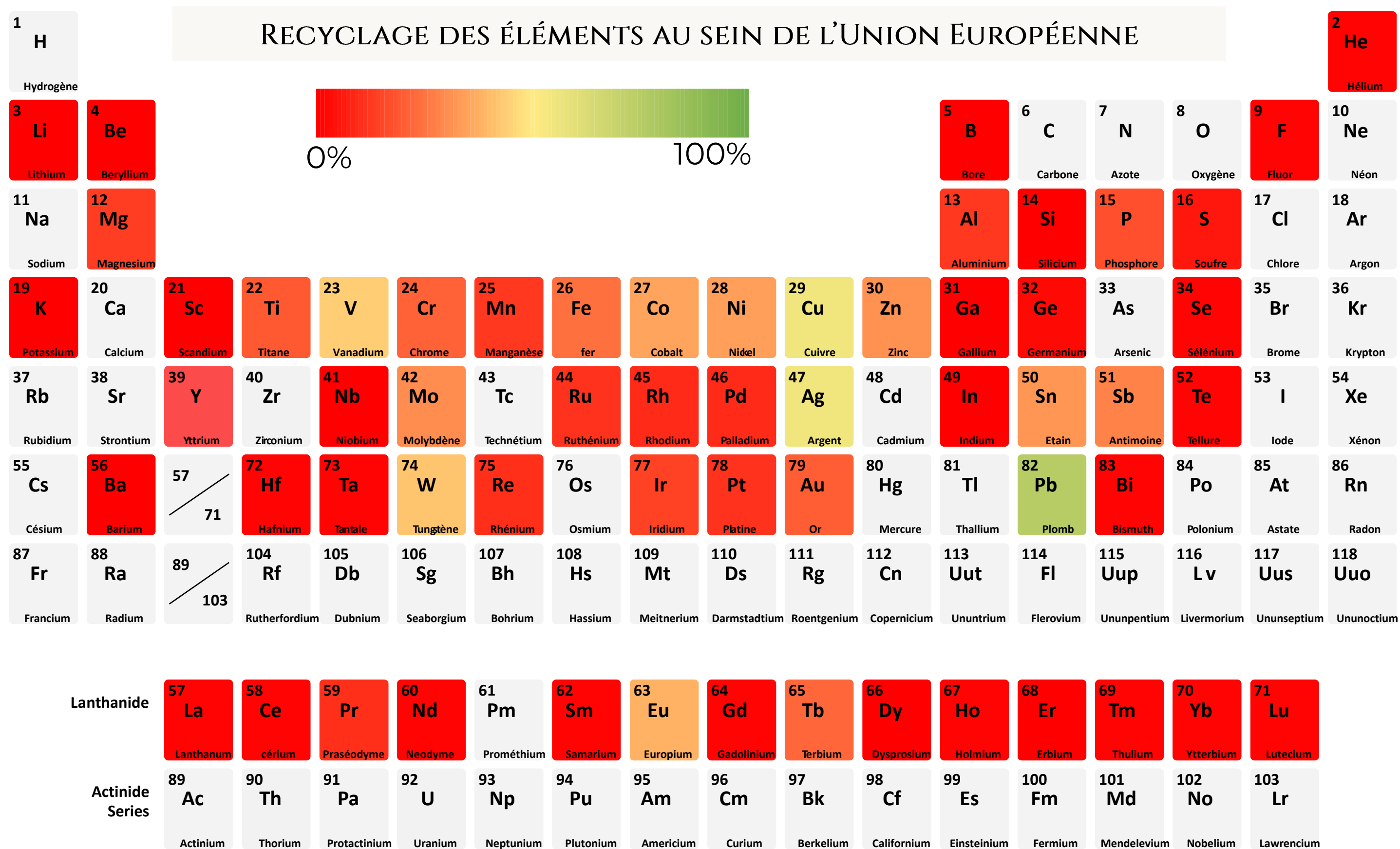


PRODUCTION PRIMAIRE : À PARTIR DE MINÉRAI.

PRODUCTION SECONDAIRE : À PARTIR DU RECYCLAGE.

I. NOUVEAUX ENJEUX

RECYCLAGE DES MÉTAUX

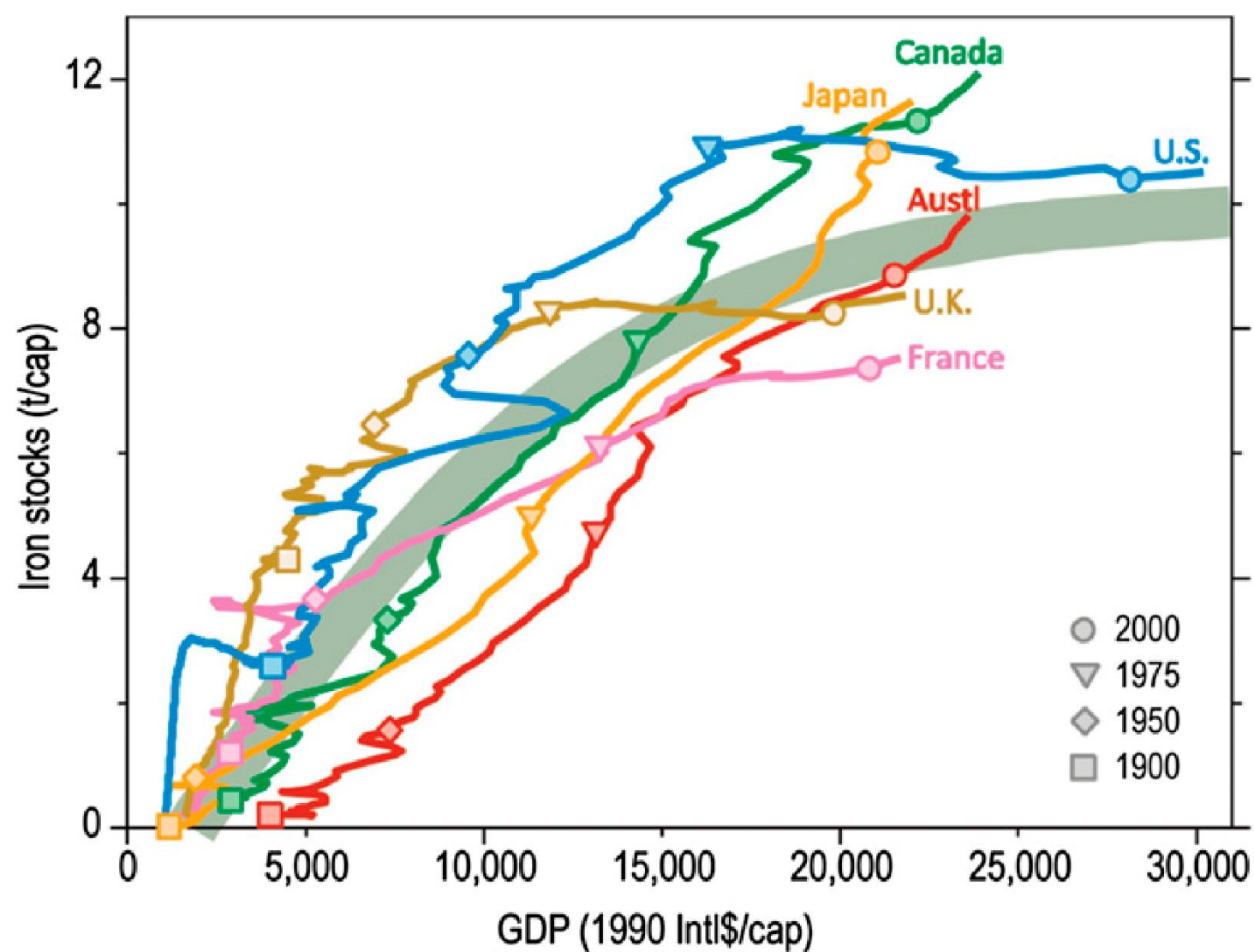


Source : Commission Européenne 2018

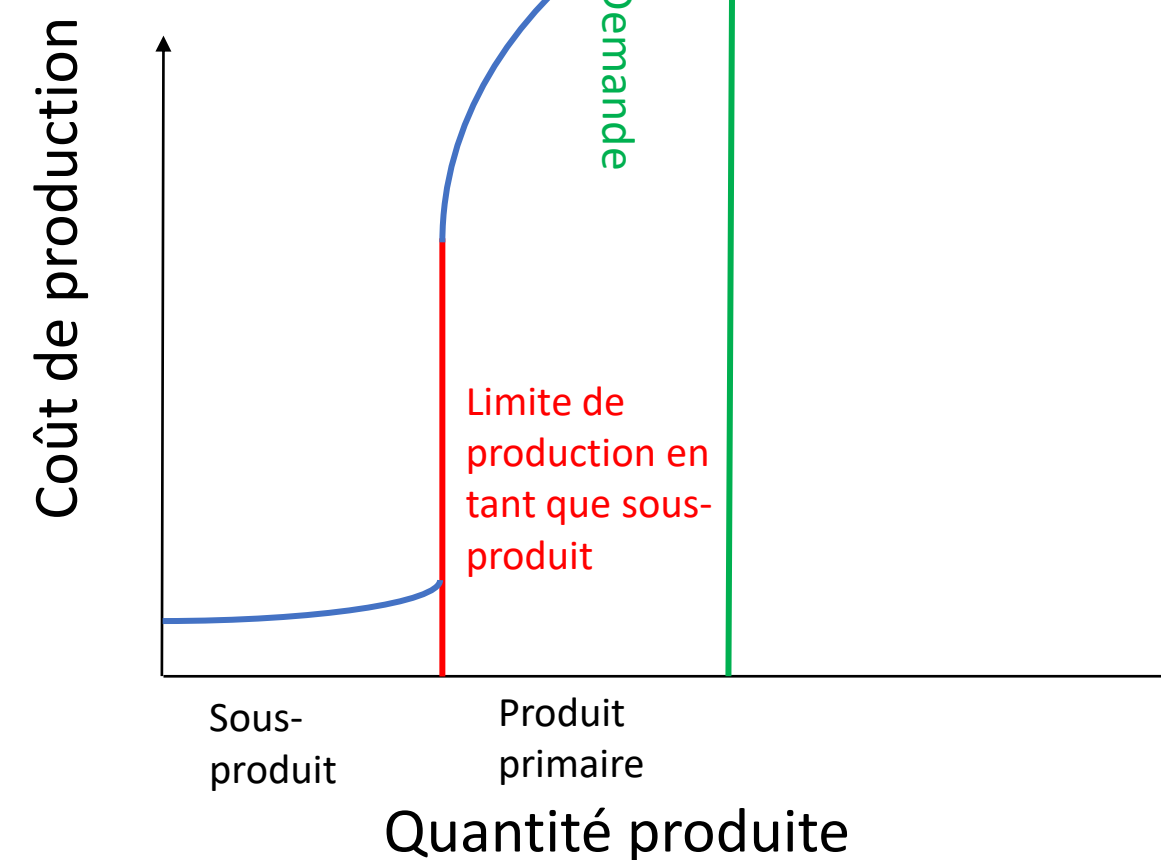
SPÉCIFICITÉ DES MÉTAUX RARES : DÉCORRÉLATION AU PIB

Métaux critiques décorrélés de la croissance du PIB mondial

Effet de seuil découlant de la nature de sous-produit et de la décorrélation avec la demande en métaux primaires.

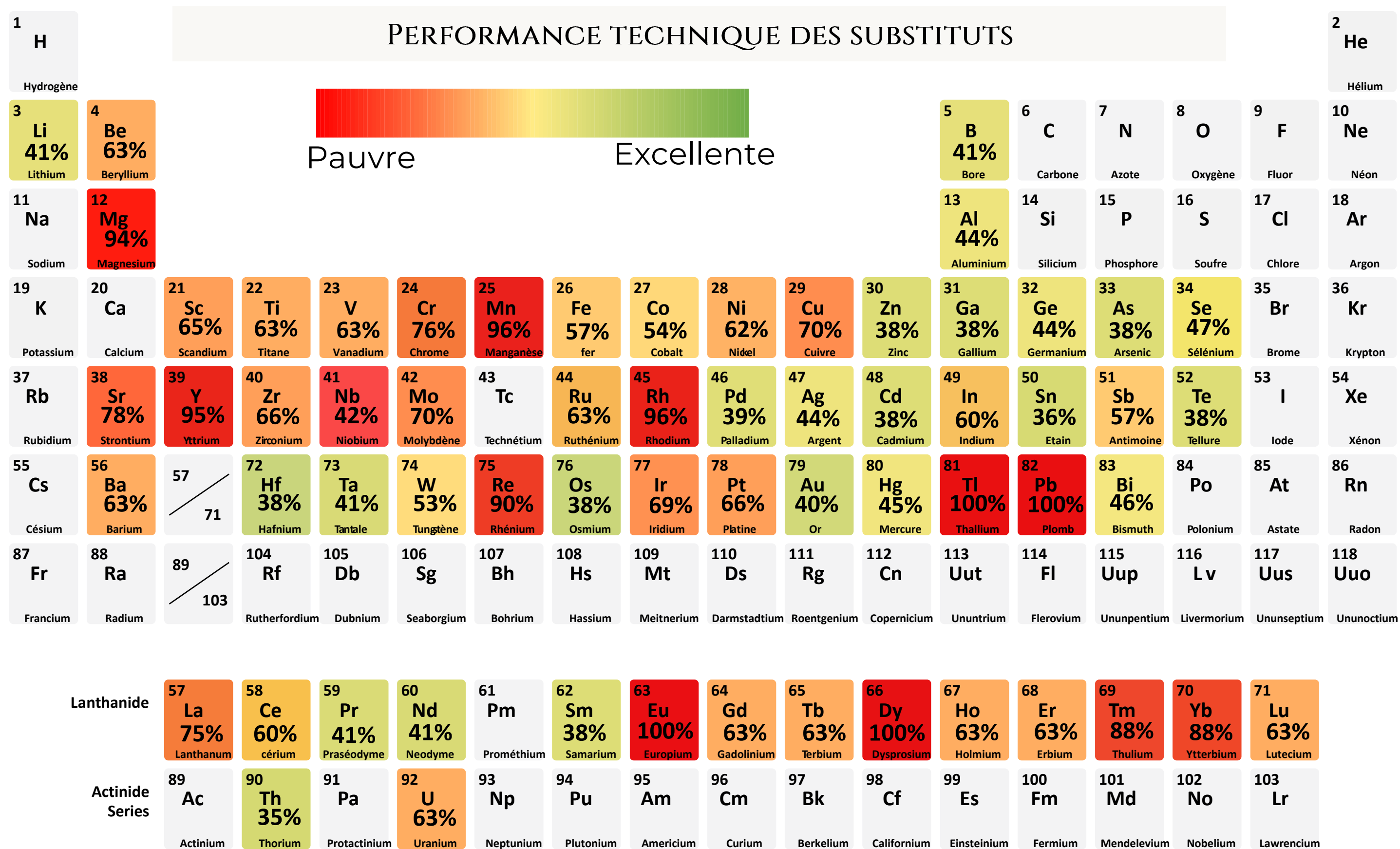


Source : American Chemical Society



I. NOUVEAUX ENJEUX

SUBSTITUABILITÉ DES MÉTAUX

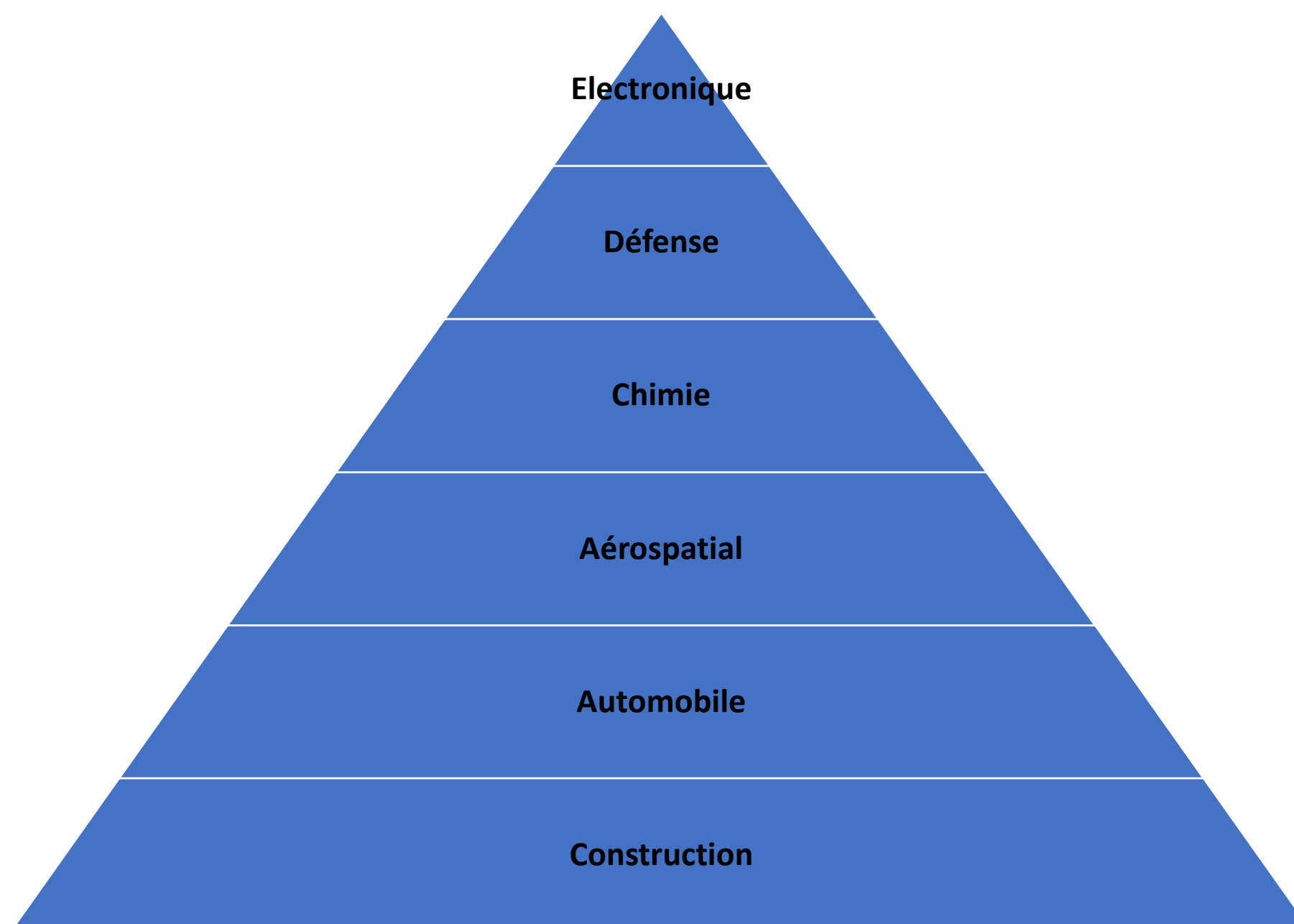


Source : On the materials basis of modern society, Nassar, Graedel, Harper Sci. Adv. 2013

I. NOUVEAUX ENJEUX

CONCURRENCE INTERSECTORIELLE

Concurrence intersectorielle pour l'accès aux ressources au profit des industries ayant la plus forte valeur ajoutée massique

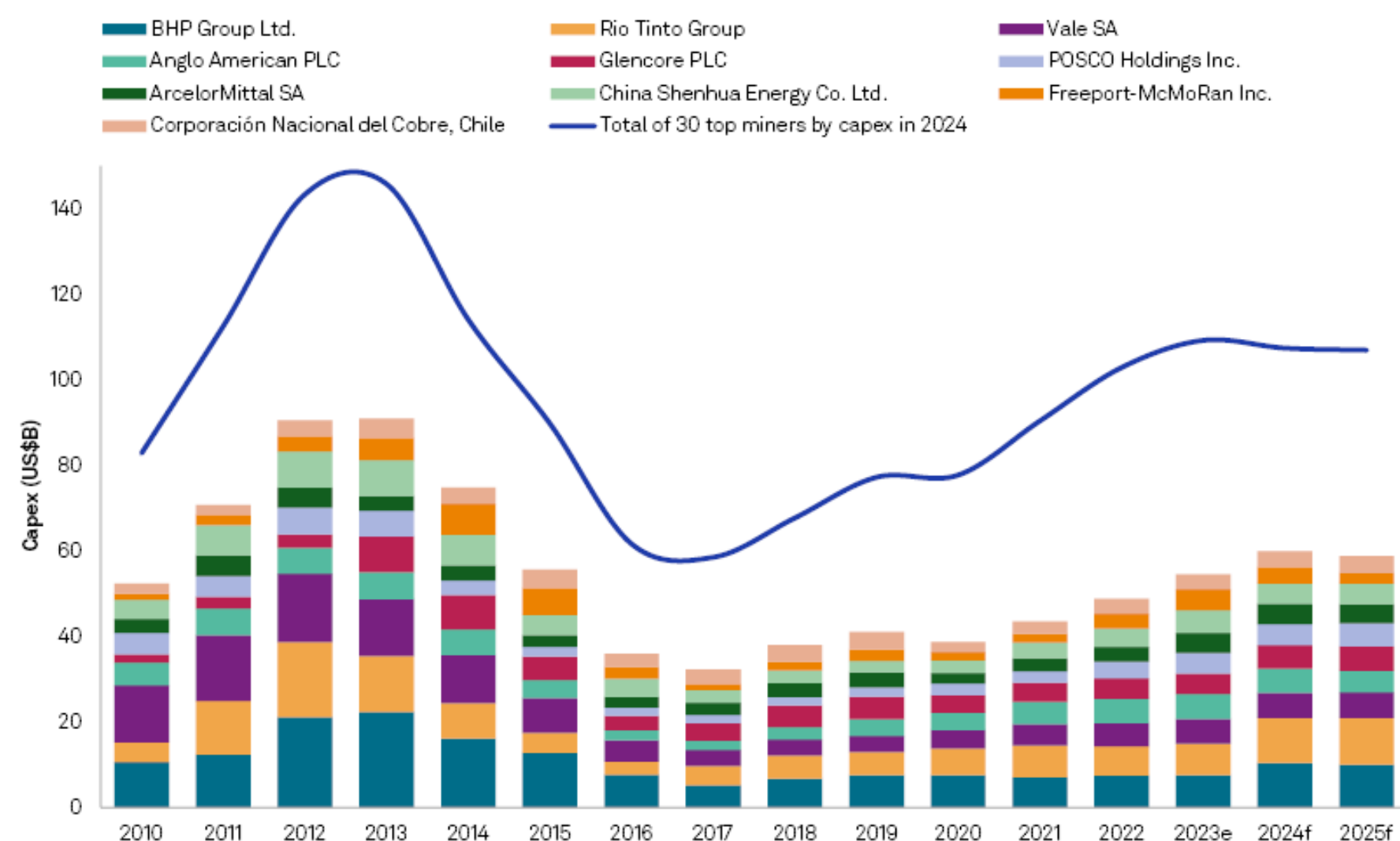


Exemples :

- ruthénium pour les disques durs vs moteurs d'avion
- tellure pour PV CdTe vs usinage des aciers

DÉFIS DE LA DISPONIBILITÉ FUTURE

Capex by highest spending miners, 2010–25



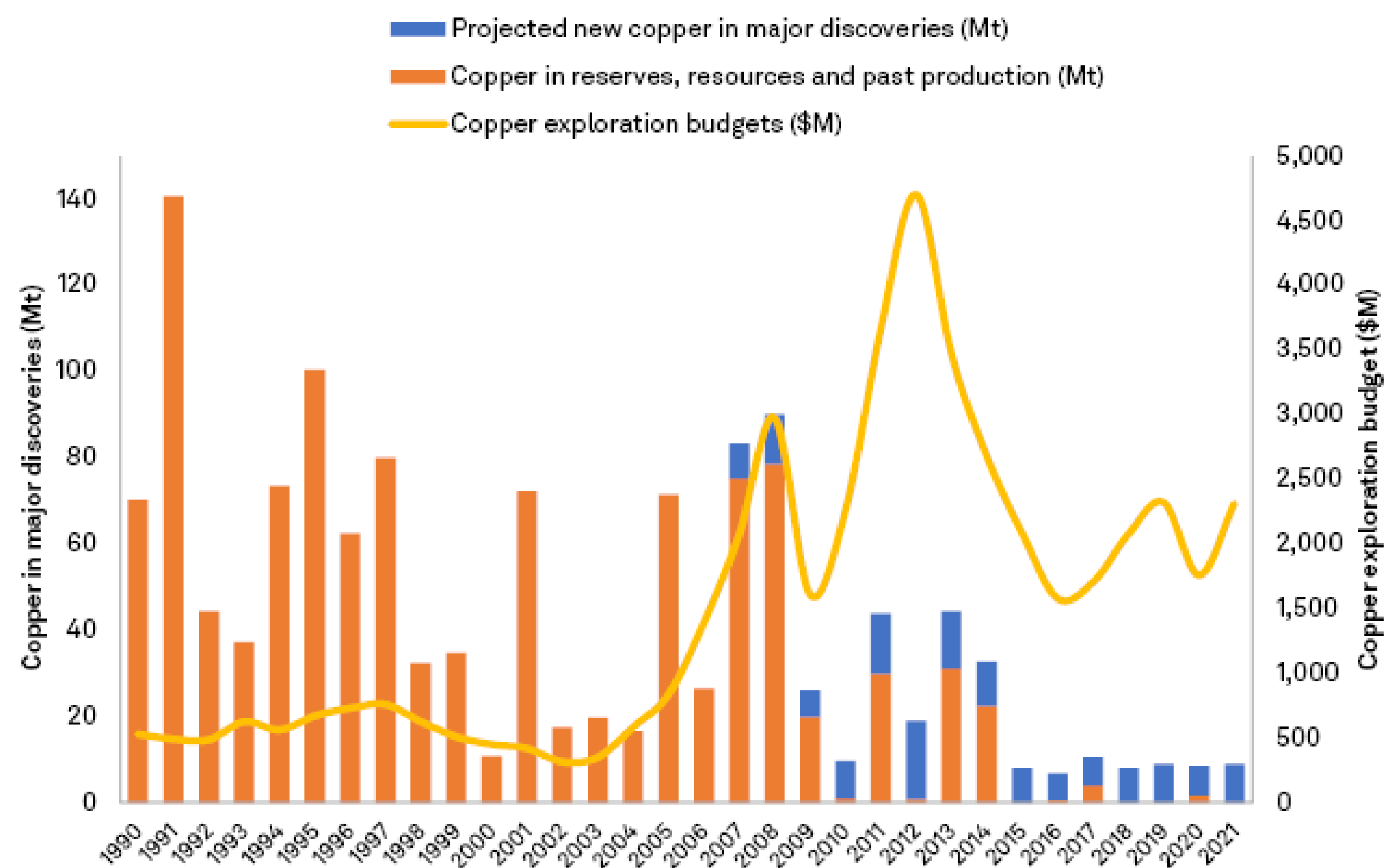
As of Sept. 1, 2023.
Capex = capital expenditure; e = estimate; f = forecast.
Financial year for BHP Group and Fortescue Metals Group Ltd., ends June 30, and for Vedanta Ltd. March 31.
Source: S&P Global Market Intelligence.
© 2023 S&P Global.

S&P/TSX Venture Metals & Mining (Industry) Index (CAD)



DÉFIS DE LA DISPONIBILITÉ FUTURE

Discovery drought continues



Data as of May 10, 2022.

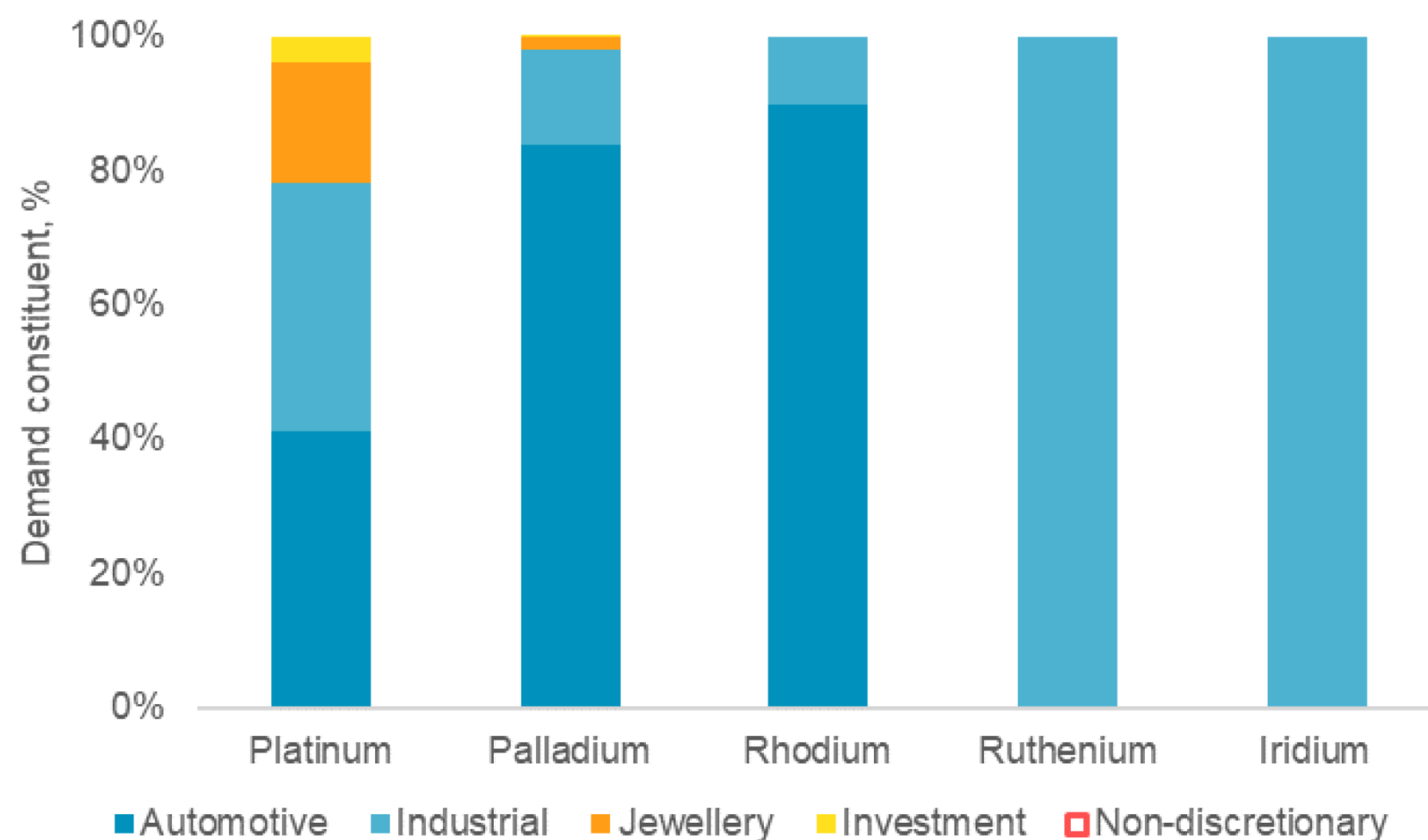
* Annual average London Metal Exchange Copper Grade A cash price.

Source: S&P Global Market Intelligence

I. NOUVEAUX ENJEUX

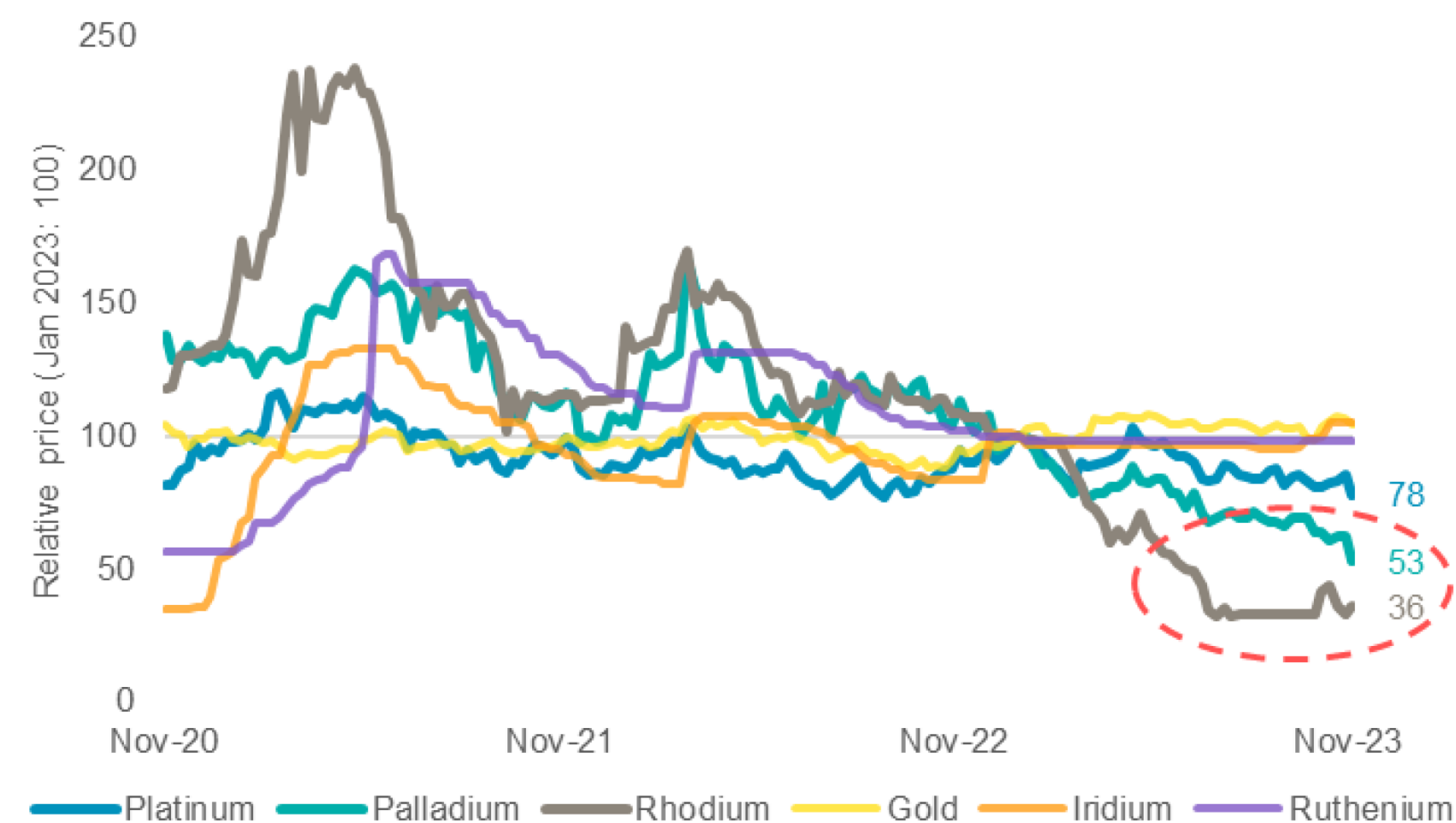
EXEMPLE : RUTHÉNium

Figure 10. PGM demand is inelastic, with consumption exposed to regulated industries



Source: SFA (Oxford) to 2018, Metals Focus, WPIC research

Figure 2. Year to date, palladium and rhodium prices have underperformed amongst PGMs



Source: Bloomberg, WPIC research

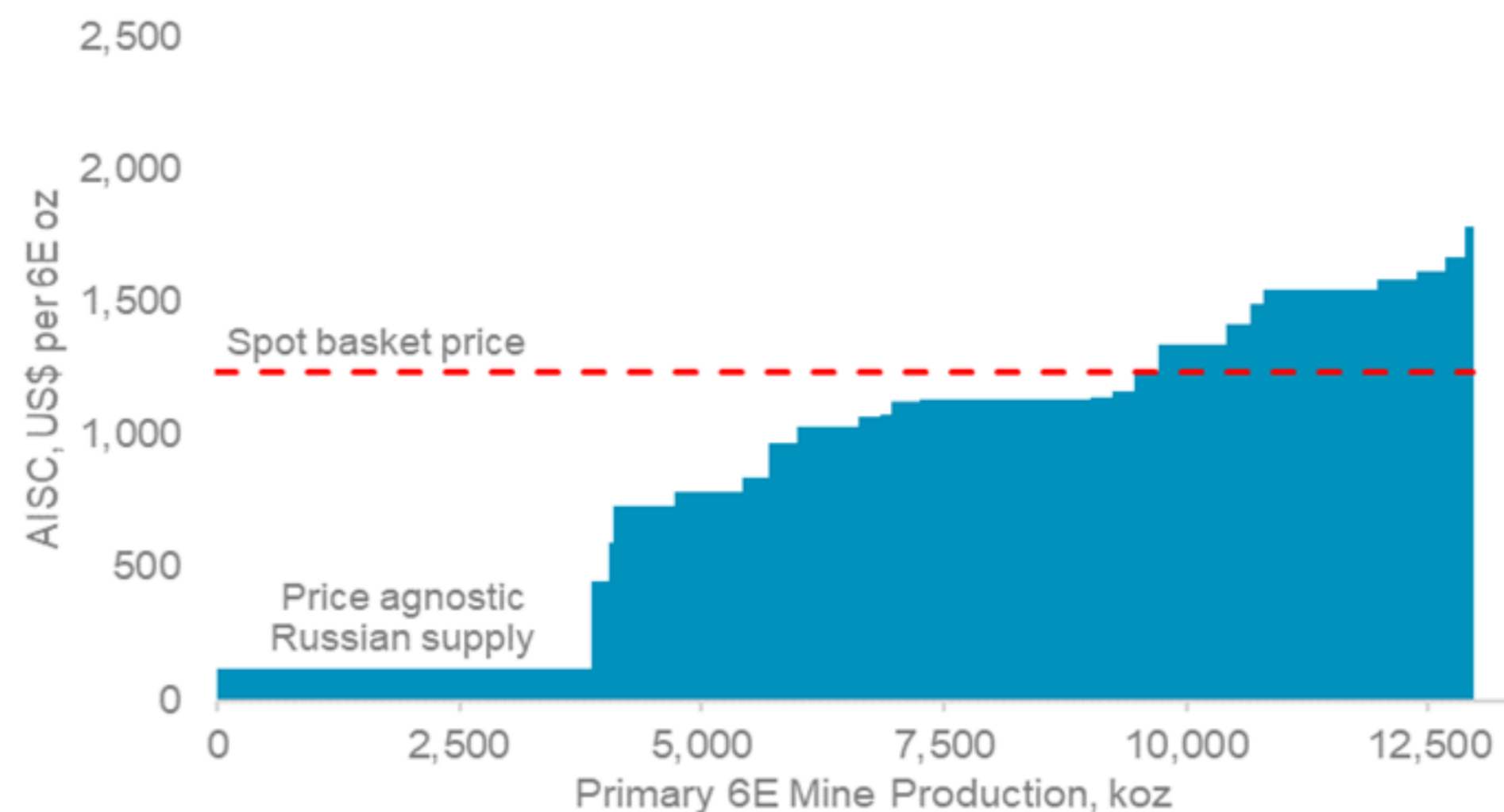
EXEMPLE : RUTHÉNIUM

Figure 4. The annual rate of decline in PGM basket prices has sequentially accelerated through each quarter of 2023



Source: Bloomberg, WPIC research

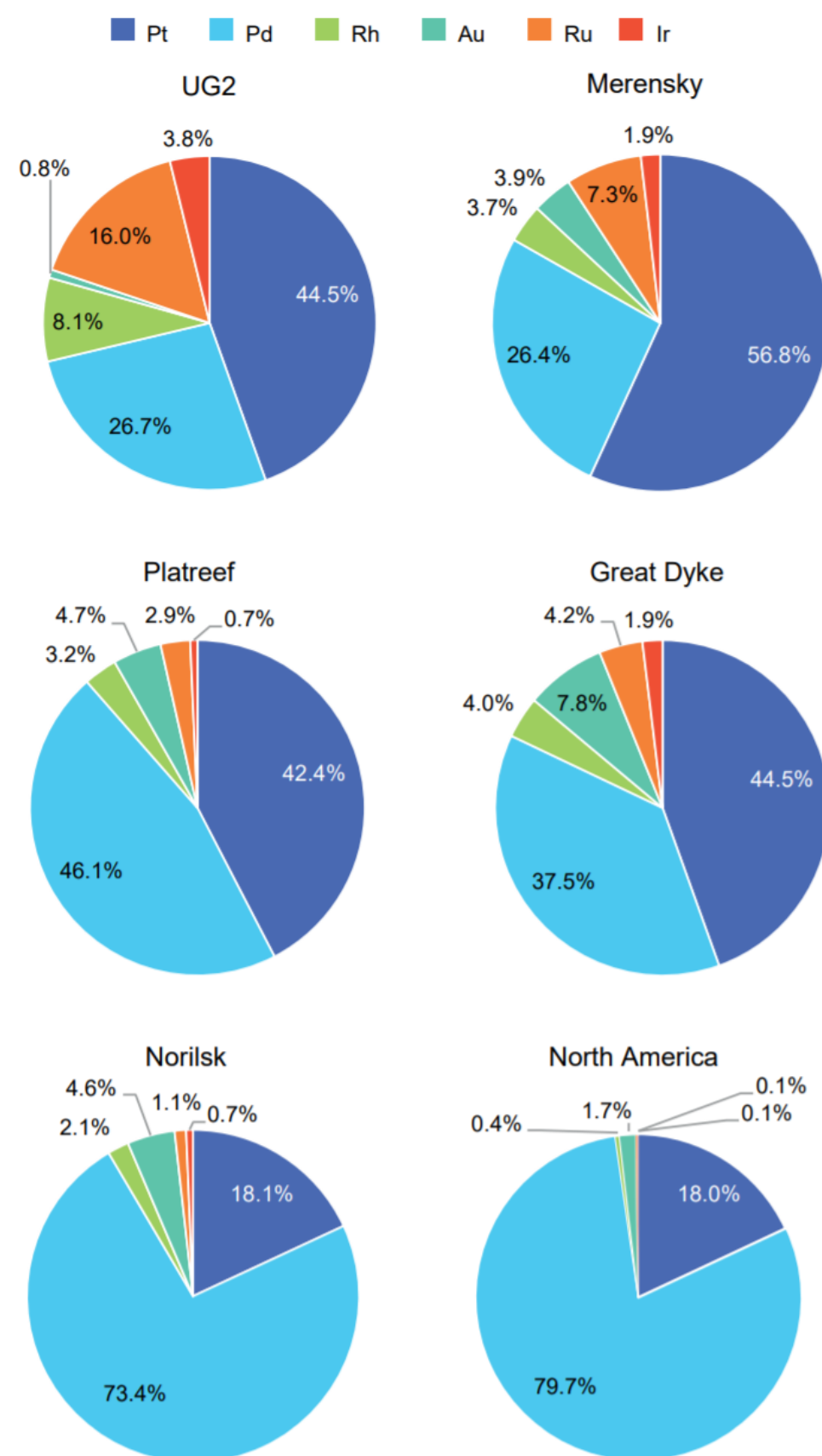
Figure 1. Large portions of PGM mining is loss making at spot prices



Source: Bloomberg, Company data, WPIC Research, 2022 cost curve, basket price at Nov'23

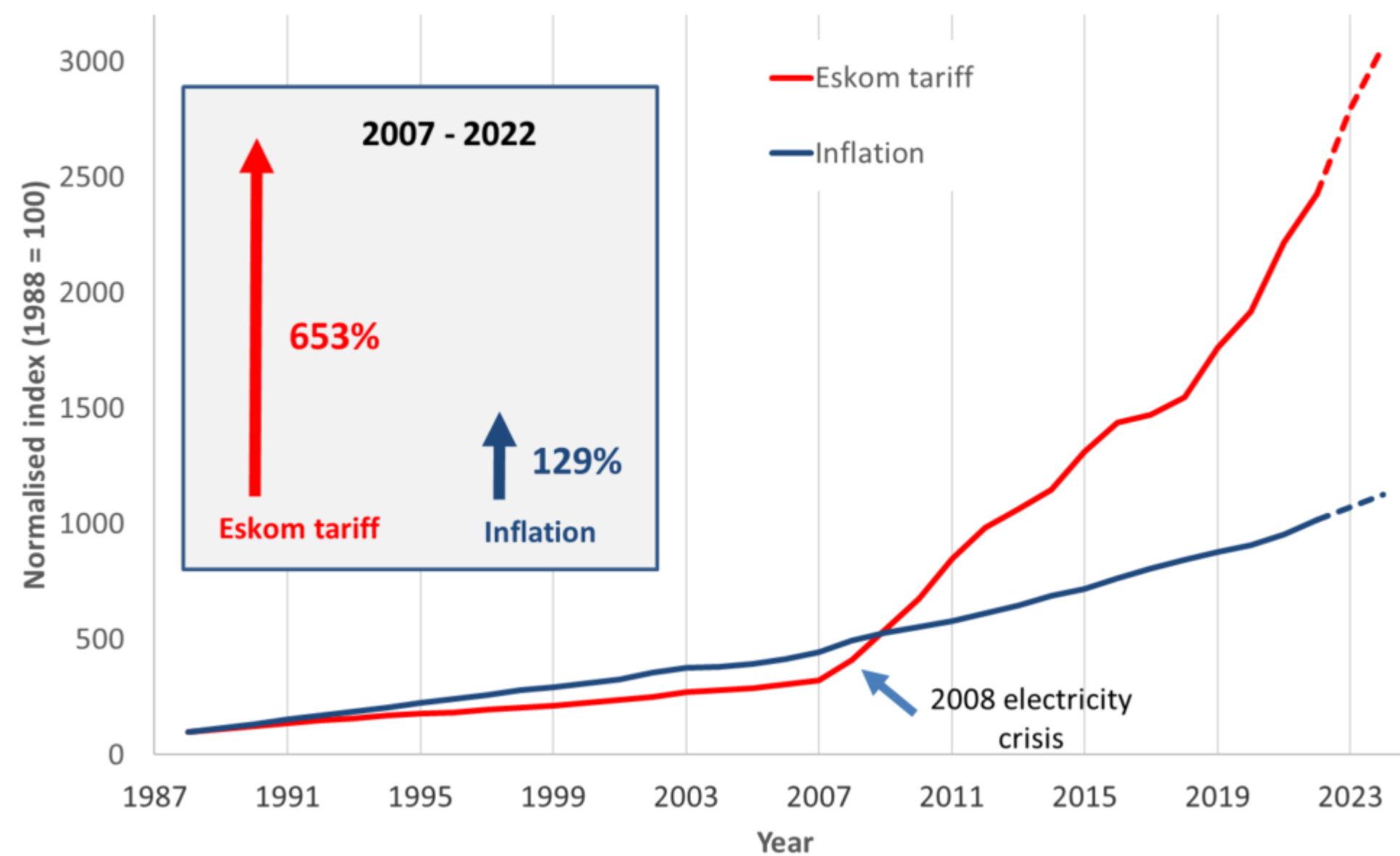
EXEMPLE : RUTHÉNIUM

PGM prill splits



Source: SFA (Oxford). Note: Totals may not sum owing to rounding.

Eskom average tariff vs. inflation (CPI)



I. NOUVEAUX ENJEUX

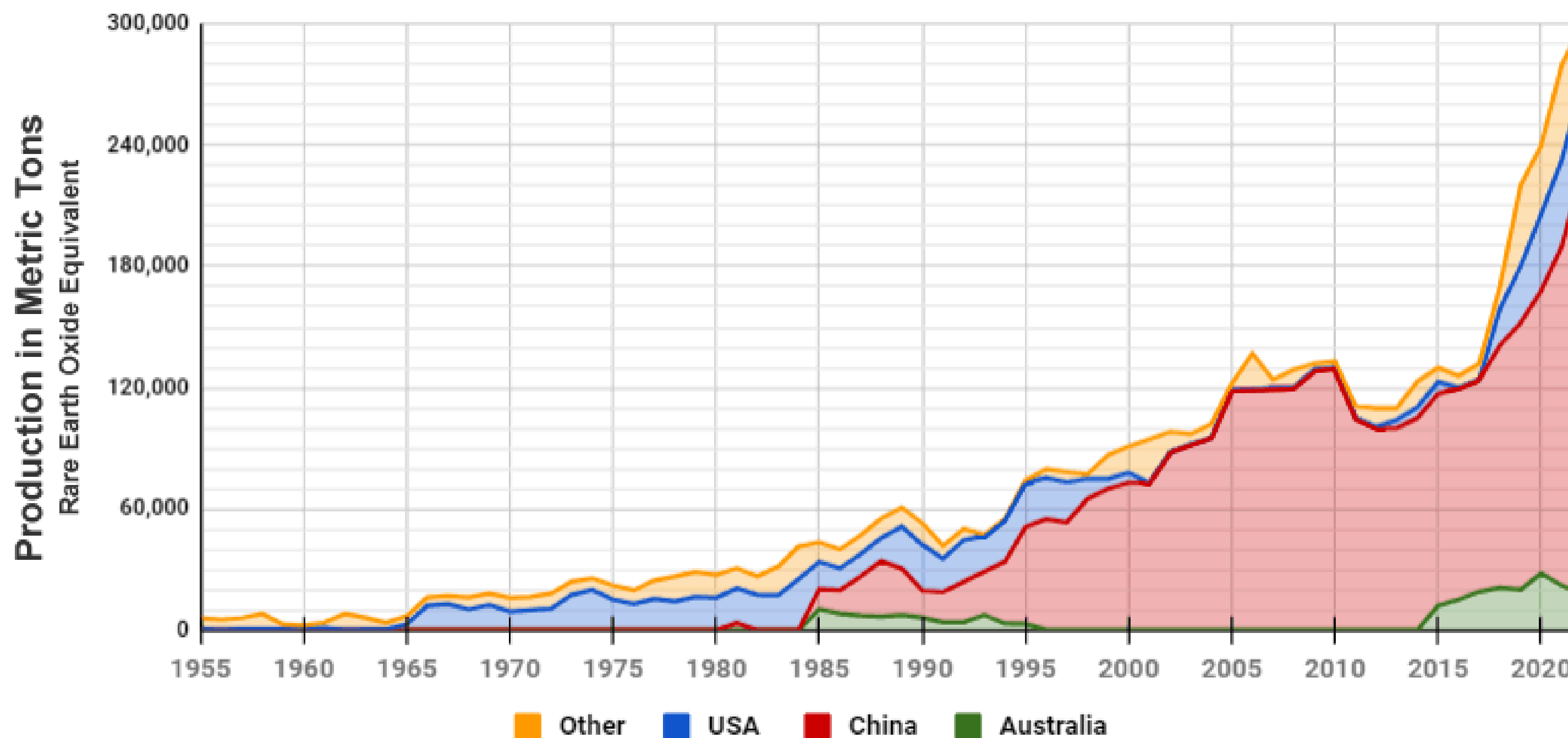
EXEMPLE : RUTHÉNIUM

date	Alloy Generations	Ni	Cr	Co	Mo	W	Al	Ti	Ta	Hf	Re	Ru	Fe	Nb	C	b	p	melting point	résistance au fluage : 1100°C, 137MPa Creep rupture life (h)	température maximum pour rupture à 1000h à 137MPa
	1st	René N4	62.0	9.8	7.5	1.5	6.0	4.2	3.5	4.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	8.56			
1980		PWA1480	76.0	10.0	5.0	0.0	4.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.70	1290-1340		1020
		SRR99	66.3	8.0	5.0	0.0	10.0	5.5	2.2	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.56			
1984	2nd	CMSX-4	61.7	6.5	9.0	0.6	6.0	5.6	1.0	6.5	0.1	3.0	0.0	0.0			8.70	1320-1380		1080
1988		PWA1484	59.3	5.0	10.0	2.0	6.0	5.6	0.0	9.0	0.1	3.0	0.0	0.0			8.95			
		René N5	61.6	7.0	8.0	2.0	5.0	6.2	0.0	7.0	0.2	3.0	0.0	0.0			8.63			
1996	3rd	René N6	57.4	4.2	12.5	1.4	6.0	5.8	0.0	7.2	0.2	5.4	0.0	0.0			8.98			
1996		CMSX-10	69.7	2.0	3.0	0.4	5.0	5.7	0.2	8.0	0.0	6.0	0.0	0.0			9.05	1360-1410	220	
		TMS-75	59.9	3.0	12.0	2.0	6.0	6.0	0.0	6.0	0.1	5.0	0.0	0.0			8.89		227	1060
	4th	MX-4/PWA1497	50.5	2.0	16.5	2.0	6.0	5.6	0.0	8.3	0.2	6.0	3.0	0.0			9.20			
		MC-NG	70.4	4.0	0.0	1.0	5.0	6.0	0.5	5.0	0.1	4.0	4.0	0.0			8.75			
1999/2006		TMS-138	63.7	3.2	5.8	2.9	5.9	5.8	0.0	5.6	0.1	5.0	2.0	0.0			8.95	1390.00	399	1083
		TMS-138A	61.7	3.2	5.8	2.9	5.6	5.7	0.0	5.6	0.1	5.8	3.6	0.0			9.01	1390.00		
	5th	TMS-162	59.1	3.0	5.8	3.9	5.8	5.8	0.0	5.6	0.1	4.9	6.0	0.0			9.04		959	1120
		TMS-173	59.8	3.0	5.6	2.8	5.6	5.6	0.0	5.6	0.1	6.9	5.0	0.0			9.11		1137	
2008		TMS-196	60.3	4.6	5.6	2.4	5.0	5.0	0.0	5.6	0.1	6.4	5.0	0.0			9.01	1390.00		
2012	6th	TMS-238	58.8	4.6	6.5	1.1	4.0	5.9	0.0	7.6	0.1	6.4	5.0	0.0					1950	

I. NOUVEAUX ENJEUX

EXEMPLE 2 : LA CHINE ET LES TERRES RARES

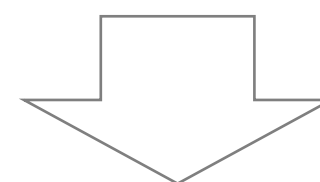
Métaux => usines => technologie => destruction de concurrence => monopole



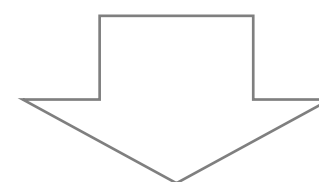
I. NOUVEAUX ENJEUX

EXEMPLE 2 : LA CHINE ET LES TERRES RARES

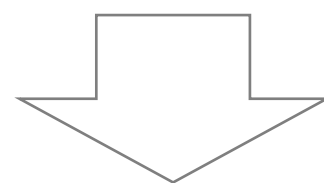
2012 : Fortes tensions avec le Japon autour de l'archipel des Senkaku que la Chine revendique.



Mise en place de quotas exports de plus en plus restrictifs des terres rares chinoises (et pas que).

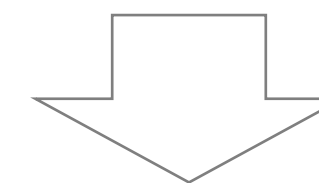


Plainte du Japon, des Etats-Unis et de l'Union Européenne devant l'OMC.



L'OMC donne raison aux plaignants et la Chine doit stopper sa politique de quotas

Incitations chinoises à la délocalisation des usines vers la Chine

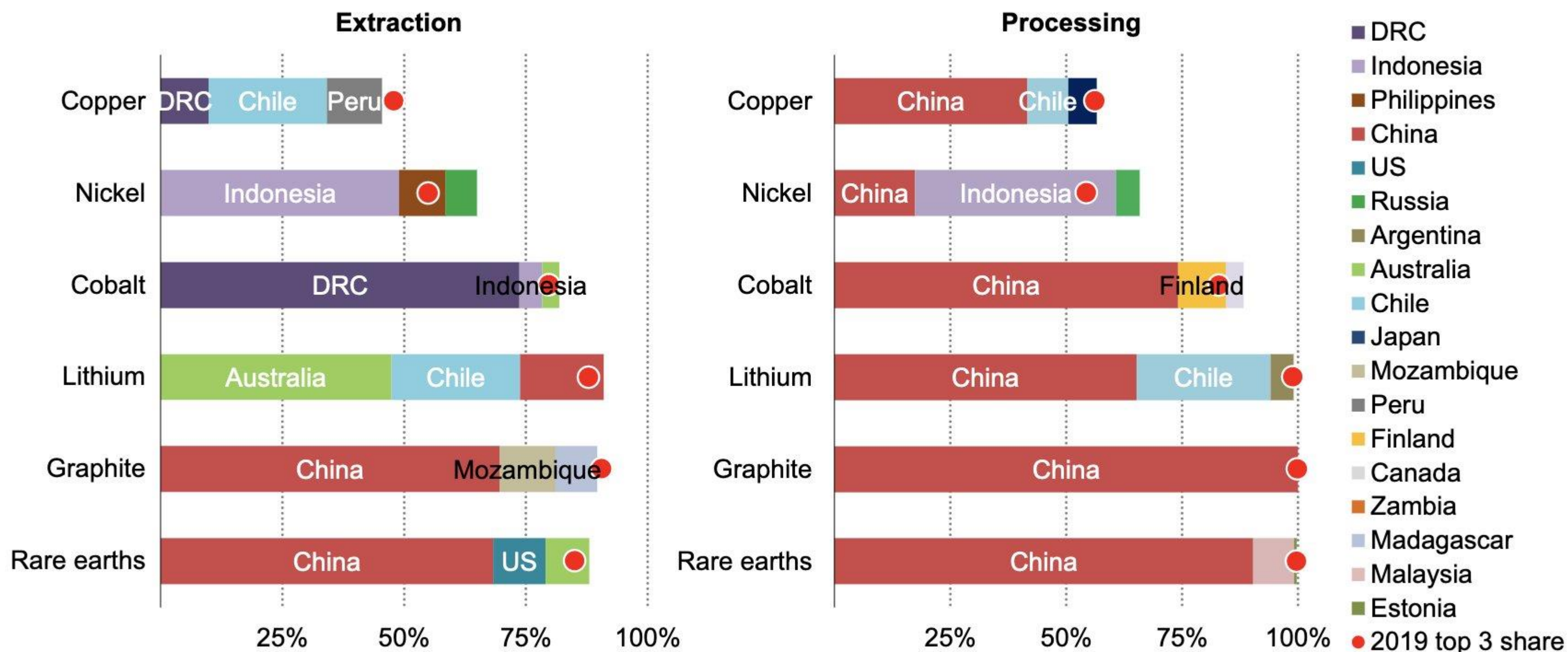


La quasi-totalité de la filière aval des terres rares est désormais localisée en Chine.

I. NOUVEAUX ENJEUX

EXEMPLE 2 : LA CHINE ET LES TERRES RARES

Share of top three producing countries in total production for selected resources and minerals, 2022



IEA. CC BY 4.0.

RISQUES SUR LES SUPPLY CHAINS

- Environnementaux (pollution, accès à l'eau...)
- Sociaux
- Réputationnels
- Energétiques
- Politiques :
 - Instabilité
 - Nationalisation / résiliation des contrats
 - Export bans
 - Réformes des codes miniers
- Logistiques :
 - Conflits (Mer rouge)
 - Risques naturels
 - Accidents (Ever Given)

Quelles couvertures, pour quels risques?

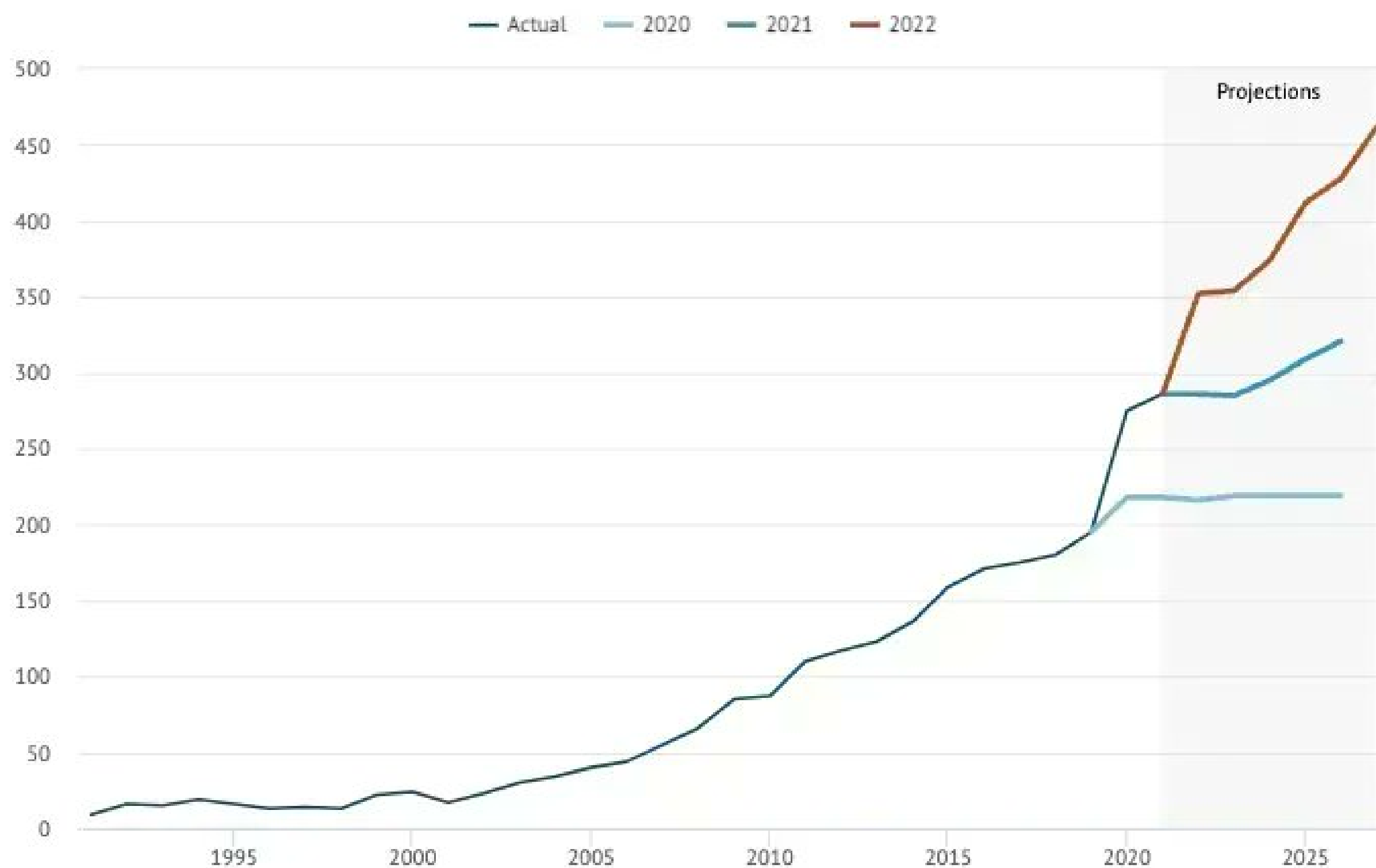
Plusieurs temporalités, plusieurs réponses : des flux, des stocks

I. NOUVEAUX ENJEUX

PROJECTIONS ET PROCESSUS NON LINÉAIRES

The IEA has raised its renewable growth forecast by 28% since 2021 and by 76% since 2020

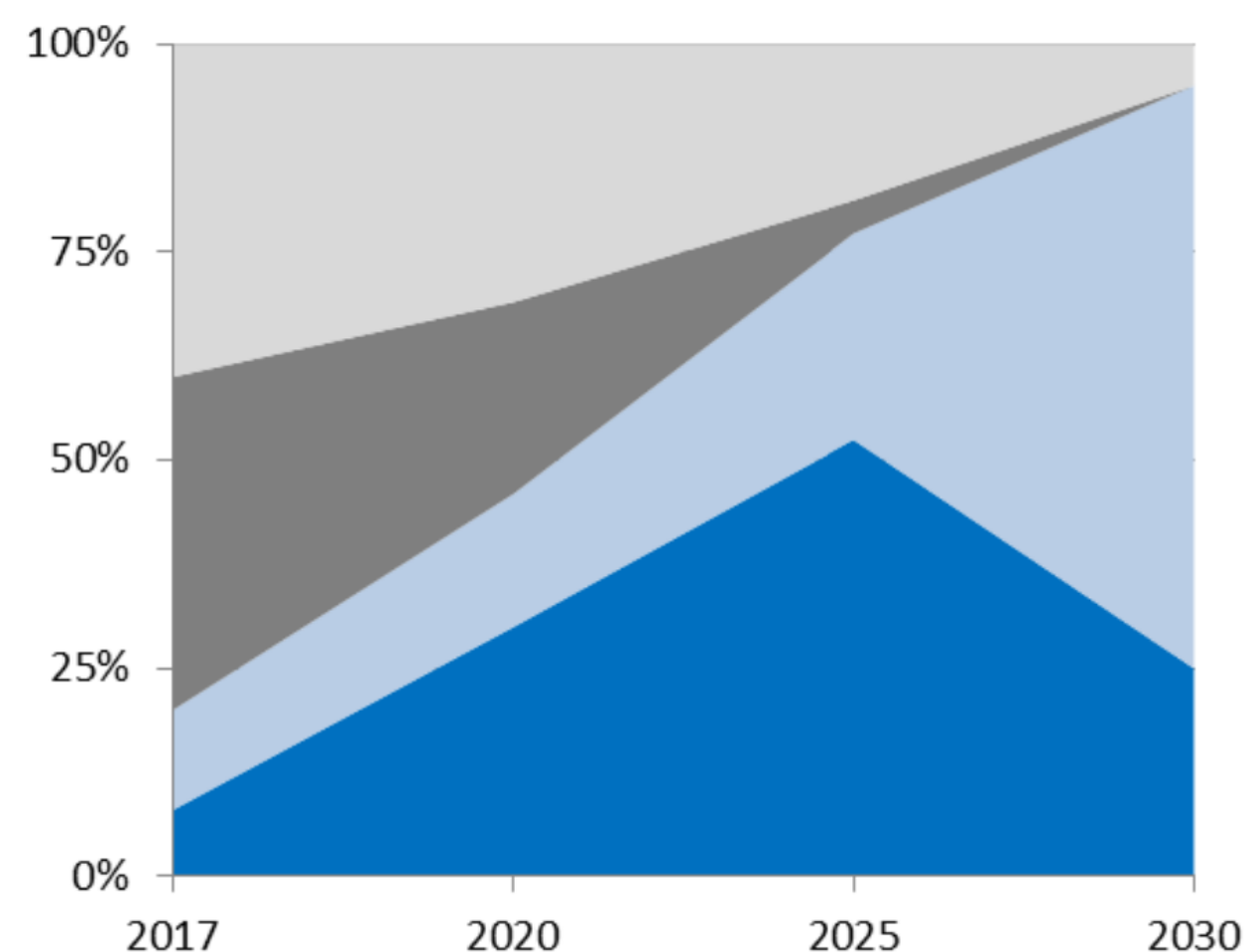
Total global renewables capacity, gigawatts (GW)



PROJECTIONS ET PROCESSUS NON LINÉAIRES

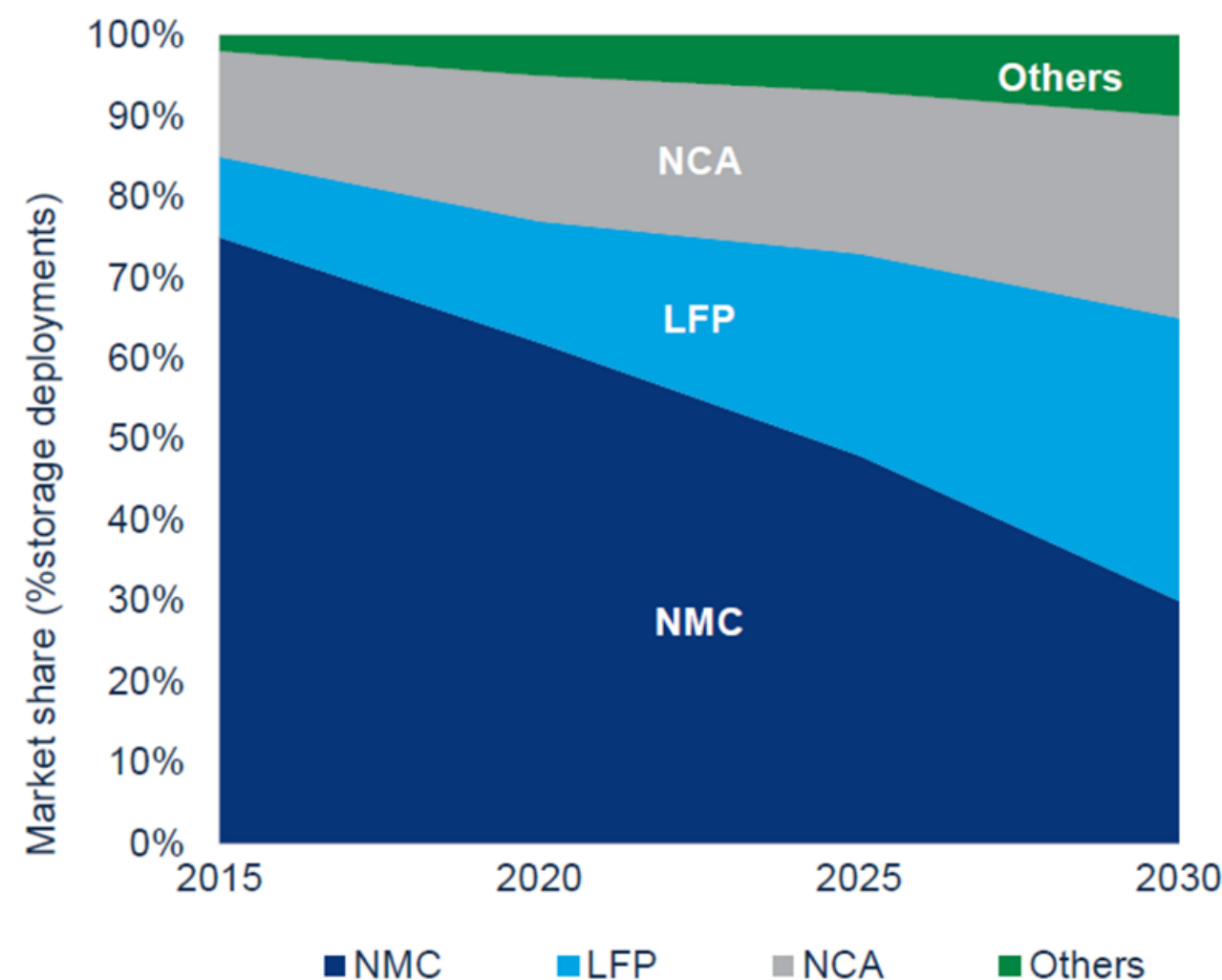
Métaux de base = infrastructure = grandes quantités + prévisibilité

Métaux critiques = technologies + petites quantités + forte sensibilité prix aux technologies de rupture



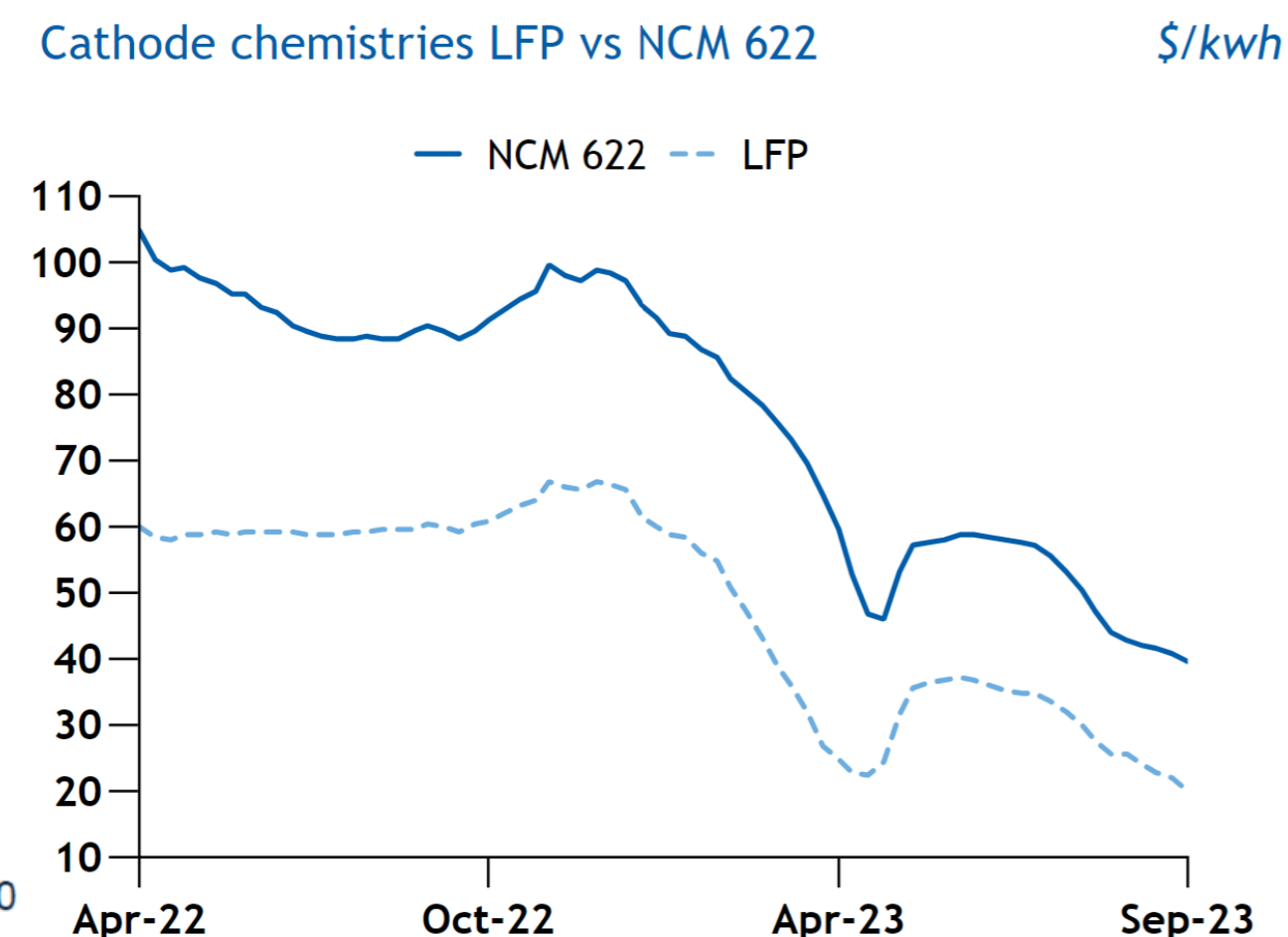
■ LMO/LFP
■ NMC 111
■ NMC811/NCA
■ NMC 622/523

Source : Argus Metals 2018



■ NMC ■ LFP ■ NCA ■ Others

Source : Wood Mackenzie (2020)

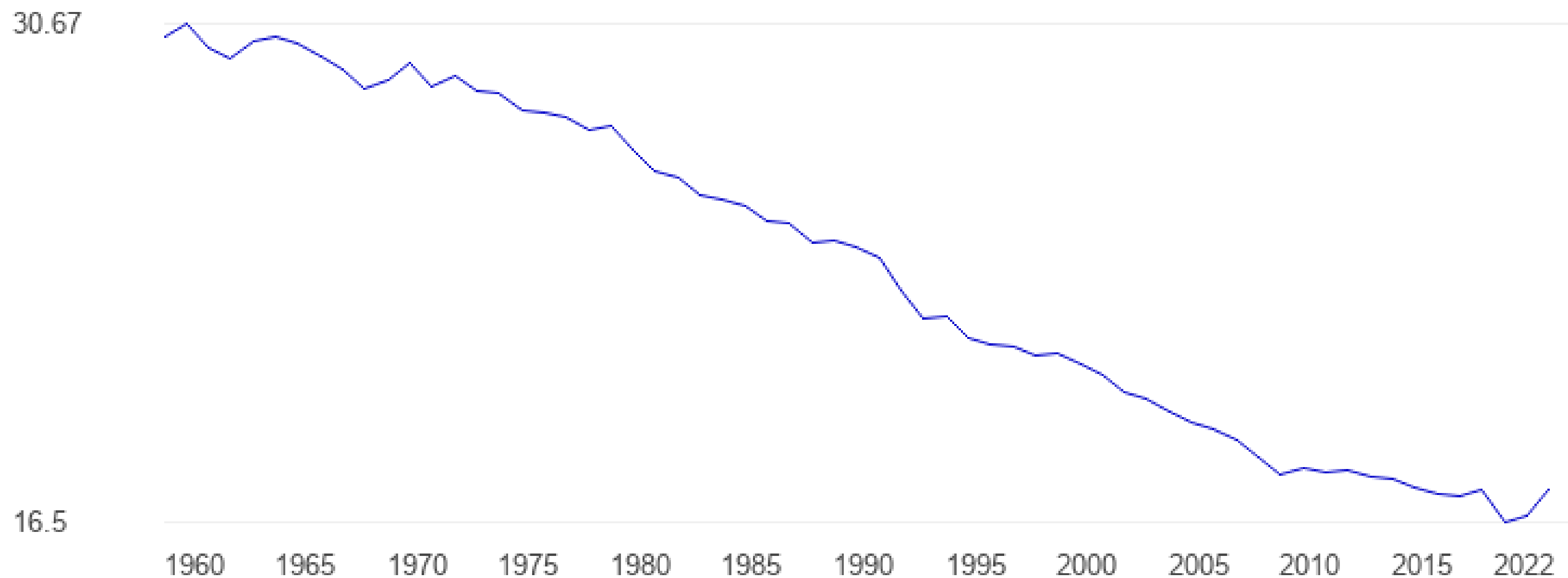


Source : Argus Metals 2023.09

II. AVANCÉES ET DÉFIS

DÉSINDUSTRIALISATION FRANÇAISE

Part de l'industrie dans le PIB de la France



Source : Banque Mondiale

RÉACTIONS

Nationale :

1. Orienter :

Rapport Varin : Sécurisation des flux

- Contrats d'offtake
- Recyclage
- Réouverture de mines

2. Comprendre :

- Création de l'OFREMI
(L'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles)
- Reprise de l'inventaire minier par le BRGM



3. Agir :

- Nomination d'un délégué interministériel aux matières premières stratégiques
- Création du fonds d'investissement sur les métaux critiques
- Réflexion sur les stocks stratégiques
- Dialogue avec les filières (criticités, risques...)

RÉACTIONS

Européenne :

Comprendre : Création de 200 nouveaux codes douaniers par Eurostat sur les métaux critiques

Agir :

- CRM Act (règlement européen directement applicable dans le droit de chaque Etat membre) : Annoncé en mars 2023, accord inter-institutionnel en novembre 2023
 - 10% de métaux critiques consommés dans l'UE doivent provenir de mines dans l'UE
 - 25% de métaux critiques consommés dans l'UE doivent provenir du recyclage dans l'UE
 - 40% de métaux critiques consommés dans l'UE doivent être raffinés dans l'UE
 - Guichet unique pour ramener à 27 mois le délais d'instruction des projets miniers et 15 mois les projets de raffinage et de recyclage.
 - Cadre de partenariat stratégiques avec des pays tiers
- Réflexion sur les stocks stratégiques

LIMITES

La multiplication des flux permet une diminution du risque spécifique

- Contrats d'offtake
- Recyclage
- Réouverture de mines / de capacités de raffinage

Mais ces flux sont économiquement viables si ils sont saturés

Donc, l'interruption d'un flux reste une menace pour la résilience du système industriel

La sécurisation des flux est nécessaire mais insuffisante pour assurer la résilience

Il faut donc ajouter à la diversification des flux des stocks de matière :

- Stocks tampons
- Stocks stratégiques



VINCENT DONNEN

VDONNEN@CDMR.CH