

Note d'analyse n° 96, octobre 2020

Comment évaluer l'externalité carbone des métaux

Julien Bueb et Évelyne To, département Développement durable et numérique

Annexe 1 – Les différents métaux et l'évolution de leur usage dans la production industrielle

Un métal est une matière issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal. Il a des caractéristiques de conduction de chaleur et d'électricité, de dureté et de malléabilité qui peuvent se combiner avec celles d'autres métaux pour former des alliages utilisables dans l'industrie. Les métaux se différencient entre eux par leurs propriétés physico-chimiques, électriques et magnétiques¹. Sur des critères métallurgiques ou économiques, des groupes de métaux peuvent être formés, sachant que certains métaux appartiennent à plusieurs groupes et que la liste n'est pas exhaustive² :

- métaux de base ferreux et non ferreux (fer, manganèse, aluminium, cuivre, plomb, etc.) ;
- métaux d'alliage (cobalt, aluminium, cuivre, zinc, titane, nickel, étain, etc.) ;
- métaux précieux (ex. or, argent, platine, palladium, rhodium, etc.) ;
- métaux spéciaux ou high-tech ;
- petits métaux ou métaux rares ;
- métaux stratégiques ou métaux critiques.

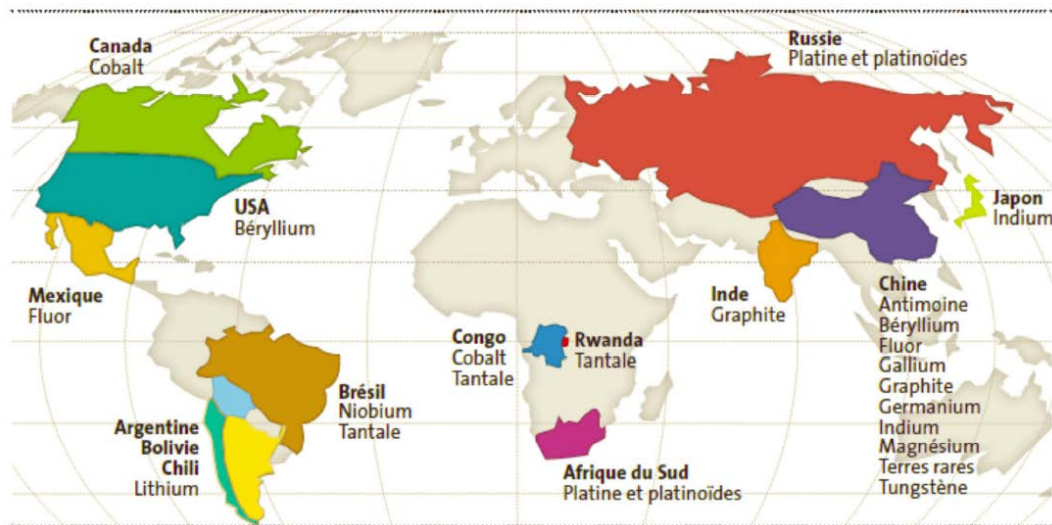
Depuis la révolution industrielle, l'usage des métaux a été modifié à mesure que les innovations et les besoins évoluaient. Ainsi, les métaux lourds (plomb et mercure en particulier), très polluants, furent les premiers à être employés. La demande qui leur est adressée à l'heure actuelle est en déclin, principalement à cause des réglementations environnementales. Ils sont néanmoins encore utilisés dans les pays en développement. Les métaux ferreux (hors métaux lourds) sont nécessaires à l'urbanisation, l'industrialisation et aux infrastructures. La demande croît faiblement (2,5 % par an en moyenne sur vingt-cinq ans), mais les volumes consommés sont élevés. Les métaux d'alliages (cuivre, zinc) ont une croissance et une cyclicité plus fortes (de 3 % à 5 % de croissance). Les métaux high-tech, petits métaux et métaux stratégiques, constituent une ou plusieurs autres catégories. Leur demande suit les innovations. Leur croissance peut dépasser les 20 % par an. Une large part des métaux high-tech ont une production inférieure à 200 000 tonnes par an et géographiquement très concentrée.

De manière générale, la consommation des métaux correspond au stade de développement des pays. Ainsi, les pays en développement (PED) utilisent relativement davantage de métaux ferreux et de base tandis que les pays développés ont une consommation plus importante de high-tech. Ces différents besoins en matières premières soulignent le clivage de développement entre le Nord et le Sud, tant au niveau des quantités consommées que de la qualité des métaux utilisés.

¹ On distingue les métaux alcalins, les alcalino-terreux, les métaux de transition, les métaux pauvres et les alliages.

² Pour les besoins de notre travail, nous retenons dix-sept métaux répertoriés dans quatre catégories de métaux (voir *infra*).

Figure 1 — Carte de répartition des principaux pays producteurs de matières premières minérales essentielles aux industries high-tech



Source : Bersani F. (2012), « Les ressources minérales métalliques, enjeu pour le développement durable », BRGM, *Géoscience*, n° 15

Peu sollicités dans les années 1980 – une dizaine seulement de ces différents métaux étaient employés –, les métaux high-tech ont depuis fait l’objet d’études poussées afin de permettre leur intégration dans de nouveaux processus de production. Une soixantaine environ servent désormais aux industriels. Utilisés dans un premier temps à des fins militaires (pièces d’artillerie, guidage balistique, batteries de véhicules), ils participent désormais activement au développement des nouvelles technologies et particulièrement à celui des technologies vertes. Ainsi, engagés politiquement dans la problématique du changement climatique, les pays industrialisés cherchent à diminuer leur consommation énergétique (que ce soit au niveau de la consommation énergétique ou de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)) en remplaçant les biens énergivores par de nouveaux produits « verts » qui intègrent des métaux high-tech. Par exemple, les lampes électroluminescentes ou LED nécessitent du gallium et les batteries des voitures hybrides du lithium. Les énergies renouvelables sollicitent également et fortement les ressources métalliques. Le néodyme et le dysprosium sont utilisés dans les aimants permanents pour les génératrices d’éoliennes. Les gallium, indium, sélénium, cadmium ou tellure sont mobilisés dans certains panneaux photovoltaïques³. Les centrales nucléaires font encore davantage appel aux métaux⁴.

Il est donc vital pour ces pays, contributeurs historiques au changement climatique, d’assurer un accès pérenne à ces ressources tant du point de vue des besoins environnementaux que du développement des industries de pointe – industries à forte valeur ajoutée potentielle.

³ Technologies dites CIGS ou Cd-Te. Voir Philippe Bihouix, « Matérialité du productivisme », in. Sinaï A. (2013), *Penser la décroissance. Politiques de l’Anthropocène*, Presses de Sciences Po, coll. « Nouveaux Débats ».

⁴ Par exemple, titane, cobalt et tantale sont présents dans les aciers inoxydables et les alliages à haute teneur en nickel, très largement employés dans la robinetterie nucléaire. Le zirconium sert à emballer les barres de combustible. Le hafnium, le cadmium, l’indium, l’argent, le sélénium absorbent les neutrons. Le lithium est employé comme réfrigérant pour les réacteurs ou comme dissolvant de combustible nucléaire. Voir P. Bihouix, « Matérialité du productivisme », in. Sinaï A. (2013), *Penser la décroissance*, op. cit.

Annexe 2 – Les autres externalités liées aux activités extractives et de raffinage des métaux

Hors GES, les externalités peuvent être réparties en deux catégories :

- les impacts sur la biodiversité, les écosystèmes et la qualité de l'eau – déforestation, altération du cycle de l'eau, rupture de la continuité écologique, artificialisation des sols, perte des capacités de filtration naturelle de l'eau, bruit et vibrations dus à l'activité minière, risques liés au transport, à la manipulation, au stockage, à l'émission et à l'élimination des matières dangereuses – figurent parmi les dommages directs à la biodiversité et aux écosystèmes. Ce sont des externalités liées essentiellement à l'extraction, moins au raffinage qui dépend des conditions de mise en œuvre de processus industriels. Indirectement, l'eutrophisation⁵ des eaux, par la contamination des eaux de surface ou souterraines, peut nuire à la bonne santé de la biodiversité et des écosystèmes. L'impact des exploitations sur les écosystèmes locaux peut entraîner une augmentation en volume des déchets. Certaines substances métalliques peuvent être radioactives. De manière générale, l'utilisation massive de produits chimiques dans les procédés d'extraction ou de traitement du minerai conduit à des pollutions à très long terme, après la fin de l'exploitation. De plus, si les modifications profondes des écosystèmes par les activités minières et de traitement des métaux sont relativement concentrées, l'impact peut être plus diffus et global dans le cas de l'utilisation et des rejets en fin de vie ;
- les enjeux sanitaires : si la biodiversité, les écosystèmes et le cycle de l'eau peuvent être endommagés, la santé des populations dépendantes s'en trouvera altérée. Par exemple, en 2011, les métaux étaient responsables de 39 % des impacts sur la santé causés par les émissions de particules fines. Entre 2000 et 2015, ce chiffre a doublé. Sur la même période, les effets en termes de toxicité ont également progressé, mais à un rythme moins soutenu⁶.

⁵ L'eutrophisation des milieux aquatiques désigne le déséquilibre d'un milieu provoqué par la concentration de substances telles que l'azote ou le phosphore. Elle se traduit par une croissance excessive de plantes ou d'algues qui absorbent l'oxygène, conduisant à l'appauvrissement puis à la mort de l'écosystème.

⁶ International Resource Panel (2019), *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want*, p.76.

Annexe 3 – Tableaux

Figure 1 — Part de production des métaux des trois plus gros producteurs pour chaque métal et quantité mondiale extraite par substance en 2018

Pays / Production en tonne	Aluminium	Antimoine	Chrome	Cobalt	Cuivre	Or	Magnésium	Molybdène	Néodyme	Nickel	Platine	Argent	Acier	Titane	Tungstène	Zinc	Yttrium
Chine	55%	71%			8%	12%	82%	43%	90%			13%	49%	16%	82%	33%	99%
Russie	6%	10%		4%		9%	7%		1%	9%	13%				3%		
Inde	6%												6%				1%
Tadjikistan		10%															
Afrique du Sud			46%								69%						
Turquie			18%														
Kazakhstan			13%														
République démocratique du Congo				64%													
Australie				3%		10%			5%				13%			7%	
Chili					28%			20%									
Etats-Unis								14%									
Israël							3%										
Pérou					11%							16%				12%	
Indonésie										24%							
Philippines										15%							
Zimbabwe											9%						
Mexique												23%					
Canada													16%				
Vietnam															7%		
Corée													6%				
Brésil																	0%
Monde	60 000 000	140 000	36 000 000	140 000	21 000 000	3 260	970 000	300 000	23 000	2 300 000	160	27 000	1,8 x 10 ⁹	5 400 000	82 000	13 000 000	7 100
Représentativité des 3 premiers pays	67%	91%	86%	72%	41%	31%	92%	73%	96%	48%	91%	52%	62%	44%	92%	53%	100%

Source : U.S. Geological Survey, "Mineral Commodity Summaries 2019"

Figure 2 — Mix énergétique des pays producteurs des substances identifiées et part carbonée du mix en 2016

Pays	Charbon	Gaz naturel	Pétrole primaire et secondaire	Nucléaire	Hydraulique	Géothermie, solaire, etc	Biocarburants et déchets	Part carbonée du mix
Chine	65%	6%	18%	2%	3%	2%	4%	89%
Russie	15%	51%	24%	7%	2%	0%	1%	90%
Inde	44%	5%	25%	1%	1%	1%	22%	74%
Etats-Unis	16%	30%	36%	10%	1%	2%	5%	82%
Australie	34%	27%	33%	0%	1%	1%	4%	94%
Chili	19%	12%	43%	0%	5%	1%	21%	74%
Congo	0%	0%	2%	0%	3%	0%	95%	2%
Brésil	6%	11%	39%	1%	12%	1%	30%	56%
Canada	6%	33%	35%	9%	12%	1%	4%	74%
Indonésie	19%	17%	31%	0%	1%	8%	25%	67%
Pérou	4%	34%	41%	0%	9%	1%	12%	79%
Pologne	50%	15%	26%	0%	0%	1%	8%	91%
Tadjikistan	20%	0%	32%	0%	48%	0%	0%	52%
Afrique du Sud	70%	3%	15%	3%	0%	1%	9%	88%
Turquie	28%	28%	31%	0%	4%	6%	2%	87%
Kazakhstan	43%	35%	20%	0%	1%	0%	0%	98%
Israël	23%	34%	41%	0%	0%	2%	0%	98%
Philippines	26%	6%	34%	0%	1%	18%	15%	66%
Zimbabwe	17%	0%	10%	0%	2%	0%	71%	27%
Mexico	7%	36%	48%	1%	1%	2%	5%	91%
Vietnam	34%	12%	28%	0%	7%	0%	19%	74%
Corée	29%	15%	39%	15%	0%	0%	2%	83%
Monde	27%	22%	32%	5%	3%	2%	10%	81%

Source: International Energy Agency (2016) "Statistics data browser Total primary Energy Supply (TPES) by source World 1990-2016" (TPES excludes electricity and heat trade)

Figure 3 — Émissions de CO₂ en kg CO₂/GJ pour chaque source d'énergie primaire

Source primaire	Charbon	Gaz naturel	Pétrole primaire et secondaire	Nucléaire	Hydraulique	Géothermie, solaire, etc.	Biocarburants et déchets
Émissions de CO ₂ [kg CO ₂ /t]	104	56,1	73,6	0	0	0	0

Source : Ademe : http://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?renouvelable.htm

Note : Les émissions exprimées en kg CO₂e/GJ ont été estimées sur un périmètre européen. Pour le charbon, le calcul a été fait en prenant en compte les émissions en amont et en combustion. Étant donné que le charbon à coke et le charbon vapeur représentent près de 99 % des usages du charbon⁷, nous avons retenu que le facteur d'émission s'établissait à 104 kgCO₂e / GJ PCI^{8 9}. Pour le pétrole (périmètre Europe), les émissions s'élèvent à 73,6 kgCO₂e / GJ PCI. Les émissions du gaz naturel sont estimées à 56,1 kgCO₂e / GJ PCI.

⁷ <https://jancovici.com/transition-energetique/charbon/a-quoi-sert-le-charbon/>

⁸ Il existe une grande variété de types de charbon liée à des niveaux d'houillification différents. Ils se distinguent notamment par leur humidité, leur teneur en carbone ou leur pouvoir calorifique. Il n'y a pas de définition unique internationalement retenue permettant de classer précisément les charbons.

⁹ PCI désigne le pouvoir calorifique inférieur du combustible exprimé en GJ/t. 104 kgCO₂e / GJ PCI est le facteur d'émission du charbon à coke comme du charbon vapeur.

