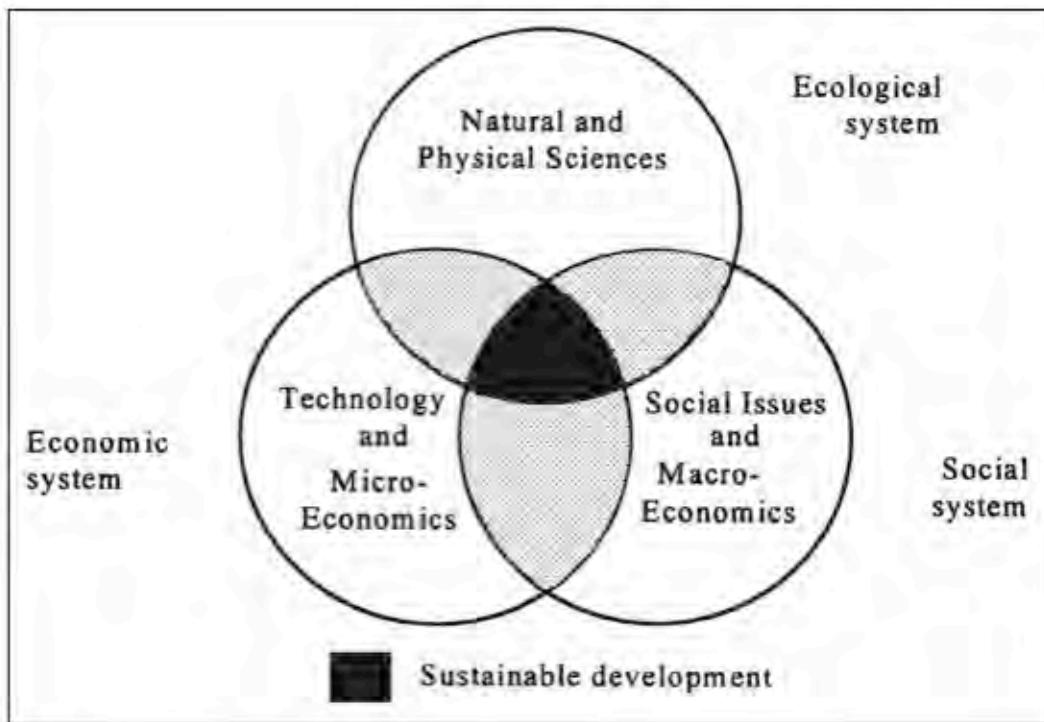


La durabilité des ressources minérales

Introduction (1)

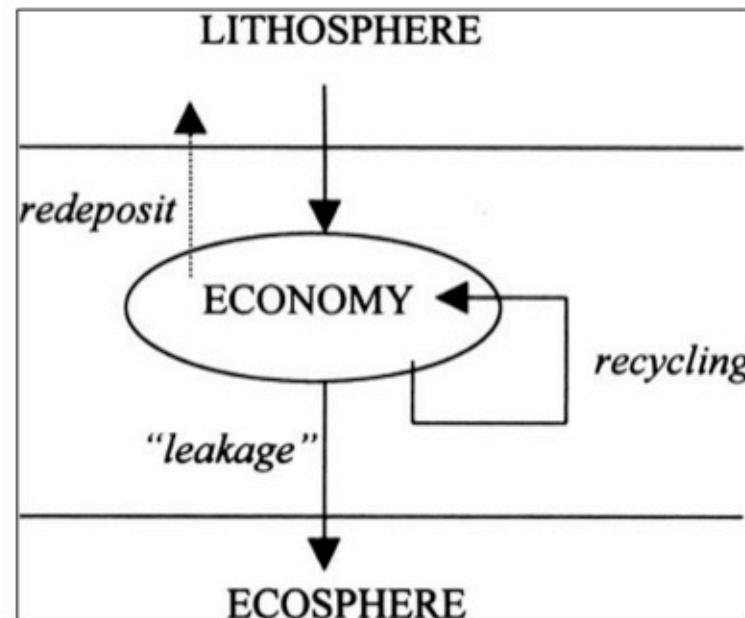


Les cercles vertueux utilisés pour définir le développement durable mettent en lumière les interrogations sur l'avenir industriel de nombreux pays : tensions sur les fondamentaux économiques des matières premières minérales (prix et disponibilité).

L'extraction et l'utilisation des ressources minérales (non renouvelables) est un exemple extrême dans le débat sur le développement durable, par opposition à l'utilisation des ressources renouvelables (eau, biosphère...).

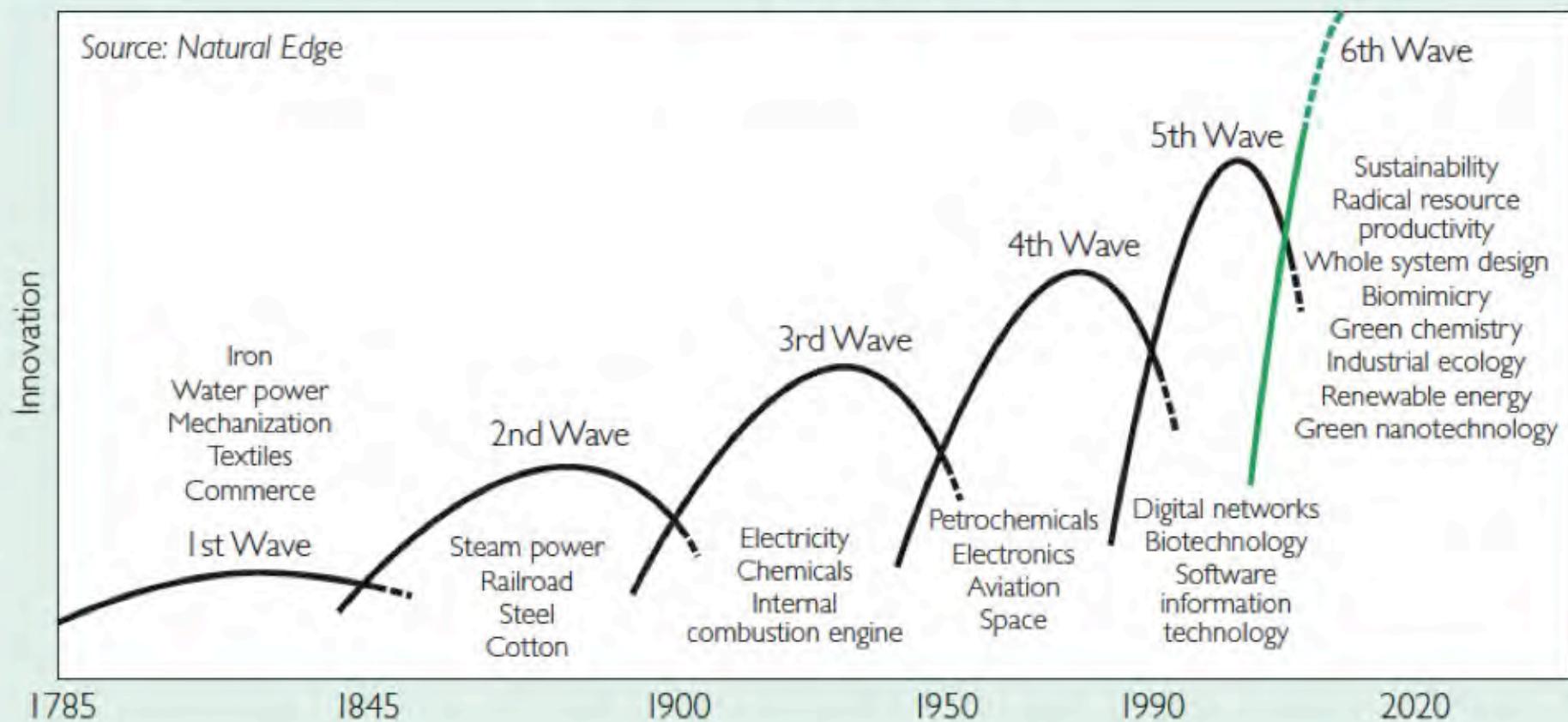
Introduction (2)

- Terre: 13000 km de diamètre, 6000 milliards de Gt
- Minerais de fer: 3 Gt; sables et graviers: 15 Gt



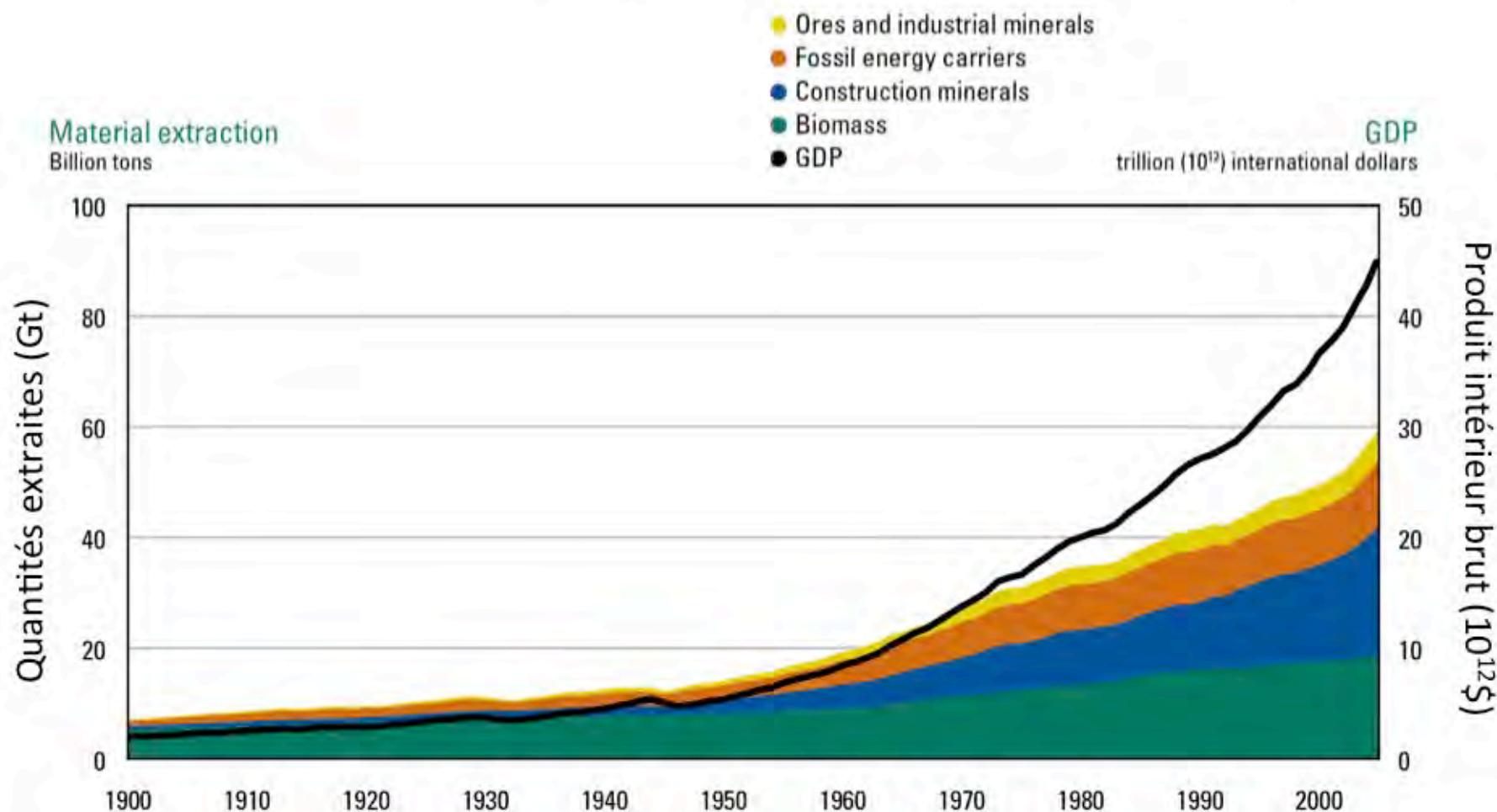
Les étapes de l'innovation technologique

Source: Natural Edge



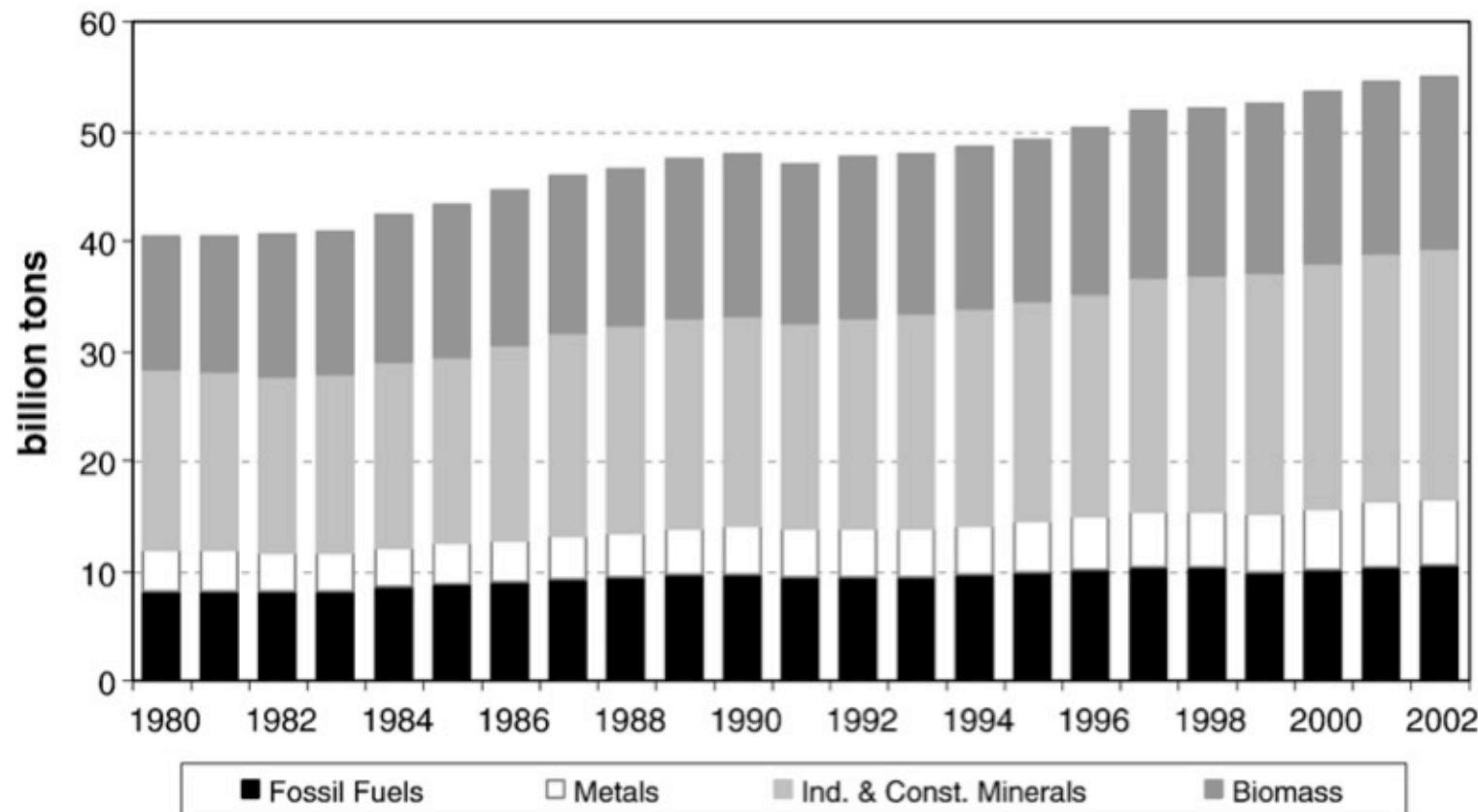
La durabilité de certaines technologies leur permet de passer dans l'étape d'innovation suivante.

Évolution des matières premières extraites pendant le XXe siècle



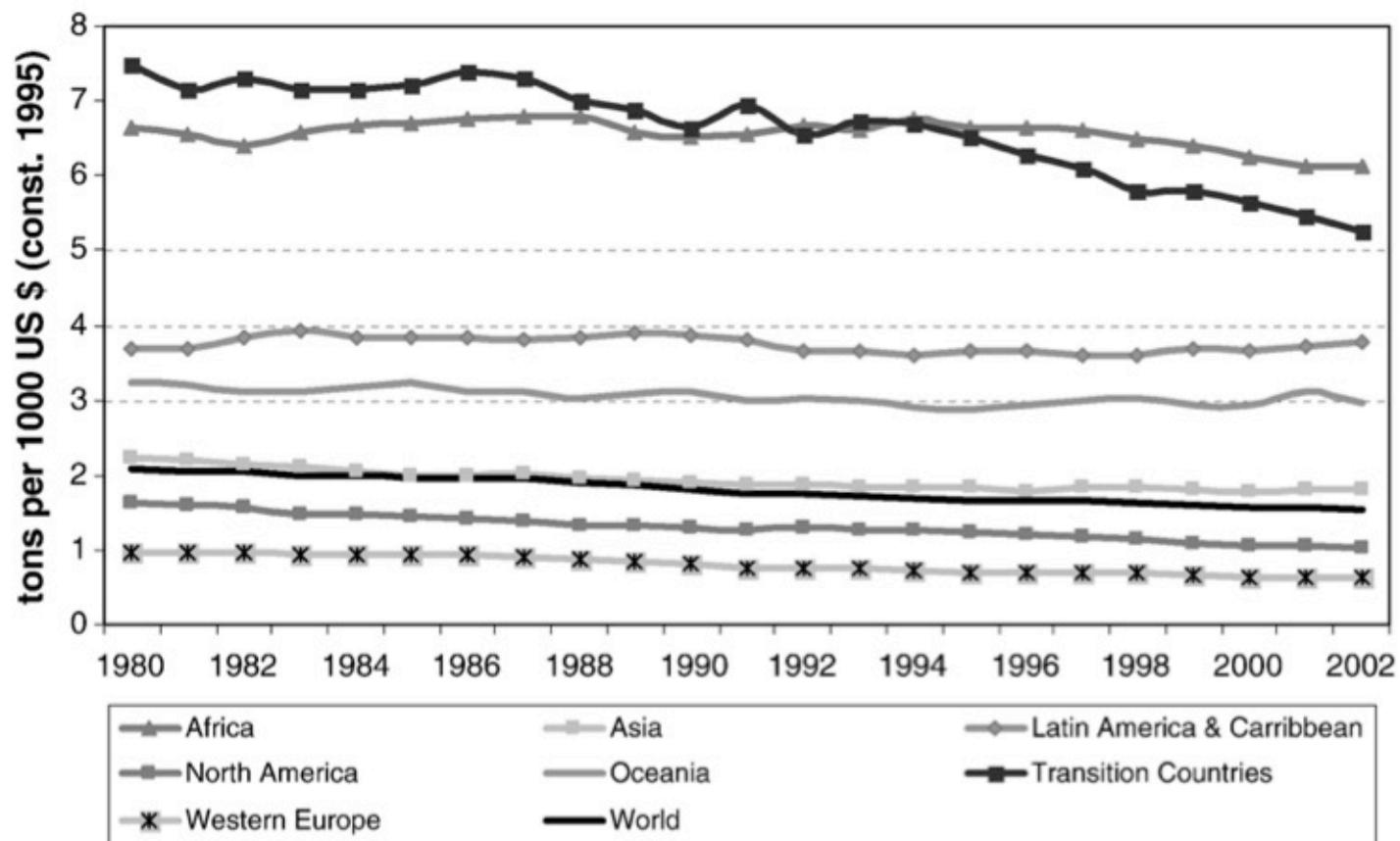
Source: Krausmann *et al.*, 2009

Évolution des matières premières extraites depuis 20 ans (en Gt)



(Behrens, 2007)

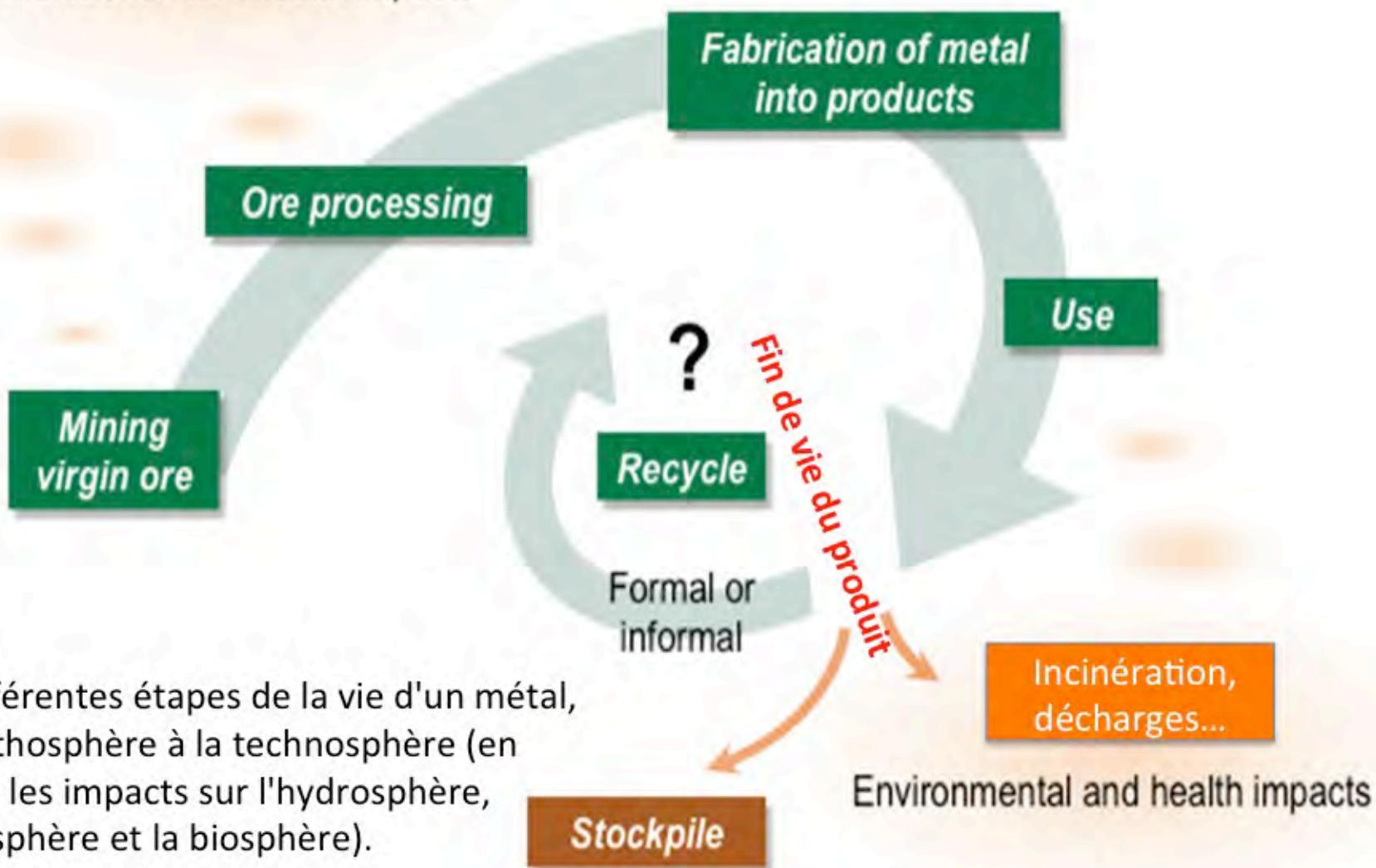
Utilisation des ressources nationales



(Behrens, 2007)

Commons

Environmental and health impacts



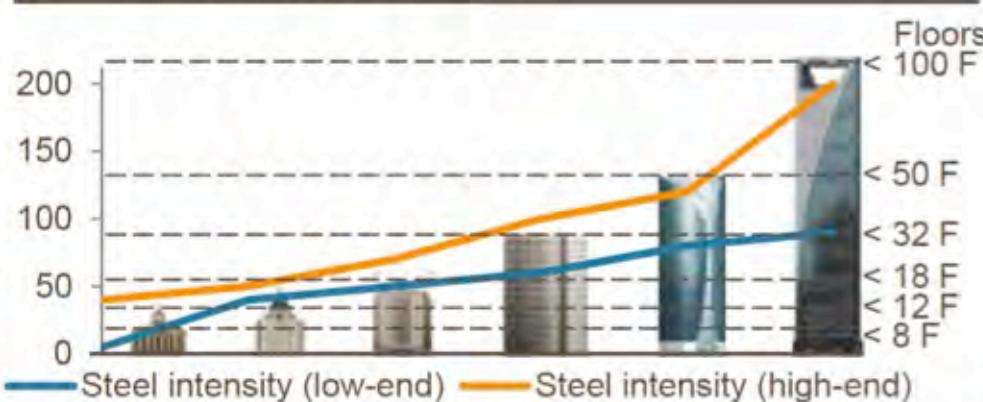
(Izatt et al., 2014)

- Ce cercle vertueux, depuis l'exploitation des mines jusqu'aux appareils industriels/grande consommation et aux produits en fin de vie, demande une augmentation du taux de recyclage et de l'amélioration des procédés (depuis le traitement des minerais jusqu'aux procédés de recyclage).
- Produits de haute technologie : courte durée de vie et faibles taux de recyclage (avec incidences environnementales) + demande en forte croissance.

Une demande qui continue de croître...

Building height categories

(Steel intensity, floors kg/m²)

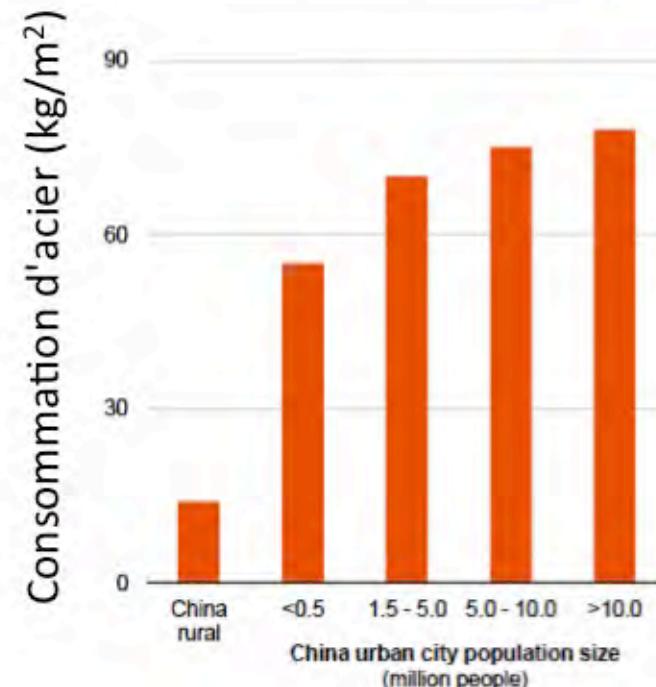


Steel intensity of different power technologies

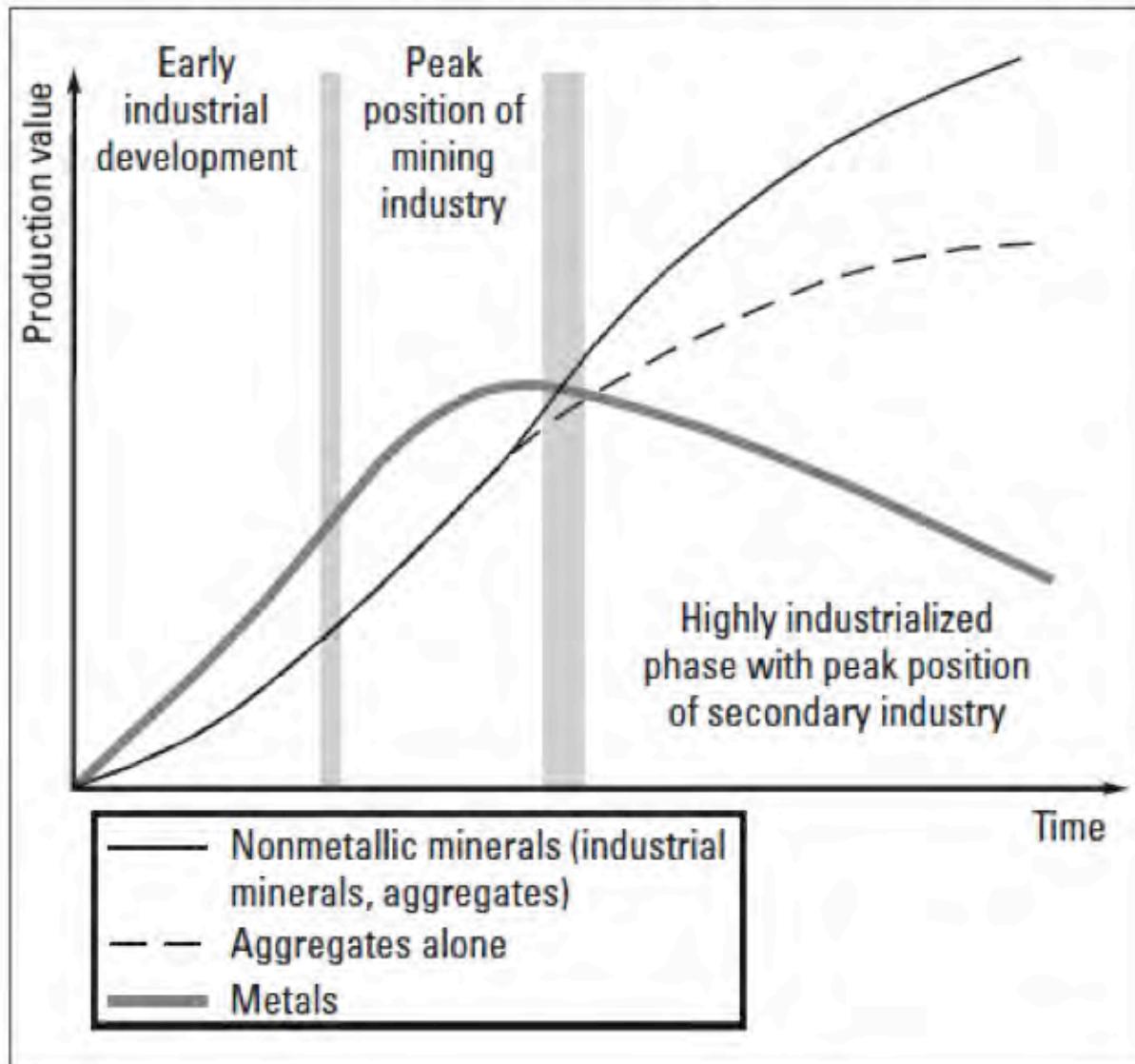
(tonnes of steel/MW)



Influence des modes de vie.



...mais de façon différente selon les types de matières premières minérales...



Évolution originale des minéraux industriels par rapport aux granulats et aux métaux : matériaux de construction, papiers et plastiques ...

(Wellmer and Becker-Platen, 2013)

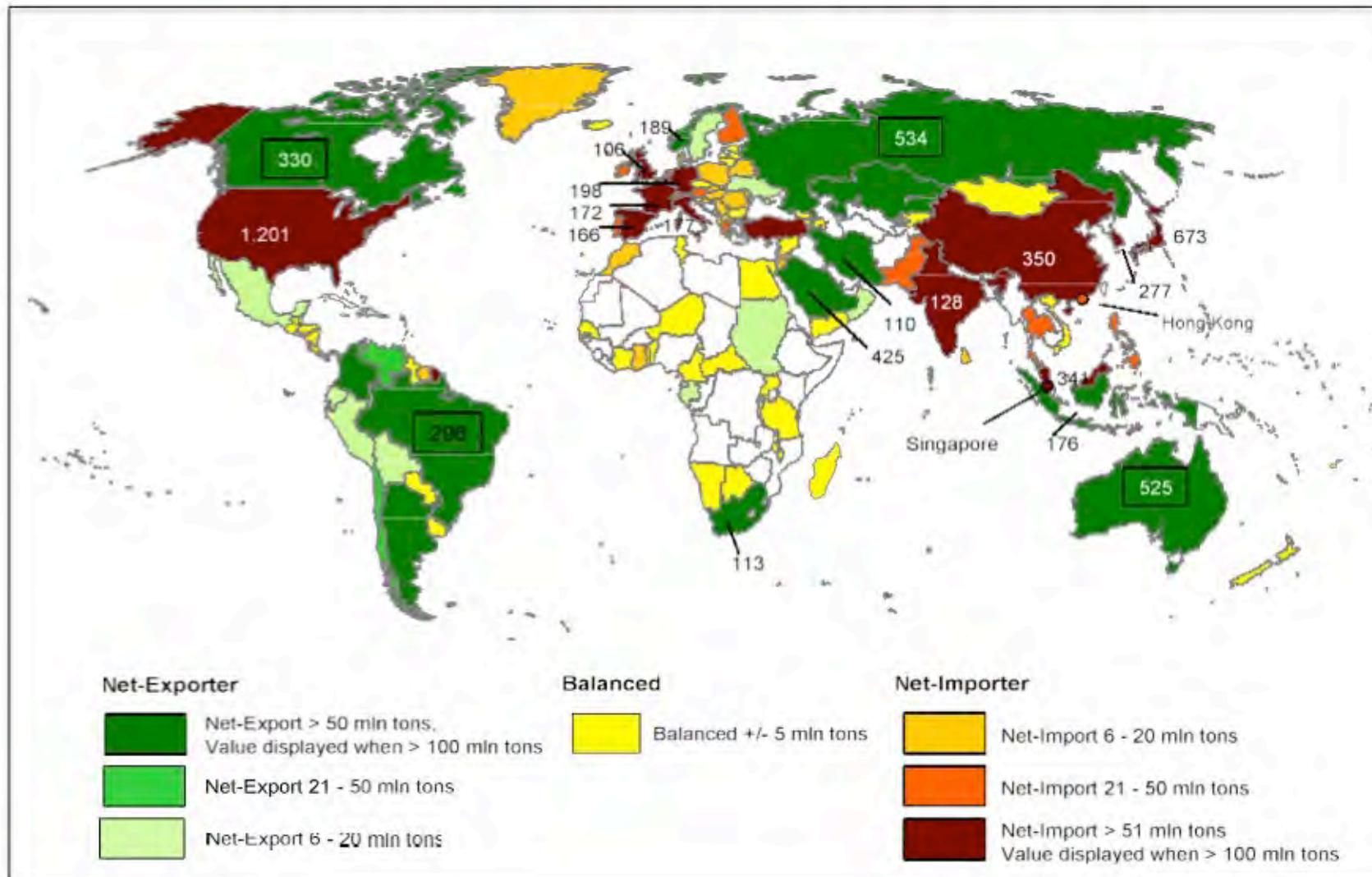
... et générant des échanges commerciaux croissants...

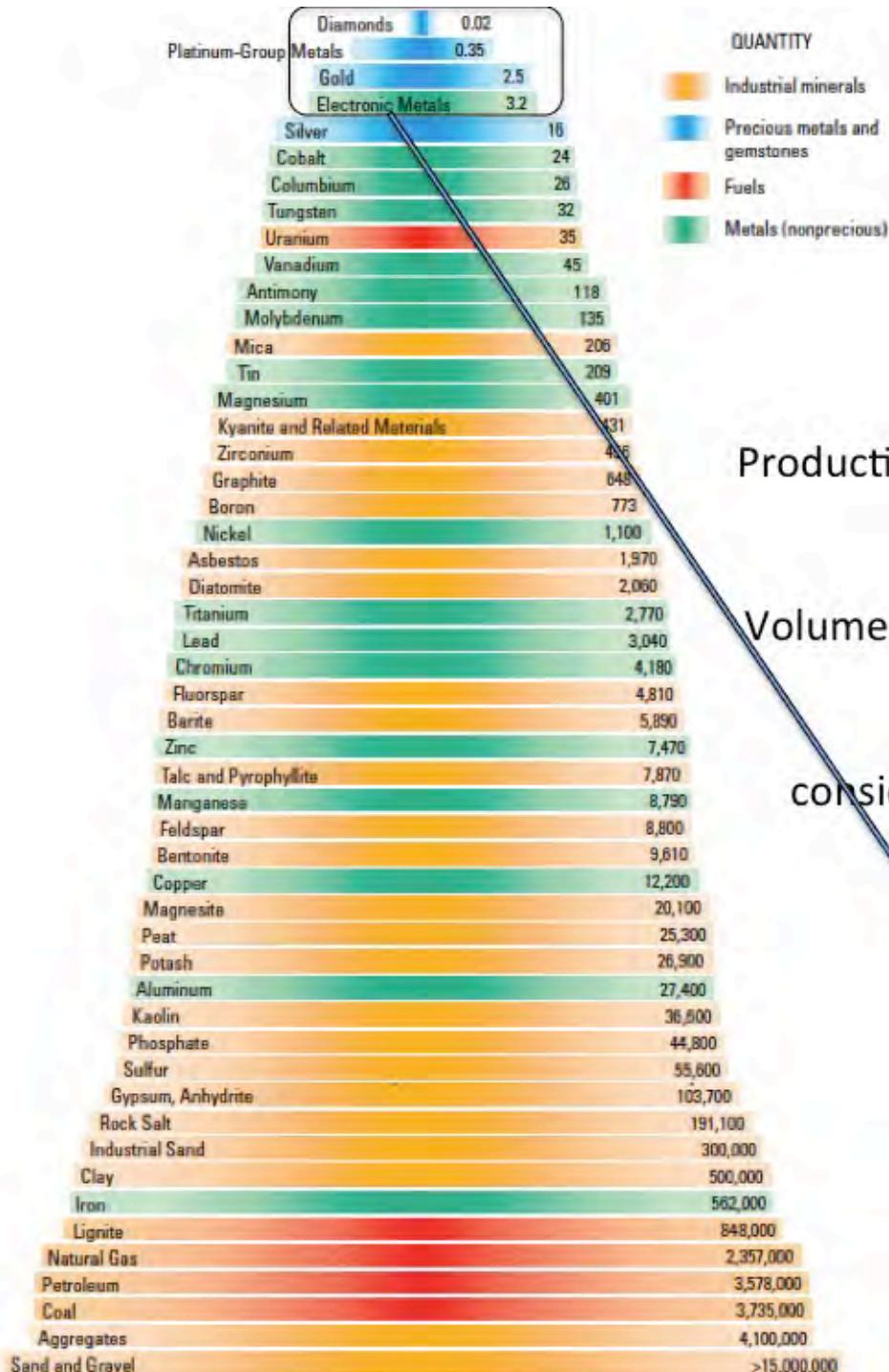


L'importation de matières premières minérales permet un réajustement rapide de l'économie d'un pays, même lorsqu'il dispose de ressources nationales.

(Albanese et al., 2011)

... à l'échelle mondiale.





Une production, largement diversifiée en quantité...

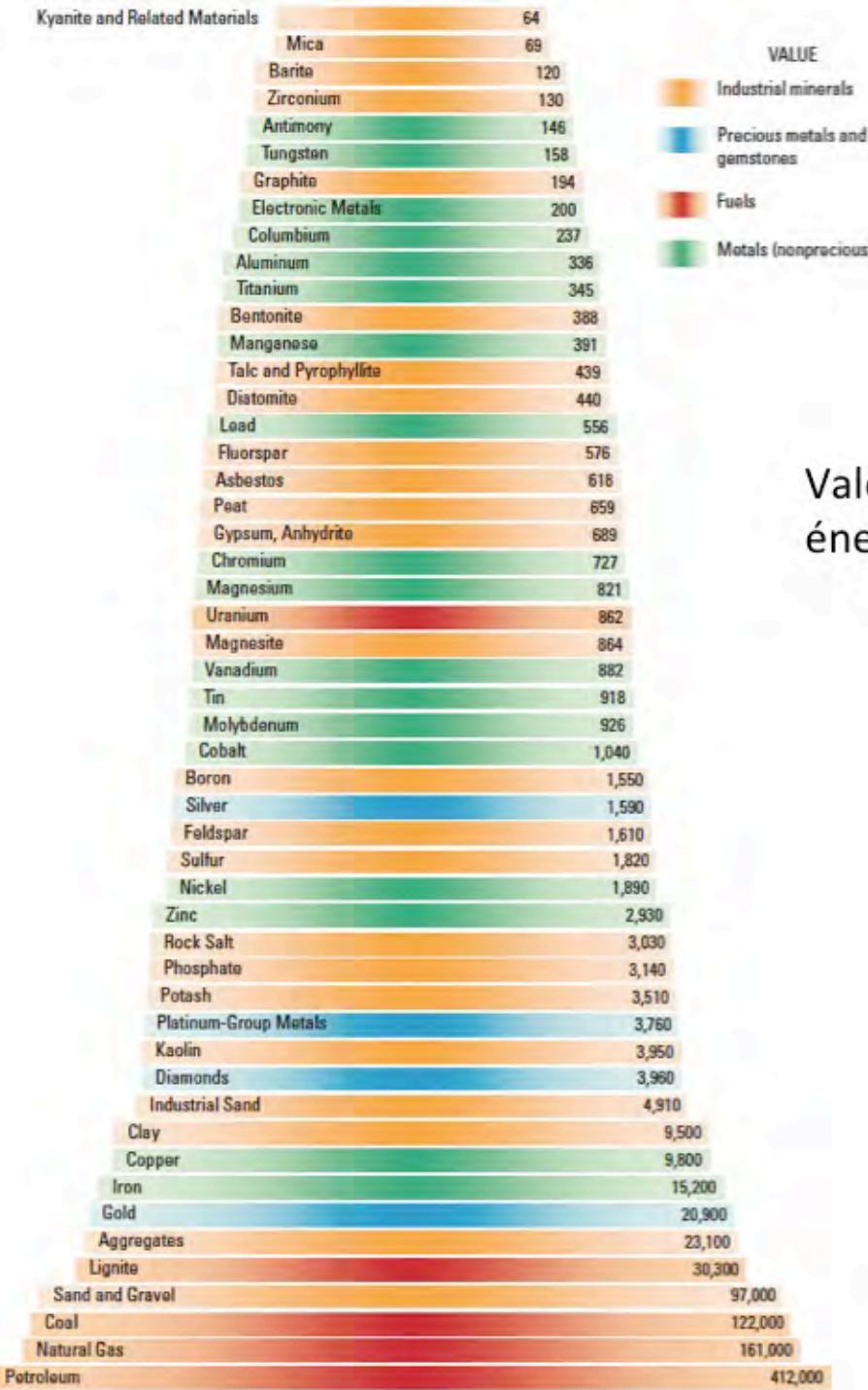
Production primaire (en 1998) de substances minérales et énergétiques (en kt ou 10⁶m³)

Volumes très différents selon les ressources minérales.

Les volumes conservés commencent à être considérables : cf. volumes de sols érodés: 75 Gt/an



(Wellmer and Becker-Platen, 2013)

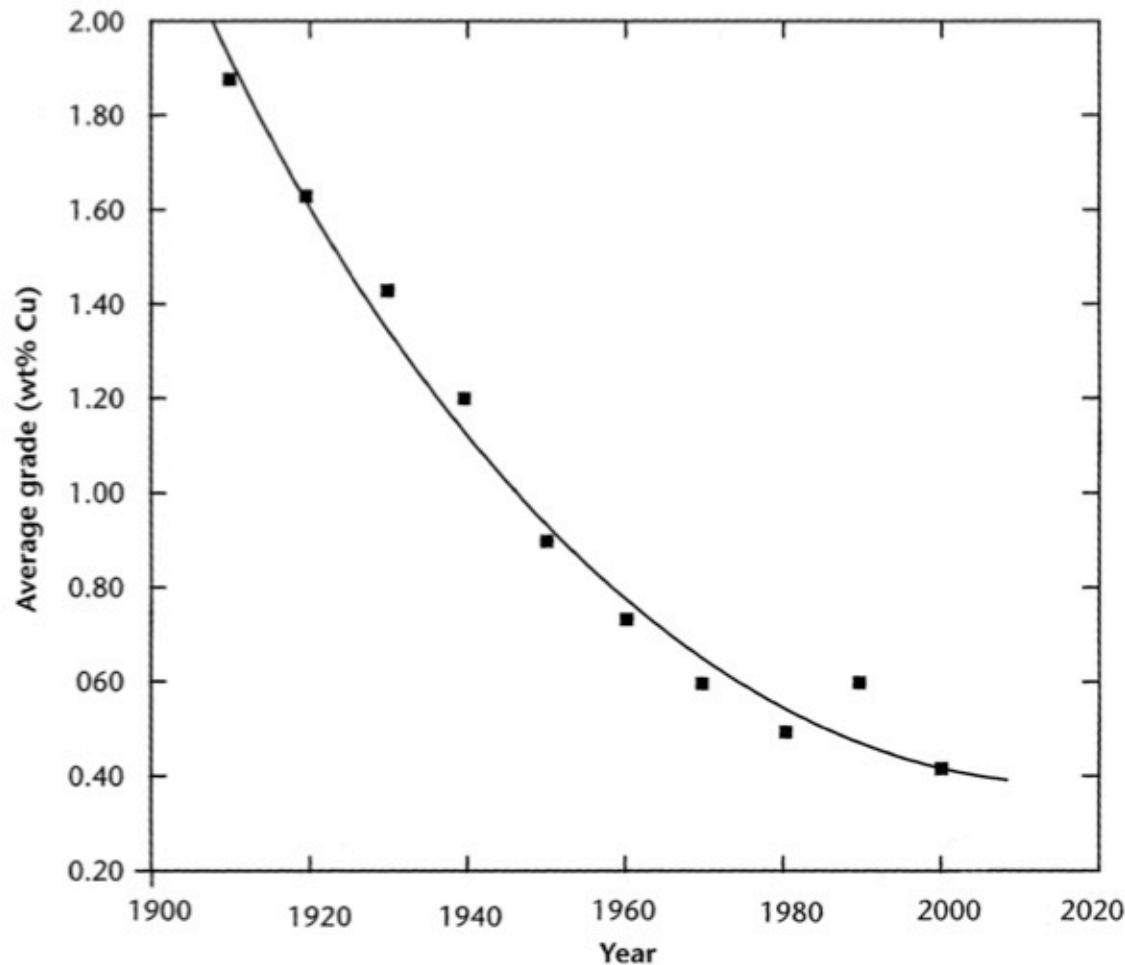


... et en valeur...

Valeur (en M€) des ressources minérales et énergétiques extraites (1998)

(Wellmer and Becker-Platen, 2013)

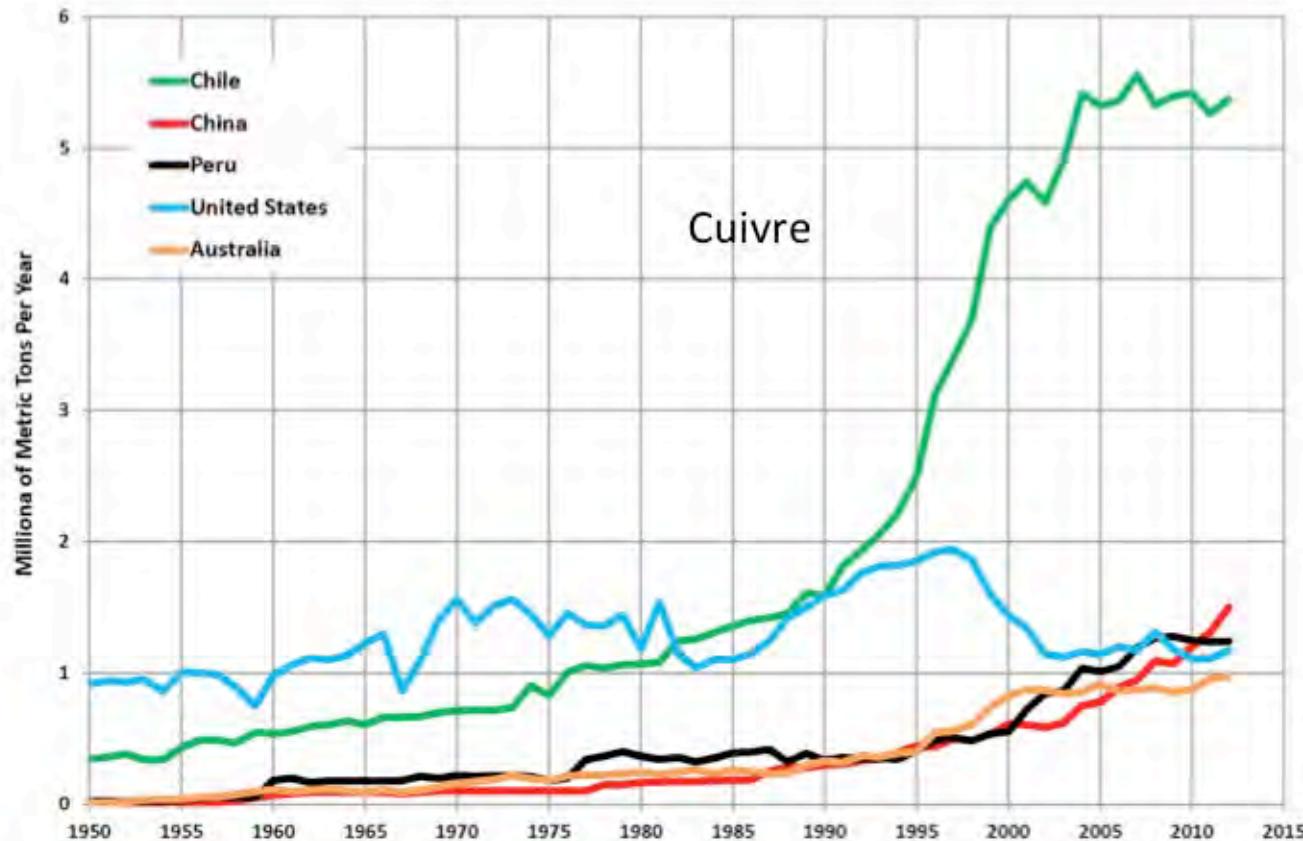
... avec une diminution régulière de la qualité de la ressource...



Évolution de la teneur moyenne des minéraux de cuivre extraits aux Etats-Unis au cours du XXe siècle.

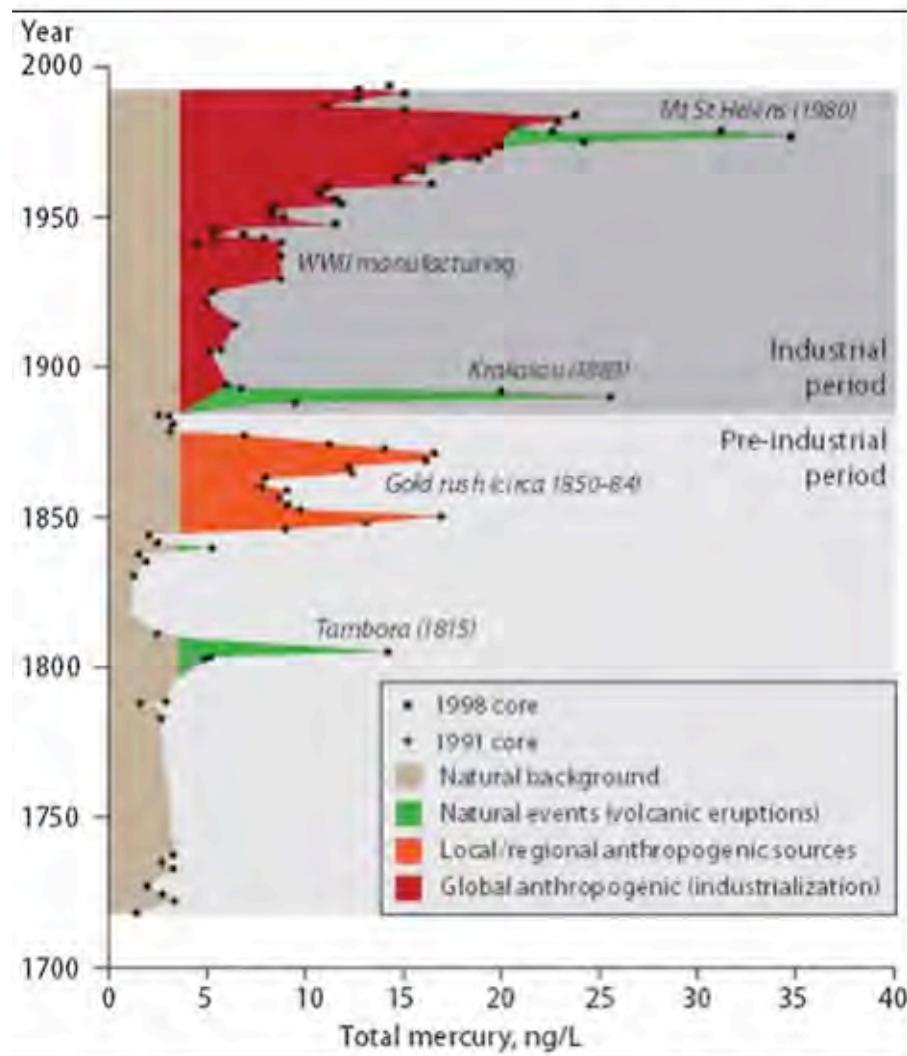
(Rankin, 2014)

... et un renouvellement des acteurs ...



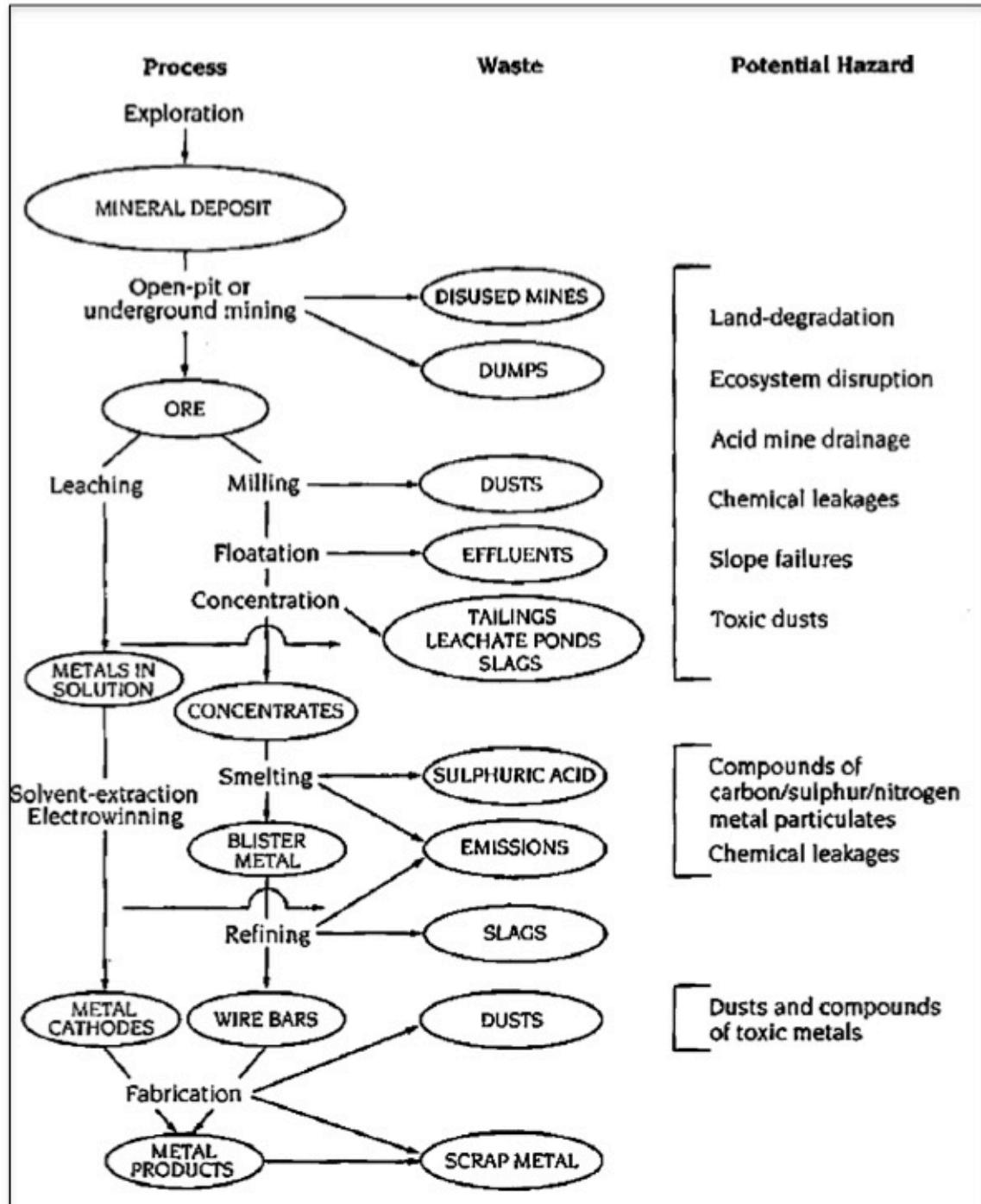
Production de cuivre depuis 1950.

... avec des impacts certains sur l'environnement...



Évolution sur 300 ans de la concentration en mercure dans une carotte glaciaire (Wyoming, USA) : on distingue les sources anthropiques, impactante sur une durée longue, des sources naturelles, avec des impacts élevés mais brefs (volcanisme: liés à la géochimie de Hg).

Impacts énergétique : les activités de broyage nécessaires au stade de l'exploitation minière et du traitement du minerai consomment 3 % de l'électricité mondiale.

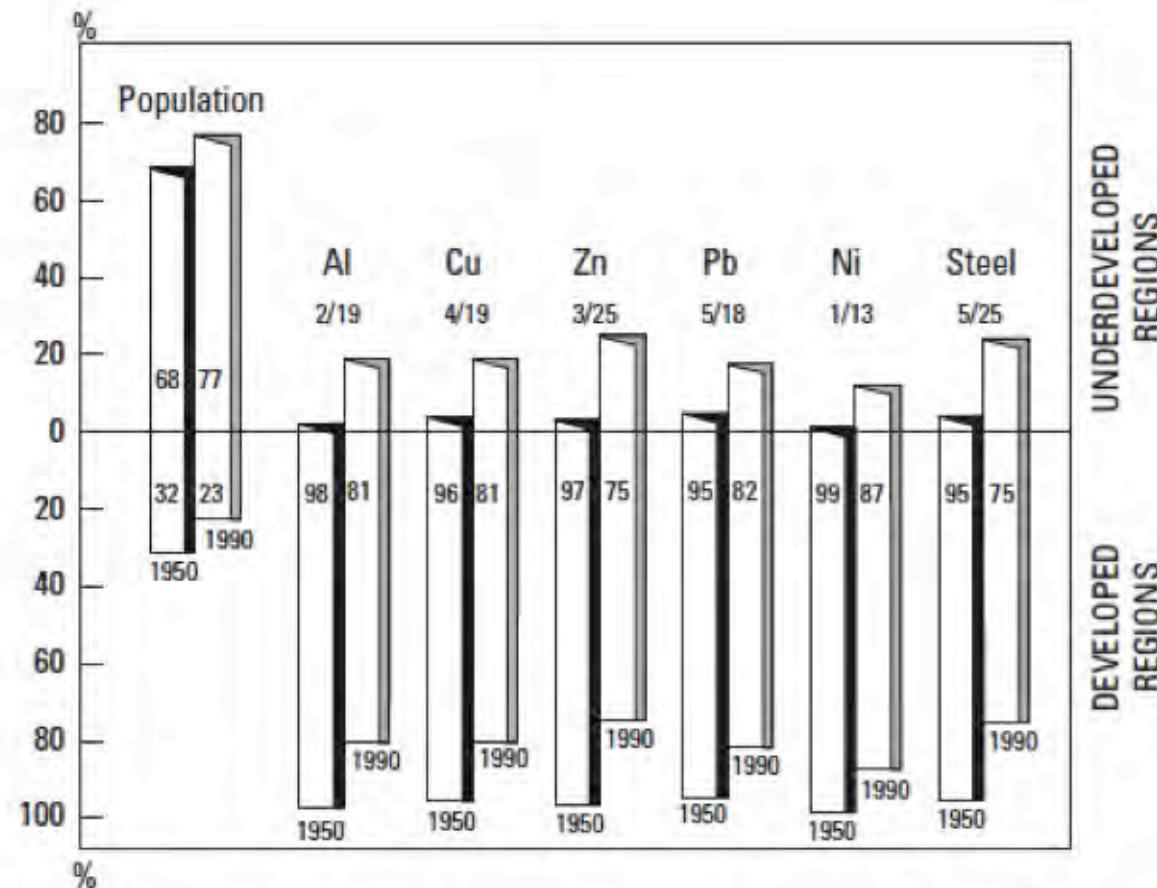


... impacts intégrés ...

Les impacts sont à intégrer sur l'ensemble de l'activité minière et métallurgique: processus industriels, déchets et dangers intrinsèques à l'activité minière (contamination, effondrements...).

(Bridge, 2004)

... et une ressource encore bien mal partagée



Distribution de la consommation en métaux entre régions développées et régions en voie de développement.

Réserves vs. ressources

- Les réserves correspondent à un potentiel dont le volume a été prouvé aux conditions économiques d'exploitabilité d'un instant donné: donc connues et limitées, évoluant avec le temps et les investissements consentis pour les exploiter.
- Les ressources désignent un volume de substance théorique, mais non encore découvert, et correspondant à des conditions économiques d'exploitation non encore rentables.

Cumulative Production	IDENTIFIED RESOURCES			UNDISCOVERED RESOURCES	
	Demonstrated		Inferred	Probability Range (or)	
	Measured	Indicated		Hypothetical	Speculative
ECONOMIC		Reserves	Inferred Reserves		
MARGINALLY ECONOMIC		Marginal Reserves	Inferred Marginal Reserves		
SUB-ECONOMIC	Demonstrated Subeconomic Resources		Inferred Subeconomic Resources		

Robustesse de la ressource

Evolution des réserves mondiales de quelques métaux de 1940 à 1980 (en Mt)

	1940s	1950s	1960s	1970s	1980s
Aluminum ²	1,605	3,224	11,600	22,700	23,200
Copper	91	124	280	543	566
Lead	31-45	45-54	86	157	120
Zinc	54-70	77-86	106	240	295

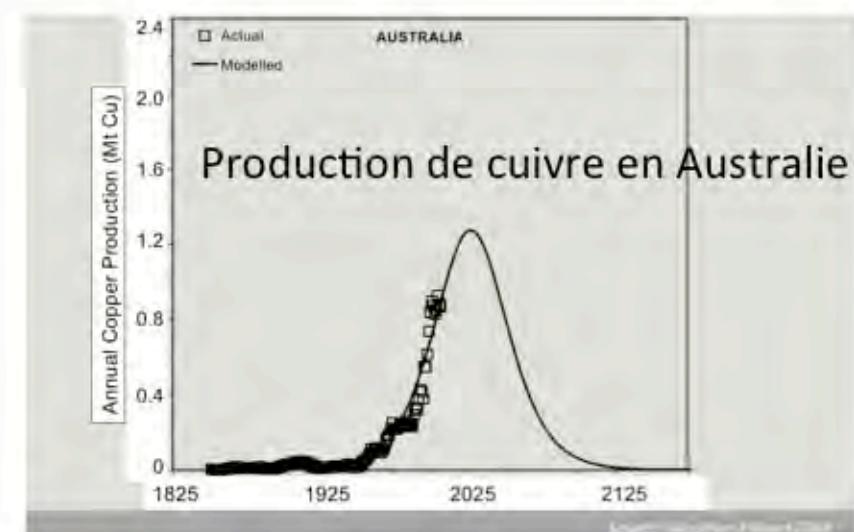
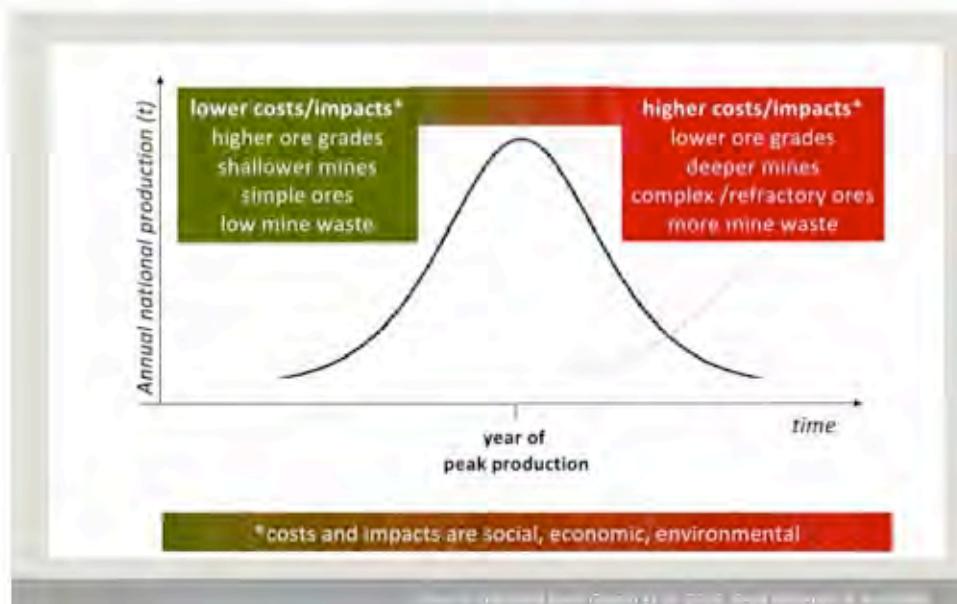
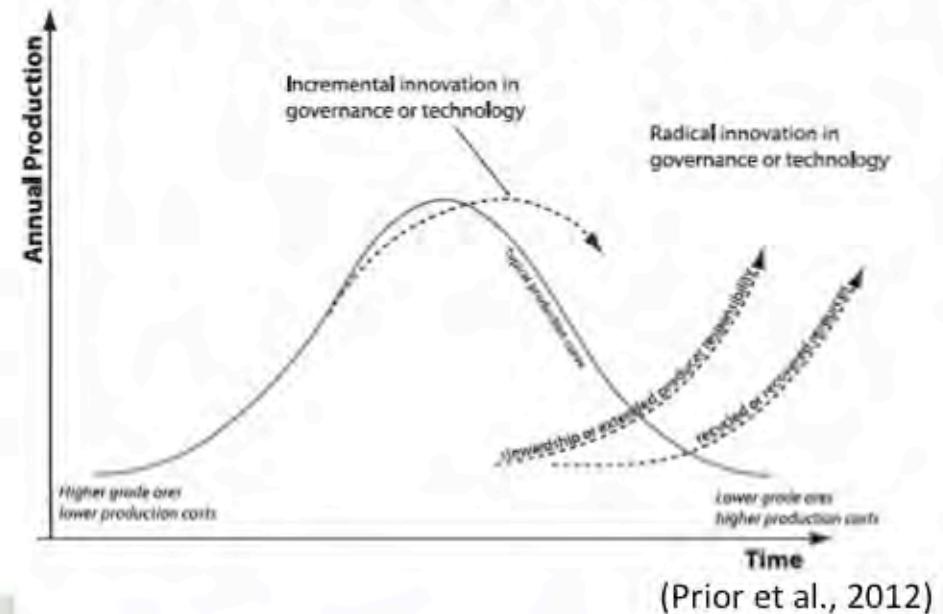
Evolution du recyclage de ferrailles de 1960 à 1990 (en % de la consommation US)

	1960	1970	1980	1990
Aluminum	5	4	11	22
Copper	27	25	28	25
Iron and Steel	?	?	15-20	22
Lead	40	37	54	69
Zinc	6	5	6	9

(Crowson, 1994)

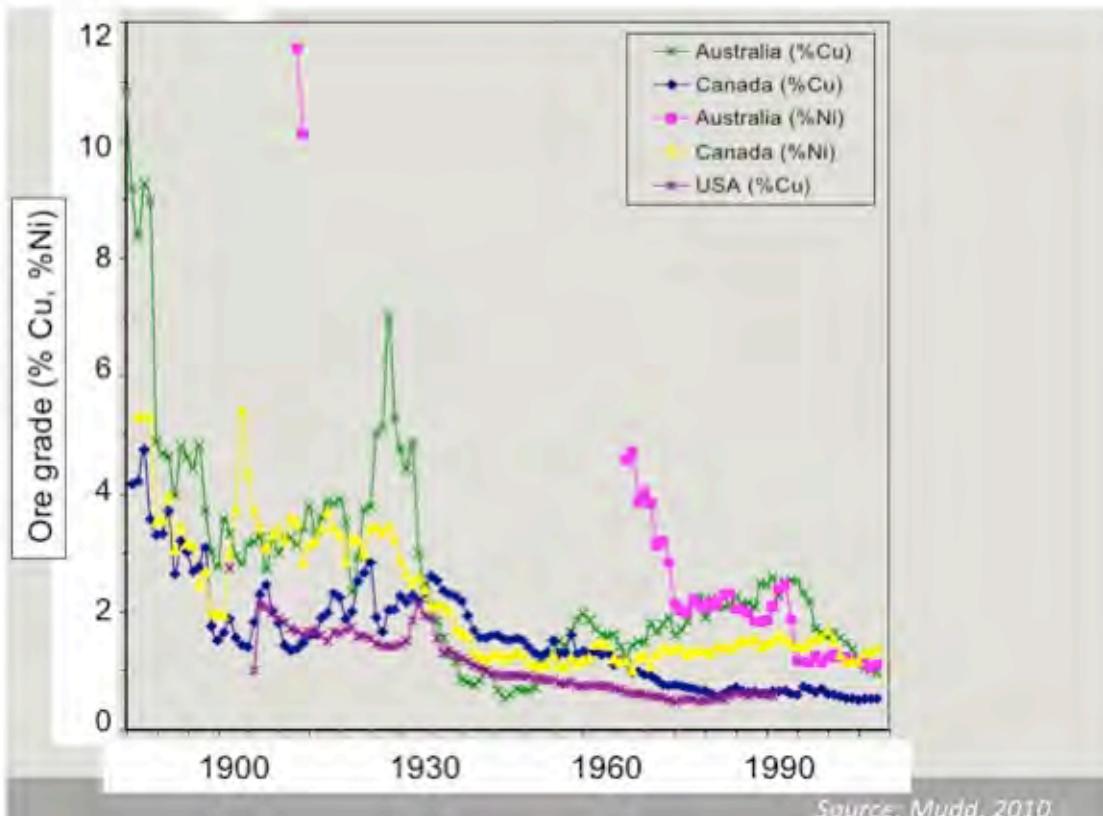
La fin prévisible des ressources minérales?

- On définit un pic de production de minerai, par analogie avec la production pétrolière.
- Cet optimum correspond à la transition d'un minerai bon marché, facile à extraire à un minerai coûteux et complexe.



La fin ? (2)

L'origine d'un pic de production pourrait théoriquement venir d'une baisse régulière des concentrations des minéraux à traiter. Cette baisse est générale pour la plupart des métaux de base dans les principaux gisements de classe mondiale.



La fin ? (3)

Cependant:

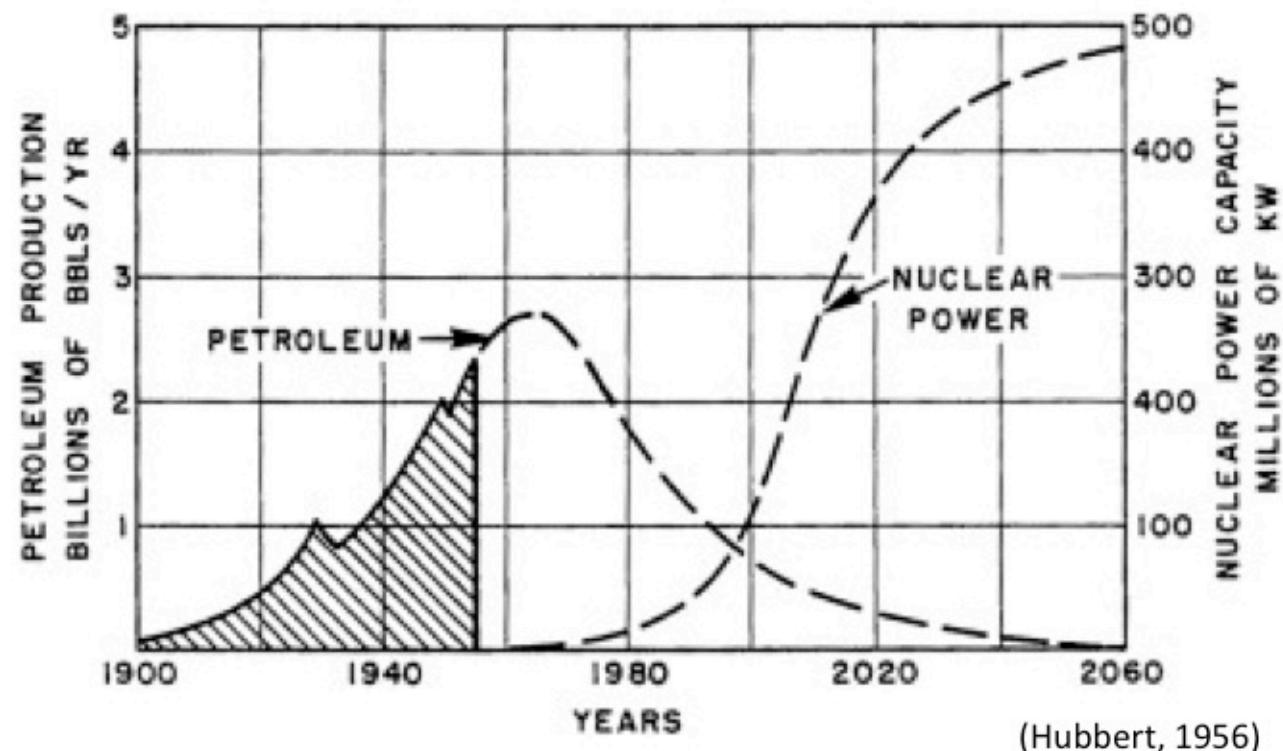
- Les ressources minérales (quantité totale sur Terre) dépassent certainement les besoins de l'humanité sur la durée de son existence;
- Les réserves (quantités accessibles avec des moyens technico-économiques donnés) dépendent uniquement de leur renouvellement : progrès des technologies d'exploration, d'exploitation et de traitement des minerais/minéraux;
- Capacité de l'industrie minière à exploiter l'extension en profondeur des gisements existants et à utiliser de nouveaux gisements sous couverture (cf. Olympic Dam il y a 40 ans)
- Nouveaux types de traitement de minerais: Nouvelle-Calédonie, l'utilisation de l'hydrométallurgie pour extraire le nickel à partir de minerais latéritiques fera pratiquement gagner un facteur 10 en dépense énergétique.

La fin ? (4)

Cependant:

La notion de pic de production s'est faite par analogie avec le pétrole dans les années 50.

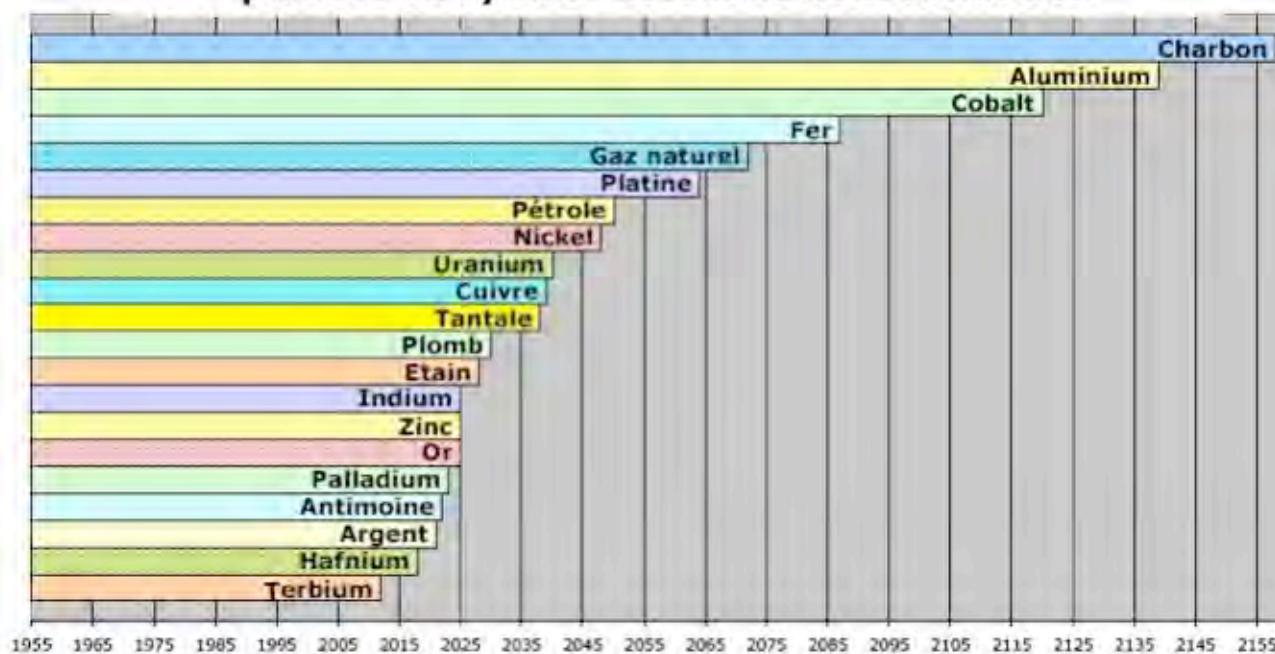
Mais nature différente des ressources: Consommation des matières organiques provenant de l'activité biologique vs. Échanges chimiques dans la croûte et le manteau supérieur.



La fin ? (5)

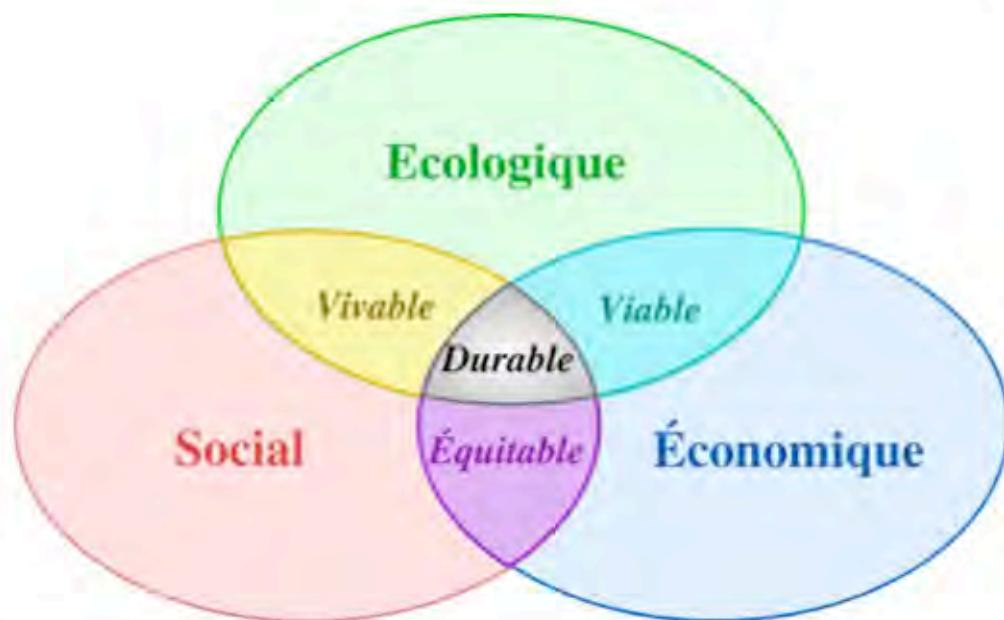
- Prédiction pessimistes d'une disparition à court terme des matières premières minérales.
- Les réserves exploitables proviennent du renouvellement des ressources théoriques, avec l'amélioration des technologies d'exploration/exploitation.

Dates d'épuisement des richesses exploitables de notre planète au rythme actuel de consommation



2012 : fin du terbium
2018 : fin du hafnium
2021 : fin de l'argent
2022 : fin de l'antimoine
2023 : fin du palladium
2025 : fin de l'or
Fin du zinc
Fin de l'indium
2028 : fin de l'étain
2030 : fin du plomb
2038 : fin du tantalum
2039 : fin du cuivre
2040 : fin de l'uranium
2048 : fin du nickel
2050 : fin du pétrole
2064 : fin du platine
2072 : fin du gaz naturel
2087 : fin du fer
2120 : fin du cobalt
2139 : fin de l'aluminium
2158 : fin du charbon

Le problème de la durabilité est ailleurs... dans les autres composantes du triangle

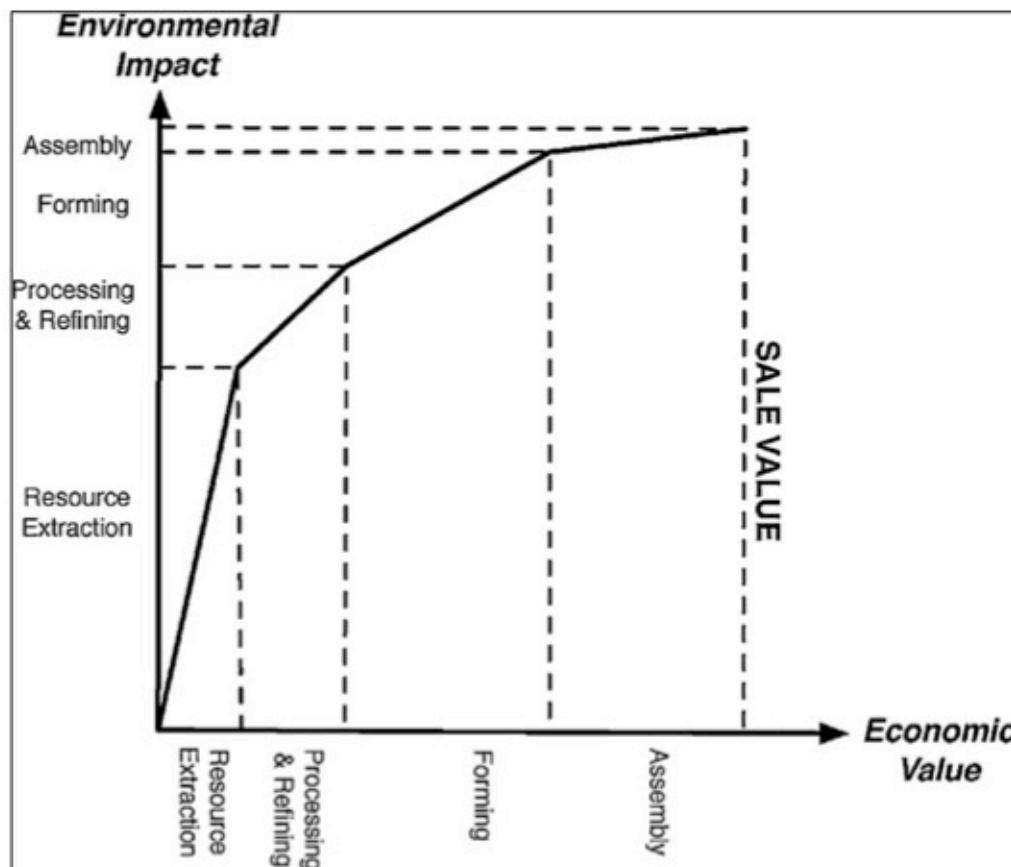


Contradiction avec l'éthique d'un développement global respectueux de l'environnement

- respect de l'environnement
- contraintes sociétales.

Recyclage (4 Gt déchets) et transition progressive vers une économie circulaire (qui ne peut être que partielle dans le cas des matières premières minérales).

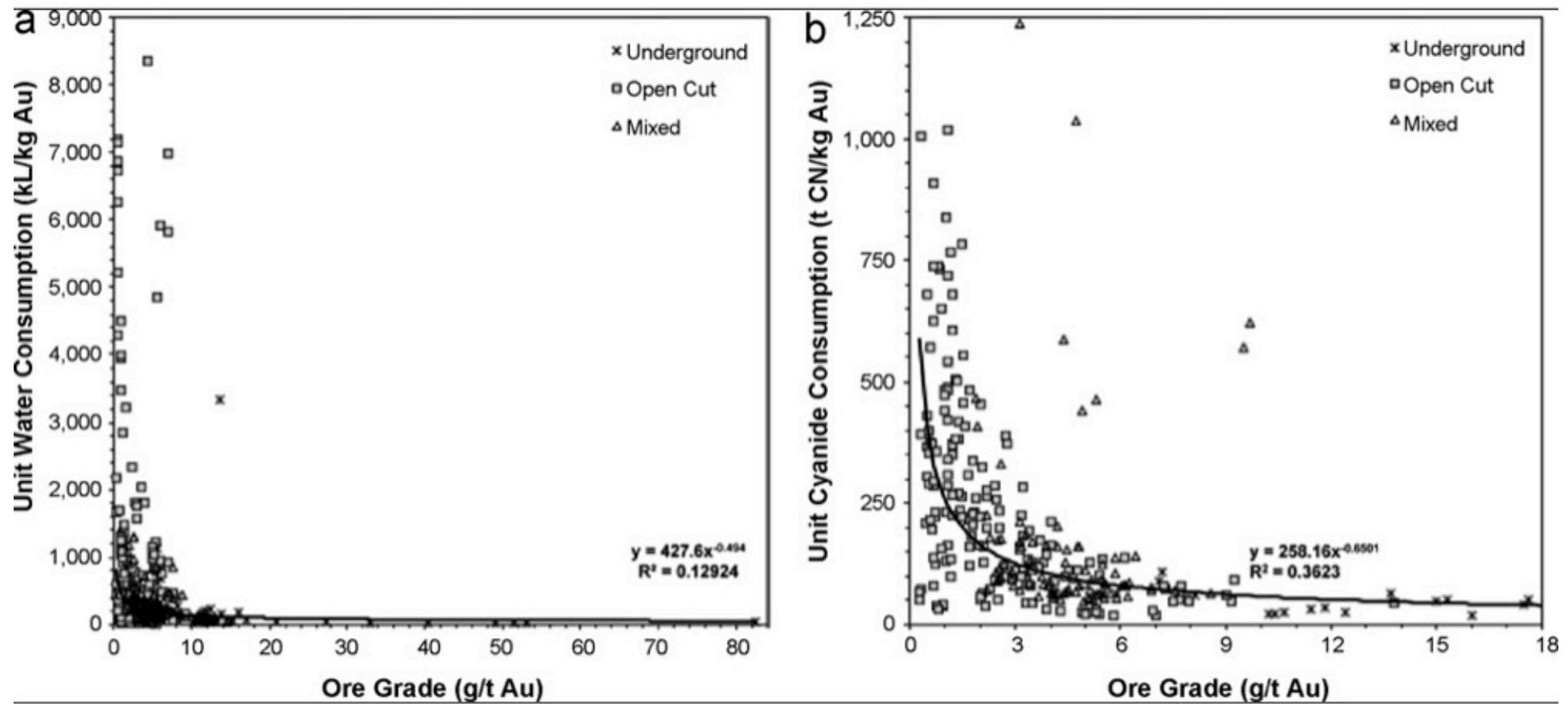
L'impact de l'appauvrissement des minéraux (1)



Relation entre la valeur économique ajoutée et l'impact environnemental à différentes étapes d'utilisation d'une ressource.

(Prior et al., 2012)

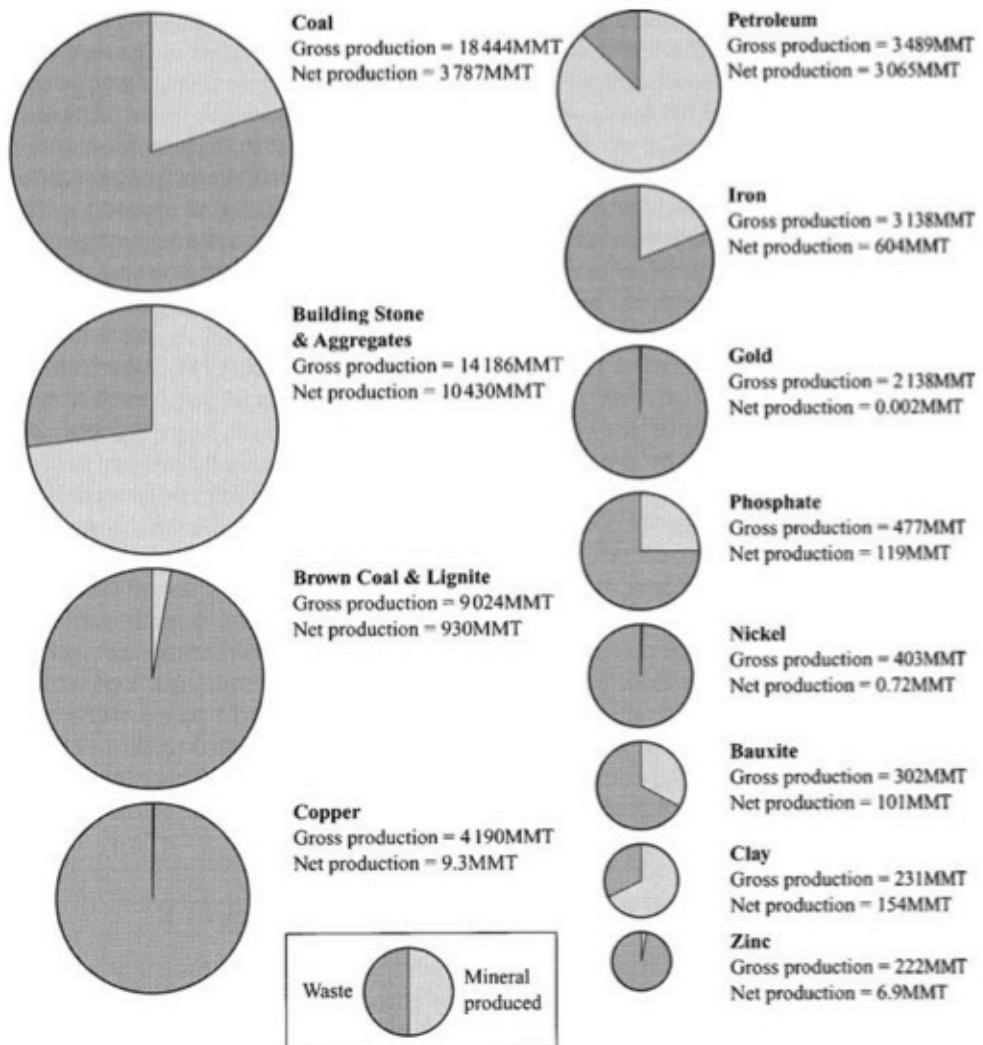
L'impact de l'appauvrissement des minerais (2)



Consommation en eau et cyanure pour le traitement des minerais d'or australiens.

(Prior et al., 2012)

L'impact de l'appauvrissement des minérais (3)



Production brute et production nette de différentes ressources minérales et énergétiques : le rapport entre ce qui est extrait et ce qui est finalement utilisé varie beaucoup selon le prix de la matière première.
Ce sont autant de déchets miniers à gérer.

Les minéraux de la guerre



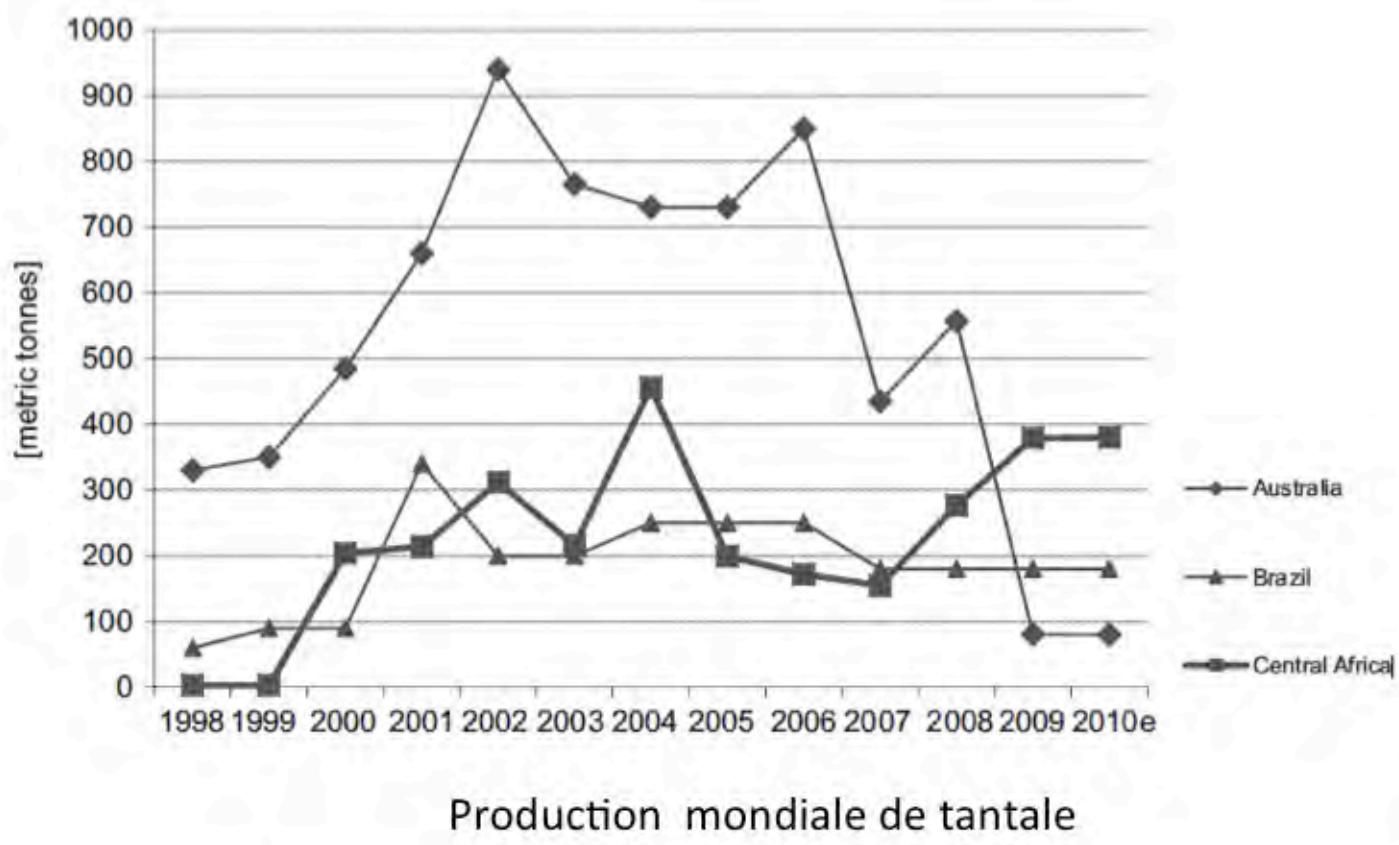
Exploitation de métaux rares en République Démocratique du Congo

Production de columbo-tantalite dans la République Démocratique du Congo et dans les pays voisins.

Exploitation sauvage d'une partie de la ressource : finance une guerre civile (>5,4 millions de victimes) au travers d'une contrebande active avec d'importants acheteurs étrangers.

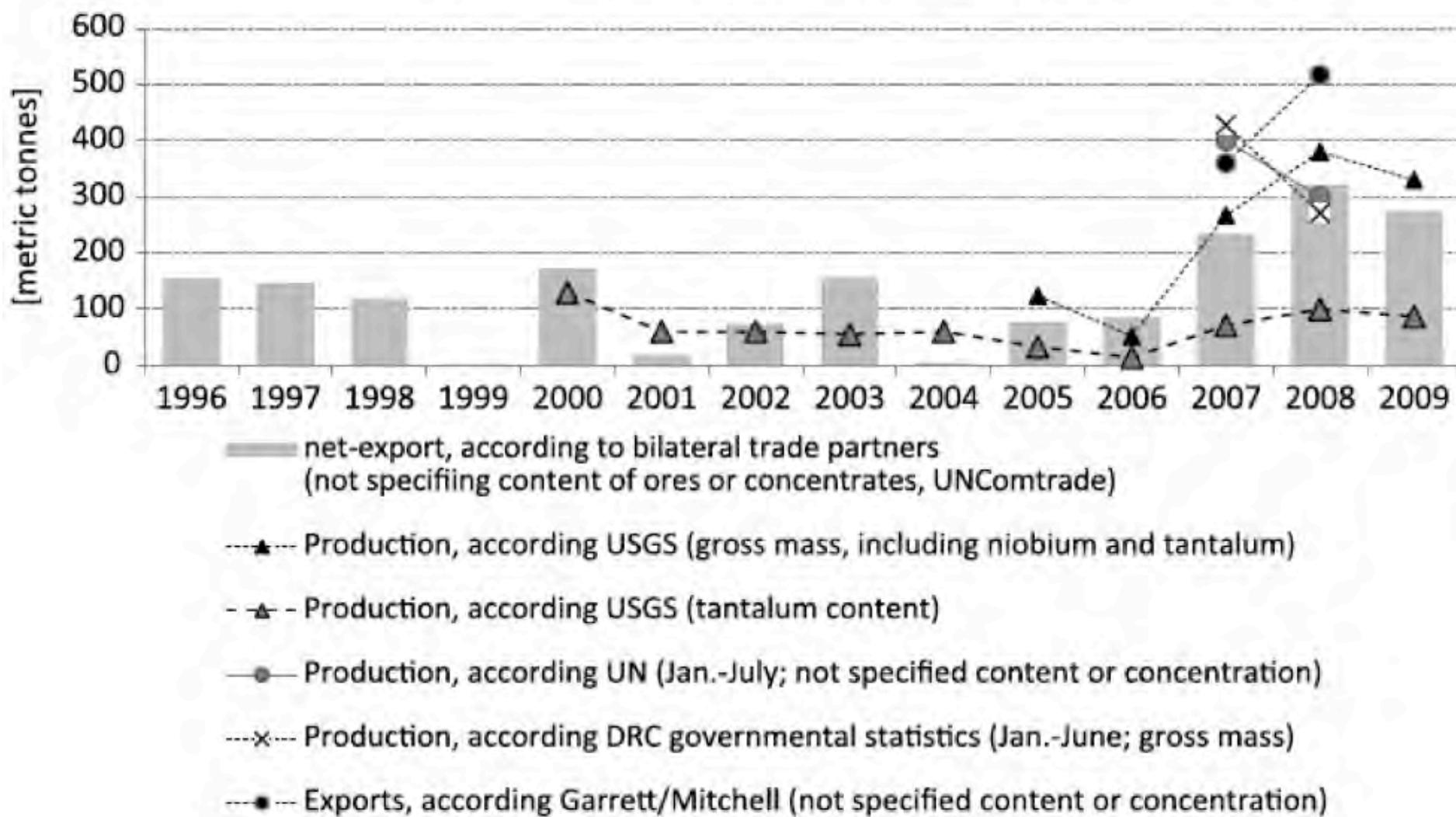
Les minéraux de la guerre (2)

- Le tantale : un métal très utilisé dans les nouvelles technologies.
- Une évolution majeure de la production depuis quelques années, avec l'arrêt de la production australienne.



(Bleischwitz et al., 2012)

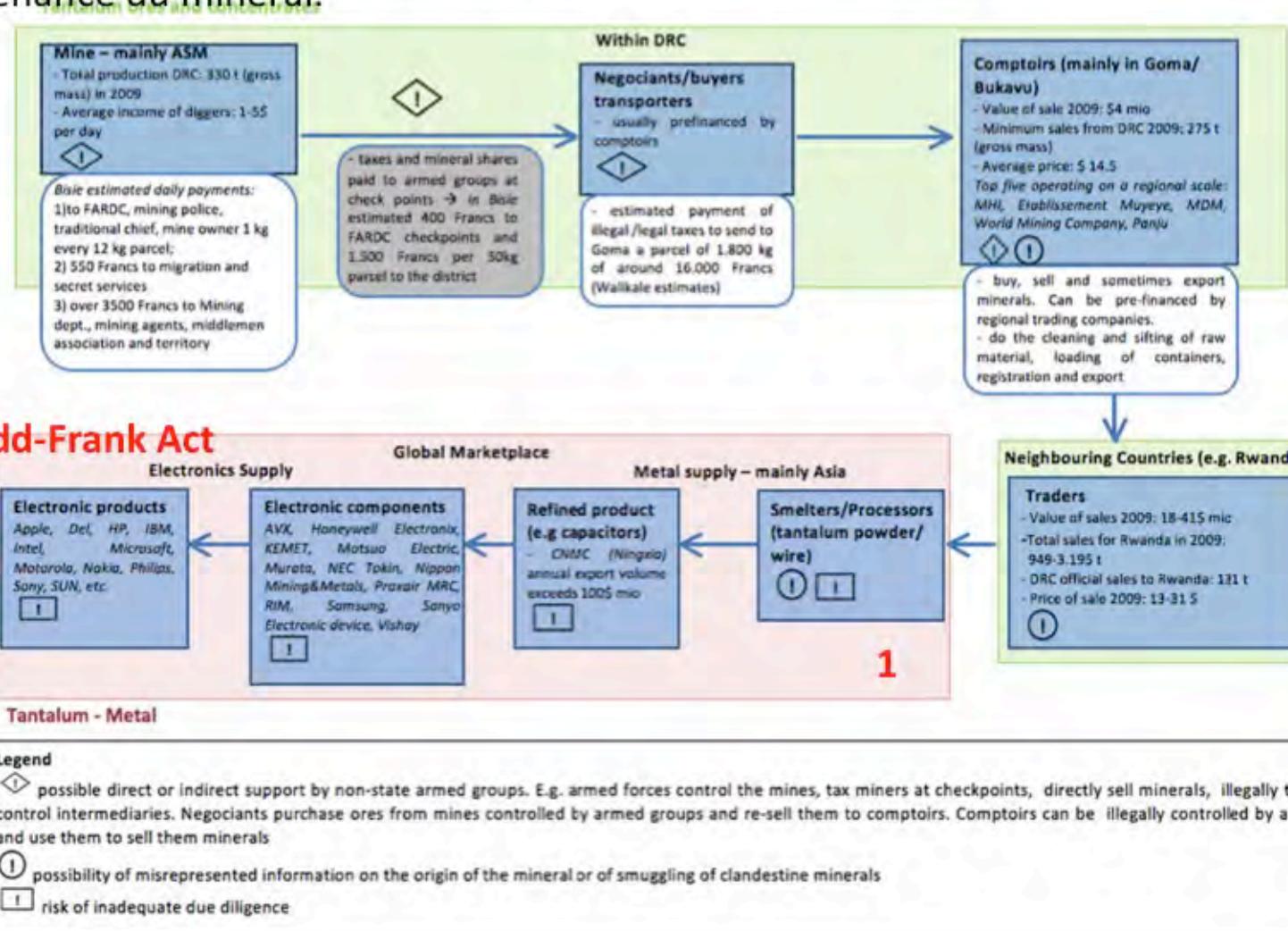
Les minéraux de la guerre (3)



(Bleischwitz et al., 2012)

Deux stratégies devant cette situation :

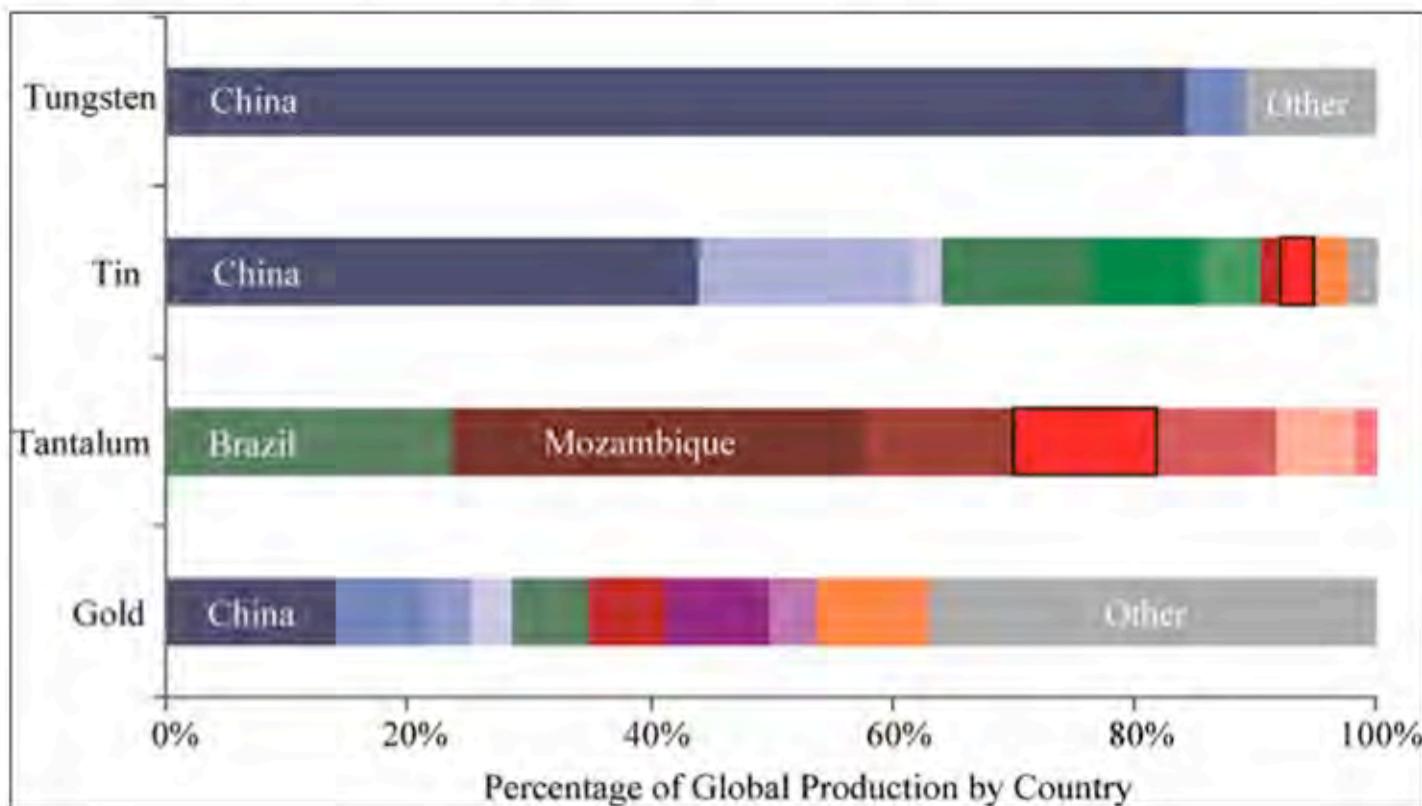
- 1) Contrôler les rares usines qui peuvent traiter le minerai de tantale, pour vérifier la provenance des lots de minerai (utilisation de méthodes géochimiques);
- 2) Loi Dodd-Frank (2012): le fabricant final (= transformateur, pas assembleur) doit vérifier la provenance du minerai.



(Bleischwitz, 2012)

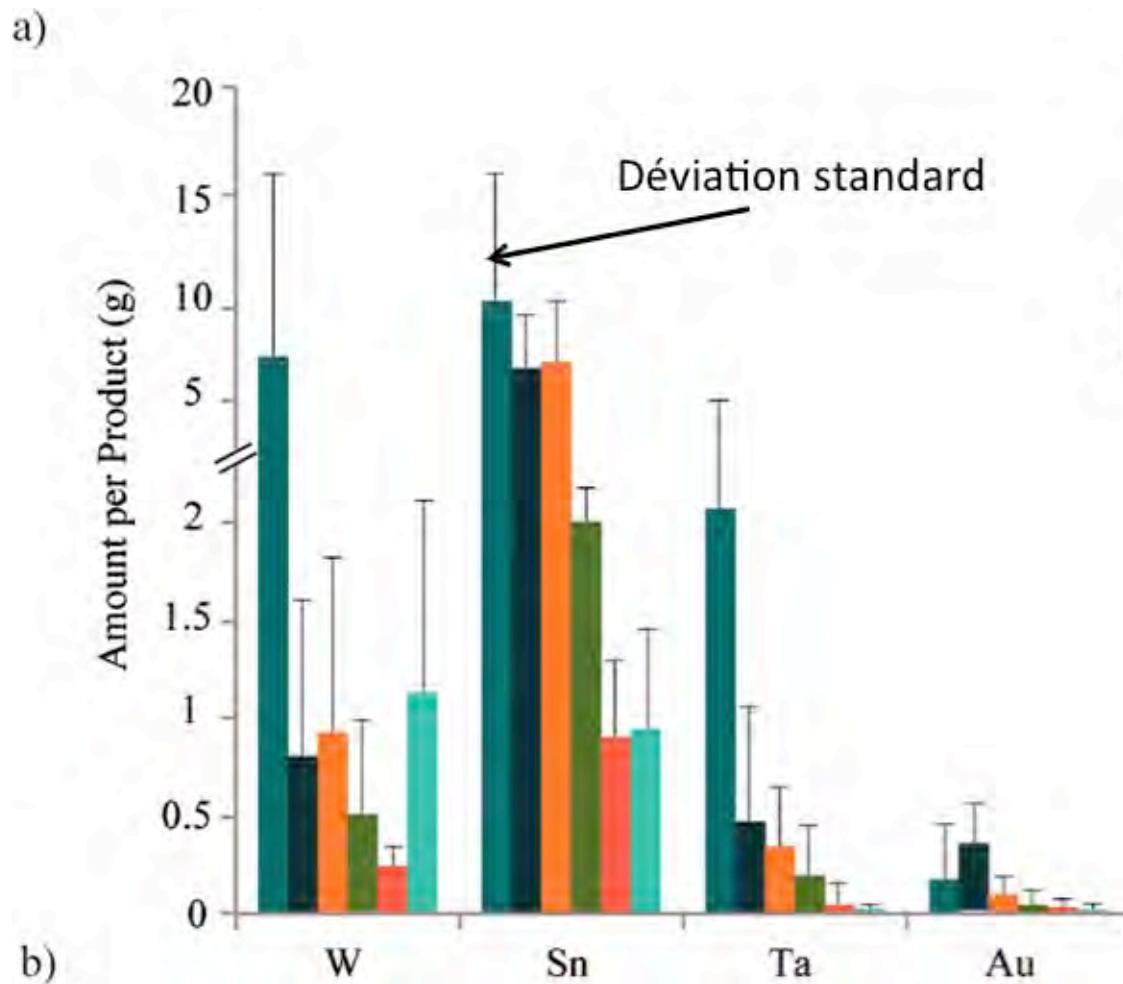
Au-delà du tantale, les 3TG

- TG: tin, tungsten, tantalum, gold
- Certaines ressources sont inégalement partagées



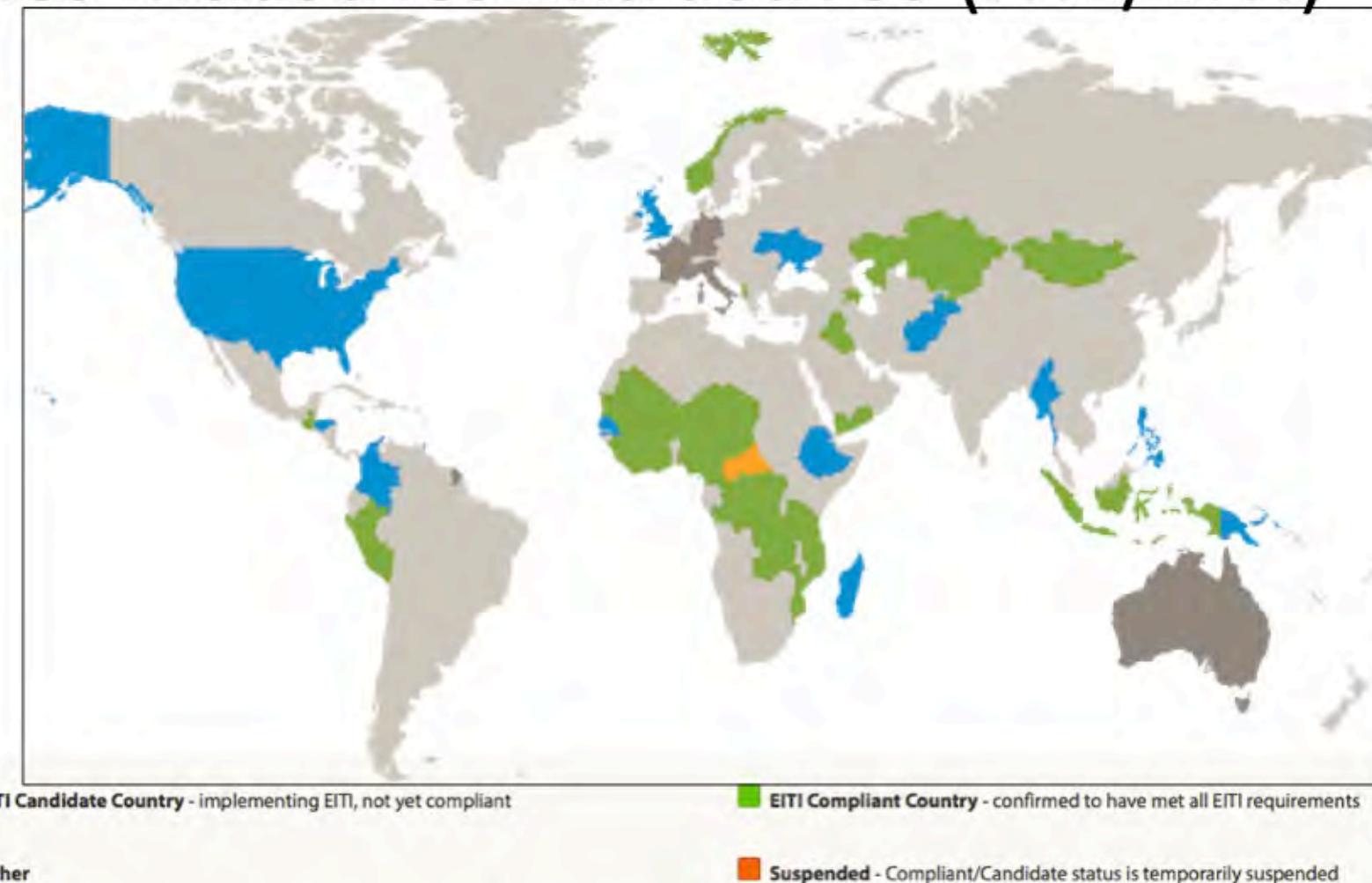
(Fitzpatrick, 2015)

Des métaux pour des produits de haute technologie



(Fitzpatrick, 2015)

Initiative pour la Transparence dans les Industries Extractives (ITIE/EITI)

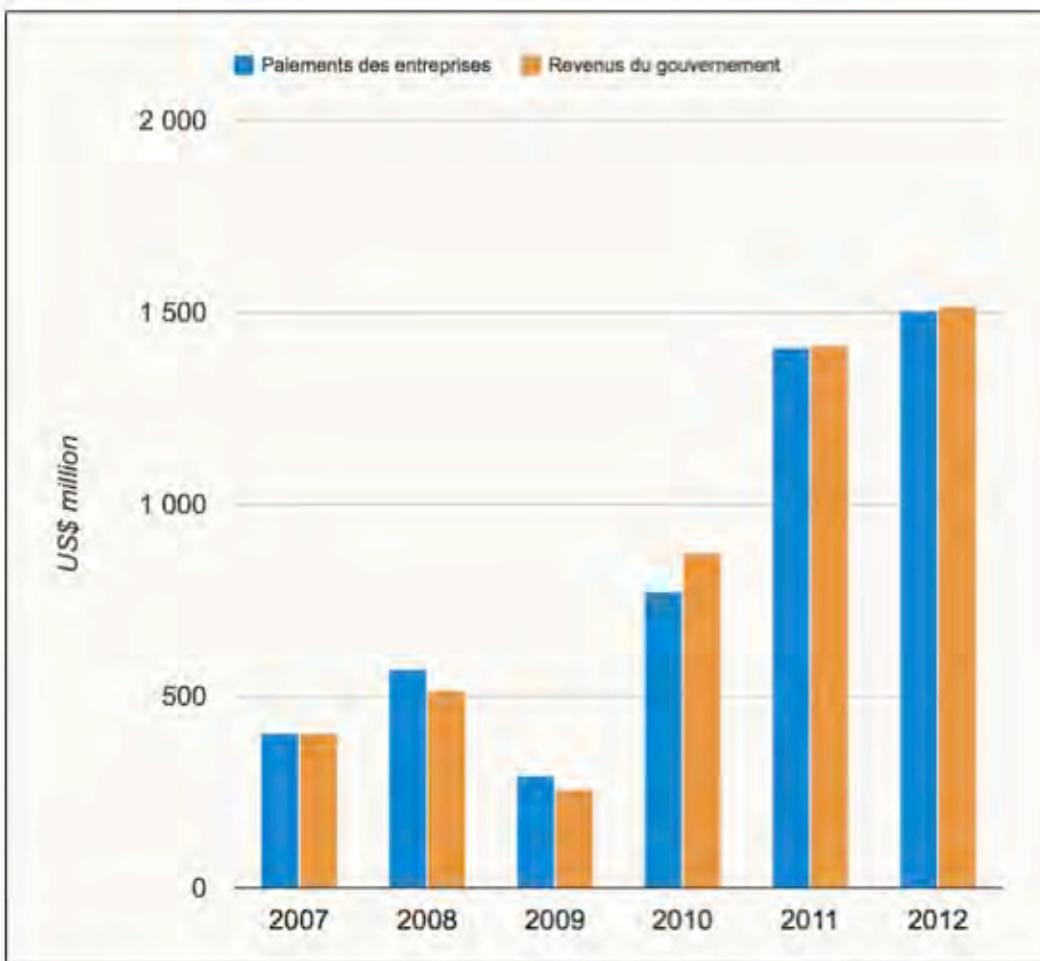


Un effort international pour rendre publics les comptes des activités minières

ITIE/EITI (2)

- L'Initiative pour la Transparence dans les Industries Extractives (ITIE) est une coalition globale d'entreprises, de gouvernements et d'organisations de la société civile œuvrant ensemble pour améliorer la transparence et la gestion responsable des revenus issus des ressources naturelles.
- Cette initiative internationale vise à limiter une mauvaise gestion des revenus financiers de l'activité minière, qui a pu, dans le passé, ouvrir la voie à la corruption et même dans certains cas à des conflits armés. Pour assurer que ces ressources profitent bien à tous les citoyens, il est capital d'obtenir plus de transparence sur la gestion des richesses issues de l'extraction des ressources naturelles d'un pays.
- Ces paiements sont divulgués dans un Rapport ITIE
- C'est seulement si les chiffres sont expliqués et qu'il existe un débat public sur la meilleure façon de gérer les richesses issues des ressources d'un pays que la transparence peut donner lieu à une plus grande prise de responsabilité. C'est pourquoi la Norme ITIE requiert des Rapports ITIE compréhensibles, activement promus et contribuant au débat public.

ITIE/EITI (3)



Évolution des revenus provenant de l'activité minière en République Démocratique du Congo.

Les composantes du développement durable en contexte minier

- Bénéfices économiques et sociaux
- Gestion des cycles de vie pendant l'exploration, extraction, traitement, première fusion et raffinage : gestion des déchets, déclassement et réhabilitation du site.
- Évaluation et gestion du risque. Sécurité: gestion des contaminants.
- Recyclage (bénéfices économiques et environnementaux) permettant de limiter l'usage des ressources primaires, réduisant la pression sur les décharges/sites de stockage et économisant l'énergie.
- Relations avec les communautés locales (notamment les peuples premiers).
- Usage des terres (important: par ex., 1 % du territoire canadien) et zones protégées.
- Industrie minière et biodiversité.