



TERRES RARES ET MÉTAUX CRITIQUES POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE : QUELS ENJEUX STRATÉGIQUES ?

CONSEIL FRANCAIS DE L'ENERGIE

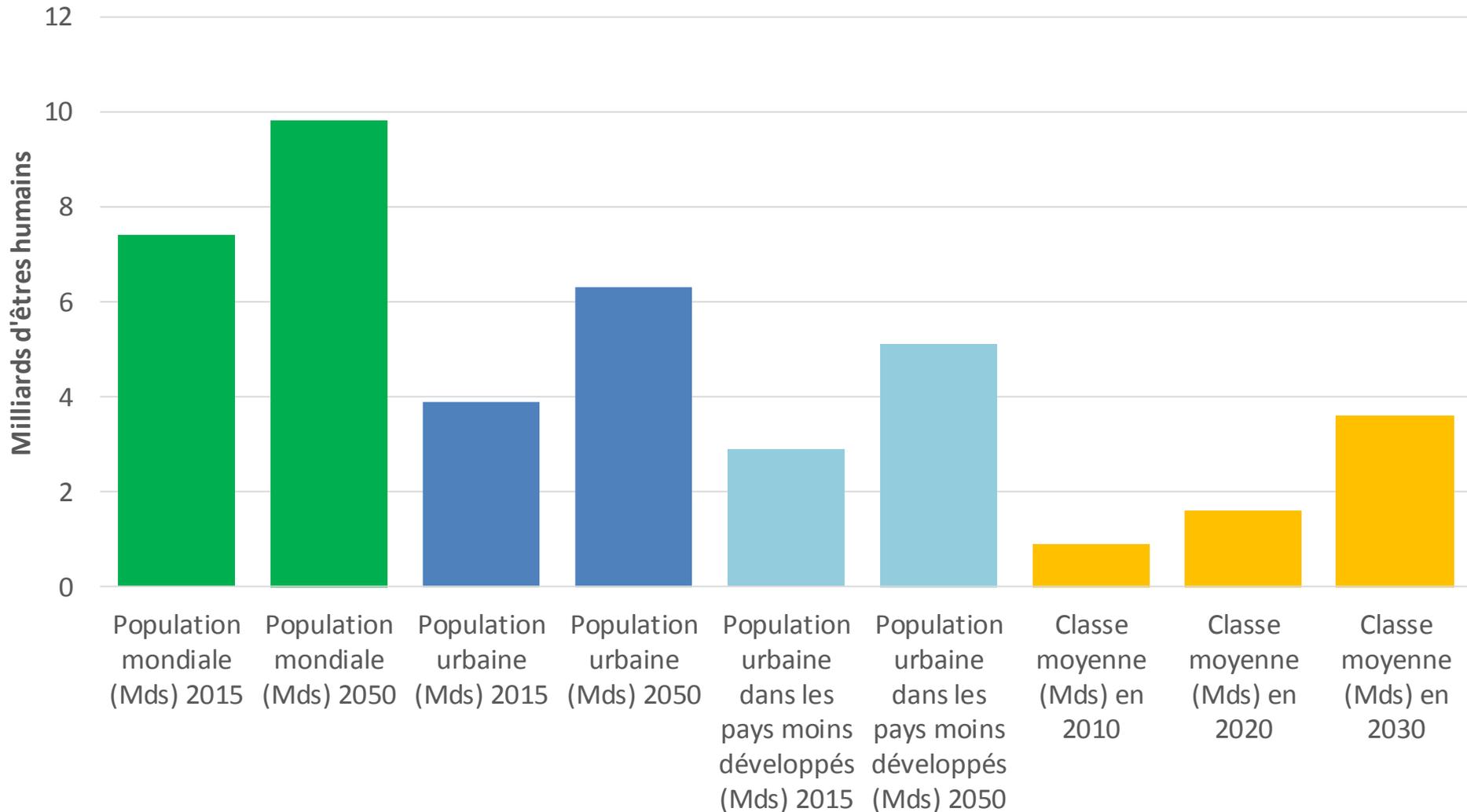
Paris, 23 janvier 2019

Dr. Patrice Christmann
krysmine@gmail.com

ENJEUX DE DEVELOPPEMENT DURABLE

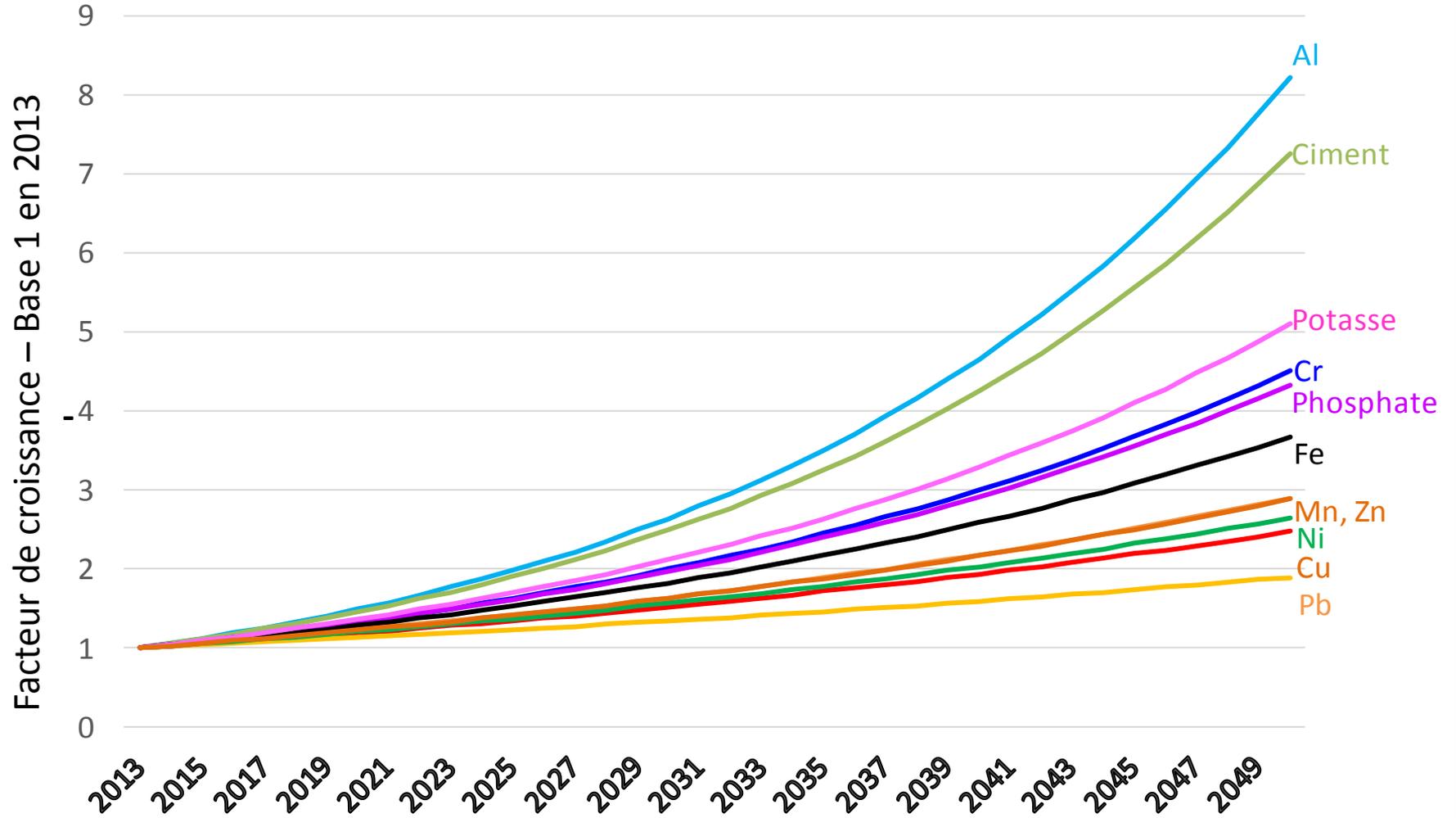
Démographie, urbanisation et développement de la classe moyenne mondiale

Source des données: UN Population Division, Brandi C. & Büge, Brookings Institute (2014)

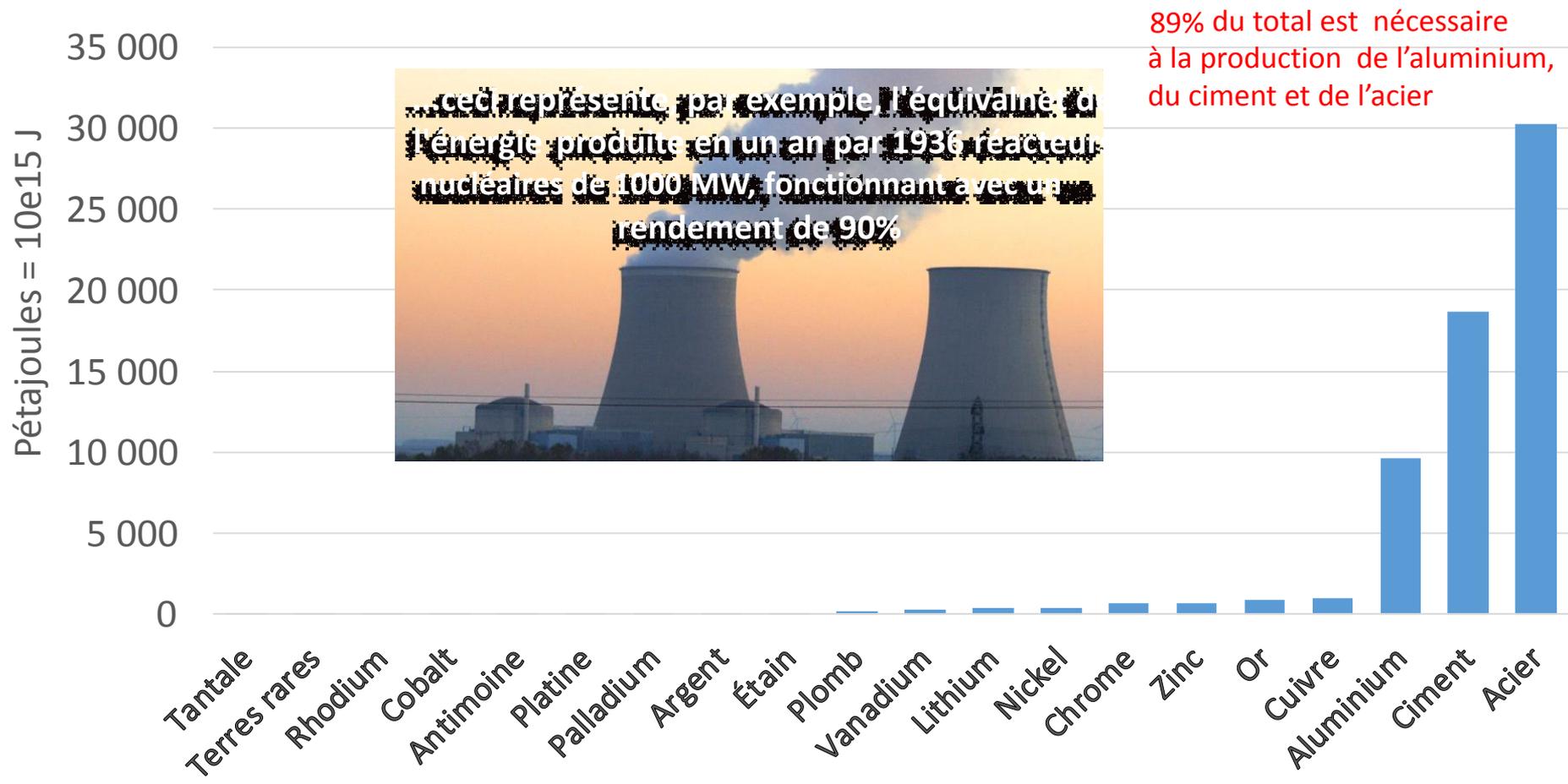


Scénario de croissance de la production d'une sélection de matières premières au cours de la période 2014-2050 (Base 100 = 2014).

Source: Christmann P. 2017 - Towards a More Equitable Use of Mineral Resources - Natural Resources Research - Online edition: DOI: 10.1007/s11053-017-9343-6

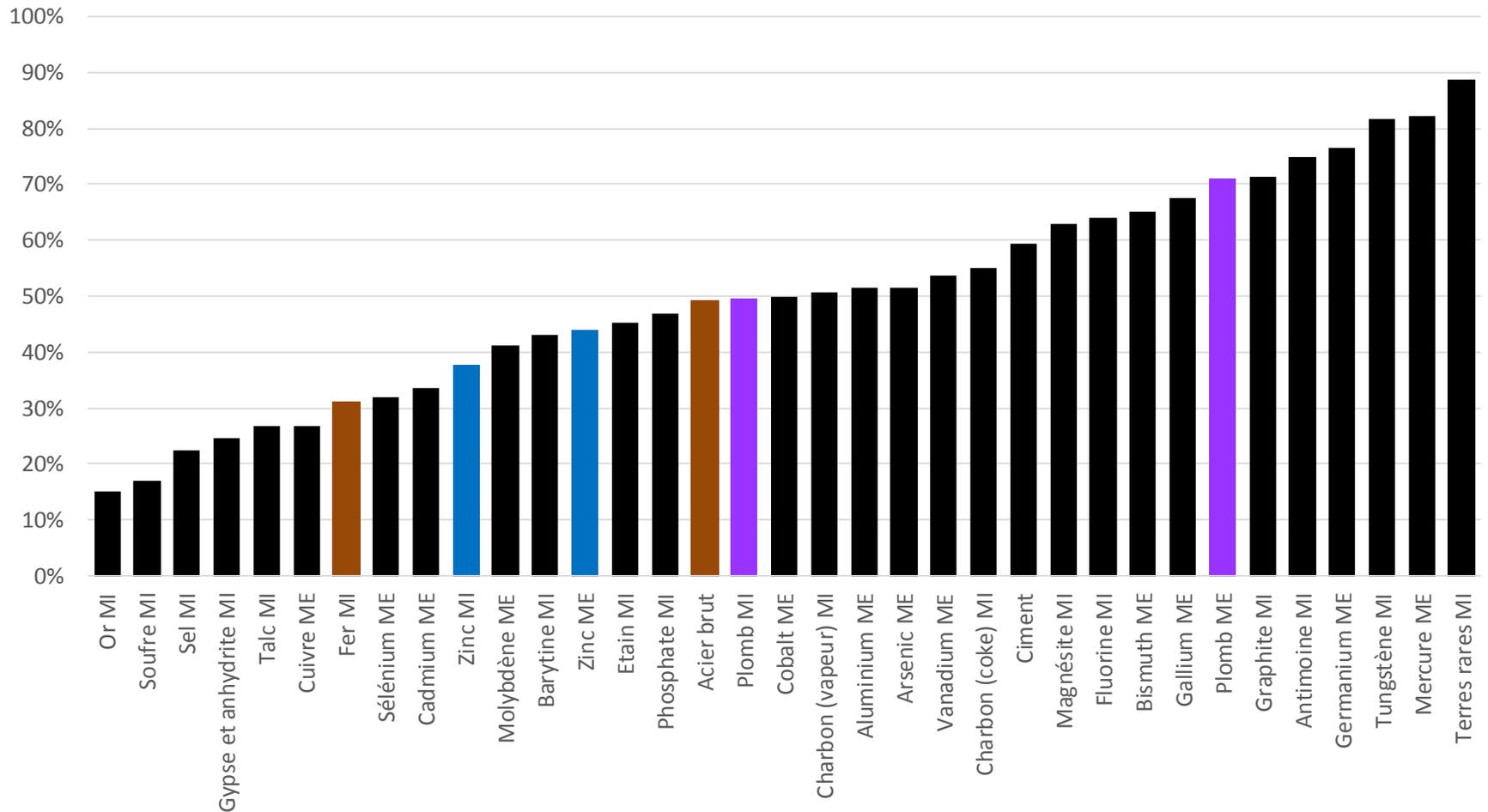


Estimation de l'énergie moyenne (électricité et chaleur) nécessaire à leur production (exploitation minière, traitement, métallurgie), en Petajoules. Selon l'OCDE (2018) cela représente 16% de la consommation énergétique mondiale



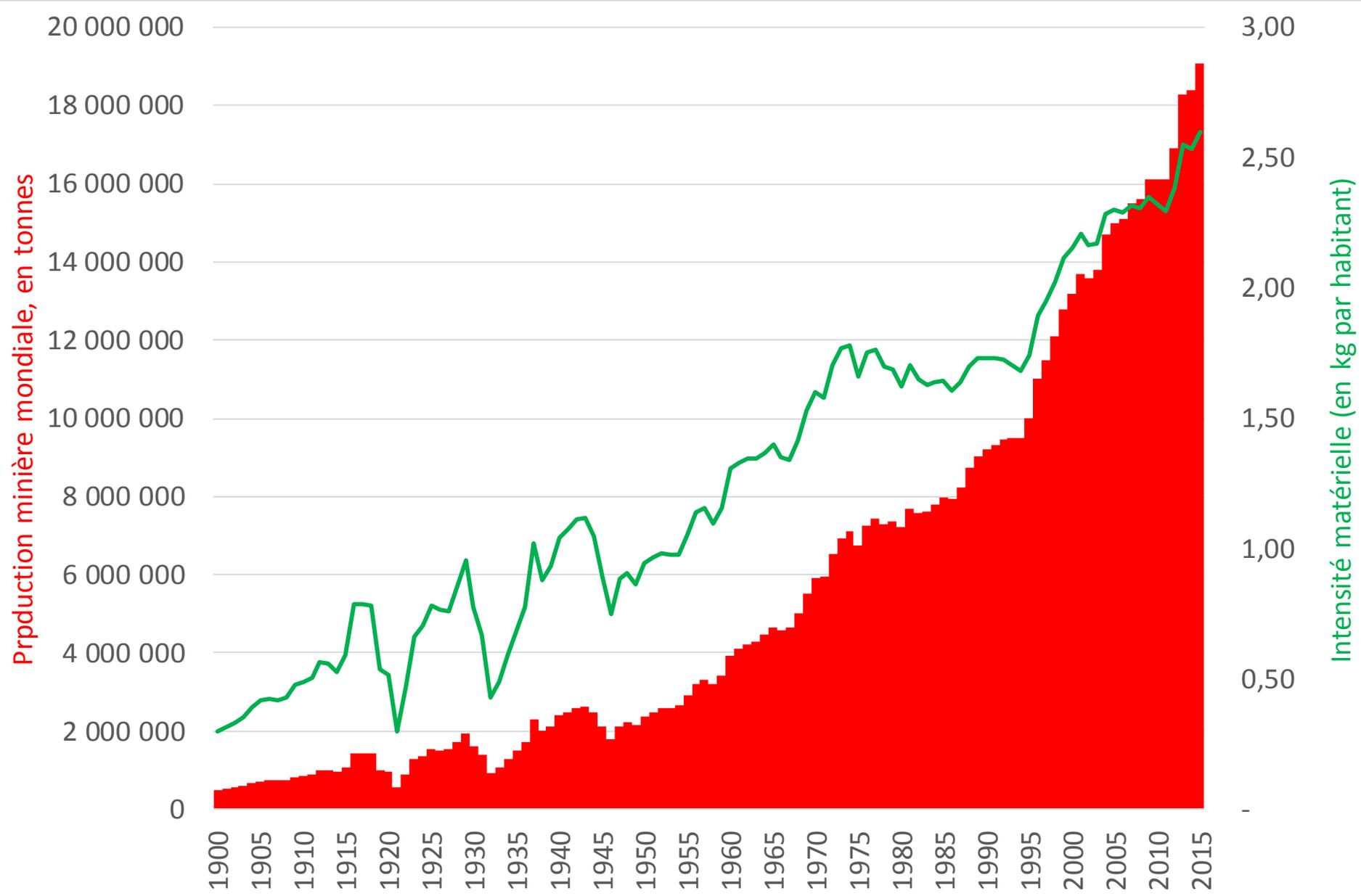
L'industrie minière chinoise, peu visible dans les statistiques minières il y a 30 ans est aujourd'hui le premier producteur mondial de plus de 30 matières premières minérales stratégiques pour l'économie mondiale. 90% de l'énergie consommée en Chine est carbonée.

Matières premières minérales pour lesquelles la Chine a été le premier producteur mondial en 2014 et part de la production minière (MI) et/ou métallurgique (ME) mondiale, en %



LE CAS DU CUIVRE

Evolution de la production minière mondiale



La production de minéraux et de métaux génère des quantités énormes de déchets, dont certains peuvent avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et/ou l'environnement



Cuivre: le Chili est le premier producteur mondial de cuivre primaire (2017: 5,3 Mt Cu contenu, 27% de la production mondiale, teneur moyenne du minerai: 0,6% Cu). Cela représente 83 milliards de tonnes de déchets.

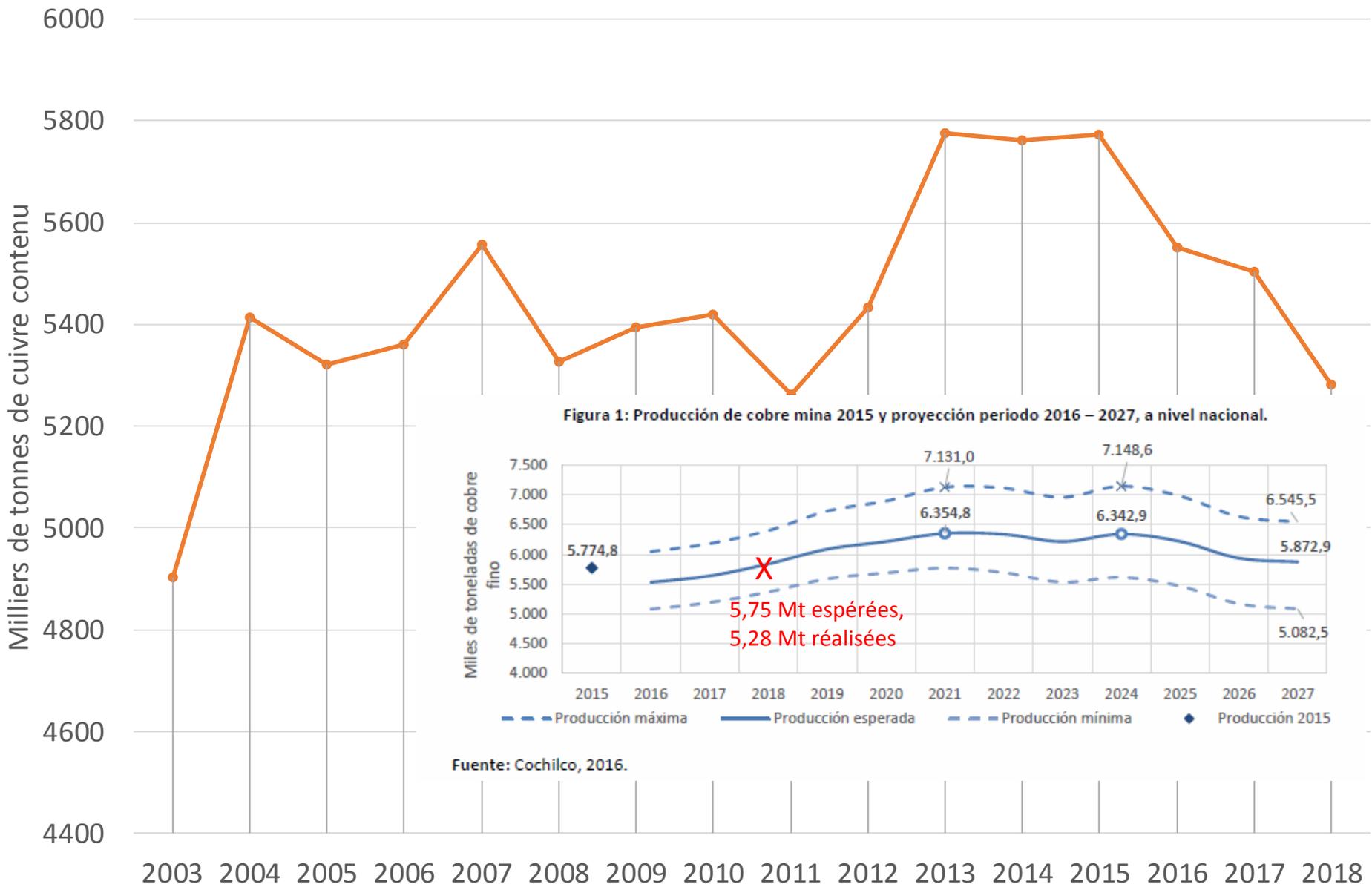
Or: En 2012, la teneur moyenne des mines d'or en production était de 1,02 g/t. La production d'or a atteint 3150 t d'or contenues dans le minerai. Cela représente environ 3,15 milliards de tonnes de déchets



Ces déchets peuvent contenir de l'arsenic, du cadmium, du mercure, du sélénium, du tellure dont les formes solubles peuvent être toxiques pour l'homme et l'environnement.

En l'absence de réemploi ces déchets peuvent causer des impacts pendant des millénaires.

La disponibilité ainsi que le prix de l'eau et de l'énergie pèsent sur la production de cuivre du Chili comme le montre l'évolution de la production de 2003 à 2013.



Scénario cuivre

Production 2015: 19,1 Mt - Croissance demande: 2,5%/an

2015

Réserves connues:
720 000 000 tonnes Cu

2043

Les réserves connues
en 2015 sont
consommées

2058

Le stock per capita mondial
atteint 250 t, niveau moyen
actuel des pays riches

Il aura fallu pour cela produire près de 1,5 milliards de tonnes de cuivre entre 2016 et 2058, dont près de 0,8 milliards de tonnes à trouver et à mettre en production d'ici là

Scénario cuivre: que sait-on de la ressource et du stock géologique théoriquement accessible?

Auteurs	Qualification	Tonnage
Mudd et Jowitt, 2018	Ressources connues et supposées	3,035 milliards de tonnes
Johnson et al., 2016 (USGS)	Ressources connues et supposées et à découvrir (potentiel estimé). Tranche 0 à 1 km	3,942 milliards de tonnes
Kessler and Wikinson (2008)	Ressources à découvrir, tranche 0 à 3,3 km	89 milliards de tonnes

Scénario cuivre: est-ce possible?

- Des centaines de milliards de dollars d'investissements seront nécessaires en exploration et en développement de nouveaux gisements.
- La disponibilité de l'eau et de l'énergie, la production de déchets sont des écueils à surmonter
- L'acceptabilité sociale de nouvelles méga-exploitations est de plus en plus problématique, il y a une schizophrénie croissante entre la boulimie mondiale de ressources et le rejet, parfois violent, de tout nouveau développement industriel (Syndromes « NIMBY » et « BANANA »)

LE CAS DES TERRES RARES

Leur structure électronique avec une orbitale interne de type 4f pouvant recevoir jusqu'à 14 électrons (15 éléments) leur confère des propriétés magnétiques et optiques uniques, à l'origine de très nombreuses applications dans les secteurs les plus variés:

- Automobile
- Défense
- Energie (éoliennes synchrones, à transmission directe, éclairage)
- Lasers
- Médecine (Imagerie basée sur la résonance magnétique)
- Miniaturisation dans les domaines électriques et électroniques (générateurs et moteurs électriques compacts)
- Protection des billets de banque contre la contrefaçon
- Technologies de l'information et de la communication

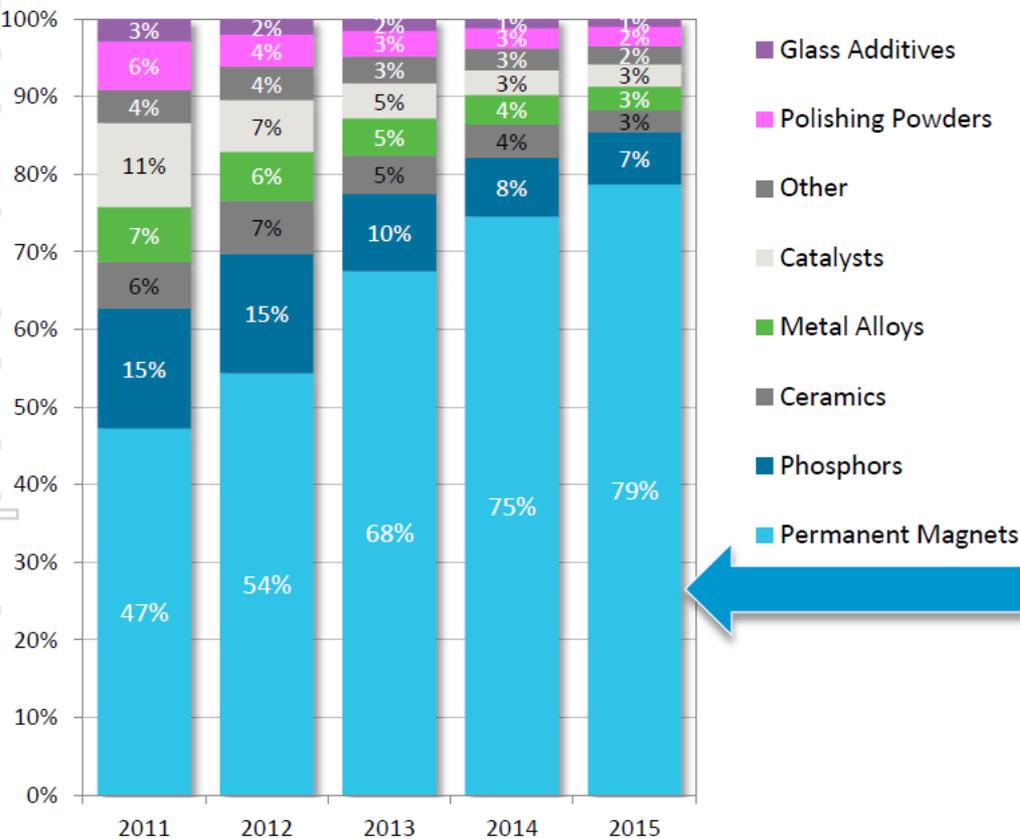
Les propriétés chimiques quasi-identiques des terres rares rendent leur séparation très complexe et fortement consommatrice d'intrants chimiques.

Les aimants permanents à base de terres rares (alliage Nd,Pr (+/- Dy) – De – B) sont, de loin, les aimants permanents les plus performants fabriqués à l'échelle industrielle. La maîtrise de leur production représente un enjeu économique énorme malgré la valeur relativement modeste de la production de terres rares.

Un petit marché (1,8 mds \$ en 2015 selon l'USGS) très diversifié et évolutif, dominé (environ 80% en 2017) par la production d'aimants permanents Nd,Pr (Dy) – Fe – B

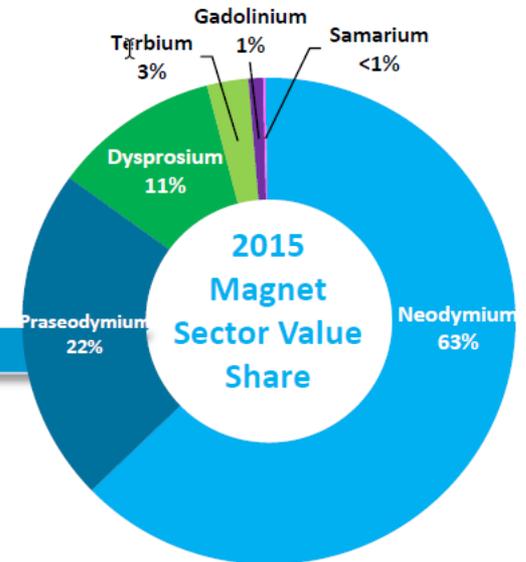
Source: Peak Resources – Investor presentation – Janvier 2017

% Value of Rare Earth Applications



Ngualla annual production Basket:

2,300 tpa* NdPr
 2,740 tpa* Lanthanum
 1,500 tpa* Cerium
 180 tpa* Combined mid + heavy
 *REO equivalent

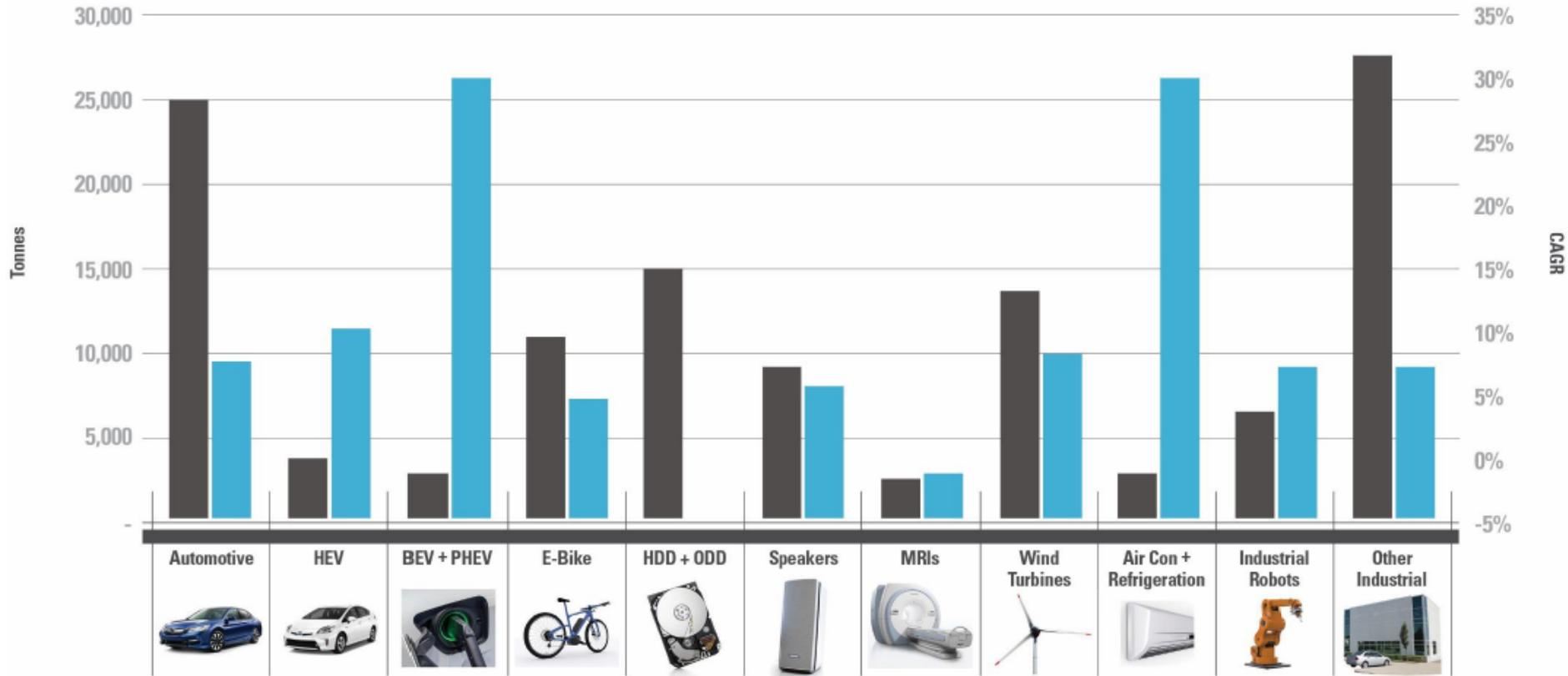


Source: IMCOA Professor Dudley Kingsnorth 2016, Value is calculated using China FOB and Chinese Domestic Pricing.

Appendix C: Established Markets & Growing Applications

NdFeB Magnet Volume & Forecast Growth

NdFeB Magnet Tonnes 2016
 Forecast CAGR% 2025



Source: Adamas Intelligence, Arnold Magnetic Technologies, Japanese industry participants, Roskill

Mine de terres rares de Bayan Obo et site métallurgique de Baotou, Mongolie Intérieure, Chine (photos satellite Google Earth)



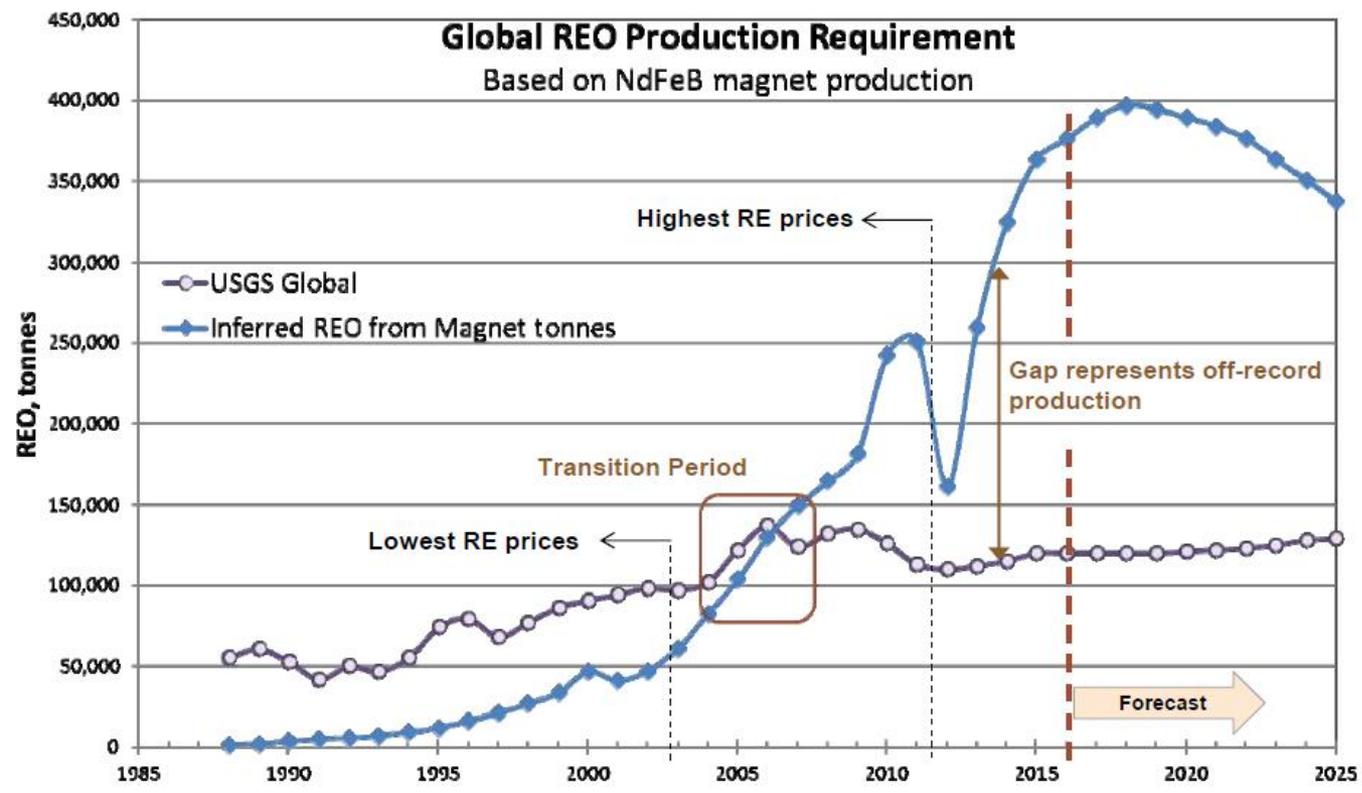
Le thorium, métal faiblement radioactif (émetteur alpha), accompagne souvent les terres rares dans leurs minerais.

En Chine, les résidus de traitement (photo du bas) sont entreposés à l'air libre, ce qui génère des poussières thorifères, nuisibles à la santé.



Comme pour nombre d'autres petits métaux, les données relatives au marché des terres rares ne sont pas fiables. Il n'y a pas de marché réglementé et il existe une probabilité élevée d'un important marché noir de terres rares en provenance de Chine. Selon Arnod Magnetics il pourrait représenter le double de la production officielle.

REO Production inferred from NdFeB Magnet Production

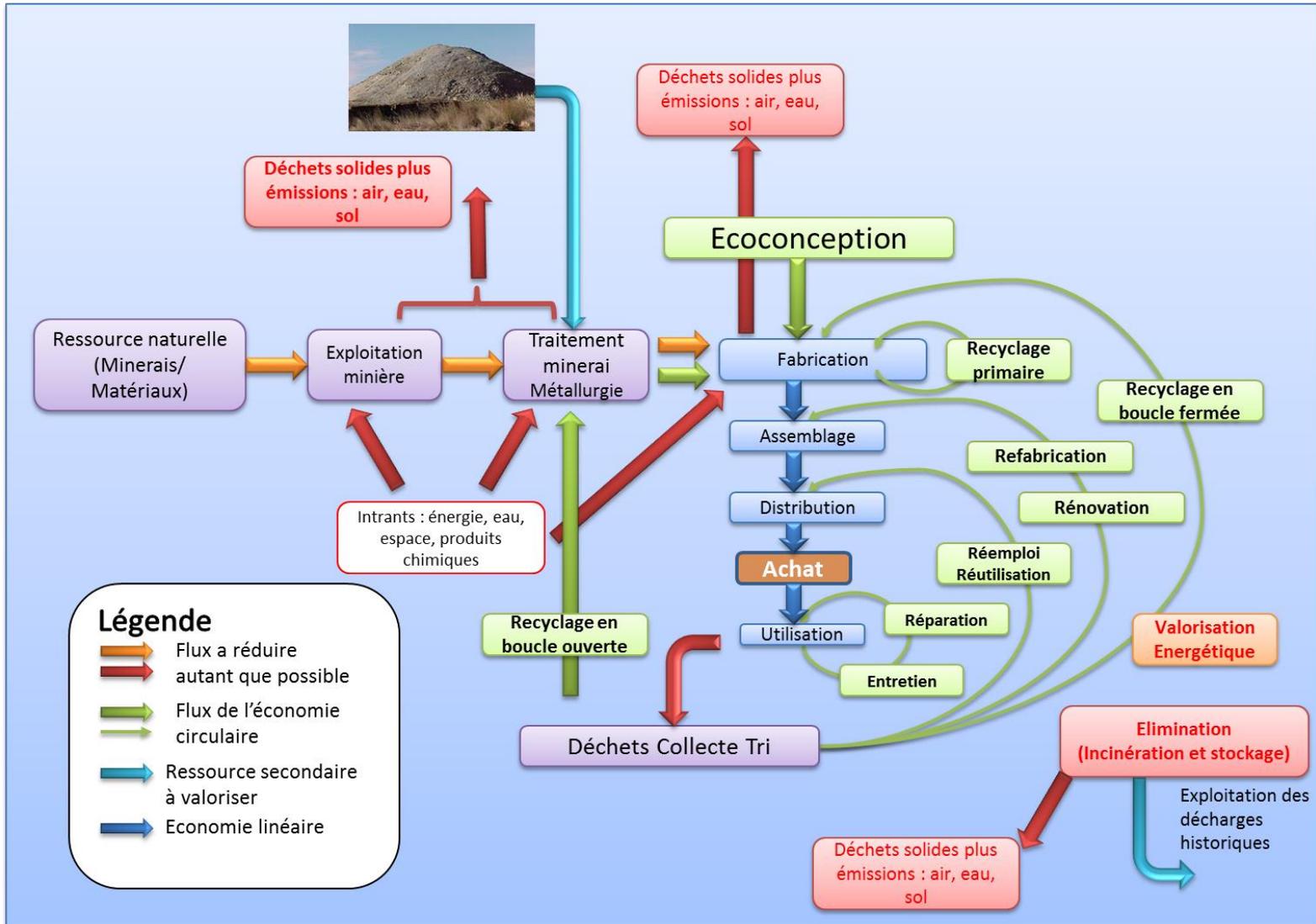


Sources: USGS; published sources within China; Kingsnorth; Charalampides and Vatalis; Wang et al; others

CONCLUSIONS: NECESSITE D'UNE
CIRCULARISATION DE L'ECONOMIE MONDIALE ET
D'UNE GOUVERNANCE MONDIALE DES MATIERES
PREMIERES MONDIALES

Le concept d'économie circulaire appliqué au domaine des matières premières minérales.

Auteurs: P. Christmann, P. Piantone (BRGM)



La gouvernance mondiale des matières premières minérales non-énergétiques (et de toutes les ressources naturelles)

- Les défis esquissés en début de présentation et les impacts sur l'écosystème global et les écosystèmes locaux sont tels que la seule issue pouvant permettre de répondre aux besoins humains sans détruire l'environnement dont l'humanité dépend ni produire des conflits potentiellement très destructeurs est le développement d'une gouvernance mondiale des matières premières mondiales dont les piliers sont:
 - La connaissance,
 - La transparence des projets et des activités fondée sur le rapportage public de ces activités
 - L'inclusion des populations riveraines dans la conception et la mise en œuvre de nouveaux
 - La quadruple responsabilité des entreprises (économique, environnementale, de gouvernance et sociétale) avec rapportage systématique, annuel, des performances de développement durable selon un cadre d'indicateurs standardisés
 - L'encouragement des bonnes pratiques, par exemple grâce aux procédures d'achat, notamment dans le cadre de marchés publics et l'écolabélisation des produits de l'industrie minière

La gouvernance mondiale des matières premières minérales non-énergétiques (et de toutes les ressources naturelles)

- Un rapport du Groupe International pour les Ressources des Nations Unies (International Resource Panel > resourcepanel.org) sur la gouvernance des matières premières minérales non-énergétiques sera rendu public le 19 février à l'occasion d'une conférence organisée par l'Agence fédérale allemande pour l'Environnement (Umweltbundesamt).
- Il recense notamment près de 90 initiatives volontaires relatives à des aspects de la gouvernance des matières premières minérales, initiatives développées soit par des industriels, soit par des ONG voire des de pays de l'OCDE.
- A ce stade le paysage de la gouvernance des matières premières mondiales demeure trop fragmenté, couvrant insuffisamment toutes les dimensions du développement durable pour répondre aux défis actuels. Il ne permettra pas d'atteindre les Objectifs de Développement Durable des Nations Unies, même si des progrès importants ont déjà été faits au cours des deux dernières décennies

Source d'information française:

www.mineralinfo.fr

Portail conjoint des Ministères:

- **de la Transition Ecologique et Solidaire,**
- **de l'Economie et des Finances,**
- **de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation**

Notamment alimenté par les études réalisées par le BRGM sur des métaux et minéraux critiques pour la France (menu « documentation »)