

Approvisionnement en ressources minérales pour le déploiement des énergies renouvelables

Antoine Boubault, BRGM

a.boubault@brgm.fr

30/09/2021



Bureau de Recherches Géologiques et Minières

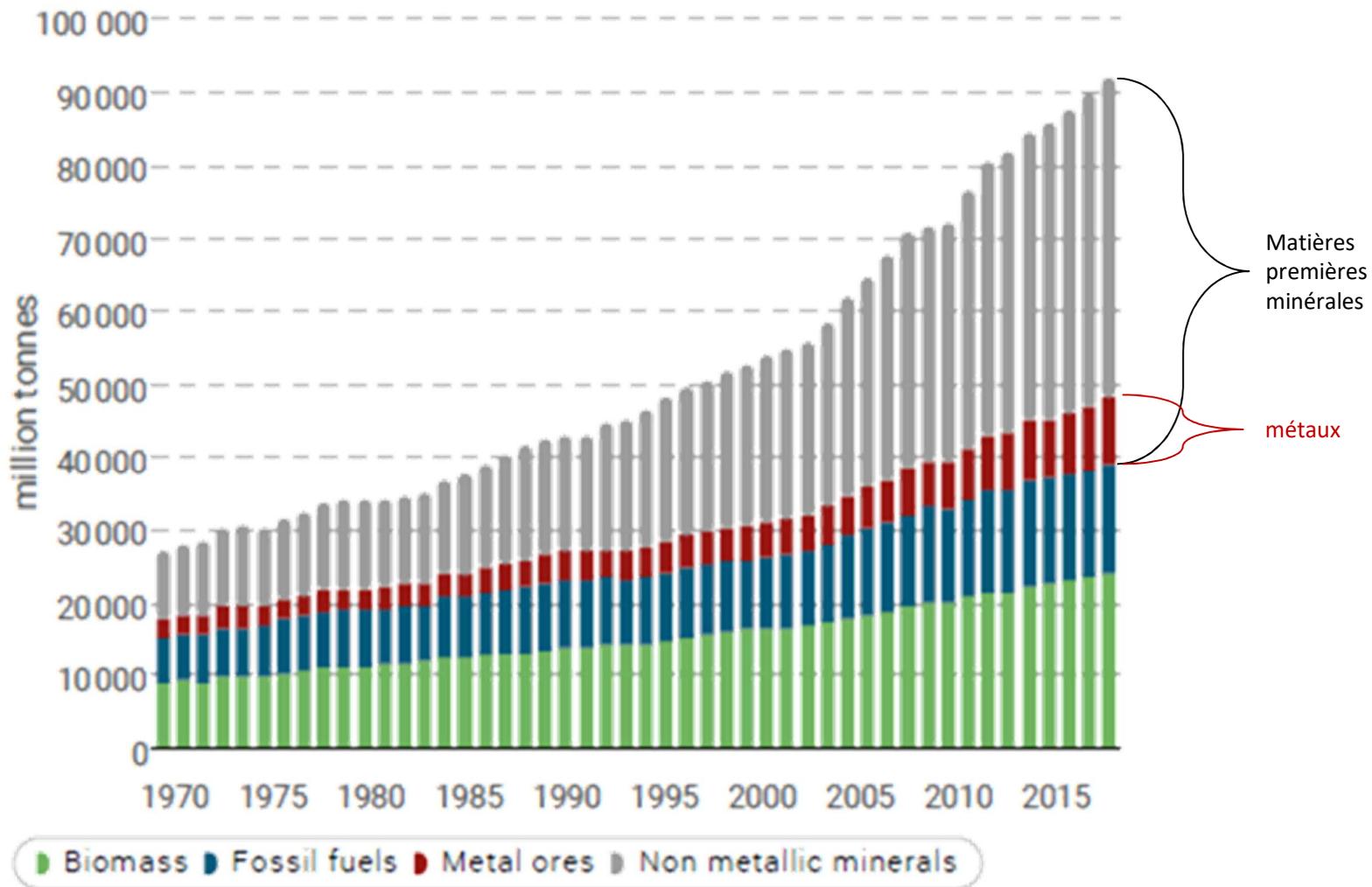
- *Etablissement public de référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol*
- 1000 salariés
- 25 agences sur le territoire français
- 130 M€
- 6 thématiques :
 - Géologie et connaissance du sous-sol
 - Gestion des eaux souterraines
 - Risques et aménagement du territoire
 - **Ressources minérales et économie circulaire**
 - Transition énergétique et espace souterrain
 - Données, services et infrastructures numériques

SOMMAIRE

1. Croissances de production et consommation
2. Transition énergétique et besoins
3. Epuisement des ressources ?
4. Criticité
5. Conclusion

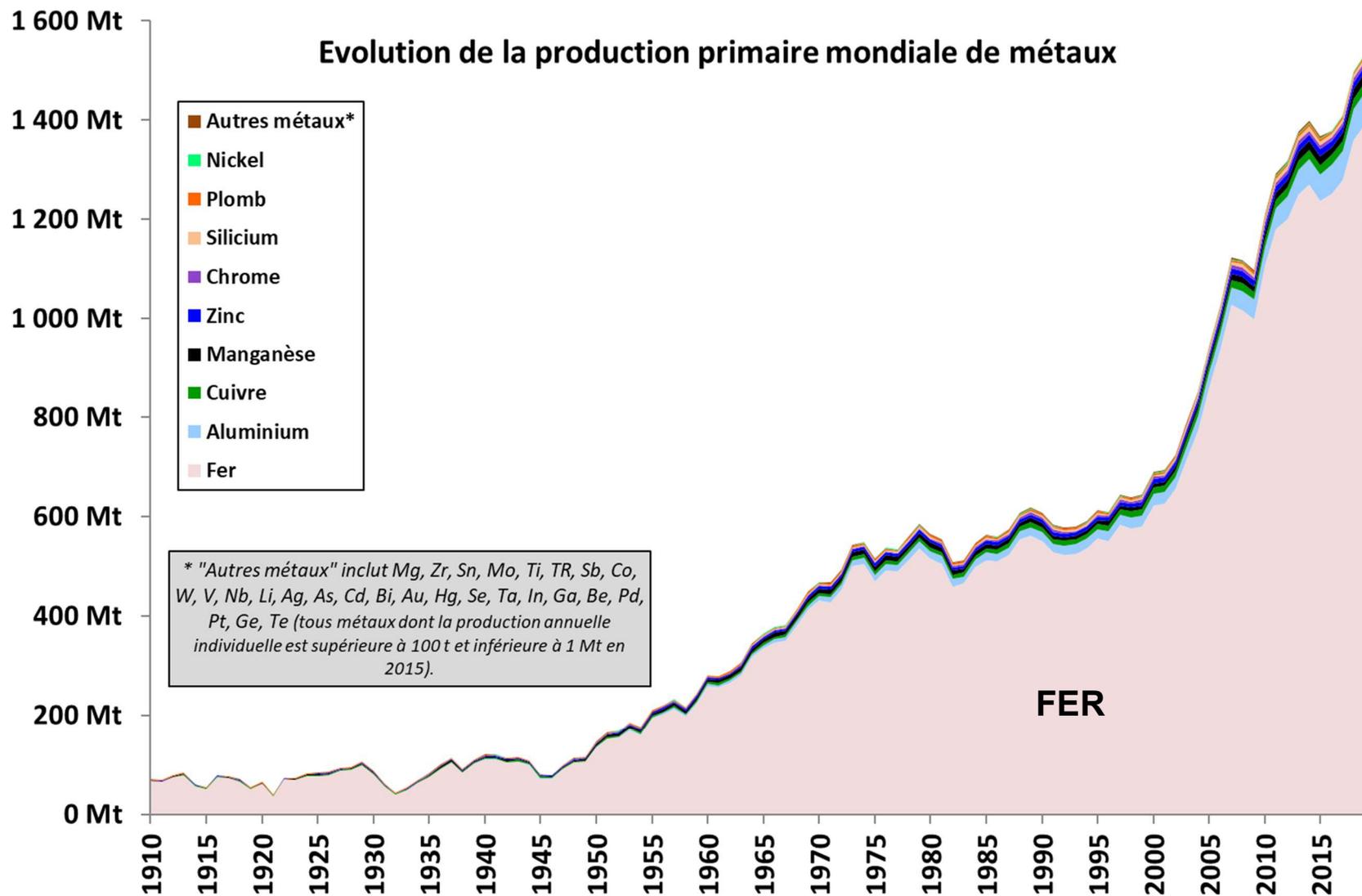
1. Croissances de production et consommation

Extraction mondiale

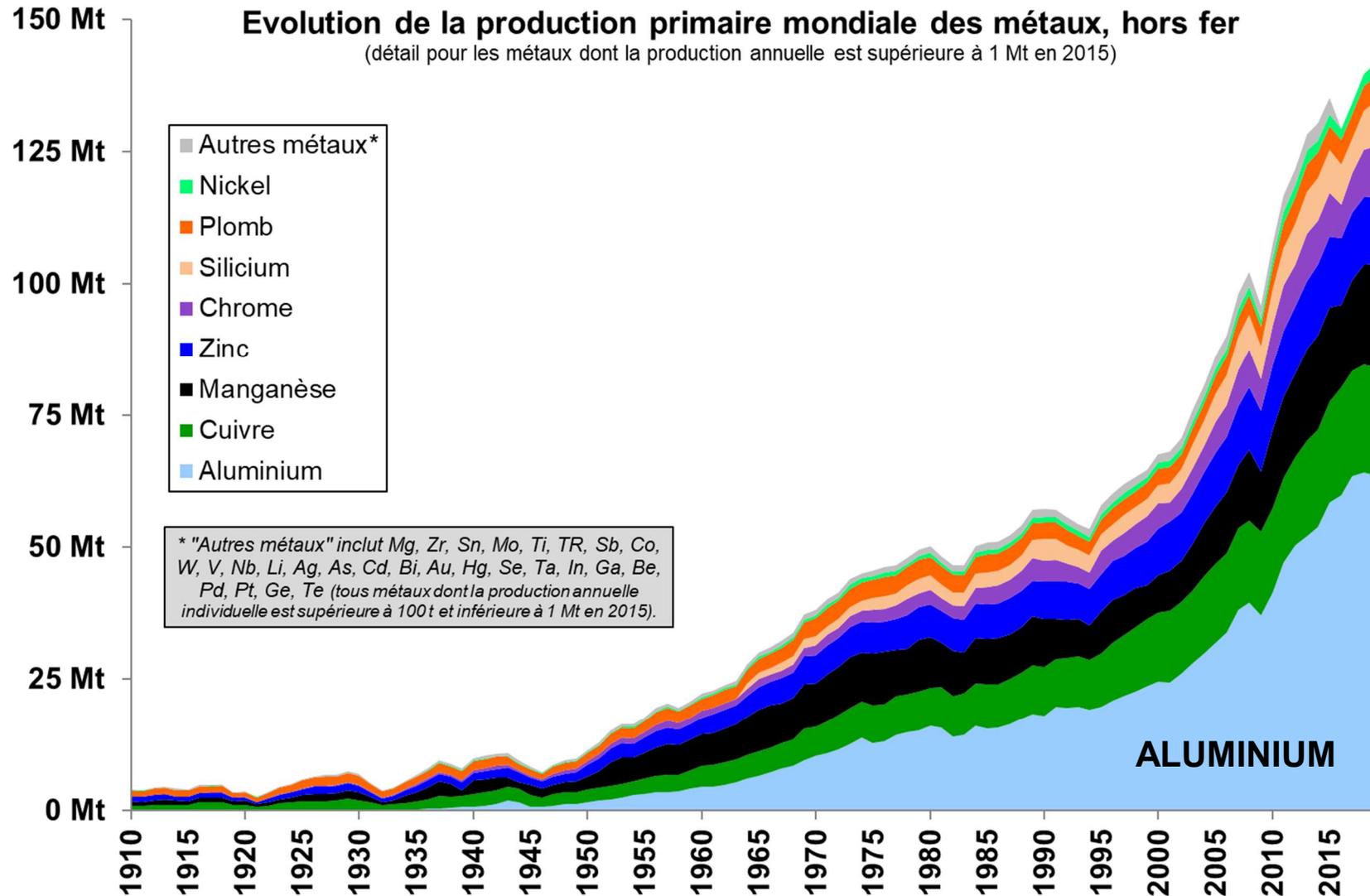


Source: UNEP & IRP, 2018

1. Croissances de production et consommation



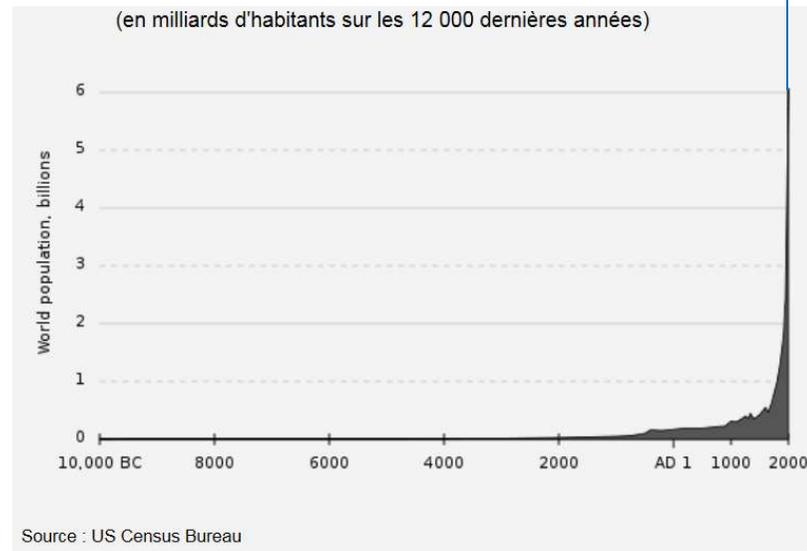
1. Croissances de production et consommation



1. Croissances de production et consommation

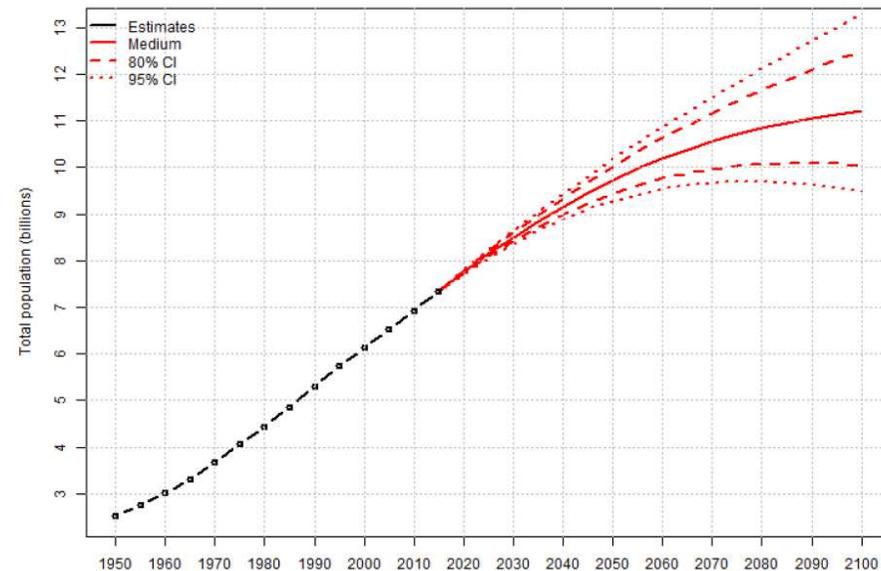
LES CAUSES

Evolution de la population



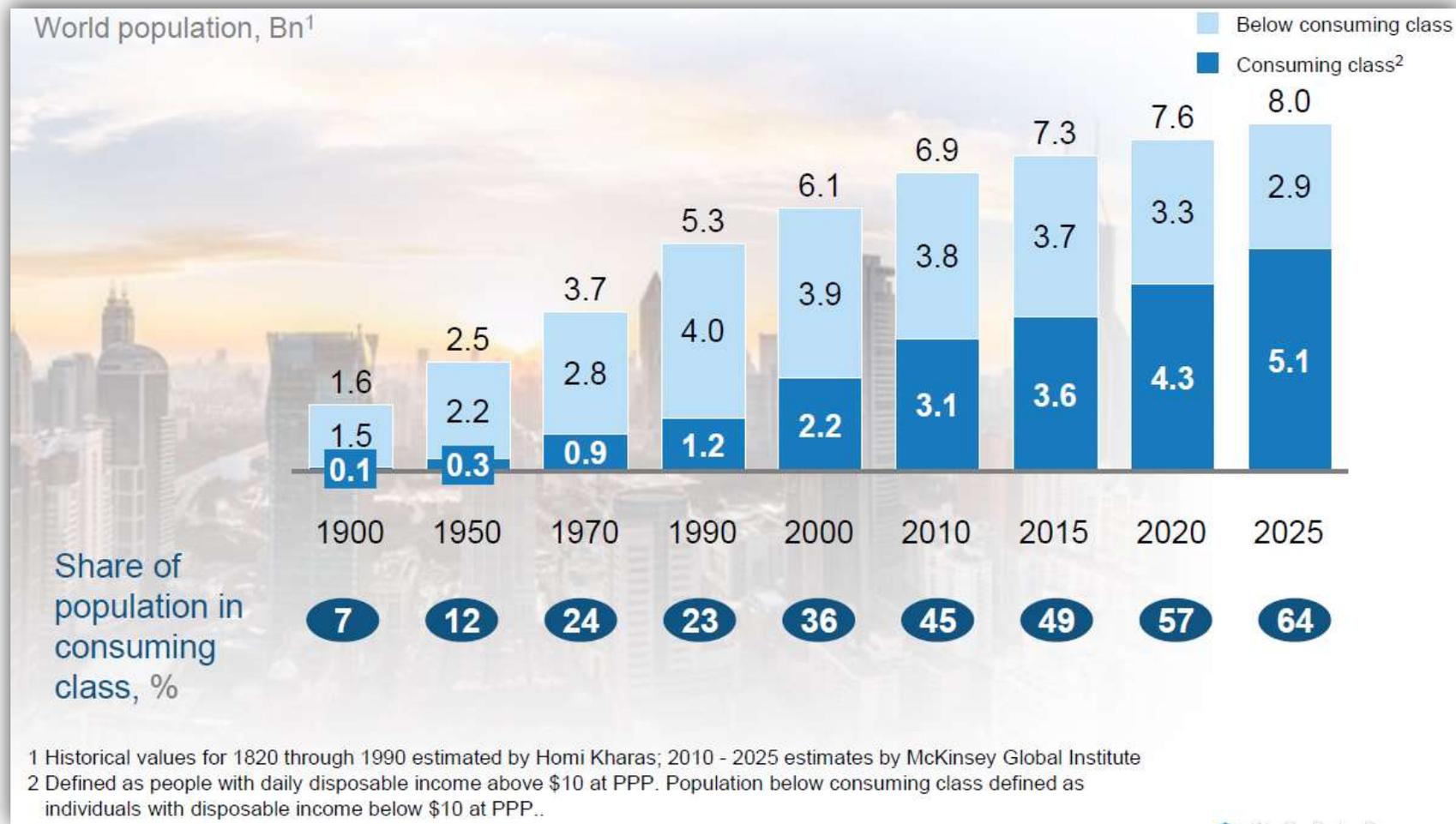
2021: 7,9 milliards

Projection (Source : Nations Unies, 2015)



1. Croissances de production et consommation

ET un attrait pour la consommation matérielle et énergétique

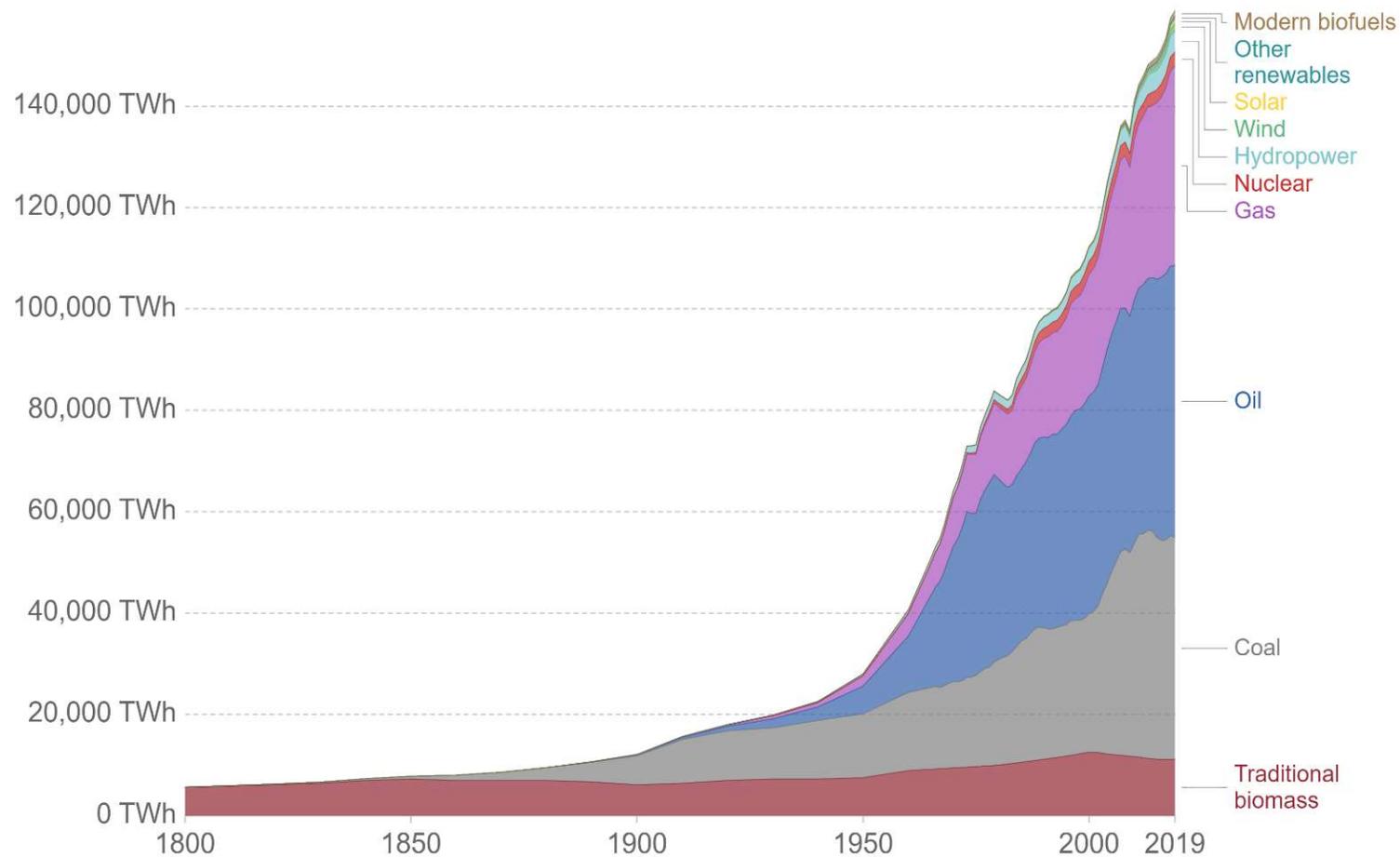


source : McKinsey and BRGM; World Materials Forum, June 2016

1. Croissances de production et consommation

Evolution de la consommation énergétique mondiale

Direct primary energy consumption does not take account of inefficiencies in fossil fuel production.



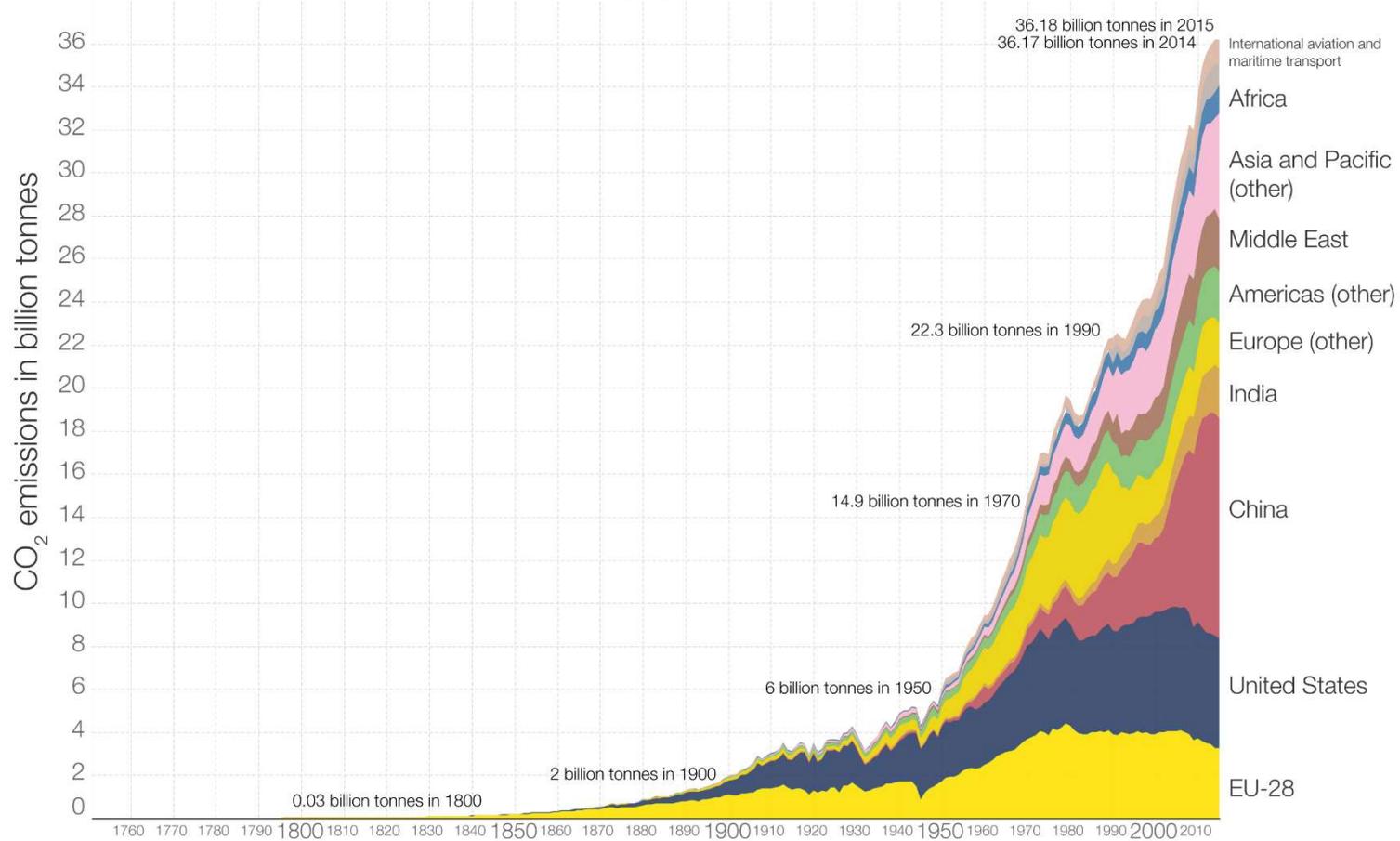
Source: Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

1. Croissances de production et consommation

Global CO₂ emissions by world region, 1751 to 2015

Annual carbon dioxide emissions in billion tonnes (Gt).

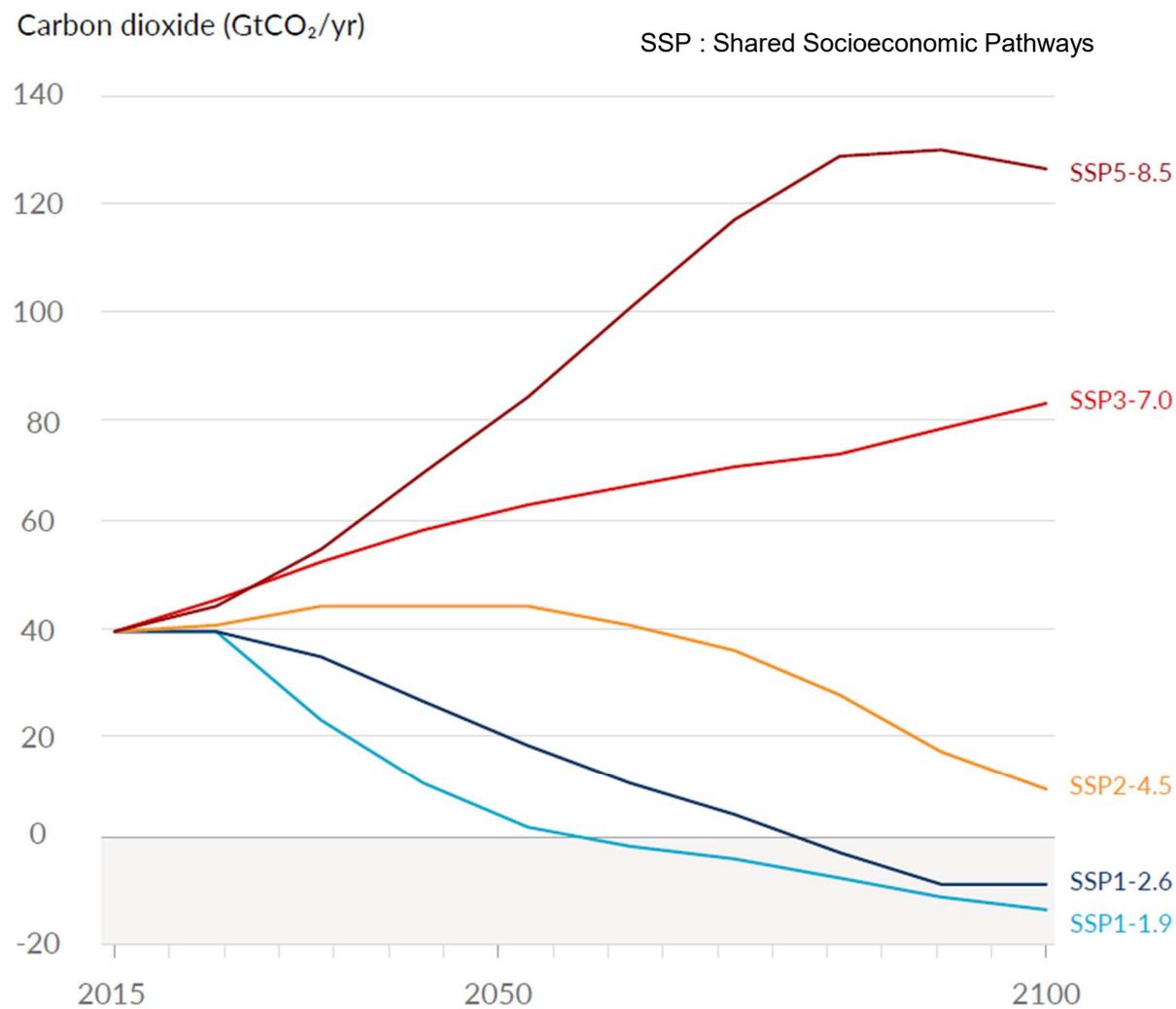


Data source: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)



2. Transition énergétique et besoins en ressources minérales

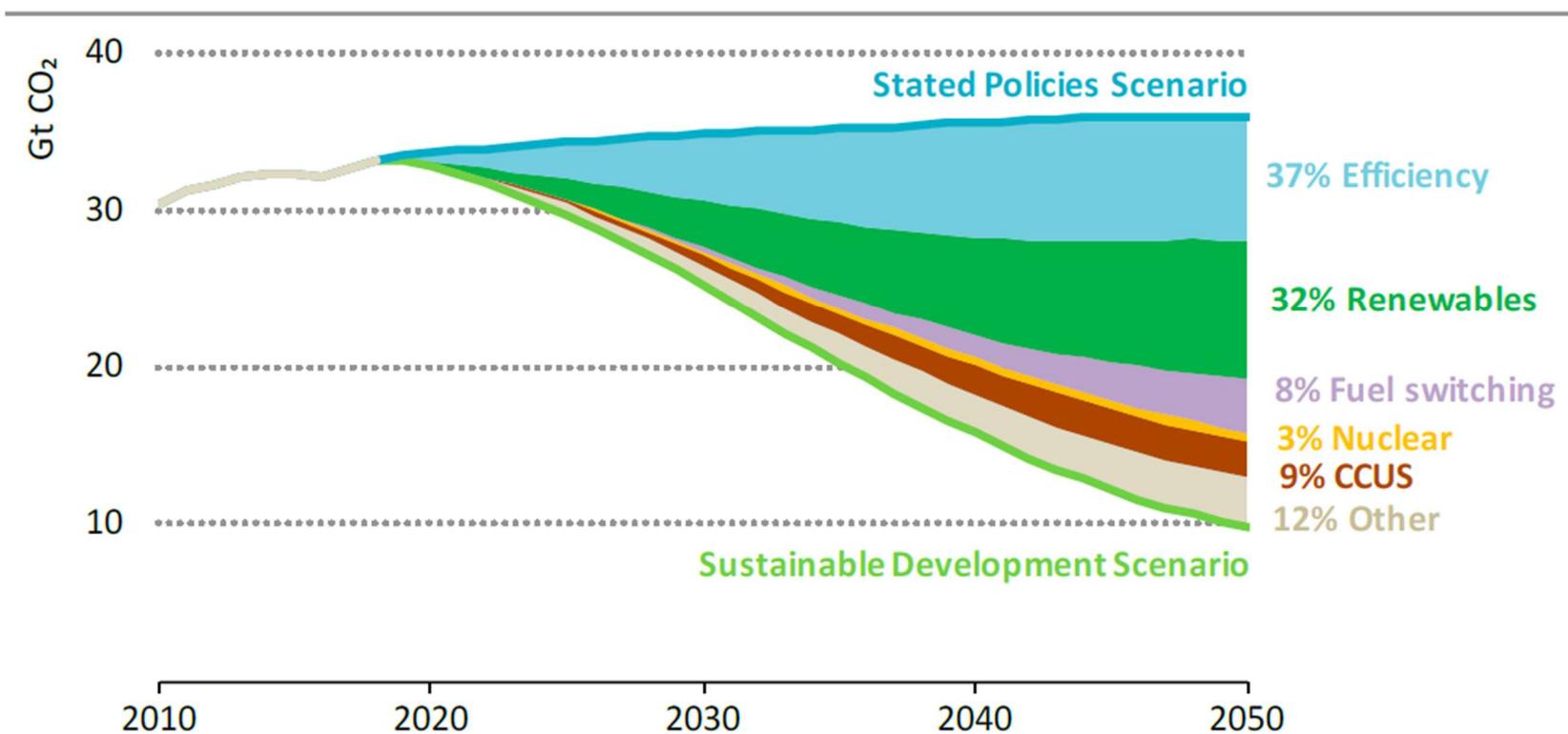
2. Transition énergétique et besoins en ressources



source : GIEC, rapport n°6, 2021

2. Transition énergétique et besoins en ressources

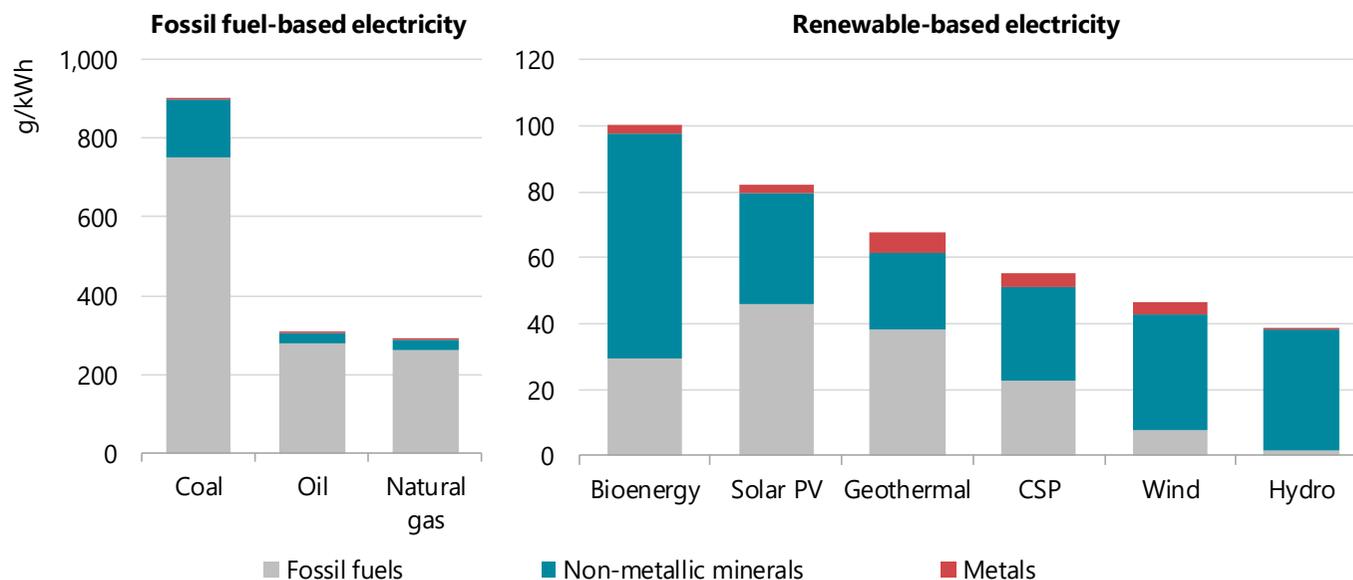
Figure 2.16 ▶ CO₂ emissions reductions by measure in the Sustainable Development Scenario relative to the Stated Policies Scenario



source : AIE, WEO 2019

2. Transition énergétique et besoins en ressources

Figure 5.1. Lifecycle mineral resource footprints of various electricity generation technologies



Notes: g/kWh = grammes per kilowatt hour. While operations are responsible for most of the mineral resource footprint of fossil fuel-based power plants, the construction phase accounts for the largest part of renewable energy's mineral resource footprint, with the exception of bioenergy.

Source: Wernet et al. (2016), "The ecoinvent database version 3 (part I): Overview and methodology"; Ecoinvent (2019), Version 3.5 database; calculations and analysis made by BRGM.

source : Renewables 2019, AIE, BRGM

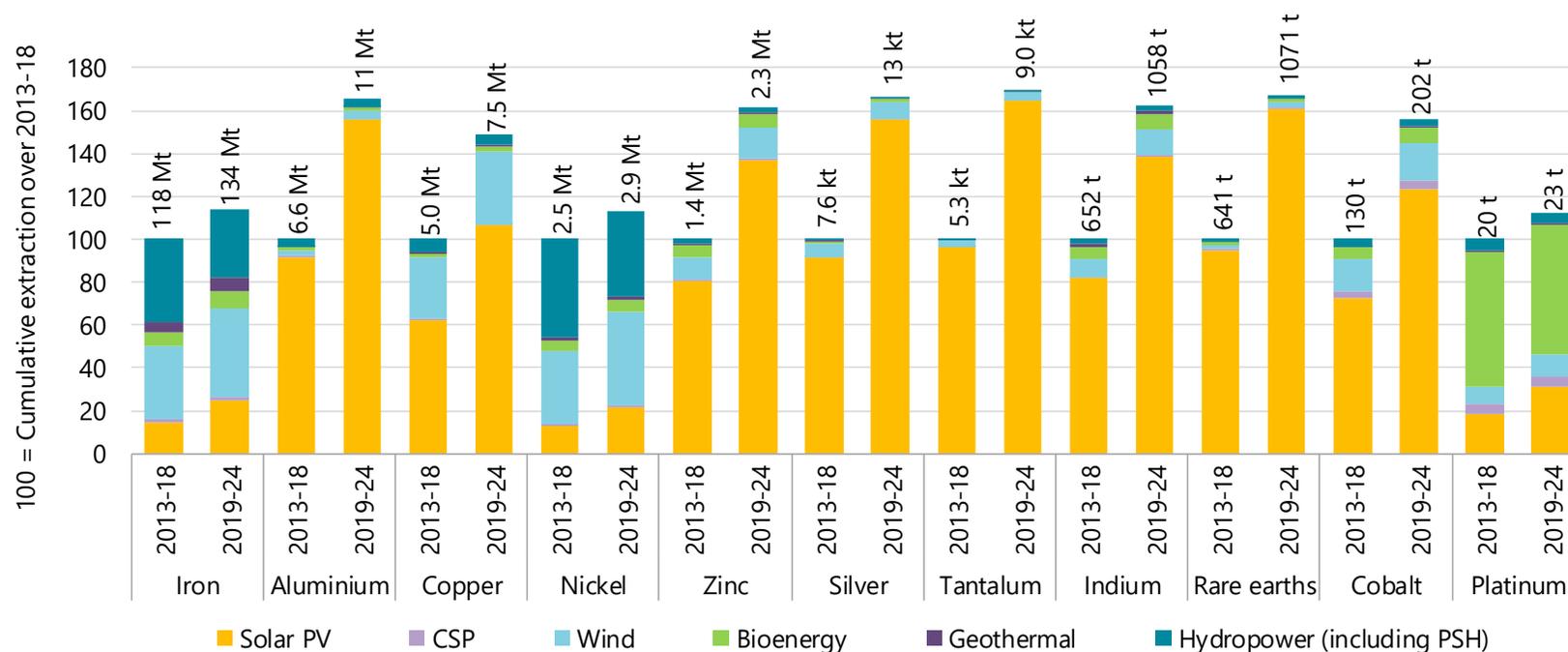
Base de données intensités matières (projet SURFER, BRGM) :

<https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4654-surfer.html>

2. Transition énergétique et besoins en ressources

Etude prospective : l’empreinte matière de la production d’électricité

Figure 5.1. Cumulative extraction of selected metals for the renewable electricity sector over 2013-18 and 2019-24



Note: PSH = pumped-storage hydropower.

Source: Wernet et al. (2016), "The ecoinvent database version 3 (part I): Overview and methodology"; Ecoinvent (2019), Version 3.5 database; calculations and analysis made by BRGM.

source : Renewables 2019, AIE, BRGM

2. Transition énergétique et besoins en ressources

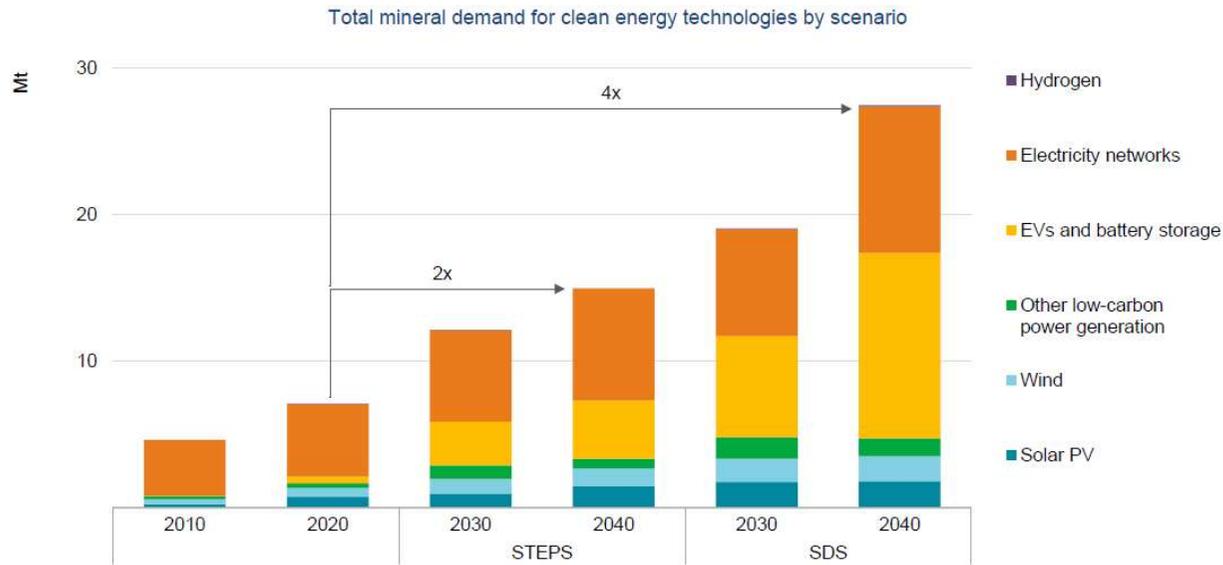
The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

World Energy Outlook Special Report



source : AIE, 2021

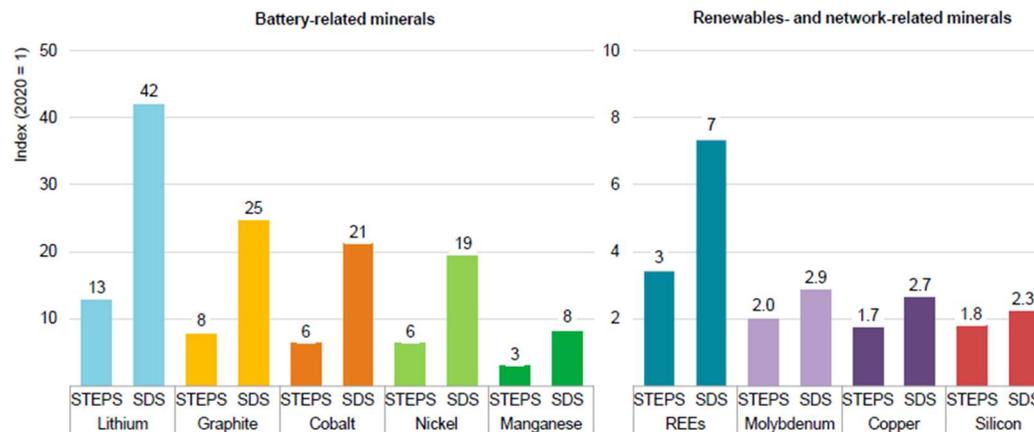
2. Transition énergétique et besoins en ressources



IEA. All rights reserved.

Notes: Includes all minerals in the scope of this report, including chromium, copper, major battery metals (lithium, nickel, cobalt, manganese and graphite), molybdenum, platinum group metals, zinc, REEs and others, but does not include steel and aluminium (see Annex for a full list of minerals). Mt = million tonnes.

Growth in demand for selected minerals from clean energy technologies in 2040 relative to 2020 levels



IEA. All rights reserved.

source: AIE, 2021

3. Epuisement des ressources ?

3. Epuisement des ressources ?

Métaux de base (Fe, Cu, Al, Pb, Zn) et précieux (Au, Ag, platinoïdes) :

- baisse des teneurs dans les gisements
- accroissement des consommations en énergie et en eau
- augmentation des déchets miniers
- augmentation des coûts d'exploitation
- risque de pics de production à venir (cuivre)

Métaux des batteries (Li, Co, Ni, etc.) :

- offre insuffisante (ouvertures de mines en décalage avec la demande)
- hausse des prix
- tensions géopolitiques
- monopoles
- activités illégales

Métaux technologiques (Ga, Ge, In, etc.) :

- sous-produits des métaux de base
- volatilité des prix
- opacité

3. Epuisement des ressources ?

2 paradigmes principaux s'affrontent (J. Tilton)

- Stock fixe

Le stock de ressources est fini. On extrait jusqu'au jour où le stock est épuisé.

- Opportunité-coût

Peu importe le stock restant, la difficulté grandissante d'accès à la ressource va faire monter son prix.

Finalement, les alternatives techniques, la substitution, et le recyclage vont toujours générer des opportunités qui empêcheront l'épuisement de la ressource.

- Voie alternative : les ressources se dissipent dans l'environnement (travaux de recherche au BRGM)

Beylot et al. « Accounting for the dissipation of abiotic resources in LCA: Status, key challenges and potential way forward », Resources, Conservation and Recycling, vol. 157, p. 104748, juin 2020

3. Epuisement des ressources ?

L'épuisement des ressources naturelles

Le grand calendrier de l'épuisement des ressources naturelles, avec un zoom matière par matière. D'ici la fin du XXIe siècle, on peut attendre la fin du pétrole, platine, gaz, hafnium, or, sable...

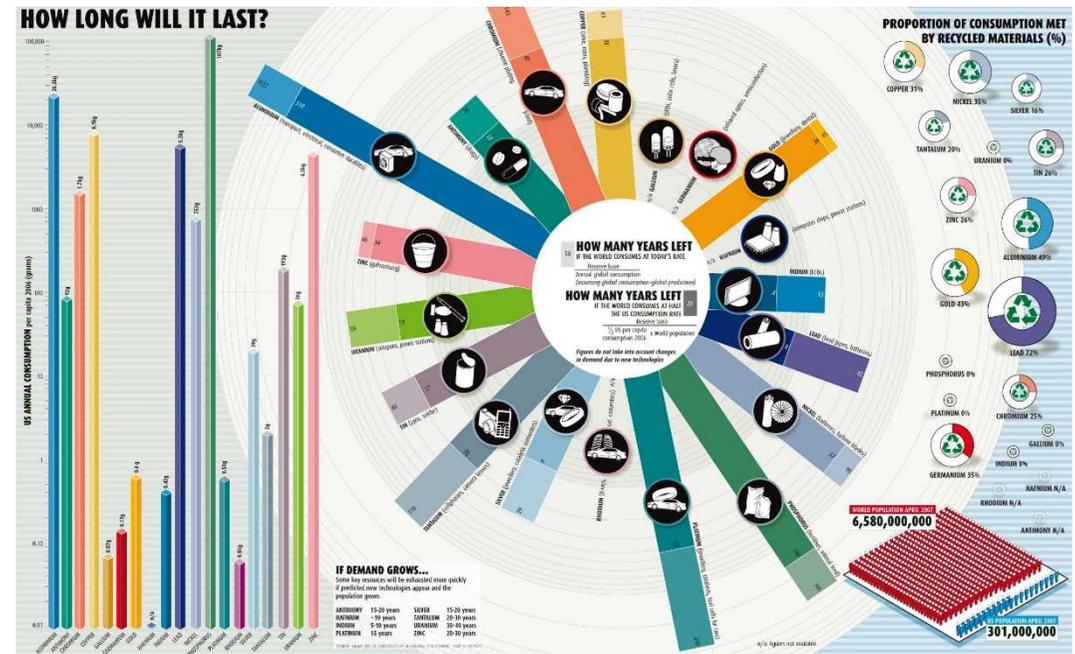
Rédigé par Jean-Marie, le 12 Jan 2011, à 16 h 16 min



Des ressources naturelles en voie de disparition annoncée

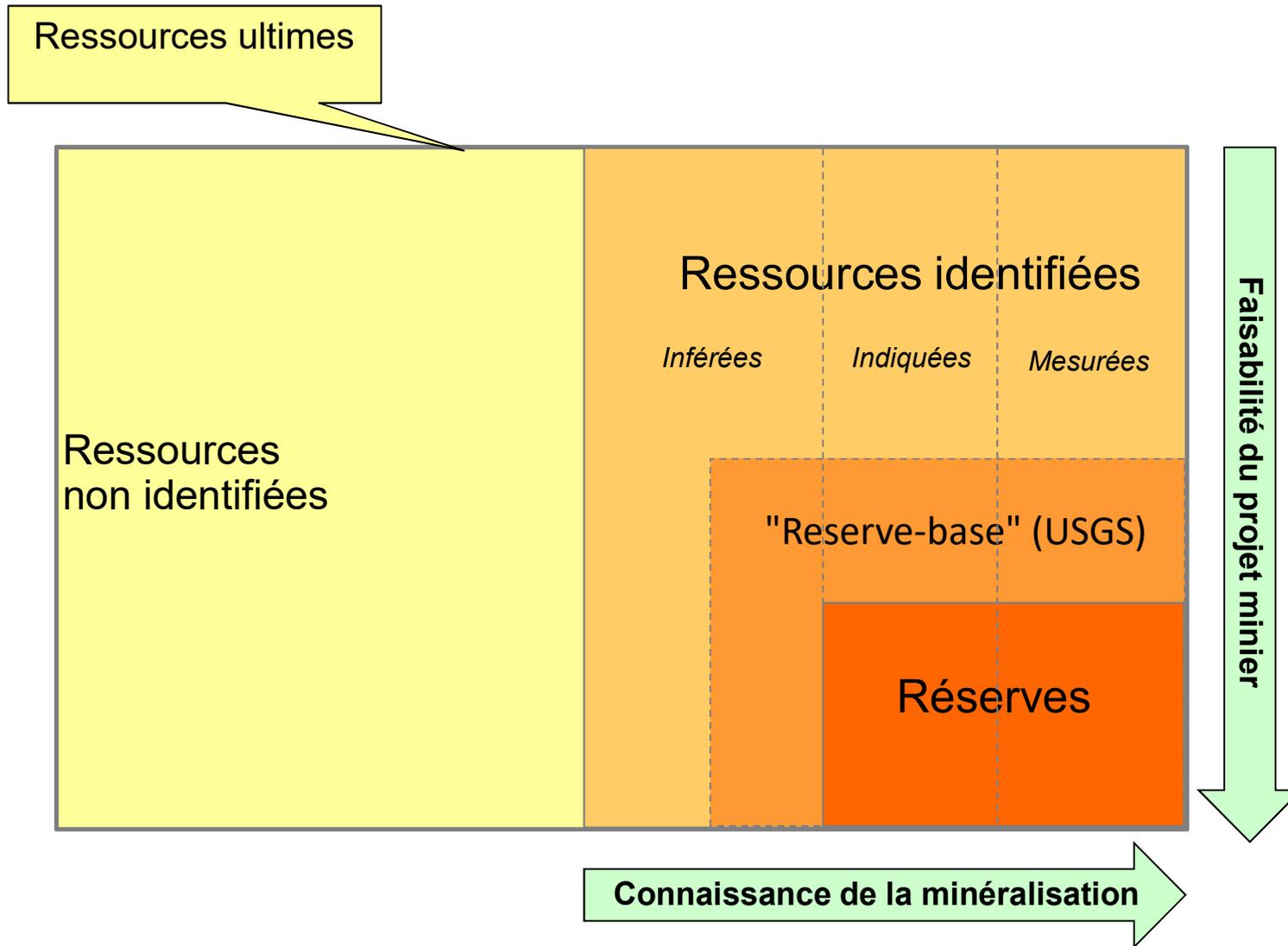
Quelles ressources sont menacées par la pression humaine ?

- [L'eau future ressource rare ?](#)
- [Le sable, une ressource en voie de disparition](#)
- [Tantale : une filière émerge pour le récupérer de votre poche](#)
- 1980 – 2022 [La fin du cryolithe, terbium, hafnium](#)
- 2021 – [La fin de l'argent métal](#)
- 2022 – [La fin de l'antimoine](#)
- 2023 – 2025 [la fin du palladium, or, zinc, indium](#)
- 2025 – [La fin de l'or](#)
- 2025 – [La fin du zinc](#)
- 2028 – [La fin de l'indium](#)
- 2030 – [La fin du plomb](#)
- 2028 – 2039 [La fin de l'étain, plomb, cuivre et tantale](#)
- 2039 – [La fin du cuivre](#)
- 2040 – [La fin de l'uranium](#)
- 2048 – [La fin du nickel](#)
- 2050 – [La fin du pétrole](#)
- 2040 – 2064 [La fin de l'uranium, zinc, pétrole, nickel](#)
- 2062 – [La fin du graphite](#)
- 2064 – [La fin du platine](#)
- 2072 – [La fin du gaz naturel](#)
- 2072 – [La fin du fer](#)
- 2120 – [La fin du cobalt](#)
- 2137 – [La fin du titane](#)
- 2139 – [La fin de l'aluminium](#)
- 2170 – [La fin du charbon](#)



source : A. Reller, T. Graedel, The New Scientist, 2007

3. Epuisement des ressources ?



3. Epuisement des ressources ?

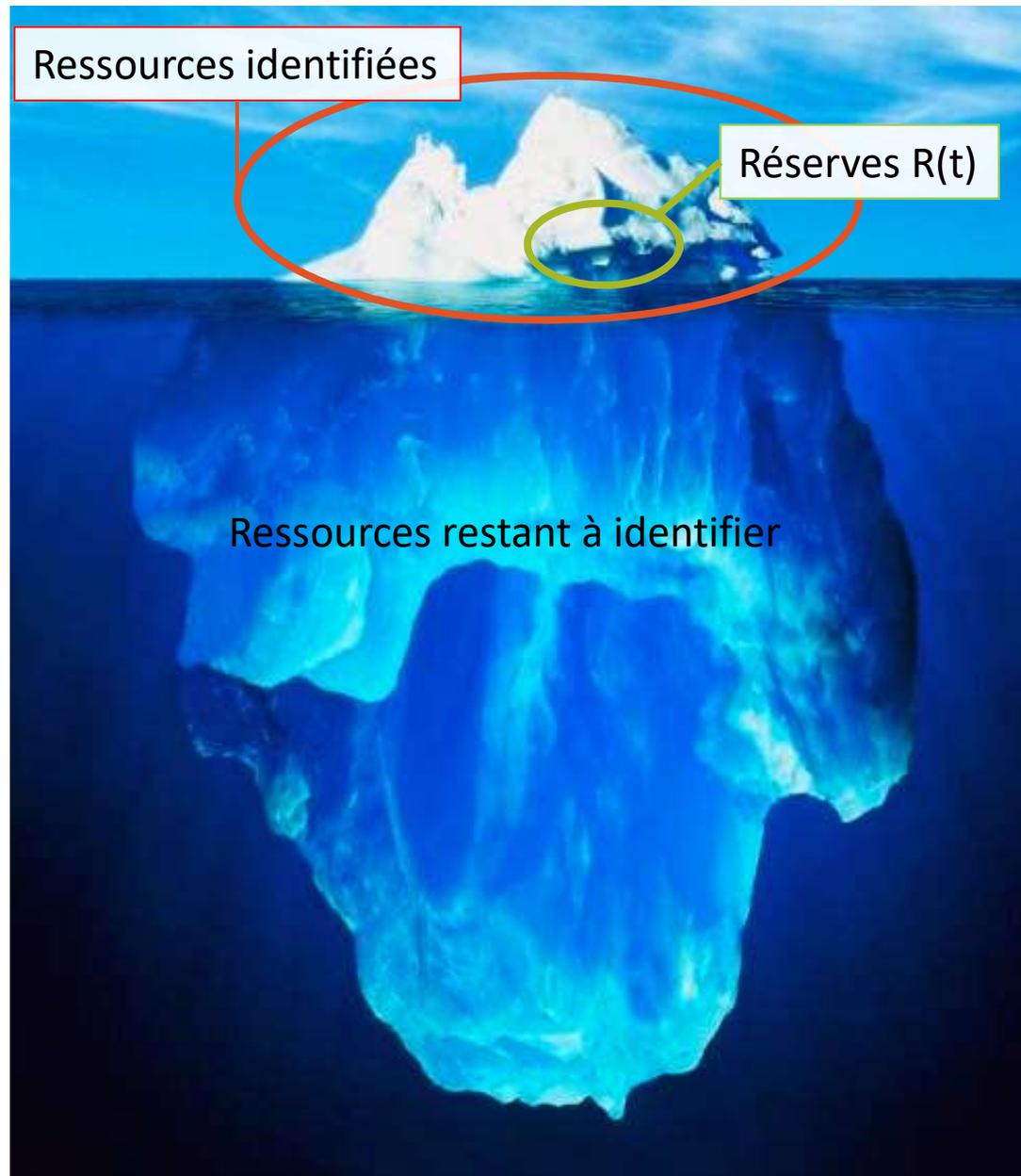
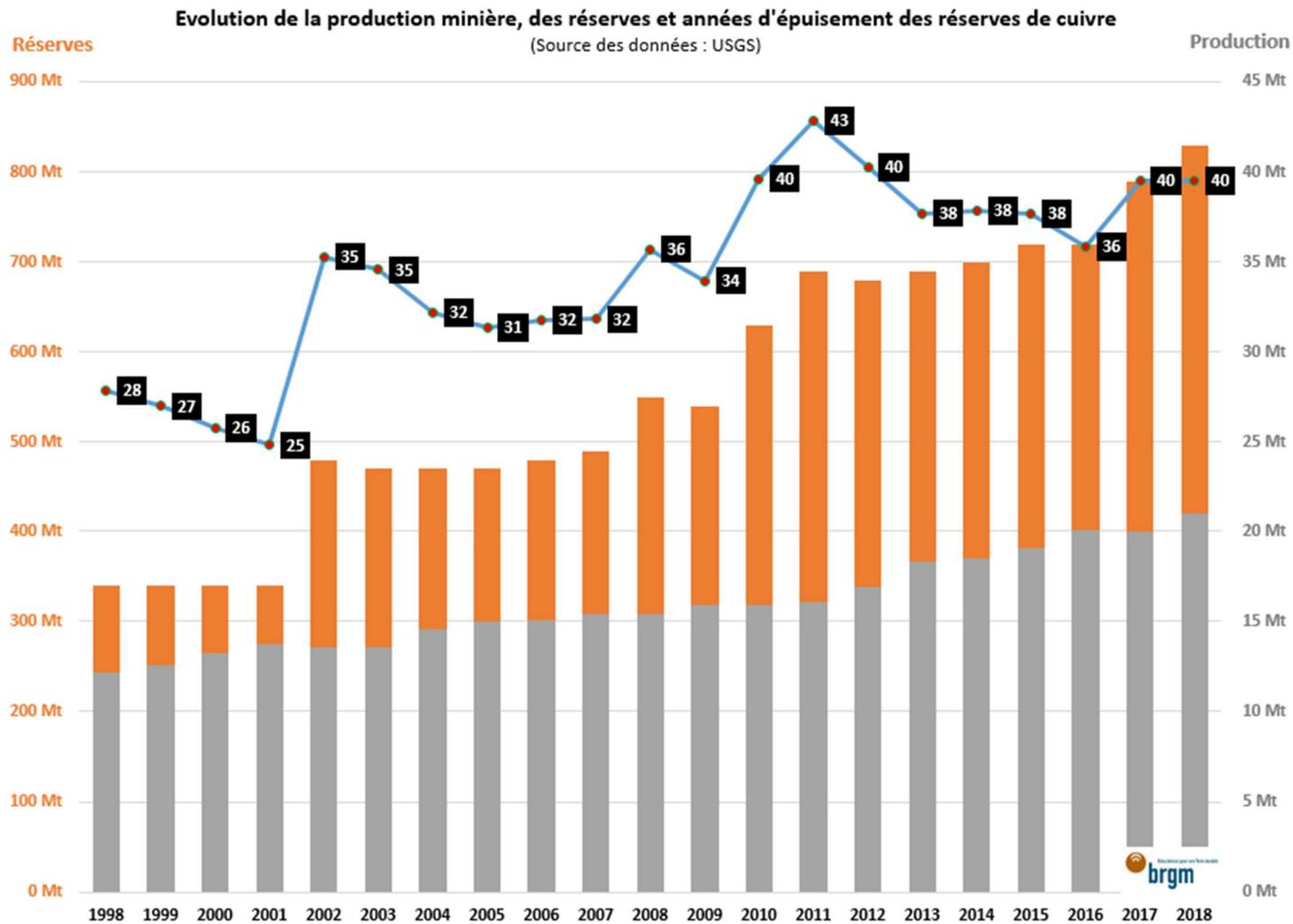


photo-montage: Ralph A. Clevenger

3. Epuisement des ressources ?

Années de réserves (R/P), cuivre



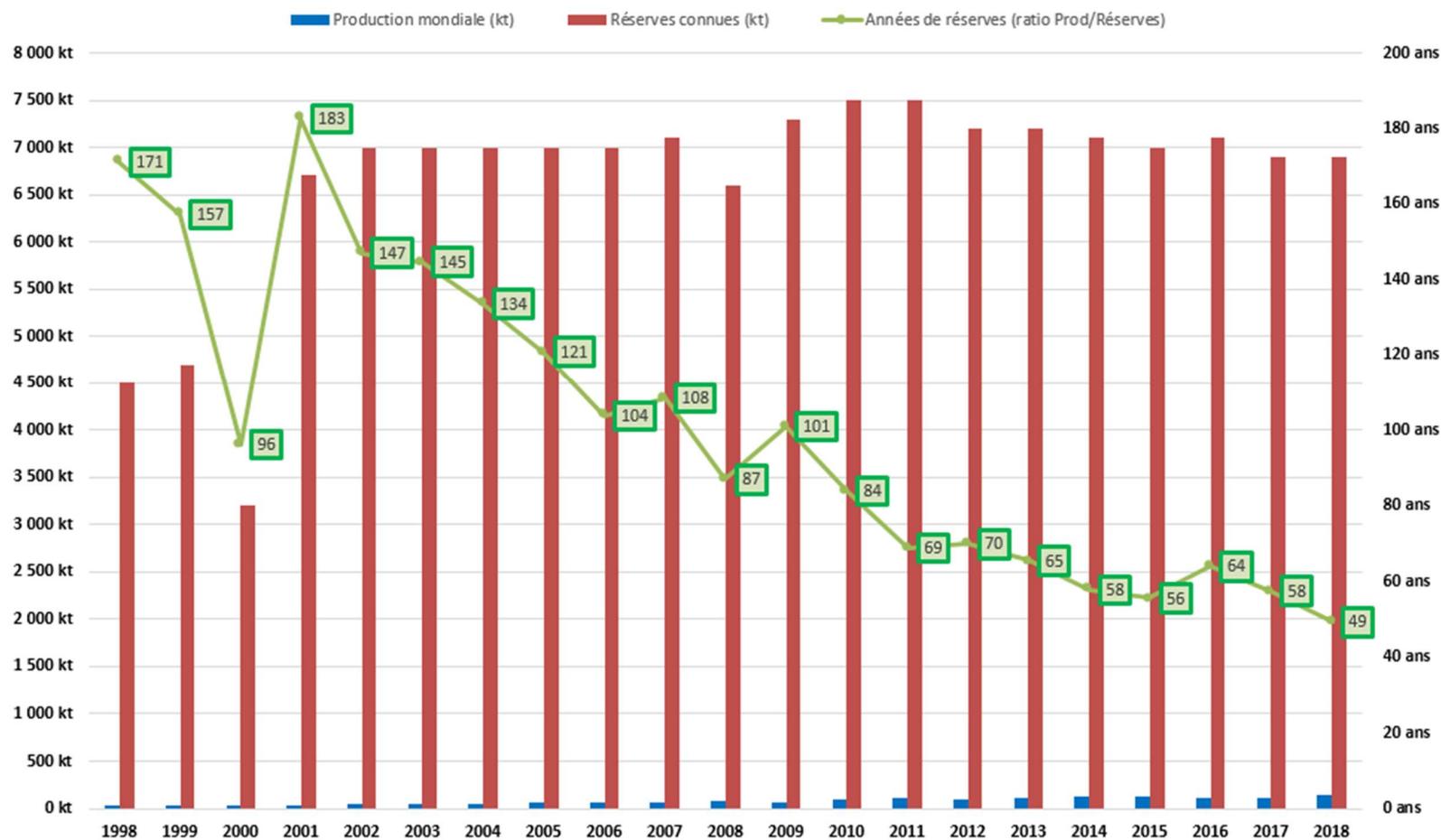
3. Epuisement des ressources ?

Années de réserves (R/P), cobalt



Evolution des années de réserves connues : Cobalt

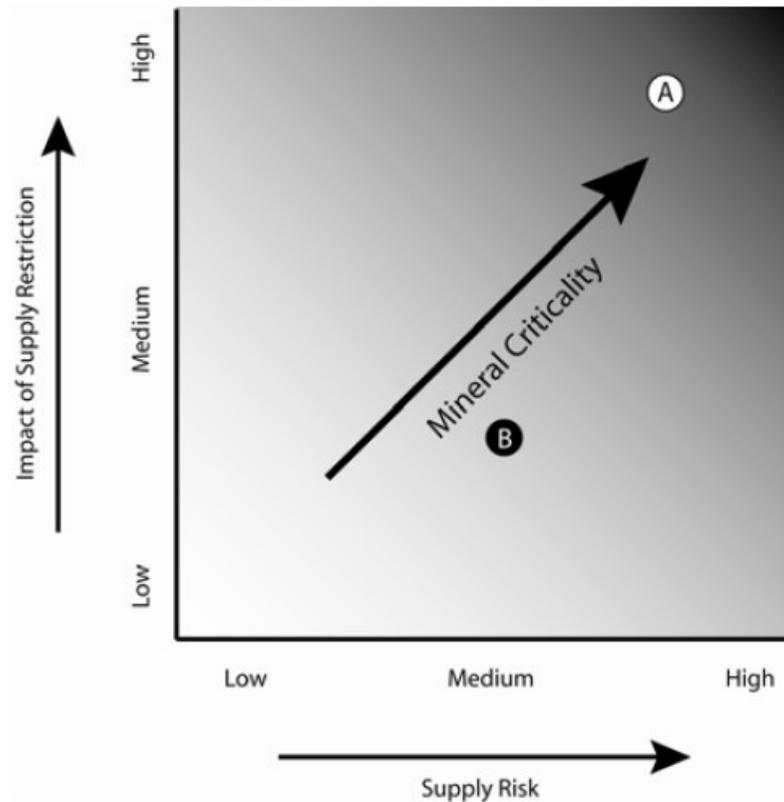
Source : USGS Commodity Summaries



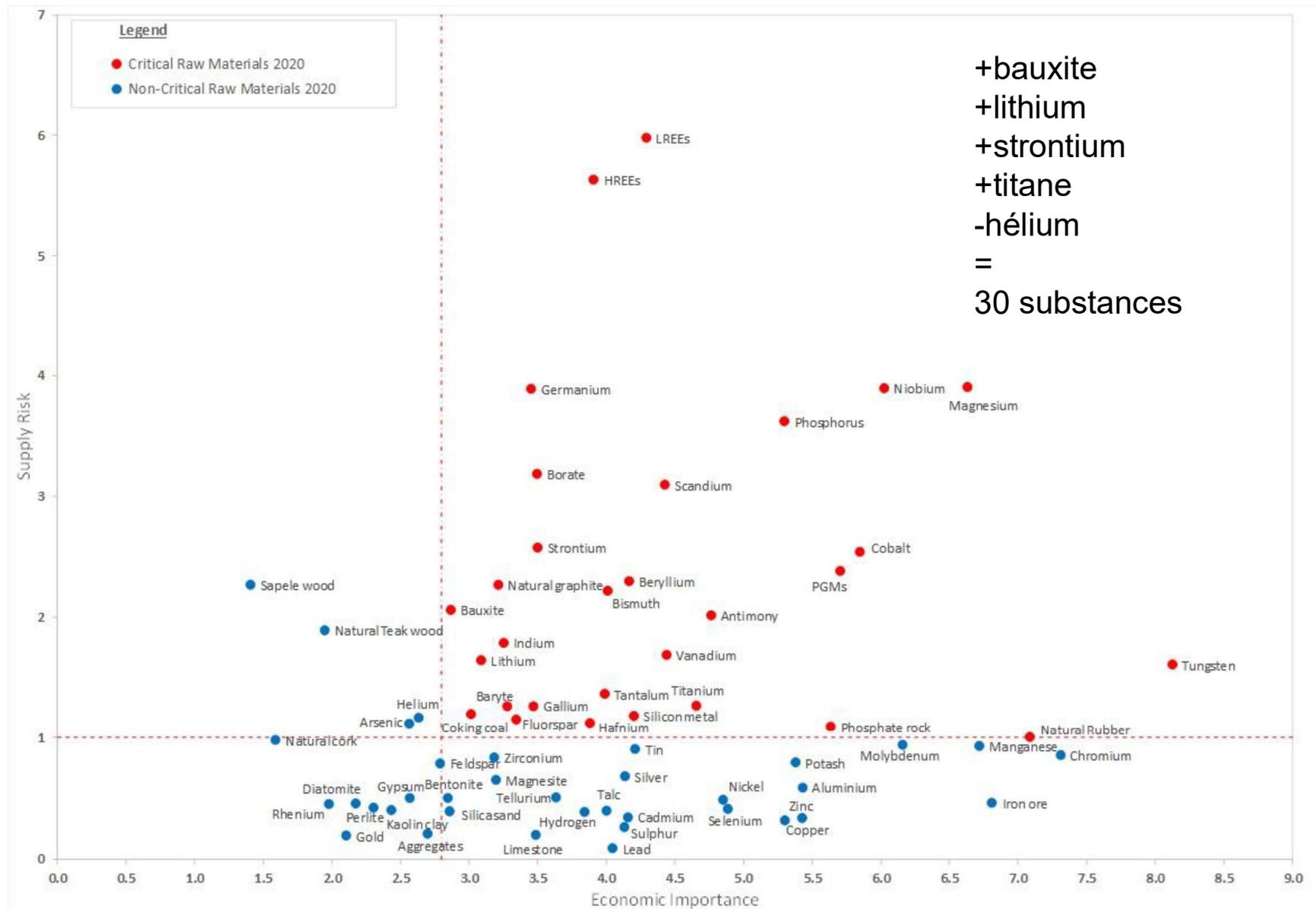
4. Criticité des matières premières minérales

4. Criticité

- La criticité des matières premières est une mesure des risques de dommages pour un acteur, liés à une rupture d’approvisionnement
- La criticité dépend de l’acteur réalisant l’analyse



4. Criticité

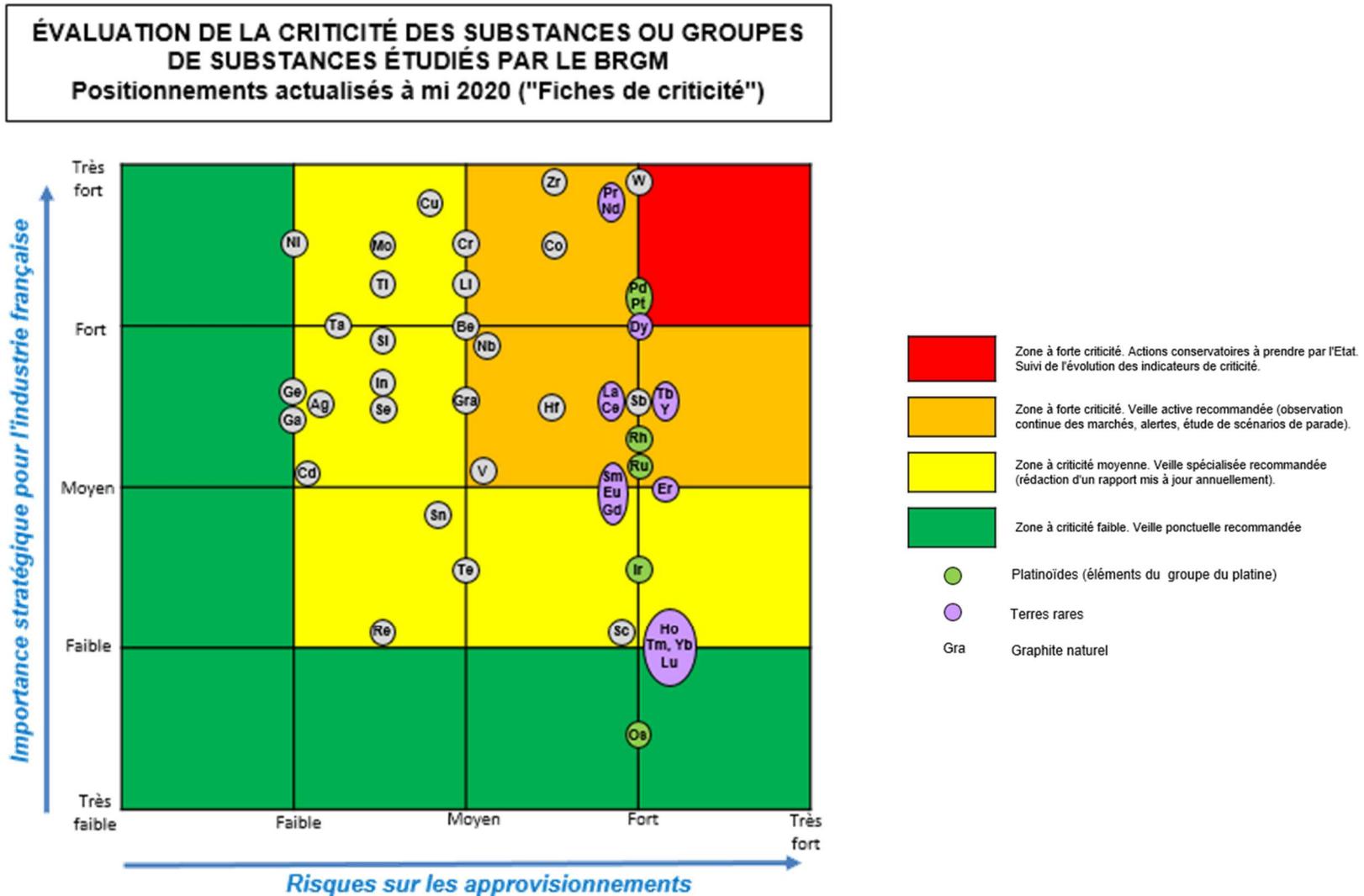


4. Criticité

- ✓ Paramètres de la méthodologie BRGM
 - Evolution de la consommation et des usages
 - Evolution de la production, des ressources et réserves
 - Substitution
 - Recyclage
 - Prix
 - Restrictions, regulations du commerce international
 - Impacts environnementaux et réglementations
 - Avis des industriels et consultants

La criticité est une notion dynamique !

4. Criticité



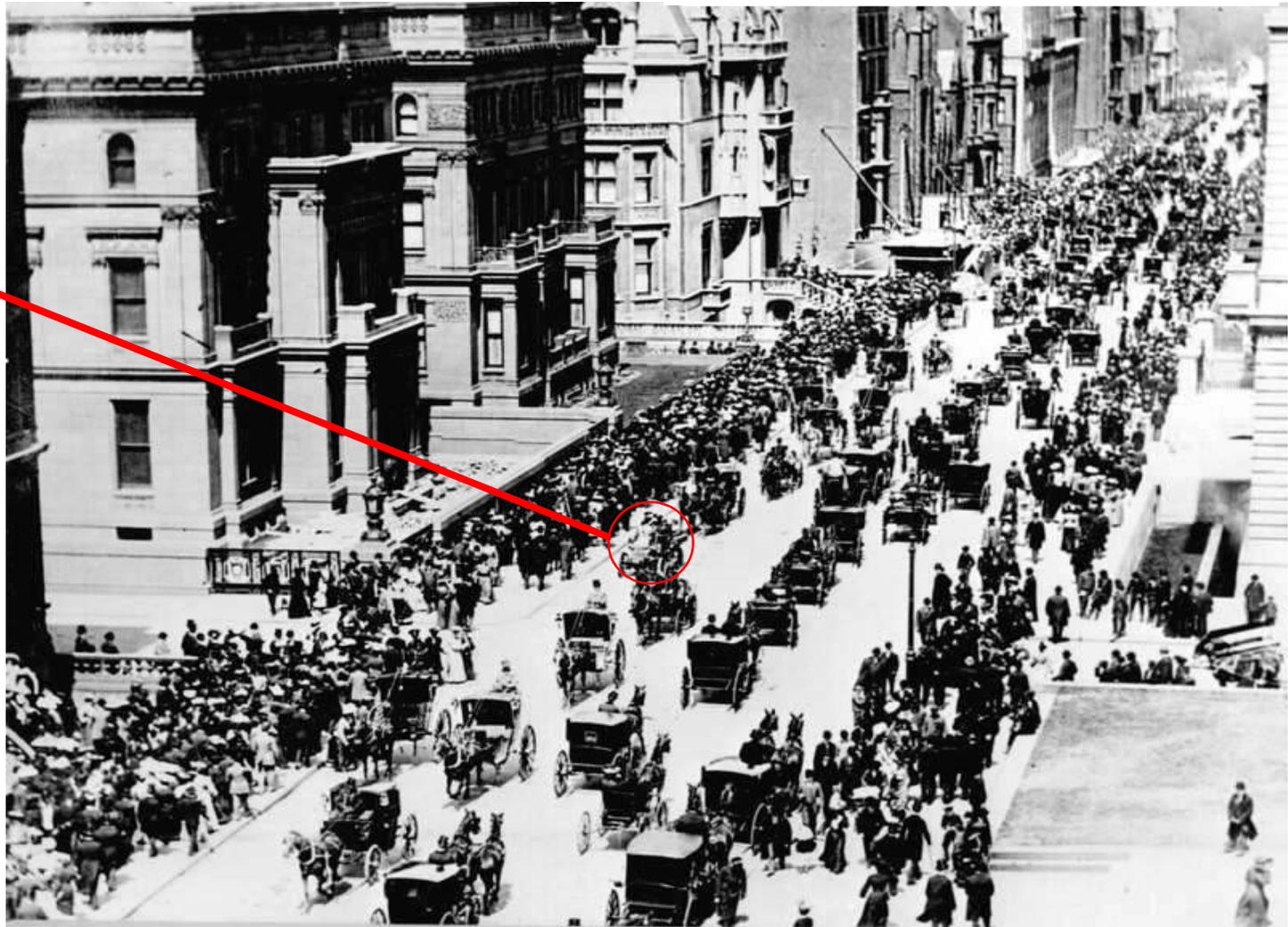
Travaux sur l'intégration de la dimension des impacts socio-environnementaux

4. Criticité

- Importance du temps : ça change très vite

Voyez-vous la voiture dans cette rue ?

5th Avenue, NYC, April 15th 1900



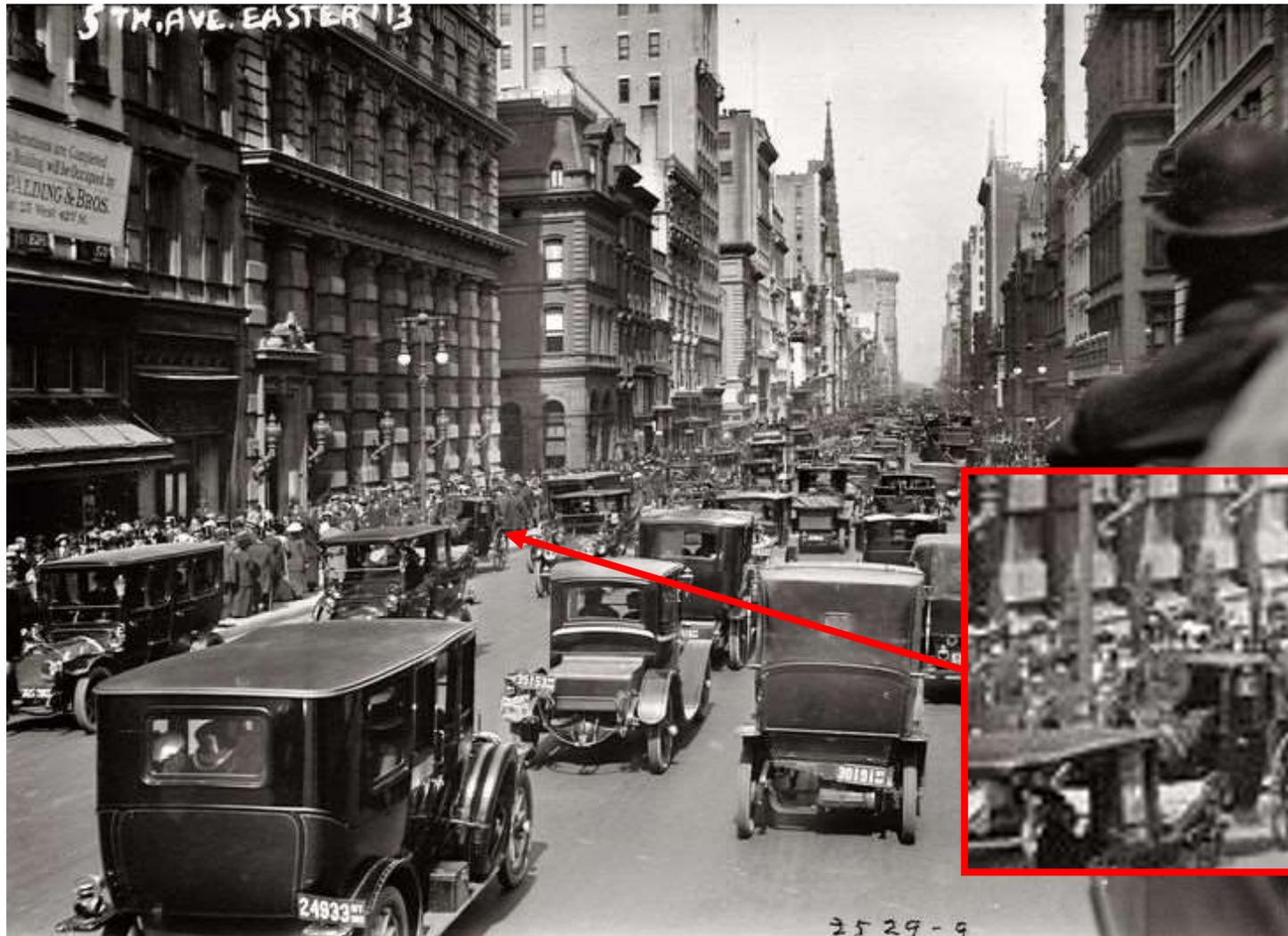
Source: Tony Seba, US
National Archives. In R.
Friedland, World

> 34 Materials Forum, 2017

4. Criticité

13 ans après : où est la calèche ?

5th Avenue, NYC, March 23rd 1913



5. Conclusion

- Accroissement accéléré de l'extraction et de la consommation
- Transition énergétique va encore accentuer le phénomène : mesures de sobriété nécessaires
- Une question majeure va être l'approvisionnement en énergie verte et en eau des moyens d'extraction et de transformation de la matière
- Le problème de l'épuisement se résume davantage aux dépenses financières énergétiques et aux impacts environnementaux pour **accéder à des ressources minérales de plus en plus dissipées** qu'à l'épuisement d'un stock fini
- La réutilisation, la réparation, le recyclage doivent être encouragés (dans cet ordre) pour réduire les risques sur les approvisionnements et réduire les pollutions
- Les ressources primaires resteront majoritaires dans les décennies à venir. Elles doivent être préservées et utilisées avec mesure

Merci pour votre attention !

a.boubault@brgm.fr

<http://www.brgm.fr/>

<http://www.mineralinfo.fr/>

- toutes les fiches de criticité
- articles d'analyse sur les marchés des métaux (Ecomine)
- toute l'actu ministérielle des ressources minérales

minéralinfo
LE PORTAIL FRANÇAIS DES RESSOURCES MINÉRALES NON ÉNERGÉTIQUES

LIBERTÉ • ÉGALITÉ • FRATERNITÉ
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE ET DES FINANCES

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE, ET DE L'INNOVATION

POLITIQUES PUBLIQUES ACTEURS MATIÈRES PREMIÈRES CARTES ET DONNÉES DOCUMENTATION POUR COMPRENDRE

Matières premières minérales primaires et secondaires non énergétiques

Ressources naturelles et recyclées pour satisfaire des besoins essentiels de la société.

Présentation générale

Bienvenue sur Minéralinfo, le portail français des matières premières minérales primaires et secondaires non énergétiques.

Toutes les actualités

23/03/2018
L'École Thématique CNRS "Ressources Minérales" se penche sur

Accueil ▶ PRODUCTION SCIENTIFIQUE ▶ Rapports publics

Programmes

Projets remarquables

Rapports publics

Publications scientifiques

Données et services numériques

Logiciels scientifiques

Rapports publics

Production scientifique et technique du BRGM - 28.02.2013

Les résultats scientifiques du BRGM sont notamment valorisés à travers ses rapports publics, accessibles sur le portail InfoTerre.

Les rapports publics du BRGM accessibles sur InfoTerre

Les rapports scientifiques et techniques publics élaborés par le BRGM sont **accessibles en ligne, sur le portail InfoTerre du BRGM.**

Ces rapports sont directement téléchargeables au format PDF.

Pour y accéder, il suffit de cliquer sur le lien ci-dessous et d'effectuer une recherche :



[ACCÉDER AUX RAPPORTS PUBLICS](#)

▶ Accéder à la recherche dans les rapports publics du BRGM sur InfoTerre