



Olympiades des géosciences 2021

Ressources minérales et numérique: La réalité du virtuel !

Clément Levard

Chargé de recherche au CNRS - CEREGE

29/09/2021

Vive la dématérialisation!



Vive la dématérialisation!



Vraiment ???

Le numérique consommateur de matières premières!



XX g de matières premières?



Le numérique consommateur de matières premières!



80 kg de matières premières!



Le numérique consommateur de matières premières!



80 kg de matières premières!

XX smartphones vendus dans le monde en 2018?

Le numérique consommateur de matières premières!



80 kg de matières premières!

1,55 milliards smartphones vendus dans le monde en 2018!

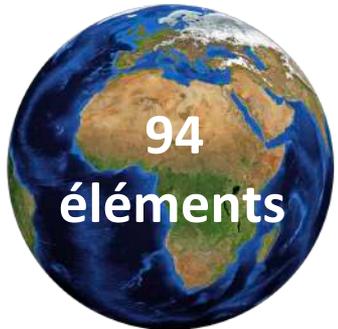
Le numérique consommateur d'éléments variés!

1990



XX éléments

2021



XX éléments

Le numérique consommateur d'éléments variés!

1990

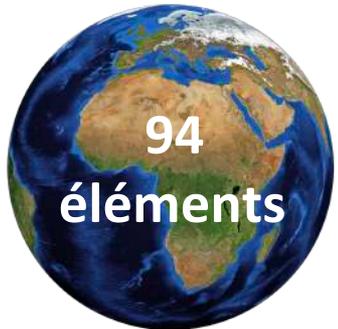


29 éléments

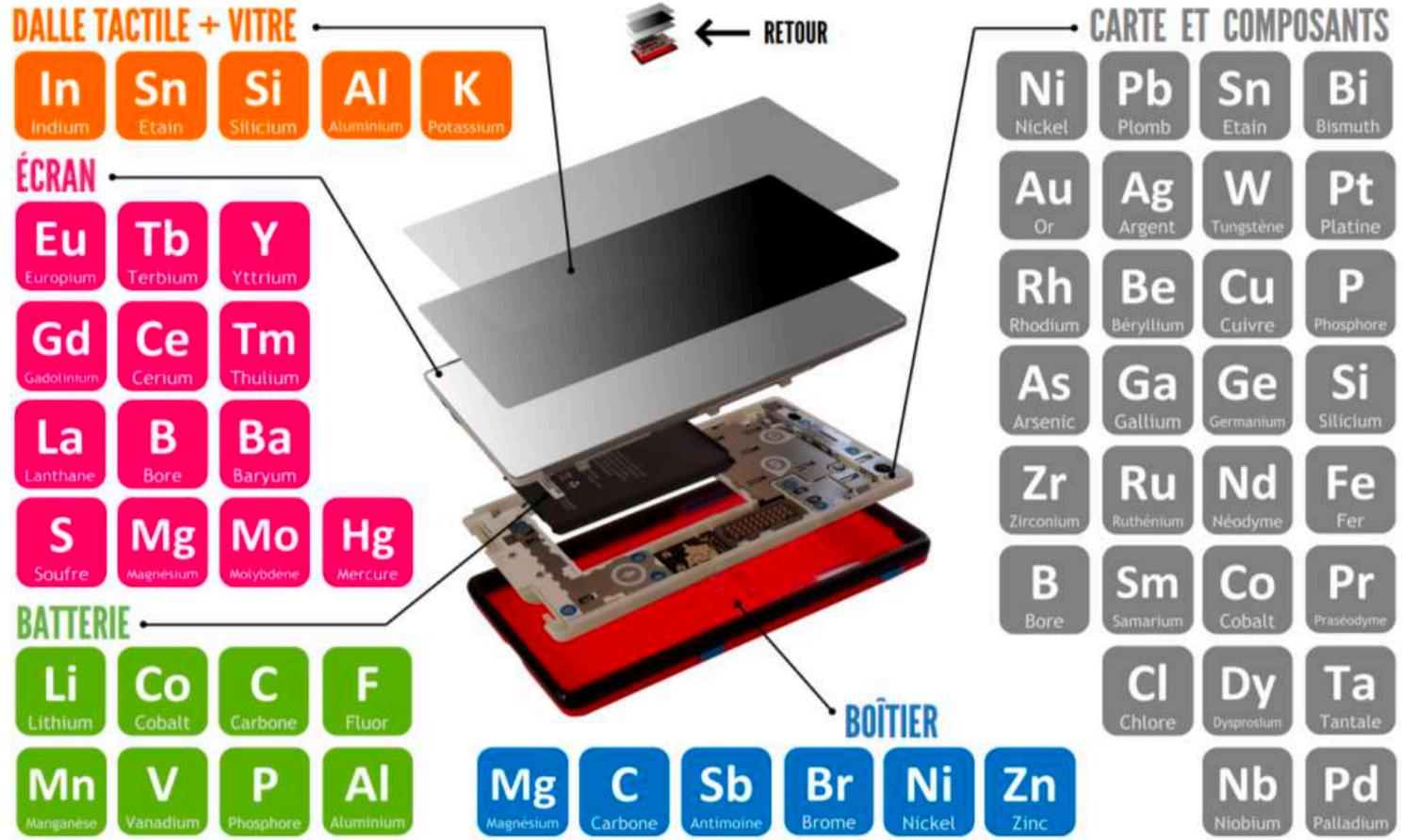
2021



55 éléments

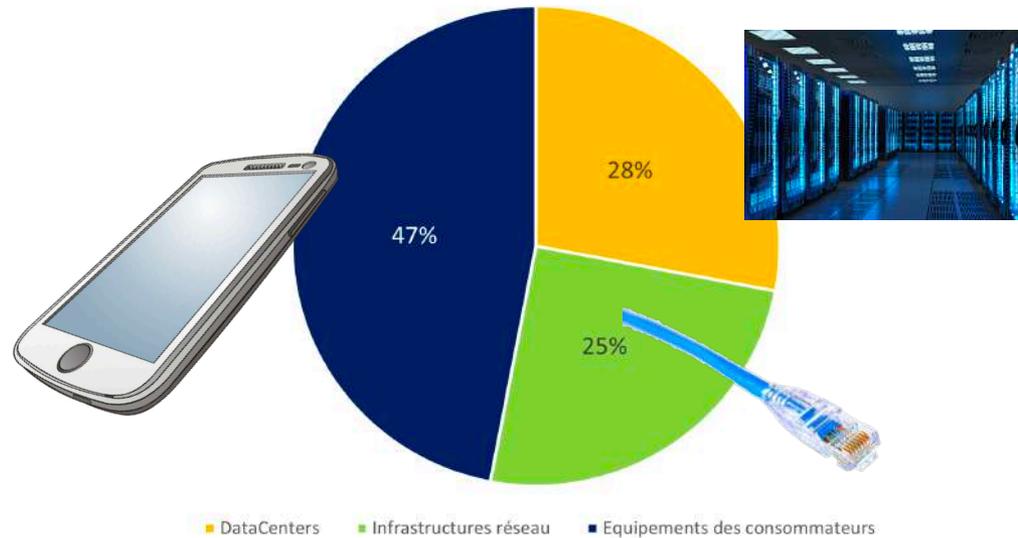


Le numérique consommateur d'éléments variés!



Emissions de gaz à effet de serre du numérique

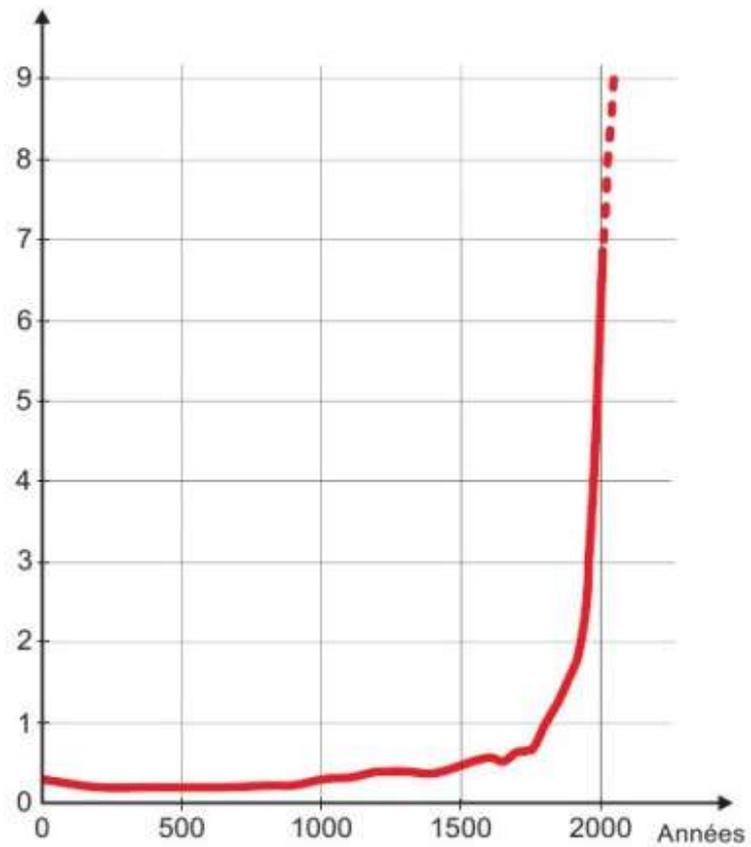
Emissions de gaz à effet de serre générées par le numérique



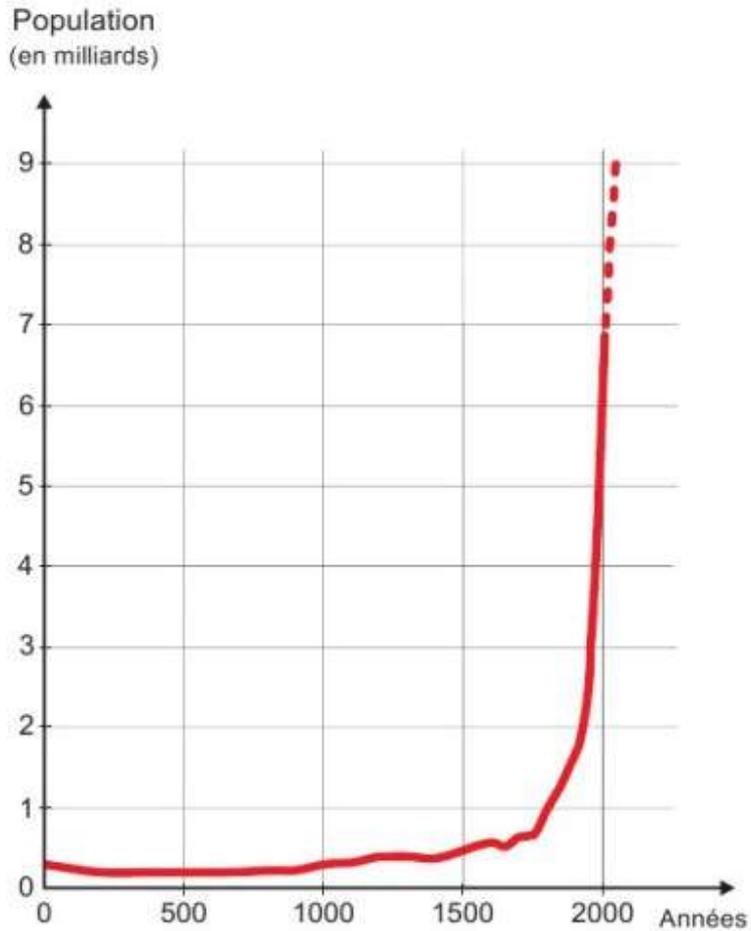
ADEME, 2019

- 3-4 % des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) dans le monde en 2018
- 4-5 % de la consommation mondiale d'énergie primaire.
- 10-15% de la consommation mondiale d'électricité

Quelle tendance pour l'avenir?

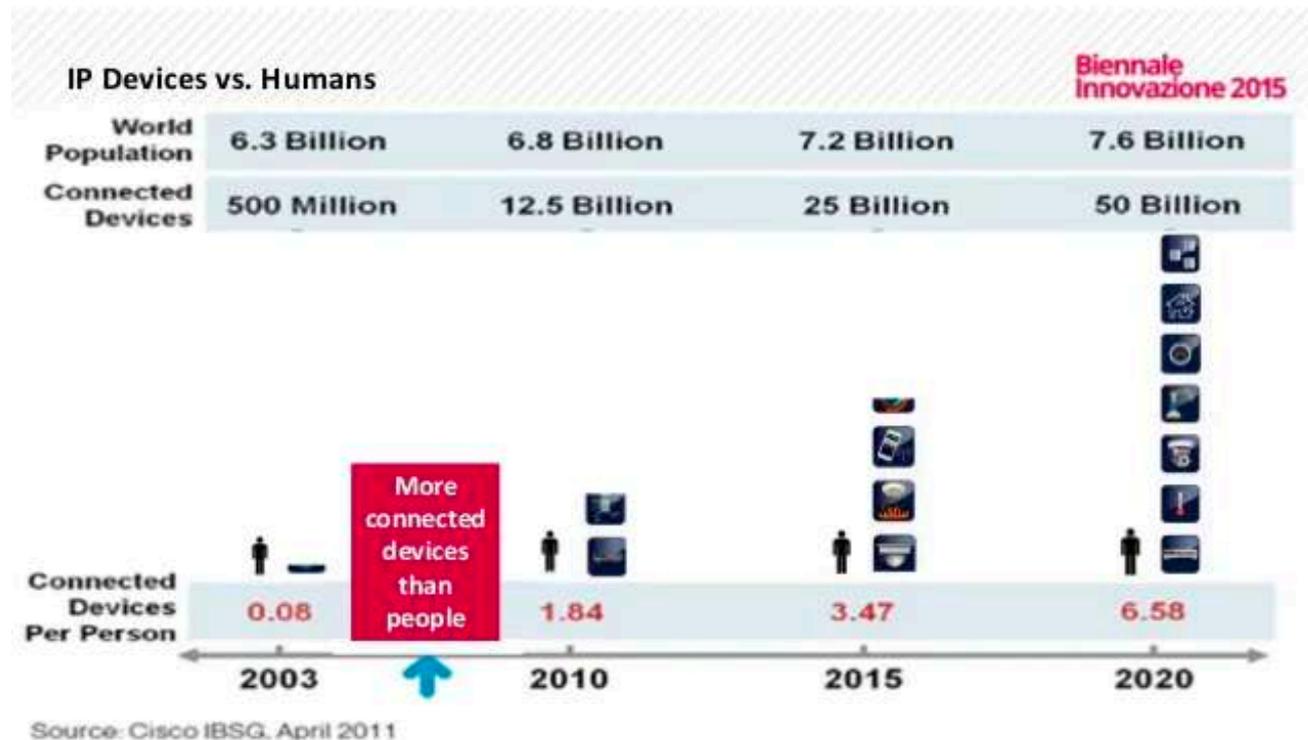


Quelle tendance pour l'avenir?



Courbe de croissance de
la population mondiale
Depuis l'an 0

Les objets connectés



En 2019, la masse de tous ces équipements a atteint 223 millions de tonnes, ce qui équivaut à 179 millions de voitures de 1.3 tonnes (5 fois plus que le nombre de voitures en France)

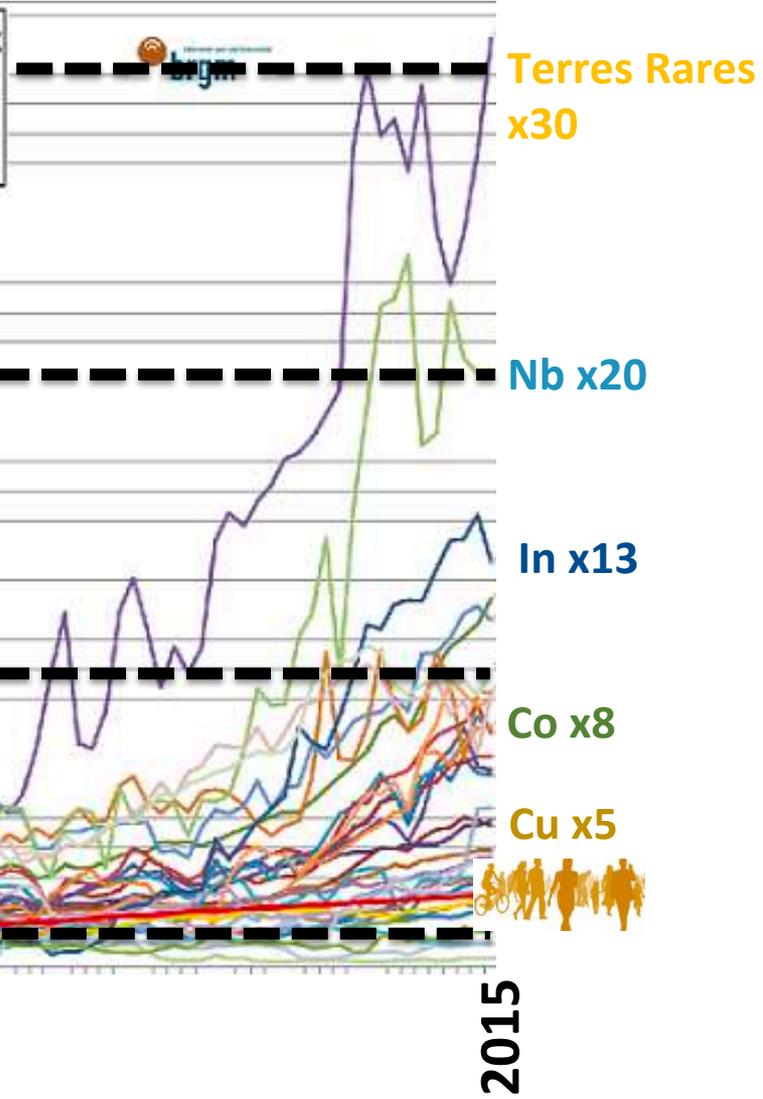
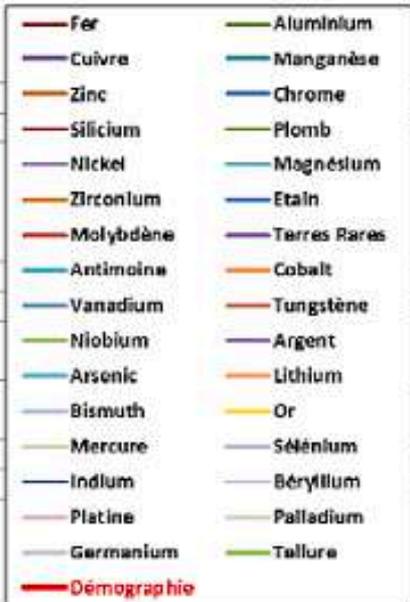
Evolution de la production primaire mondiale des métaux

Evolution de la production primaire mondiale des métaux

Base 100 pour la moyenne de la production de 1956 à 1965

(métaux dont la production annuelle est supérieure à 100 t en 2015, sauf Ti métal, Ga et Ta, sans données pour la période 1956-1965)

(Sources combinées : ASBM, USGS, WMD, GFMS)



30

20

10

1

1910

1960

2015

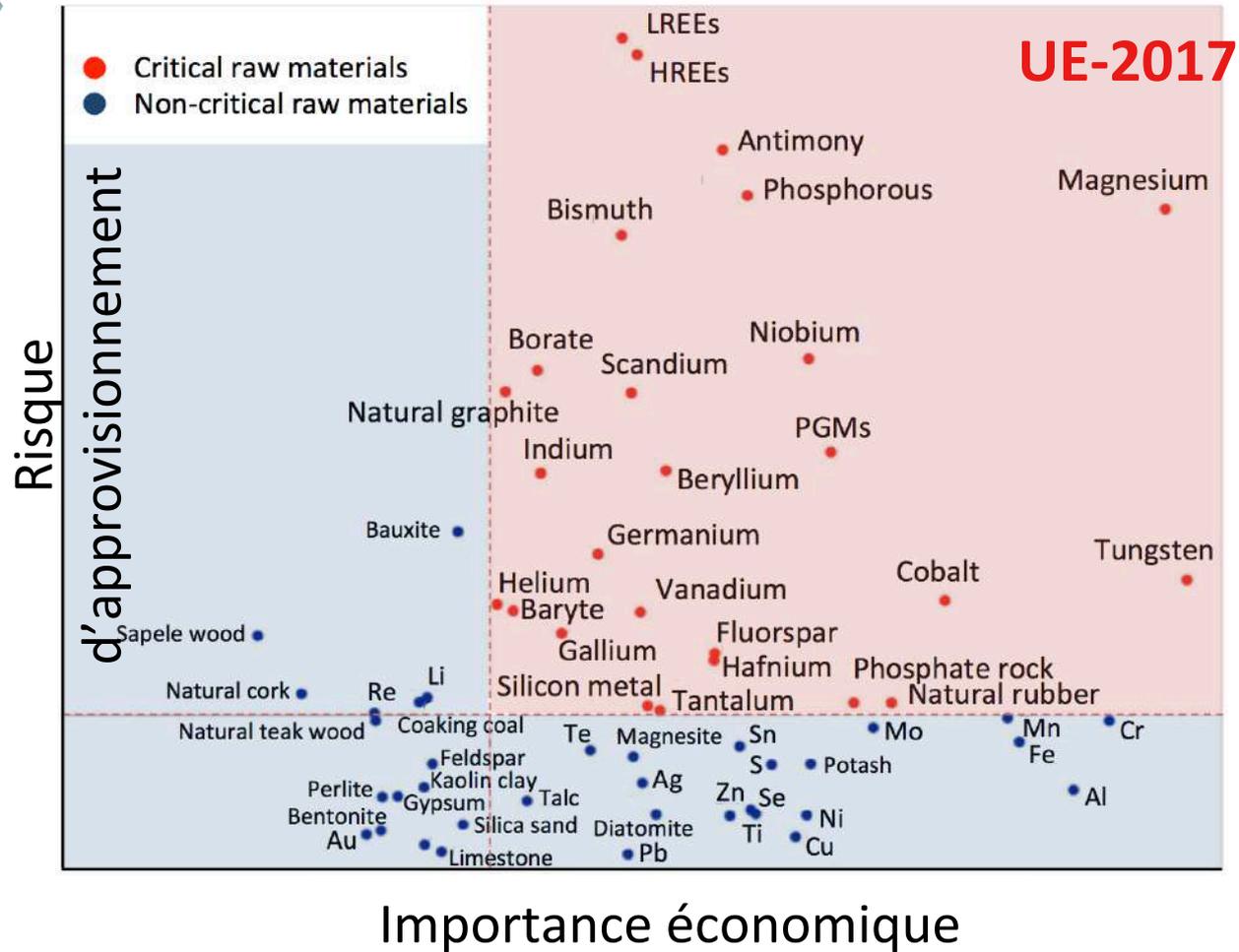


Les métaux critiques: définition

Les éléments dits **critiques** sont des éléments qui sont à la fois:

- Jugés comme stratégiques pour l'économie d'un pays, car susceptibles d'altérer la compétitivité des industries qui en dépendent
- Sujets à des risques d'approvisionnement ou à une grande volatilité des prix

Les métaux critiques: définition



Importance économique des métaux critiques



Nd, Dy



REEs, Co, Ga, W...



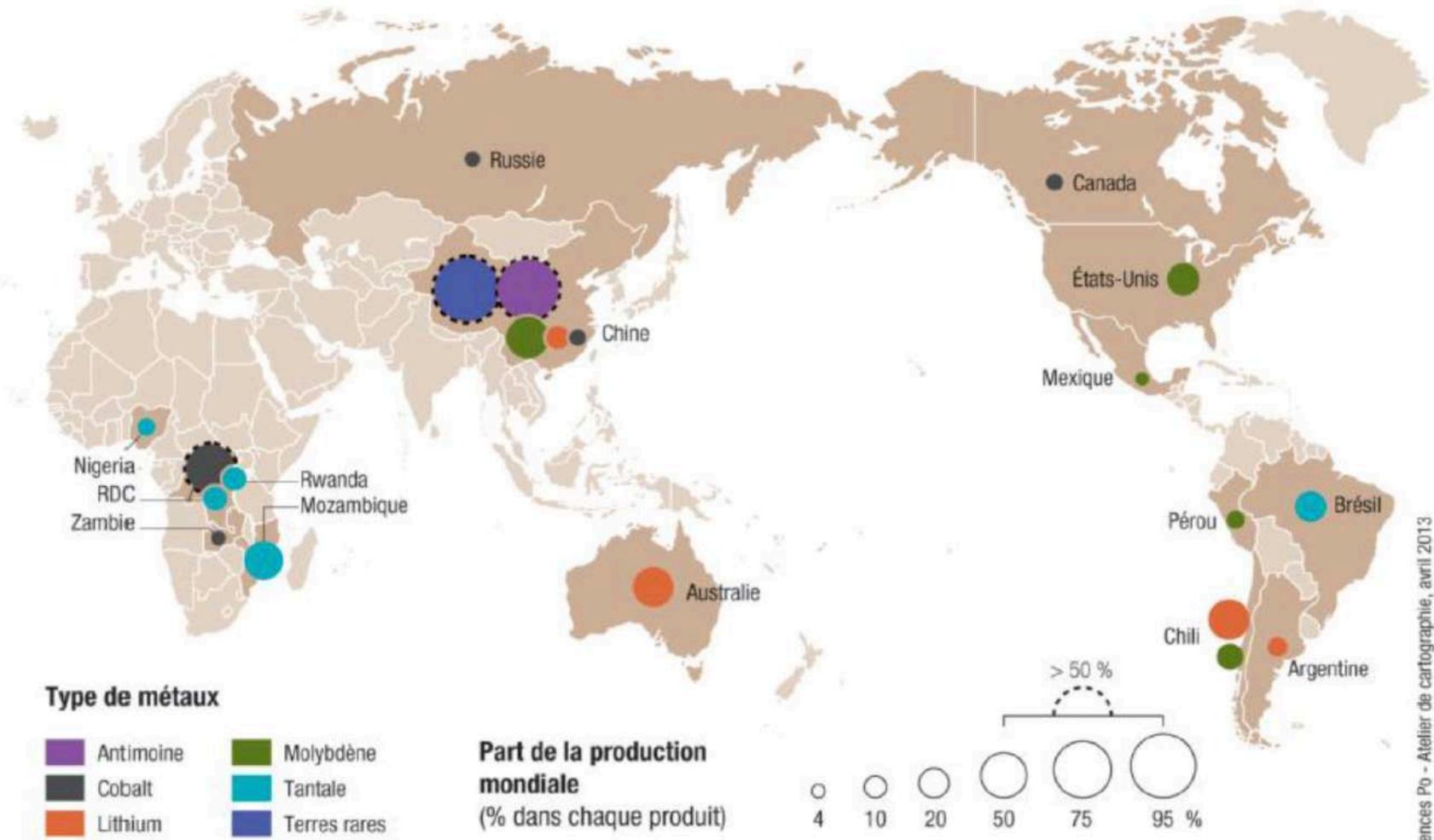
Ga, In, Se



Co, REEs

éléments critiques, des éléments stratégiques!

Risque d'approvisionnement



rey, Mineral commodity summaries 2013, 198 p. <http://www.usgs.gov/pubprod>



Potentiel de la mine urbaine

Comment diminuer la pression sur cette ressource stratégique tout en réduisant les impacts environnementaux?

→ **SOBRIETE**

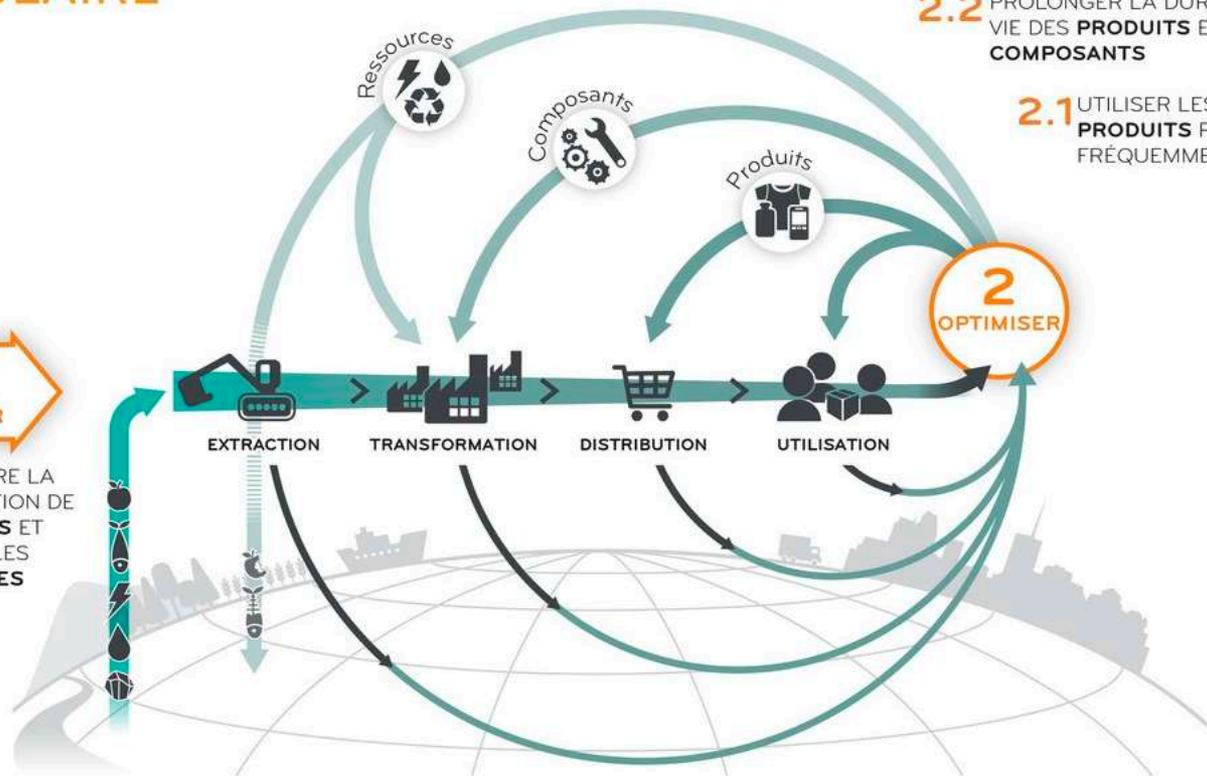
Economie circulaire!

Economie circulaire

L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

1 REPENSER

POUR RÉDUIRE LA CONSOMMATION DE **RESSOURCES** ET PRÉSERVER LES **ÉCOSYSTÈMES**



2.3 DONNER UNE NOUVELLE VIE AUX **RESSOURCES**

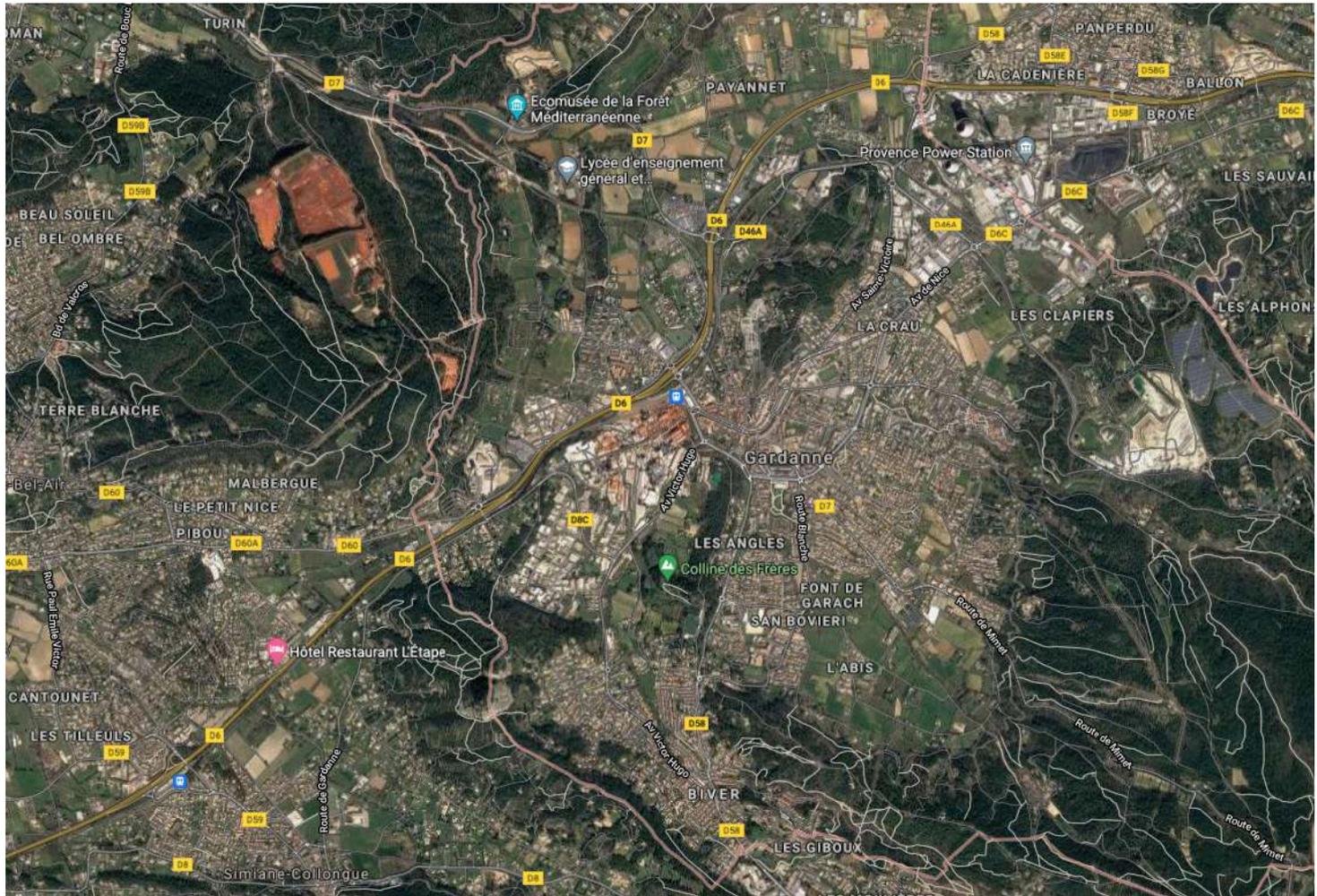
2.2 PROLONGER LA DURÉE DE VIE DES **PRODUITS** ET DES **COMPOSANTS**

2.1 UTILISER LES **PRODUITS** PLUS FRÉQUEMMENT

Potentiel de la mine urbaine



Potentiel de la mine urbaine





Enjeux et objectif

SOBRIETE !

Sobriété dans notre consommation de ressources

Sobriété dans nos modes de production

→ Sources de métaux: sources primaires → **sources secondaires**

→ Extraction: Hydro-, Pyrométallurgie → **procédés plus sobres**

Développement de procédés **sobres** pour la récupération de métaux critiques à partir de **sources secondaires**

Le vivant: une source d'inspiration!

Dicranopteris linearis

- Hyper accumulatrice de terres rares
- Accumulation jusqu'à plusieurs milliers de ppm dans les feuilles



Pseudomonas Putida

- Utilisation des TR légères pour des réactions enzymatiques
- Enzyme Ln-dépendante identifiée



Dennis Kunkel Microscopy /
Science Photo Library

Oscarella lobularis

- Bio-concentre le vanadium
- Mécanisme de bioconcentration non étudié



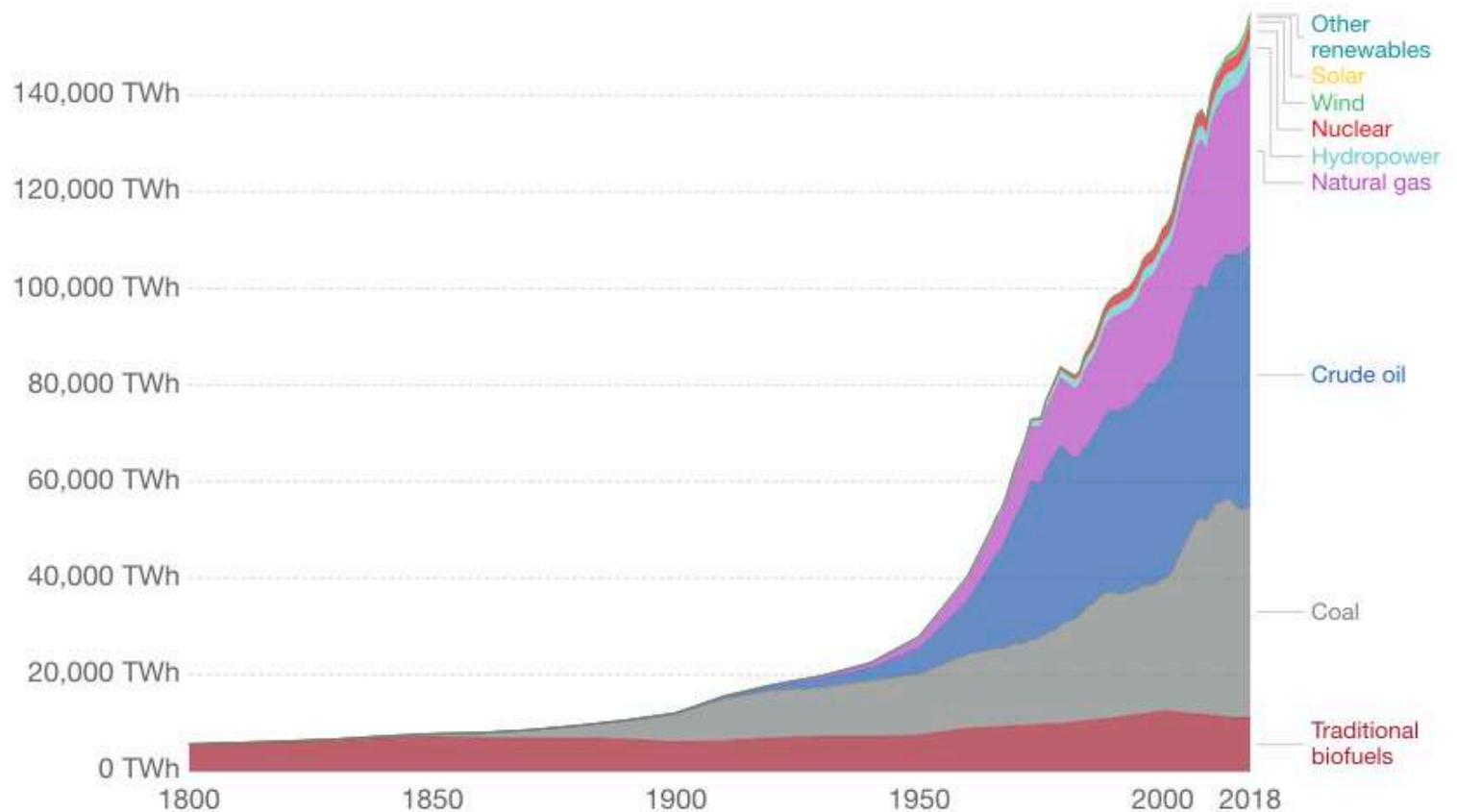
© Wilfried Bay-Nouailhat



Merci !

Tout s'accélère...

Consommation d'énergie mondiale

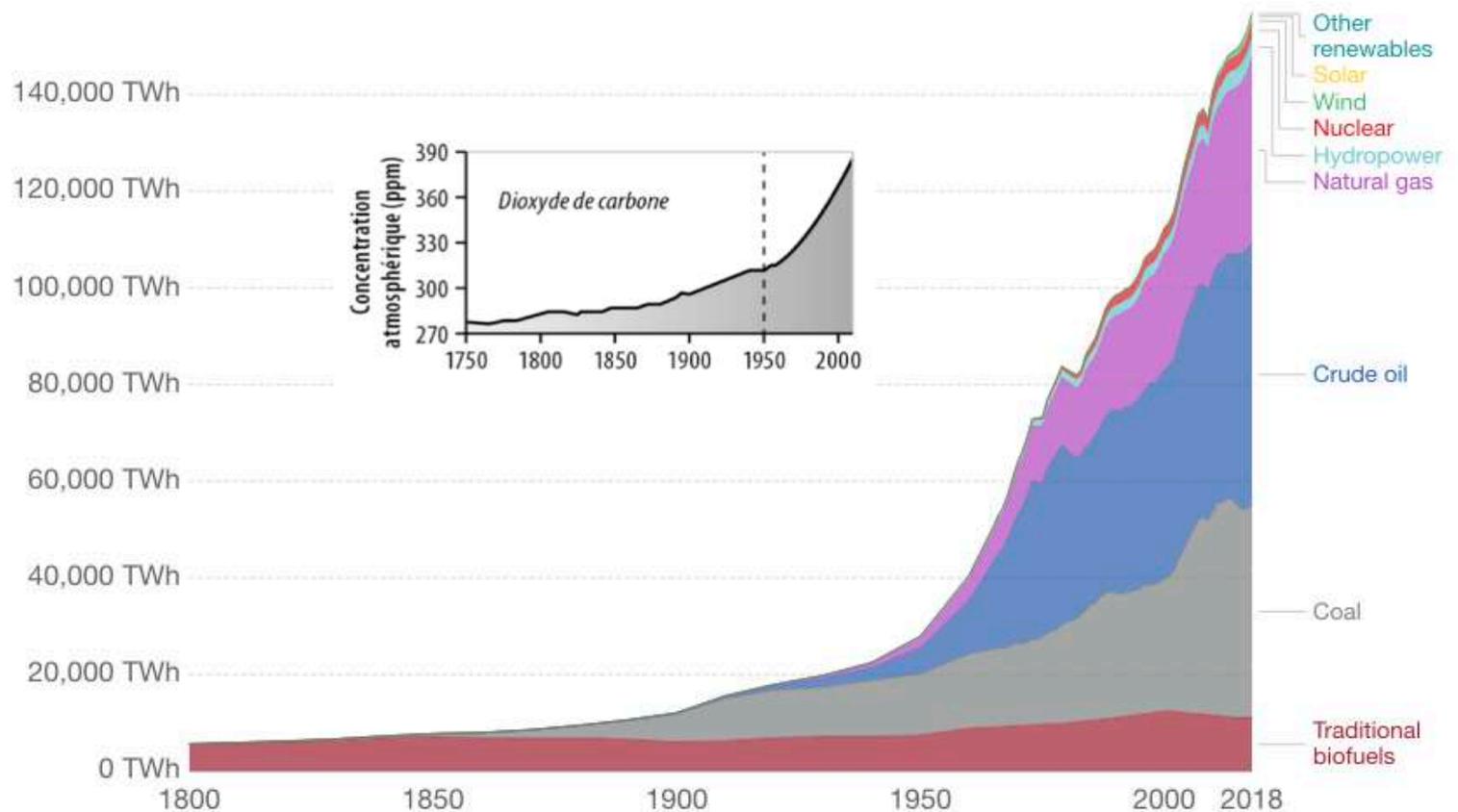


Source: Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy

CC BY

Tout s'accélère...

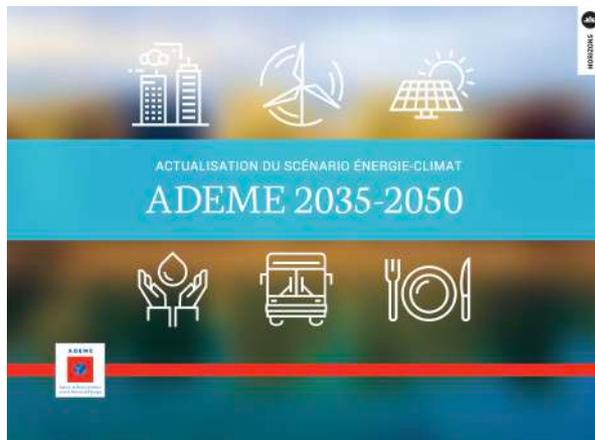
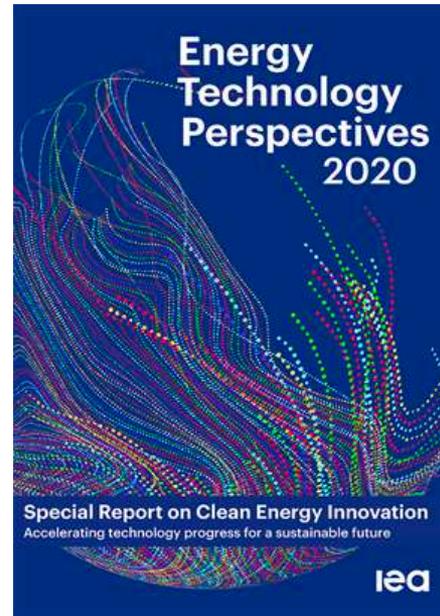
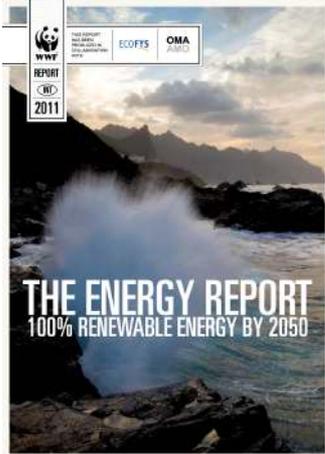
Consommation d'énergie mondiale



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

CC BY

Quelle place pour les énergies renouvelables en 2050-2070 ?

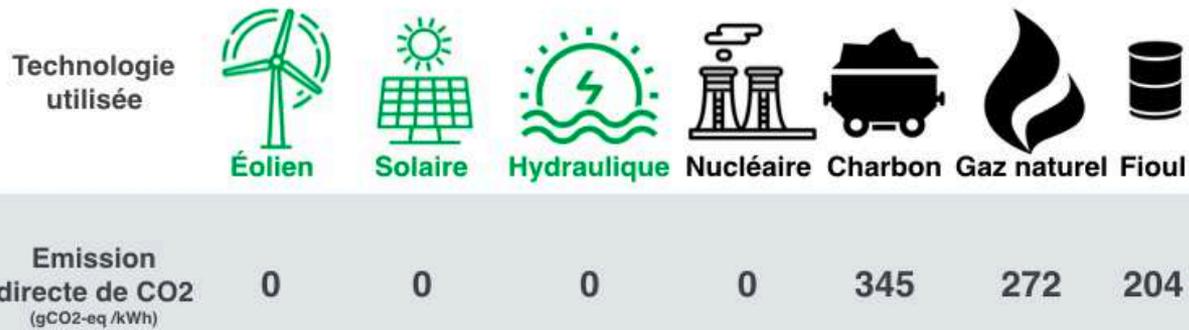


Stabilisation ou baisse de la consommation d'E

Augmentation de la part des Energies Renouvelables

Analyse de Cycle de Vie sur la production d'électricité

Sources : Rapport GIEC (2011),
Ademe (2015),
Ecoinvent (données 2011)



<http://www.quiestvert.fr/contenus/electricite-verte/quel-est-limpact-environnemental-des-energies-renouvelables/>

Analyse de Cycle de Vie sur la production d'électricité

Sources : Rapport GIEC (2011),
Ademe (2015),
Ecoinvent (données 2011)

Technologie utilisée							
	Éolien	Solaire	Hydraulique	Nucléaire	Charbon	Gaz naturel	Fioul
Emission directe de CO2 (gCO2-eq /kWh)	0	0	0	0	345	272	204
Emission directe de CO2 + ACV (gCO2-eq /kWh)	12,5	55	6	6	1060	730	418

<http://www.quiestvert.fr/contenus/electricite-verte/quel-est-limpact-environnemental-des-energies-renouvelables/>

Les énergies renouvelables, consommatrices de métaux

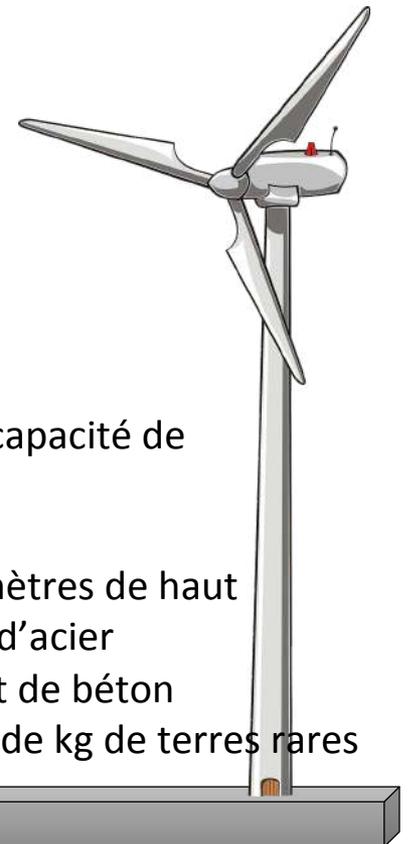
Sources : Rapport GIEC (2011),
Ademe (2015),
Ecoinvent (données 2011)

Energies de flux dilués
→ grosses infrastructures

Technologie utilisée	Éolien	Solaire	Hydraulique	Nucléaire	Charbon	Gaz naturel	Fioul
Emission directe de CO2 (gCO2-eq /kWh)	0	0	0	0	345	272	204
Emission directe de CO2 + ACV (gCO2-eq /kWh)	12,5	55	6	6	1060	730	418

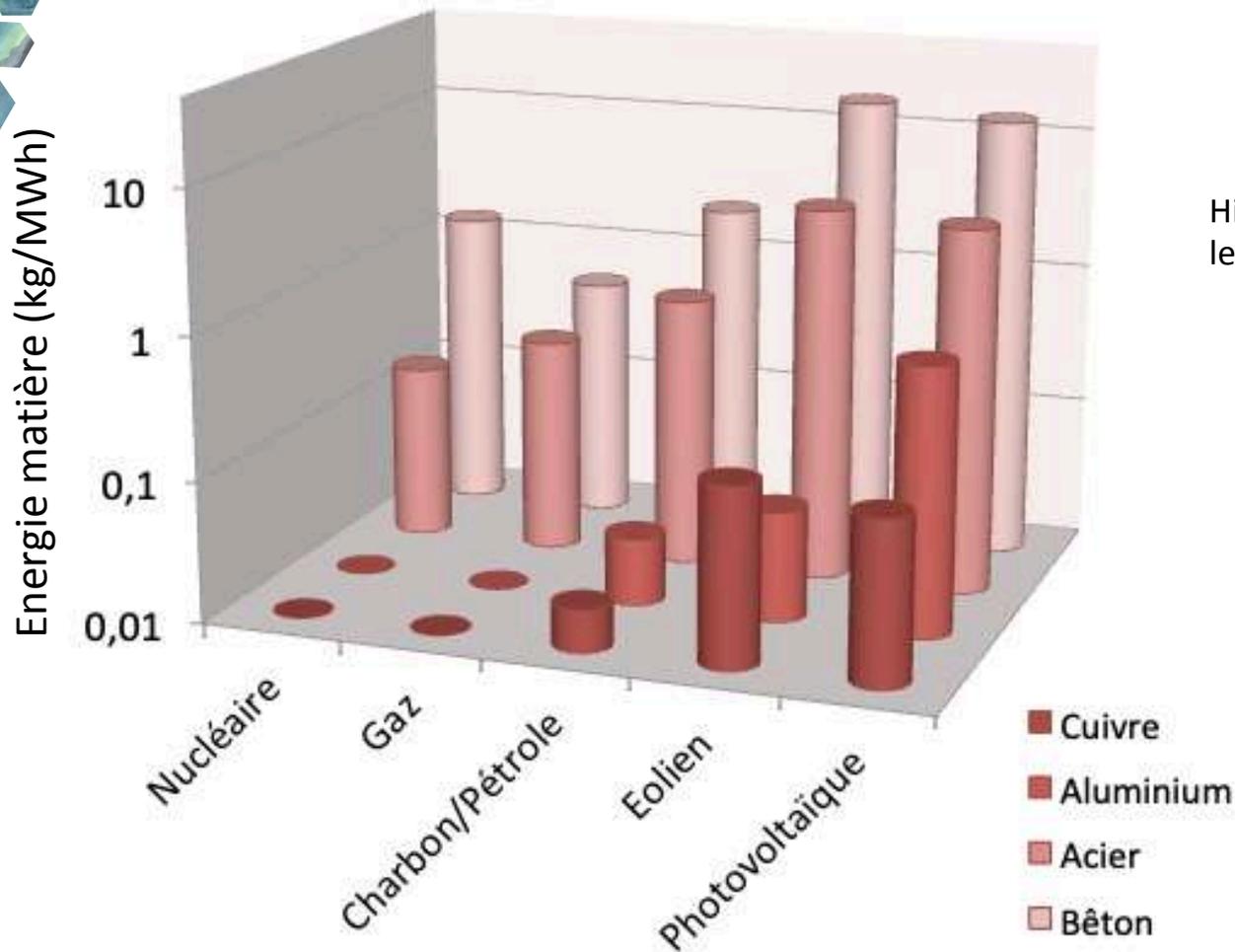
Pour une capacité de 2-3MW:

- 100-150 mètres de haut
- 200-400 t d'acier
- 500-1000 t de béton
- Centaines de kg de terres rares



<http://www.quiestvert.fr/contenus/electricite-verte/quel-est-limpact-environnemental-des-energies-renouvelables/>

Les énergies renouvelables, consommatrices de métaux



Histogramme réalisé d'après les données de Vidal-2018

Impacts environnementaux de l'extraction

28/09/19

Le Monde

Se connecter

Consulter
le journal

ACTUALITÉS ▾

ÉCONOMIE ▾

VIDÉOS ▾

OPINIONS ▾

CULTURE ▾

M LE MAG ▾

SERVICES

PLANÈTE • TECHNOLOGIES

Partage



Terres rares : des matériaux indispensables qui menacent la planète

VIDÉO | Alors que ces métaux sont devenus essentiels au développement des smartphones, des éoliennes ou encore des voitures électriques, leur extraction endommage gravement l'environnement.



Image credit foreignpolicymag.files.wordpress.com

- Minerai peu concentré
- Minéralogie complexe
- Difficile de séparer les différentes terres rares

→ Quantité importante d'énergie, d'eau, d'acides forts et de solvants organiques

Développement de procédés sobres pour la récupération de métaux critiques dans des sources secondaires

Procédés traditionnels

Rendement d'extraction
Réduction des impacts

Philosophie de l'approche proposée

100%

100%



Développement de procédés sobres pour la récupération de métaux critiques dans des sources secondaires

Procédés traditionnels

Philosophie de l'approche proposée

Rendement d'extraction



100%

Réduction des impacts



100%



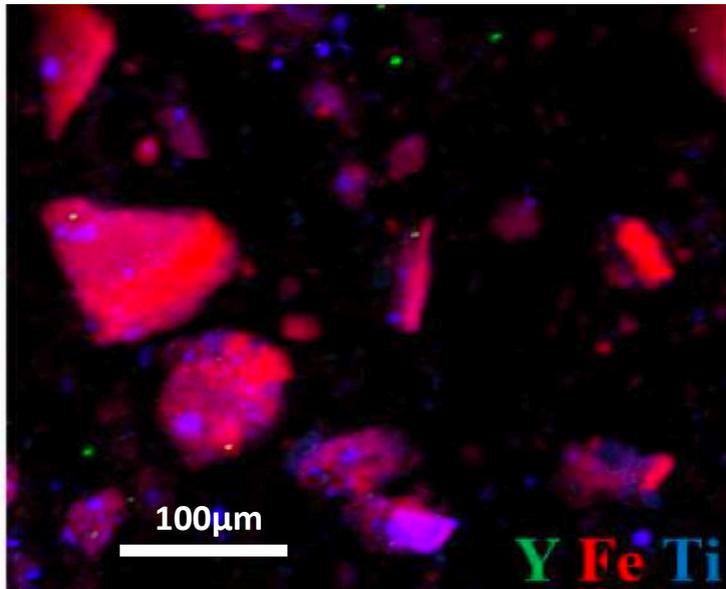
Comment mettre en place la sobriété? → Sélectivité, bio-mimétisme

Sélectivité: Permet de réduire le nombre d'étapes

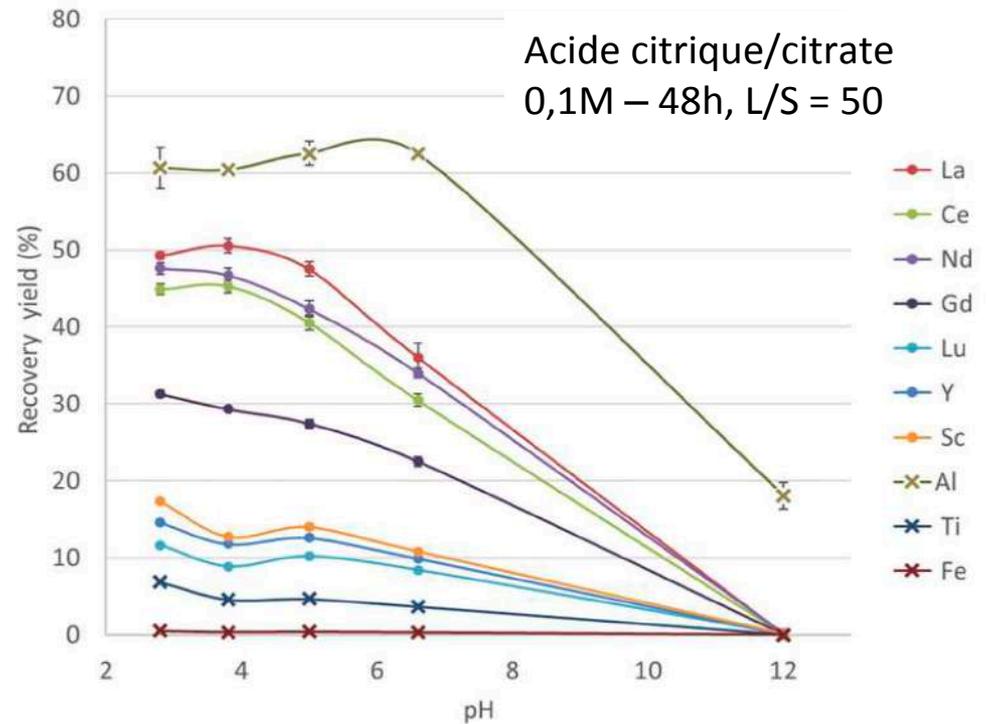
Bio-mimétisme: travailler dans des conditions environnementales avec des extractants naturels

→ Objectif ultime: couplage des 2: procédés sélectifs et bio-inspirés

Valorisation des terres rares et du fer dans les résidus de bauxite



ANR RECALL 2021-2025 Valorisation intégrée des résidus de bauxite



Comment améliorer la sélectivité ?

La ressource minérale, des enjeux interdisciplinaires

Comment transformer une menace en une opportunité?

Résidus de bauxite, France



Stériles miniers, Maroc



- Acceptabilité sociétale faible de l'activité industrielle
- Potentielle contamination par les poussières
- Forte mobilisation citoyenne contre le stockage des résidus

- Abandon des populations à la fermeture de la mine
- Impacts sanitaires sur les populations locales
- Contamination de l'environnement

