

Climat et Transitions

Vincent PERRIER
LGLTPE – Université Lyon 1

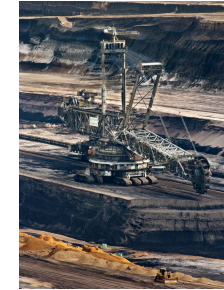
**Séquence « Exploitation des
milieux naturels & pollutions »**

Partie 1 : Extractivisme & énergies
Capsule 1 : les combustibles fossiles
Capsule 2 : les métaux

I. Extractivisme & énergies

Constat : la production d'énergie est intimement liée à l'exploitation des milieux naturels et principalement à celle des ressources minérales

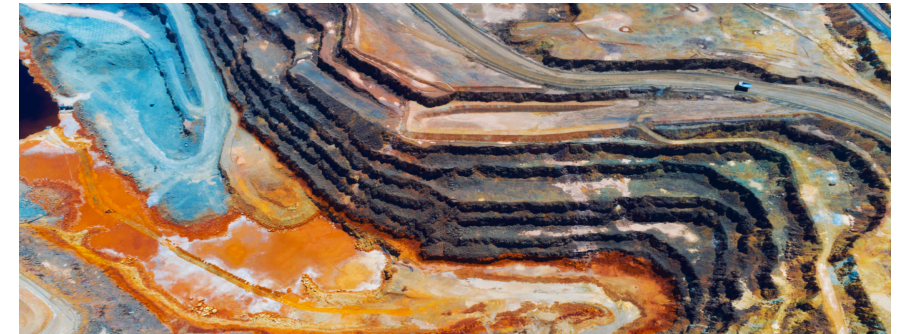
Combustibles fossiles => extraction du combustible (pétrole, charbon et gaz)



Nucléaire => extraction du combustible (Uranium...)



EnRs => extraction de métaux nécessaires au dispositif de captation/stockage (= éoliennes, panneaux photovoltaïques, batteries...) et bien plus...



**Pour toutes ces énergies, et bien plus
=> extraction de sable, graviers, calcaire...
=> béton et ciment**



I. Extractivisme & énergies

Objectifs :

- Avoir une idée de la consommation, des réserves et des pollutions associées aux combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz)

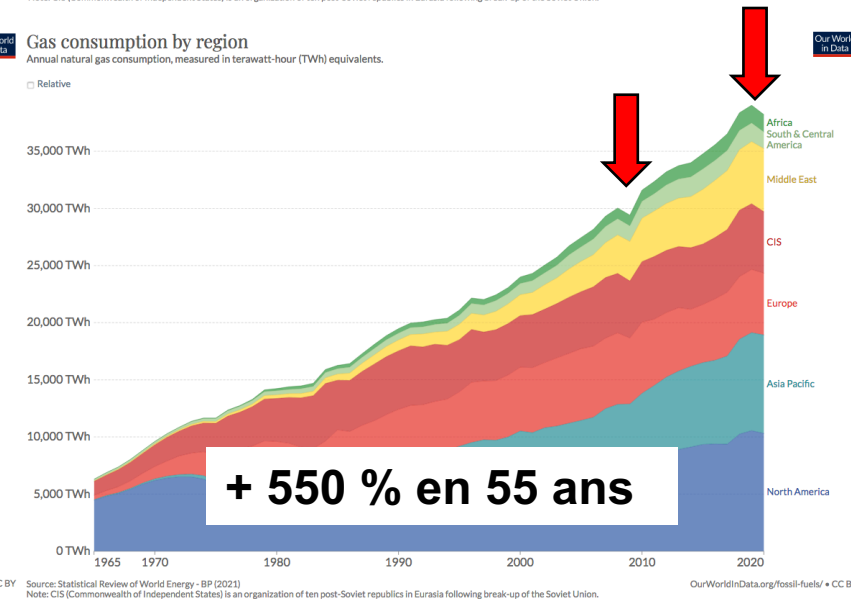
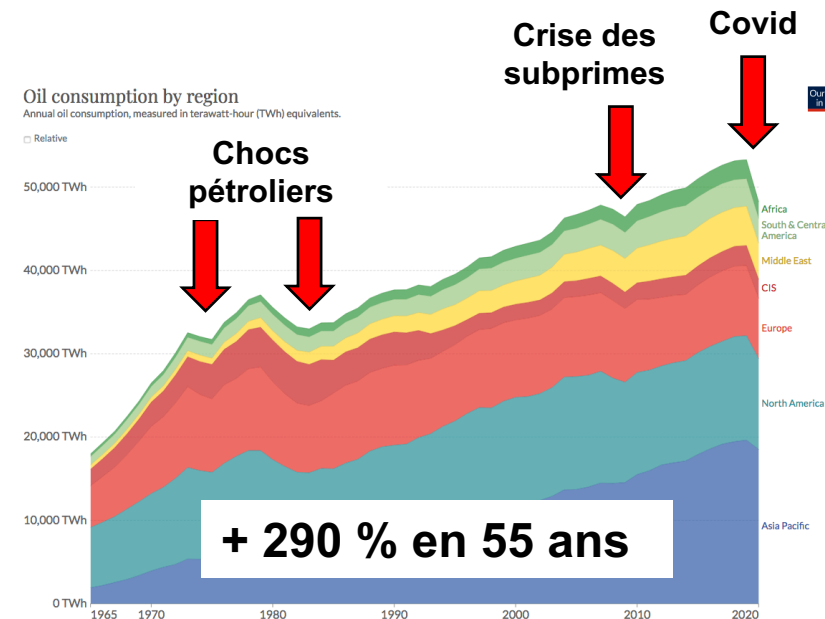
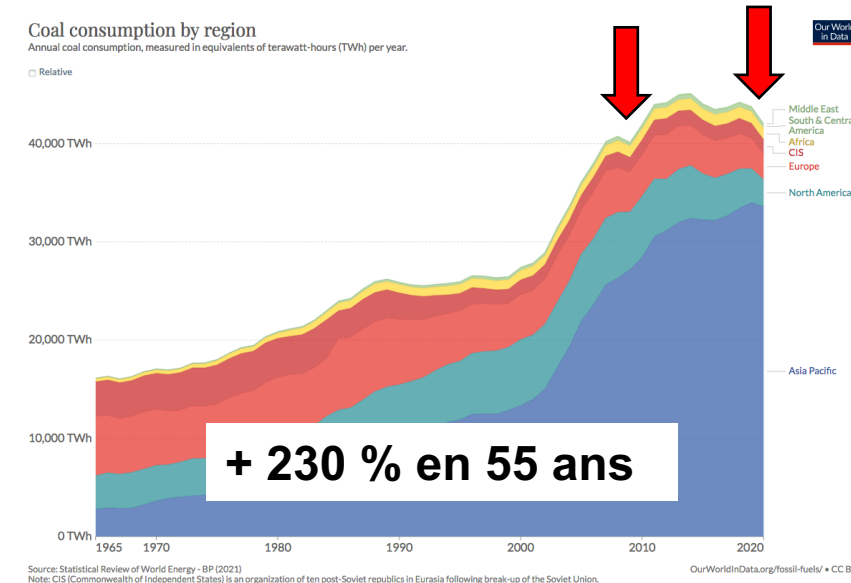
Exploitation des milieux naturels & pollutions
Capsule 1 : *les combustibles fossiles*

I. Extractivisme & énergies

Les combustibles fossiles => 80 % du mix énergétique mondial depuis 50 ans...

Les activités humaines consomment tous les ans plus de pétrole, de charbon et de gaz...

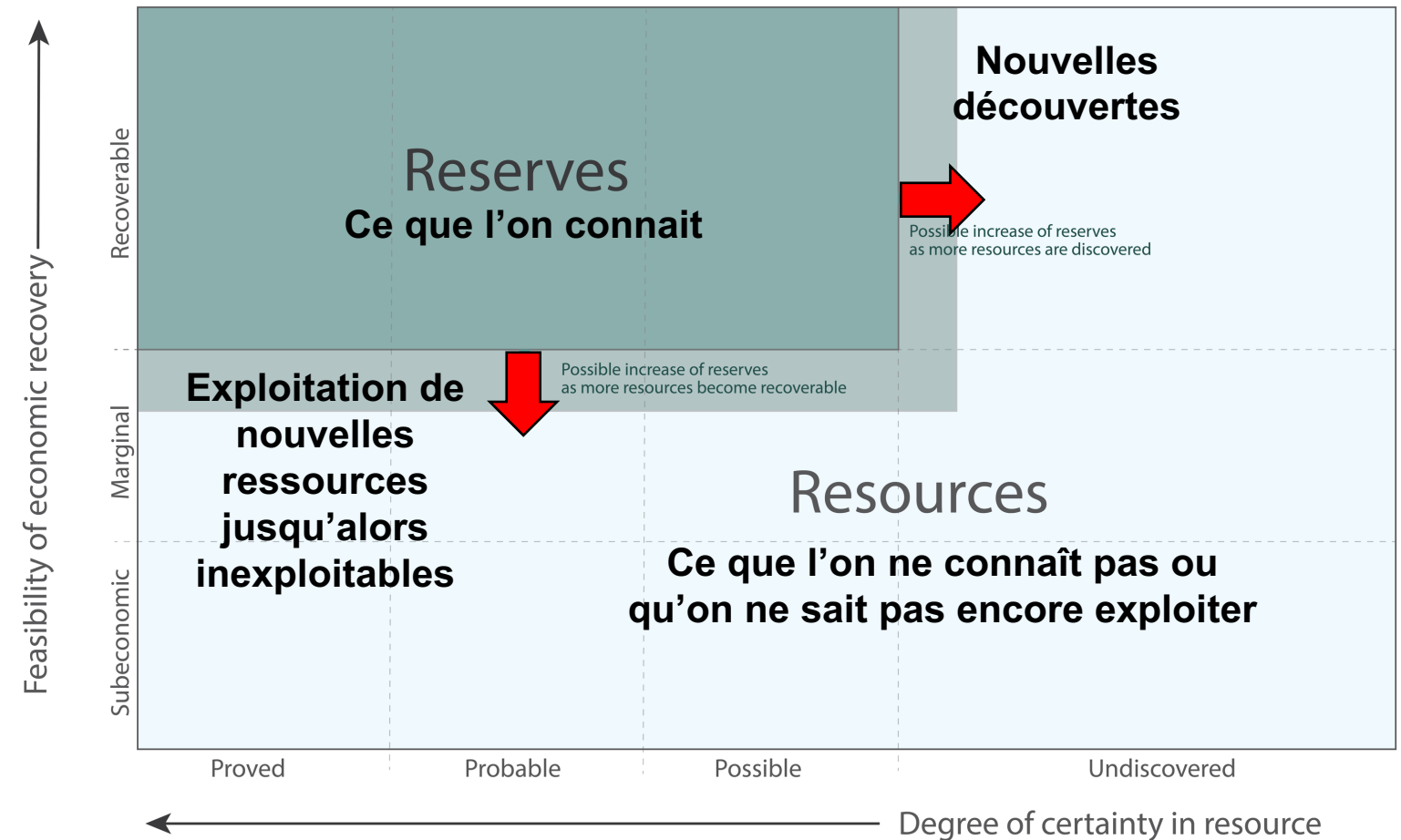
Jusqu'à quand cela sera-t-il possible ?



Reserves vs. resources: What turns resources into reserves?

Once discovered, natural 'resources' are defined as 'reserves' if they are determined to be economically recoverable.

The potential expansion of the 'reserves' category is shown to represent the dynamic nature of mineral resource extraction; economic and technological developments may allow for previously unknown or economically unviable resources to be extracted.



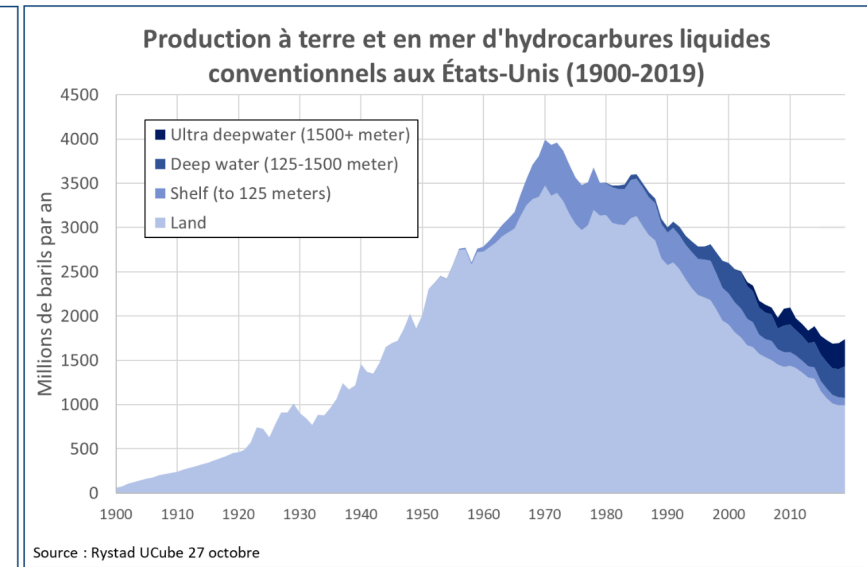
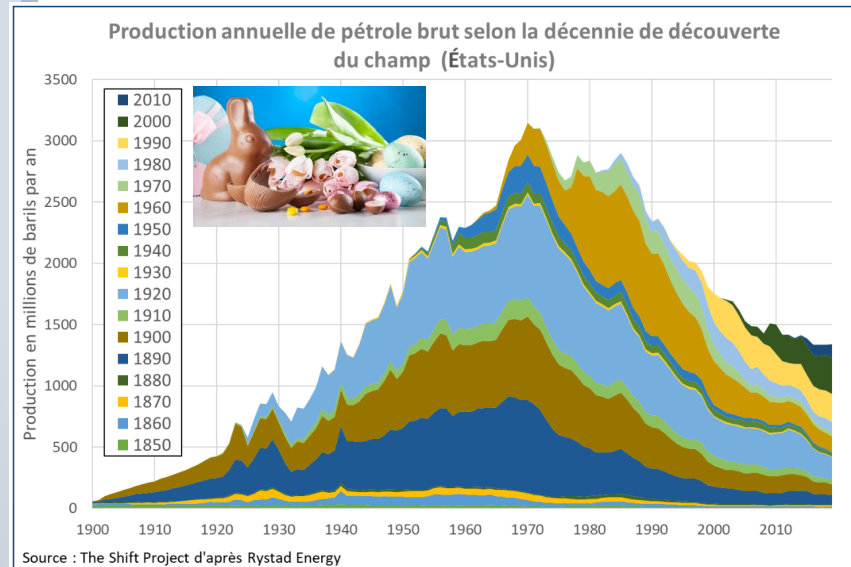
This is a version of 'McKelvey's Box' as suggested by American geologist Vincent Ellis McKelvey (1973).

The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org). There you find research and more visualizations on this topic.

Licensed under [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) by the author Hannah Ritchie and Max Roser.

I. Extractivisme & énergies

Exemple du pétrole aux USA

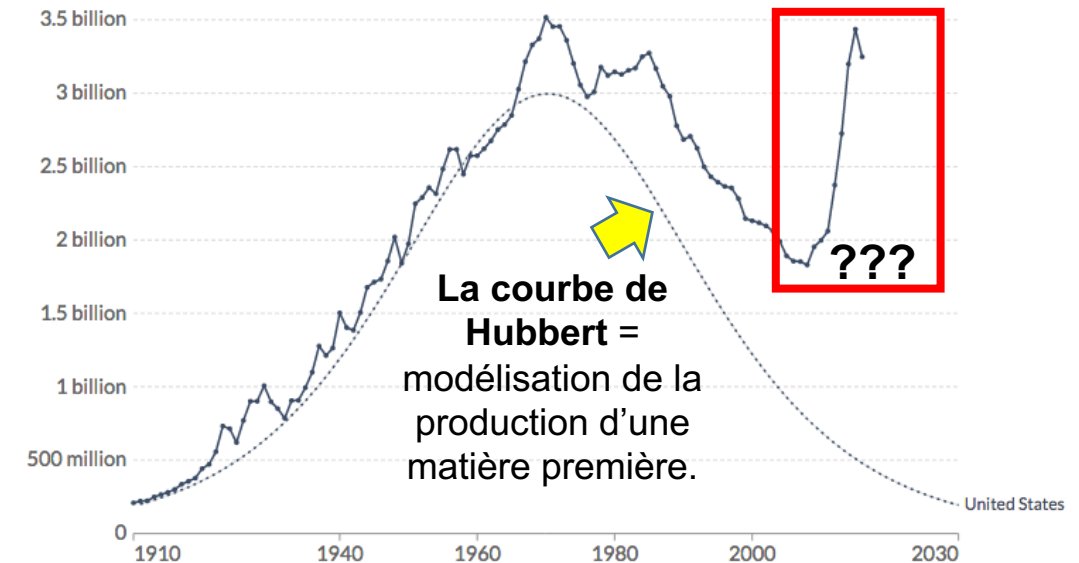


Pic de production du pétrole conventionnel passé dans les années 70.

=> On va de + en + loin, de + en + profond pour essayer de maintenir la production (=> taux de retour énergétique en baisse)

Hubbert's peak prediction vs. actual oil production in the United States

Hubbert's hypothesis of peak oil production in the United States, alongside actual oil production trends in the United States, both measured in barrels per year.



Source: Cavallo (2004) & EIA

OurWorldInData.org/how-long-before-we-run-out-of-fossil-fuels/ • CC BY

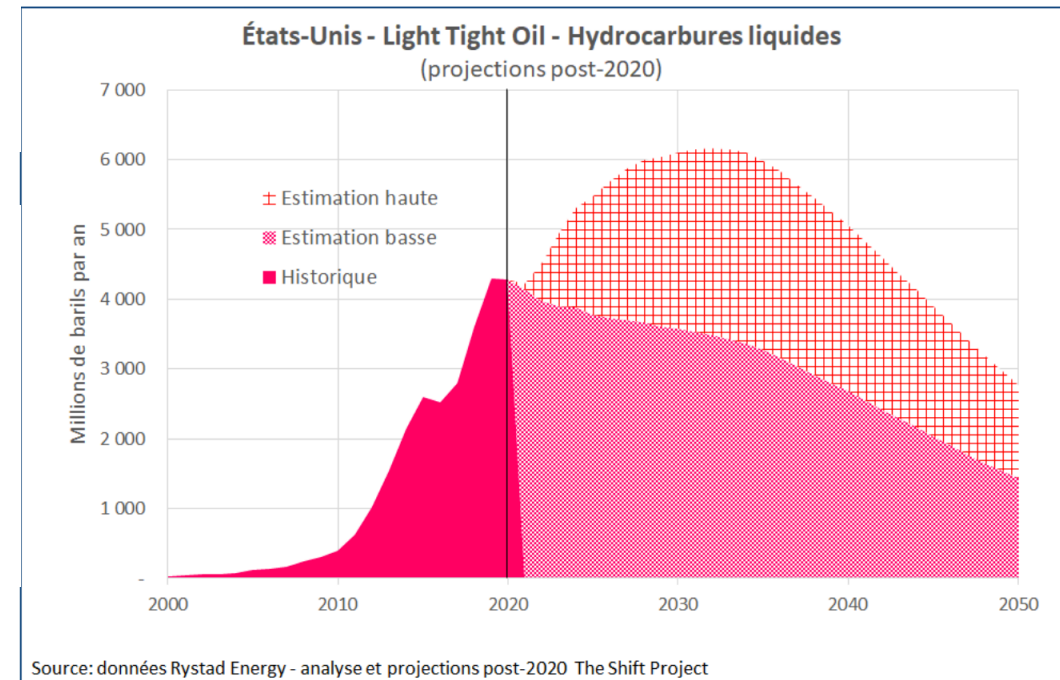
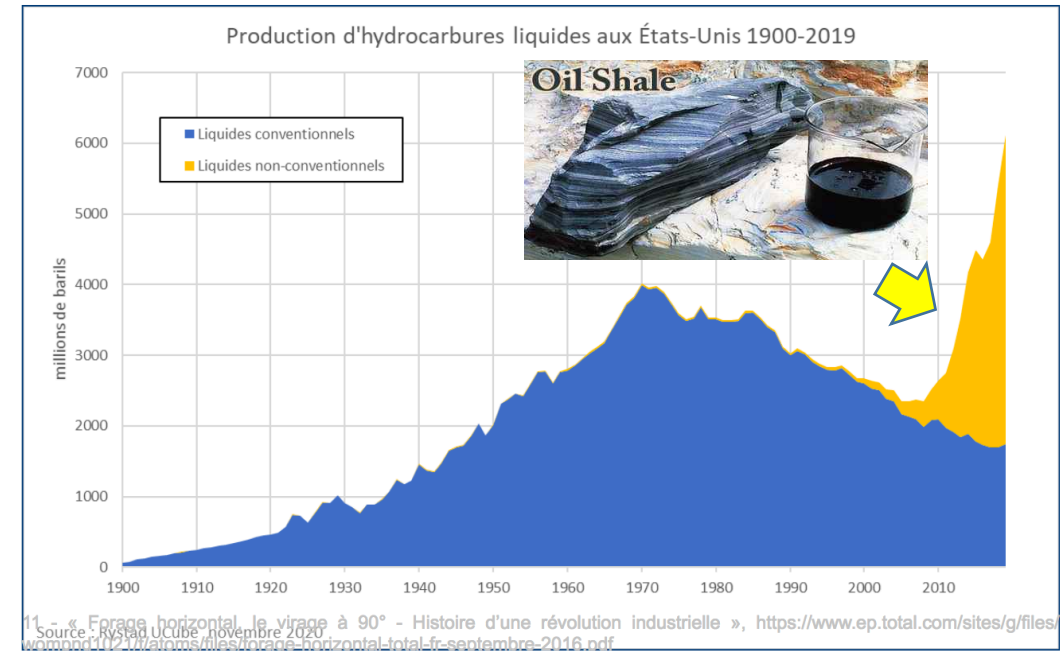
I. Extractivisme & énergies

Exemple du pétrole aux USA

L'augmentation de la production à partir des années 2010 est entièrement liée à l'exploitation de gisements de types schistes et sables bitumineux.

=> On va chercher des ressources de - en - concentrées et demandant de + en + d'énergie à l'extraction pour essayer de maintenir la production (=> taux de retour énergétique en baisse)

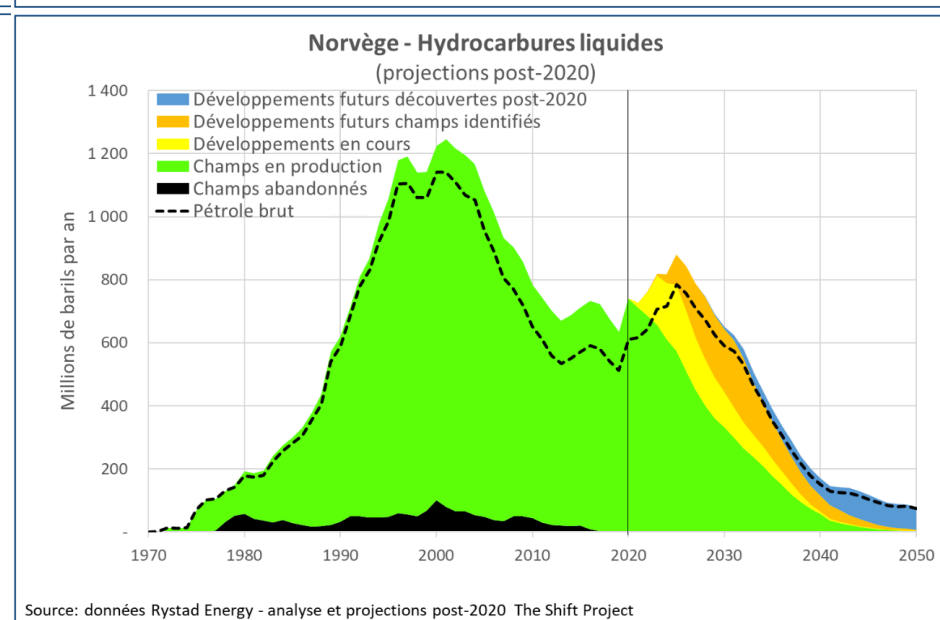
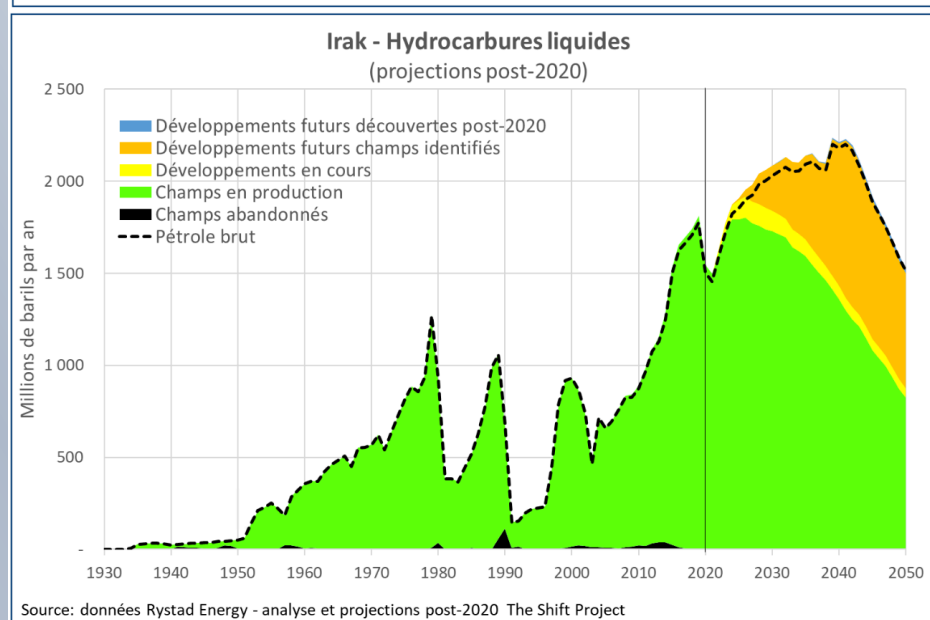
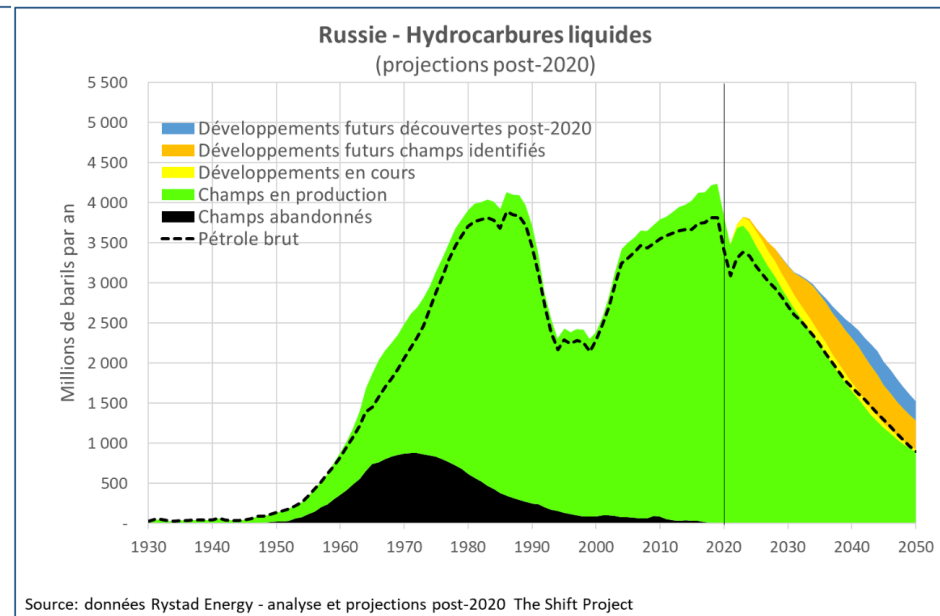
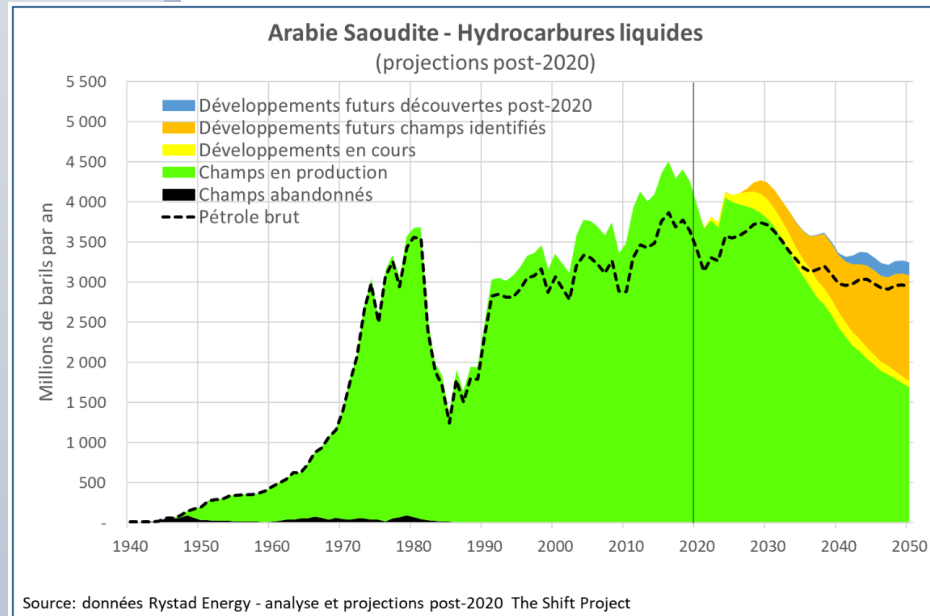
**Même ces ressources peu concentrées et difficiles à exploiter ne sont pas inépuisables !
=> Leur production va aussi passer par un pic avant de redescendre**



I. Extractivisme & énergies

Les USA ne sont pas un cas isolé !

Il va falloir s'habituer à avoir de moins en moins de pétrole !



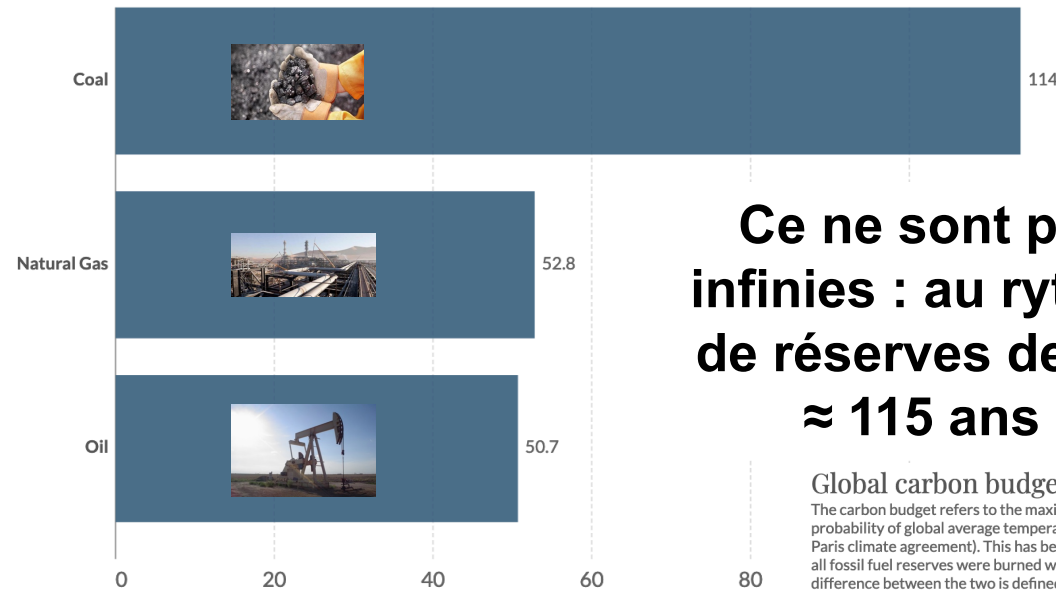
I. Extractivisme & énergies

Trois très bonnes raisons de sortir des combustibles fossiles

Years of fossil fuel reserves left

Years of global coal, oil and natural gas left, reported as the reserves-to-product (R/P) ratio which measures the number of years of production left based on known reserves and annual production levels in 2015. Note that these values can change with time based on the discovery of new reserves, and changes in annual production

Our World
in Data

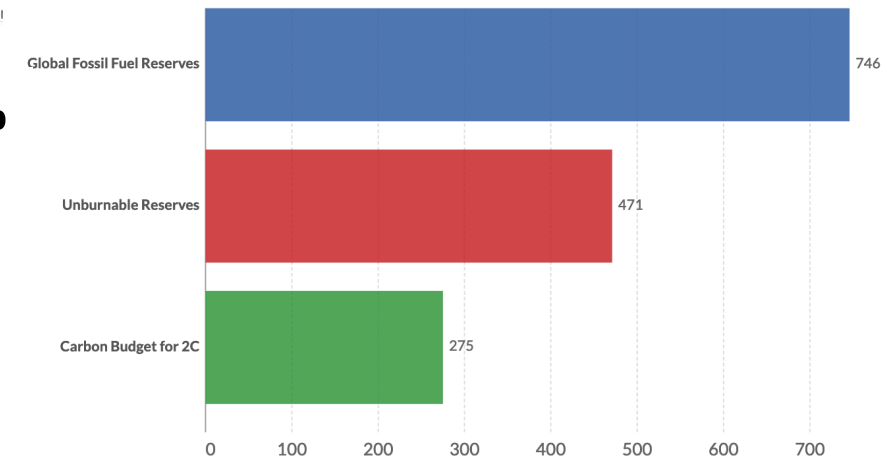


Ce ne sont pas des ressources infinies : au rythme actuel ≈ 50 ans de réserves de gaz et de pétrole et ≈ 115 ans pour le charbon

Global carbon budget for a two-degree world

The carbon budget refers to the maximum quantity of carbon which can be released to maintain a 50 percent probability of global average temperature rise remaining below two-degrees celsius (the target set within the UN Paris climate agreement). This has been measured relative to the quantity of carbon which would be released if all fossil fuel reserves were burned without the use of carbon capture and storage (CCS) technology. The difference between the two is defined as 'unburnable carbon'.

Our World
in Data



Source: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013) OurWorldInData.org/how-long-before-we-run-out-of-fossil-fuels/ • CC-BY

**Elles sont responsable de 90 % des émissions de CO₂
=> une partie des ressources (60-70 %) devra rester sous terre si l'on veut limiter le réchauffement à +2°C !**

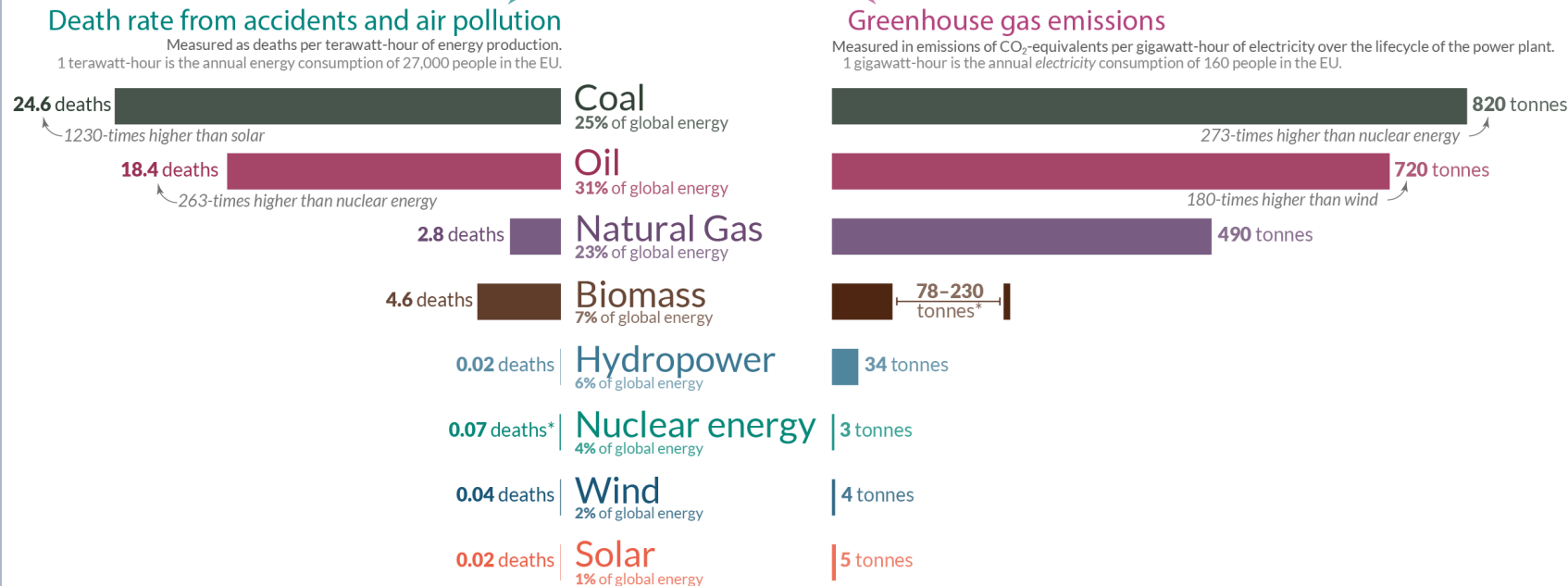
Elles sont responsables de nombreuses pollutions

I. Extractivisme & énergies

Outre leur impact sur le climat, l'exploitation et l'utilisation des combustibles fossiles causent de nombreuses pollutions

=> Elles sont, et de loin, les énergies les plus polluantes et causant le plus de morts par TWh produits !

Our World in Data What are the **safest** and **cleanest** sources of energy?

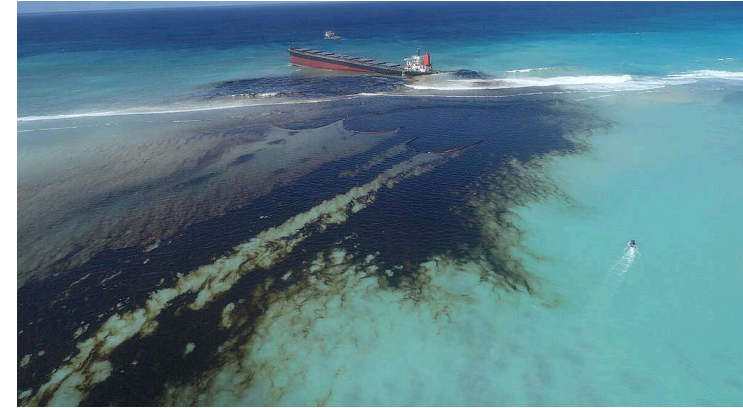


*Life-cycle emissions from biomass vary significantly depending on fuel (e.g. crop residues vs. forestry) and the treatment of biogenic sources.
*The death rate for nuclear energy includes deaths from the Fukushima and Chernobyl disasters as well as the deaths from occupational accidents (largely mining and milling).
Energy shares refer to 2019 and are shown in primary energy substitution equivalents to correct for inefficiencies of fossil fuel combustion. Traditional biomass is taken into account.
Data sources: Death rates from Markandya & Wilkinson (2007) in *The Lancet*, and Sovacool et al. (2016) in *Journal of Cleaner Production*;
Greenhouse gas emission factors from IPCC AR5 (2014) and Pehl et al. (2017) in *Nature*; Energy shares from BP (2019) and Smil (2017).
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

I. Extractivisme & énergies

Outre leur impact sur le climat, l'exploitation et l'utilisation des combustibles fossiles causent de nombreuses pollutions

Au moment de leur
extraction / transport



Au moment de leur
utilisation



Après leur utilisation





I. Extractivisme & énergies

Objectifs :

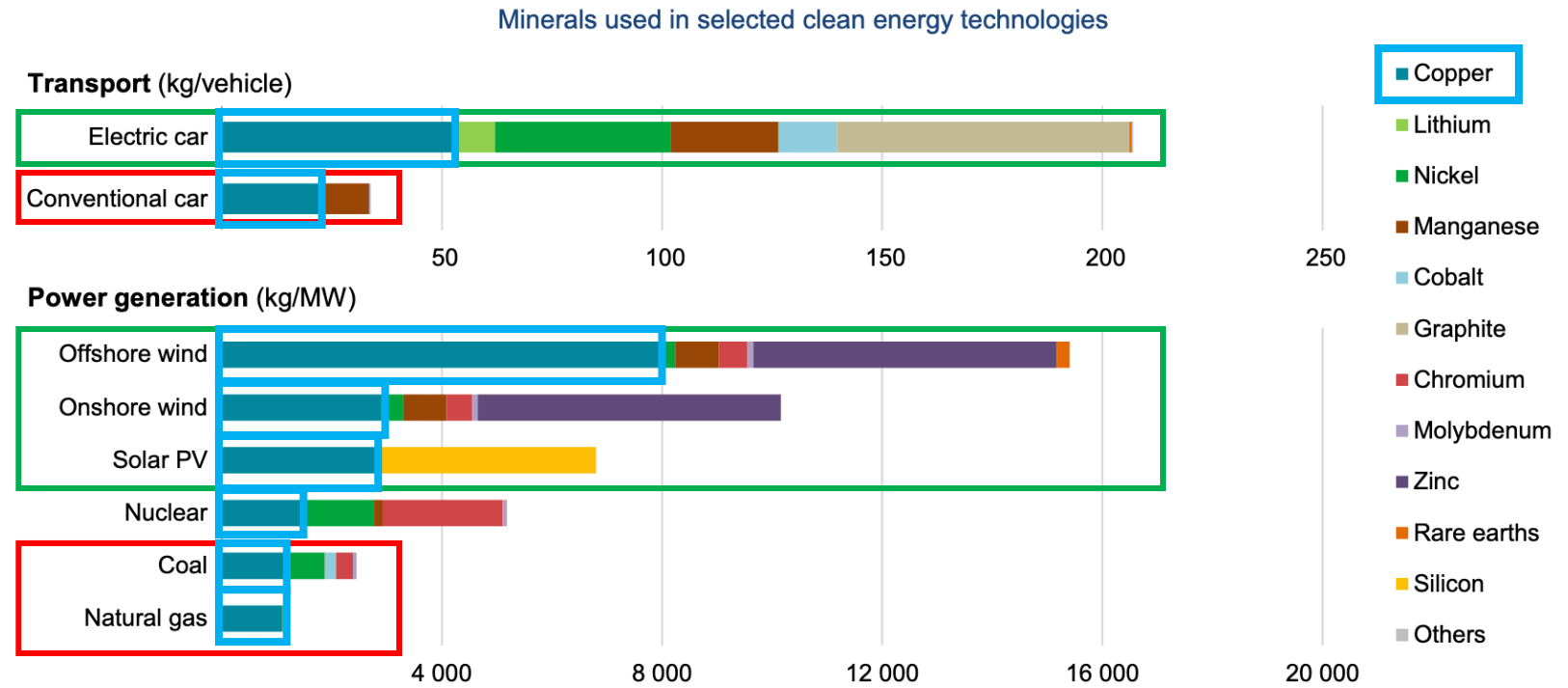
- Avoir une idée de la consommation, des réserves et des pollutions associées à l'extraction des métaux

Exploitation des milieux naturels & pollutions
Capsule 2 : *les métaux*

I. Extractivisme & énergies

Demandes en matériaux des nouvelles technologies face aux anciennes

The rapid deployment of these technologies as part of energy transitions implies a significant increase in demand for minerals



IEA. All rights reserved.

Notes: kg = kilogramme; MW = megawatt. The values for vehicles are for the entire vehicle including batteries, motors and glider. The intensities for an electric car are based on a 75 kWh NMC (nickel manganese cobalt) 622 cathode and graphite-based anode. The values for offshore wind and onshore wind are based on the direct-drive permanent magnet synchronous generator system (including array cables) and the doubly-fed induction generator system respectively. The values for coal and natural gas are based on ultra-supercritical plants and combined-cycle gas turbines. Actual consumption can vary by project depending on technology choice, project size and installation environment.

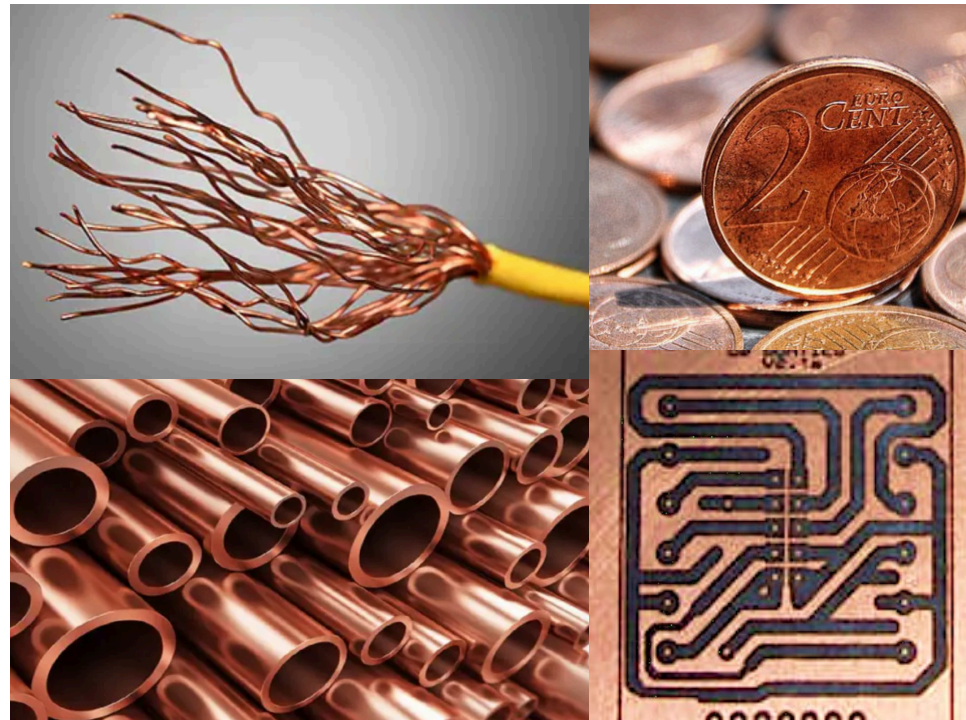
Un de ces métaux est présent partout : le Cuivre

I. Extractivisme & énergies

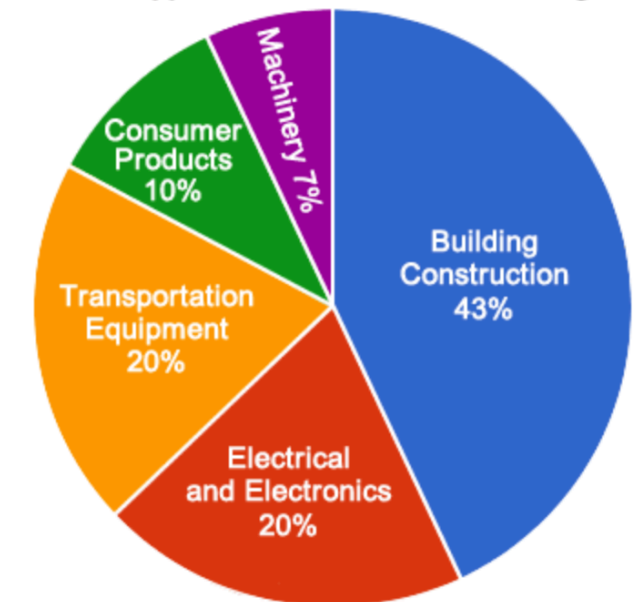
L'exemple du Cuivre

Grâce à ses multiples propriétés (conductivités thermique et électrique, résistance à la corrosion) **le cuivre est devenu un métal incontournable dans nos sociétés industrialisées**, par ex :

- => Production et distribution d'électricité
- => Électronique (circuits imprimés, puces électroniques...)
- => Plomberie, radiateurs
- => Transports (circuits de freinage, systèmes d'injection, etc.)
- => Bâtiments (matériaux de couverture étanche pour toitures)
- => Monnaie...



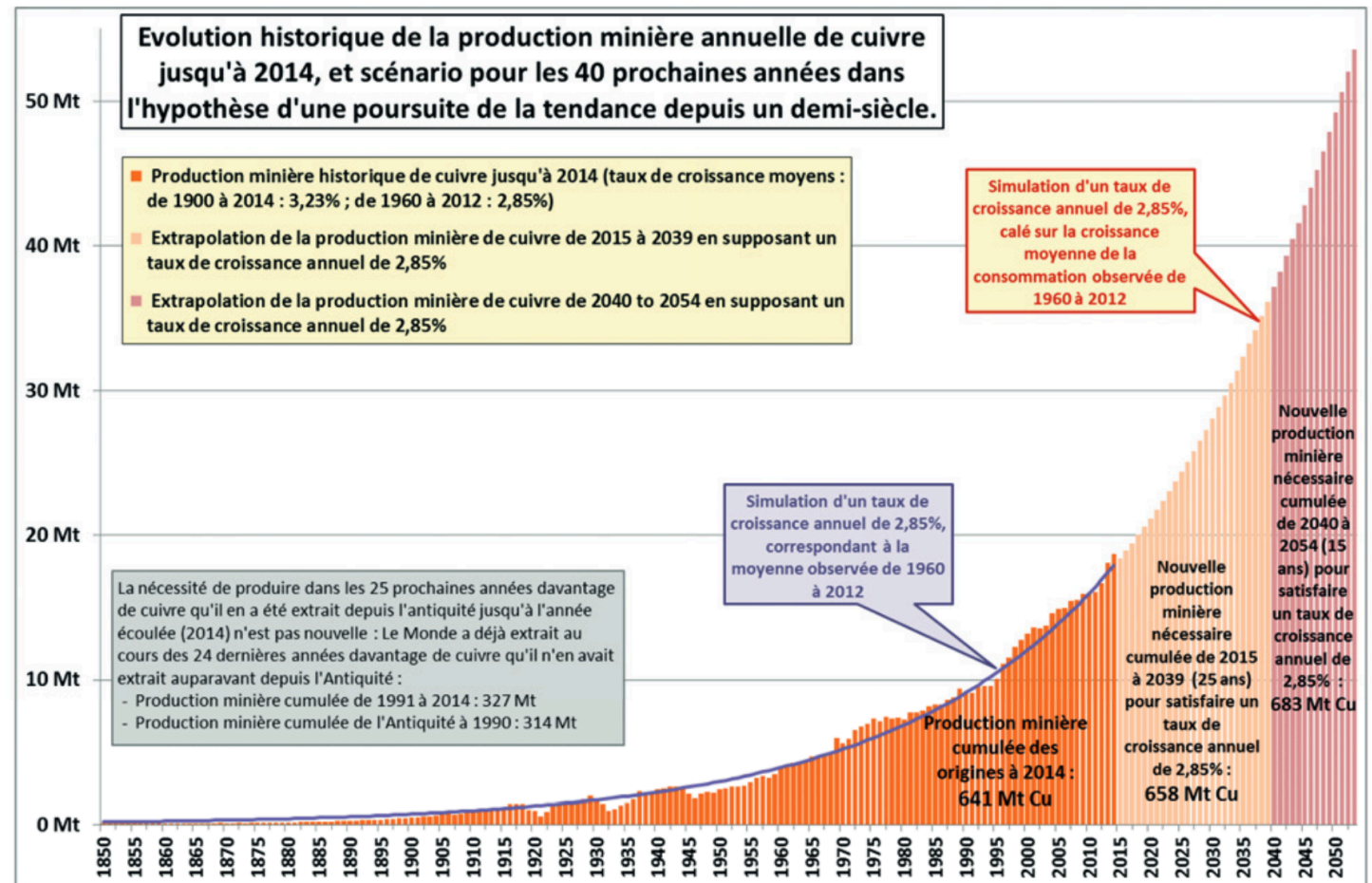
Uses of Copper in the United States During 2019



I. Extractivisme & énergies

L'exemple du Cuivre

=> Production et consommation aux croissances exponentielles exacerbées par la transition énergétique et l'électrification



Entre le début de la sidérurgie et 2014 (~7000 ans) => 641 Mt de cuivre

Si la croissance annuelle de production de cuivre continue au même rythme :

=> 658 Mt de 2015 à 2039 (25 ans)

=> 683 Mt de 2040 à 2054 (15 ans)...

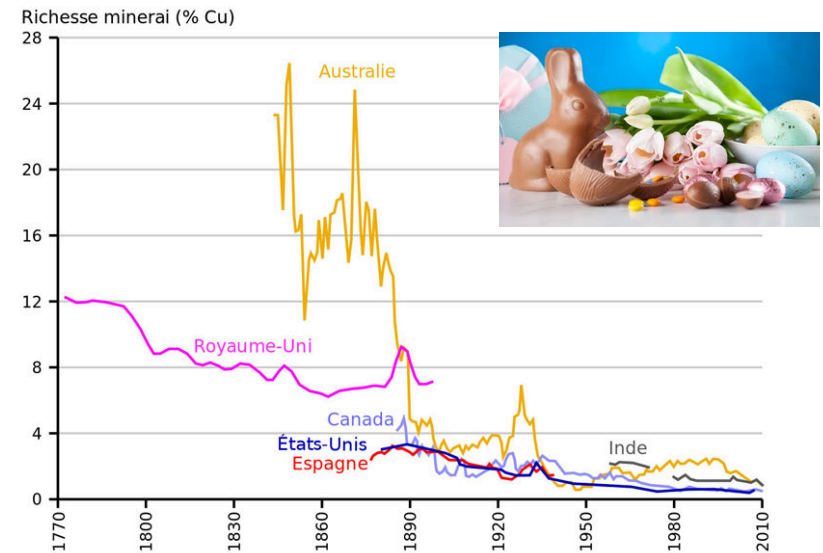
I. Extractivisme & énergies

L'exemple du Cuivre

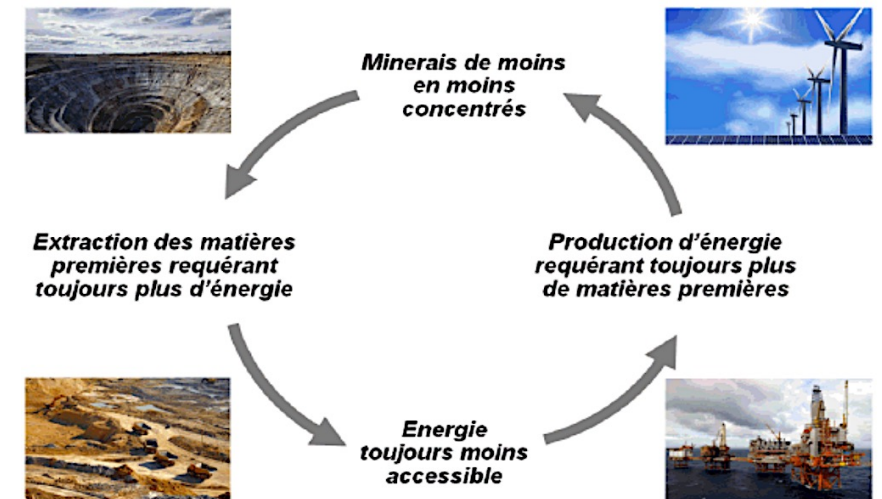
=> Comme pour le pétrole, afin de maintenir une production croissante => gisements de + en + profonds, de - en - concentrés
=> on utilise de + en + d'énergie pour la même quantité produite...

Teneur moyenne des gisements de cuivre mondiaux en exploitation :

- en 1800 : 10 %
- en 1900 : 3 %
- en 1930 : 2 %
- en 1975 : 1 %
- en 2015 : 0,5 %



C'est le cercle vicieux de l'énergie et des métaux...



Sources :

<https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2020-dt-consommation-metaux-du-numerique-juin.pdf> &
<https://ecoinfo.cnrs.fr/2014/03/11/1-epuisement-des-ressources-naturelles/>

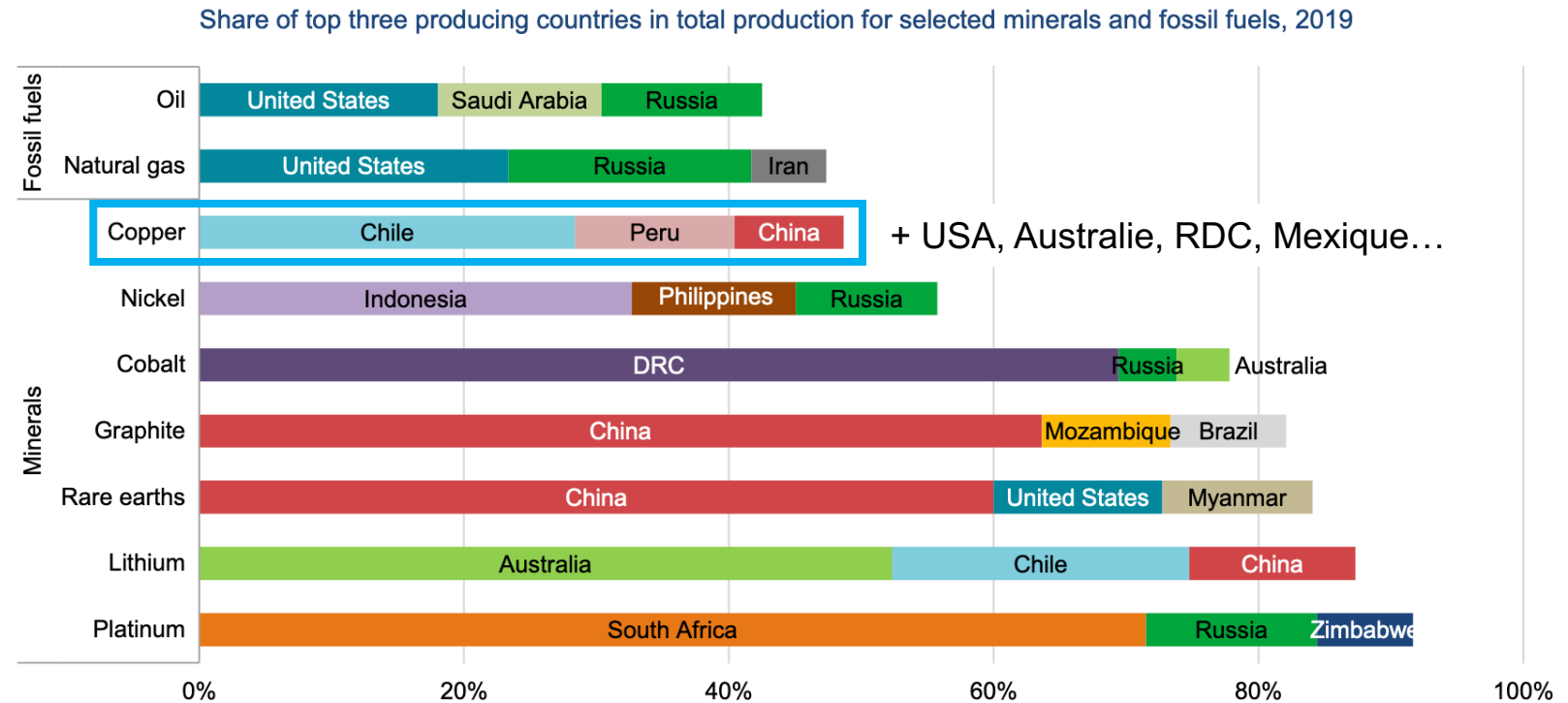
Source : Philippe Bihouix et Benoît de Guillebon, *ibid.*

I. Extractivisme & énergies

L'exemple du Cuivre

=> Les gisements de Cuivre, comme ceux des autres ressources minérales, ne sont pas répartis de manière homogène à la surface de la Terre => la France (et l'Europe) doit importer la grande majorité de ces matériaux => problème de dépendance

Current production of many energy transition minerals is more geographically concentrated than that of oil or natural gas



Sources: IEA (2020b); USGS (2021).

IEA. All rights reserved.

Le recyclage peut permettre de résoudre une partie des problèmes

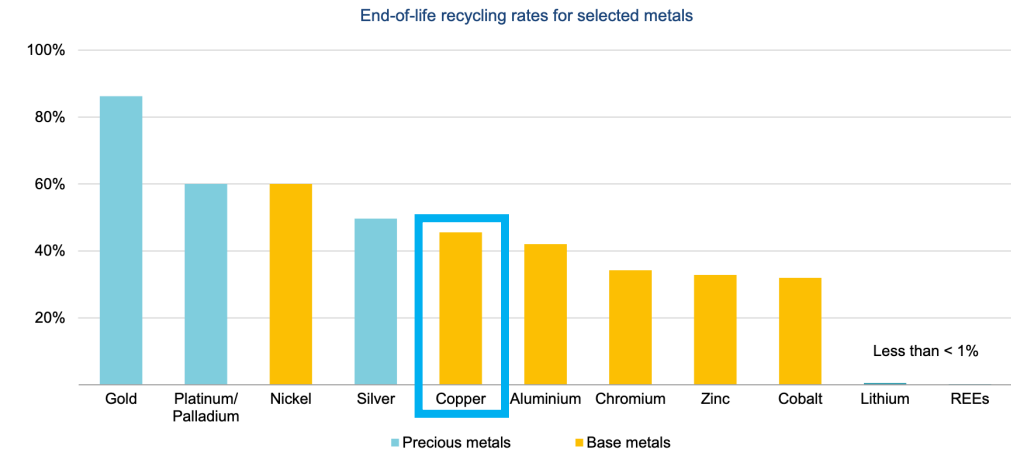
I. Extractivisme & énergies

Le recyclage des métaux

Certains métaux se recyclent plutôt bien.

Mais il y aura toujours des pertes.

Today's recycling rates vary by metal depending on the ease of collection, price levels and market maturity

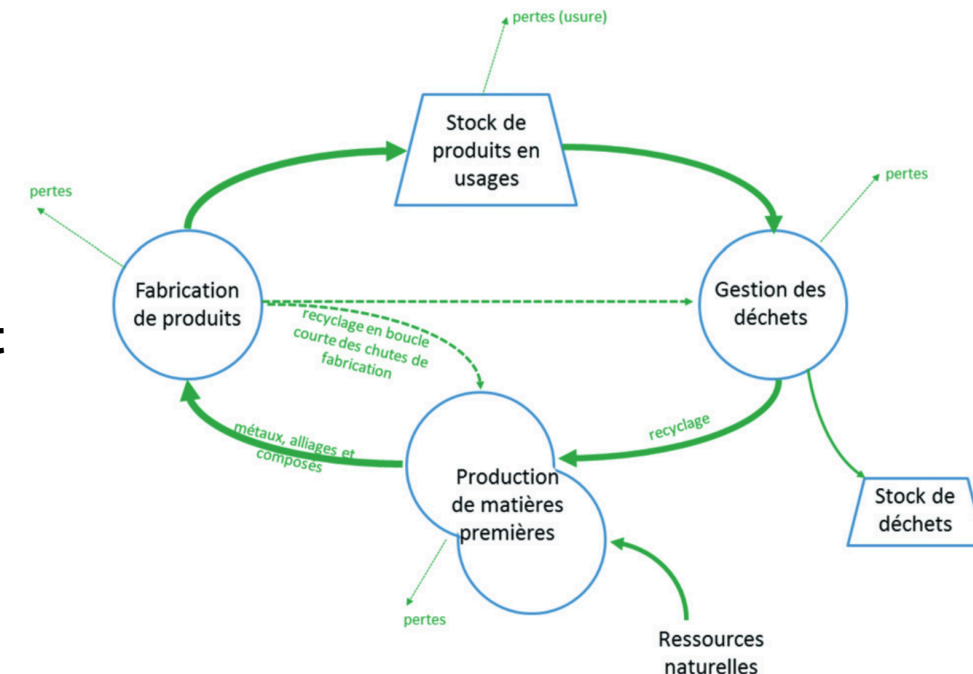


IEA. All rights reserved.

Sources: Henckens (2021); UNEP (2011) for aluminium; Sverdrup and Ragnarsdottir (2016) for platinum and palladium; OECD (2019) for nickel and cobalt.

Au moment :

- du façonnage (ex : chutes)
- de l'usage (ex : usure)
- de la gestion des déchets (ex : corrosion)
- du recyclage à proprement parler (ex : refonte)

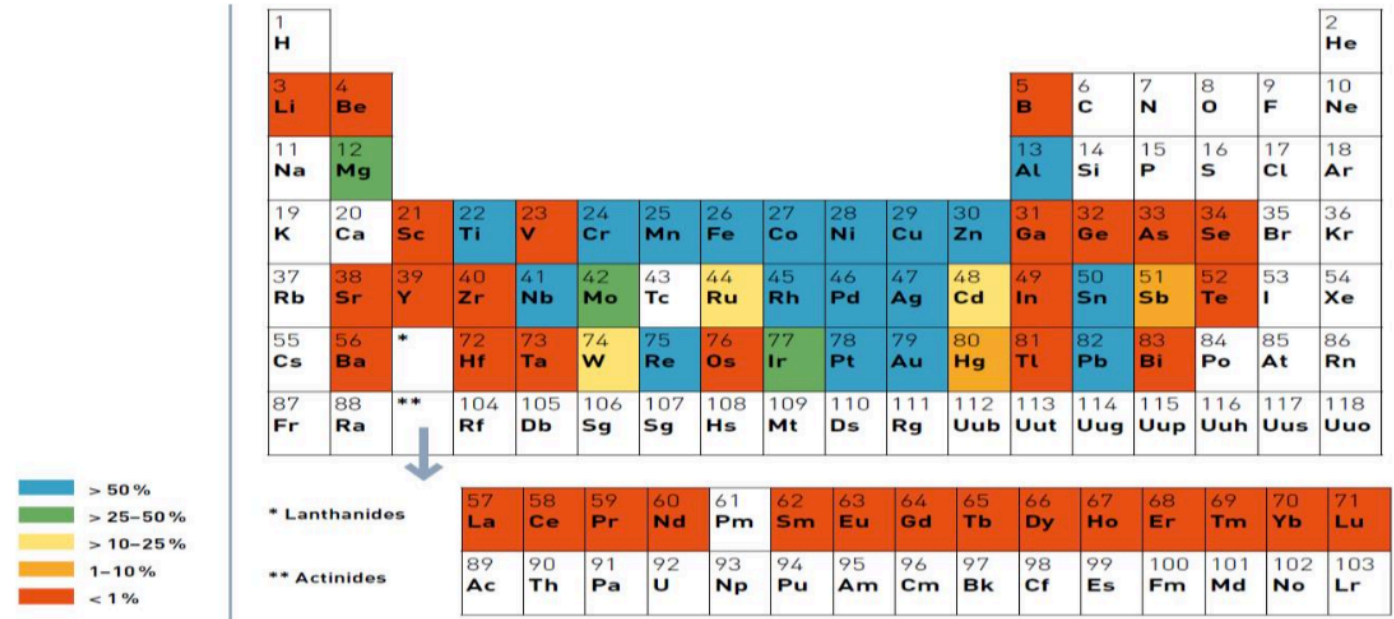


I. Extractivisme & énergies

Le recyclage des métaux

D'autres se recyclent très peu : alliages, petites quantités... => moins cher d'acheter des matières premières « neuves » que des recyclées.

Figure 8 – Taux de recyclage de métaux issus de produits en fin de vie



Source : UNEP, « Recycling Rates of Metal. A Status Report », 2011

+ certains métaux sont mobilisés sur de longues périodes de temps (ex : rails, lignes à haute tension, glissières de sécurité, bâtiments...)

+ Procédés de recyclage peu rentables ou peu développés

Si consommation croissante => le recyclage seul ne pourra pas combler la demande => on continuera à extraire toujours plus

I. Extractivisme & énergies

L'exploitation minière cause aussi de nombreuses pollutions, souvent peu visibles aux yeux des européens car la majorité des grandes régions minières sont en dehors de l'Europe.

Impact de la mine à proprement parler

=> Destructures d'habitats...



Mines de cuivre de Bingham Canyon (USA) & de Chuquibambilla (Chili), photos J. Sartore

Impact de l'exploitation et du traitement des minerais

- Gisements de - en - concentrés => + d'extraction donc + de machines, d'énergie et de GES, + de déchets miniers
- Grands volumes d'eau nécessaires (forage, lavage, broyage...) => stress hydrique
- Contamination des eaux (souterraines, rivières...) et des sols aux métaux lourds et/ou matériaux radioactifs, drainage minier acide (sulfures...)...



Mine de cuivre d'Atalaya, Espagne



Source :

https://www.researchgate.net/publication/324330462_LES_RESSOURCES_MINIERES_DANS_LE_CONTEXTE_DE_LA_TRANSITION_EN_ERGETIQUE-EXEMPLE_DU_CUIVRE_ET_DES_TERRES_RARES
& <https://www.joelsartore.com>

I. Extractivisme & énergies

Conclusion

L'exploitation des combustibles fossiles, l'exploitation minière (ex. métaux) et en carrière (ex : sable) ne pourront pas continuer au même rythme de croissance qu'actuellement :

- Pour des raisons de ressources qui ne sont pas infinies
- A cause des nombreuses pollutions qui y sont liées (GES, eaux...)

Pour ce qui est des métaux, le recyclage peut aider à l'approvisionnement mais il ne sera pas suffisant pour assurer une demande croissante (=> pertes).

Les dérivés du pétrole (ex. plastique), les métaux et le béton sont partout autour de nous dans les objets et les infrastructures que nous utilisons quotidiennement => pour pallier les problèmes qui y sont associés (ressources, pollutions), la **sobriété** est l'un des plus forts leviers.

=> Augmenter la durée de vie (fin de l'obsolescence programmée) et le recyclage des objets.

=> Diminuer l'artificialisation des sol (=> moins de nouvelles constructions) et changer une partie des matériaux utilisés dans le bâtiment...

Les combustibles fossiles ne sont pas présents en quantité infinie dans la croûte terrestre (≈ 50 ans gaz/pétrole, ≈ 115 ans charbon) et ils sont responsables de 90 % des émissions de CO_2 et de nombreuses autres pollutions.

De la même manière, les métaux et autres matériaux nécessaires aux activités humaines et à la transition énergétique sont aussi sous tension et le recyclage ne sera pas suffisant pour répondre à la demande dans un contexte de croissance. Leur exploitation est aussi responsable de nombreuses pollutions, notamment des eaux.

Pour pallier ces problèmes, encore une fois, une politique de sobriété est nécessaire.

- Pouvez vous expliquer la différence entre les *réserves* et les *ressources* pour une matière première donnée ?
- Combien d'années pourrons nous encore consommer du pétrole si nous continuons au rythme actuel ?
- Qu'est ce qui explique la baisse du taux de retour énergétique dans l'exploitation des combustibles fossiles et des métaux ?
- Pourquoi le recyclage des métaux n'est pas une solution miracle aux problèmes d'approvisionnement ?

Vous voulez aller plus loin ?

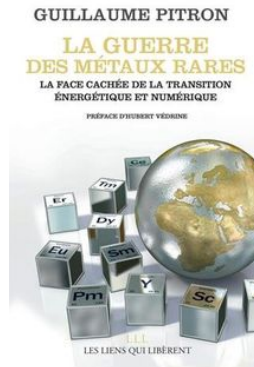
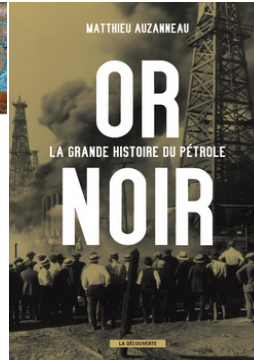
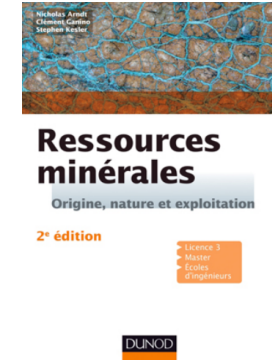


<https://www.brgm.fr/fr>



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

Un peu de lecture?



Jérémie Melleton (Chercheur, BRGM) :

- Sur la route du lithium

<https://www.youtube.com/watch?v=ocZqbwAvYtl>

Aurore Stéphant (Ingénieure géologue minier) :

- L'effondrement : le point critique ?

<https://www.youtube.com/watch?v=vyBG84JQnsg>

Philippe Bihoux (Ingénieur, SNCF) :

- Face à la raréfaction des ressources, quelle innovation pour demain?

<https://www.youtube.com/watch?v=vyBG84JQnsg>

- Le futur, entre 5G et Amish ?

<https://www.youtube.com/watch?v=E7QnwVx2fY0>

Olivier Vidal (Chercheur CNRS) :

- Matières premières et énergie à l'échelle mondiale dans la transition énergétique

<https://www.youtube.com/watch?v=fZMe72JUxIY>

- Ressources : approche systémique

<https://www.youtube.com/watch?v=x4GDszYsKVA>

Les terres rares, par le Réveilleur

<https://www.youtube.com/watch?v=OAyYSIMhgl4>