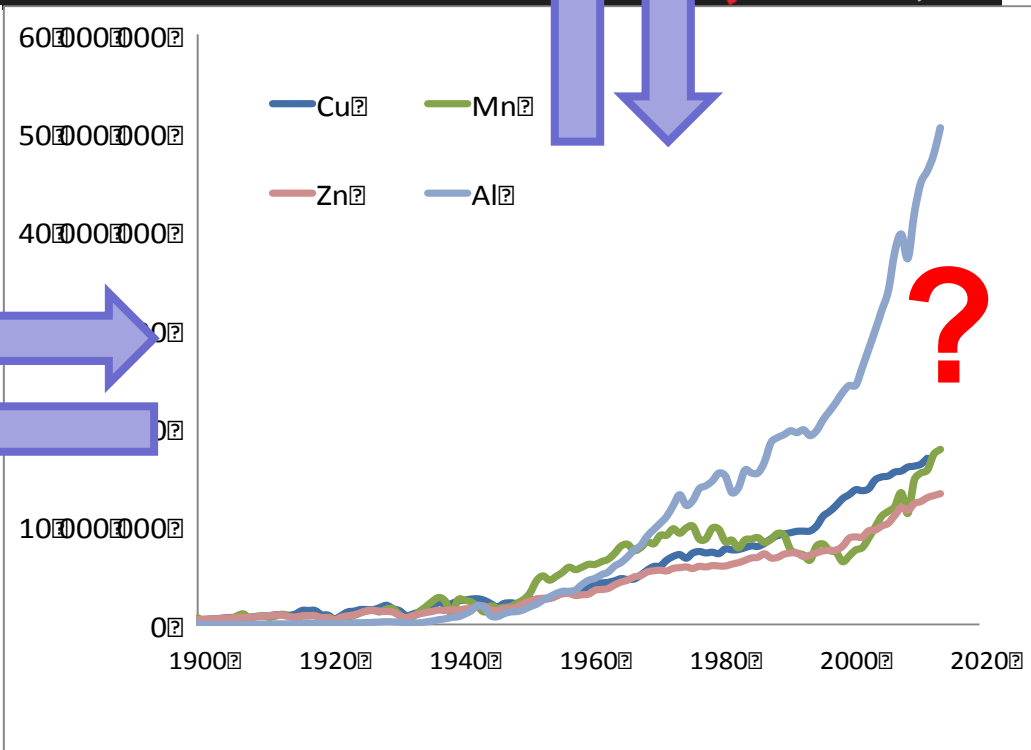
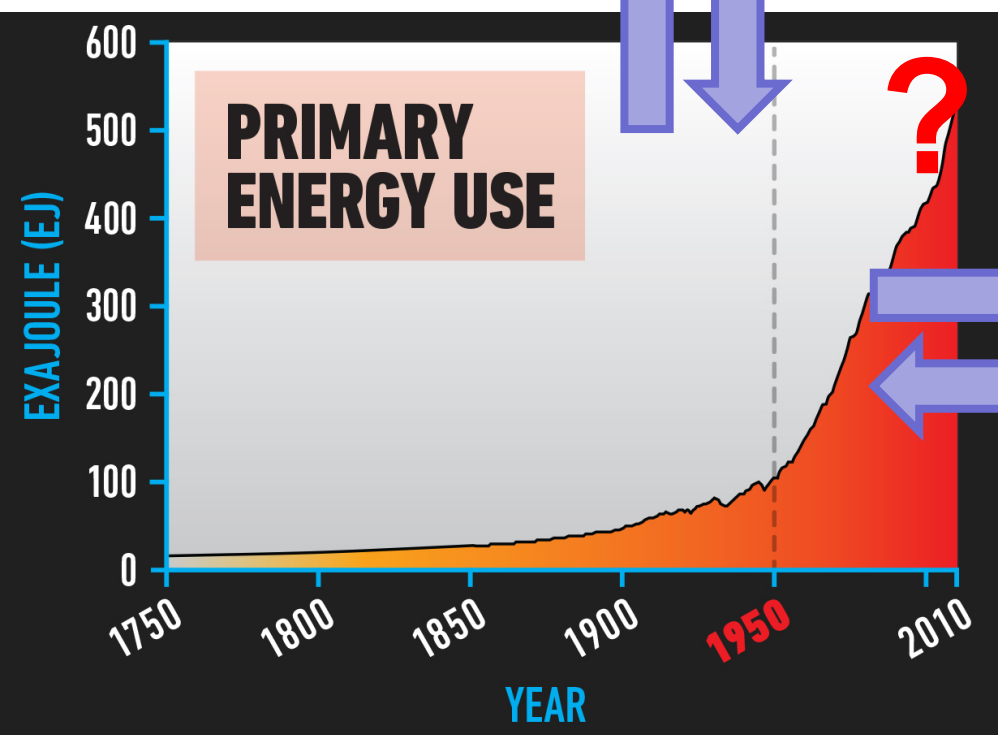
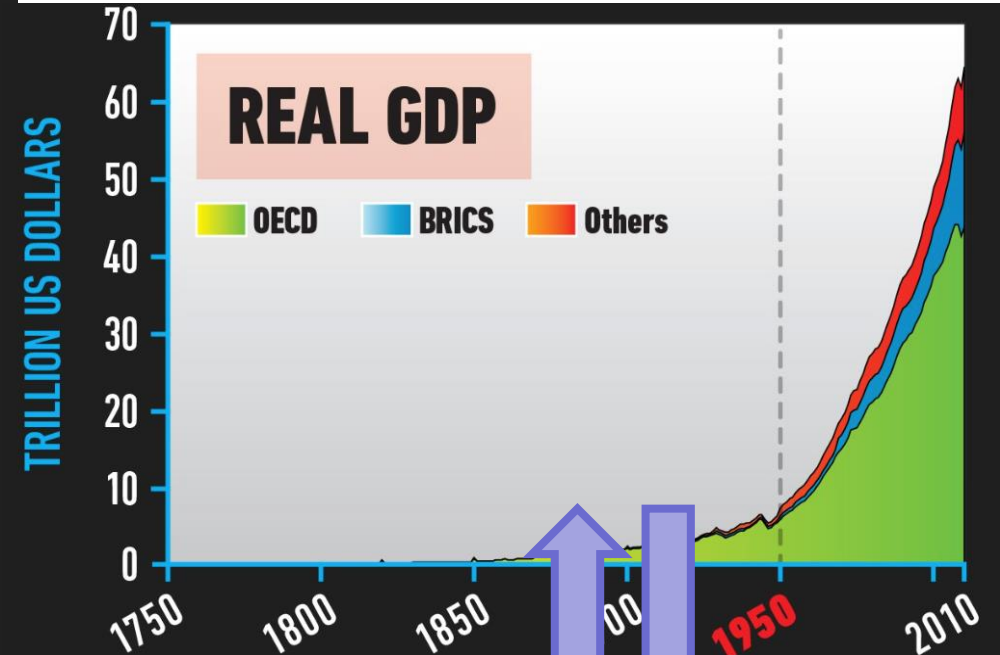
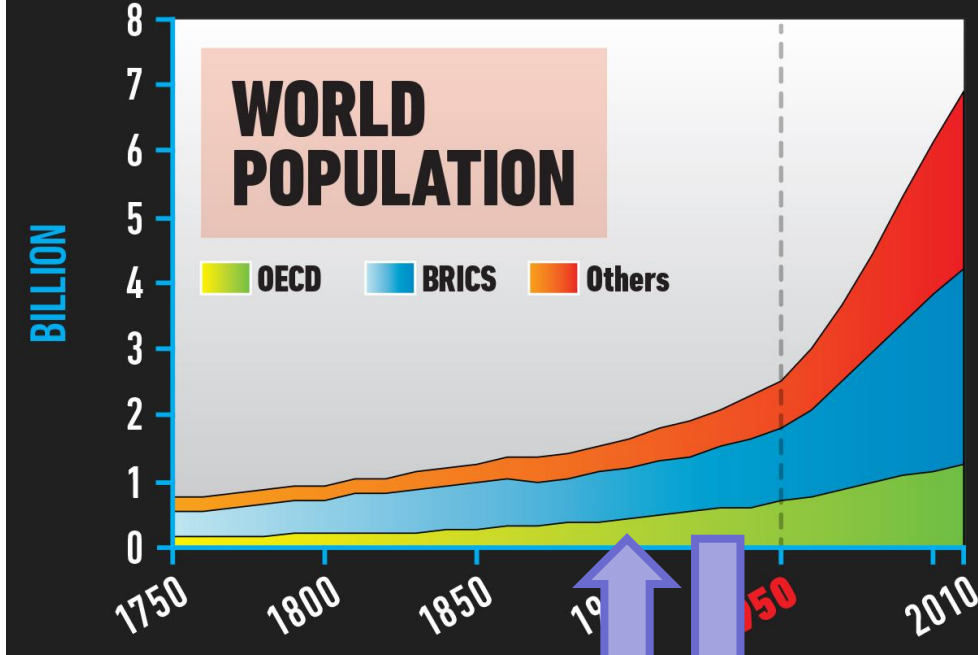


Besoins futurs en matières premières (et énergie)

Un rapide survol des paramètres contrôlant la demande et la production
... qui couvrent des champs disciplinaires (compétences) très variés



Matières de "structure" – Ciment, acier et métaux d'alliage, Al, Cu

$$(1.06)^{12\text{years}} = 2$$

Steel consumption (+ 6%/year 2000-2014)

Steel Consumption by Nation
(million of tonnes)



China - 623.9

USA - 89.1

India - 67.8
Japan - 64.1

South Korea - 56.4

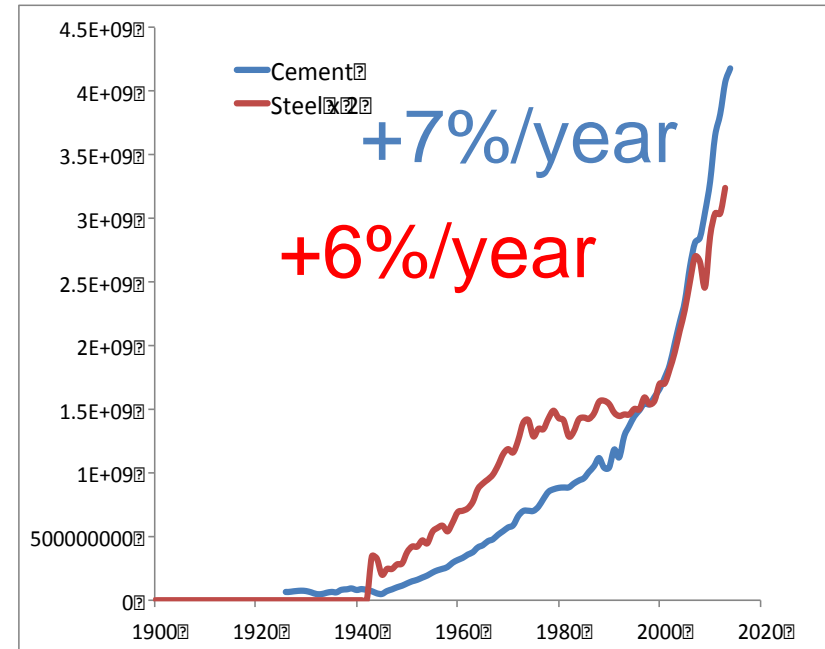
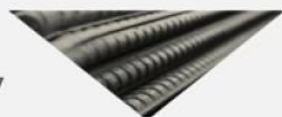
Russia - 40.5
Germany - 39.4

Turkey - 26.9
Italy - 26.7
Brazil - 25
Iran - 19.2

Mexico - 18
Canada - 14.2
France - 13.6
Spain - 13.1
Poland - 11
UK - 9.1

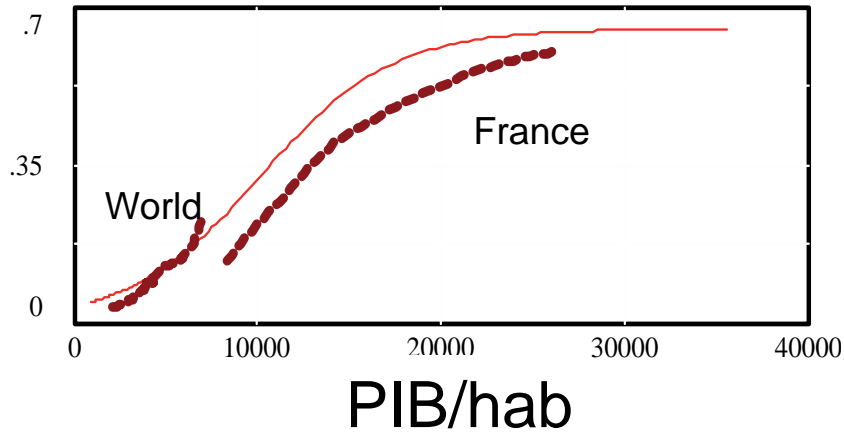
Egypt - 7.3
Australia/NZ - 7
Ukraine - 6.5

South Africa - 5.3
Argentina - 5.3
Belgium - 4.6
Sweden - 3.9
Austria - 3.9
Netherlands - 3.7
Romania - 3.3
Venezuela - 2.6

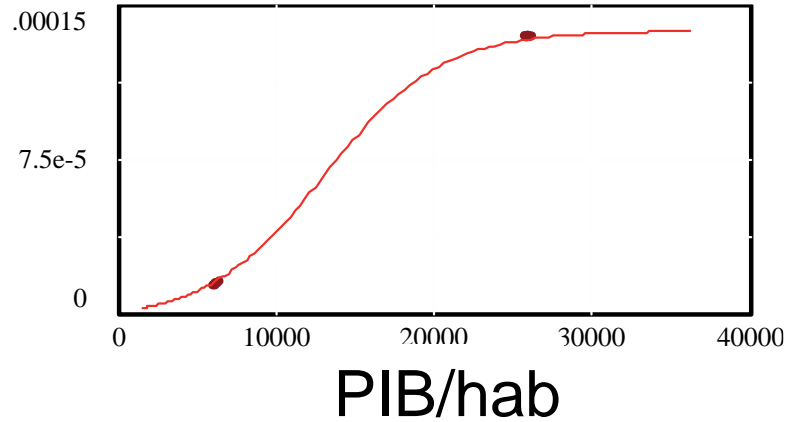


Evolution logistique de la demande "classique"

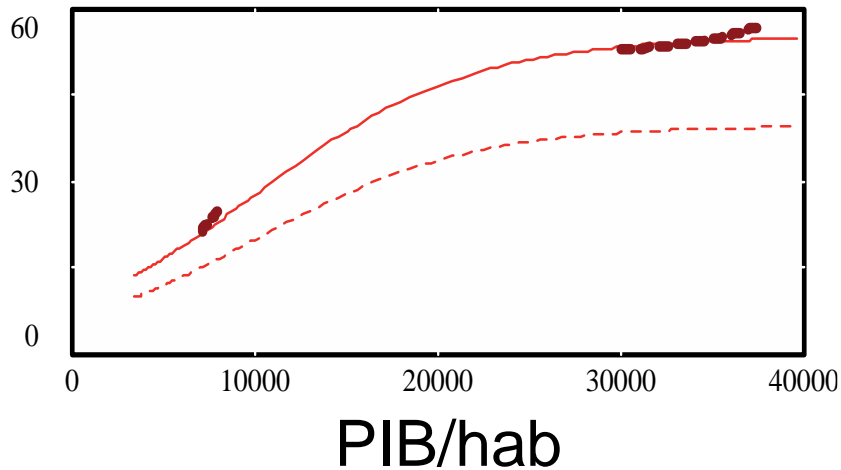
Automobiles/hab



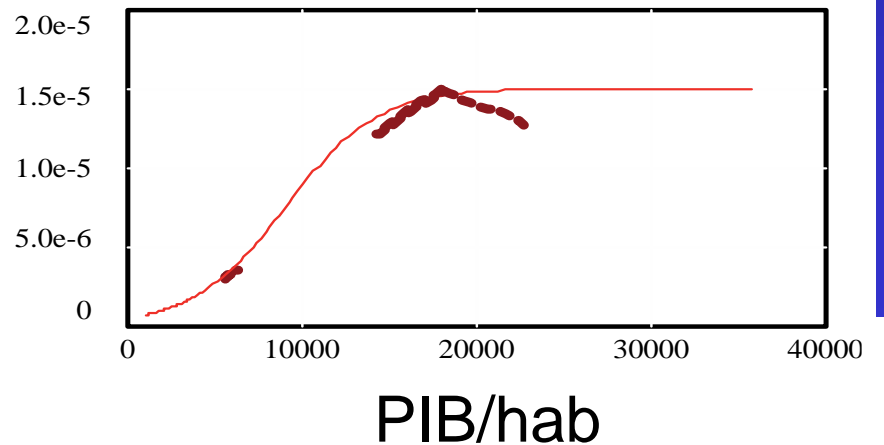
Locomotives/hab

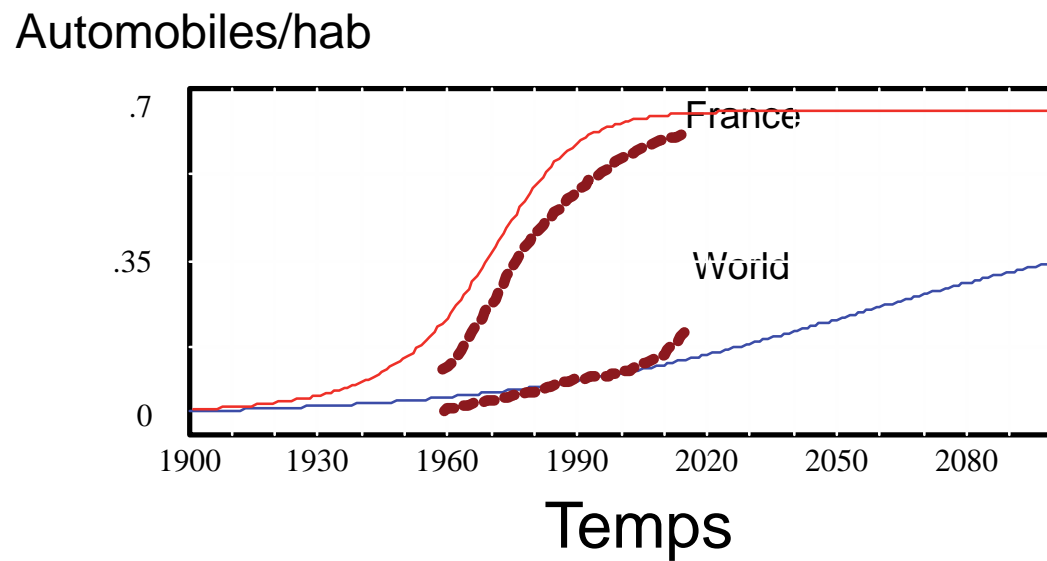
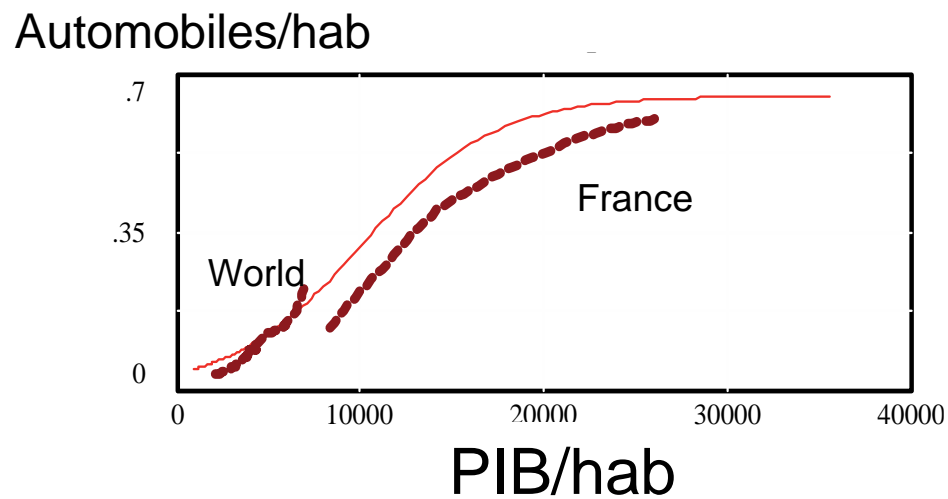
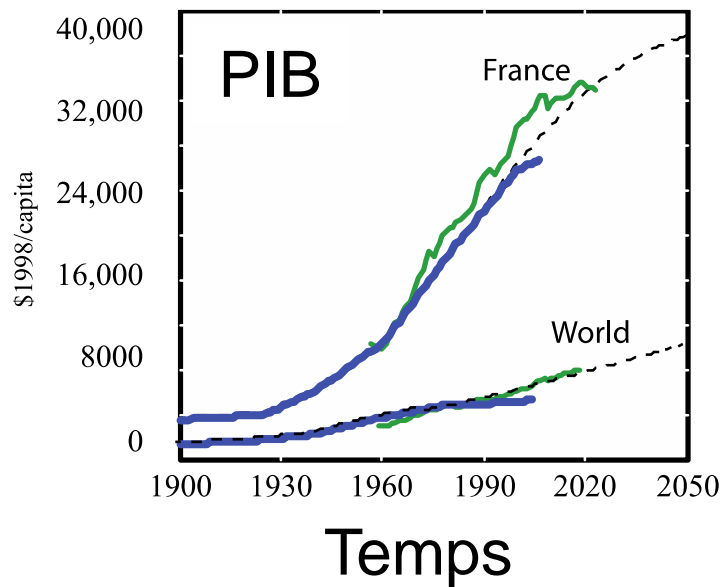


m2/hab

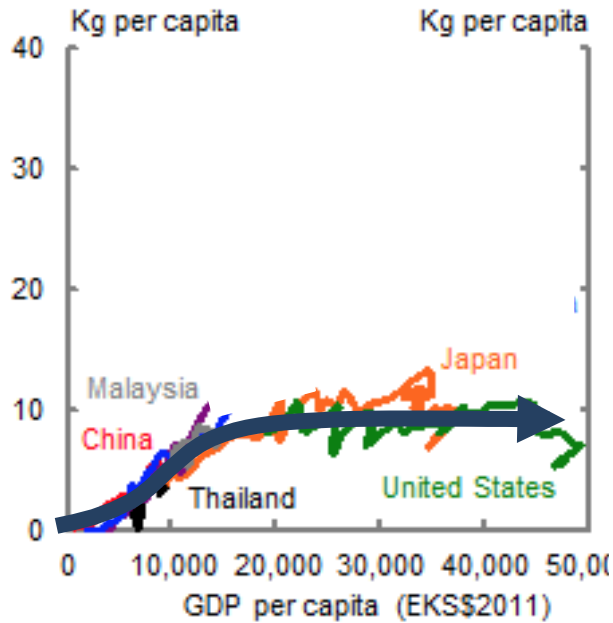


Avions/hab

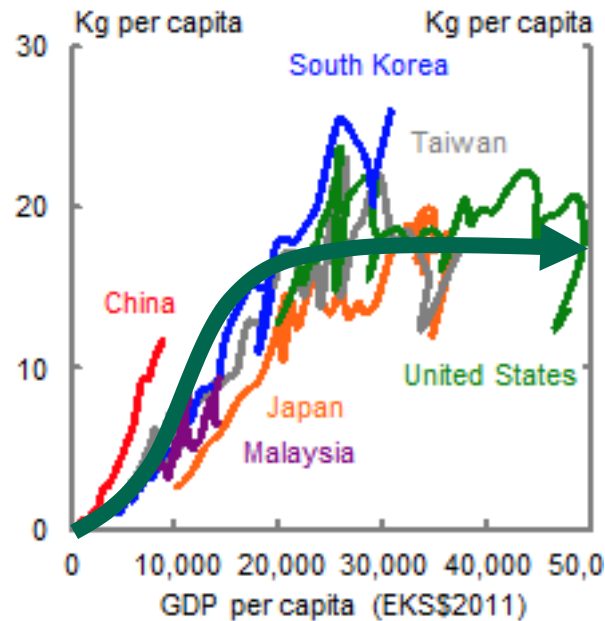




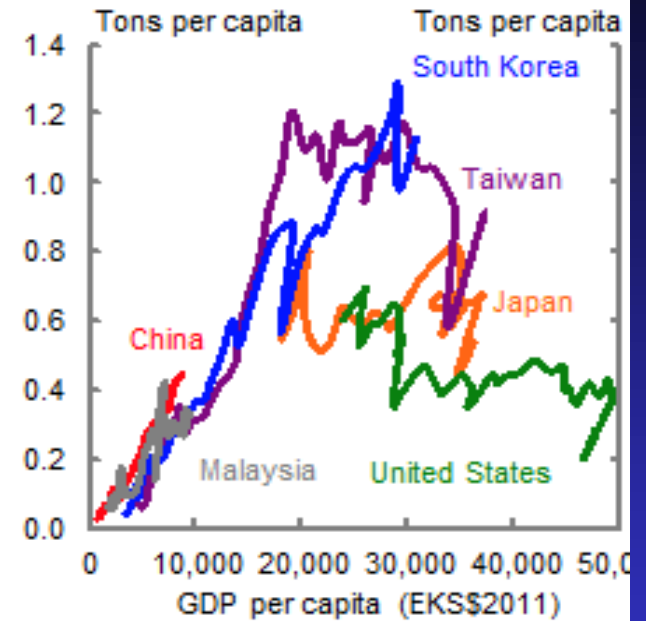
Copper



Aluminum

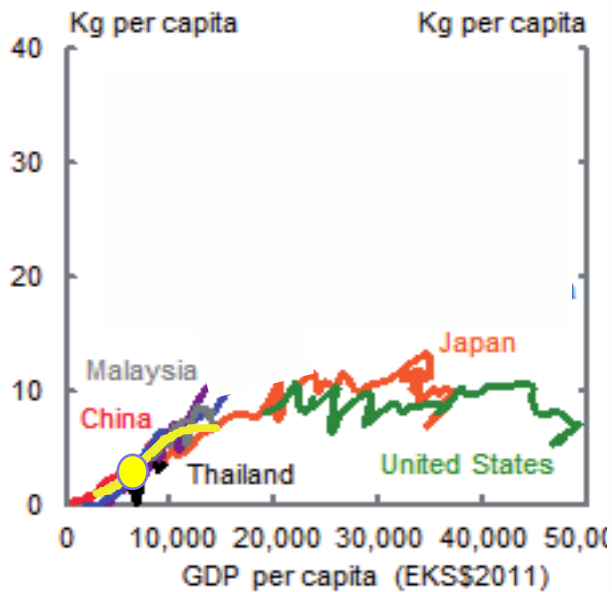
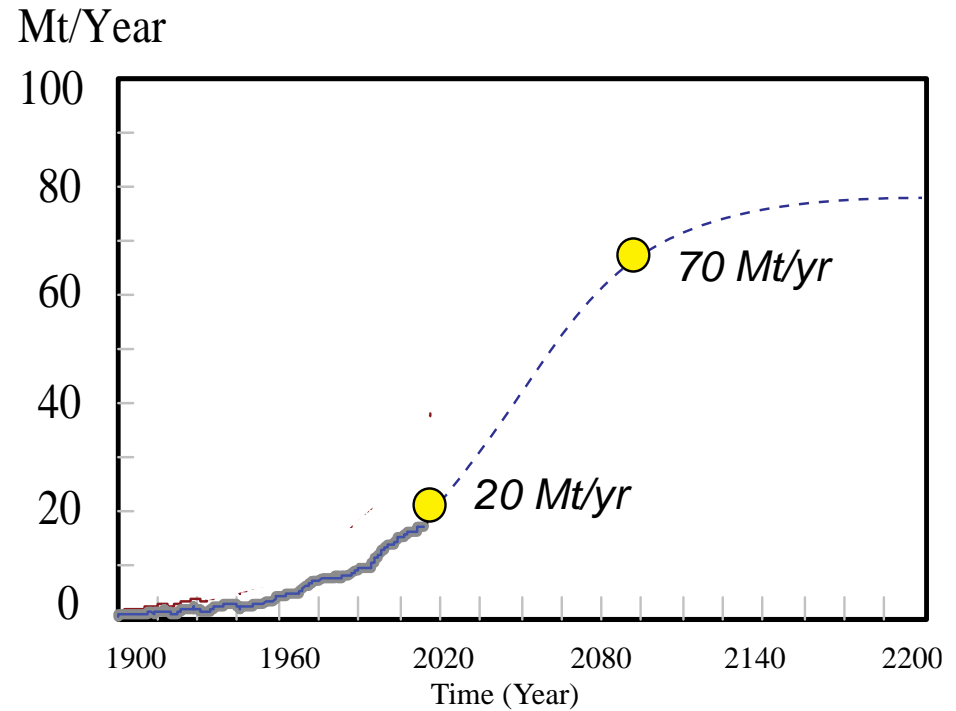
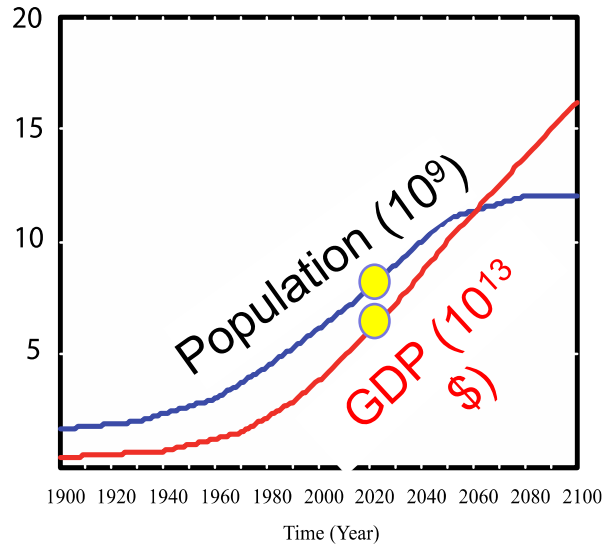


Steel



Une croissance exponentielle de la **production** ne peut pas durer indéfiniment ... celle de la **demande** non plus !

Le futur de la demande globale en cuivre = f(PIB, population)



44 en 30 ans
130 en 80 ans
272 en 180 ans



Kennecott Copper Mine (Utah) $3.2 \times 1.2 \times 1.2 \text{ km}^3$.



Since 1906, six billion tons of rocks have been removed from this pit to extract **18 million tons copper** – equivalent to one year of global primary Cu production

Les impacts environnementaux engendrent l'opposition sociale

The Guardian: 30/03/2017

El Salvador makes history as first nation to impose blanket ban on metal mining

PRESS RELEASE: Colombians threatened with death for opposition to mega-mining project as defenders visit UK

Ecuador's rising opposition to mining may thwart exploration boom – by Cecilia Jamasmie (Mining.com – January 6, 2019)

January 7, 2019 in Canadian Media Resource Articles, Copper, Gold and Silver, Latin America Mining, Mining Conflict and Opposition

The Chilean government is taking on a U.S. mining company in a spat that could rattle the electric-car industry.

Financial Time: 17/02/2019

Australian coal industry jolted as 'climate change' ruling blocks mine

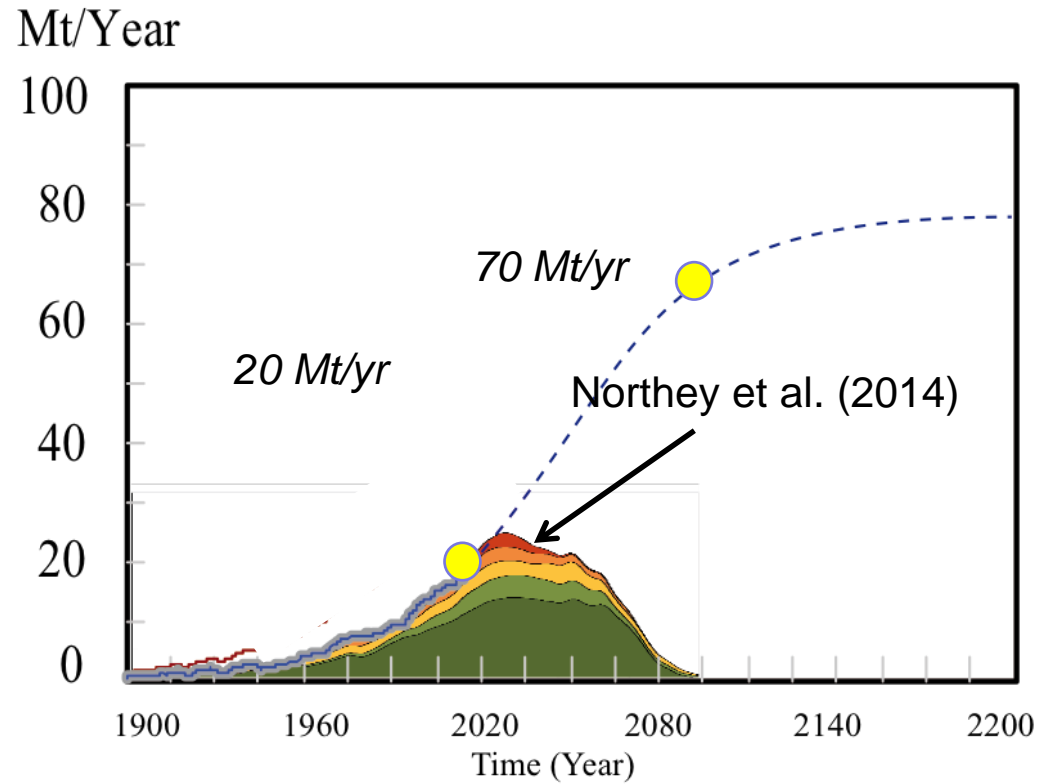
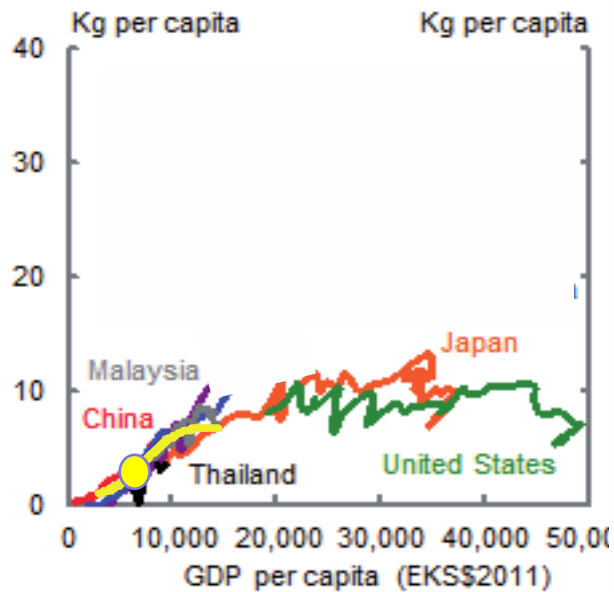
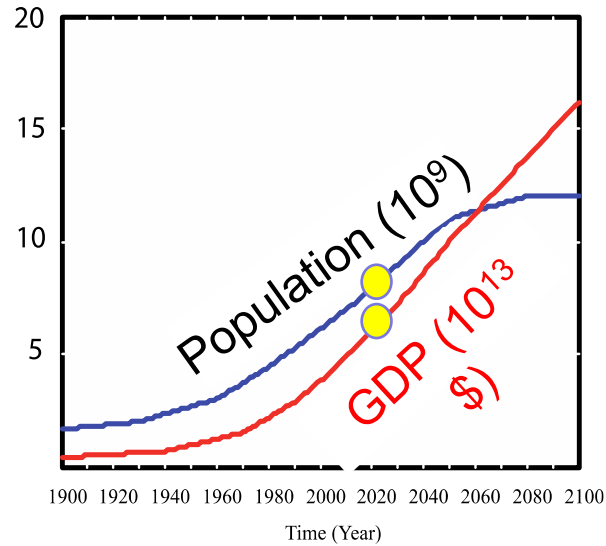
Penhalonga and Tsvingwe Community Opposition to Destructive Mining Impacts

PNG government rethinking China mining deal after opposition

Mining Technology: 17/01/2017

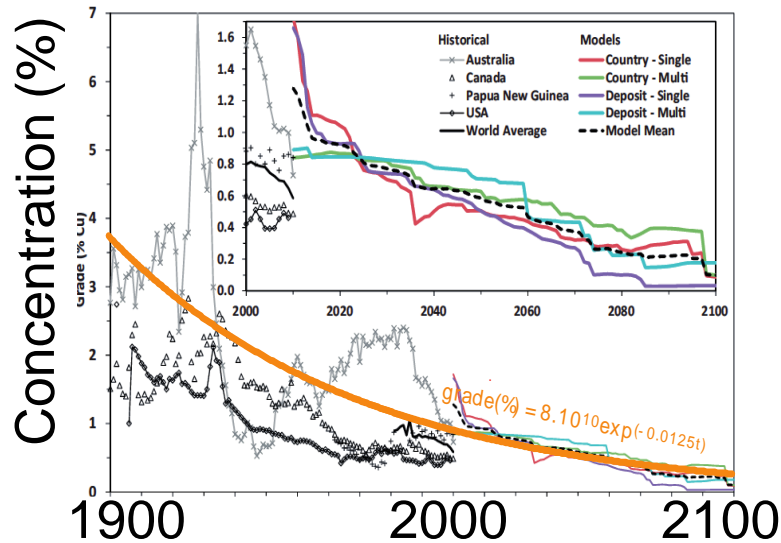
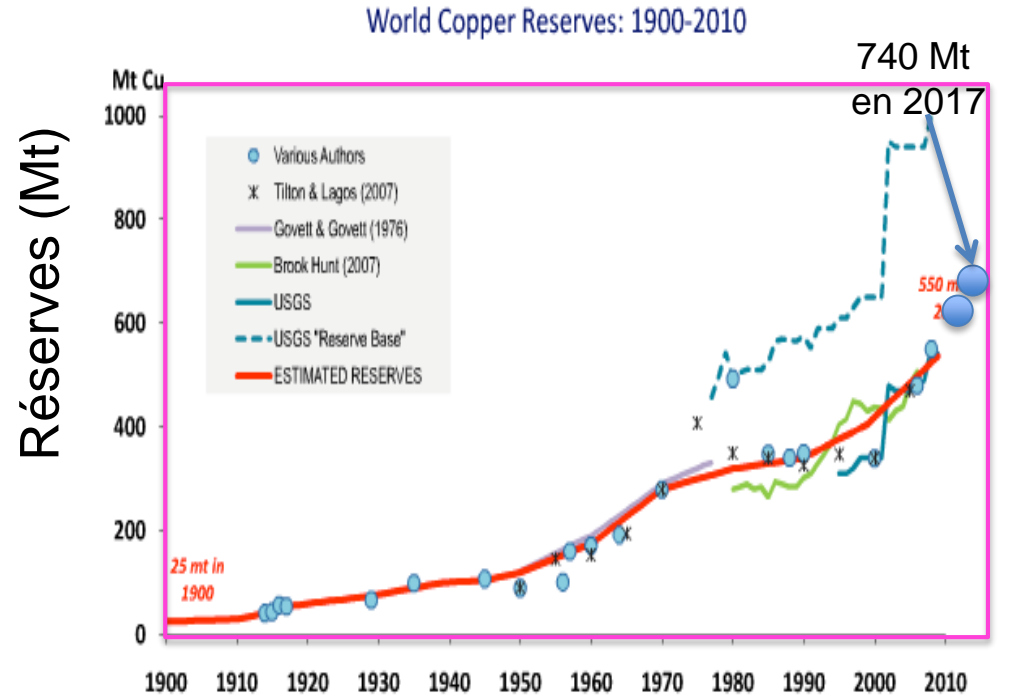
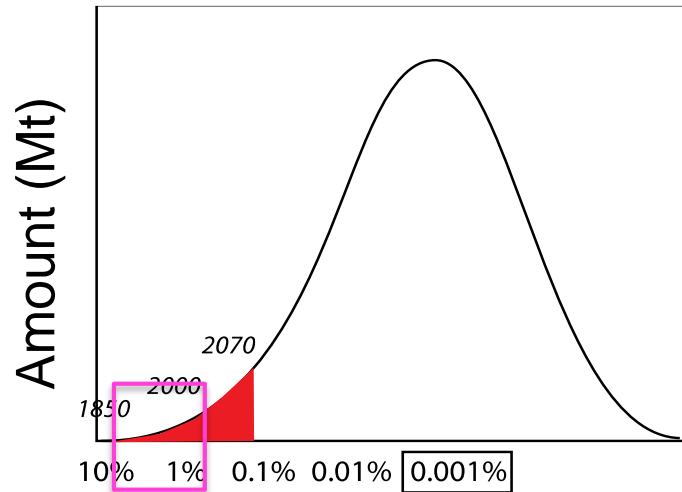
While in Africa, formerly considered one of the continent's brightest mining prospects, investment in Tanzania's mining industry has slowed due to a crackdown on firms by the government as it attempts to reap greater benefits from the sector.

Le futur de la demande globale en cuivre = f(PIB, population)



Pourquoi ?

Les réserves n'ont cessé d'augmenter depuis 1900...

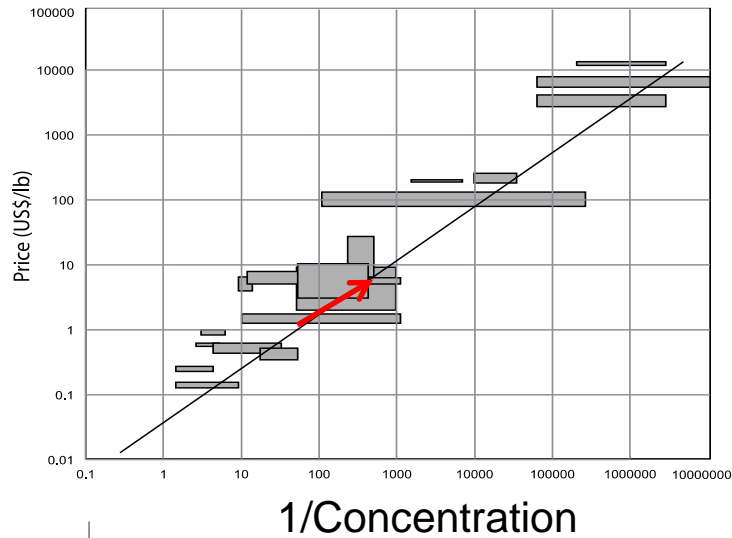


Sources: Various
MinEx Consulting March 2010

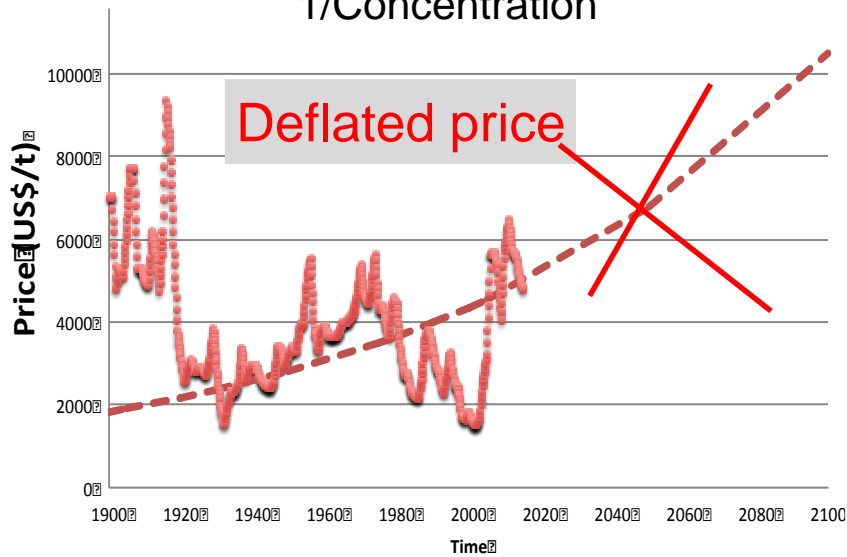
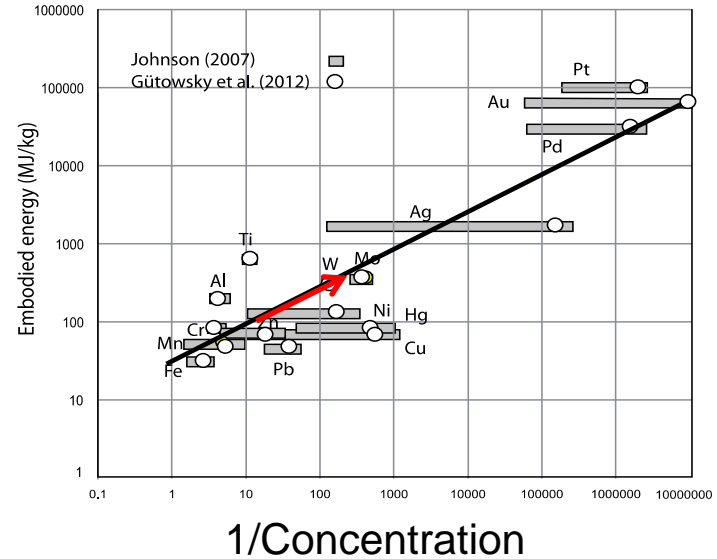
Oui mais...

Contrainte additionnelle : Le coût

$$\text{Prix} = a \cdot (1/C_{\text{metal}})^u$$

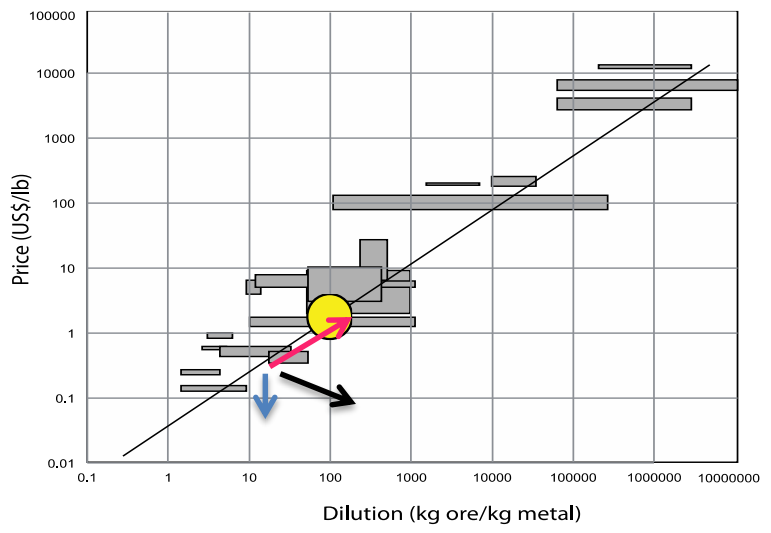


$$\text{Energie} = b \cdot (1/C_{\text{metal}})^v$$



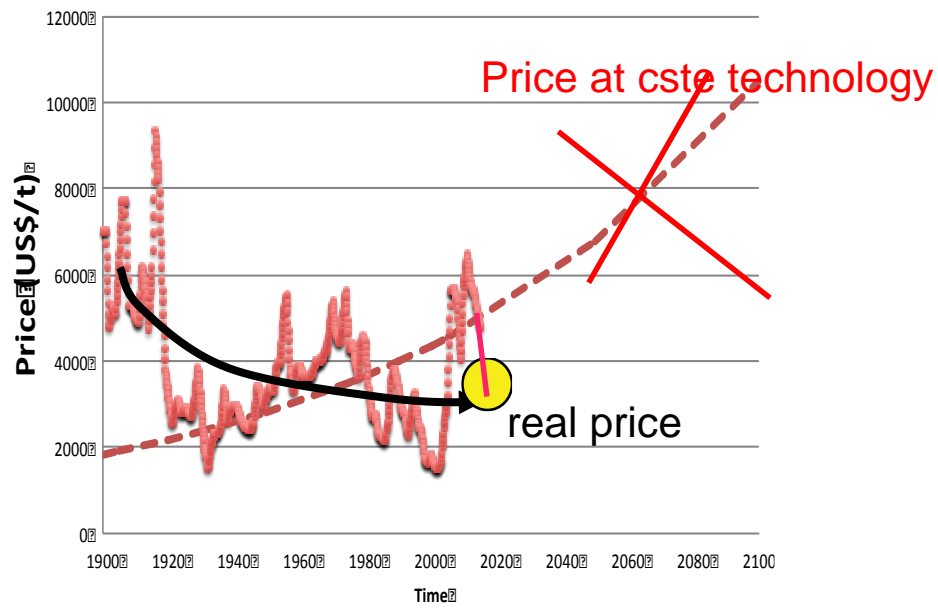
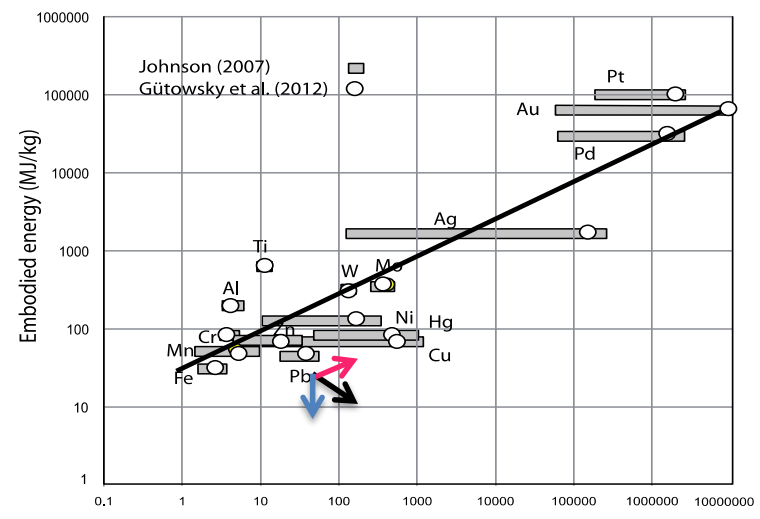
Time

$$\text{Prix} = a \cdot (1/C_{\text{metal}})^u$$

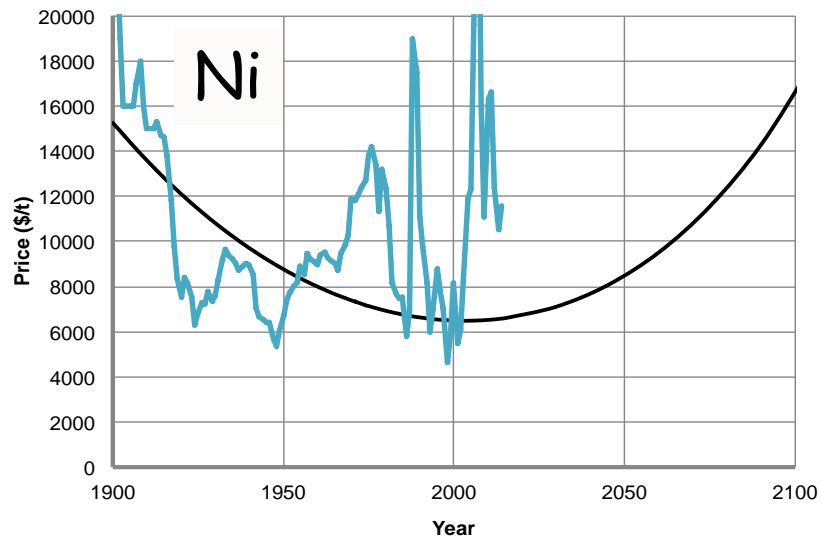
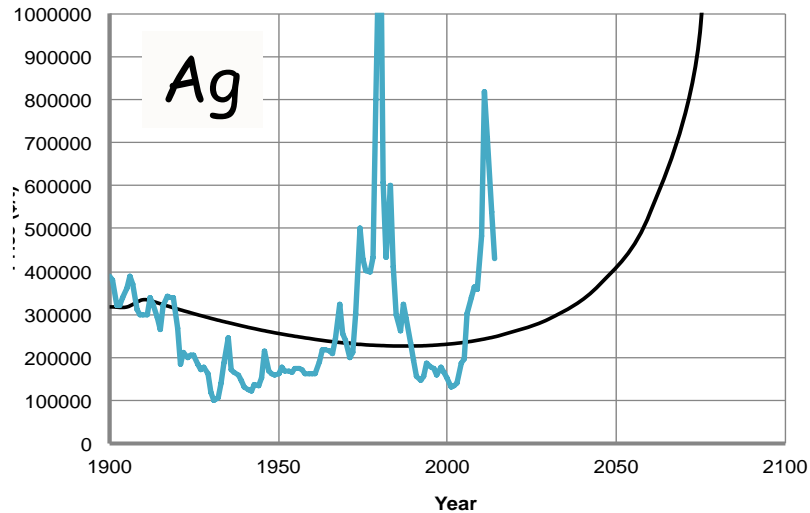


Price vs time

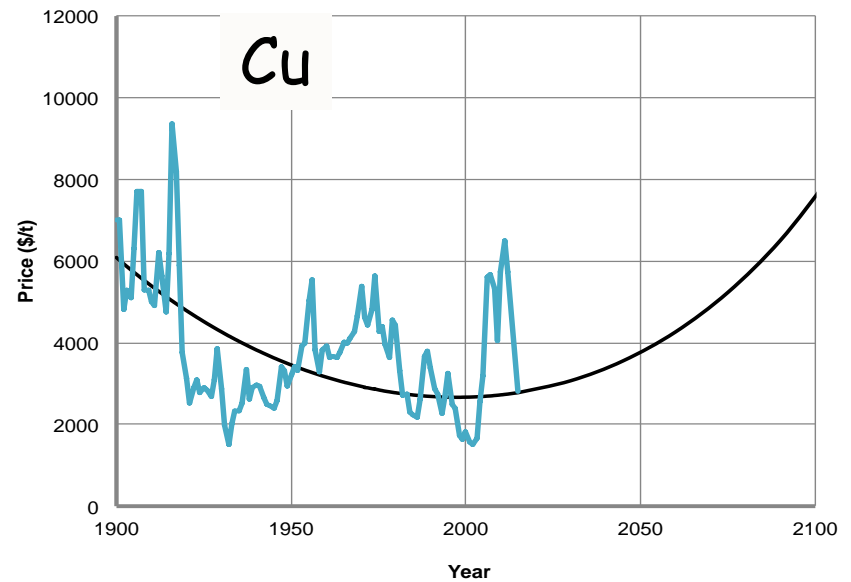
$$\text{Energie} = b \cdot (1/C_{\text{metal}})^v$$



Progrès
technologique

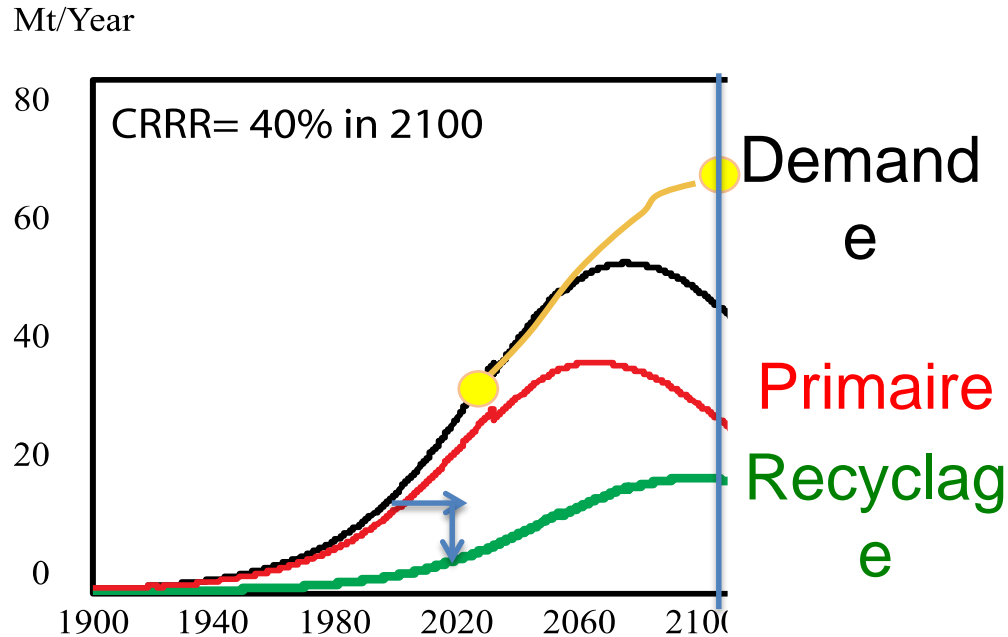


A taux d'amélioration
technologique constant, on ne
compense plus la dégradation
des gisements après 2020...
l'énergie grise, les coûts et prix
augmentent



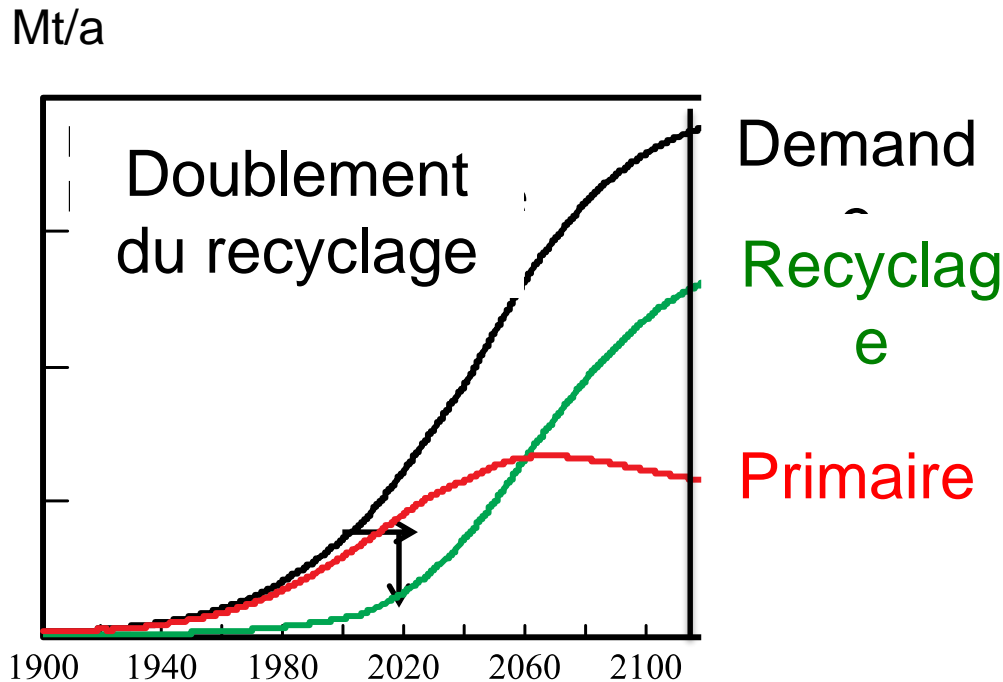
Regarder sur le long terme !

Si on ne peut pas compter sur la production primaire, recyclons... (Cuivre)



Durée de vie = 20 ans, taux de recyclage constant

Si on ne peut pas compter que sur la production primaire, recyclons... (Cuivre)



Il faut doubler le taux de recyclage d'ici 2100

Dépend du coût du recyclage/prod. primaire (design et process)

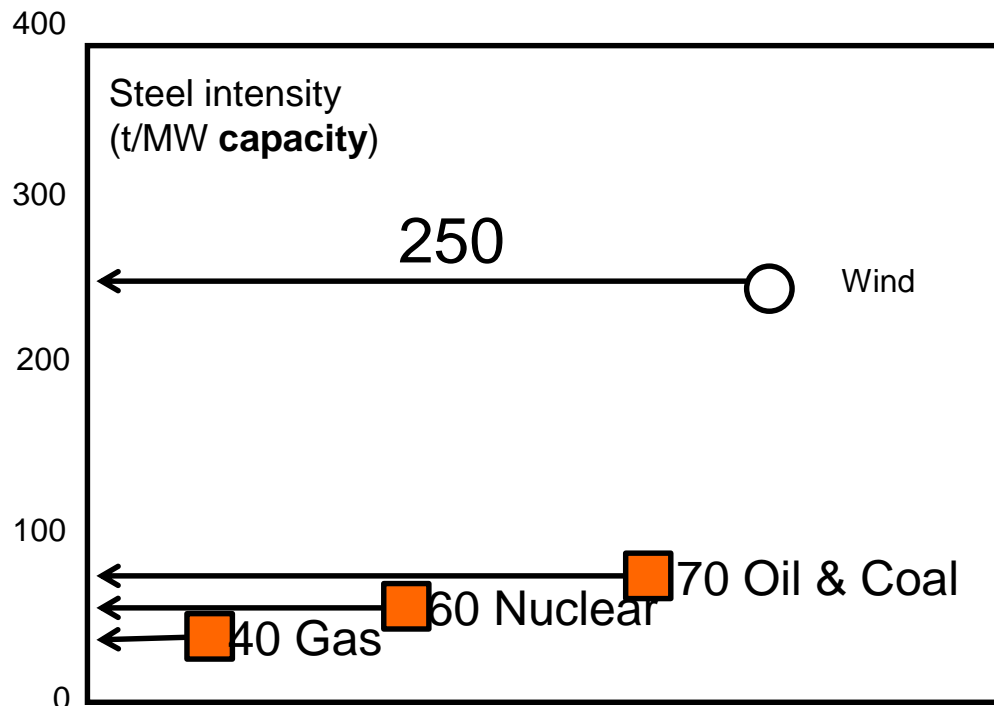
Les *nouveaux* besoins... e.g. la transition énergétique

Les accords de Paris : 30% de renouvelable et atteinte de la neutralité carbone dans la seconde moitié du siècle. Cela implique :

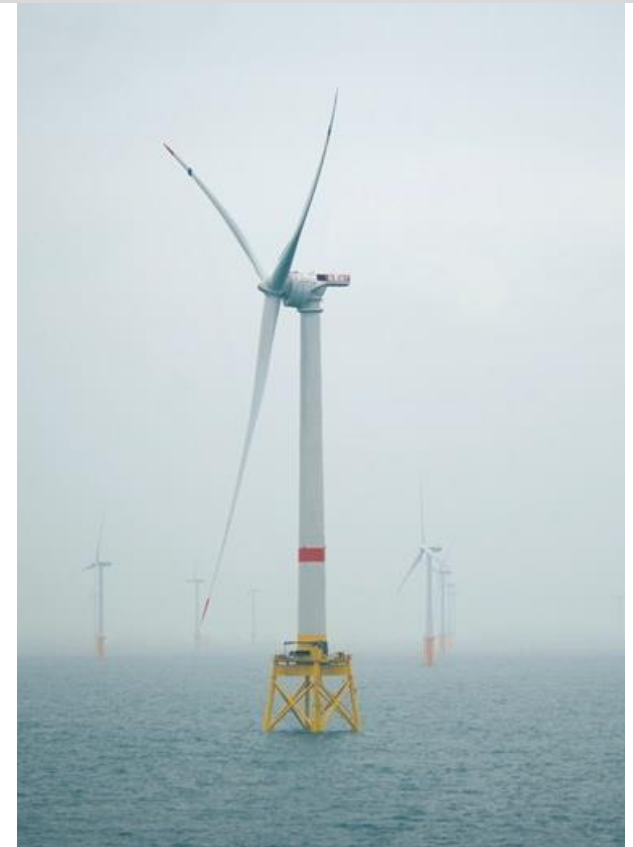
- de remplacer en 40 ans l'infrastructure de production, distribution, stockage et utilisation de l'énergie fossile
- de remplacer une énergie de stock et de haute qualité par des énergies de flux, intermittentes et diluées

Les énergies renouvelables sont diluées => de grandes infrastructures sont nécessaires

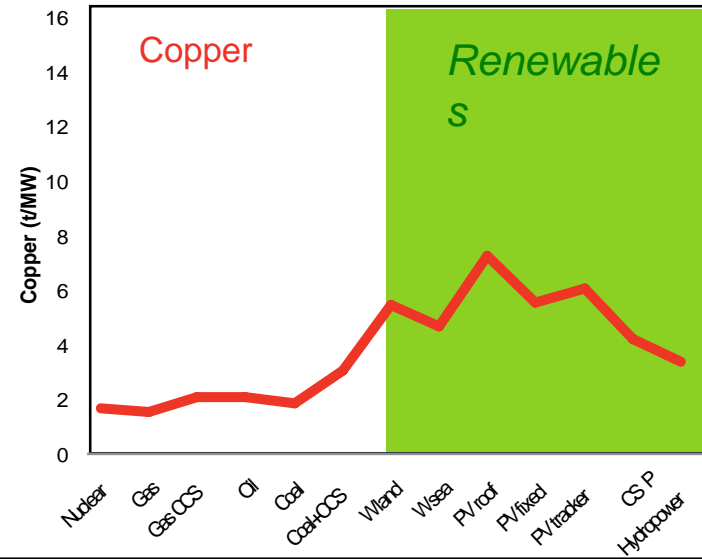
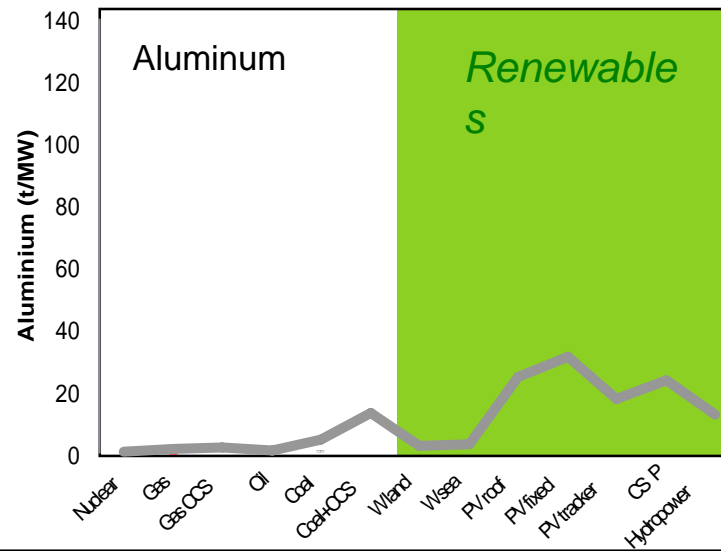
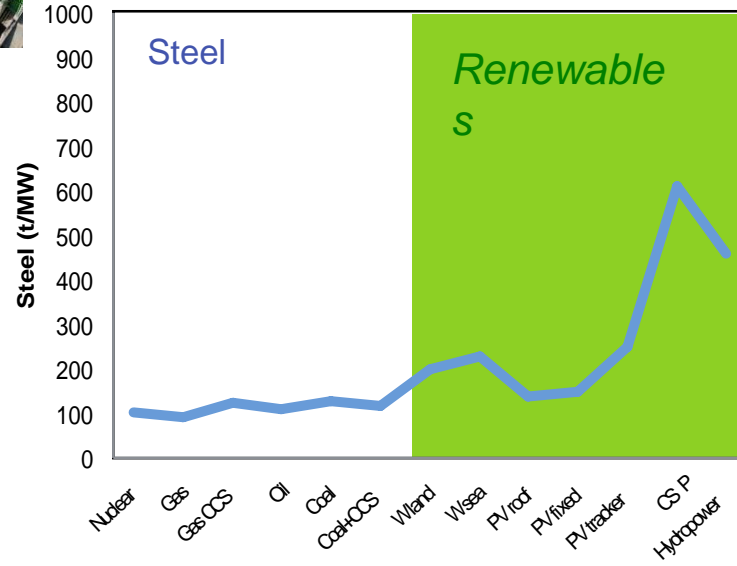
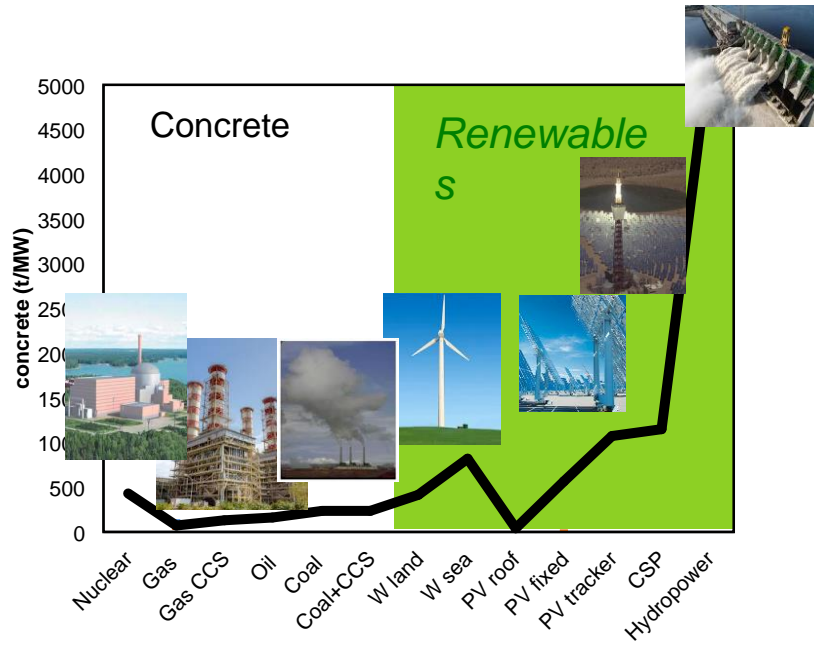
6 Mw, > 150 m, 1500 t steel
3t permanent magnet, 0.5t REE
(Nd, Dy, Sm, Gd, or Pr)



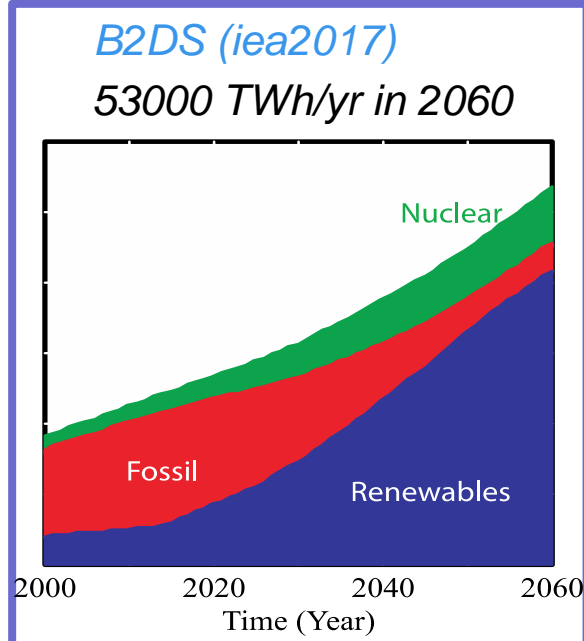
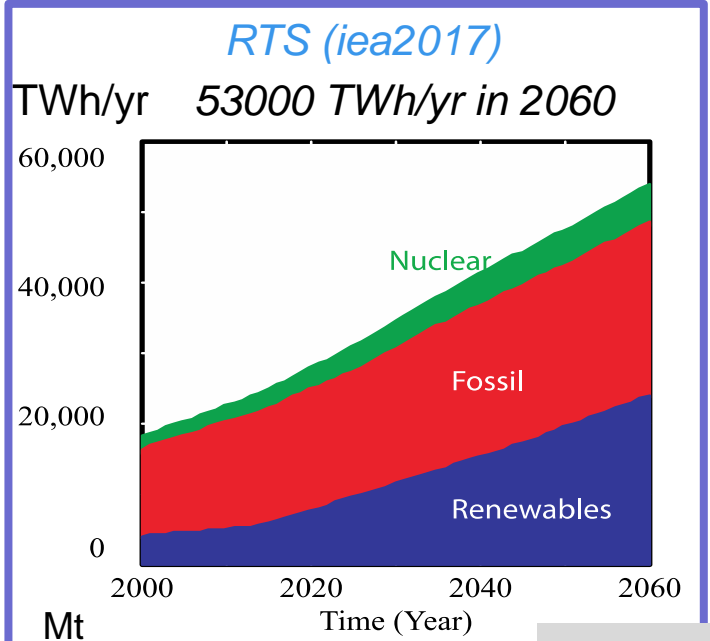
700 éoliennes pour produire la même énergie (Wh) qu'une centrale nucléaire de 1300 MW



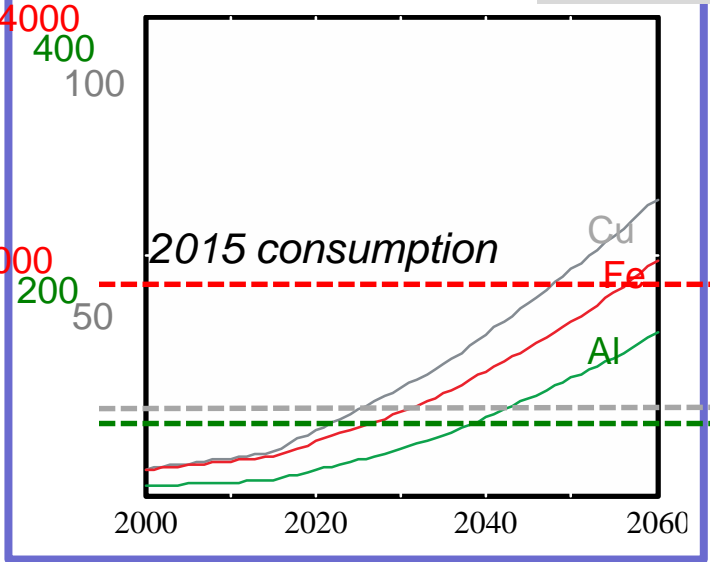
Les intensités matière de la production d'électricité (t/Mw)



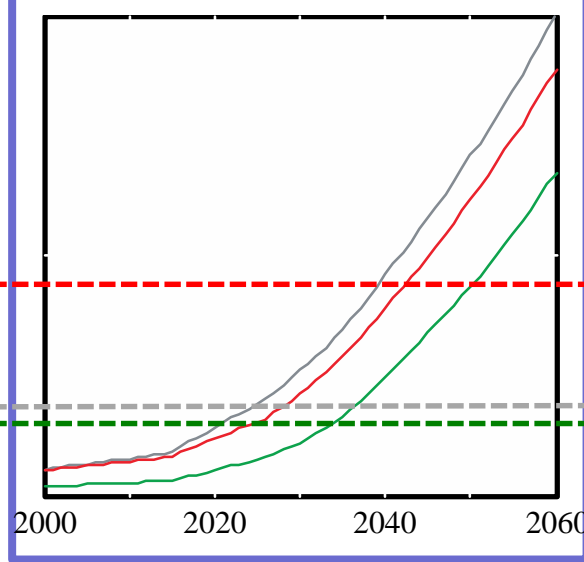
Production d'électricité



Besoins cumulés

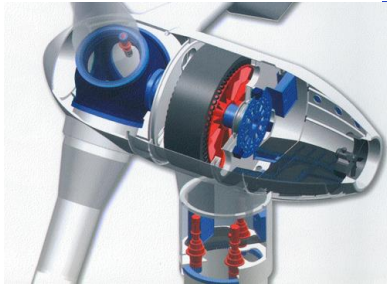


3 (Cu)
 1 (Fe)
 2 (Al)



6 (Cu)
 2 (Fe)
 4 (Al)

Les **nouveaux** usages... "High-Tech" metals (≈ 0.1 Mt/an)



Ga, In, Se

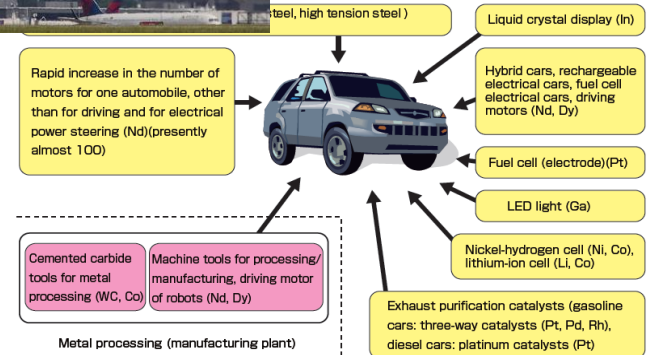
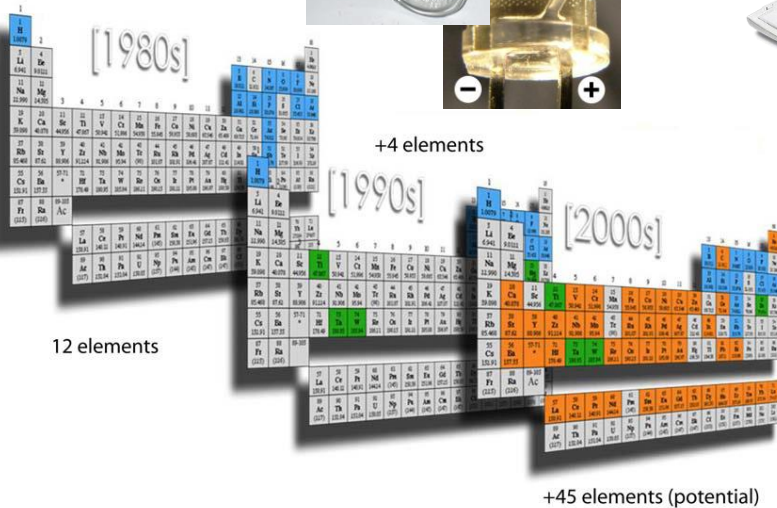
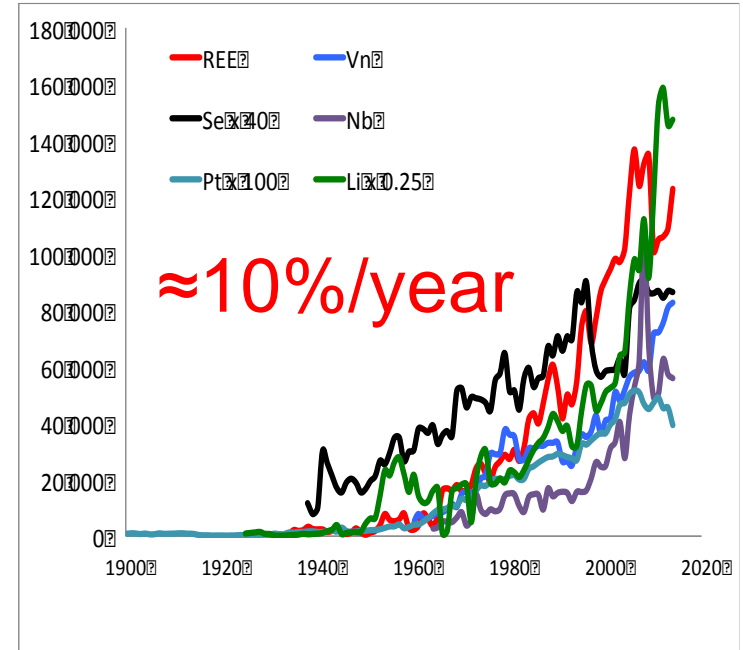


Li, Mn, Ni, Co, Graph

B, Nd, Dy



Co, Ga,
In, Nb,
Ta, W,
PGE, REE,
Cu, Ni, Pb, Bi
Li, Ag, Au



De *nouveaux* besoins pour de *nouvelles* technologies

Véhicule thermique: Cu = 20 kg; Véhicule électrique: Cu = 60-80 kg

Batterie 50 kWh

=> Li: 10 - 20 kg (100 kWh Tesla), Ni: 30 kg, Co: 10 kg, Mn: 10 kg, graphite: 50 kg

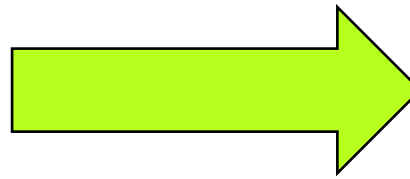
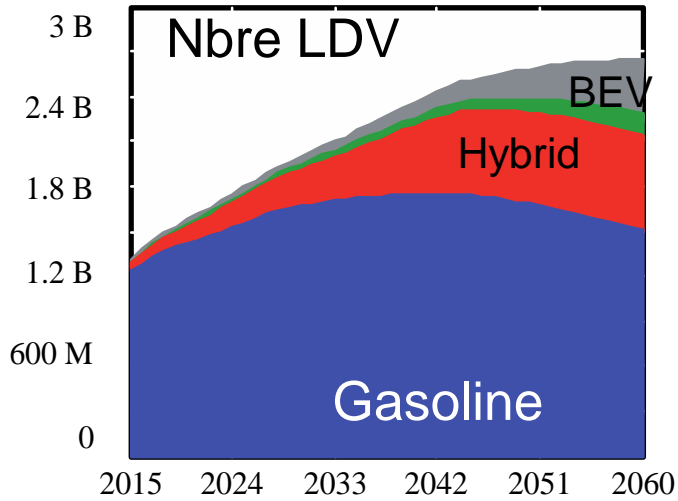
Batterie PHEV (NiMH)

REE: 10 kg – Prius

x $1.3 \cdot 10^9$ d'automobiles aujourd'hui, environ $3 \cdot 10^9$
en 2050 (iea)

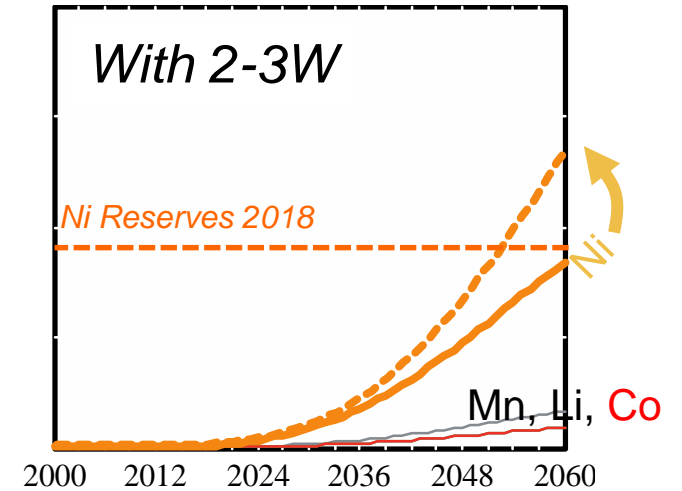
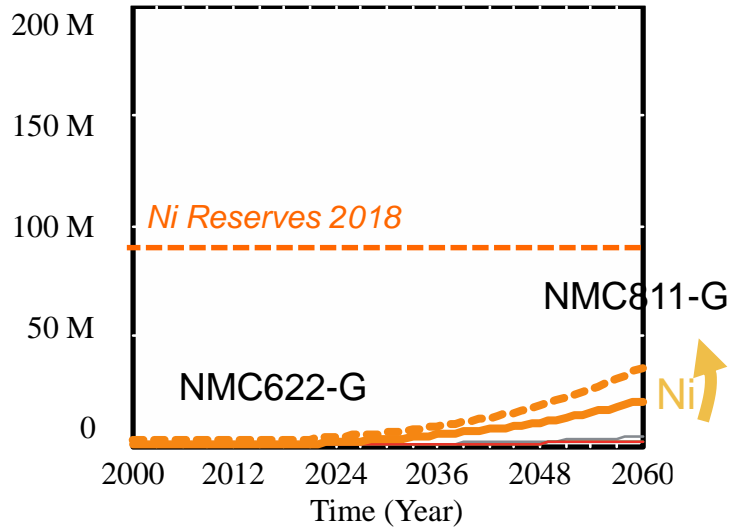
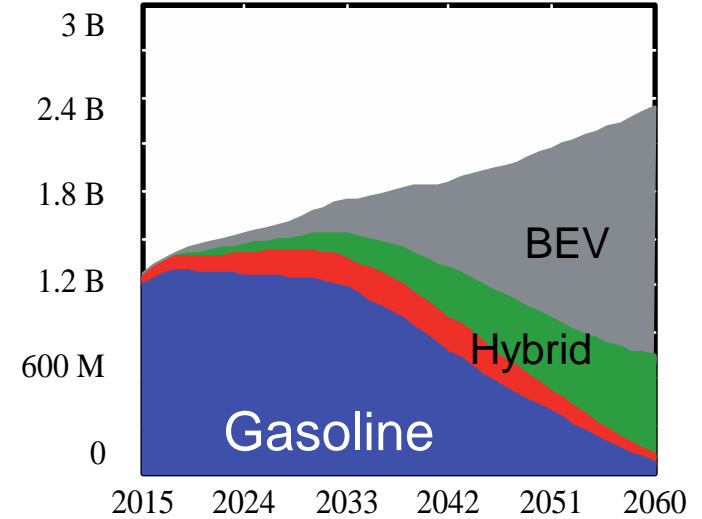
Cela dépend des scénarios envisagés...

RTS (iea2017)



More high-tech metals for less vehicles

B2DS





Métaux : les besoins colossaux de la transition énergétique

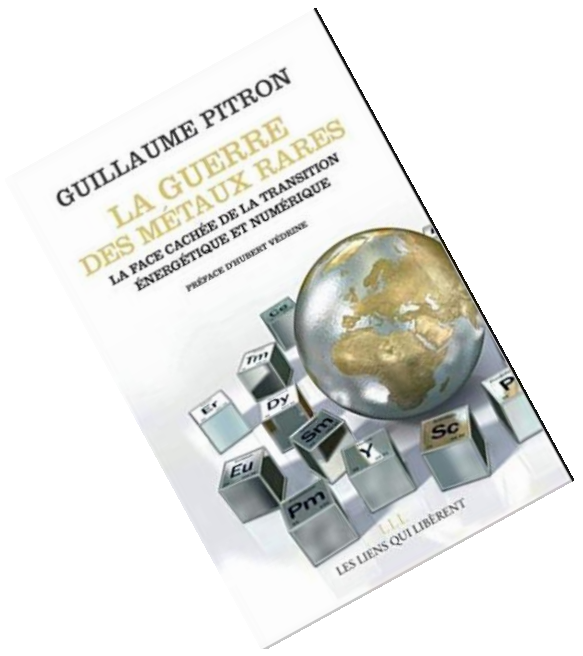
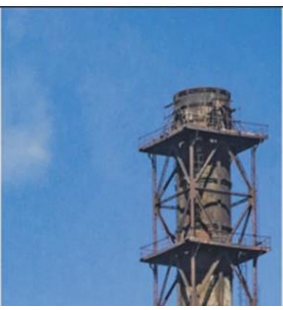
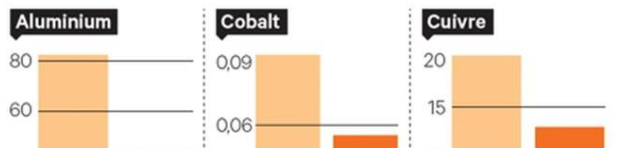
Les technologies requises pour limiter le réchauffement du climat feront grimper la demande de ressources naturelles. C'est, selon la Banque mondiale, un risque majeur pour l'environnement.

Lire plus tard 07 Twitter Facebook LinkedIn Commenter

Aperçu de la demande de métaux engendrée par la transition énergétique à l'horizon 2050

En millions de tonnes selon les scénarios.

Réchauffement de 2° de 4°



Le boom des batteries va entraîner une ruée sur les métaux critiques

Dans un monde 100 % véhicule électrique, la demande de lithium serait multipliée par trente, celle de cobalt par vingt. Pour y répondre, les mines manquent.

Panasonic va réduire de moitié le cobalt présent dans ses batteries

Un minerai essentiel, mais qui coûte cher

Publié le 15/07/18 à 12h31

Panasonic va réduire de moitié la teneur en cobalt de ses batteries. Le japonais a pris cette décision face à l'explosion du prix de ce minerai rare, actuellement essentiel dans la composition des cellules destinées à la fabrication de batteries.



Un nouveau processus pour recycler proprement les batteries au Lithium

Une bonne nouvelle pour la planète !

PAR LÉO TOUSSAINT - @LEOTOUSS - 1 FÉVRIER 2018



Un nouveau processus de recyclage des batteries d'ordinateur et smartphone vient de voir le jour. Il permet de donner une seconde vie aux composants principaux de la batterie en utilisant la moitié de l'énergie nécessaire des processus actuels.

LA QUOT
NUMÉ

Recevez chaque
futur du numér

Votre adresse

S'A

LES F

WeFind :
pour obt
compte !

Autres technologie d'accumulateurs à Lithium **sans** cobalt : Lithium iron phosphate (LFP), lithium manganese oxide (LMO) and lithium titanate (LTO)

Autres technologies que les accumulateurs à Lithium (e.g. sodium)

Les industriels mettent la pression sur les politiques



Business Markets World Politics TV More



3 potential scenarios for the future of oil demand
An analysis of the driving factors and the impact on key sectors.
[View 3 scenarios](#)

DAVOS MAY 3, 2019 / 12:03 PM / A MONTH AGO

Exclusive: Tesla expects global shortage of electric vehicle battery minerals -sources

Ernest Scheyder

3 MIN READ



WASHINGTON (Reuters) - Tesla Inc expects global shortages of nickel, copper and other electric-vehicle battery minerals down the road due to underinvestment in the mining sector, the company's global supply manager for battery metals told an industry conference on Thursday, according to two sources.

 BENCHMARK
MINERAL
INTELLIGENCE | BLOG

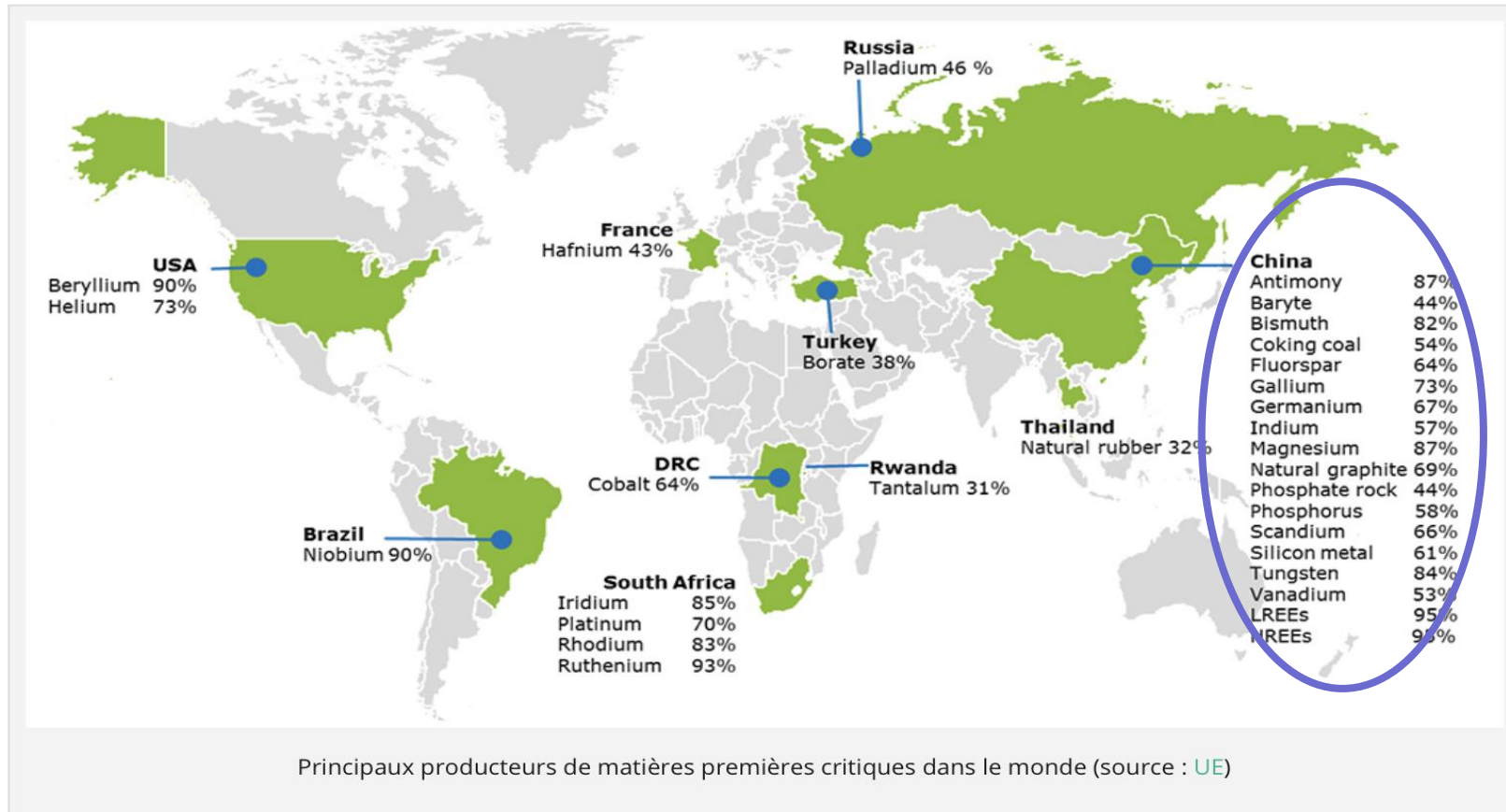


US SENATOR MURKOWSKI LAUNCHES AMERICAN MINERAL SECURITY ACT AT BENCHMARK MINERALS SUMMIT IN WASHINGTON DC

© 5th May 2019 [Uncategorised](#) [Benchmark Mineral Intelligence](#)



En septembre 2020, l'UE dévoile son plan d'action pour sécuriser son approvisionnement en matières premières "critiques"



Matières "critiques" en Europe : Super alliages (aéronautique), aimants permanents, batteries, numérique et communication... rien pour les applications "vitales" (habitat, transport, machinerie lourde)

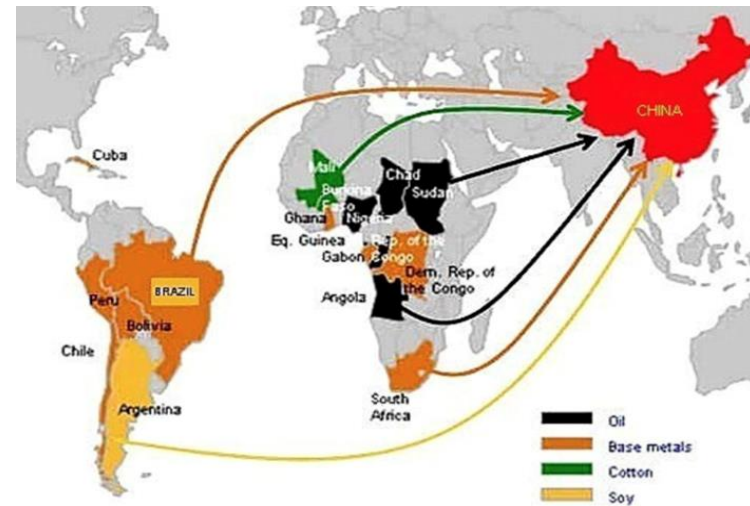
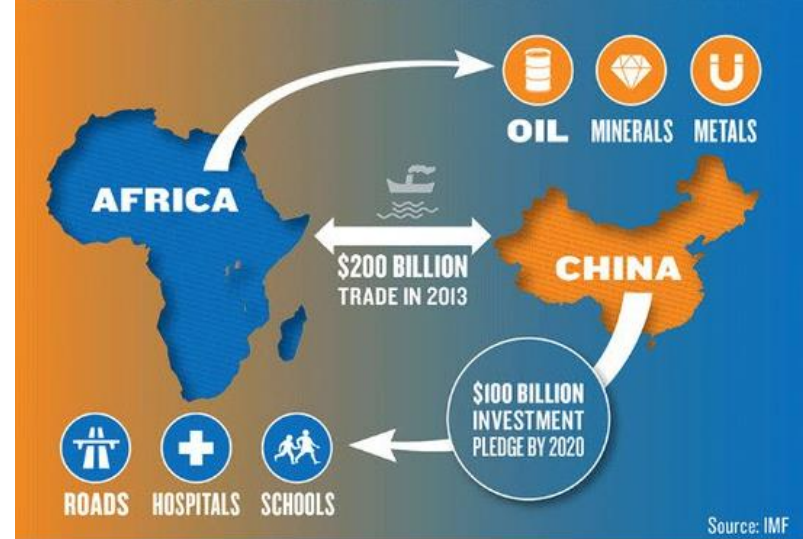
La Chine va *aussi* chercher ailleurs ses matières premières...

Selected Chinese Infrastructure Projects in Africa



Source: Various; THE BEIJING AXIS Analysis

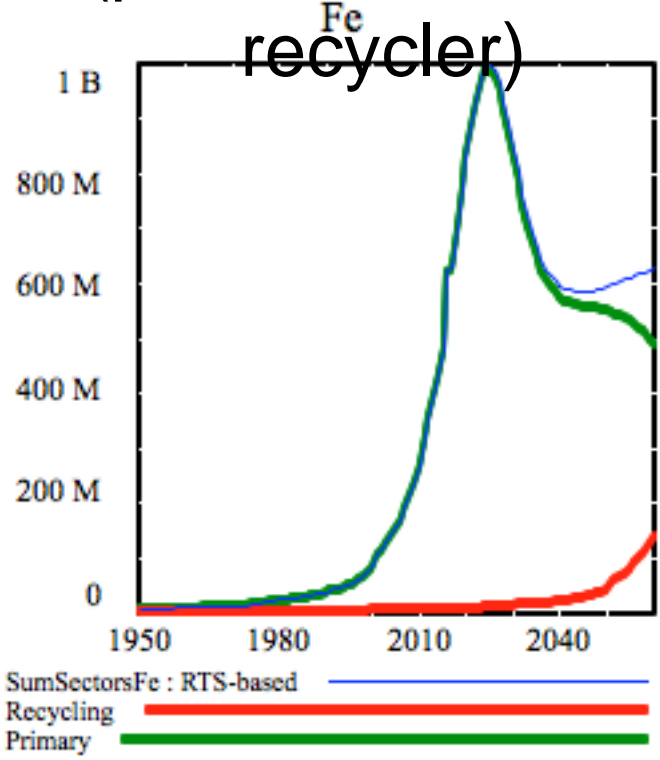
CHINA IN AFRICA: A NEW COLONIAL EMPIRE?



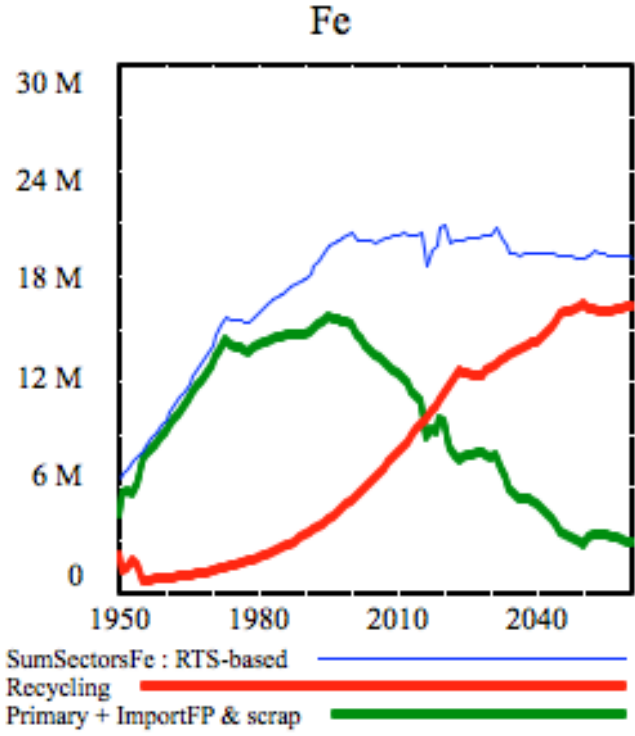
La Chine va *aussi* chercher ailleurs ses matières premières... avec une vision différente de la criticité

China: Production Primaire

(pas de déchets à recycler)

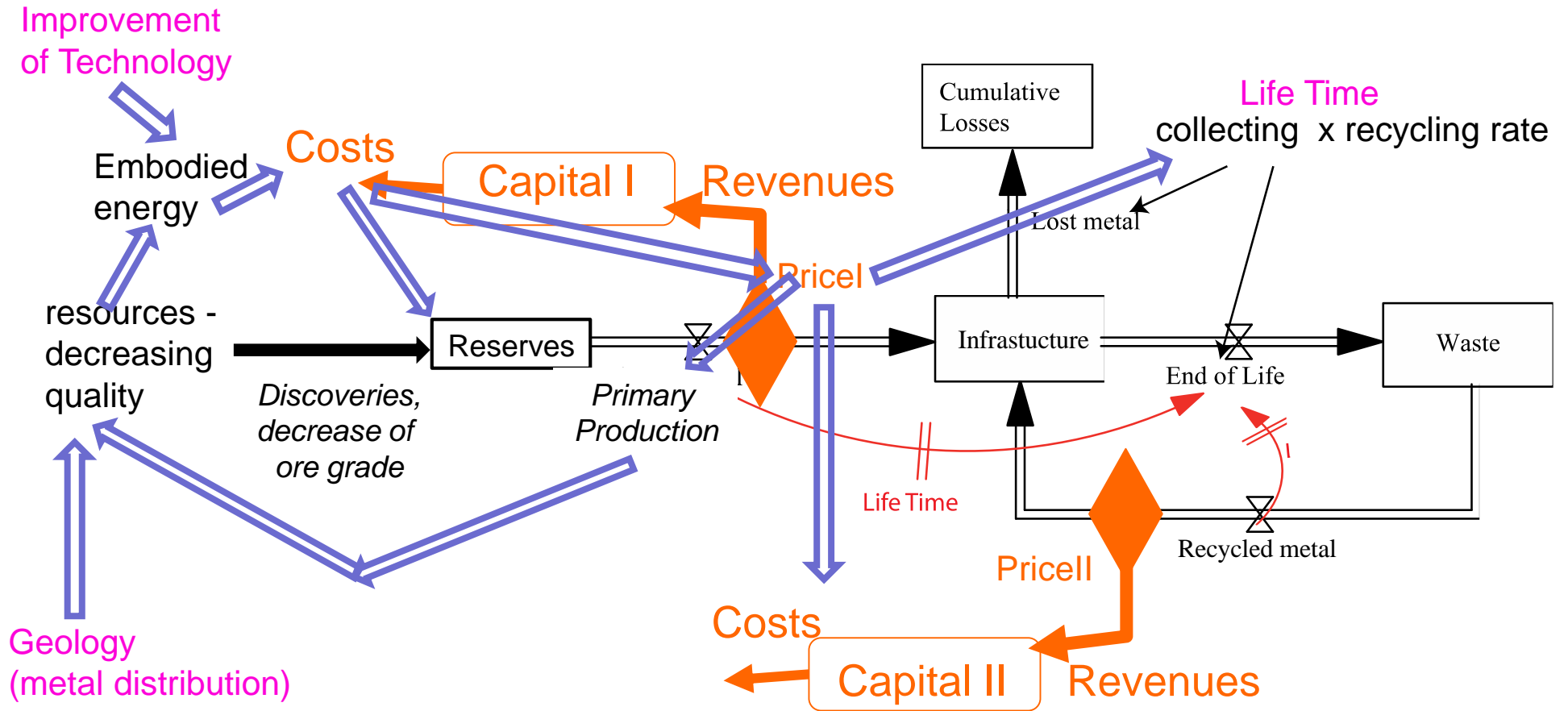


France: Les déchets sont disponibles pour recyclage



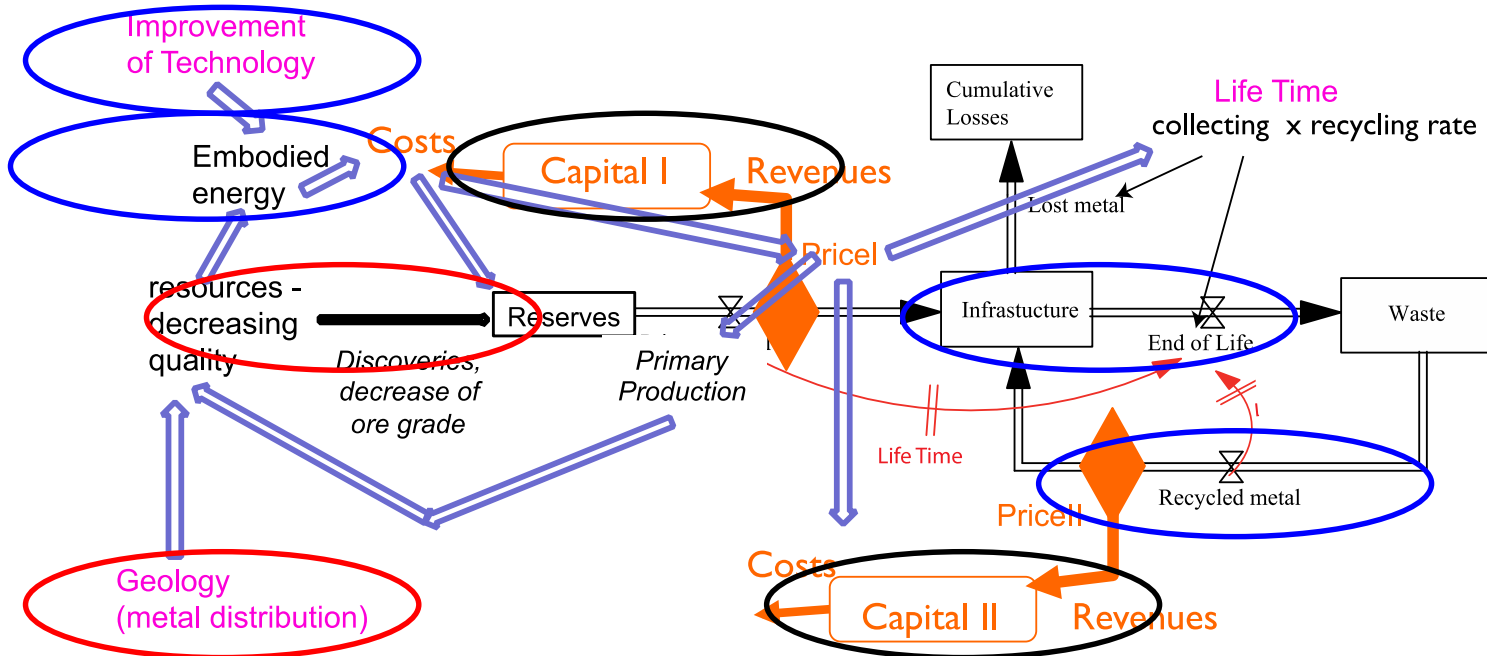
Pour avoir une vision long-terme il faut intégrer tout cela dans un **modèle dynamique** et partager **des compétences variées**

Population, GDP & techno \implies Global Consumption
 Scenario & material intensities \implies



Population, GDP & techno
Scenario & material intensities

Global Consumption



Economie-SHS

Sciences de la Terre

Ingénierie, nles technologies
– Process & matériaux

Analyse des tendances passées et scénarios

- Energie (Ingénierie, physique)
- Style de vie, acceptation sociale, répartition des usages (économie, SHS)
- Niveau de souveraineté et risques (géopolitique, géostratégie)
- Réglementation (droit)
- Technologie & nouveaux process (Ingénierie, matériaux, chimie, biologie)
- Ressources locales (métallogénie, géochimie, géophysique)
- Environnement (biologie, environnement, climatologie, chimie, etc)

Modélisation dynamique des processus couplés

Maths appliquées, bases de données et liens, code, etc

Thank you for your attention !

