

Le nexus énergie-matières premières dans le contexte des transitions énergétique et numérique

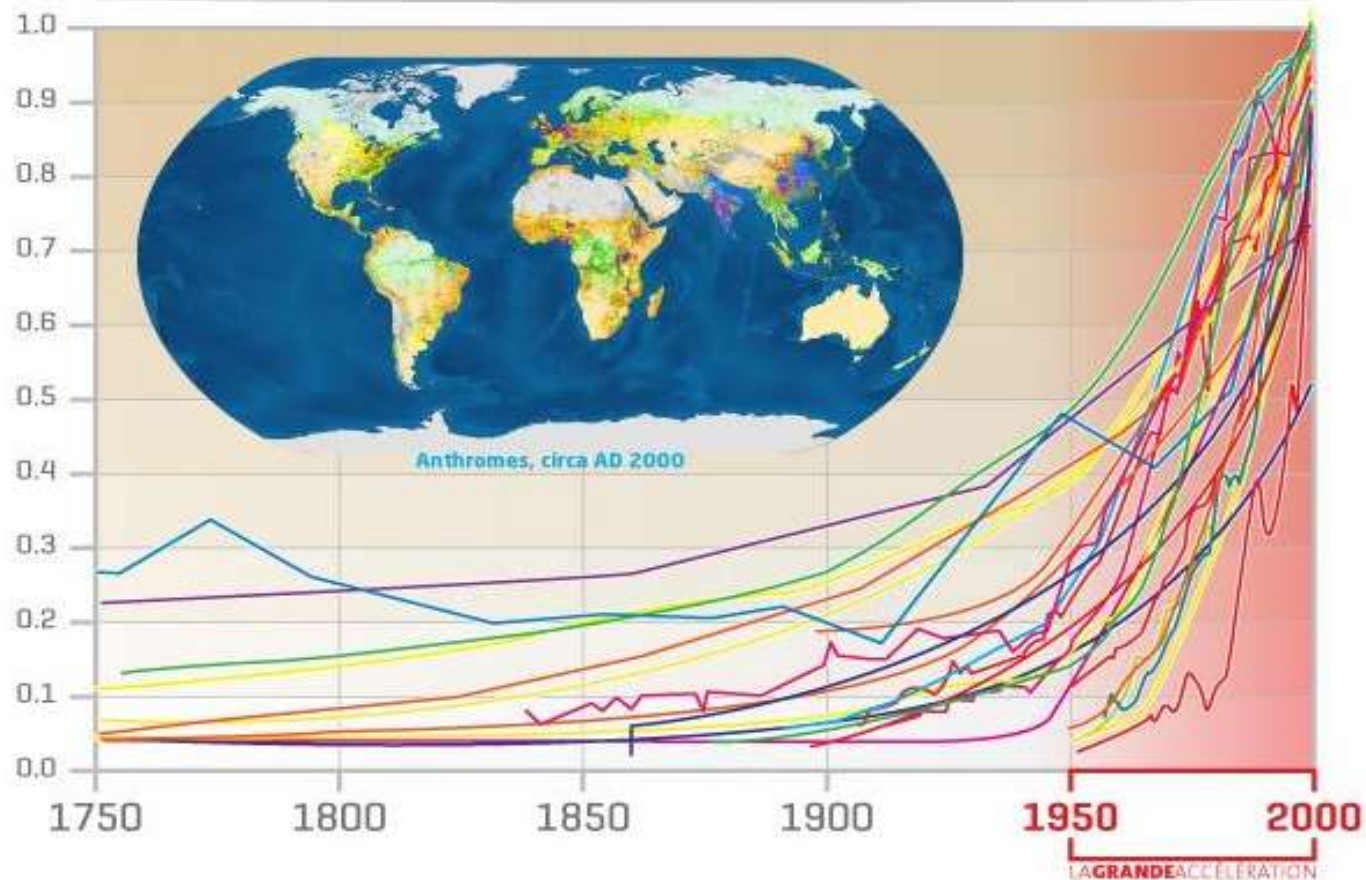
Lyon 11/2018

Olivier Vidal, CNRS, Isterre
olivier.vidal@univ-grenoble-alpes.fr



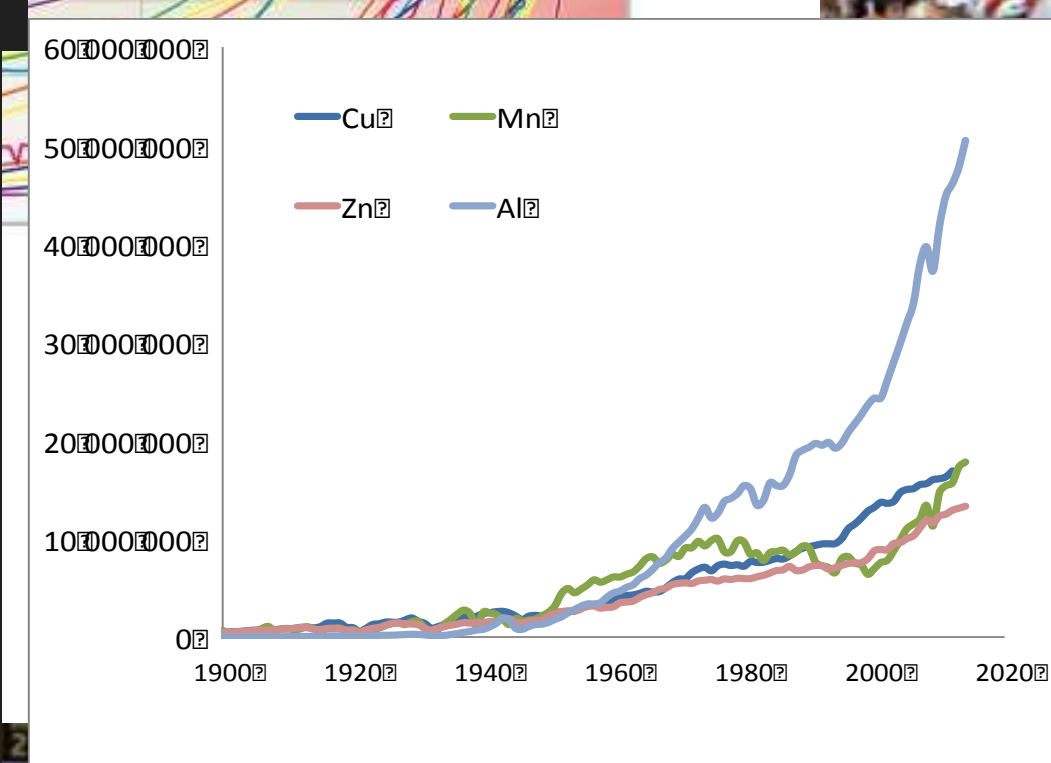
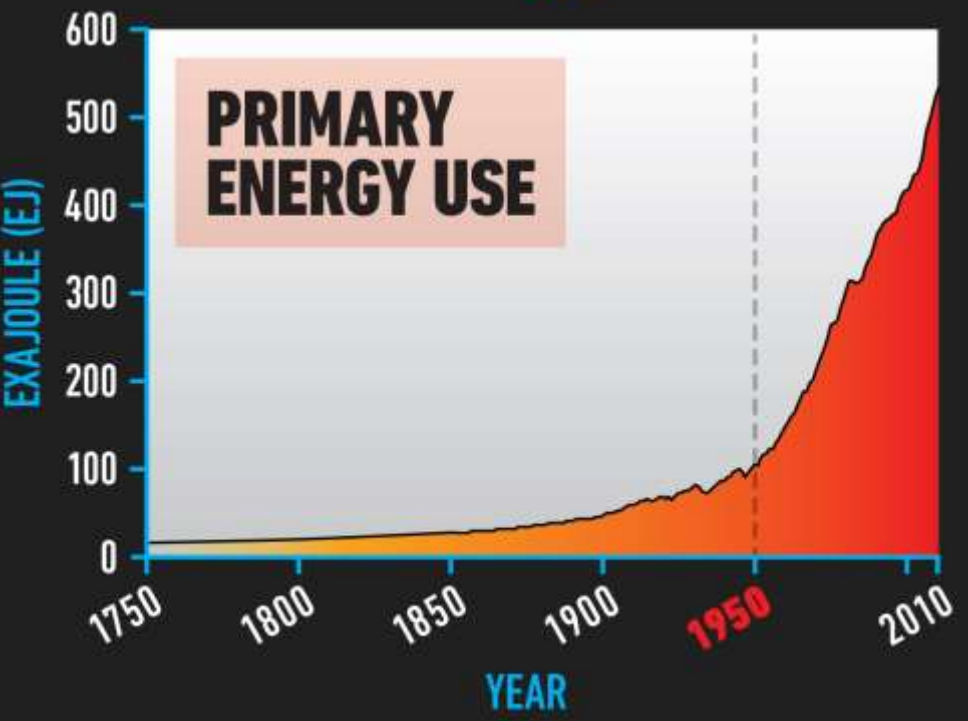
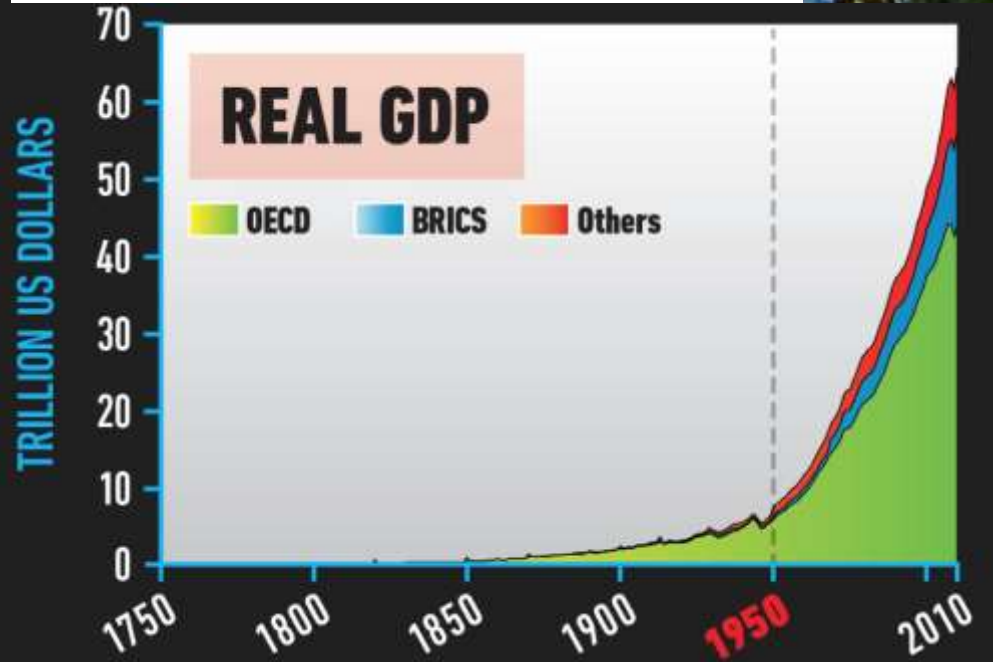
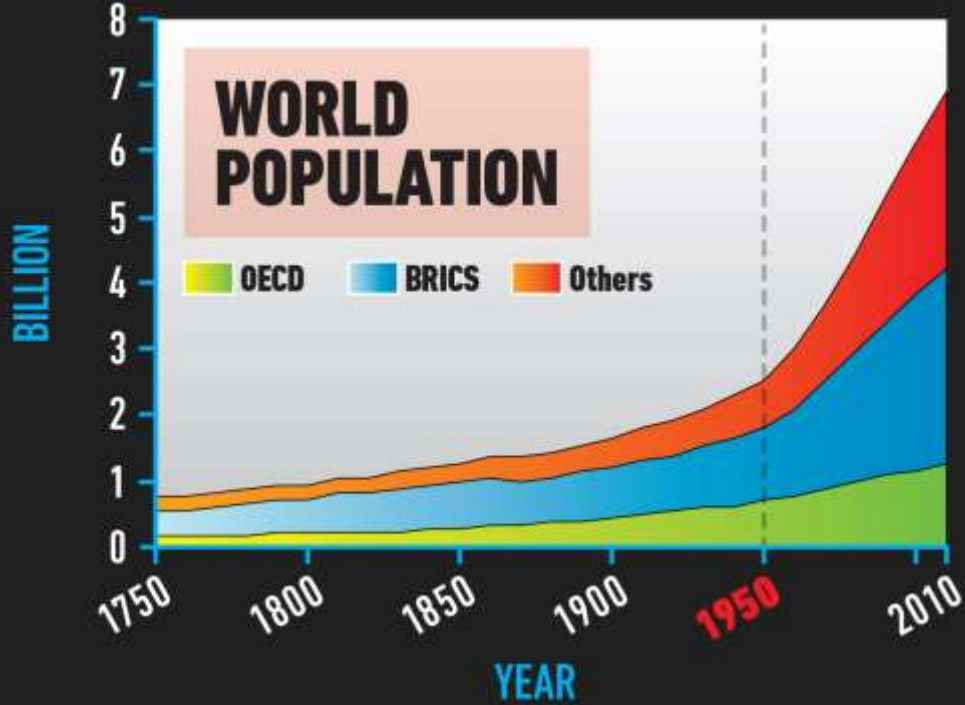
L'Anthropocène

Vingt-quatre indicateurs ; un graphique



LES INDICATEURS:

1. Population mondiale
2. Total du PIB réel
3. Investissements directs à l'étranger
4. Concentration du CO₂ atmosphérique
5. Concentration du N₂O atmosphérique
6. Concentration du CH₄ atmosphérique
7. Appauvrissement de l'ozone atmosphérique
8. Températures surfaciques de l'hémisphère Nord
9. Grandes inondations
10. Construction des barrages de rivières
11. Utilisation de l'eau
12. Consommation de fertilisants
13. Population urbaine
14. Consommation de papier
15. Nombre de restaurant McDonald
16. Nombre des pêcheries exploitées
17. Structures des zones côtières
18. Biogéochimie des zones côtières
19. Véhicules motorisés
20. Nombre de téléphones
21. Tourisme international
22. Disparition des forêts tropicales et prairies
23. Terres domestiquées
24. Nombre d'espèces éteintes



Les ressources minérales de base – ciment, acier, Al, Cu

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

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

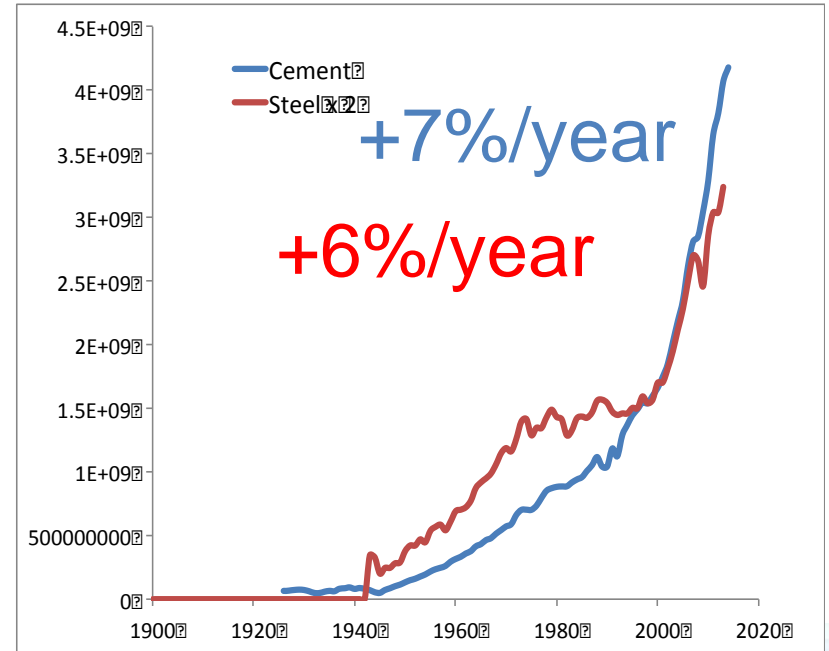
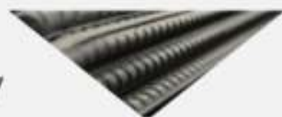
Russia - 40.5
Germany - 39.4

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

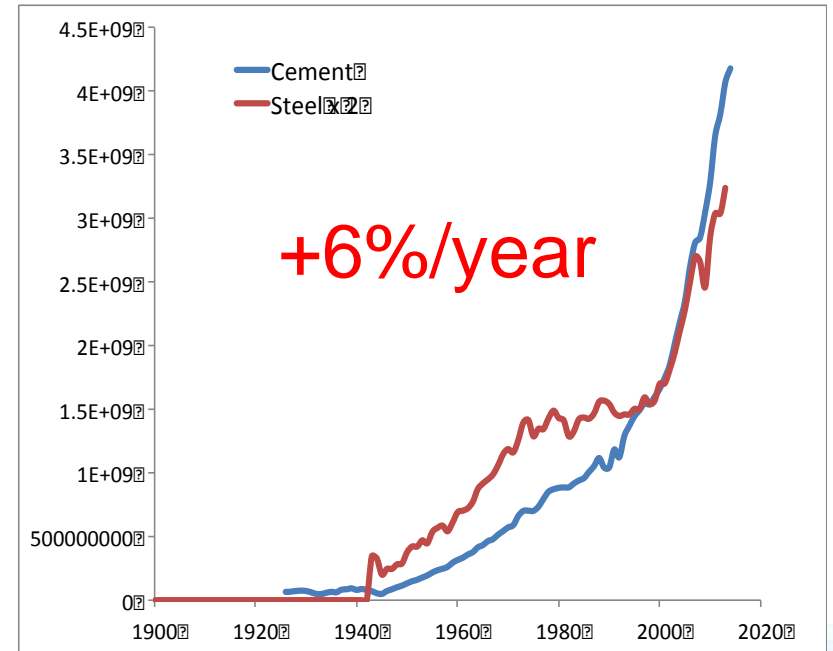
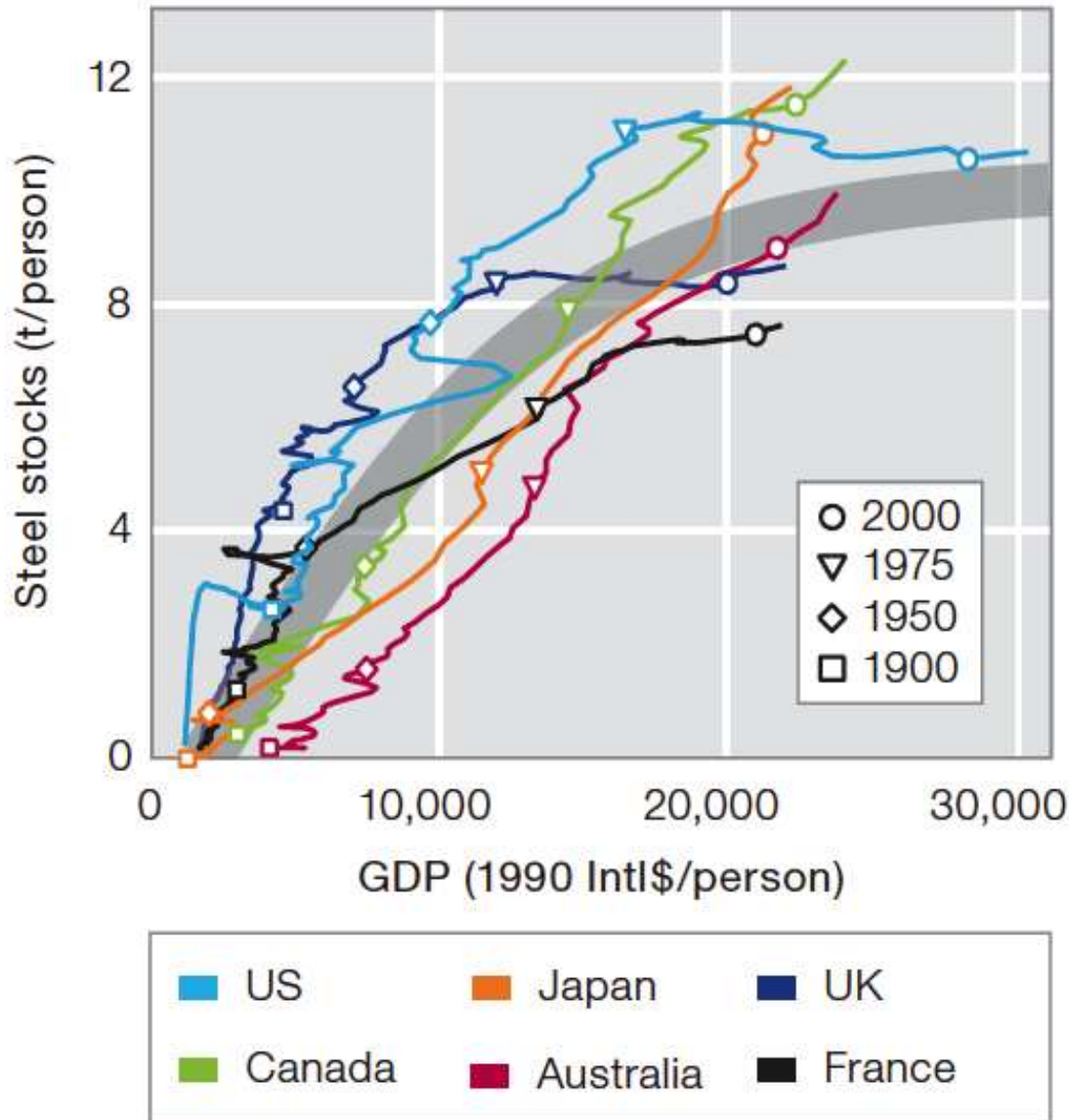
Mexico - 18
Canada - 14.2
France - 13.6
Spain - 13.1
Poland - 11
UK - 9.1

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



The « base » or « structure » RM : cement, steel, Al, Cu - several Mt/yr



The consumption of « High-tech » metals is skyrocketing



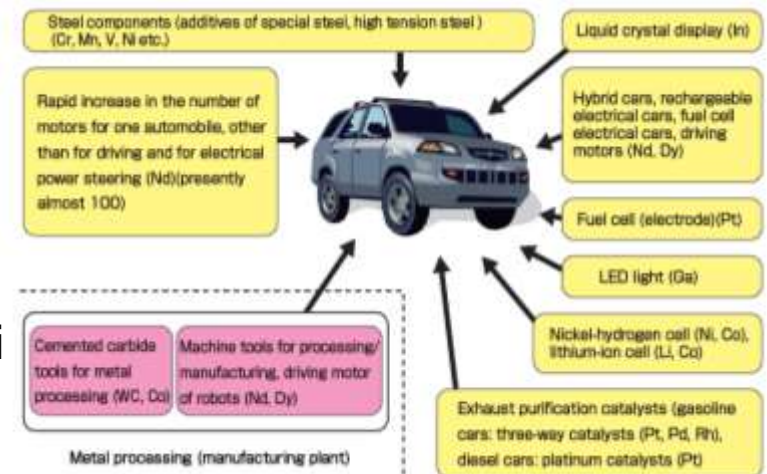
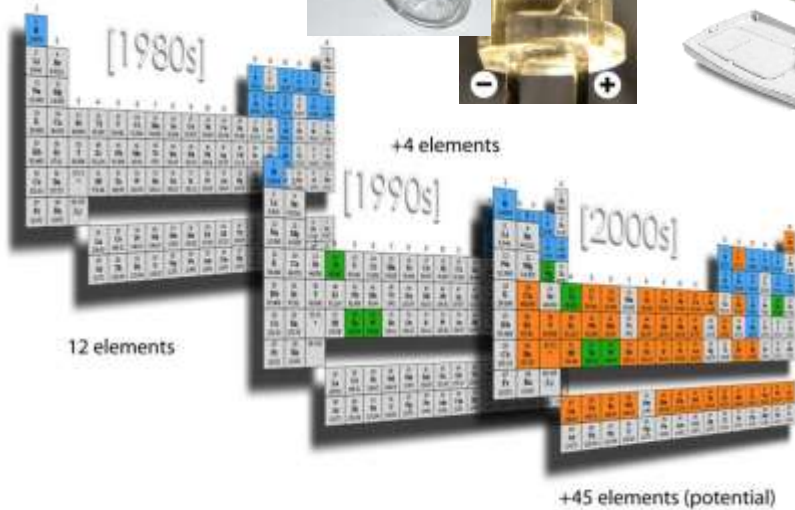
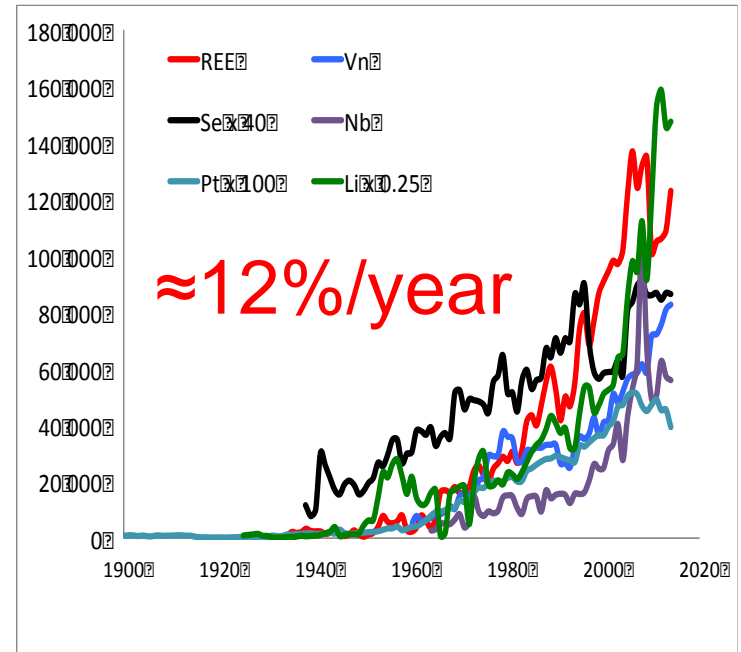
B, Nd, Dy



Ga, In, Se



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



Our electronics might be smart, but they are also dirty.

Here's what goes into your stuff before you even buy it:



One microchip,

weighing less than an ounce, guzzles up 70 pounds of



One desktop

uses up to 12 times its weight in fossil fuels.



One laptop

emits over 500 pounds of carbon dioxide during



When you buy a smartphone or a tablet, it comes with something you can't see or feel: embodied energy.

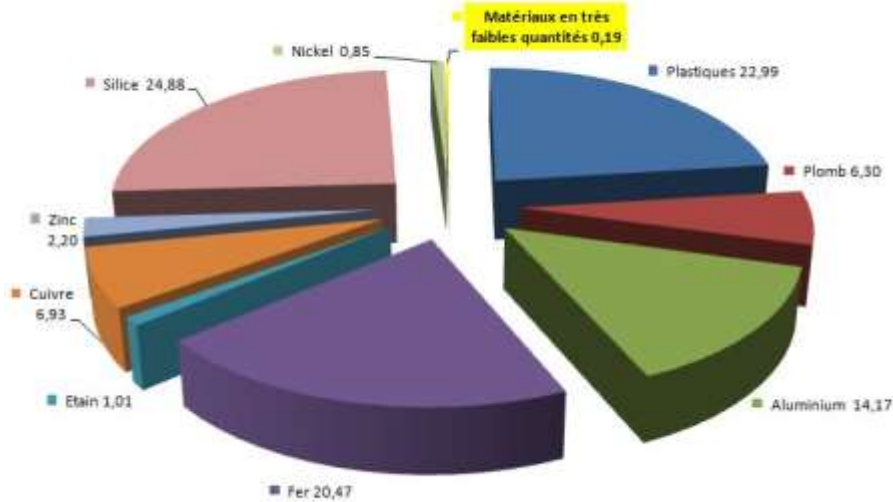
It takes (literally) tons of raw materials, hundreds of man hours, and enormous amounts of energy to manufacture the electronics that most of us use for less than two years. 70% of the energy that a laptop uses in its lifetime is spent during the manufacturing process. For a desktop, the number is as high as 80%.

Just how much energy does it take to make a computer? Almost as much as it takes to make that big refrigerator in your kitchen.

Environmental impacts of ICT

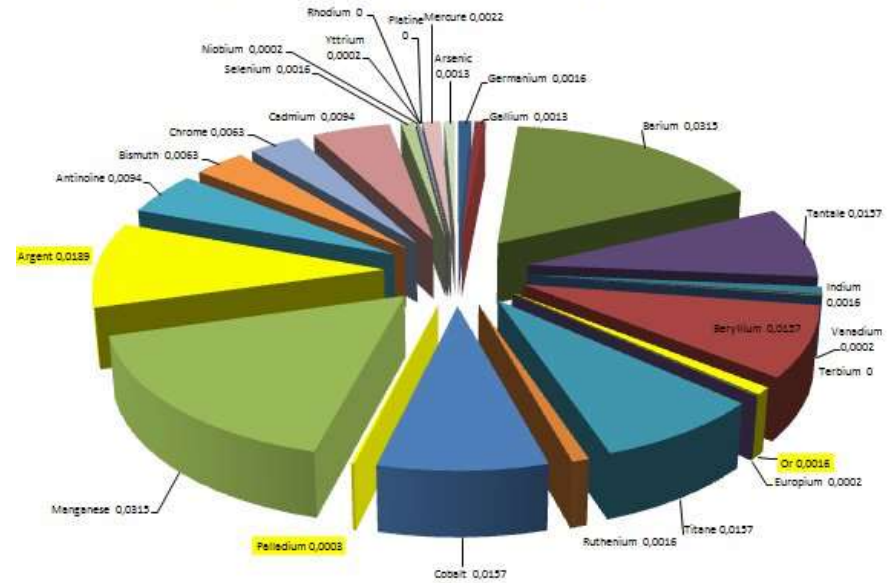
Energy and raw materials needs

Contenu d'un PC (% du poids total)



Source : Metal Recycling Opportunities, Limits, Infrastructure (UNEP, 2013)

Matériaux en très faibles quantité (% du poids total)



Source : Metal Recycling Opportunities, Limits, Infrastructure (UNEP, 2013)

g	1.46E+09	4.00E+08		
	130	5000		
	iphone(g)	PC(g)	iphone ² (tonnes)	PC ¹ (t)
Al	31	710	45260	284000
Fe	19	1025	27740	410000
Cu	8	350	11680	140000
Co	7	65	10220	26000
Cr	5	0.315	7300	126
Ni	2.7	42.5	3942	17000

1.46 milliards de tél. portables et 400 millions de PC vendus en 2017

129 Grams: The Materials That Make Up The iPhone

Materials used in iPhone 6, 16GB model

- 31.1 g Aluminium
- 19.9 g Carbon
- 18.7 g Oxygen
- 18.6 g Iron
- 8.1 g Silicon
- 7.8 g Copper
- 6.6 g Cobalt
- 5.5 g Hydrogen
- 4.9 g Chrome
- 4.9 g Others
- 2.7 g Nickel
- 129.0 g Total



Total value of elements
\$1.03

StatistaCharts Source: 911 Metallurgist

statista

	0.13 kg iphone(g)	5 kg PC(g)	iphone (tonnes)	PC (t)	% annual mine production
Al	31	710	45260	284000	0.60
Fe	19	1025	27740	410000	0.02
Cu	8	350	11680	140000	0.84
Co	7	65	10220	26000	58.42
Cr	5	0.315	7300	126	0.08
Ni	2.7	42.5	3942	17000	1.00

According to Darton Commodities projections as cited in a Bloomberg report, cobalt use in electric vehicles and other lithium-ion battery applications was around 55,000 tons in 2017 = **89 % of annual production**

INDICATORS	COBALT	NICKEL
<i>World prices \$/ton, end-month</i>		
March 2017	54,600	10,000
December 2017	75,200	12,700
February 2018	82,800	13,875

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

MURYEL JACQUE - LES ECHOS | LE 11/09/2017

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.



Les mines peut-être, mais pas forcément les réserves

« **Si certains se sont inquiétés** d'un manque à venir de lithium, du Chili (52 % des réserves) à la Bolivie, en passant par l'Australie (actuellement premier producteur), **en fait, les réserves abondent.** »

Panasonic va réduire de moitié le cobalt présent dans ses batteries

~~Un minéral essentiel~~ mais qui coûte cher

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 minéral 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 · @LECTOUES · 1 FÉVRIER 2018



LA QUOT
NUMÉ

Recevez chaque
futur du numé

Votre adresse

S'A

LES F

WeFind :
pour obt
compte i

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.

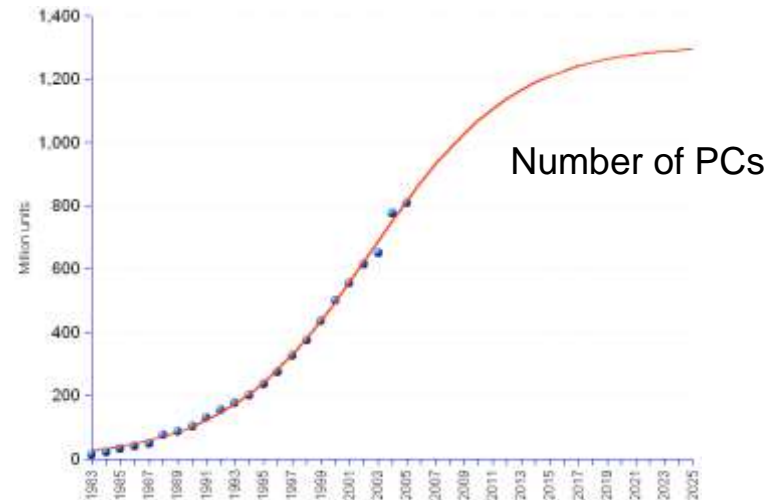
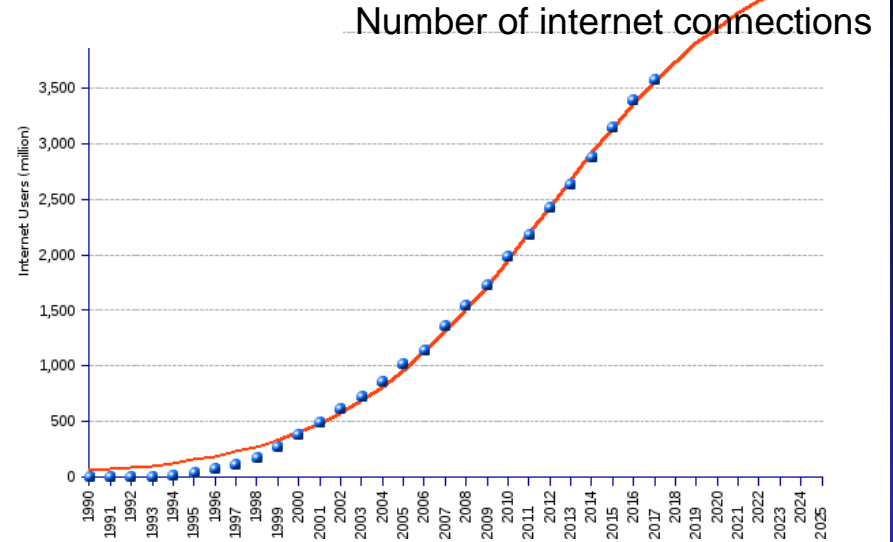
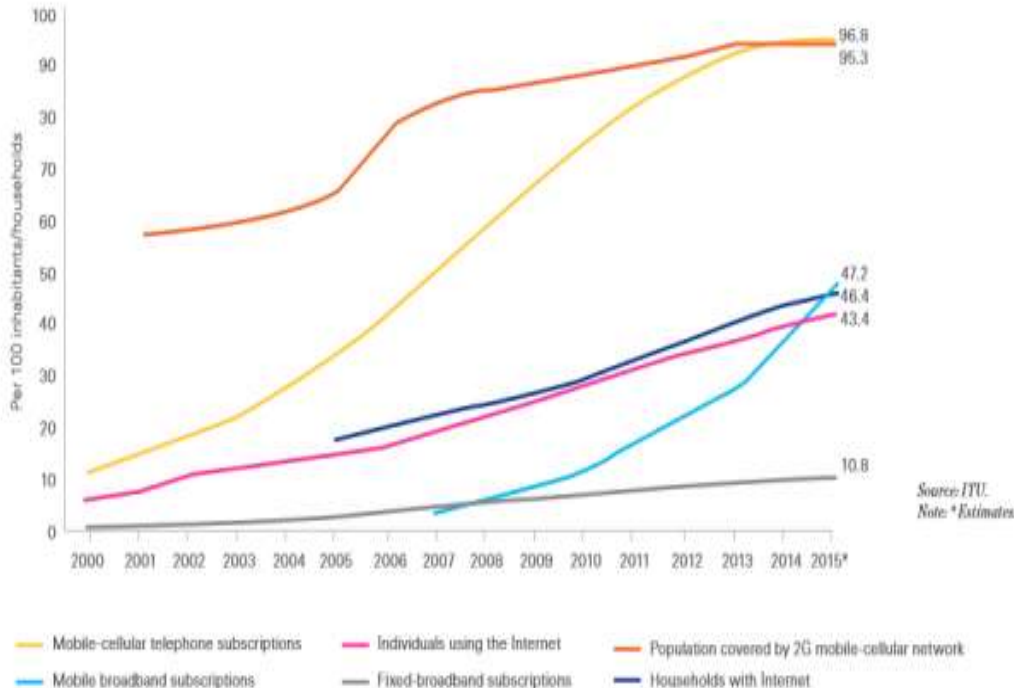
Autres technologie d'accumulateurs à Lithium **sans** cobalt : Lithium iron phosphate (LFP), lithium manganese oxide (LMO) and lithium titanate (LTO)

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

Batteries usagées : Audi teste un recyclage en cycle fermé

95% des matériaux des batteries peuvent être recyclés

Le recyclage est vital quand on atteint le niveau de saturation



L'énergie

	MJ	kg CO2	kg fossils fuels	Energie Globale (PJ)	% E Primaire	% E consommée	% E consommée par Industrie
Iphone3G	663	55	19	967	0.168	0.242	0.840
Iphone6+	1325	110	38	1935	0.336	0.484	1.679
Ordinateur	6400	531	183	2560	0.444	0.640	2.222
Voiture thermique	64800	5378	1851	6480	1.125	1.620	5.623

L'Energie annuelle utilisée pour la production des 1.46 milliards de téléphones portables et 400 millions de PC vendus est équivalente à celle utilisée pour les 100 millions d'automobiles:

< 2% de l'énergie primaire consommée mondialement

< 6% de l'énergie consommée par l'industrie

Pour comparaison, l'énergie utilisée pour la production d'acier, de ciment et d'aluminium représente 40% de l'énergie consommée par l'industrie

Utilisation TIC : 10% de l'électricité produite => 1.3% de l'énergie primaire, ou 2% de l'énergie consommée

Our electronics might be smart, but they are also dirty.

Here's what goes into your stuff before you even buy it:



One microchip,

weighing less than an ounce,
guzzles up **70 pounds of**



One desktop

uses **up to 12 times its**
weight in fossil fuels.



One laptop

emits **over 500 pounds of**
carbon dioxide during

« Embodied energy »
similaire au secteur
automobile, **mais durée de
vie beaucoup plus courte**



When you buy a smartphone or a tablet, it comes with something you can't see or feel: embodied energy.

It takes (literally) tons of raw materials, hundreds of man hours, and enormous amounts of energy to manufacture the electronics that most of us use for less than two years. **70% of the energy** that a laptop uses in its lifetime is spent during the manufacturing process. For a desktop, the number is as high as 80%.

Just how much energy does it take to make a computer?
Almost as much as it takes to make that big refrigerator in your kitchen.

Discutable...
Comparativement à d'autres
secteurs, celui des ICT n'est
pas le plus gourmand,
hormis quelques métaux
technologiques, mais
fortement dépendant de la
techno.

The mineral resources – energy nexus

Energy is needed to produce raw materials

12% of global energy consumption and 40% of industrial consumption used for the production of steel, non-ferrous metals, minerals, mining & quarrying in 2015 (IEA)

1 tCO₂ /t cement => 6% of global CO₂ emissions

2 t CO₂ /t steel => 6-7 % of global CO₂ emissions (Kim & Worrell, 2002)

66 t CO₂/ t Nd

➤ 50% of industrial CO₂ emissions

(Allwood et al.,2010; IEA; Carpenter and Center, 2012)

The mineral resources – energy nexus

Energy is needed to produce raw materials

12% of global energy consumption and 40% of industrial consumption used for the production of steel, non-ferrous metals, minerals, mining & quarrying in 2015 (IEA)

1 tCO₂ /t cement => 6% of global CO₂ emissions

2 t CO₂ /t steel => 6-7 % of global CO₂ emissions (Kim & Worrell, 2002)

66 t CO₂/ t Nd

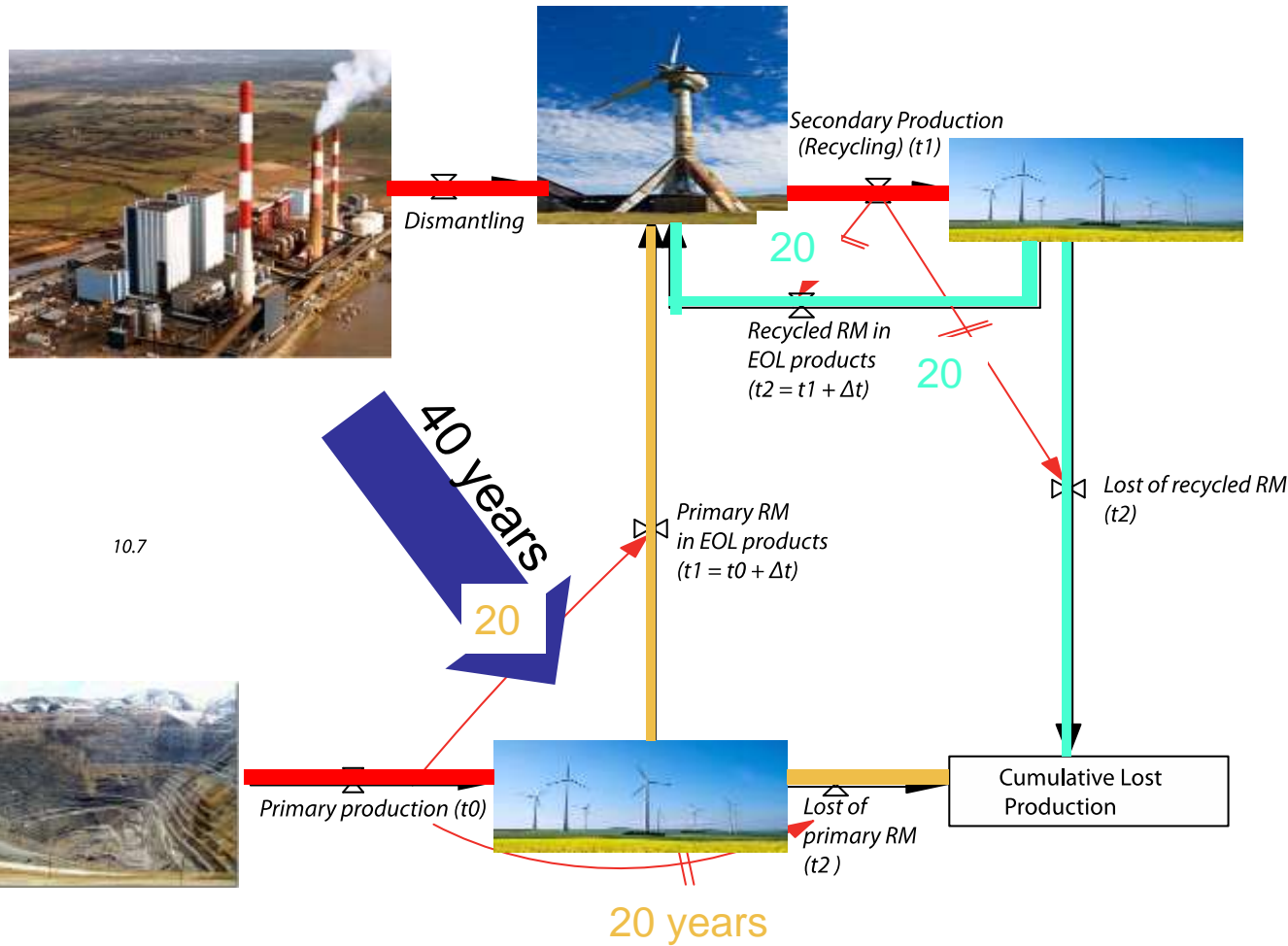
➤ 50% of industrial CO₂ emissions

(Allwood et al.,2010; IEA; Carpenter and Center, 2012)

Mineral resources are needed to built the infrastructure of energy

- « The fraction of growth that can be attributed to advanced materials for the energy sector, is growing from 10% in 1970 to an expected 70% in 2030 » (SETIS Magazine, 2015).
- « The world cannot tackle climate change without adequate supply of raw materials to manufacture clean technologies (Ali et al. 2017 - Nature) »

Raw Materials and energy requirements: A stock and flow problem...



10.7

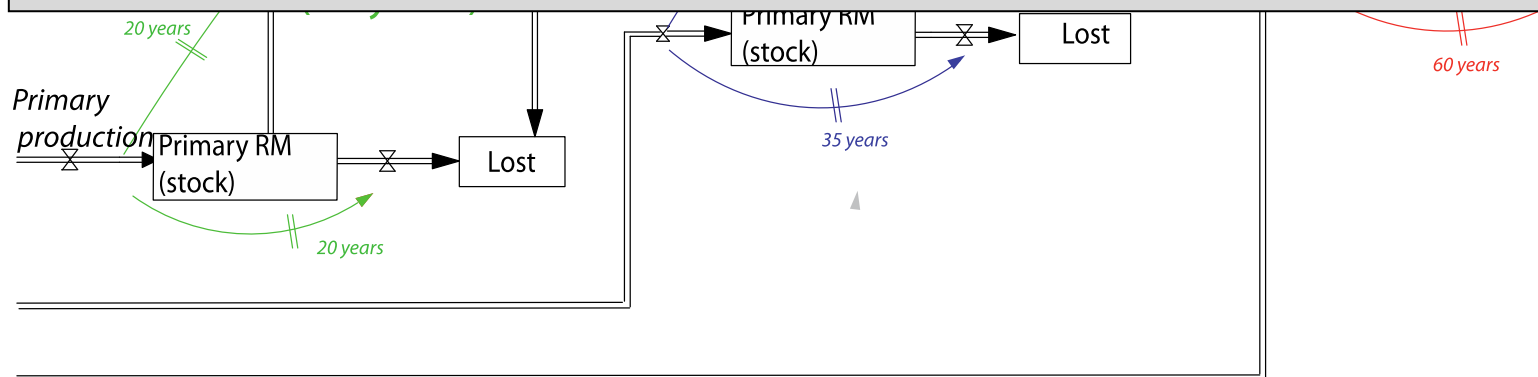
Raw Materials and energy requirements: A stock and flow problem...



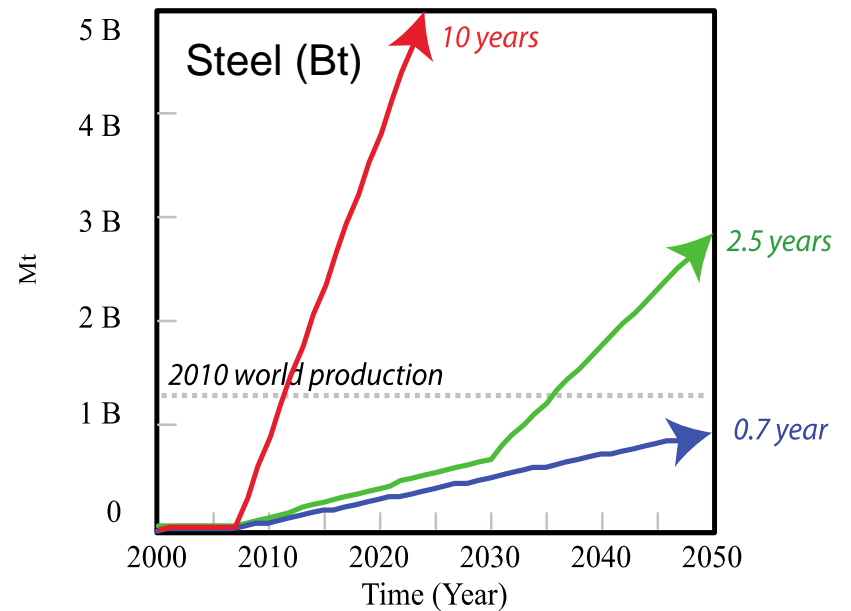
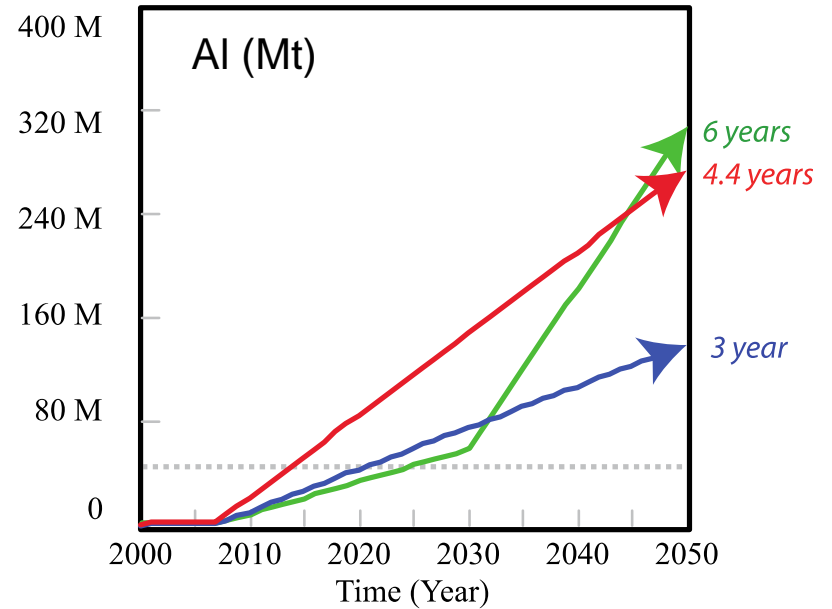
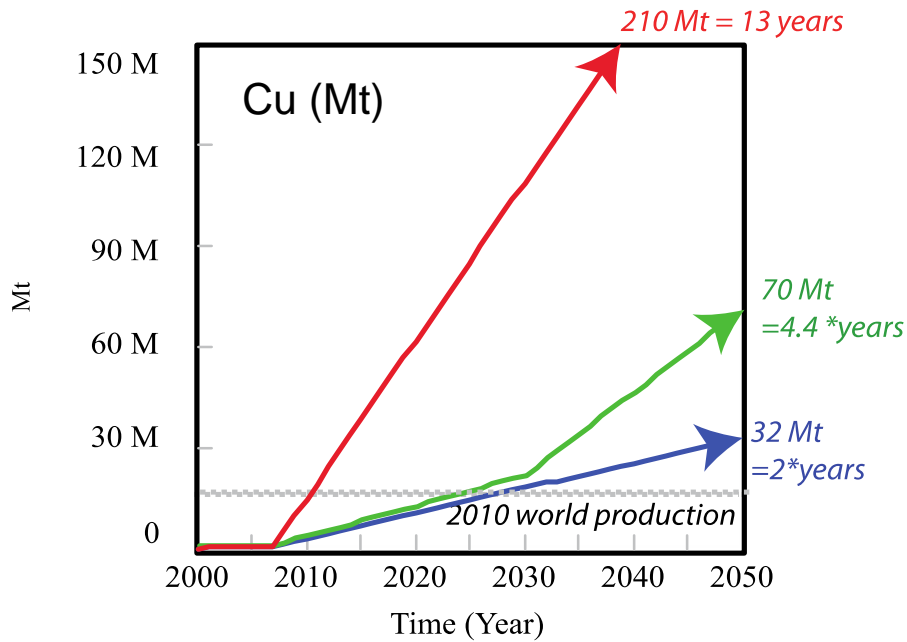
- Primary and secondary production flows,
- Stocks of RM in the infrastructure and lost,
- Amount of E used to produce the RM and CO₂ emissions

Different scenarios

Everything is dynamic (Demand & Prod, reserves, CR, RR, dismantling, price, energy and matter intensities, GHG emissions, used water...)



Besoins cumulés (stocks) en métaux pour la génération d'électricité "renouvelable"

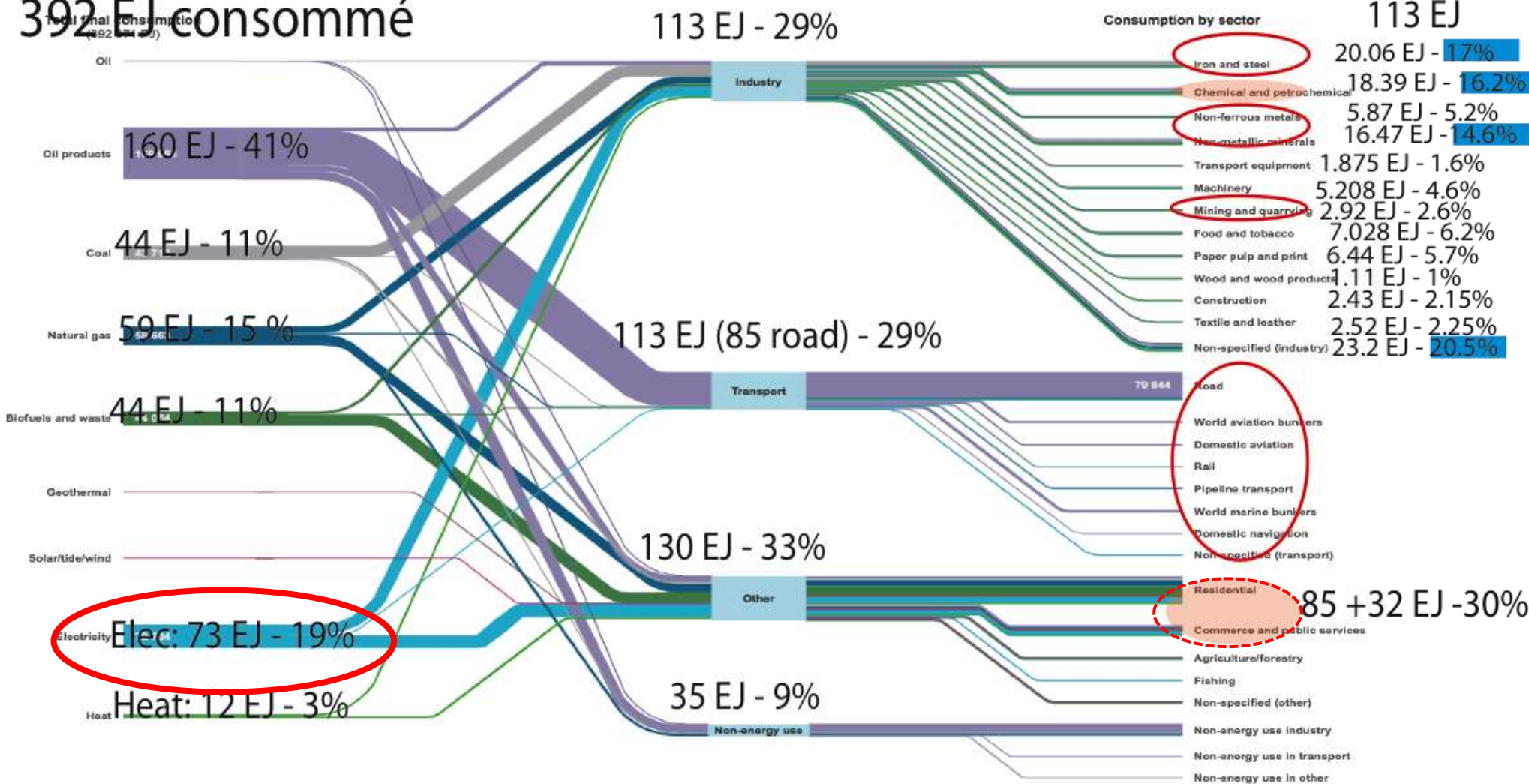


Additional future needs



World
FINAL CONSUMPTION (2015)

392 EJ consommé



Besoins additionnels

Entre 100 and **300** Mt Cu : 5 to 15 x la production mondiale actuelle

70 Mt Cu
production



3 Mt Cu storage



>50 Mt Cu

Use

Transport & distribution

3 Mt Cu



100 to **300** Mt Cu

400 Mt Al

10000 Mt Fe



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

Should we worry ?

The most exigent scenario requires until 2050 (present-day technologies)

Future demand

Present day reserves

300 Mt Cu: 15 years of global production, 35% of known reserves

8 Mt Li: 190 years of global production, 50% of known reserves

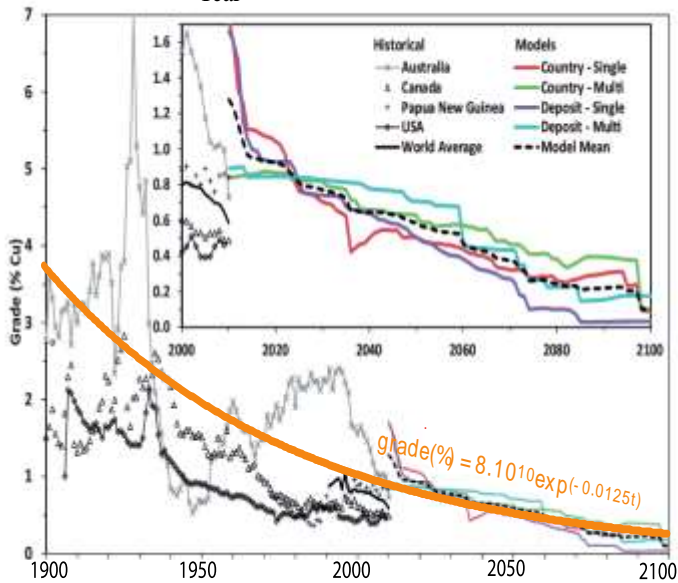
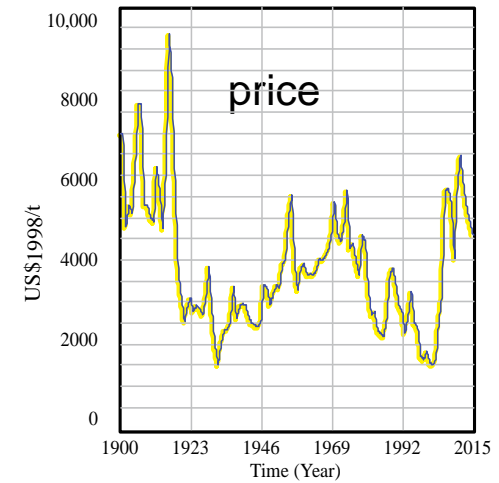
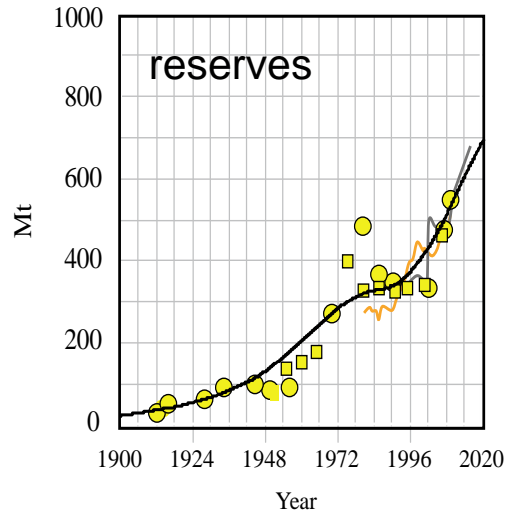
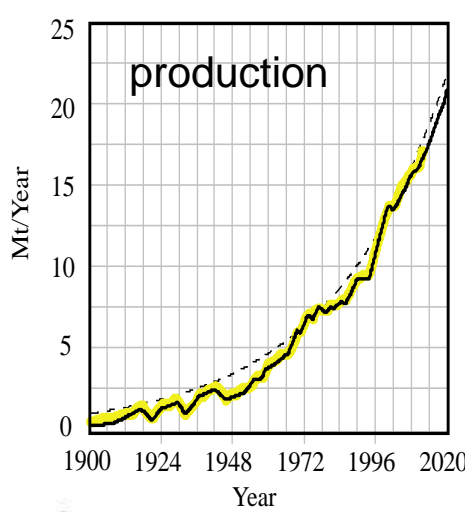
66 Mt Ni: 40 years of global production, 90% of known reserves

31 Mt Pt: 19 years of global production, 45% of known reserves

...and energy to produce these metals... (about 12% of global energy consumption or 40% of industrial consumption)

Prendre en compte la diminution de teneur des gisements et la technologie

Reserves are growing because the average ore grade drops



This evolution was possible thanks to technology improvements

Technology improvement

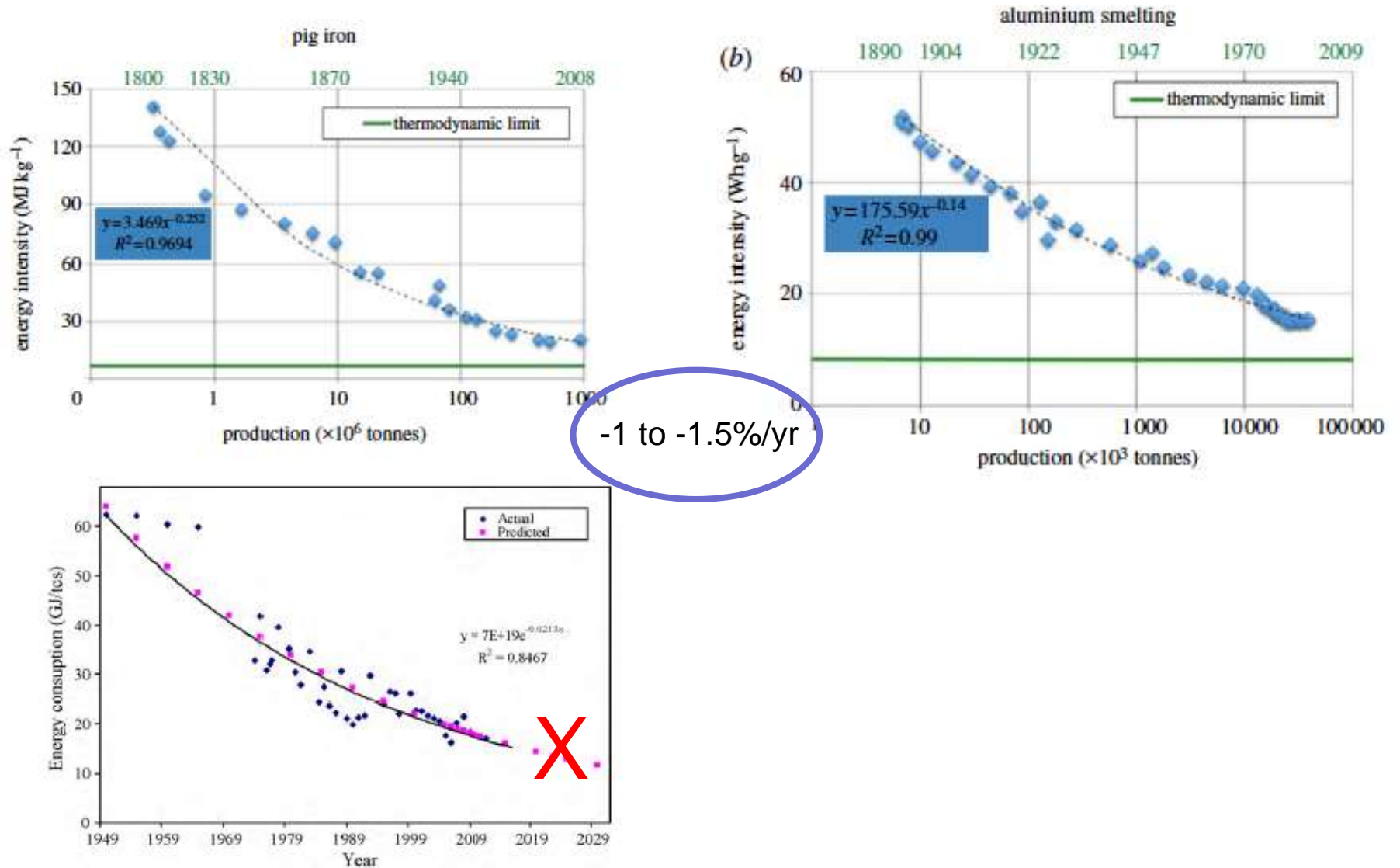
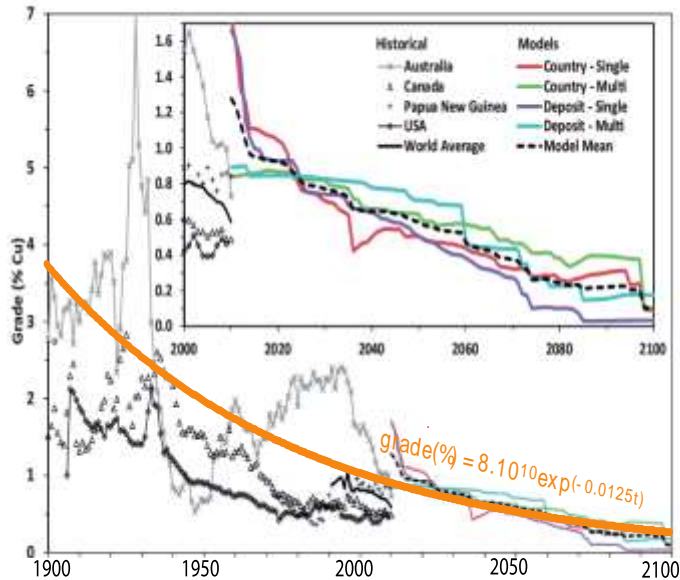
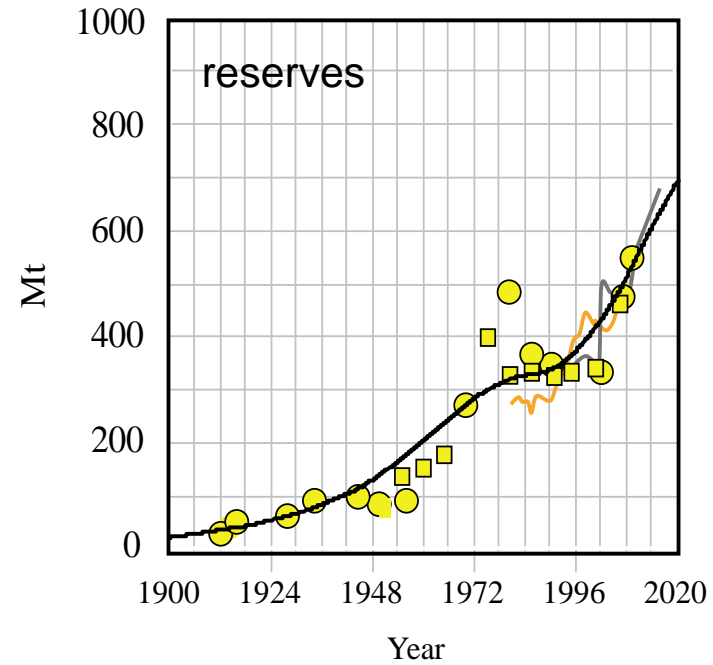
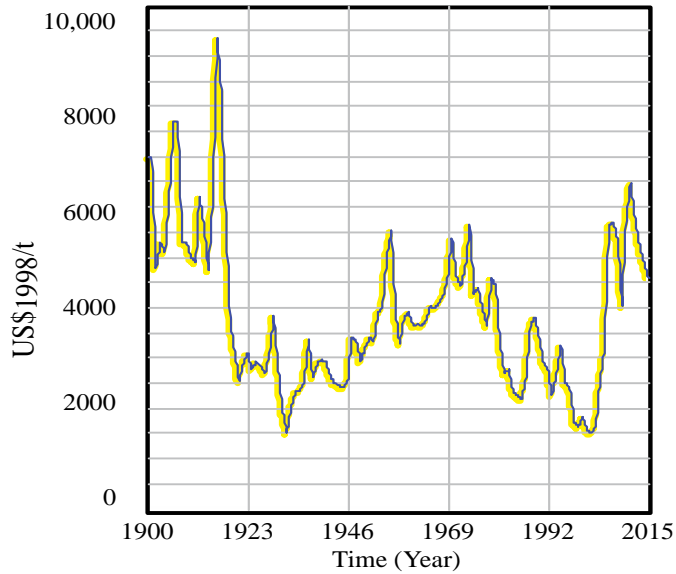


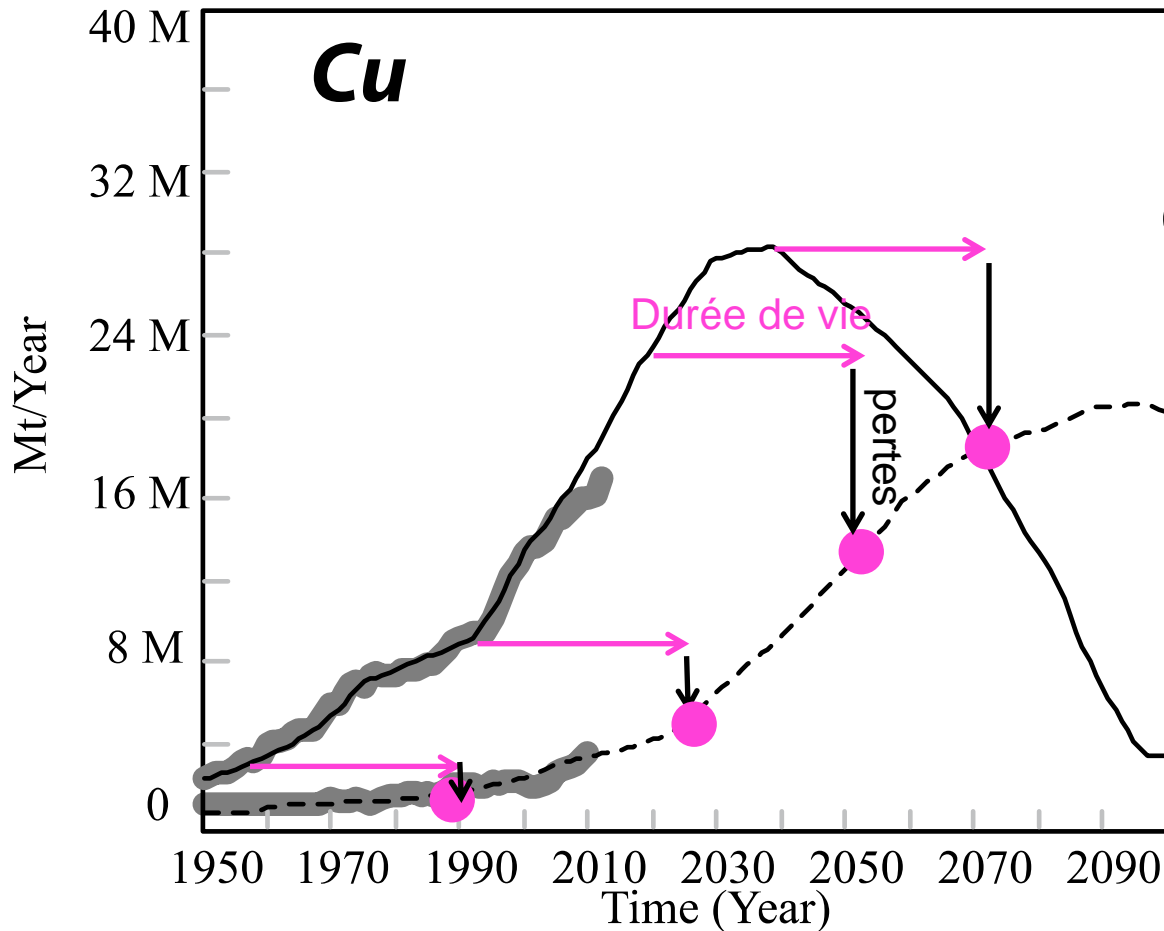
Fig. 5. Actual and projected specific energy consumption in the steel industry (world average).

Reserves are growing because the average ore grade drops



Not forever, or requires breakthrough technologies, e.g. shift to renewables

The expected increase of recycling

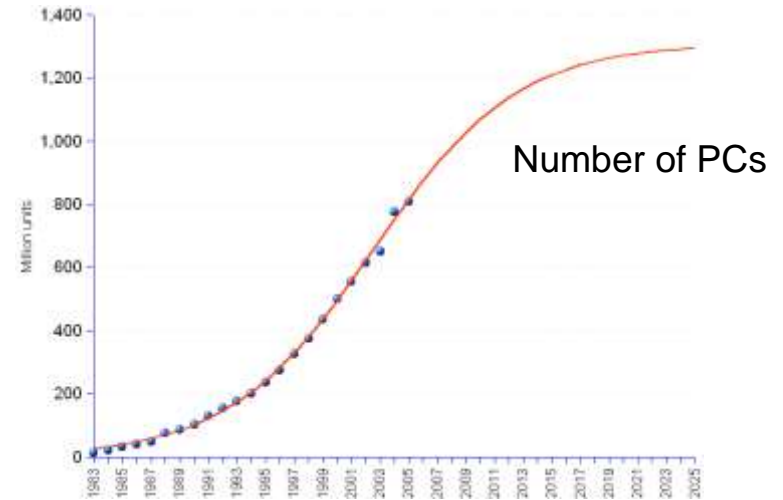
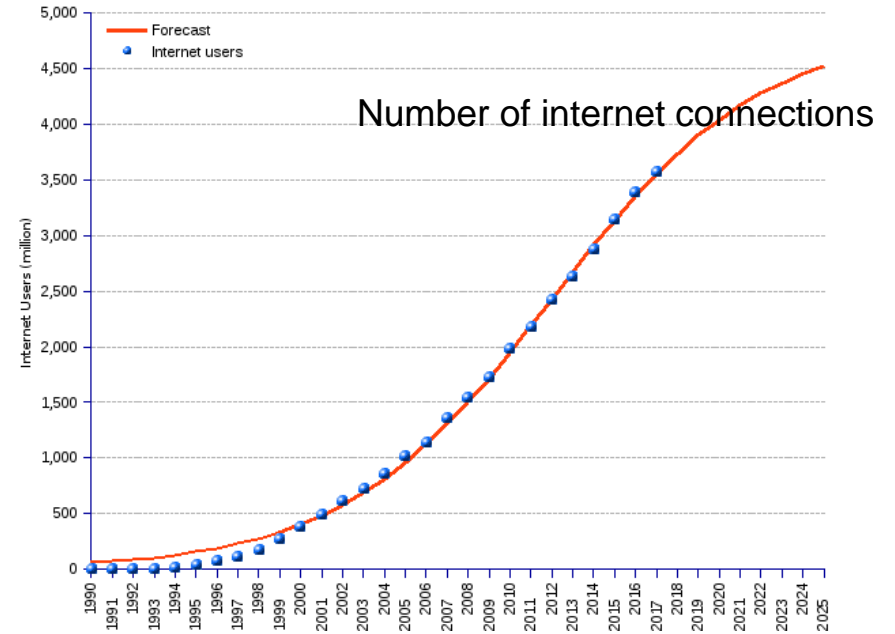
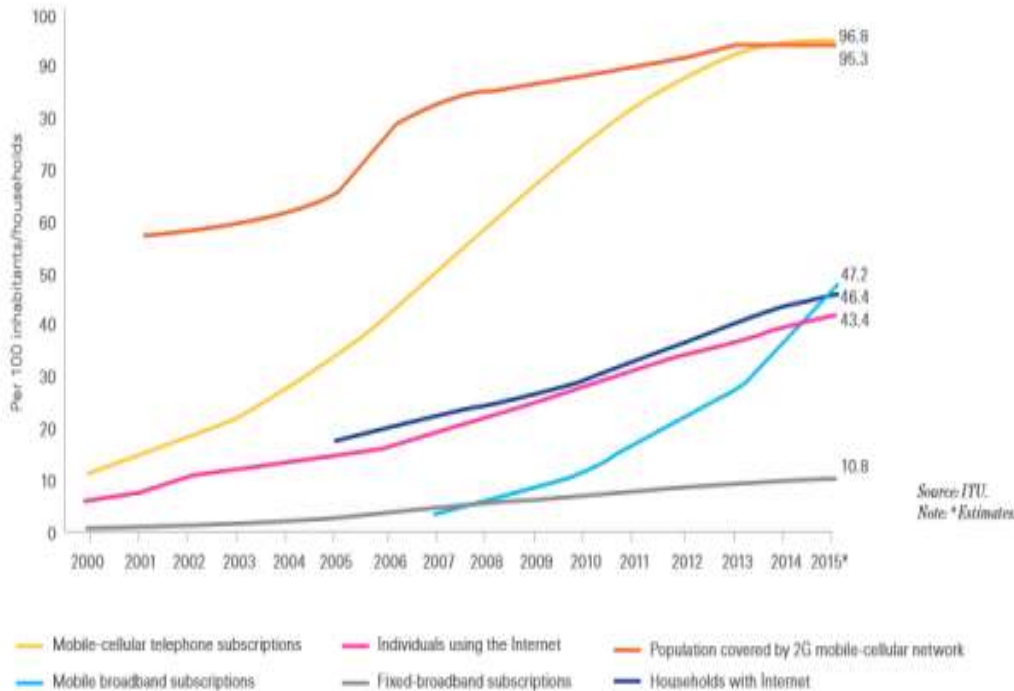


At present, low contribution of recycling

Not forever !

Modelling the supply side: Geological, technological, economical and demographic constraints

Niveau de saturation atteint ou en passe de l'être



L'évolution techno. est toute aussi rapide => grosse difficulté à évaluer la demande future

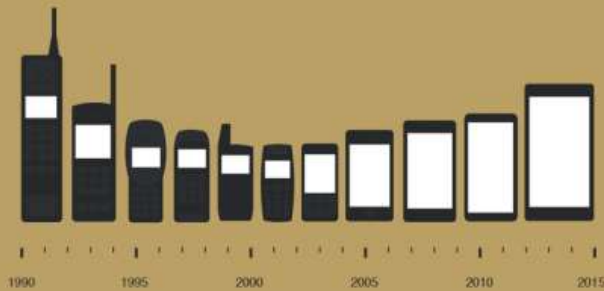


Uniquement les riches

Tout le monde

On a gagné ou perdu ?

Mobiltelefonens evolution



Voici le Zanco tiny t1, le plus petit téléphone portable du monde

[Partager D](#) [Twitter](#) [G+ Partager](#) [in Partager](#)



© Zanco | le tiny t1, "le plus petit téléphone mobile au monde"

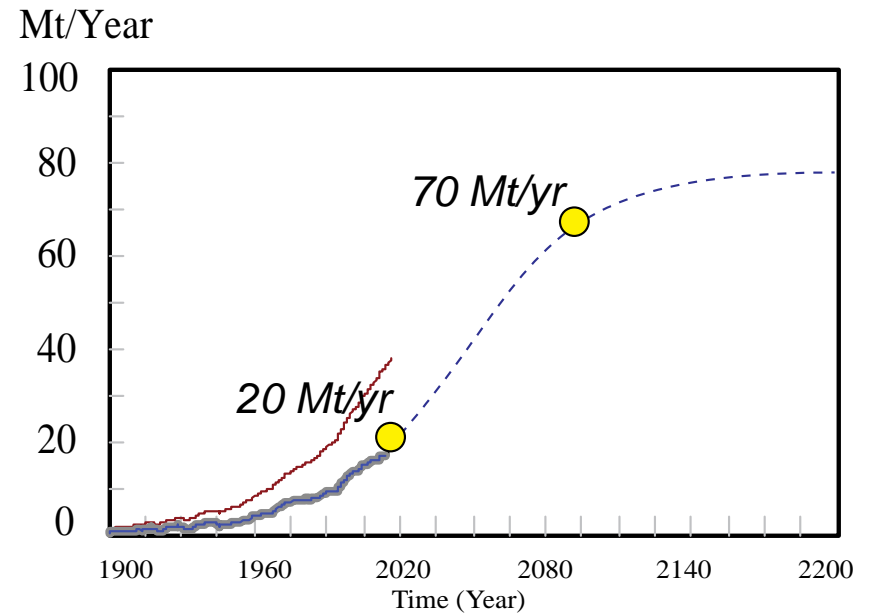
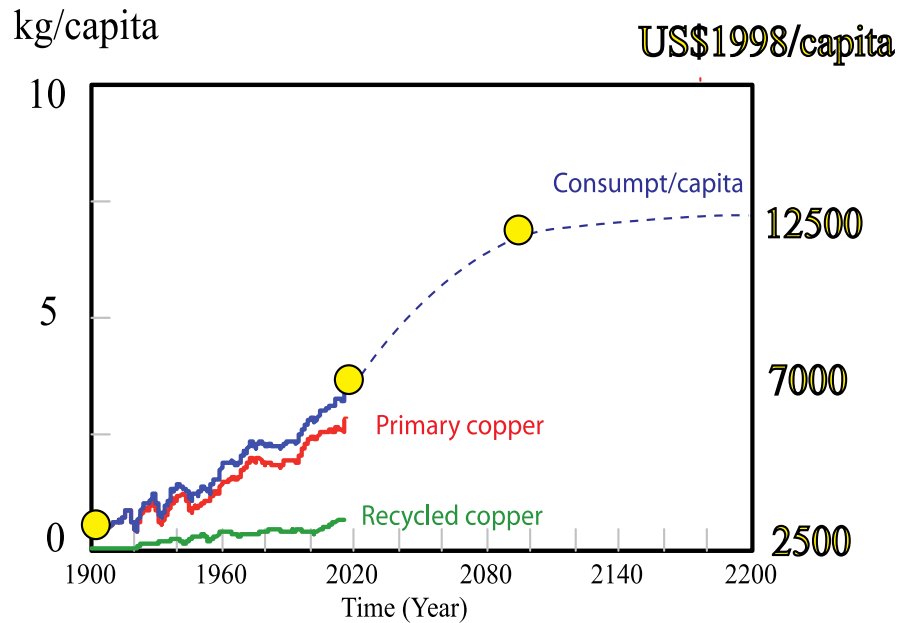
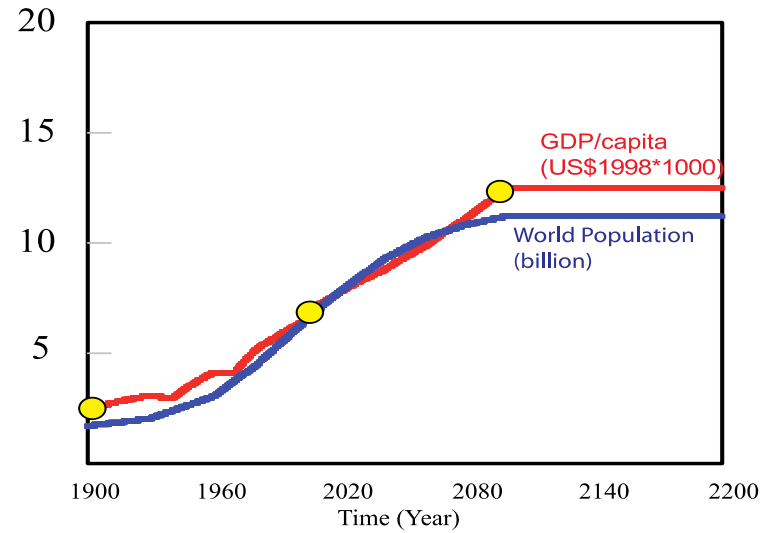
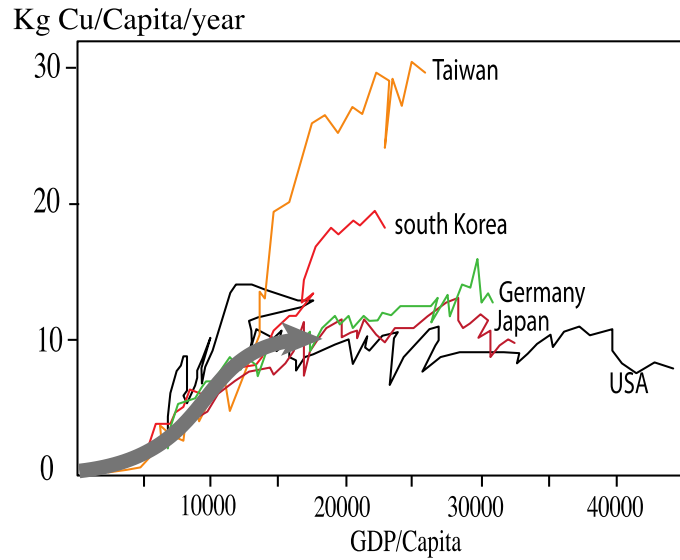
Texte par [Louise WESSBECHER](#)

Dernière modification : 28/12/2017

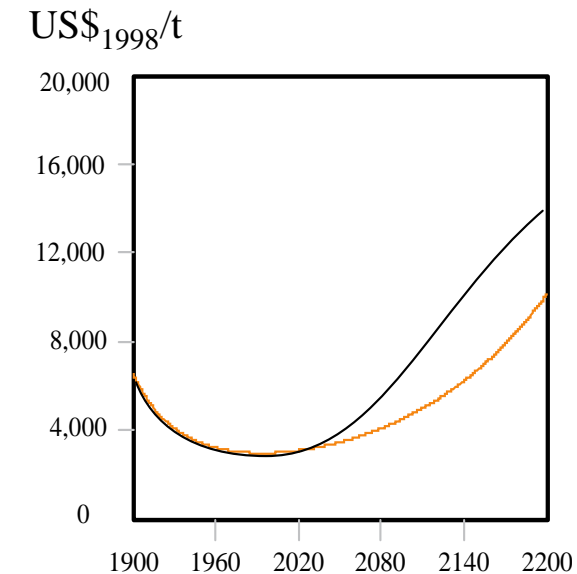
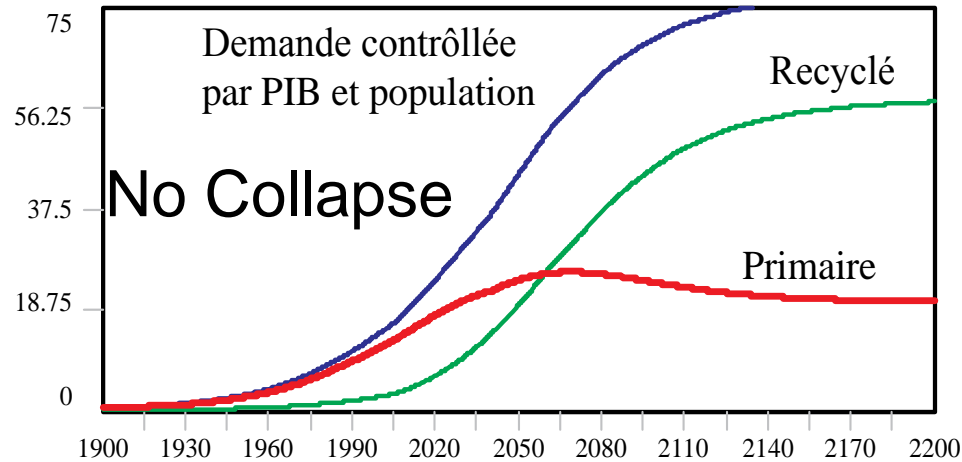
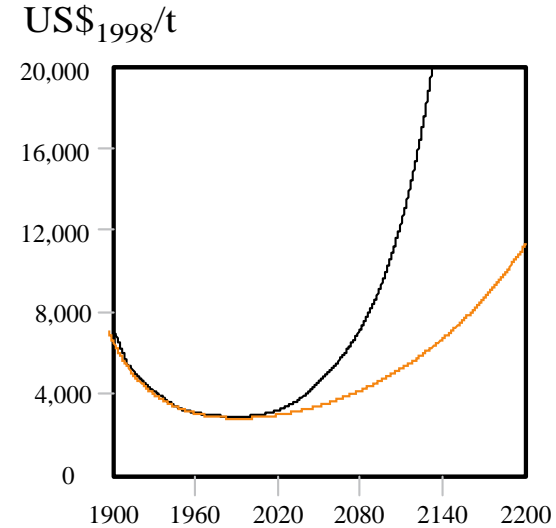
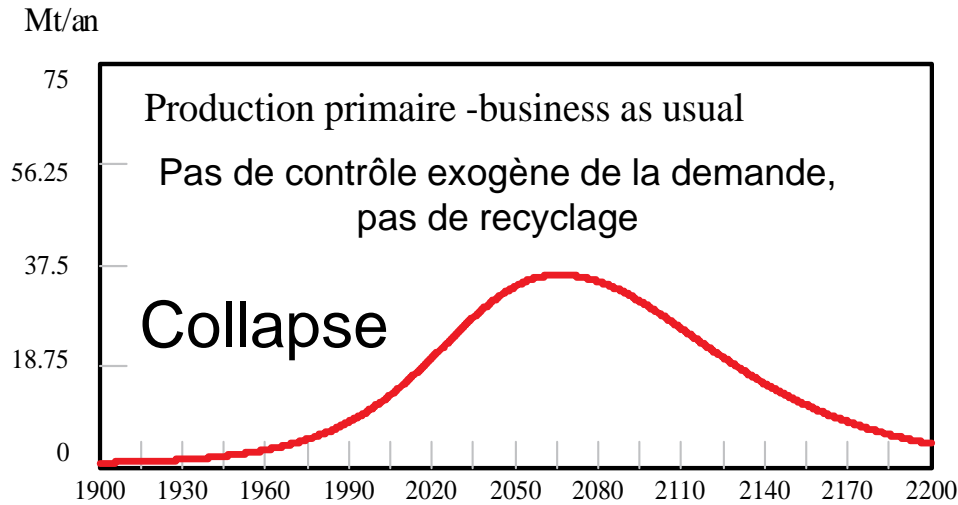
Le Zanco tiny t1, mobile de 4 cm de haut auto-proclamé plus petit téléphone du monde, a explosé sa levée de fonds sur Kickstarter et devrait être

On va gagner ou perdre ? Difficile à prédire pour le secteur TIC

Global demand - Cu

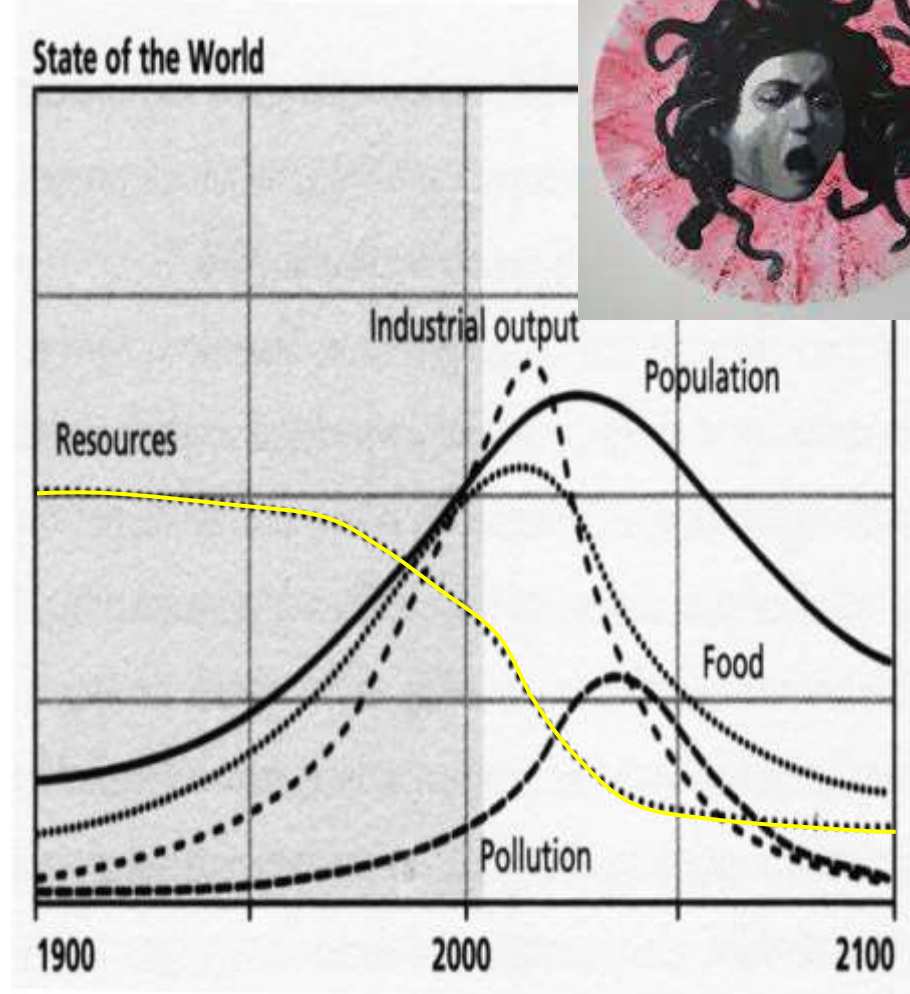


Dynamic modelling reserves-production-ore grade-costs-price



(Rapport Meadows & al. 72) du 'club de Rome' dans les années 70. Interactions entre population, produit industriel, pollution, nourriture, et ressources

Effondrement du niveau de vie (quota alimentaire et produit industriel par habitant) au début du XXI^e siècle, avec retour en 2100 aux valeurs de 1950. **L'élément déclencheur est la baisse des ressources naturelles non renouvelables.**



Il existe une autre voie possible, même si la fenêtre de tir est étroite:

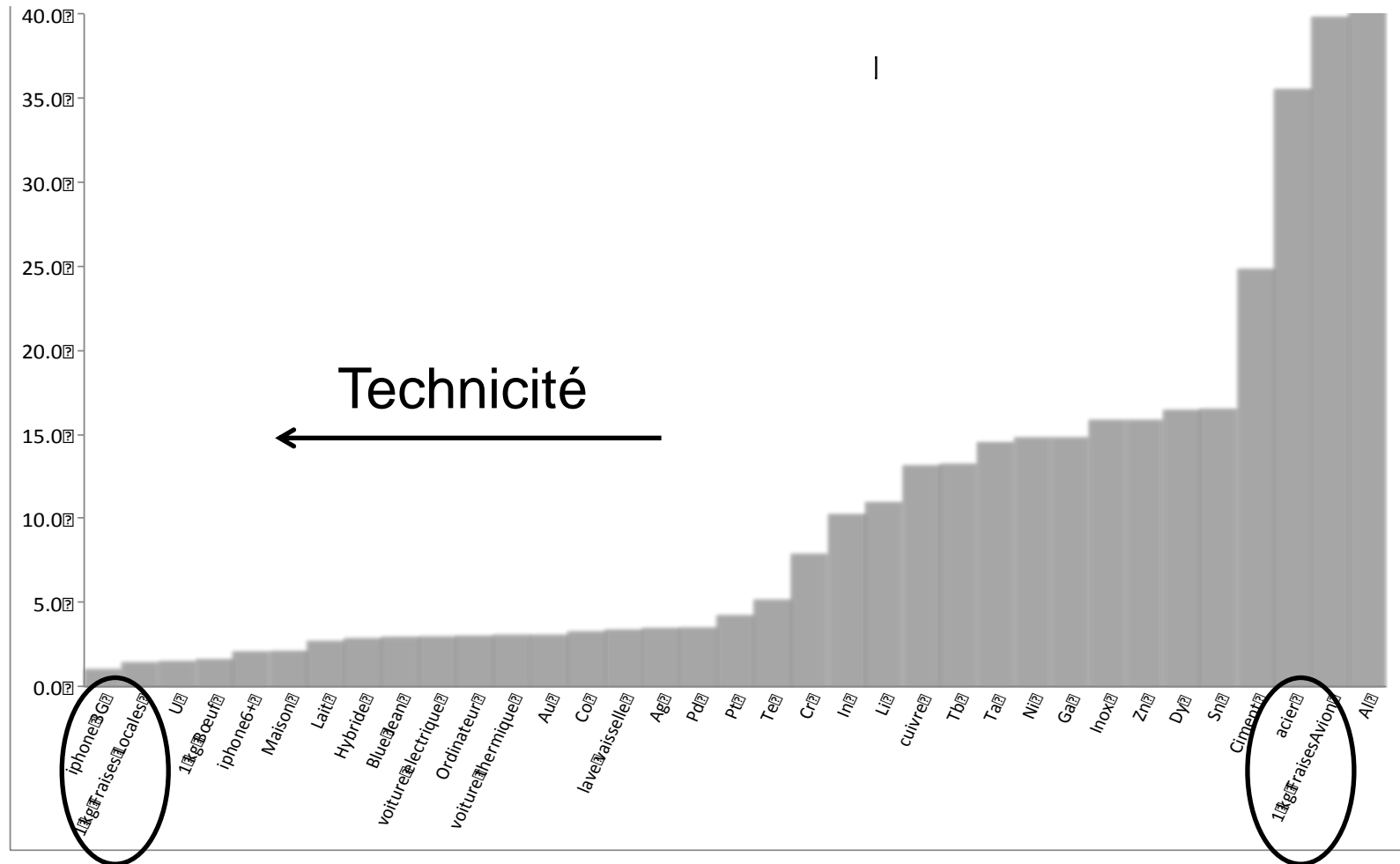
- saturation atteinte avant la pénurie
- recyclage devenant prépondérant (durée de vie)
- nouvelles ressources (plus profond, en mer, extraterrestres)
- nouvelle approche de l'énergie (renouvelables) provenant de l'extérieur du système clos Terre (est-ce une bonne chose si les système est fermé à l'échange de matière ?)

Les vrais problèmes sont

- 1) le taux de croissance (population et richesse)... qui doit diminuer pour absorber les impacts environnementaux et sociaux
- 2) Le part faible du coût des MP dans le coût final (15%)
- 3) Le coût faible de la production primaire qui n'incite pas au recyclage

Autre indicateur intéressant: l'énergie de fabrication/prix final

Les impacts environnementaux de l'extraction ne sont pas pris en compte, car le coût de l'énergie (et du CO2) est faible



Thank you for your attention !

