

# Volumes, métaux, déchets

Avec mes remerciements à

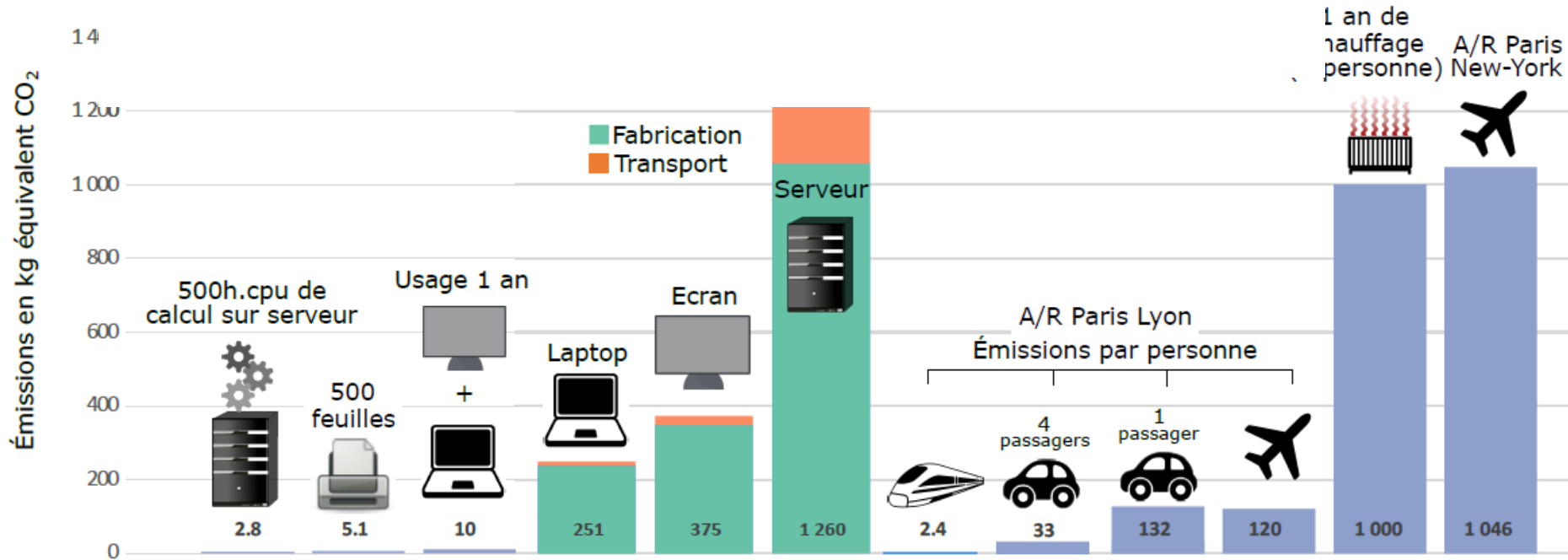
- Jacques Combaz
- Olivier Vidal
- Eric Drezet
- Philippe Bihouix
- Le GDS EcolInfo

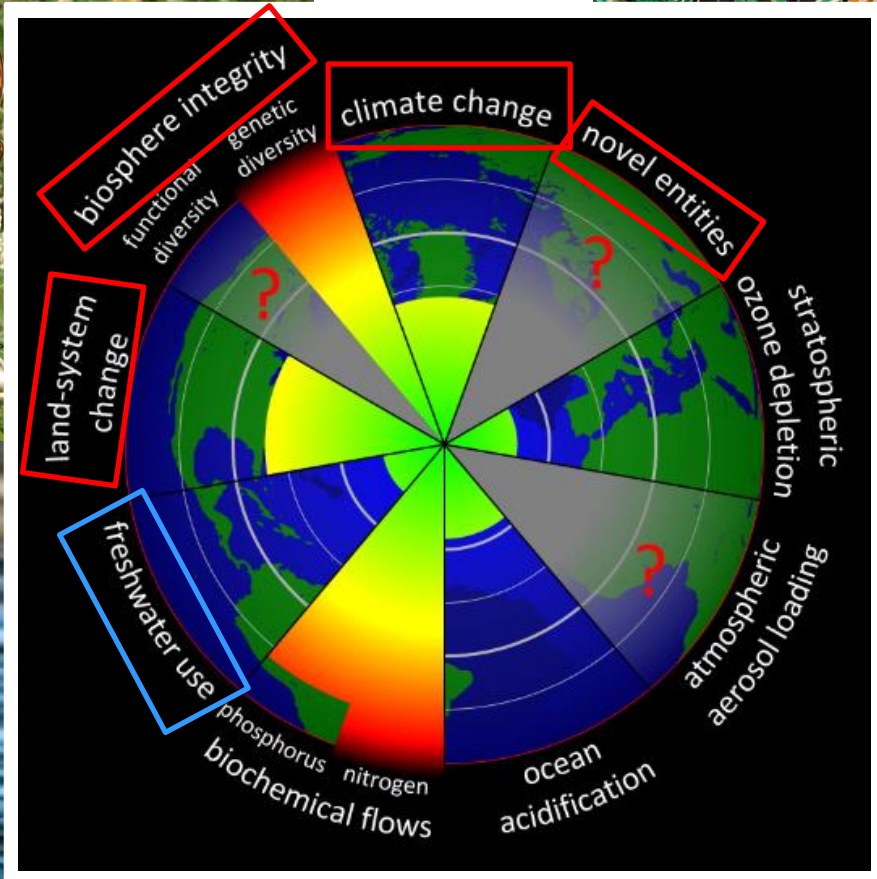
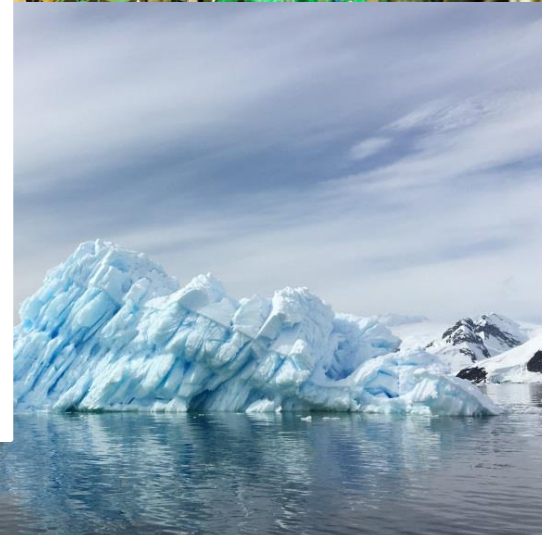
Françoise Berthoud  
26 septembre 2019

ANF EcolInfo

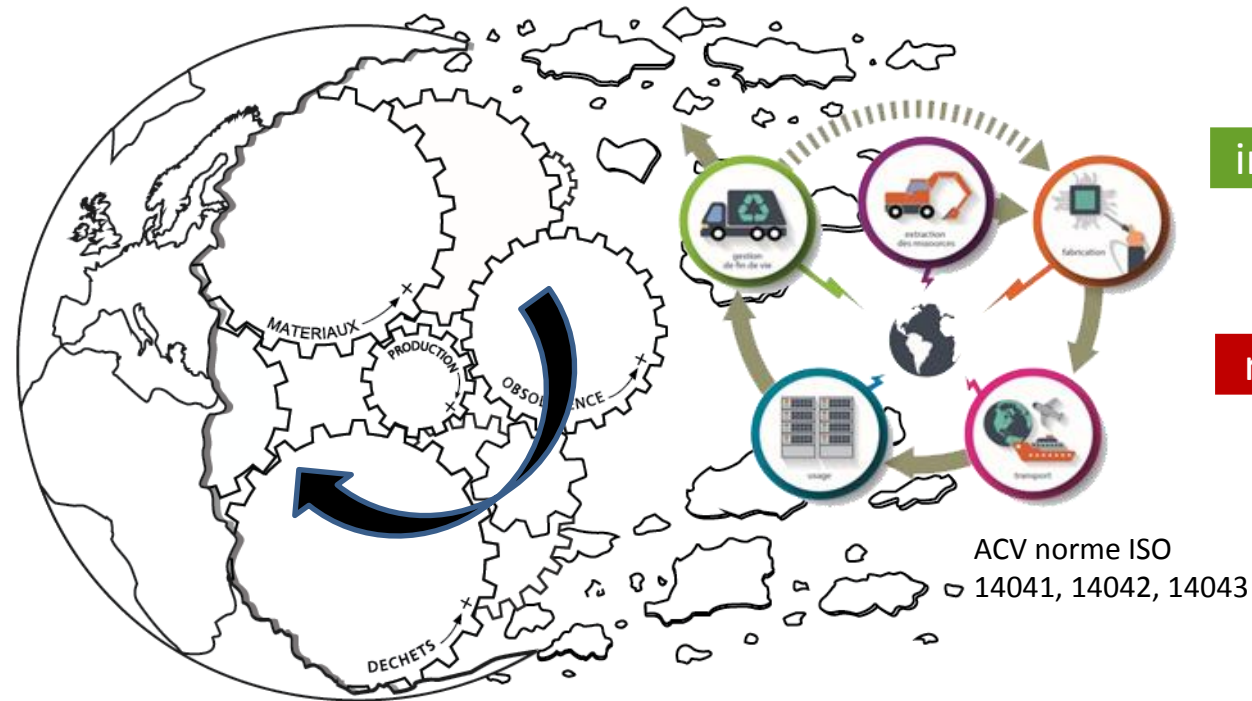


# Quelques ordres de grandeur (kg eq CO<sub>2</sub>)





Rockström et al (2009) et Steffen et al (2015):

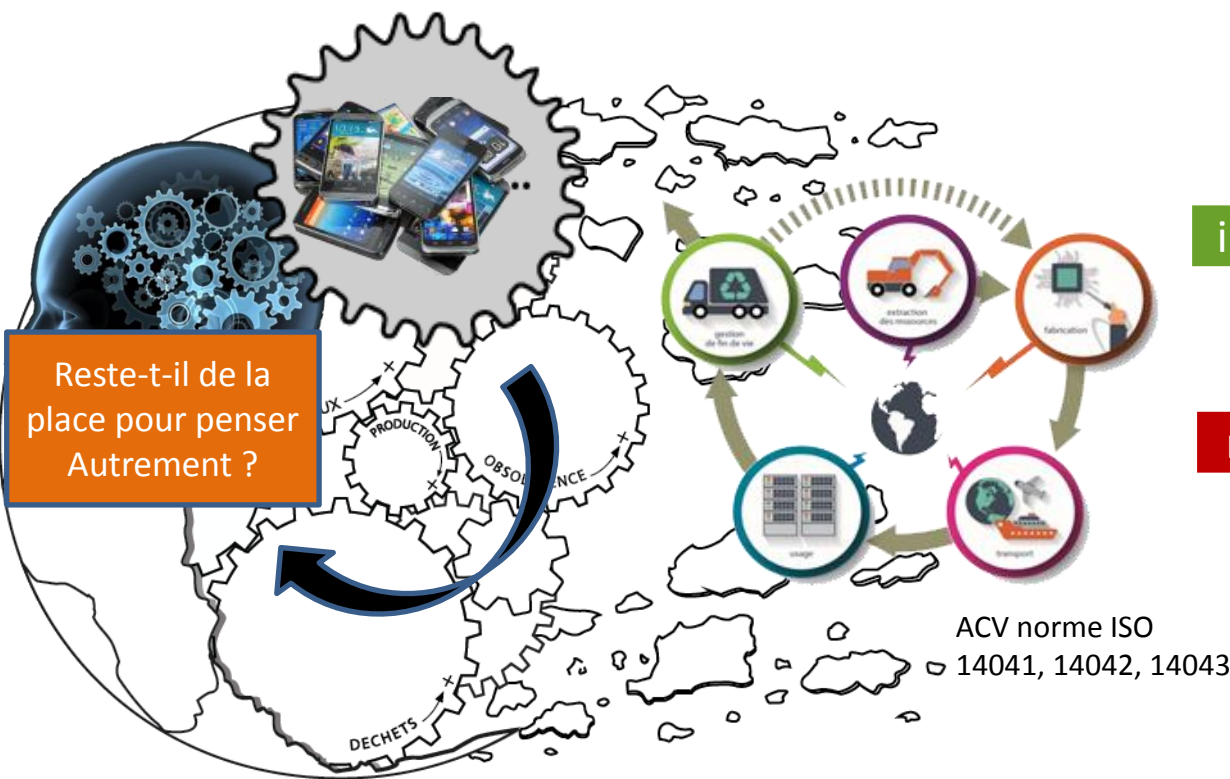


indirect

- Industrie du papier
- Industrie des transports
- Les loisirs (vidéos, etc.)
- Bâtiment / chauffage
- Etc.

rebond

- Toujours plus de la même chose
- Un ré-investissement dans autre chose



Reste-t-il de la place pour penser Autrement ?

indirect

- Industrie du papier
- Industrie des transports
- Les loisirs (vidéos, etc.)
- Bâtiment / chauffage
- Etc.

rebond

- Toujours plus de la même chose
- Un ré-investissement dans autre chose

ACV norme ISO  
14041, 14042, 14043

# Numérique ?

- Equipements terminaux (PC, laptop, tablette, smartphone, mobile, ..)
- Ecrans (moniteurs)
- Serveurs et leur environnement
- Equipements réseaux passifs et actifs (filaire, WIFI, GSM, xG, ..)
- TV, TV connectées
  
- IOT [Nouveau]
- Numérique embarqué ? (véhicules etc.)

# Production / volumes

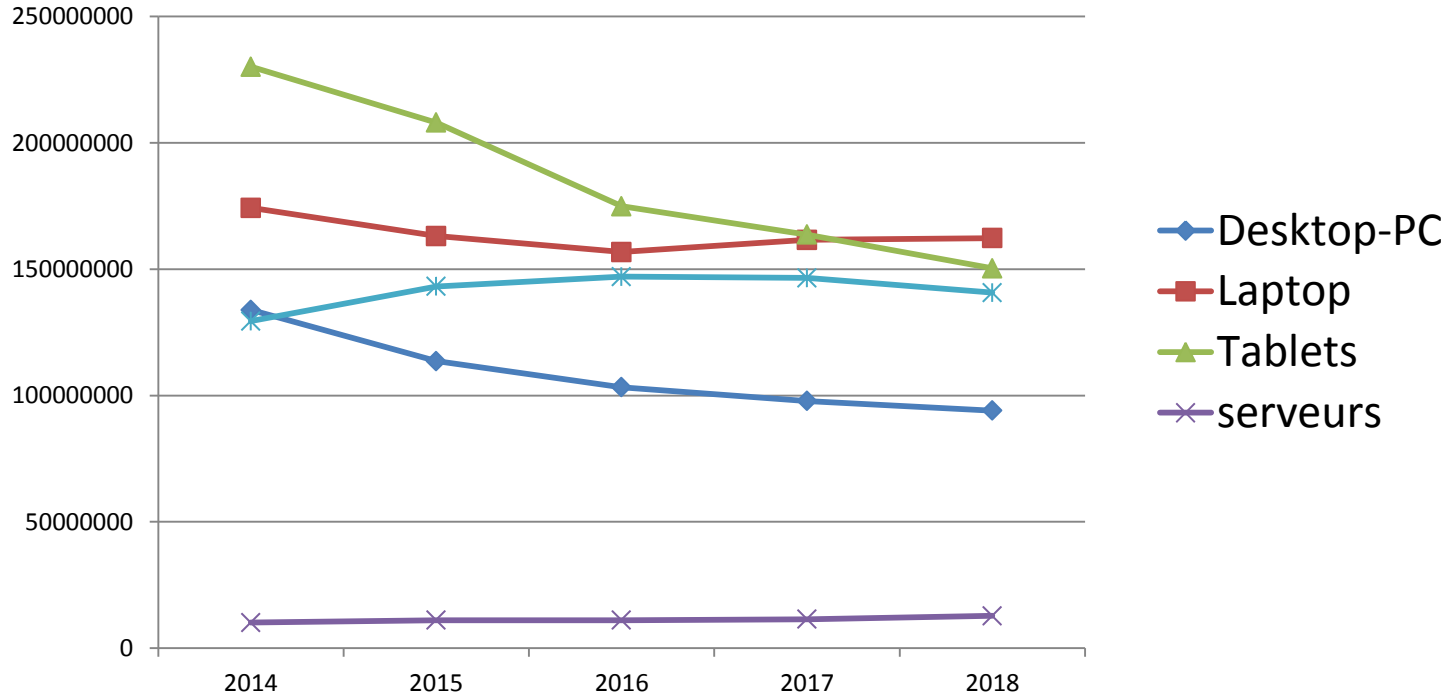
Les données +/- disponibles (mais en général imprécises et très évolutives).

- Volumes vendus par an de certains équipements (écrans, serveurs, PC, portables, smartphones, TV, ..)
- Durée de vie moyenne des équipements

➔ Flux

➔ Stocks

# Quels flux dans le monde ?





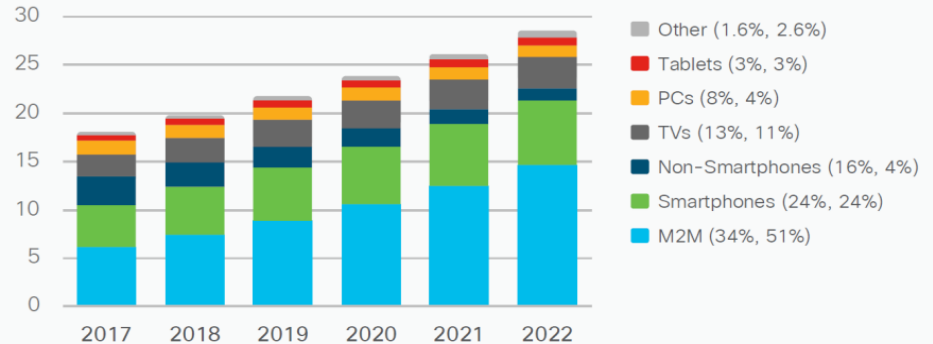


- SUV Range Rover (équipé par l'entreprise Valeo), c'est
  - quatre ou cinq caméras,
  - huit lidars,
  - plusieurs radars longue portée,
  - un ordinateur central de grande puissance,
  - une caméra trifocale sur le pare-brise et d'autres capteurs
- et, pour huit heures de conduite, environ 40 téraoctets de données

+ Batteries  
 + Datacentres  
 + Réseau  
 + Data

10% CAGR  
 2017-2022

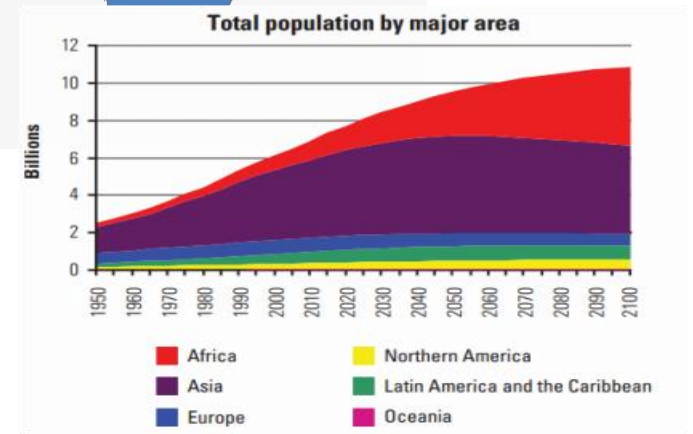
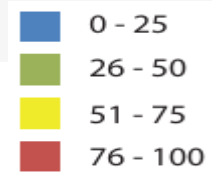
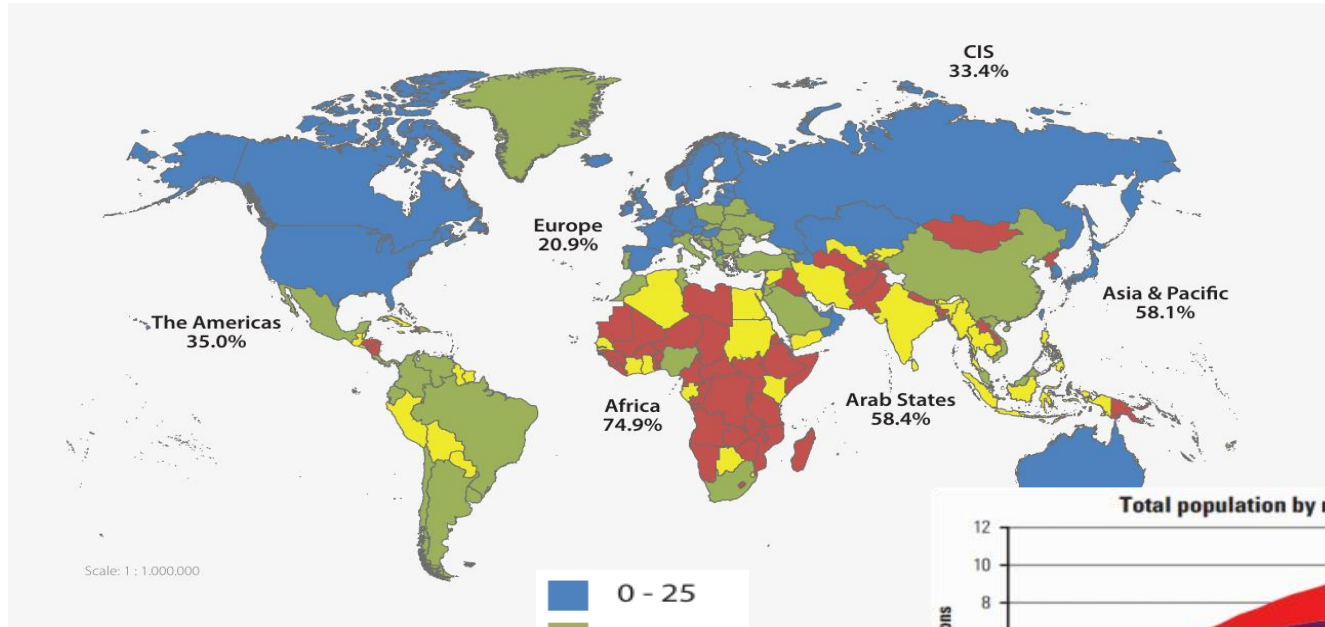
Billions of  
 Devices



\* Figures (n) refer to 2017, 2022 device share

Source: Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2017-2022

# Ils n'avaient pas accès à internet en 2016 (en %) – Source ITU



# Stocks (données estimées)

En fonction des durées de vie estimées :

Table 40. Typical product lifetime of personal computers and peripheral products for their first life.

Category	Typical life time (this study)
Desktop	6
Integrated desktop	6
Workstation	7
Thin client	5
Integrated thin client	5
Notebook	5
Tablet/Slate	3
Portable all-in-one	5
Small scale servers	6
External graphics adapters	5
Docking Stations	5
Peripheral products	6
Power supply units, internal & external	6

Electricité totale pour les TICs

Quantité de métaux « stockés »

Quantité de déchets potentiels

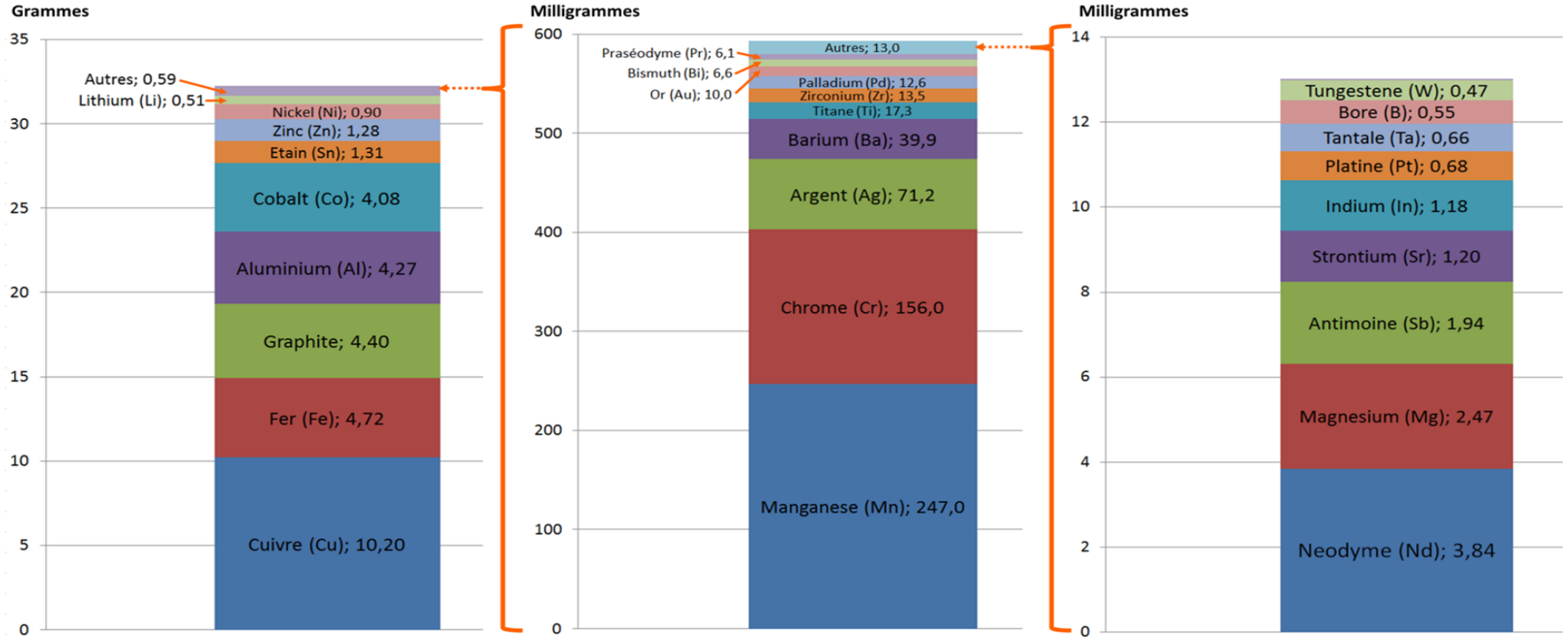
It was decided in this study that the typical lifetime shown in Table 40 will be used for this review study, since this study is based strictly on the design features of the products. This decision reduces the sources of data variation which cannot be included in this assessment due to lack of data for the whole EU.

# limites

- Difficile d'accéder aux données sectorielles (IOT notamment)
- Périmètre « secteur » pas clair et évolutif en fonction du temps (IOT, véhicules, vêtements connectés etc. ..)
- Durée de vie moyenne des équipements variable en fonction des zones géographiques

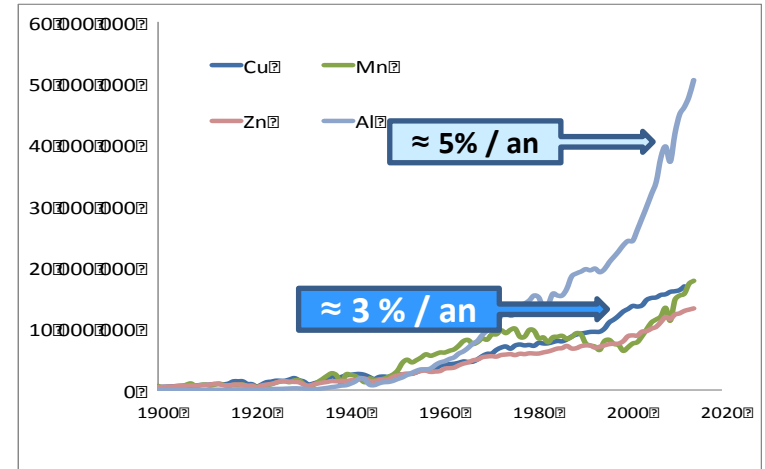
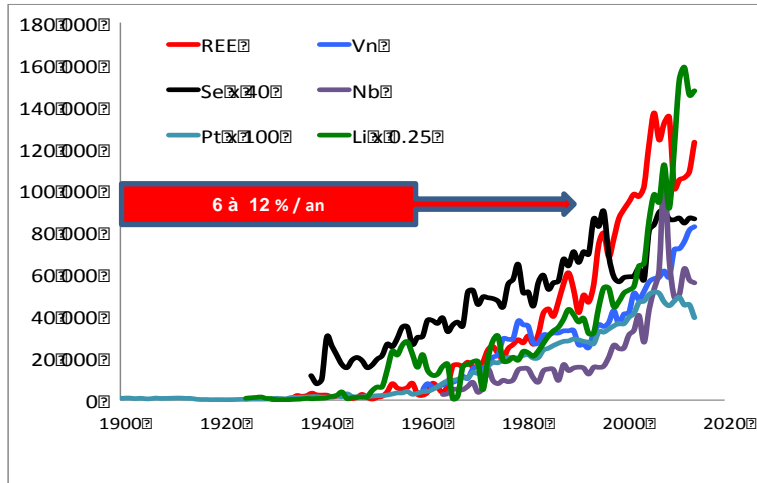
# Les métaux

# Composition classique d'un smartphone (source orange)



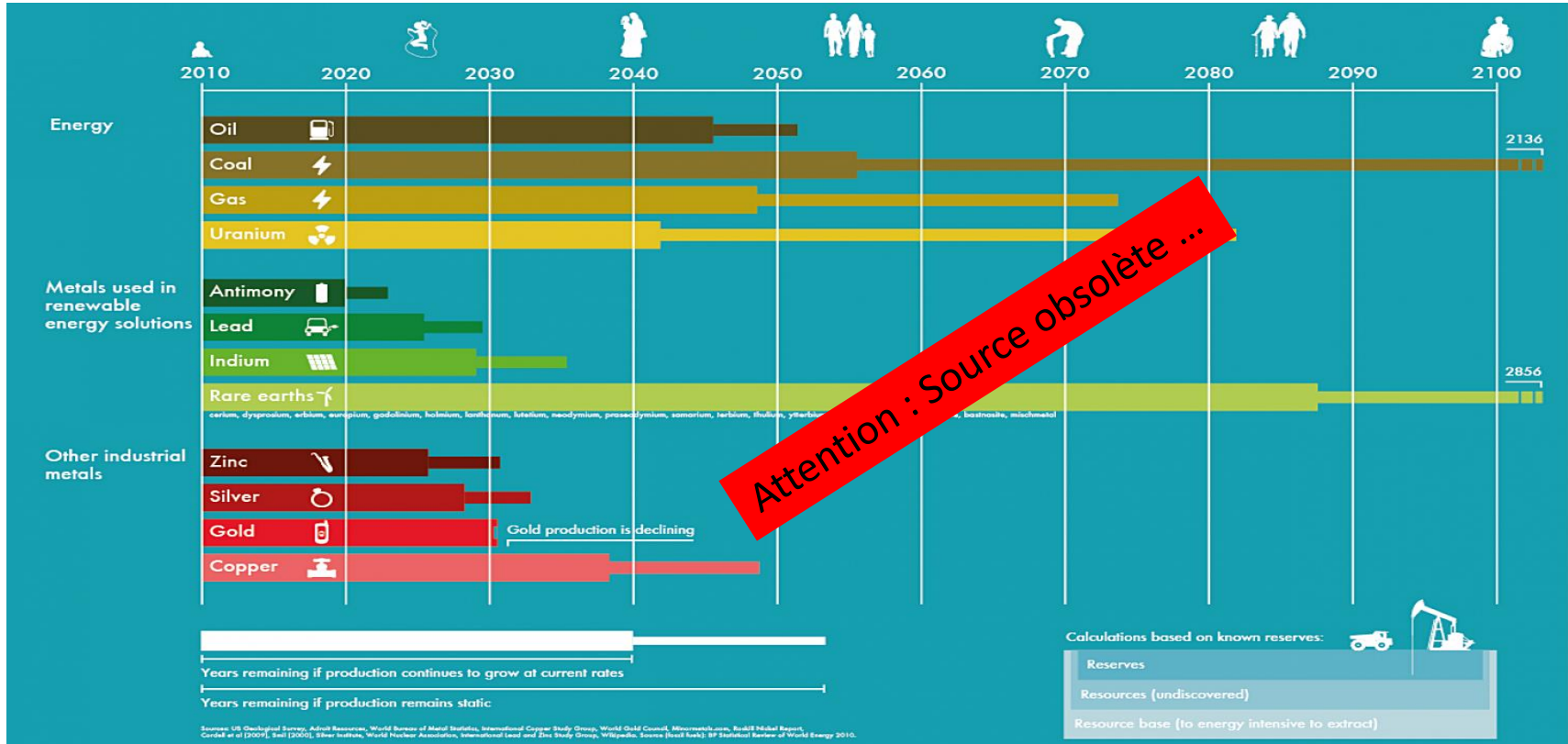
Voir aussi : <http://www.isf-systext.fr/sites/all/animationreveal/mtxsmf/#/1>

# Les métaux : croissance de la demande



# Métaux : stocks / réserves

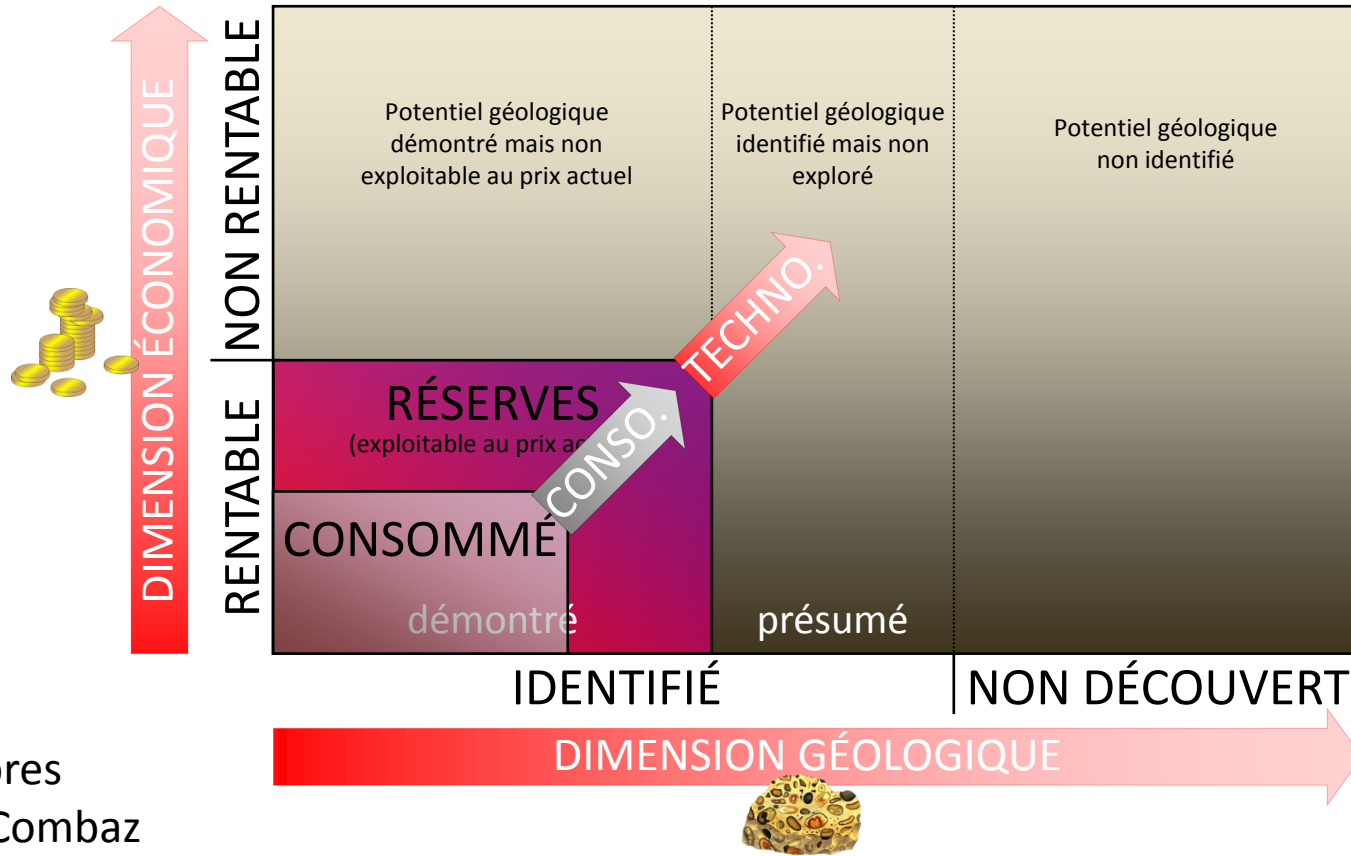
## Problèmes de limites ?





# Métaux : stocks / réserves

Dans la croûte terrestre



D'après pres  
Jacques Combaz



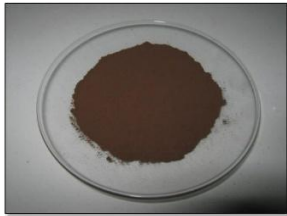
**Energie totale =**  
E extraction + E broyage +  
E réduction + E transports

*Extraction*

Minerai



*Broyage*



Mineral de fer broyé (concassé)  
Teneur de fer 40.81%

Mineral de fer broyé (concassé)  
Teneur de fer 44.46%

Minéral :

- Oxyde (hématite : Fer)
- Sulfate (calcopyrite : Cuivre + ..)
- Silicate (dolomite : Magnesium)
- Etc.

**Exemple : hématite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$**

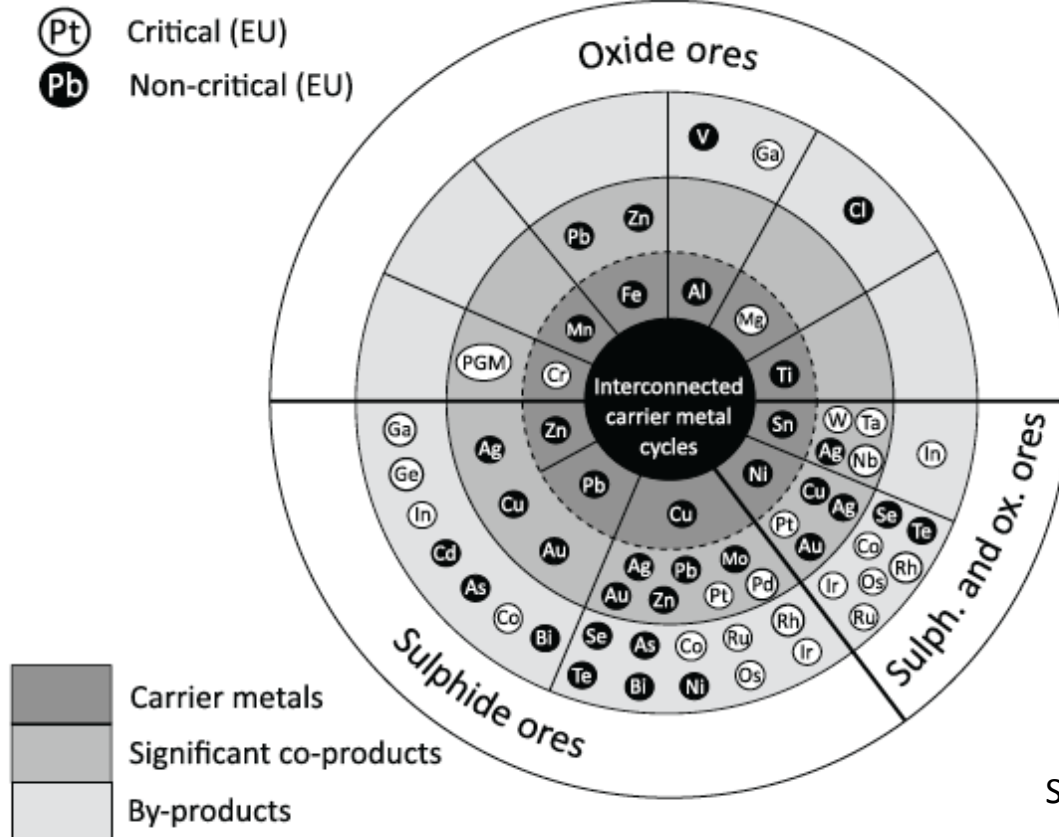
Métal brut



Energie chimique de liaison → limite thermodynamique

*Réduction chimique ou électrolytique*  
*Pyrométallurgie ou hydrométallurgie*

# Des métaux primaires & secondaires



Source : Olivier Vidal, 2018

# Métaux : stocks / réserves

Problèmes de limites ?

Cas du Fer : limite thermodynamique

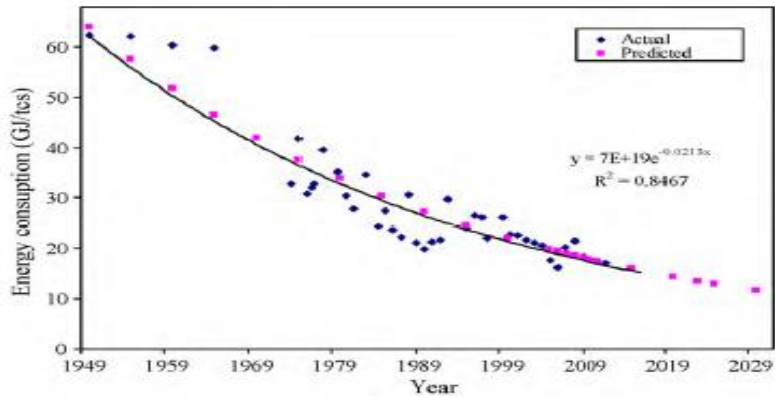
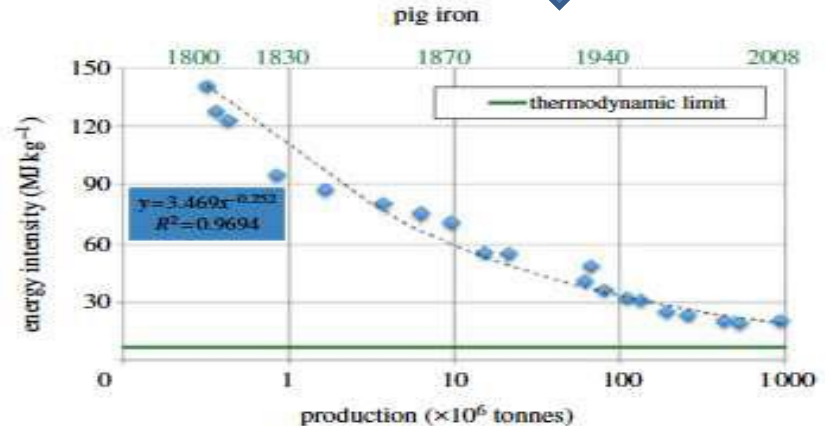


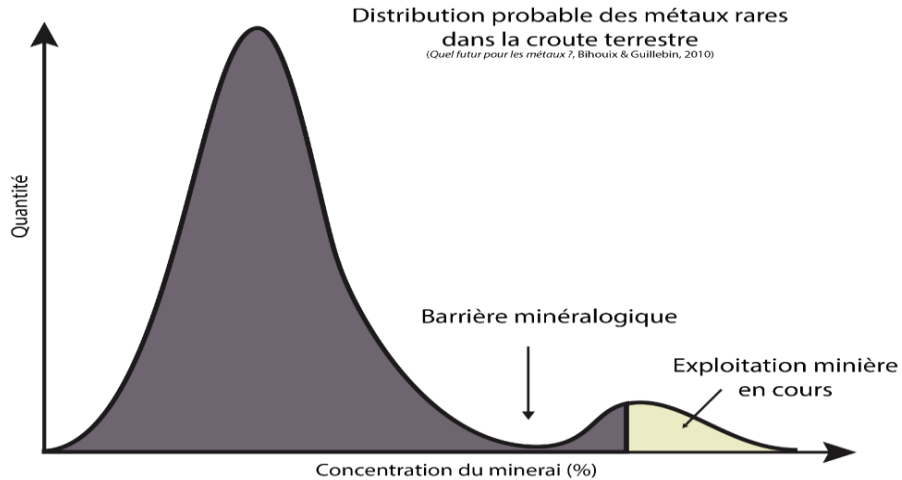
Fig. 5. Actual and projected specific energy consumption in the steel industry (world average).

Amélioration de la technologie

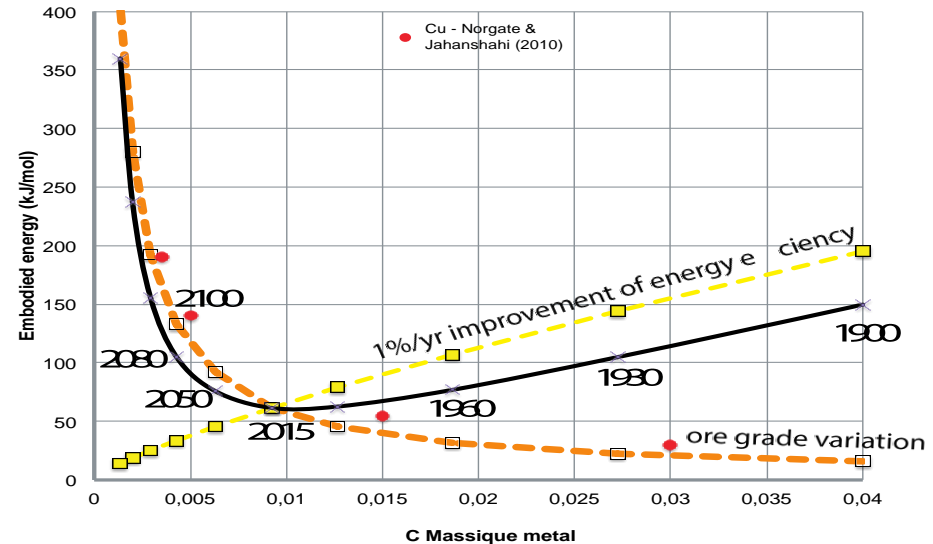


# Métaux : stocks / réserves

## Problèmes de limites ?



Source : Bihouix

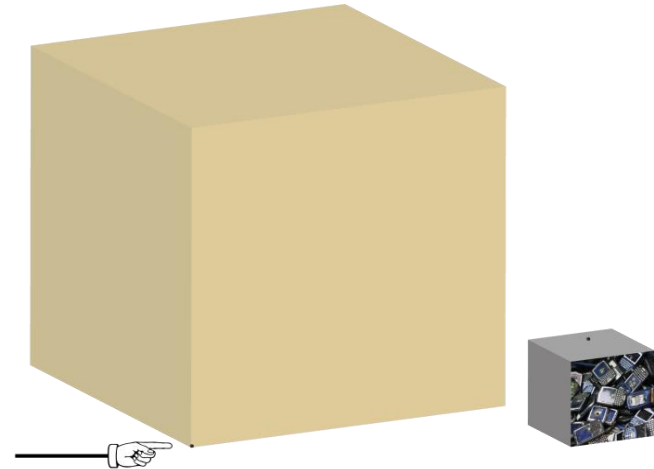
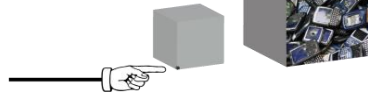
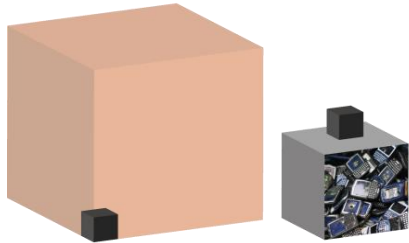


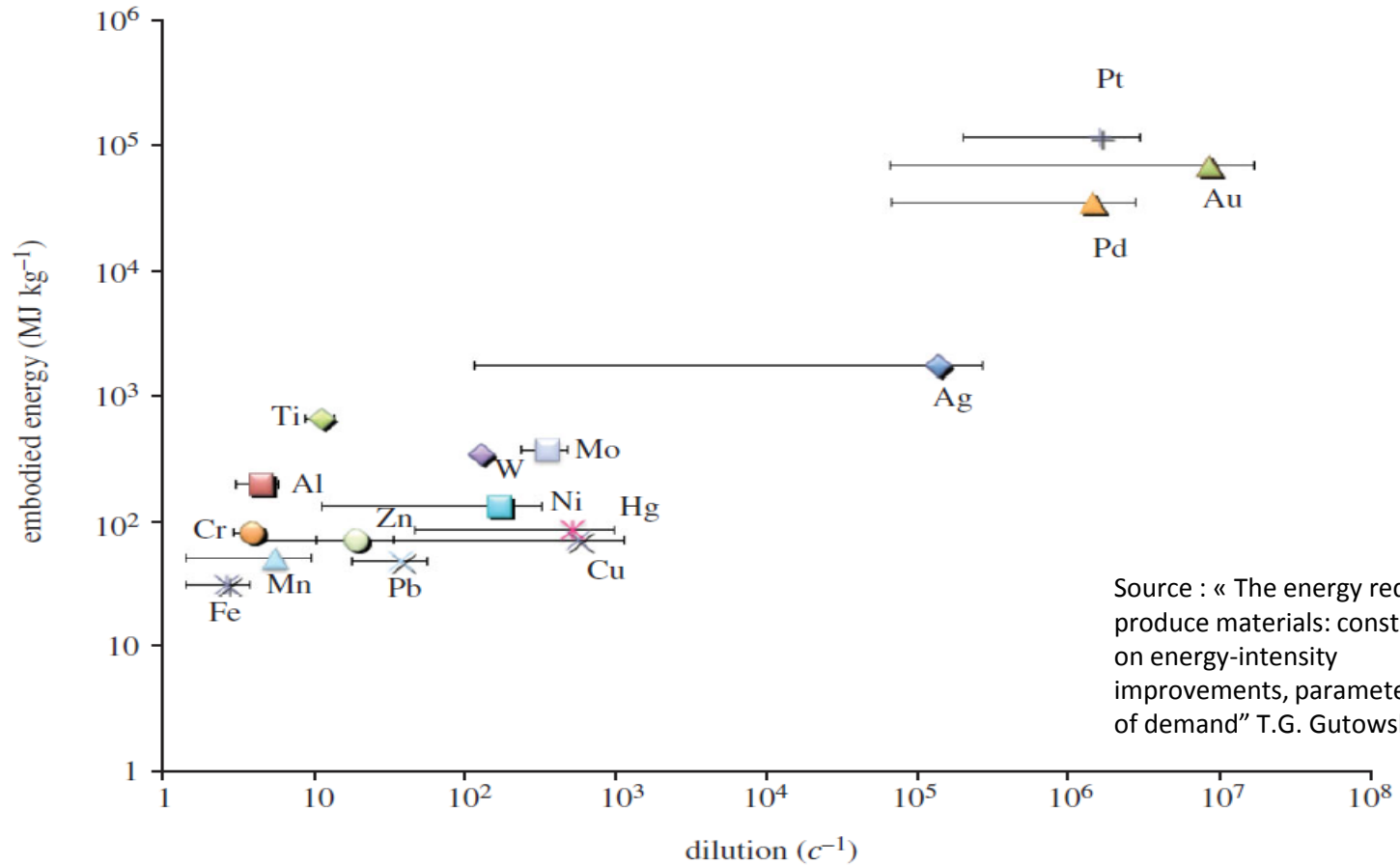
Source : Vidal, INRIA, 2019



L'ÉPUISEMENT DES RESSOURCES

Pour la fabrication des smartphones vendus en 2018  
Volume de minerais à broyer pour extraire : le Cu, le  
Ta, l'Or nécessaires





Source : « The energy required to produce materials: constraints on energy-intensity improvements, parameters of demand” T.G. Gutowski, 2013

**Figure 3.** Embodied primary energy of 16 metals [10] plotted against the dilution, or inverse of concentration, of the common ores used to produce the metals [12].

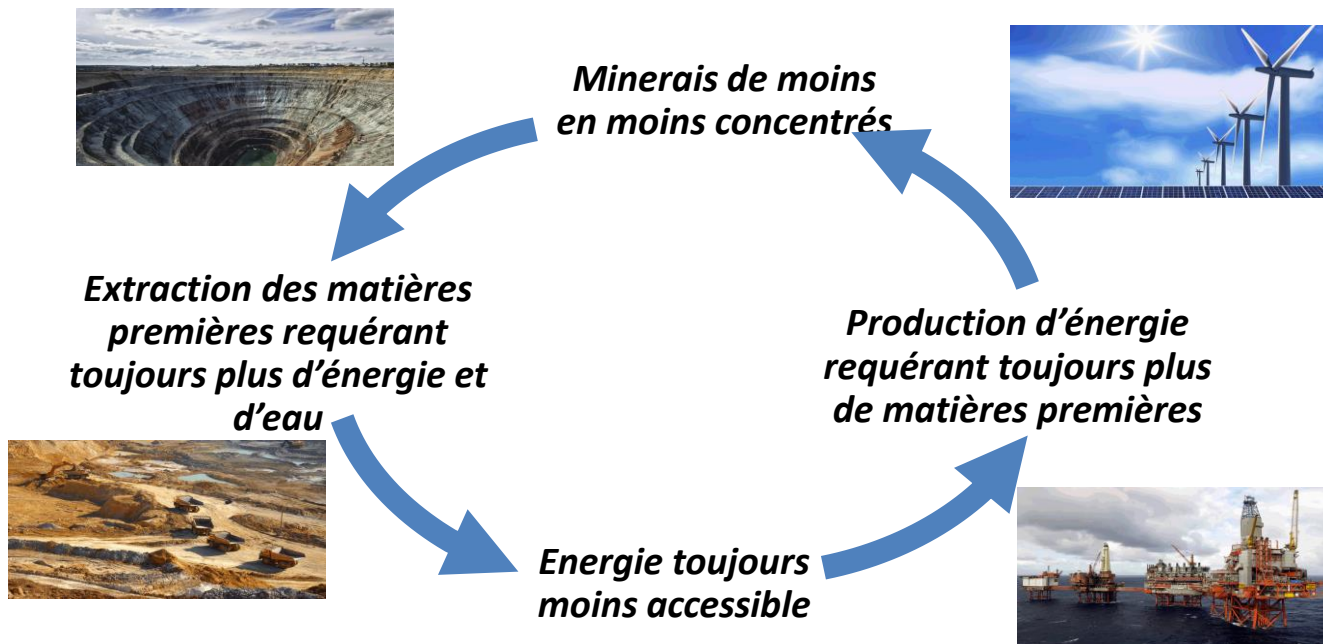
# Métaux / énergie, CO2, eau

Métal	kg eq CO <sub>2</sub> /kg	Energie en moyenne (MJ/kg)	Eau en moyenne (Litres/kg)
Cuivre	3,7	60	308,5
Fer	1,5	18	26
Plomb	2	27	350
Nickel	11,5	181,5	592
Or	26500	252500	252000
Palladium	8500	157000	196000
Platine	14750	270500	196000
Argent	100	1475	2305
Titane	46,5	685	940
Zinc	3,3	46,2	344
Aluminium	12	210	990

Source : Bruna Tanaka Cremonini & Benoît Cushman-Roisin  
School of Engineering Dartmouth College, USA  
A paraître



# Un problème de ressources et d'énergie

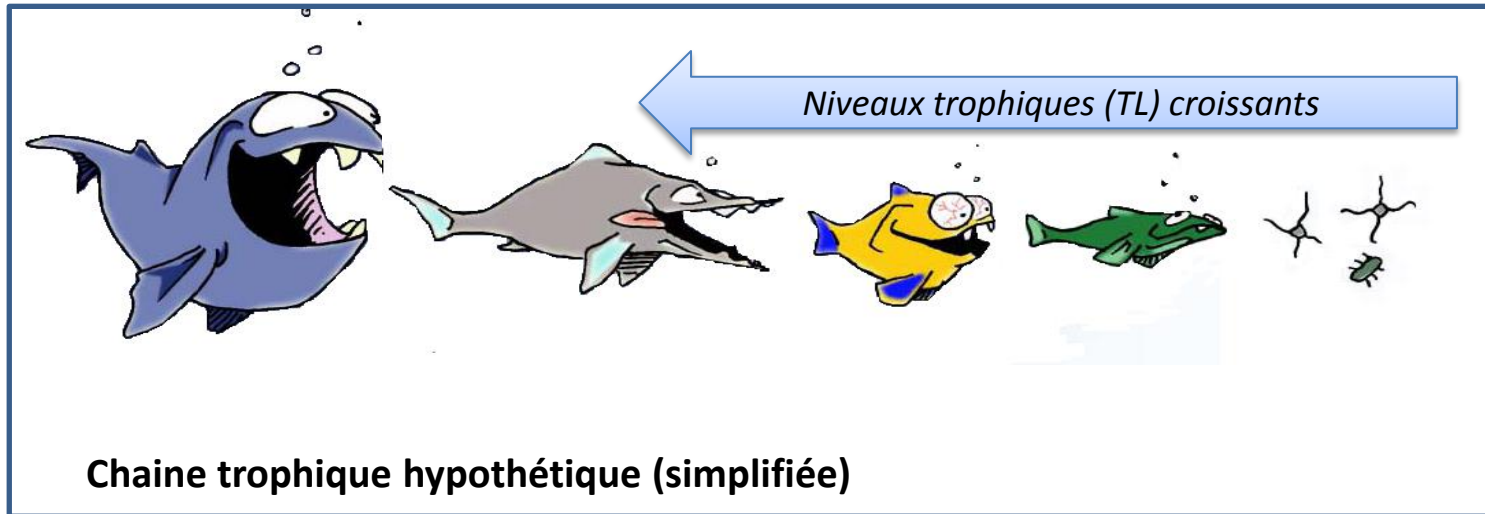


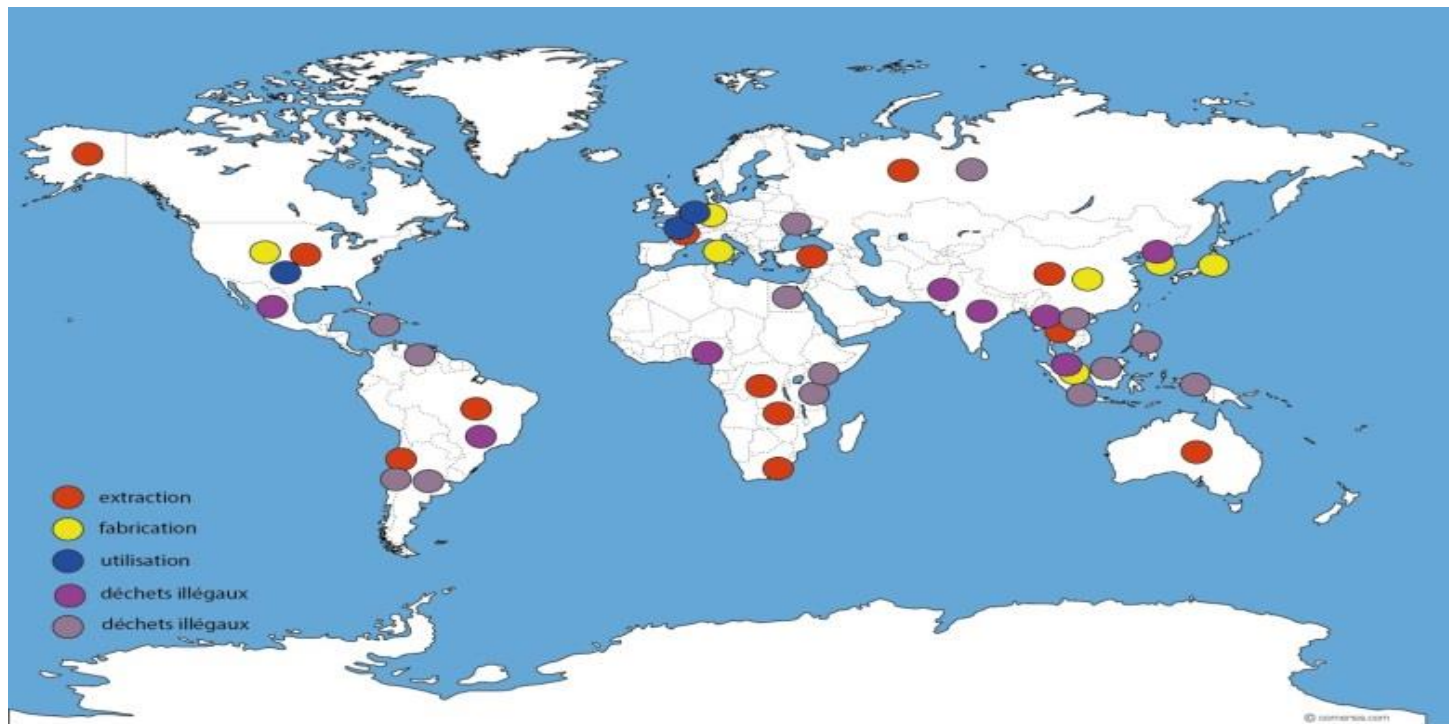
Pollution : toxicité humaine, éco-  
toxicité terrestre et aquatique

# Pollution

- Pollution diffuse plus ou moins localisée, plus ou moins durable
- Polluants bioaccumulables ...

Bioamplification = processus par lequel la concentration tissulaire d'un composé dans un organisme à un niveau trophique donné excède celle du niveau trophique inférieur/ contigu (USEPA, 2010)





# Impacts sociaux

- Accès à l'eau : conflits entre agriculture, industrie, population ET industrie minière
- Conflits armés renforcés par tensions (tantale en RdC) & pb géopolitiques
- Exploitations illégales



Mines de diamants en République démocratique du Congo

Photo © PNUE (2011)

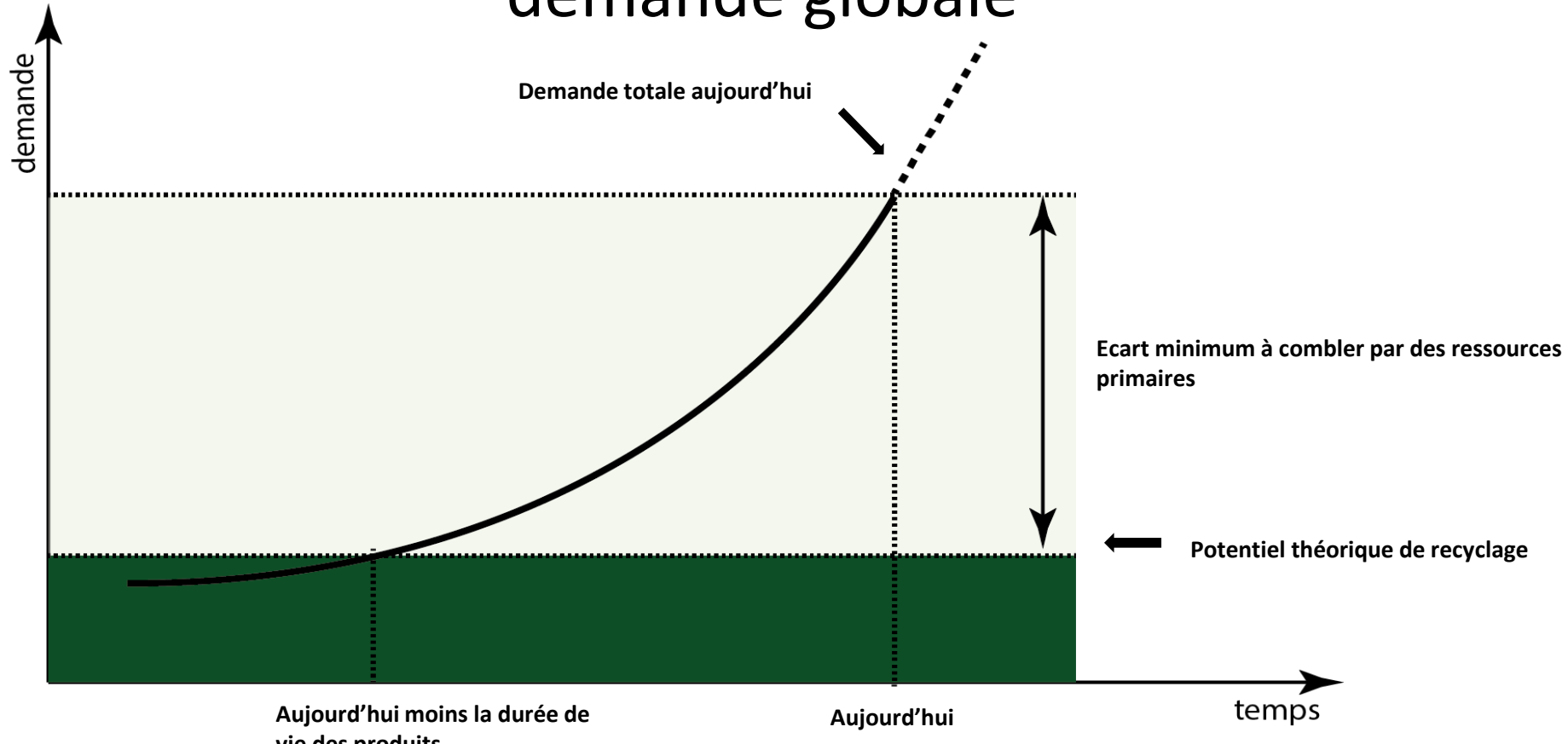


# Métaux / valeur économique

Métal	Prix (juillet 2019) Euros par kg
Cu	5,5
Fe	0,57
Pb	1,6
Ni	14,4
Or	40900
Palladium	43725
Platinum	24300
Argent	500
Titanium	4,8
Zinc	2,4
Tantale	300

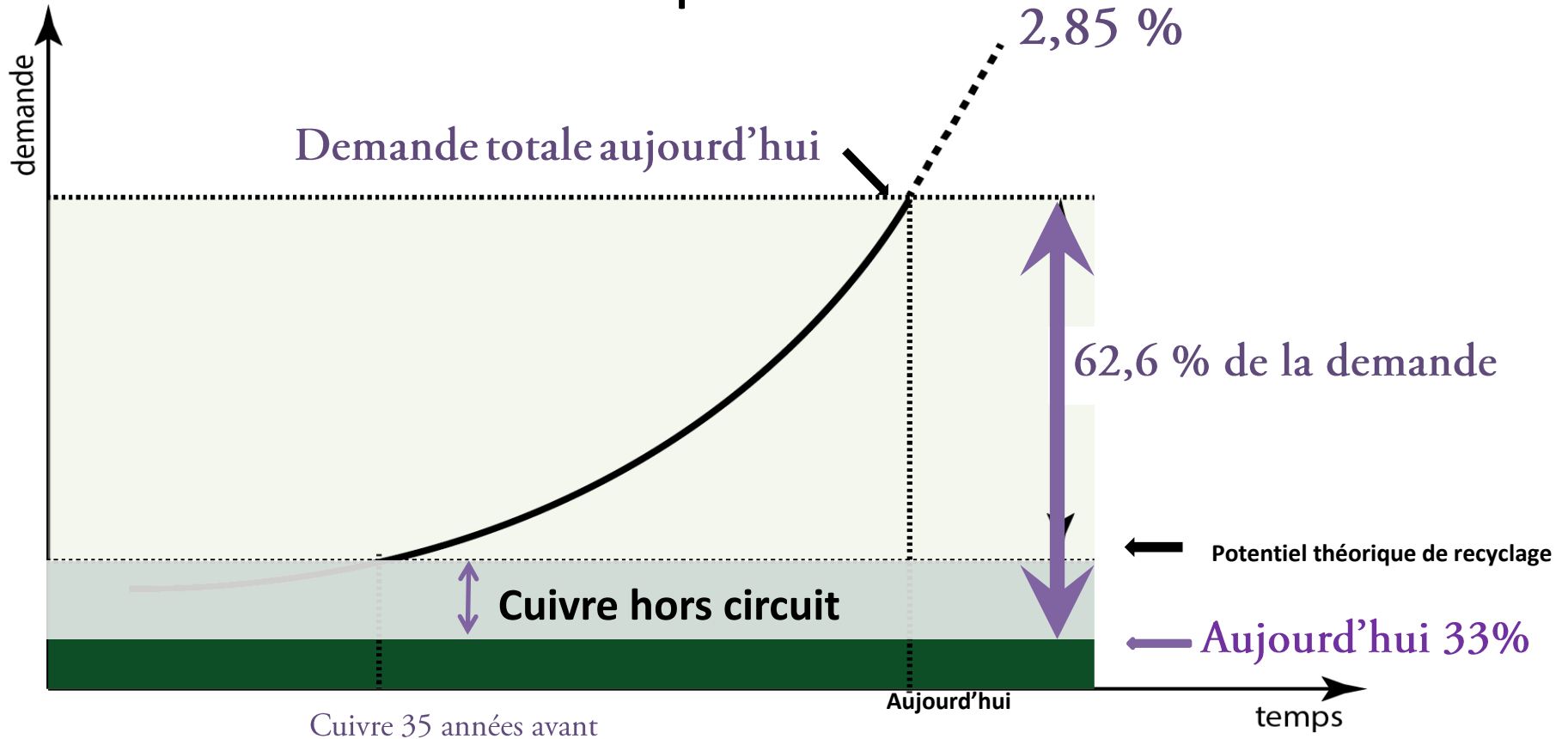
# Le recyclage, une solution ?

## demande globale



# Le recyclage, une solution ?

## Exemple du cuivre





Cuivre : +2,85 % / an

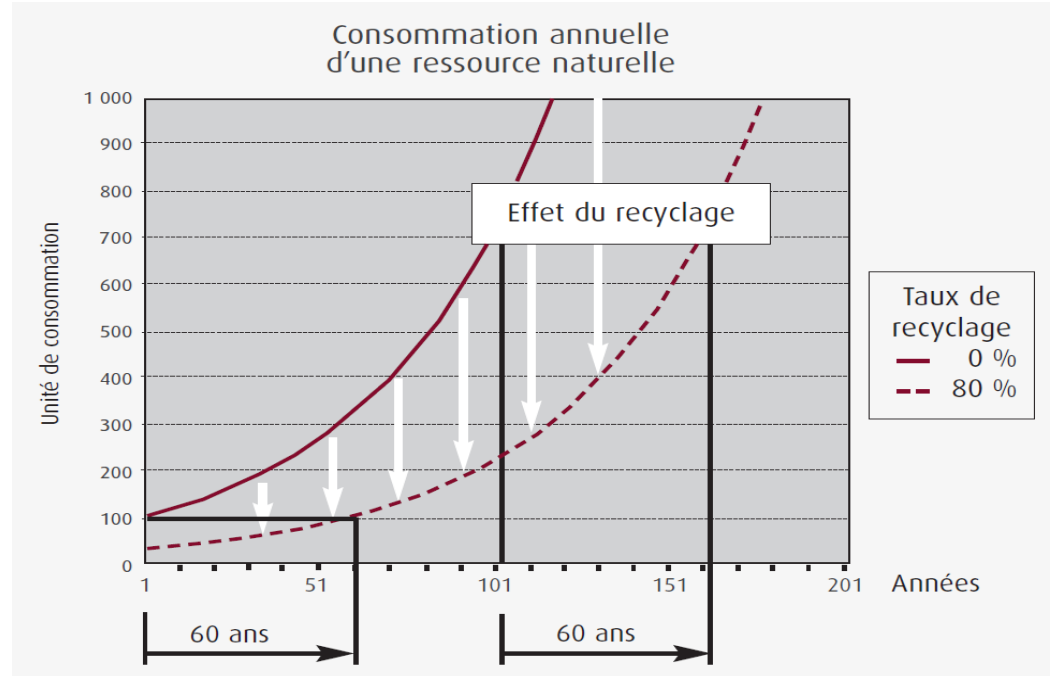
- Tout le cuivre contenu dans les 30 1ers km de la croute terrestre sera extrait en moins de 800 ans !
- Tout le cuivre de l'univers serait extrait en moins de 6000 ans.

Les premiers objets en cuivre datent de 9700 ans

## Croissance exponentielle de la demande + recyclage

→ On retarde +/- le moment où il faudra prélever les mêmes quantité de ressources

~~Economie circulaire ?~~

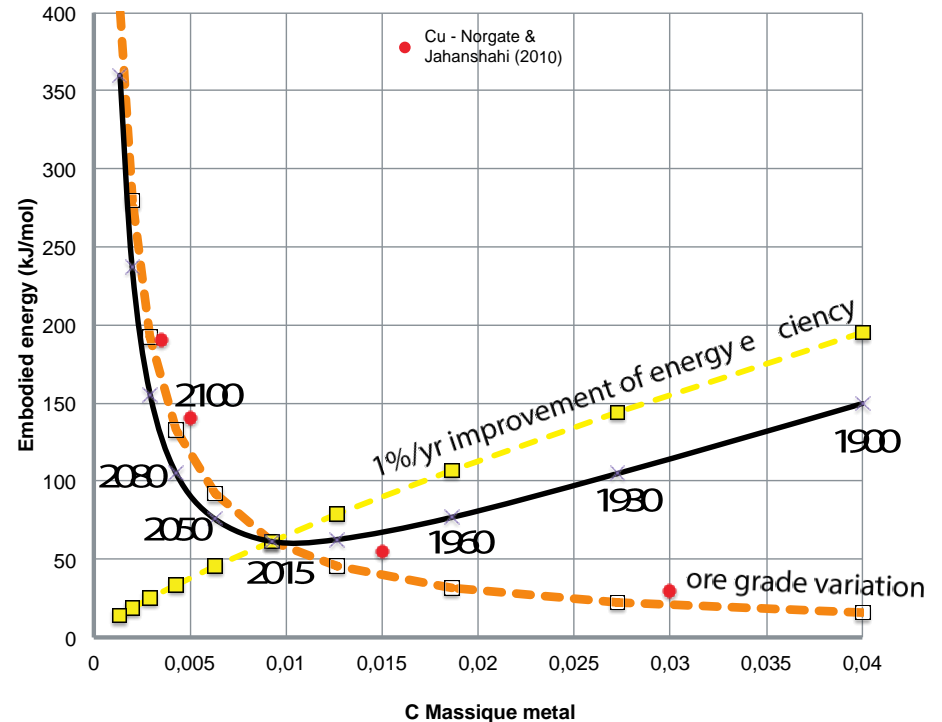


Cas d'un métal dont le taux de croissance est de 2% (durée de rétention 7a)

Source François Grosse, futurible, 2010

# Indicateurs : déplétion des métaux, utilisation d'eau douce

- Concentrations en diminution
- Besoins en énergie en augmentation
- Besoins en eau en augmentation

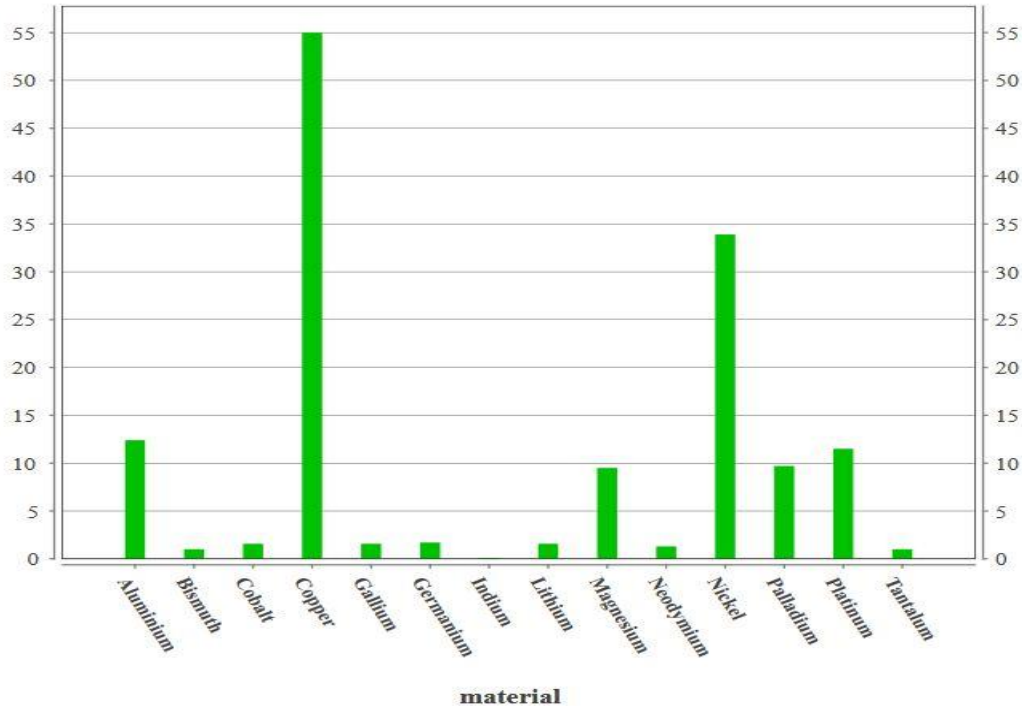


On ne connaît pas le moment de la fin des réserves

Source : Vidal, INRIA, 2019

# Zoom sur le recyclage

## recycling input rate (Europe)



Source : [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=cei\\_srm010](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=cei_srm010)

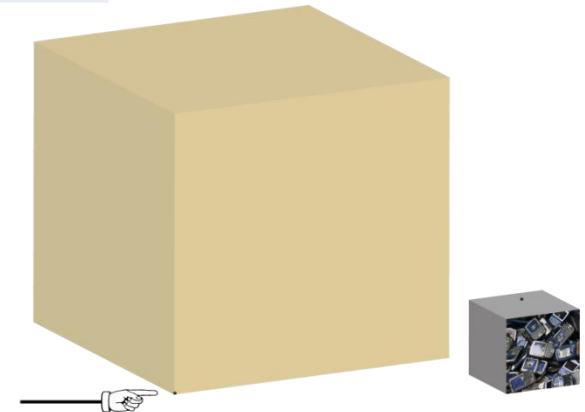
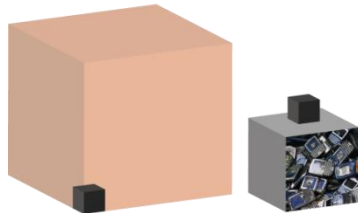
# Pourquoi ?

## Mines urbaines

Metal	Concentration minerai (2002) (kg/tonne)	Concentration cartes électroniques (2014)	Facteur min-max
<b>Cuivre</b>	0,5 – 3,0	12,0 – 29,0	4 - 250
<b>Etain</b>	0,2 – 0,85	1,1 – 4,8	1,3 - 24
<b>Or</b>	0,0005	0,0029 – 0,112	10 - 224
<b>Argent</b>	0,0005	0,01 – 0,52	20 -1040

Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation

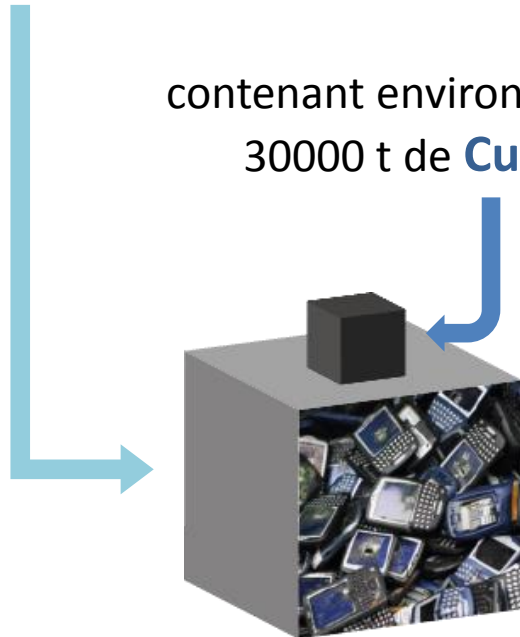
Waldir A. Bizzo <sup>1\*</sup>, Renata A. Figueiredo <sup>1</sup> and Valdelis F. de Andrade <sup>2</sup>  
Materials, 2014



# Exemple : Métaux issus des smartphones vendus en 2018 : cas du Cu, Ta et Or

1,5 milliards de smartphones vendus en 2018 =  
Cube de 52 m de coté environ de déchets potentiels

contenant environ 50 métaux différents dont environ  
30000 t de **Cu**



62 t de Ta



56 t d'Or





# Les déchets électriques et électroniques (DEEE)

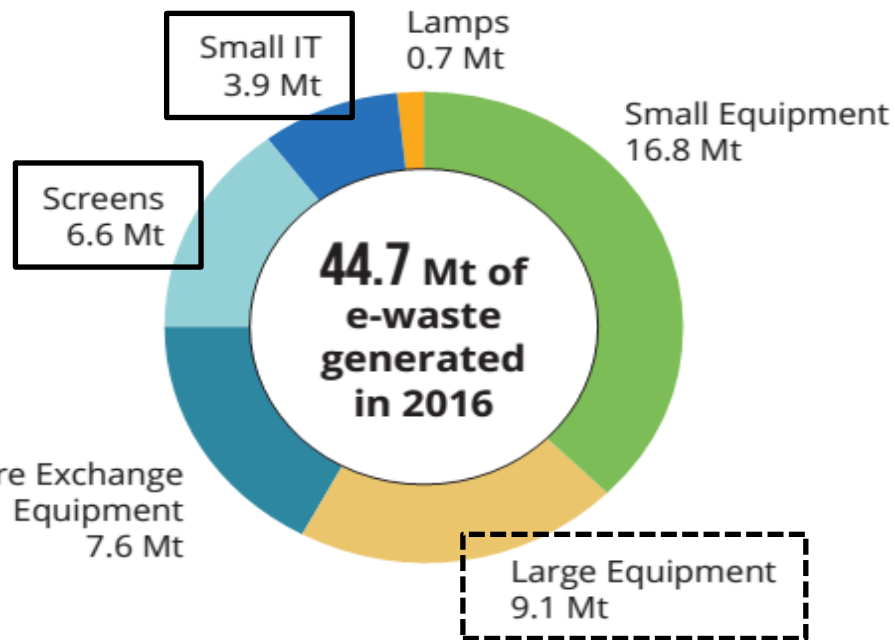
20% (8.9 Mt) of e-waste is documented to be collected and properly recycled



80% (35.8 Mt) of e-waste is not documented

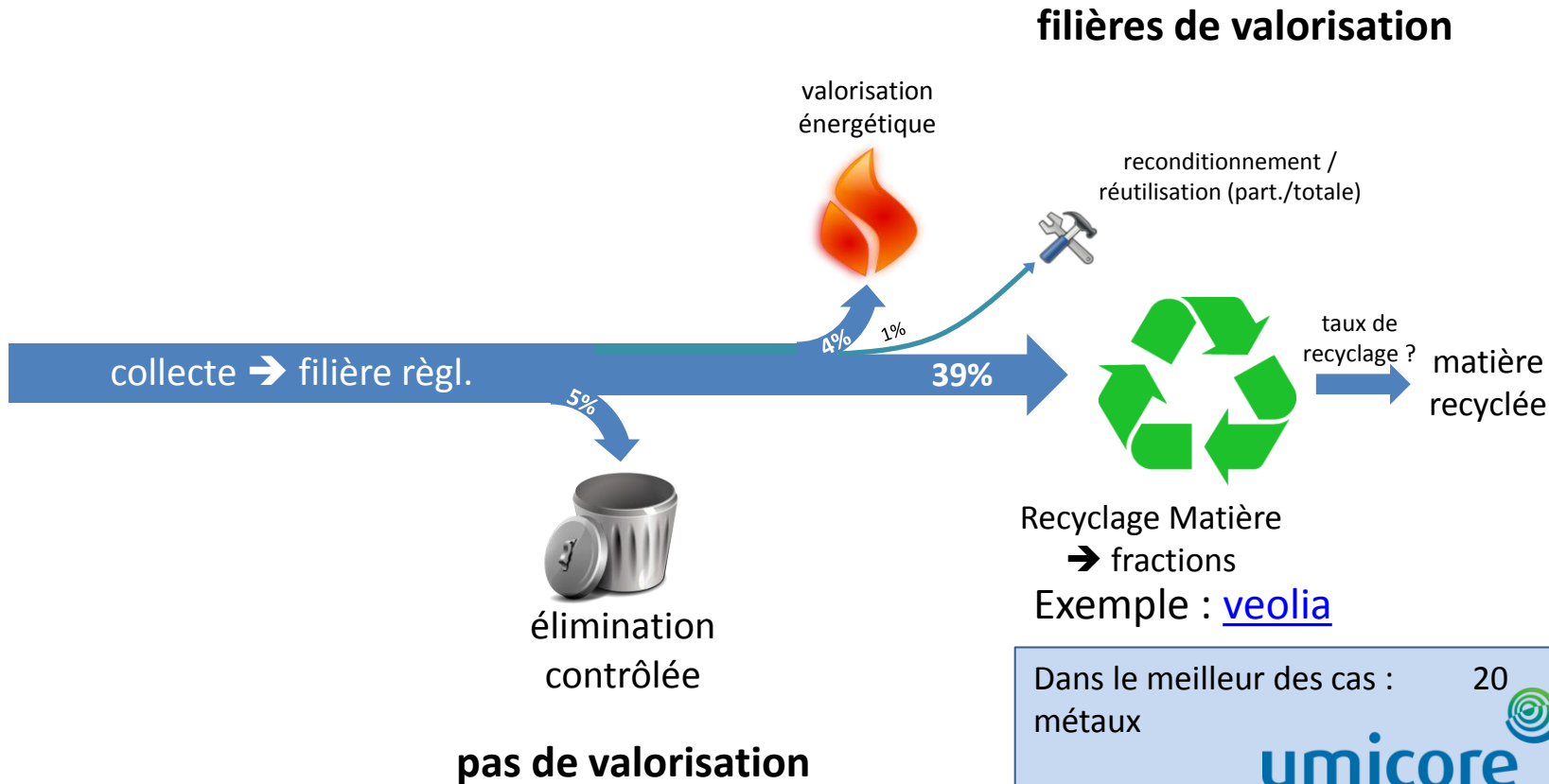
- 4% (1.7 Mt) of e-waste in the higher income countries is thrown into the residual waste
- The fate of 76% (34.1 Mt) of e-waste is unknown; this is likely dumped, traded, or recycled under inferior conditions

Smartphone : 16% ?





**DEEE**



Dans le meilleur des cas : 20 métaux

**umicore**  
materials for a better life





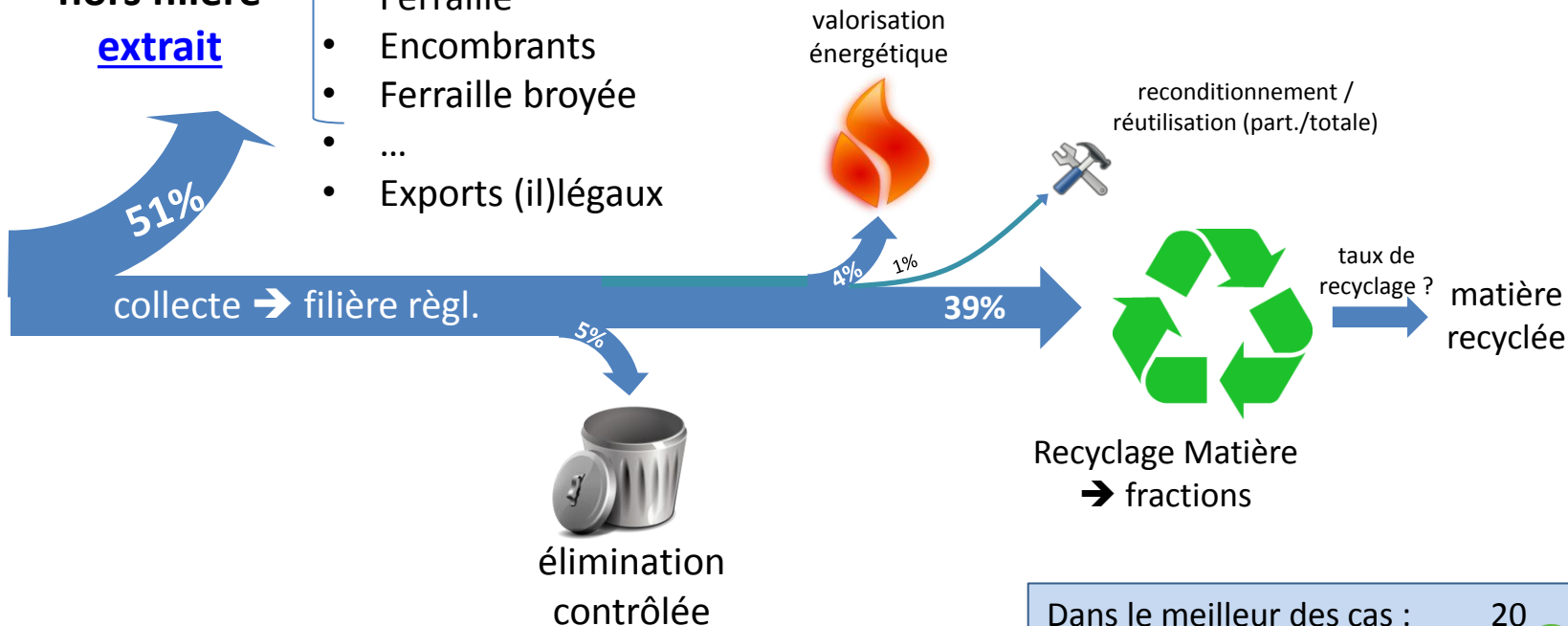
extrait

**hors filière**  
extrait

- Tiroirs
- Déchets ménagers
- Ferraille
- Encombrants
- Ferraille broyée
- ...
- Exports (il)légaux



**DEEE**



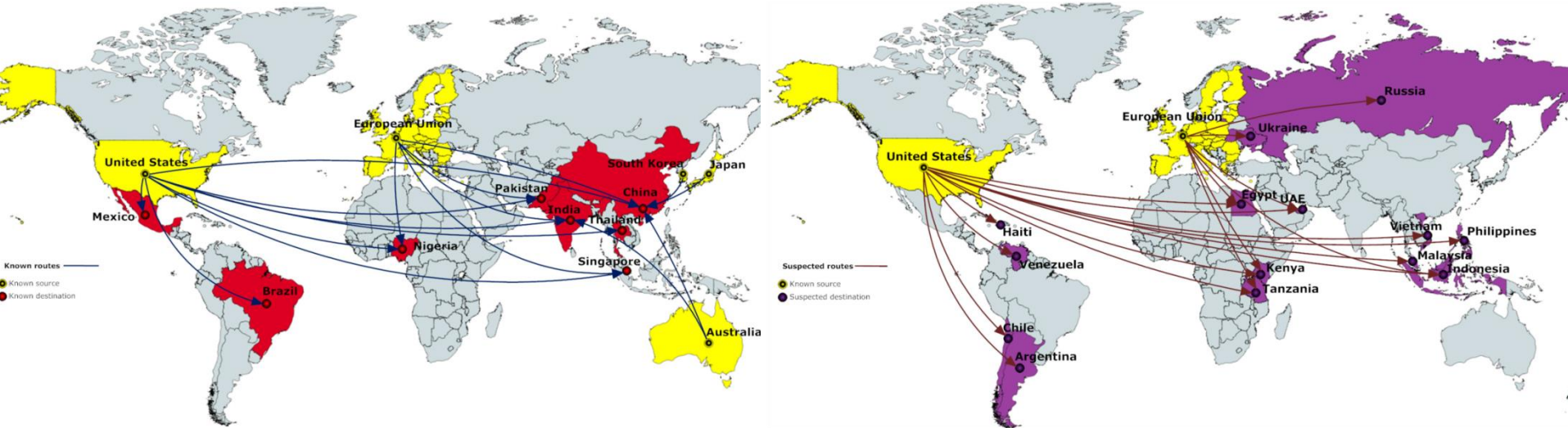
sources :

- registre DEEE, Ademe, 2016
- Extrait : « déchets électroniques : le grand détournement », reportage France 5, février 2019

<https://www.youtube.com/watch?v=uZI99xZDVkg>

Dans le meilleur des cas : 20 métaux

# Traffic illégal & suspecté de déchets électroniques

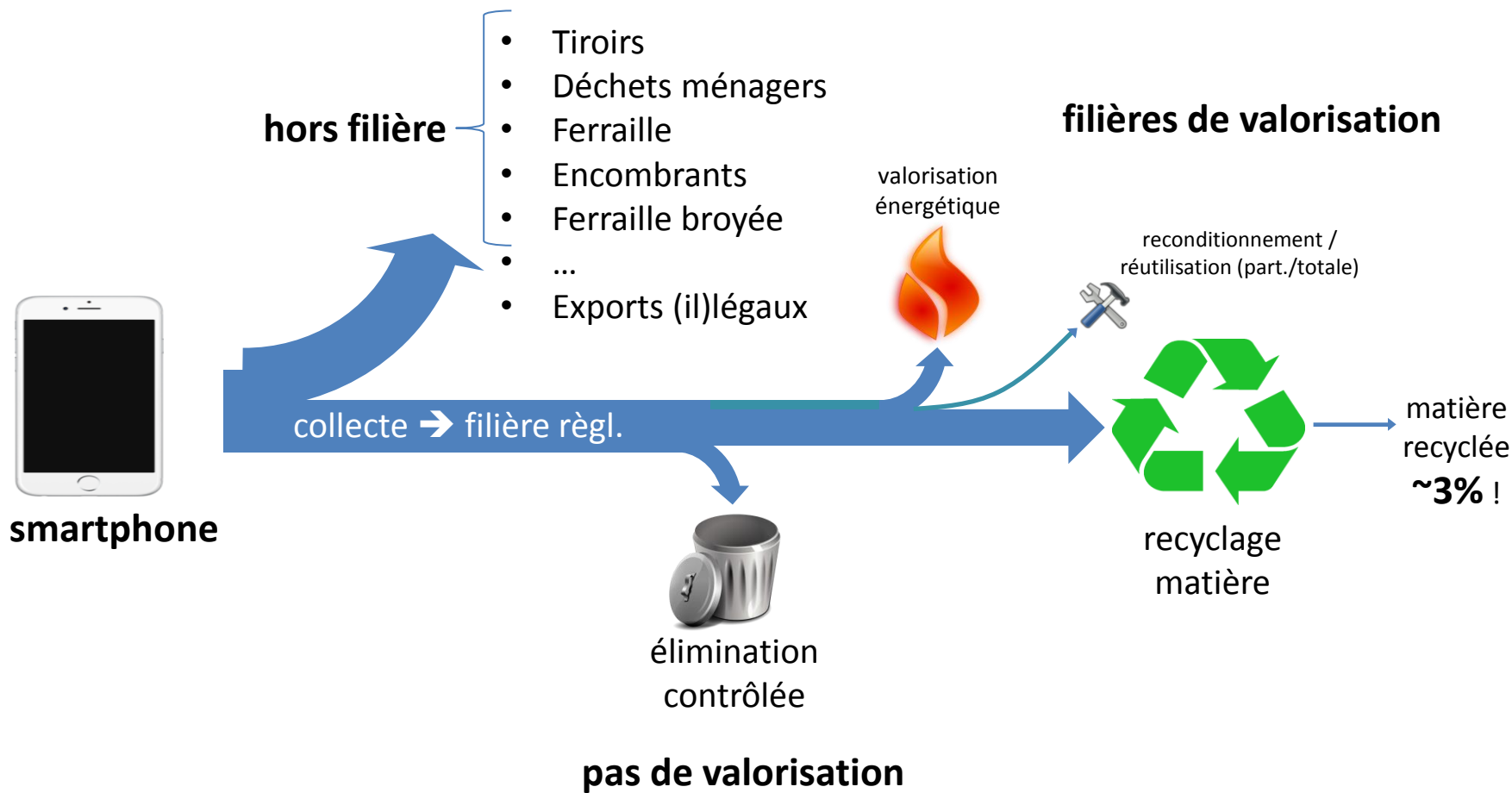


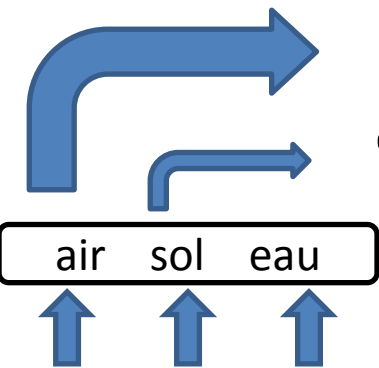
Ref : Int. J. Environ. Res. Public Health 2016, 13(8), 789;

Quantifying the Effect of Macroeconomic and Social Factors on Illegal E-Waste Trade

Loukia Efthymiou, Amaryllis Mavragani and Konstantinos P. Tsagarakis \* [OrCID]

Business and Environmental Technology Economics Lab, Department of Environmental Engineering, School of Engineering, Democritus University of Thrace, Vas. Sofias 12, Xanthi 67100, Greece





- ▶ Effets sur la biosphère
- ▶ Cultures (riz, légumes, ..) et eau douce polluées !
- ▶ Perte de biodiversité
- ▶ Effets sur la santé de l'homme

- ▶ Polluants organiques persistants
- ▶ Métaux lourds (cuivre, nickel, zinc, étain, plomb, arsenic, gallium, germanium, indium, mercure, sélénium, thallium) : non dégradables et bio-accumulables
- ▶ Phtalates (issus des plastiques) : bio-accumulables, persistants
- ▶ Solvants, agents tensio-actifs (bioamplification), composés chimiques perfluorés, dioxine, furane
- ▶ Etc.

Pollution diffuse

# Recyclage difficultés

- Coût
- Collecte insuffisante (comportement utilisateurs, insuffisance points de collecte, manque de confiance, etc.)
- Pillage / vols dans les déchetteries
- Problèmes de débouché / valorisation pour les fractions
- Problèmes de flux insuffisants
- Difficultés techniques / technologiques

**Monde dont Europe**

Relevance of end use sector per metals (% of total gross metal demand)\*

- > 50 % very high
- > 25-50 % high
- > 10-25 % medium
- 10 % low
- nil (blank)

EOL Recycling Rates	Sector-specific EOL recycling rates						Jewel- lery, coins
	1)	Vehicles 2)	Electronics	Industrial applications 3)	Dental	Others 4)	
<b>Ru</b>	5-15		0-5	40-50		0-5	
<b>Rh</b>	50-60	45-50	5-10	80-90		30-50	40-50
<b>Pd</b>	60-70	50-55	5-10	80-90	15-20	15-20	90-100
<b>Ag</b>	30-50	0-5	10-15	40-60		40-60	90-100
<b>Os</b>	no relevant end use sectors						
<b>Ir</b>	20-30	0	0	40-50		5-10	
<b>Pt</b>	60-70	50-55	0-5	80-90	15-20	10-20	90-100
<b>Au</b>	15-20	0-5	10-15	70-90	15-20	0-5	90-100

**Table E1.** Estimated end-of-life recycling rates for precious metals for the main end use sectors (global averages, percent, functional recycling only).

- 1) Total without jewellery, coins (no typical end-of-life management for these products)
- 2) Autocatalysts, spark plugs, conductive Ag-pastes, excluding car-electronics
- 3) incl. process catalysts/electrochemical, glass, mirror (Ag), batteries (Ag). In some cases, the available EOL metal is reduced due to prior in-use dissipation (e.g., homogeneous Pt-catalysts).

- 4) incl. decorative, medical, sensors, crucibles, photographic (Ag), photovoltaics (Ag)
- 5) incl. medals & silverware
- \* including metal demand for closed loop systems (e.g., process catalysts, glass and other industrial applications)

**Table 8.1: Percentage of population covered by legislation per sub-region, in 2014 and 2017**

	2014	2017
World	44%	66%
East Africa	10%	31%
Middle Africa	14%	15%
Northern Africa	0%	0%
Southern Africa	0%	0%
Western Africa	49%	53%
Caribbean	12%	12%
Central America	74%	76%
Northern America	98%	100%
South America	29%	30%
Central Asia	0%	0%
Eastern Asia	99%	100%
South-Eastern Asia	14%	17%
Southern Asia	0%	73%
Western Asia	37%	38%
Eastern Europe	46%	99%
Northern Europe	99%	100%
Southern Europe	100%	100%
Western Europe	99%	100%
Australian & New Zealand	81%	85%
Melanesia	0%	0%
Micronesia	0%	0%
Polynesia	0%	0%

# Espoirs

- Criticité
- Prise de conscience
- Aspects législatifs ?
- Amélioration collective
- Amélioration techniques de recyclage

# Mais

- Pollutions & pbs sociaux
- Manque informations
- Pas de réduction à la source !!

# Qu'en est-il dans l'ESRI

## Quelques résultats de l'enquête 2018

150 répondants

238 tonnes e-déchets / an [850 tonnes IT via MI4 en 2018]

**Environ 2 kg de EEE mis au rebut par an et par personne (pour informatique seulement)**

Proportion de répondants	Destination
1/3	Don à des personnels
1/3	Don à des assos / écoles
1/4	Déchetteries campus
<b>7%</b>	<b>Ecologic</b>
20%	PAPREC
Nombreuses	Destinations peu fiables
Nombreuses	Ne connaissent pas la destination

Choix à privilégier





# +ACV sociale : Impacts santé et sociaux

Fabrication +  
recyclage  
LA-BAS

ICI : excès d'usage



Source :  
<https://mapa.conflictosmi-neros.net>



**La fracture numérique n'est pas une légende**

→ Une personne sur deux sans diplôme n'a pas accès à internet.

An illustration showing a person holding a satellite dish and a smartphone, symbolizing digital connectivity.

**L'ADDICTION AUX ÉCRANS : "HEROÏNE NUMÉRIQUE" ?**

ENVOYE SPECIAL

Tendinite

Épicondylite « tennis elbow »

Syndrome du canal carpien

Maux de dos

A diagram showing a person with arrows pointing to various health conditions associated with screen use: Tendinite, Épicondylite « tennis elbow », Syndrome du canal carpien, and Maux de dos.

# En conclusion

- Numérique : un produit emblématique de notre société occidentale :
  - Mondialisation
  - Inégalités
  - Prélèvement de ressources
  - Obsolescence / Conception ciblée vente / Déchets
  - Impacts environnementaux nombreux
  - Impacts sociaux et sociétaux

# Conseils de lecture

- « Momo », Mikael Ende (2009)
- La civilisation du poisson rouge, Bruno Patino (2019)
- Les supports des conférences thématiques de EcoInfo (<https://ecoinfo.cnrs.fr/les-confs-ecoinfo/>)

Merci !!