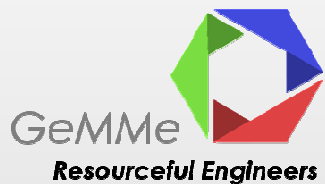




Disponibilité durable des matières premières pour la transition énergétique



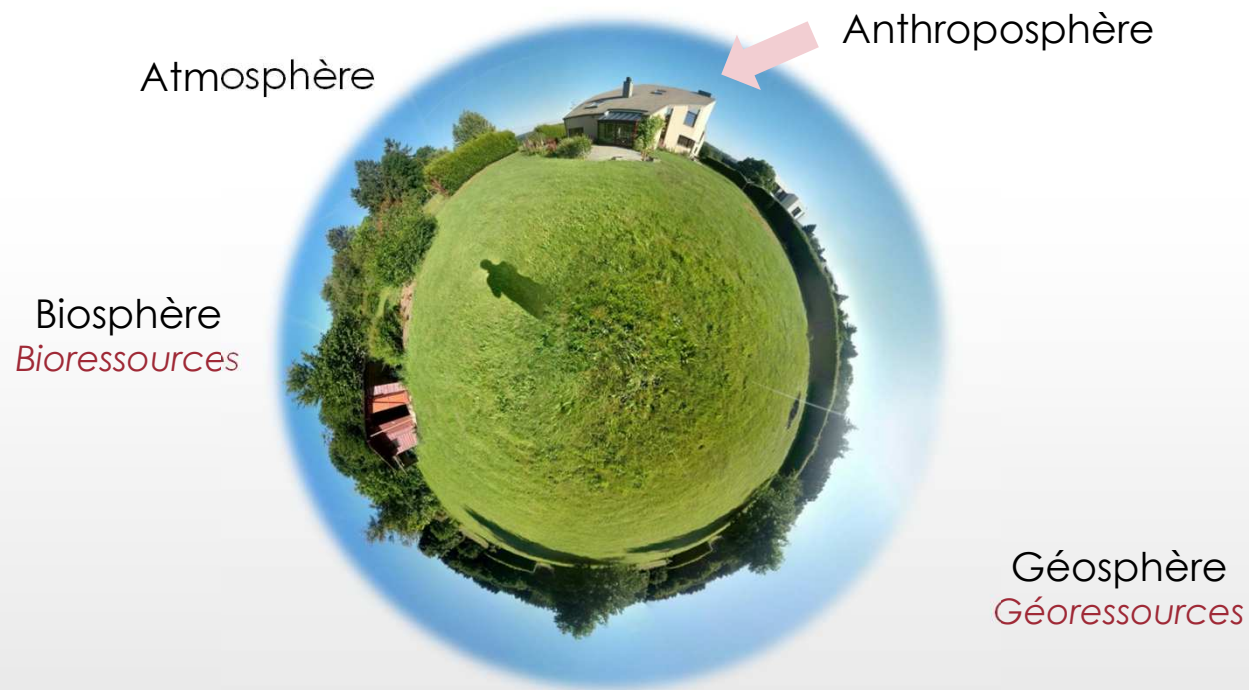
Prof. Dr. Ir. Eric Pirard

L'Economie Sphérique

« Our common planet »

L' économie sphérique

- Art d'administrer un bien (une planète!) par une gestion prudente et sage afin d'obtenir (pour tous et pour les générations futures) le meilleur rendement en utilisant les moindres ressources



Les Géorressources

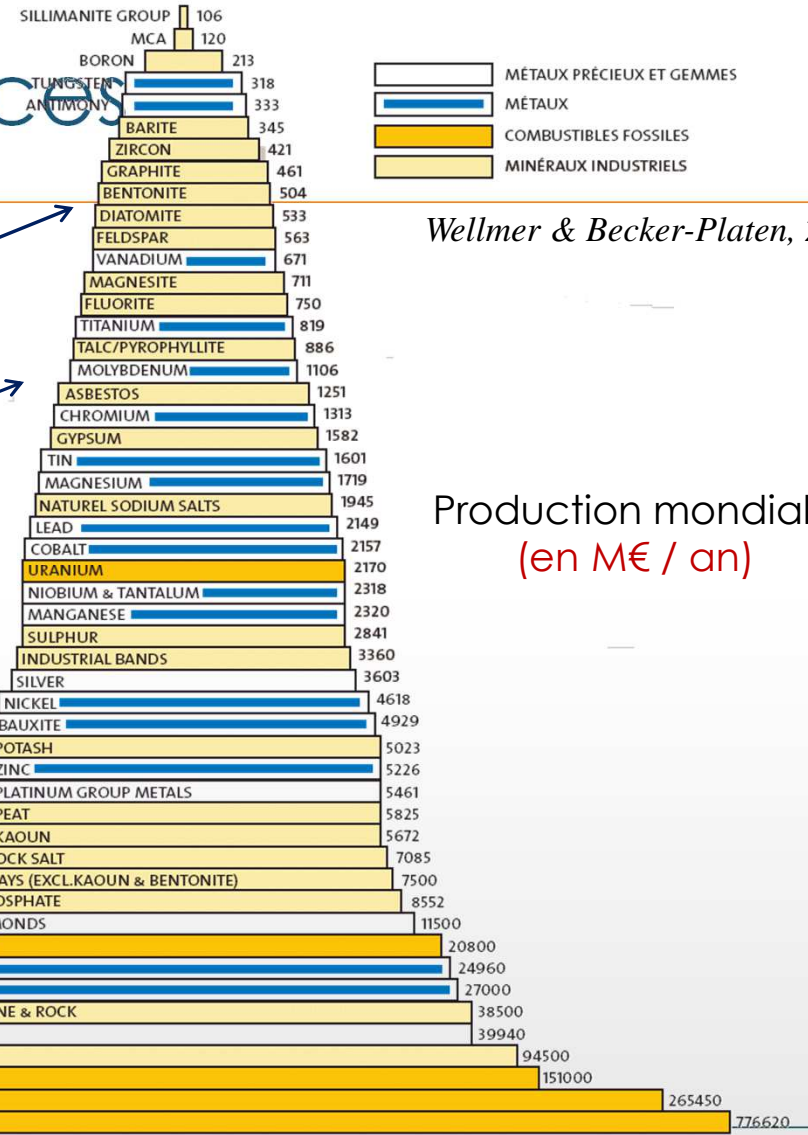
*If you can't grow it,
you'll have to dig it!*

Le monde des géoressources



- Ressources énergétiques
 - Pétrole, Gaz, Charbon, Lignite,...
 - Uranium
- Ressources en eau
 - Souterraine
 - Surface
- Minéraux Industriels
 - Sables, agrégats, argiles, ...
 - Carbonates, phosphates, ...
 - Chlorures, sulfates, borates, ...
 - Kaolin, talc, diatomée,...
 - Gemmes
- Ressources Métalliques
 - Métaux de base (\$/kg)
 - Métaux précieux (\$/g)
 - Métaux critiques?

Le monde des géoressources



Wellmer & Becker-Platen, 2002

Production mondiale
(en M€ / an)

- Bore
- Graphite
- Diatomite
- Magnésite
- Talc
- Asbeste
- Gypse
- Soufre
- Kaolin
- Sel
- Argiles
- Phosphates
- Agrégats
- Sables
- Graviers
- Charbon
- Gaz
- Pétrole

- Ni
- Al
- Zn
- PGE
- Cu
- Fe
- Au

Le monde des géoressources

- Les besoins des « mineral babies » américains et chinois



USA		Chine
35 t	Acier	6 t
450 kg	Cuivre	80 kg
78 g	Or	30 g
27 t	Ciment	90 t
10 t	Phosphates	-
7 t	Argiles	-
250 t	Charbon	-
20 000 l	Pétrole	-

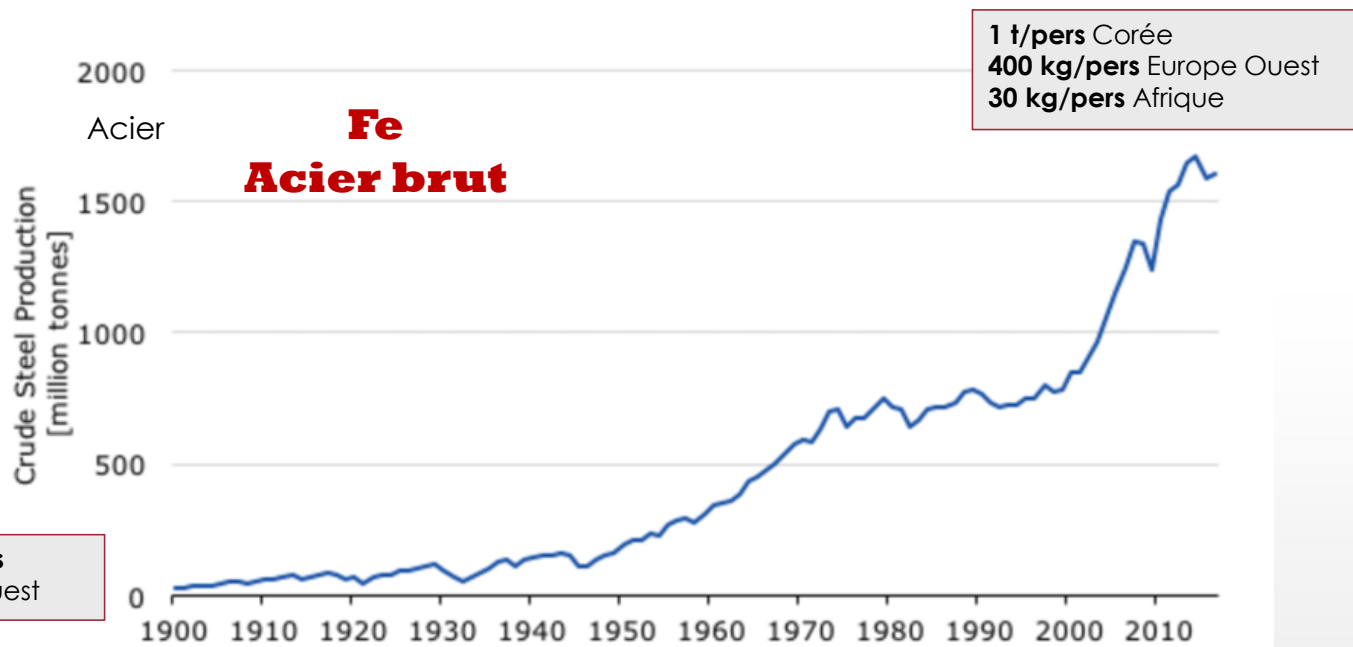
D'après : SME Mineral Info. Instit. et IIED



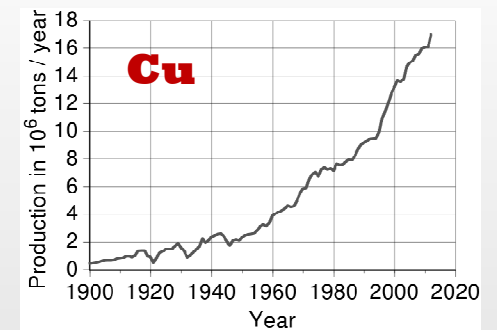
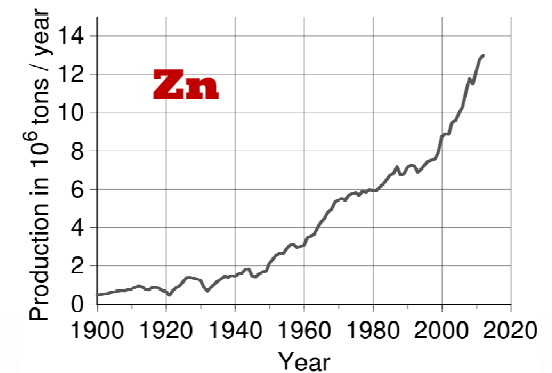
Consommation / individu sur base d'un âge moyen de 78 ans.

Le monde des géoressources

- Un siècle d'extraction exponentielle



© World Steel Association



Les défis de l'industrie extractive

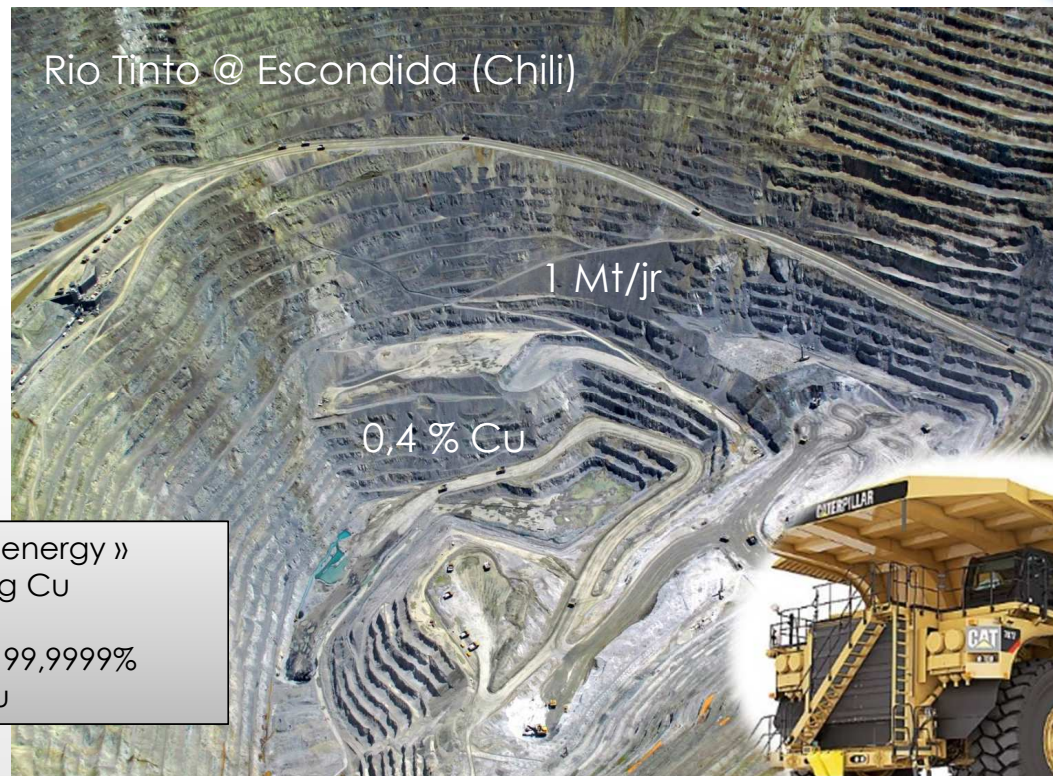
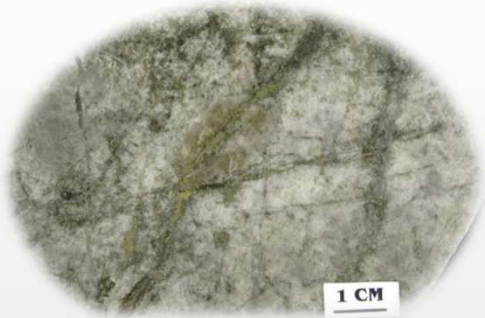
Durable ou Insoutenable ?

Un défi économique



- Gigantisme et Automatisation

- Teneurs ↘ ↘
- Tonnages ↗ ↗
- Profondeur ↗ ↗
- Dispersion



« Embodied energy »
➤ 100 MJ/kg Cu
Valeur Cu à 99,9999%
➤ 5 €/kg Cu



300 tonnes

Un défi économique



- Gigantisme et Automatisation
 - Véhicules autonomes
 - Mine robotisée



1500 km de distance!



Centre de Commande
Rio Tinto à Perth (AUS)



Opérations minières dans le Pilbara (AUS)



Un défi environnemental



- Minimisation de l'impact environnemental
 - Analyse du cycle de vie



NORILSK (RUS) 1,5% Ni

Sulfures de Ni
Mine souterraine
Cercle arctique
Pyrométallurgie

TIEBAGHI (N CAL) 1,5% Ni

Silicates de Ni
Ecosystème tropical (récifs)
Mine à ciel ouvert
Lixiviation acide sous pression



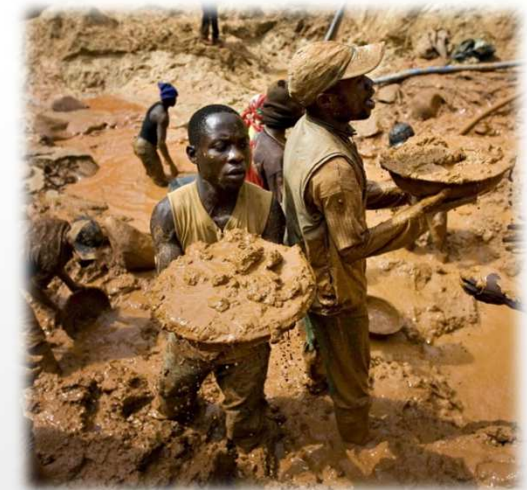
Un défi social



- Les défis du développement durable et de la responsabilité sociétale
 - Artisanat = 20% de la production congolaise mais > 90% des « mineurs »



Mine de Mutanda (DRC)
20 000 t Co/an - 1800 employés



Mines artisanales (DRC)
5 000 t Co/an - 150 000? creuseurs



275 000 t/an

Ressources & Technologies

Flux Mondialisé des Matières Premières

Mémoires Atomiques

- Scratch test...



Mémoires Atomiques



Mémoires Atomiques



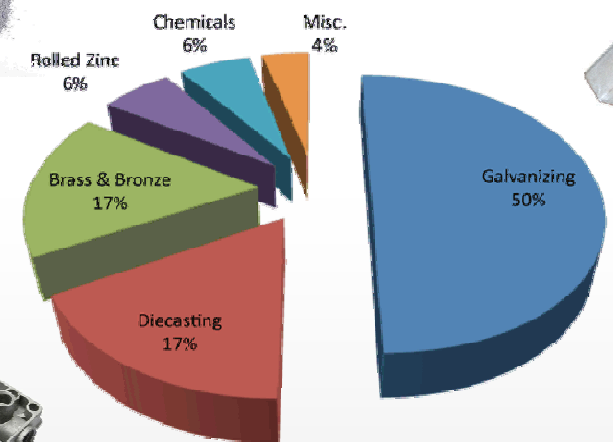
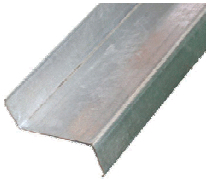
Mémoires Atomiques



Mémoires Atomiques



30
Zn
65,38
92'38

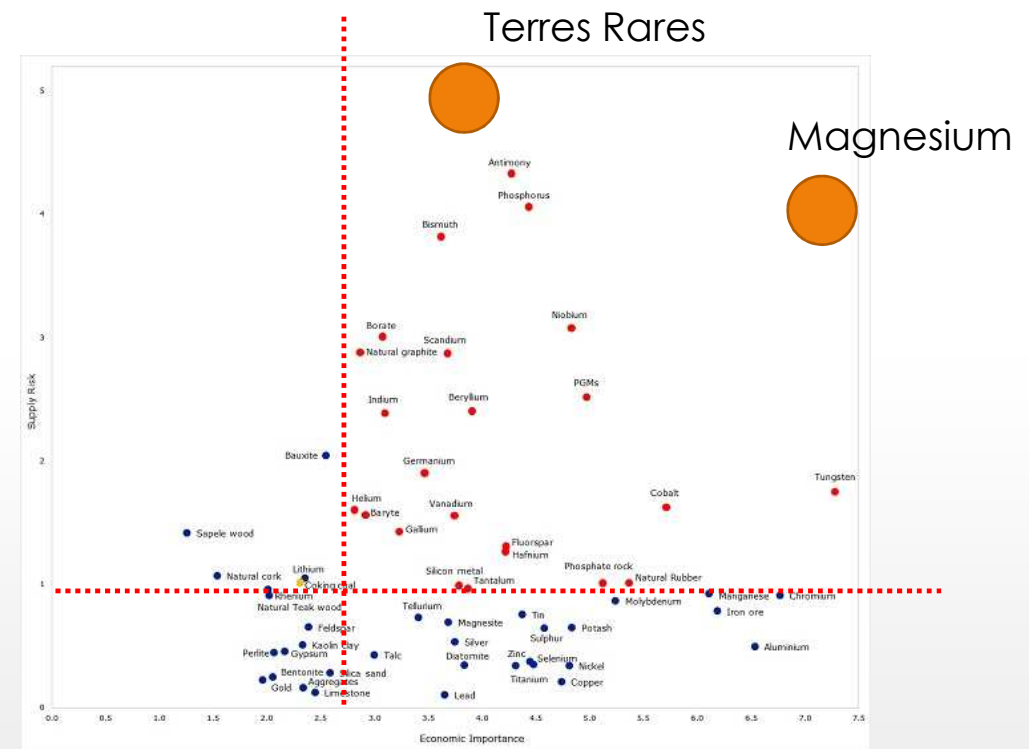
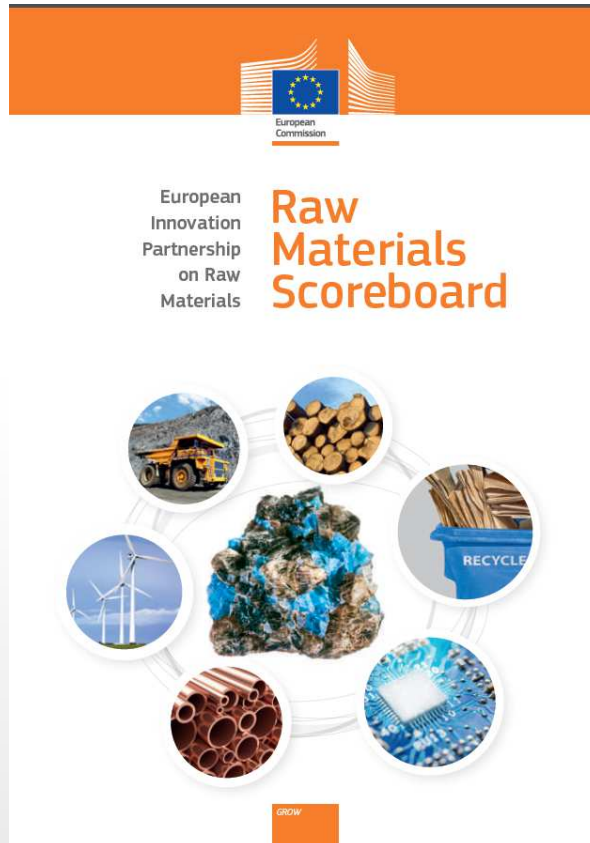


Source: IZSG



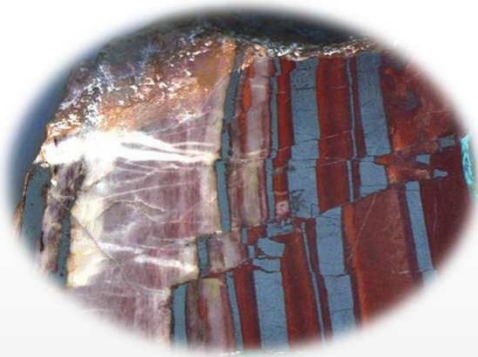
Pourquoi certaines matières premières
seraient-elles devenues **critiques** ?
Trois dimensions...

Criticité des Matières Premières pour l'EU



1. La dimension Géologique (Ressources & Réserves)

- Un **MINERAI** est une substance solide formée dans l'**environnement naturel**, permettant une valorisation industrielle **actuelle** dans des conditions de rentabilité **économique**.



Minerai de fer (60 % Fe)



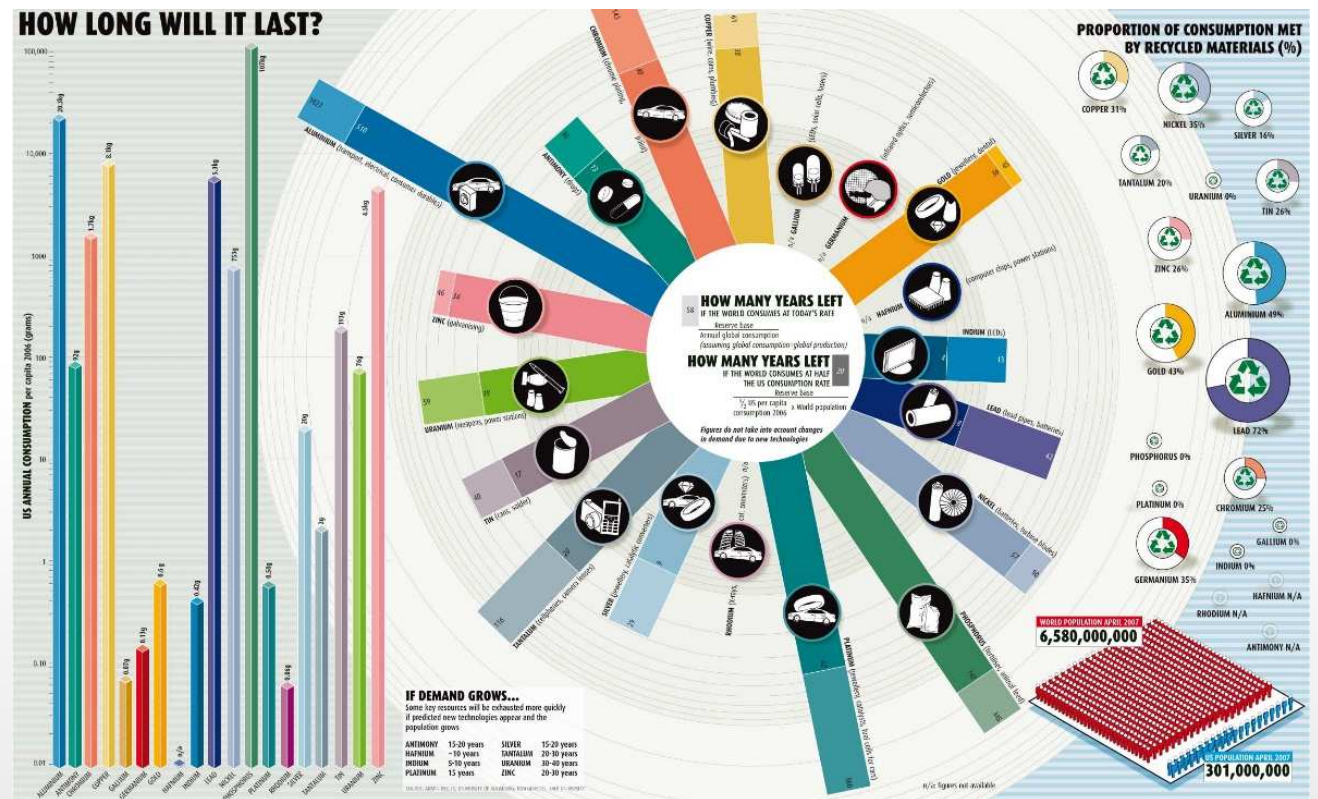
Minerai de cuivre (0,4% Cu)



Minerai d'or (1 g/t Au)

1. La dimension Géologique (Ressources & Réserves)

- **STOP FAKE NEWS !**
 - Alarmisme inutile



A. Reller & T. Graedel, 2007

1. La dimension Géologique (Ressources & Réserves)

- Vision statique: "Il y a vingt ans qu'il n'y en a plus que pour vingt ans!"
 - Réserves (ex. <http://minerals.usgs.gov/>) vs. Taux de Production

Commodity	Reserves 1999	Annual Production 2000	Lifetime +5% Scenario
Zinc	190 Mt	7,75 Mt	16 ans
Aluminium	25 Gt	123 Mt	48 ans
Indium	?? t	200 t	?? ans
Nickel	46 Mt	1,1 Mt	22 a
Tin	8 Mt	207 kt	21 a

After « **Breaking New Ground** »
Report of the Mining, Minerals & Sustainable Development Project
Int. Institute for Environment and Development (IIED), 2002

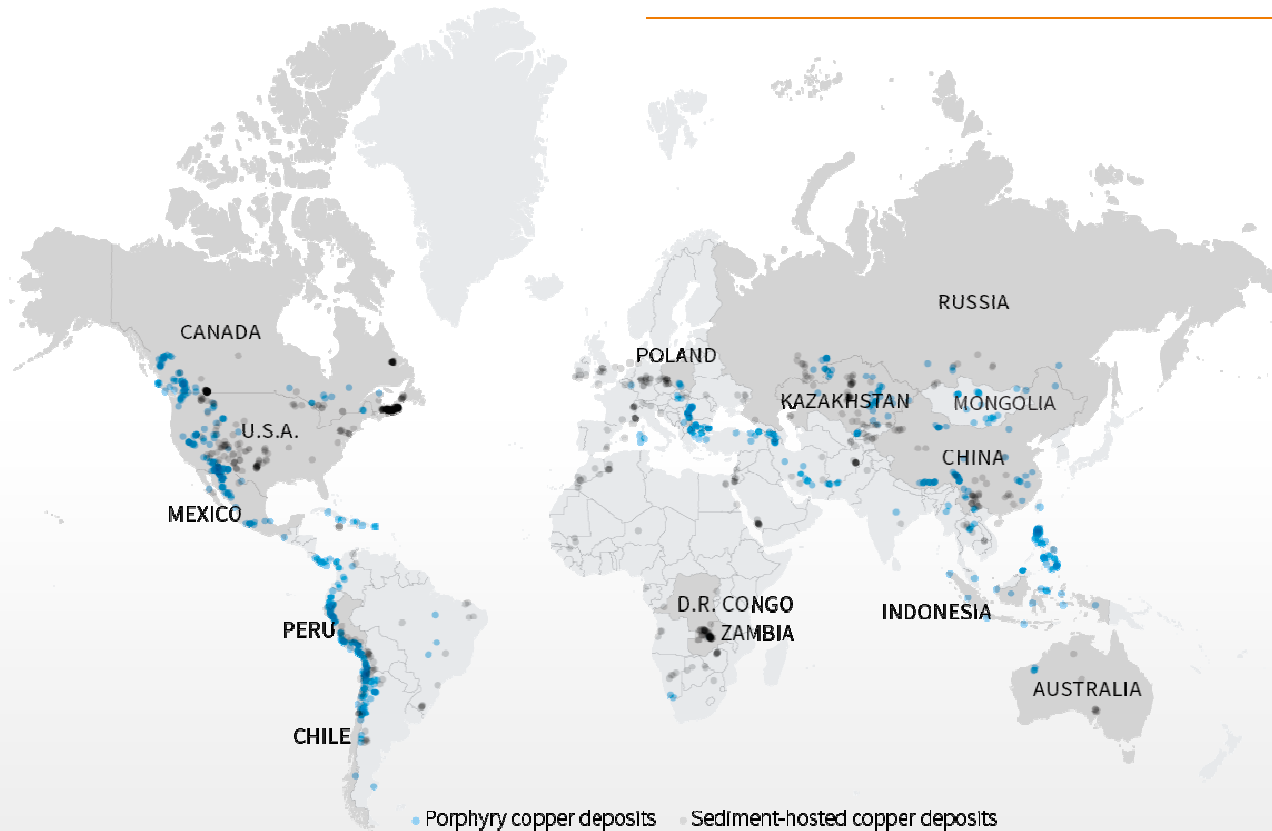


ZINC en 2016

200 Mt (réserves mondiales)

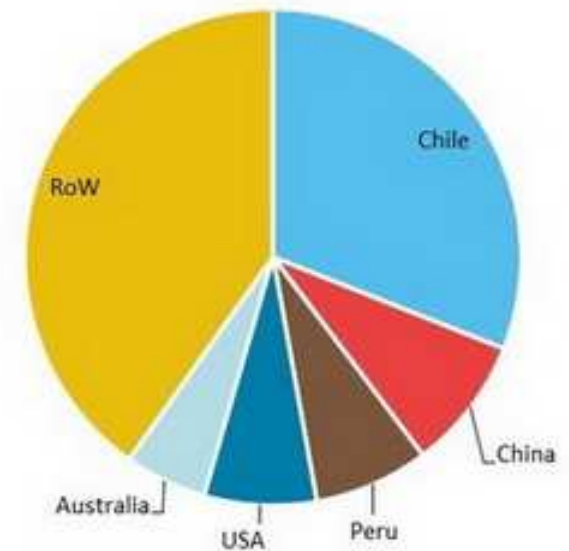
13,4 Mt (production mondiale annuelle)

2. La dimension Géopolitique (Stratégique)

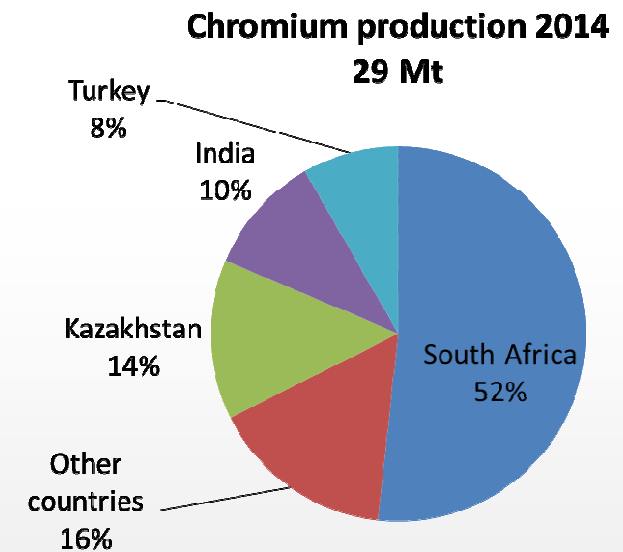
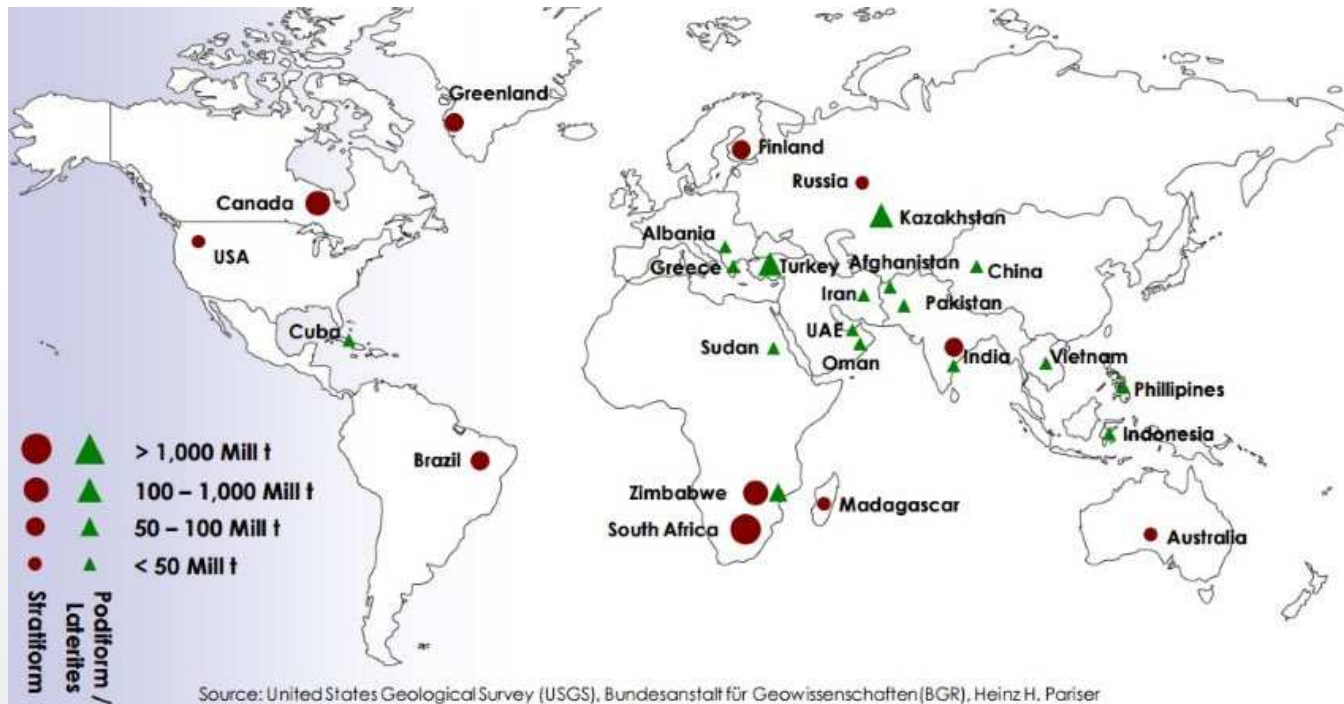


Répartition mondiale des principaux gisements de cuivre

World Mine Production of Copper

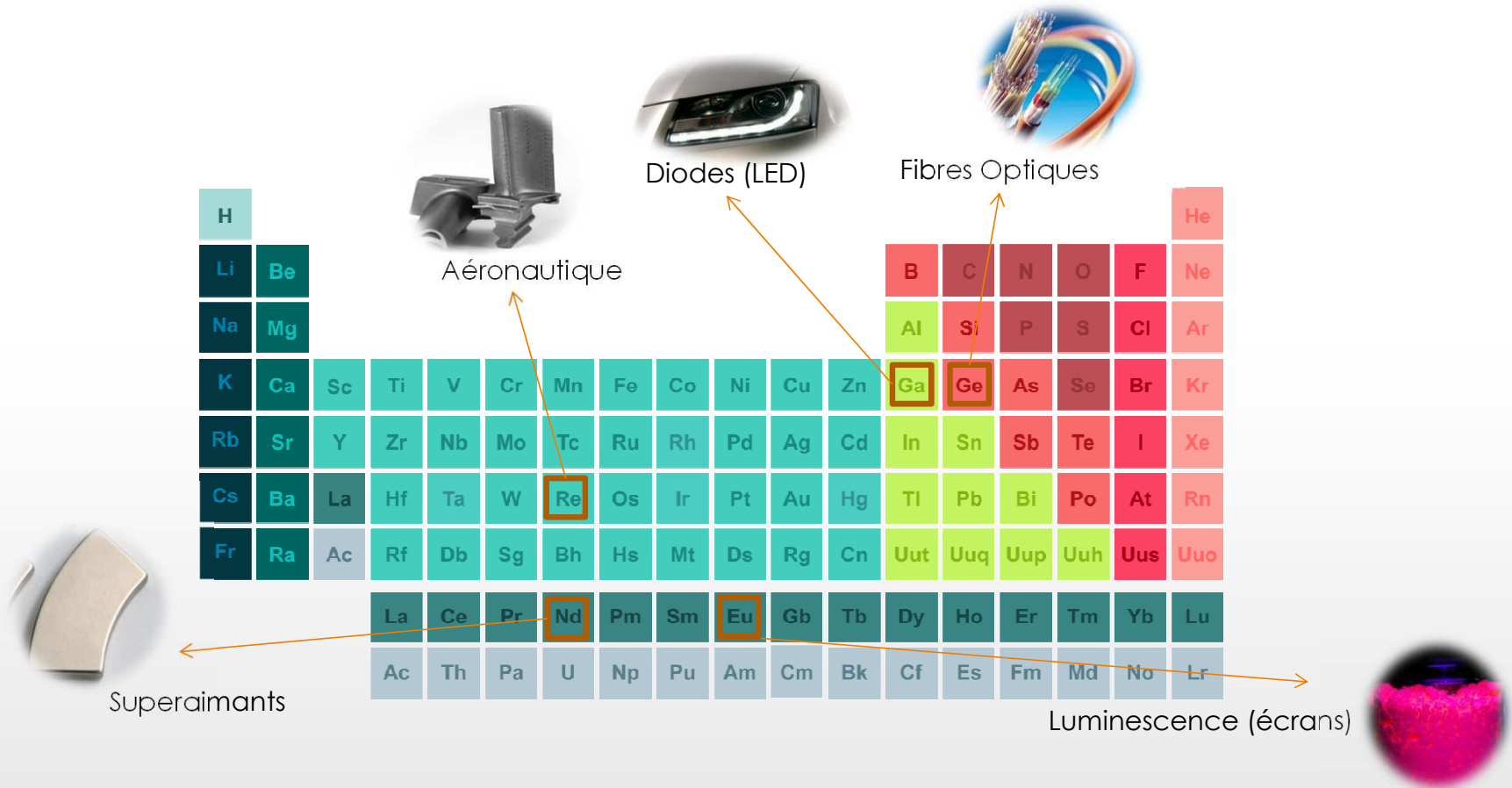


2. La dimension Géopolitique (Stratégique)



Répartition mondiale des principaux gisements de chrome

3. La dimension Technologique (Critique)



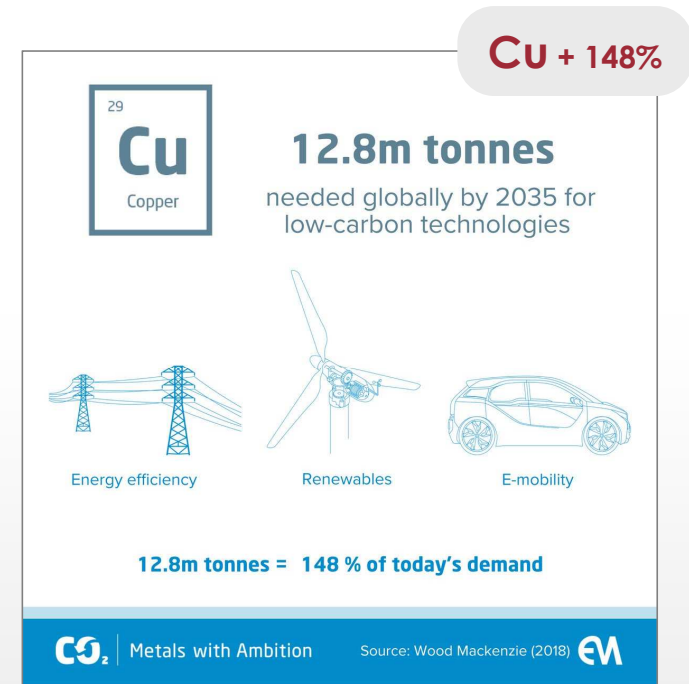
3. La dimension Technologique (Critique)

- Développement des technologies propres
 - Pas d'énergie renouvelable ou d' e-mobilité sans métaux!

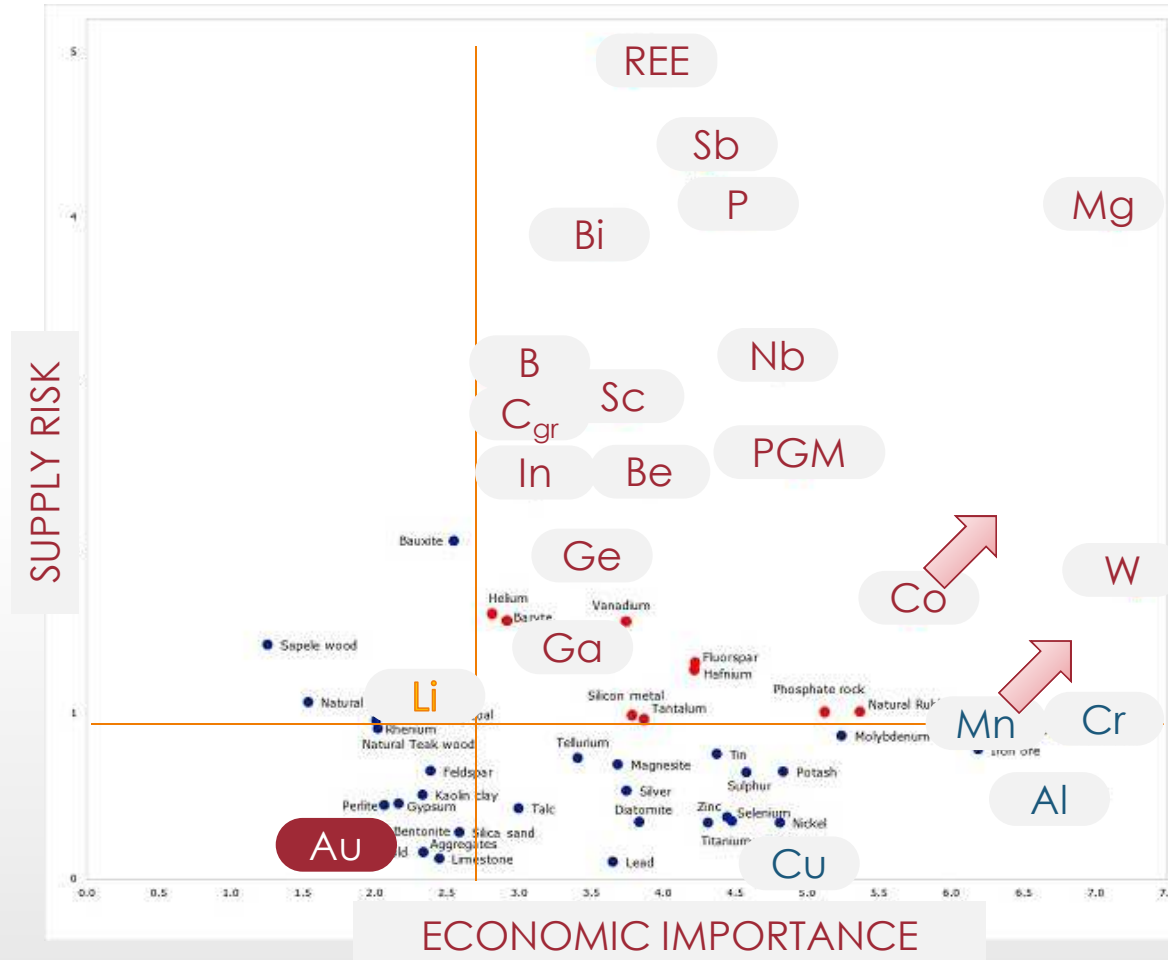


Demande en métaux pour l' e-mobilité à l'horizon 2030 (CRU)

A technologie constante
NMC : $\text{Li}(\text{Ni}_{0,5}\text{Mn}_{0,2}\text{Co}_{0,3})\text{O}_2$



Criticité des Matières Premières pour l'EU



Génération BIC

Insoutenable insouciance!

TAKE

MAKE

DISPOSE

Ressource



... Extraction

Produit



Durée de Vie
1-6 mois

Déchet



Fin de Vie...

Génération BIC

TAKE

MAKE

DISPOSE

Beurkhhh...!!!

NIMBY !



Externalisation de l'impact

Miam...!!!



Burps...!!!

BÂLE



Externalisation des déchets

Génération BIC

Réparer & Réutiliser

La leçon des plus pauvres

REPARER

Au Sud

REPARER



St Louis du Sénégal, 2009

REPARER

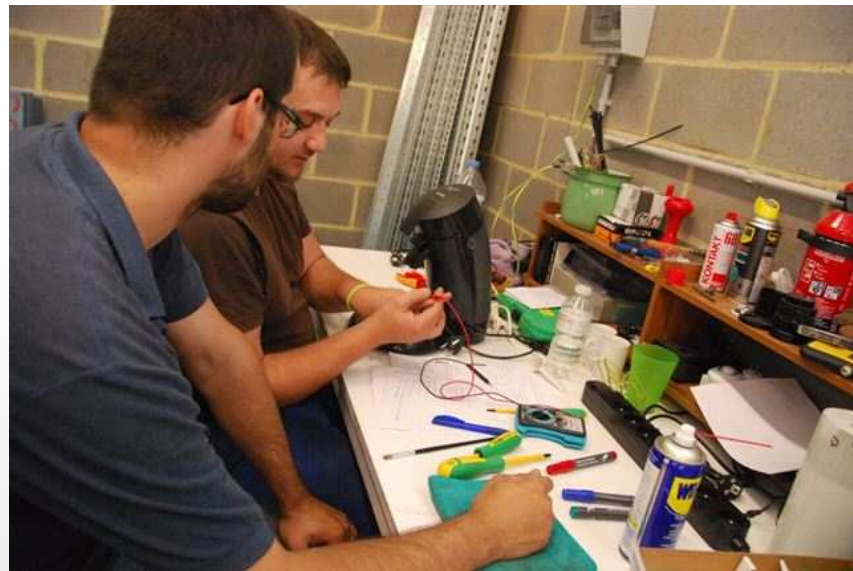
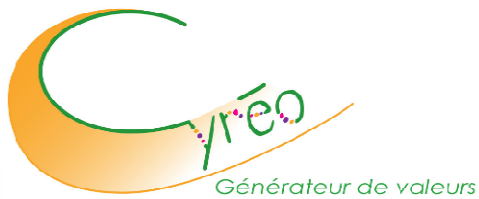
Au Sud

REPARER



© Don't Panic

- Réparer et réutiliser
 - Une opportunité pour l'économie sociale et l'économie collaborative chez nous



Cyreo : réparation de petit électro-ménager

RECYCLER?

Au Nord

RECYCLER

- Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE)

- Belgique 10 kg/pers.an

- GB Gros Blancs
 - RS Frigos
 - LMP Lampes
 - TVM Ecrans
 - AUT Petit électro, PC, GSM,...
 - DF Detecteurs de fumées



- Batteries (BAT)

- ~= 1kg/pers.an

- Véhicules Hors d'Usage (ELV)

- ~= 15 kg/pers.an



DISPOSE

- Incinération
 - Mâchefers polymétalliques
 - Oxydation des fines feuilles d'aluminium



Vers l'économie circulaire

La quadrature du cercle

I. FEED

II. OPTIMIZE

III. SLOW DOWN

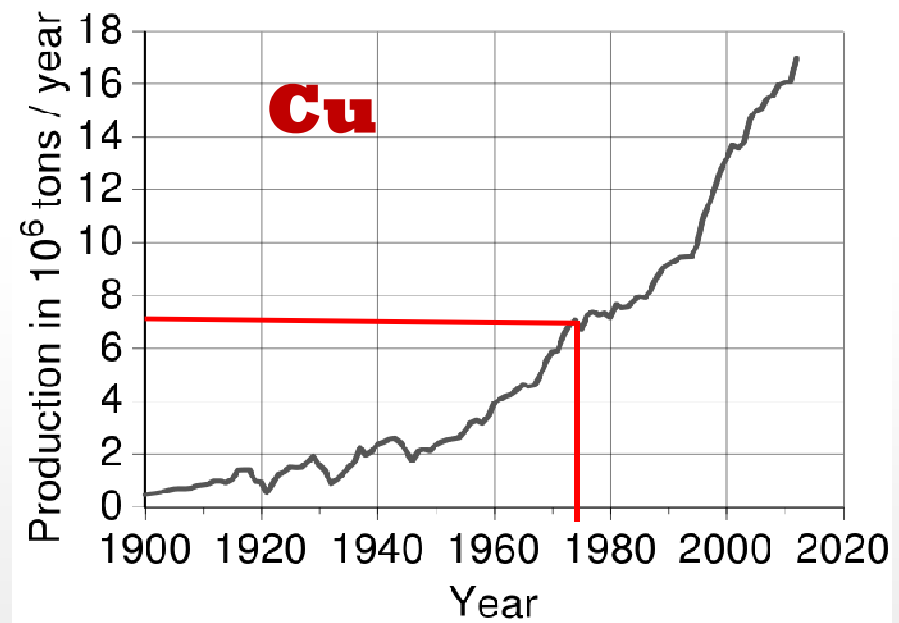
IV. CLOSE



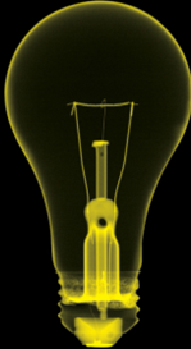



Les 4 défis d'une économie plus circulaire

I. FEED

- Le recyclage est insuffisant pour nos besoins



II. OPTIMIZE

<i>Incandescent</i>	<i>Halogene</i>	<i>Fluo-compact</i>	<i>LED</i>
			
<i>12-20 lm/W</i>	<i>18-25 lm/W</i>	<i>60-80 lm/W</i>	<i>25-140 lm/W</i>
Tungsten Glass,...	Tungsten Iodine, Bromine, ... Glass,...	Tungsten Mercury, Rare Earths, ... Glass, Plastics,...	Gallium Indium, Cerium, Yttrium, Copper, Silver, Silicium, ... Plastics, ...

Les produits ont été optimisés pour leur *fonctionnalité*. Il faut désormais se soucier de leur *recyclabilité* et de la *disponibilité* durable des ressources.

II. OPTIMIZE

- Repenser notre design
 - Optimiser l'utilisation des ressources (efficiency)
 - Sobriété ...



De 600 kg à 1200 kg

II. OPTIMIZE

- Repenser notre design
 - Simplicité des assemblages
 - Design for disassembling
 - ...



Engineering is the art of eliminating parts, 1900 Charles Brown

II. OPTIMIZE

- Repenser notre design
 - Design for recycling
 - Eviter les matériaux composites non indispensables



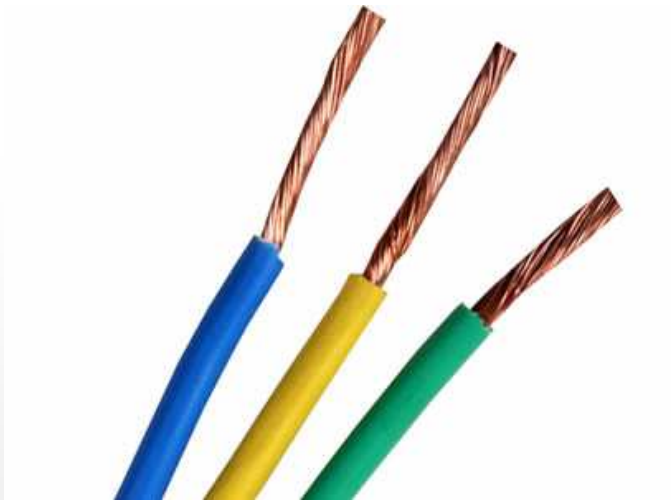
Tubes sanitaires en cuivre



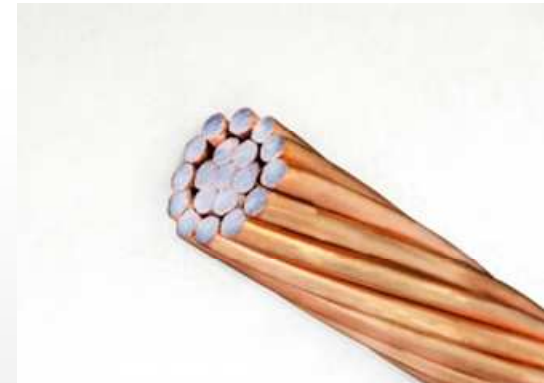
Tubes sanitaires « alpex »

II. OPTIMIZE

- Repenser notre design
 - Design for recycling
 - Eviter les dépôts, couches minces... non indispensables



Câbles en cuivre



Câbles Copper Clad Aluminium (CCA)

II. OPTIMIZE

- Repenser notre design



PuzzlePhone
Upgradeable
Sustainable
Incredible
Made in Finland.
Made to last.

III. SLOW DOWN

- Gardez nos produits le plus longtemps possible...
- Ils ont à peine 20 ans :



- Déchiquetage (shredder) et démantèlement
 - Comet Traitements Châtelet / Toyota



156 Toyota Prius

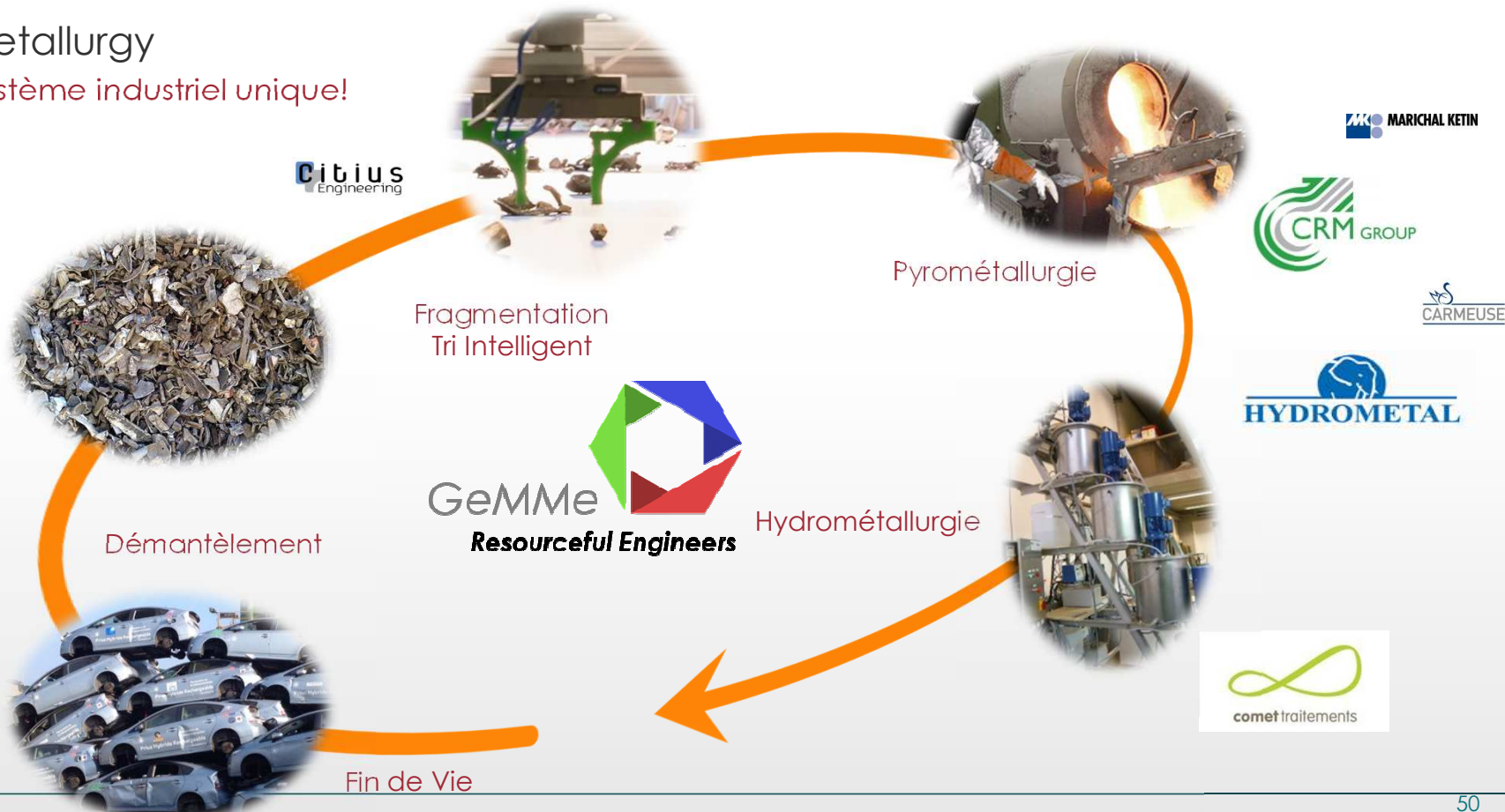


Chargement du Shredder
(5 VHU/min)



ZORBA Scraps non-ferreux

- Reverse Metallurgy
 - Un écosystème industriel unique!



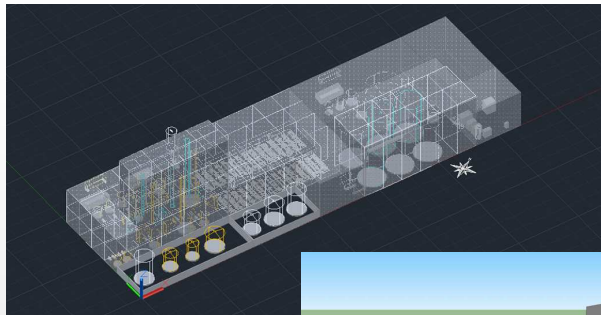
- Développement de technologies de tri intelligent
 - PICK IT® - Multisenseur (image 3D, XRT, LIBS, VNIR,...)



Reuter M., 2013



- Hydrométallurgie
 - Récupération du Cu des résidus de broyage automobile



A méditer



- Freiner le cycle
 - Limiter l'utilisation de ressources primaires
 - Inciter à prolonger les garanties
 - Promouvoir le remanufacturing, l'économie de la fonctionnalité,...
- Donner du volume aux "mines urbaines"
 - Organiser la collecte fin-de-vie
 - Collecte intelligente (catégories)
- Donner de la valeur aux "mines urbaines"
 - Coût vérité des métaux incluant le recyclage
- Optimiser la récupération de ressources durant le recyclage
 - Design for recycling
 - TVD= Taxe à la Valeur Ajoutée-Dégradée

Anthropie ou Entropie?



Ce qui est critique ce n'est pas tant la matière première que l'utilisation que nous en faisons!