



## Les métaux en lien avec la problématique énergétique

Luc Fauvet – luc.fauvet@cpe.fr

Présentation du 28/09/2013 pour le séminaire interne d'Avenir Climatique

Toutes les données avancées dans cette présentation sont extraites du livre

« Quel futur pour les métaux ? – Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société »

De Philippe BIHOUIX et Benoît DE GUILLEBON – EDP Sciences 2010

Sauf mention contraire précédée d'un \*



## 1. Généralités sur les métaux



## 2. Les métaux et l'énergie



## 3. Perspectives



## 1. Généralités sur les métaux

- Les différents angles d'approche
- Classification des métaux par niveau de production
- Interdépendances
- Métaux et industries
- Métaux et économie



## 2. Les métaux et l'énergie



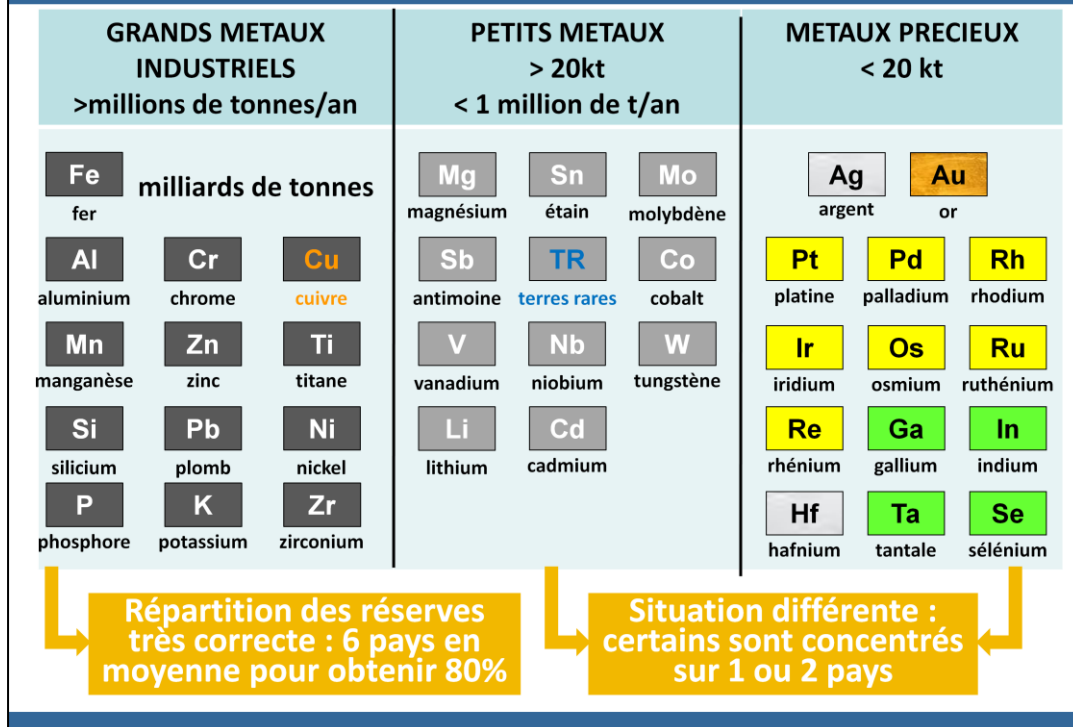
## 3. Perspectives

## Les différents angles d'approche



Définition Wikipédia : un métal est un élément chimique qui peut perdre des électrons pour former des cations et former des liaisons métalliques ainsi que des liaisons ioniques dans le cas des métaux alcalins. Les métaux sont un des trois groupes distingués par leur propriétés d'ionisation et de liaison chimique, les deux autres sont les métalloïdes et les non-métaux

# Classification des métaux par niveau de production



Voir p22 pour la production des métaux non cités ci-dessous

## GRANDS METAUX :

- Phosphates : 167 millions de tonnes en 2008 (p158)
- Potasse : 36 millions de tonnes en 2008 (p158)
- Zircon (mesurée en ZrO<sub>2</sub>) : 1,25 millions de tonnes/an (p203)
- Hafnium : ~100 tonnes/an (p204)

## PETITS METAUX

- Cobalt : >70.000 tonnes/an (p233)
- Lithium : 27.000 tonnes en 2008
- Terres rares : 125.000 tonnes en 2009 (p197)
- Niobium : 60.000 tonnes en 2008 (p149)
- Vanadium : 60.000 tonnes en 2008 (p149)

## METAUX PRECIEUX

- Gallium primaire : 95 tonnes en 2008 (p249) (entre 50 et 100 tonnes en moyenne)
- Indium : 560 tonnes en 2007 (p251)
- Platinoïdes : Rhénium ~50tonnes/an (p149) - (Ir, Os, Ru, Rh) ?
- Tantale : 1.200 tonnes en 2009 (p195)

# Interdépendances






Grands métaux exploités	Principaux sous-produits non dépendants	Principaux sous-produits <b>totalem</b> dépendants
Fe	Zn Pb	
Al		Ga V
Cr	Pt Pd	
Cu	Zn Mo Ag Au Pd Pt	Co Bi Se As Te Ir Os Re Ru Rh
Ti		Zr Hf
Pb Zn	Ag	Sb Cd Co Ga In Tl As Bi Ge
Ni	Cu Ag Au Pt Pd	Co Rh Ru Ir Os Se Te
Sn	Ag	In Nb

- L'interdépendance peut être économique : la teneur en or ou en argent d'une mine de cuivre peut permettre d'atteindre l'équilibre global
- Interdépendance physique : le processus de minéralisation lie les différents métaux au même minerais ou mutualisation de l'énergie mise en œuvre pour l'extraction
- La déplétion des grands métaux peut entraîner une déplétion des petits métaux associés : indium indépendamment du zinc et bismuth indépendamment du plomb ?

## Métaux et industries (1)



<p><b>AERONAUTIQUE</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Super alliages : <b>Re</b> 75% <b>Nb</b> &lt;2% <b>Co</b> &lt;2%</li> <li>•Alliages structures : <b>Li</b> &lt;1%</li> </ul>
<p><b>AGRICULTURE</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Engrais potassiques et phosphatiques : <b>K</b> &gt;95% <b>P</b> &gt;90%</li> <li>•Engrais azotés : <b>Pt</b> &lt;5% <b>Rh</b> &lt;5%</li> </ul>
<p><b>AUTOMOBILE</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Catalyse d'échappement : <b>Rh</b> 84% <b>Pd</b> 57% <b>Pt</b> 50%</li> <li>•Allègement des véhicules : <b>Al</b> 20%</li> <li>•Accumulateurs : <b>Sb</b> 20% <b>Pb</b> 15%</li> <li>•Applications électriques : <b>Cu</b> 8%</li> <li>•Anticorrosion : <b>Zn</b> 8% <b>Cr</b> 3% <b>Ni</b> 2%</li> </ul>

### Aéronautique et spatial

- Consomme les  $\frac{3}{4}$  du rhénium (~50.000 tonnes produites/an, 10 .000€/kg) : utilisé dans les superalliages pour turbines. Le rhénium est un sous produit du cuivre
- Programme PAMELA : recyclage des avions

### Agriculture




- Utilise >90% du phosphore et >95% du potassium
- Engrais organiques : fumiers...
- Engrais minéraux :
  - Engrais azotés de synthèse :  $\text{CH}_4$  pour la source d'hydrogène, gaz comme source d'énergie pour haute  $T^\circ$  et pression, platinoïdes comme catalyseurs (Rh et Pt <5%)
  - Phosphates et potasses : phosphates 4 pays 84% des réserves (Chine, Maroc, AFS, US), potasse 4 pays 93% des réserves (Canada, Russie, Biélorussie, Allemagne)

### Automobile

- Parc automobile mondial : > 1 milliards de véhicules depuis 2009. Vente de ~60 millions/an, prévision de ~90 millions/an en 2030
- Consomme 20% de l'aluminium
- Catalyse d'échappement (pas de substitution) : rhodium 84%, palladium 57% et platine 50%
- Motorisation électrique et batteries : néodyme, cobalt, lithium
- Métaux critiques aujourd'hui : plomb et groupe platine (Rh, Pt, Pd)
- Véhicules 100% électriques : 7 à 8% du marché en 2030 d'après différentes sources (McKinsey, Chemetall, GIEC, Renault)

## Métaux et industries (2)



<p><b>BATIMENT</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications électriques : <b>Cu</b> 38%</li> <li>• Menuiseries et structures : <b>Al</b> 20%</li> <li>• Anticorrosion : <b>Zn</b> 20% <b>Cr</b> 8% <b>Ni</b> 6%</li> <li>• Applications spécifiques : <b>Pb</b> 10%</li> </ul>
<p><b>CHIMIE</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pigments blancs : <b>Ti</b> 95%</li> <li>• Catalyseur : <b>Co</b> 27% <b>Re</b> 10% <b>Pt</b> 8% <b>Rh</b> 6% <b>Pd</b> 5%</li> <li>• Usages chimiques : <b>Mo</b> 30%</li> </ul>
<p><b>NOUVELLES TECHNOLOGIES</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensateurs : <b>Ta</b> 65%</li> <li>• Optoélectronique et PV : <b>Ga</b> <b>In</b></li> <li>• Electronique : <b>Ar</b> 21% <b>Pd</b> 17% <b>Au</b> 9% <b>Pt</b> 6% <b>TR</b></li> </ul>

### Bâtiment & infrastructures

- Consomme 38% du cuivre et 20% de l'aluminium (applications électriques)
- Ciment 7% de l'énergie industrielle et 19% pour l'acier
- 400 km de rail TGV sur 2 voies : 100.000 tonnes d'acier
- Métaux pour la fabrication du verre, des miroirs (Sn, Ag et Cu) et des verres techniques

### Industrie chimie

- Consomme 95% du titane pour les pigments blancs : abondant mais usage très dispersif

### Nouvelles technologies (NTIC et technologies vertes)

- Platine et palladium : 6 et 17% pour l'électronique (réserves en AFS et Russie)
- Or et argent : 9 et 21% pour l'électronique (réserves très limitées pour l'argent)
- Gallium et indium : optoélectronique (LED, DVD, PV, commande IR...), ce sont des sous produits d'autres métaux, augmentation de la production compliquée
- Tantale : 2/3 pour les nouvelles technologies, surtout dans les condensateurs, écrans à cristaux liquides
- Terres rares (yttrium, lanthane et 14 lanthanides) : alliages, à l'origine des guerres du Kivu et RDC, contrairement à leur nom, assez abondantes, la Chine représente 95% de la production mondiale actuellement
- Nouvelles technologies : que ce soit pour les NTIC ou les technologies vertes, les 2 métaux de bases sont bien sûr le cuivre et le silicium



# Métaux et économie



**PAYS DE L'OCDE :**  
consomment les **3/4**  
des ressources  
mondiales extraites  
annuellement pour  
**1/5** de la population



En **20 ans**, la production  
des principaux métaux a  
été multipliée par **2**

Si  et  rejoignent les  
standards européens, alors  
production encore multipliée par **2**



**ECHANGES  
INTERNATIONAUX :**  
**20%** des matières  
premières et **1/3** de  
la flotte maritime



**EVOLUTION DES PRIX**  
entre 2002 et 2007 :

<b>Cu</b>	+320%
<b>Pb</b>	+460%
<b>Zn</b>	+220%

**Utilisation des métaux :**  
Années 70 : <20  
Années 2000 : ~60

**Economie française :**  
chaque € de valeur ajoutée  
contient 10g de métaux

-Métaux : 20% des échanges internationaux de matières premières, 50% pour l'énergie et 30% pour les matières agricoles, 1/3 de la flotte maritime



## 1. Généralités sur les métaux



## 2. Les métaux et l'énergie

- Généralités énergétiques et climatiques
- Nucléaire
- Energies renouvelables : solaire, éolien
- Stockage de l'électricité
- La voiture électrique
- La voiture à hydrogène et sa pile à combustible



## 3. Perspectives

# Généralités énergétiques & climatiques



Consommation d'énergie primaire mondiale : **8 à 10%**

Exploration et production de pétrole et de gaz : **5%**

**Fe**  
acier

Electrolyse de l'aluminium : **3%** de l'électricité mondiale (~600TWh)

**Al**



**W**  
tungstène



Carbures : outils de forages indispensables aux industries pétrolière et gazière

**Co**  
cobalt



Catalyseur pour le procédé Fischer-Tropsch

**CO<sub>2</sub>**

**Industries des métaux : 5% des émissions anthropiques**

-La consommation d'énergie pour la production d'un métal dépend de la stabilité chimique du minerai

-Les différentes étapes pour obtenir un lingot de métal brut sont :

- L'extraction du minerai
- Les traitements pré-métallurgiques
- La métallurgie d'élaboration
- La 1<sup>ère</sup> transformation
- Le transports entre les différentes étapes
- 2<sup>ème</sup> transformation : produits bruts, semi finis ou finis

## Nucléaire : métaux pour le gainage et la structure



**CONDITIONNEMENT DU COMBUSTIBLE**  
enveloppe des crayons

**Zr**

zirconium

**CONTRÔLE REACTEUR**  
absorbeur de neutrons



**Hf**

hafnium

**Aciers inoxydables**

**Ni**

nickel



**Alliages hautes performances**

**Ti**

titane

**Co**

cobalt



**Absorption des radiations**

**Pb**

plomb

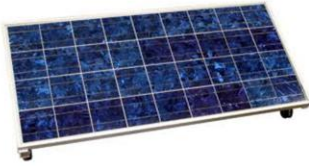
**Forte dépendance aux alliages spéciaux : risque élevé sur le cobalt**  
**Zirconium et hafnium indispensables, risque géopolitique élevé car réserves/production concentrées sur 2 pays : Australie et AFS**

-Nickel pour les aciers inoxydables, alliages hautes performances avec titane et cobalt. 240 tonnes d'alliages pour 1 réacteur avec 4 générateurs de vapeur (cas de l'EPR). Pas de problème pour le développement du nucléaire, si parc x2 alors les besoins en nickel ne représenteraient que 1 à 2% de la production de nickel actuelle

-Plomb : capacité à absorber les radiations

-Zirconium : conditionnement du combustible, 90% de la production de zirconium métal sert à fabriquer les enveloppes des crayons pour les combustibles fissiles (1% de l'élément zirconium seulement, le reste va principalement dans les carrelages sous une forme non métallique ! Production de zircon  $ZrO_2$ , 1,25 millions de tonnes/an, élément abondant). La consommation de l'industrie nucléaire en zirconium est de ~12000 t/an. Produit seulement par 4 pays, dont Australie 44% et AFS 32%. Possible problème d'approvisionnement sur le long terme et concentration de la production et des réserves

- Hafnium : très lié au zirconium niveau production (50 Zr pour 1 Hf, >100 t/an, ~50% pour CEZUS, filiale d'AREVA), utilisé pour ces capacités à absorber les neutrons (barres de contrôle), aussi utilisé en aéronautique pour les superalliages et en électronique pour la fabrication des transistors (en développement avec risque de déstabilisation du marché). Production faible et compliquée à augmenter



## PHOTOVOLTAIQUE

**Si** **Al**  
silicium aluminium

• 4 kg/kW

**Cu**  
cuivre

• Métaux rares pour les technologies CIGS

**Ga**  
gallium

**In**  
indium

**Se**  
sélénium



## 1 EOLIENNE d'1MW :

• 10 fois plus d'acier et de béton par kWh produit qu'une centrale thermique

• Contient en moyenne 3 tonnes de cuivre (3 kg/kW)

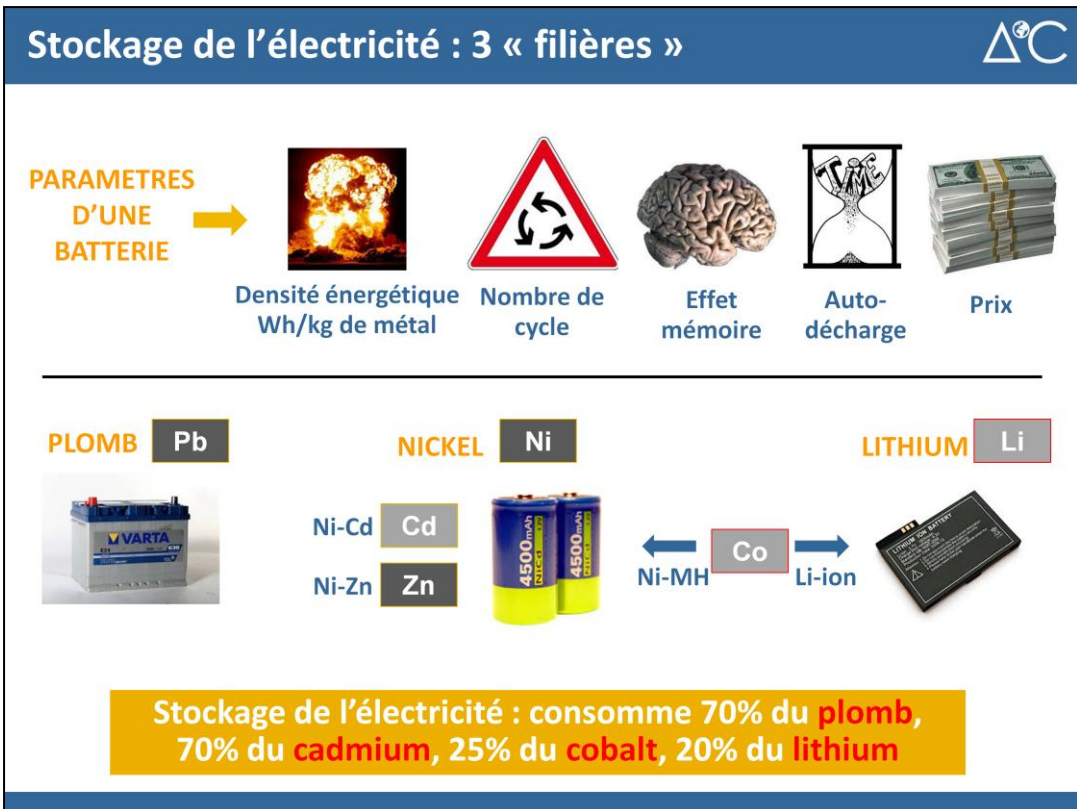
• Utilise du néodyme pour les aimants permanents des générateurs

**Fe**  
acier

**Cu**  
cuivre

**Nd**  
néodyme

**Pas de développement des énergies renouvelables et du « tout technologique » sans les grands métaux Fe/Cu/Si et sans métaux précieux Ga/In/Se/Nd**



-Stockage de l'électricité : pour la gestion de l'intermittence de certaines énergies renouvelables et pour la mobilité électrique  
 -Solutions technologiques :

- Super-capacités (super-condensateurs)** : excellentes pour la rapidité de charge et décharge de l'électricité, grande puissance restituée, complète les batteries des véhicules électriques (freinage). Utilisent surtout de l'aluminium
- Piles non rechargeables** : charbon-zinc (en disparition), alcalines (carbone-oxyde de manganèse-zinc, 75% du marché), salines (NH<sub>4</sub>Cl, non métallique) et lithium. 40 milliards d'unités/an
- Piles rechargeables** : 400 millions d'unités/an, Ni-Cd (interdites car cadmium trop polluant), Ni-MH (nickel-métal-hydrure) les remplacent, Li (sans effet mémoire, puissantes mais explosives à haute température)
- Batteries ou accumulateurs rechargeables** : électrolyte acide (plomb), électrolyte alcalin (nickel-cadmium, nickel-métal-hydrure, nickel-zinc), électrolyte organique (lithium). Production > à 3,5 milliards/an

### Plomb

-30 à 50 Wh/kg (lourdes et peu puissantes), décharge de 5%/mois

### Nickel

-Nickel-cadmium Ni-Cd : 45 à 80 Wh/kg, vie longue à 2000 cycles, effet mémoire et décharge 20%/mois

-Ni-MH : ~100 Wh/kg, 1500 cycles, 30%/mois (ordinateurs, téléphones). On les retrouve dans les voitures hybrides (1<sup>ère</sup> Prius 1,5kWh, 39kg, 20km) même si la tendance est au remplacement par Li-ion

-Sodium-chlorure de nickel Na-NiCl : ~120 Wh/kg, décharge de 12%/jour et 800 cycles mais pas chère

-Nickel-zinc Ni-Zn : performances légèrement inférieures à Li-ion mais meilleure durée de vie et recyclage complet, aucun souci de disponibilité

### Lithium

-120 à 200 Wh/kg, aucun effet mémoire, une décharge de quelques %/mois seulement, 95% des applications portables électroniques

-Li-ion : 1000 cycles mais instable en cas de surchauffe

-Li-Po : variante de Li-ion, sans cobalt, performances moindres mais durée de vie meilleure 2000 cycles

-LMP : plus prometteuse, mais durée de vie faible (500 cycles)

-Lithium-air : 2000 Wh/kg dans l'avenir pour la même quantité de lithium

-Pour l'électrification des voitures, on cherche des performances massives très élevées, d'où l'orientation vers le lithium ou peut-être Ni-Zn

Pour 300 km d'autonomie, on compte 4 kg de lithium (20kg de carbonate de lithium) et 3 kg de cobalt/voiture. Si toute la production de lithium (2% des réserves/an) et cobalt actuelle y est consacrée, alors on peut équiper « que » 20 millions de véhicules/an (contre 60 millions/an et un parc de 1 milliard aujourd'hui). En réalité, quelques millions/an max. Le cobalt est lui à priori remplaçable (nanoparticules de carbone)

## La voiture électrique : les batteries au lithium ?



### LITHIUM\*

Li

1,3kg de lithium métal pour une batterie de 15kWh soit 100 km d'autonomie :  
**4kg/300km** ou 20kg de carbonate de lithium

**Production annuelle** : >27.000 tonnes

**Recyclage** : en développement (50% de lithium récupéré sur une batterie, + à venir)

**Réserves** : **4 millions de tonnes** de pureté suffisante pour les batteries, sinon 5,5Mt et réserves bases à 11 Mt

**Risque géopolitique élevé** : les 3/4 des réserves sont au Chili et en Bolivie

**Applications** : Verre et céramique 25%, batteries 20%, alliages 20%, graisses lubrifiantes 15%...

Cu

cuivre

~20 kg/voiture standard  
~45 kg/hybrides

Co

cobalt

pour les véhicules électriques avec **3 kg/voiture** dans les cathodes

**Cobalt** : facteur limitant pour les VE avec batteries Ni-MH ou Li-ion  
**Lithium** : facteur très limitant pour l'électrification du parc automobile, besoin de solutions techniques complémentaires

\*« La guerre du lithium aura-t-elle lieu ? » Alternatives Internationales 05/2011

18730 tonnes de lithium produit en 2009 - 12,267 millions de tonnes de réserves en 2009

La demande devrait dépasser l'offre en 2017

## La voiture à hydrogène et sa pile à combustible (PAC)

### PLATINES & PLATINOIDES

Pt

Pd

Servent de catalyseurs dans la PAC pour transformer H et O en électricité : **100g/PAC**

**Production annuelle : 200t/an**

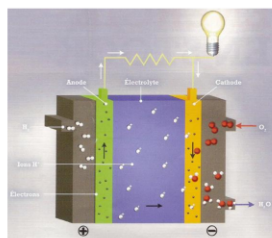
**Recyclage : ~100t/an**

**Réserves : 80.000 tonnes** (bases idem)

**Risque géopolitique élevé** : 75% de la production en Afrique du Sud (88% des réserves) et 15% en Russie (8% des réserves)

**Applications** : pots catalytiques 50%, joaillerie 25%, électronique chimie verre ~5%, pétrole 3%. Utilisable en moindre quantité dans la PAC mais pas vraiment substituables

Si la production est multipliée par 4, on peut imaginer **8 millions** de véhicules/an soit **<15%** de ce qui est produit actuellement chaque année



**800 millions** de véhicules maximum

**Sans même parler de la production d'hydrogène, le développement de cette technologie sera limitée par la disponibilité du platine Pt indispensable au fonctionnement de la pile à combustible**





## 1. Généralités sur les métaux



## 2. Les métaux et l'énergie



## 3. Perspectives

- **Années estimées d'épuisement**
- **Métaux et pic pétrolier : le cercle vicieux**
- **Ils sont partout dans l'économie : les métaux!**
- **Les voies à suivre et vite!**

# Ils sont partout dans l'économie : les métaux !



The diagram illustrates the ubiquity of metals in modern technology and industry. It features a periodic table with several elements highlighted in different colors and connected to various images:

- Hydrogen (H):** Connected to a small car.
- Lithium (Li):** Connected to a small car.
- Aluminum (Al):** Connected to metal pipes.
- Copper (Cu):** Connected to a spool of wire.
- Silicon (Si):** Connected to a solar panel.
- Iron (Fe):** Connected to a car engine.
- Carbon (C):** Connected to a toy car.
- Gold (Au):** Connected to a television.
- Platinum (Pt):** Connected to a television.
- Neon (Ne):** Connected to a Wi-Fi Onboard logo.
- Argon (Ar):** Connected to a Wi-Fi Onboard logo.
- Mercury (Hg):** Connected to a radiation symbol.

Below the main periodic table, there is a smaller section for the actinide and lanthanide series, with elements like Uranium (U) and Plutonium (Pu) highlighted.

Retour à l'âge de fer ?

## Années estimées d'épuisement\*



<b>Sb</b> antimoine <b>2020</b>	<b>Cr</b> chrome <b>2024</b>	<b>Sn</b> étain <b>2026</b>	<b>Zn</b> zinc <b>2027</b>	<b>Ag</b> argent <b>2028</b>	<b>Pb</b> plomb <b>2029</b>	<b>Au</b> or <b>2030</b>
<b>Cd</b> cadmium <b>2040</b>	<b>Fe</b> fer <b>2042</b>	<b>Cu</b> cuivre <b>2044</b>	<b>Ni</b> nickel <b>2054</b>	<b>Zr</b> zirconium <b>2055</b>	<b>Nb</b> niobium <b>2056</b>	<b>W</b> tungstène <b>2057</b>
<b>Mn</b> manganèse <b>2065</b>	<b>In</b> indium <b>2095</b>	<b>Ta</b> tantale <b>2104</b>	<b>P</b> phosphore <b>2110</b>	<b>Ti</b> titane <b>2115</b>	<b>Co</b> cobalt <b>2137</b>	<b>Al</b> bauxite <b>2143</b>
<b>Pt</b> platine <b>2199</b>	<b>K</b> potassium <b>2349</b>	<b>Mg</b> magnésium <b>2470</b>	<b>Li</b> lithium <b>2559</b>	<b>TR</b> terres rares <b>2807</b>		

\*Données extraites du livre « 2033 Atlas des futurs du monde » de Virginie RAISSON – 2010

Année estimée d'épuisement des minerais à partir de leur niveau d'exploitation en 2009

U.S. Department of the Interior – U.S. Geological Survey, Mineral Commodities Summary 2010

- Hafnium lié au zirconium
- Lithium : si on prend 11.000.000 tonnes de réserves bases avec une production annuelle de 27.000, on obtient 407 ans de production
- Platine : 80.000 tonnes / 200 tonnes/an = 400 ans de production

# Comment économiser le stock ?



## RECYCLAGE



Eco conception,  
usages non dispersifs



Beaucoup  
d'applications  
nécessitent des  
métaux purs, c'est-  
à-dire non issu du  
recyclage...

## SUBSTITUTION

7 métaux sont  
abondants (>0,1%  
dans la croûte  
terrestre) :

Fe	Al	Si
K	Mg	Na
potassium magnésium sodium		
Ca		

## REDUIRE LES BESOINS



Economie de la  
fonctionnalité

4 métaux  
devraient être  
utilisés avec  
frugalité :

Ti	Cr
Mn	Cu
manganèse	

-3 voies pour économiser le stock (sous terre et en circulation) : recyclage, substitution, réduire les besoins

-En France, 85% du fer, 80% de l'aluminium et du cuivre, 70% du plomb et 50% du zinc sont recyclés

-Limites physiques et technologiques : le recyclage à 100% est impossible à cause du 2<sup>nd</sup> principe de la thermodynamique, utilisation de + en + grandes d'alliages de + en + complexes (3000 alliages au nickel), ordinateur 30 métaux différents, voitures 10, superalliage aéronautique 15...

-Usages dispersifs : colorants, catalyseurs, fertilisants, additifs, pesticides, galvanisation (zinc), soudure (étain), cobalt et molybdène très dispersifs

-Raffinage des non ferreux (tout sauf le fer, donc principalement Cu, Zn, Pb, Sn, Cr, Ni) : particulièrement économe en énergie par rapport à la production brute. Exemple avec le cuivre recyclé : 85% d'énergie en moins

-Limites économiques et sociétales : les déchets sont peut être les mines de demain

## Métaux et pic pétrolier : le cercle vicieux



**Minerais** de moins  
en moins  
accessible



Production d'**énergie**  
requérant toujours  
plus de **matières**  
**premières**



**Energie** toujours  
moins accessible



Extraction des **matières**  
**premières** nécessitant  
toujours plus d'**énergie**

**Loi des rendements décroissants : besoin de plus d'énergie pour les métaux et de plus de métaux pour l'énergie...**

-Les découvertes majeures et simples ont été faites, les coûts des découvertes augmentent avec la profondeur et les coûts de production croissent avec la baisse de la teneur en métal. La dépense énergétique augmente avec une concentration décroissante ou la profondeur







-Inversement, la production d'énergie requiert plus de métaux. Les énergies fossiles moins accessibles comme le pétrole offshore profond nécessitent plus de technologie et de ressources métalliques que les ressources historiques comme les champs géants d'Arabie saoudite

**Merci pour votre attention**



# ANNEXES

## Métaux et industries (hors nucléaire et stockage de l'électricité)

<b>Aéronautique et spatiale</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Super alliages : <b>Re</b> 75% (rhénium), <b>Nb</b> (niobium), <b>Co</b> &lt;2%</li> <li>• Alliages structures : <b>Li</b> &lt;1%</li> </ul>
<b>Agriculture</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Engrais potassiques et phosphatiques : <b>K</b> &gt;95%, <b>P</b> &gt;90%</li> <li>• Engrais azotés : <b>Pt</b> et <b>Rh</b> (rhodium) &lt;5%</li> </ul>
<b>Automobile</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catalyse d'échappement : <b>Rh</b> 84%, <b>Pd</b> 57%, <b>Pt</b> 50%</li> <li>• Allègement des véhicules : <b>Al</b> 20%</li> <li>• Accumulateurs : <b>Pb</b> 15%, <b>Sb</b> 20% (antimoine)</li> <li>• Applications électriques : <b>Cu</b> 8%</li> <li>• Anticorrosion : <b>Zn</b> 8%, <b>Cr</b> 3%, <b>Ni</b> 2%</li> </ul>
<b>Bâtiment</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications électriques : 38% <b>Cu</b></li> <li>• Menuiseries et structures : 20% <b>Al</b></li> <li>• Anticorrosion : <b>Zn</b> 20%, <b>Cr</b> 8%, <b>Ni</b> 6%</li> <li>• Applications spécifiques : <b>Pb</b> 10%</li> </ul>
<b>Chimie</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pigments blancs : <b>Ti</b> 95%</li> <li>• Catalyseur : <b>Co</b> 27%, <b>Re</b> 10%, <b>Pt</b> 8%, <b>Rh</b> 6%, <b>Pd</b> (5%)</li> <li>• Usages chimiques : <b>Mo</b> 30%, <b>Sn</b>, <b>Cd</b>, <b>Pb</b>, <b>Mn</b>, <b>Cr</b>, <b>Zn</b></li> </ul>
<b>Nouvelles technologies</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensateurs : <b>Ta</b> 65%</li> <li>• Optoélectronique et PV : <b>Ga</b>, <b>In</b></li> <li>• Electronique : <b>Ag</b> 21%, <b>Pd</b> 17%, <b>Au</b> 9%, <b>Pt</b> 6%, terres rares</li> </ul>



# Stockage de l'électricité



Technologie	Plomb	Nickel				Lithium			
		Ni-Cd	Ni-MH	Na-NiCl	Ni-Zn	Li-ion	Li-Po	LMP	Lithium-air
Unités/an		~1200 M	~800 M			~1000 M	~100 M (↗)		
Wh/kg	30-50	45-80	100	120	100-120	120-200			2000 ?
Cycles		2000	1500	800		1000	2000	500	
Effet mémoire		très fort	fort			Pas d'effet mémoire			
Auto-décharge	5% mois	20% mois	30% mois	12% jour		quelques % mois			
Prix	+	+++	+++	+	+	+++	+++	+++	