



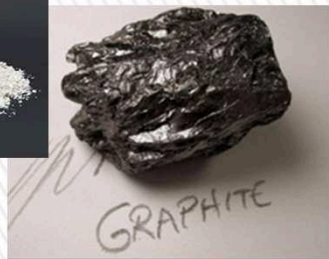
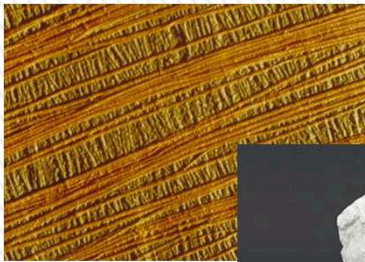
La tablette de Mendeleïev

Prof. Eric PIRARD

À l'âge du crayon

Une tablette garantie 200 ans

- ▶ La tablette de Mendeleïev
 - ▶ Bois – papier – crayon
- ▶ La recette:
 - ▶ 5 kg de cellulose
 - $(C_6H_{10}O_5)_n$
 - ▶ 100 g d'argile
 - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$
 - ▶ 2 g de graphite



Dimitri Mendeleïev vers 1881



A la recherche de l'eka-aluminium

... en passant par Liège

▶ 1875

▶ **Société de la Vieille-Montagne**

- Leader mondial du zinc

▶ **P-E LECOQ de Boisbaudran**

- Reçoit 4t de minerais de zinc
- Isole 75g de Gallium (Gaule = Gallia)

▶ 1975

▶ **Premières cellules photoélectriques (GaAs)**

- Cellules photoélectriques
- ≈ 20 t Ga/an

▶ 2013

▶ **Utilisation croissante des LEDs (GaN)**

- 216 t/an



À l'âge du Gallium

Une tablette garantie 1 an

- ▶ Pour réussir une bonne tablette en 2013...
... il faut plus de 300 kg de roches venues du monde entier!

- ▶ 250 kg de minerai de **Au**
- ▶ 40 kg de minerai de **Pd**
- ▶ 16 kg de minerai de **Co**
- ▶ 12 kg de minerai de **Cu**
- ▶ 3 kg de minerai de **Li**
- ▶ 3 kg de minerai de **Ag**
- ▶ 1,7 kg de minerai de **Ta**
- ▶ 1,5 kg de minerai de **Sn**
- ▶ 1,5 kg de minerai de **Ni**
- ▶ ...



À l'âge du Gallium

Une tablette garantie 1 an

▶ ... mais aussi

- ▶ 750 g de minerai de Zn
- ▶ 500 g de minerai de Nd
- ▶ 300 g de minerai de Pb
- ▶ 300 g de charbon
- ▶ 250 g de minerai de Fe
- ▶ 250g de minerai de Ga
- ▶ 200 g de minerai de In
- ▶ 200 g de minerai de Al
- ▶ 200 g de sable blanc
- ▶ *etc, etc,... Ti, P, Ca, Ce, Gd, Tb, Mo,...*

▶ ... et surtout

- ▶ **une sacrée bonne équipe d'ingénieurs !**
 - ingénieurs géologues, des mines, métallurgistes, chimistes, mécaniciens, électriciens, électroniciens,...





Où sont les ressources

... pour les hautes-technologies ?

Où sont les ressources ?

Dans mon jardin ?

- ▶ Un jardin de 1000 m² sur 1m de profondeur
 - ▶ ± 2000t de schiste
 - ▶ L'analyse chimique élémentaire révèle ... un peu de tout!



Elément	Quantité
O	930 t
Si	660 t
Al (8%)	160 t
Fe	60 t
Ti	8 t
...	...
V	164 kg
Cr	122 kg
Zn	150 kg
...	...

Elément	Quantité
Ni	54 kg
Cu (23ppm)	46 kg
Li	60 kg
Nd	54 kg
Co	34 kg
Ga (17ppm)	34 kg
As	22 kg
...	...

Elément	Quantité
Ge	3,4 kg
U	5,4 kg
Tl	1,2 kg
Hg (65ppb)	130 g
Au	2 g
...	...

... sur base du European Palaeozoic Shale Composite (Haskin & Haskin, 1966)

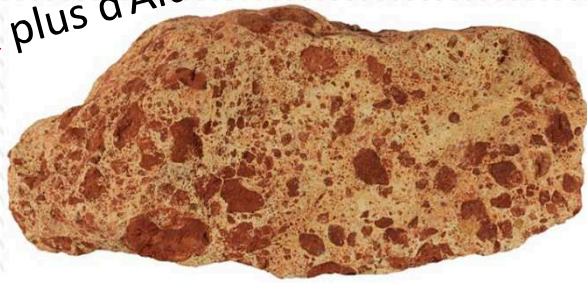


Où sont les ressources ?

Dans mon jardin ?

- ▶ Il faudrait au moins 30 t de schiste pour une tablette
 - ▶ ...heureusement les géologues ont trouvé mieux!

3x plus d'Aluminium



300 x plus de Cuivre



67000 x plus de Mercure



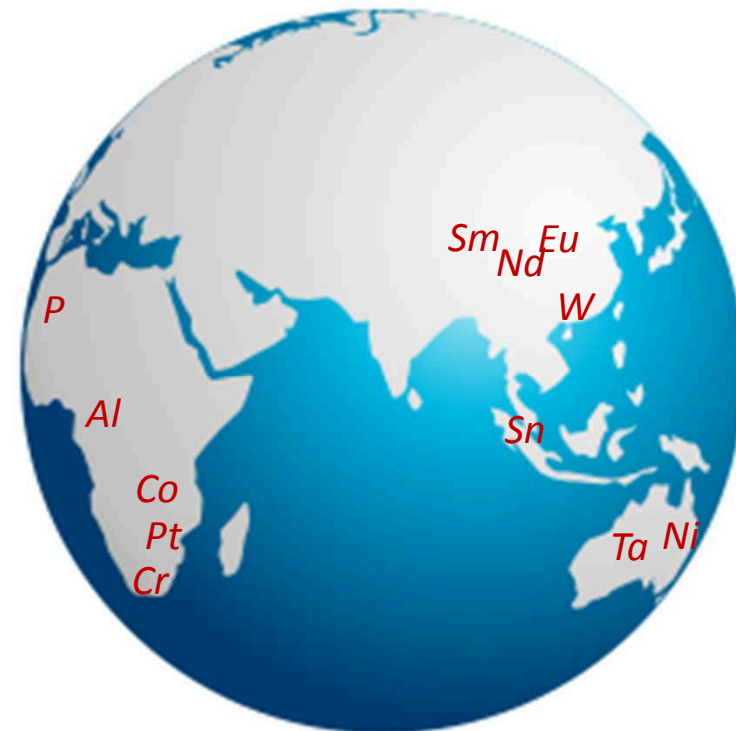
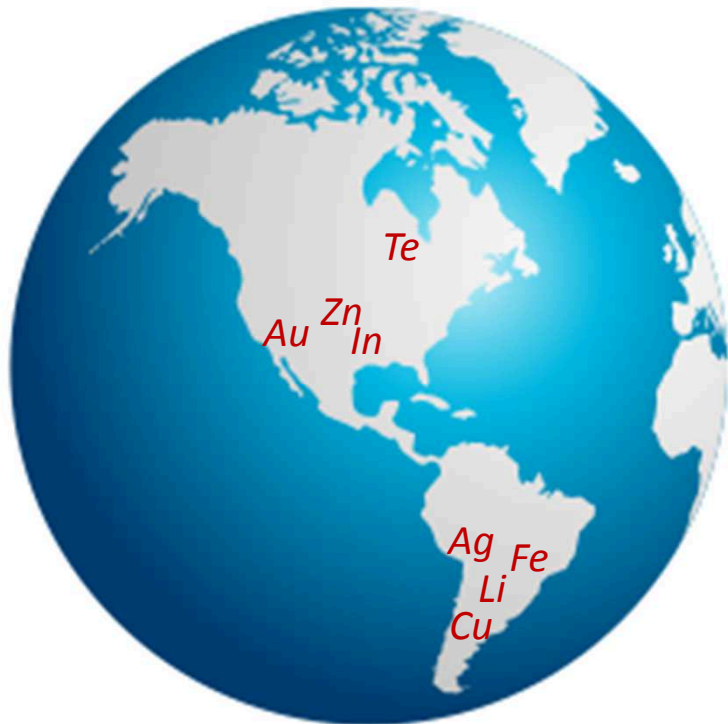
- ▶ Un **MINERAL** est une **roche**, permettant une valorisation industrielle **actuelle** dans des conditions de rentabilité **économique**



Où sont les ressources ?

Pas dans mon jardin

- ▶ Des ressources venues du monde entier
 - ▶ Syndrome NIMBY – Not in My Backyard!
 - ▶ L'Europe consomme 20% des métaux et n'en produit que 3%!





A la recherche du Gallium

Not in my backyard "NIMBY"

Latérites et bauxites

Dans un jardin australien

▶ Les minéraux des roches s'altèrent au contact de l'atmosphère

▶ **Sous les tropiques**

• BAUXITISATION



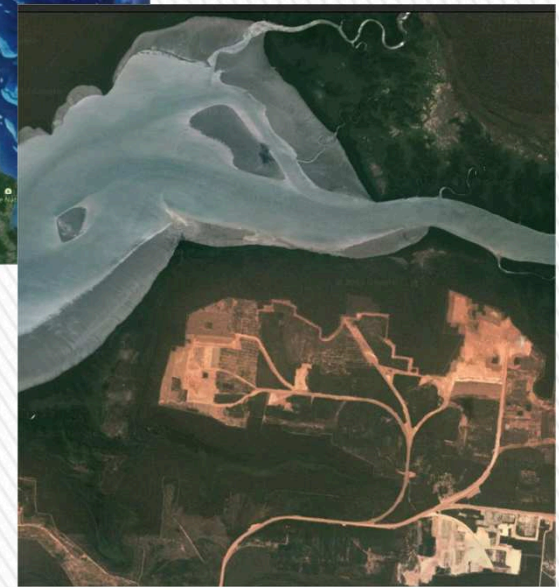
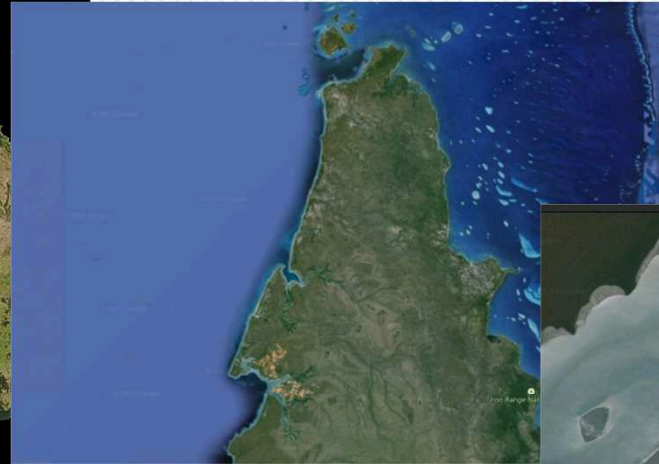
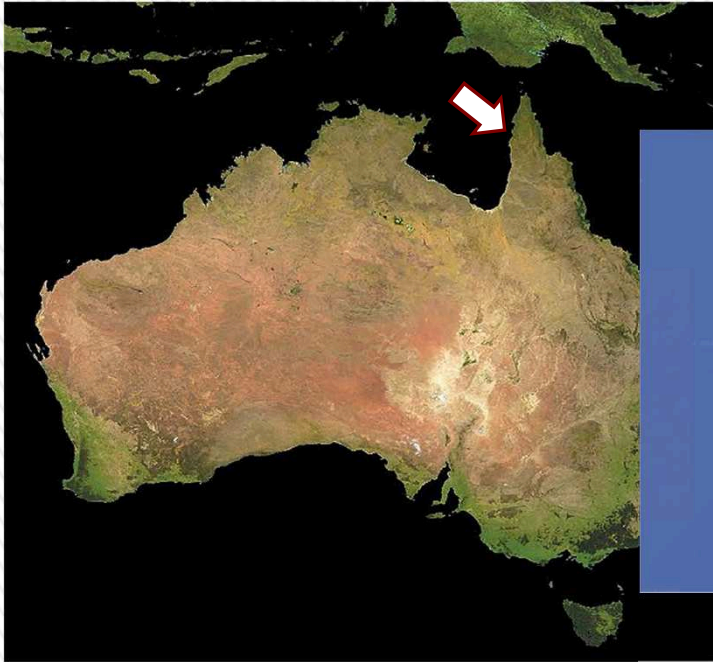
- Minerai d'Aluminium ssi > 30% Al_2O_3
- 50 ppm de Gallium



Mine de bauxite

Gisements "world class"

- ▶ Mine de Weipa (Queensland)



Mine de bauxite

Gisements "world class"

- ▶ Weipa (QLD)
 - ▶ *Production de 23 Mt par an*
 - *3,5 terrains de foot par jour (sur 1m)*



De la mine à l'alumine

Procédé Bayer

- ▶ La bauxite est dissoute dans la soude caustique



- $T^\circ = 140 \text{ }^\circ\text{C}$; $P = 5 \text{ bars}$; $t = 1\text{-}2 \text{ h}$

- ▶ La liqueur est filtrée, recristallisée



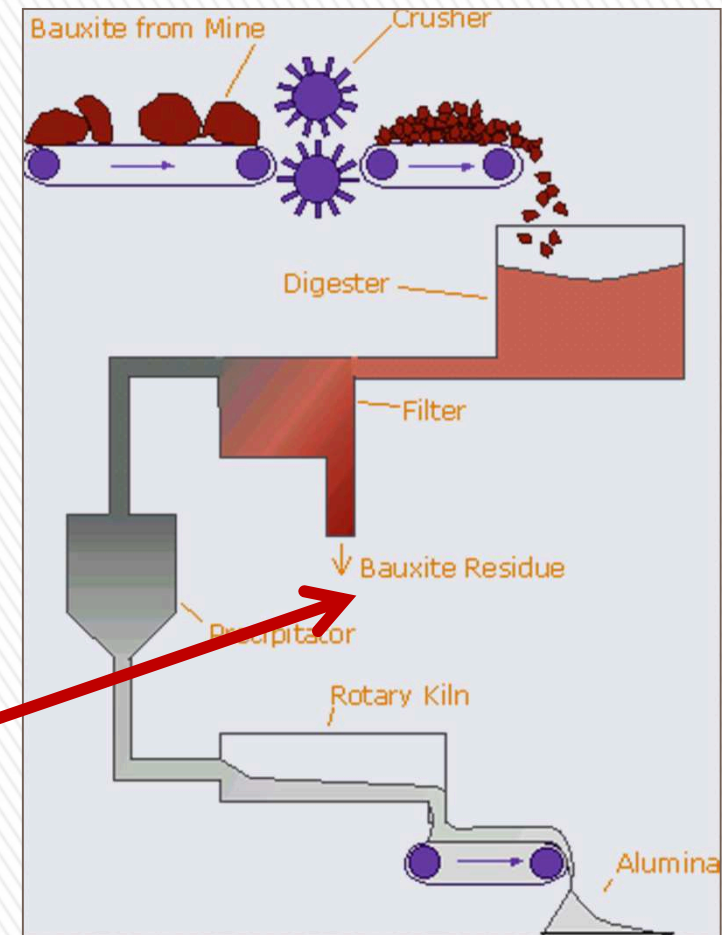
- ▶ et calcinée



- ▶ *Ga est extrait de la liqueur (à 200 ppm)*

- ▶ Les résidus insolubles sont éliminés

- ▶ « Boues Rouges »



Un minerai lourd à digérer

Gestion des "red muds"

- ▶ 1,5 à 2 t de boues pour 1t Al
- ▶ Résidus à pH 10 – 13!



Rupture de digue en Hongrie (Oct, 2010)



*Production d'alumine et red muds à Worsley.
5 x 6 km² (Australie Occidentale)*



Un métal énergivore

Electrolyse Al

- ▶ L'alumine cristallisée est transformée en Al par électrolyse à 1000 °C
 - La production d'1kg Al requiert 15kWh
 - Elle se fait dans les pays où l'énergie est bon marché
 - Ex. Abu Dhabi





Boucler la boucle

*Quand l'économie devient **circulaire***

Boucler la boucle

Les mines technosphériques

- ▶ DEEE: Déchets Electriques et Electroniques (11 Mt/an en UE)
 - ▶ Electroménagers, Lampes, TV, Ordinateurs, GSM, ...
- ▶ Le défi de la collecte
 - ▶ En Belgique (2010): 9,3 kg/hab.an
 - Objectifs UE 2015: min. 4kg/hab.an
 - Objectifs UE 2019 : collecter 65% des EEE mis sur le marché



Boucler la boucle

Les mines technosphériques

► Projet BioLix

► Comet Traitements s.a. / ULg

- Mise en solution des métaux par action bactérienne (économie de 50€/t)
- Récupération du Cu à 95%, du Zn à 91%, du Pb à 92%,...
... et des métaux précieux à plus de 98%



eco-innovation 
WHEN BUSINESS MEETS THE ENVIRONMENT



- De l'essai pilote à l'installation industrielle de 10.000t/an en 2014!

► Autres projets

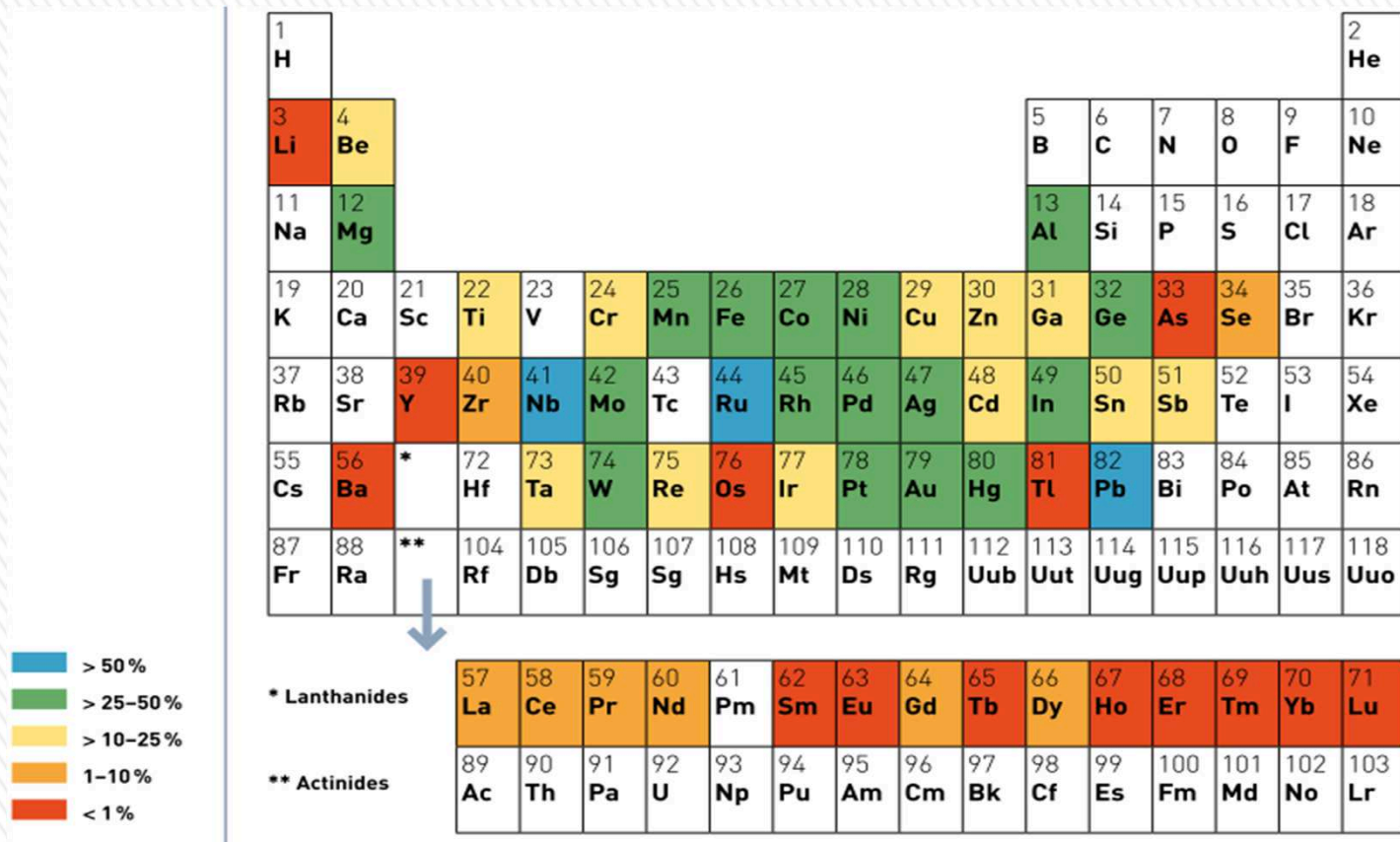
- Récupération du Ga dans les déchets électroniques par biolixiviation
- Tri optique des composants et alliages complexes



Boucler la boucle

Les mines technosphériques

- ▶ Encore un long chemin à parcourir...
 - ▶ Taux max. de recyclage des métaux (UNEP, 2011)





Conclusions

Une mine d'innovation

Conclusions

Une mine d'innovation

- ▶ Il n'y aura pas de **(ré-)industrialisation** sans matières premières
 - ▶ Nécessité d'une réflexion stratégique européenne
- ▶ Les matières premières sont **autour de nous**
 - ▶ Relance du secteur minier et du recyclage (mines urbaines)
- ▶ Le **recyclage** est indispensable, mais
 - ▶ Nécessite un cadre (législatif,...) adéquat et ne répond pas à tous les besoins
- ▶ Le potentiel **d'innovation** est énorme
 - ▶ Géologie 3D; Robotique en mines; Biométallurgie; Eco-design;...
- ▶ Il y a un grand défi à relever en matière de **formation**
 - ▶ Erasmus Mundus, Knowledge Innovation Communities, ...



Merci



Liège, Belgium



www.em-georesources.eu



Université de Liège - GeMMe - *Génie Minéral, Matériaux & Environnement*

