



Génie Minéral, Matériaux & Environnement

Où sont les métaux pour les technologies du futur ?

Prof. Eric PIRARD



Génie Minéral, Matériaux & Environnement

Petites leçons élémentaires

De l'Age de la Pierre à l'Age de l'Europium



1. Une histoire de rouge

De Lascaux à Barco



▶ LASCAUX

- Ocre: Fe_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$
 - Oxydes de fer naturels
- Noir : MnO
 - Oxydes de manganèse naturels

Pigments naturels encore utilisés en 2013 (Chypre)



▶ PRADO

- Vermillon: Hg S
 - Sulfure de mercure naturel
Mine d'Almaden (ES) -> 2000

Convention bannissement du mercure (19 Jan 2013)



▶ BARCO

- Luminophore rouge : $\text{Eu}:\text{Y}_2\text{O}_3$
 - Oxyde Yttrium-Europium synthétique

Pas de substitution possible



Leçon n°1

Une histoire de rouge

- ▶ Exigences **croissantes** sur les matières premières
 - ▶ Quantité
 - ▶ Qualité

- ▶ Prise en compte de l'impact **environnemental**
 - ▶ Toxicité de certains composés
 - ▶ Bilan sur l'ensemble du « cycle de vie »
 - *du minerai au produit en fin de vie*

- ▶ La **substitution** a ses limites
 - ▶ Éléments irremplaçables
 - ▶ Evolution du cours des matières premières

- ▶ Les matières premières **ne sont pas chères**
 - ▶ < 10 % du coût d'un PC
 - Dont 8% (Me précieux), 1,3% (Me base) et 0,07% (Me rares))
 - ▶ Coût vérité



2. Une histoire de lumens

De Edison à Philips

Incandescence



12-20 lm/W

Tungstène
Bulbe de verre

Halogène



18-25 lm/W

Tungstène
Gaz halogène (I,Br)

Fluo-compacte



60-80 lm/W

Tungstène
Vapeur de Hg
Luminophores Oxydes REE

LED



25-140 lm/W

Diode InGaN
Luminophores Ce:YAG



Leçon n°2

Une histoire de lumens

- ▶ Complexité croissante des technologies et des matériaux
 - ▶ Electricité => Microélectronique
 - ▶ Matériaux de base => Nanotechnologies
 - DESIGN FOR **DISASSEMBLING**

- ▶ Recyclabilité de plus en plus difficile
 - ▶ Mélanges complexes
 - ▶ Nécessité d'une séparation à l'échelle atomique
 - DESIGN FOR **RECYCLING**

- ▶ Besoin d'organiser la collecte des objets en fin de vie
 - ▶ Législation, Logistique, Education,...
 - ▶ Mobilité et variabilité du gisement
 - *Les ampoules d'aujourd'hui ne sont plus celles d'hier*





Génie Minéral, Matériaux & Environnement

Raw Materials Initiative

Le réveil brutal

L'assurance d'un accès fiable et sans distorsion aux matières premières constitue un facteur de plus en plus important pour la compétitivité de l'UE.

Communication de la Commission au Parlement et au Conseil, 6 mai 2010

Métaux Critiques

Le syndrome des "Terres Rares"

*L'Europe consomme 20% des métaux mais n'en extrait que 3%
La Chine a produit plus de 90 % des concentrés de terres rares*

► Pourquoi une matière première serait-elle critique?

► Dimension stratégique

- Les produits de substitution font défaut
- Importance déterminante dans certains secteurs clés

► Dimension géopolitique

- Risque d'approvisionnement élevé, forte dépendance vis-à-vis des importations et niveau élevé de concentration dans certains pays.

► Dimension géologique

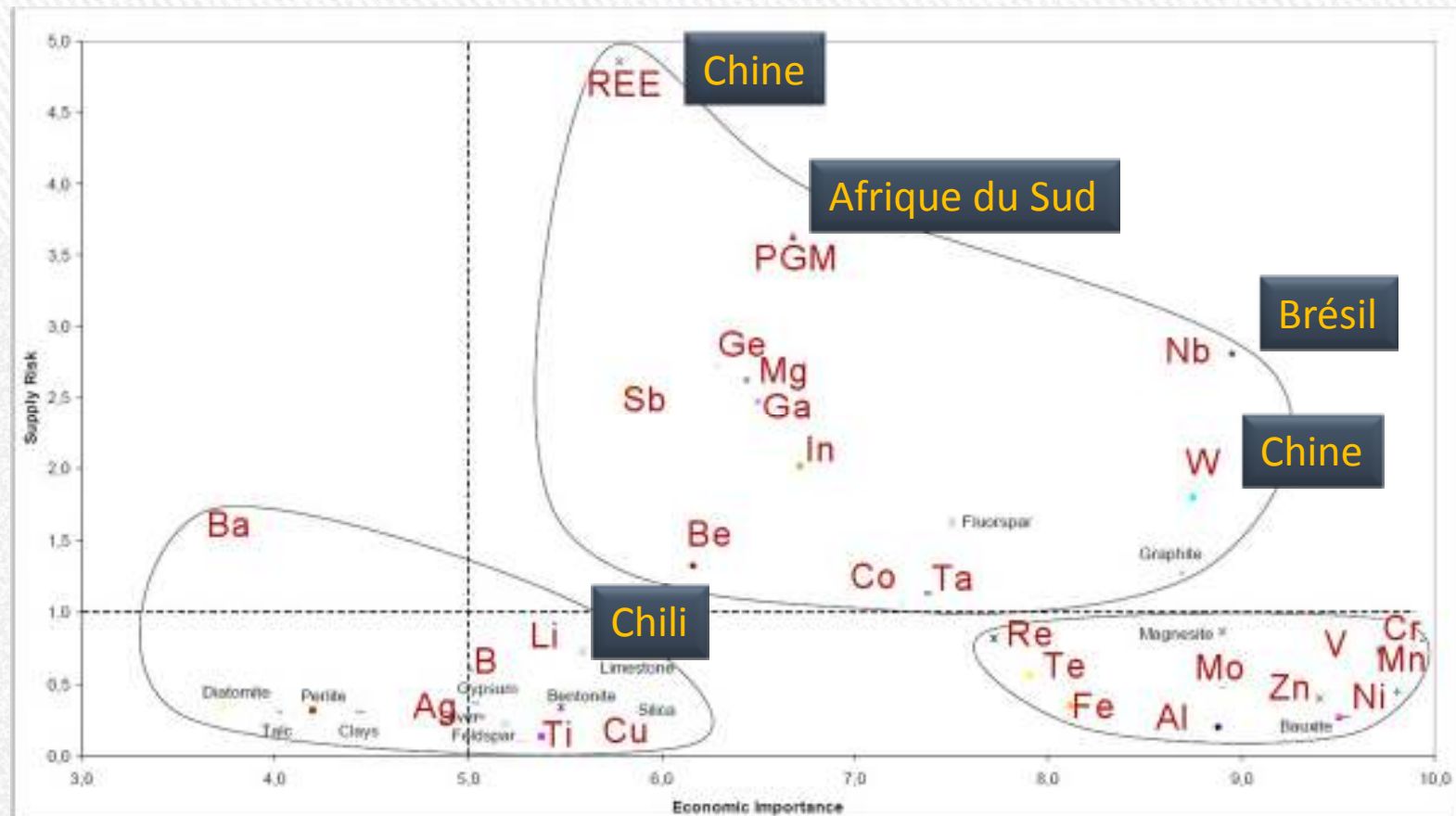
- Abondance moyenne dans la croûte terrestre
- Existence de concentrations
- Accompagnement de la mine d'autres métaux (co-produit)



Métaux Critiques

Le syndrome des "Terres Rares"

- ▶ Critical Raw Materials for the EU (Jul '10)
 - Risque d'approvisionnement vs. Impact économique





Université
de Liège

GeMMe

Génie Minéral, Matériaux & Environnement

Disponibilité Géologique

Ressources et réserves



Géochimie de mon jardin

On y trouve de tout...

- ▶ Contenu moyen de 2000 t de schiste
 - ▶ Soit un jardin de 1000 m² sur 1m de profondeur

Des métaux de base...

Élément	Contenu
O	930 t
Si	660 t
Al	160 t
Fe	60 t
Ti	8 t

V	164 kg
Cr	122 kg
Zn	150 kg
Ni	54 kg
Cu	46 kg

des éléments stratégiques...

Li	60 kg
Nd	54 kg
Co	34 kg
Ga	34 kg
Gd	8 kg

mais aussi...

As	22 kg
Hf	15,4 kg
Ge	3,4 kg
U	5,4 kg
Hg	130 g
Au	2 g

- ▶ En 2013 : tout **gisement** contient de 100x à 1000x plus



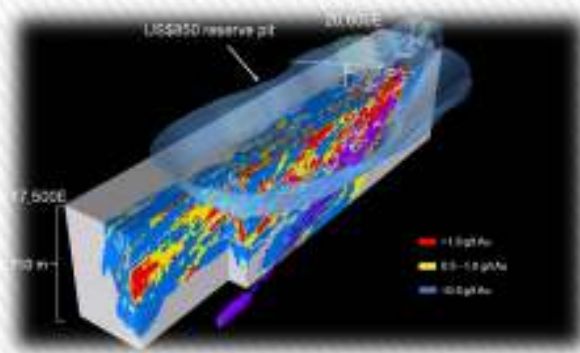
Des ressources insoupçonnées

Pour l'innovation technologique

! Il n'y en a plus que pour **25 ans** ! ???

► Ressources

- Les volumes que les géologues ont pu **identifier et quantifier**
 - Notre sous-sol est largement sous-exploré (< 300m)



Innovation en techniques d'exploration géologique.



► Réserves

- Un sous-ensemble **exploitable** selon des critères
 - Besoin de techniques plus performantes
 - Presorting, Broyage, Biolixiviation,...

Techniques
Économiques
Sociaux
Environnementaux, ...

Resource Efficiency = Développement de procédés innovants.





Université
de Liège

GeMMe

Génie Minéral, Matériaux & Environnement

Dimension Géopolitique

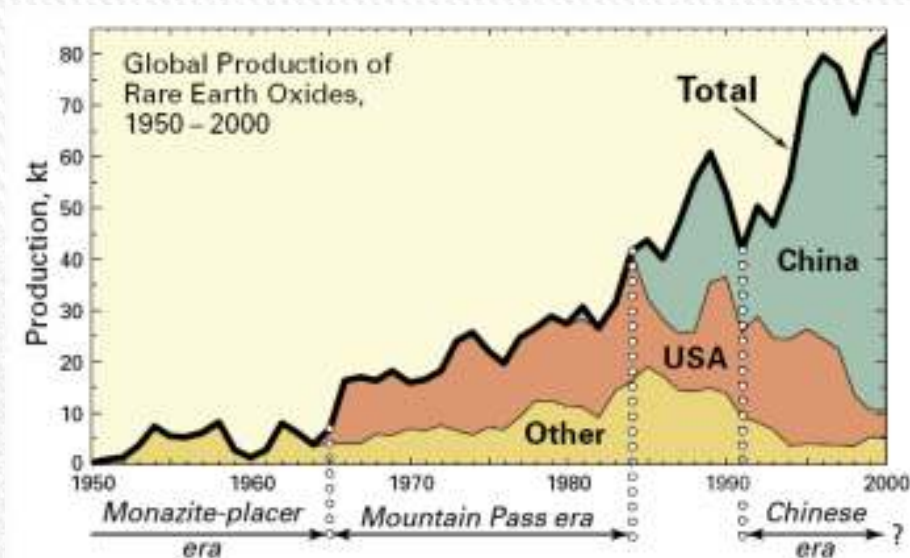
Pénurie ou Incurie



Incurie Géopolitique

La vraie histoire des terres rares...

- ▶ Historique de la production 1950-2000
 - ▶ > 95% assuré par le gisement de Bayan Obo



1km

- ▶ Relance subite de la production / prospection
 - 300 projets miniers (Mountain Pass (USA); Thor Lake (CAN); Norra Kärr (SE);...)
 - Mount Weld (Aus Occ.) 17,2 MT à 8,1 % REO [Lynas (Aus) & Rhodia (Fr)]



Pénurie Technologique

Les limites de la co-production...

▶ Métaux rares (In, Ga, Te, Se...)

▶ Bien moins chers que l'or car sous-produits de l'extraction des métaux de base

- Cuivre (Te), Zinc (In), Aluminium (Ga)

▶ Mise en œuvre du « Strategic Energy Technology Plan » européen

▶ Pression sur les ressources à l'horizon 2030

- En % de la production mondiale 2010
 - (JRC-IET, oct 2011)

Te	50,4 %
In	18,0 %
Sn	9,6 %
Ag	4,7%
Ga	3,9 %



▶ Augmenter la production d'In

- => Augmenter l'exploitation du Zinc
- => Récupérer In au départ d'autres minerais

Resource Efficiency = Valoriser tous les composants d'un minerai.



Les rejets de la technosphère

Une ressource à portée de mains

► DEEE: Déchets Electriques et Electroniques

► Circuits imprimés (PCB)

- 6% en masse des DEEE
- 500 000 t/an dans l'Europe des 27



► Composition

- Métaux de base (35%): Cu, Zn, Al, Pb, Sn, MP,...
- Métaux rares
 - » Au 100-1000g/t
 - » Ga 30g/t; In 30g/t; Nd 300g/t
- Céramiques (35%): fibres de verre,...
- Polymères (30%): résine époxy,...



De Ressource à Réserve = Innover dans la collecte, le traitement, la valorisation.





Université
de Liège

GeMMe

Génie Minéral, Matériaux & Environnement

... et la Wallonie dans tout cela

De l' héritage au leadership

En Wallonie

Des ressources insoupçonnées

GeMMe est impliqué dans la caractérisation, la valorisation, la transformation et le recyclage des matières minérales à toutes les étapes de leur cycle de vie.



- 3 unités de recherche: 40+ chercheurs
 - Matériaux de construction
 - Génie Minéral & Recyclage
 - Géoréources & Imagerie Géologique
- 2.5 M€ chiffre d'affaires
 - 40% *contrats avec des partenaires industriels*



www.em-georesources.eu

Liège
Nancy
Lulea
Freiberg



En Wallonie

Des ressources insoupçonnées

- ▶ Techniques de vision en ligne pour le contrôle de roches fragmentées



RÉGION WALLONNE

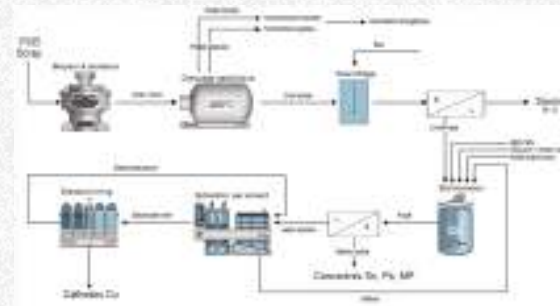
C.O.G.O.L.I.N
WIST3 - 600k€



- ▶ Biométallurgie des déchets électriques et électroniques

BioWEEE

PhD FRIA



+ Sn, Pb, MP,...



Conclusions

Une opportunité pour l'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;...
- ▶ La Wallonie doit être un acteur de premier plan
 - ▶ European Innovation Partnership, KIC, H2020

Knowledge Triangle = Enseignement (ULg), Recherche (CRM, ULg)
+ Esprit Entreprise (Comet,...)

