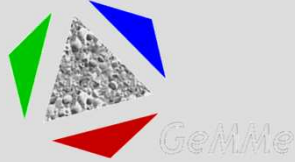




Université
de Liège



Ressources dans le Rouge pour les Technologies Vertes ?

Eric PIRARD *Prof*

Une technologie exemplaire

- Les panneaux photovoltaïques
- Si ou Te ?



- Technologie Silicium

- Si Monocristallin
 - » 13-20 % efficacité
- Si Polycristallin
 - » 11-15 % efficacité
- Si Amorphe
 - » 6-8 % efficacité



© First Solar

- « Energy Payback Time » estimé à 5 ans

- Fabrication du Silicium (25-30% coût du panneau)
 - » $\text{SiO}_2 \Rightarrow 1900^\circ\text{C} \Rightarrow$ cristal Si haute pureté

- Technologie Couches Minces

- CdTe
 - » 8 à 16 % efficacité
- CIS / CIGS
 - » 18 % (en labo)



© First Solar

- « Energy Payback Time » estimé à 1 an
 - » couche de 3 μm
- Quantité estimée par MW produit :
 - » 4,7 kg Te / 4,5 kg In / 463 kg Sn / 2194 kg Cu

- Point de vue technologique
 - Strategic Energy Technology Plan - EU
 - Technology Mix Horizon 2030:
 - » 80 % Si-c
 - » 10 % Si-a
 - » 5% CdTe
 - » 5% CIGS
 - Pression sur les ressources (JRC-IET, oct 2011):

Element	World Supply - 2010 (kt)	Metals Demand (kg/MW)	SET-Plan Demand (kt)		SET-Plan Demand / World Supply - 2010	
			2020	2030	2020	2030
Te	0.50	4.7	0.04	0.25	8.1%	50.4%
In	1.35	4.5	0.04	0.24	2.9%	18.0%
Sn	261	463.1	4.03	25.01	1.5%	9.6%
Ag	22	19.2	0.17	1.04	0.8%	4.7%
Ga	0.16	0.12	0.001	0.006	0.6%	3.9%
Cd	22	6.1	0.05	0.33	0.2%	1.5%
Se	3.25	0.5	0.004	0.026	0.1%	0.8%

- Si ou Te ?

- Silicium

- Métal le plus abondant sur terre (28%)
- Toujours sous forme d'oxydes (quartz, argiles, ...)
- Production mondiale
 - » 1 380 000 t (Si métal) dont 56 % en Chine
 - 5 520 000 t (FerroSilicium)

- Tellure

- Métal plus rare que l'or (0,001 g/t)
- Coproduit de la métallurgie du Cuivre
- Production mondiale
 - » 300 t ? Canada-Belgique-Japon-Chine-Pérou
 - 5NPlus (MCP)

- Comment stimuler la production et / ou baisser les coûts ?



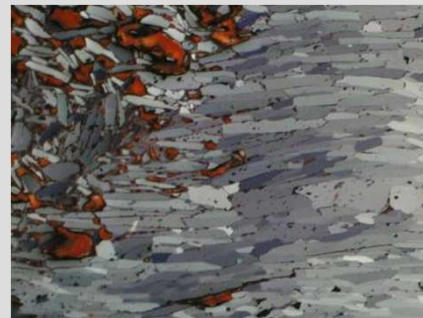
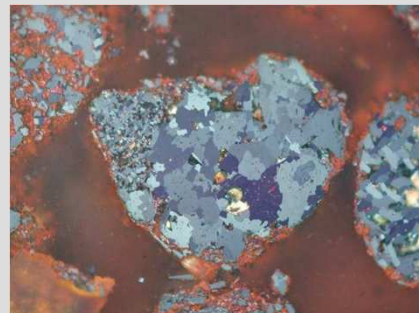
Un sursaut salutaire ?

- Un siècle d'insouciance
- EU Raw Materials Initiative



- Aux origines de l'ACIER liégeois
 - < 1940 *ressources locales*
 - » Ferrières - Couthuin - ...
 - < 1980 *ressources régionales*
 - » Lorraine - Suède - ...
 - < 2000 *ressources mondiales*
 - » Brésil - Australie - Mauritanie - ...
 - > 2000 *Croissance et convoitises*
 - » Concentration (BHP - Rio Tinto - Vale = 75%)
 - » Minerais toutes provenances, toutes qualités,...
 - » Enjeux sur l'Afrique de l'Ouest

L'Europe extrait 3% des métaux mais en consomme plus de 20 %.



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

- Constat sur les Matières Premières (2008-2010)
 - Importance économique déterminante dans certains secteurs clés
 - Risque d'approvisionnement élevé, forte dépendance vis-à-vis des importations et niveau élevé de concentration dans certains pays.
 - Les produits de substitution font défaut



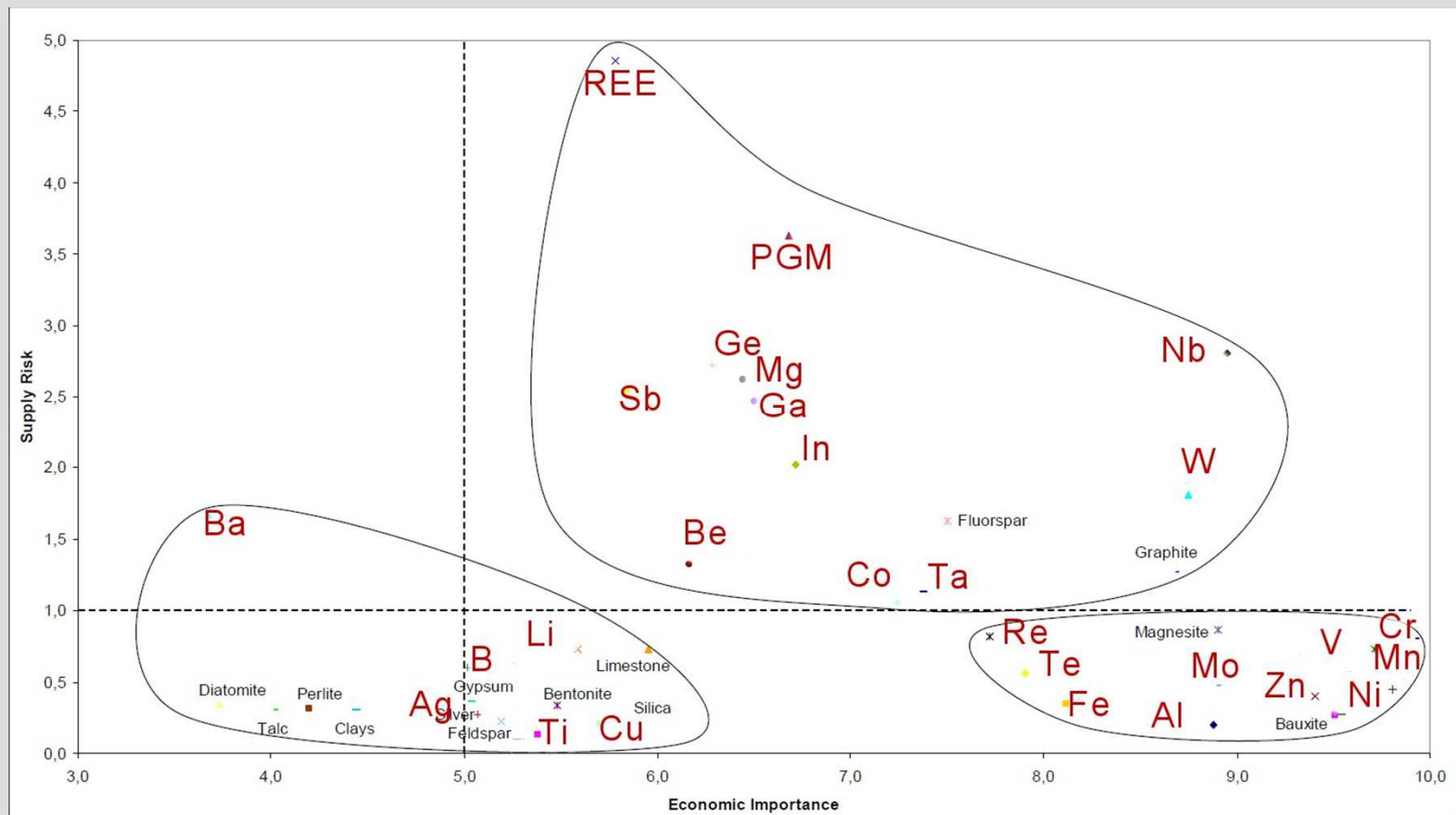
- Critical Raw Materials for the EU (Jul '10)
 - Disponibilité géologique
 - » Réserves et ressources connues
 - Développement technologique
 - » Exploration (> 300m)
 - » Extraction (robotique)
 - » Concentration (broyage, flottation, tri)
 - Disponibilité économique
 - » Coûts croissants extraction (basses teneurs)
 - » Exploitation durable (coût environnement/social)
 - Risque géopolitique
 - » Dépendance vis-à-vis de tiers
 - » Quotas d'exportation, taxes, etc.



- Innovation technologique et matières stratégiques
 - Production d'énergie
 - Aimants permanents (éoliennes) (Nd, Dy, Sm, Co,...)
 - Panneaux solaires (Ga, In, Te, Cd,...)
 - Stockage d'énergie
 - Batteries (Li, Co,...)
 - Environnement
 - Catalyse/Pile à combustible (Pt, Pd, ...)
 - Désalinisation (Cr, Ti,...)
 - Eclairage
 - LED (Ga,...)
 - Laser (Nd, Y,...)
 - Télécommunications
 - Fibres optiques (Ge,...)
 - Ecrans plats (In, ...)
 - Smartphone/GSM (Ta, W, Nb,...)

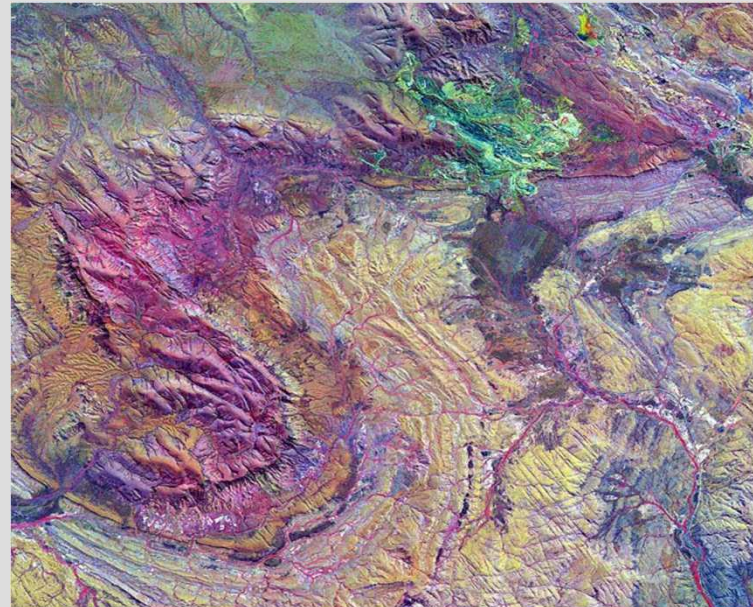


- Liste de 14 métaux critiques (Jul '10)
 - Risque d'approvisionnement vs. Impact économique



Disponibilité géologique

- Géochimie de mon jardin
- Gisements exploitables
- Réserves ou Ressources ?



- On y trouve tout :

» **European Palaeozoic Shale Composite** (*Haskin & Haskin, 1966*)

des métaux de base...

Element	Dans un jardin ou 1000 m³ (2 000 tonnes)
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
Y	42 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
Tl	1,2 kg
Hg	130 g
Au	2 g

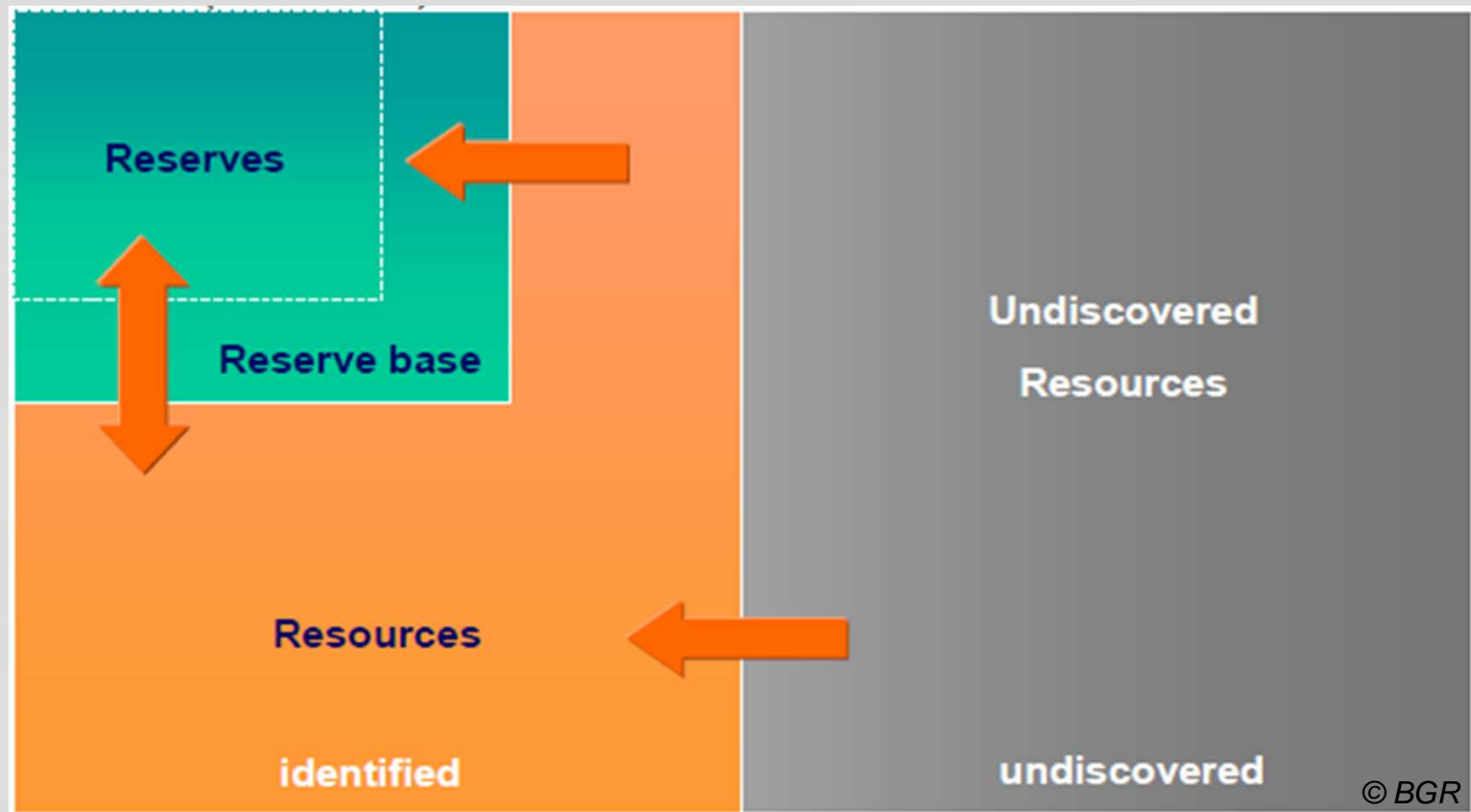


- Facteurs d'enrichissement indicatifs
rapport croûte / gisement moyen

	Teneur croûte continentale	Facteur de concentration dans les gisements
Al	7,8 %	3 x
Fe	3,6 %	7 x
Ti	0,47 %	21 x
Cu	30 g/t	100 x
Li	30 g/t	150 x
Co	12 g/t	250 x
Pt	0,005 g/t	600 x
Cr	70 g/t	980 x
W	1,3g/t	1500 x
Hg	0,03 g/t	67000 x



- Réserves
 - Sous-ensemble des ressources qui répondent à des critères techniques, économiques, sociaux, environnementaux, ...



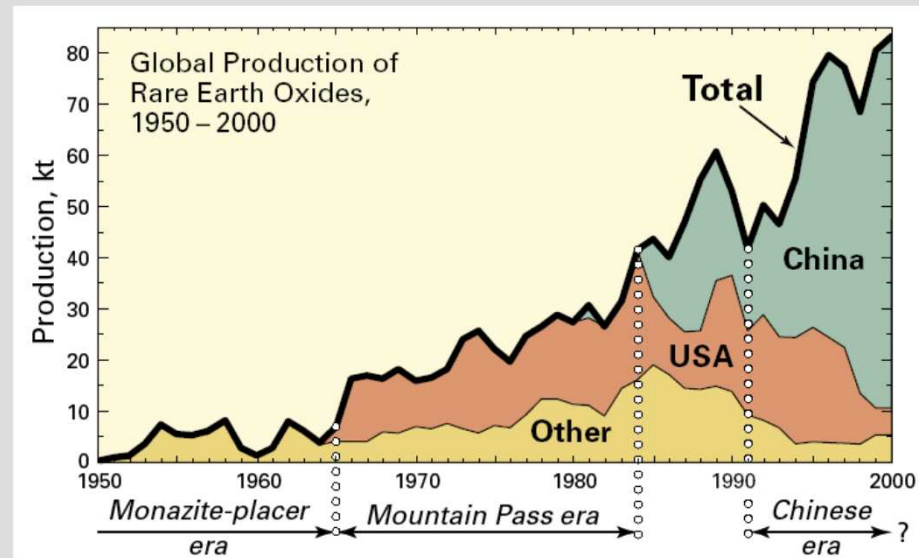
Géopolitique et ressources stratégiques

- Les Terres Rares
ou la naissance d'un monopole chinois



- Historique de la production 1950-2000

135 kt en 2008



- » Glass polishing and ceramics, 34%;
- » Automotive catalytic converters, 30%;
- » Rare-earth phosphors, ... 14%;
- » ... Permanent magnets, 2%;

Août 2009

« China's Ministry of Industry has called for a total ban on foreign shipments of Tb, Dy, Y, Tm et Lu and a combined export quota of 35 kt/yr for Nd, Eu, Ce and La. »

- **Bayan Obo (Mongolie Intérieure)**
 - 40MT à 4% REE [Bastnäsite: $(\text{Ce}, \text{La})\text{CO}_3\text{F}$]
 - Monopole de Batou Steel (Jun '11)

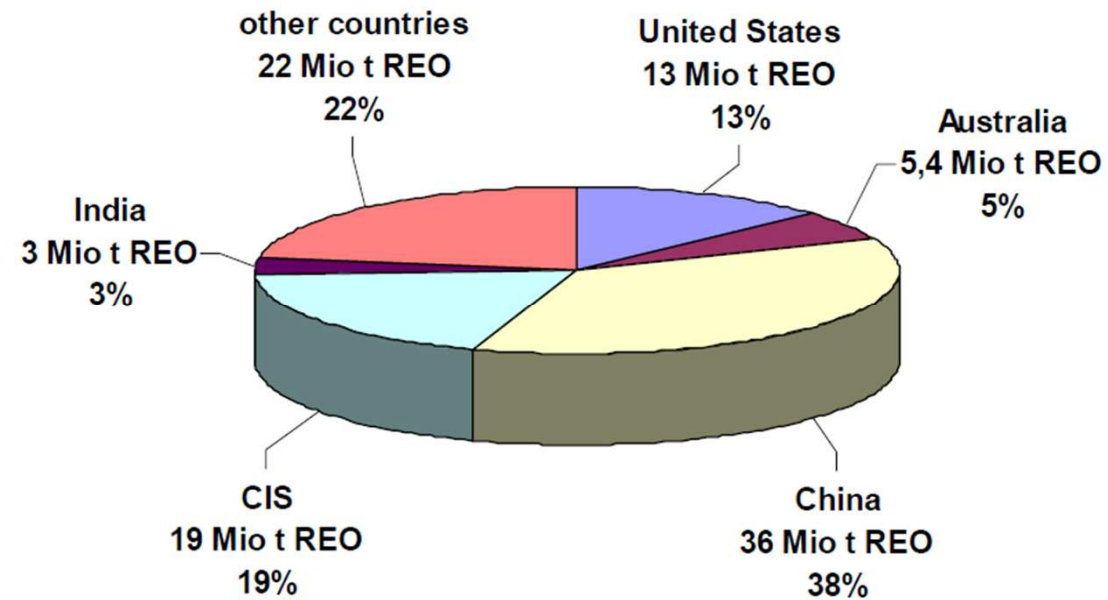


1km

- **Réserves Mondiales**

- D'après USGS 2010

- » Magmatiques: Carbonatites, IOCG,...
- » Côtiers : Placers à Monazites
- » Autres : Argiles



- **Mount Weld (Aus Occ.)**
 - 17,2 MT à 8,1 % REO [Bastnäsité: $(\text{Ce}, \text{La})\text{CO}_3\text{F}$]
 - Association Lynas (Aus) et Rhodia (Fr)



© Lynas

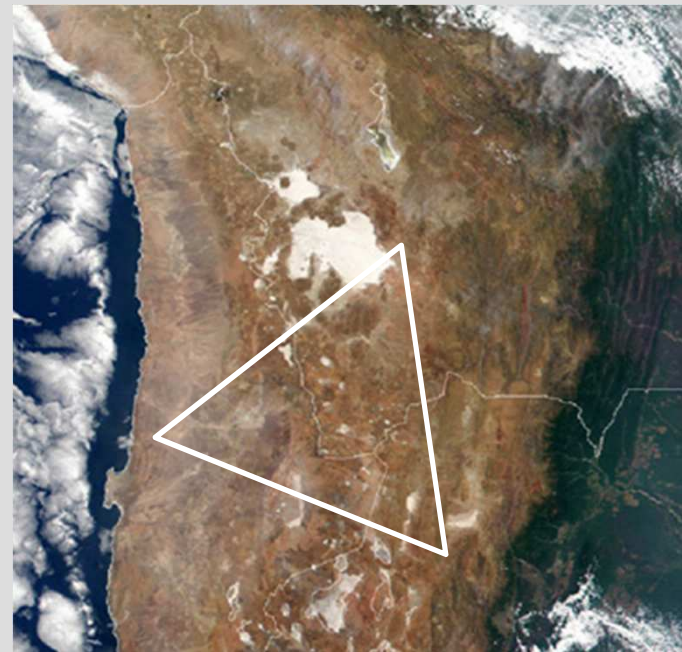


- **Kvanefjeld (Groenland)**
 - 122MT à 1,4% REO et 400 ppm U_3O_8
 - Stade exploration = ressources indiquées.
 - Greenland Minerals

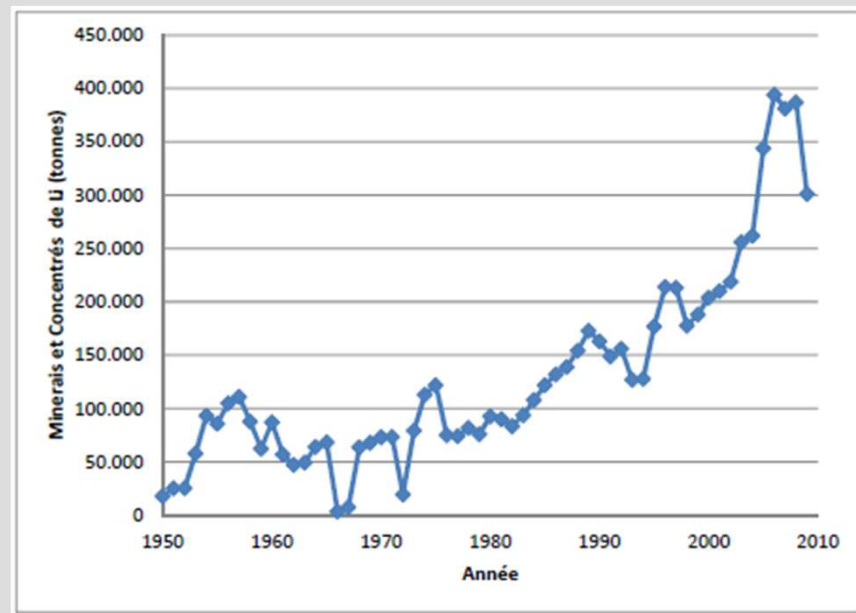


Géopolitique et ressources stratégiques

- Le Lithium
Le triangle blanc (Chili-Bolivie-Argentine)



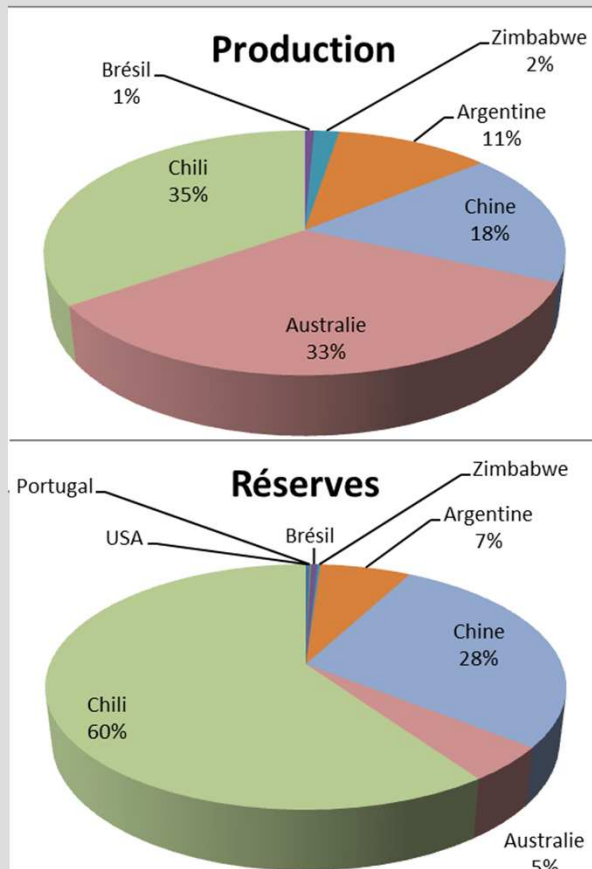
- Historique de la production 1950-2000
 - En tonnes de minerai brut!



- » Batteries,... 30%;
- » Verres et céramiques,... 20%;
- » Lubrifiants, ... 14%;
- » Pharmacie,... 6%;

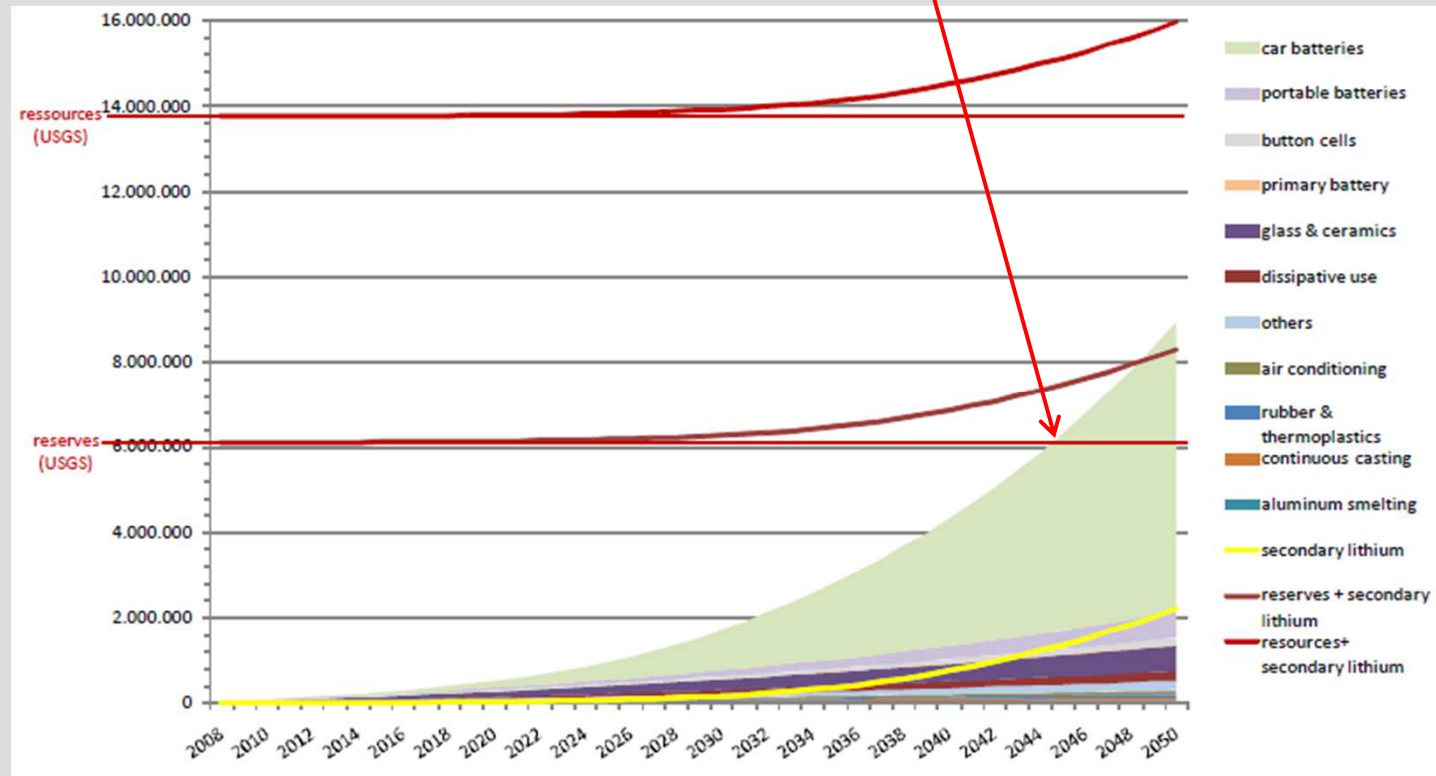


- Production et réserves mondiales (2010)



*2008-2011 Programme National "Evaporiticos de Bolivia"
La Bolivie détient potentiellement plus de ressources que le Chili et fait du Lithium un projet national de valorisation de ses ressources...*

- Perspectives 2050 de la consommation du Lithium
 - Développement des Véhicules Electriques
 - » Réserves connues jusque 2040



La réponse Européenne... et liégeoise!

- Accès aux ressources
- Efficacité
- Recyclage



- Garantir l'accès aux matières premières
 - aux mêmes conditions que les concurrents.
 - Bonne gouvernance (économique, sociale, environnementale)
 - Climat d'investissement sain
 - Gestion durable des matières premières

Le temps d'AGIR ? Plaidoyer pour une
Agence Internationale des Ressources Minérales

- Définir des conditions cadres propres à favoriser un approvisionnement durable auprès des sources européennes.
 - Accès aux sols, délais d'octroi de permis d'exploration/extraction
 - Connaissance des gisements (> 300 m)
 - Mise en réseaux des services géologiques
 - Promouvoir la recherche et la formation

Liege-Nancy-Lulea
Erasmus Mundus - Call 2012

European Master in Georesources Engineering



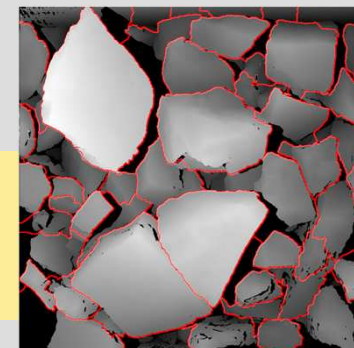
- Dynamiser l'efficacité globale des ressources
 - Automatisation minière
 - Exploitations entièrement robotisées
 - Technologies de tri
 - Instrumentation de contrôle

Occhio Instruments
Spin off ULg



- Optimiser les performances de
 - Fragmentation
 - Broyage

RW WIST3 COGOLIN
Contrôle Optique des Granulats et
Optimisation en Ligne des INstallations



- Promouvoir le recyclage
 - Eco-conception et éco-innovation
 - Connaissance de la qualité/quantité et des flux de matières.
 - Eviter la « fuite » hors UE de ces matières

RW Phoenix (/ GeMMe ULg)

Biolixiviation des scraps métalliques (DEEE, VHU,...)
pour améliorer la récupération des métaux rares
et matières organiques contenues.





Conclusion...

So perhaps the most reliable prediction about the future threat of mineral depletion is that the debate will continue.

J. Tilton, 2002, ON BORROWED TIME? ASSESSING THE THREAT OF MINERAL DEPLETION