Ressources dans le Rouge pour les Énergies Vertes

DOSSIER PEDAGOGIQUE

2012

Réjouisciences (Diffusion des Sciences et des Techniques)
Université de Liège
Institut de Zoologie
quai Edouard Van Beneden, 22 - Bât. I1 - B-4020 Liège
Tél. : +32 (0)4/366 96 96
Fax : +32 (0)4/366 96 51
sciences@ulg.ac.be

Université de Liège

Formation Continue Enseignement

FORCE ULg

Université de Liège

GeMMe

Ressources dans le Rouge pour les Energies Vertes ?

Eric PIRARD
Dr Ingénieur Géologue
Professeur Ordinaire à l'ULg

Ingénieur & Géologue

- Allier science naturelle et technologie
  - » Since 1900… en première mondiale à l'ULg!
  - Géoressources
    - Géotechnique
      - » Stabilité, Risques naturels,…
    - Hydrogéologie
      - » Eau souterraine, contaminations,…
    - Ressources Minérales
      - » Métalliques, Non-métalliques,…
    - Ressources Energétiques
      - » Pétrole, Uranium, Géothermie,…
  - Penser le développement durable

Protéger *Prévenir* *Valoriser*

Gérer

Comprendre

Recycler

Université de Liège

Energie verte / Energie grise

- Pourquoi une énergie serait-elle verte ?

Qu'elle était verte mon énergie…!

- Marketing
  - Energie sans émission de CO_2
  - Energie renouvelable / source « infinie »
- Condamnation explicite de l'énergie fossile
  - Emissions de CO_2 = péril du réchauffement climatique
  - La houille blanche (1900)
  - Menace du Peak Oil
  - …

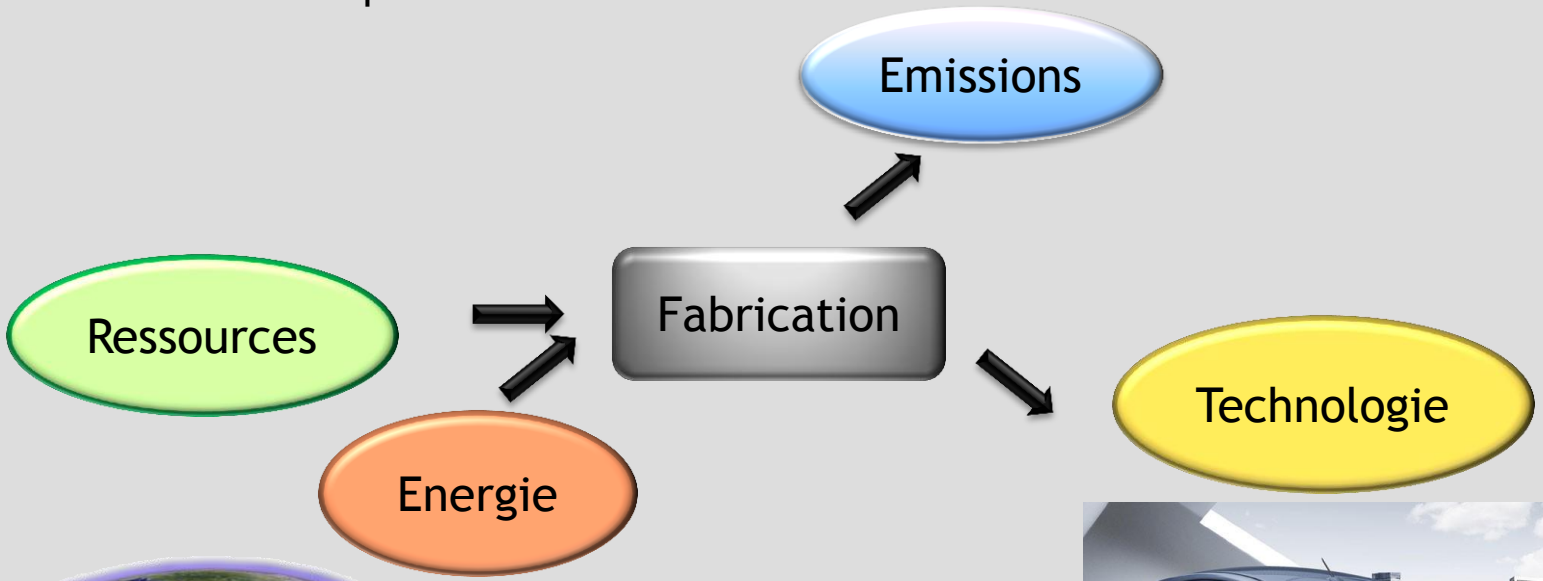
SOLAIRE (PV)

EOLIEN

BATTERIES

Qu'elle était verte mon énergie…!

- Objectivation du caractère vert?
  - Analyse du cycle de vie (ACV) d'une technologie
  - Emissions de CO_2 (énergie grise)
  - Disponibilité de la ressource ?



Voiture électrique 0-émissions …?

Université de Liège

Une technologie exemplaire

- Les panneaux photovoltaïques
- Si ou Te ?

Panneaux photovoltaïques

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

© *First Solar*

Mais où trouver du Silicium ?

Où trouver du Silicium ?

- Géochimie de mon jardin

Elément	Dans un jardin de 1000 m^2 (2 000 tonnes)
O	930 t
Si	660 t
Al	160 t
Fe	60 t
Ti	8 t

  - » *Source: European Palaeozoic Shale Composite (Haskin & Haskin, 1966)*
- Métal le plus abondant de la croûte terrestre
  - Présent sous forme de silicates
    - » Quartz SiO_2
    - » Mica $KAl_2[AlSi_3O_{10}(OH,F)_2]$
    - » Feldspath $KAlSi_3O_8$

Où trouver du Silicium ?

- Pour faire du silicium métal (qualité électronique)
  - Il faut une source de SiO_2 très très pure
    - < 0.001 % de fer et < 0,0001% de chrome, …
  - Quartz filonien…

  - … ou sable de silice.

Où trouver du Silicium ?

- Le plus blanc n'est pas toujours le plus pur…
  - Sandy Cape, Australie Occidentale

Où trouver du Silicium ?

- Le plus blanc n'est pas toujours le plus exotique

SIBELCO

Maasmechelen, Belgique

Panneaux photovoltaïques

- Production du Silicium
  - » Fusion à 1900 C
  - » Raffinage et fonderie
  - » Tirage de monocristaux

- 25-30% du coût total du panneau

- « Energy Payback Time » estimé à 5 ans
  - » Orientation plein Sud
  - » Pente de Toit 30
  - » … en Catalogne

Panneaux photovoltaïques

- Quelle alternative au Silicium ?
  - Technologie Couches Minces
    - CdTe: Cadmium-Tellure
      - » 8 à 16 % efficacité
    - CIGS: Cuivre-Indium -Gallium-Selenium
      - » 18 % (en labo)

  - « Energy Payback Time » estimé à 1 an
    - » couche de seulement 3 µm !
    - Quantité estimée par MW produit:
      - » 4,7 kg Te / 4,5 kg In / 463 kg Sn / 2194 kg Cu
      - *Rem.: Tihange 1+2+3 = 3 000 MW*

Panneaux photovoltaïques

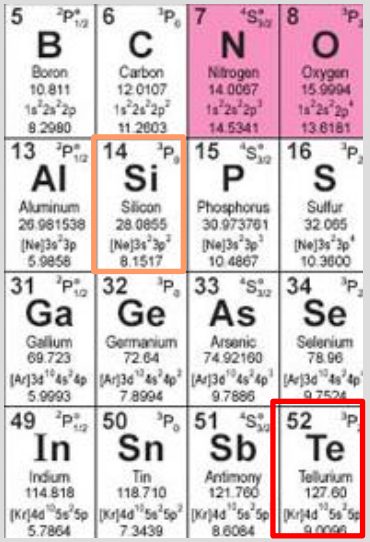
- Strategic Energy Technologies (SET) Plan-EU
  - Technology Mix Horizon 2030:
    - » 80 % Si-cristallin
    - » 10 % Si-amorphe
    - » 5% CdTe
    - » 5% CIGS
      - Pression sur les ressources?

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%

(JRC-IET, oct 2011):

Où trouver le Tellure ?

- Dans mon jardin ?
  - Parmi les éléments les plus rares
    - » Métal plus rare que l'or (1 ppb= 1mg/t)



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**
Te	**<2g**

  - Cela n'a de sens de l'extraire que si on extrait d'autres métaux
    - » Production annuelle ~=300 t
    - » Coproduit de la métallurgie du Cuivre
    - » Leader mondial: 5NPlus (Canada-Belgique)

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

Quel choix technologique ?

Si ou Te ?

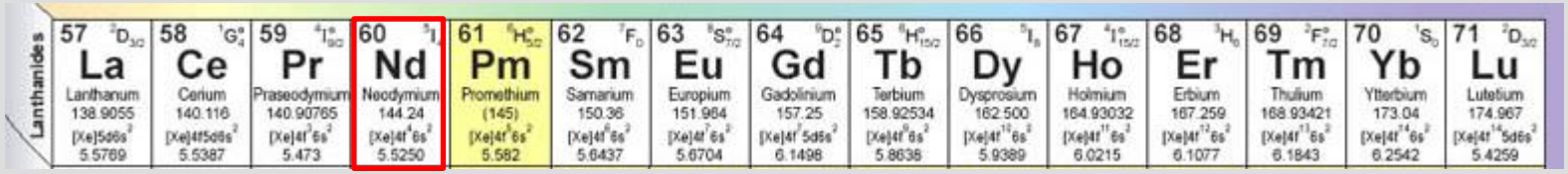
Université de Liège

Une technologie dans le vent

- Eolienne
- Avec ou sans aimants permanents?

- Transformer le mouvement en électricité
  - Génératrice électrique

  - Aimants
    - Classiques Fe_3O_4, $CoFe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$, $BaFe_{12}O_{19}$, …
    - Permanents $Nd_2Fe_{14}B$
      - » Neodyme : une des terres rares (LREE)



Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
	Lanthanum	Cerium	Praseodymium	Neodymium	Promethium	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Holmium	Erbium	Thulium	Ytterbium	Lutetium
	138.9055	140.116	140.90765	144.24	(145)	150.36	151.964	157.25	158.92534	162.500	164.93032	167.259	168.93421	173.04	174.967
	5.5769	5.5387	5.473	5.5250	5.582	5.6437	5.6704	6.1498	5.8638	5.9389	6.0215	6.1077	6.1843	6.2542	5.4259

Où trouver du Néodyme ?

- Dans mon jardin ?
  - Les terres rares (REE) ne sont pas si rares
    - » Nd aussi abondant que Cu

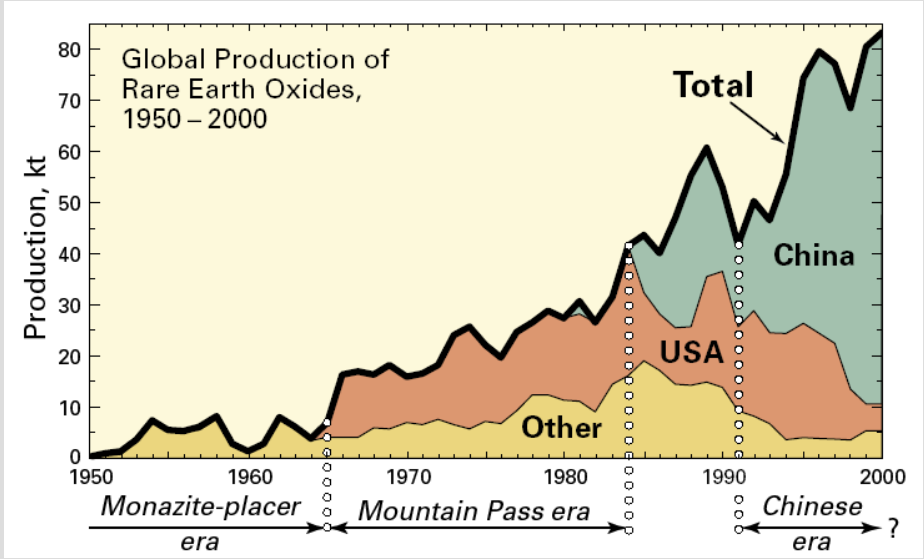
…	…
V	164 kg
Cr	122 kg
Zn	150 kg
Ni	54 kg
Cu	46 kg
…	…
Nd	54 kg
Y	42 kg
Gd	8 kg

  - Présents sous forme de carbonates, phosphates,…
    - Contenant toutes les terres rares
      - » Monazite
      - » Xenotime
      - » Bastnaesite

Où trouver du Néodyme ?

- 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. »

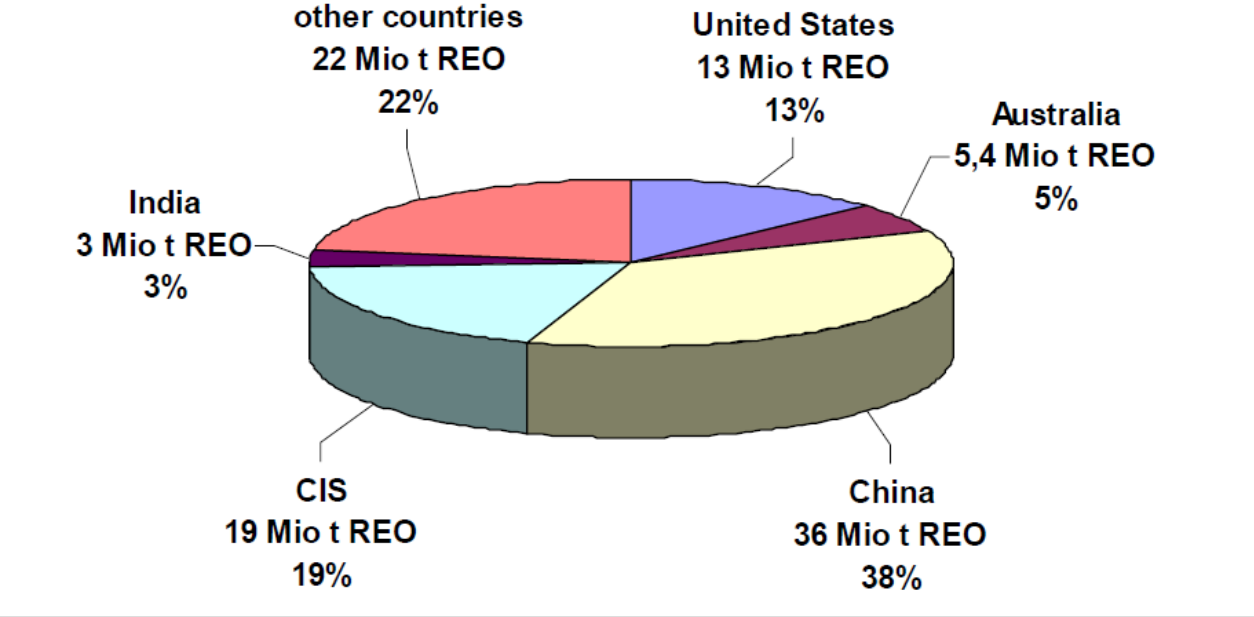
Où trouver du Néodyme ?

- Bayan Obo (Mongolie Intérieure)
  - 40MT à 4% REE [Bastnäsite: $(Ce,La)CO_3F$]
    - Monopole de Batou Steel (Jun ‘11)

1km

Où trouver du Néodyme ?

- Réserves Mondiales
  - D'après USGS 2010
    - » Magmatiques: Carbonatites, IOCG,…
    - » Côtiers : Placers à Monazites
    - » Autres : Argiles



Les Terres Rares

- Mount Weld (Aus Occ.)
  - 17,2 MT à 8,1 % REO [Bastnäsite: $(Ce,La)CO_3F$]
    - 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

Université de Liège

Quel choix technologique ?
Quelle dépendance technologique ?

- Avec ou sans aimants permanents ?
- Avec des Terres Rares des chez nous ?

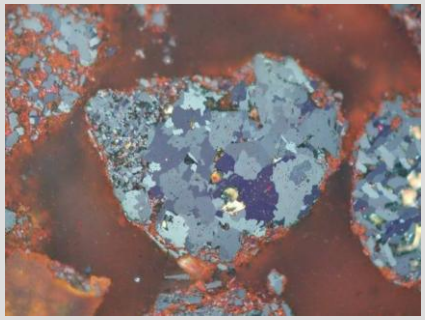
Un sursaut salutaire ?

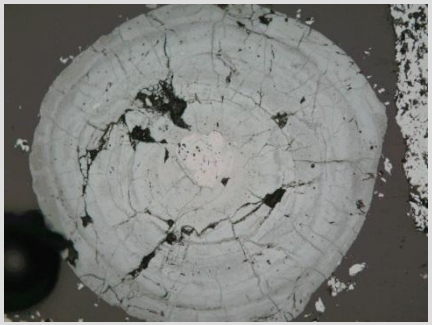
- Un siècle d'insouciance
- EU Raw Materials Initiative

Un siècle d'insouciance

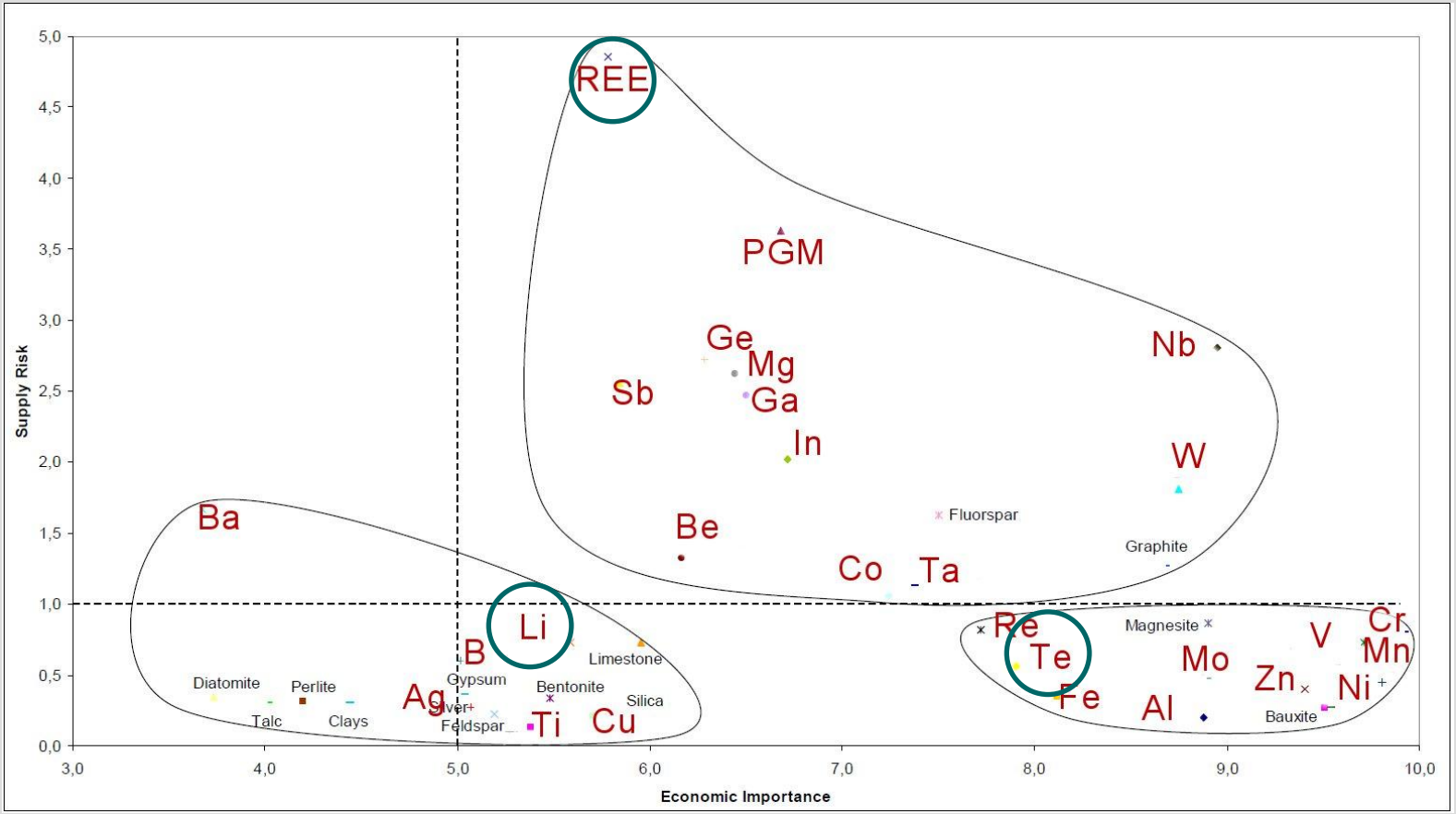
- Aux origines de l'ACIER liégeois
  - < 1940 *ressources locales*
    - » Ferrières – Couthuin - …
  - < 1980 *ressources régionales*
    - » Lorraine – Suède - …
  - < 2000 *ressources mondiales*
    - » Brésil - Australie – Mauritanie - …
  - > 2000 *Croissance et convoitises*
    - » Concentration (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 %.





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



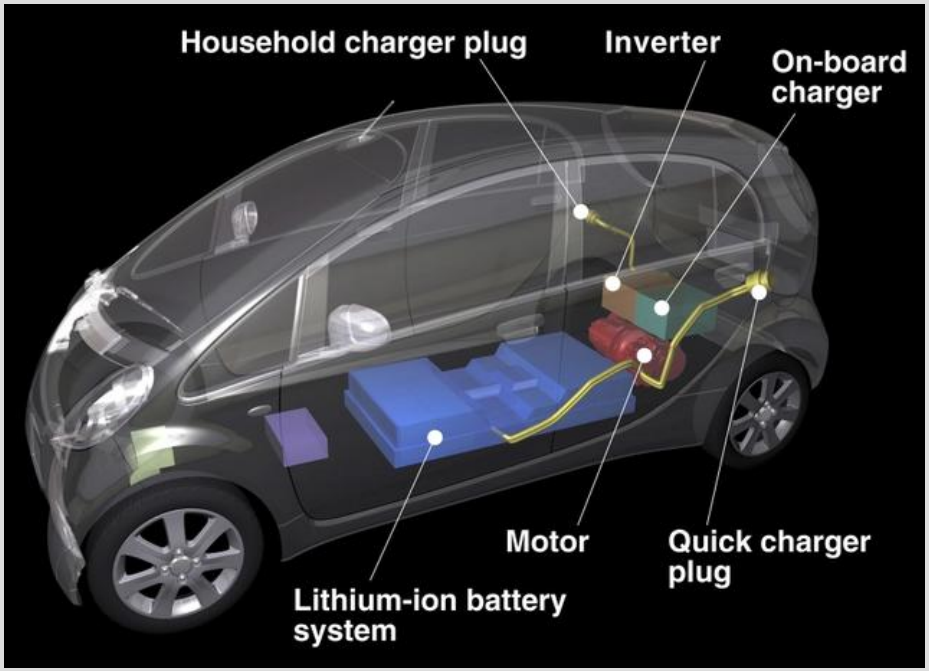
Université de Liège

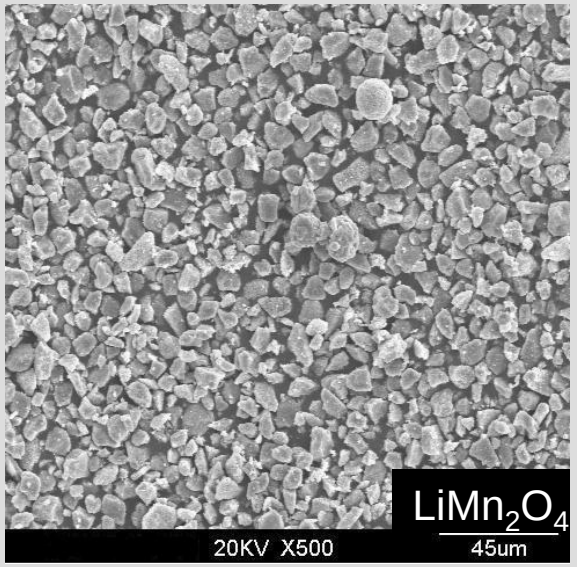
Ma voiture c'est ma Liberté

- Batteries et Lithium

Batterie Lithium-Ion

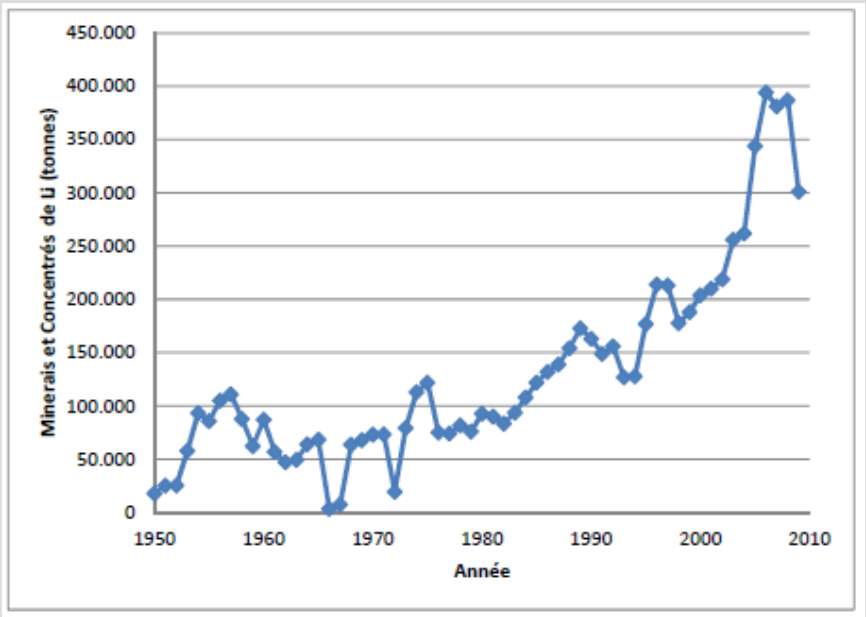
- Batterie Lithium ion
  - Electrode $LiFePO_4$ (ou $LiCoO_2$ ou $LiMn_2O_4$)





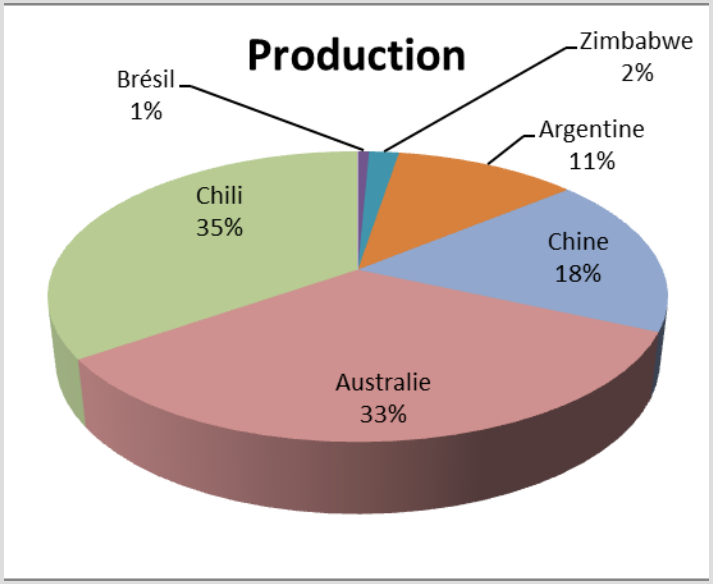
Lithium

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



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

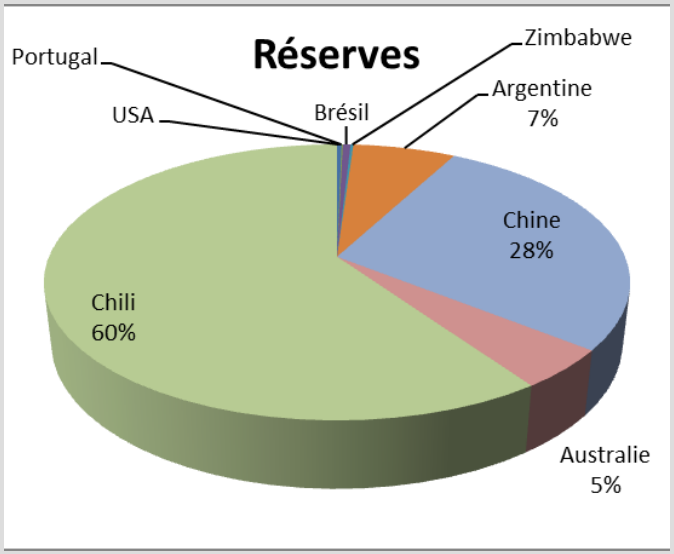
- Production mondiale (2010)



- En roche (AUS, USA, …)
  - Spodumène $LiAl(SiO_3)_2$
  - Jadarite (> 2007)
- En saumure (Chili, …)
  - Jusqu'à 1 g/l

Lithium

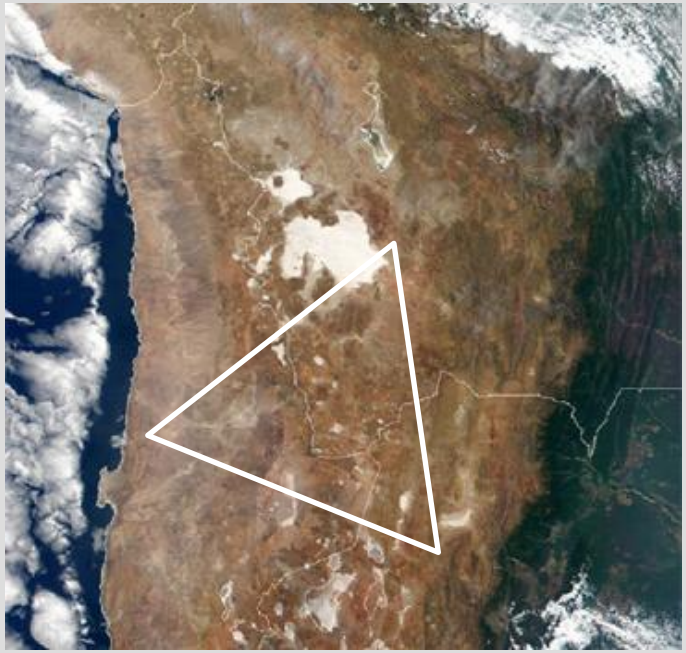
- Réserves mondiales (2010)



- Ressources
  - volumes & teneurs de minerai calculables à différent degrés de certitude
- Réserves
  - Sous-ensemble des ressources qui répondent à des critères de qualités

Lithium

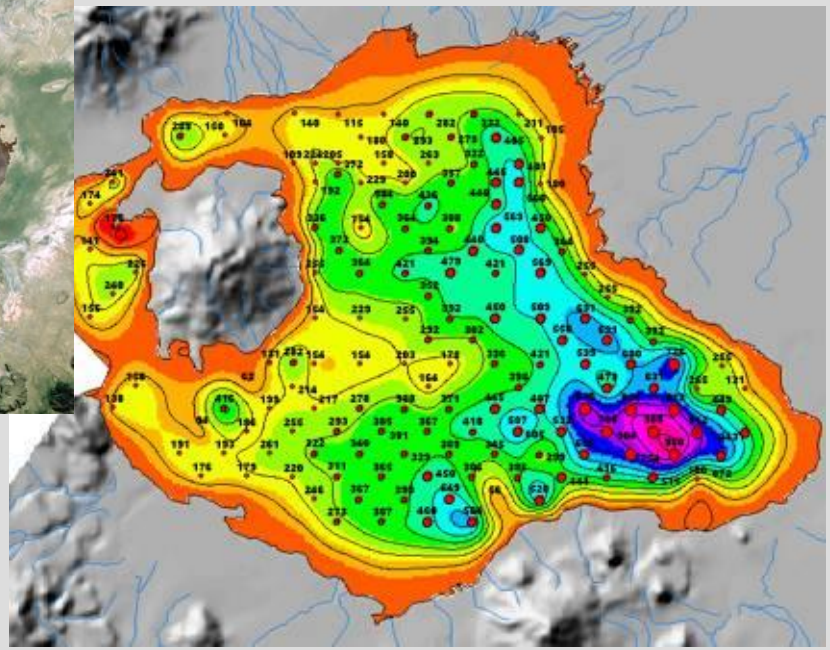
- Le triangle blanc (Chili-Bolivie-Argentine)



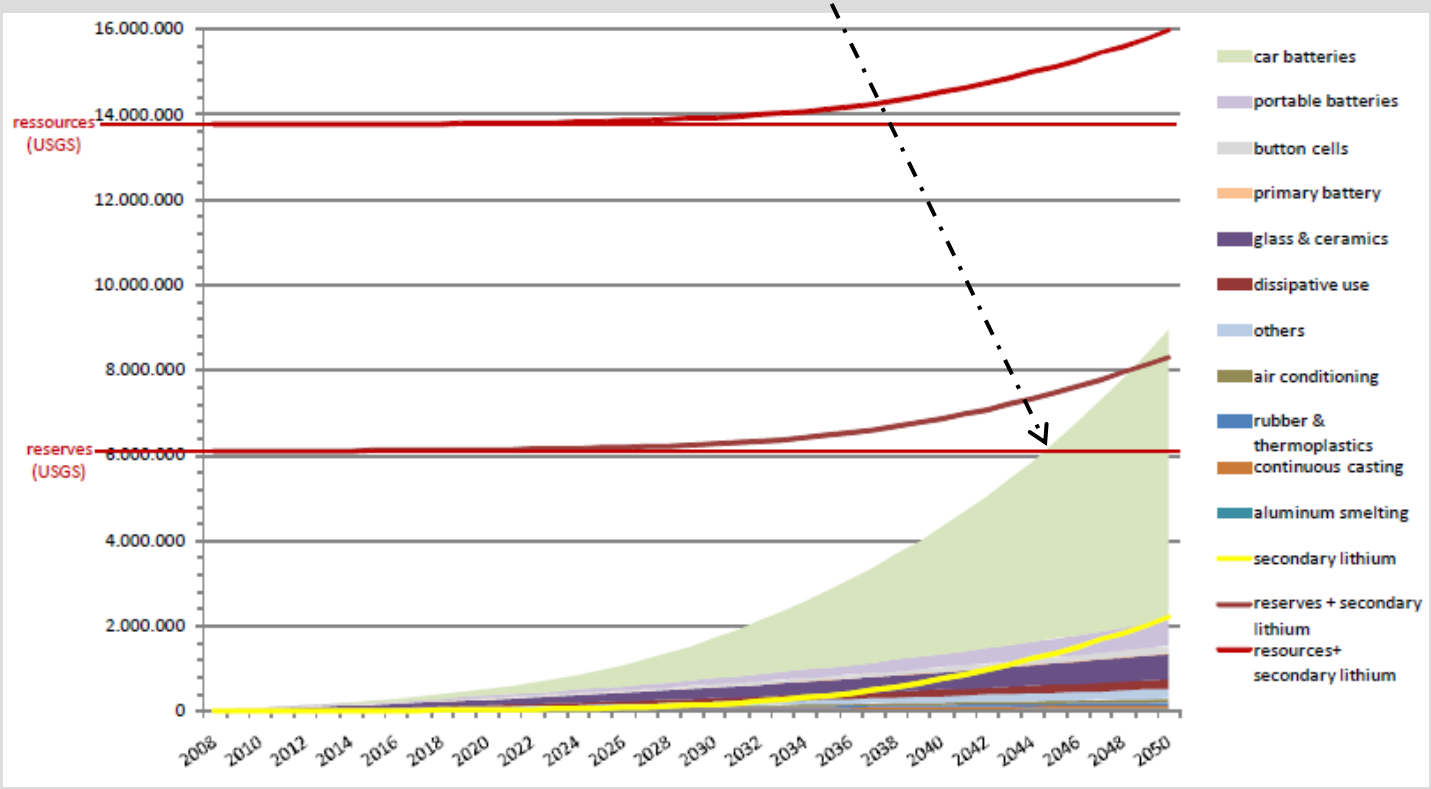
2008-2011 Programme National "Evaporiticos de Bolivia"
La Bolivie détient potentiellement plus de ressources que le Chili et fait du Lithium un projet national de valorisation de ses ressources…

- Evaluation des ressources du Salar de Coipasa (96-00)
  - Projet de coopération ULg - Univ. Oruro (Bolivie)
    - » Sur 3000 km²

Salar de Coipasa
ASTER



- Perspectives 2050 de la consommation du Lithium
  - Développement des Véhicules Electriques
    - Réserves connues jusque 2040
      - » Recyclage possible pour des raisons géopolitiques plus qu'économiques



Perspectives

- Pas d'énergie verte sans énergie grise
- Pas d'énergie sans ressources minérales
- Pas de ressources sans mines
- *… et le nucléaire dans tout cela ?*