

# ***L'Odyssée des Métaux*** ***de la mine au GSM***

*Prof. Eric PIRARD*

---

# **De Au à Re**

*Petite histoire des découvertes élémentaires*



# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité



Sol



Créséide, 600 av JC

- Lydie (Crésus)
  - Fleuve Pactole (Sart Çayi, Izmir)
- Gaule Belgique
  - Trô des Massotais (< 314 ap JC).



# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité



2982 t or/an

cube de 5,21 m



4 t minerai

Eldoradogold @ Kisladag (TK)



© Eldorado

15 Mt/an

1,01 g/t

# De Au à Re

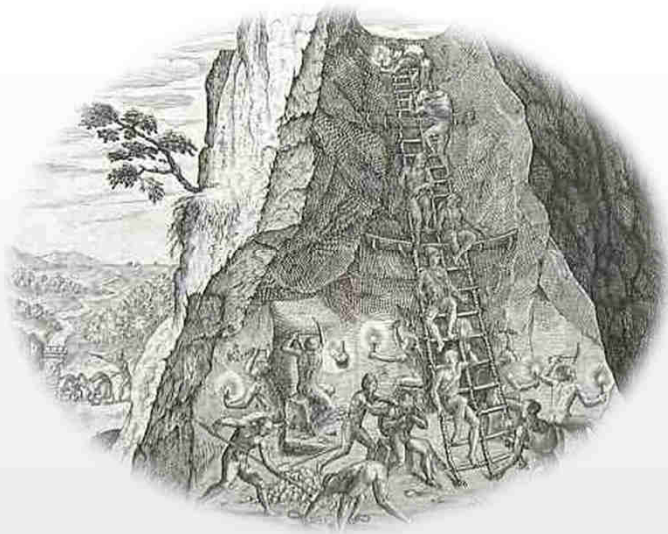
## Les Sept métaux de l'Antiquité



Luna



- Grèce
  - Laurium, VI<sup>ème</sup> av JC
- El Dorado
  - Potosi (Cerro Rico)
    - 120 000 hab en 1570



Descriptiones Americae (De Bry, 1602)



© Eric Pirard

Eric Pirard /

# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité



25 500 t Ag/an  
cube de 13,4 m



Soudure (PV)

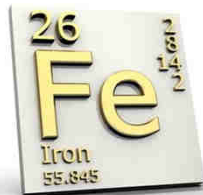


# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité



Mars

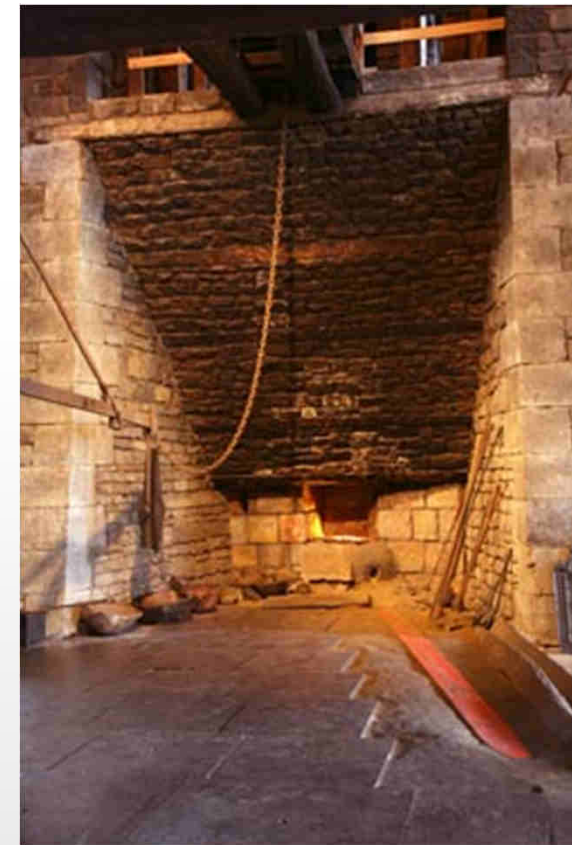


Outils gallo-romains

- Gaule Romaine
  - Bas fourneau Entre Sambre-Meuse (IV<sup>ème</sup> av JC - ...)
- Maison de la Métallurgie
  - Savoir-faire wallon exporté en
    - Suède (de Geer)
    - Espagne (Curtius)
    - ...



Maka © MMIL



Gonrioux, 1693 © MMIL

# De Au à Re

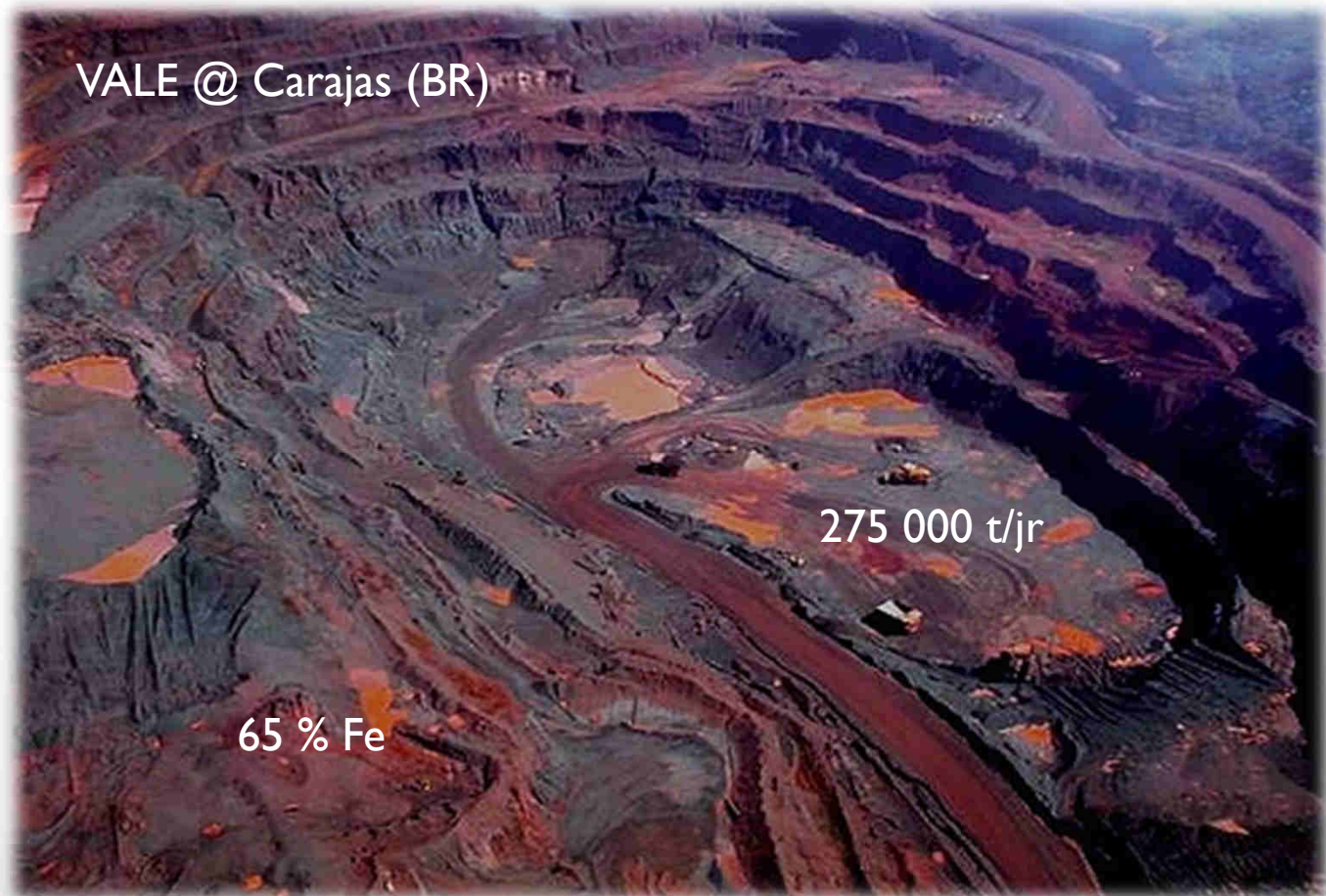
## Les Sept métaux de l'Antiquité



2 950 000 000 t Fe/an  
cube de 721 m



450 kg/pers.an





# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité



van der Weyden  
© Prado

- Espagne
  - Almaden (2000 ans d'exploitation)
    - Amalgamation de l'or
    - Vermillon



Cinabre (HgS)



© Eric Pirard

Mine d'Almaden

# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité

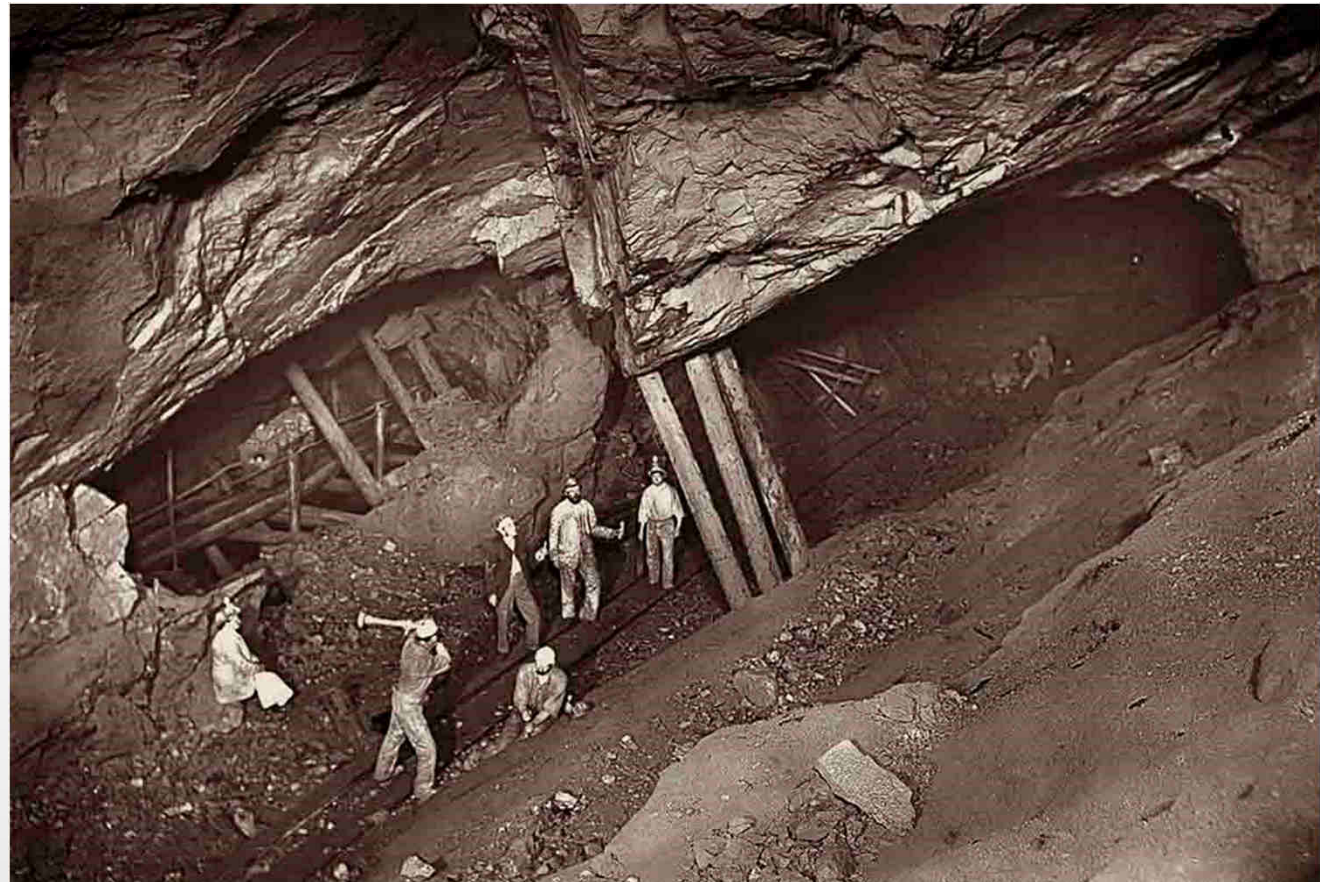
2

Iupiter



Disque de Nebra  
1600 av JC

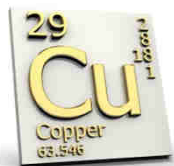
- Cornouailles
  - Cassitérides (2000 av JC - 1980)



J.C. Burrow, East Pool mine, 1893

# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité



Bronze Grec

- Chypre, Espagne,...
  - Rio Tinto



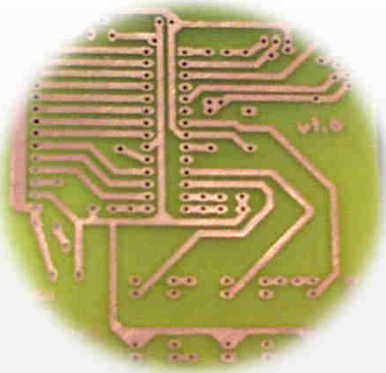
© Eric Pirard

# De Au à Re

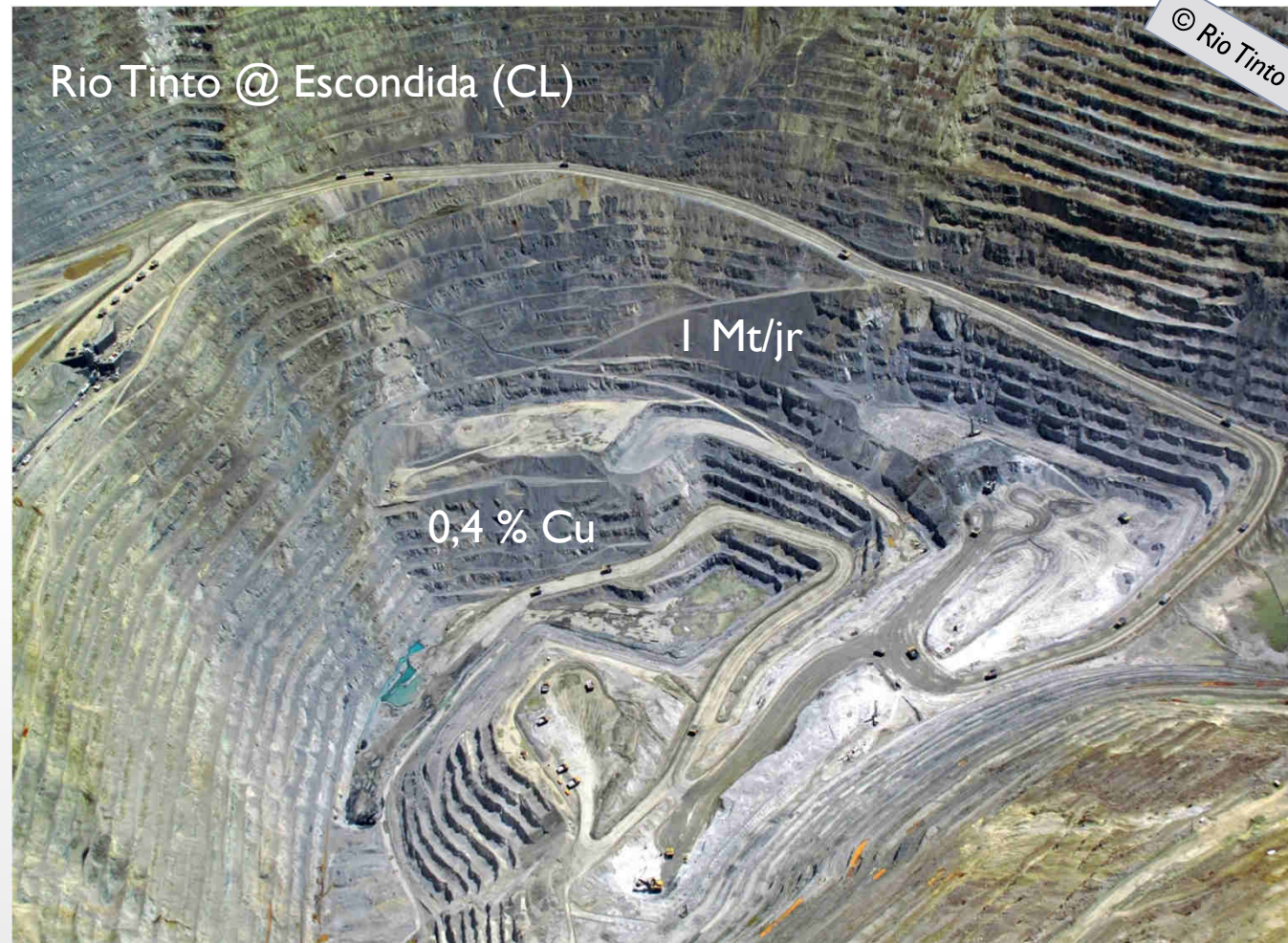
## Les Sept métaux de l'Antiquité



16 100 000 t Cu/an  
cube de 126 m  
4,6 €/kg



Conducteur



Rio Tinto (AUS/UK) 2<sup>ème</sup> compagnie minière mondiale ( CAP 77 G\$)

# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité

♄

Saturnus

- Belgique
  - 130 000 t Pb



Lingot de « Plumbum Germanicum »  
IMPTI CAESARIS AVG GERM TEC  
(Musée Gallo-Romain, Tongres) © J. Lendering



Canalisation romaine



Altenberg , 1855 (Moresnet)



Mine Stollen, La Calamine ©V. Duseigne

# De Au à Re

## Les Sept métaux de l'Antiquité



10 000 000 t Pb/an

1,5 €/kg



Batteries

Nyrstar @Tennessee (US)

© Nyrstar

Leader mondial :  
1,1 Mt Zn  
235 kt Pb

Nyrstar @ Balen (BE)



---

# ***La découverte du Wallium***

*... sur les traces de Mendeleïev*





# La découverte du Wallium

... sur les traces de Mendeleïev

▶ 1875

▶ P-E LECOQ de Boisbaudran

- Isole 75 g d'un nouveau métal hors de 4t de minerais de zinc
- eka-Aluminium = Gallium (Ga)

▶ 1885

▶ Von Auer

- ▶ Terres Rares : Praseodyme (Pr), Neodyme (Nd),...

▶ 1886

▶ Winkler

- eka-Silicium = Germanium (Ge)

▶ ...

▶ 1925

▶ Ida Tacke

- ▶ Rhenium (Re)



# La découverte du Wallium

... sur les traces de Mendeleïev

- 2015
  - A chaque élément son usage

Aéronautique

Diodes (LED)

Fibres Optiques

Superaimants

Luminescence rouge (écrans)

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

---

# ***Terre d'abondance***

*Des ressources sans fin ?*



# Terre d'abondance

## Des ressources sans fin ?

*... Car rien ne naît ni ne périt,  
mais des choses déjà existantes se combinent,  
puis se séparent de nouveau.*

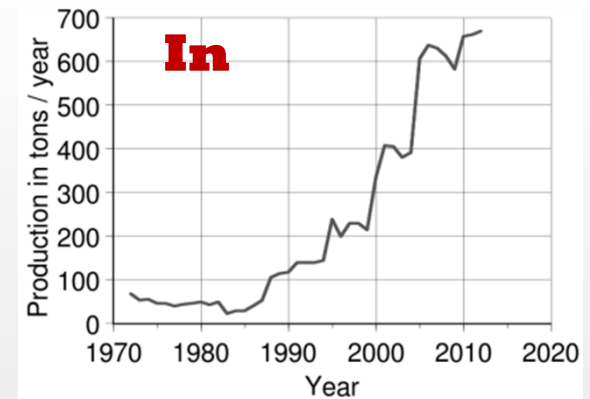
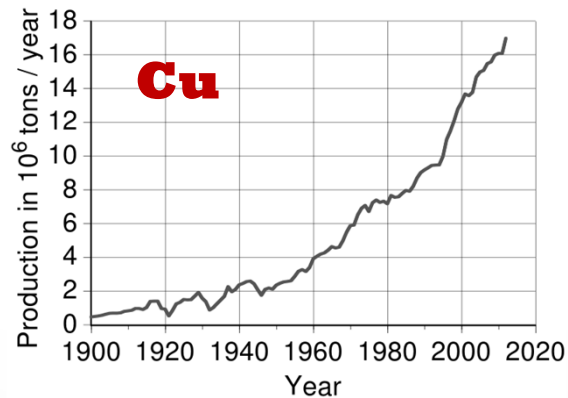
*Pour parler juste, il faudrait donc appeler  
le commencement des choses une composition  
et leur fin une désagrégation.*

*Anaxagore (c. 500 BC – 428 BC)*

# Terre d'abondance

## Des ressources sans fin ?

- Croissance, croissance,...

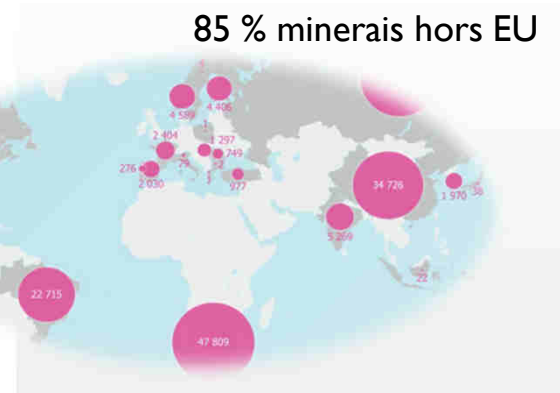
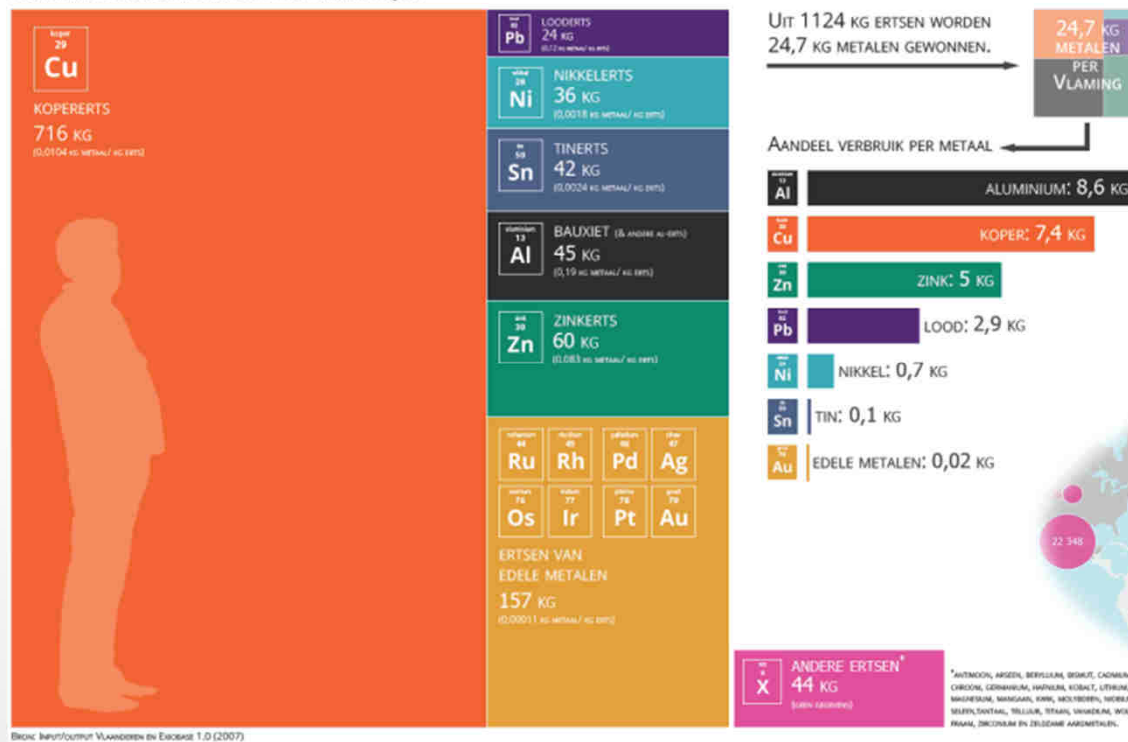


# Terre d'abondance

## Des ressources sans fin ?

- Croissance, croissance,...
  - 2000 kg de minerais métalliques extraits / pers. an

HOEEVEELHEID ONTONGEN ERTSEN PER VLAMING PER JAAR



Consommation minerais non-ferreux en Flandres.  
 Samen naar een sterke Vlaamse metaalrecyclagecluster (VITO, KULeuven)

# Terre d'abondance

## Des ressources sans fin ?

- Génération BIC

MINE

*Ressource*  
75 kg



... Origine



*Produit*  
125 g

**Vie**  
18 mois

DECHARGE

*Déchet*

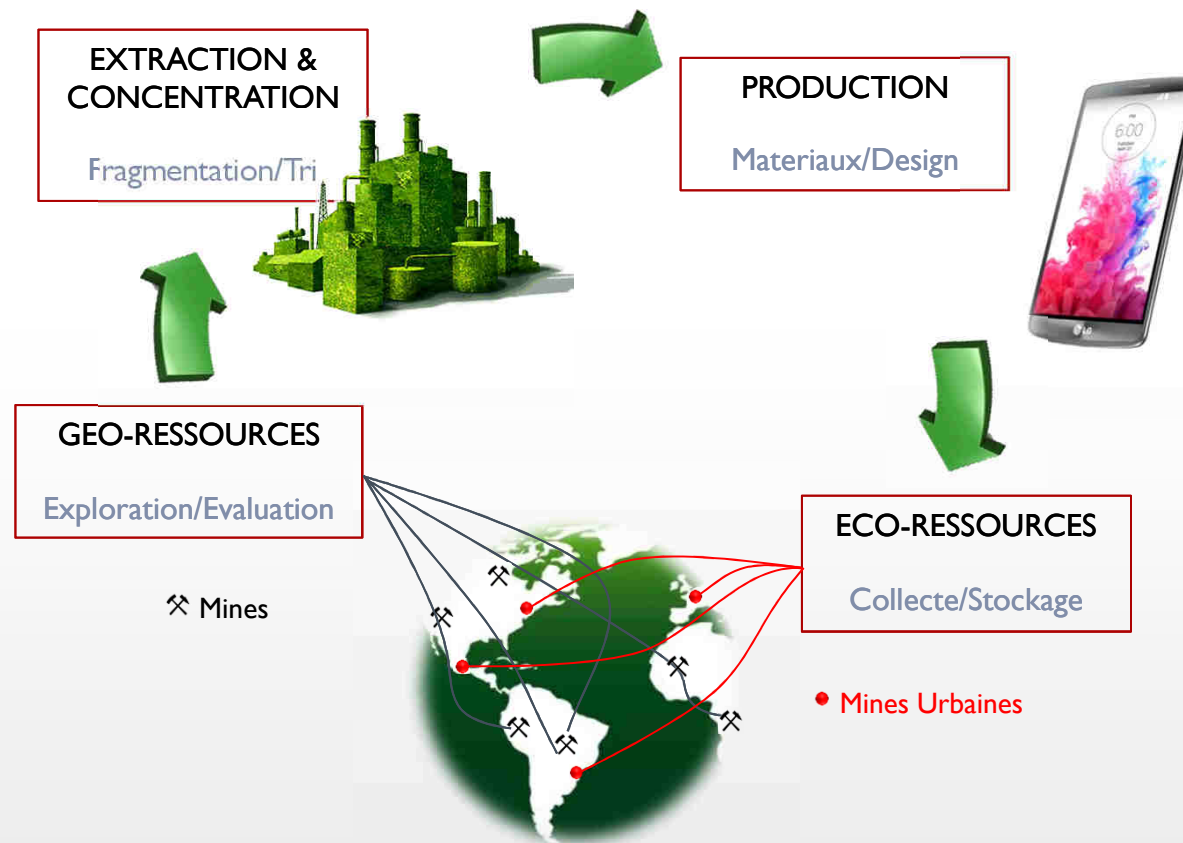


Fin de Vie ...

# Terre d'abondance

## Des ressources sans fin ?

- Economie Circulaire

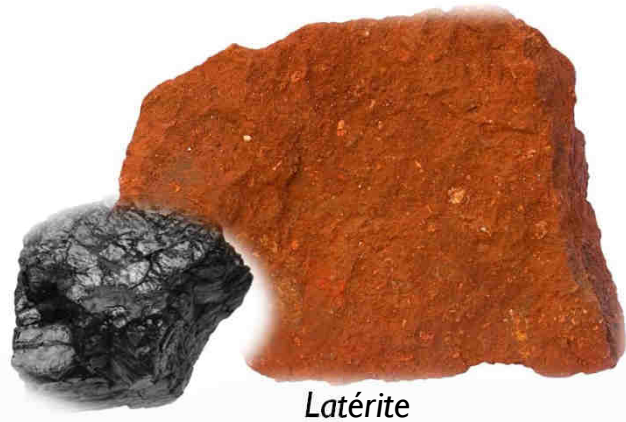




# Terre d'abondance

## Des ressources sans fin ?

- Le GSM mieux qu'une bête roche ?



O	35 %
Si	21 %
Al	11 %
Fe	6 %
Ni	1,5 %
Ga	27 ppm
Pb	15 ppm



# Terre d'abondance

## Des ressources sans fin ?

- Le GSM mieux qu'un minerai ?



Minerai de Cu (0,3%)

	Minerai	GSM
Cu	0,3 %	x 30
Au	1 g/t	x 100
Co	0,4 %	x 20
Li	0,2 %	x 4



---

# ***Le Réveil Européen***

*Des opportunités*



# Le réveil européen

## Des opportunités

### Critical Raw Materials for the EU

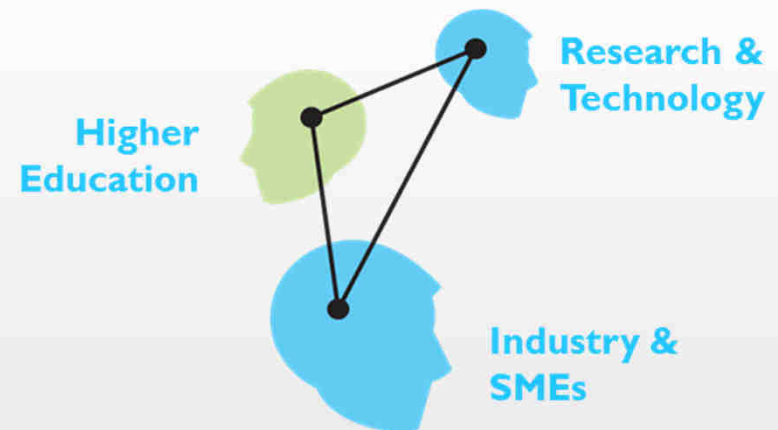
#### Raw Materials Initiative

#### KIC Raw Materials

### European Innovation Partnership

#### H2020 – SPIRE - ...

- Promouvoir l' innovation tout au long du cycle de vie
  - Exploration & Mine
  - Design Produits
  - Recyclage
- Promouvoir des formations nouvelles



---

# **Liège Réactive**

*Des initiatives*

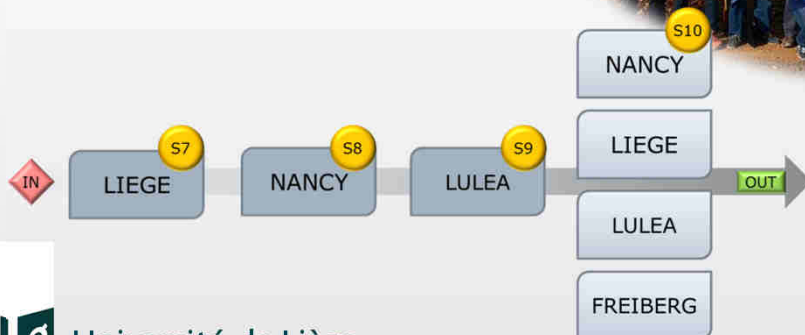
# Liège Réactive

## Au cœur de l'Europe de l'éducation

- **EM**erald Master in Georesources Engineering
  - Master « full english »
  - Triple diplôme (BE, FR, SE)
  - Mobilité internationale
  - Advisory Board Industriel



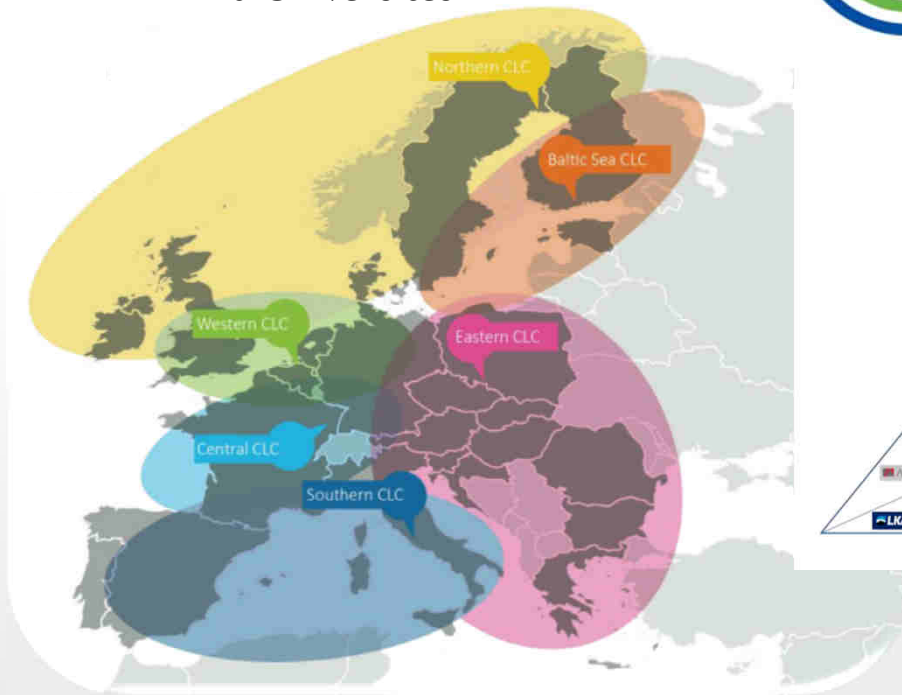
[www.em-georesources.eu](http://www.em-georesources.eu)



# Liège Réactive

## Au coeur de l'Europe de la recherche

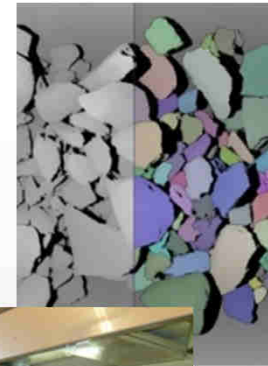
- Knowledge Innovation Community (KIC)
  - EIT Raw Materials (400 M€, 7 ans)
    - 20 Entreprises
    - 20 Centres de recherche
    - 20 Universités



# Liège Réactive

## Au coeur de l'innovation régionale

- Reverse Metallurgy
  - PME, CRM, ULg
  - 41,5 M€ (Plan Marshall - Mecatech)
- Portefeuille de projets d'innovation industrielle
- Plateforme de référence pour le recyclage des métaux et produits complexes





---

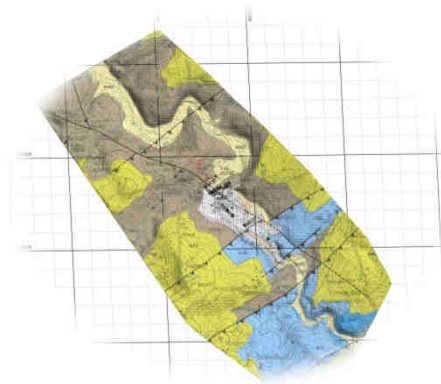
# **Liège Créative**

## *Economie Circulaire & ré-Industrialisation*

# Liège Créative

## Economie Circulaire & ré-Industrialisation

- Ressources Primaires
  - Alimenter la boucle!
- Stratégie (EU)régionale
  - Connaissance de notre sous-sol
  - Modernisation du code minier
  - Evaluation de nos ressources
    - Lontzen 537 kt @ 21,9% Zn et 3,6% Pb
    - Bleyberg 850 kt @ 13,5% Zn et 5% Pb
  - Exploitation ?
    - Volonté commune
    - Vitrine de haute technologie
- Développement Durable
  - Ex. alternative au Ge des centrales électriques chinoises



*Mine de Lisheen en Irlande*



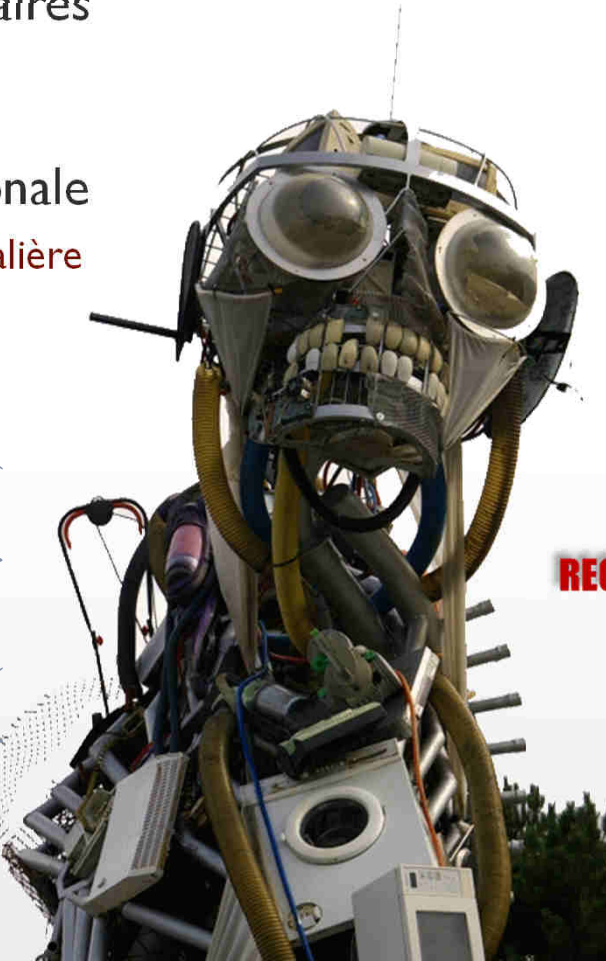
*Centrale électrique en Chine*

# Liège Créative

## Economie Circulaire & ré-Industrialisation

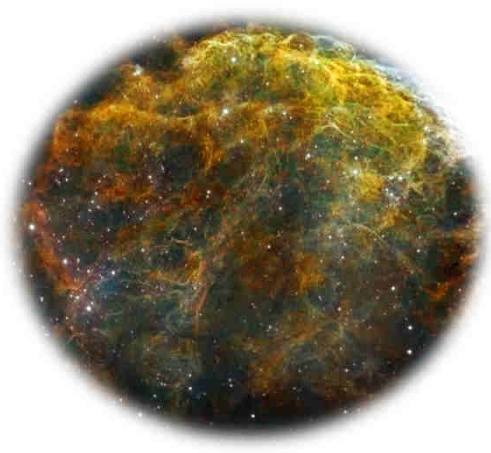
- Ressources Secondaires
  - Boucler la boucle!
- Stratégie (EU) régionale
  - Collecte transfrontalière
- Mines Urbaines
  - Donner du volume
    - Collecte
    - Logistique
    - Tri intelligent

WEEE sculpture (Eden Project, UK)



**RECYCLING VALLEY**





---

# Merci

Le **fer** dans l'hémoglobine de votre **main droite**  
provient d'une étoile qui a explosé il y a 8 milliards d'années ...

Le **fer** de votre **main gauche** provient d'une autre étoile.

*Dr. Jill Tarter*