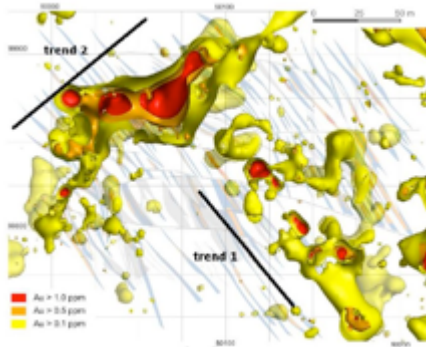


■ Notions d'économie du secteur minier

Comité pour les métaux stratégiques
Damien Goetz, professeur, MINES ParisTech



Géologie

Identification
et délimitation
des
gisements

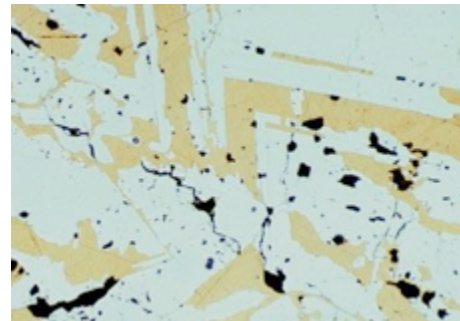


Mine

Exploitation
Séparation
mineral et
stérile

Minéralurgie

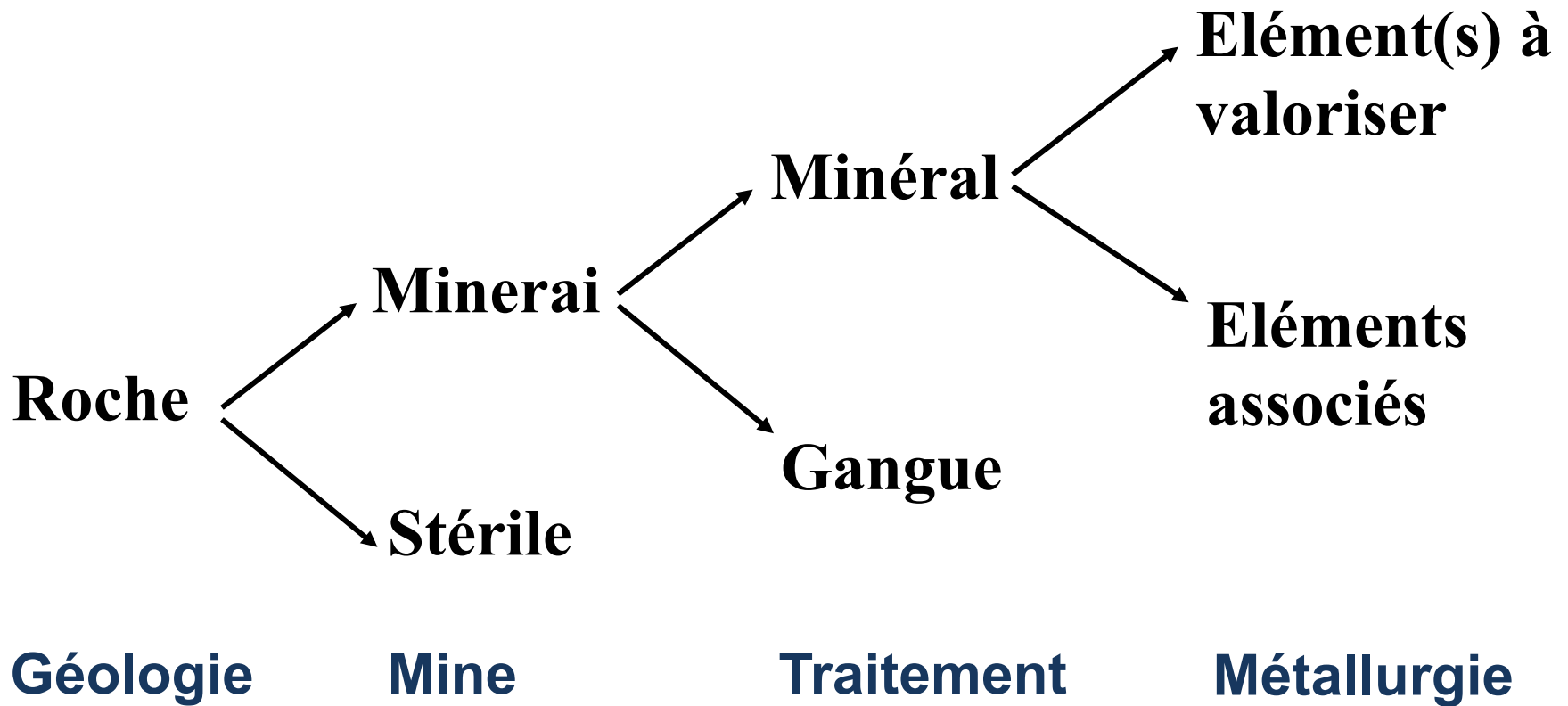
Traitement
Séparation minéral
et gangue

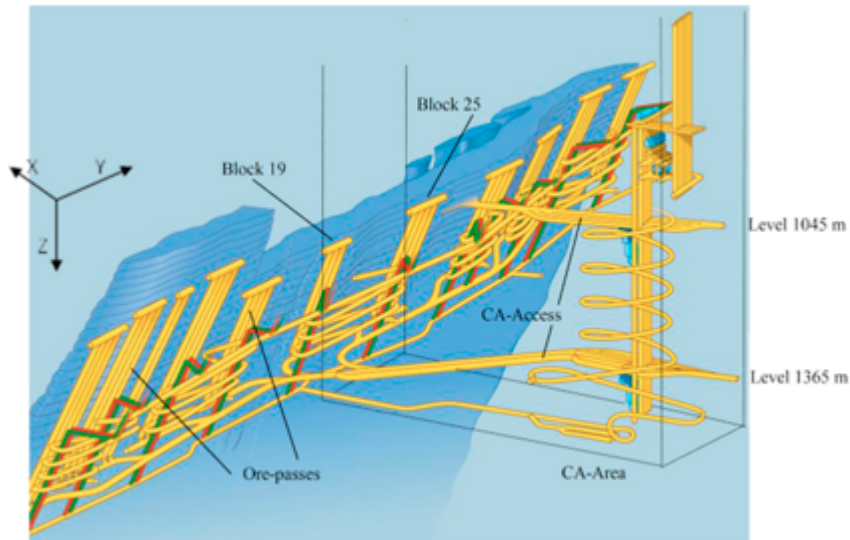


Métallurgie

Séparation élément
à valoriser et autres
éléments







Vente du minerai

Charbon, fer, bauxite, phosphate,
sel... nickel

Vente d'un concentré (minéral quasi pur) Sulfures métalliques

Du concentré au métal

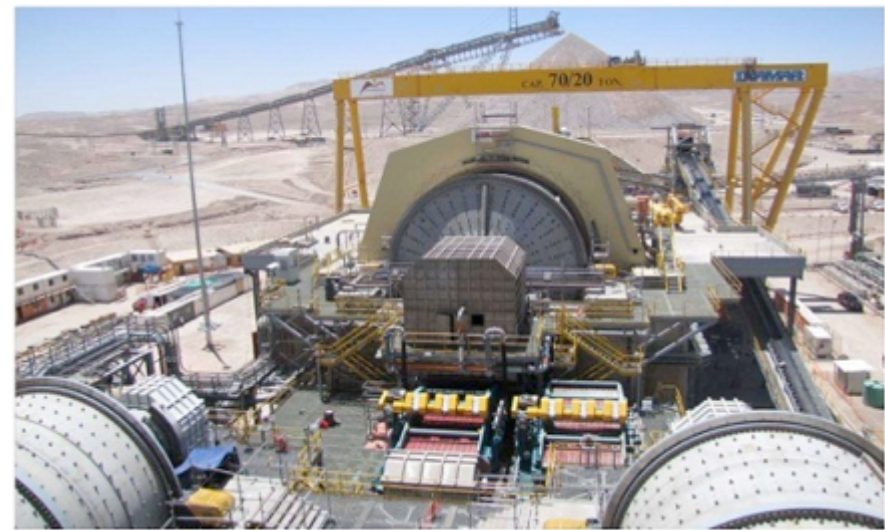


Pyrométallurgie

Hydrométallurgie

- **Industrie lourde**

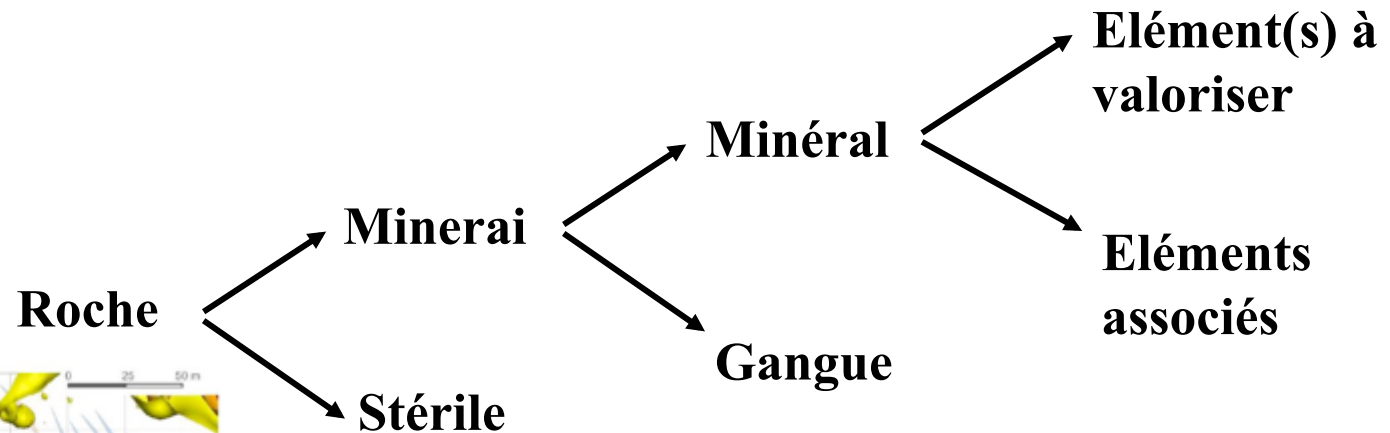
- **Intensité capitaliste (rapport de l'investissement initial sur le CA annuel moyen)**
 - De l'ordre de 3
 - A comparer avec 1 pour les industries de transformation, ou moins de 0,1 pour la grande distribution
 - Mais 5 ou plus dans la pyrométallurgie



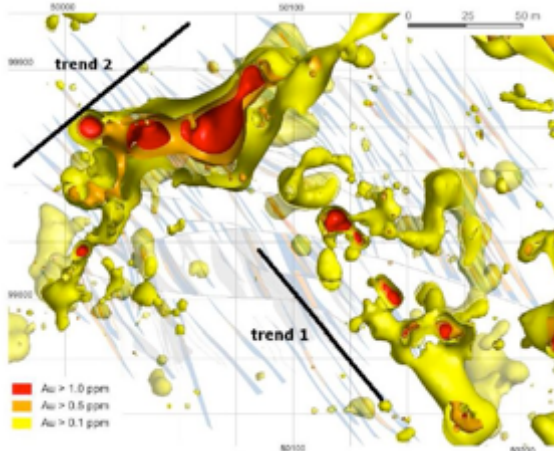
- **Industrie lourde**

- **Intensité capitalistique (rapport de l'investissement initial sur le CA annuel moyen)**
 - De l'ordre de 3 :
 - A comparer avec 1 pour les industries de transformation, ou moins de 0,1 pour la grande distribution
 - Mais 5 ou plus dans la pyrométallurgie
- **Nécessité de durées de vies importantes**
 - Avec une intensité capitalistique de 3 et une marge de 50%, il faut 6 ans pour récupérer l'investissement initial, sans prise en compte de l'actualisation
- **Nécessité de marges significatives**
 - Avec une intensité capitalistique de 3, il faut une marge de 50% pour atteindre un TRI de 15% sur 15 ans

Marché



Gisement

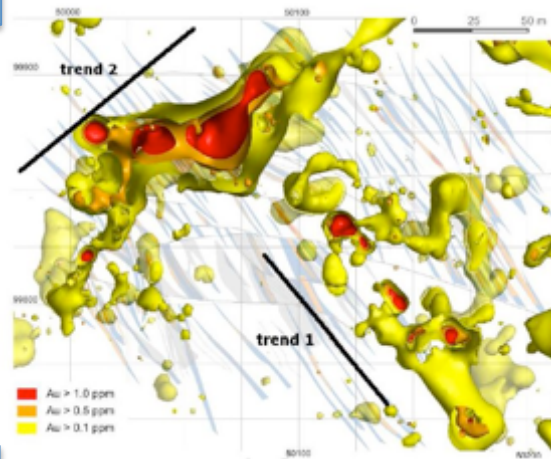


Localisation

Imposée
Impact investissement
Impact coûts

Tonnage et teneur

Recettes (par tonne, totale)



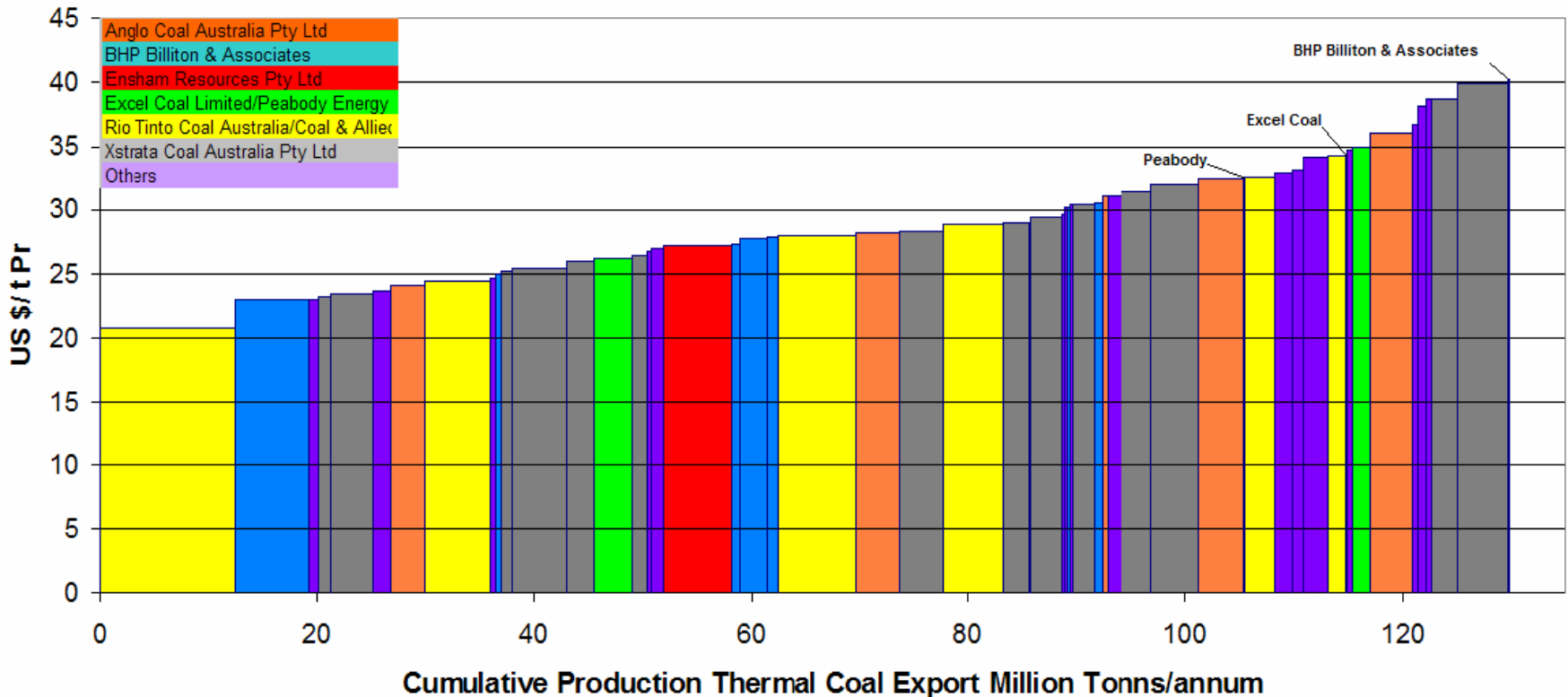
Méthodes (exploitation, traitement)

Coûts

Marge (rente)

Courbe de coûts cumulés

AUSTRALIA - Thermal Coal production : FOB Cash Cost US \$/t Pr
Energy Adjusted gar 6400 Kcal/Kg

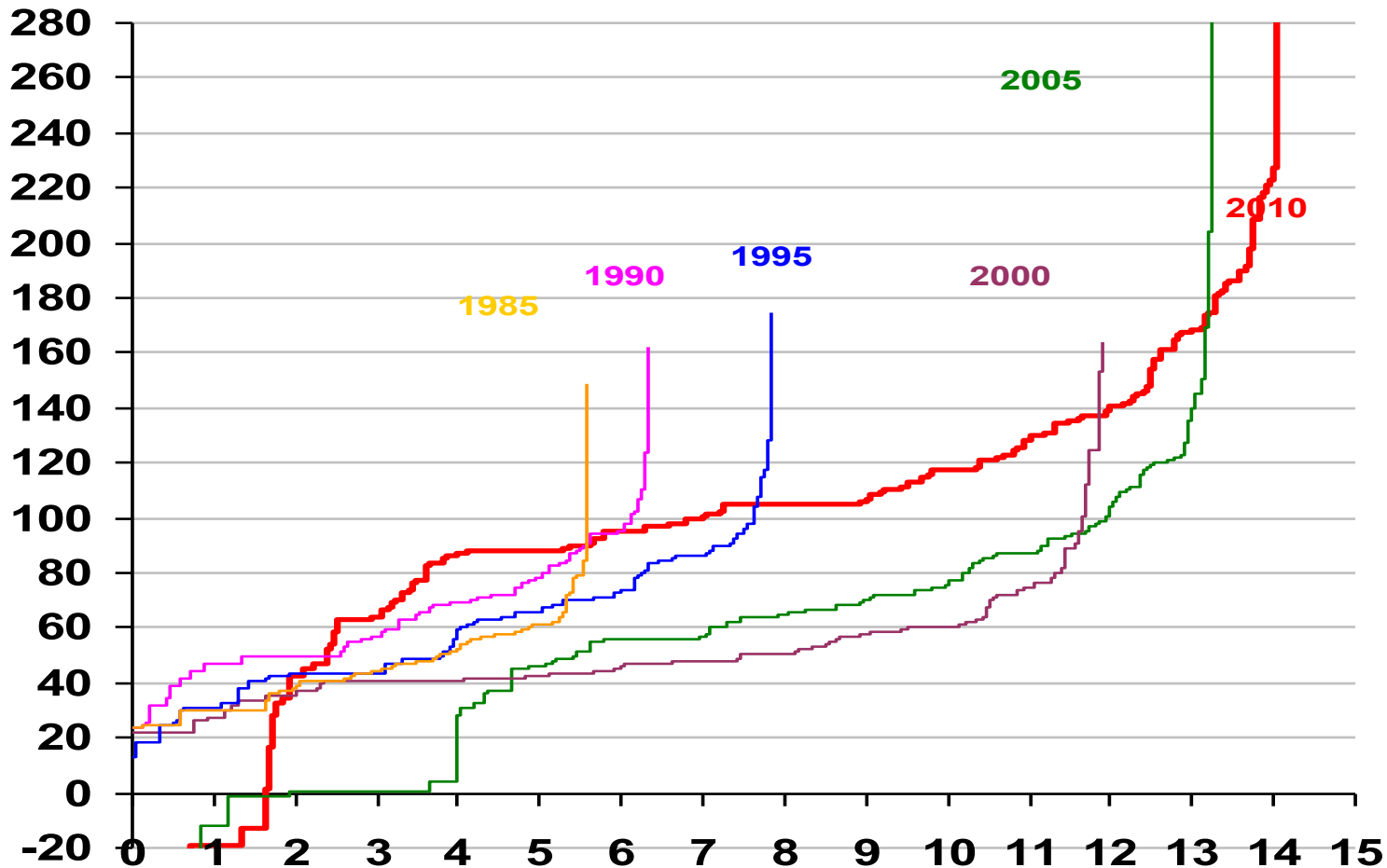


Source : A. Tadriss, Thèse de Master Stratégie Energétique, MINES ParisTech, 2007

- **Coût vs production**

- du producteur le moins cher au plus cher

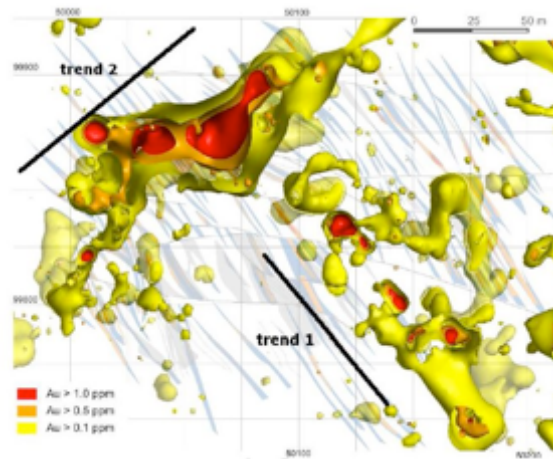
Courbe de coûts cumulés



- **Coûts cumulés au niveau mondial pour le cuivre**
(source Codelco & Brook Hunt, 2011)

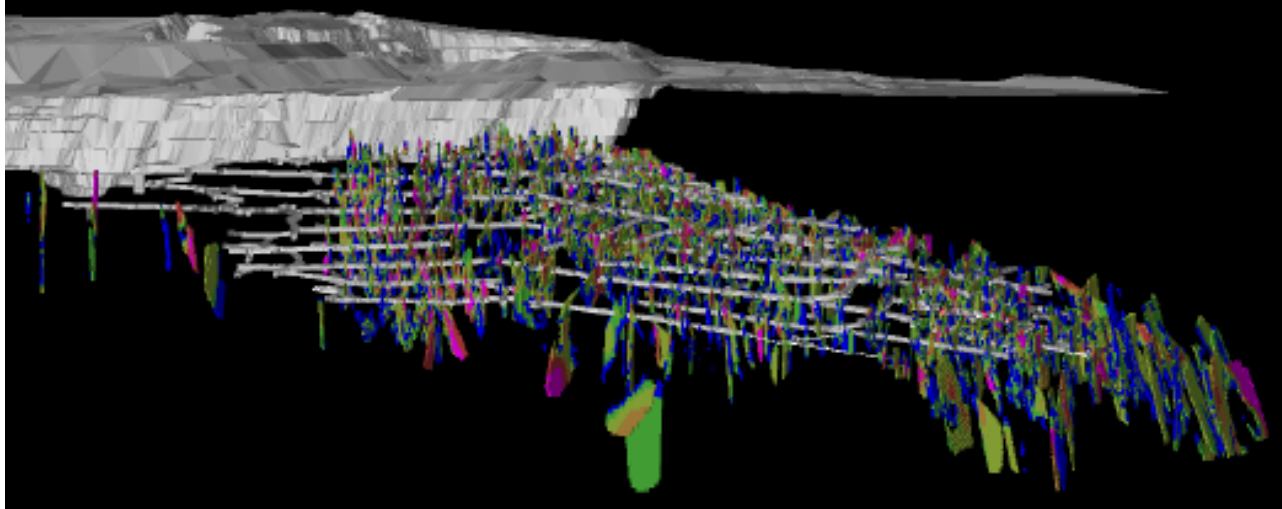
**Résultat
économique**

Risques



- **Prospection :**
 - **Rio Tinto**
 - 1 cible sur 1000 donne une exploitation rentable
 - 3 cibles sur 10000 donne une mine de classe mondiale
- **Des rentabilités élevées pour les projets qui fonctionnent**
- **Les juniors, reines du greenfield**

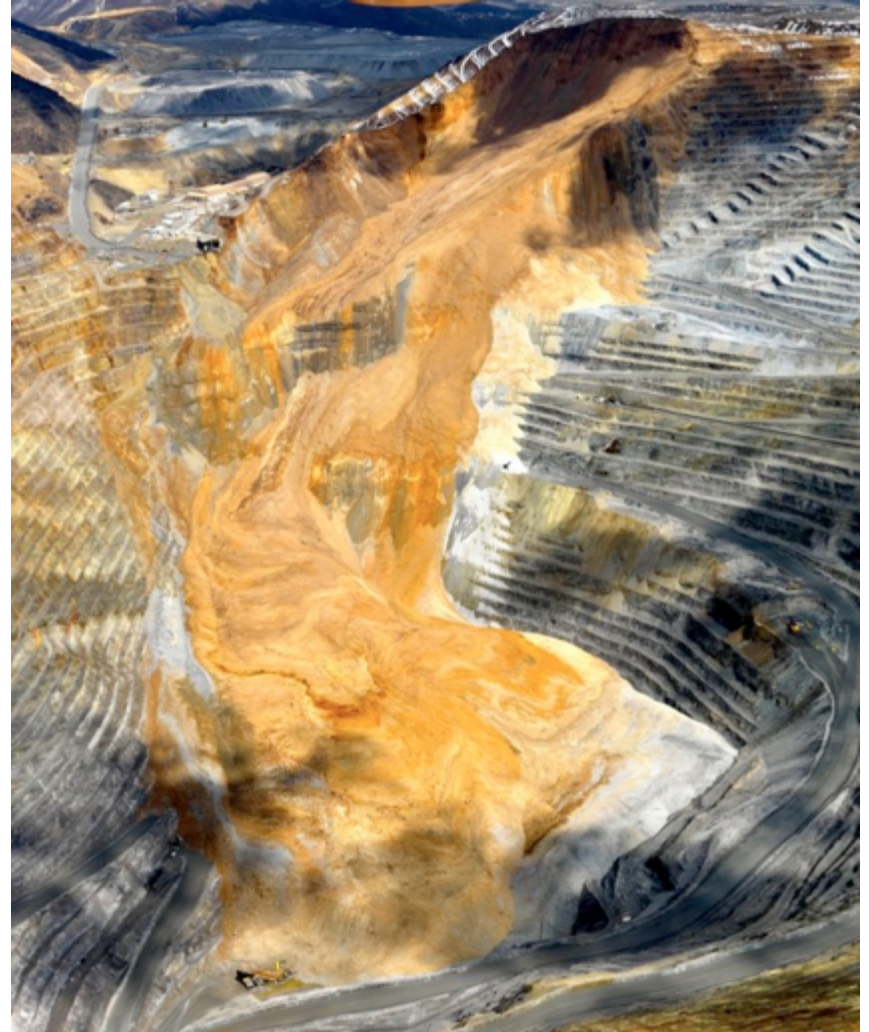
- **Un objet naturel, fruit d'une histoire géologique (longue) et complexe**



Modélisation du gisement d'or de Björkdal (source : Mandalay Resources)

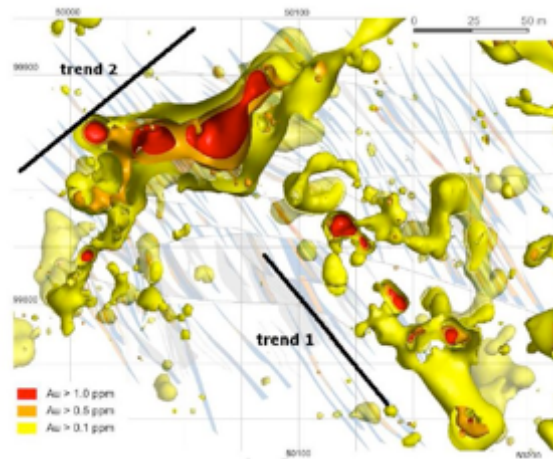
- **Un objet par essence hétérogène, en épaisseur, mais surtout en qualité**
 - **Risque sur le tonnage, la teneur, les techniques**

- **Le glissement de terrain de Bingham Canyon (2013)**



**Résultat
économique**

Risques

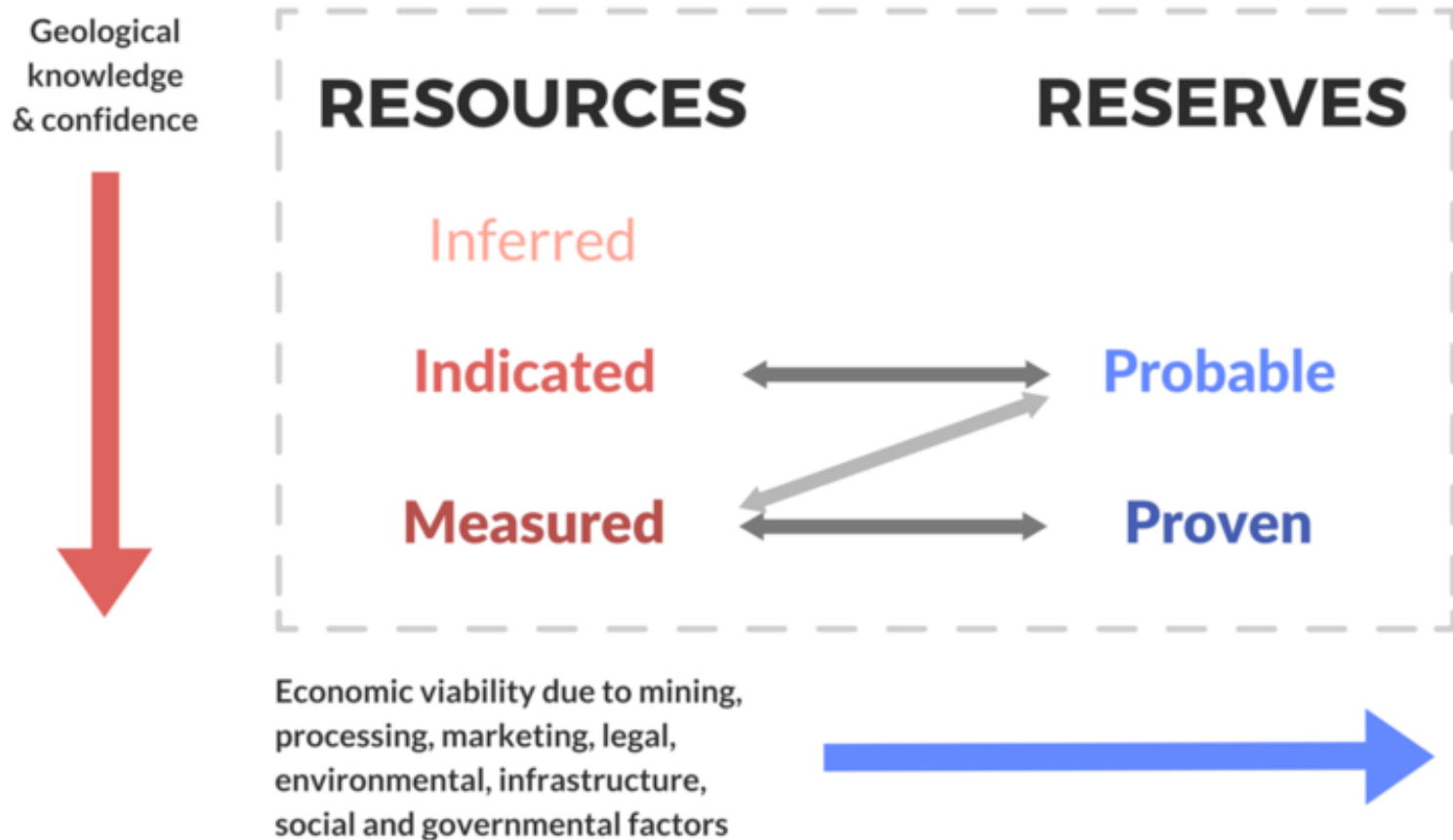


**Industrie auto-
destructrice**

- **Le minerais comme intrant principal**



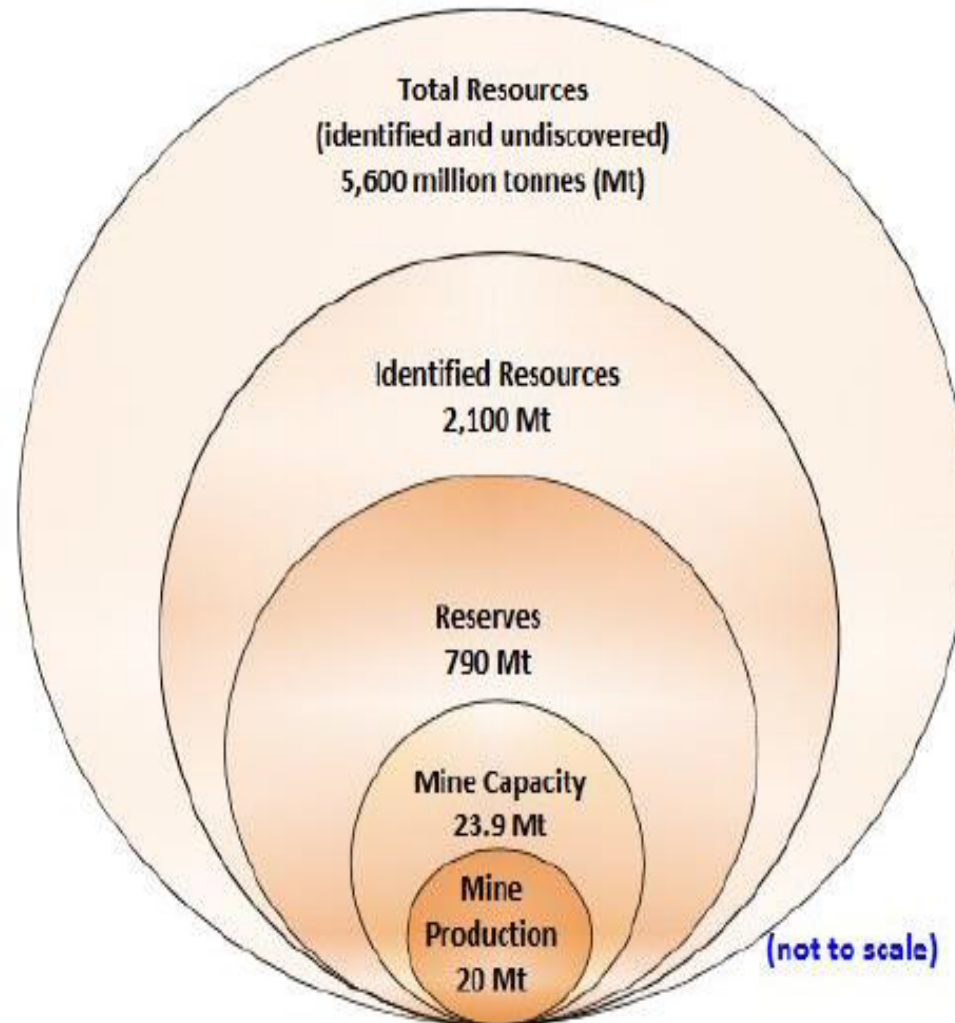
- **Une durée de vie limitée**
- **La nécessité de renouveler les réserves**



- **Codes internationaux (NI 43-101, JORC)**

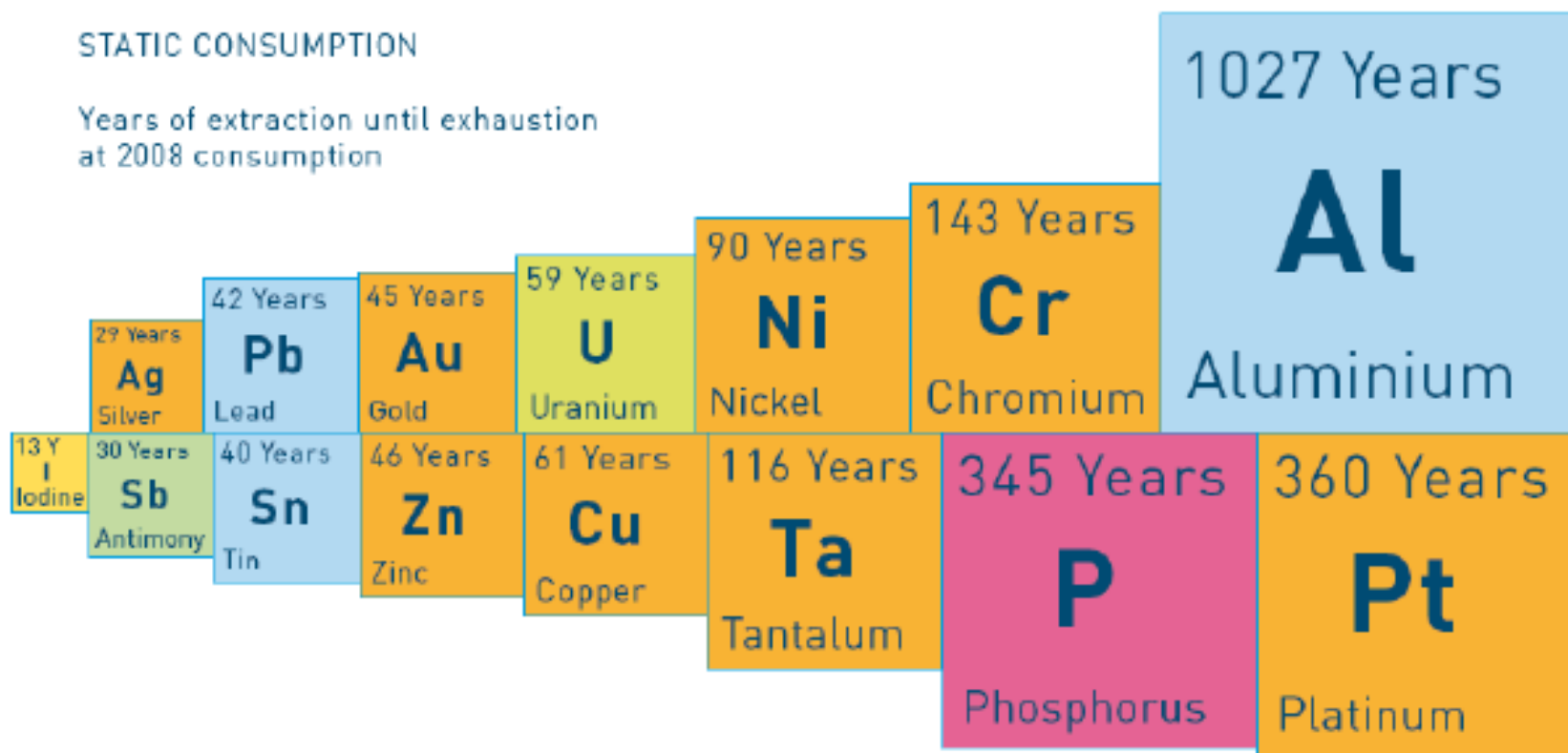
- Ressources : tonnage identifié; mesurées, indiquées ou inférées suivant la connaissance
- Réserves : ressources mesurées ou indiquées dont l'exploitation est techniquement et économiquement possible

Production et réserves mondiales en cuivre 2017



Source : USGS

Les réserves : indicateur d'épuisement?



Réserves de cuivre

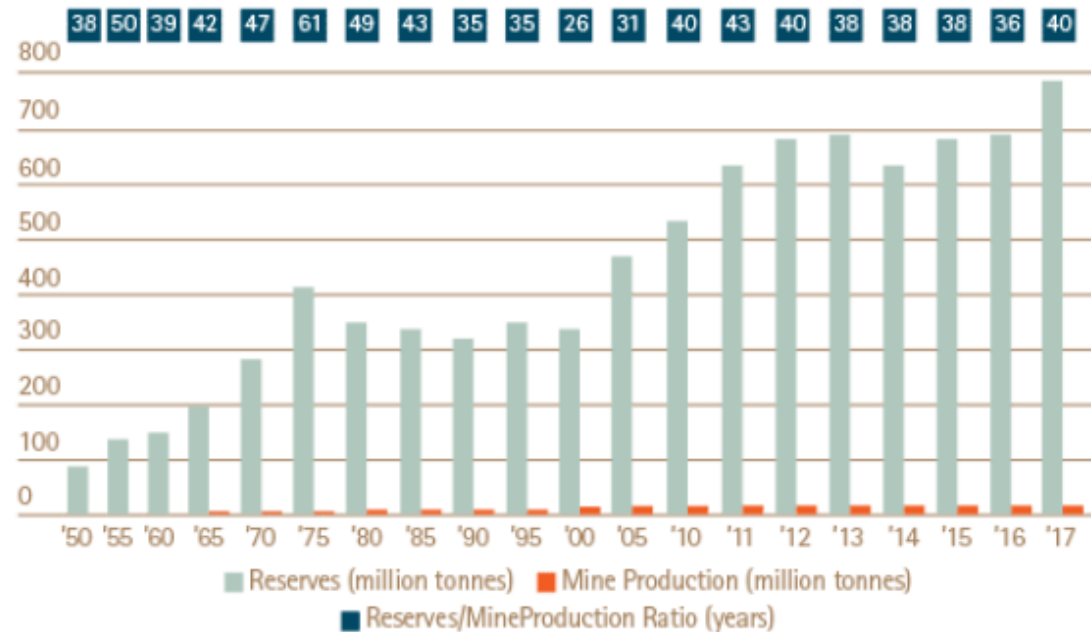
Réserves évaluées à 790 Mt Cu en 2017

Durée de vie estimée à 40 ans de production

Malgré une production toujours croissante, les réserves sont maintenues de 30 à 40 années de production depuis 1950

Source : USGS 2017

Evolution des réserves



	2018	2017	2016	2015	2014	2012	2011	2010	2009	2008
Réserves (Mt)	14,0*	16,0	14,0	14,0	13,5	13,0	13,0	13,0	9,9	4,1
Ressources (Mt)	62,0	53,0	46,9	40,7	39,5	39,5	34,0	33,0	25,5	14,0

Evolution des réserves et ressources en lithium d'après l'USGS de 2008 à 2018

3 Mt de Li pour électrifier 1 Milliard de voitures

Commodités vs spécialités

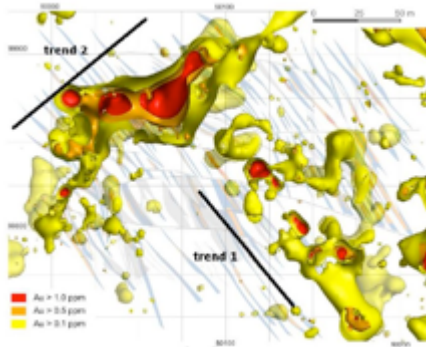
Produit standard et
marché unique



- **Commodité**

- Produit standard aux qualités parfaitement définies et connues des acheteurs
- Pas de différenciation produit possible : la compétition entre producteurs passe uniquement par les prix
- Donc un prix de référence unique, en général mondial

- « Un produit devient une commodité quand a disparu, par des élaborations successives, toute différence qualitative issue de son origine naturelle »



Géologie

Identification
et délimitation
des
gisements

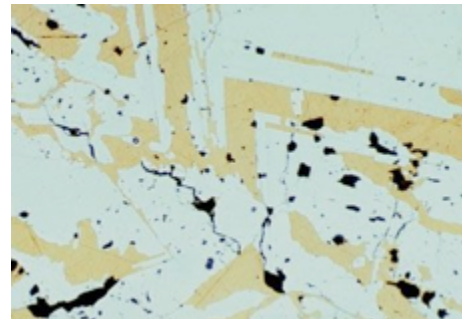


Mine

Exploitation
Séparation
mineral et
stérile

Minéralurgie

Traitement
Séparation minéral
et gangue



Métallurgie

Séparation élément
à valoriser et autres
éléments



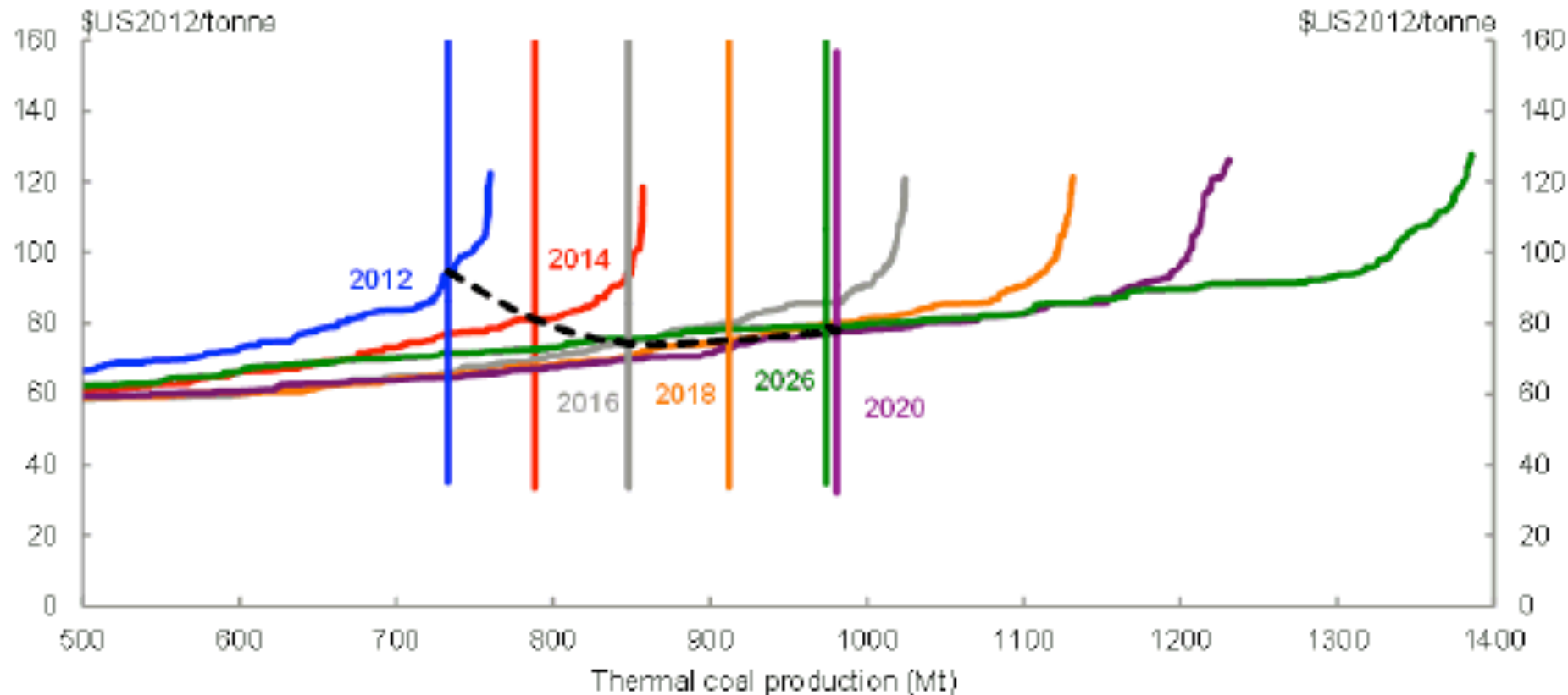
Commodités vs spécialités

Produit standard et marché unique

Prix de tendance

Coût du producteur marginal

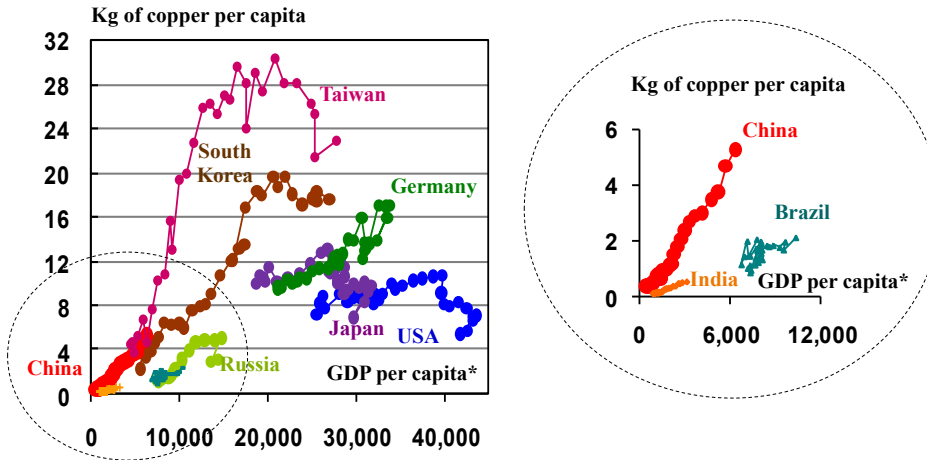




Charbon vapeur exporté

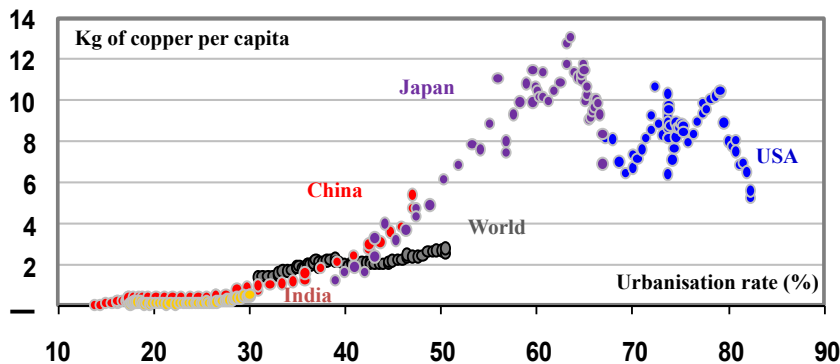
Source : The Treasury, Australian Government, 2014

GDP per Capita and Consumption per Capita, 1980-2010



- Business as usual
 - Relation consommation PIB
 - Relation consommation taux d'urbanisation

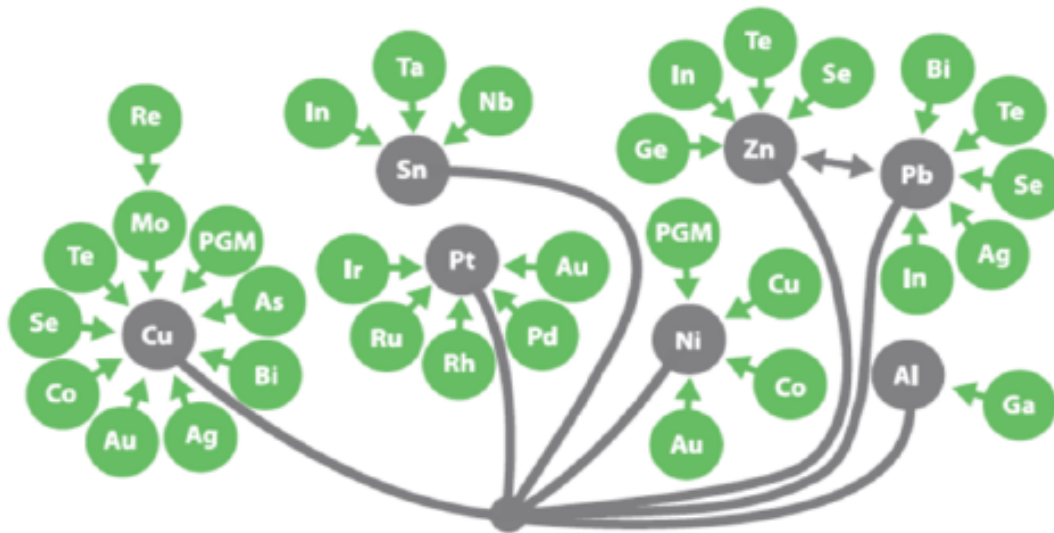
Urbanisation and Copper Consumption per Capita, 1950-2010



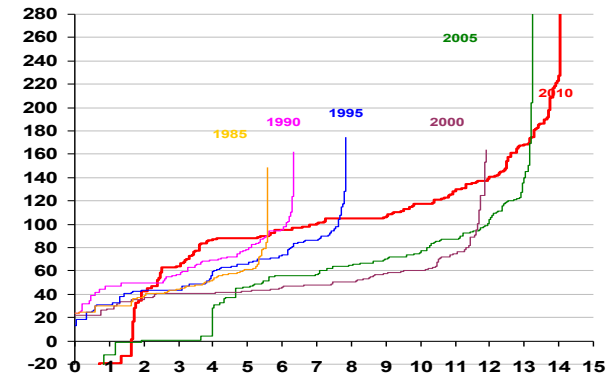
- Transitions
 - Développement de la mobilité électrique
 - ...

Source : Codelco, 2011

- Les petits métaux, sous-produits des métaux principaux



Source: Hageluken and Meskers, 2010 (21)



- La régulation par la satisfaction de la demande ne fonctionne pas :
 - pour les sous-produits
 - pour les familles de substances (TR, PGM)

Commodités vs spécialités

Produit standard et marché unique

Prix de tendance

Coût du producteur marginal



Variabilité des prix

Copper Price
2.71 USD/lb
24 May '19



Cobalt Price
15.65 USD/lb
23 May '19



- La concurrence passe uniquement par les prix
- Faible élasticité de la demande
- Difficulté d'ajustement de l'offre

- Baisse du taux d'utilisation des capacités et économies d'échelle
- L'effet contre-productif de l'ajustement de paramètres d'optimisation économique
 - Teneur de coupure
- Coût des mises en sommeil d'exploitation
 - Maintenance des équipements
 - Poursuite de l'exhaure
 - Maintient de la ventilation des mines souterraines
 - Droit du travail
- Enjeux d'une fermeture définitive
 - Importance des investissements
 - Localisation géographique des investissements
 - Difficulté de la ré-ouverture future potentielle (dénoyage, démantèlement, remise en état...)

- Les contraintes techniques de l'industrie minière

Court terme (annuel)

- Utilisation des capacités existantes

Moyen terme (3 à 10 ans)

- Augmentations de capacités
- Projets en cours de construction

Long terme (10 à 20 ans)

- Nouveaux projets sur gisements identifiés

Très long terme (>20 ans)

- Identification et mise en exploitation de nouveaux gisements

- La réglementation

- Exemple des Terres Rares (association radionucléïdes)

- Les attentes sociétales

- L'effet contre-productif de l'ajustement de paramètres d'optimisation économique

- Teneur de coupure

- A très long terme, la disponibilité des ressources minérales est problématique
 - Ressources finies vs croissance de la consommation
 - Limites du recyclage (consommation croissante, taux de récupération en fin de vie)
- Les réserves, et même les ressources identifiées, ne permettent pas d'anticiper correctement cette limitation
 - Identification de nouvelles ressources
 - Niveau de prix des substances
- L'industrie minière peut répondre à une demande croissante sur les substances principales, mais ses constantes de temps génèrent
 - Des périodes de tension sur les cours
 - Des limitations dans certains développements
- Les sous-produits peuvent bloquer des développements
 - A moins que les prix ne bousculent la hiérarchie...

■ Notions d'économie du secteur minier

Comité pour les métaux stratégiques
Damien Goetz, professeur, MINES ParisTech