

# TIC et métaux

Olivier Ridoux

Université de Rennes 1 – GDS EcoInfo

# 3 sources

- **« Le grand pillage »** Ugo Bardi (2013-2015)
  - toutes ressources minérales
  - tous usages
- **« Quel futur pour les métaux ? »**  
Philippe Bihouix et Benoît de Guillebon (2010)
  - métaux
  - tous usages
- **« Impacts écologiques des TIC »**  
Groupe ÉcolInfo (2012)
  - toutes ressources
  - usages TIC

# Vocabulaire et concepts (1)

- **Ressource / réserve (base) / déplétion**
  - présence identifiée d'un minéral en quantités estimées
  - ressource explorée et **exploitable (mais pas)** aux conditions actuelles
  - Fe : **3000** MT, **1000** MT, **500** MT
  - **épuisement** d'une réserve
- **Grand / petit / précieux**
  - >  **$10^6$  tonnes / an** : Fe ( $1,7 \times 10^9$ ), Al, ..., Cu, ..., Si, Pb, Ni
  - >  **$2 \times 10^4$  T / an** : Sn, ..., Sb, ..., Cd, ...
  - ~  **$10^3$  T / an** : Ag, Au, Pt, ...

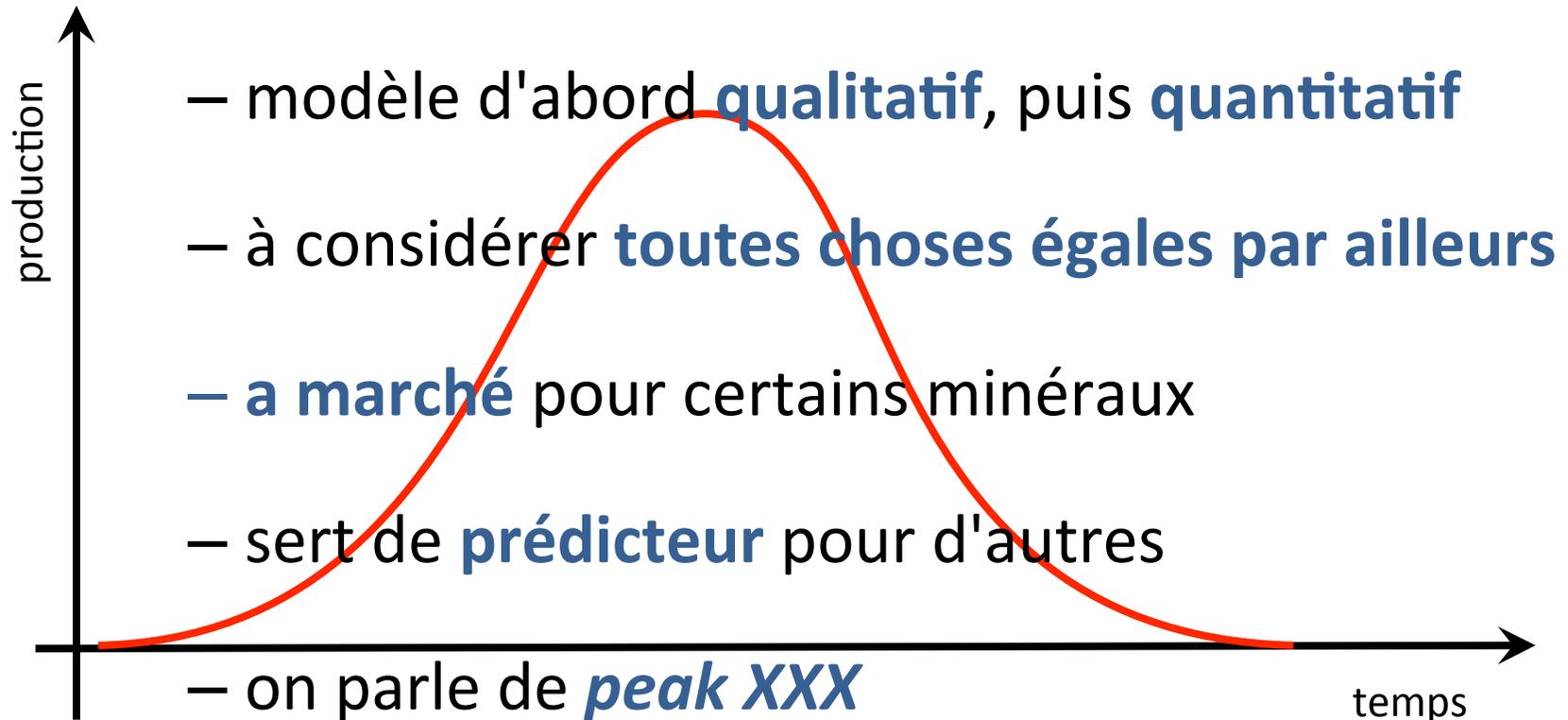
# Vocabulaire et concepts (2)

- **Concentration (ppm = parties par million)**
  - 1000 ppm = 0,1 %
  - **Fe** : 5 %, exploité ~ 50 %
  - **Cu** : 0,005 %, exploité ~ 0,8 % (1,8 % en 1930)
- **Abondance = concentration / croûte terrestre**
  - > **0,1 %** : Fe, Al, Si, Mg, Mn, Ti, et des non-métaux  
**= 99,23 % croûte terrestre**
  - 0,0001 % - 0,1 %** : Cu, Ni, ...
  - < **0,0001 %** : + métaux précieux

# Vocabulaire et concepts (3)

- **Pic de production**

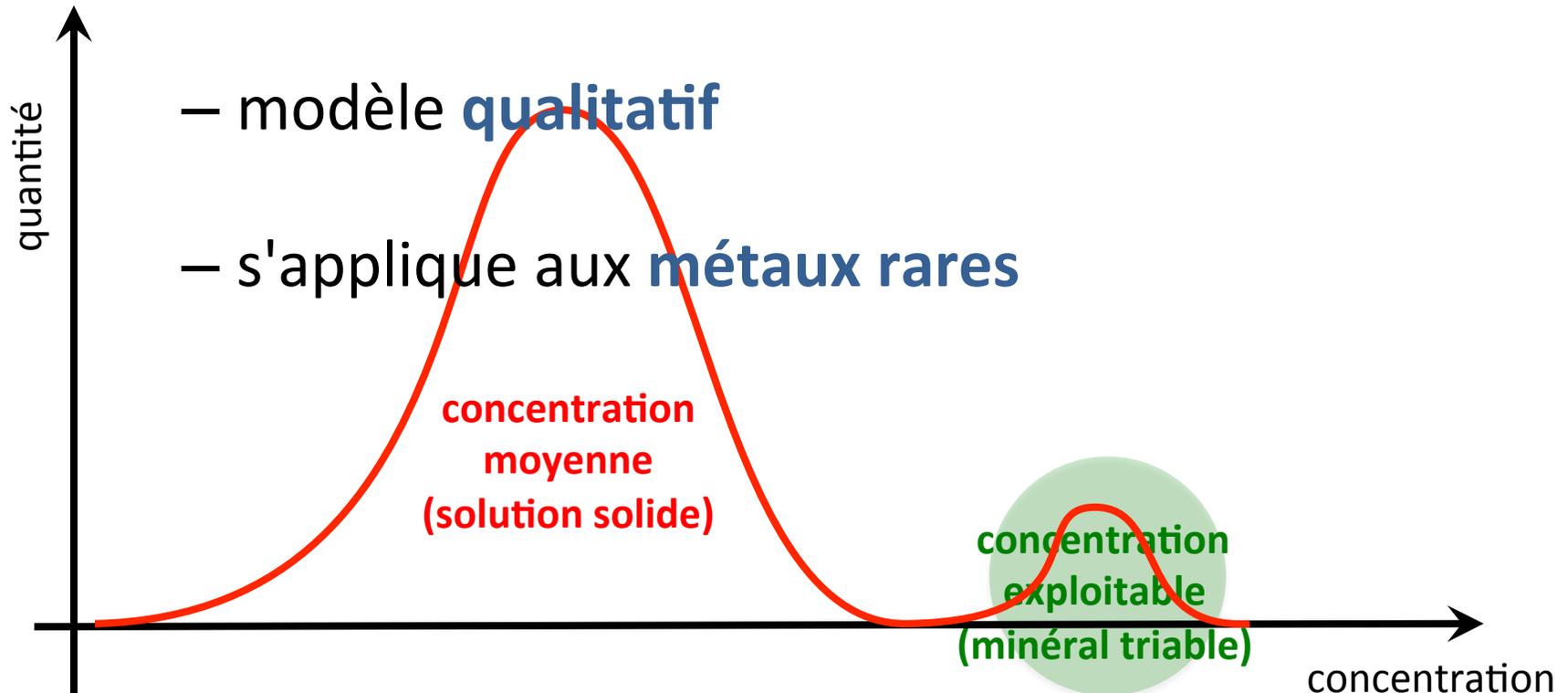
(modèle de **Hubbert**, 1959)



# Vocabulaire et concepts (4)

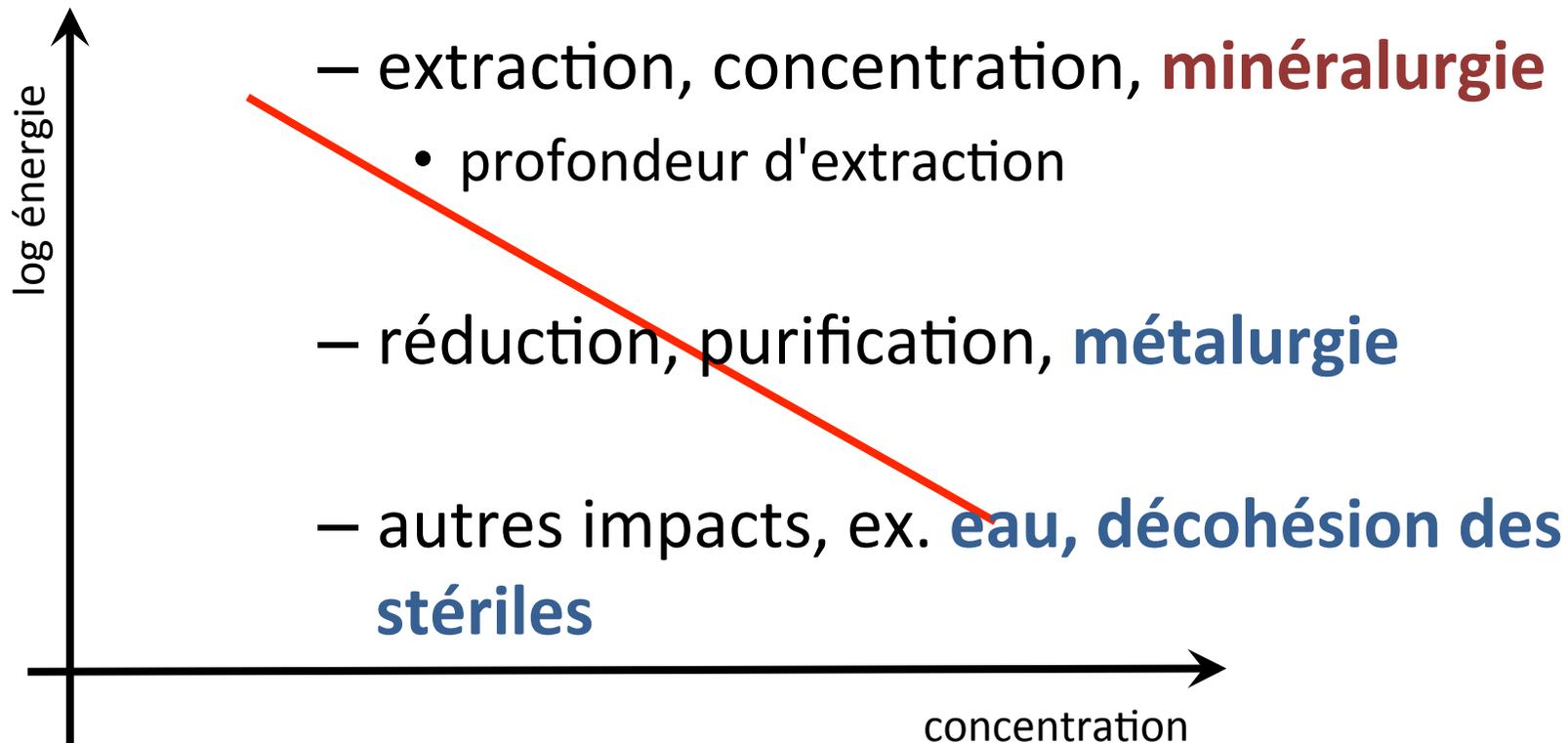
- **Barrière minéralogique**

(modèle de **Skinner**, 1976)



# Vocabulaire et concepts (5)

- **Coût énergétique de production**



# Vocabulaire et concepts (6)

- **La variable cachée de l'énergie**
  - raréfaction / épuisement toujours **relatif à énergie** investie dans production unitaire

## déplétion !

- rétroaction naturelle **seulement pour ressource énergétique**
- **l'extraction d'énergie a besoin de métal**

# Si on s'arrêtait là

- Les TIC...
  - ...exploitent **toute la gamme** des métaux
  - ...spécialement **métaux rares et précieux**
  - ...qui ont un **pic de Hubbert proche**
  - ...soumis à la **barrière de Skinner**
  - ...qui ont des **impacts de production** importants
  - ...pour un usage souvent **dispersif** (nanotech)
  - ...et une **croissance exponentielle** de la demande

# Impact des TIC

- Croissance **exponentielle**...  
...et probablement inachevée

**Chine, Inde**

# Les métaux des TIC

- Structure
  - Fe (acier), Al
- Infrastructure électrique
  - Cu, Sn, Ag, Au
- Électronique
  - processeur : Si, Ge, Ga, ...
  - écran, disque, etc : In, terres rares, ...
  - batterie : Ni, Cd, Li
- Un téléphone portable (g)
  - = 16 Cu, **0,35 Ag**, **0,034 Au**, **0,015 Pd** et 0,00034 Pt

*moitié de  
l'impact métaux*

# Une ACV TIC

- Le PC fixe Lenovo ThinkCentre X1
  - > 4 kg **équiv. antimoine**
  - > 6 m<sup>3</sup> eau

# TIC et table de Mendeleïev

- Avant XIX°
  - Au, Ag, Cu, Sn, Fe, Pb
  - d'autres sont isolés mais peu exploités
- Avant 1970
  - environ 20 métaux exploités
- Après 2000
  - environ 60 métaux exploités
  - certains principalement par les TIC : Ga, In, Ta

# TIC et criticité (*criticalité* !)

- Rareté
  - Au, Pt
- Usage spécifique
  - In, Ta, Ga
- Concentration géographique
  - terres rares et Chine
  - Li et Chili
- Géopolitique
  - terres rares et Chine
  - Pt et RSA
- Référentiel UE

# Usages dispersifs

- Quantités infimes dans nombreux exemplaires
- Quantités nanométriques dans électronique

**Obstacle au recyclage**

**Impact environnemental**

# Usages hétérogènes

- Générations technologiques très courtes
- Effets de stockage en fin d'utilisation

**Complicque les filières de recyclage**

# Recyclage

- X % de quoi ?
    - de la production initiale
    - des déchets
    - de la production suivante
      - pas très grave si situation stationnaire...
- ...confusion sinon

# Décyclage

- Jamais 100 % de recyclage
  - pertes au feu et usages dispersifs
- Perte de qualité
  - impuretés
- Limité par énergie

**Économie circulaire** → **économie spirale**  
**quantité et qualité**

# Faire / ne pas faire

- Faire (**simple**)
  - augmenter la durée d'utilisation (**réduire**)
  - **réutiliser**
  - **recycler** en dernier ressort
- Faire (**complexe**)
  - améliorer les processus : production et recyclage
  - éco-concevoir : réparabilité, recyclabilité
- Ne pas faire
  - stocker les obsolètes, au cas où

# Conclusion spécifique

- Croissance **exponentielle** de la demande
  - marginalise le recyclage
  - **non soutenable**
- Impact sur métaux petits et précieux
  - 1970 : < 20 métaux exploités
  - 2000 : ~ 60
- De nombreux métaux stratégiques
  - non substituables, toxiques, non recyclés
  - géopolitiquement critiques

# Conclusion (1)

- Les TIC s'inscrivent dans la problématique générale de l'exploitation des ressources
- Notion de pic (Hubbert)
  - dépassé pour Au, In, Cu
- Rétroaction par **l'énergie**
- Rétroaction par la **concurrence d'usage**
  - **transition énergétique**
  - transport électrique et énergie renouvelable

# Conclusion (2)

- TIC et développement durable
- Abandon de la **pensée modulaire** et révolution de la **pensée globale**
  - analyse de cycle de vie
  - **impact sur d'autres cycles de vie**
- Initialisation des transitions
  - **bootstrap**

# Portraits de métaux : Si

- Très abondant : 25 % de la croûte terrestre
- Criticité
  - ~ 5 % pour circuit intégré,
    - monocristal
    - pureté = 99,999999999 %
  - ~ 20 % pour électronique « grande surface »
    - polycristal et/ou pureté moindre
- Peu recyclé : impuretés

# Portraits de métaux : Cu

- Électricité et électronique, transport du courant
  - Criticité
    - peu abondant : 0,005 %
    - ~ 50 % produit en Amérique latine
    - réserves ~ 40 ans
  - Durée d'utilisation longue ~ 30 ans
  - Recyclé à 40 % (OCDE, mais 15 % monde)...
- ...mais usages dispersifs : fongicide ou pigment

# Portraits de métaux : Terres rares

- Écrans plats, têtes magnétiques, condensateurs, optronique
- Abondantes, mais jamais concentrées
  - exploitées comme sous-produits d'autres extractions
- Critique : 50 % réserves en Chine, 95 % production
  - élément stratégique de politique internationale
- Pas recyclé : coût trop élevé

# Portraits de métaux : In et Ga

- Écrans plats, cellules solaires, diodes laser, optronique, disques durs
- Criticité
  - ressources rares ~ 15 ans pour In
    - exploités comme sous-produits d'autres métaux (Zn, Sn, Pb, Cu, Al)
  - 50 % produit en Chine
  - pas substituable
- Peu recyclé : usage dispersif

# Portraits de métaux : Ta et Nb

- Condensateurs, LCD, DRAM, etc
- Rare
- Critique : 2/3 pour utilisation TIC
  - Coltan : **minéral de sang**, 80 % des réserves, 20 % de la production
- 1/3 recyclé

# Portraits de métaux : Li

- Batteries
  - usage exigeant, pureté = 99,95 %
- Criticité
  - modérément abondant, mais réserves faibles
    - 75 % déserts de sel (Chili et Bolivie)
    - ressources immenses dans les mers
  - concurrence avec transport électrique

# Portraits de métaux : Au et Ag

- Contacts électriques
- Criticité
  - précieux
    - Ag : 50 % exploité comme sous-produits d'autres extractions (Pb ou Zn)
  - réserves ~ 15 ans pour Ag, ~ 20 pour Au
  - Au : désastre écologique, cyanurisation
- Recyclage
  - Au : très bien recyclé
  - Ag : ¼ recyclé, usages dispersifs hors TIC