

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
 - > **2×10^4 T / an** : Sn, ..., Sb, ..., Cd, ...
 - ~ **10^3 T / an** : Ag, Au, Pt, ...

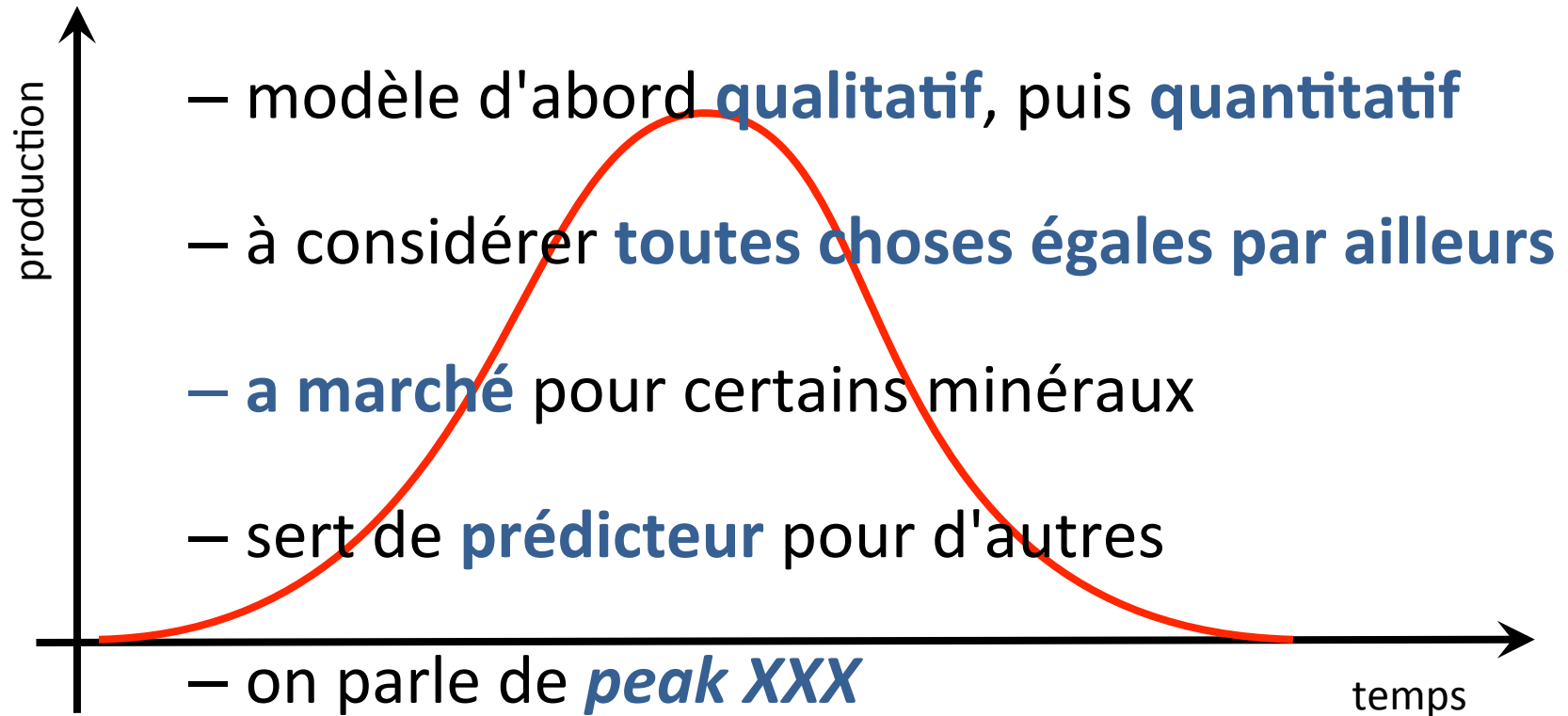
Vocabulaire et concepts (2)

- **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**

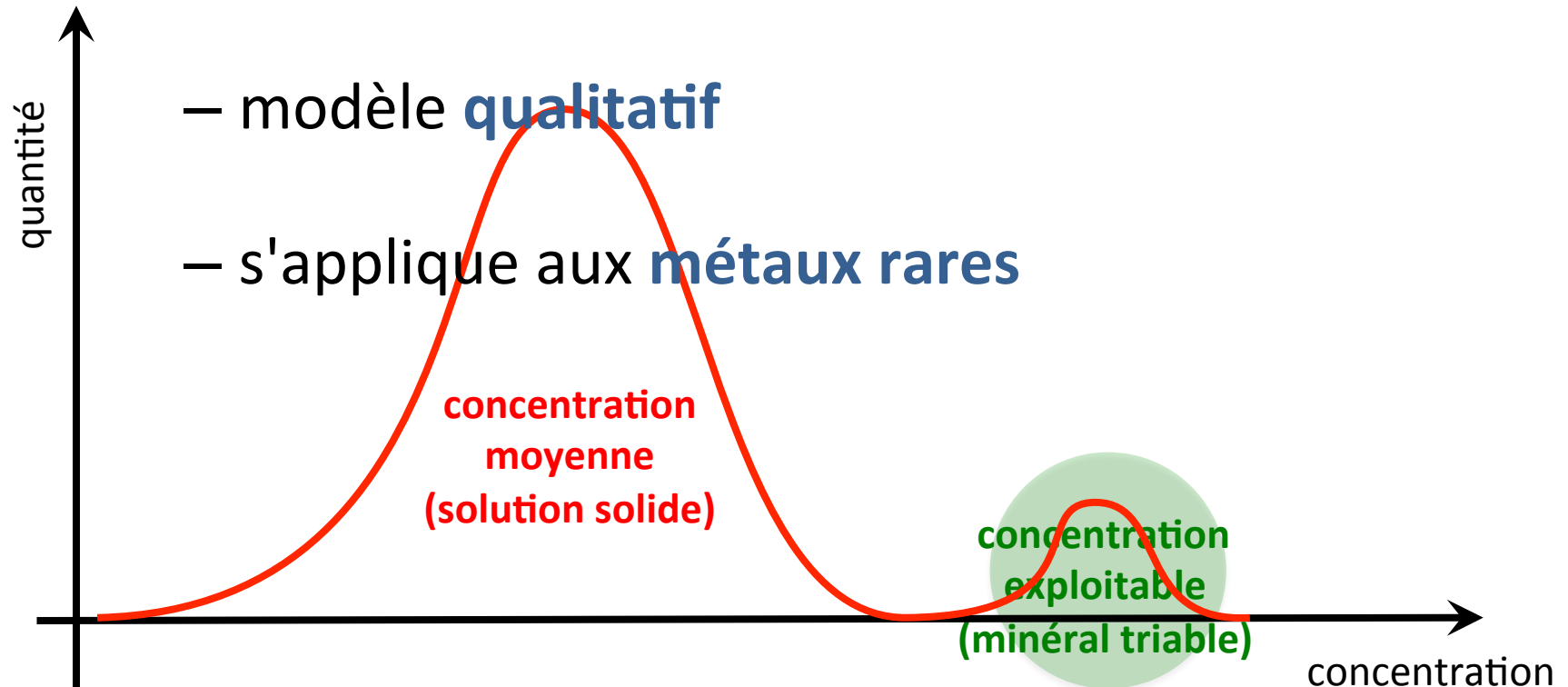
(modèle de **Hubbert**, 1959)



Vocabulaire et concepts (4)

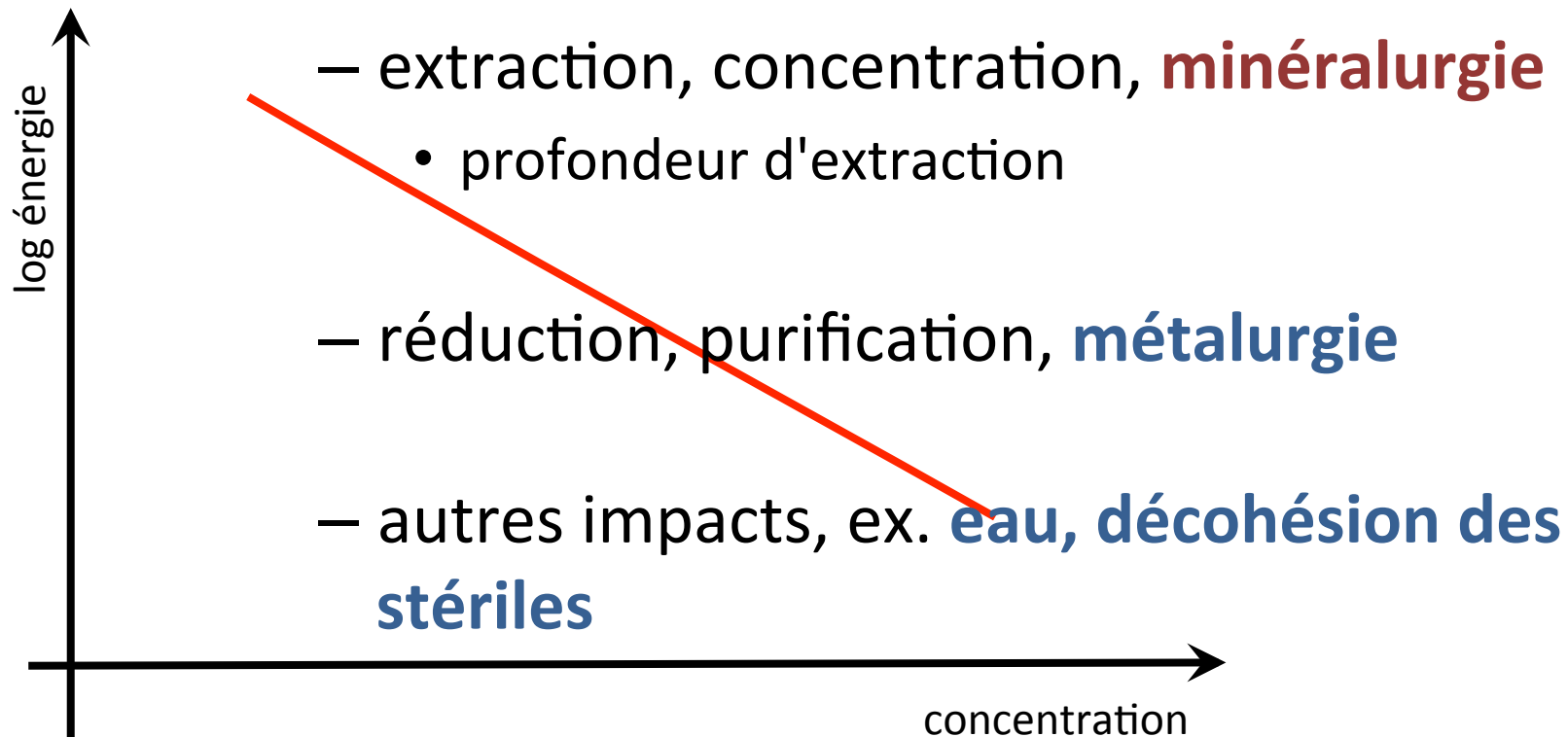
- **Barrière minéralogique**

(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 m³ 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