

# Enjeux environnementaux, sociaux, économiques liés au TIC

*Francis Vivat, Responsable Informatique LATMOS  
GDS EcoInfo ([www.ecoinfo.cnrs.fr](http://www.ecoinfo.cnrs.fr))  
Eco-responsabilité appliquée à l'informatique  
X-Stra Novembre 2013  
Présentation largement inspirée de J. Berthoud, Nantes 2013*

# Un peu de vocabulaire

- éco-TIC (IT for Green) : Techniques de l'information et de la communication dont la conception ou l'emploi permettent de réduire les effets négatifs des activités humaines sur l'environnement.
- TIC-éco (Green for IT) : Rendre ces technologies plus respectueuses de l'environnement (*depuis l'extraction des matières premières jusqu'à leur traitement de fin de vie*).
- Toutes les informations que nous allons voir sont des **ordres de grandeur**, il ne faut pas les prendre à la lettre hors de leur contexte.

# Les questions ...

- A quoi cela peut-il bien servir ?
  - À diminuer la pression sur les ressources ?
  - À réduire les gaz à effet de serre (et donc le réchauffement climatique) ?
  - À réduire la pollution ?
  - À faire des économies ?
  - À rendre l'homme plus heureux ?

# Quelques concepts ...

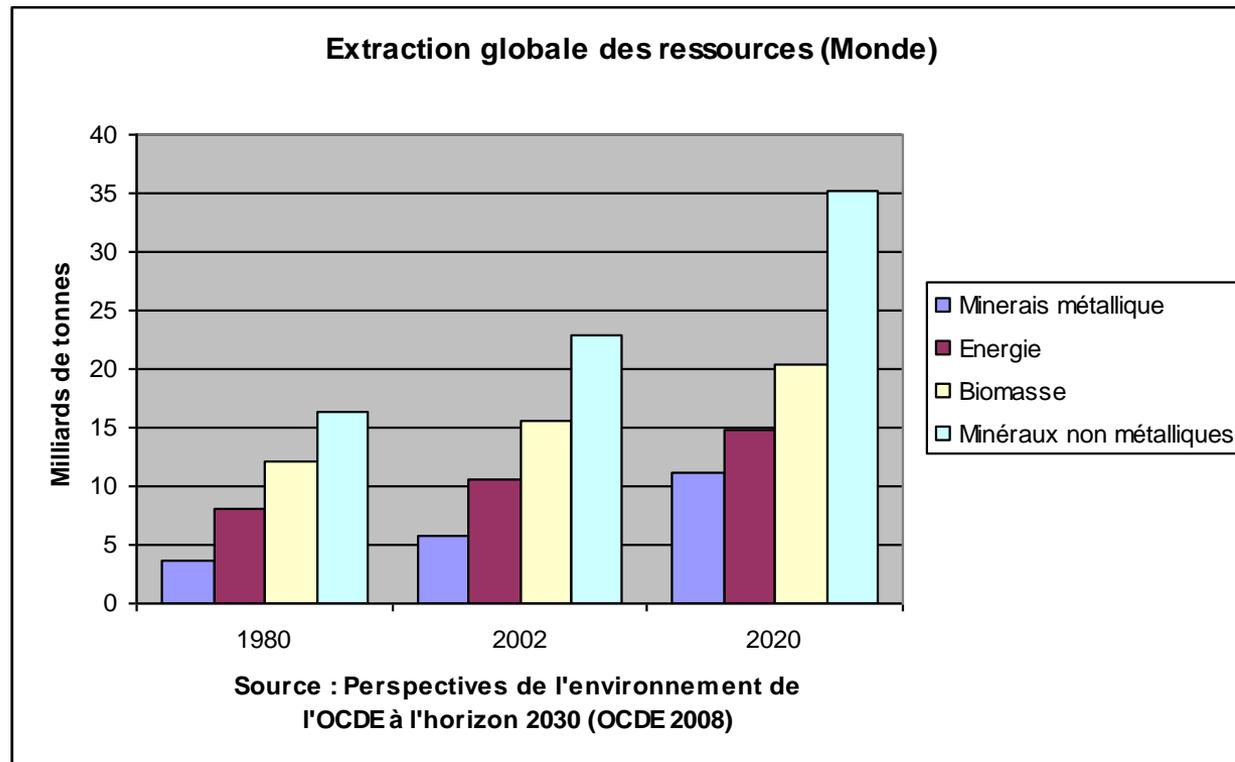
## Cadre conceptuel d'analyse des liens entre TIC et environnement

Type d'effet	Niveau d'influence	TIC en tant que solution	TIC en tant que problème	
De 1 <sup>er</sup> ordre (directs)	TIC elles-mêmes ↓	Fabriquer plus avec moins	Cycle de vie des TIC	Production
				Utilisation
				Fin de vie
De 2 <sup>ème</sup> ordre (indirects)	Applications des TIC à d'autres secteurs ↓	Effets d'optimisation	Effets d'induction	
		Effets de substitution		
De 3 <sup>ème</sup> ordre (systémiques)	Changement social	Profond changement structurel vers une économie dématérialisée	Effets rebond	
			Nouvelles infrastructures critiques d'information	

Source: Hilty, L.M. (2008), *Information Technology and Sustainability: Essays on the Relationships between Information Technology and Sustainable Development*, Norderstedt: Books on Demand.

# Les ressources : la pression

- L'utilisation de ressources naturelles a augmenté 2 fois plus que la population mondiale<sup>(1)</sup>



(1) Découpler l'utilisation des ressources naturelles et les impacts environnementaux de la croissance économique, PNUE, 2010

# Les ressources : l'épuisement

Un téléphone portable contient une soixantaine de métaux différents, certains très rares

26 55,8 <b>Fe</b> Fer	29 63,5 <b>Cu</b> Cuirre	46 106,4 <b>Pd</b> Palladium
79 197,0 <b>Au</b> Or	82 207,2 <b>Pb</b> Plomb	50 118,7 <b>Sn</b> Étain
28 58,7 <b>Ni</b> Nickel	13 27,0 <b>Al</b> Aluminium	47 107,9 <b>Ag</b> Argent
24 52,0 <b>Cr</b> Chrome	49 114,8 <b>In</b> Indium	



La sollicitation des métaux dans la table de Mendeleïev est passée de 10 éléments dans les années 80 à

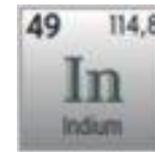
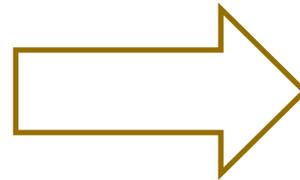
# 60

en 2010<sup>(1)</sup>

(1) OPESCT (2011), Les enjeux des métaux stratégiques : le cas des terres rares

# Les ressources : l'épuisement

- Fin des gisements faciles : la concentration en métaux des minerais est en forte diminution ⇒ énergie et matériaux ↗. Ex: l'indium utilisé dans les écrans plats



De 1 à  
100 mg  
d'indium<sup>(1)</sup>

Un écran LCD de 15,4 pouces  
contient 39 mg d'indium<sup>(2)</sup>



- La grande majorité des éléments a des réserves comprises entre 30 et 60 ans<sup>(3)</sup>

(1) Tolcin, 2012. Indium (USGS)

(2) Prakash, 2011 cité dans Öko-Institut e.V., 2012. *Recycling critical raw materials from waste electronic equipment*

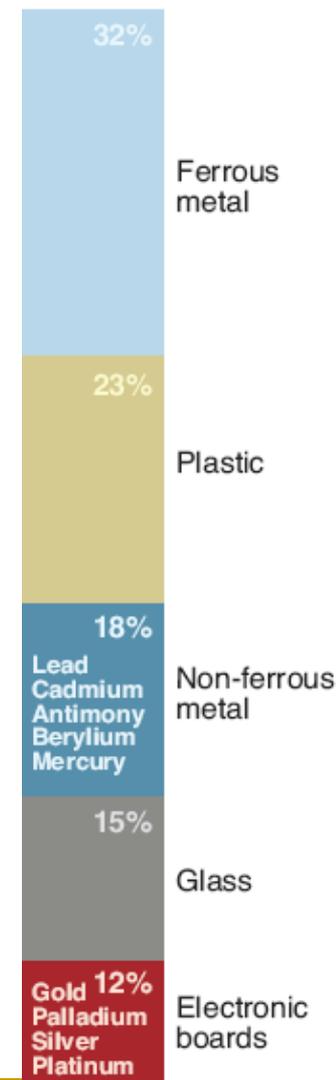
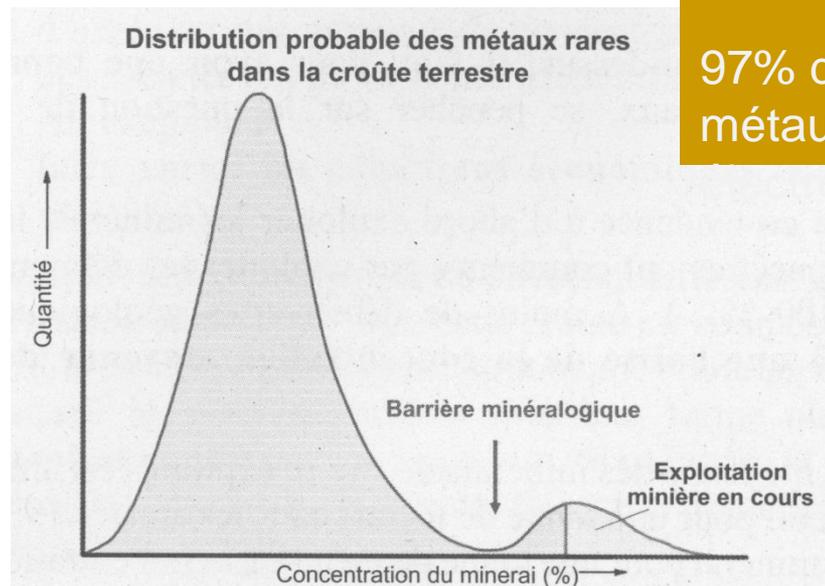
(3) « Critical raw materials for the EU », 2010

# Les ressources : les métaux rares

What s in a computer

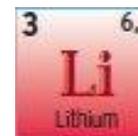
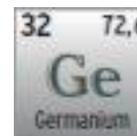
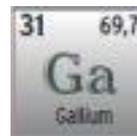
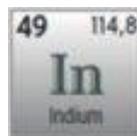
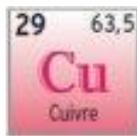
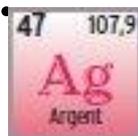
Recyclage :  
Dans le meilleur des cas (5 usines dans le monde)

97% de récupération de 17 métaux à partir des cartes



# Les ressources : accès critique !

- A l'épuisement géologique s'ajoute l'accès de certains matériaux utilisés dans les TIC jugé critique<sup>(1)</sup> :



TIC	Usage	Contacts	Câbles	Ecrans	Leds	Wifi	Batteries
% Prod.mond.		21%	42%	>50%	40%	15%	20%
Réserves (ans)		15-30	40	10-15	10-15		Grandes
Recyclage		>50%	>50%	<1%	<1%	<1%	<1%
Substitution		Faible	Faible	Mat. Org.	Faible	Si	Ni,Zn,Cd,Pb
1 <sup>er</sup> producteur		Pérou	Chili	Chine	Chine	Chine	Chili
% Prod. mondiale		18%	34%	52%	N/D	67%	35%

(1) « Impacts écologiques des TIC », EcoInfo, 2012

# Les ressources : le recyclage

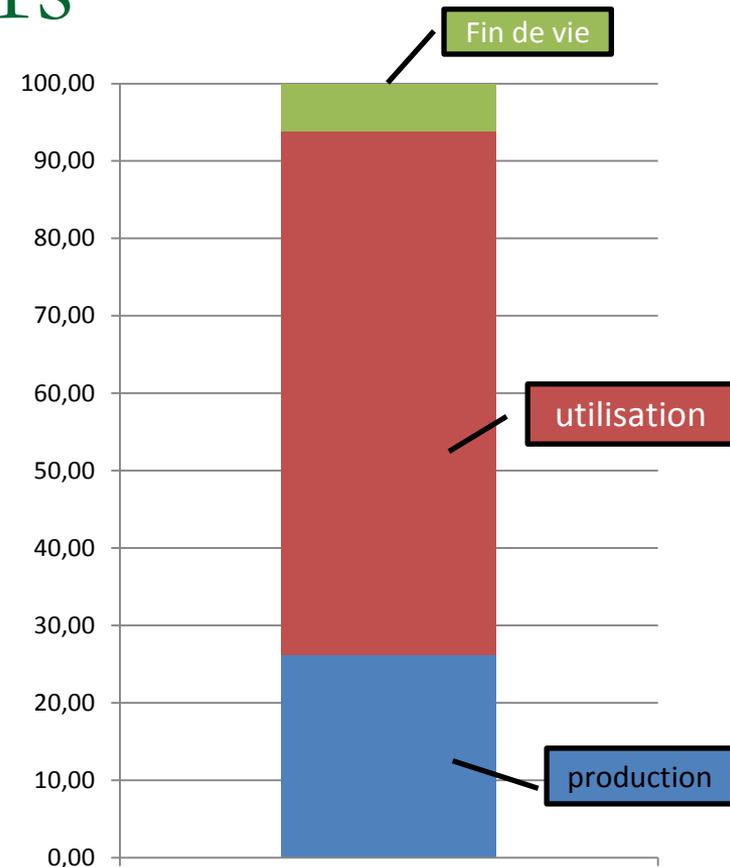
- DEEE : entre 20 et 50 MT (mondial)
  - Proportion des DEEE non recyclés : 75 %
  - Augmentation DEEE : 3 à 5% par an ou 200 à 400% !
  - Part de l'électronique GP et de l'informatique : 18% (Fr. , ADEME)
  - Prévision de +40% pour 2020
- A l'intérieur d'un ancien PC, on trouve 2 à 4 kg de plomb + 1,5 kilos de cuivre + 7 kilos de plastique + 50 g d'arsenic + baryum, béryllium, cadmium+ mercure etc.
- De plus en plus difficile et coûteux par les alliages et la miniaturisation (on ne sait pas recycler un écran LCD aujourd'hui)
- Ce n'est qu'un moyen de repousser l'échéance.



# Les GES et le réchauffement climatique

## Les serveurs

- Rappel : réduire les GES par 4 d'ici 2050 ...
- En consommant moins pendant la phase d'usage, on réduit les GES !
- Les TICs comme levier : on pourrait réduire les GES générés par les autres secteurs.
- La phase d'utilisation des serveurs est la plus impactante sur les GES.

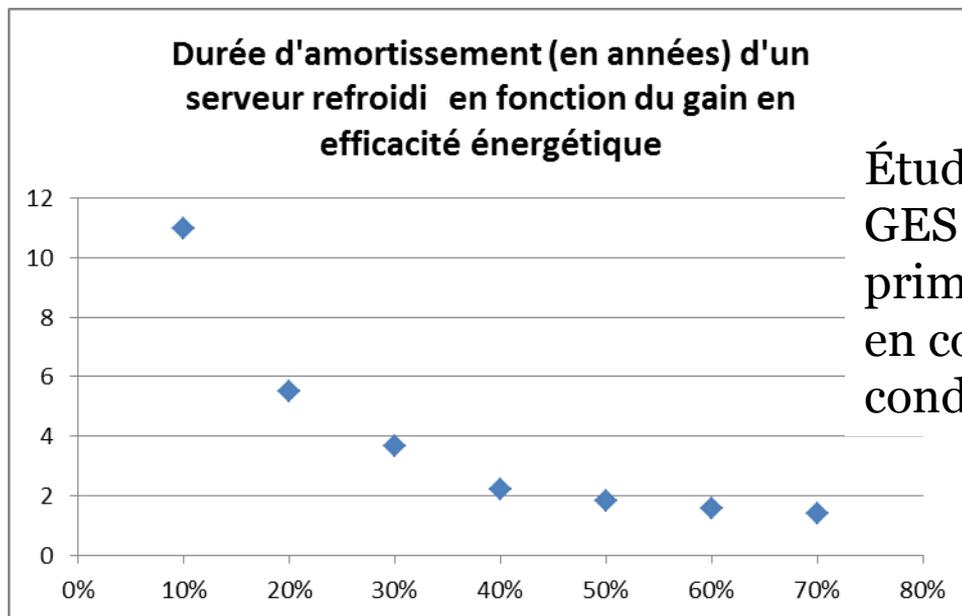


Global warming  
GES relatifs générés pendant les différentes phases du cycle de vie d'un serveur utilisé pendant 3 ans, en Europe.

# Les GES et le réchauffement climatique

## Les serveurs

### Remplacement d'un équipement par un autre plus efficace



Étude du cas d'un serveur récent. Les GES sont calculés en fonction de l'énergie primaire nécessaire au fonctionnement en continu du serveur, refroidi dans des conditions de PUE=1,4

# Les GES et le réchauffement climatique

## Les serveurs

### **Et la virtualisation dans tout ça ?**

Oui ! Si  $> 5$  machines virtuelles par serveur

Mais ... alors ...

Le nombre de serveurs vendus devrait s'effondrer !

Et pourtant ....

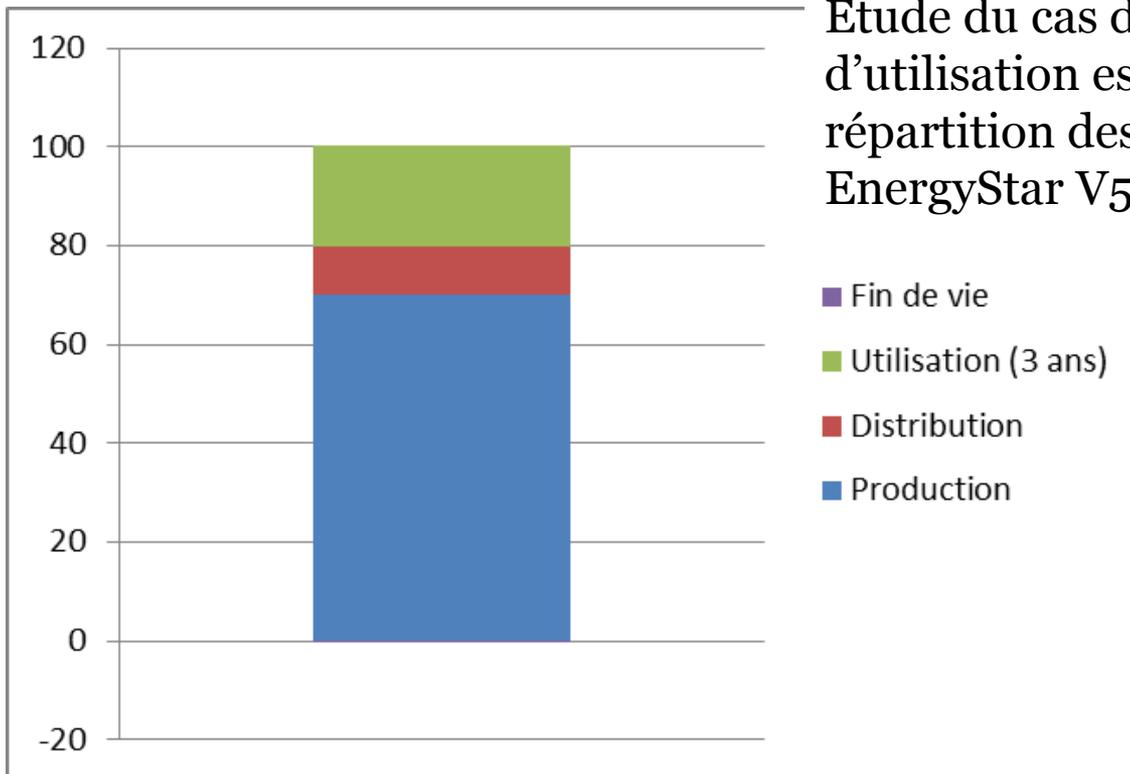
Progression du marché mondial :

- en 2011 (en unité) : +7,5 %
- en 2012 (en unité) : +1,5 %

# Les GES et le réchauffement climatique

## Les ordinateurs portables

Étude du cas d'un portable récent. La phase d'utilisation est ici de 3 années, selon une répartition des temps de veille ...  
EnergyStar V5.



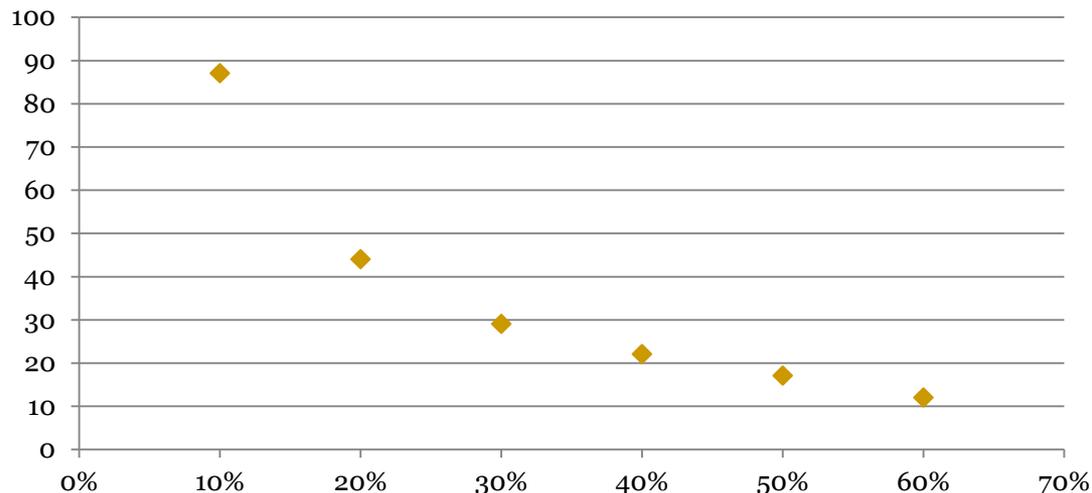
D'après les données de "Timely replacement of a notebook under consideration of environmental aspects" (2012) S.Prakash, R. Liu (Öko-Institut e.V. – Institute for Applied Ecology, Freiburg, Germany), K.Schischke, L.Stobbe (Fraunhofer IZM, Berlin, Germany)

# Les GES et le réchauffement climatique

## Les ordinateurs portables

### Remplacement d'un équipement par un autre plus efficace

**Durée d'amortissement (en années) d'un portable en fonction du gain en efficacité énergétique**

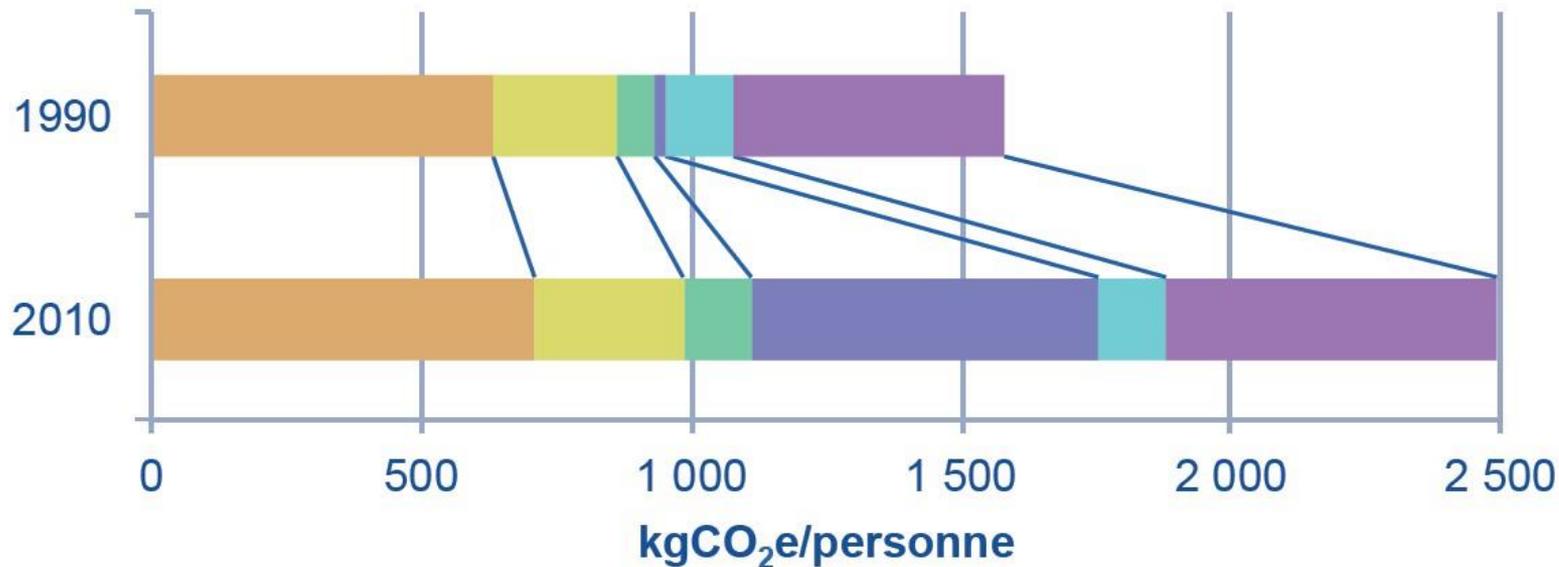


“Timely replacement of a notebook under consideration of environmental aspects” (2012) S.Prakash, R. Liu (Öko-Institut e.V. – Institute for Applied Ecology, Freiburg, Germany), K.Schischke, L.Stobbe (Fraunhofer IZM, Berlin, Germany)

# Les GES et le réchauffement climatique

## Rôle des TIC

Les produits manufacturés : +60% des émissions par personne (entre 1990 et 2010)

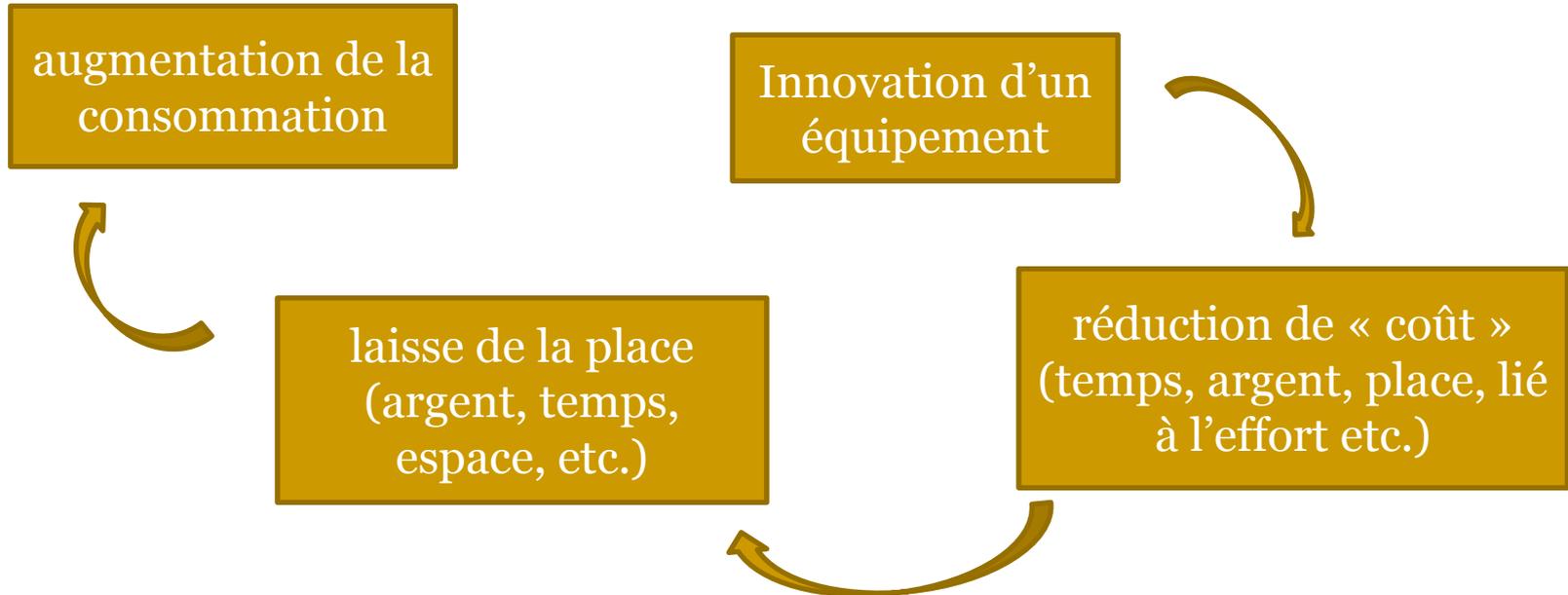
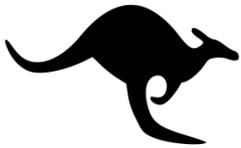


- Biens matériels courants
- Voitures (fabrication)
- Elecroménager
- Informatique, TV, HiFi
- Autres biens durables
- Fret marchandise et distribution

*Emissions de GES par personne liées aux biens de consommation (hors alimentation)*

• Grandjean A., Jancovici J.-M. (2011). Empreinte Carbone: en 20 ans, les Français ont pris du poids ! La Lettre du Carbone, 2

# Effet rebond



➔ les économies d'énergie ou de ressources initialement prévues par l'utilisation d'une nouvelle technologie sont partiellement ou complètement compensées suite à une adaptation du comportement de la société.

Source : wikipedia.fr

# Effet rebond

- **Effet revenu** : On réduit l'intensité en énergie d'un service  
=> son coût baisse  
=> l'économie ainsi réalisée permet de consommer davantage de ce même service.
- **Effet confort** : Le consommateur estime avoir atteint un niveau satisfaisant de consommation du service dont le prix a baissé  
=> il dépense autrement l'argent économisé  
=> augmente les flux de matières et la dispersion des ressources dans la société.

# Effet rebond

## ■ Effet temps :

- ❑ Transport : des technologies permettent de réduire les temps de trajet  
=> elles favorisent les transports rapides et les déplacements individuels au détriment des déplacements collectifs  
=> embouteillages sur les routes, allongement des files d'attente dans les aéroports, etc.
- ❑ Internet : profusion d'informations à portée de clic  
=> on consacre davantage d'heures à en lire.

# Effet rebond

- Les TIC nous font gagner du temps... mais le nombre d'heures passé à les utiliser augmente ! (comme pour les voitures coincées dans les embouteillages : on croule sous les mails...).
- Commerce en ligne : on gagne du temps => plus facile d'acheter ?
- Diffusion des logiciels ERP => fort accroissement de la productivité => accroissement du nombre de tâches réalisables par personne.

# Effet rebond

- Optimisation des serveurs => le Go stocké devient moins cher (& e.g. on peut faire du cloud !)
- Optimisation des logiciels : on consomme moins pour faire tourner les OS => on peut les muscler à merci !
- Effet volume : les écrans plats prennent moins de place => on peut en mettre de partout
- Internet et le papier : les octets se substituent-ils aux atomes pour la transmission d'information ? La consommation de papier continue d'augmenter de 2%/an
- Virtualisation : les machines virtuelles consomment moins, on peut les multiplier à merci .. Mais il faut redonder les serveurs physiques

---

# La pollution : l'A.C.V.

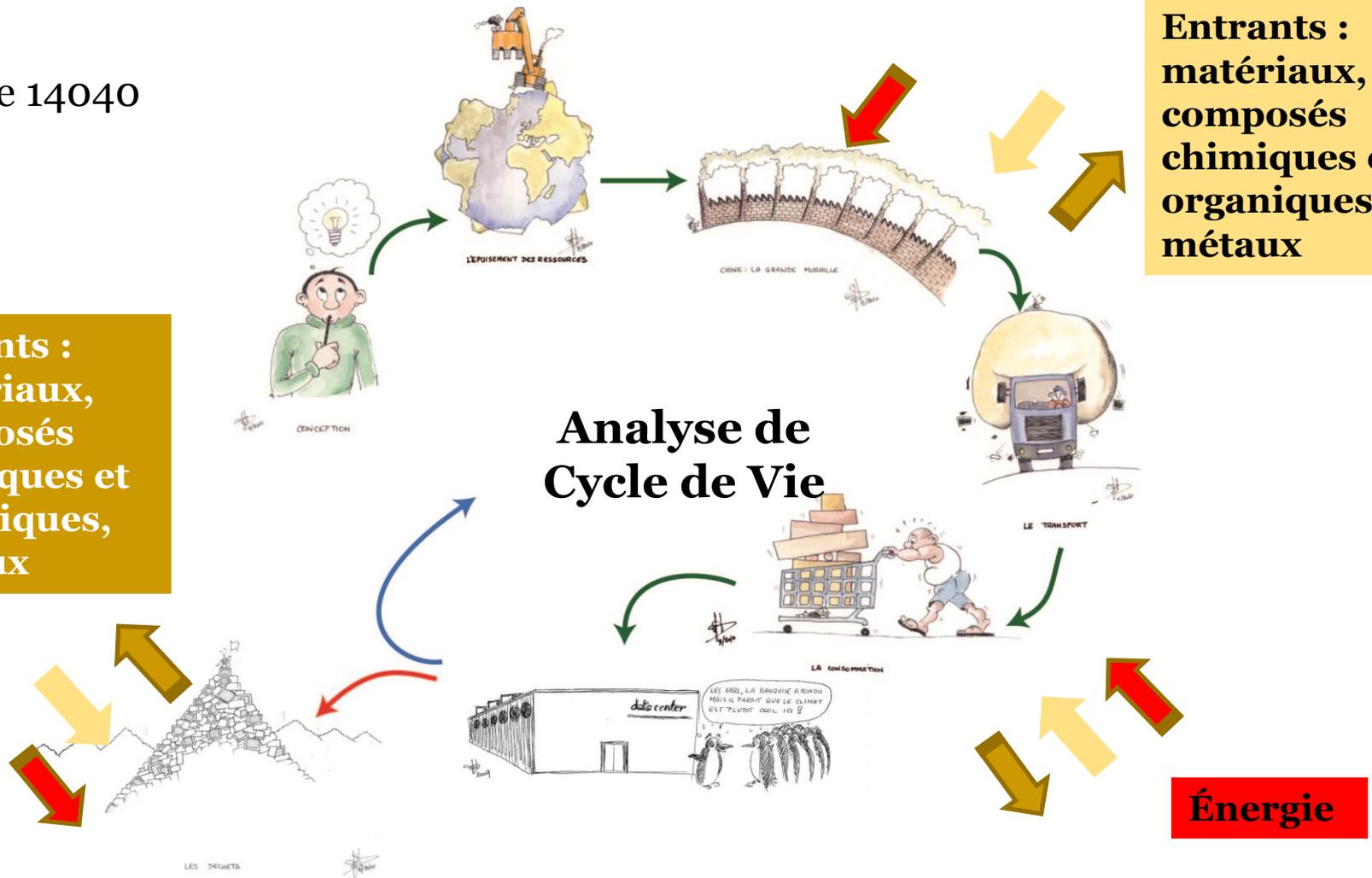
- Pour mesurer les effets sur le réchauffement climatique, on a utilisé le BILAN CARBONE.
- Pour mesurer la pollution, on utilise l'ANALYSE de CYCLE de VIE.

# La pollution : l'A.C.V.

Norme 14040

**Sortants :**  
matériaux,  
composés  
chimiques et  
organiques,  
métaux

**Entrants :**  
matériaux,  
composés  
chimiques et  
organiques,  
métaux

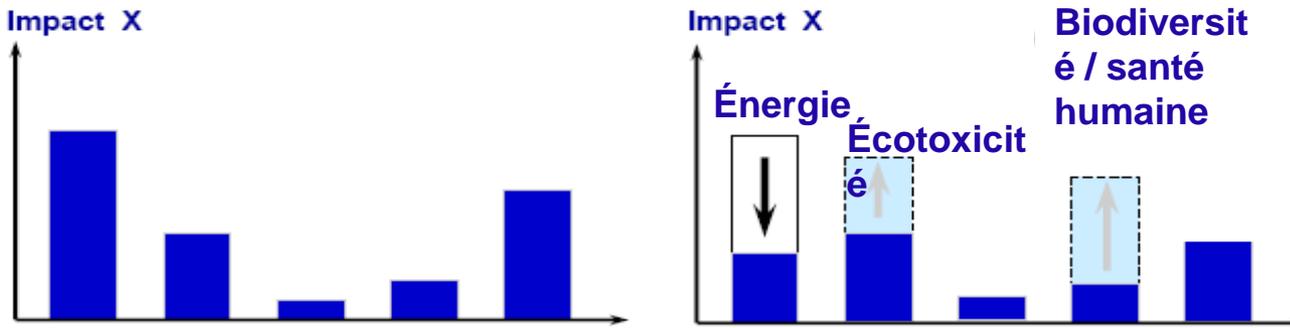


# La pollution : l'A.C.V.

## Dans quels buts ?

Analyse multicritère sur toutes les phases du cycle de vie d'un produit ou d'un service.

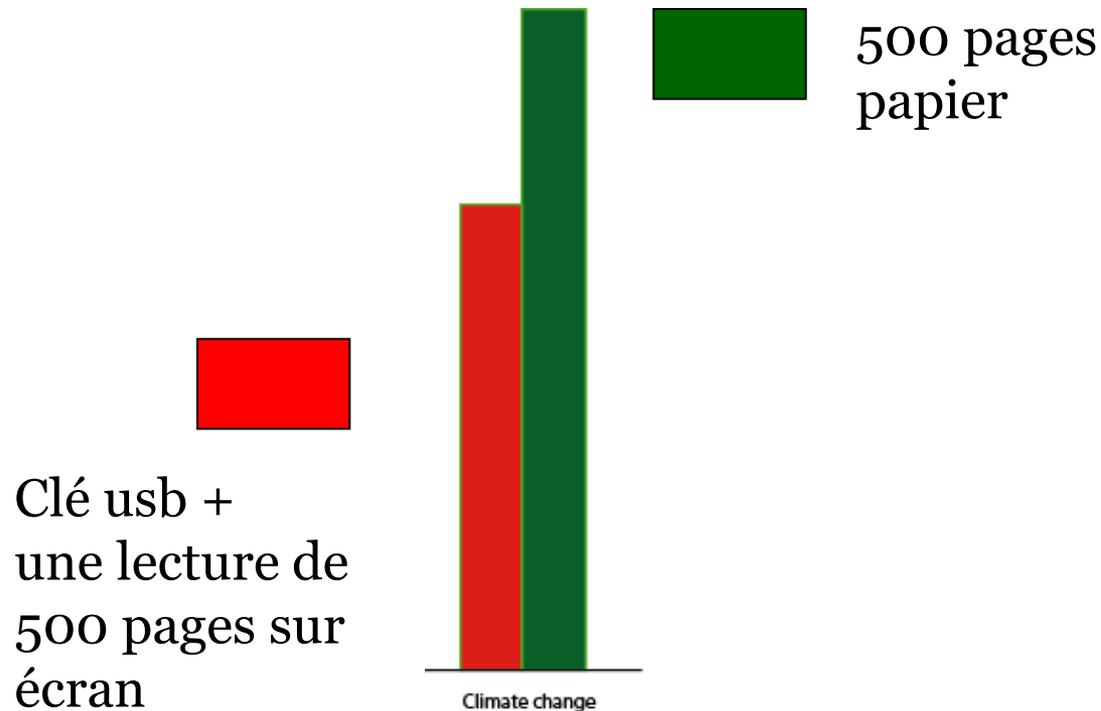
- ✓ Évaluer les impacts
- ✓ Écoconception
- ✓ Recommandations d'usage
- ✓ Comparer deux solutions
- ✓ Éviter les transferts de pollution



Liste des indicateurs	Unité
Épuisement des ressources non renouvelables 	kg Sb équivalent
Acidification atmosphérique 	kg SO <sub>2</sub> équivalent
Eutrophisation de l'eau 	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> équivalent
Destruction de la couche d'ozone 	kg CFC 11 équivalent
Toxicité Humaine 	kg 1,4 DB équivalent
Écotoxicité de l'eau douce 	kg 1,4 DB équivalent
Écotoxicité terrestre 	kg 1,4 DB équivalent
Oxydation Photochimique 	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> équivalent
Changement climatique 	kg CO <sub>2</sub> équivalent
Consommation d'énergie 	MJ eq

# La pollution : l'A.C.V.

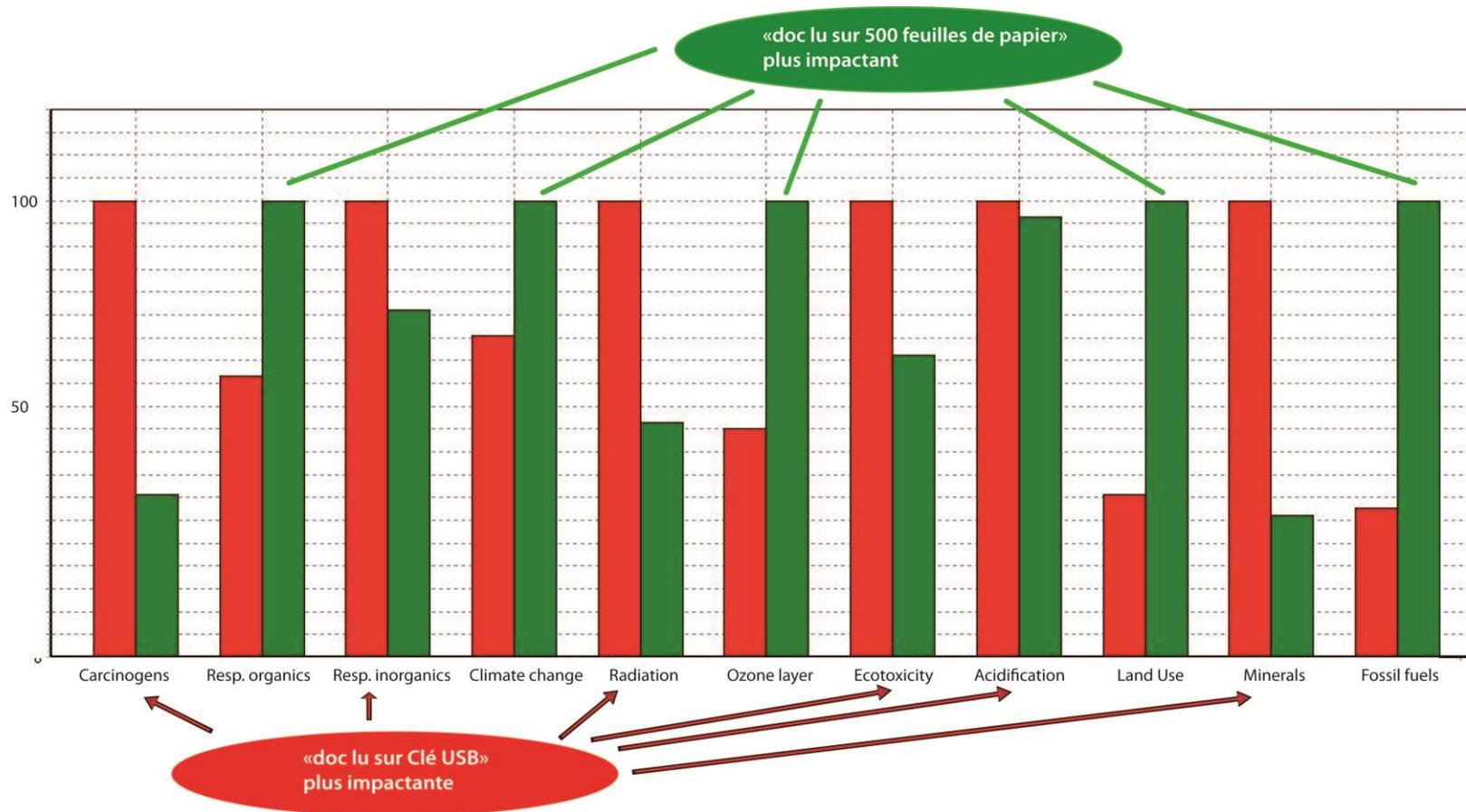
## Un exemple : la clé USB vs le papier



**Sur l'indicateur « CO<sub>2</sub> », pour 500 pages, la clé usb est plus avantageuse ...**

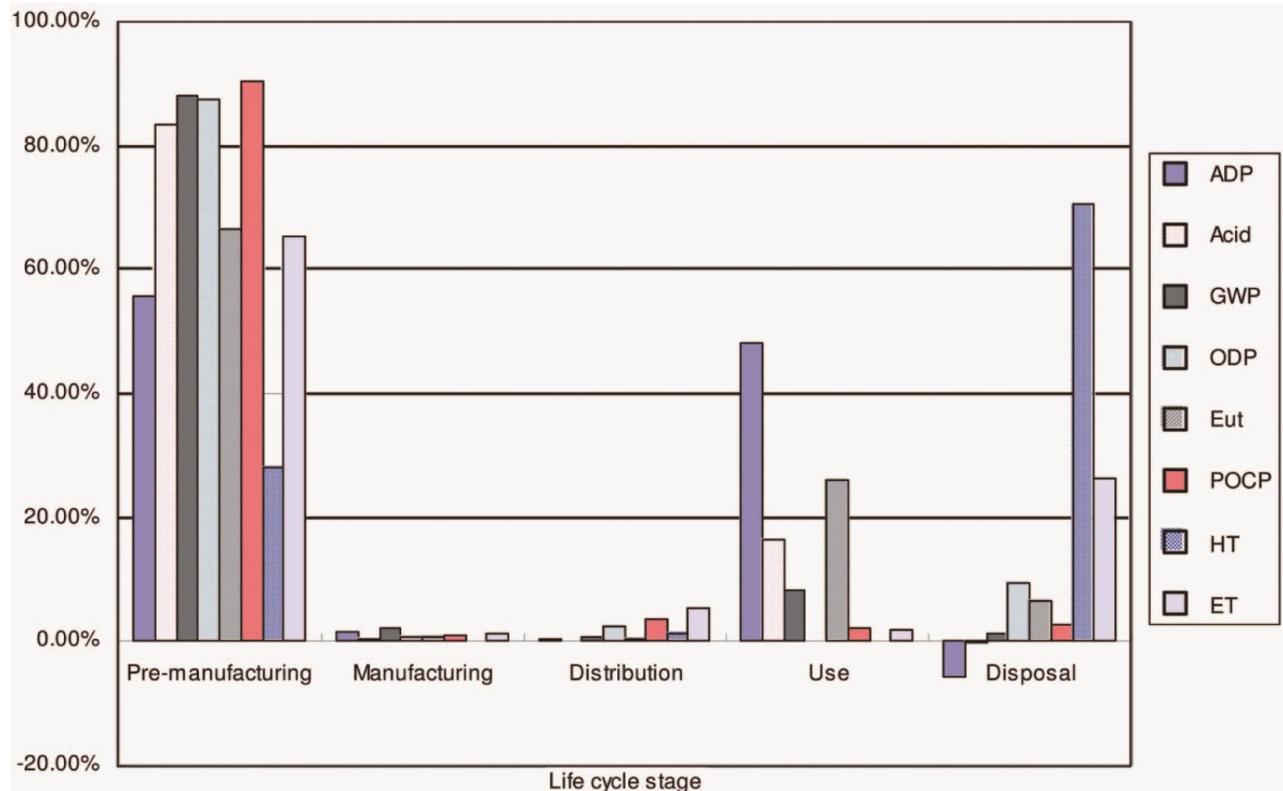
# La pollution : l'A.C.V.

## Un exemple : la clé USB vs le papier



# La pollution : l'A.C.V.

## Un exemple : la vie d'un PC coréen



Contribution des différentes phases du cycle de vie d'une UC de PC coréen à chaque catégorie d'impact, avec un taux de recyclage de 46% (source: Choi et al, 2006)

# La pollution : quand, où, quoi ?

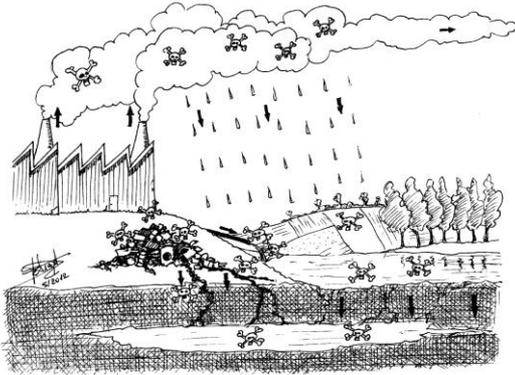


- Émission de gaz cancérigènes pendant la fabrication des circuits imprimés
- Émission de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> etc.
- Émission de dioxines, de composés bromés et brominés (à cause de la combustion d'équipements contenant des retardateurs de flamme)
- Poussières contenant du plomb, du cuivre, du nickel, du zinc à proximité des sites de recyclage

- Composés bromés et brominés, phtalates, furanes, dioxines, métaux lourds, arsenic... nombreuses substances bioaccumulables et toxiques
- Cadmium et plomb dans légumes, riz



# La pollution : quand, où, quoi ?

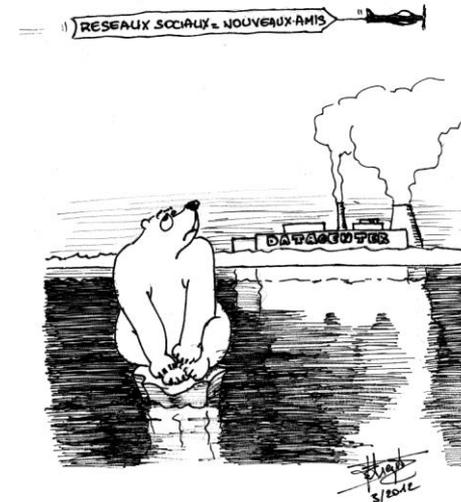


## Transformation des écosystèmes

- Réchauffement climatique
- Acidification des océans
- Eutrophisation des eaux
- Déplétion de la couche d'ozone
- désertification

## Impacts sur le monde du vivant

- Perte de biodiversité (contamination directe et effets de transformation des écosystèmes)
- Impacts sur la santé humaine (contamination directe, indirecte et effets secondaires)



# Impact économique : oui mais ...

## Cray 1A Supercomputer (1976)

5.5 tons

160 MIPS / 115 kW

MIPS = Million Instructions Per Second



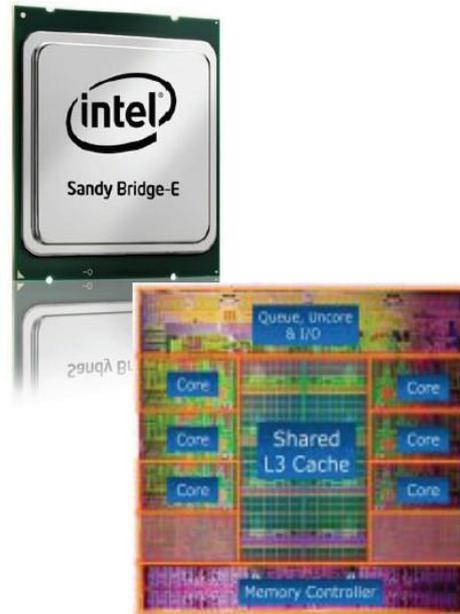
**\$ 7 900 000**

Picture source: Wikipedia

## Intel Core i7 3960X Microproc. (2012)

45 g

178 000 MIPS / 130 W



**\$ 990**

Picture source: Wikipedia

- La consommation par transistor diminue très très vite .. (5000 fois)
- Le prix par transistor (1971-2011) diminue 10 fois plus vite !
- → donc on en achète beaucoup plus !

# Impact économique : oui mais ...

De l'obsolescence programmée ...

- 1932 : **Bernard London** (courtier en immobilier) publie « Mettre fin à la crise par l'obsolescence programmée », chapitre du livre The New prosperity.
- 1952 : **Brooks Stevens** (designer industriel) diffuse l'expression OP dans son acception psychologique, naissant « du désir de posséder quelque chose un peu plus neuf, un peu mieux, un peu plus tôt que nécessaire ».

# Impact économique : oui mais ...

De l'obsolescence programmée ...

« (...) **l'obsolescence** en tant que processus **génère de la valeur**, pas de gaspillage. Elle conduit au renouvellement permanent des établissements industriels à des niveaux toujours plus élevés (...).

Nous avons appris comment se servir de l'obsolescence comme d'un prodigieux outil d'amélioration des conditions sociales (...). **Ce dont nous avons besoin c'est de plus d'obsolescence**, pas l'inverse ».

1956 : George Nelson (designer) dans la revue *Industrial Design*

# Impact économique : oui mais ...

De l'obsolescence programmée ...

« **Toute notre économie est basée sur l'obsolescence programmée (...).** Nous fabriquons de bons produits, nous poussons les gens à les acheter, et puis l'année suivante nous introduisons délibérément quelque chose qui va rendre ces produits démodés, dépassés, obsolètes. Nous faisons cela pour une raison évidente : **pour gagner de l'argent.** »



*1958 : Brooks Stevens dans la revue True: The Man's Magazine*

# Impact économique : oui mais ...

De l'obsolescence programmée ...

## Les raisons de cette obsolescence :

- Technologiques ou techniques :
  - des appareils de – en – robustes
  - produits pas réparables, de + en + sophistiqués
  - pièces détachées de – en – disponibles
  - nouveau programme ⇒ nouvelle machine
  - gravure plus fine ⇒ durée de vie + courte
  - l'argument « écologique »
  - La réparation coûte plus chère que l'achat d'un nouvel équipement
- Psychologiques ou esthétiques :
  - L'effet de mode
  - L'attrait pour le nouveau

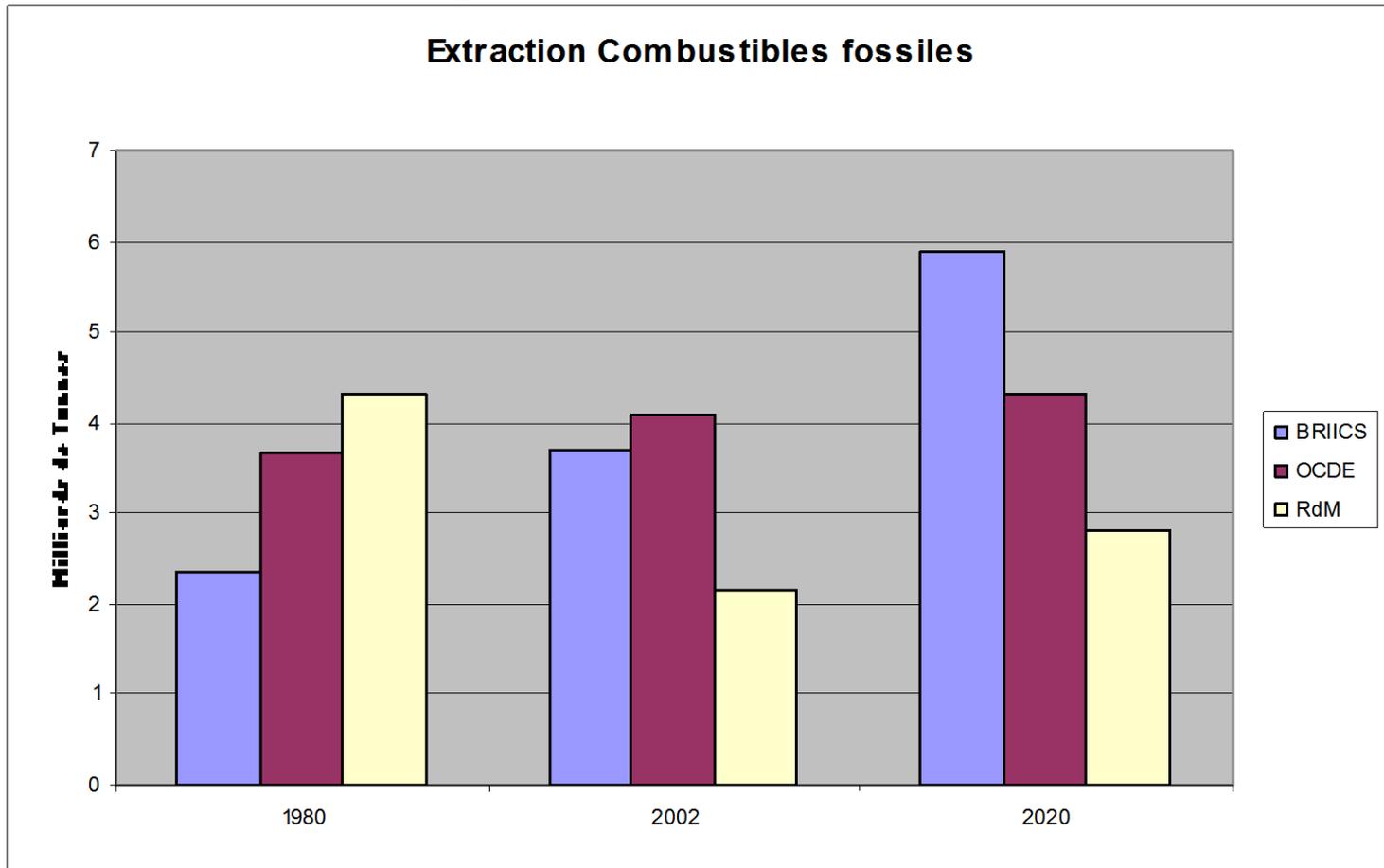
# Impact économique : oui mais ...

... à l'obsolescence systémique

- **Obsolescence systémique :**
  - Des acteurs nombreux dont les productions sont interdépendantes dans les processus de fabrication et surtout d'utilisation : couple matériel/logiciel
  - Responsabilité partagée jusqu'aux usagers  
➔ personne n'est responsable ...

# Et l'homme au milieu de tout ça ?

## Les guerres économiques et militaires

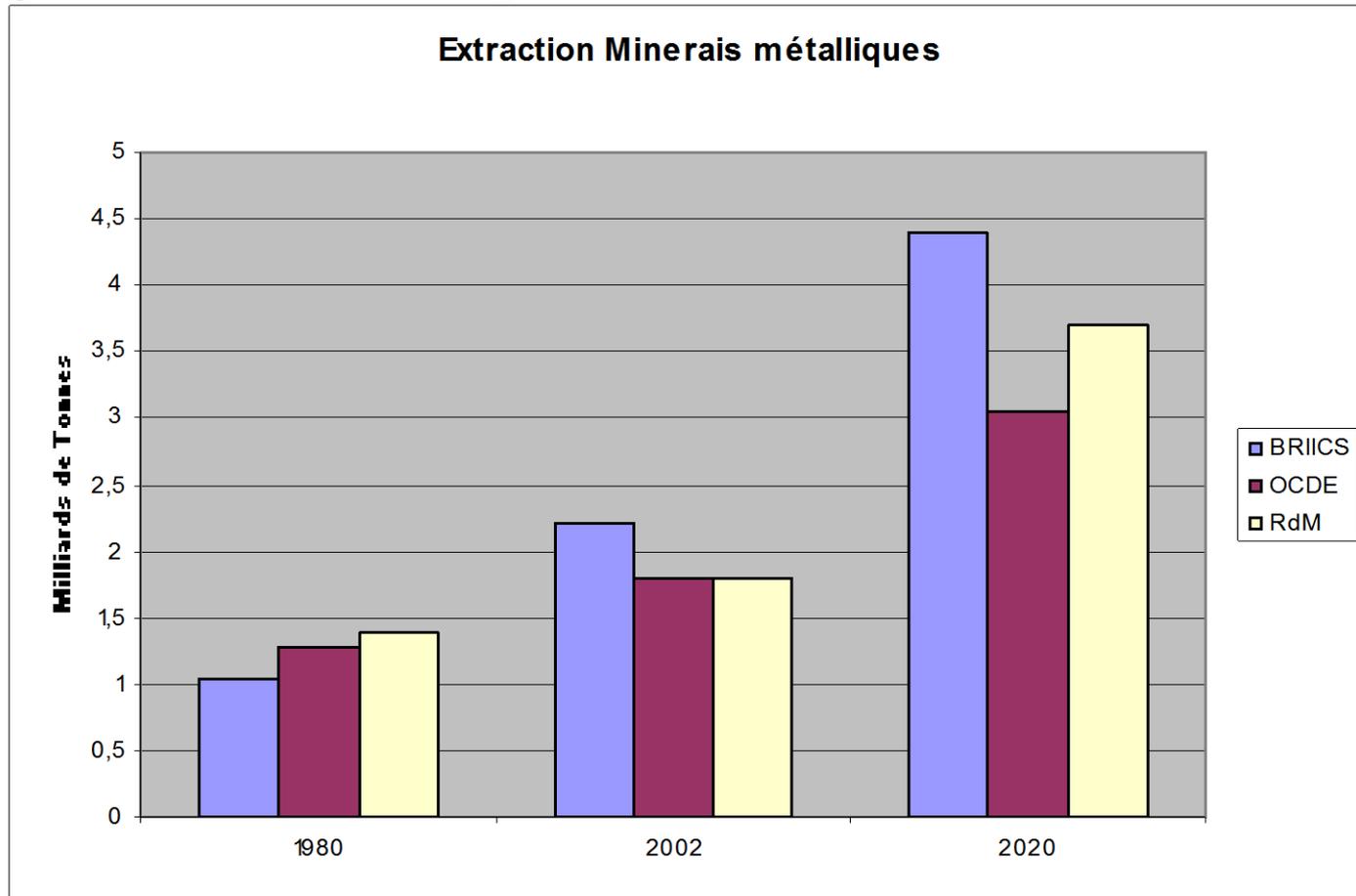


Source : Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030 (OCDE 2008)

BRICS = Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud

# Et l'homme au milieu de tout ça ?

## Les guerres économiques et militaires



Source : Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030 (OCDE 2008)

BRICS = Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud

# Et l'homme au milieu de tout ça ?

## Les conditions de travail

- Les équipements électroniques sont essentiellement produits en Asie
- Les déchets se retrouvent dans les pays pauvres.
- Parce que la main d'œuvre coûte moins cher, que les réglementations sociales et environnementales sont moins strictes voire inexistantes.

# Et l'homme au milieu de tout ça ?

## Les conditions d'utilisation

- Permet-on l'accès à ces TIC à tous ?
- Handicaps pas pris en compte
- Prix à payer pour commencer/continuer à accéder aux TIC
- Complexité croissante des fonctionnalités

---

# Peut-on améliorer la situation ?

- Des outils pour nous aider
- Des actions à mener
- Attention, l'effet rebond nous guette ...

# Peut-on améliorer la situation ?

Des outils pour nous aider

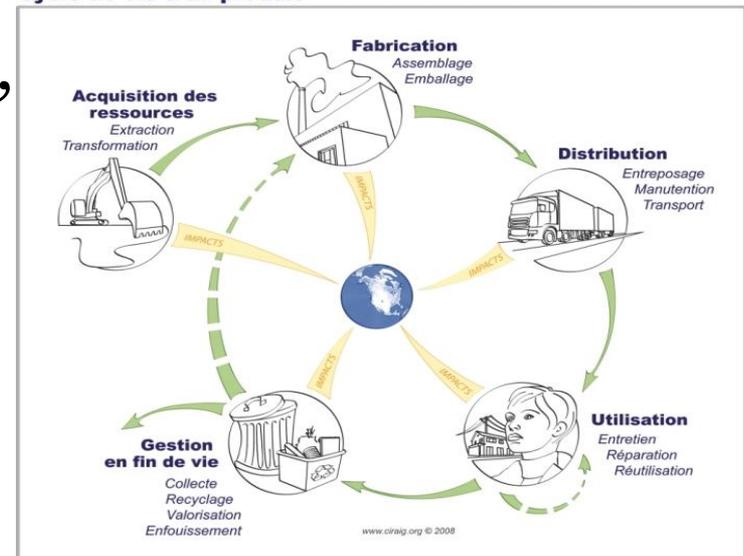
❑ Labels



❑ Législation (Bâle, Eco-taxe, RoHS, COMES, ...)

❑ A(S)CV

Cycle de vie d'un produit



# Peut on améliorer la situation ?

## Des actions à mener

- ❑ Prendre conscience
- ❑ Eco-conception
  - Penser DURABLE.
  - Changer ses habitudes de surconsommation.
  - Augmenter la durée de vie des équipements.
  - Faire pression sur les constructeurs pour une meilleure prise en compte environnementale.
  - Développer des filières de reconditionnement.
  - Économie de fonctionnalités.
- ❑ En tout cas, une réponse unique ne suffit pas, elle doit être GLOBALE.

# Peut-on améliorer la situation ?

Attention à l'effet rebond

- Bien évaluer les conséquences d'une décision à priori favorable :
  - Effets directs
  - Effets indirects
  - Effets rebond

# Conclusion

- Les TIC sont fondamentalement utiles pour l'environnement (compréhension, diminution de l'impact de l'homme, ...)
- Les TIC ne sont pas du tout virtuelles, elles ont un fort impact sur l'environnement.
- Seule une réponse GLOBALE peut apporter une solution.
- Plus d'informations : <http://www.ecoinfo.cnrs.fr>



# Merci

Quelle planète voulons nous laisser à nos enfants ?

Comment rendre premier l'homme et son humanité ?

La société de l'information échange des informations mais favorise-t-elle la communication et la construction de relations ?

