L'impact environnemental lié aux TICs

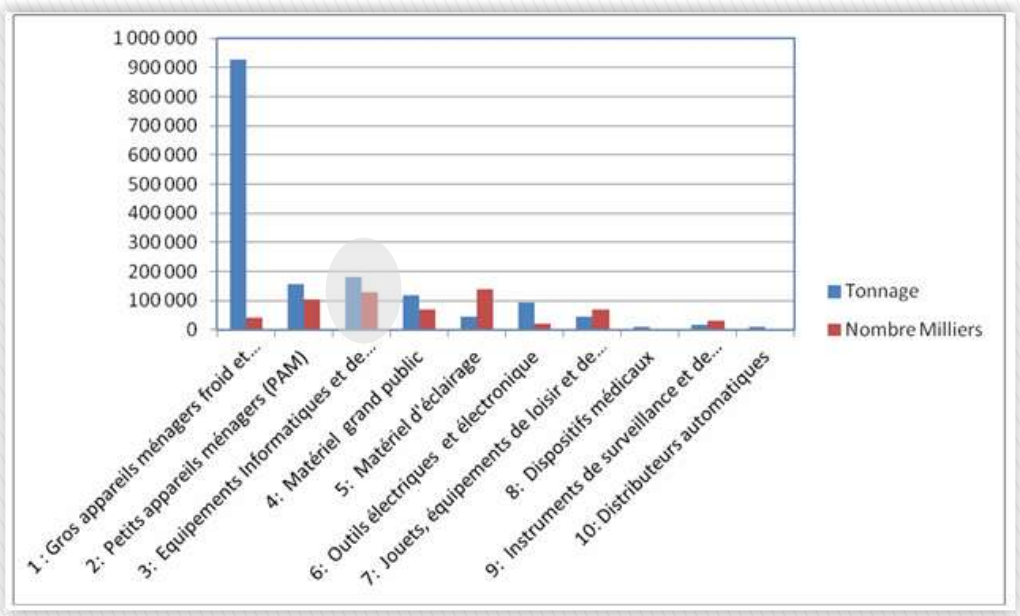
Françoise Berthoud
Francoise.Berthoud@grenoble.cnrs.fr

www.ecoinfo.cnrs.fr

Paris, 19 octobre 2016

BY NC ND

C’est quoi les TICs ?



Distribution des tonnages et du nombre (en milliers) de EEE ménagers et professionnels mis sur le marché en 2012 par catégories d’équipements (ADEME) .

EcoInfo

Type d'effet	TIC en tant que solution	TIC en tant que problème
Impacts de 1er ordre (directs : TIC elles-mêmes)	Utiliser directement pour mesurer / réduire / modéliser (+)	Cycle de vie des TIC : Production, Utilisation, Fin de vie (++)
Impacts de 2ème ordre (indirects : Applications des TIC à d'autres secteurs)	Effets d'optimisation (+) Effets de substitution (+)	Effets induits
Impacts de 3ème ordre (systémiques)	Profond changement structurel vers une économie dématérialisée (++)	Effets rebond (liés à un gain en consommation de ressources – énergie ou matériaux) • directs • indirects • Macroéconomiques

Essayons de tirer quelques fils …

LIVRE

CO2 : Une recherche Google égale une tasse de thé

Par Jean-Christophe Féraud — 3 novembre 2013 à 18:06

EcoInfo

Les acteurs : la presse

Source : digitalbusinessnews

	SMART2020 (publié en 2008)	SMARTer2020 (publié en 2012)	SMARTer2030 (publié en 2015)
Impacts directs - (Gt CO_2 éq.)	+1,43	+1,27	+1,25
Impacts indirects + (Gt CO_2 éq.)	-7,80	-9,10	-12,08
Ratio Impacts indirects / impacts directs	x5,5	x7,2	x9,7

France Très Haut Débit
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

EcoInfo

Les acteurs : Les politiques

Le smartphone, emblématique !

1 – Le consommateur souhaite acheter

- Obsolescence matérielle
- Obsolescence fonctionnelle
- Obsolescence psychologique
- Obsolescence économique

Programmée

Acceptée

Obligatoire

EcoInfo

Les acteurs : les consommateurs

Le smartphone, emblématique !

2 - Le vendeur vend

Iphone7 : 16 sept 2016

- Obsolescence matérielle
- Obsolescence fonctionnelle
- Obsolescence psychologique
- Obsolescence économique

Programmée

Acceptée

Obligatoire

Les acteurs : les distributeurs

Le smartphone, emblématique !

3 – Le producteur « éco »- conçoit

Législation !

Attente client :
Plus fin, plus léger, robuste, plus d'autonomie, plus „beau", moins cher, certifié

Environnement

Prix

- Plus fin, léger, robuste
  ➔ coût plus élevé
- Plus d'autonomie ➔ coût de développement
- Certifié ➔ coût plus élevé

- Plus fin, plus léger = plus intégré
➔ facilité de réparation / recyclage / démantellement ?
- Robuste = nouveaux matériaux
➔ dangereux ? recyclable? (ex: sans PVC ?)
- Plus d'autonomie = nouveaux concepts de batterie
➔ possibilités de remplacement ?
- Certifications = atteignables ? (ex : produits chimiques / recyclage local)

Programmée

Acceptée

Obligatoire

Source : Lenovo / Magnus Piotrowski

EcoInfo

Les acteurs : les producteurs

- Directive ROHS / REACH (Europe)
- Directive DEEE (Europe)
- Directive éco-conception
- Loi sur la consommation (France)

- Eco-label : Energy star, 80plus, EPEAT, BlueAngel, TCO, CoC etc.

EcoInfo

Les acteurs : Le législateur + le normalisateur

Les acteurs : la presse

Les acteurs : Les politiques

Les acteurs : les consommateurs

Les acteurs : les distributeurs

Les acteurs : les producteurs

Les acteurs : Le législateur + le normalisateur

EcoInfo

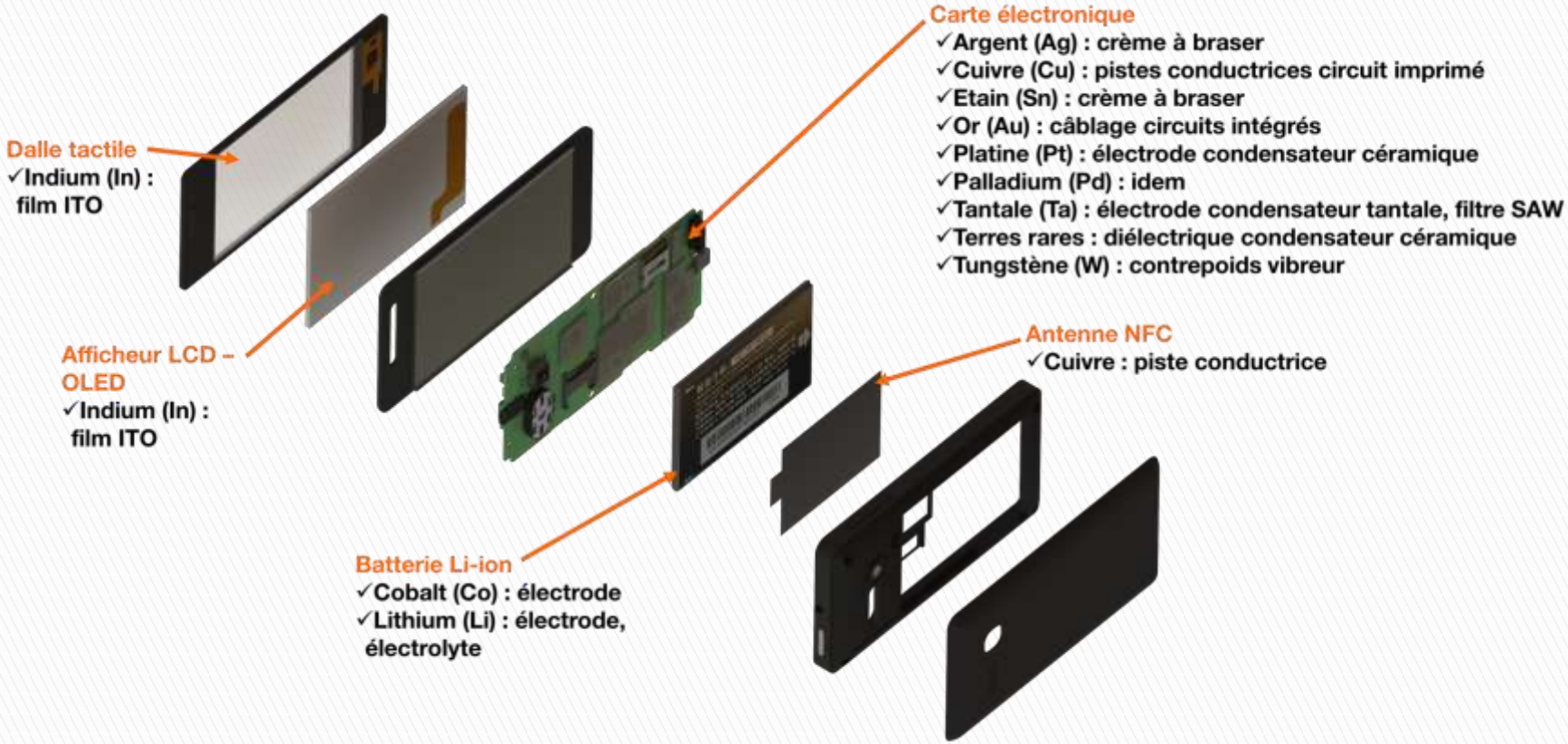
Les impacts directs négatifs

Ressources métalliques

Gaz à Effet de Serre

Pollution

Identification des principaux éléments dans les composants

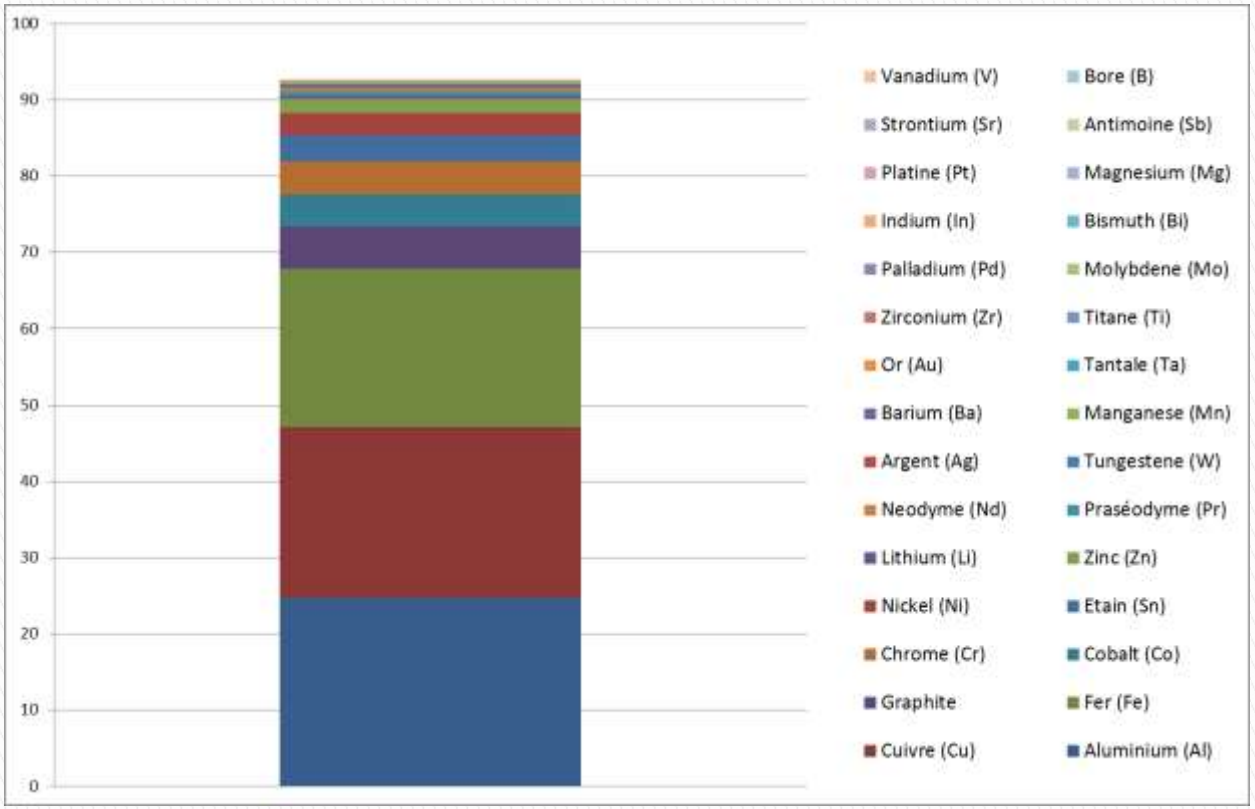


Source : orange

Ressources métalliques

Composition & Poids des éléments présents dans un smartphone

Eléments	Poids en g
Aluminium (Al)	24,76
Cuivre (Cu)	22,39
Fer (Fe)	20,72
Graphite	5,49
Cobalt (Co)	4,30
Chrome (Cr)	4,28
Etain (Sn)	3,41
Nickel (Ni)	2,92
Zinc (Zn)	1,84
Lithium (Li)	0,54
Praséodyme (Pr)	0,51
Neodyme (Nd)	0,32
Tungestene (W)	0,31
Argent (Ag)	0,24
Manganese (Mn)	0,18
Barium (Ba)	0,10
Tantale (Ta)	0,07
Or (Au)	0,05
Titane (Ti)	0,04
Zirconium (Zr)	0,04
Molybdene (Mo)	0,03
Palladium (Pd)	0,03
Bismuth (Bi)	0,02
Indium (In)	0,01
Magnesium (Mg)	0,00
Platine (Pt)	0,00
Antimoine (Sb)	0,00
Strontium (Sr)	0,00
Bore (B)	0,00
Vanadium (V)	0,00



Source : orange

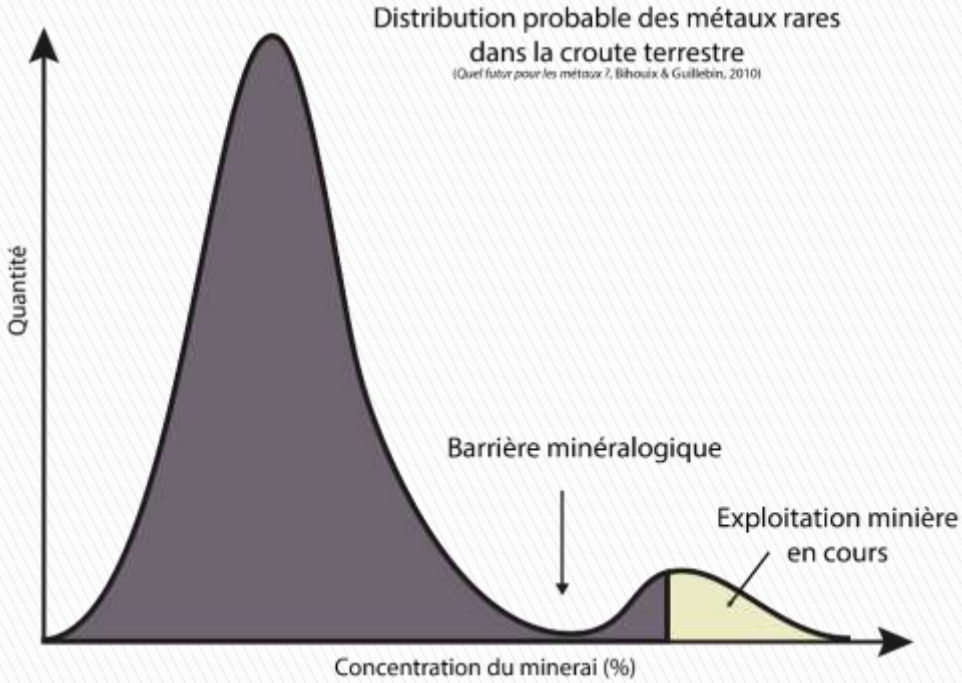
EcoInfo

Ressources métalliques

5g d'or / tonne de minerai, c'était le bon temps !

Congo : 5 millions de morts

http://www.arte.tv/fr/faits/3696128.html



EcoInfo

Selon différentes sources dont le ministère de l'Industrie, l'épuisement des « stocks » ou des « richesses exploitables » est envisageable dans un futur proche.
Pour les **métaux porteurs**, les estimations correspondent à **la durée de vie** avant épuisement des **réserves actuelles** pour la consommation actuelle ou avec accroissement fixé.

		Ag	Cu	In	Ga	Ge	Li	Ta	REE	Al
TIC	Usage	Contacts	Cables	Ecrans	Leds	Wifi, FO	Batteries	LCD, Cond	LCD, aimants	Transistor, élect, refr. CPU
TIC	% Prod	21%	42%	>50%	40%	15%	20%	66%	20%	
Réserves (ans)		15-30	40	10-15	10-15	10-15	Grandes	150	Grandes	50
Substitution		Faible	Faible	Mat Orga.	Faible	Si	Ni, Zn, Cd, Pb	Faible	Faible	Oui

Mais réserves augmentent avec la demande ! (cas du Cu)

D'après DREZET, 2012 et VIDAL, 2016

Un problème de ressources, pas juste d'énergie

Minerais de moins en moins concentrés

Extraction des matières premières requérant toujours plus d'énergie

Production d'énergie requérant toujours plus de matières premières

Energie toujours moins accessible

Source : Bihouix, 2015

Ressources métalliques

Gaz à Effet de Serre

(A) Global Warming Potential (kg CO_2-eq/kg)

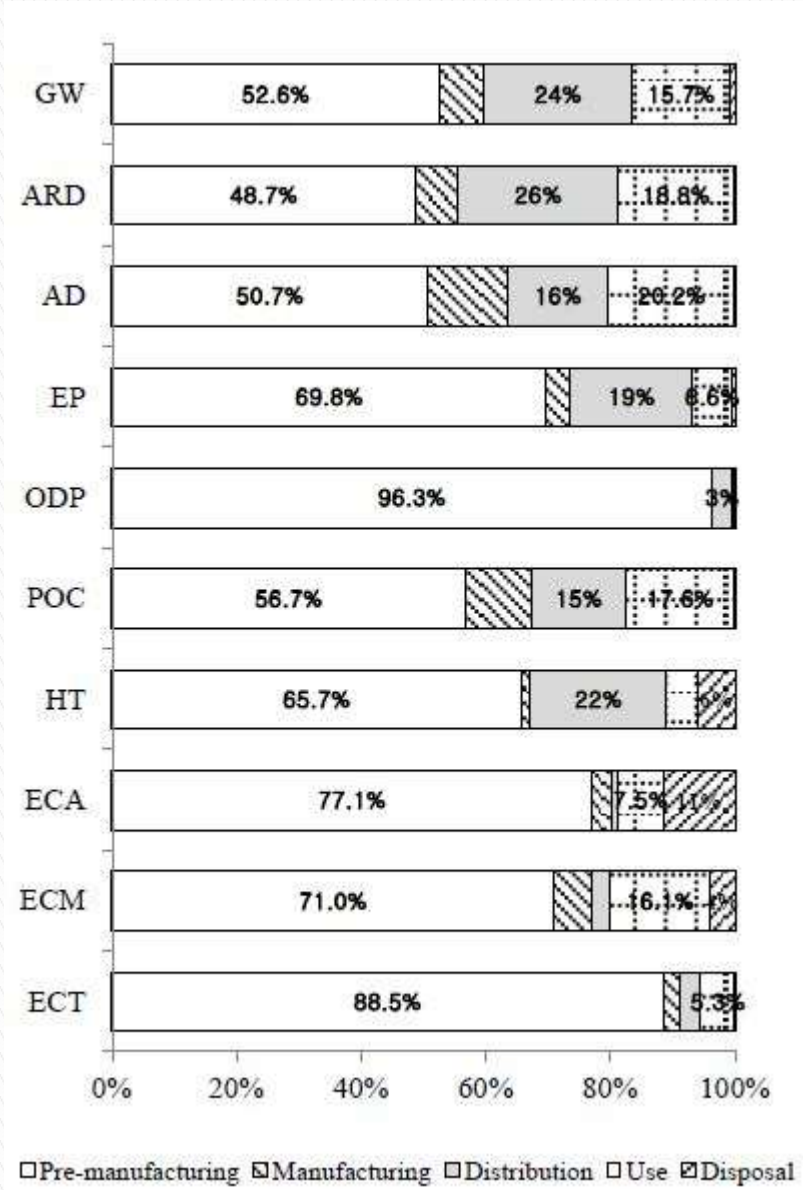
Lowest → Highest

H																	He 0.9
Li 7.1	Be 122											B 1.5	C	N	O	F	Ne
Na	Mg 5.4											Al 8.2	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca 1.0	Sc 5,710	Ti 8.1	V 33.1	Cr 2.4	Mn 1.0	Fe 1.5	Co 8.3	Ni 6.5	Cu 2.8	Zn 3.1	Ga 205	Ge 170	As 0.3	Se 3.6	Br	Kr
Rb	Sr 3.2	Y 15.1	Zr 1.1	Nb 12.5	Mo 5.7	Tc	Ru 2,110	Rh 35,100	Pd 3,880	Ag 196	Cd 3.0	In 102	Sn 17.1	Sb 12.9	Te 21.9	I	Xe
Cs	Ba 0.2	La-Lu*	Hf 131	Ta 260	W 12.6	Re 450	Os 4,560	Ir 8,860	Pt 12,500	Au 12,500	Hg 12.1	Tl 376	Pb 1.3	Bi 58.9	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									

*Group of Lanthanide	La 11.0	Ce 12.9	Pr 19.2	Nd 17.6	Pm	Sm 59.1	Eu 395	Gd 46.6	Tb 297	Dy 59.6	Ho 226	Er 48.7	Tm 649	Yb 125	Lu 896
**Group of Actinide	Ac	Th 74.9	Pa	U 90.7	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Sources :
- « Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis” Philip Nuss, Matthew J. Eckelman, 2014
- Orange : composition moyenne d’un smartphone (2016)

EcoInfo



Source : "Determination of Potential Environmental Impact of Smart Phones »

Youngchai & all (Samsung Electronics)

EGG+ 2016

Gaz à Effet de Serre

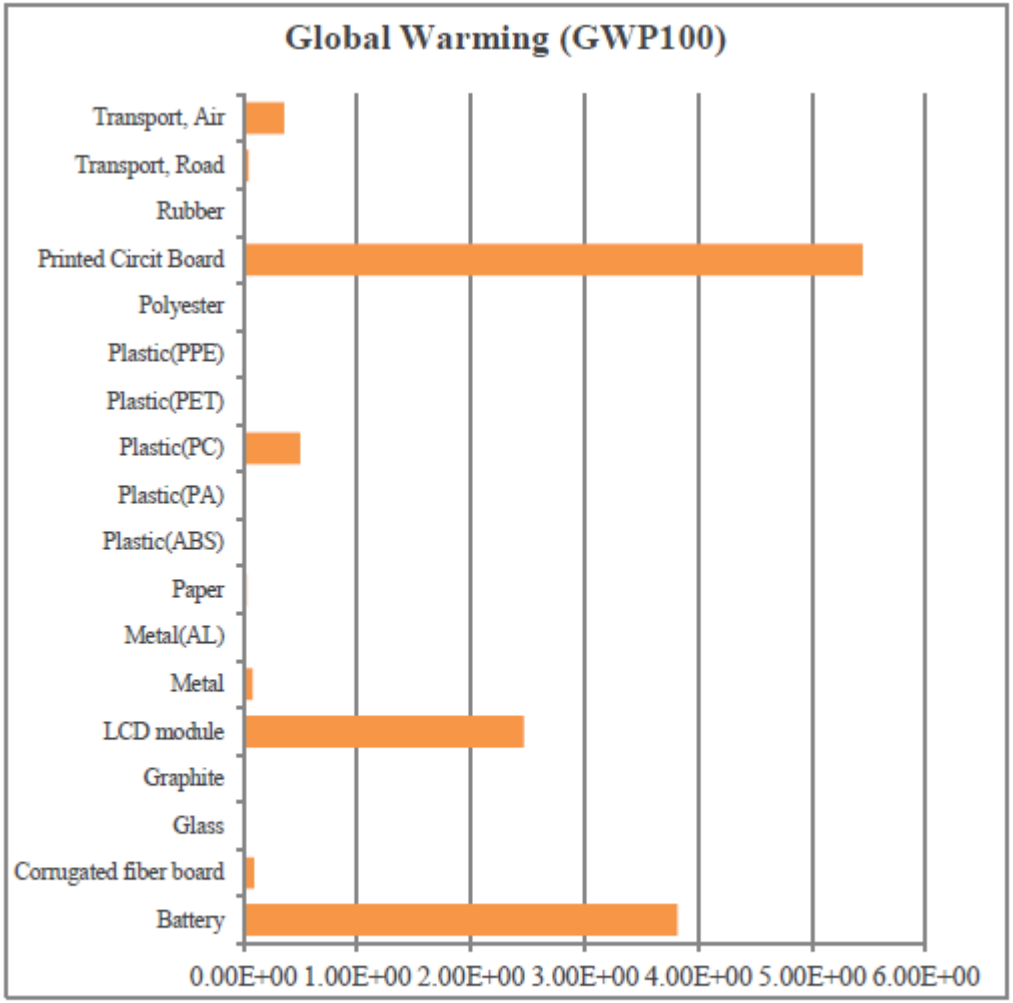


Figure 3: GWP of parts and components in pre-manufacturing phase

Source : "Determination of Potential Environmental Impact of Smart Phones »

Youngchai & all (Samsung Electronics) EGG+ 2016

EcoInfo

Usage

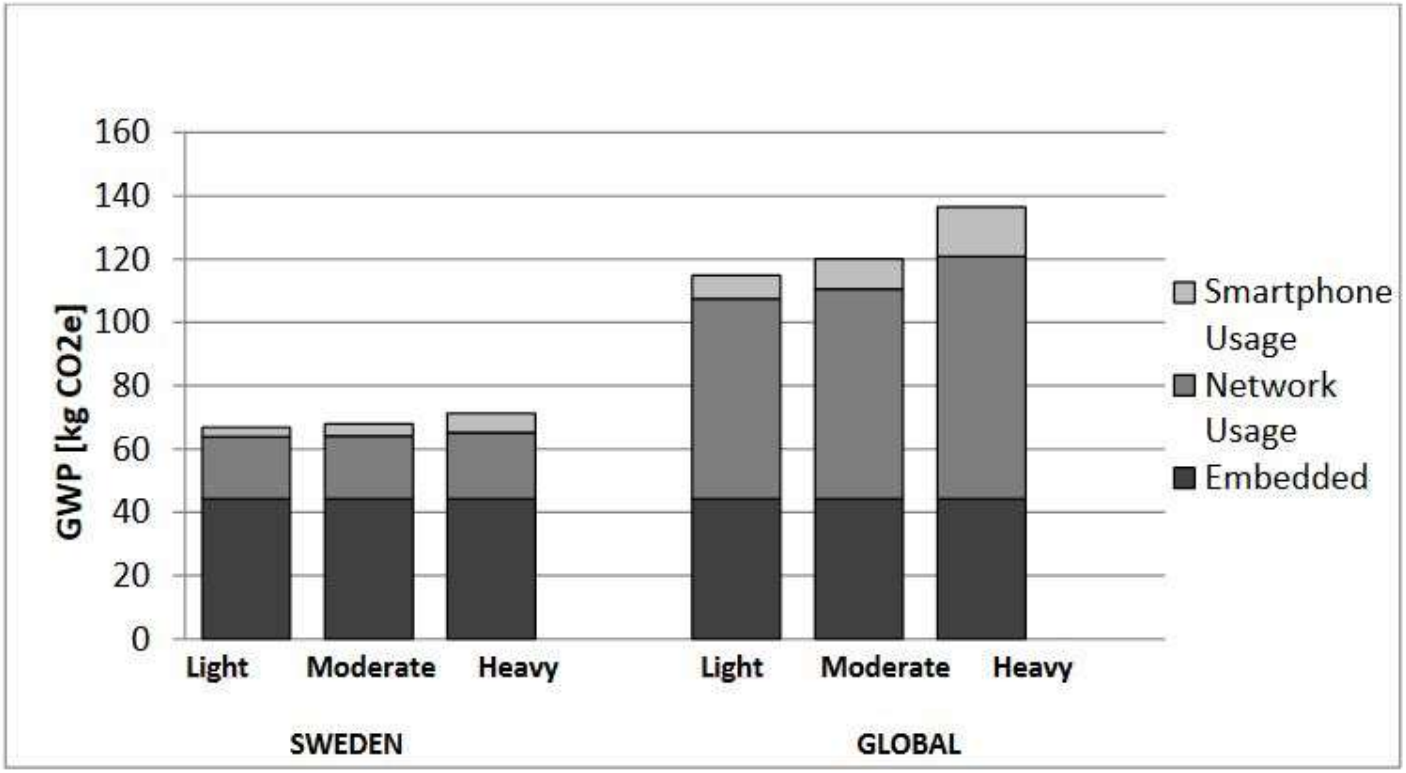


Figure 19 GWP for the three use stage scenarios for Swedish and Global electricity mix. The figure represents the results for use stage only for the total life span of the device which is 3 years.

Global Warming Potential of a Smartphone
Using Life Cycle Assessment Methodology
Elif Mine Ercan, 2015 (thesis)
Royal institute of technology

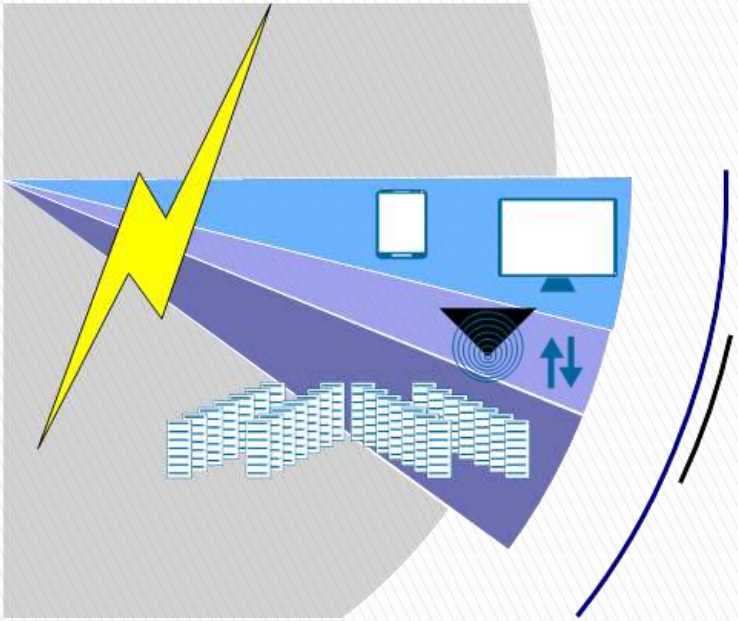
Gaz à Effet de Serre

Consommation des TIC

Les impacts sont directement fonction de la quantité d'énergie utilisée

- par les équipements terminaux,
- les équipements réseaux et
- les serveurs distants/infrastructure

Cela dépend aussi du mix énergétique
(+/- émetteur en GES)

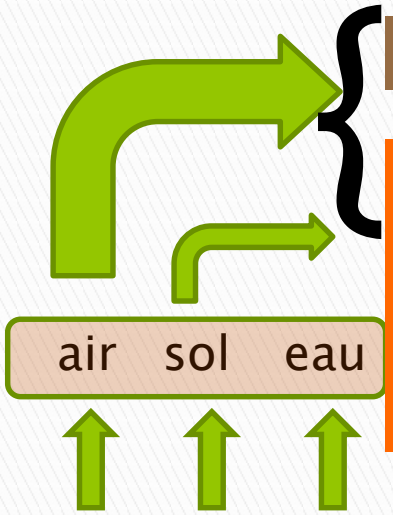


10 % de la production d'électricité mondiale est consommée par les TIC.

Croissance de 7% par an

EcoInfo

Pollution



- Effets sur la biosphère
- Cultures (riz, légumes, ..) et eau douce polluées !
- Perte de biodiversité
- Effets sur la santé de l'homme

- Polluants organiques persistants
- Métaux lourds (cuivre, nickel, zinc, étain et plomb pour les plus fréquents et, en moindres proportions l'arsenic, le gallium, le germanium, l'indium, le mercure, le sélénium et le thallium) : non dégradable et bio-accumulables
- Phtalates (issus des plastiques) : bio-accumulables, persistants
- Solvants , agents tensio-actifs (bioamplification), composés chimiques perfluorés, dioxine, furane
- Etc.

Micro-polluants & bioamplification

Bioamplification = processus par lequel la concentration tissulaire d'un composé dans un organisme à un niveau trophique donné excède celle du niveau trophique inférieur/ contigu (USEPA, 2010)

Chaine trophique hypothétique (simplifiée)

Repris de ANF micropolluants (Evian-les-Bains, 6 juin 2016) : Devenir de contaminants organiques persistants dans l'environnement: sources, distribution, bioaccumulation (M. Babut, Irstea)

Ressources métalliques

Gaz à Effet de Serre

Pollution

Les impacts directs négatifs

Que retenez-vous ?

Les espoirs

Ressources métalliques

Gaz à Effet de Serre

Pollution

Des consom'acteurs et des législateurs courageux

Autres pistes de solution

Eco-conception

Les mines urbaines

Impacts indirects positifs

Les bénéfices potentiels

- Télétravail
- Dématérialisation (doc numériques versus papiers)
- Téléconférences
- E-books / reader
- DVD versus chargement
- E-commerce
- Etc ..

Un espoir : les mines urbaines

Metal	Concentration minerai (2002)	Concentration cartes électroniques (2014)	Facteur min-max
Cuivre	0,5 – 3,0	12,0 – 29,0	4 – 250
Zing	1,7 – 6,4	0,1 – 2,7	
Etain	0,2 – 0,85	1,1 – 4,8	1,3 – 24
Plomb	0,3 – 7,5	1,3 – 3,9	
Fer	30 – 60	0,1 – 11,4	
Nickel	0,7 – 2,0	0,3 – 1,6	
Or	0,0005	0,0029 – 0,112	10 – 224
Argent	0,0005	0,01 – 0,52	20 –1040

Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation

Waldir A. Bizzo [1,*], Renata A. Figueiredo [1] and Valdelis F. de Andrade [1]

Materials, 2014

Eco-conception : exemple du Fairphone 2

- **Design pleinement contrôlé**
  - Compromis évalués par FP
- **Approche modulaire**
  - Fonctionnalité fixe
    - vs. Orthogonalité de Ara
  - Objectif premier: extension de vie
  - Mises-à-jour
    - Possibles dans certains cas (e.g. caméras)
    - Limitée sinon
  - Durée de vie des modules
    - Changements de composants, matériaux
  - Remplacement de modules sans/outils simples
    - Par l'utilisateur

Source : Fairphone

- Des progrès technologiques
  - Substitution
  - Ruptures technologiques
- Et si on comptait sur le marché ?
  - Rareté ➔Augmentation prix des métaux ➔ motivation au recyclage
  - Économie circulaire …

Des usagers qui :

- Utilisent « ifixit » pour réparer leurs équipements
- Achètent d'occasion
- Utilisent leurs équipements plus longtemps
- Achètent en fonction de critères de durabilité
- Etc …

Des législateurs qui :

- Ont le courage de ne pas céder aux lobbyistes
- Ont une vision globale
- Connaissent le sujet !

La réalité

Ressources métalliques

Gaz à Effet de Serre

Pollution

Des consom'acteurs et des législateurs courageux

Autres pistes de solution

Eco-conception

Les mines urbaines

Impacts indirects positifs

Type d'effet	TIC en tant que solution	TIC en tant que problème
Impacts de 1er ordre (directs : TIC elles-mêmes)	Utiliser directement pour mesurer / réduire / modéliser (+)	Cycle de vie des TIC : Production, Utilisation, Fin de vie
Impacts de 2ème ordre (indirects : Applications des TIC à d'autres secteurs)	Effets d'optimisation (+) Effets de substitution (+)	Effets induits
Impacts de 3ème ordre (systémiques)	Profond changement structurel vers une économie dématérialisée (++)	Effets rebond (liés à un gain en consommation de ressources – énergie ou matériaux) • directs • indirects • Macroéconomiques

La réalité des impacts potentiels positifs

- Études (commanditées par des consortium « privés ») – nb hypothèses, pas de prise en compte des ER ni indirects, pas de prise ou peu de prise en compte de la fabrication/recyclage des équipements, quelques éléments quantitatifs

- Très peu d'articles scientifiques – très peu d'éléments quantitatifs – recherche ciblée méthodologie

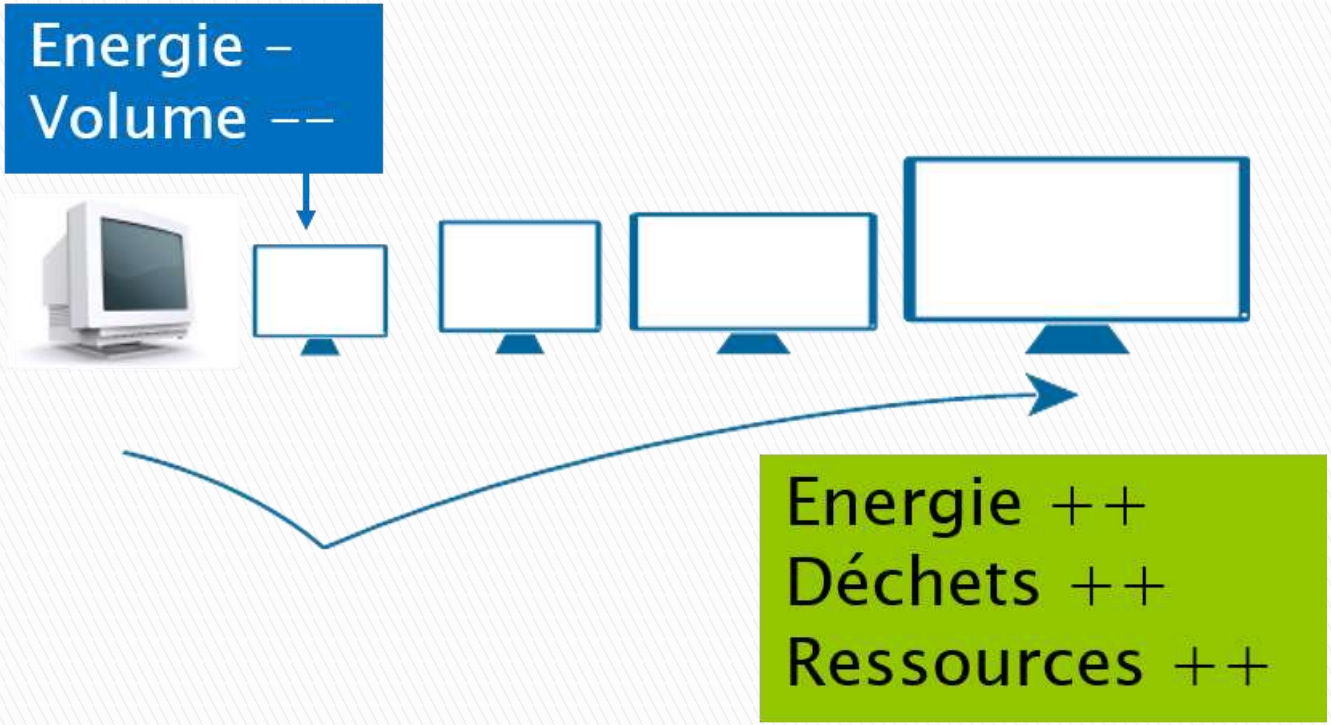
EcoInfo

La réalité des impacts potentiels positifs

- Performances + 40% ➔ nouveaux applicatifs
- Plus de prises jack ➔Nouveaux écouteurs bluetooth
- Résolution photos 12Mp ➔ plus d'espace sur le cloud
- Prise Lightning ➔ Adaptateur pour casque audio
- Etc ..

EcoInfo

La réalité des impacts potentiels positifs : effet rebonds



Disques SSD
Virtualisation
Etc.

En France,
environ 60 % non recyclés
dans filières règlementées
(données ADEME 2014)

La réalité du recyclage

- En France (étude récente de bio intelligence service, 2013), sur **17 à 24 kg**
  - 6,9 kg sont collectés dans des filières gérées par les éco-organismes
  - 1 kg dans les ordures ménagères
  - 1 kg dans les encombrants
  - 4,9 kg dans la ferraille broyée
  - ..

Enfouis ou incinérés

- Les autres ?
  - Une partie dans des filières non gérés par les éco-organismes (producteurs …)
  - Une partie dans les placards
  - Une partie exportée comme « équipements d'occasion »
  - Une partie volée dans les déchetteries

EcoInfo

Métaux : Taux de recyclage

- < 1%
- 1 – 10%
- 10 – 25%
- 25 – 50%
- > 50%

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo		44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi			
		**															
*Lanthanides (Terres rares)			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd		62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
**Actinides				90 Th		92 U											

EcoInfo

Source : UNEP / Recycling rates of metals 2011

Pertes dans processus de recyclage : exemple l'aluminium

Masse après le dèmantélement (kg)	Masse aprés le tri et le broyage (kg)	Masse aprés le recyclage (kg)
2,29E-01	2,12E-01	2,01E-01

7%

5%

Source : R. Horta, C. Charbuillet, F. Berthoud : « **What are the environmental benefits of increasing the WEEE treatment in France?** », soumis, EGG Berlin 2016

Recyclage « informel »

Valeur …

Connecteurs en or

- Images d'exemple =>

Description :

Les connecteurs en or sont des connecteurs adaptateurs avec les contacts / broches fortement dorés, dans la plupart du temps avec un boîtier plastique et issus de la technique militaire, de la technique aéronautique ou d'une très vieille électronique. Le titre d'or est beaucoup plus haut que pour les connecteurs d'ordinateur courants.

Prix d'achat au 29.09.2016

- **4 à 50 euros/kg selon le titre d'or**

Prix pour les plus grandes quantités sur demande / après l'examination des matériaux

Circuits imprimés pour les téléphones mobiles

- Images d'exemple =>

Description :

Les circuits imprimés pour les téléphones mobiles ou les platines issus des téléphones mobiles / ordiphones avec des contacts en or de haute qualité (p. ex. pour la carte SIM) et avec des composants contenant de métaux précieux.
Pas de circuits imprimés issus des téléphones courants sans-fil !

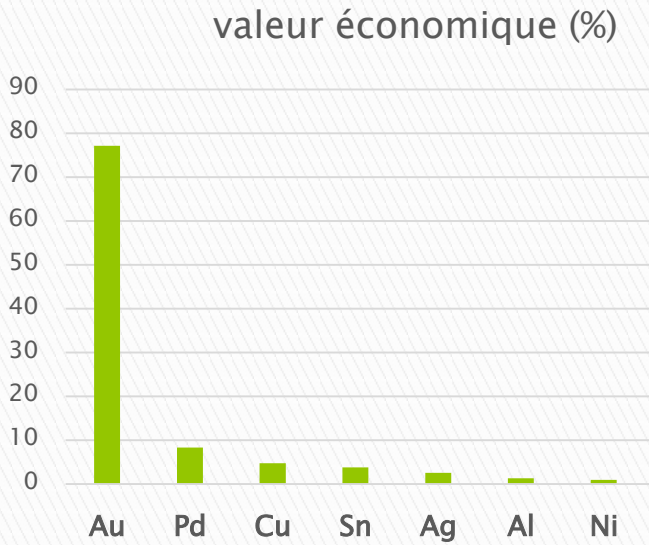
Prix d'achat au 29.09.2016

- **19,66 €/kg jusqu'à 100 kg**

Prix pour les plus grandes quantités sur demande / après l'examination des matériaux

Note : *Les prix ne sont valables que pour les platines de téléphones mobiles équipées, la valeur des circuits imprimés de téléphones mobiles sans composants est déterminée selon leur titre de métaux précieux.*

19,66€/kg de circuits imprimés pour tel mobiles



La réalité de l'éco-conception

Worldwide Smartphone Sl	
Platform	**2016 Shipment Volume***
Android	1,240.5
iOS	226.8
Windows Phone	11.2
Others	4.0
Total	**1,482.5**
Source: IDC Worldwide Quar	

L'industrie :

- Est « conforme » à la législation et parfois aux normes et label (qu'elle contribue à faire évoluer)
- Répond à la pression des « acheteurs » quand elle existe

= 4 millions unités / jour = 169k / heure

Fairphone 1 : 60k (2013-2015)
Fairphone 2 : 16k (0,5%)

EcoInfo

L'interdépendance entre métaux

La production de petits métaux est en grande partie dépendante de celle de métaux porteurs qui assurent la rentabilité de l'exploitation (gros volumes) [pas de demande des grands métaux .. Pas de sous produits]

Groupe → / ↓ Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo		44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi			
7			**															
	*Lanthanides (Terres rares)			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd		62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
	**Actinides				90 Th		92 U											

Grands métaux exploités

Sous-produits des grands métaux

Terres rares (exploitation commune)

Petits métaux exploités ou sous-produits de grands métaux

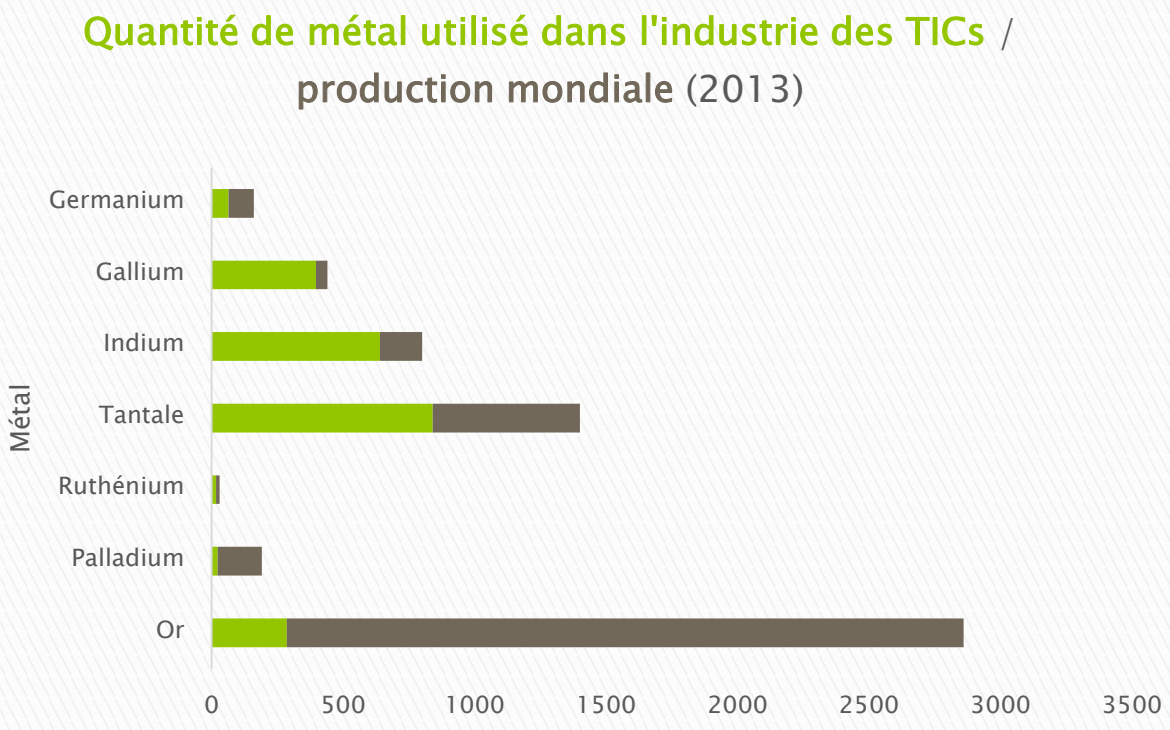
Petits métaux exploités

Sous-produits des petits métaux et grands métaux

Non exploité ou non métaux

EcoInfo

Quelle part pour les TICs ?



EcoInfo

Les usagers

5G

EcoInfo

Pourquoi ?

- Niveau global

==> les gouvernements démocratiques sont peu enclins à proposer des mesures qui réduisent le bien être de leur population pour protéger la globalité de la planète (ré-élection)

- Les problèmes ne sont pas visibles (micropolluants, érosion, rareté métaux, GES, biodiversité, etc.) (tellement facile de manipuler les informations)
- Imprévisibilité (effet de certaines molécules ..)
- A la fois inertie (temps de réponse très long de l'écosystème) & irréversibilité une fois que les dégradations ont eu lieu
- Masse des flux et inertie du système (nb d'acteurs)

EcoInfo

Source : Dominique Bourg

Pourquoi cette situation globale ?

- Raisons anthropologiques

  (survie face à un danger immédiat, ici les indicateurs type GESvvvvgh ne nous « émeuvent » pas au sens physique du terme)

- Raisons morales

  (1 / 7 400 000 000 ne se sent pas responsable et ne voit pas directement les conséquences)

- Raisons politiques

EcoInfo

Source : Dominique Bourg

En conclusion

1 – les consommateurs peuvent être actifs, sont-ils libres ?
2 – les impacts directs négatifs sont certains, peu visibles de la population
3 – des impacts indirects positifs existent mais on ne sait pas si ils excèdent les impacts négatifs
4 – il y a encore de gros potentiels de progrès ! (mais avenir incertain)
5 – Les consommateurs sont au cœur des changements possibles

EcoInfo

Merci !

EcoInfo

Bibliographie / webographie

- www.ecoinfo.cnrs.fr (présentations de E Drezet 2012, P Bihouix 2015, O Vidal 2016)
- « Grey Energy and Environmental Impacts of ICT Hardware », 2014, Roland Hischier, Vlad C. Coroama, Daniel Schien, and Mohammad Ahmadi Achachlouei1
- Hilty, L. (2008). Information technology and sustainability : Essays on the relationships between information technology and sustainable development. Norderstedt, Books on Demand.
- Gossart, C. (2015). http://ecoinfo.cnrs.fr/article360.html
- Raw material criticality in the context of classical risk assessment, Simon Glöser, Luis Tercero Espinoza, Carsten Gandenberger, Martin Faulstich, Resources Policy, Volume 44, 2015, 35–46
- « What are the environmental benefits of increasing the WEEE treatment in France? », R. Horta, C. Charbuillet, F. Berthoud, EGG Berlin 2016
- UNEP / Recycling rates of metals 2011
- Rapport ADEME DEEE 2015
- "Devenir de contaminants organiques persistants dans l'environnement: sources, distribution, bioaccumulation" M. Babut, Irstea, ANF Micropolluants, 2016
- http://www.metaux-precieux.fr/criteres-de-selection-des-dechets-electroniques/

EcoInfo