

Le numérique : menace ou espoir pour l'environnement ?

Jacques COMBAZ, Françoise BERTHOUD

Jacques.Combaz@univ-grenoble-alpes.fr

Francoise.Berthoud@grenoble.cnrs.fr

ecoinfo.cnrs.fr



Le Monde

Le cri d'alarme de 15 000 scientifiques pour sauver la planète

IL SERA BIENTÔT TROP TARD...

► L'ampleur de l'initiative est inédite : 15 000 scientifiques issus de 184 pays signent une alerte solennelle sur l'état de la planète. « Le Monde » publie

► Pour éviter une misère généralisée et une perte catastrophique de biodiversité », les scientifiques appellent l'humanité à changer radicalement

► Réchauffement climatique, biodiversité, déforestation... Tous les indicateurs montrent une dégradation continue de l'environnement au

► Après trois années de stagnation, les émissions mondiales de CO₂ sont reparties à la hausse en 2017, portées notamment par la Chine

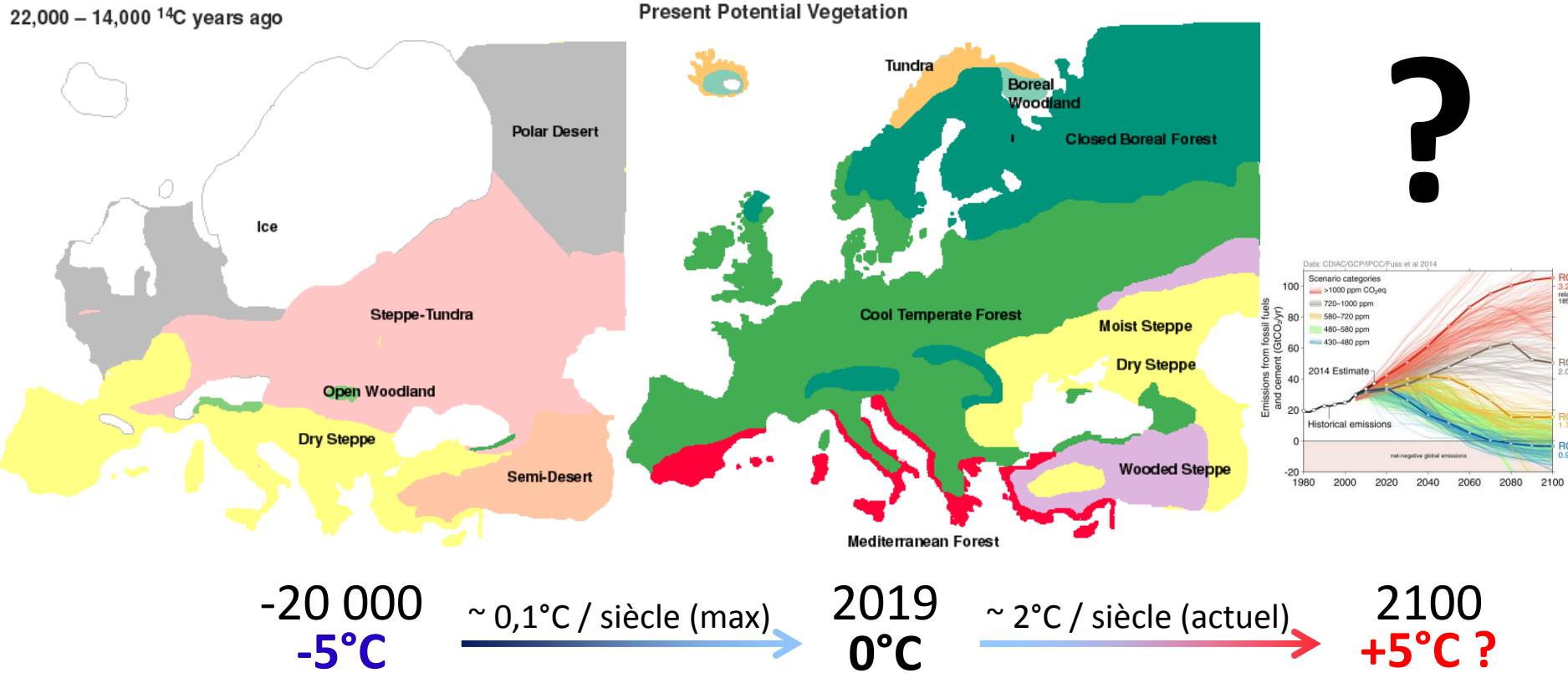


Manifeste étudiant
pour un
réveil écologique

L'AFFAIRE DU SIÈCLE

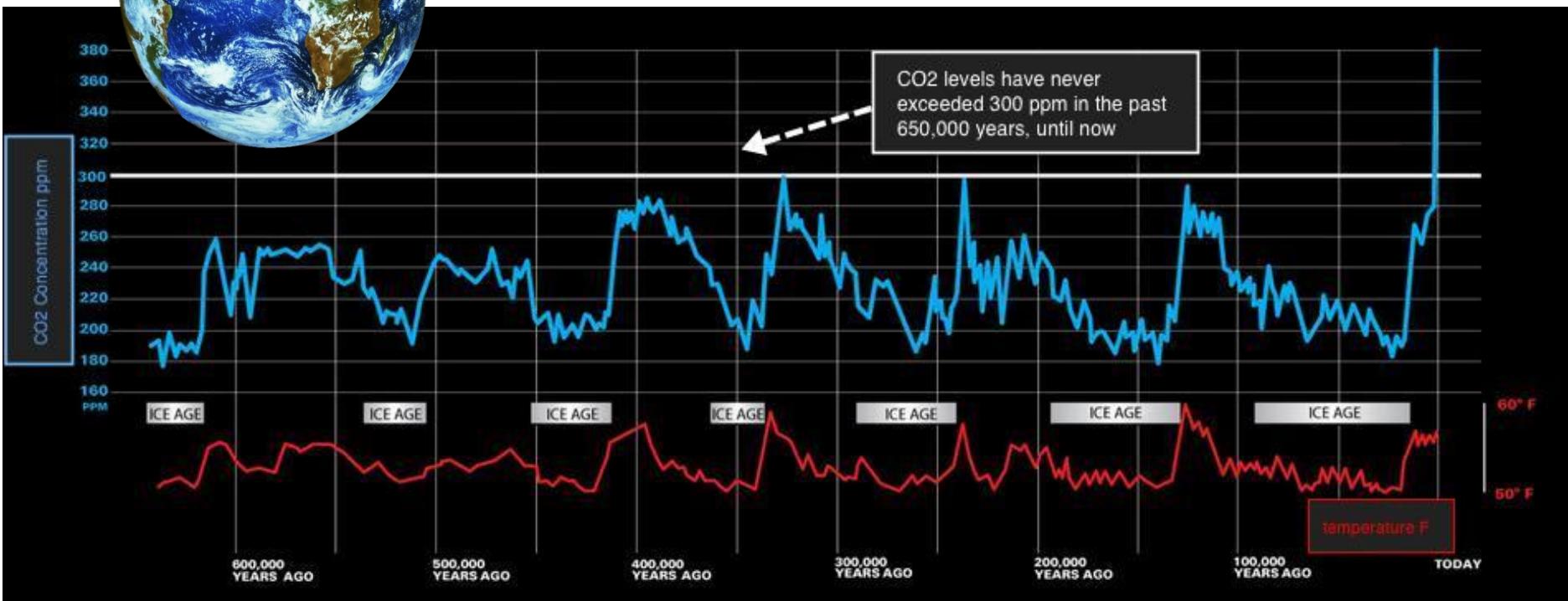


Est-ce si inquiétant ?





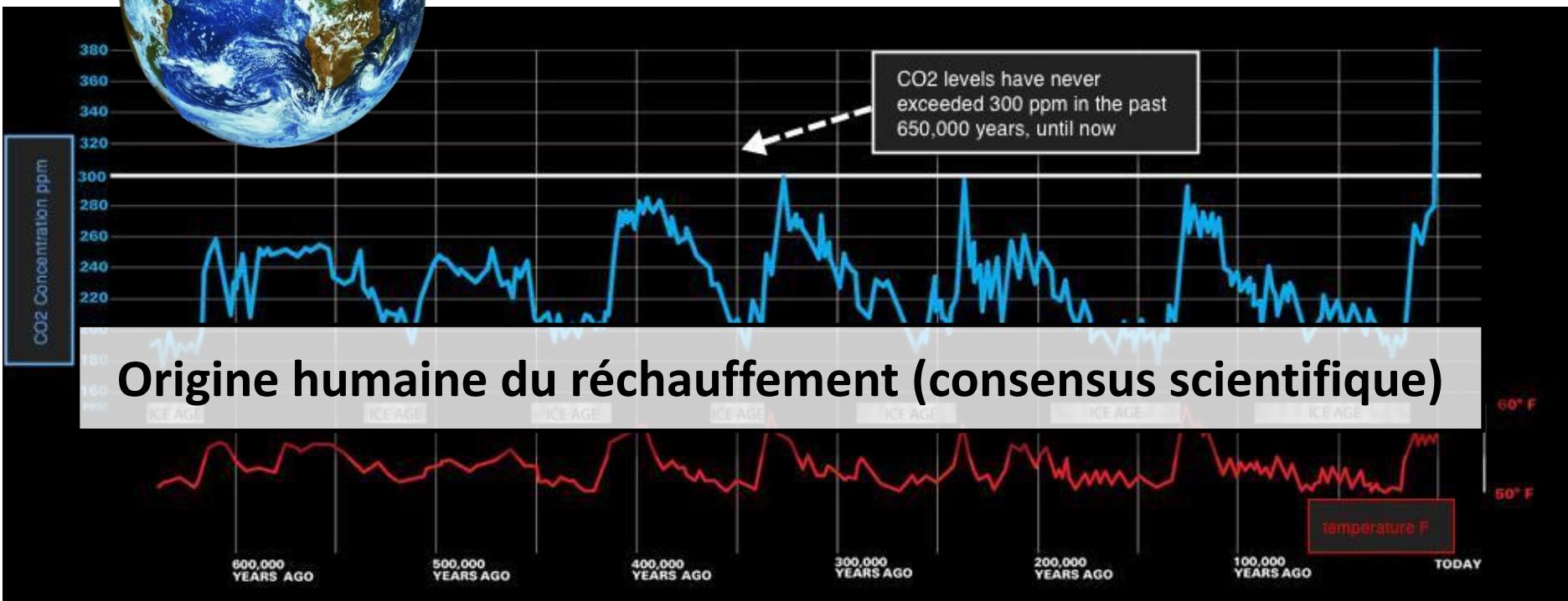
Est-on concerné ?



Atmospheric CO₂ and temperature data taken from Vostok Ice Cores. Birch Aquarium, Scripps Institute of Oceanography, UCSD. CO₂ data (in blue) is in parts per million (ppm).

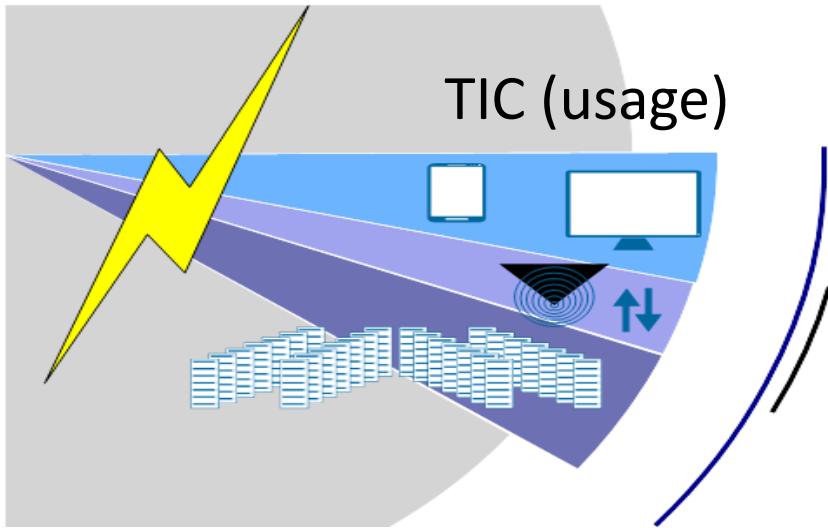


Est-on concerné ?



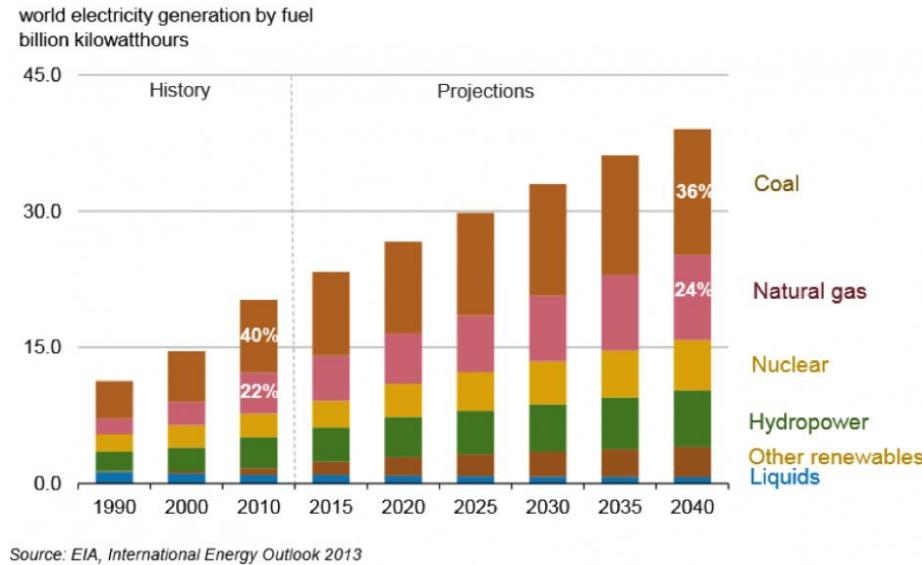
Atmospheric CO₂ and temperature data taken from Vostok Ice Cores. Birch Aquarium, Scripps Institute of Oceanography, UCSD. CO₂ data (in blue) is in parts per million (ppm).

Consommation électrique des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication)



10 % de l'électricité mondiale
+8% par an ($\times 2$ tous les 9 ans) !

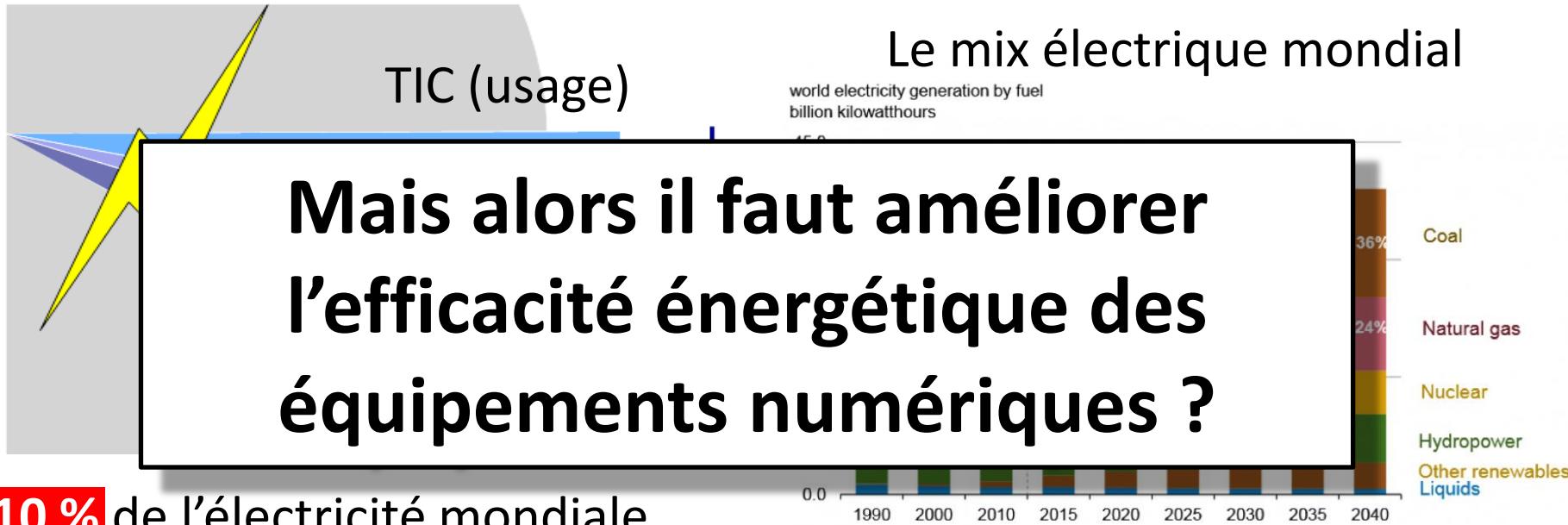
Le mix électrique mondial



Source: EIA, International Energy Outlook 2013

Consommation électrique des TIC

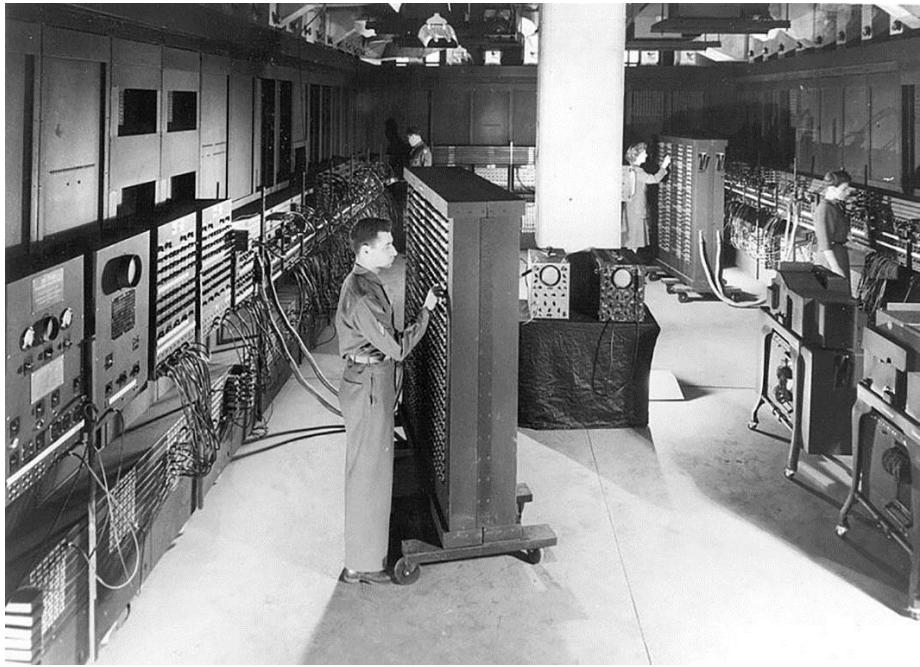
(Technologies de l'Information et de la Communication)



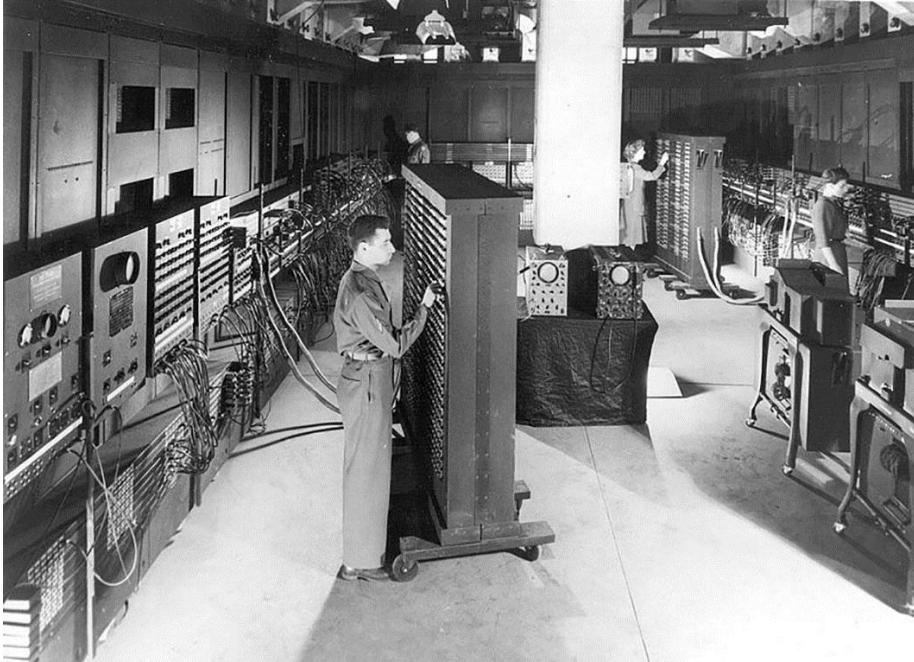
10 % de l'électricité mondiale

+8% par an ($\times 2$ tous les 9 ans) !

Source: EIA, International Energy Outlook 2013

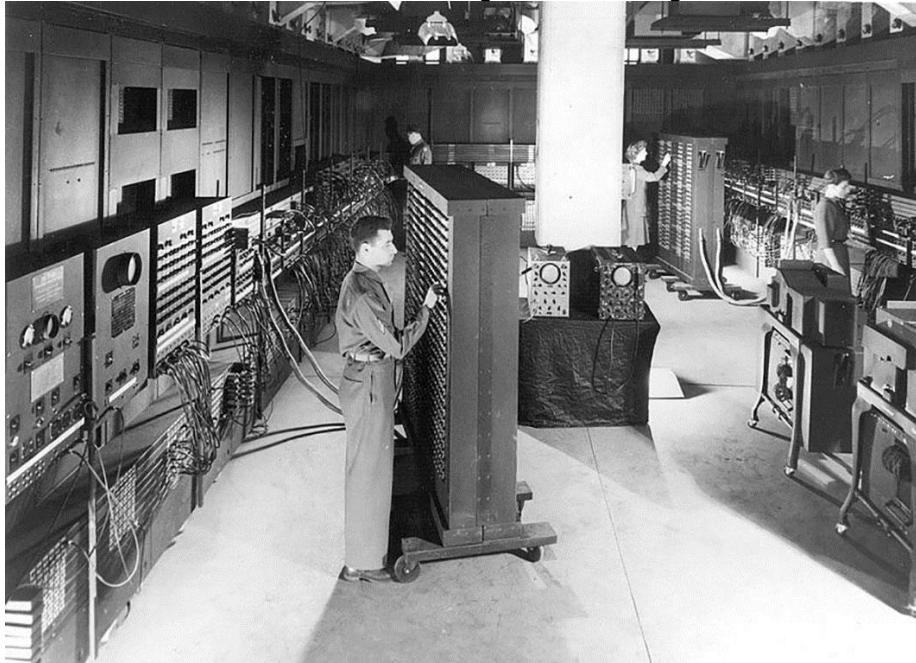


ENIAC (1945)



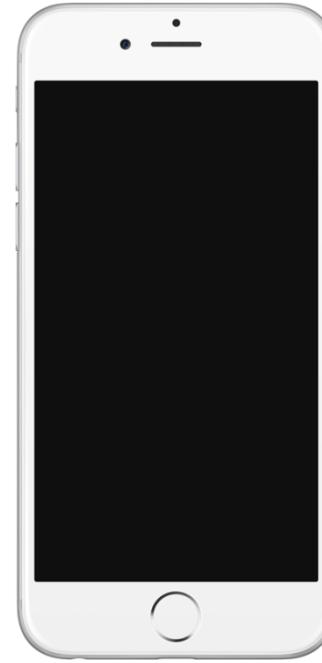
- Poids : 30 t
- Dim. : $30,5 \text{ m} \times 2,4 \times 0,9$ (167 m^2)
- Conso. : 150 kW
- Perf. : ~ 500 FLOPS

ENIAC (1945)



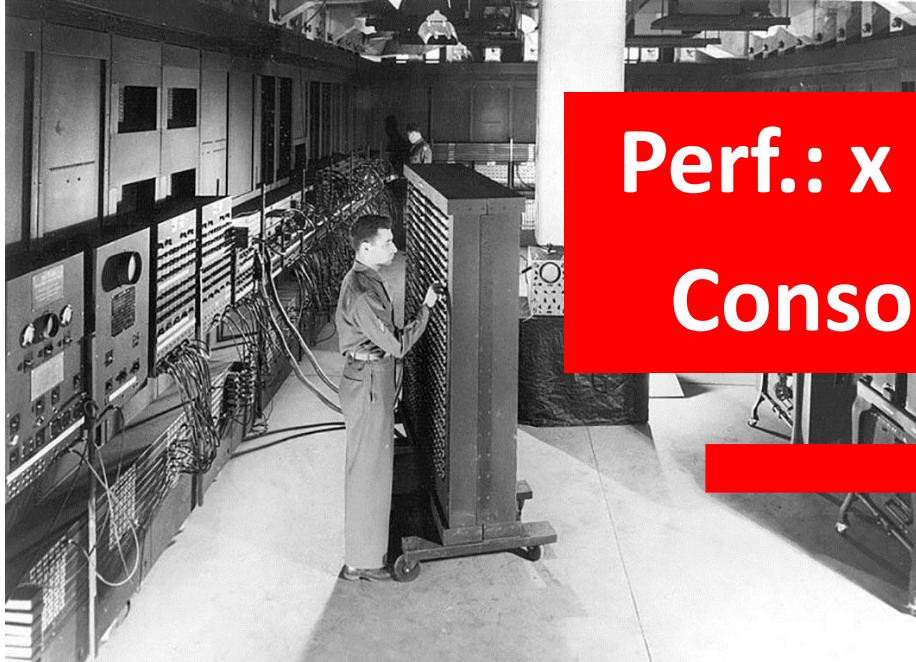
- Poids : 30 t
- Dim. : $30,5 \text{ m} \times 2,4 \times 0,9$ (167 m^2)
- Conso. : 150 kW
- Perf. : ~ 500 FLOPS

iPhone 6 (2014)



- Poids : 130 g
- Dim. : $158,1 \times 77,8 \text{ mm} \times 7,1 \text{ mm}$
- Conso. : ~ 2 W
- Perf. : ~ 130 GFLOPS

ENIAC (1945)



iPhone 6 (2014)

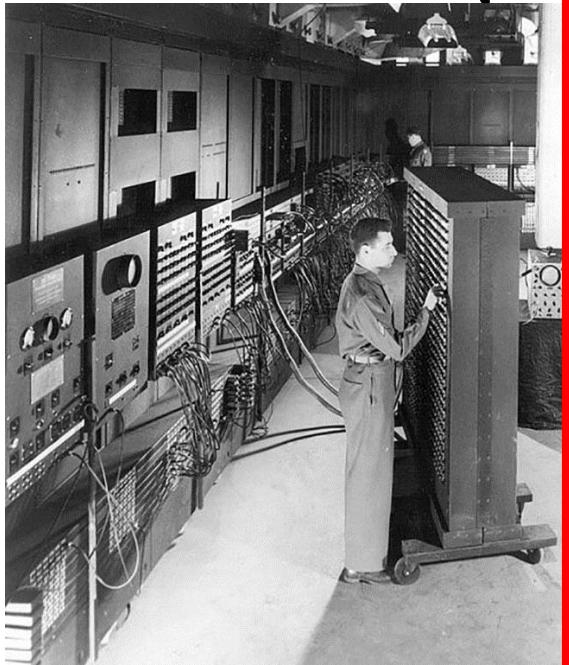
Perf.: x 260 millions !
Conso. : ÷ 75 000 !



- Poids : 30 t
- Dim. : $30,5 \text{ m} \times 2,4 \times 0,9$ (167 m^2)
- Conso. : 150 kW
- Perf. : ~500 FLOPS

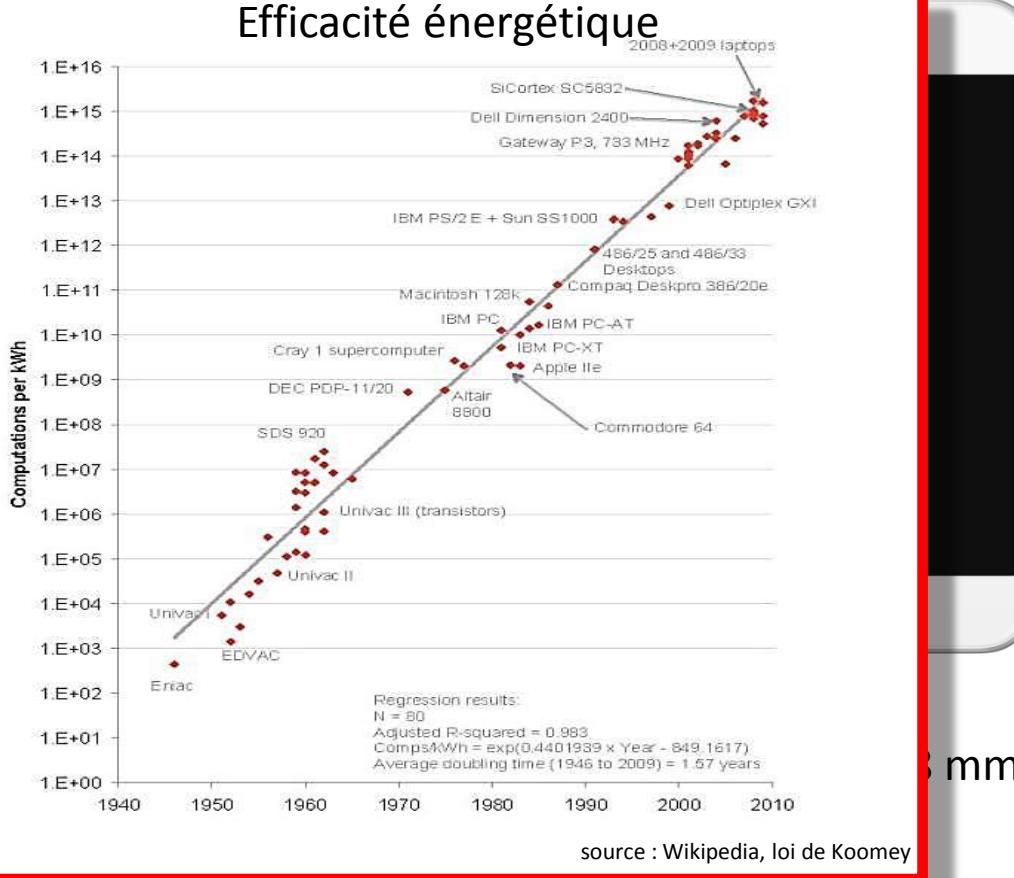
- Poids : 130 g
- Dim. : $158,1 \times 77,8 \text{ mm} \times 7,1 \text{ mm}$
- Conso. : ~2 W
- Perf. : ~130 GFLOPS

ENIAC (1945)



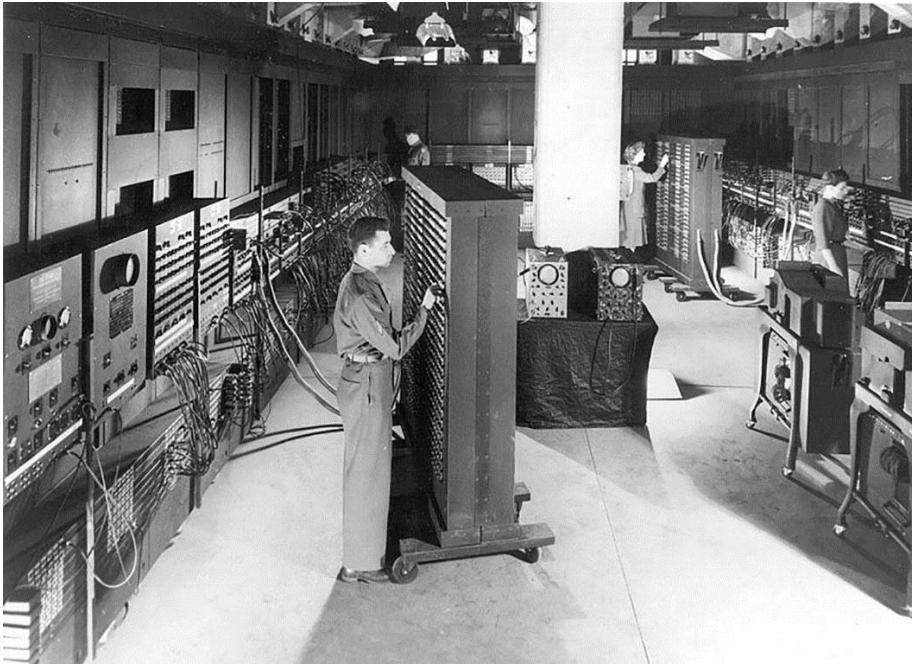
- Poids : 30 t
- Dim. : 30,5 m × 2,4 × 0,9
- Conso. : 150 kW
- Perf. : ~500 FLOPS

iPhone 6 (2014)



- Perf. : ~130 GFLOPS

ENIAC



150 kW
(en fonctionnement)

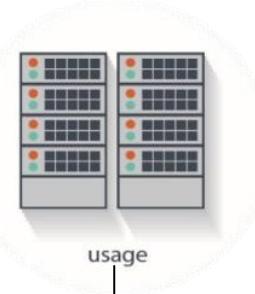
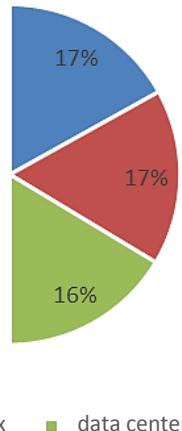


260 GW
(en continu)

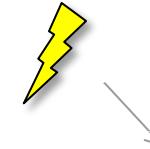
Impact environnemental des TIC



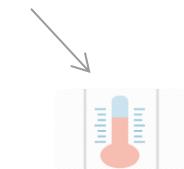
Consommation énergétique des TIC



Consommation d'énergie électrique



Consommation d'énergie primaire



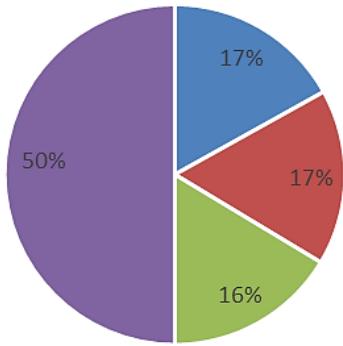
Changement climatique

- terminaux
- réseaux
- data centers

Impact environnemental des TIC



Consommation énergétique des TIC



Consommation d'énergie électrique



Consommation d'énergie primaire



Changement climatique



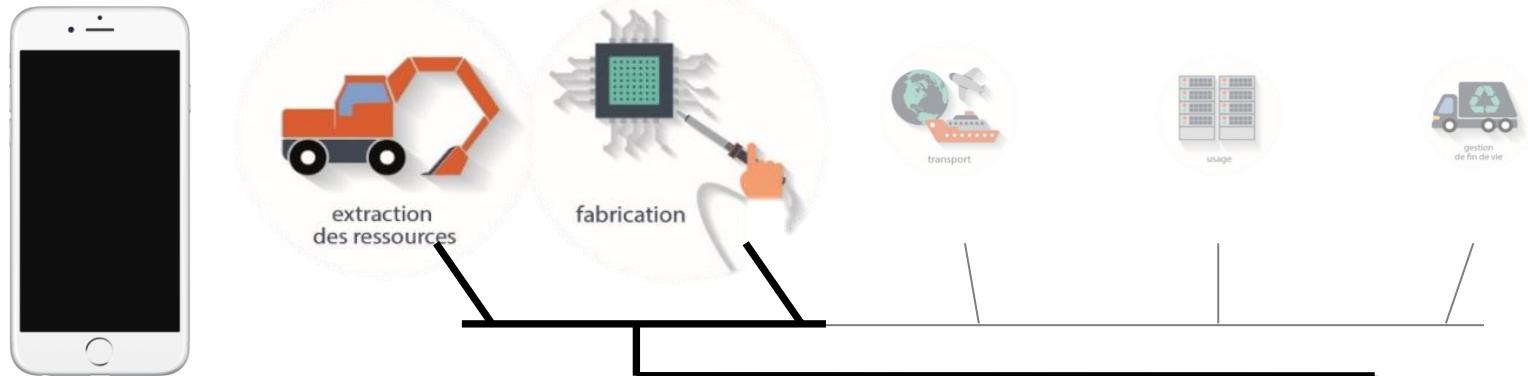
terminaux

réseaux

data centers

production

Impact environnemental : smartphone



smartphone gardé 2 ans :
90 % de la
consommation énergétique*
avant l'achat !

* : hors réseau/data centers

Contribution des TIC aux émissions de gaz à effet de serre (GES)



≈



TIC

2018

aviation civile

2013

automobile

2025

(projection)

Contribution des TIC aux émissions de gaz à effet de serre (GES)

trafic réseau : +25%/an
trafic vidéo = 80%



≈



TIC

2018

+8%/an

aviation civile

2013

automobile

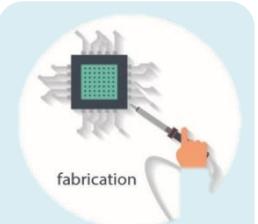
2025

(projection)

Impact environnemental des TIC



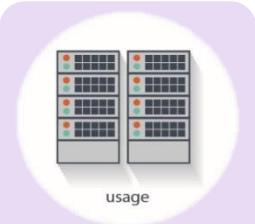
extraction
des ressources



fabrication



transport



usage



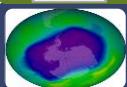
gestion
de fin de vie



Consommation d'énergie primaire



Changement climatique



Destruction de la couche d'ozone



Toxicité humaine

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme



Ecotoxicité aquatique

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique



Déplétion des métaux



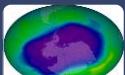
Consommation d'eau

Impact environnemental des TIC



 Consommation d'énergie primaire

 Changement climatique

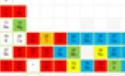
 Destruction de la couche d'ozone

 Toxicité humaine

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme

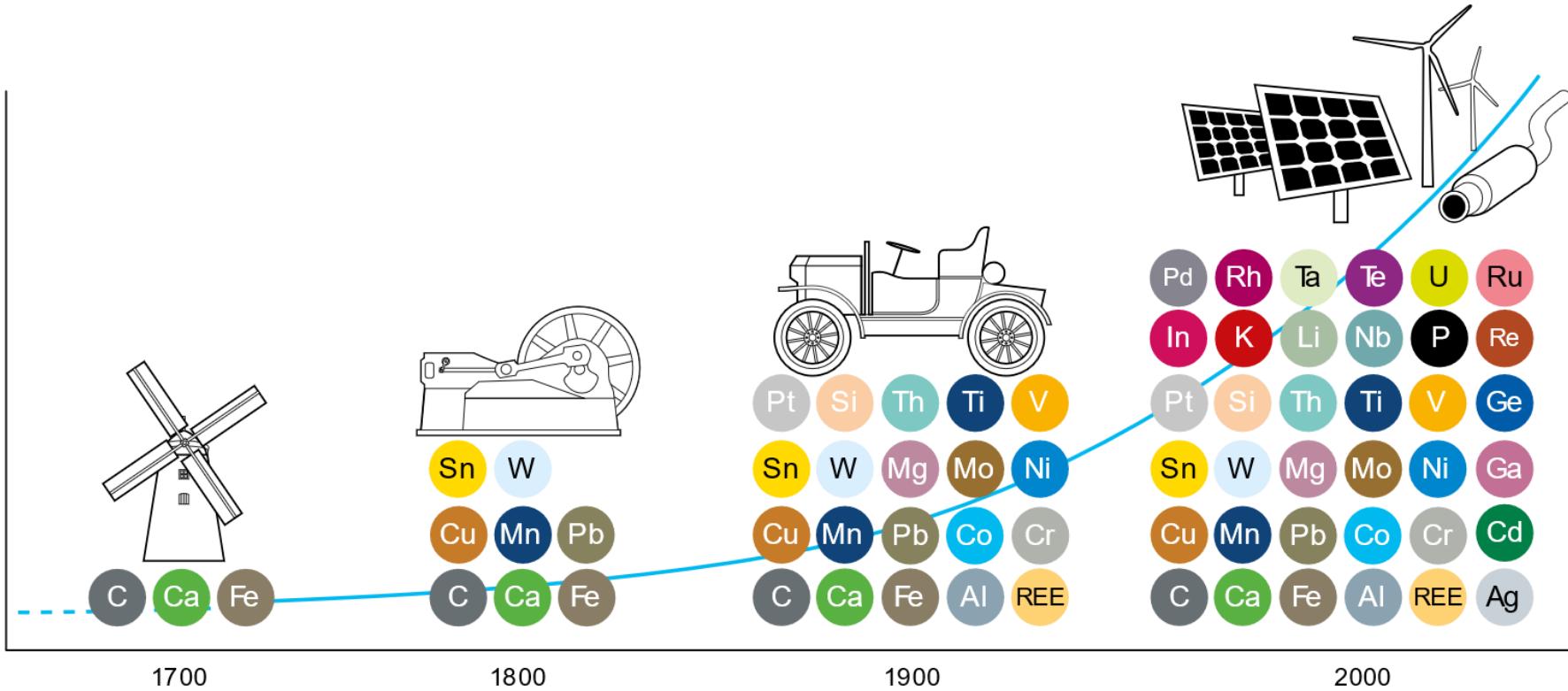
 Ecotoxicité aquatique

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique

 Déplétion des métaux

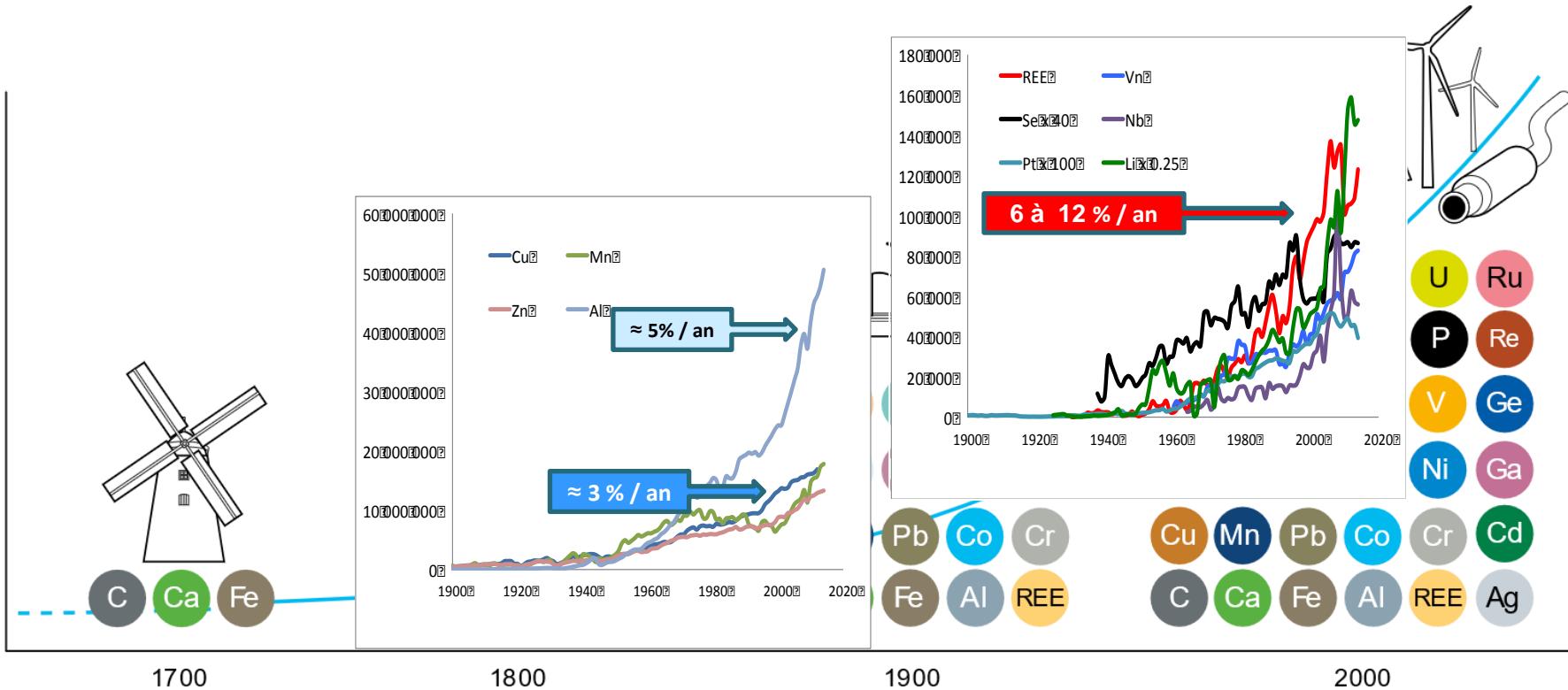
 Consommation d'eau

Les métaux dans les TIC



Source: V. Zepf, 2014

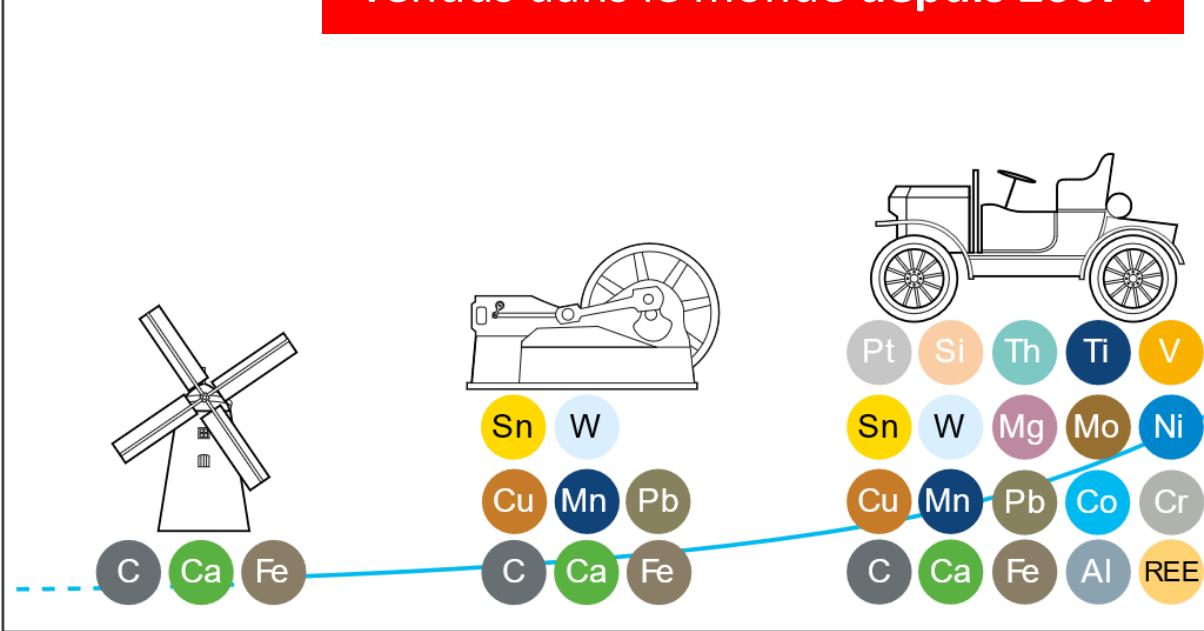
Les métaux dans les TIC



Source: V. Zepf, 2014

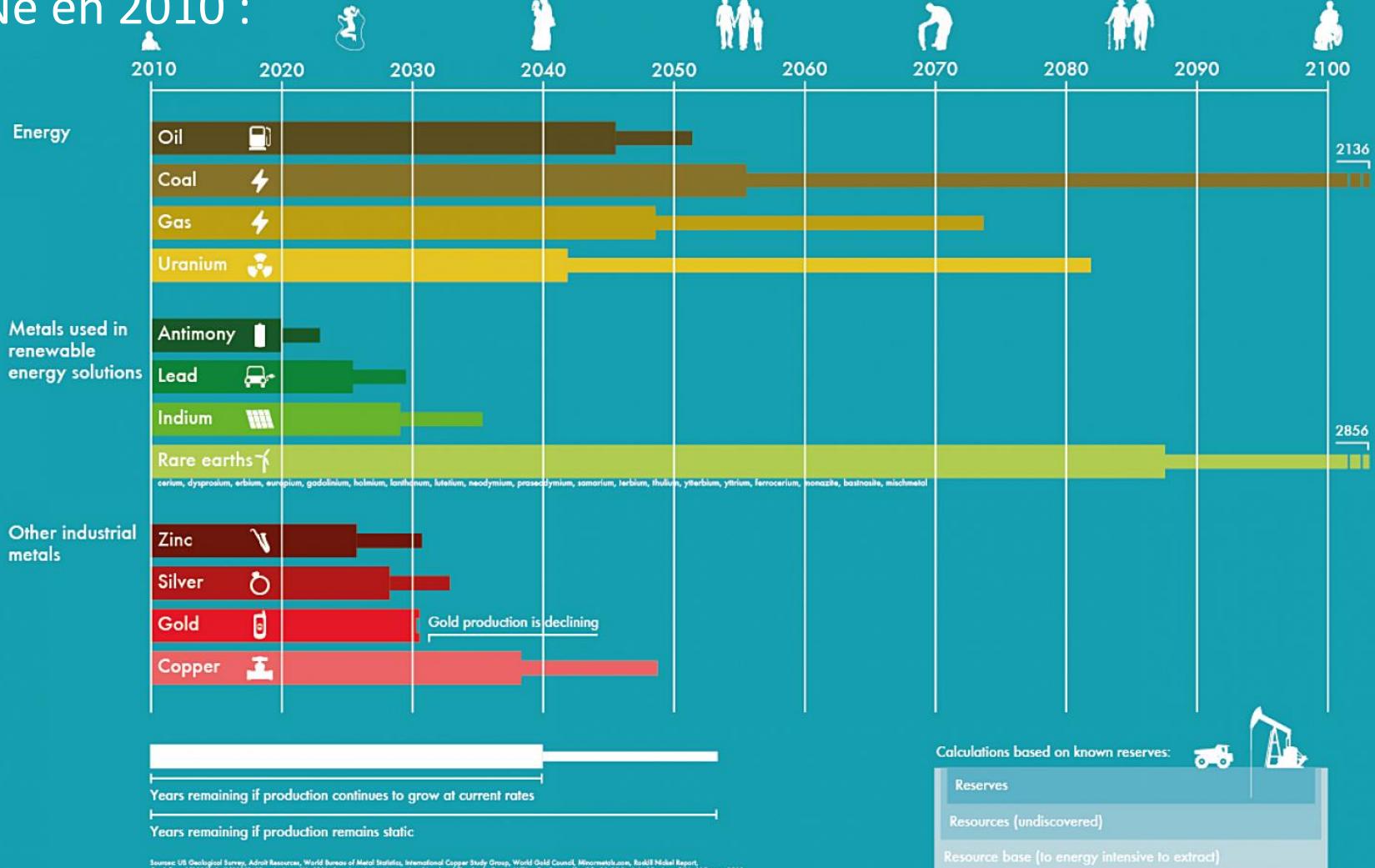
Les métaux dans les TIC

7 milliards de smartphones
vendus dans le monde depuis 2007 !

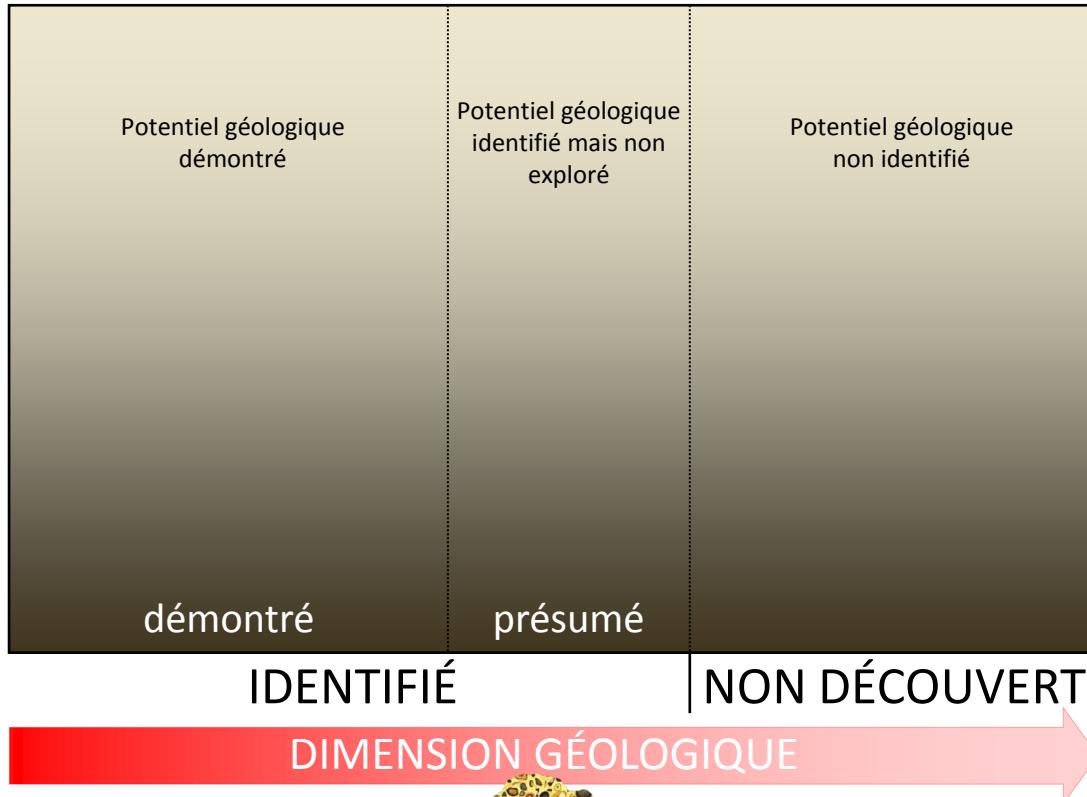


Sources : Ademe ; Sénat (rapport n° 850, 09/2016) ; Wuppertal Institut (2012) évaluation selon l'approche poids-matière de l'écologiste Friedrich Schmidt-Bleek
Infographie : Bertrand Gaillet

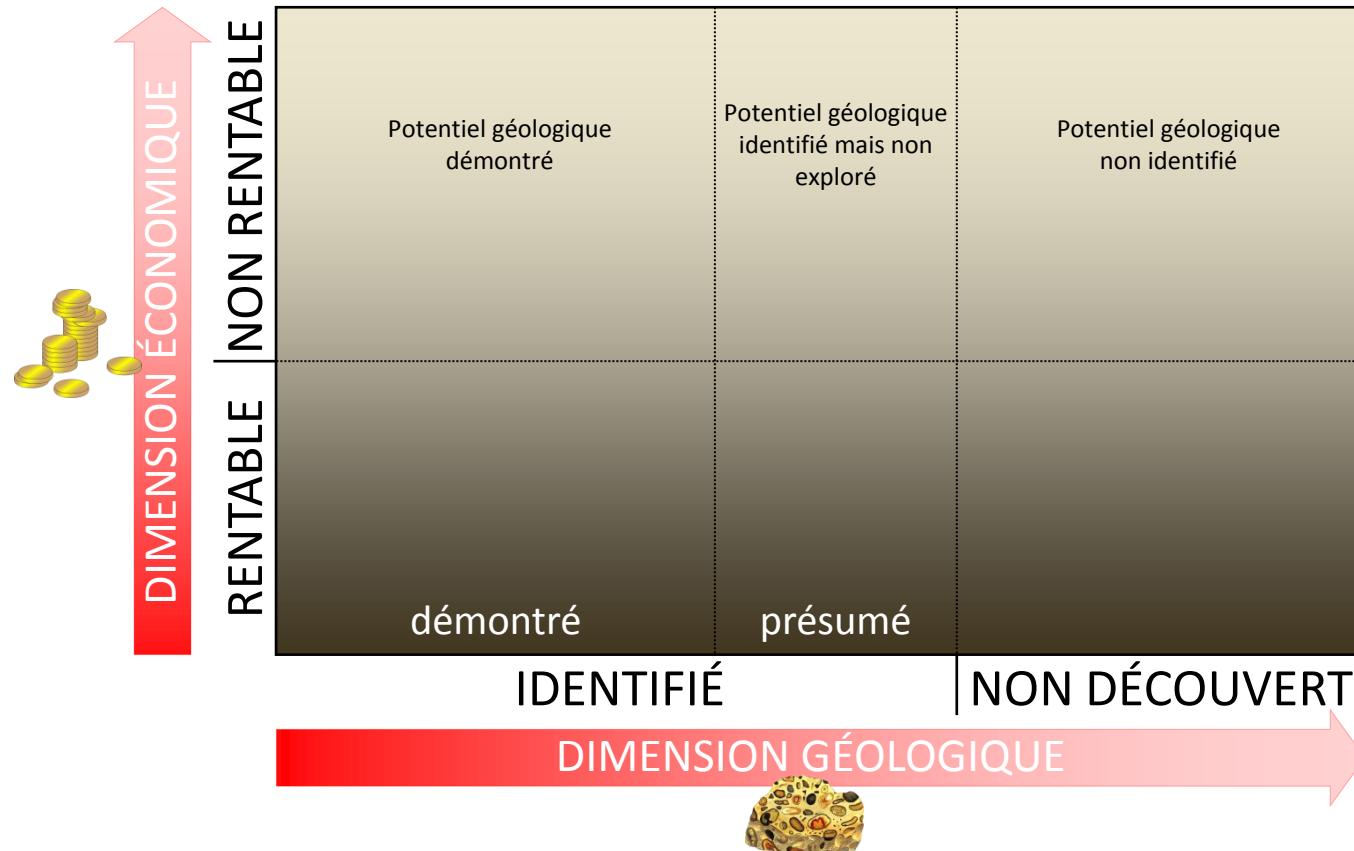
Né en 2010 :



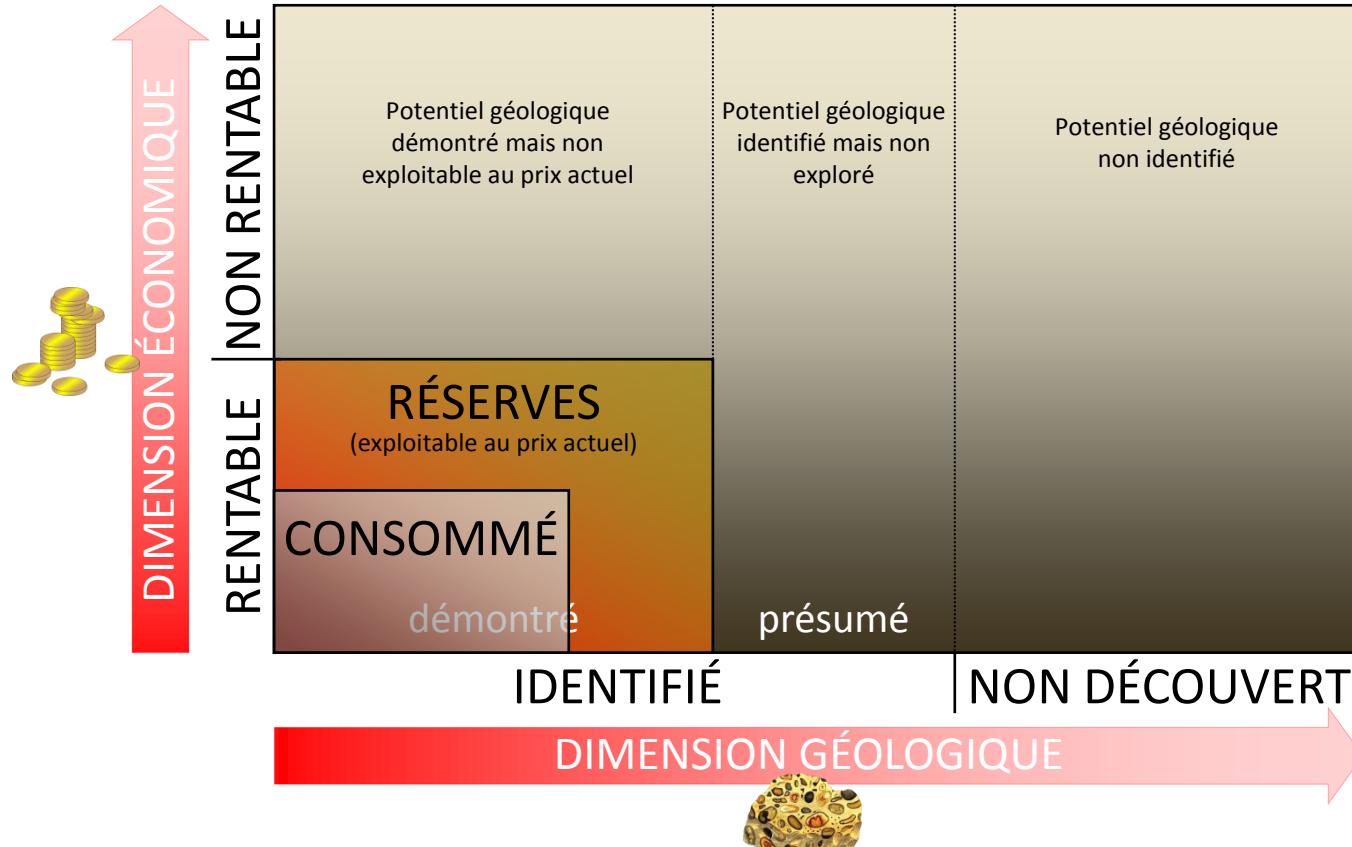
Attention à la notion de réserves



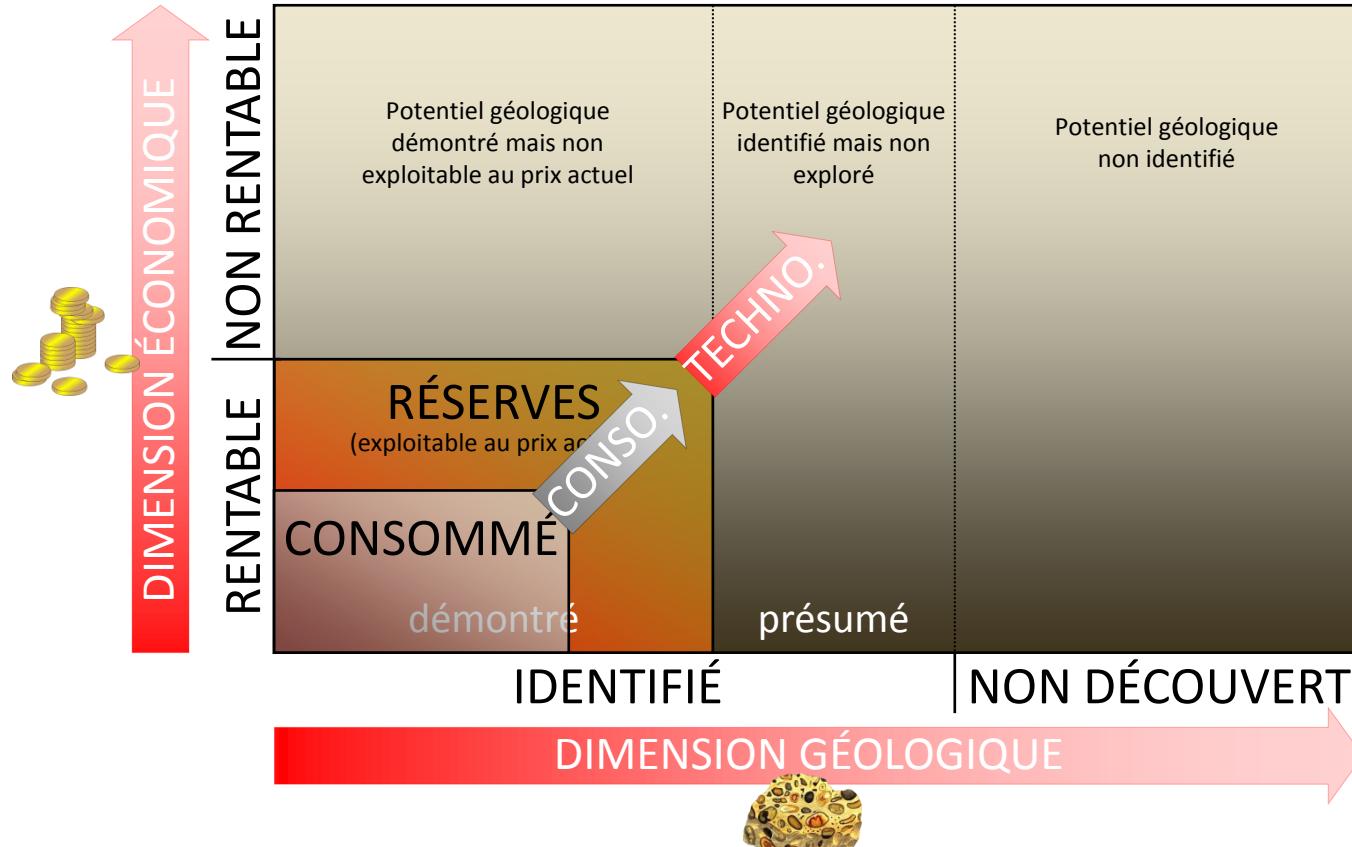
Attention à la notion de réserves



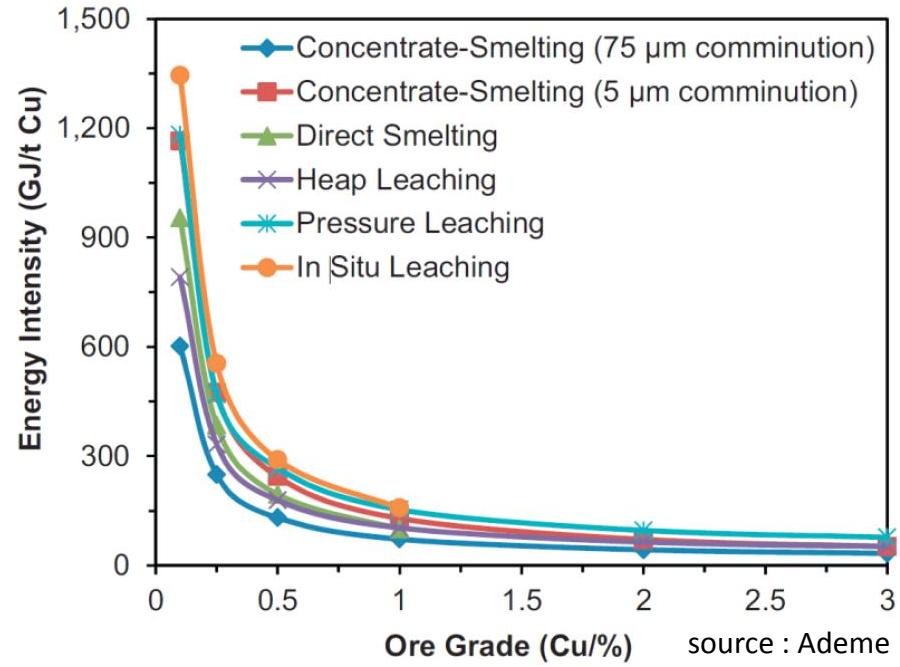
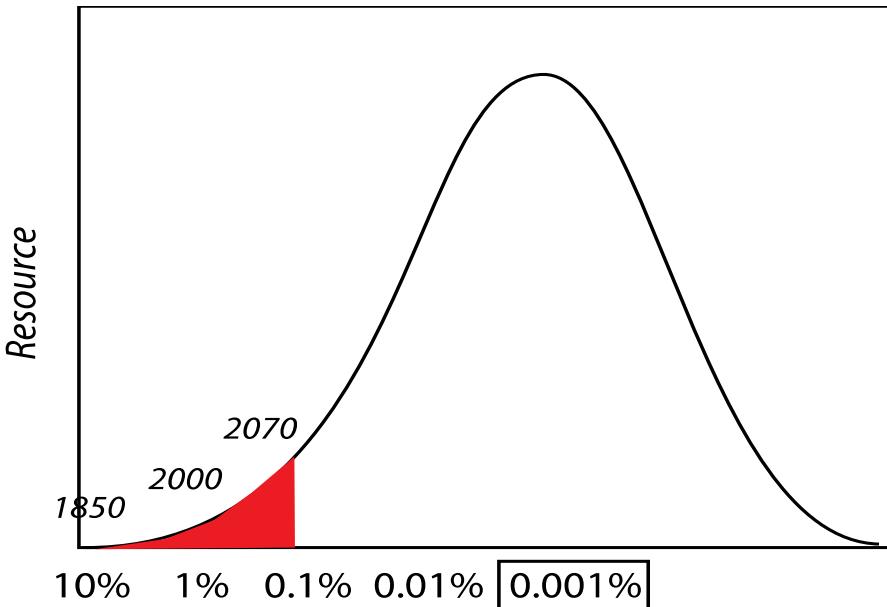
Attention à la notion de réserves



Attention à la notion de réserves



Concentration / Énergie (Cuivre)



source : Ademe

Concentration / Énergie (Fer)

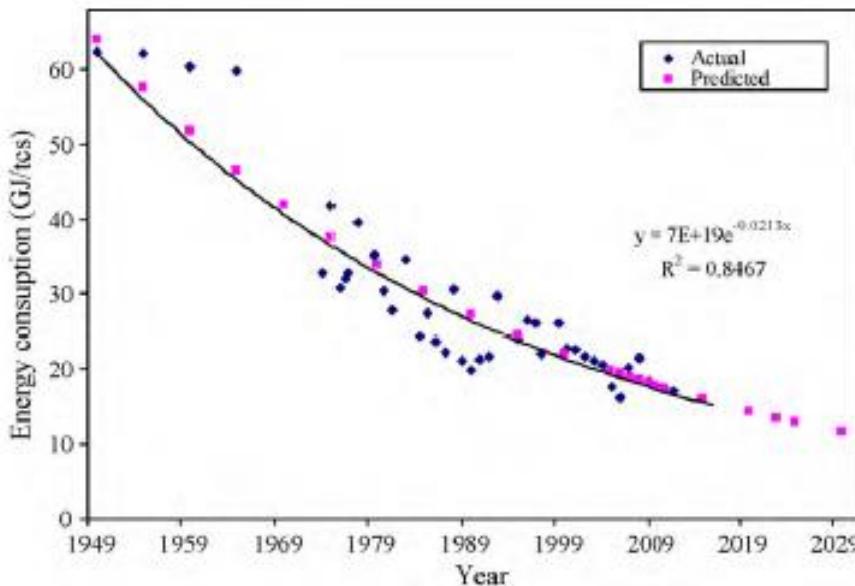
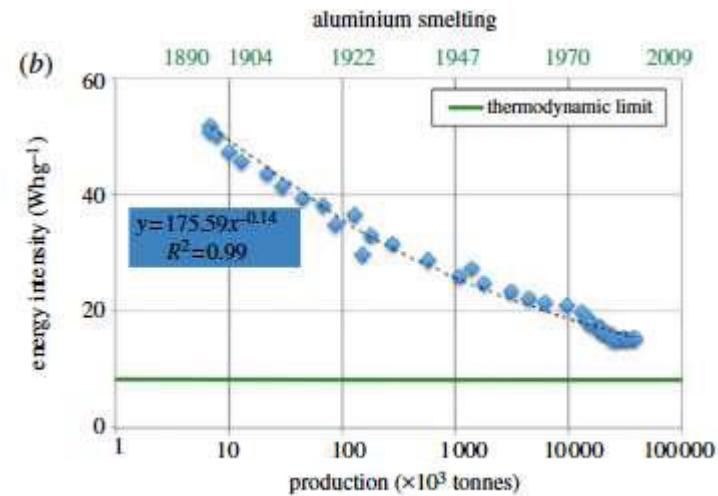
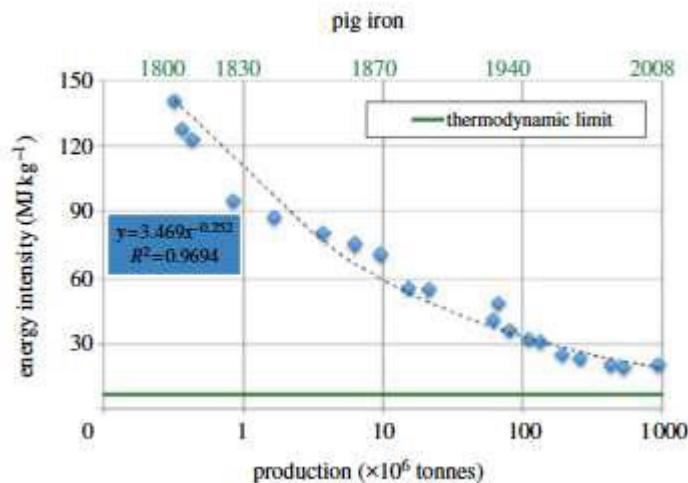


Fig. 5. Actual and projected specific energy consumption in the steel industry (world average).

Limite thermodynamique

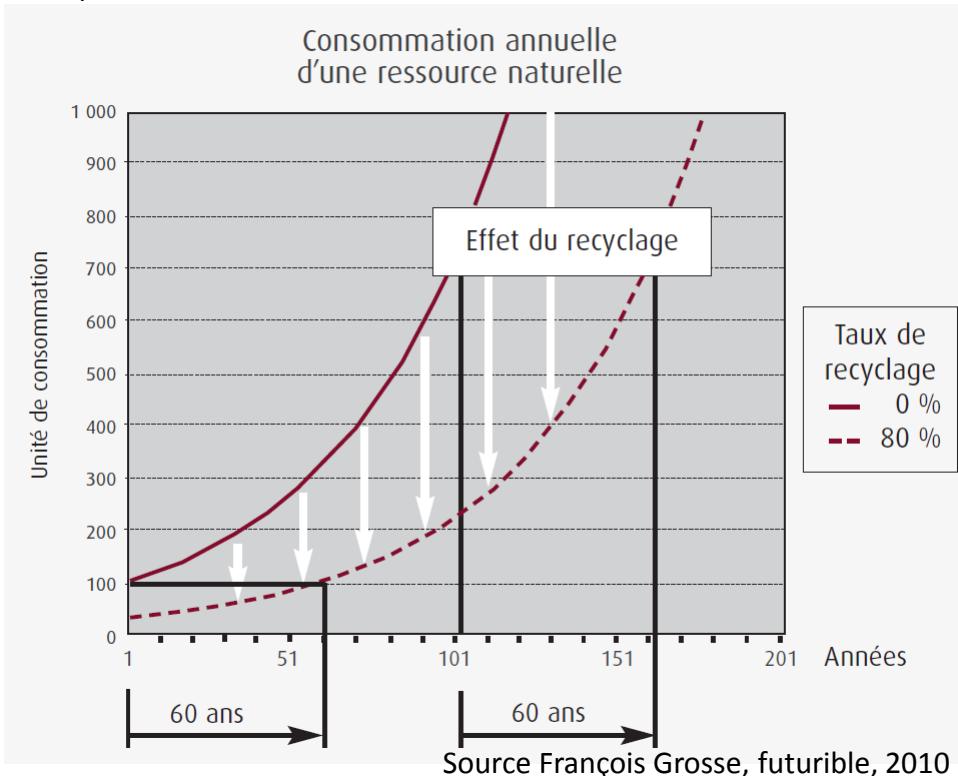


Effet du recyclage

Demande exponentielle + recyclage :

- production = demande mais décalée
- même avec un taux de recyclage à 100% !

Exemple : taux de croissance est de 2%, durée de rétention 7 ans.



D'autres impacts liés à l'extraction des métaux

- Impacts sociaux, politiques :
 - conflits armés (RDC)
 - conflits d'usage de l'eau
- Impacts environnementaux :
 - tarissement de l'eau
 - érosion des sols
 - fragmentation des territoires
 - pollution (eau, sol, air)
- ➔ perte biodiversité, problèmes de santé

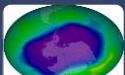


Impact environnemental des TIC



 Consommation d'énergie primaire

 Changement climatique

 Destruction de la couche d'ozone

 Toxicité humaine

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme

 Ecotoxicité aquatique

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique

 Déplétion des métaux

 Consommation d'eau

Impact environnemental des TIC



extraction
des ressources



fabrication



transport



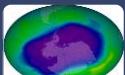
usage



gestion
de fin de vie

 Consommation d'énergie primaire

 Changement climatique

 Destruction de la couche d'ozone

 Toxicité humaine

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme

 Ecotoxicité aquatique

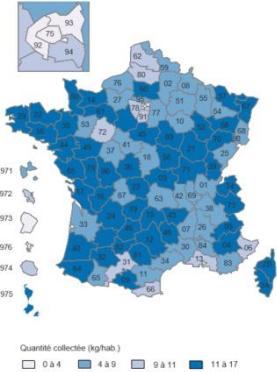
Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique

 Déplétion des métaux

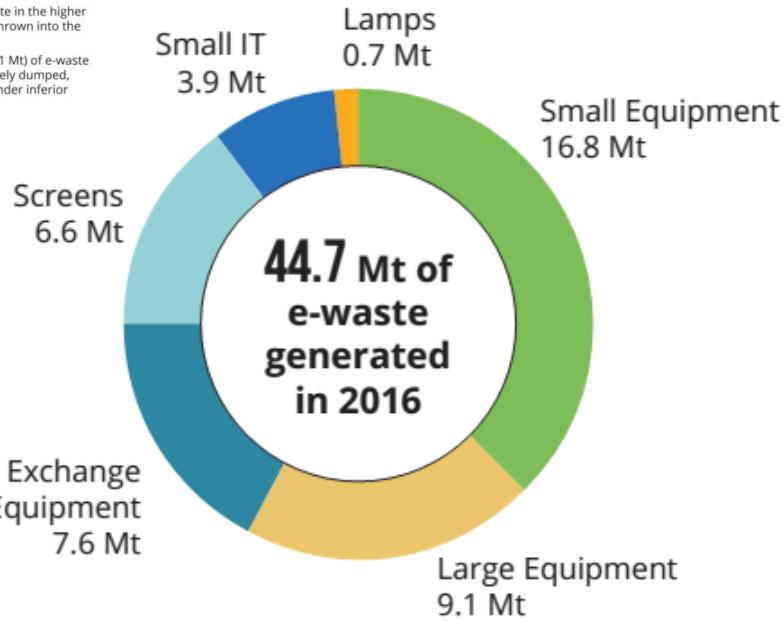
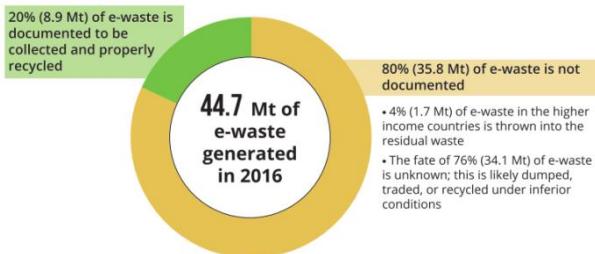
 Consommation d'eau



Les déchets électriques et électroniques (DEEE)



17 à 24 kg
DEEE par
habitant



Taux de collecte

2013 2015 2016

Filière réglementaire

35%

43%

49%

Hors filière

65%

57%

51%

Traitements des DEEE



DEEE

collecte → filière régl.



élimination
contrôlée

pas de valorisation

valorisation
énergétique



80%

8%

2%

filières de valorisation

reconditionnement /
réutilisation (part./totale)

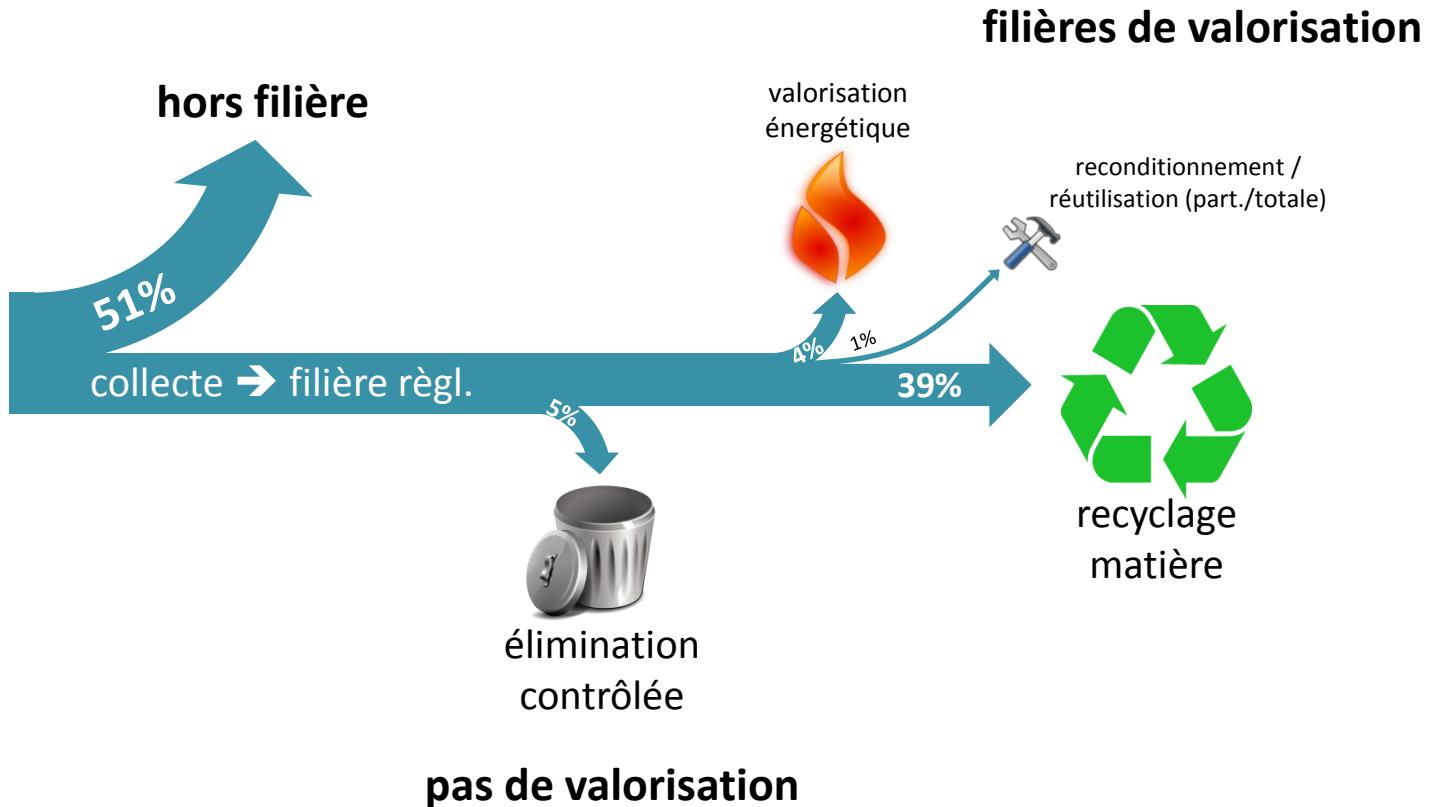


recyclage
matière

Traitements des DEEE



DEEE



Traitements des DEEE



DEEE

hors filière

collecte → filière règl.

élimination
contrôlée



5%

valorisation
énergétique



1%

filières de valorisation



39%

reconditionnement /
réutilisation (part./totale)

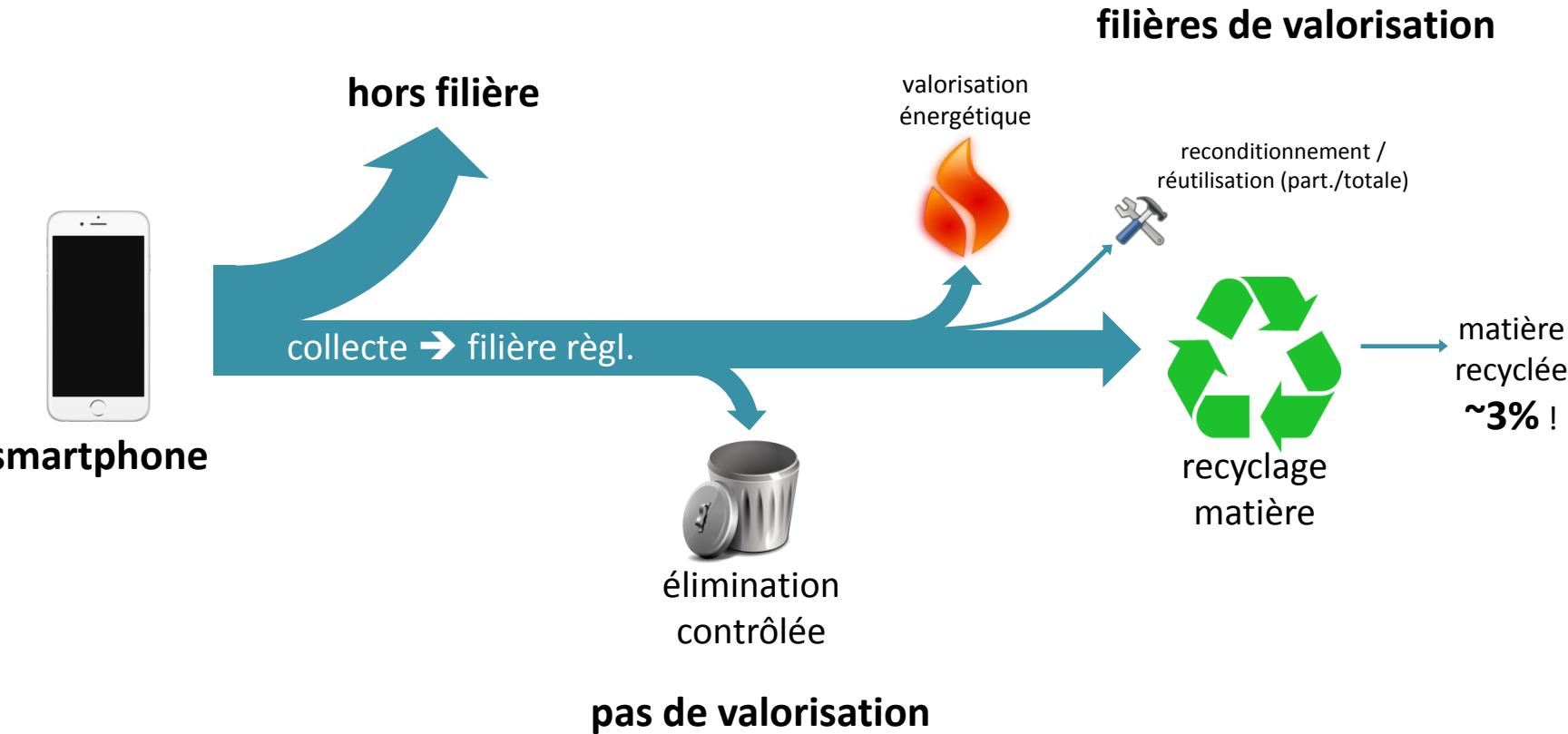


taux de
recyclage ? matière
recyclée

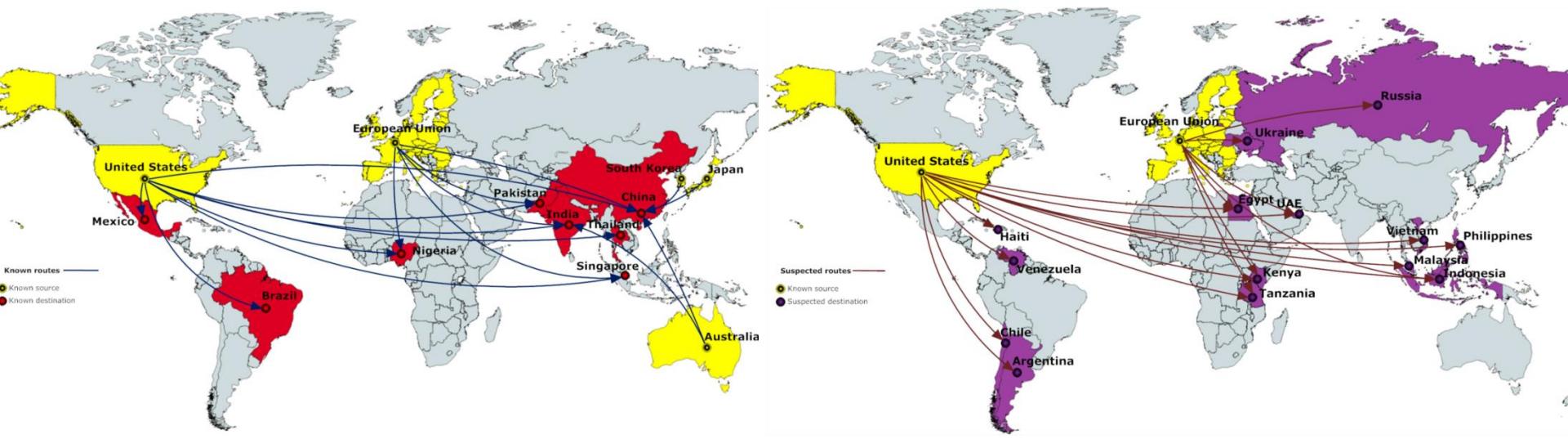
recyclage
matière

pas de valorisation

Traitements des DEEE



Traffic illégal & suspecté de déchets électroniques



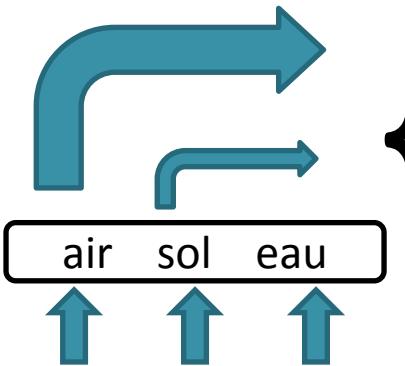
Ref : Int. J. Environ. Res. Public Health 2016, 13(8), 789;

Quantifying the Effect of Macroeconomic and Social Factors on Illegal E-Waste Trade

Loukia Efthymiou, Amaryllis Mavragani and Konstantinos P. Tsagarakis * [OrCID]

Business and Environmental Technology Economics Lab, Department of Environmental Engineering, School of Engineering, Democritus University of Thrace, Vas. Sofias 12, Xanthi 67100, Greece

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, plomb, arsenic, gallium, germanium, indium, mercure, sélénium, thallium) : non dégradable et bio-accumulables
- ▶ Phtalates (issus des plastiques) : bio-accumulables, persistants
- ▶ Solvants , agents tensio-actifs (bioamplification), composés chimiques perfluorés, dioxine, furane
- ▶ Etc.

Impact environnemental des TIC



extraction
des ressources



fabrication



transport



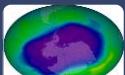
usage



gestion
de fin de vie

 Consommation d'énergie primaire

 Changement climatique

 Destruction de la couche d'ozone

 Toxicité humaine

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme

 Ecotoxicité aquatique

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique

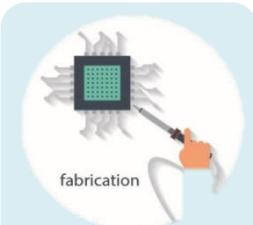
 Déplétion des métaux

 Consommation d'eau

Impact environnemental des TIC



extraction
des ressources



fabrication



transport



usage



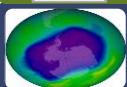
gestion
de fin de vie



Consommation d'énergie primaire



Changement climatique



Destruction de la couche d'ozone



Toxicité humaine

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme



Ecotoxicité aquatique

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique

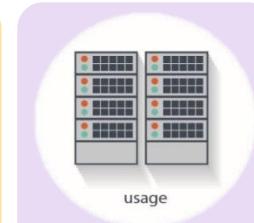
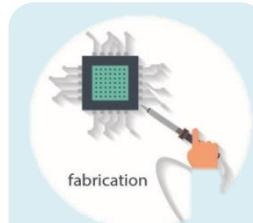


Déplétion des métaux



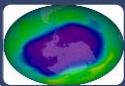
Consommation d'eau

Un simple mail (avec une photo de panda de 1 Mo)



 Consommation d'énergie primaire

 Changement climatique

 Destruction de la couche d'ozone

 Toxicité humaine

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme

 Ecotoxicité aquatique

Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique

 Déplétion des métaux

 Consommation d'eau

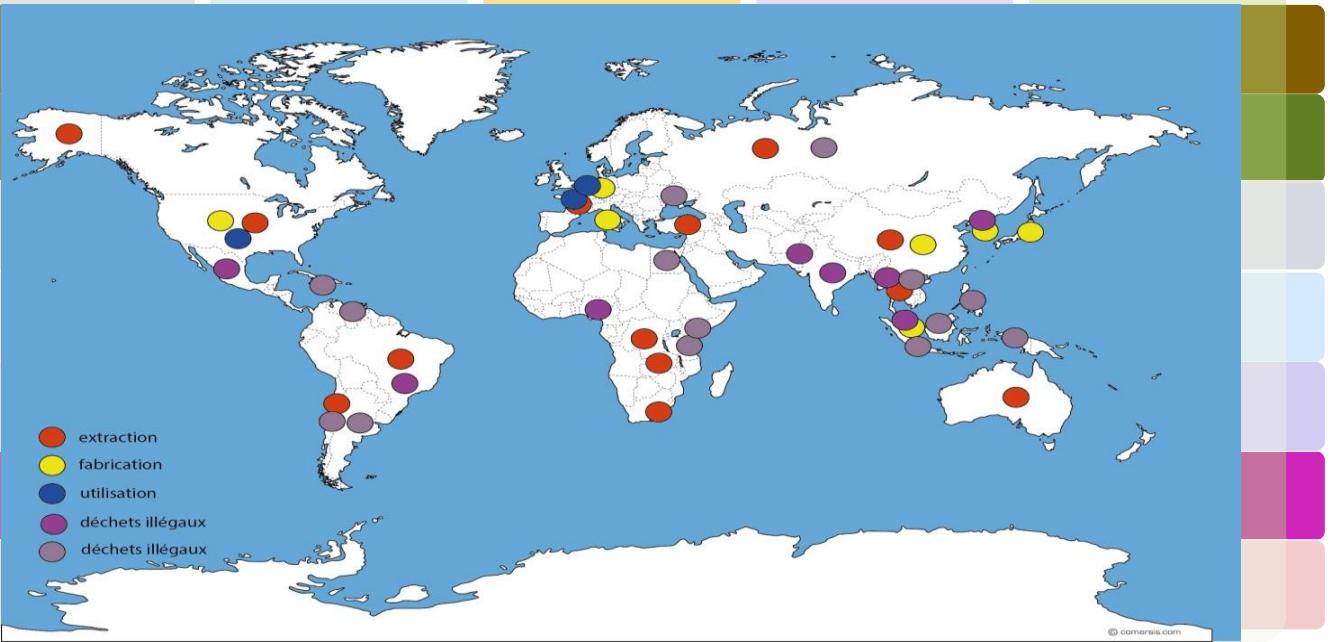
Un simple mail (avec une photo de panda de 1 Mo)



25 Wh

20 g équiv. CO₂

7,5 g équiv. fer



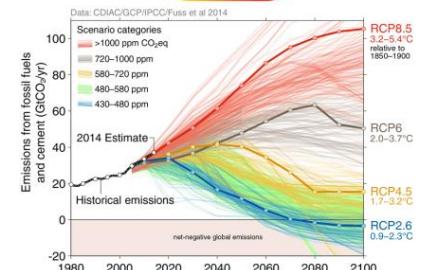
Impacts positifs / négatifs



impacts
environnementaux

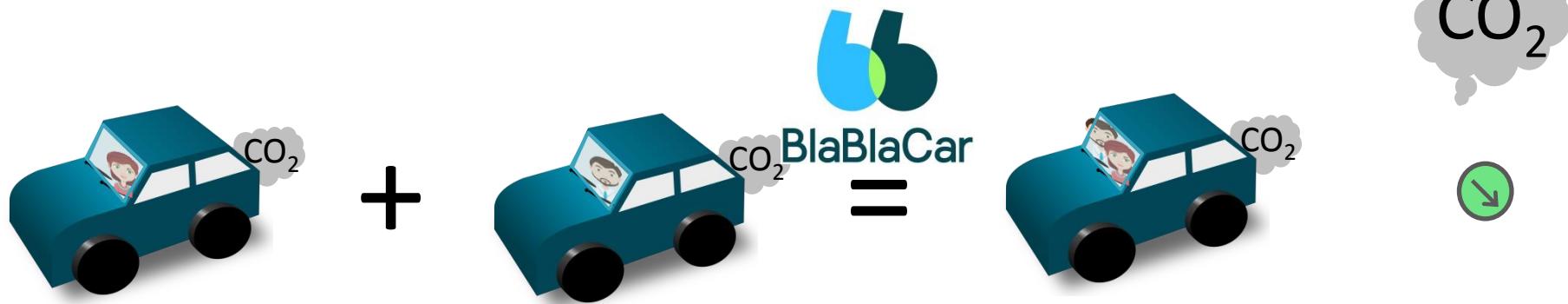


TIC



services

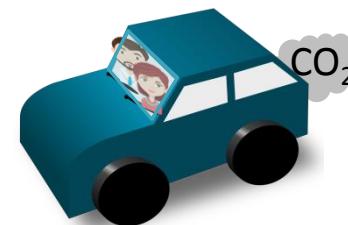
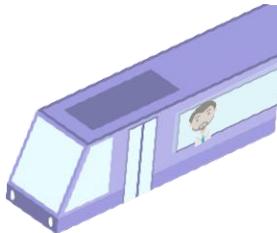
Exemple du covoiturage



Exemple du covoiturage



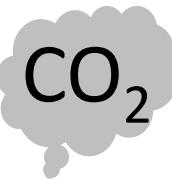
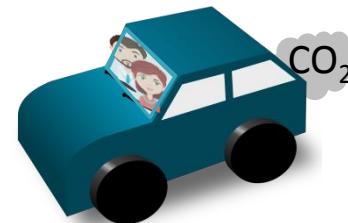
+



Exemple du covoiturage



+



Exemple du covoiturage

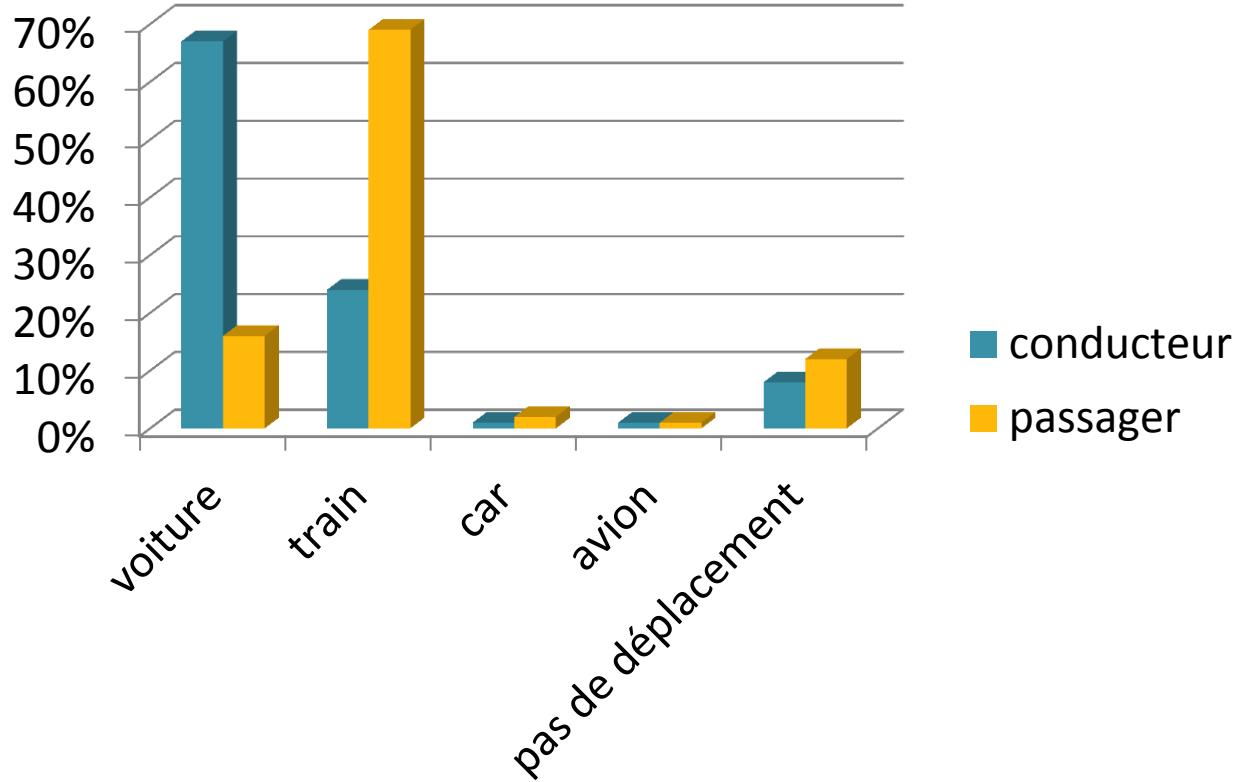


Trajet moyen : 364 km

Motivations principales :

- économies 69 %
- convivialité 87 %

Moyen de déplacement qui aurait été utilisé sans le covoiturage (longue distance)



Exemple du covoiturage

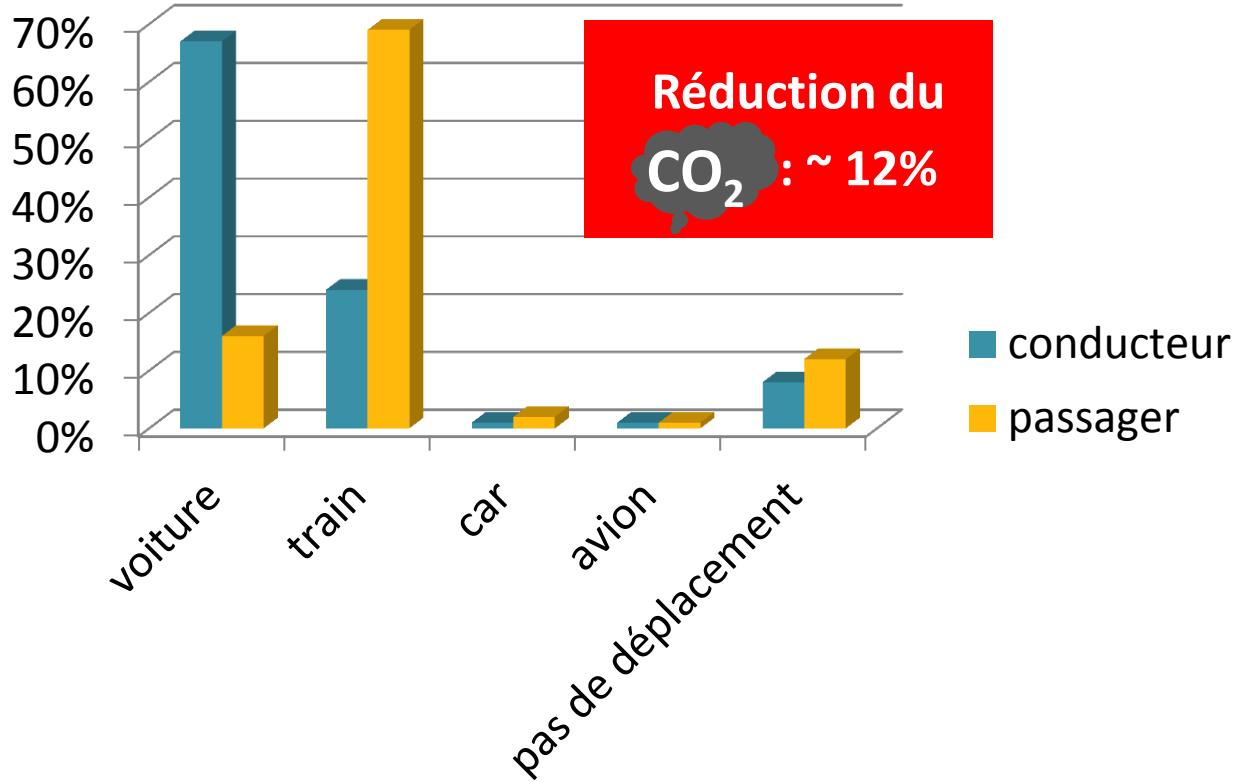


Trajet moyen : 364 km

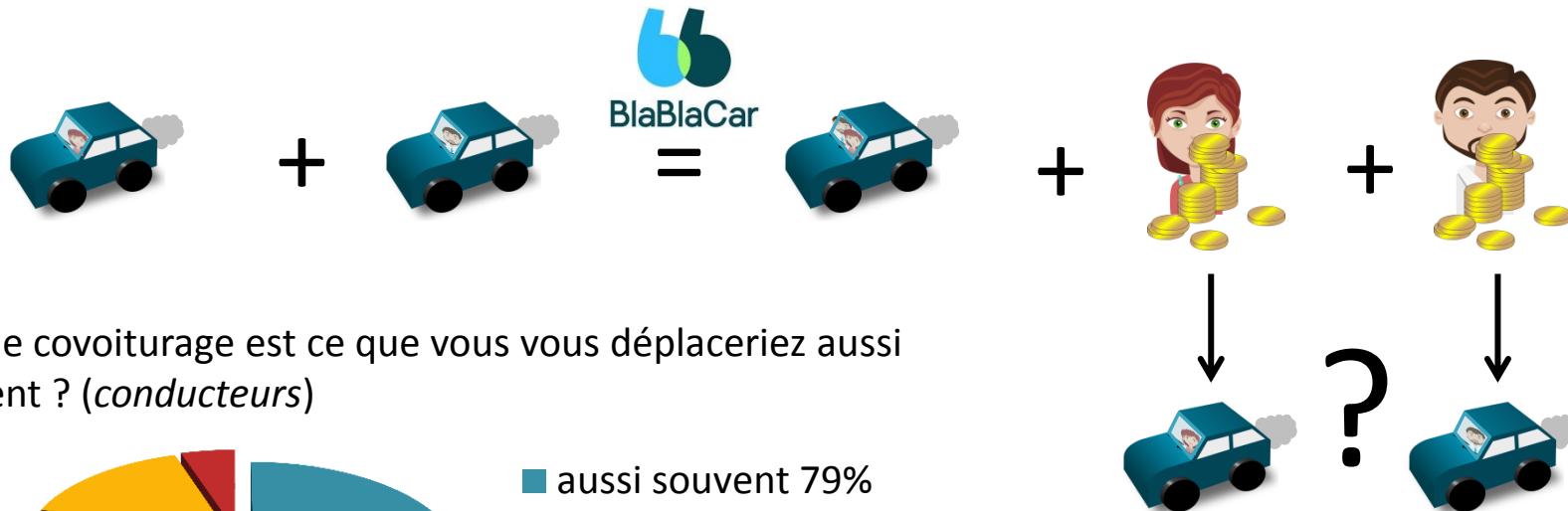
Motivations principales :

- économies 69 %
- convivialité 87 %

Moyen de déplacement qui aurait été utilisé sans le covoiturage (longue distance)

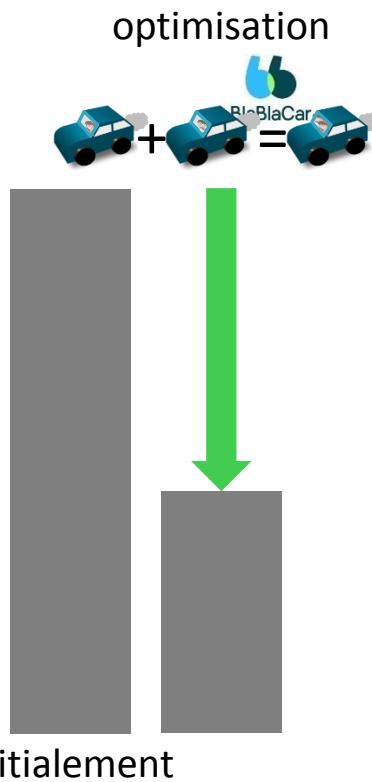


Covoiturage : attention aux effets rebond

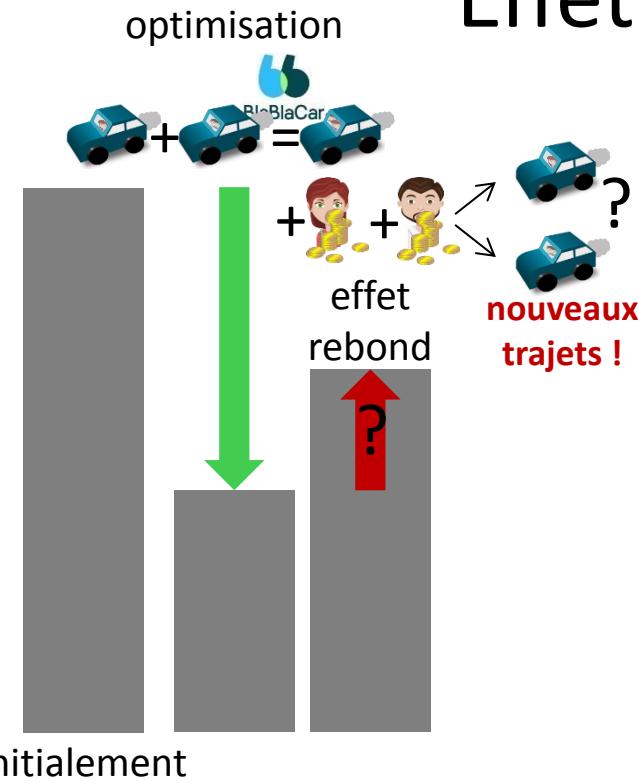


Nouveaux trajets !
*pas pris en compte dans le
calcul des 12 % de réduction de CO₂*

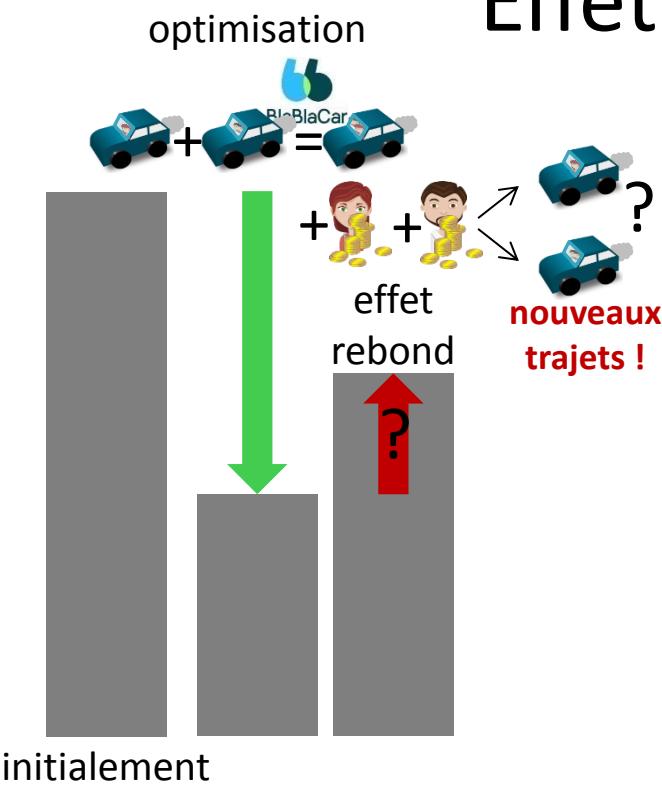
Effet rebond



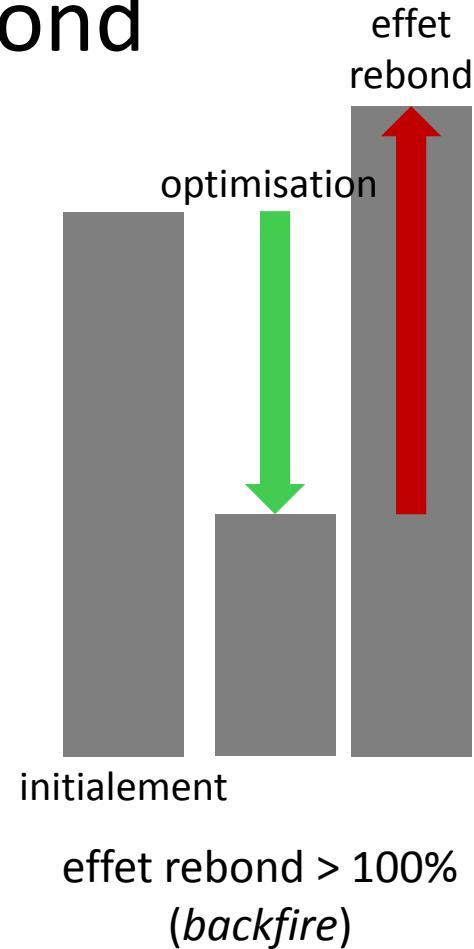
Effet rebond



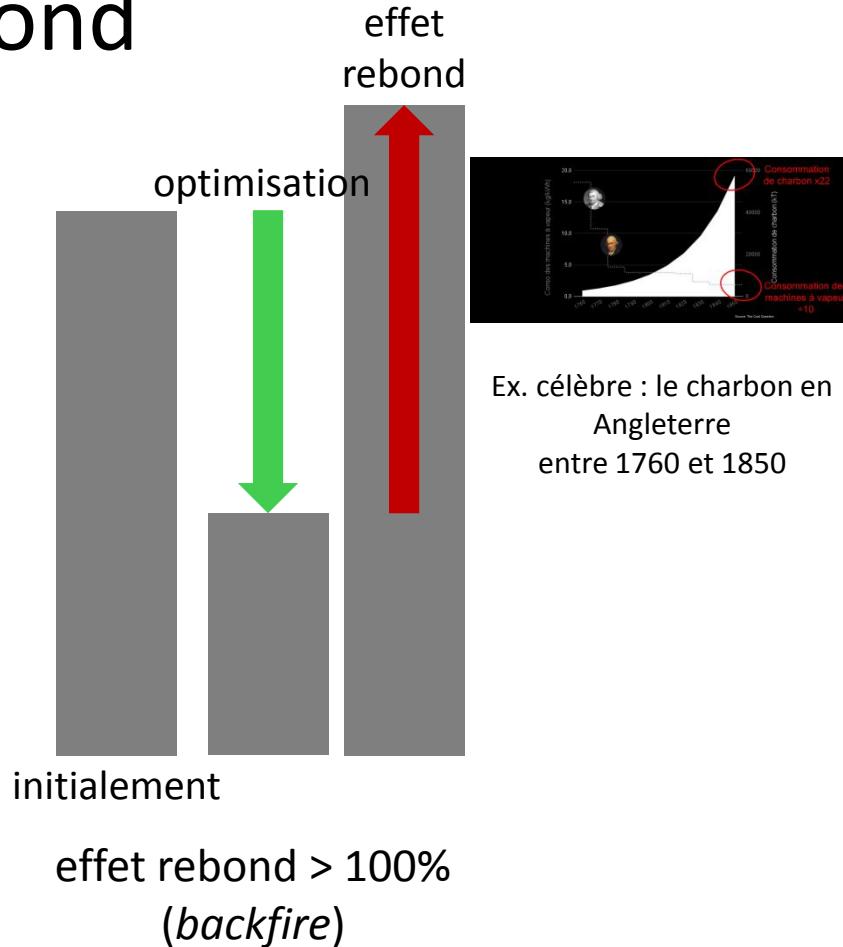
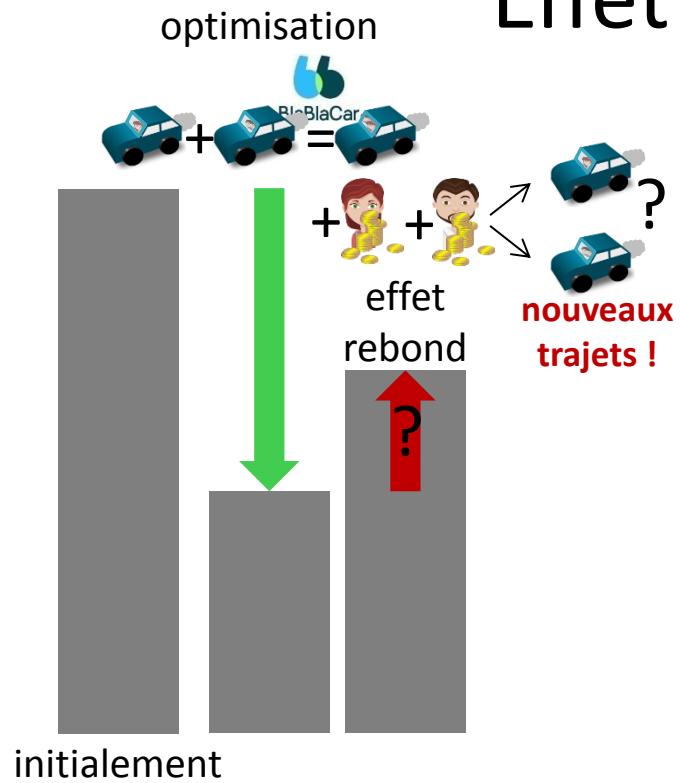
Effet rebond



effet rebond $\leq 100\%$



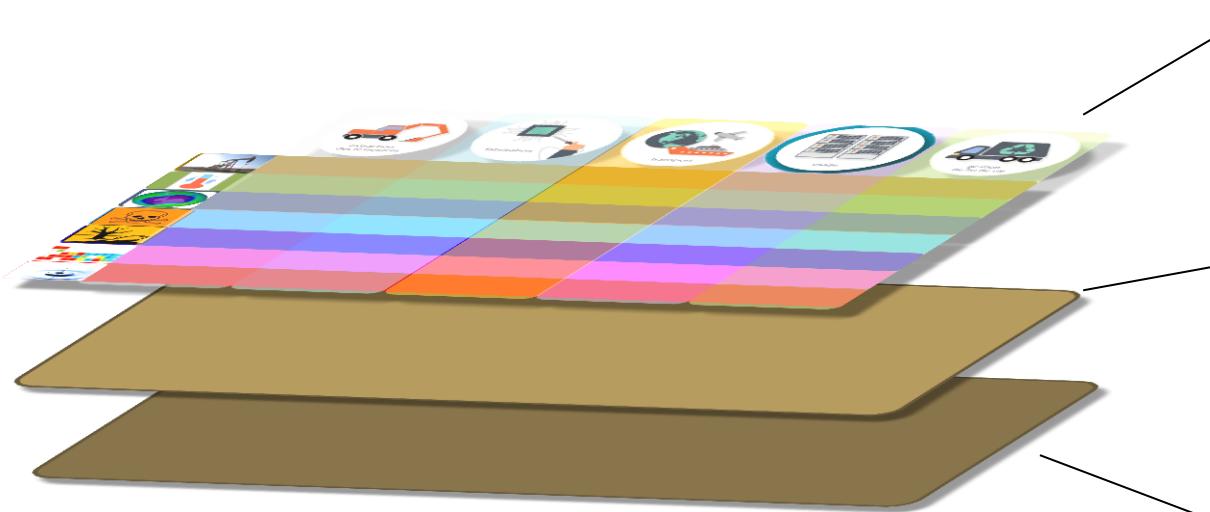
Effet rebond



Effet rebond ?



Impacts +/- directs, induits, rebond



1^{er} ordre :

- analyse de cycle de vie (ACV)
 - + outils au service de l'écologie

- 2^{ème} ordre :

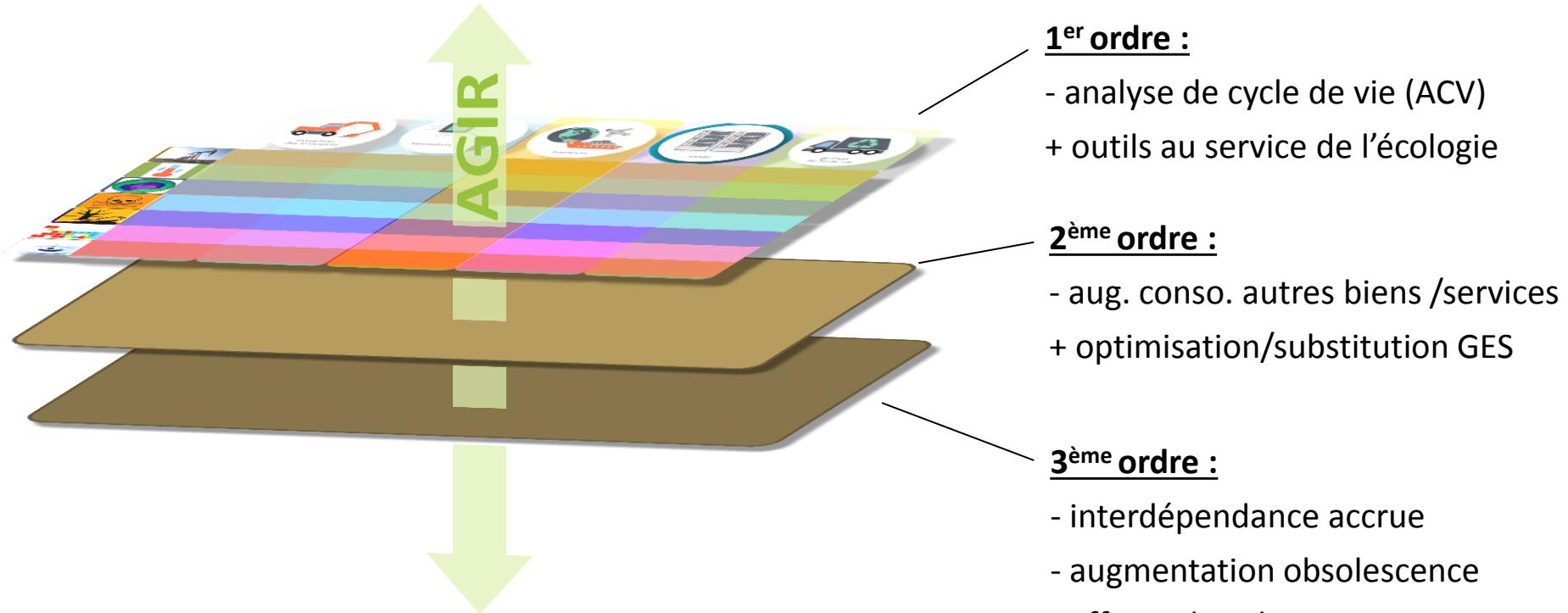
- aug. conso. autres biens /services
 - + optimisation/substitution GES

3^{ème} ordre :

- interdépendance accrue
 - augmentation obsolescence
 - effets rebond

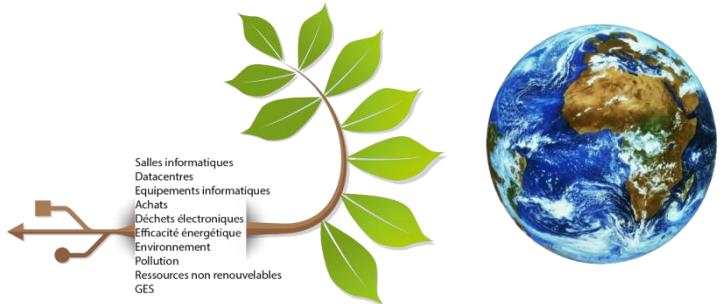
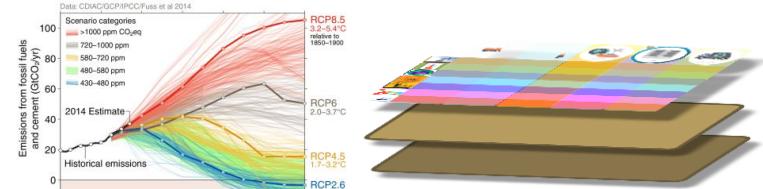
+ économie « dématérialisée »

Impacts +/- directs, induits, rebond

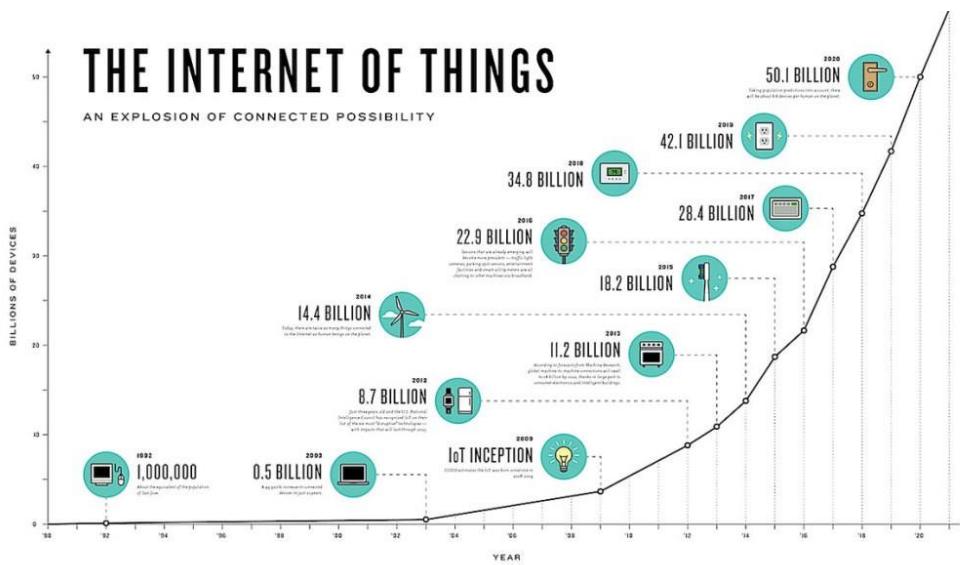


Le numérique : alors menace ou espoir ?

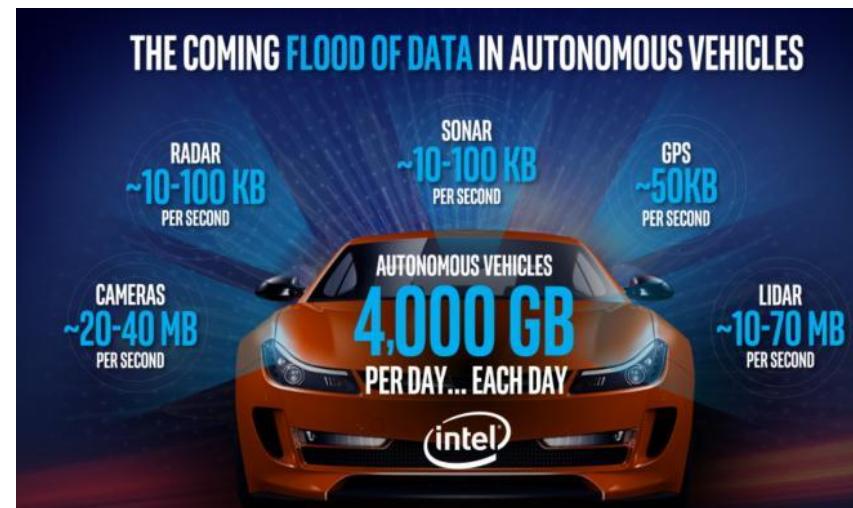
- Clé pour analyser la complexité
- Illusion de dématérialisation
- Formidable accélérateur des processus (qu'ils soient vertueux ou néfastes)
- Dogme de la technologie : rend aveugle à d'autres solutions (low-tech)
- Agir vers :
 - la sobriété :
 - taux de renouvellement
 - lutter contre l'obsolescence
 - éco-conception (attention aux effets rebond !)
 - la résilience : comment se passer des TIC pour les besoins de base ?



Demain ?



source : NCTA



source : Intel

Merci !

Backup

Modélisation

Mt/Year

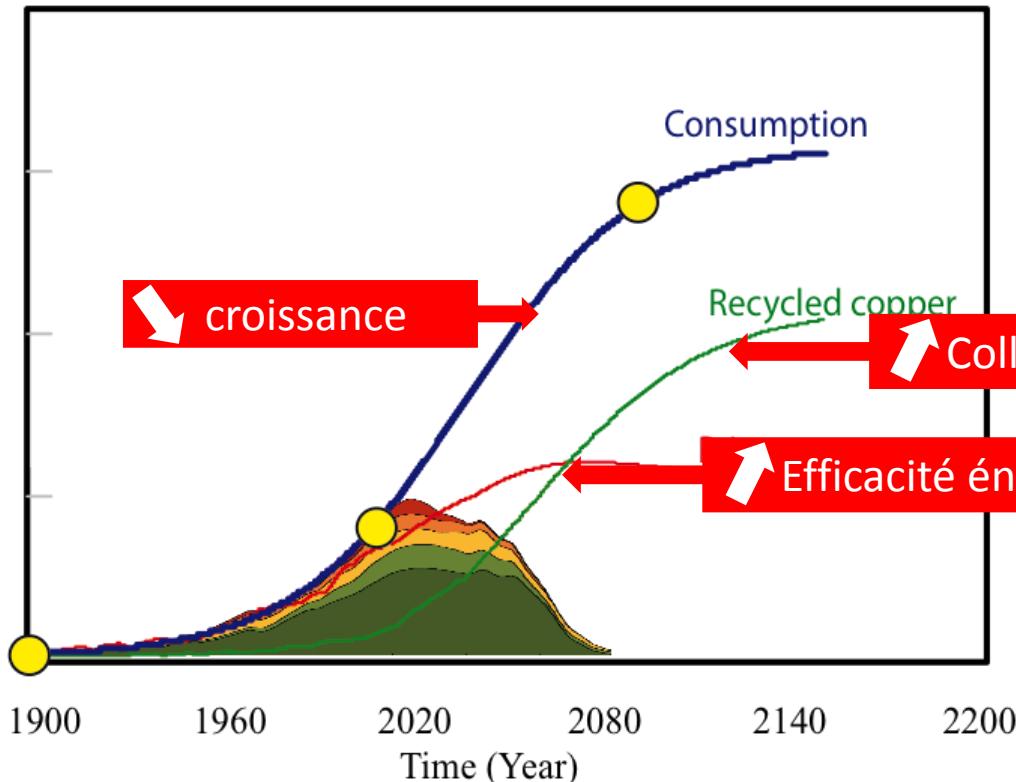
100

75

50

25

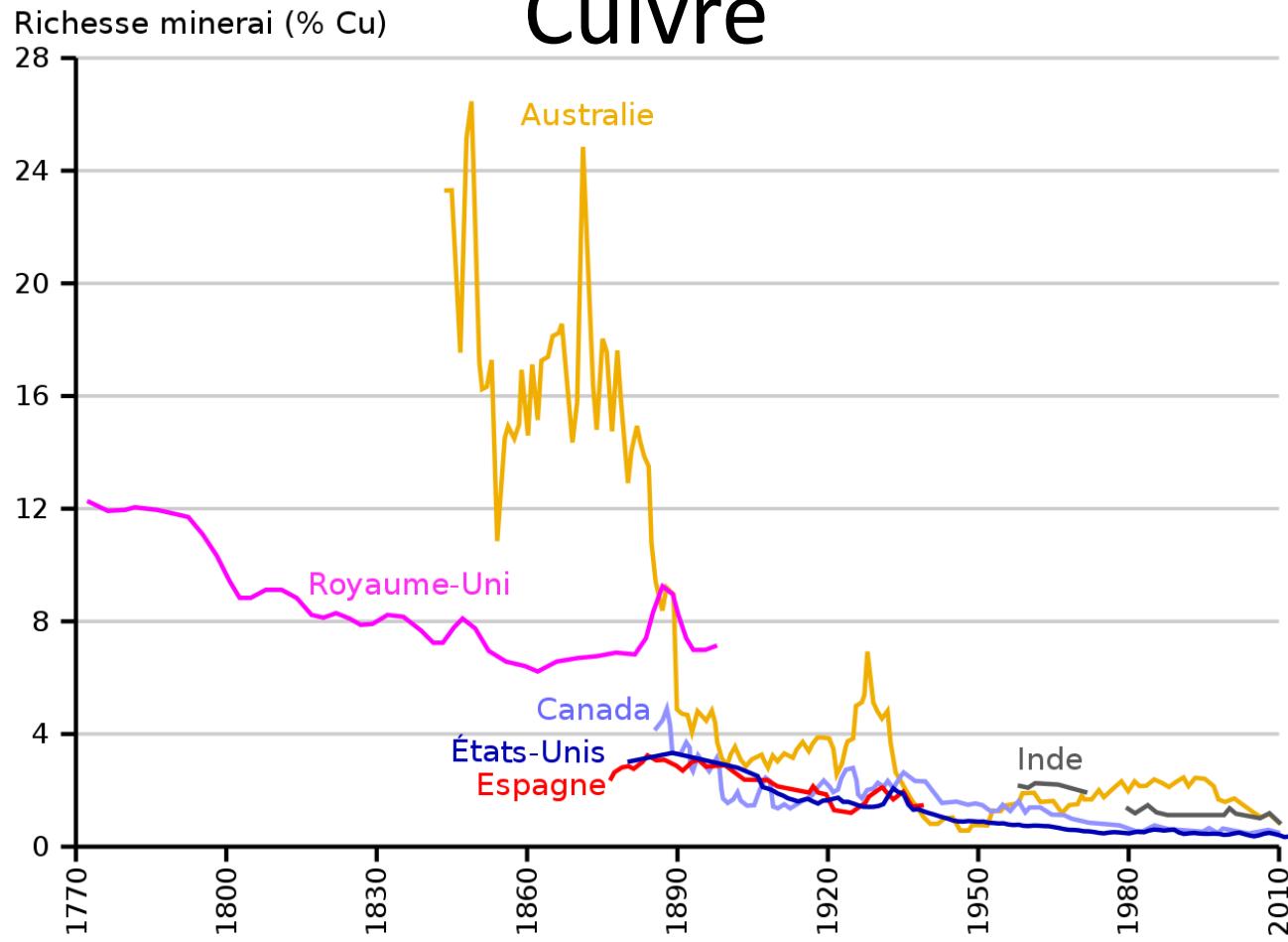
0



Dans ces conditions les réserves pourraient être encore accessibles pendant qqs centaines d'années ?

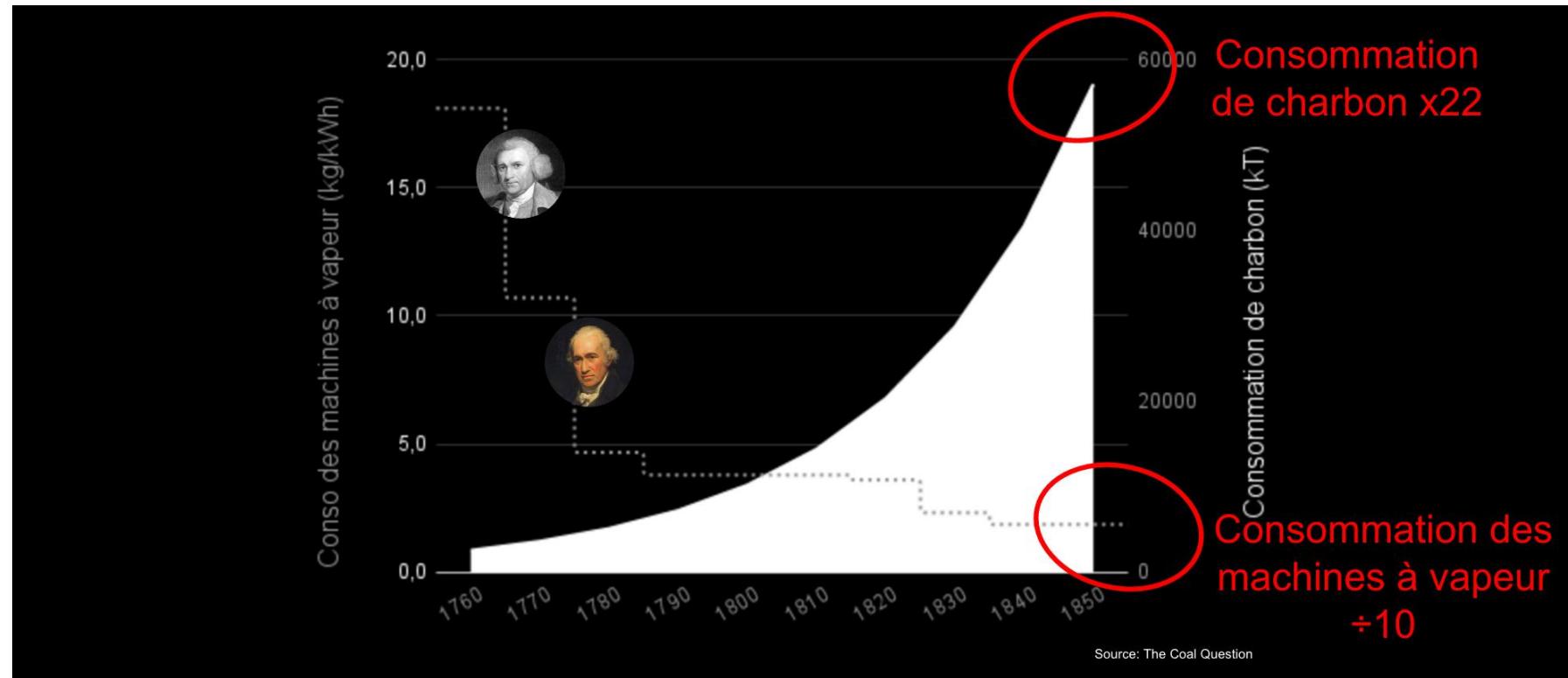
Source : Olivier Vidal, 2018

Cuivre

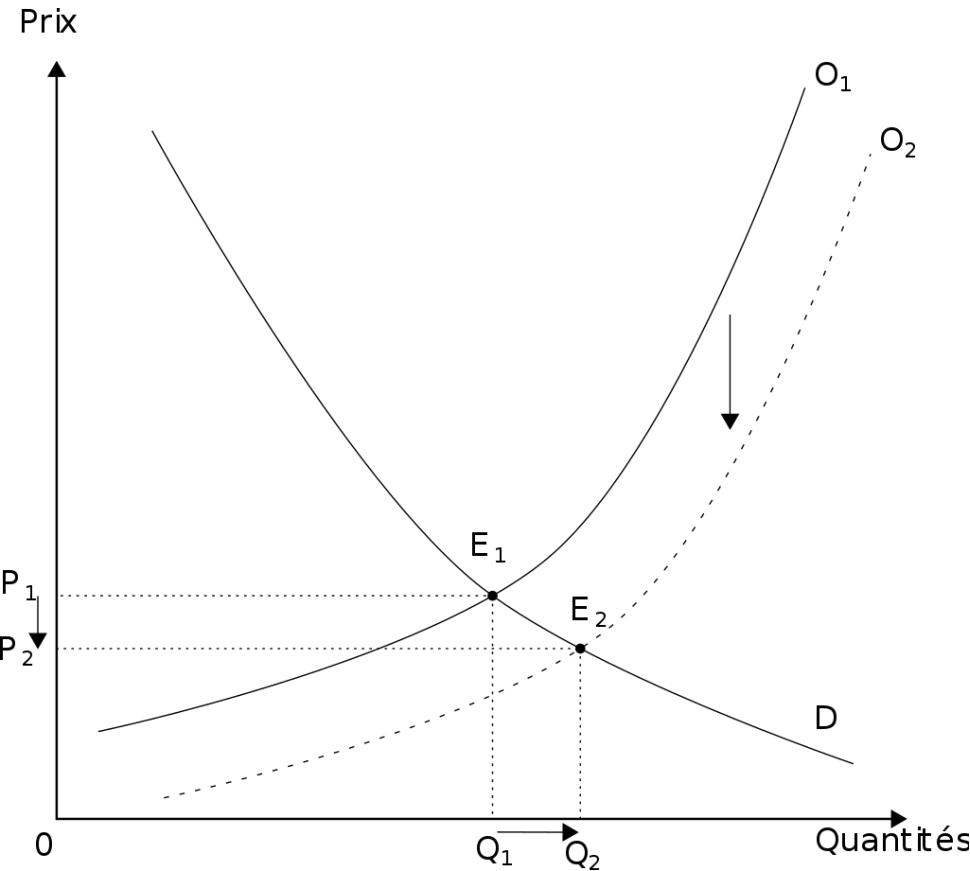


source : wikipedia

Effet rebond : l'exemple du charbon

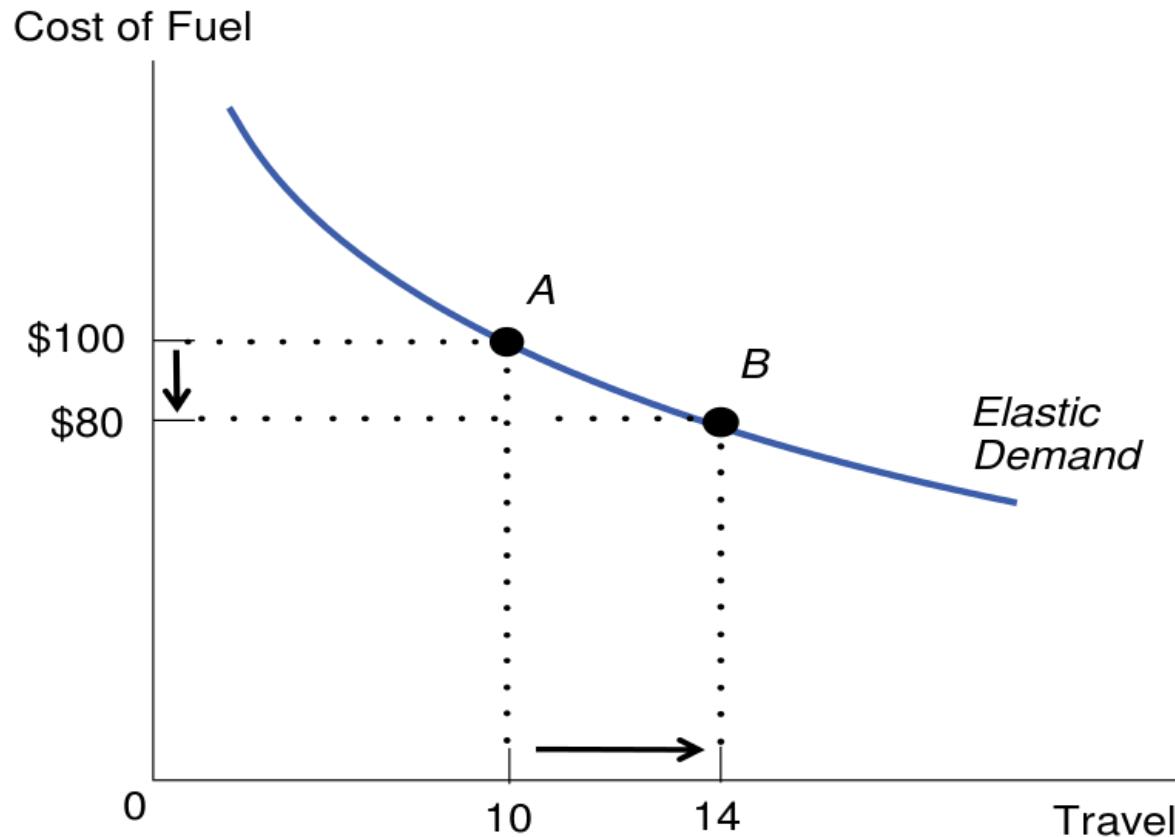


Effet rebond : loi offre demande

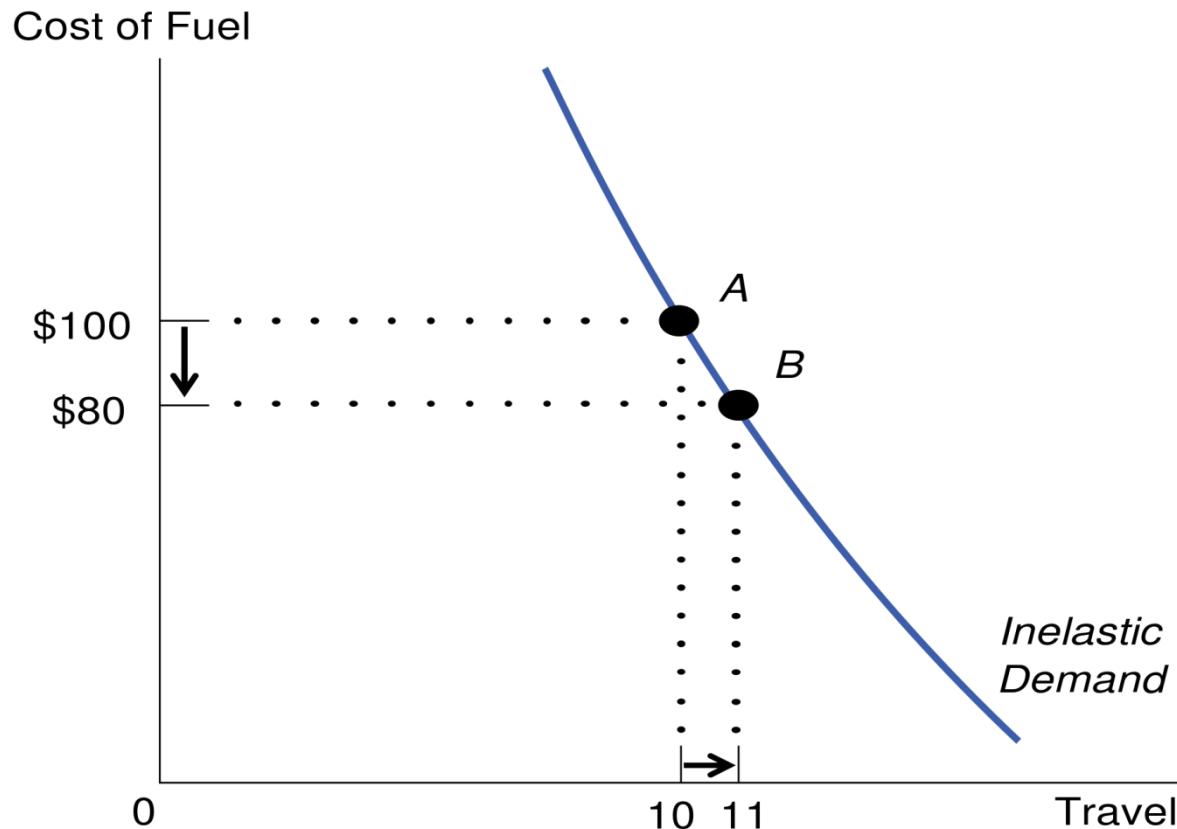


source : wikipedia

Effet rebond : demande élastique

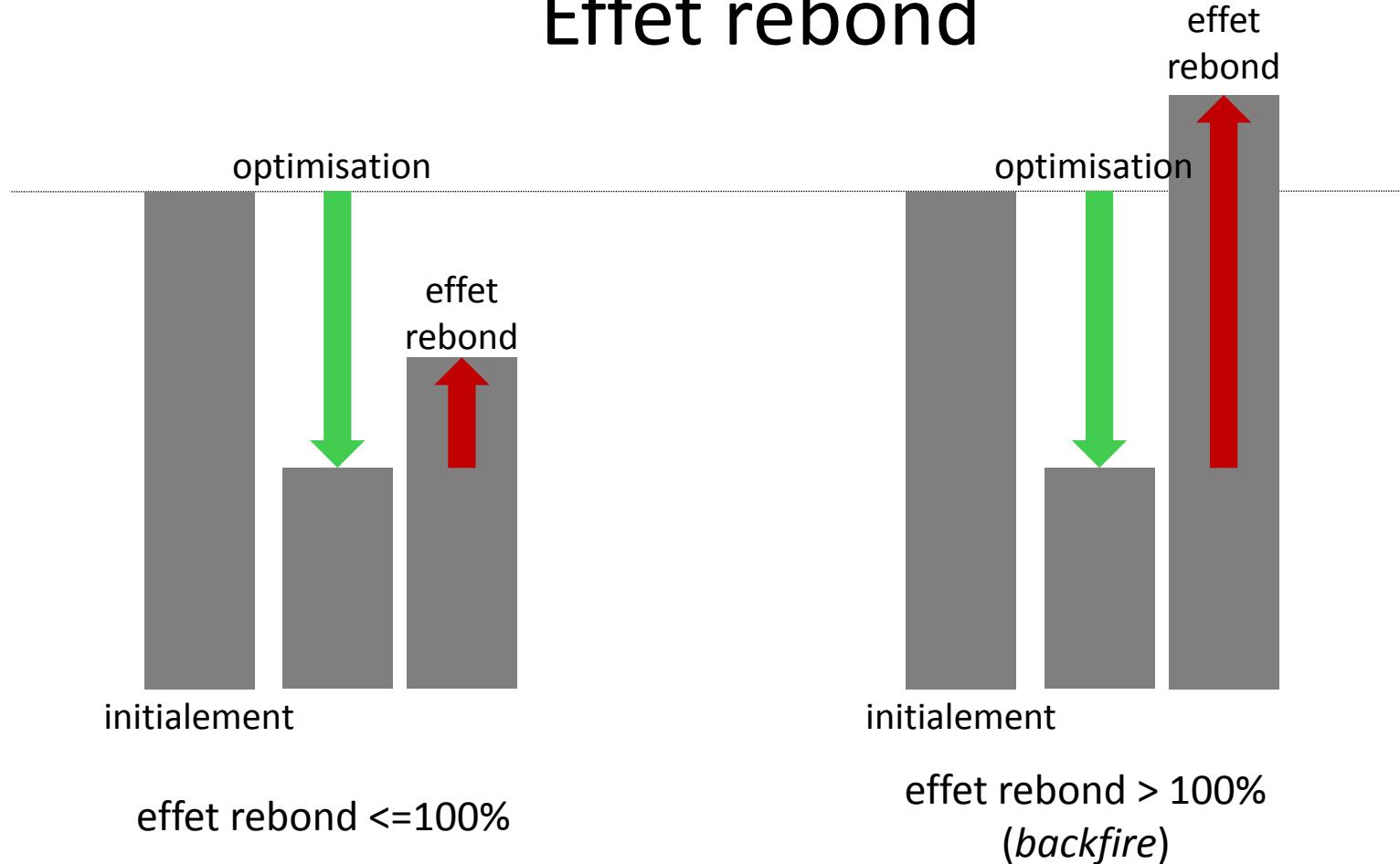


Effet rebond : demande peu élastique

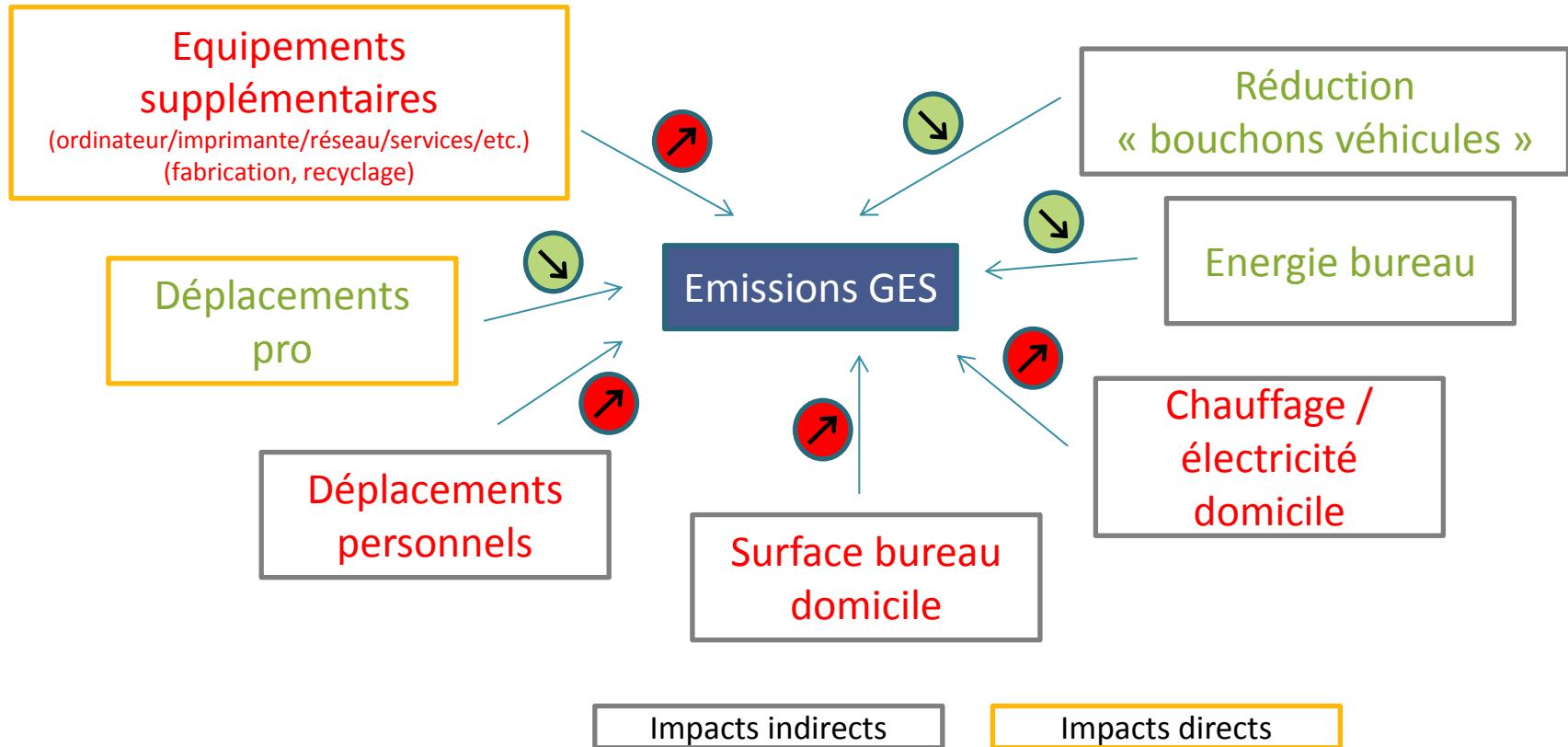


source : wikipedia

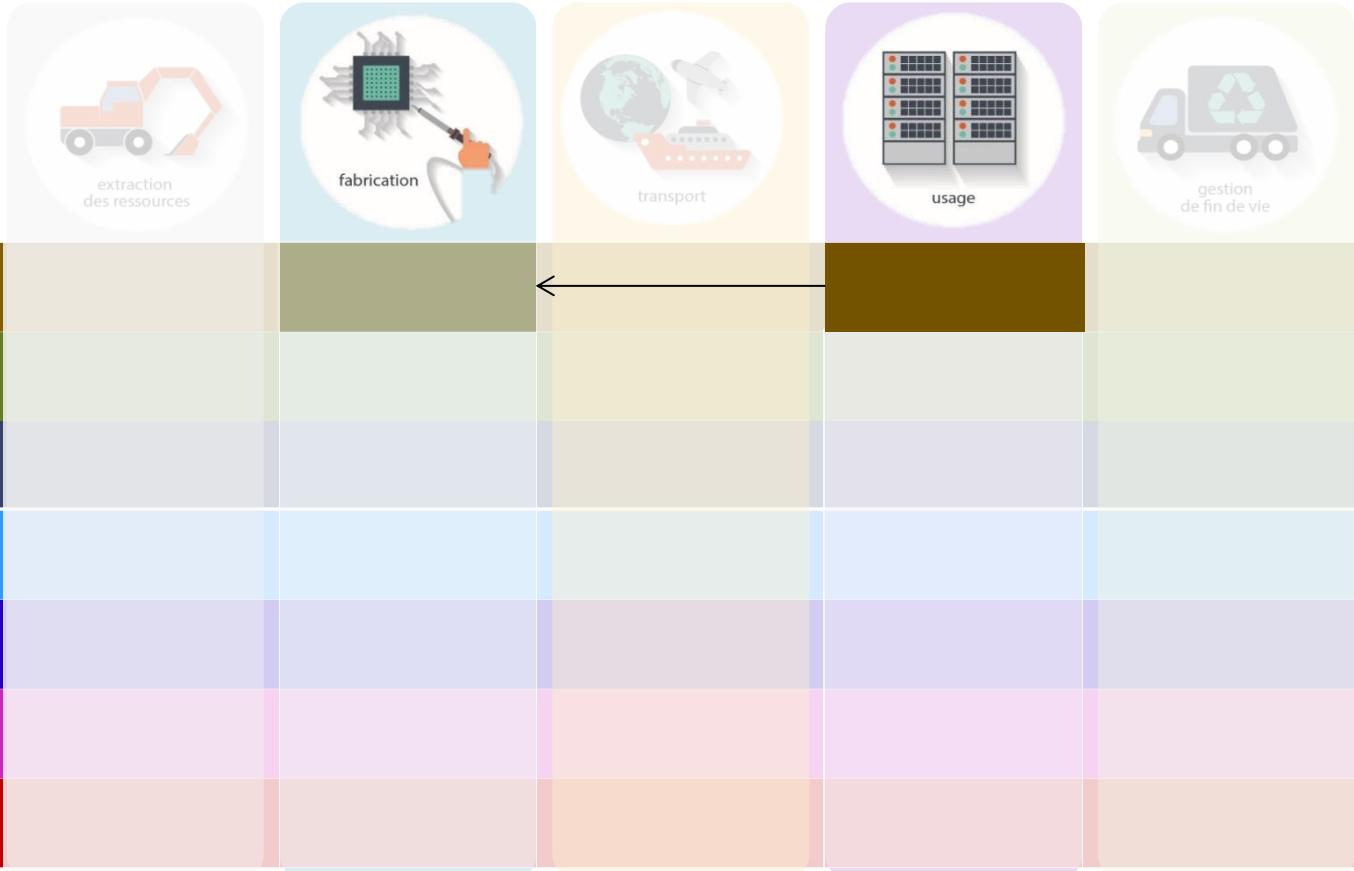
Effet rebond



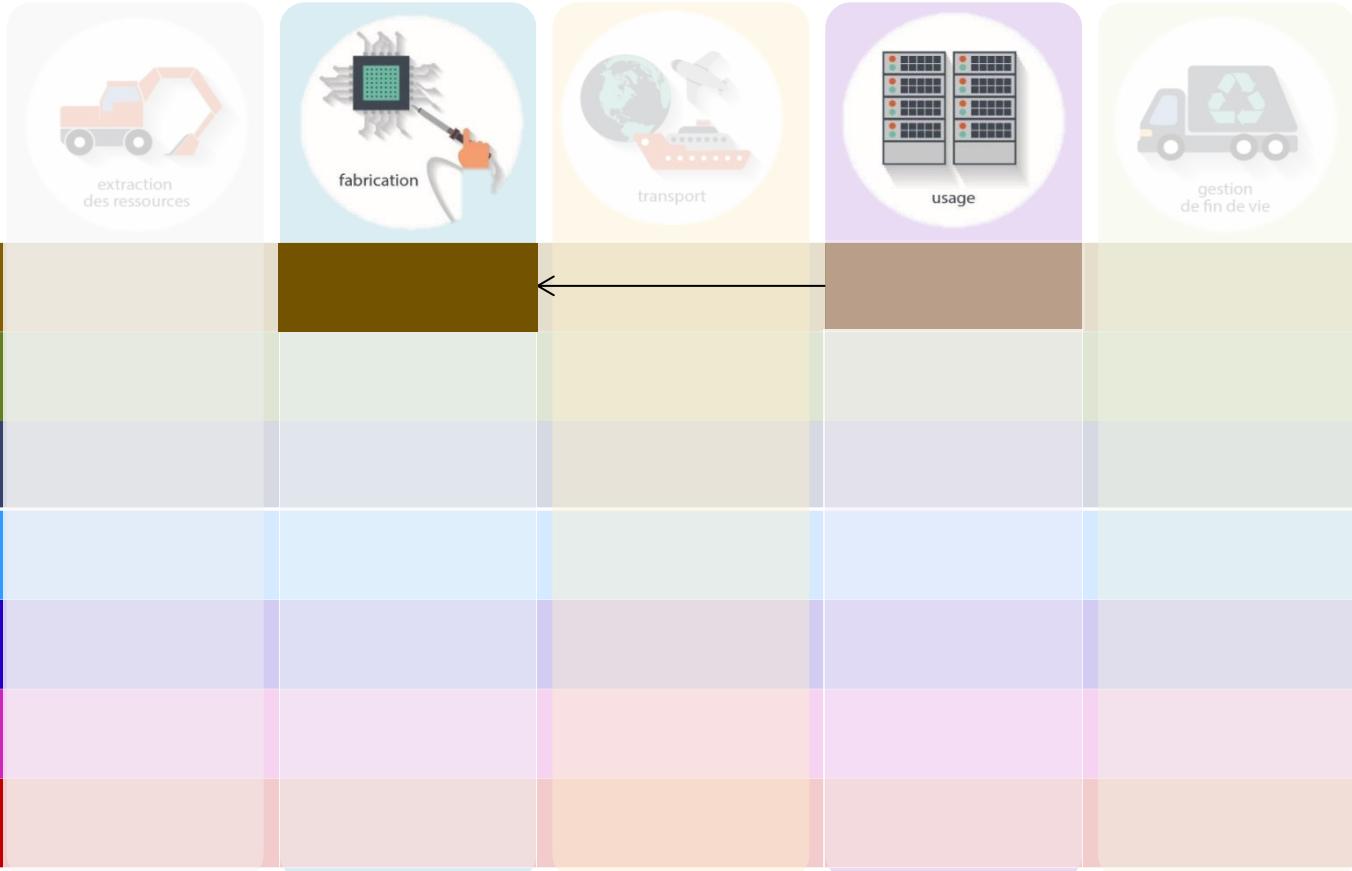
Exemple du télétravail



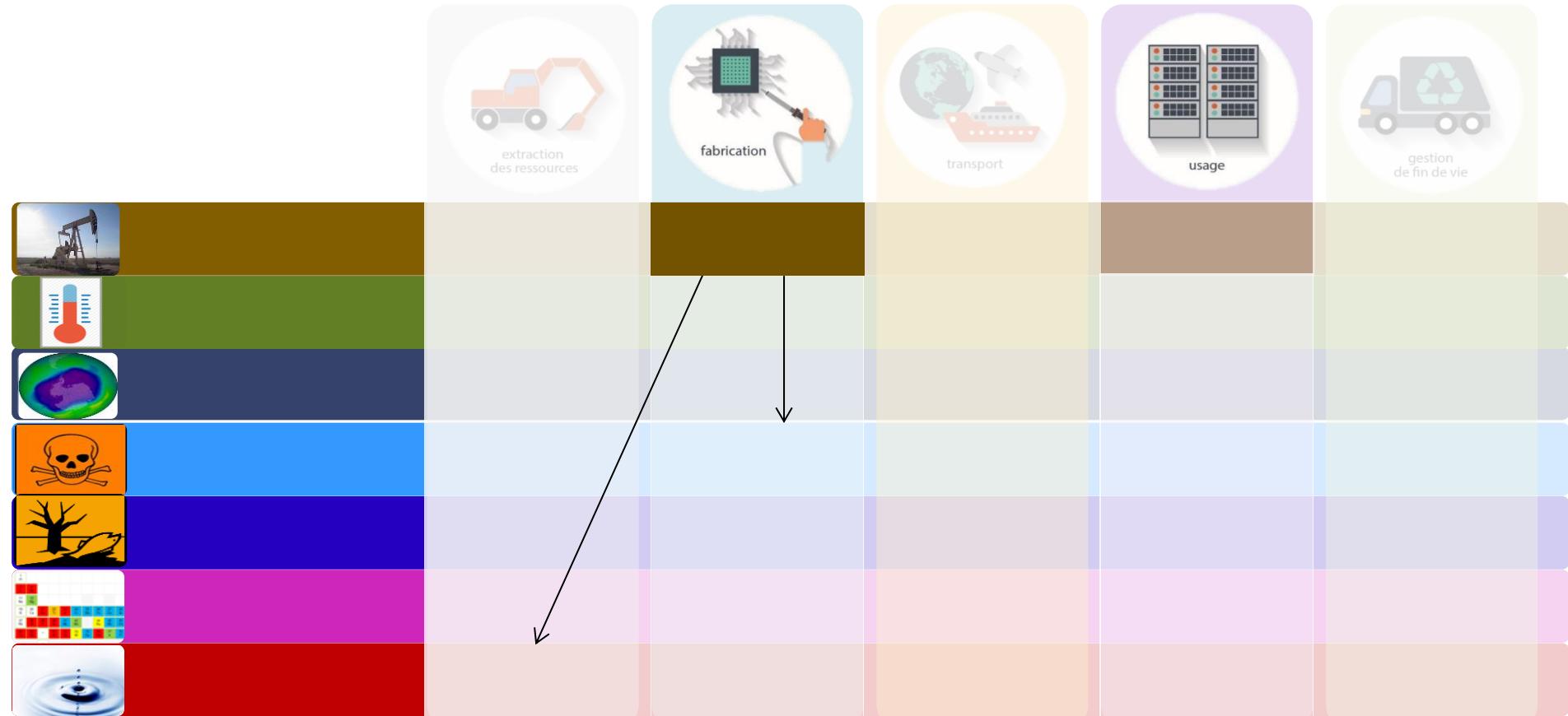
Transferts d'impacts



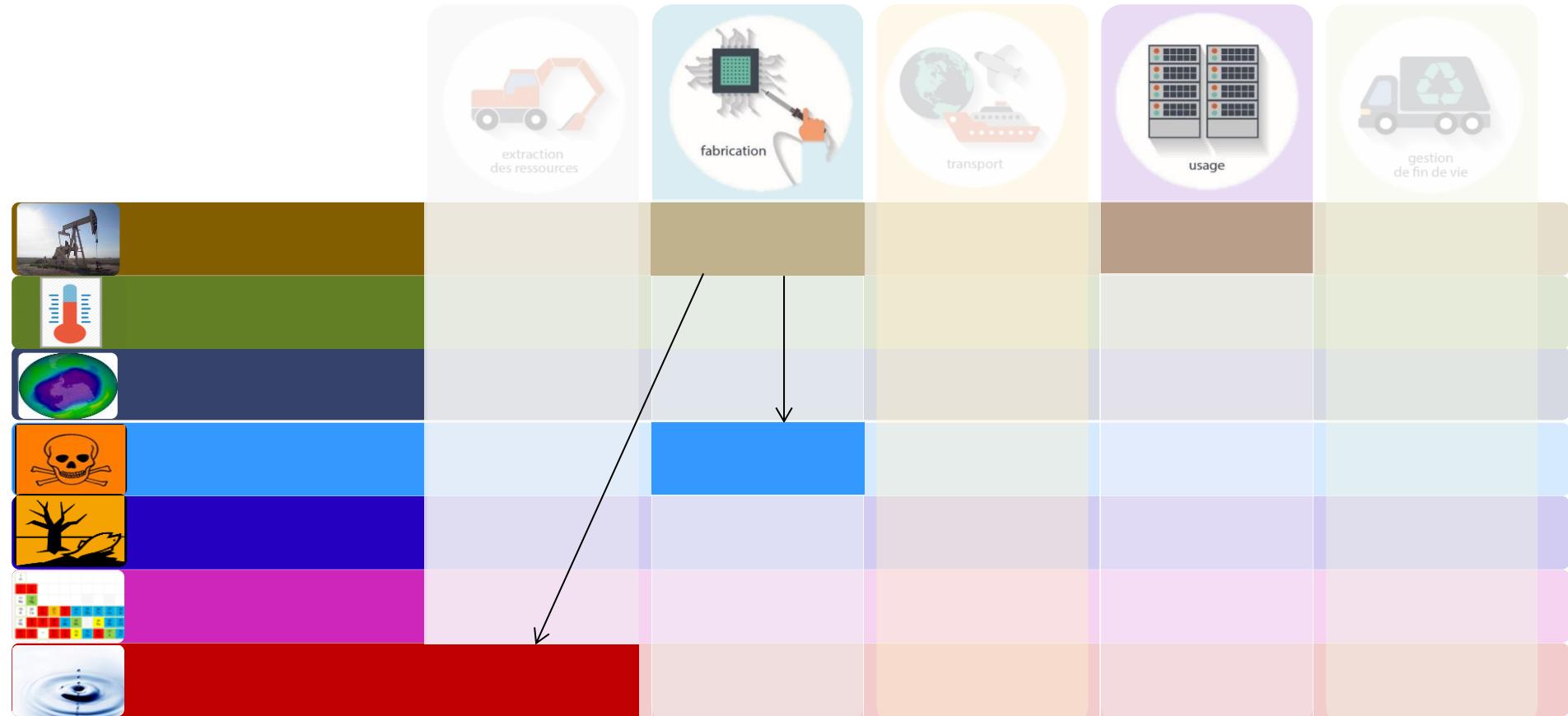
Transferts d'impacts



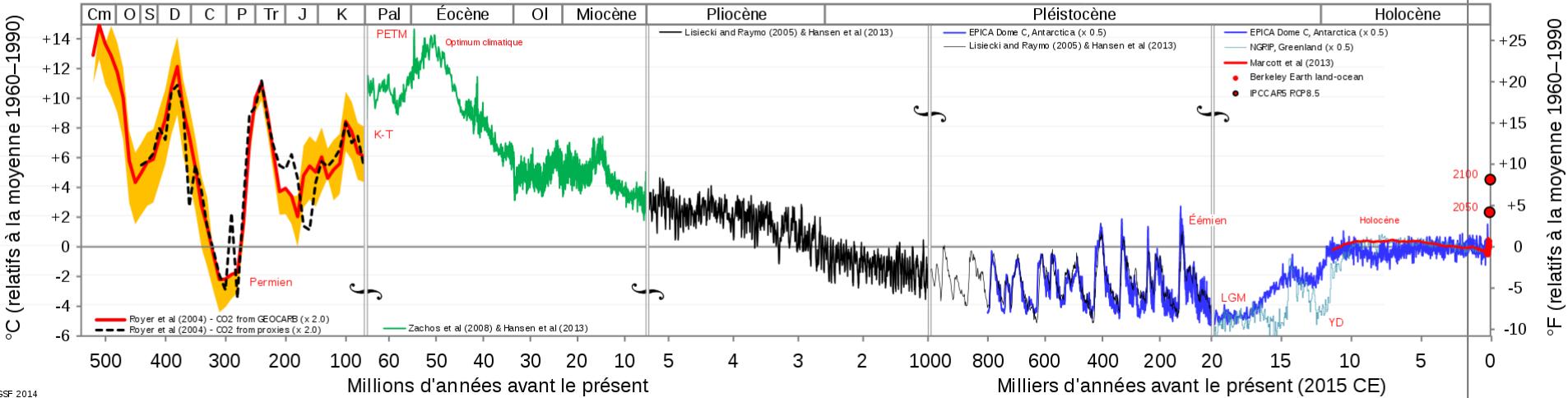
Transferts d'impacts



Transferts d'impacts



Paléotempératures sur Terre



GSF 2014

source : wikipedia

Réserves de pétrole

