

ÉCOLOGIE ET NUMÉRIQUE : COMPRENDRE ET AGIR



Annabelle Collin, Bordeaux INP, IMB, Inria
Juliette Chabassier, Inria, UPPA



www.ecoinfo.cnrs.fr

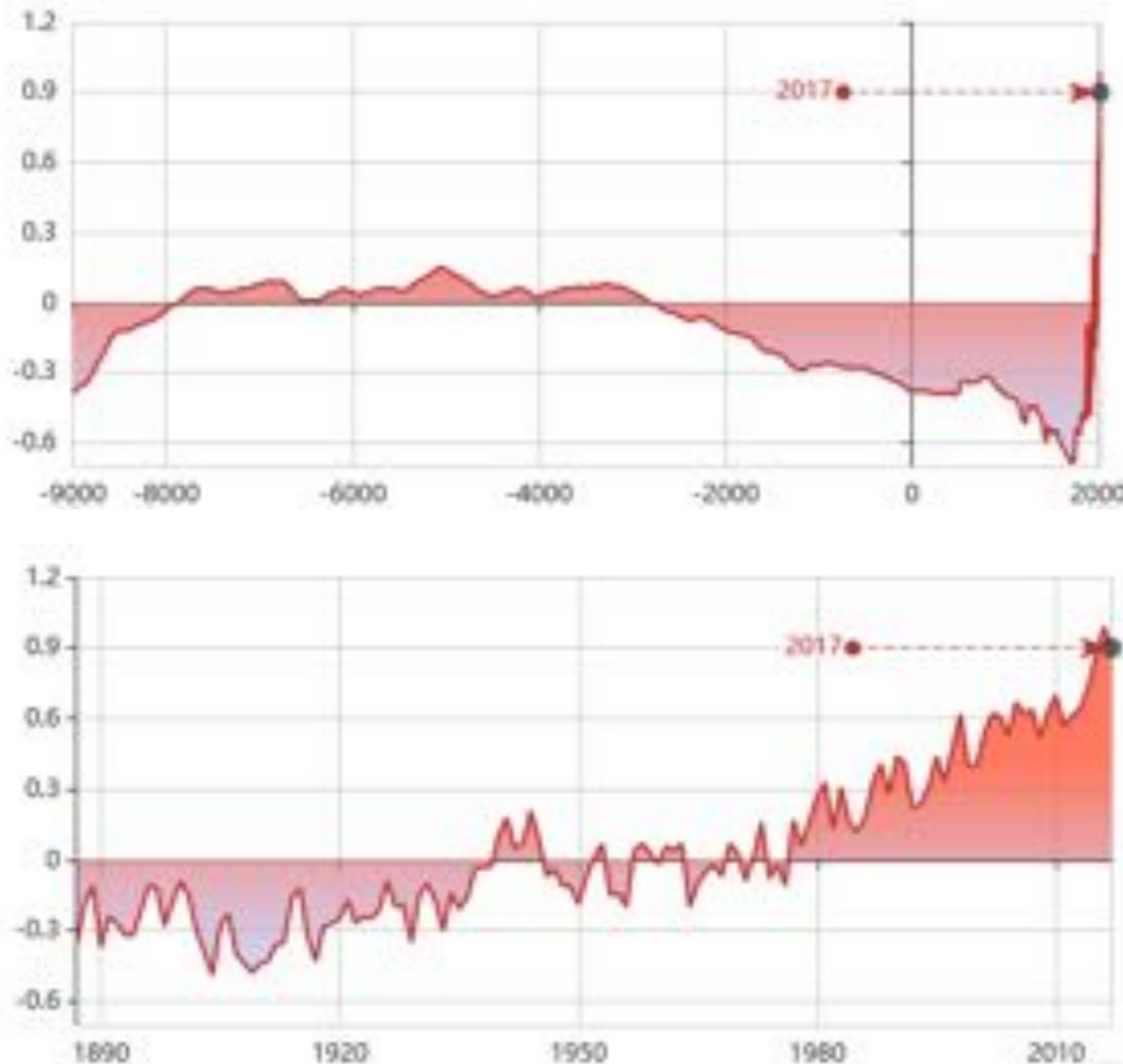
Plan de la présentation

- Contexte : **Crise Écologique** :
 - **Indicateurs**
 - Changement climatique
 - Effondrement de la biodiversité
 - Épuisement des ressources minérales
 - **Causes**
 - **Quantification**
- **Ecologie et numérique** :
 - Impacts **directs**
 - Impacts **indirects**
 - **Agir** à son échelle





Changement climatique : températures



- La terre n'a jamais été aussi chaude depuis >100 000 ans.
- Depuis la dernière ère glaciaire, la température n'avait pas varié de plus de 0.8°C
- La température a augmenté de >1°C depuis la fin du 19ème siècle

Source : [A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years](#) (data) before 1880, [NASA's Goddard Institute for Space Studies \(GISS\)](#) (data) after 1880



Changement climatique : Lien températures / Gaz à Effet de Serre (GES)

- Le **GIEC** : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
 - en anglais : IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)
 - créé en 1988 à l'ONU à la demande du G7
 - 195 pays membres
 - Synthèse des travaux **existants**
- Les rapports : 5 rapports publiés depuis 1990 + rapports spéciaux
- AR1 (1990) : Extrait :

Nous sommes certains que :

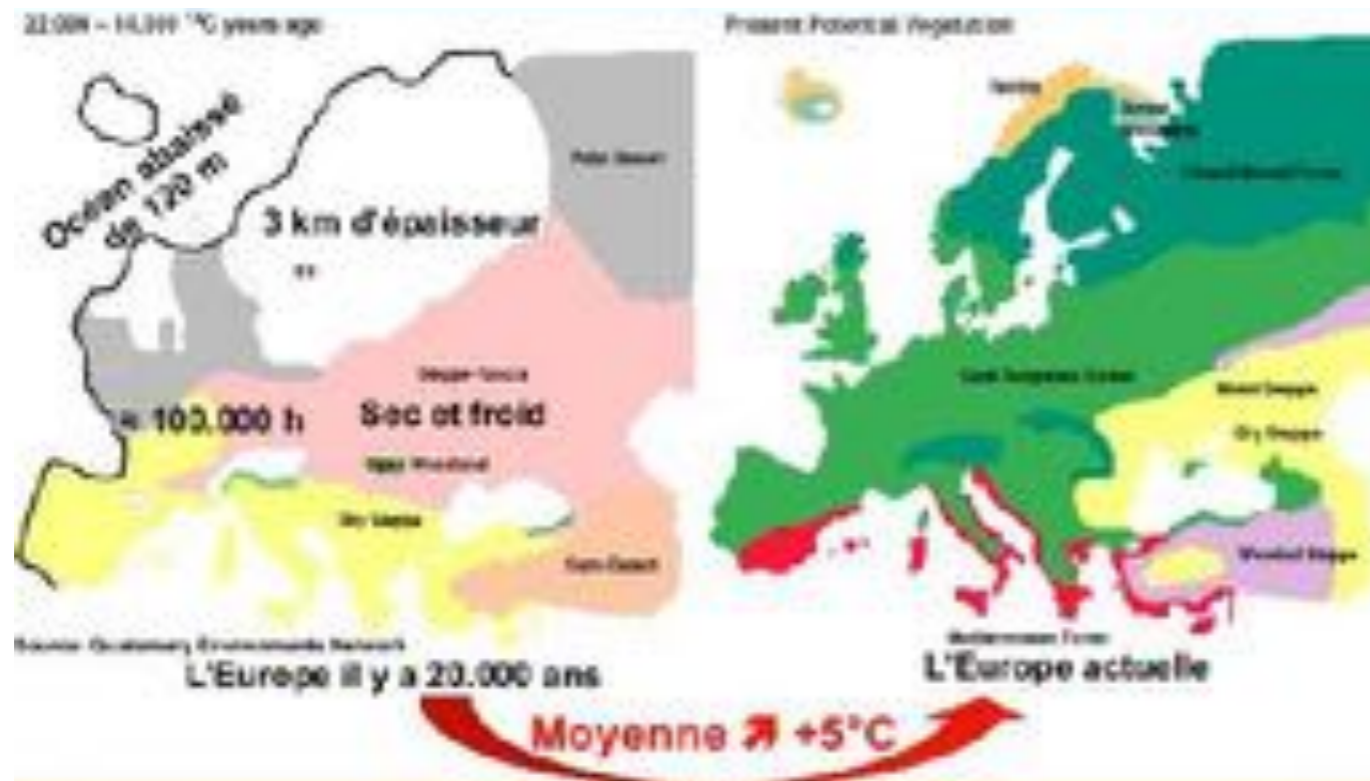
- Il y a un effet de serre naturel qui maintient la terre à une température plus élevée qu'elle ne le serait autrement.
- Les activités humaines augmentent fortement les concentrations atmosphérique en **GES**. Cela va provoquer une **augmentation de la température**.

Nous calculons avec un bon degré de confiance que :

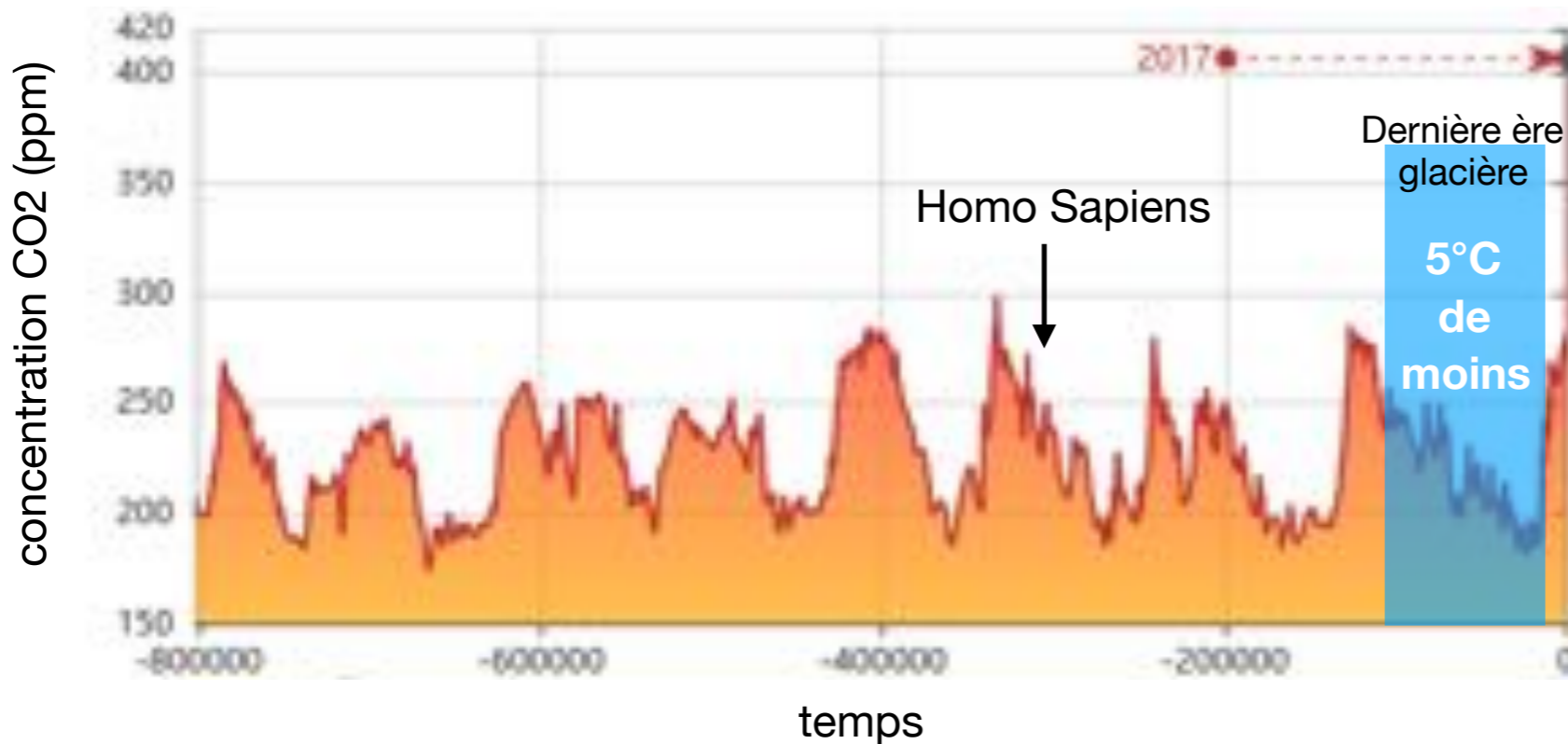
- Certains gaz ont un effet de serre plus importants que les autres, le CO2 est l'un des principaux.

En se basant sur les modèles actuels, nous prévoyons :

- Une augmentation de la température globale d'environ 1°C d'ici 2025



Evolution de la concentration atmosphérique de CO2 en ppm (partie par millions)



Dernière période glacière ?

Température moyenne de la planète 5°C sous la moyenne actuelle

Plutôt 10°C de moins sous nos latitudes
Plutôt 2°C de moins proche de l'équateur

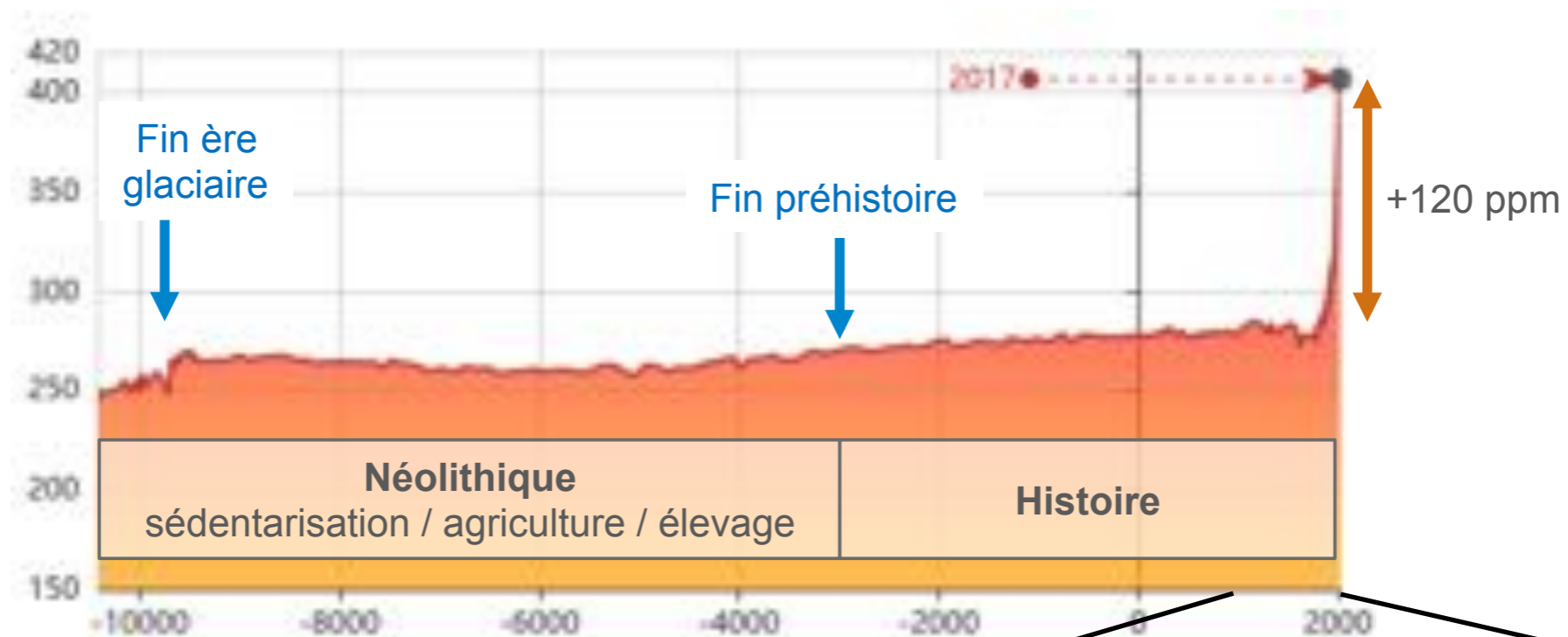
Le nord de l'Europe est sous 3km de banquise
Le niveau de la mer est 120m plus bas
On peut rejoindre la Grande-Bretagne à pied

Sources : National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [Ice Core records \(data\)](#) before 1959 and [Mauna Loa records \(data\)](#) after 1959.

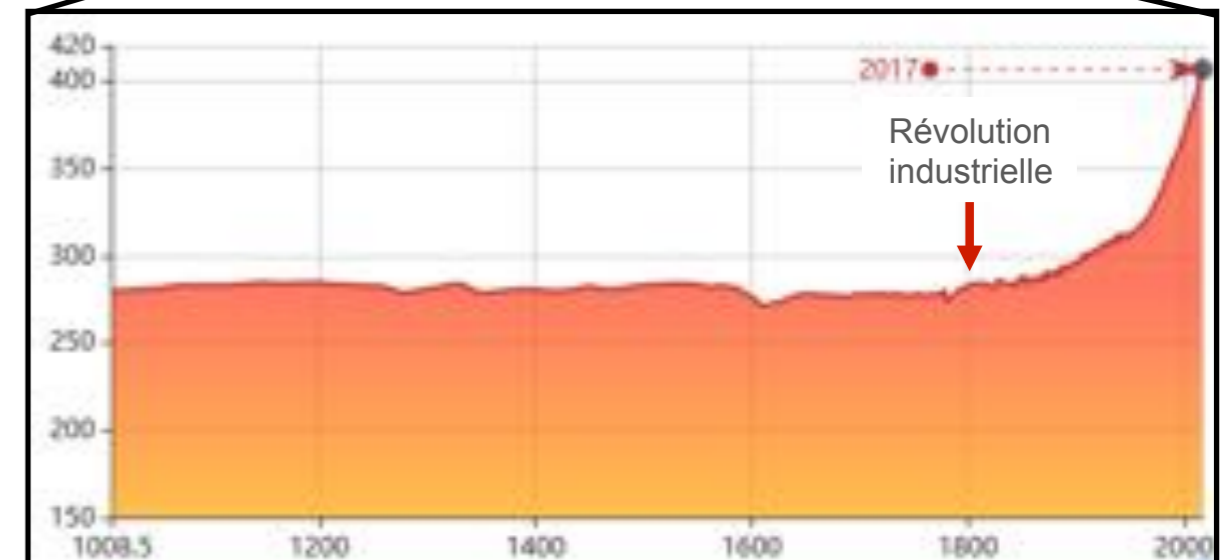
Climat d'hier à demain – Sylvie Joussaume - Conférence de Jean-Marc Jancovici, "PIB ou CO2 il faut choisir", donnée à Sciences Po, le 29/8/2019

By Vostok-ice-core-petit.png: NOAA derivative work: Autopilot (talk) - Vostok-ice-core-petit.png, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10684392>

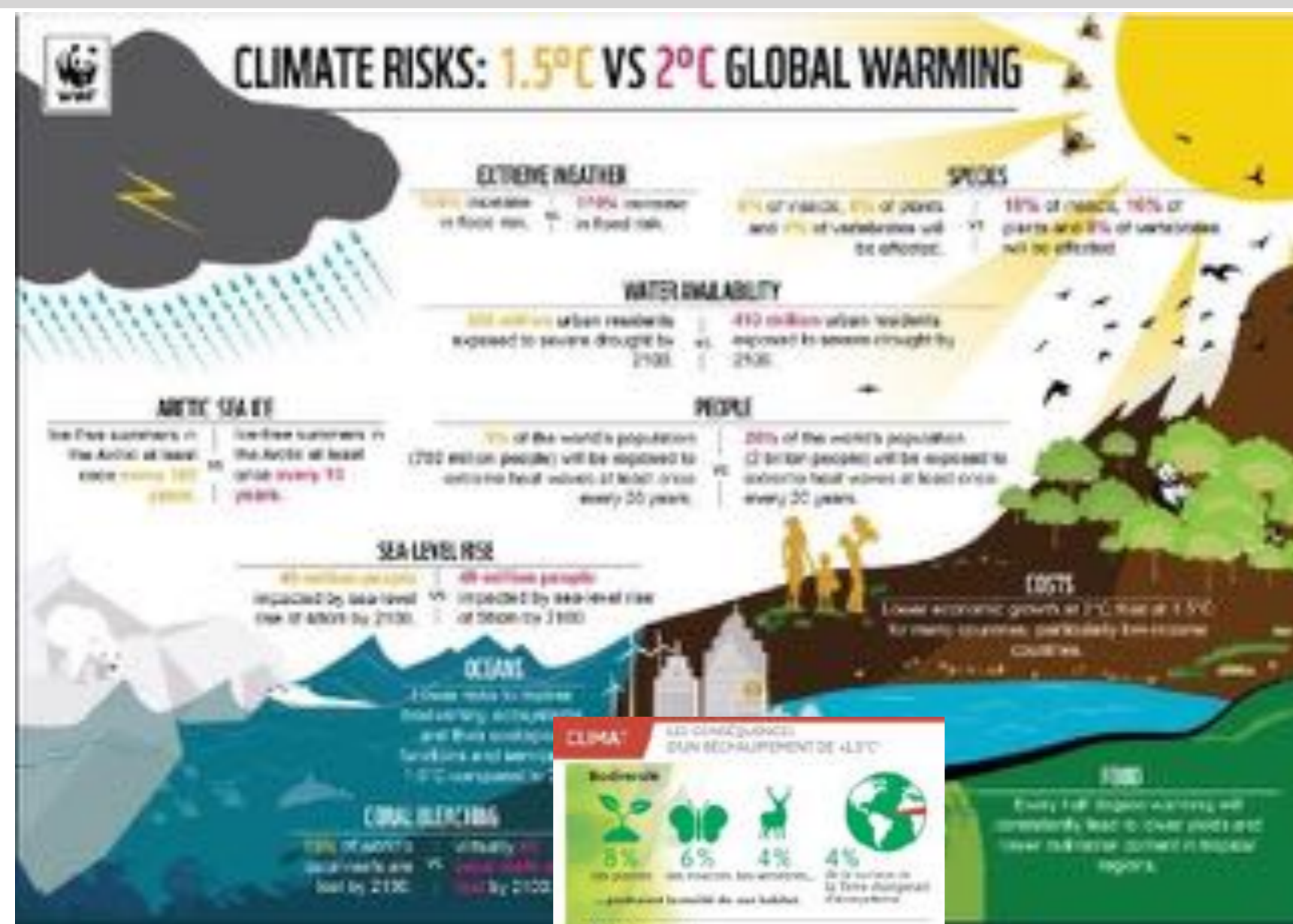
Changement climatique : Gaz à Effet de Serre (GES)



GES	Conc. préindustrielle	Conc. actuelle	Durée de séjour	Potentiel de Réchauffement à 100 ans
Dioxyde de carbone CO ₂	280 ppm	412 ppm	100 ans	1 (définition)
Méthane CH ₄	0,6 à 0,7 ppm	1,8 ppm	12 ans	25
Protoxyde d'azote N ₂ O	0,27 ppm	0,327 ppm	114 ans	265
Dichlorodifluorométhane CCl ₂ F ₂	0	0,52 ppm	100 ans	
Chlorodifluorométhane CFCIF ₂	0	0,105 ppm	12 ans	
Tétrafluorométhane CF ₄	0	0,07 ppm	50 000 ans	7 390
Hexafluorure de soufre SF ₆	0	0,008 ppm	3 200 ans	23 500



Sources : National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Ice Core records (data) before 1959 and Mauna Loa records (data) after 1959.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_à_effet_de_serre



Canicule : Bordeaux bat son record absolu de chaleur

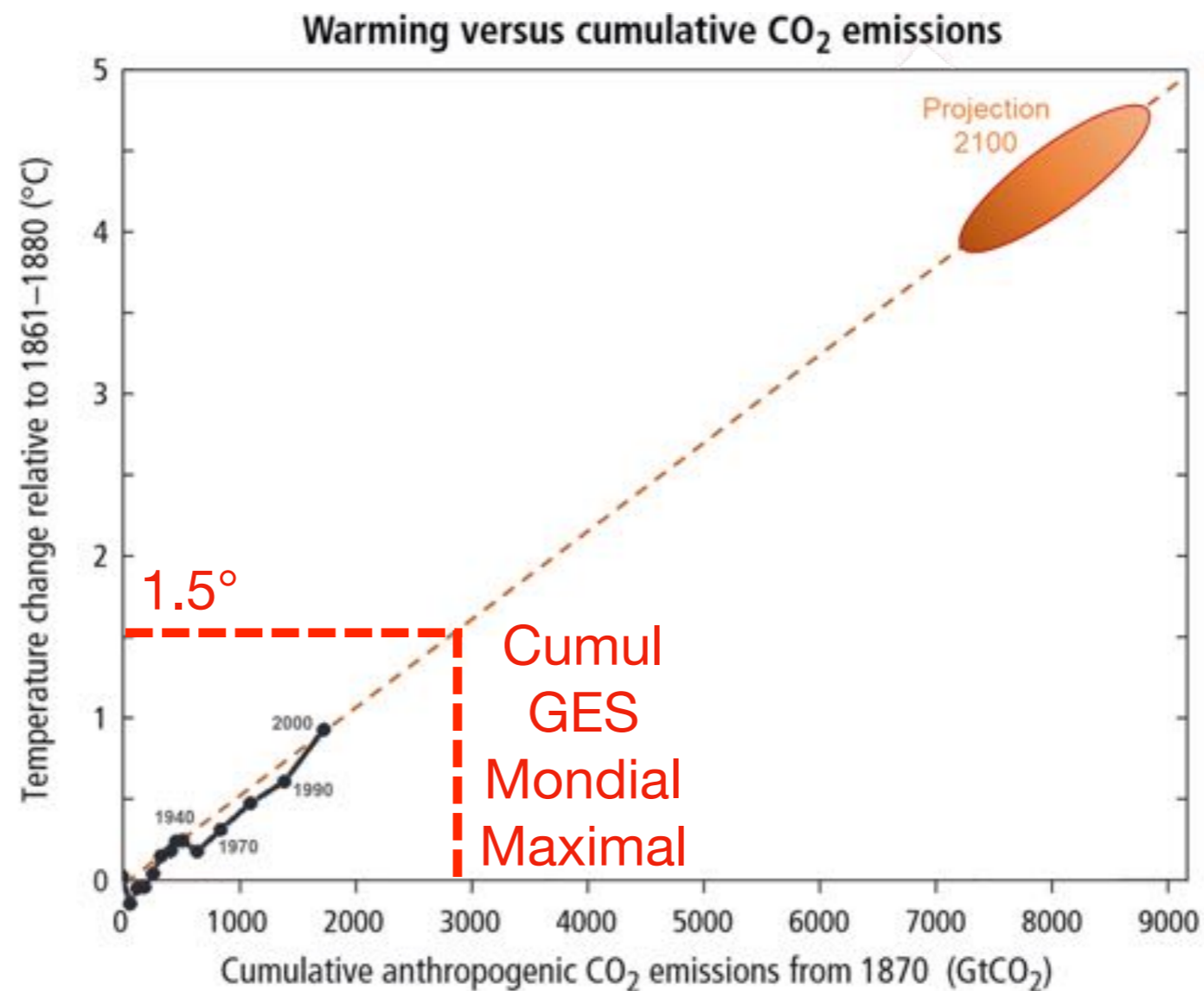
Paris, 22 août (AFP) - La France connaît une canicule sans précédent.

La Rédaction avec AFP

41,2 degrés celsius



- Changement climatique : Gaz à Effet de Serre (GES)
- Indicateur : équivalent CO₂



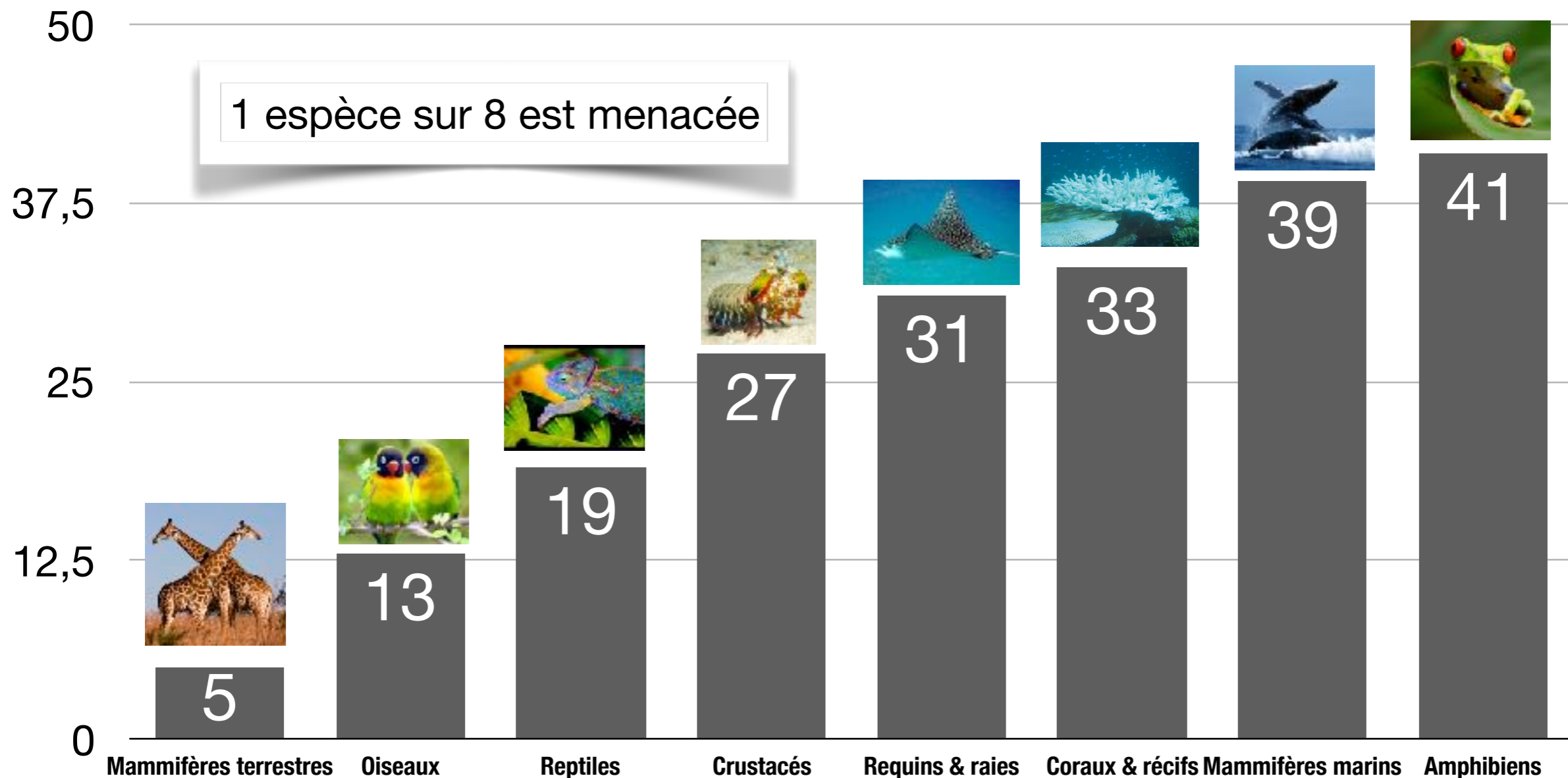
Source : [IPCC, 2014 - Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#)



Effondrement de la biodiversité massif et sans précédent

Rapport de l'IPBES (créé en 2012, rapport 2019)

Pourcentage des espèces menacées d'extinction dans le monde

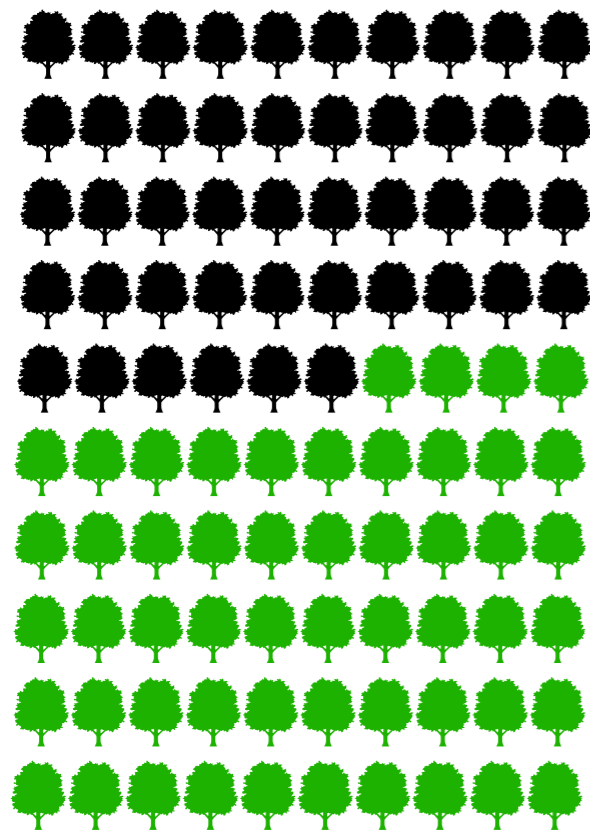


Source : IPBES - Agence Française pour la Biodiversité - <http://www.2hcreations.net/memorium/liste.html>



Effondrement de la biodiversité massif et sans précédent

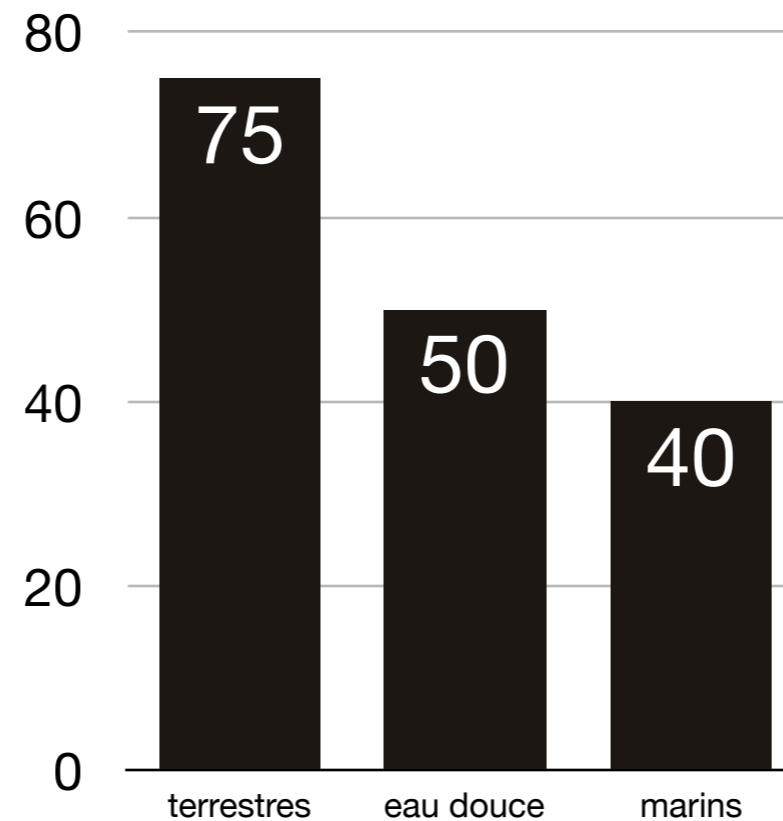
Rapport de l'IPBES (créé en 2012, rapport 2019)



46%

de la couverture forestière
a disparu depuis la préhistoire

Pourcentage des milieux naturels dégradés



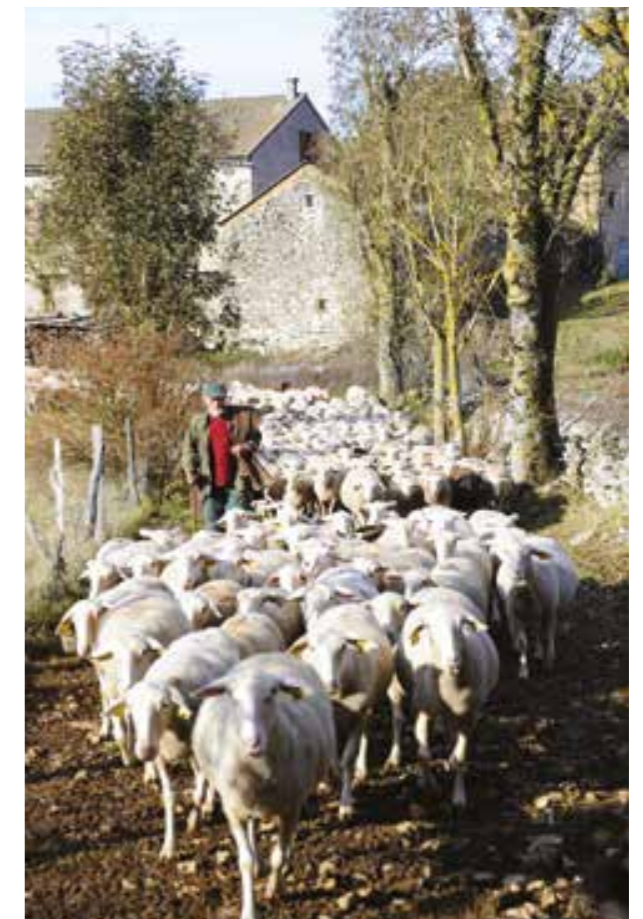
Depuis la préhistoire, la biomasse de mammifères sauvages a diminué de

82%

Le bétail représente aujourd'hui

90%

de la biomasse de grande faune terrestre



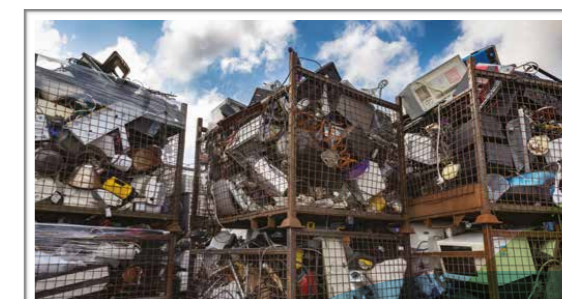
Crédit : Damourrette / Coeurs de Nature / SIPA

Source : IPBES - Agence Française pour la Biodiversité - <http://www.2hcreations.net/memorium/liste.html>

Effondrement de la biodiversité massive et sans précédent - Rapport de l'IPBES

5 causes majeures :

- Changements d'usage des terres et des mers
- Pillage des ressources naturelles
- Effet domino du changement climatique
- Pollution des eaux, sols, air
- Envahissement par des espèces exotiques



Et des causes indirectes

- Démographie croissante (population mondiale a doublé depuis 50 ans)
- Mondialisation (déplacement des biens et des personnes)
- **Technologies gourmandes** (nouvelles technos pèsent sur l'énergie, les ressources et les GES)
- Gouvernances inadaptées (croissance infinie dans un monde limité)



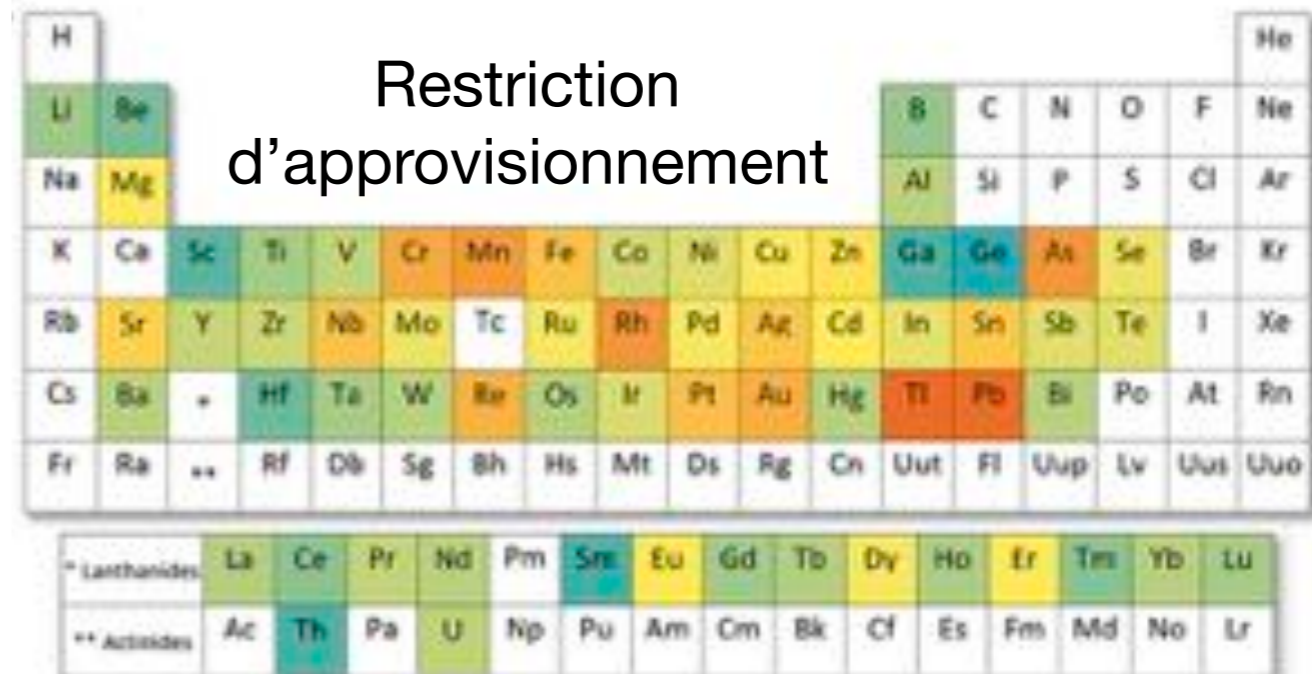
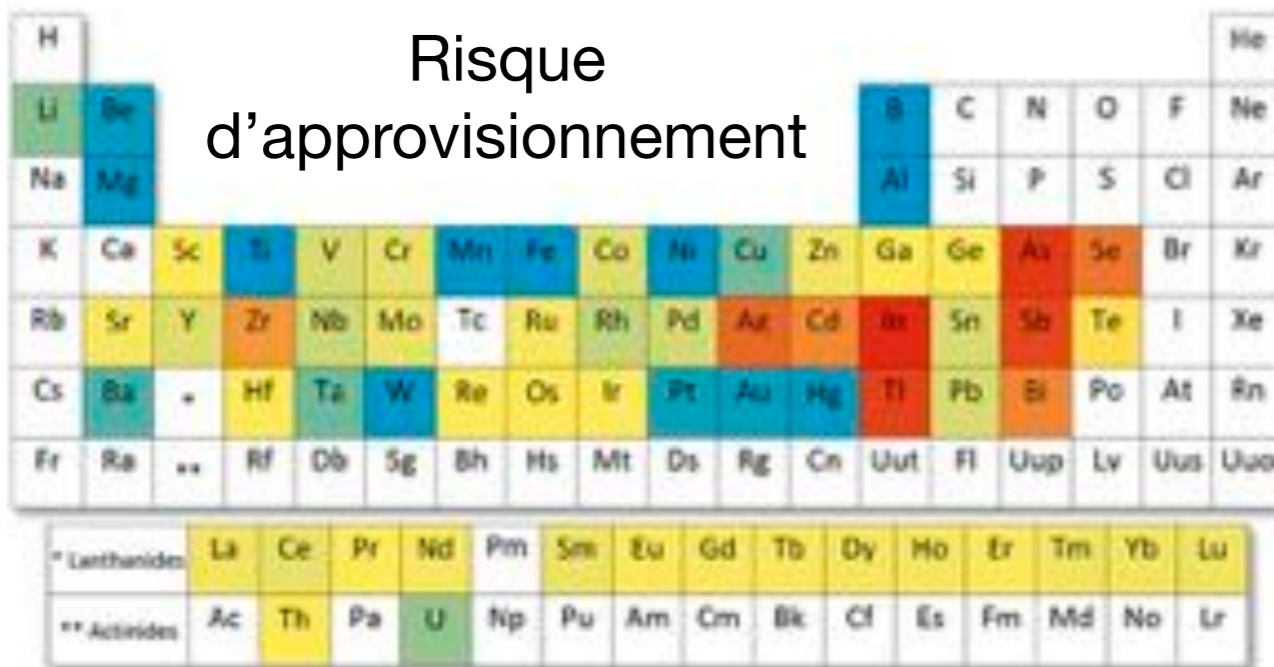
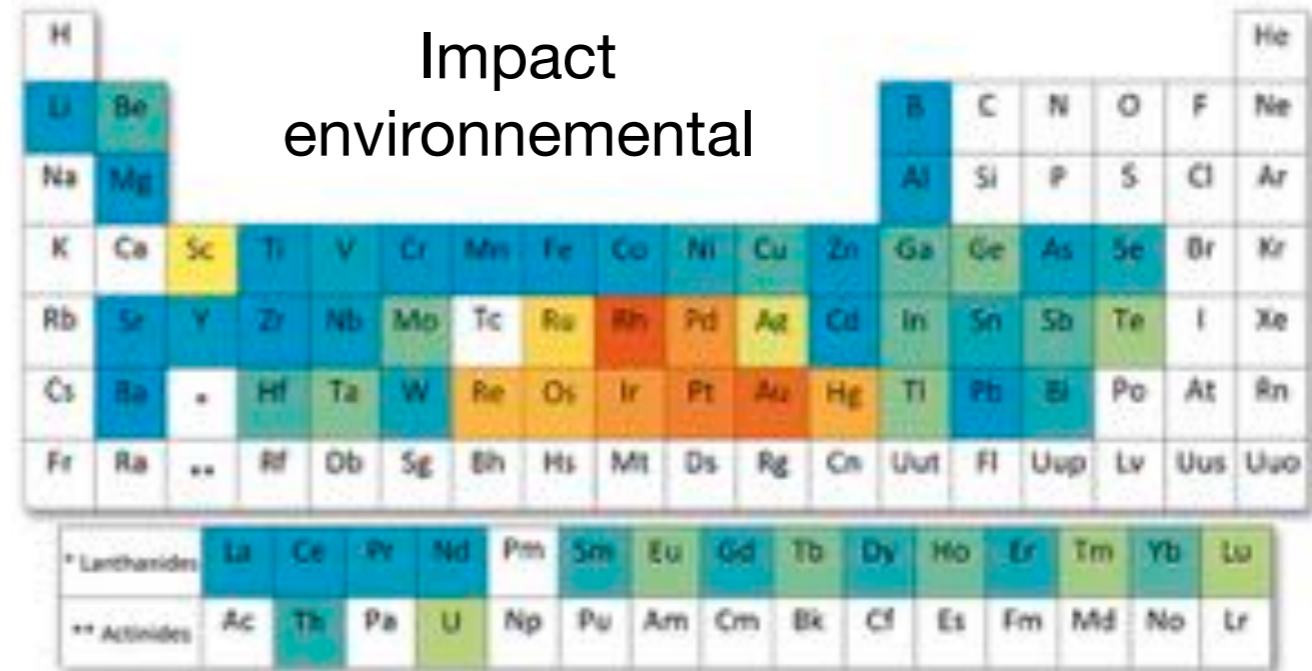
Epuisement des ressources

L'Europe a fait une liste de 27 matériaux « critiques » en 2017 (sur 41 nécessaires aux nouvelles technologies).

Impact environnemental

Risque d'approvisionnement

Restriction d'approvisionnement

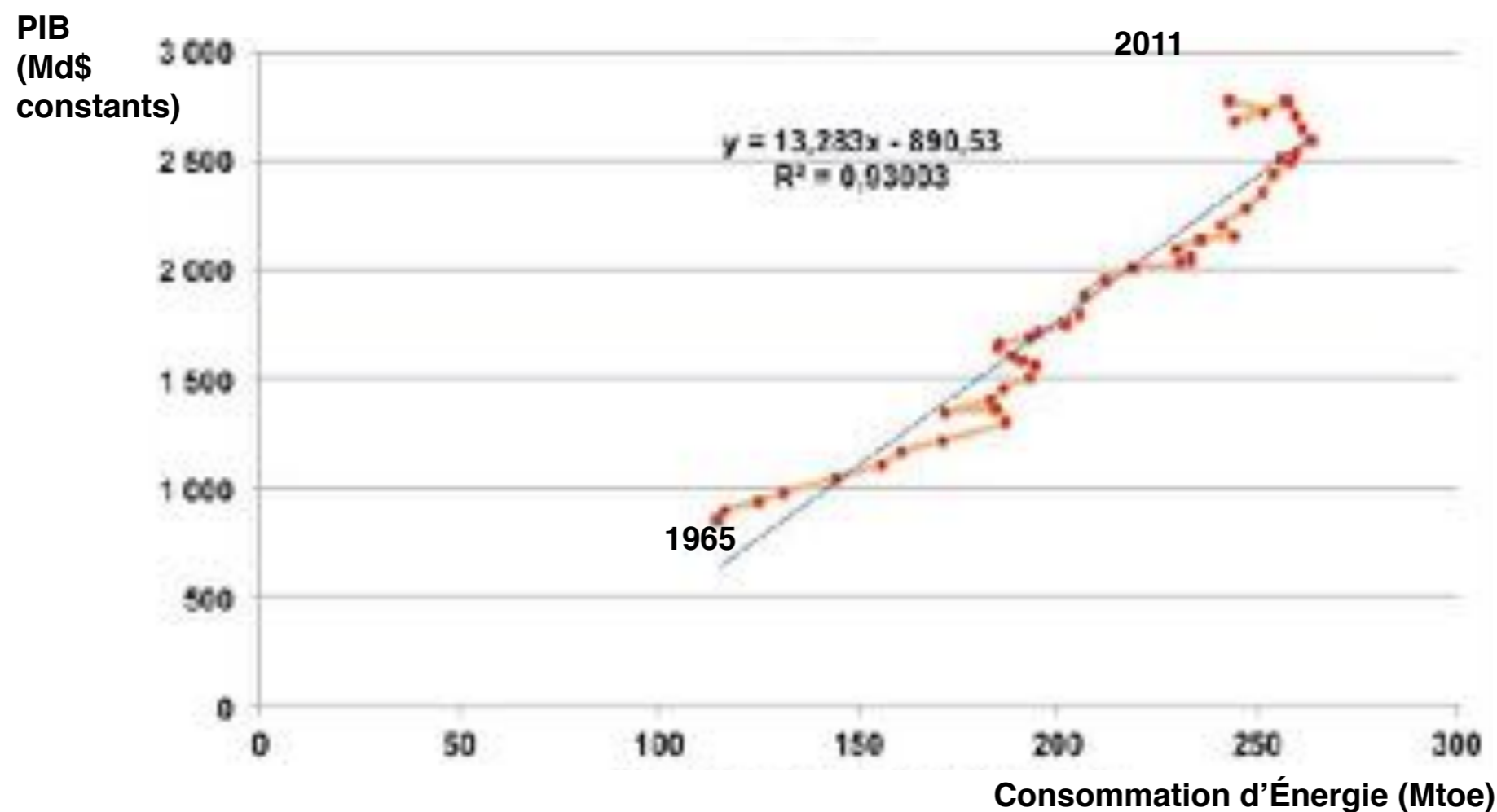


Criticality of metals and metalloids T. E. Graedel, E. M. Harper, N. T. Nassar, Philip Nuss, Barbara K. Reck Proceedings of the National Academy of Sciences Mar 2015
 E-waste and Raw Materials : from Environmental issues to business models, 2019 - EIT - www.mineralinfo.fr

Les causes sont **multifactorielles**.

Le problème est systémique

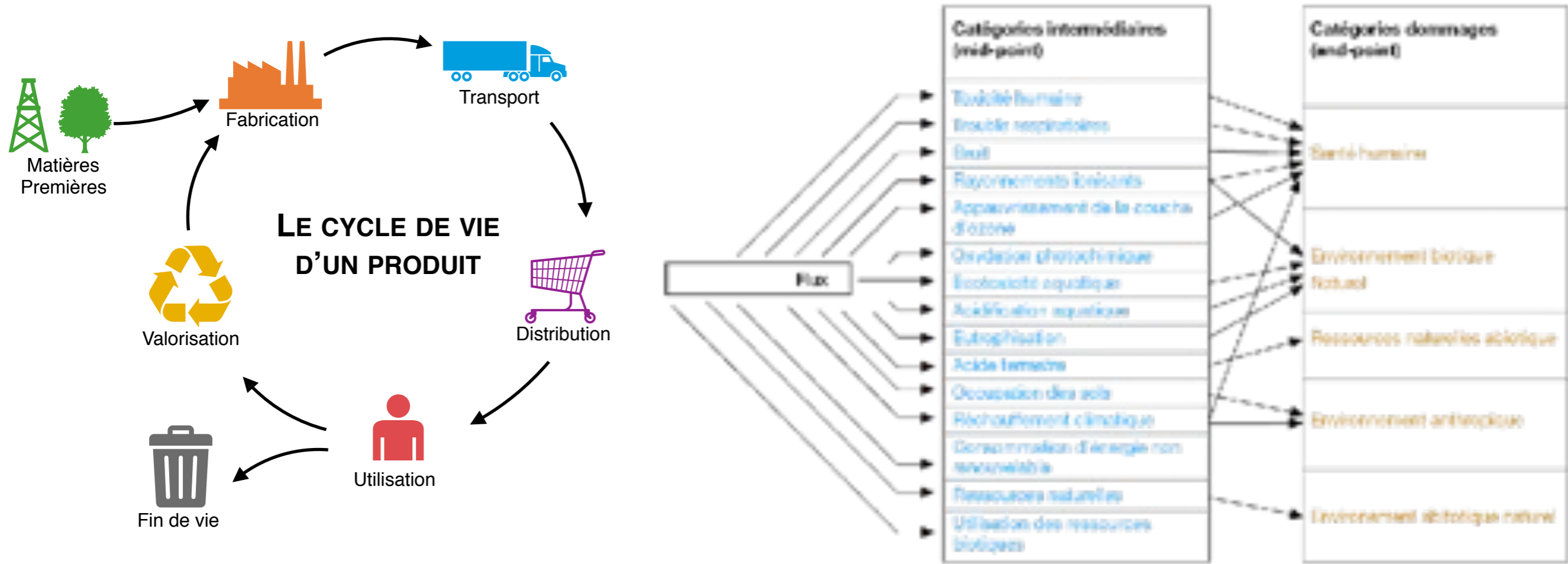
- les ressources ne sont pas prises en compte dans la balance,
- un objectif de croissance permanente dans un monde fini,
- un indicateur économique (PIB) basé sur la **production** de richesse.



Source : BP Statistical Review 2012 et World Bank 2012 - « Sortir de la croissance », Eloi Laurent

Outil pour évaluer, comparer un produit par rapport à un autre :

Analyse de Cycle de Vie (ACV)





Importance du périmètre de l'étude !

Quels indicateurs d'impact ?

Exemple : comparaison de l'impact environnemental de 2 câbles : l'un en cuivre et l'autre en aluminium

Indicateurs d'impact étudiés :

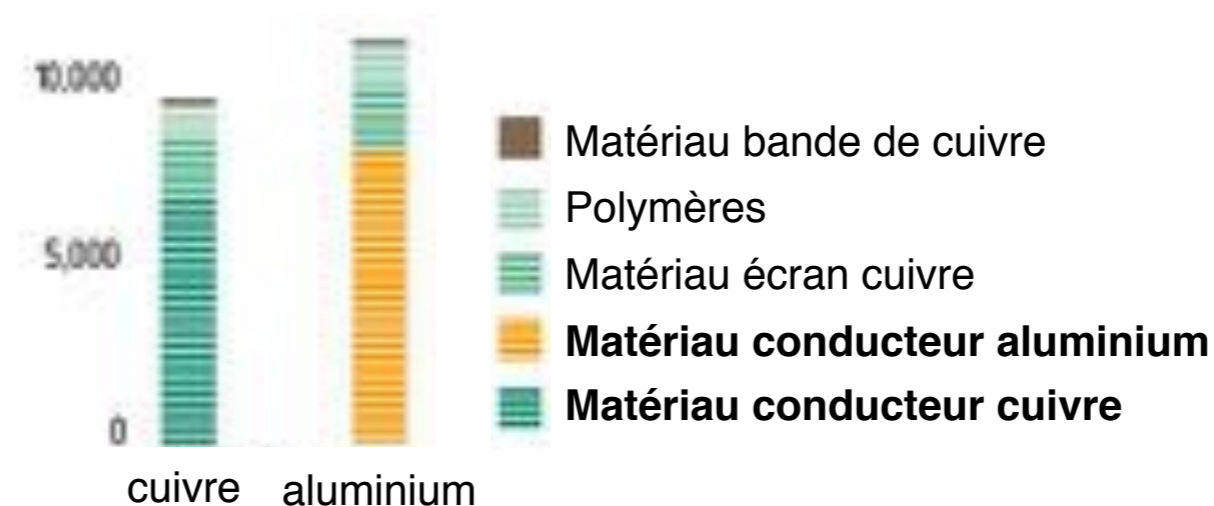
- Épuisement des matières premières (RMD)
- Épuisement énergétique (ED)
- Appauvrissement de l'eau (WD)
- Réchauffement climatique (GW)
- Appauvrissement de l'ozone (OD)
- Toxicité de l'air (AT)
- Création d'ozone photochimique (POC)
- Acidification de l'air (AA)
- Toxicité de l'eau (WT)
- Eutrophisation de l'eau (WE)
- Production de déchets dangereux (WWP)

-  Câble avec un conducteur en cuivre
-  Câble avec un conducteur en aluminium



Dans un certain périmètre d'étude

Analyse de l'indicateur
Réchauffement climatique (GW)
(kg eq CO₂ / km de câble)

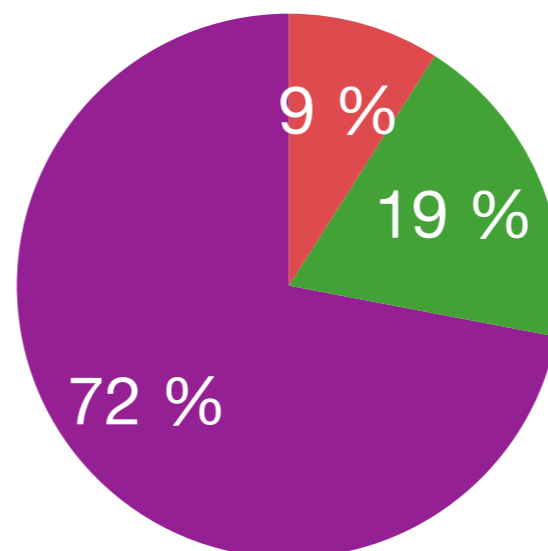


Source : <https://www.nexans.us/>

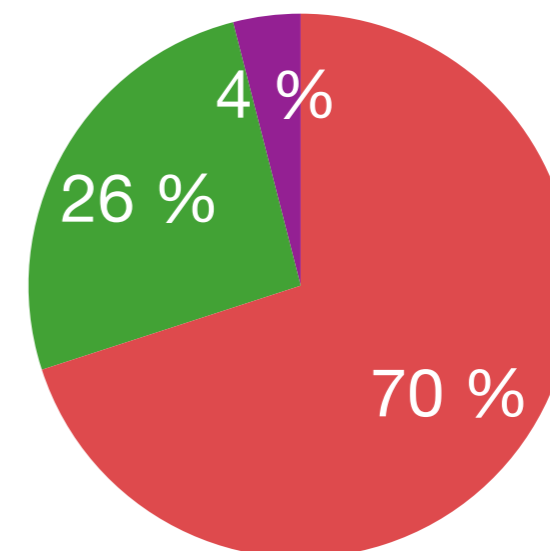
Pour l'indicateur eq. CO₂ :

- Importance du **Mix Électrique** (répartition de la production électrique)

- Carbonnées (charbon, pétrole, gaz)
- Renouvelables, hydrolique
- Nucléaire



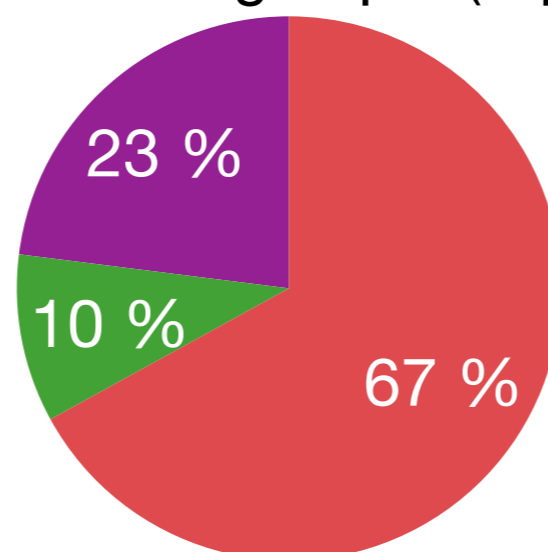
France 2016



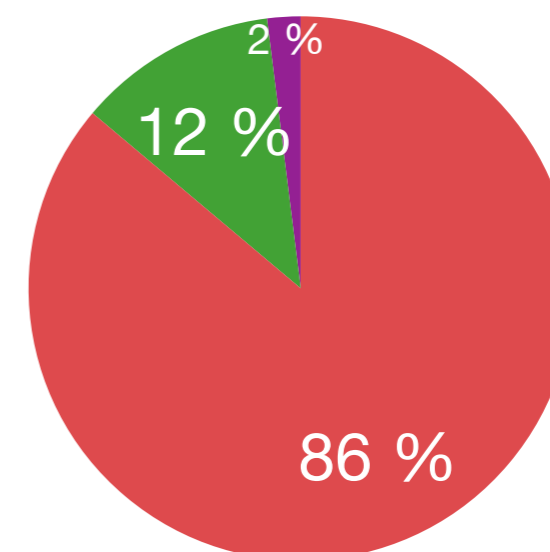
Chine 2017

- À ne pas confondre avec le Mix Énergétique (répartition des différentes sources d'énergies primaires)

- Carbonnées (charbon, pétrole, gaz)
- Renouvelables, hydrolique
- Électricité



France 2015



Chine 2017

Sources : Données RTE ; <https://www.connaissancedesenergies.org>
<https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/chine-les-grands-equilibres-energetiques>

À retenir :

- Sujet complexe
- Notion d'ordre de grandeur et de comparaison
- Facilement manipulable (importance de la **recherche** dans ce domaine pour se placer dans un cadre représentatif de la société étudiée)
- Pas de choix parfait !

Accords de Paris

Bilan accepté par quasiment tous et toutes ...

Réaction des États ? Exemple des accords de Paris (2015) :

- Accord universel sur le climat et le réchauffement climatique
- Déclaration d'intention, sans aucune mesure coercitive
- Objectif principal : atteindre la neutralité carbone
[Attention : un **seul** indicateur !]

Chaque état s'est :

- Engagé à réduire des émissions de GES sur leur **sol** !



Ce qui peut se traduire par :

- Empreinte carbone de chaque humain : max. 2 tonnes eq. CO₂

*L'**empreinte carbone** est utilisée pour mesurer les émissions de dioxyde de carbone, et plus globalement des gaz à effet de serre, émis par une activité, une personne ou un pays.*

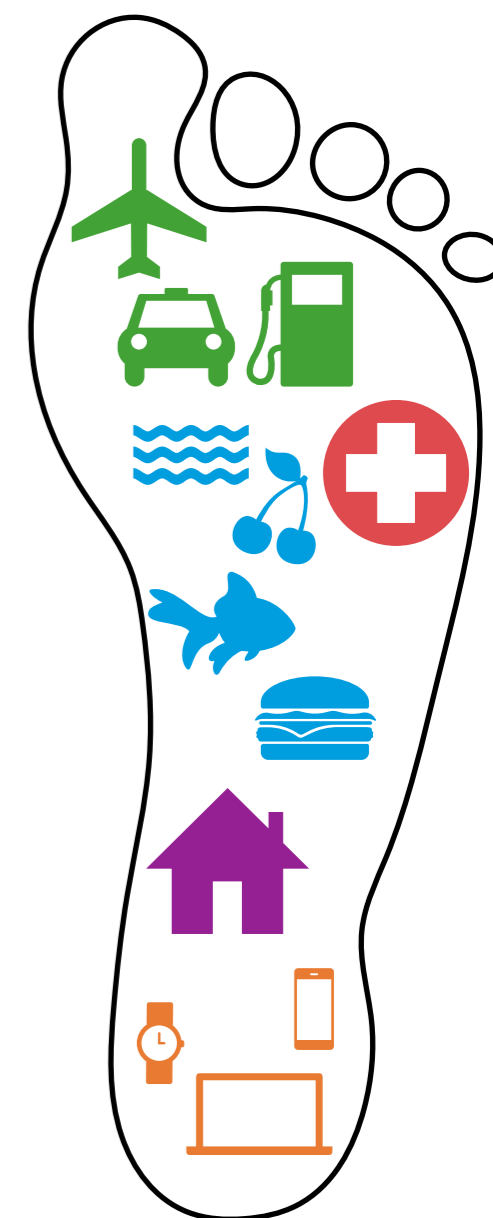
Le Monde

PLANÈTE · CLIMAT

La tortueuse feuille de route de la France pour atteindre la neutralité carbone en 2050

Le gouvernement se donne le droit d'émettre plus de gaz à effet de serre à court terme, mais devra ensuite rattraper son retard.

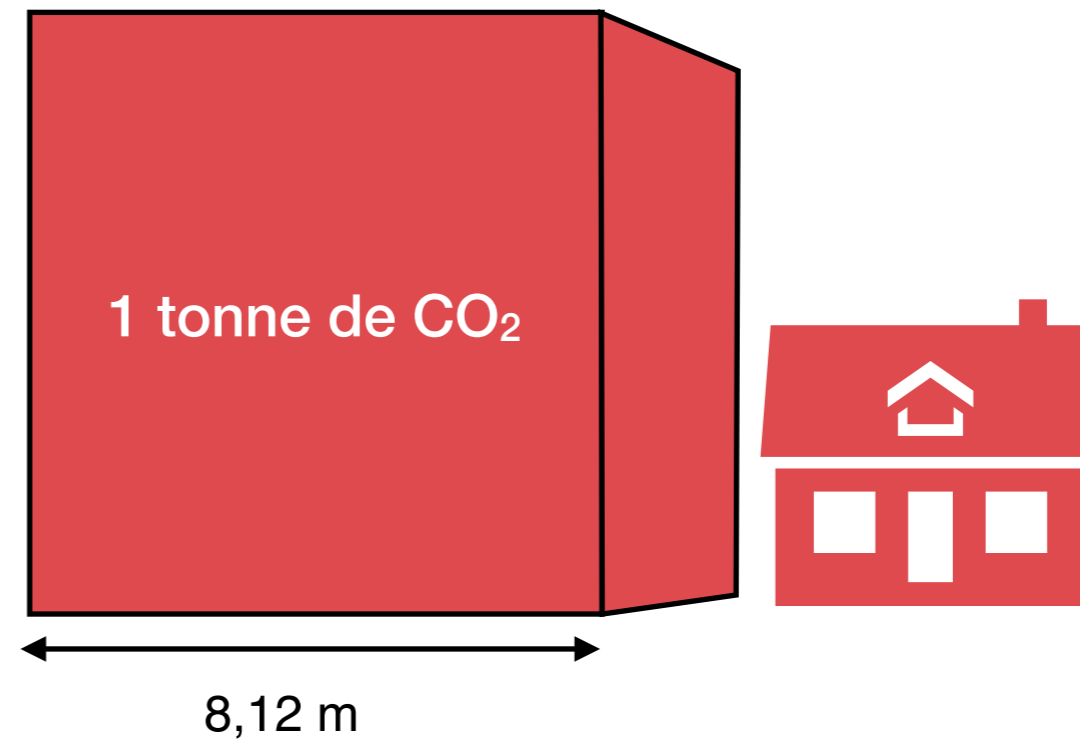
Par Audrey Geric et Nabil Hakim · Publié le 21 janvier 2020 à 19h29 · Mis à jour le 21 janvier



Source : ONU - l'Accord de Paris

Une tonne de CO₂ c'est :

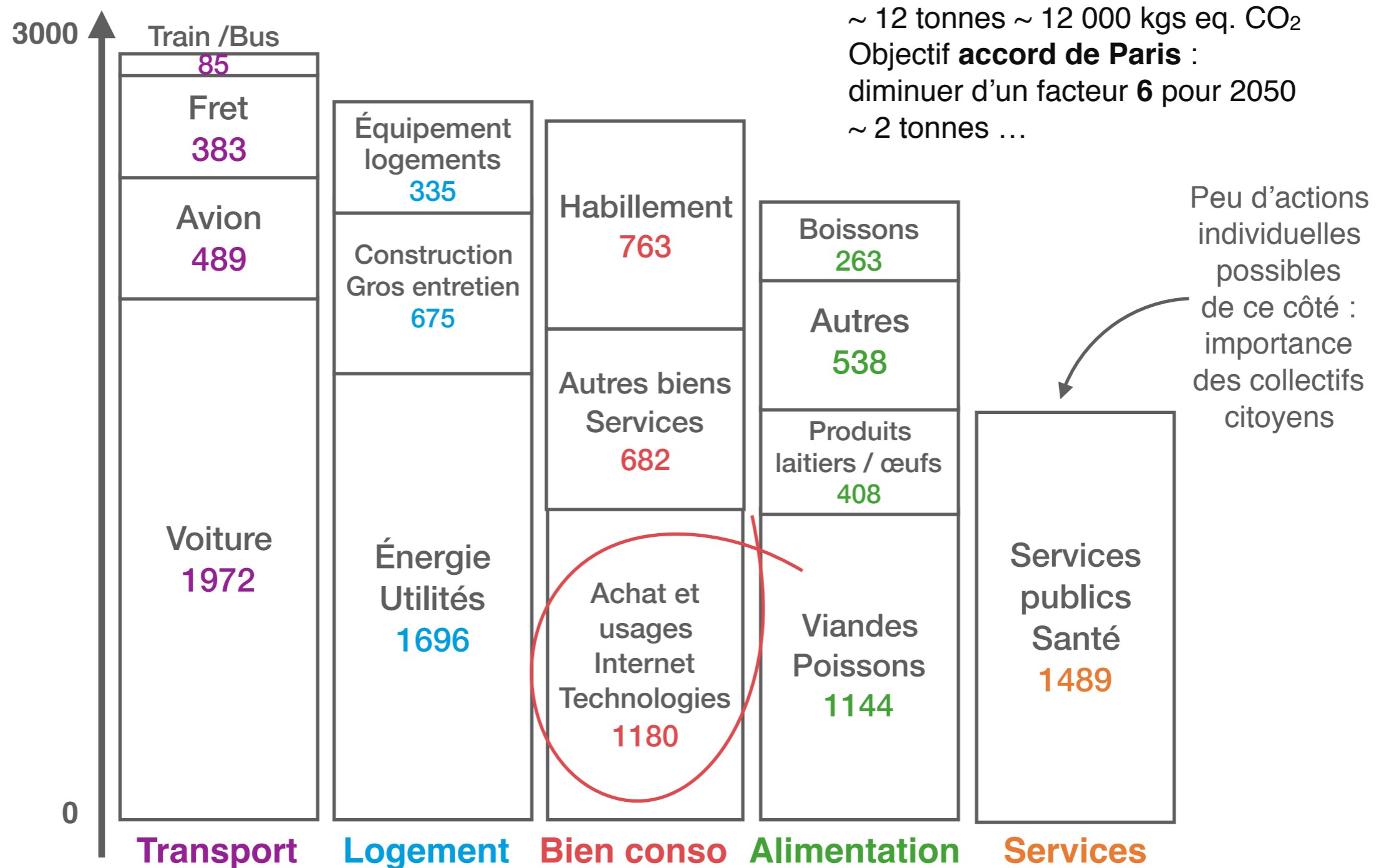
- Un cube de 8,12 mètres de côté



Une tonne de CO₂ c'est aussi :

- Un an de chauffage gaz pour un 3 pièces à Paris
- 1 aller-retour Paris – New York en avion
- 14 000 km de Twingo en ville *mais* 8 500 km de 4x4 en ville
- 136 repas avec steak - frites *mais* 1960 repas végétariens

Empreinte carbone moyenne d'un français



Et moi ? <http://avenirclimatique.org/micmac/index.php> - Source : <http://ravijen.fr/?p=440>

Et nous, dans tout ça ?

- **Citoyennes** et **scientifiques**
- Dans le domaine du **numérique** ...
- Aller à contre courant de ce qu'on entend souvent de la part des décideurs : « numérique pour la transition »
- En tant que scientifiques vraie inquiétude de la mystification du **progrès technologique** qui empêche l'action
- Ne pas changer de **positionnement**, c'est cautionner le système
- **Point d'entrée** d'une réflexion plus globale vers un changement de positionnement : quel **outil** au service de quel **projet de société** ?



Le numérique : kesako ?



Source : phototheque.inria.fr

Le numérique

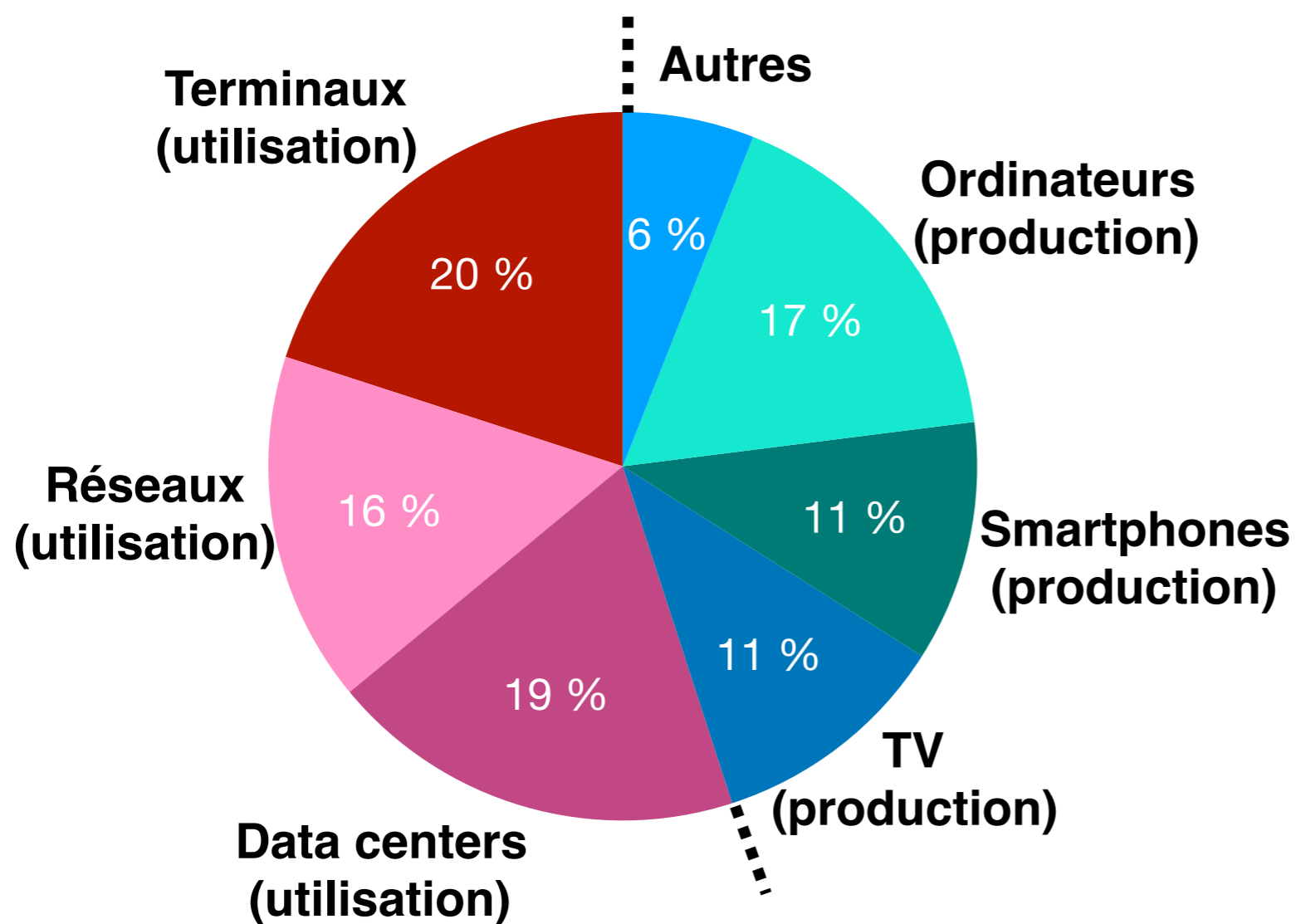
- Impacts directs *principaux*
- Impacts indirects *principaux*
- Comment **agir** ?



Consommation énergétique

- Consommation électricité : ~ 8 %
- Émissions de GES : ~ 3-4 %

Distribution de la consommation d'énergie
Lean ICT, Shift project, année 2017



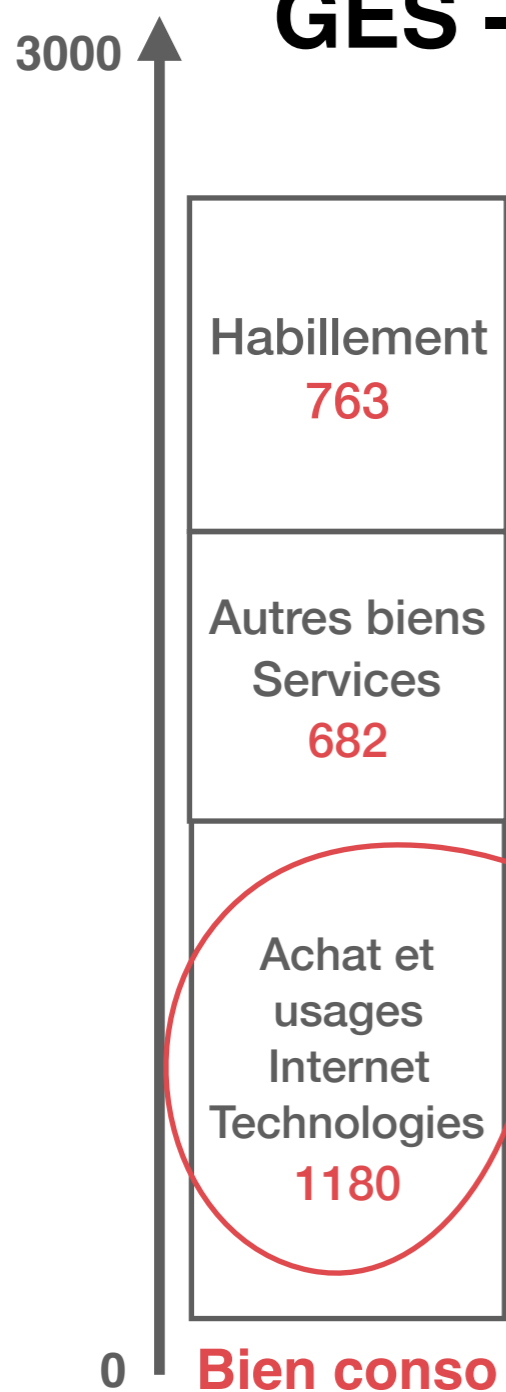
Rappels :

- 1 kWatt.h ne correspond pas à une quantité définie de GES
- Cadre étude : combien de temps d'utilisation ?

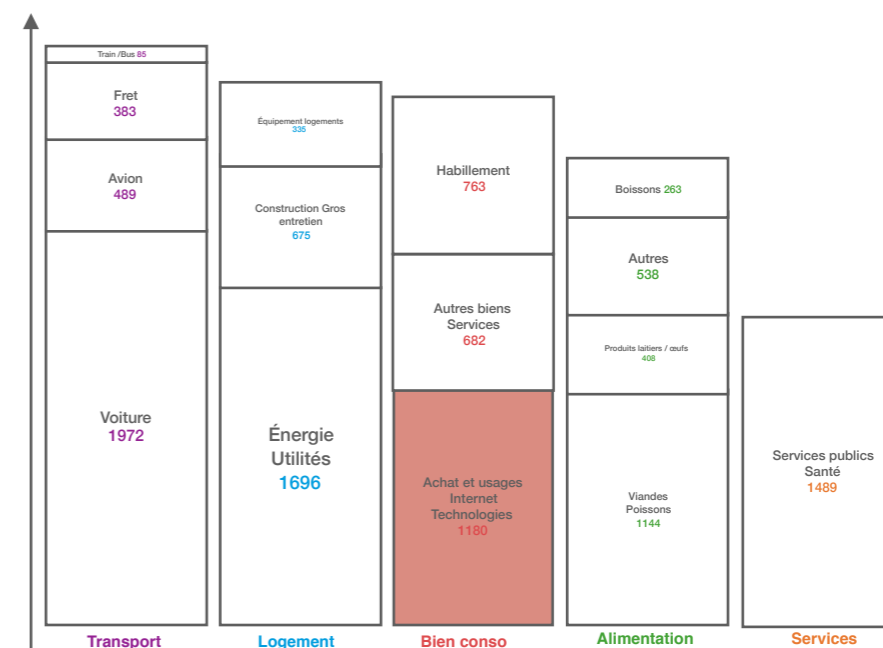
Source : The Shift Project - [Lean ICT](#) - [Vidéo en ligne](#)

GES - quelques chiffres

Objectif : ~ 2 tonnes ...

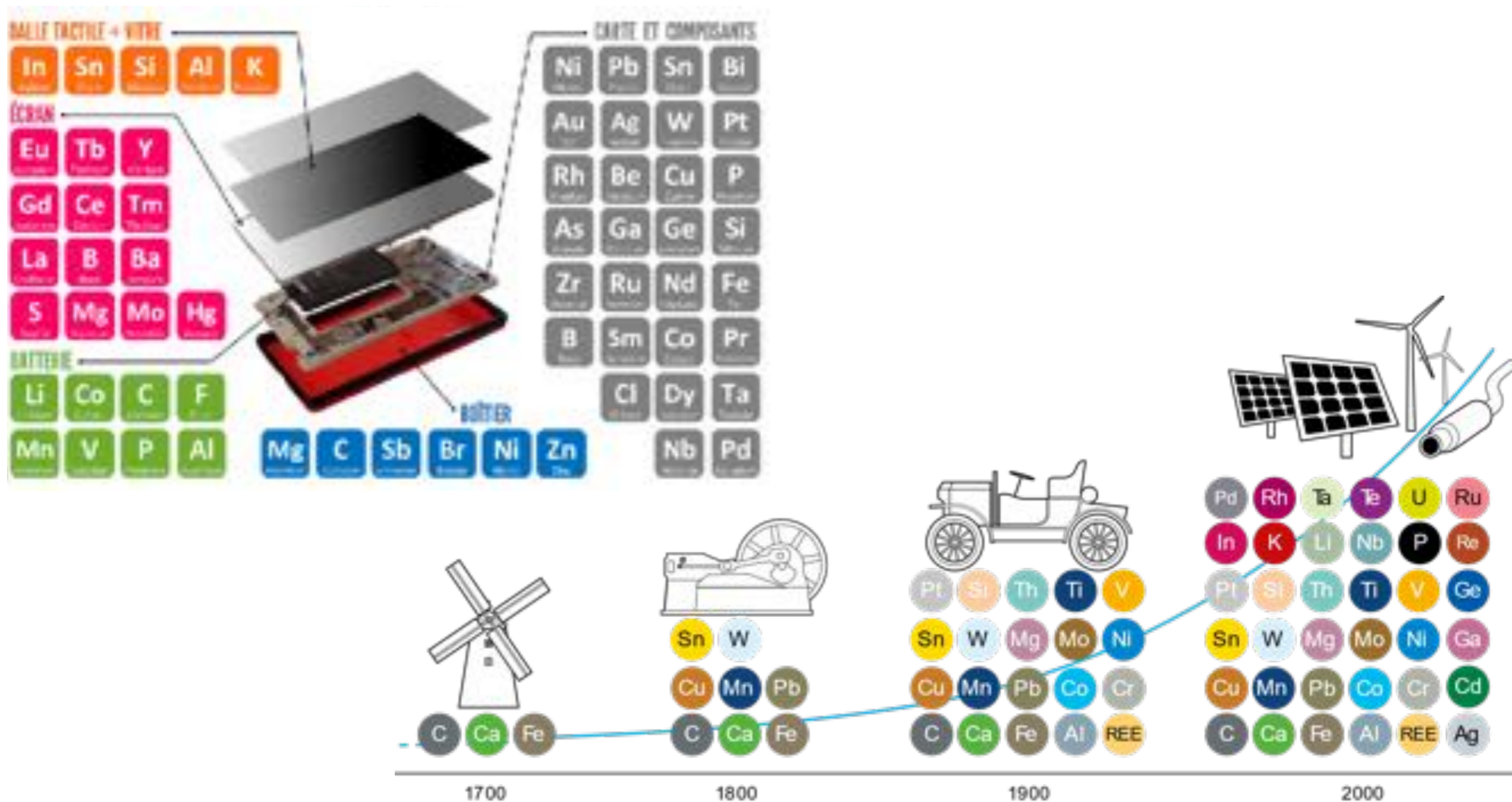


Action	eq. CO ₂
Fabrication / transport ordinateur portable	200 / 11 kg eq. CO ₂
Fabrication / transport ordinateur serveur	1 tonne / 200 kg eq. CO ₂



Source : <https://www.dell.com/learn/us/en/uscorp1/corp-comm/environment-carbon-footprint-products>

Ressources : Les appareils électroniques sont composés de nombreux matériaux



Sources : V. Zepf, 2014 ;

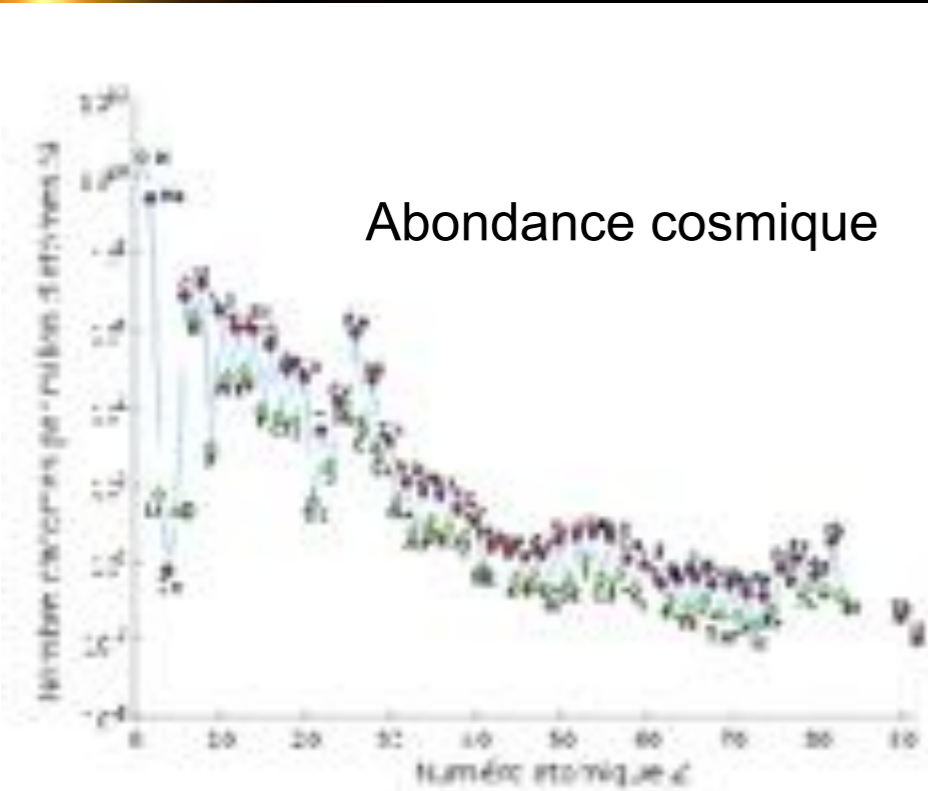
Ingénieurs sans Frontières : <https://www.systext.org/sites/all/animationreveal/mtxsmpl/#/7>

Ressources

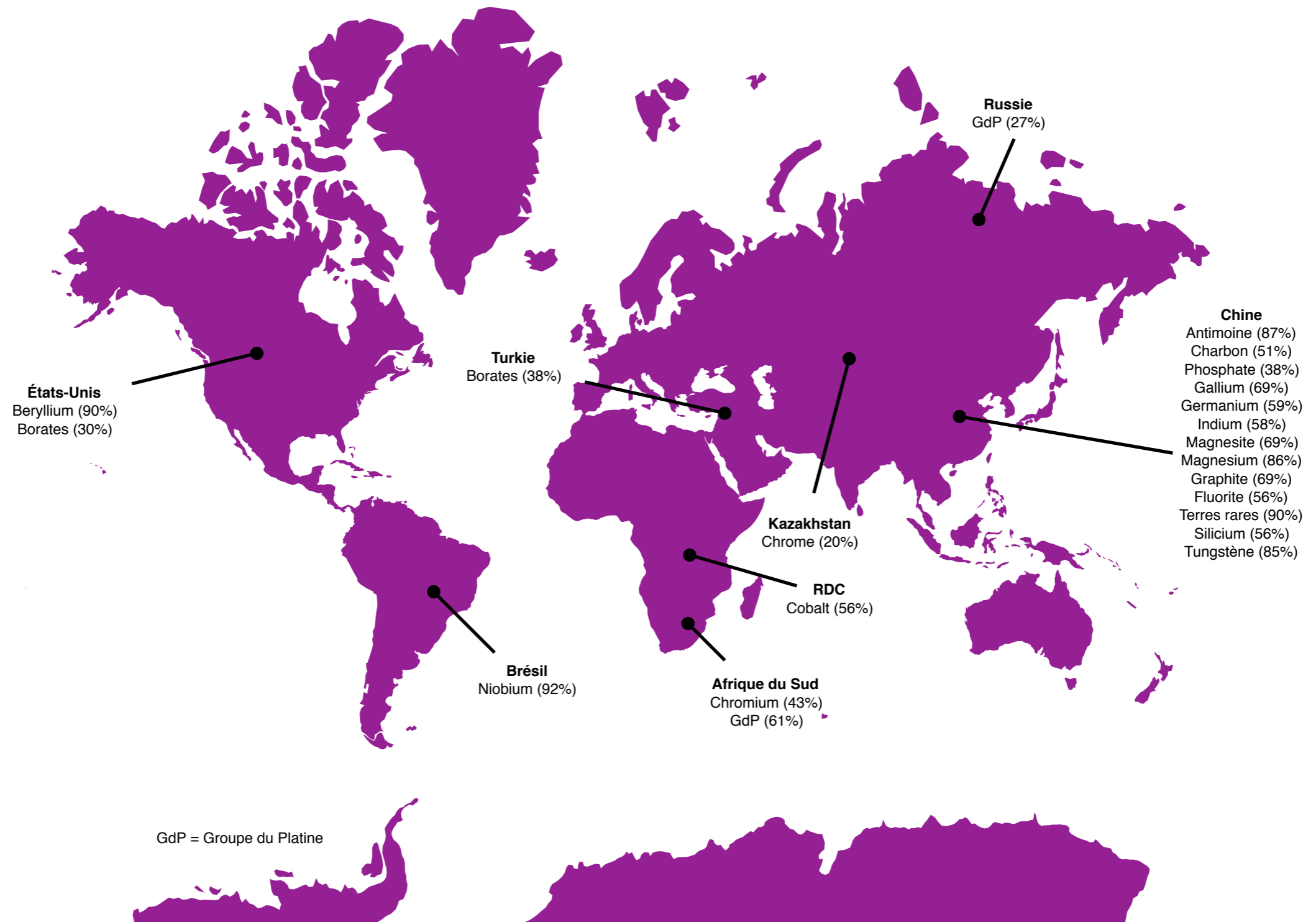
D'où proviennent les minerais ?
... Prenons de la hauteur



Éléments lourds originaires d'événements cosmologiques (explosion de supernovae, fusions d'étoiles, explosions de naines blanches...)



Ressources : Où sont les minerais ?



Source : Carte de la production des « terres rares », les métaux précieux utilisés dans la fabrication des smartphones – Mémo de la Commission Européenne 2016

Ressources : Comment sont-elles extraites ? dans des mines !

Aspects écologiques :

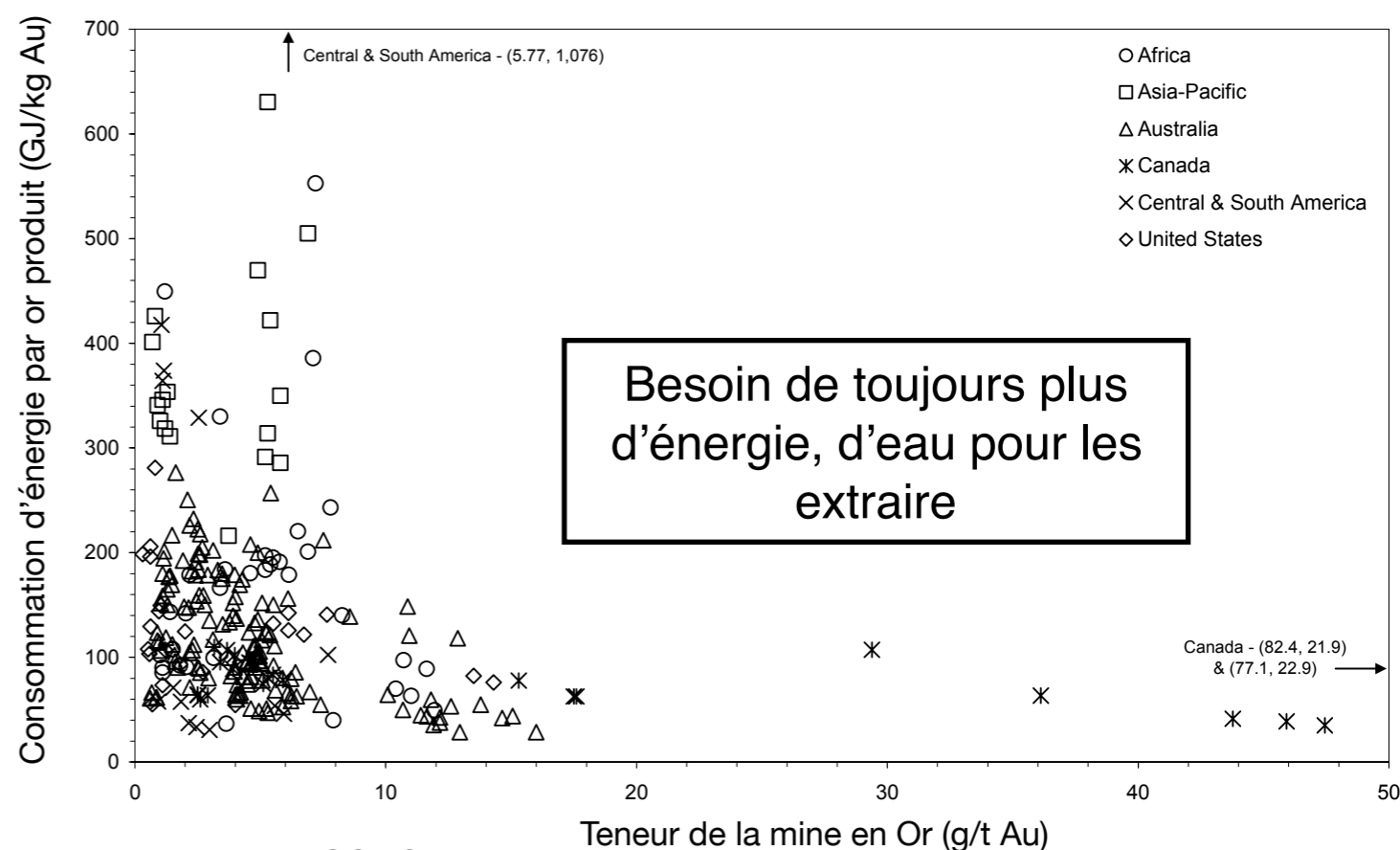
Destruction d'éco-systèmes ; Pollution des sols

Aspects éthico-géographiques :

Travail des enfants (RDC cobalt) ; Conflits armés ; Appropriation des terres



Mine de cuivre en Serbie

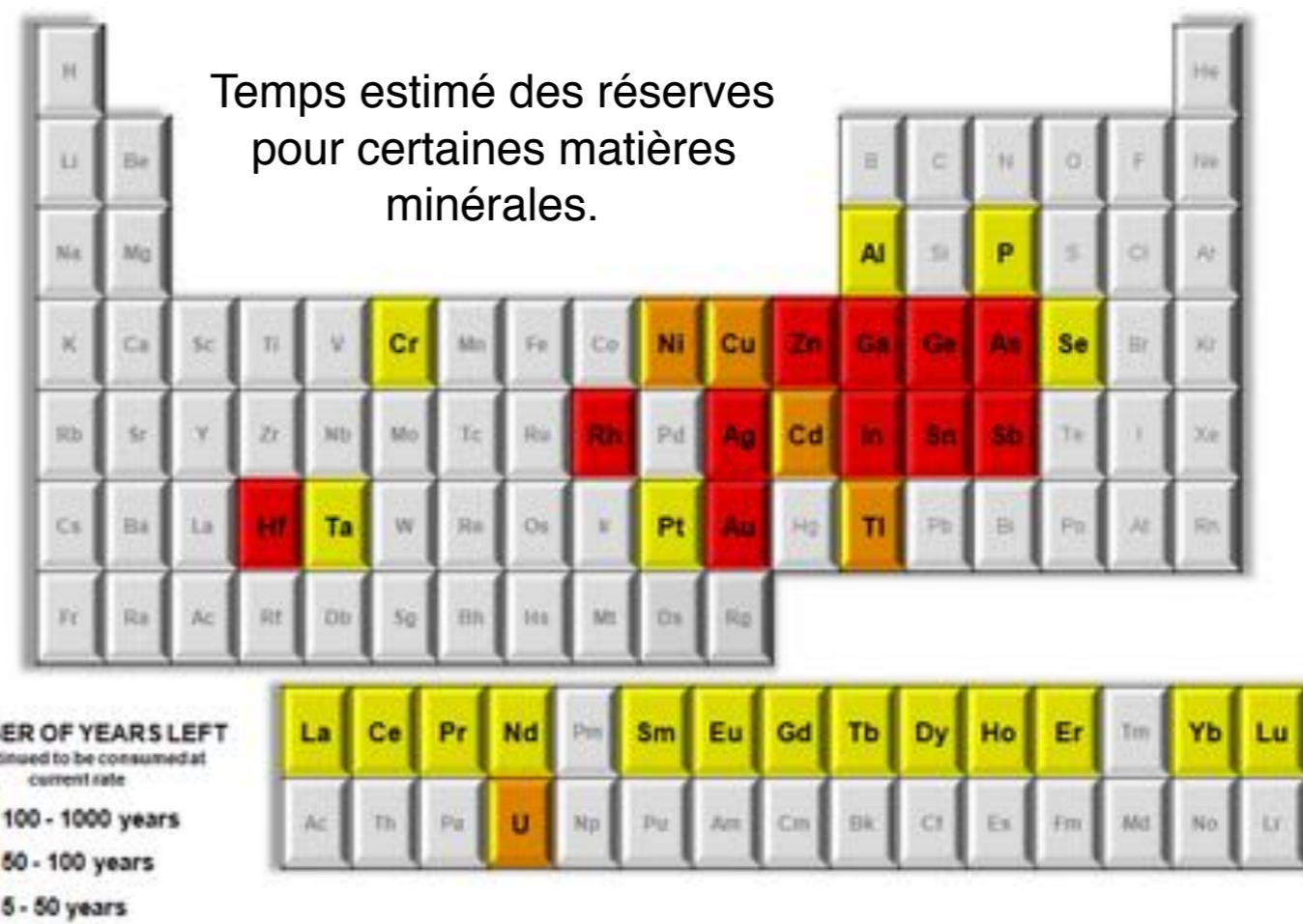


E-waste and raw material, EIT, UE, 2019

Resource consumption intensity and the sustainability of gold mining, Mudd, 2007, Proc ICSES

Ressources : Sont-elles infinies ?

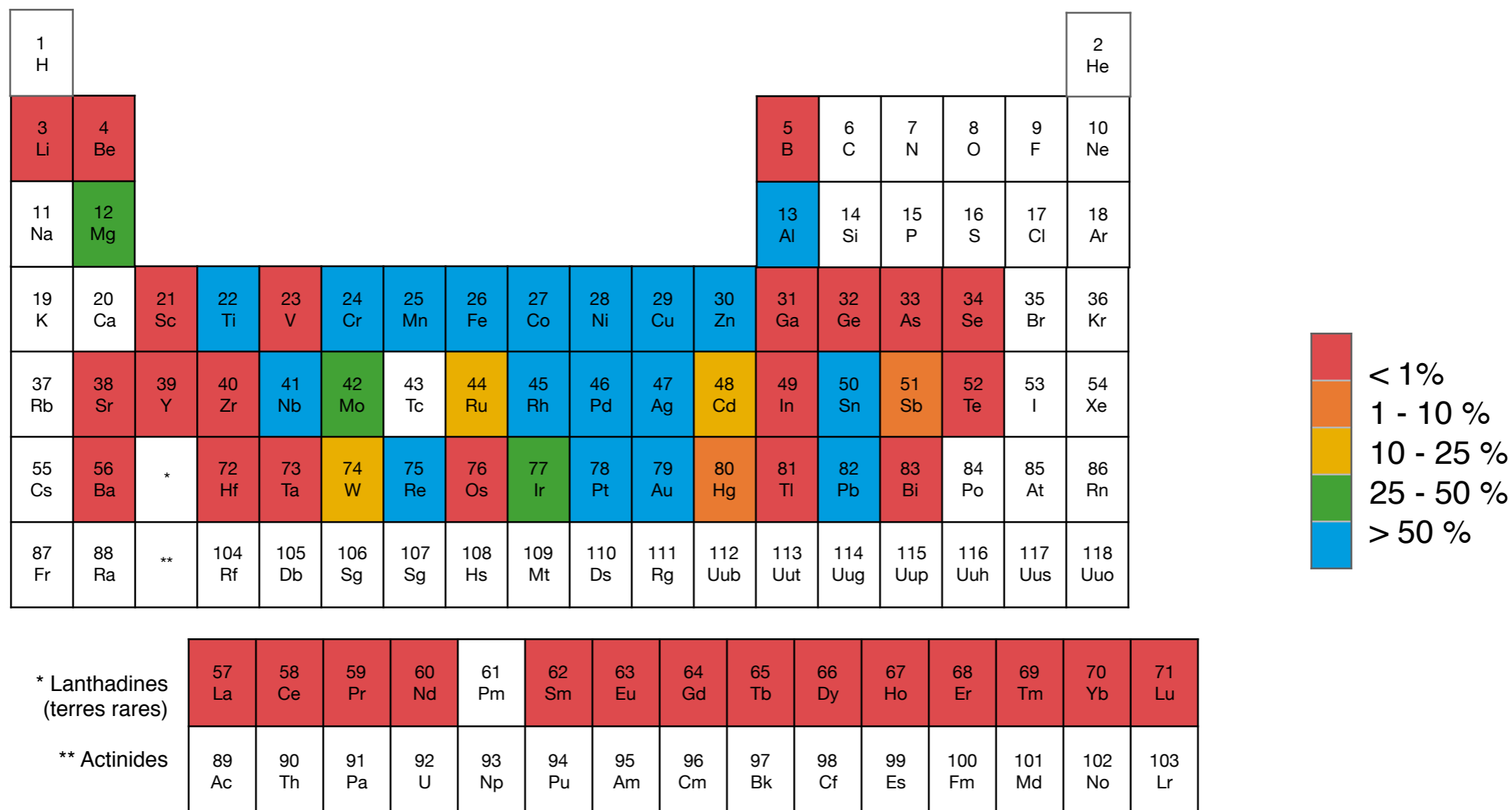
En concurrence directe avec les énergies renouvelables ...



« Nous nous sommes enrichis de l'utilisation prodigieuse de nos ressources naturelles et nous avons de justes raisons d'être fier de notre progrès. Mais le temps est venu d'envisager ce qui arrivera quand nos forêts ne seront plus, quand le charbon, le fer et le pétrole seront épuisés, quand les sols auront été appauvris et lessivés vers les fleuves, polluant leurs eaux, dénudant les champs et faisant obstacle à la navigation. »

Théodore **Roosevelt**, discours prononcé lors de la Conférence sur la Conservation des Ressources Naturelles en **1908**

Ressources : Bilan actuel du recyclage dans les centres spécialisés



Taux de recyclage des métaux.

Source : UNEP Recycling rate of metals 2011.

Ressources : Collecte des déchets sur le terrain

- Monde 2016 : plus de 44 millions de tonnes de déchets électroniques (soit 6.1 kg / personne)
- En croissance (forte !)

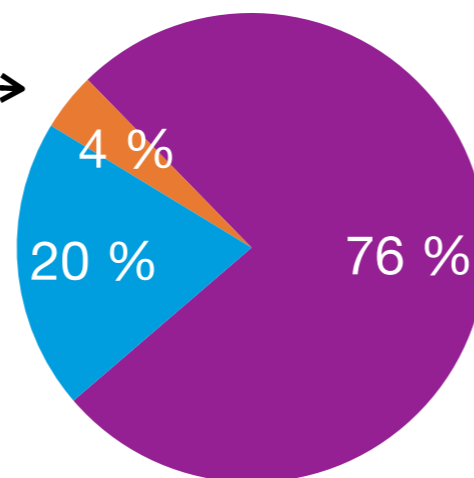


Pollution électronique aux abords d'une rivière du Ghana en Afrique

Jetés aux ordures ménagères (brulées ou enfouies)



Filière correcte (respectant les réglementations)



Inconnu



Enfant exposé aux effluves chimiques

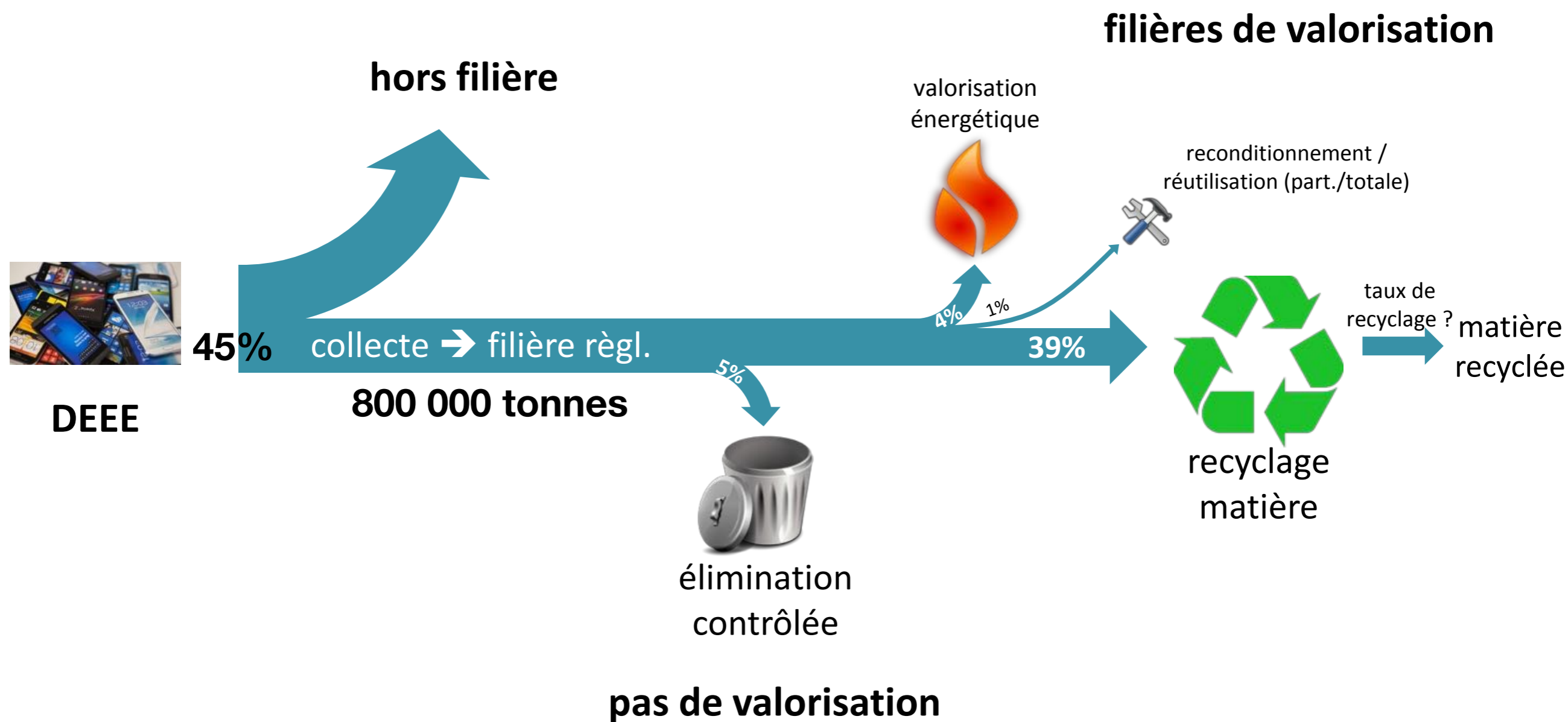


- Malgré la convention de Bâle (1992), environ 2 Mt de DEEE quittent l'Europe chaque année.
- La Chine a interdit l'import de déchets électroniques depuis 2000 et pourtant 8 Mt de déchets franchissent les frontières (depuis l'UE et USA)

Source : The global E-waste Monitor 2017, Baldé et al, UNU and ITU

E-waste and Raw Materials : from Environmental issues to business models, 2019, EIT

Ressources : Collecte des déchets en France



Source : registre DEEE, Ademe, 2016, 2018

Le numérique

- Impacts directs *principaux*
- **Impacts indirects *principaux***
- Comment **agir** ?



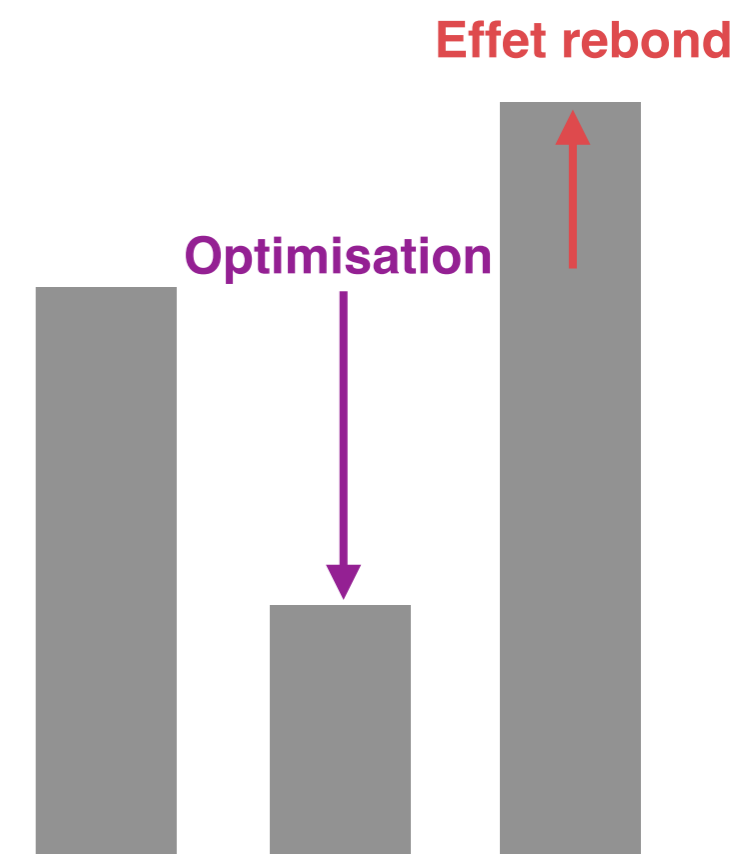
Nouveaux usages, effets induits et rebonds

- Attendu : dématérialisation, substitution
- Observé : nouveaux usages et effets rebonds
- Quelques exemples :
 - Covoiturage : positif mais effets rebonds

	Conducteur	Passager
Voiture	67 %	16 %
Train	14 %	42 %
TGV	10 %	27 %
Car	1 %	2 %
Avion	1 %	1 %
Pas de déplacement	8 %	12 %





Moyen de déplacement qui aurait été utilisé sans le covoiturage

Longue distance (courte distance : ne fonctionne pas) Source : Ademe 2015



- Télétravail : positif mais effets rebonds
- Vente via internet : nouveaux usages
- 5G : nouveaux usages et effets rebonds
- Utilisation de la vidéo en ligne : nouveaux usages

Quelques impacts sociétaux

- Dépendance à des outils complexes difficiles à maîtriser,
- Accélération du flux et des personnes, 
- Obsolescence (à la fois de la connaissance et des logiciels (*grociciel*) ...), 
- Connection permanente (avec son travail, avec sa famille et ses ami.e.s) : droit à la déconnexion ? ... 
- Nouveaux loisirs (?) : Netflix ; réseaux sociaux ... à la place de quoi ?
- Nouveaux métiers : Uber ; Deliveroo ; Amazon ... 



Cellule de stockage du site Amazon de Lauwin-Planque

Quelques impacts sur la santé

- Augmentation de la **sédentarité** : risque accident cardiovasculaire (> 4h : augmentation de 50% risques), problèmes de dos, d'articulations, obésité ...
- Augmentation des problèmes d'ordre psychologique : **addiction** aux réseaux sociaux (stress, dépression, frustration, troubles du sommeil ...)
- Et la vie sociale ? Impact sur la vie amoureuse / sexuelle avec présence permanente du smartphone

« Le smartphone agit comme un doudou virtuel, estime Laurent Karila, psychiatre addictologue. A tel point que quand on en est coupé, on peut éprouver de l'angoisse, un sentiment d'abandon. » « Une sensation de manque comparable à celle éprouvée par les drogués », juge le médecin. La nomophobie, ou peur de se séparer de son téléphone portable, [...]

- Impact des « écrans » sur les jeunes **enfants**

Sources :

L'exposition aux écrans chez les jeunes enfants est-elle à l'origine de l'apparition de troubles primaires du langage ? 2019.

No More FOMO: Limiting Social Media Decreases Loneliness and Depression. M. G. Hunt, R. Marx, C. Lipson, J. Young, 2018.

Exemple : Intelligence Artificielle

- L'intelligence Artificielle est basée sur l'**analyse de données**.

*Quelles **données** ? Les nôtres !*

« Si c'est gratuit, c'est que vous êtes le produit ! »

- Champs d'applications **très** variés : **vente** ; recrutement ; militaire ; justice ; banque ; médecine (génétique) ...

- Les aspects sociaux et sociétaux sont très importants :

- **confidentialité** des données
- **contenu** des données :

*« Beaucoup de gens nous disent que cela montre que l'IA a des **préjugés**, souligne Joanna Bryson dans le Guardian. Mais non. Cela montre que nous avons des préjugés, et que l'IA les apprend. »*

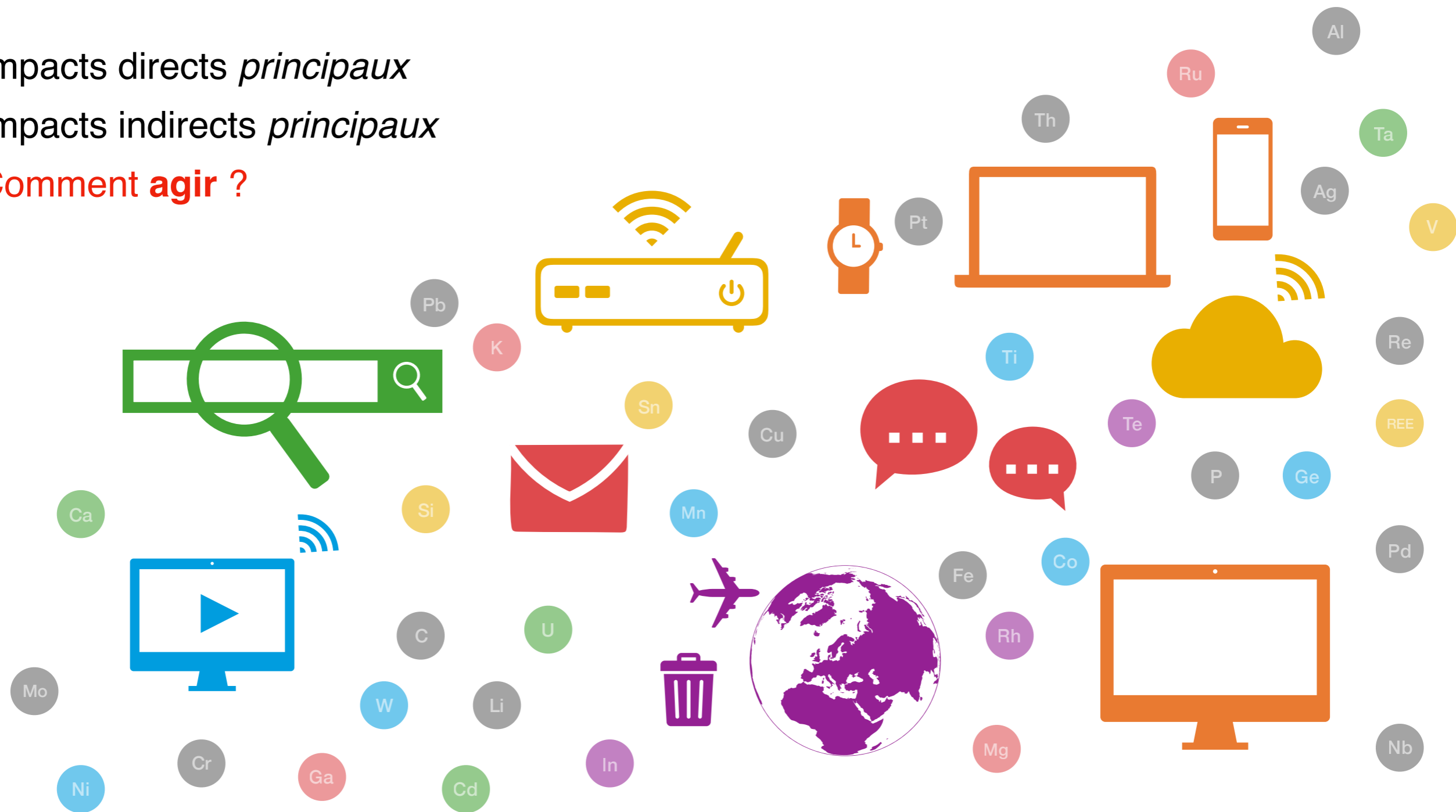
- Mais l'impact **écologique** aussi ...

Professionnel.le.s du numérique : bien choisir son algo !

*«L'entraînement d'un modèle d'IA peut émettre autant de carbone que cinq voitures au cours de leur vie» Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP.
Emma Strubell, Ananya Ganesh, Andrew McCallum.*

Le numérique

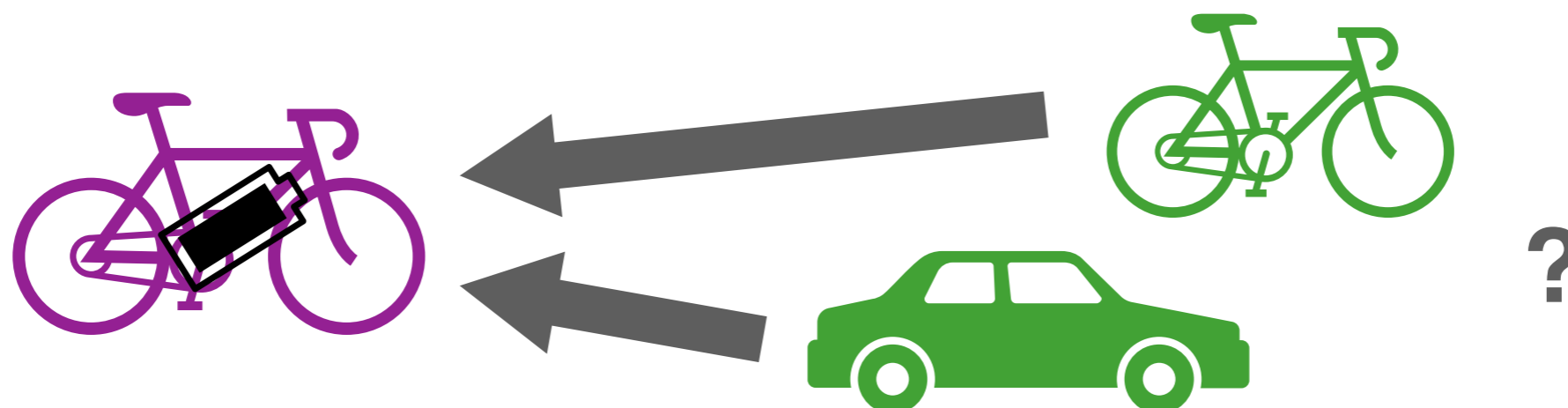
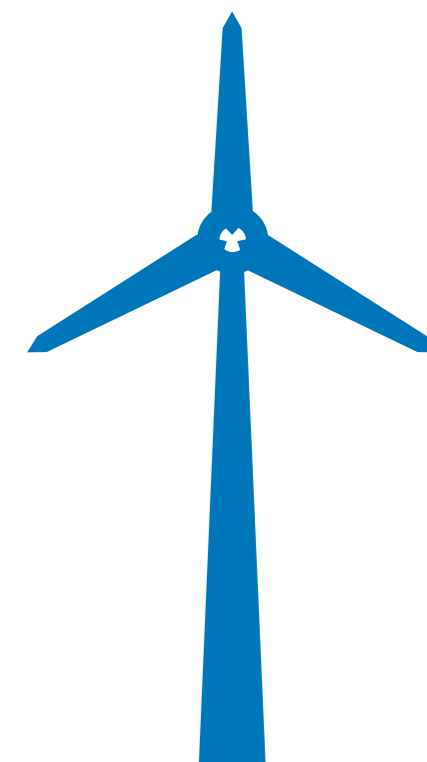
- Impacts directs *principaux*
- Impacts indirects *principaux*
- **Comment agir ?**



Numérique utile à la transition ?

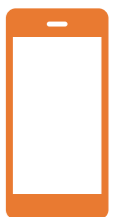
Un peu de positif ?

- Internet : être connecté avec le monde
- Internet : outils de démocratie
- Économie énergie par optimisation ?
- Bilan global : l'apport vaut-il les impacts ?



[FABRICATION] BIEN GÉRER SON MATÉRIEL

- Limiter le nombre ***
- Les garder longtemps ***
- Les réparer ***
- Acheter de 2nde main / reconditionné par exemple:
Back Market (des Bordelais !) ***
- Acheter des équipements éco-conçus :
Ecolabel Européen, EPET, Ange bleu, TCO et Ecolabel nordique



*** Actions à très fort impact

[UTILISATION] RÉSEAUX

- Éteindre les appareils

- Limiter l'utilisation du cloud ***

Transporter une donnée sur internet consomme 2 fois plus d'énergie que de la stocker donc favoriser l'usage des données en local



*** Actions à très fort impact

Source :

<https://www.greenit.fr/2018/09/18/reduire-empreinte-numerique-a-maison/>

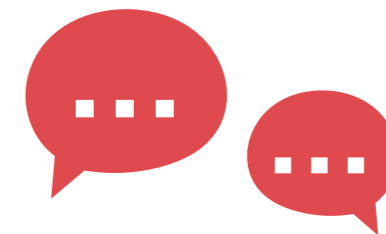
[UTILISATION] NAVIGATION

Google est principalement utilisé pour se rendre sur un site et non pour effectuer une recherche.

- Limiter ses recherches ***
- Utiliser les favoris ***
- Utiliser un navigateur responsable

**[UTILISATION]** MAILS ET MESSAGES

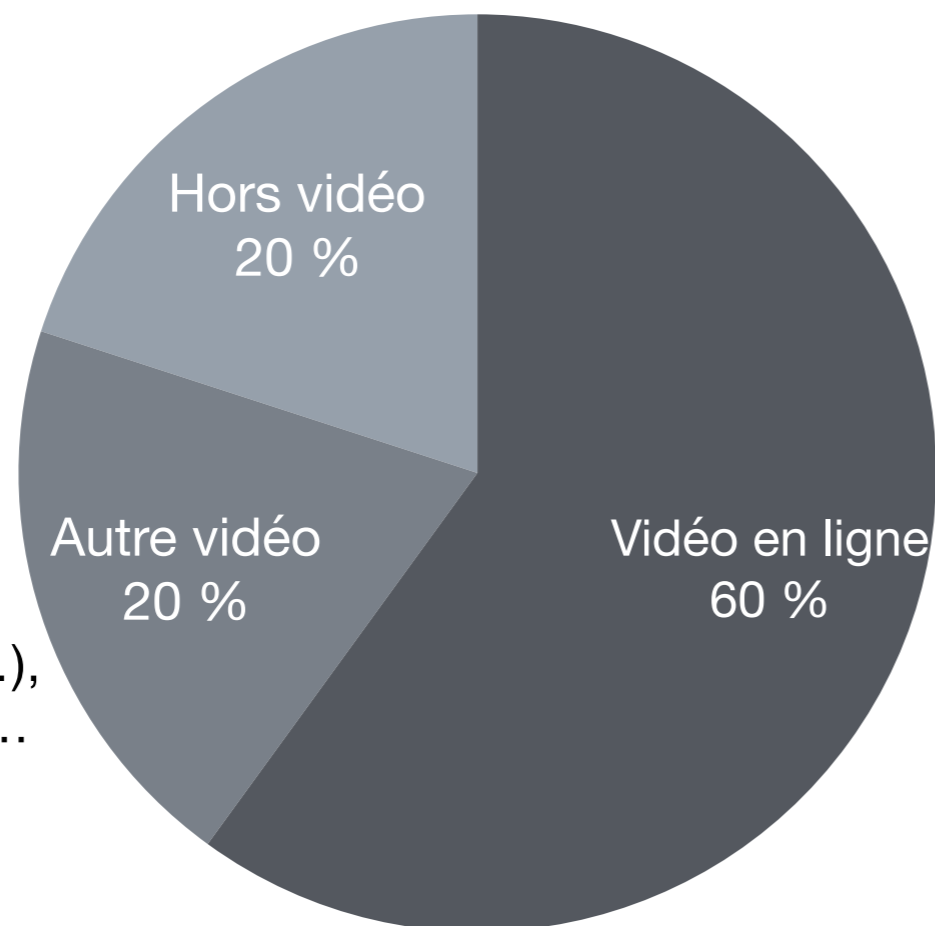
- Envoyer moins
- Limiter les pièces jointes
- Limiter les envois groupés
- Ne sauvegarder que l'essentiel



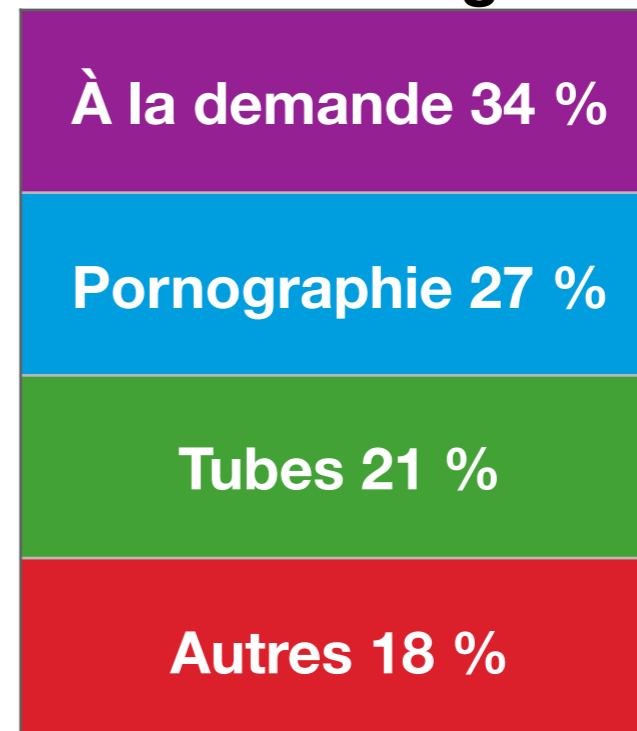
*** Actions à très fort impact

[UTILISATION] VIDÉOS

- Limiter le streaming ***
- Diminuer la qualité des vidéos ***
- S'informer sur sa consommation [Outil : **Carbonanalyzer**]



Streaming télé,
Vidéo live (Skype ...),
Vidéo surveillance ...

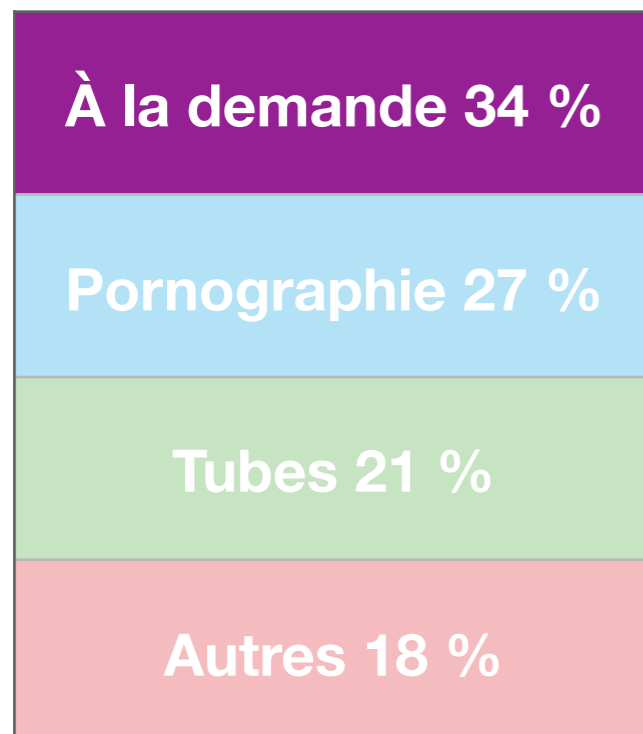
Vidéos en ligne

Répartition des flux de données en ligne entre les différents usages en 2018 dans le monde.
Rapport du Shift Project 2019.

*** Actions à très fort impact

[UTILISATION] VIDÉOS

- Limiter le streaming ***
- Diminuer la qualité des vidéos ***
- S'informer sur sa consommation [Outil : **Carbonanalyzer**]

Vidéos en ligne

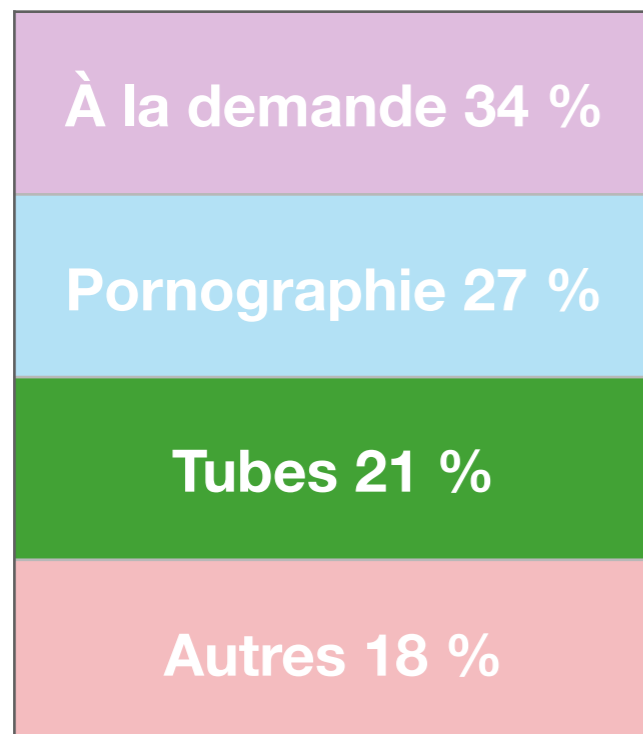
Films ou séries : Netflix, Amazon Prime ..
~7 % GES dues au numérique !!

Faire autre chose ? ...

*** Actions à très fort impact

[UTILISATION] VIDÉOS

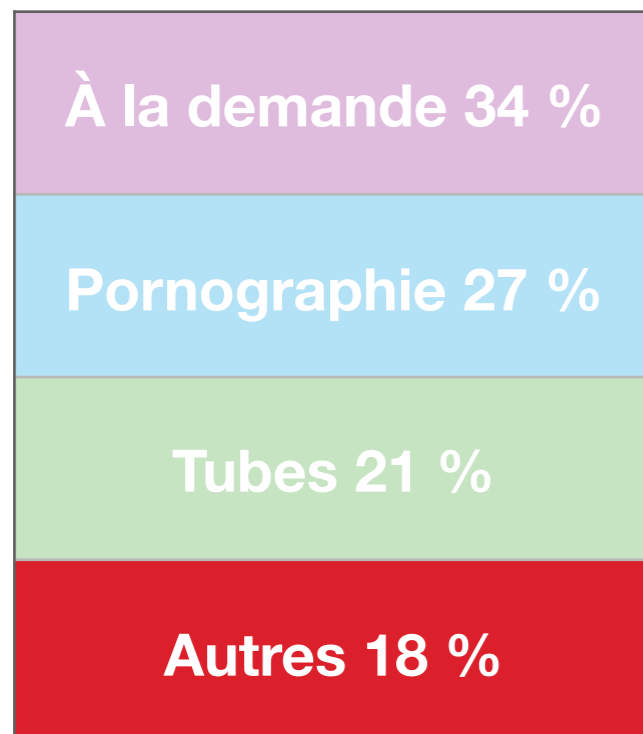
- Limiter le streaming ***
- Diminuer la qualité des vidéos ***
- S'informer sur sa consommation [Outil : **Carbonanalyzer**]

Vidéos en ligne**95 % YouTube****Par exemple la musique :**

- Ne pas écouter la musique sur une plateforme de vidéos en ligne ...
- Télécharger sur son ordinateur la musique que l'on réécoute régulièrement ...

[UTILISATION] VIDÉOS

- Limiter le streaming ***
- Diminuer la qualité des vidéos ***
- S'informer sur sa consommation [Outil : **Carbonanalyzer**]

Vidéos en ligne

Vidéos principalement hébergées par les **réseaux sociaux**

- Limiter son utilisation des réseaux sociaux
- Désactiver la lecture automatique des vidéos sur les réseaux sociaux

[FIN DE VIE] MATÉRIEL

- Réparer ***
- Revendre si fonctionnel / réparable ***
- Bien choisir sa filière de recyclage ***



Pollution électronique aux abords d'une rivière du Ghana en Afrique



- **Responsabilité** : Prendre le temps de réfléchir à la fin de vie de ses appareils ...
- Ne pas faire une **confiance aveugle** et attention aux prix trop bas (respect des normes environnementales et sociales)...

*** Actions à très fort impact

Conclusion

Constat Environnemental :

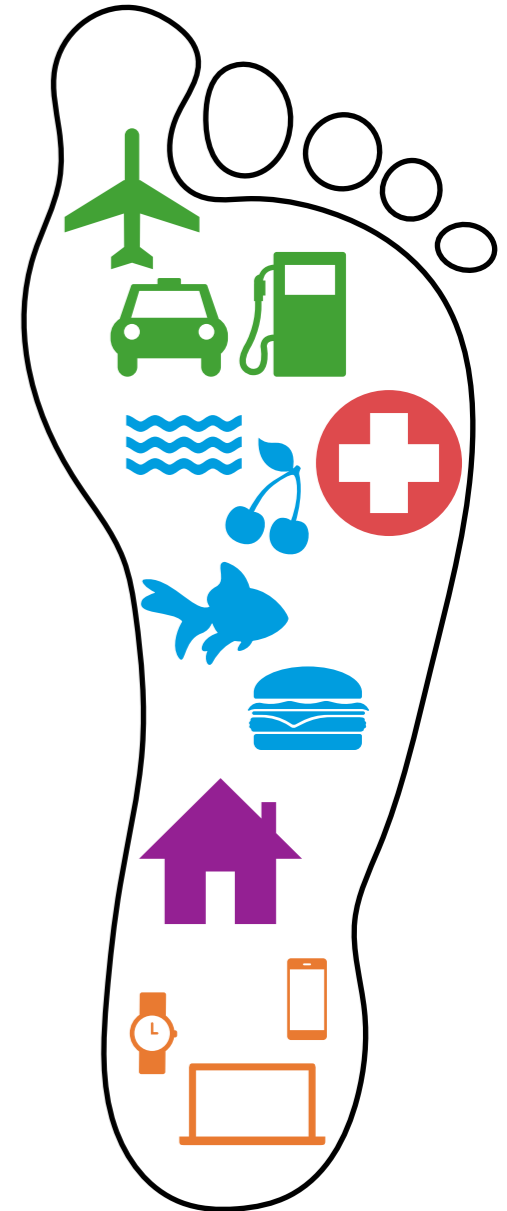
- Dérèglement climatique, effondrement de la biodiversité, épuisement des ressources...
- L'Analyse de Cycle de Vie permet de quantifier les impacts d'un usage selon différents critères
- Le CO2 (impact climatique) est l'un d'entre eux, assez urgent

Constat : impact du numérique

- Le numérique représente plus de la moitié de l'empreinte carbone individuelle visée à l'horizon 2050
- Le numérique a des impacts environnementaux divers
- Le numérique pèse sur les ressources
- Le numérique pose des questionnements sociétaux, de santé, éthiques, géopolitiques

Pistes d'action

- Fabrication et achat
- Utilisation
- Fin de vie



Conclusion

- Comprendre le monde et agir dessus
- Démystifier le numérique : sortir du « Besoin du numérique pour protéger l'environnement »
- Sortir de la pensée en « silo » (UN problème : UNE solution)
- **Préparer le monde de demain...**
 - Questionner nos besoins
 - Sobriété numérique / Low Tech

Merci !

