

# Énergie

# Climat

# Numérique

d'après les conférences de  
Jean-Marc Jancovici et du Shift Project

# Jean-Marc Jancovici



Co-fondateur  
et associé



Cabinet de conseil spécialisé  
en transition bas carbone.

Fondateur et  
président



Think tank militant pour la décarbonation  
de l'économie

Professeur



Mines  
ParisTech

Les générations futures...

Auteur

jancovici.com

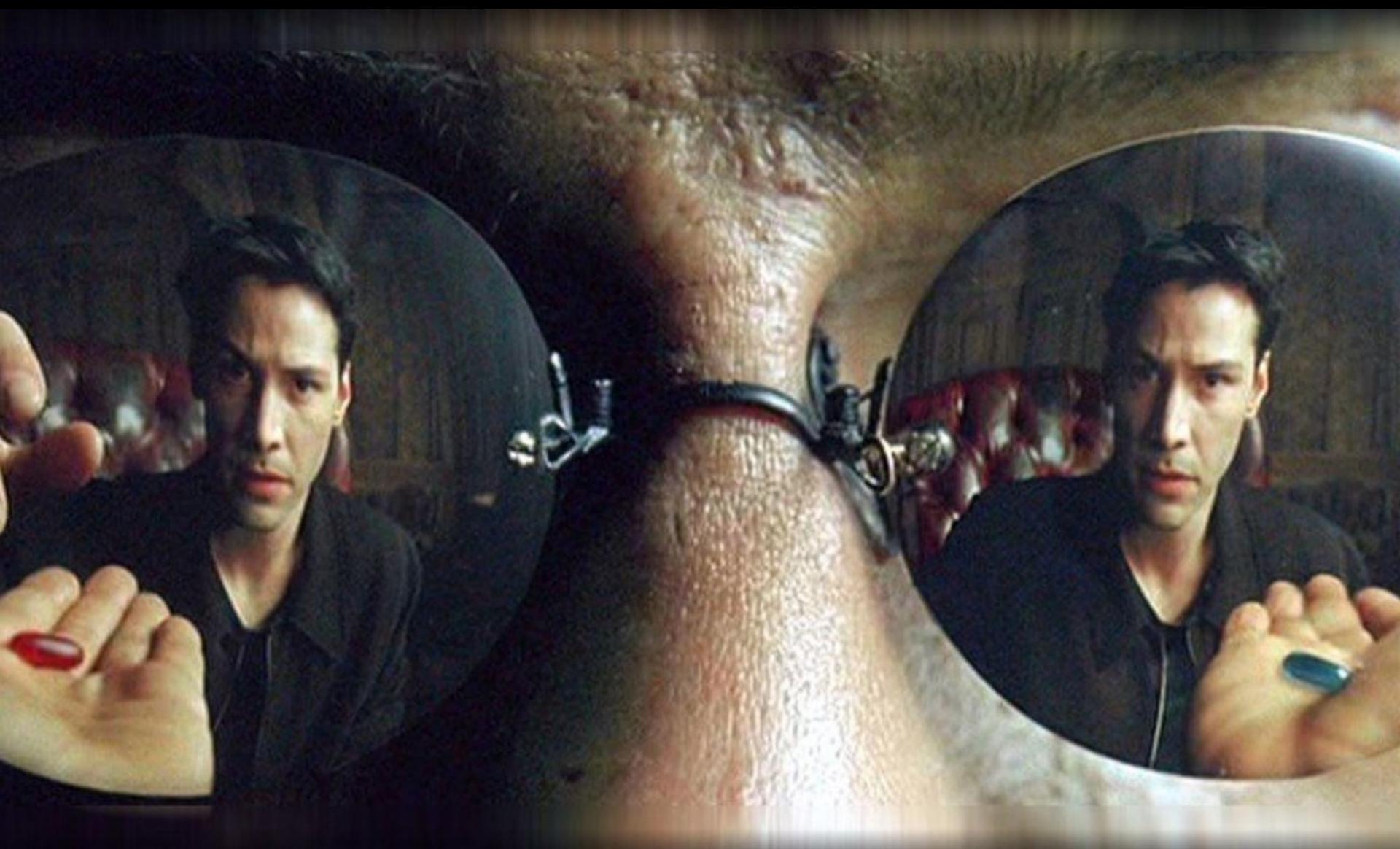
Livres  
Site documentaire sur les sujets  
énergie et climat

Membre du Haut Conseil pour le Climat  
Ingénieur Polytechnicien X 84 et ENST 86

**« - À ton avis, quel est le pire fléau de notre époque, l'ignorance ou l'indifférence ?**

**- Je sais pas et je m'en fous. »**

# Prêt pour avaler la pilule rouge ?



# Énergie

# Climat

# Numérique

# L'énergie, qu'est-ce que c'est ?

De l'énergie entre en jeu dès que le monde change :

**Modification de température**



**Modification de la vitesse**



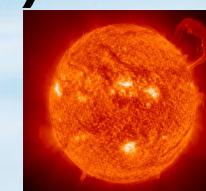
**Modification de forme**



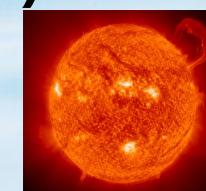
**Modification de la composition chimique**



**Modification de la position dans un champ (magnétique, électrique, gravitationnel...)**



**Changement de composition atomique**



**Interaction entre matière et rayonnement :**

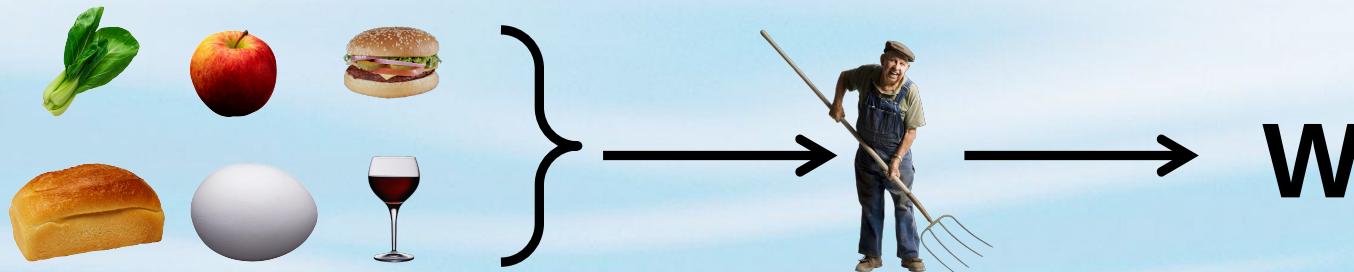
**L'énergie n'est donc rien d'autre que l'unité de compte de la transformation du monde qui nous entoure**

# L'énergie, une grandeur physique

L'énergie, c'est ce qui **quantifie la transformation de l'environnement**

A cause de la loi de conservation de l'énergie, « utiliser de l'énergie », c'est en pratique extraire de l'énergie de l'environnement et la transformer dans un convertisseur.

La seule énergie que les hommes peuvent convertir en direct, c'est la biomasse et ses dérivés comestibles



Pour utiliser « autre chose » (du pétrole, du gaz, de l'uranium, du vent...) il faut un autre convertisseur qui s'appelle une machine



« Utiliser de plus en plus d'énergie », c'est donc en pratique « commander de plus en plus de machinerie »

# Nietzsche voulait des surhommes : le pétrole l'a fait

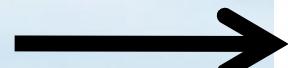


**80 kg + 10 kg  
x 2000 m de  
dénivelée  
≈ 0,5 kWh**



**x 10**

**1 jour sur 2 : 100 kWh/an**



**x 100**

**6 m<sup>3</sup> terre x 1 m  
0,05 kWh  
(10 kWh/an)**



# Nietzsche voulait des surhommes : le pétrole l'a fait



80 kg + 10 kg  
x 2000 m de  
dénivelée  
 $\approx 0,5 \text{ kWh}$

1 jour sur 2 : 100 kWh/an

Au SMIC : 200 €/kWh

Même un esclave : 4-40 €/kWh

6 m<sup>3</sup> terre x 1 m

0,05 kWh  
(10 kWh/an)

2000 €/kWh



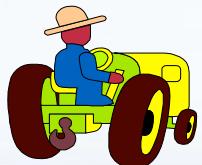
$$\begin{array}{r} \xrightarrow{\quad \quad \quad \quad \quad} \\ \times 10 \\ \xrightarrow{\quad \quad \quad \quad \quad} \\ \div 500 \\ \xrightarrow{\quad \quad \quad \quad \quad} \\ \div 10-100 \\ \xrightarrow{\quad \quad \quad \quad \quad} \\ \times 100 \\ \xrightarrow{\quad \quad \quad \quad \quad} \\ \div 5000 \end{array}$$



# L'homme produit avec la machine, ou la machine avec l'homme ?



= 100 W pour les jambes, 10 W pour les bras



= 60 kW ≈ 600 paires de jambes



= 100 kW ≈ 10.000 paires de bras



= 400 kW ≈ 4.000 paires de jambes



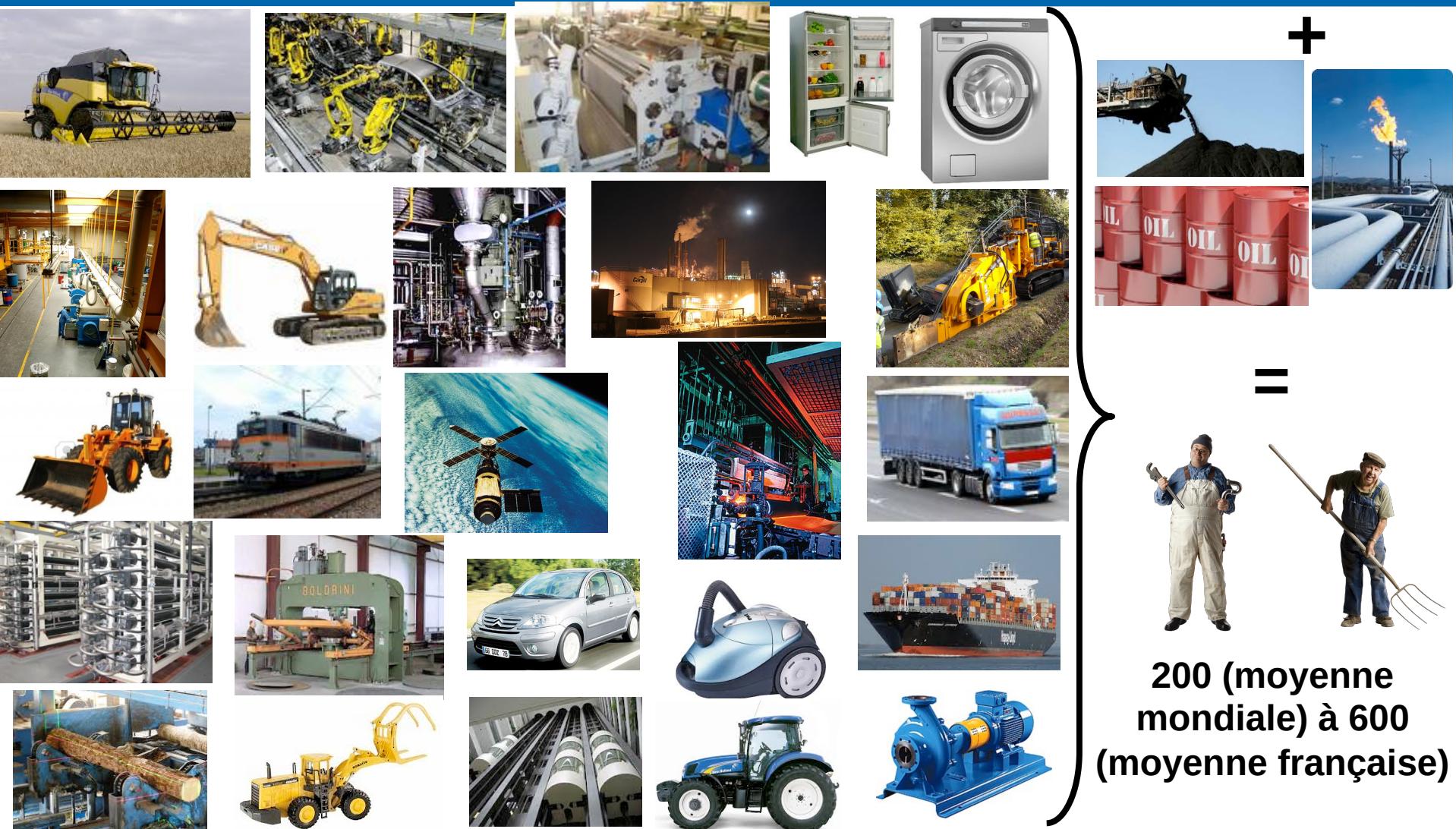
= 100 MW ≈ 1.000.000 paires de jambes...



= 100 MW ≈ 10.000.000 paires de bras !



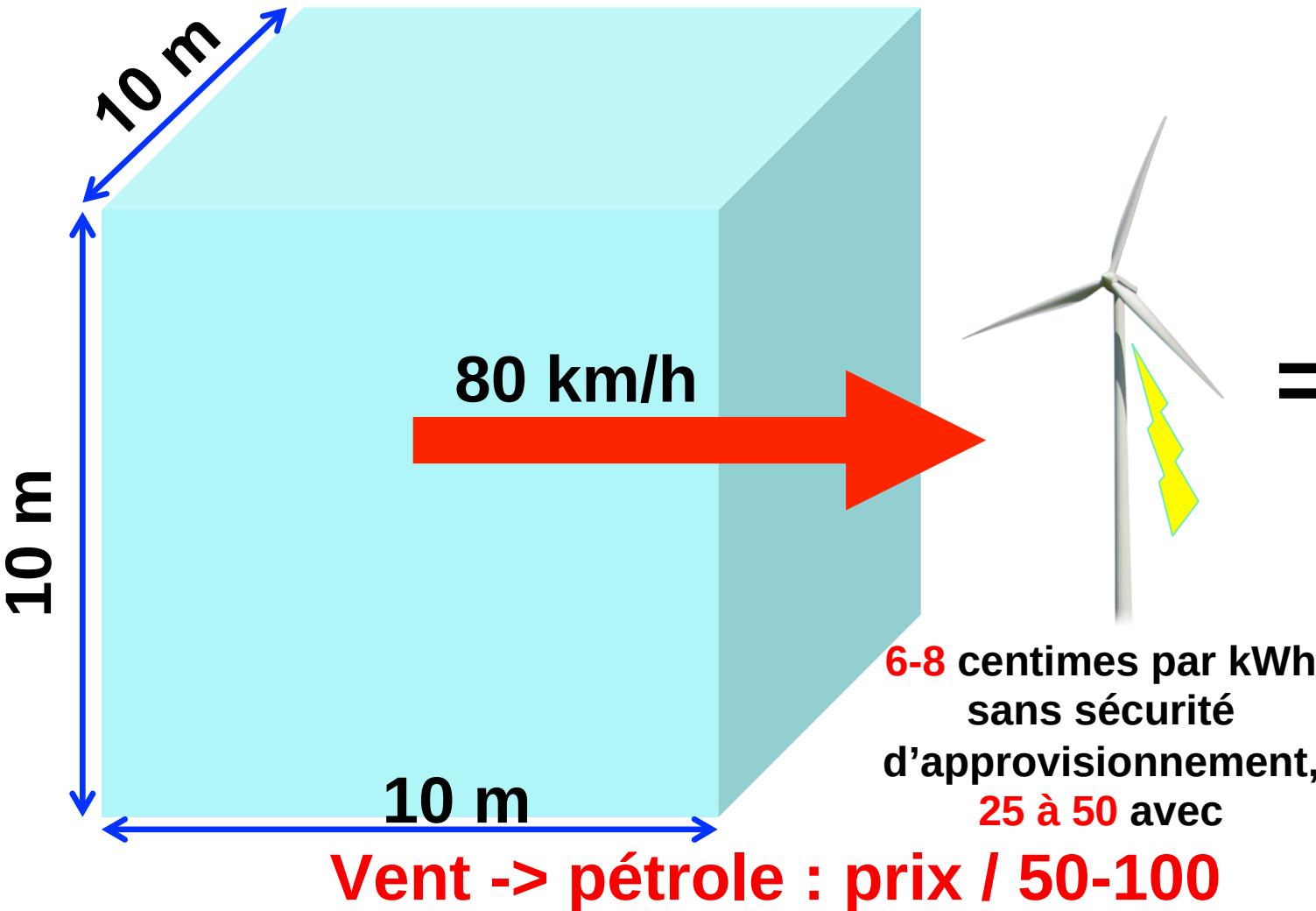
# Les voici, nos esclaves des temps modernes !



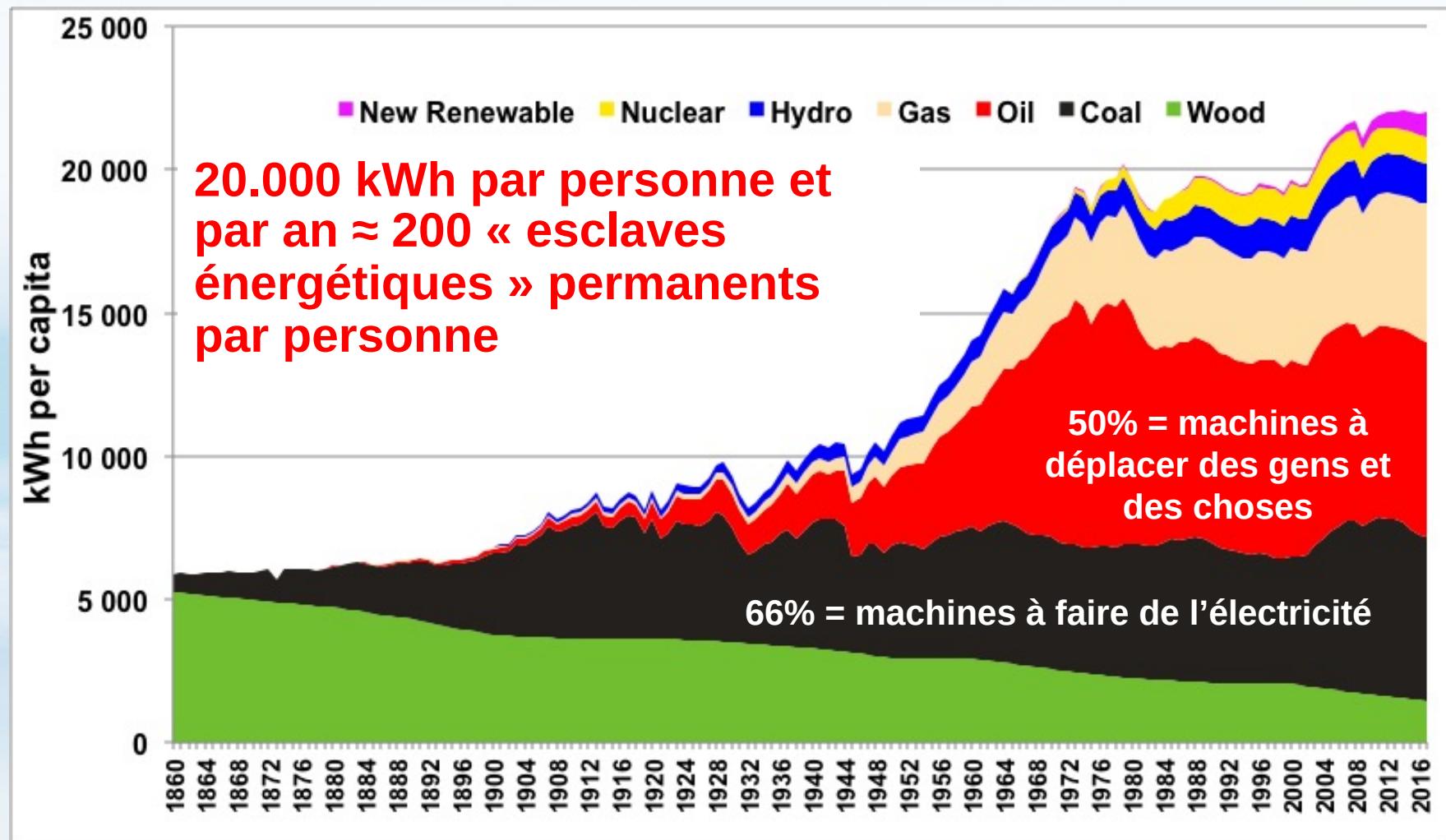
# Il fut un temps où nous étions renouvelables et durables...



# Pourquoi Diable être passé des ENR au pétrole diabolique ?

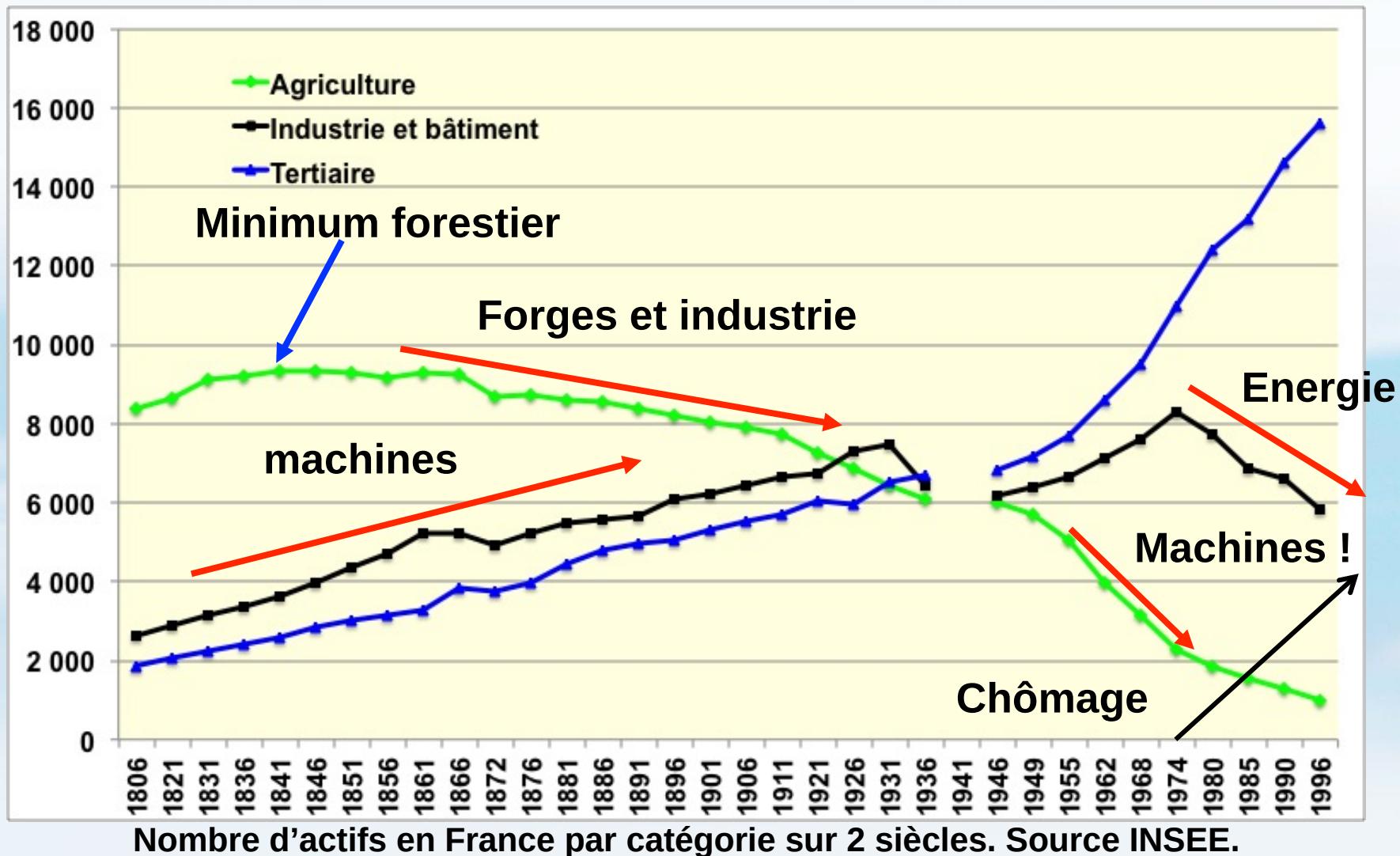


# Miam miam kWh : c'est pas durable, mais c'est si bon...

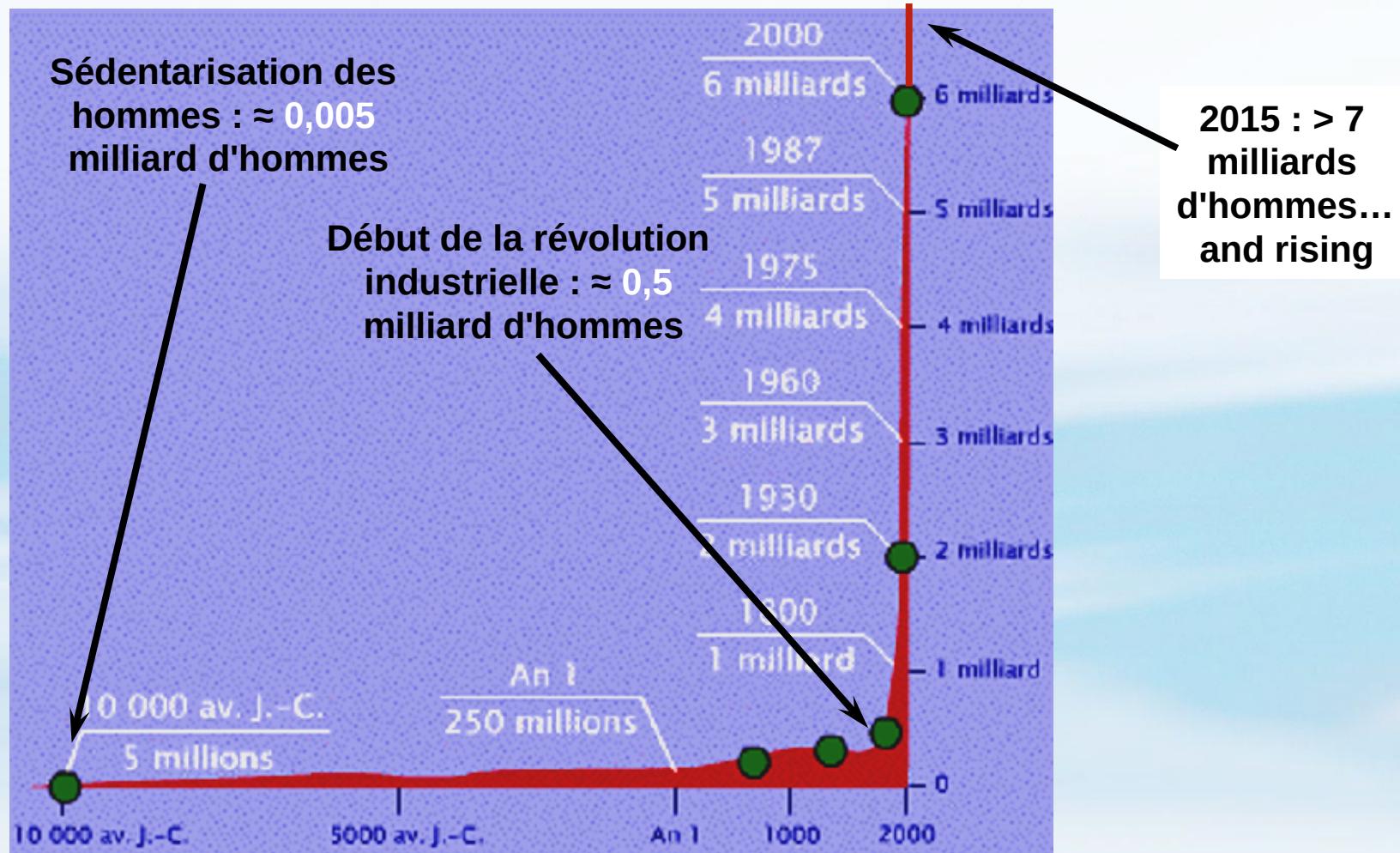


Énergie mise en jeu par personne, moyenne mondiale 1860-2017. Jancovici, 2018

# Plus d'énergie = tout le monde à l'usine, puis au bureau

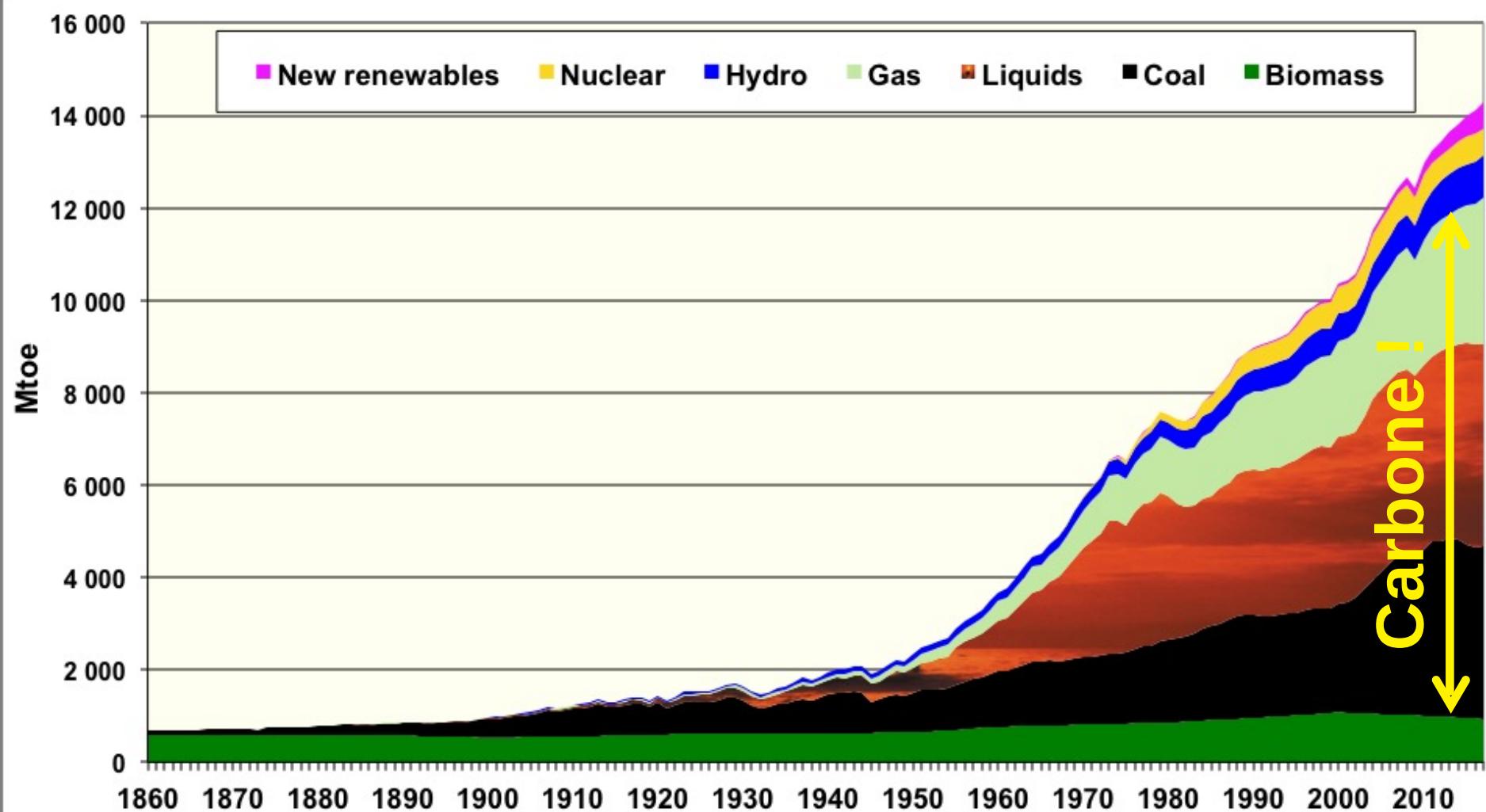


# Plus de consommateurs, aussi....



Évolution démographique depuis le néolithique (découverte de l'agriculture). Source : Musée de l'Homme

# Plus x plus = beaucoup plus



Consommation d'énergie mondiale, de 1860 à 2017.  
Jancovici, 2018, sur sources Schilling et al., 1977, BP Statistical Review, 2018, divers

# Si nous sommes ici, c'est un peu à cause de lui...



**Les ressources naturelles sont inépuisables, car sans cela, nous ne les obtiendrions pas gratuitement. Ne pouvant ni être multipliées ni épuisées, elles ne sont pas l'objet des sciences économiques**

Traité d'économie politique (1803)

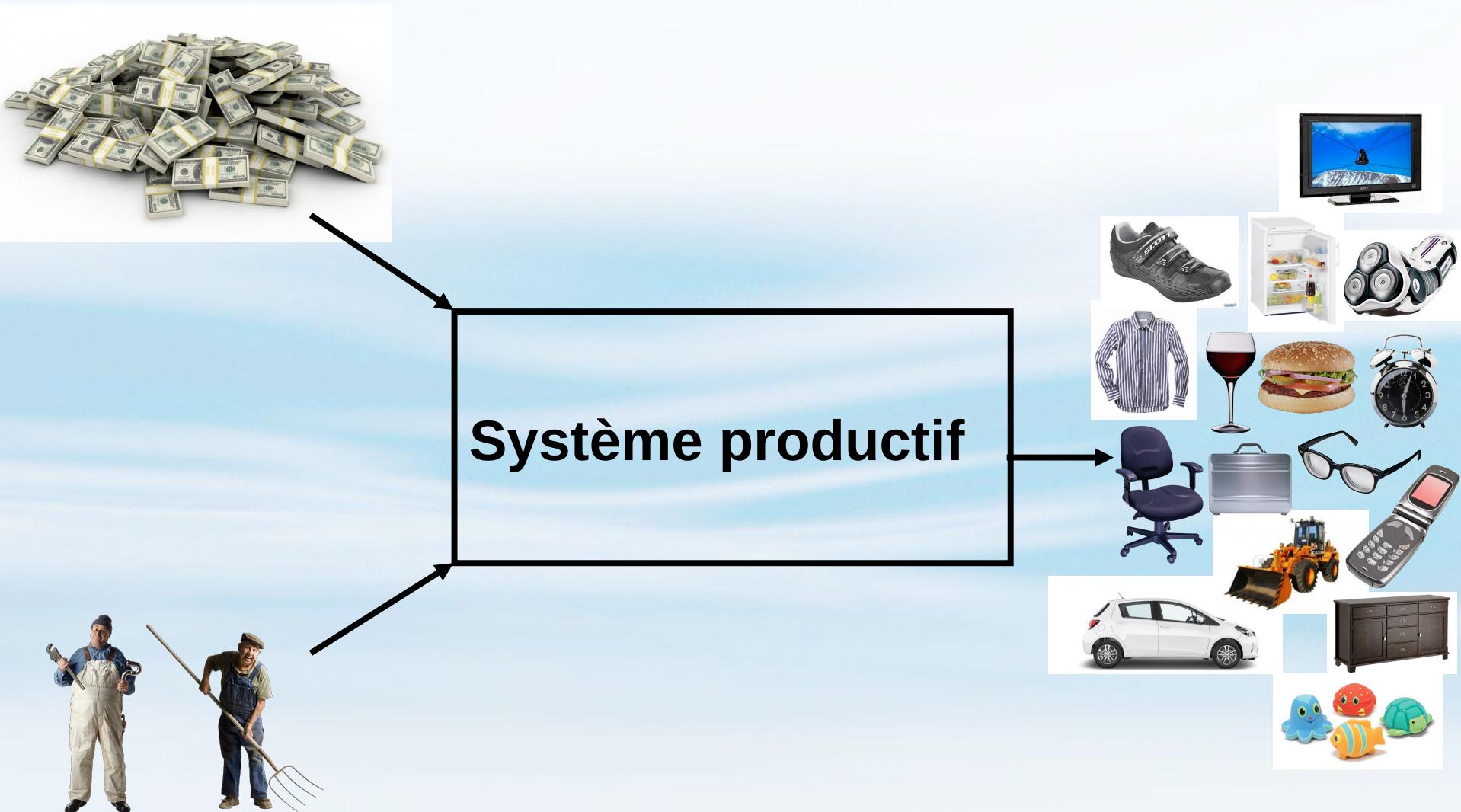


# Notre capital de départ

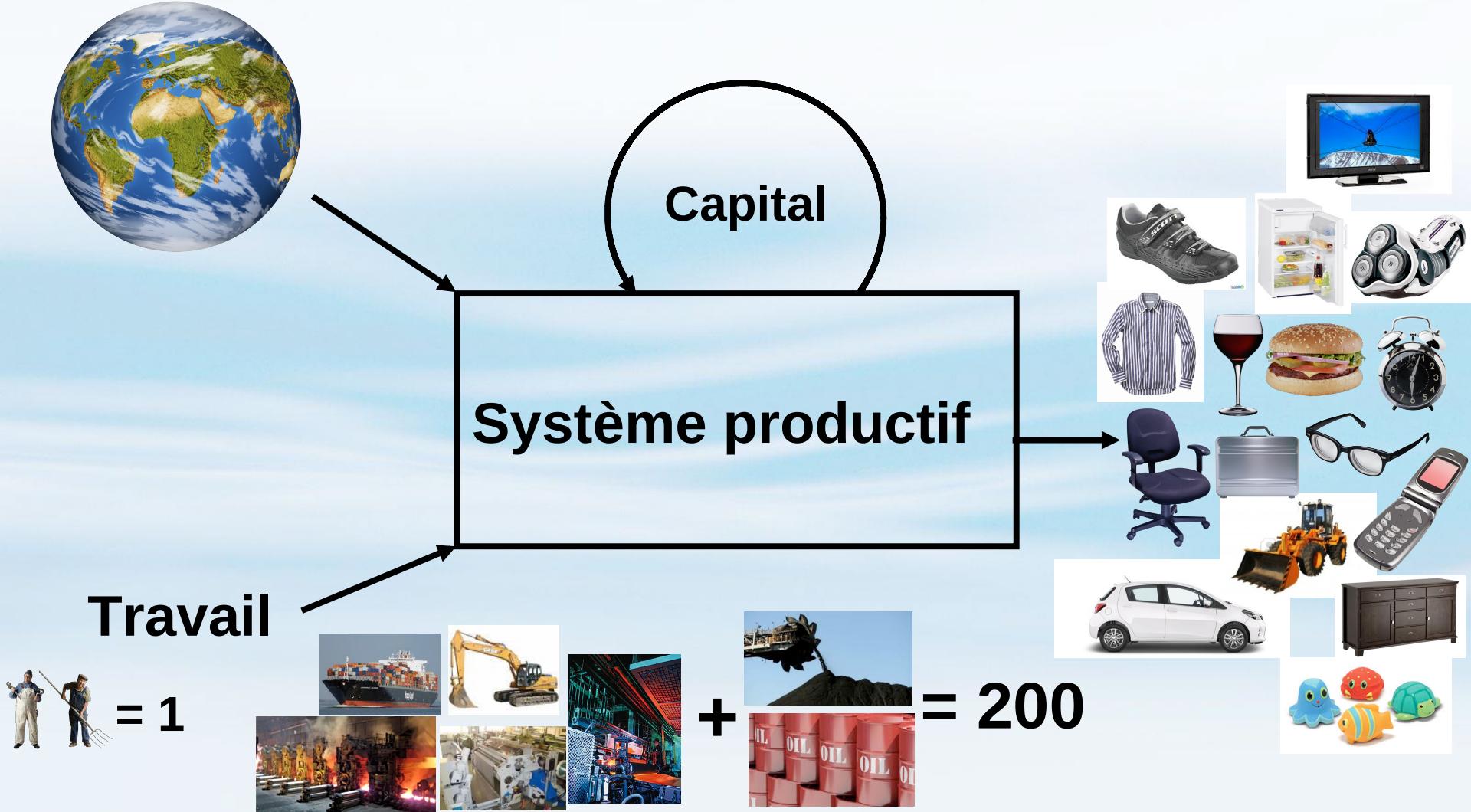


**Le seul vaisseau spatial habitable pour 7 milliards d'habitants que nous ayons à disposition**

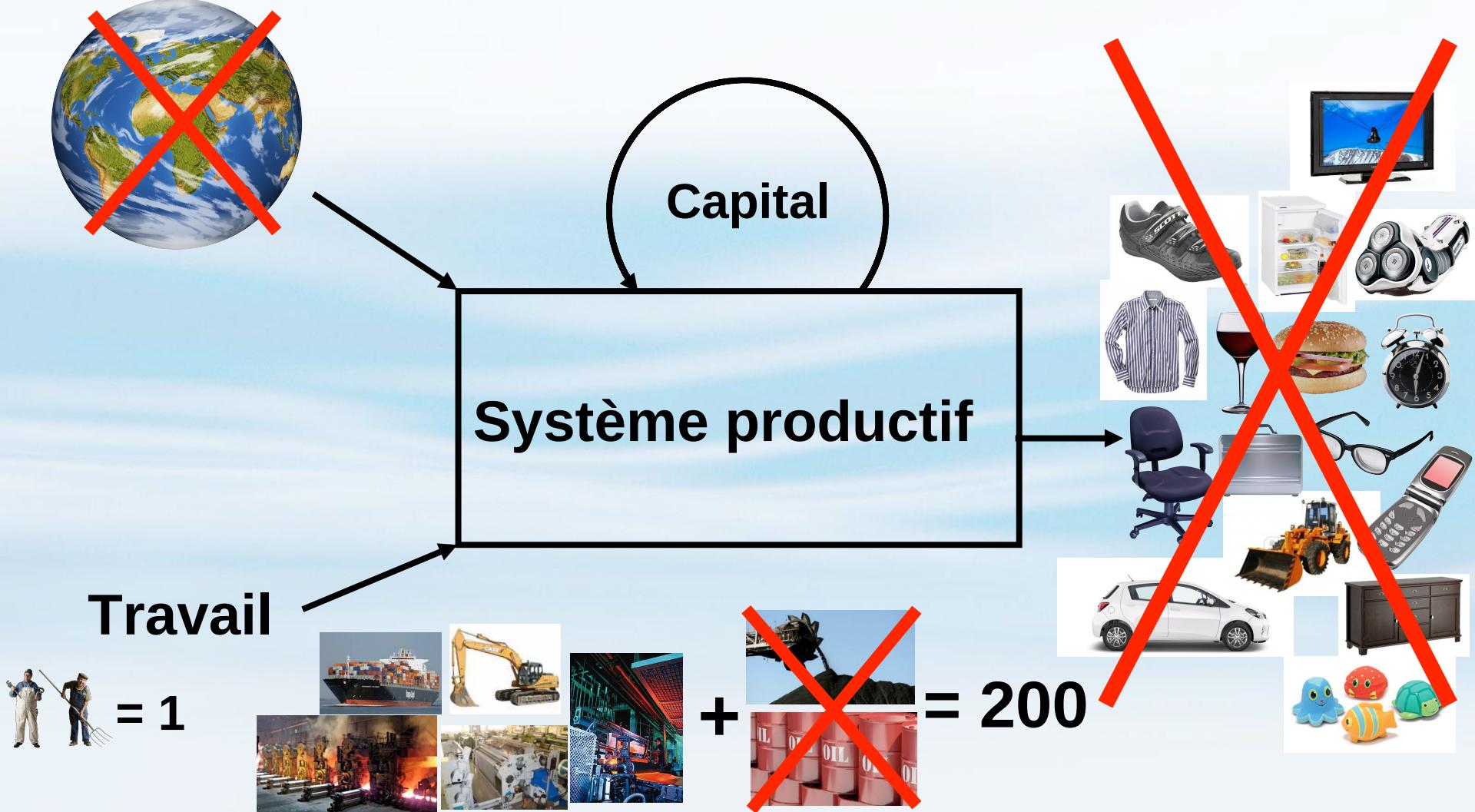
# L'économie de la terre plate



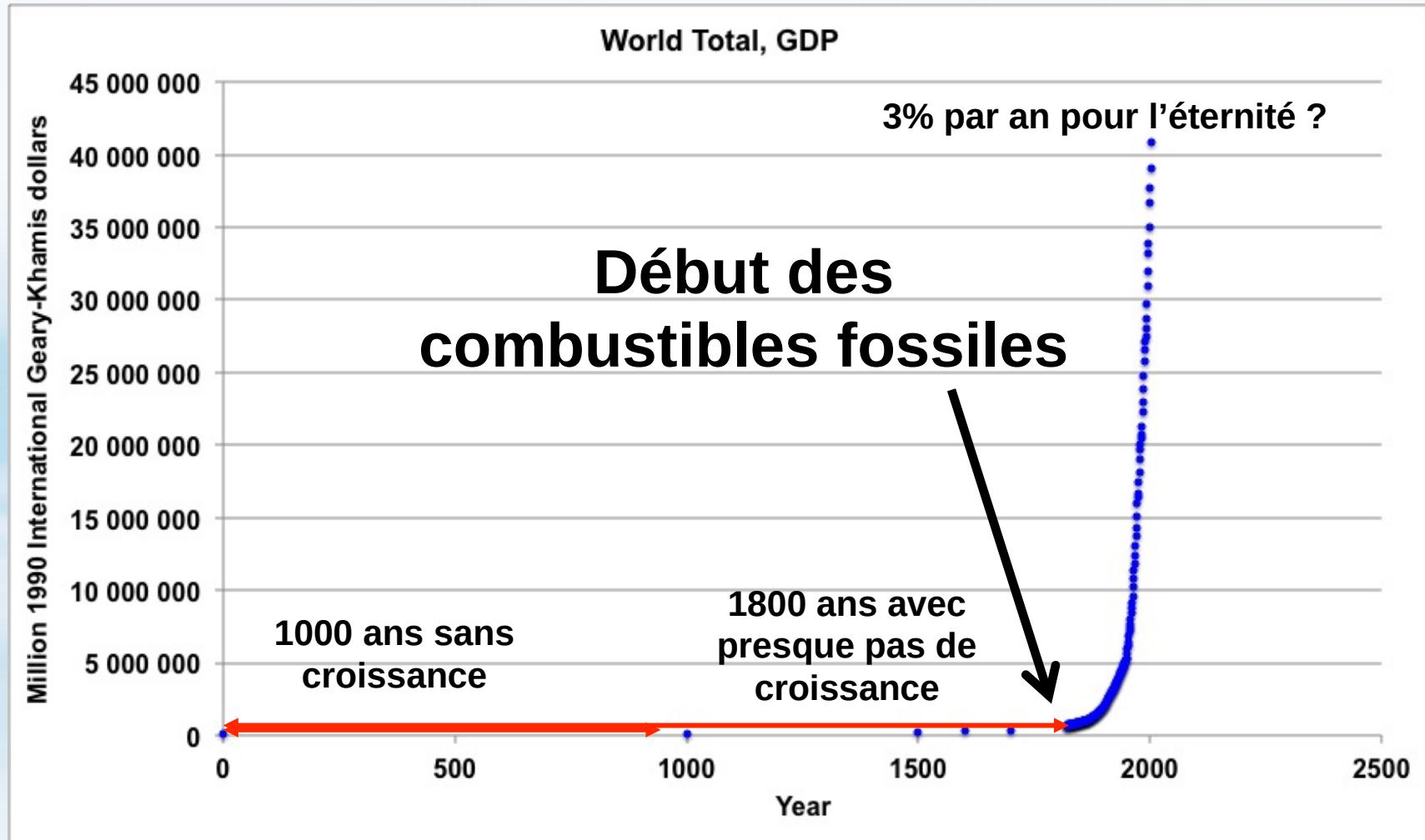
# En fait, il vaut mieux avoir de la ressource...



# Sinon ...

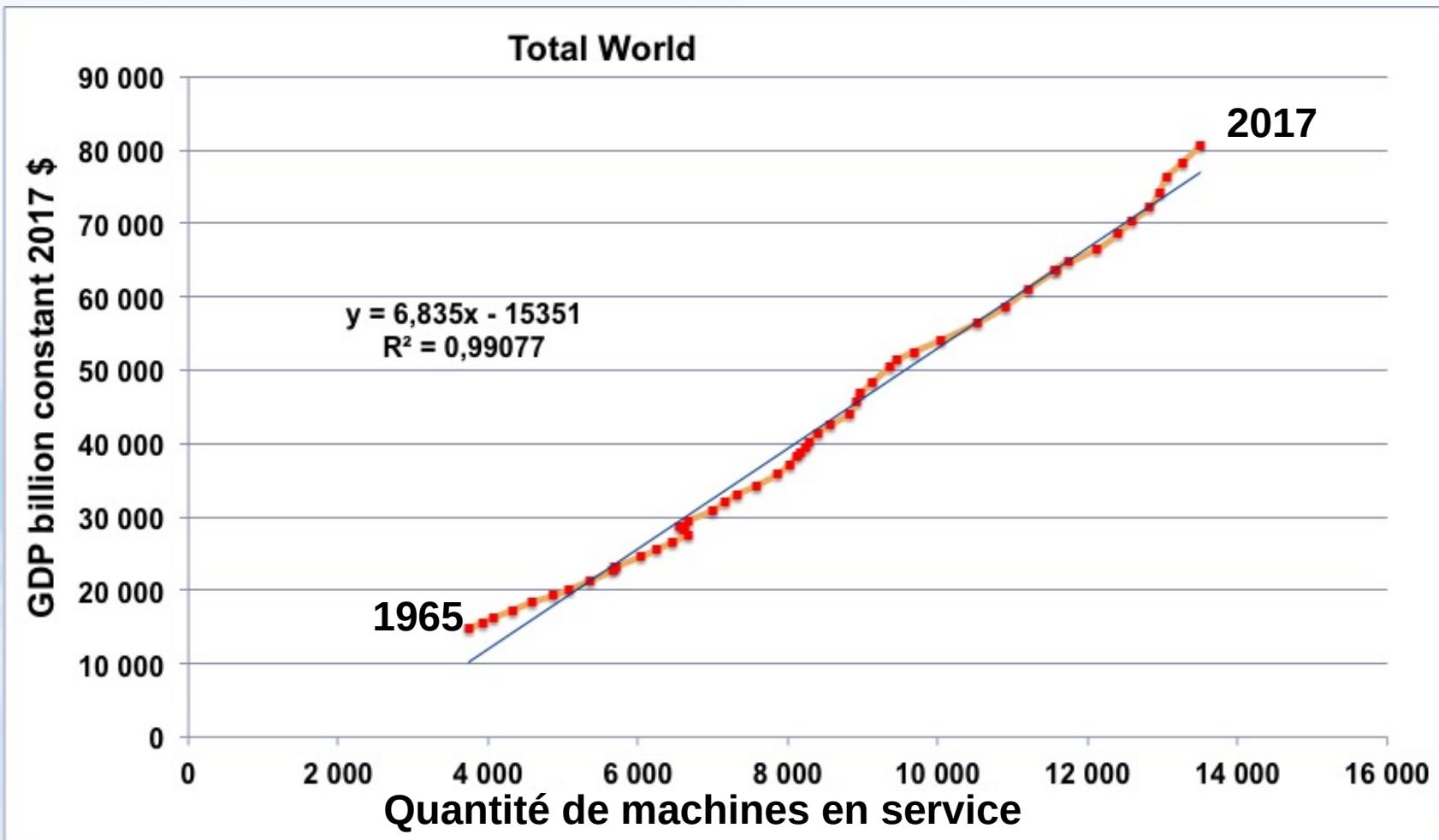


# 2000 ans de PIB



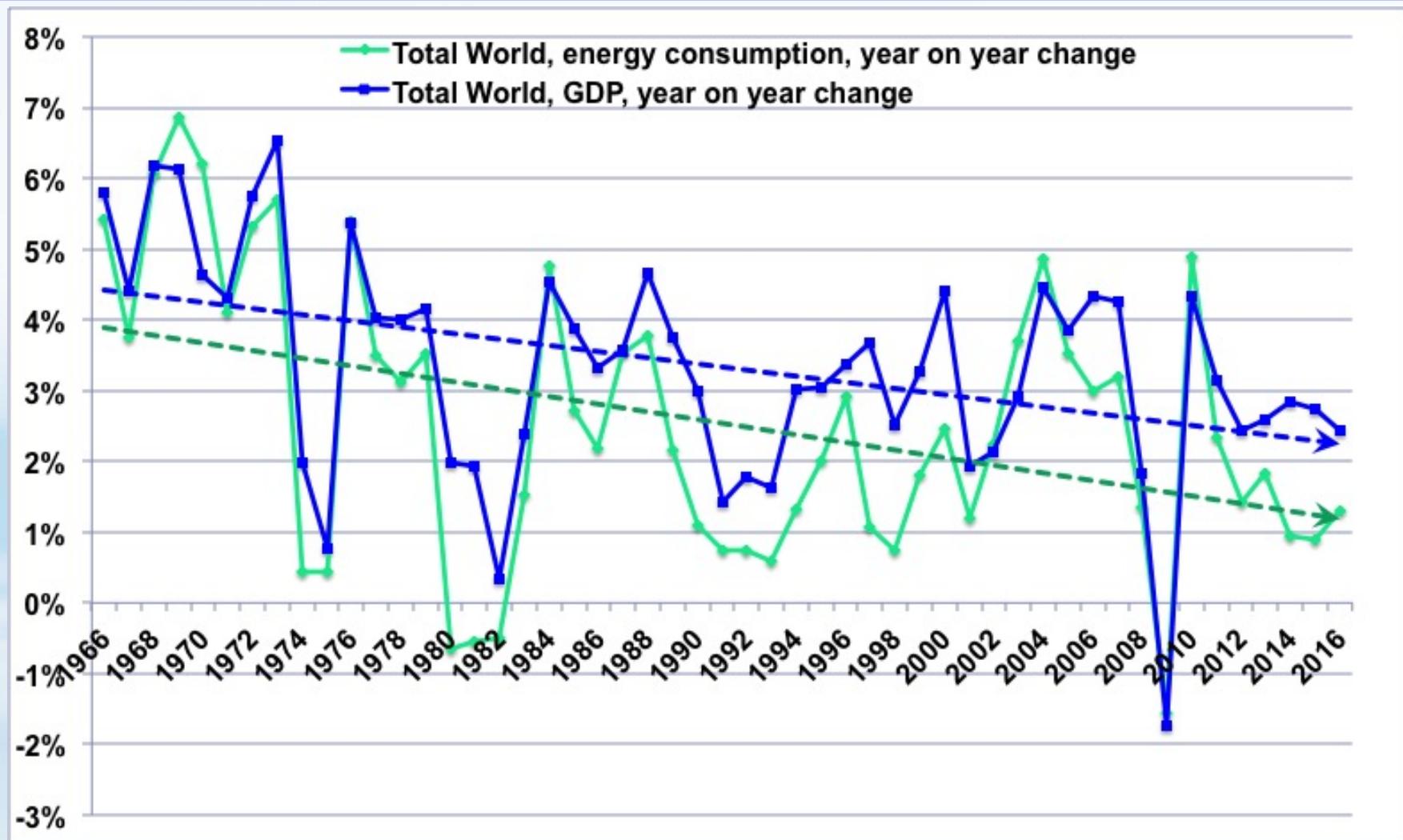
PIB mondial reconstitué de l'an 0 à 2003. Source Maddison, 2010

# Le meilleur modèle macro-économique du monde : une droite



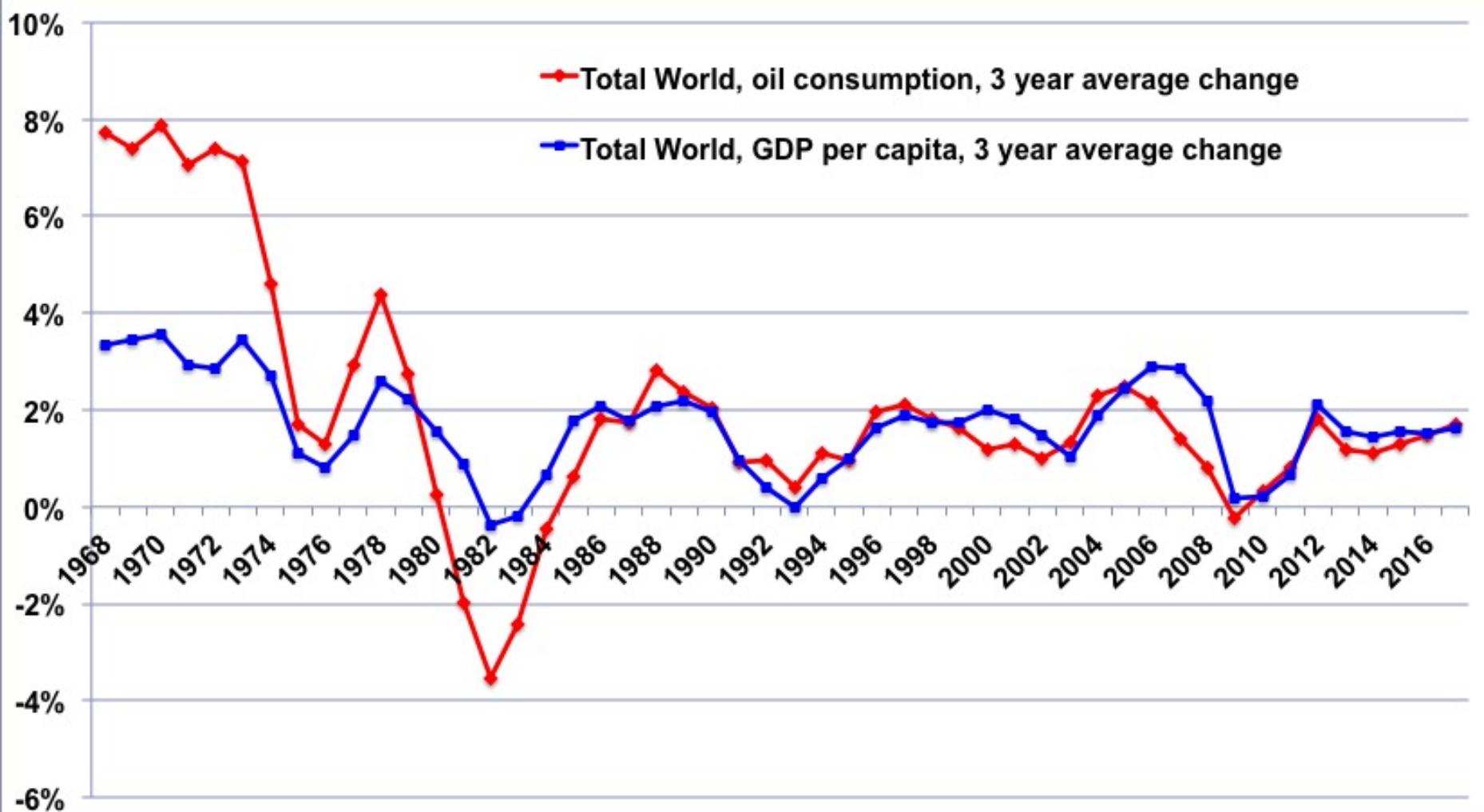
Énergie consommée (en abscisse) et PIB en dollars constants (ordonnée) pour le monde. Données primaires World Bank pour le PIB et BP stat pour l'énergie

# Puis-je avoir du PIB sans énergie ?



**Variation de la consommation d'énergie (en vert) et du PIB en dollars constants (en bleu), pour le monde. Données World Bank pour le PIB et BP stat pour l'énergie**

# Puis-je avoir du PIB sans pétrole ?



Variation annuelle, depuis 1970, du pétrole consommé dans le monde, et du PIB par personne dans le monde. Mêmes sources que précédemment.



source : Hydrocarbures et Charbons, Yves Matthieu, Combloux 2019

# Les maths, c'est décidément détestable...

Dès qu'il y a un stock de départ donné une fois pour toute (hydrocarbures, minerais...)

Une extraction annuelle indéfiniment croissante est impossible

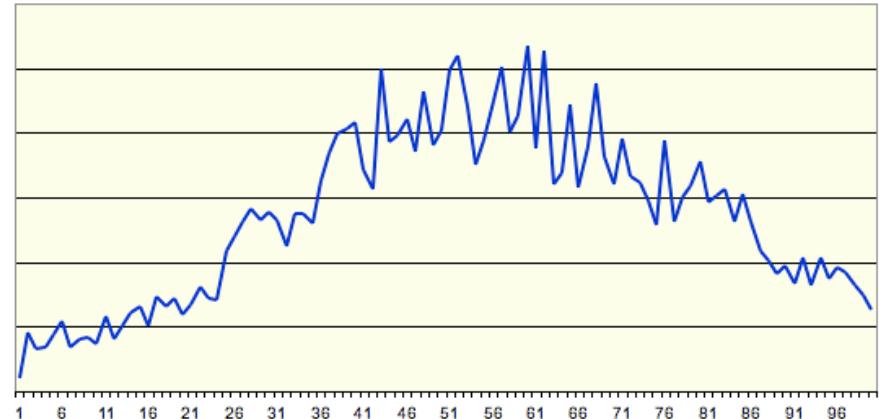
Même une extraction annuelle indéfiniment constante est impossible (sinon stock infini !)

Il se démontre qu'en pareil cas l'extraction annuelle :

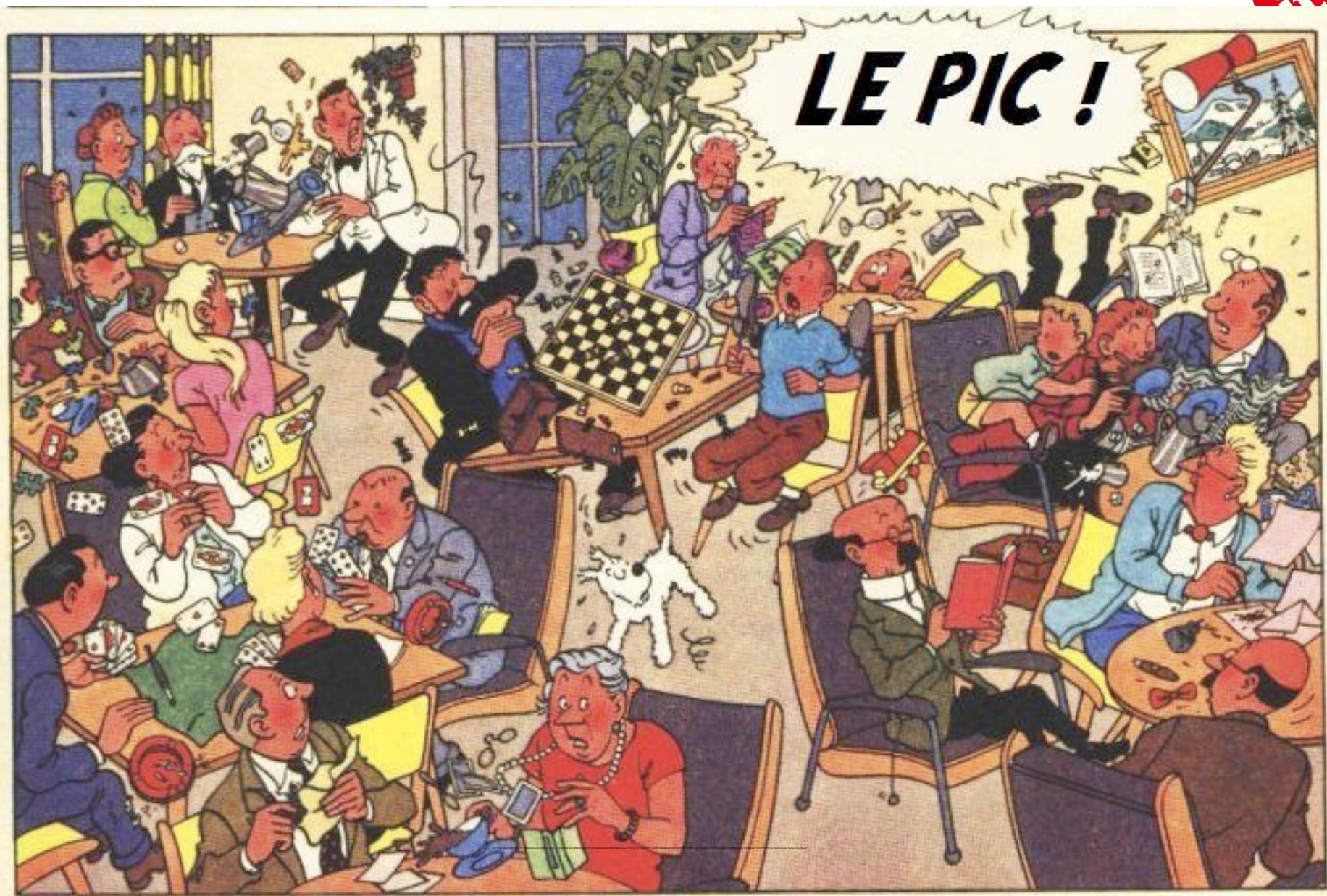
Est nulle à  $-\infty$

Est nulle à  $+\infty$

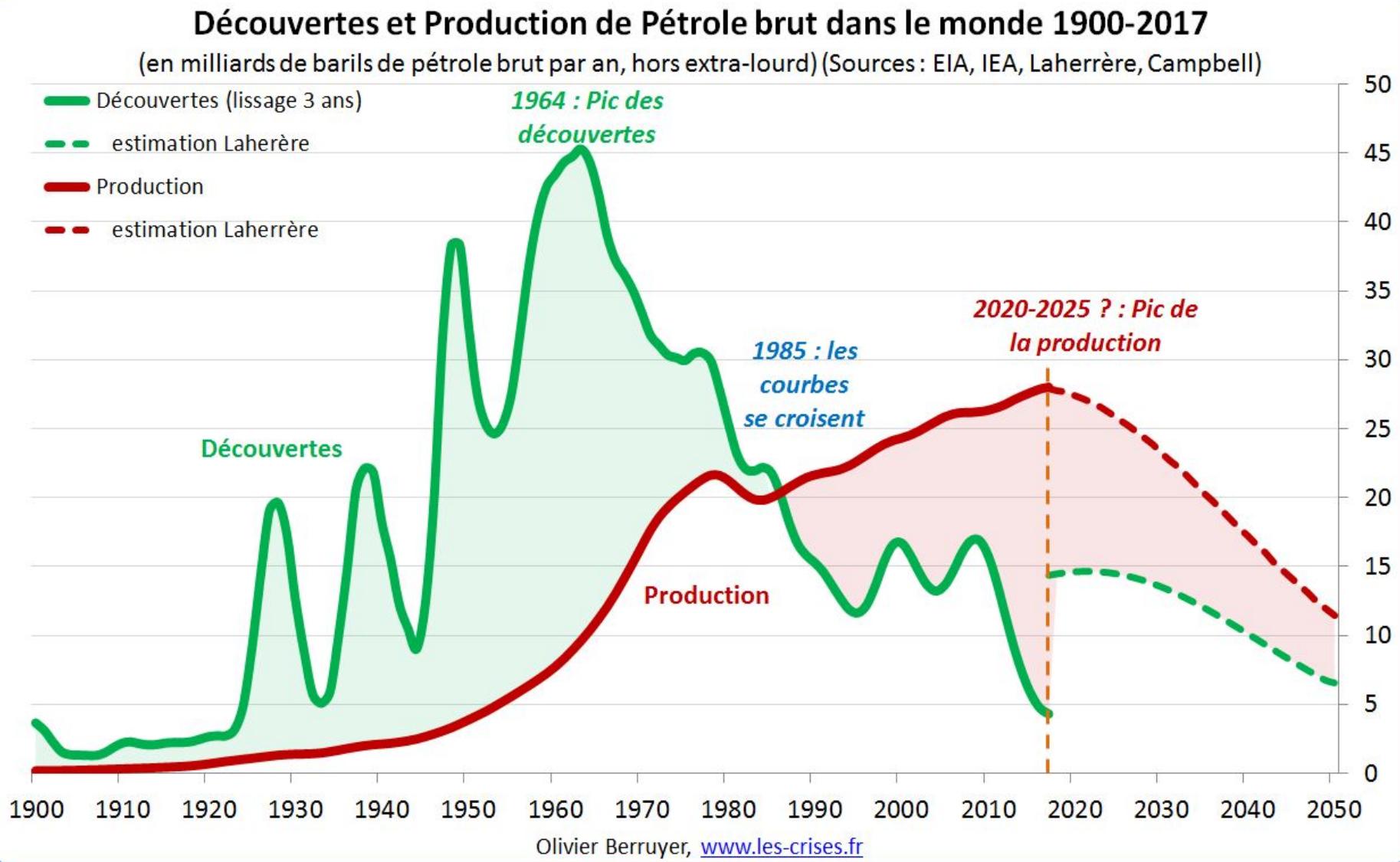
Passe par un maximum absolu entre les 2



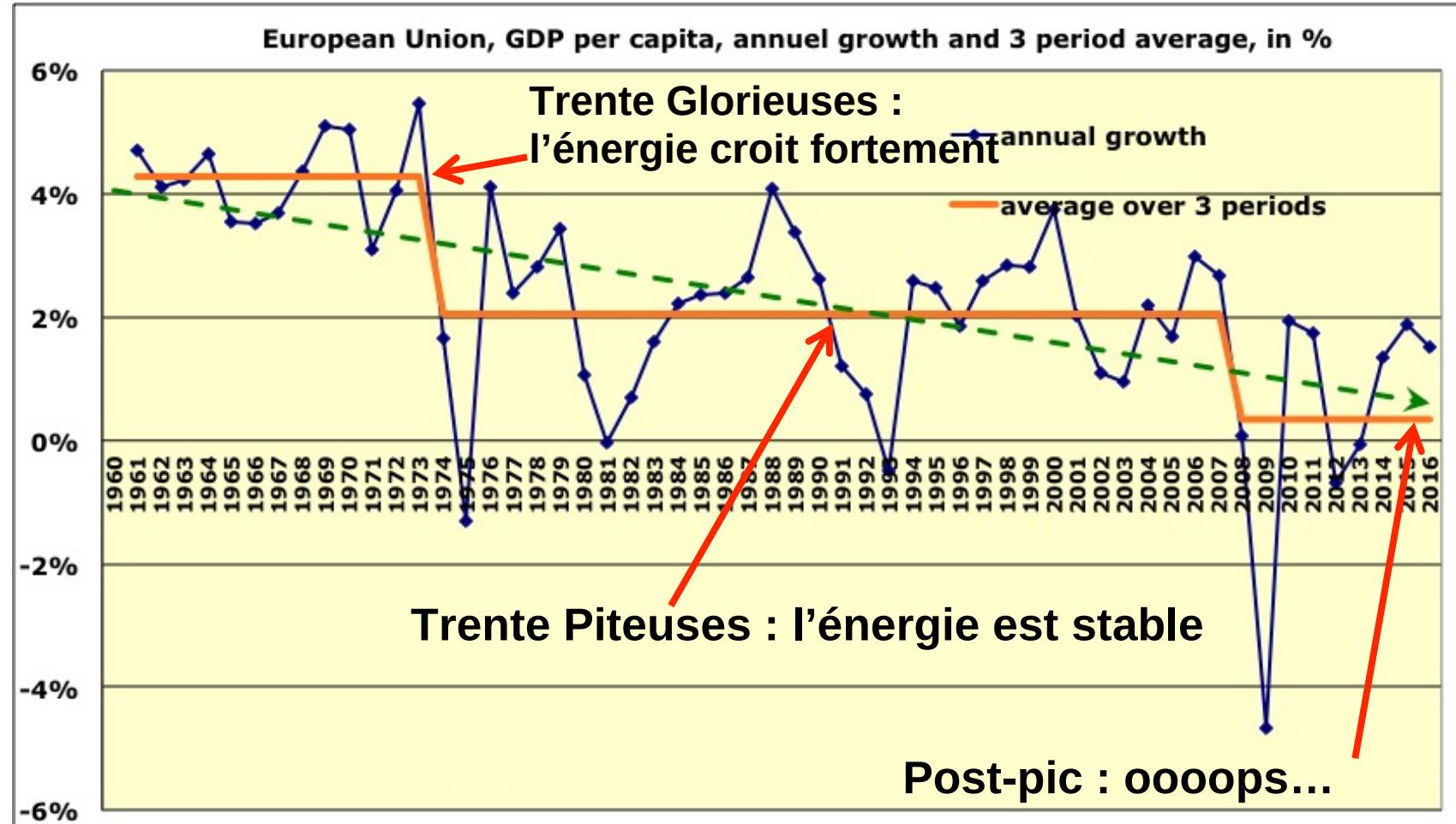
# Les maths, c'est décidément détestable...



# Prochain pic pétrolier ?



# Saloperie de physique !



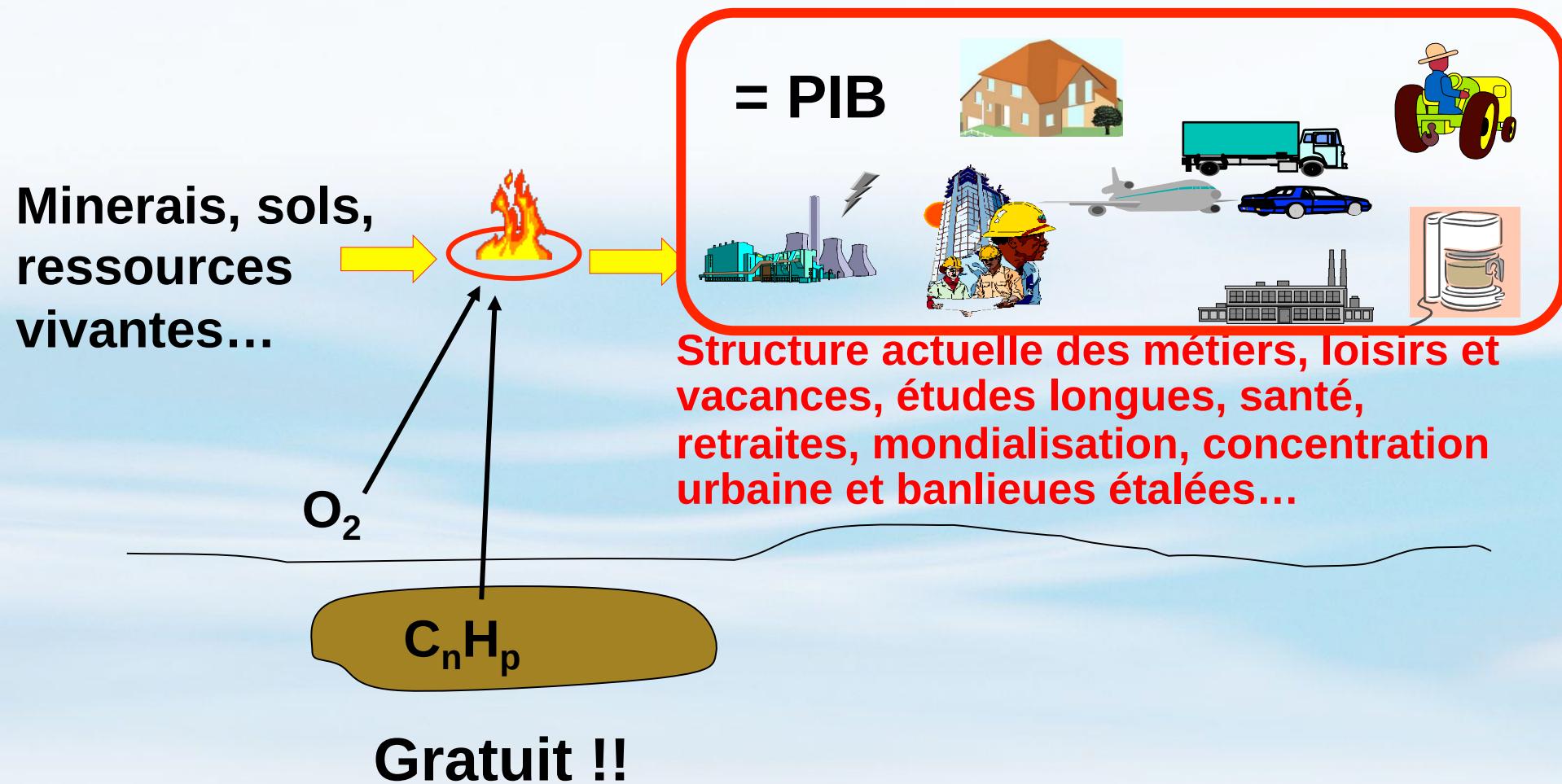
Variation annuelle du PIB par personne en Europe. Jancovici, sur données World Bank.

Énergie

**Climat**

Numérique

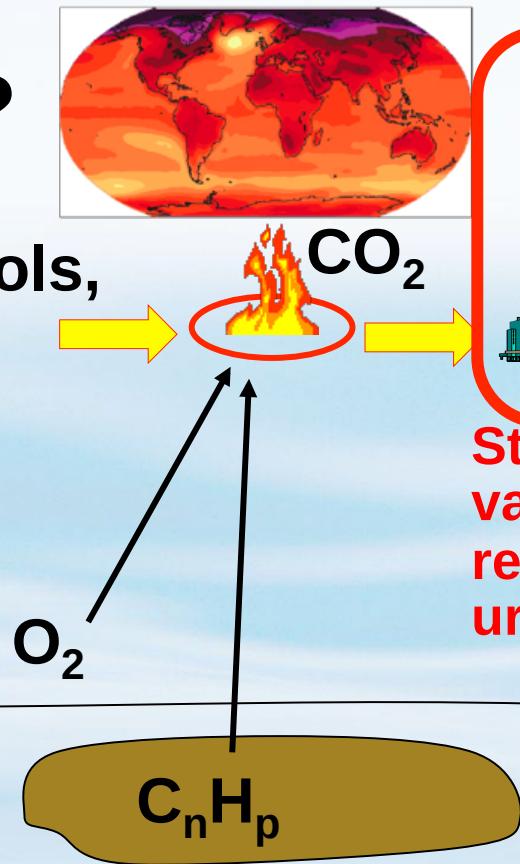
# L'ère du feu, croissance à gogo et 2 questions...



# Boum ou Crac ? ... ou les deux ?

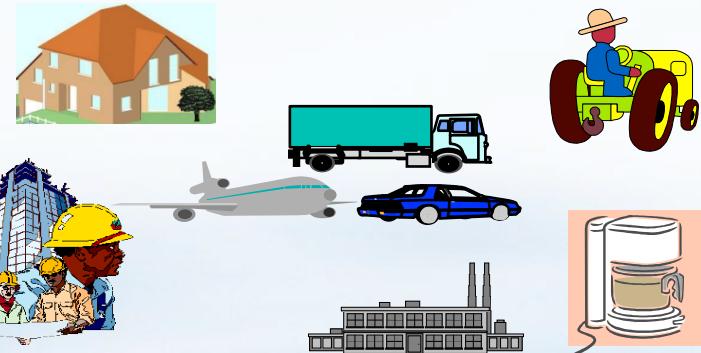
**Boum ?**

Minerais, sols,  
ressources  
vivantes...



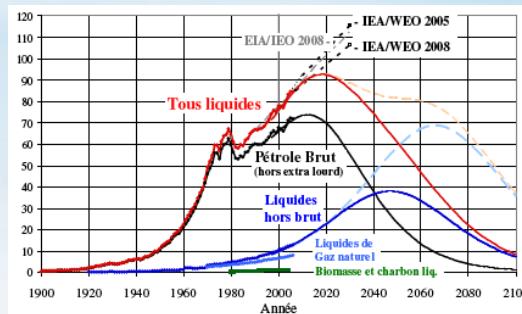
**Gratuit !!**

= PIB



Structure actuelle des métiers, loisirs et  
vacances, études longues, santé,  
retraites, mondialisation, concentration  
urbaine et banlieues étalées...

**Crac ?**



**BOUM !**

S'il n'y avait pas d'effet de serre

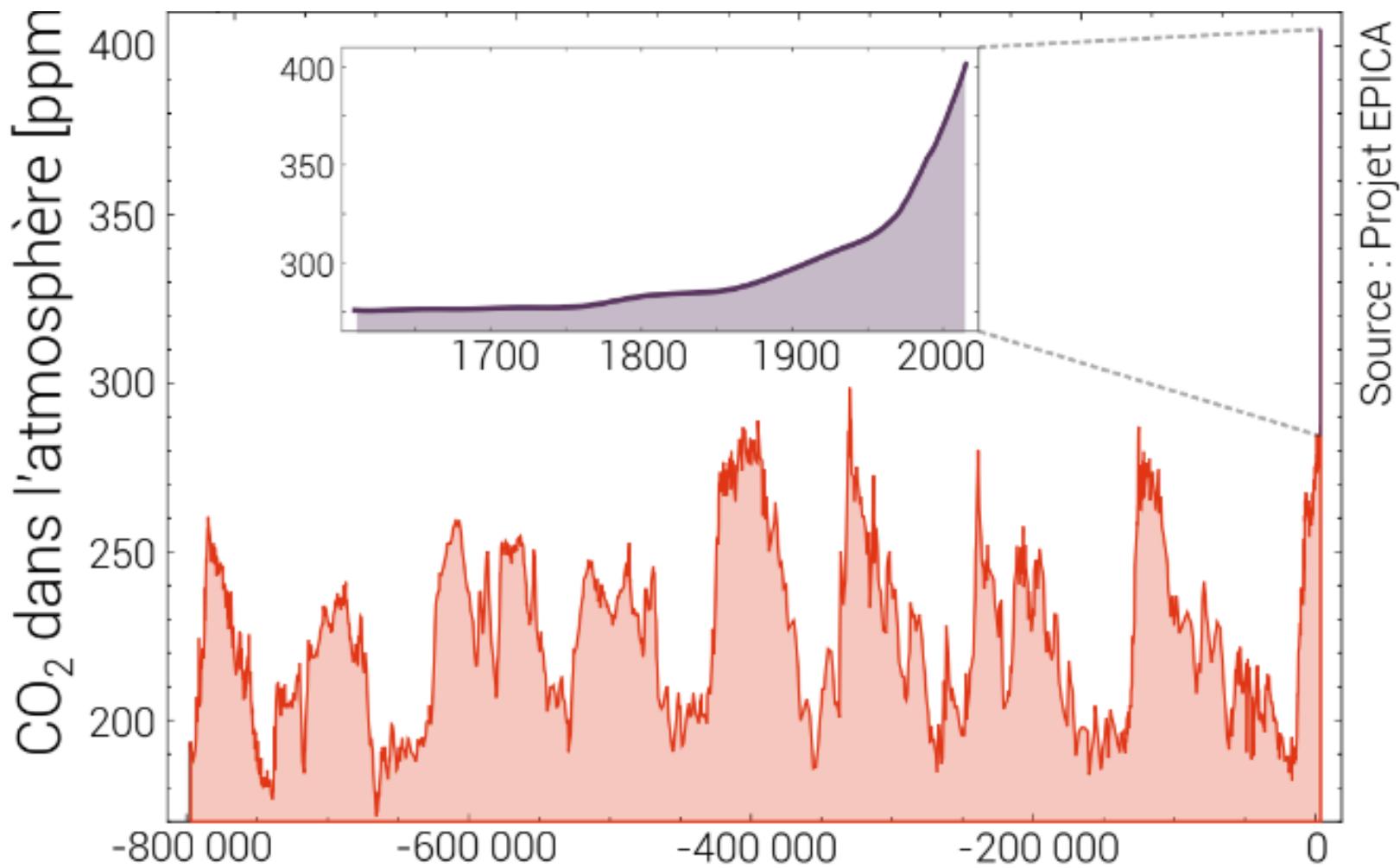


La vie grâce à l'effet de serre

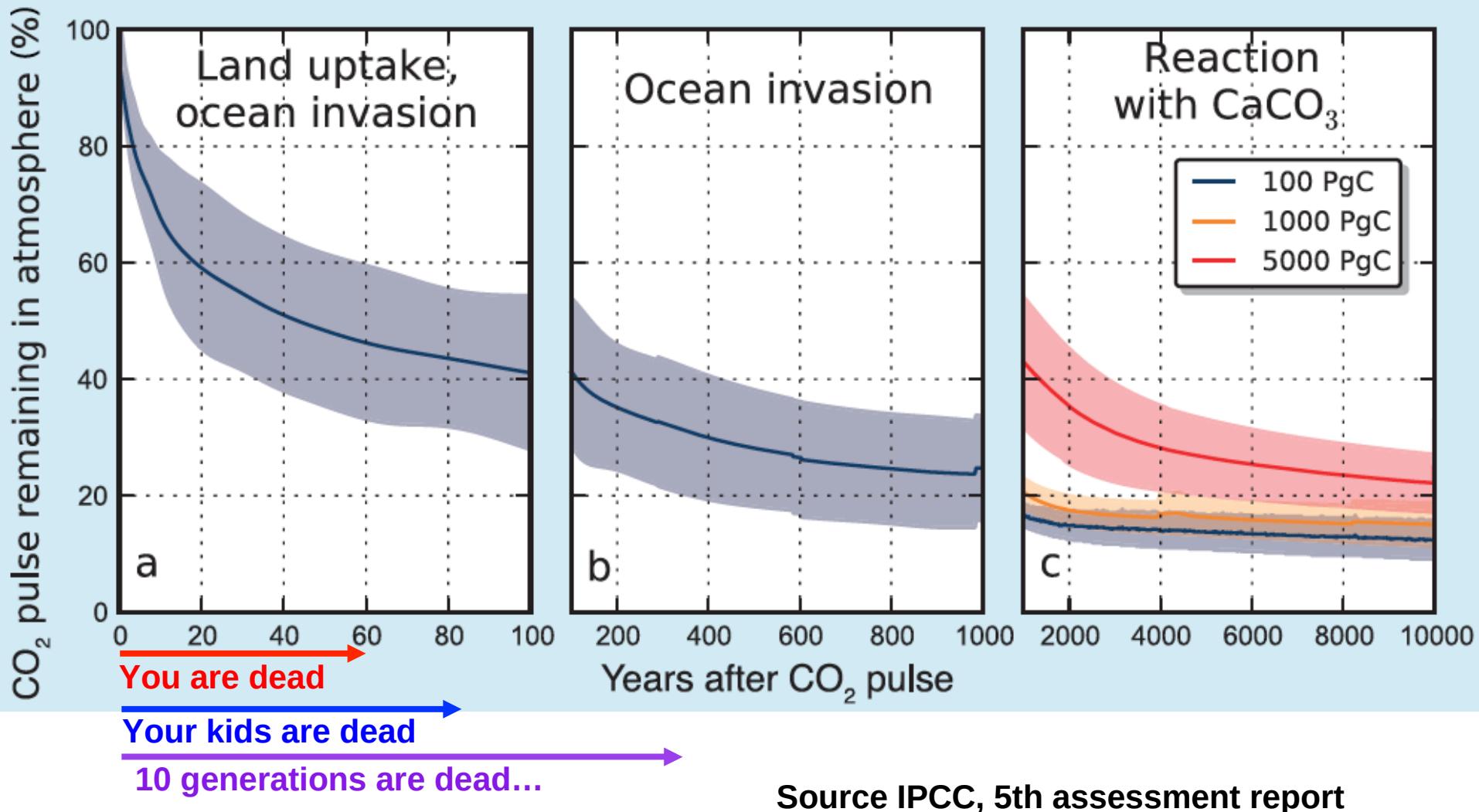


Un risque de déséquilibre





# Help! Where is the reset button?



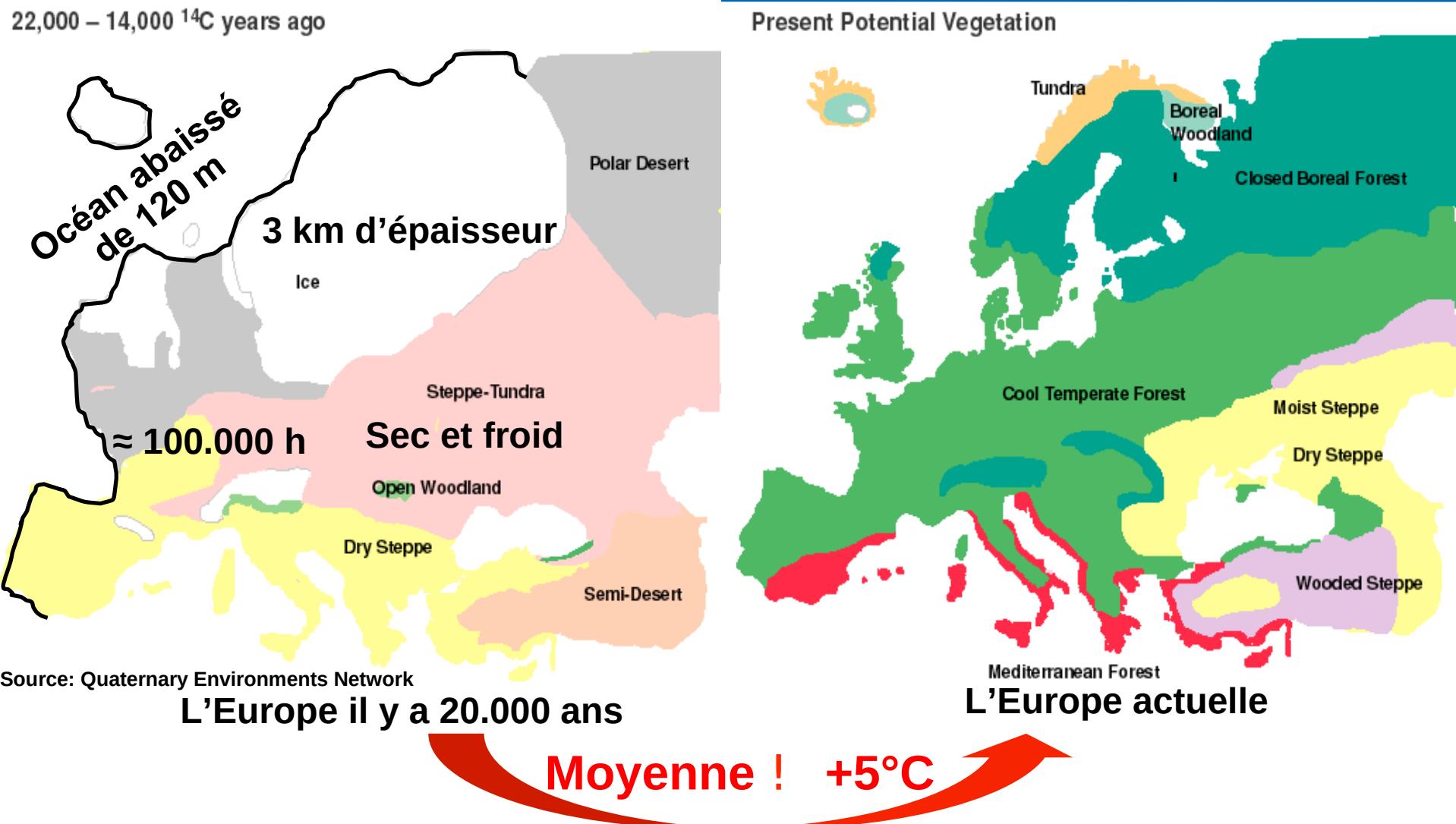
# +5°C, juste un pull en moins ?

Present Potential Vegetation

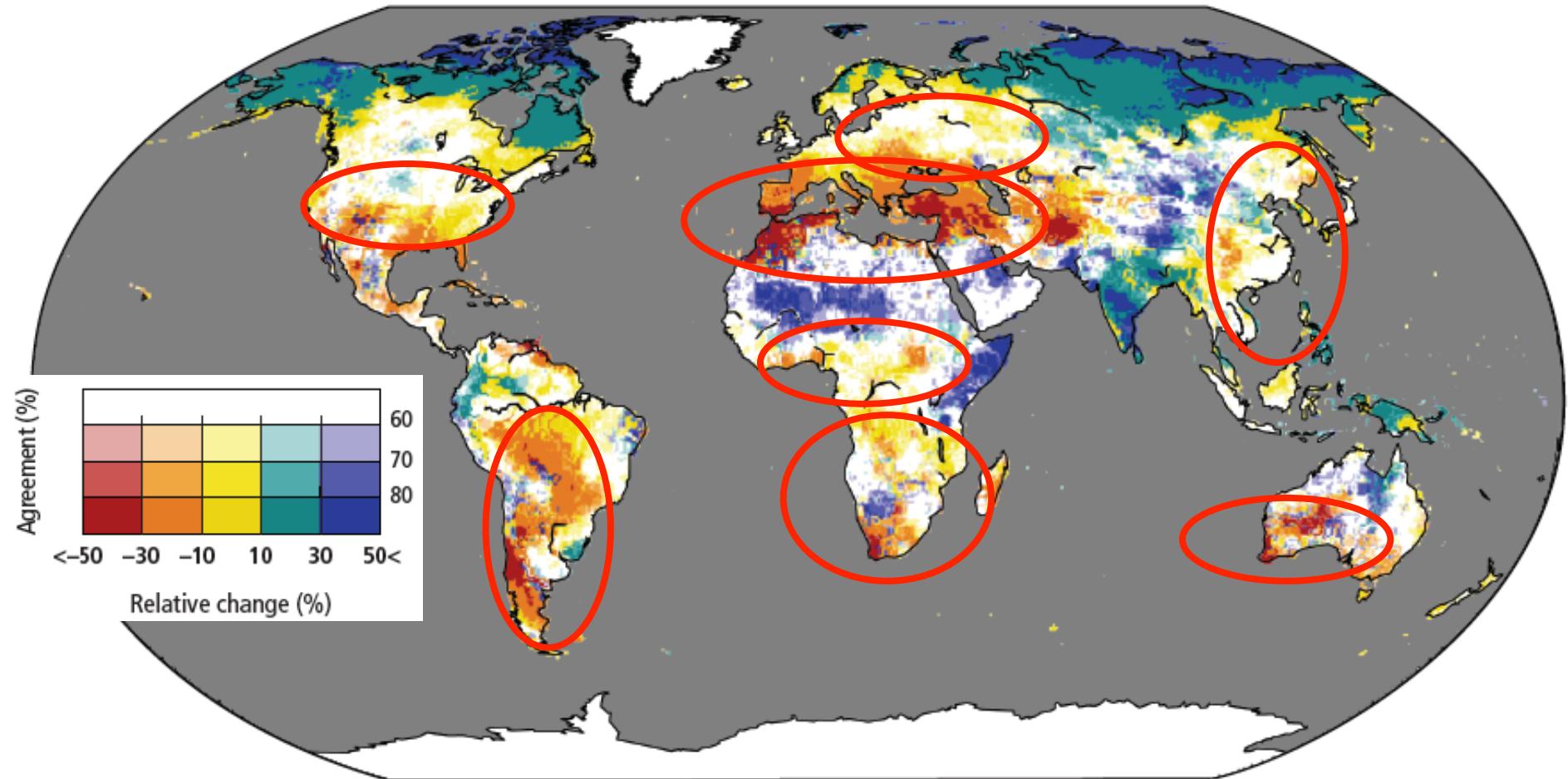


Source: Quaternary Environments Network

# +5°C, juste un pull en moins ?

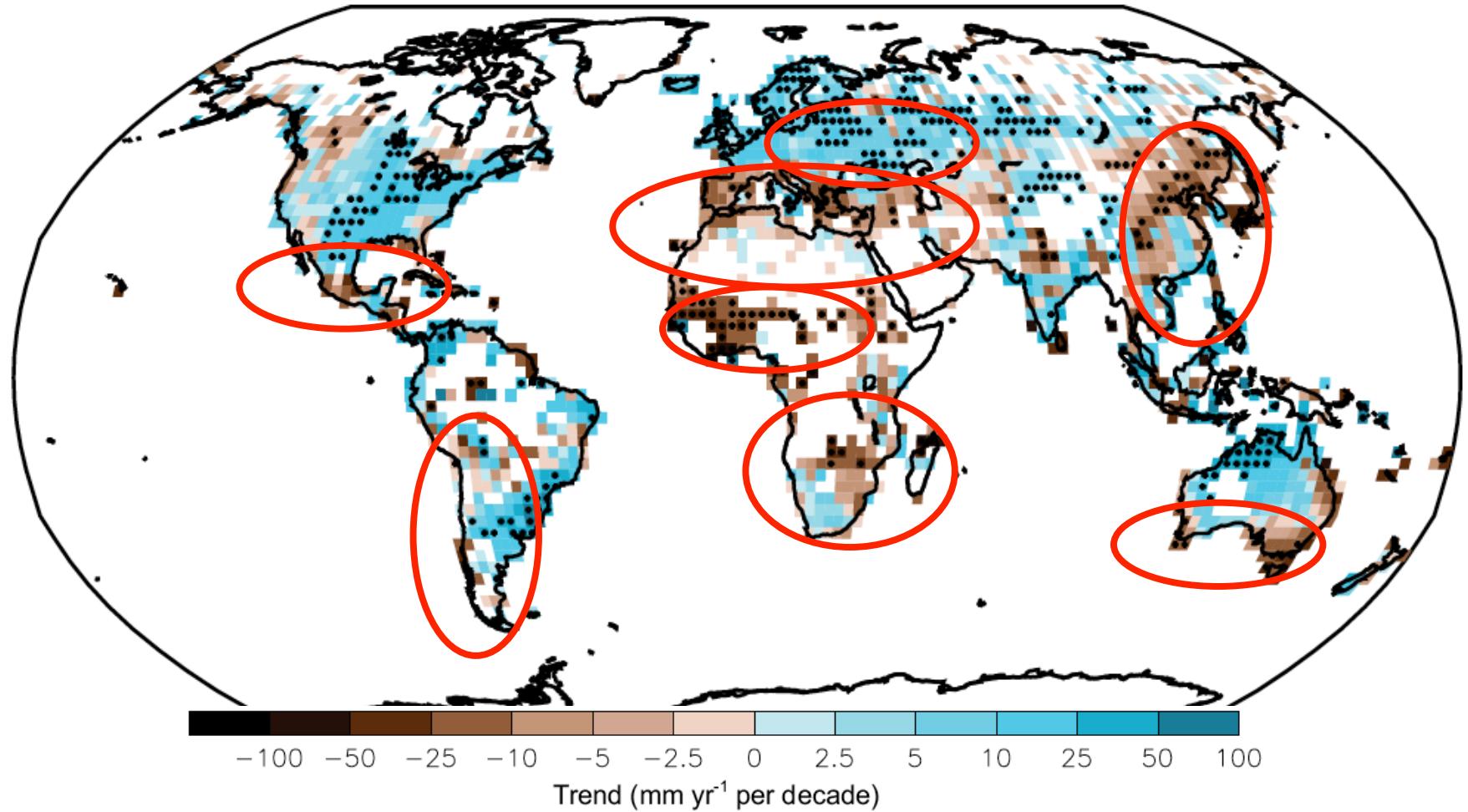


# Mais un climat, ce n'est pas juste une température moyenne



Moyenne inter-modèles de l'évolution des précipitations pour une hausse de 2°C de la moyenne par rapport à 1980-2010. Source : GIEC, 5è rapport d'évaluation, 2014

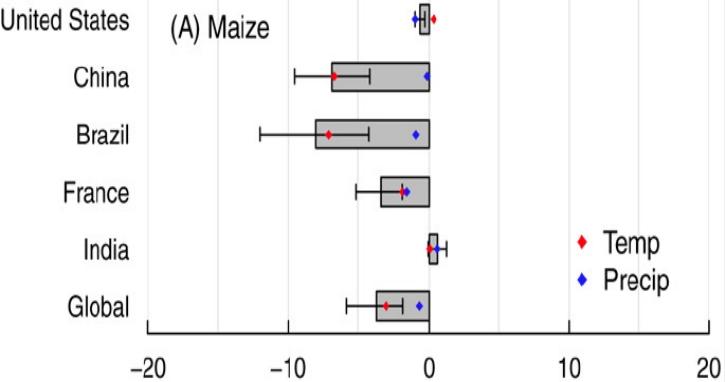
# Pleuvra, pleuvra pas ?



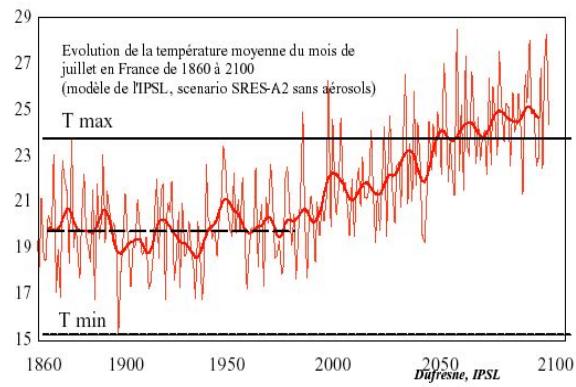
Évolution constatée des précipitations sur la période 1951-2010. Source : IPCC, 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation, 2013

# Un jour, l'avenir devient le présent

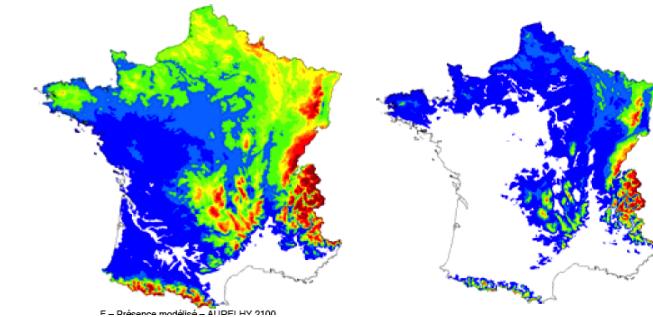
Avec une ampleur qui dépendra de nos émissions



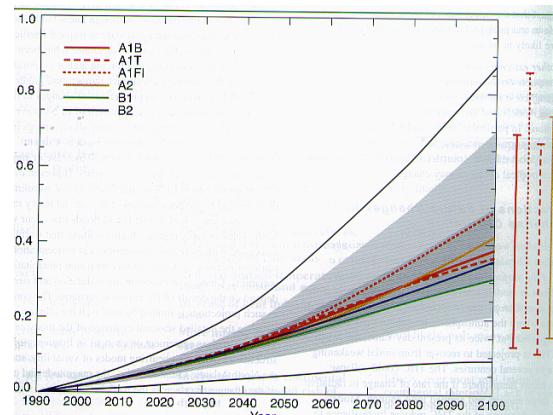
Baisse des rendements agricoles



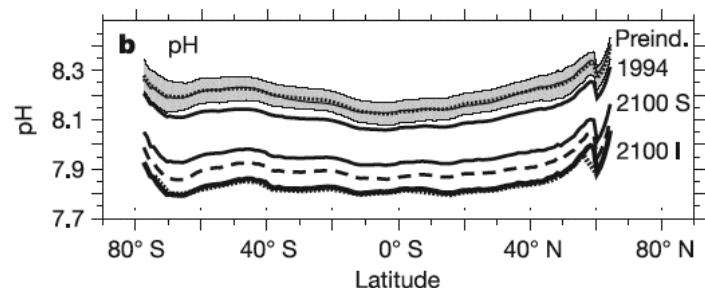
Vagues de chaleur



Atteinte aux écosystèmes



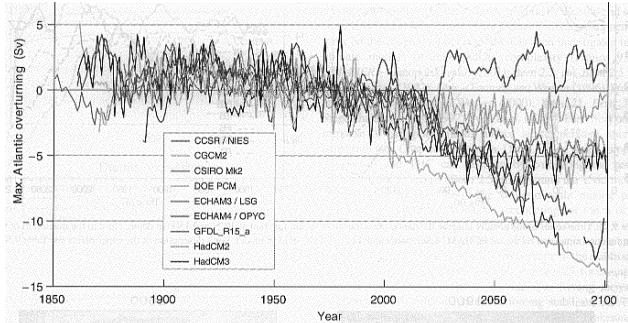
Hausse du niveau de l'océan



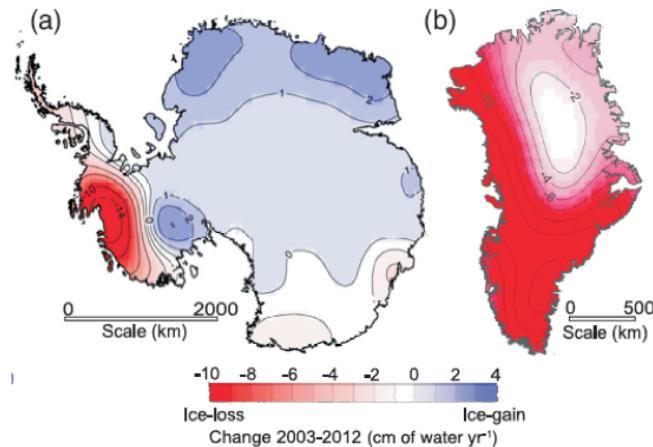
Acidification de l'océan

# Partez pas, y'a du rab

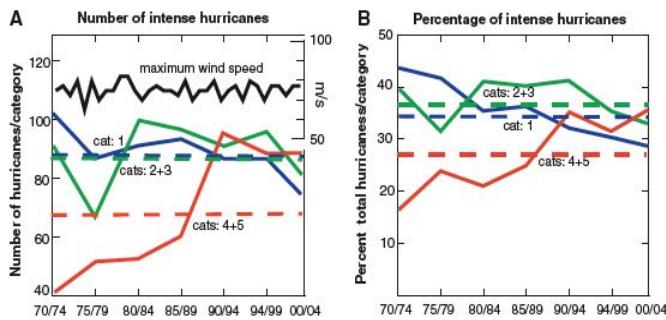
Avec une ampleur qui dépendra de nos émissions



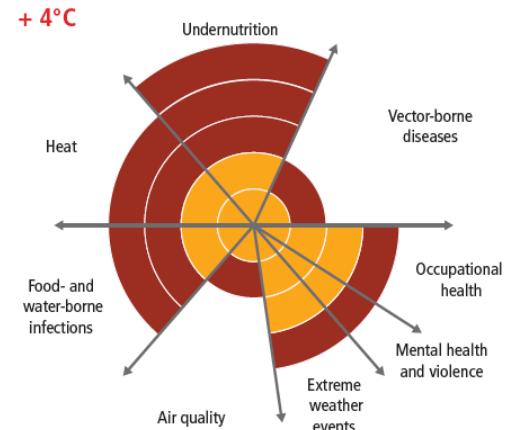
**Changement de la circulation océanique**



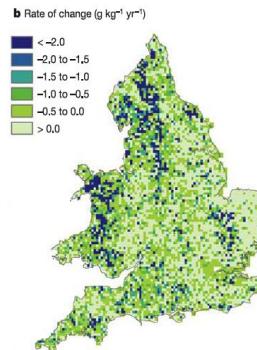
**Fonte/désagrégation des calottes**



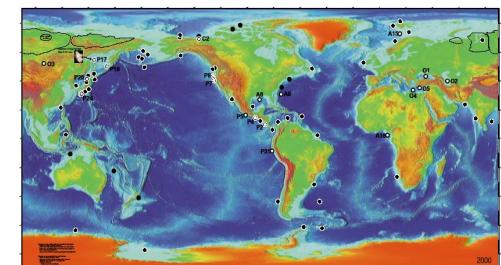
**Intensification des phénomènes extrêmes**



**Conséquences sanitaires**



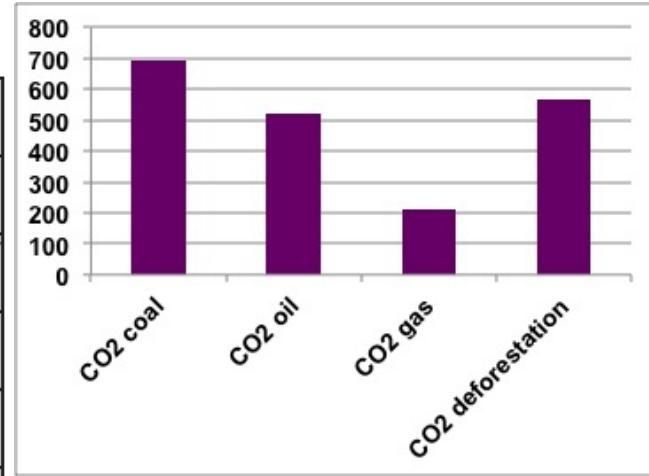
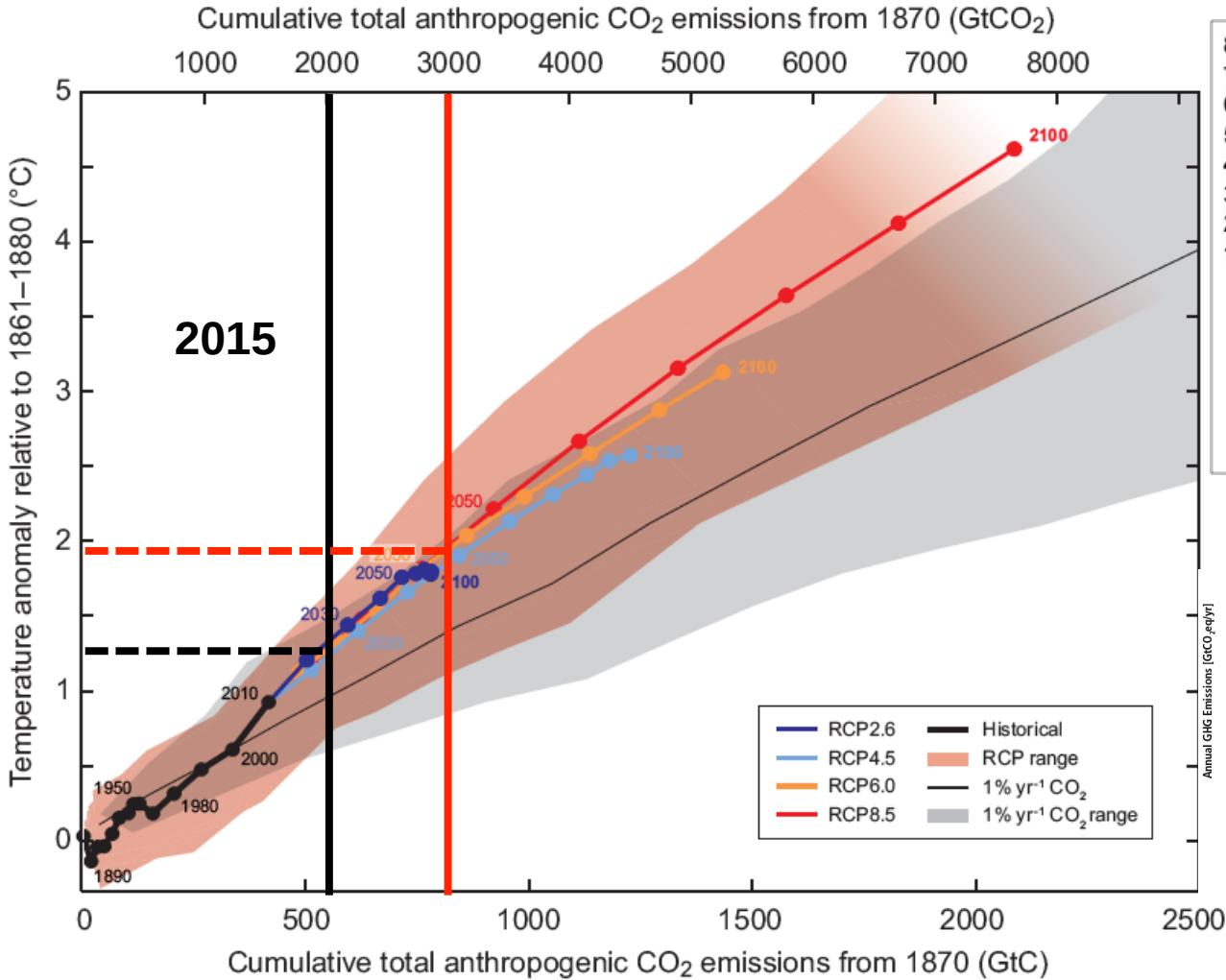
**Relargage du carbone des sols**



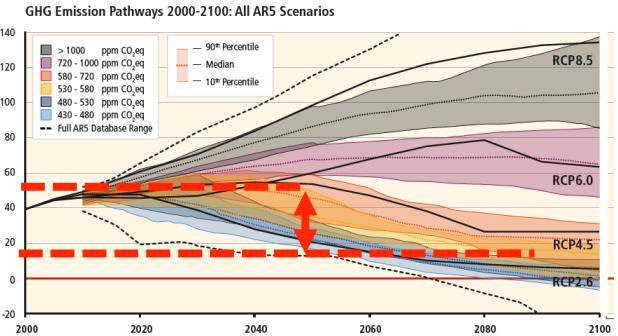
**Et nous ne verrons jamais venir à l'avance toutes les conséquences possibles, puisque l'expérience est inédite**



# 2°C, fingers in the nose?



**Émissions cumulées de CO<sub>2</sub> depuis 1870 en Gt**



÷ 3 en 2050

**Élévation de température en 2100 en fonction du cumul émis depuis 1870. IPCC, 2015**

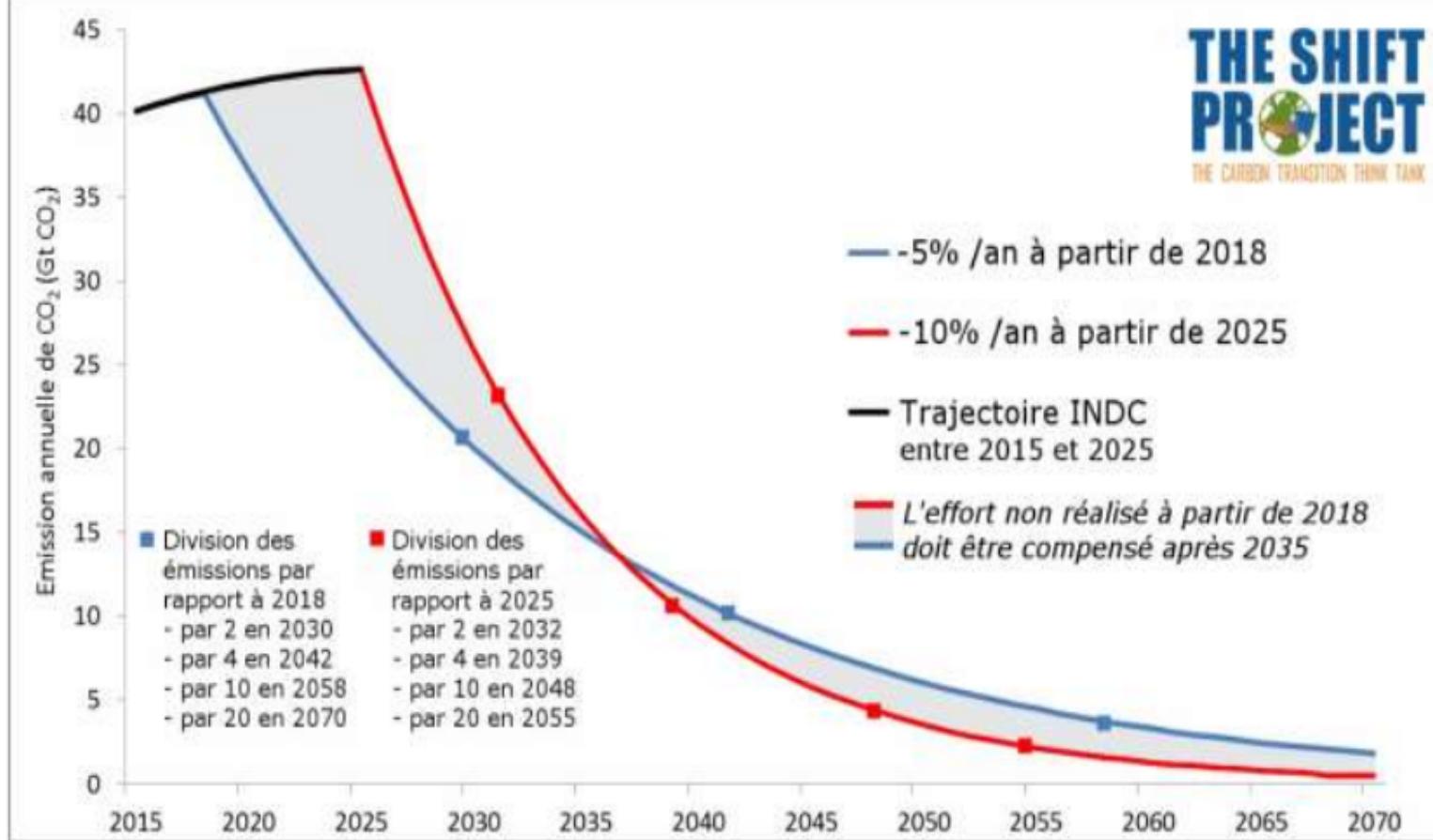
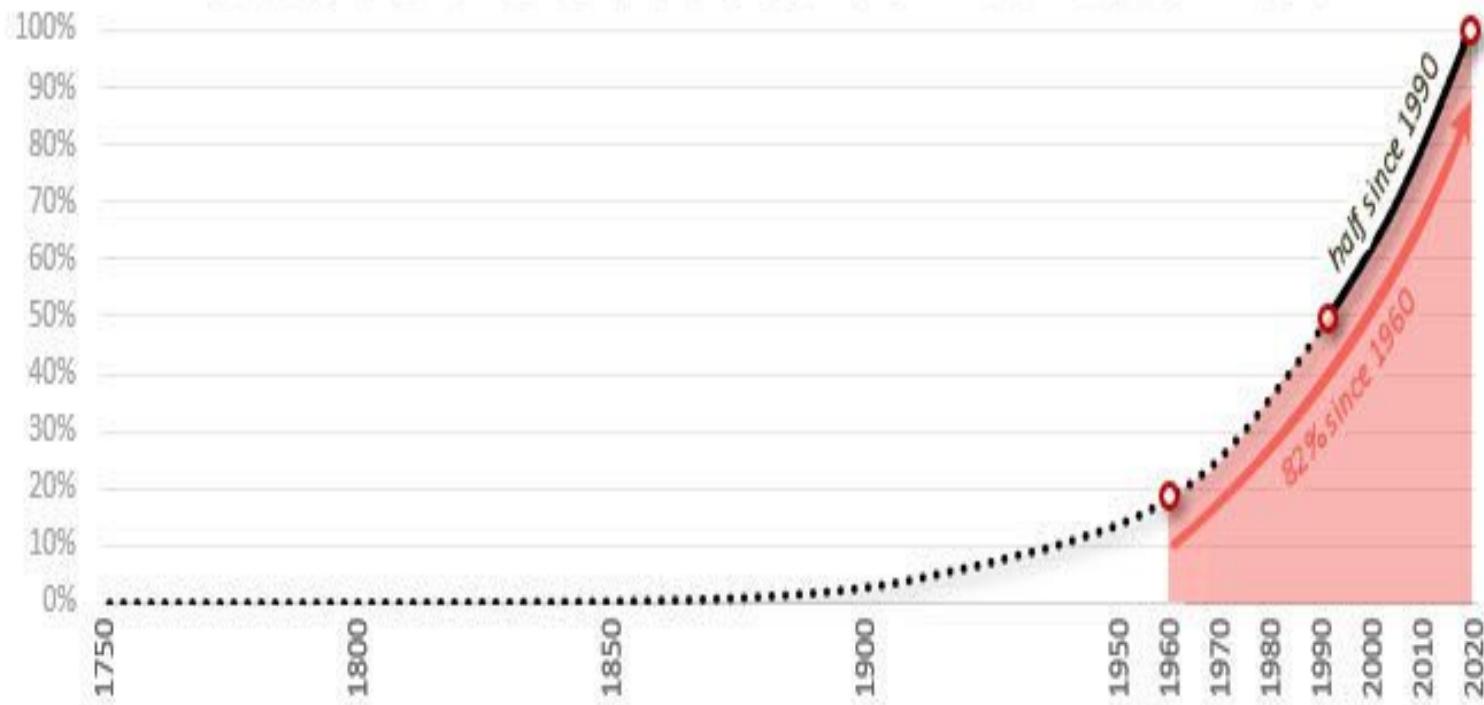


Figure 4 : Trajectoires d'émission compatibles avec une hausse de température limitée à 2°C  
[Source : The Shift Project, 2016]

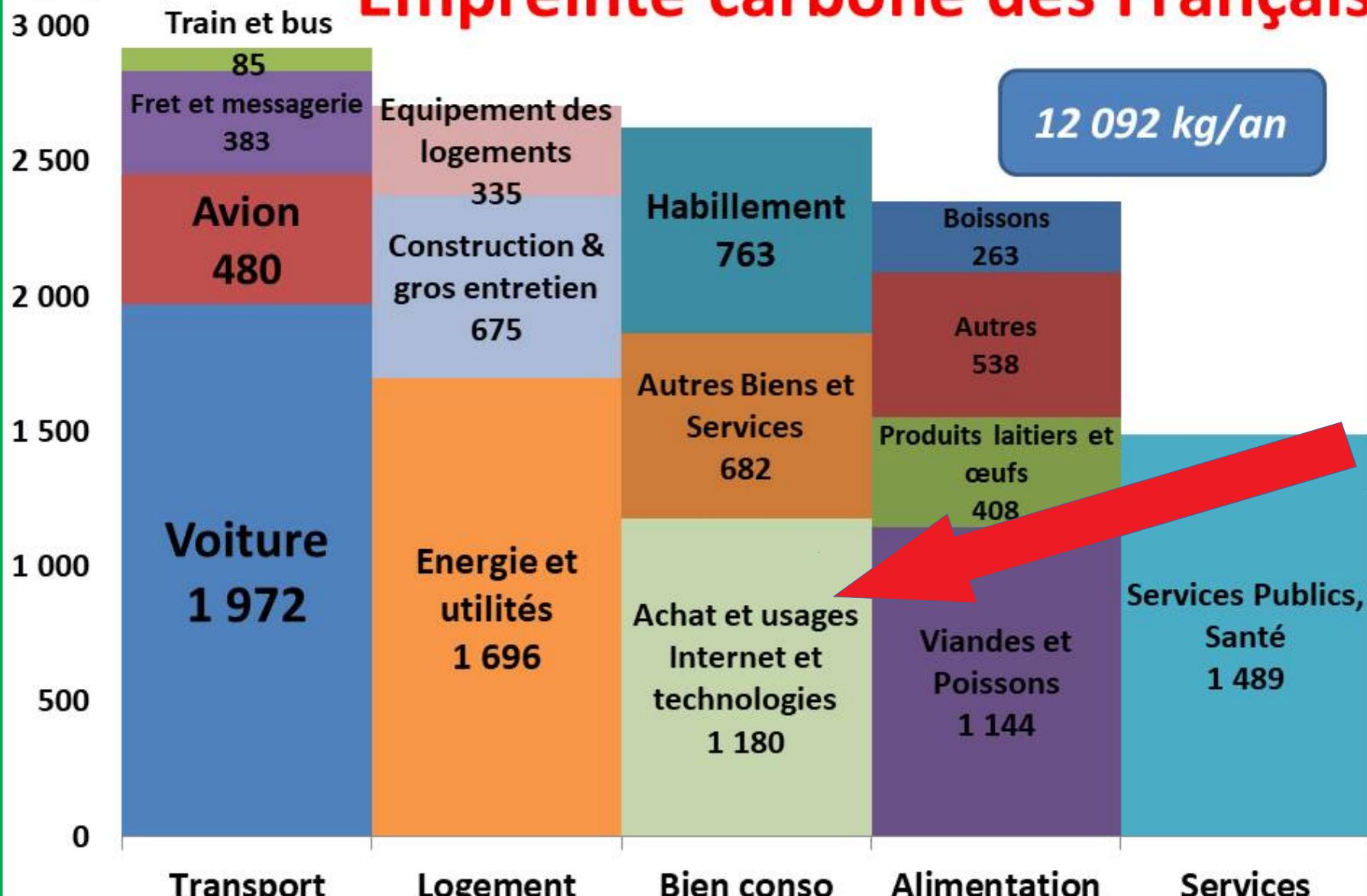
## CUMULATIVE GLOBAL FOSSIL FUEL USE SINCE 1750



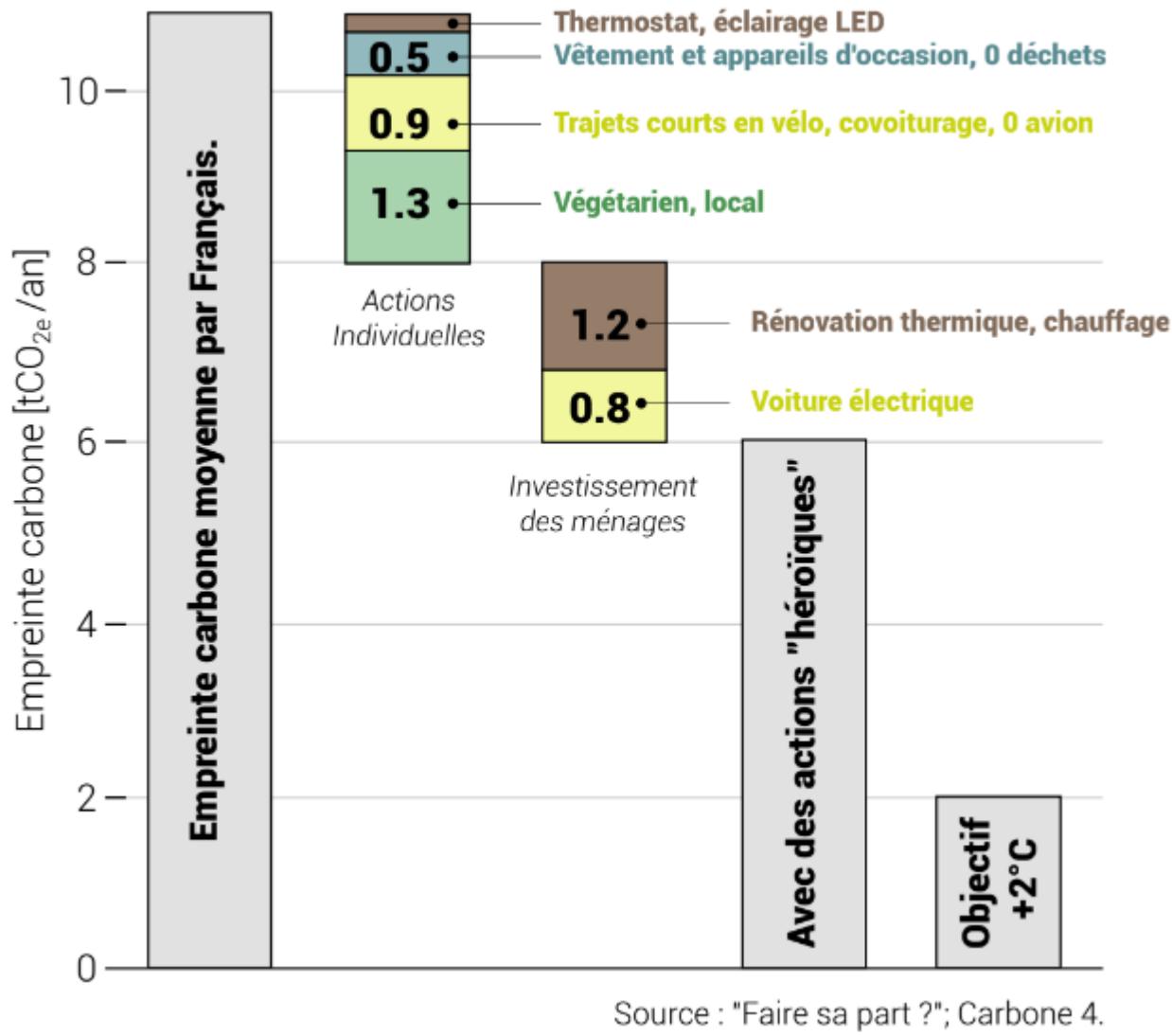
CUMULATIVE GLOBAL FOSSIL FUEL CONSUMPTION, 1751 - 2018. Percent of cumulative total as of 2018. SOURCE: CDIAC through 2014 and BP World Energy report for changes since 2014. [https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/ndp030/global.1751\\_2014.ems](https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2014.ems). CHART by Barry Saxifrage at VisualCarbon.org and NationalObserver.com. July 2019.

Kg eq CO<sub>2</sub>/an

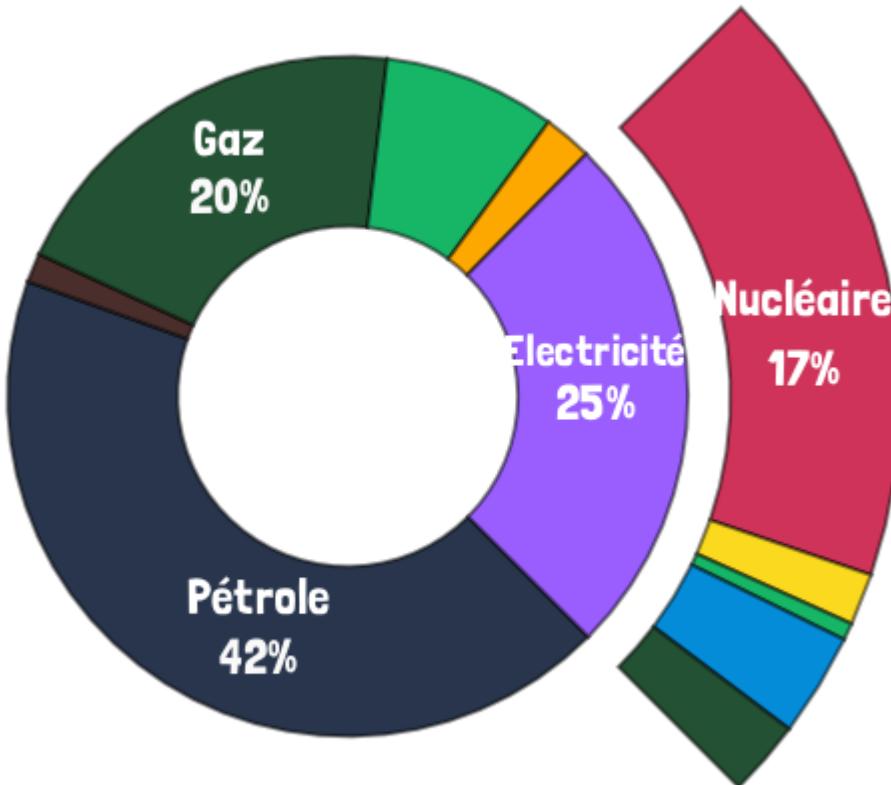
# Empreinte carbone des Français



sources : [statistiques.developpement-durable.gouv.fr](http://statistiques.developpement-durable.gouv.fr) ; Carbone 4 ; Agreste ; INSEE ; Année 2015-2016 Traitement : [ravijen.fr](http://ravijen.fr)



## Énergie finale en France (2017) :

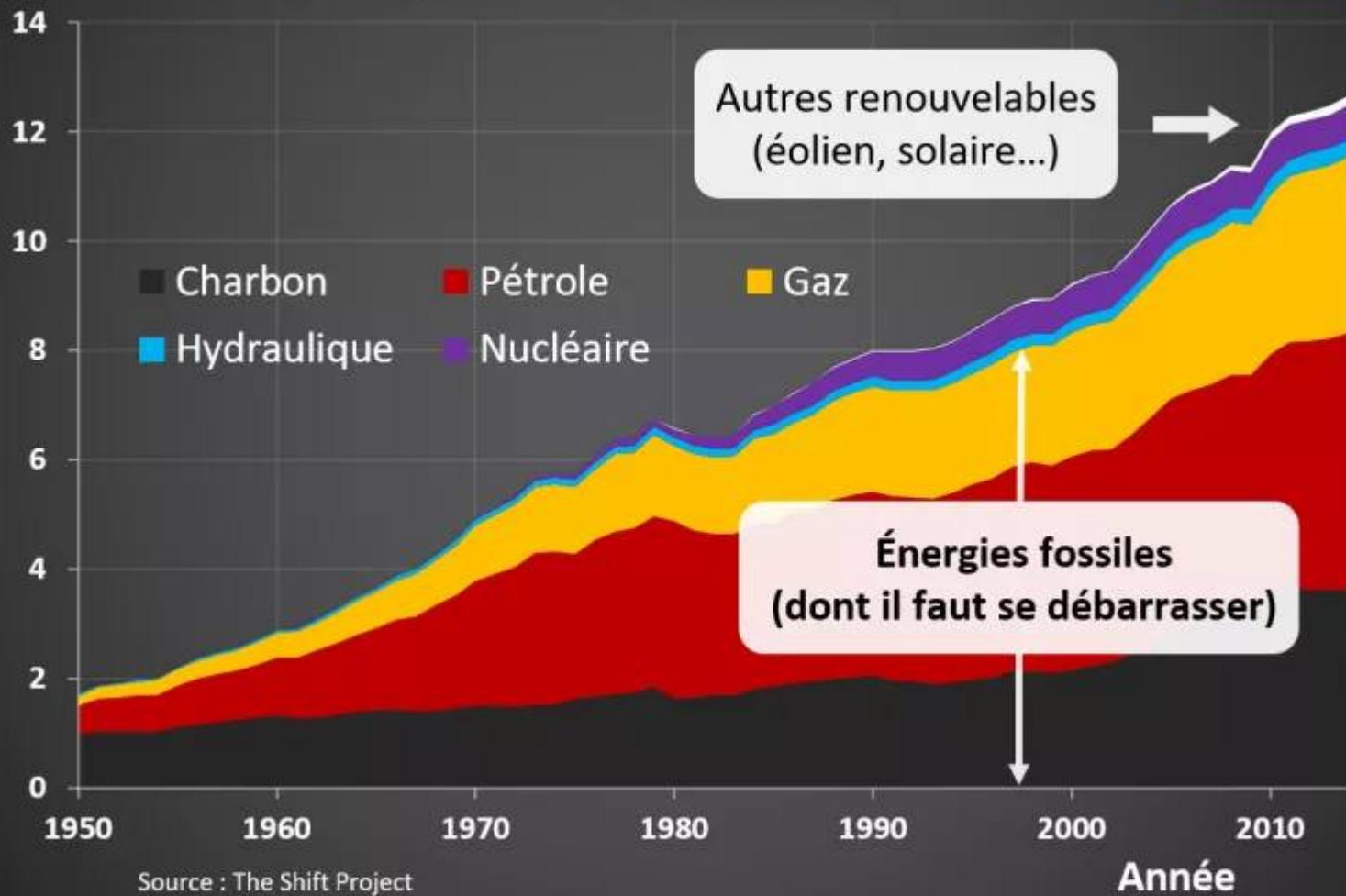


Source : IEA, RTE

# Production mondiale d'énergie primaire

(hors bois) en milliards de tonnes équivalent pétrole

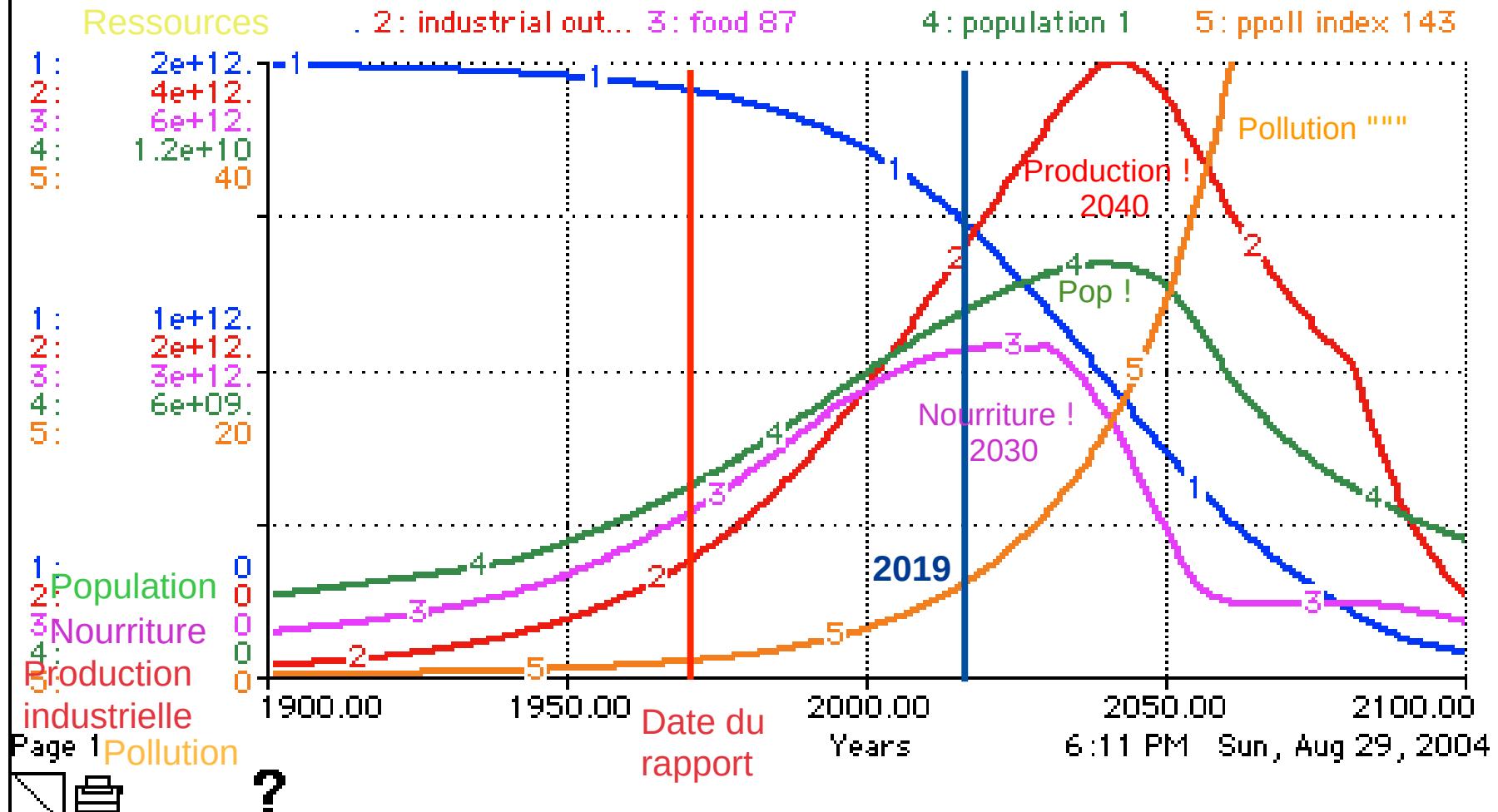
SCIENCE  
POP



**CRAC !!!**



# Le Club de Rome : tout va bien... avant que tout aille mal



State of the World

# On souffle un peu, avant de continuer ...

Les faits sont  
complètement démentis  
par mon opinion.



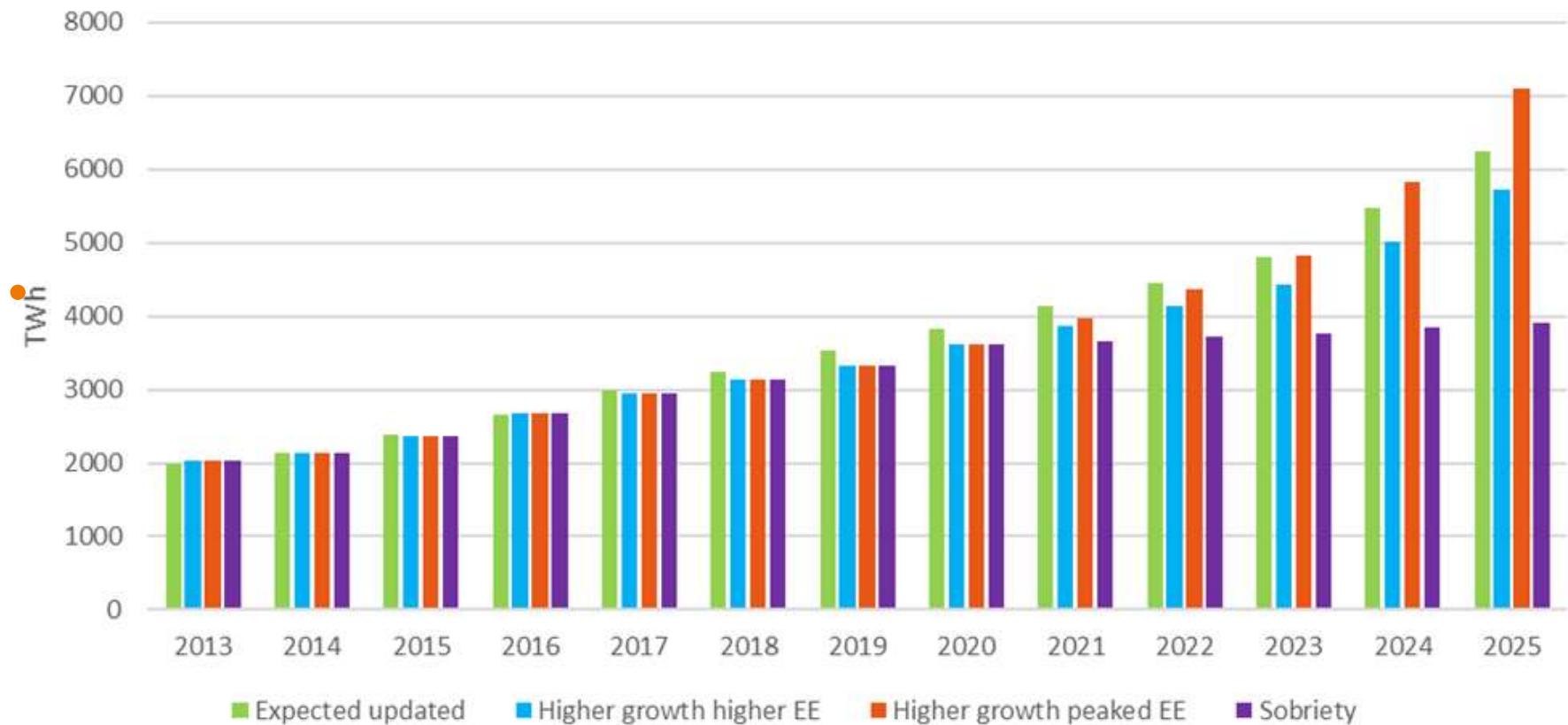
Xavier Groce-

# **Le Monde Merveilleux du Numérique**

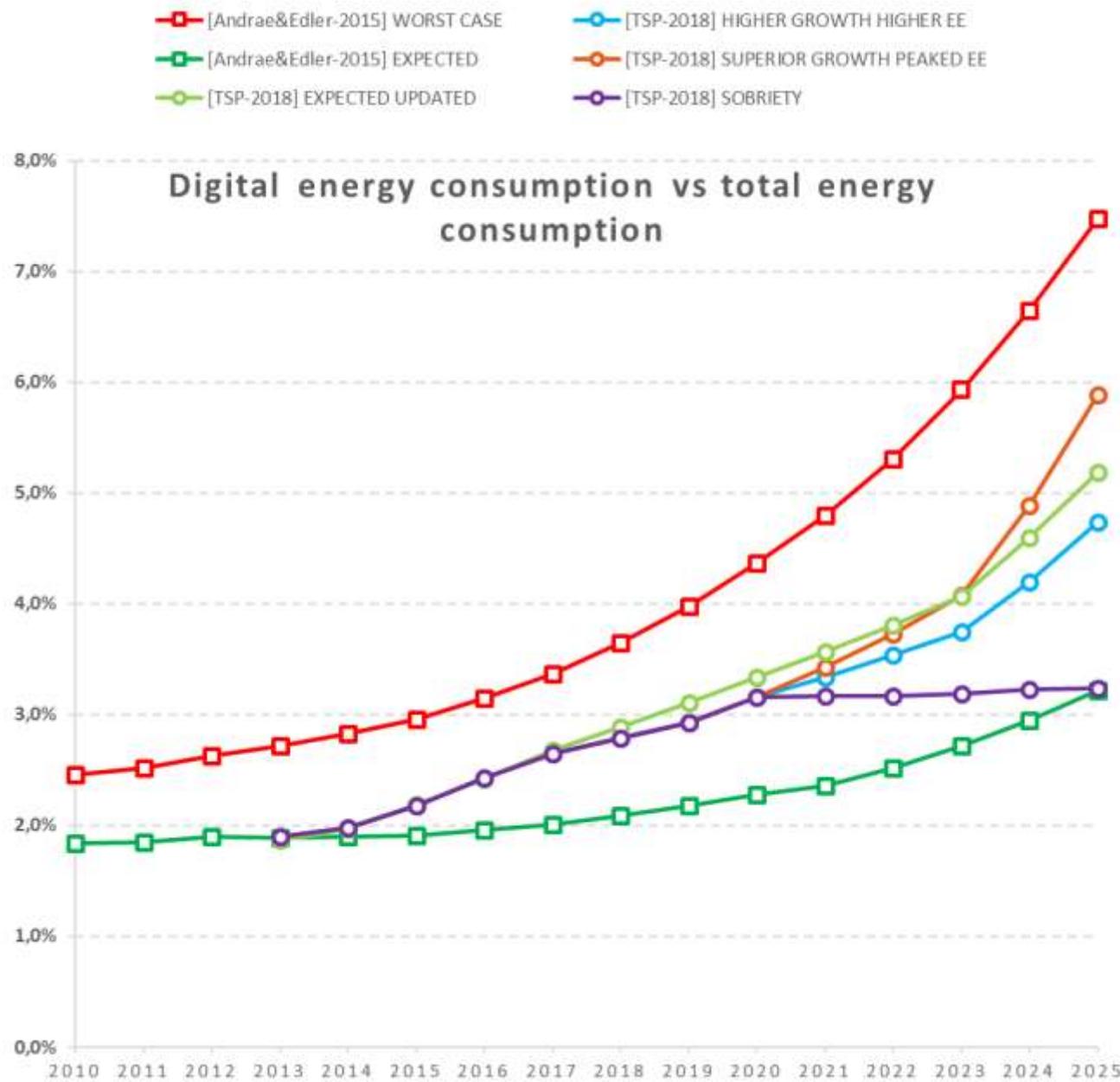


# Un triplement en 10 ans (?)

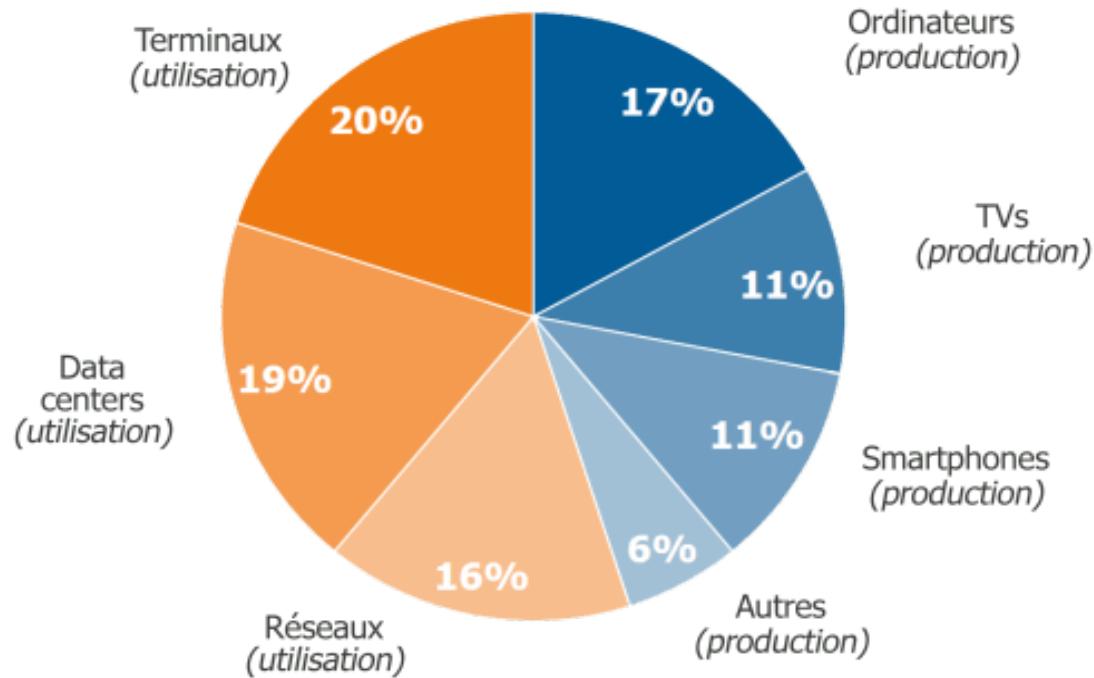
Digital energy consumption



NB : 2017 : Électricité tous usages = 21000 TWh



# Les postes de consommation

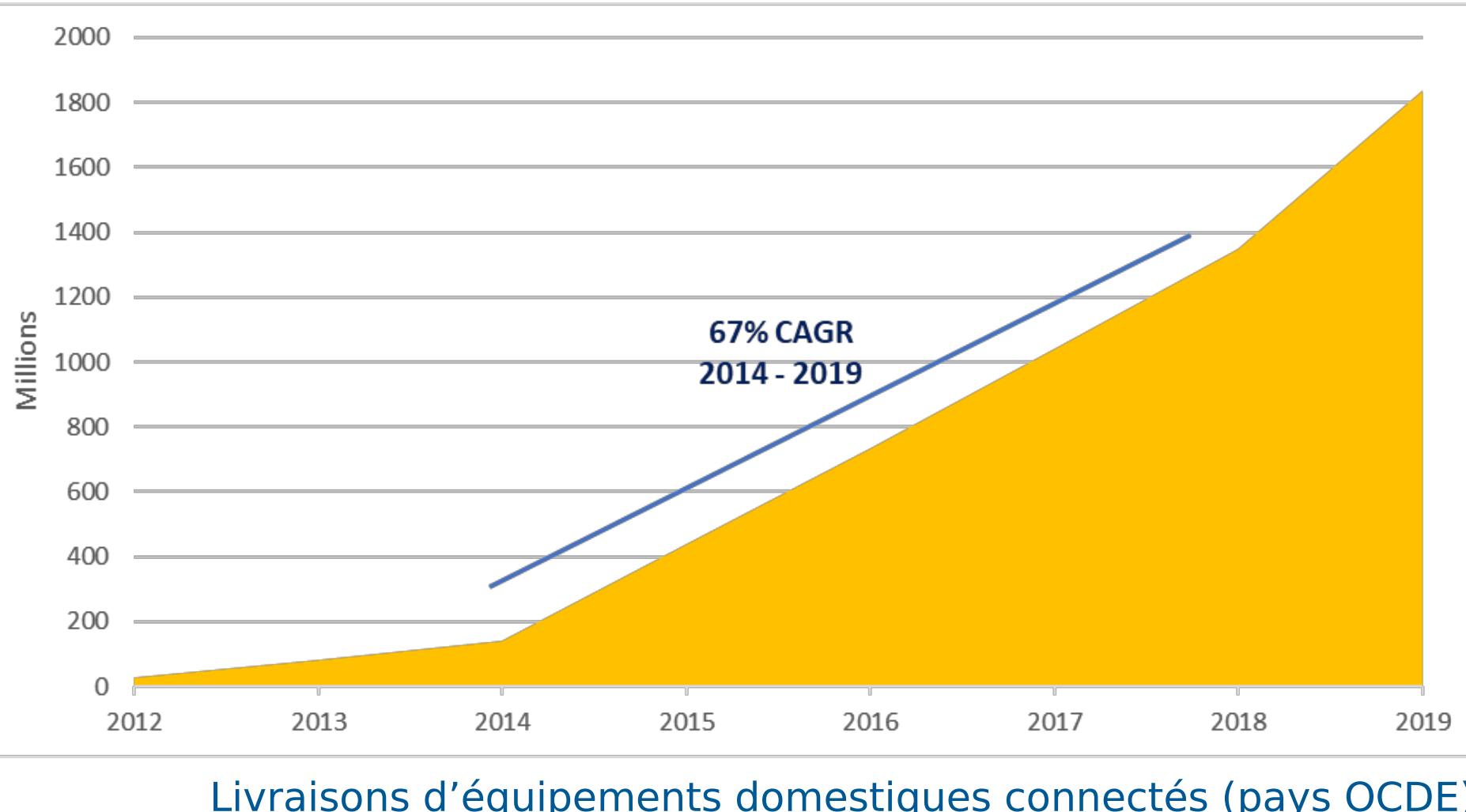


**Distribution de la consommation énergétique du numérique par poste pour la production (45 %) et l'utilisation (55 %) en 2017**

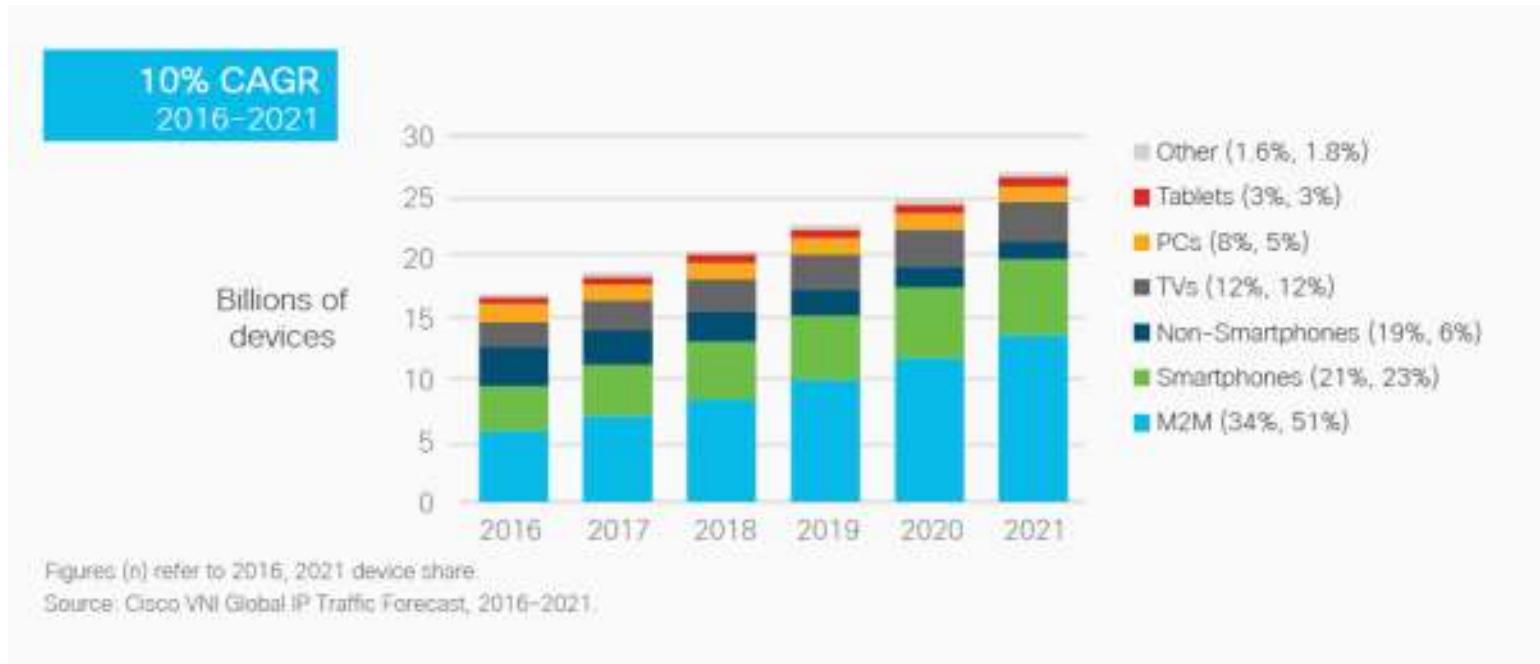
[Source : Lean ICT, The Shift Project 2018]

**60% = terminaux et périphériques dont 2/3 pour la production**

# Toujours plus de terminaux



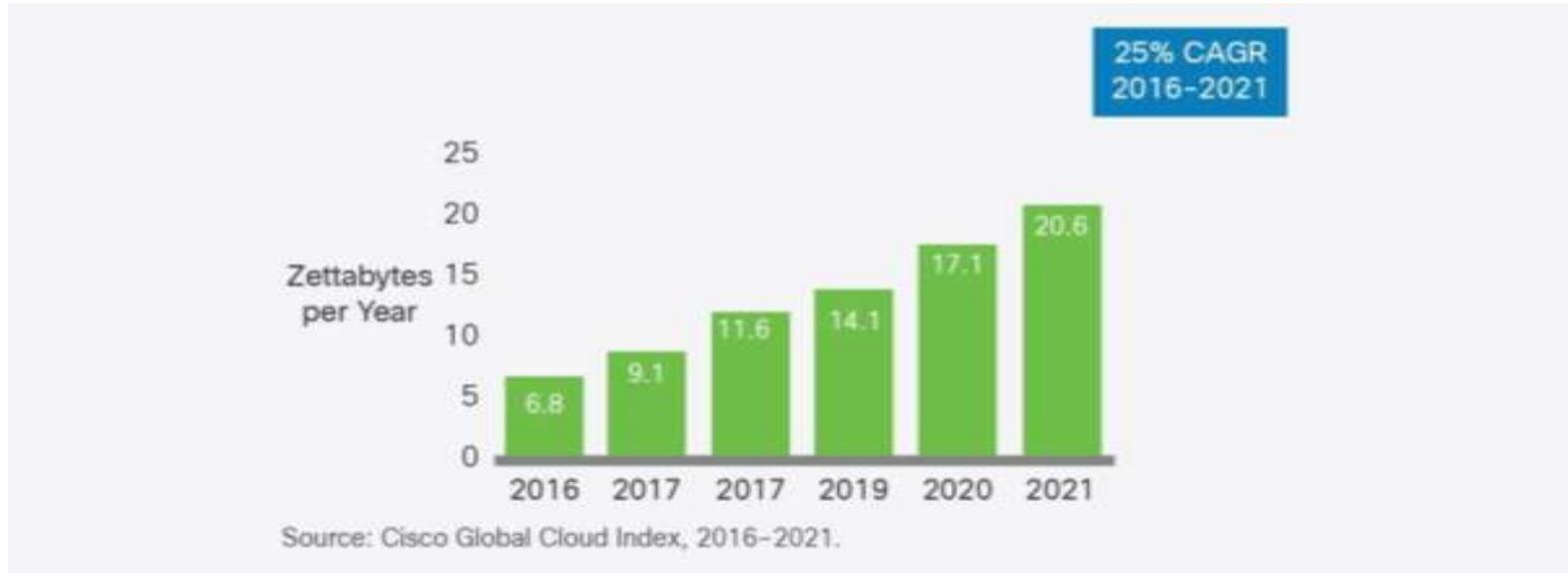
# Évolution du parc de terminaux



M2M = machine to machine

Source Shift Project : rapport lean ICT 2018

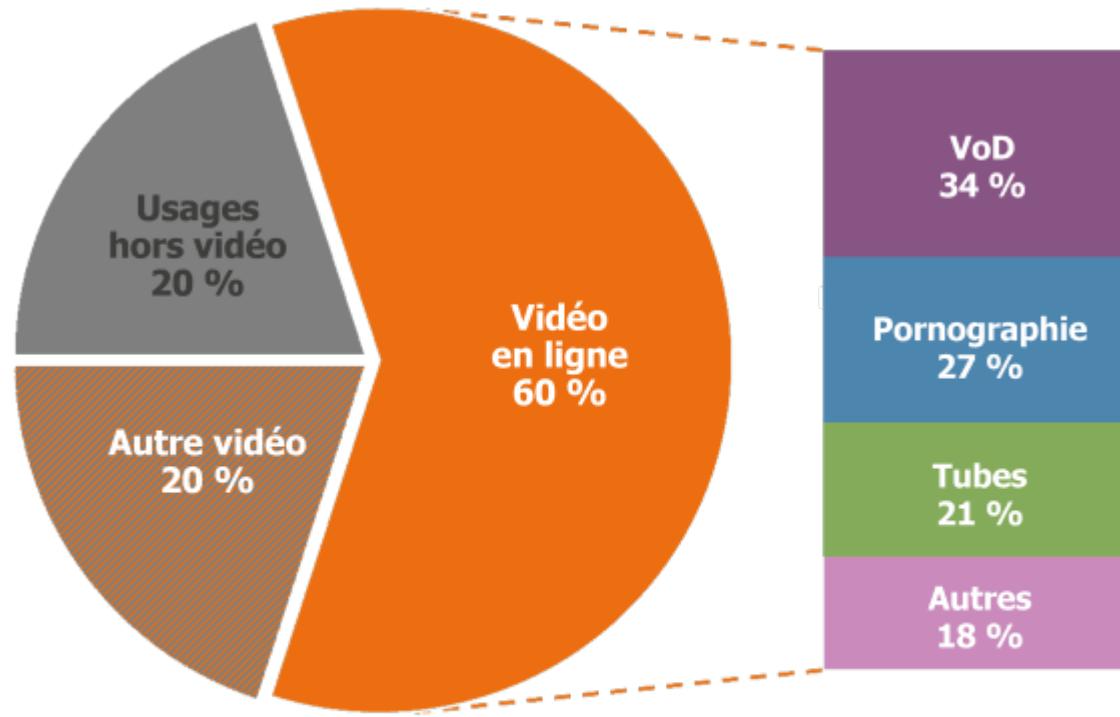
## Évolution du trafic des data centers et des réseaux



Zettabyte =  $10^{21}$  octets  
1 000 000 000 000 000 000 octets

Ordre de grandeur du Yottabyte ( $10^{25}$  octets) attendu avec l'IoT

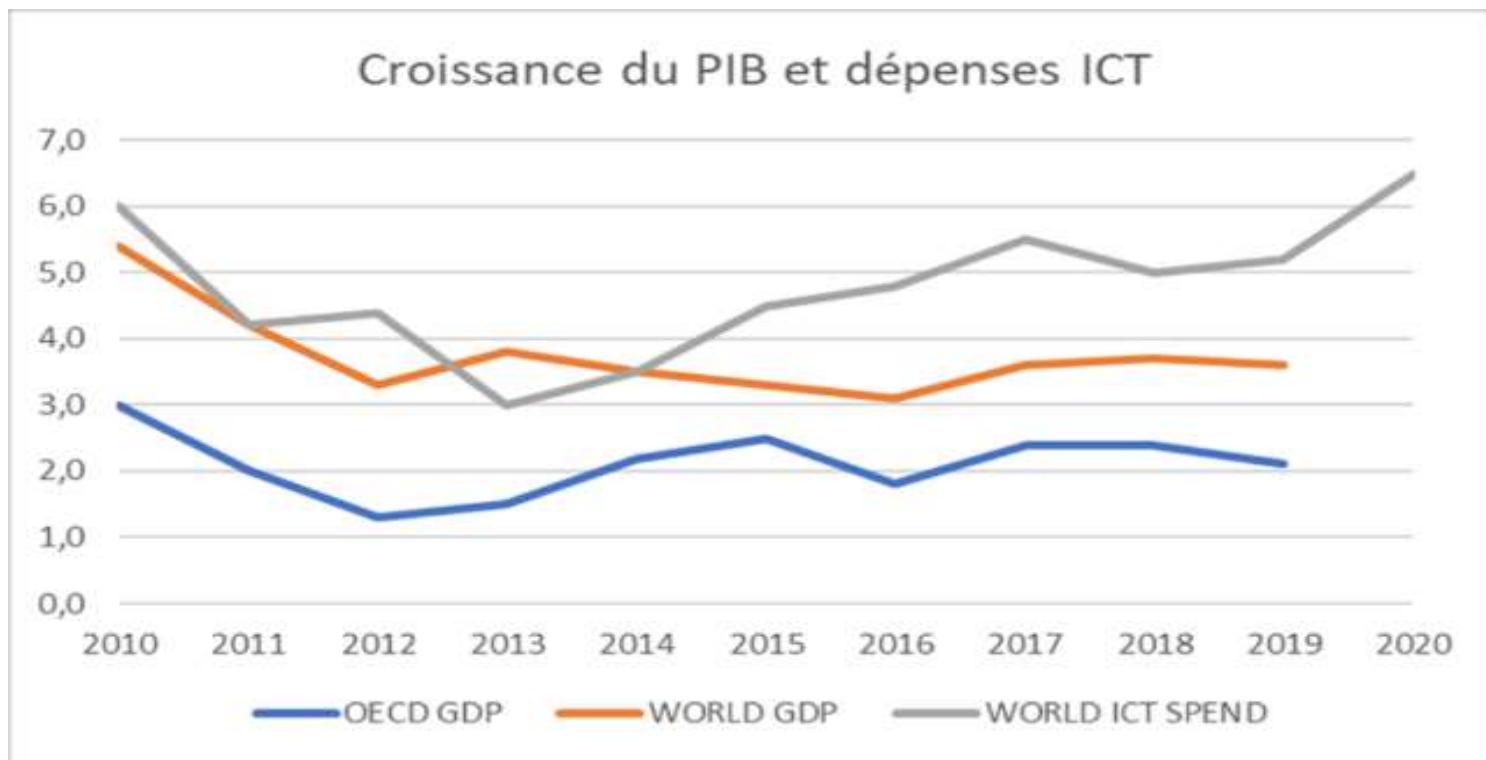
# Les usages du Numérique



**Répartition des flux de données en ligne entre les différents usages du numérique et de la vidéo en ligne en 2018 dans le monde**

[Source : The Shift Project 2019 - à partir de (Sandvine 2018), (Cisco 2018) et (SimilarWeb 2019)]

La surconsommation numérique n'a pas d'impact perceptible sur la performance économique globale.



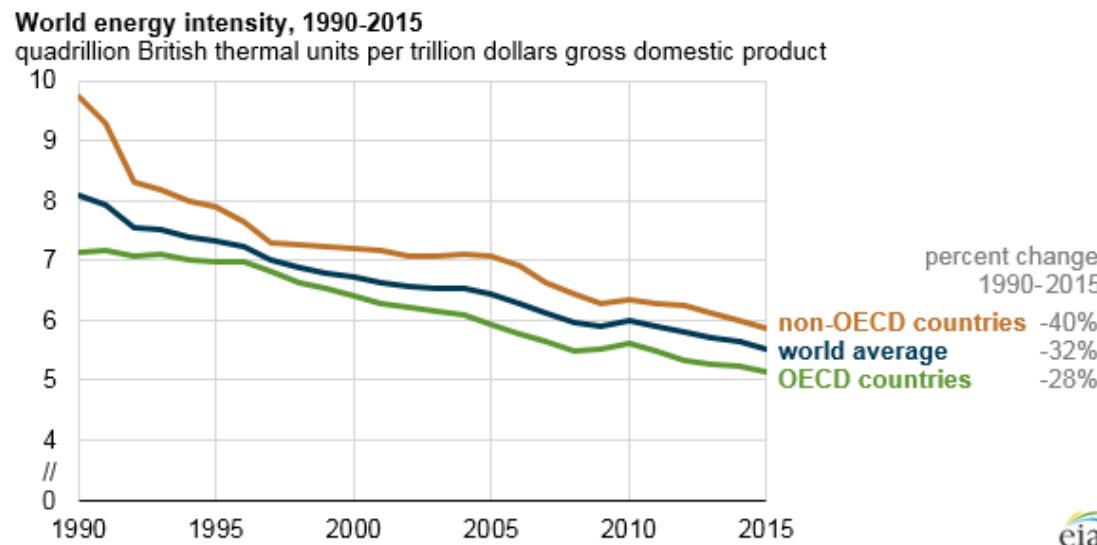
Source Shift Project : rapport lean ICT 2018

## Numérique

Croissance annuelle consommation énergétique : + 9%

Croissance annuelle CA : + 5 %

Dégradation intensité énergétique ~ -4% par an

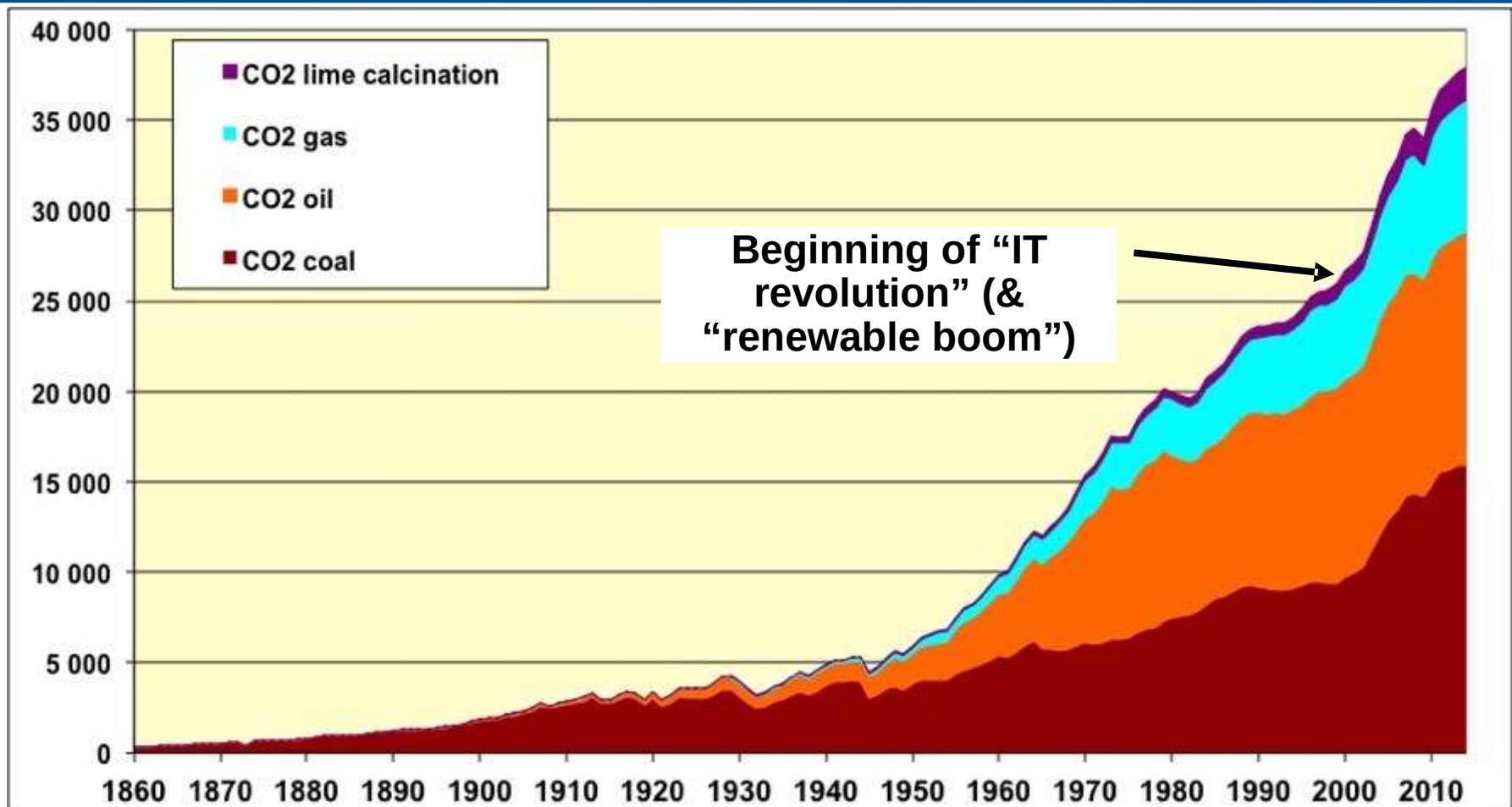


En comparaison, PIB mondial :

Amélioration intensité énergétique + 1,8 % par an

Consommer un euro de numérique en 2018 induit une consommation d'énergie supérieure de 37% à ce qu'elle était en 2010.

# IT would dematerialize the rest of the world ?



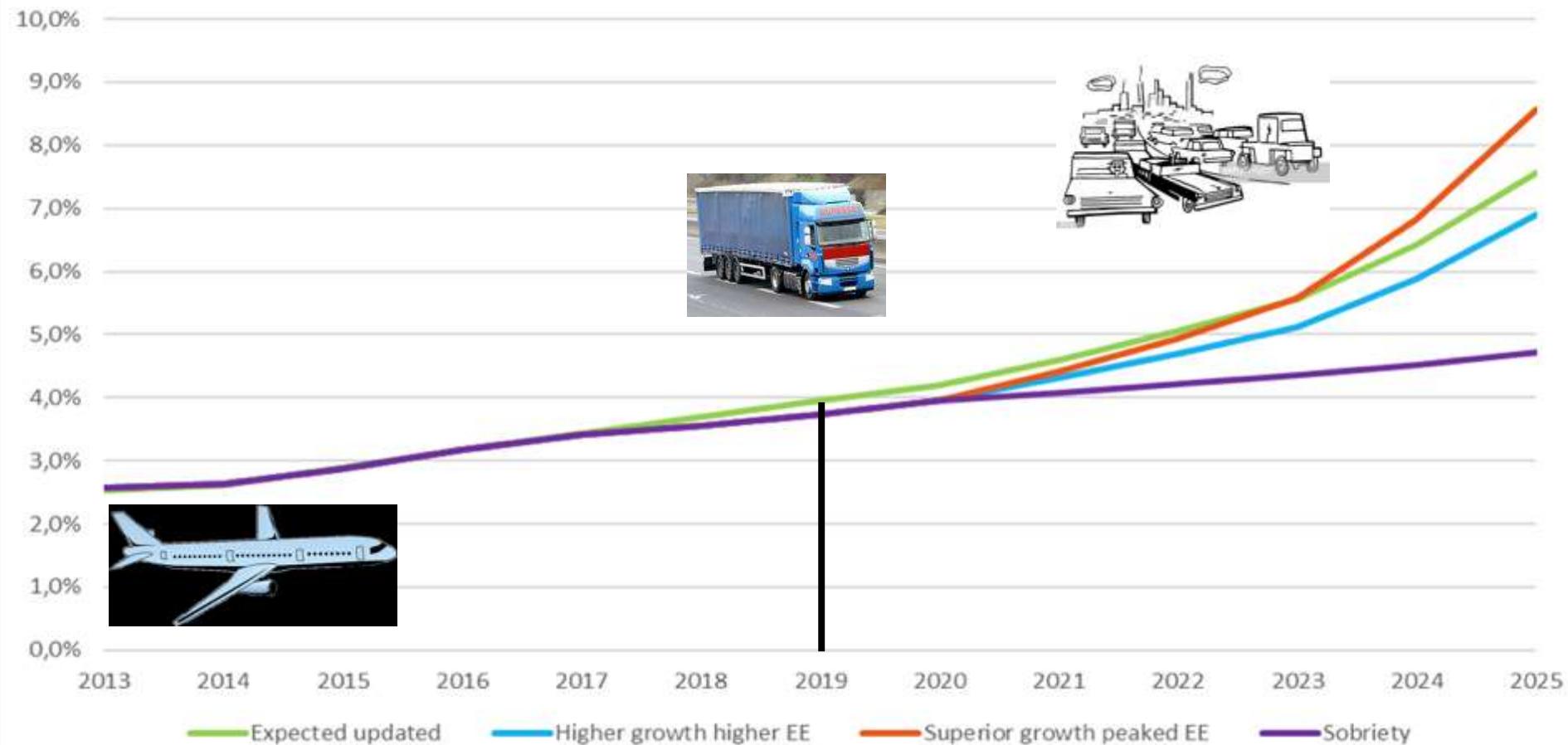
CO2 emissions since 1860. Jancovici, on primary data from Shilling et al, and BP Statistical Review.

# Dematerialized, uh?

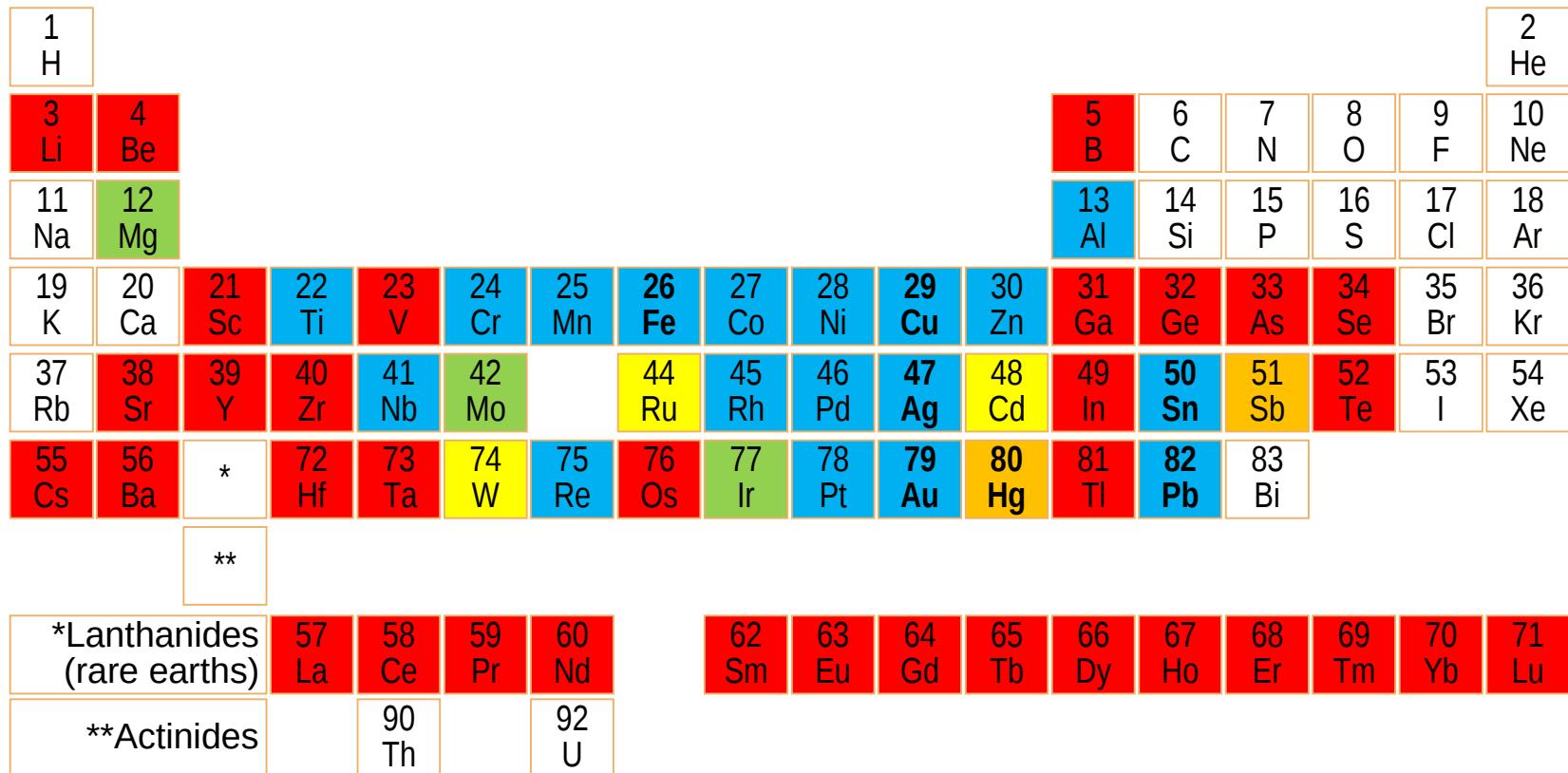


# Faster than air travel !

Digital share of GHG emissions



# High tech saving the world: how many times can I play?



Recycling rate of metals

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

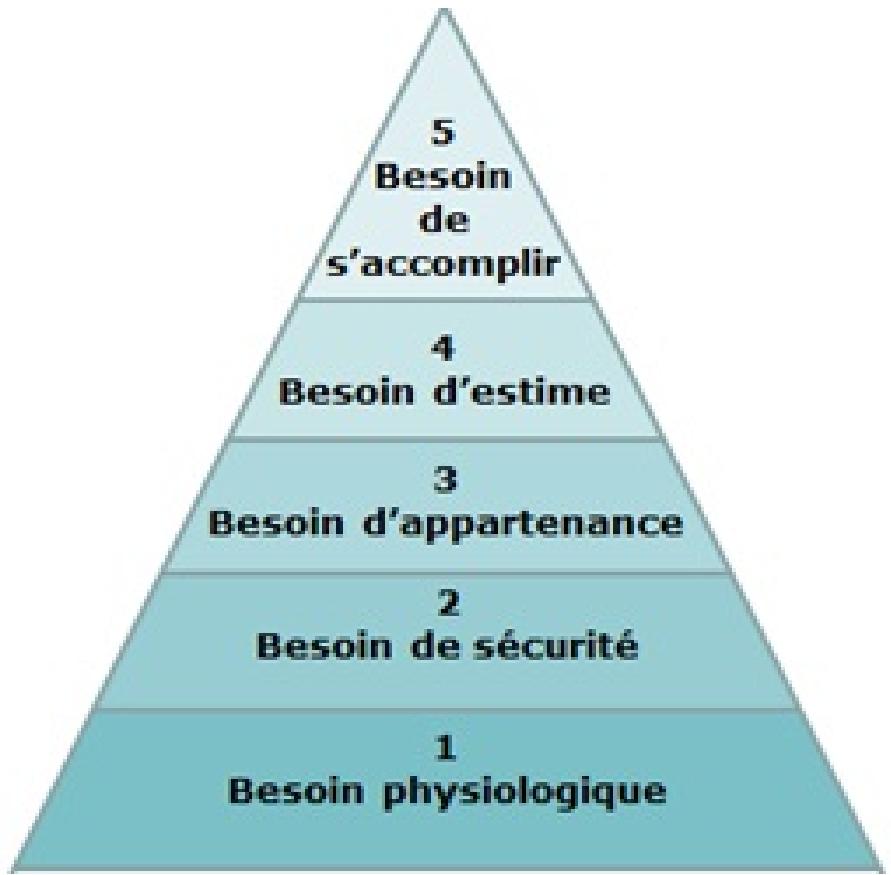
Source : UNEP / Recycling rates of metals 2011

# You wouldn't want the life expectancy of a smartphone



18 months!





## PYRAMIDE DES BESOINS PYRAMIDE DE MASLOW

# Pyramide de Maslow de l'Empreinte Carbone

## Hiérarchie et Accomplissement

5 776 kg

47.76%

## Appartenance

2 665 kg

22.04%

## Sécurité

2 260 kg

18.69%

Empreinte totale

12 092 kg CO<sub>2</sub>

## Physiologique

1 392 kg 11.51%

En kg CO<sub>2</sub> eq/an  
[ravijen.fr](http://ravijen.fr)

# QUESTIONS ?