

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
président et**



**Think tank militant pour la décarbonation
de l'économie**

Professeur



Les générations futures...

Auteur

jancovici.com

Livres

**Site documentaire sur les sujets
énergie et climat**

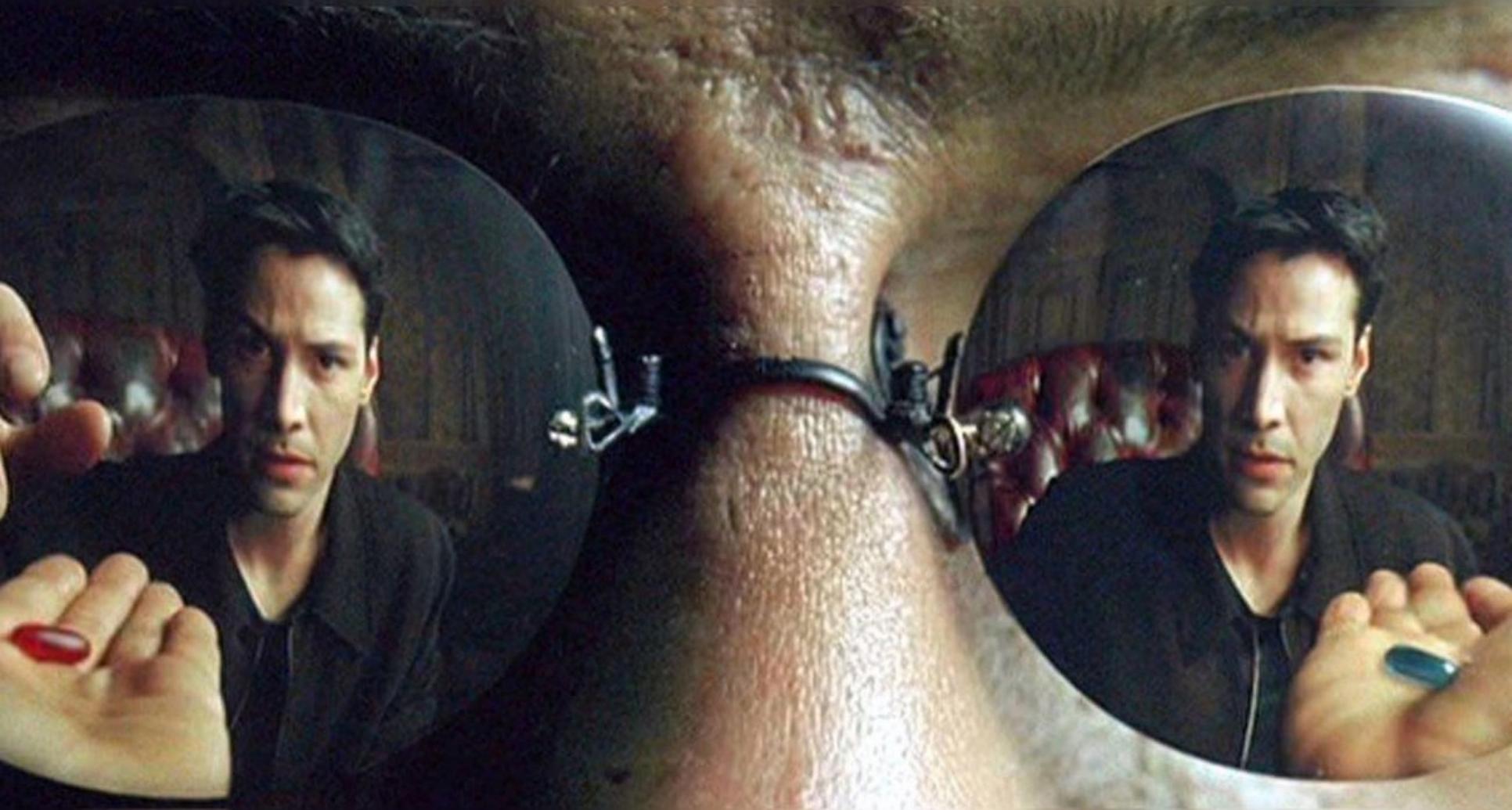
**Membre du Haut Conseil pour le Climat
Ingénieur Polytechnicien X 84 et ENST 86**



« - 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



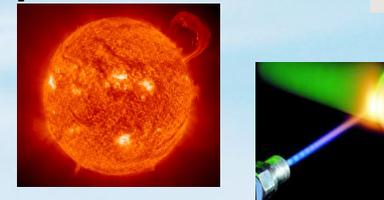
Modification de la composition chimique



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



Changement de composition atomique



Interaction entre matière et rayonnement :



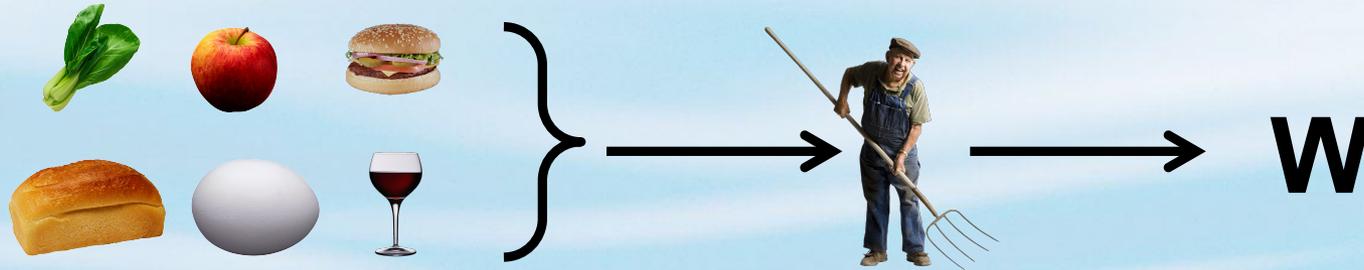
L'énergie n'est donc rien d'autre que l'unité de compte de la transformation du monde qui nous entoure

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



6 m³ terre x 1 m
0,05 kWh
(10 kWh/an)

→
x 100



Nietzsche voulait des surhommes : le pétrole l'a fait



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

1 jour sur 2 : 100 kWh/an
Au SMIC : 200 €/kWh

Même un esclave : 4-40 €/kWh

6 m³ terre x 1 m
0,05 kWh
(10 kWh/an)
2000 €/kWh



→
x 10

→
÷ 500

→
÷ 10-100

→
x 100

→
÷ 5000



1,5 €/L :
0,4 €/kWh

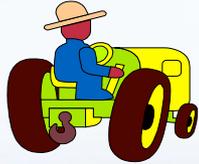
10 kWh
2-4 kWh
mécanique

1 L

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



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



= 60 kW \approx 600 paires de jambes



= 100 kW \approx 10.000 paires de bras



= 400 kW \approx 4.000 paires de jambes

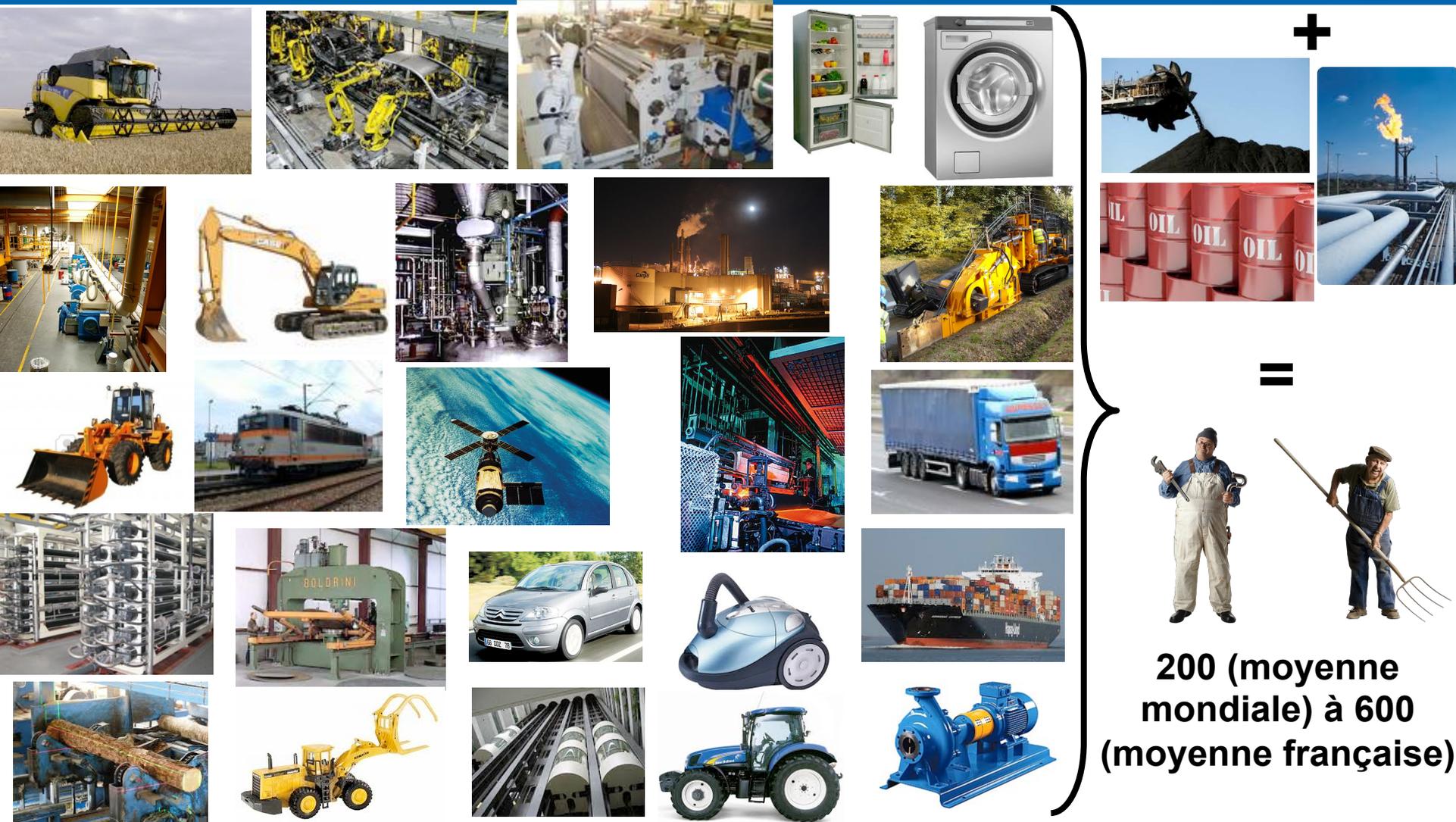


= 100 MW \approx 1.000.000 paires de jambes...



= 100 MW \approx 10.000.000 paires de bras !

Les voici, nos esclaves des temps modernes !



+

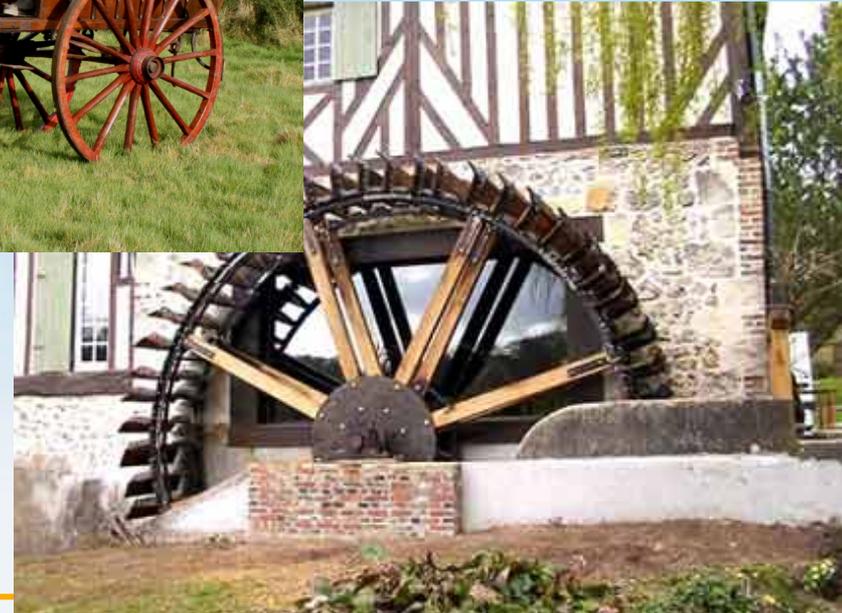
=



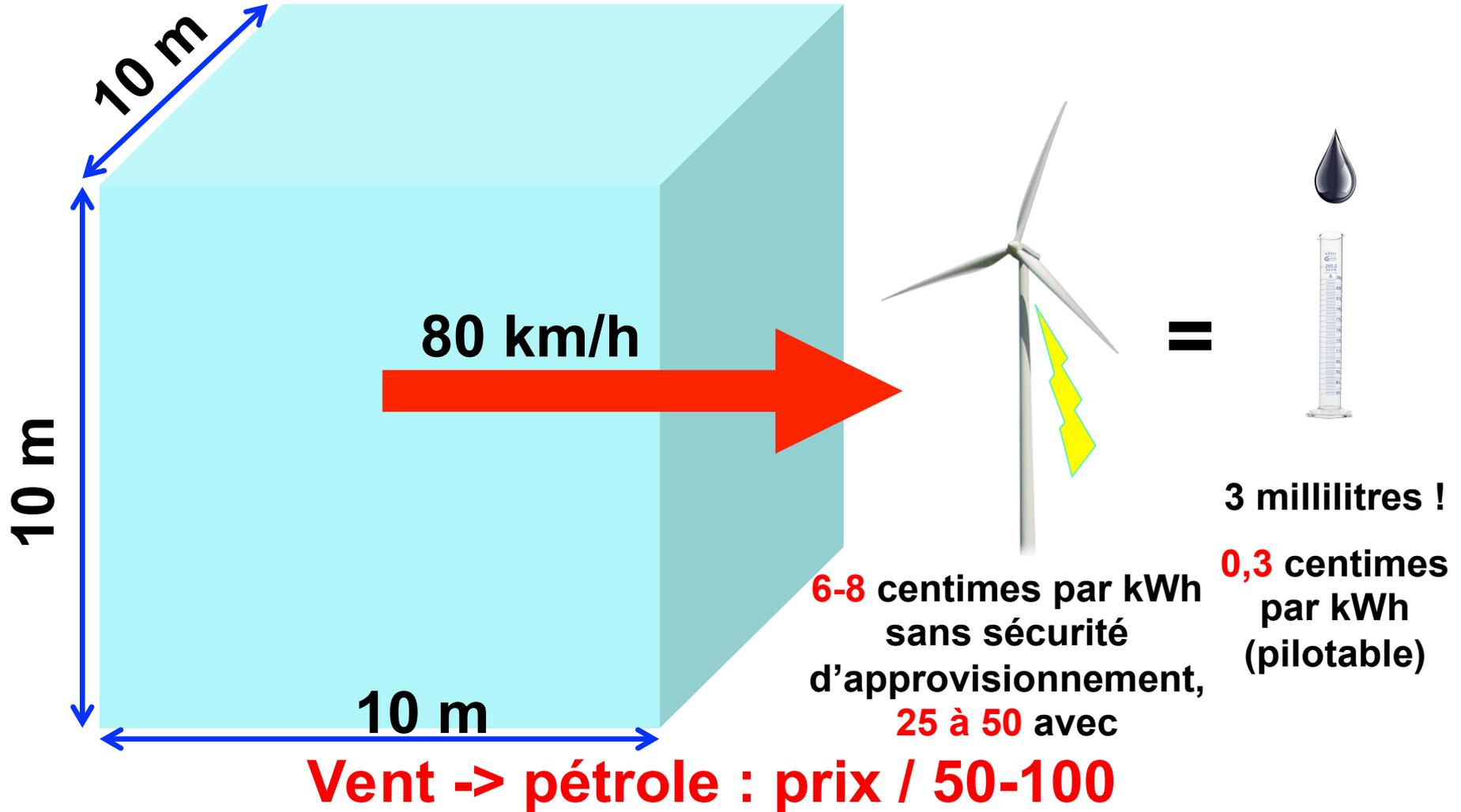
200 (moyenne mondiale) à 600 (moyenne française)



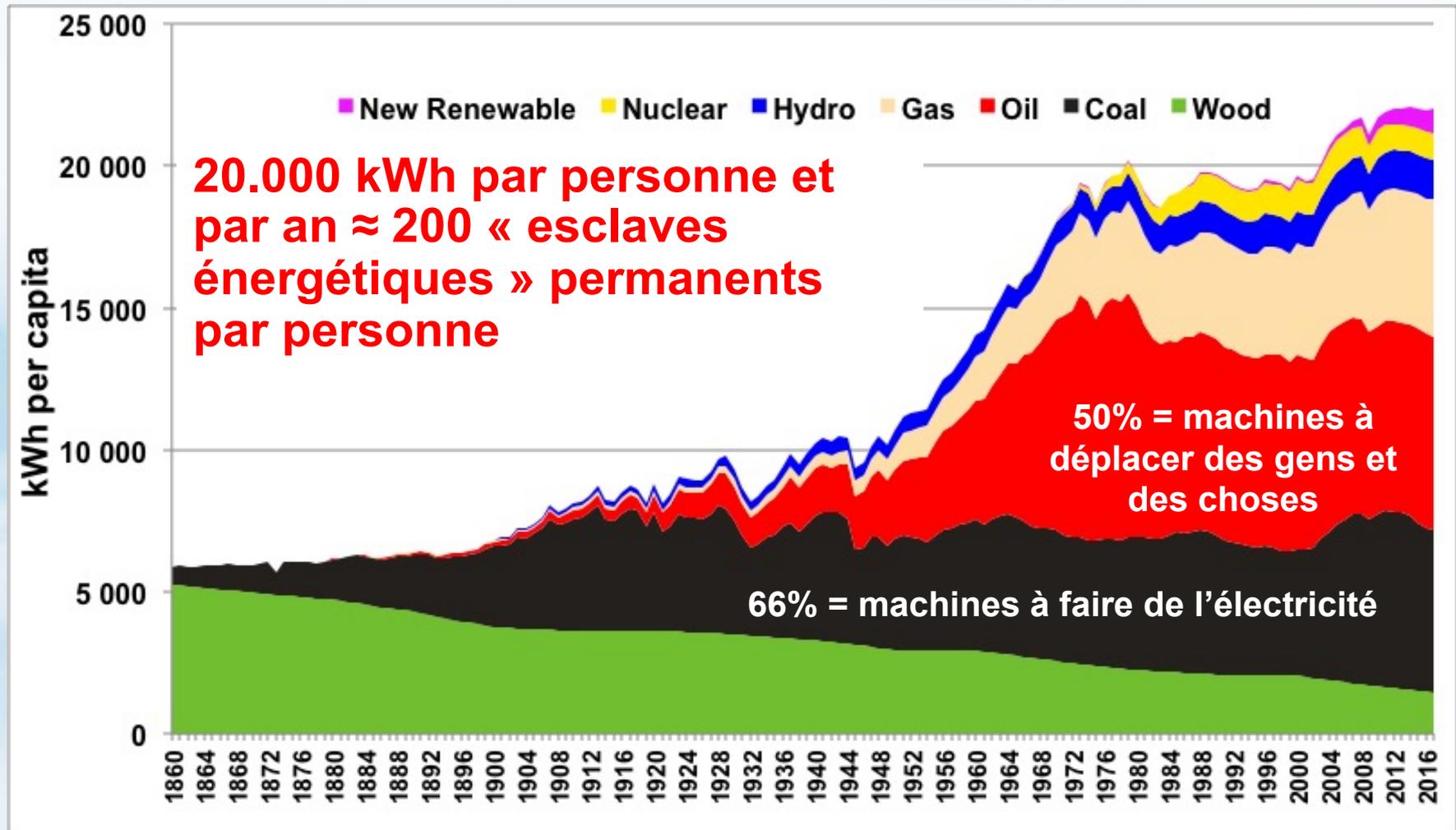
Il fut un temps où nous étions renouvelables et durables...



Pourquoi Diabole être passé des ENR au pétrole diabolique ?

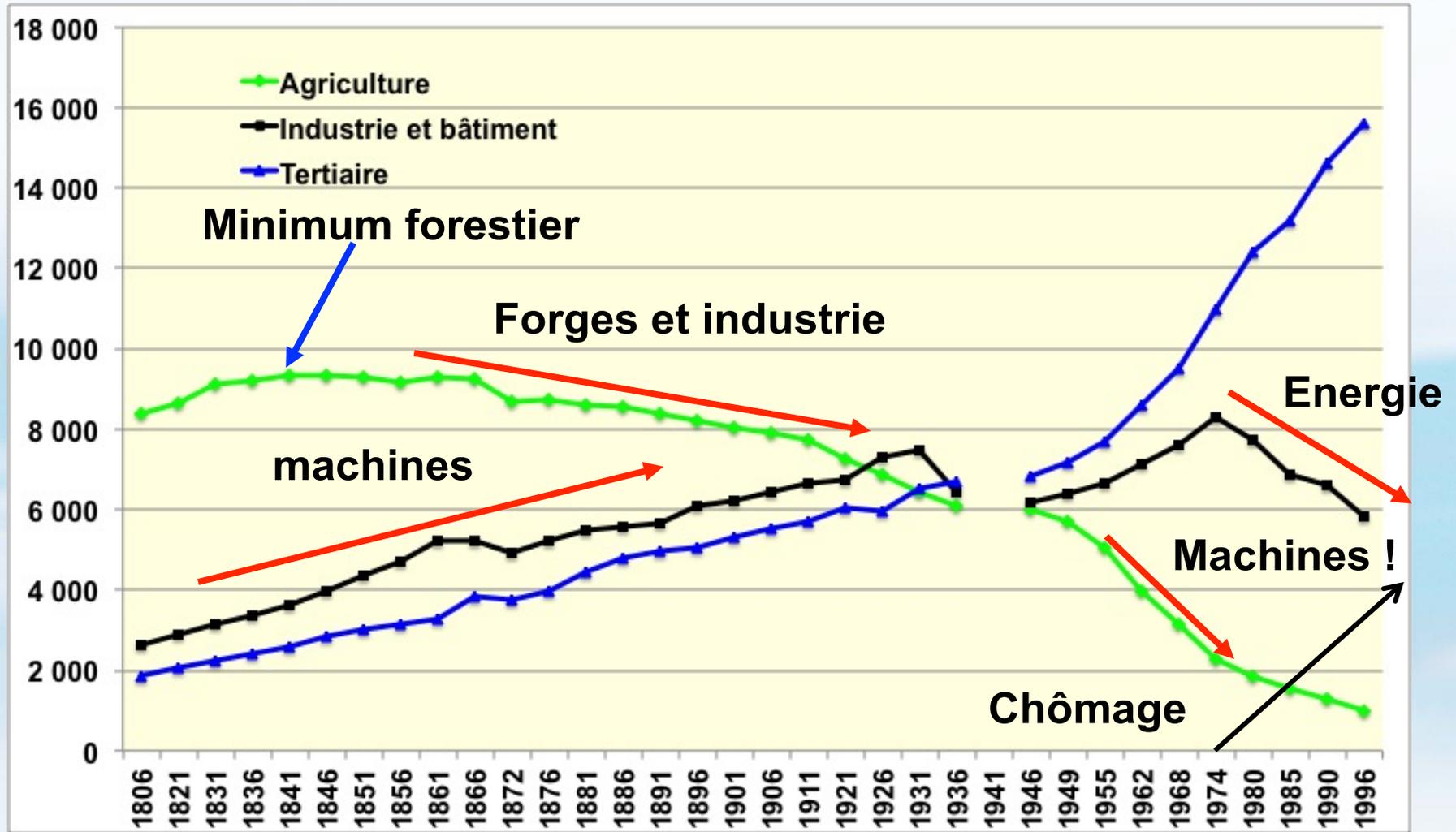


Miam miam kWh : c'est pas durable, mais c'est si bon...



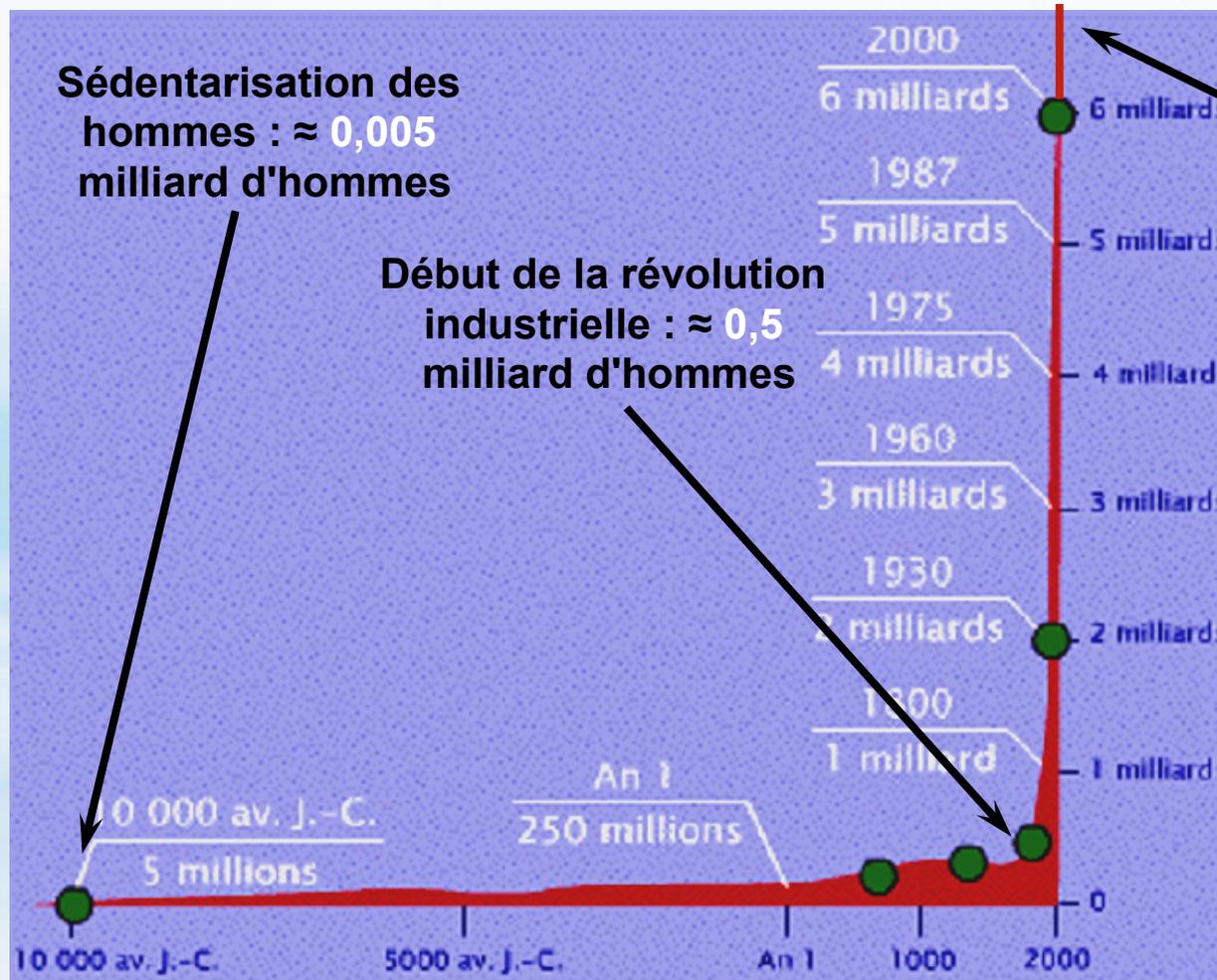
Énergie mise en jeu par personne, moyenne mondiale 1860-2017. Jancovici, 2018

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



Nombre d'actifs en France par catégorie sur 2 siècles. Source INSEE.

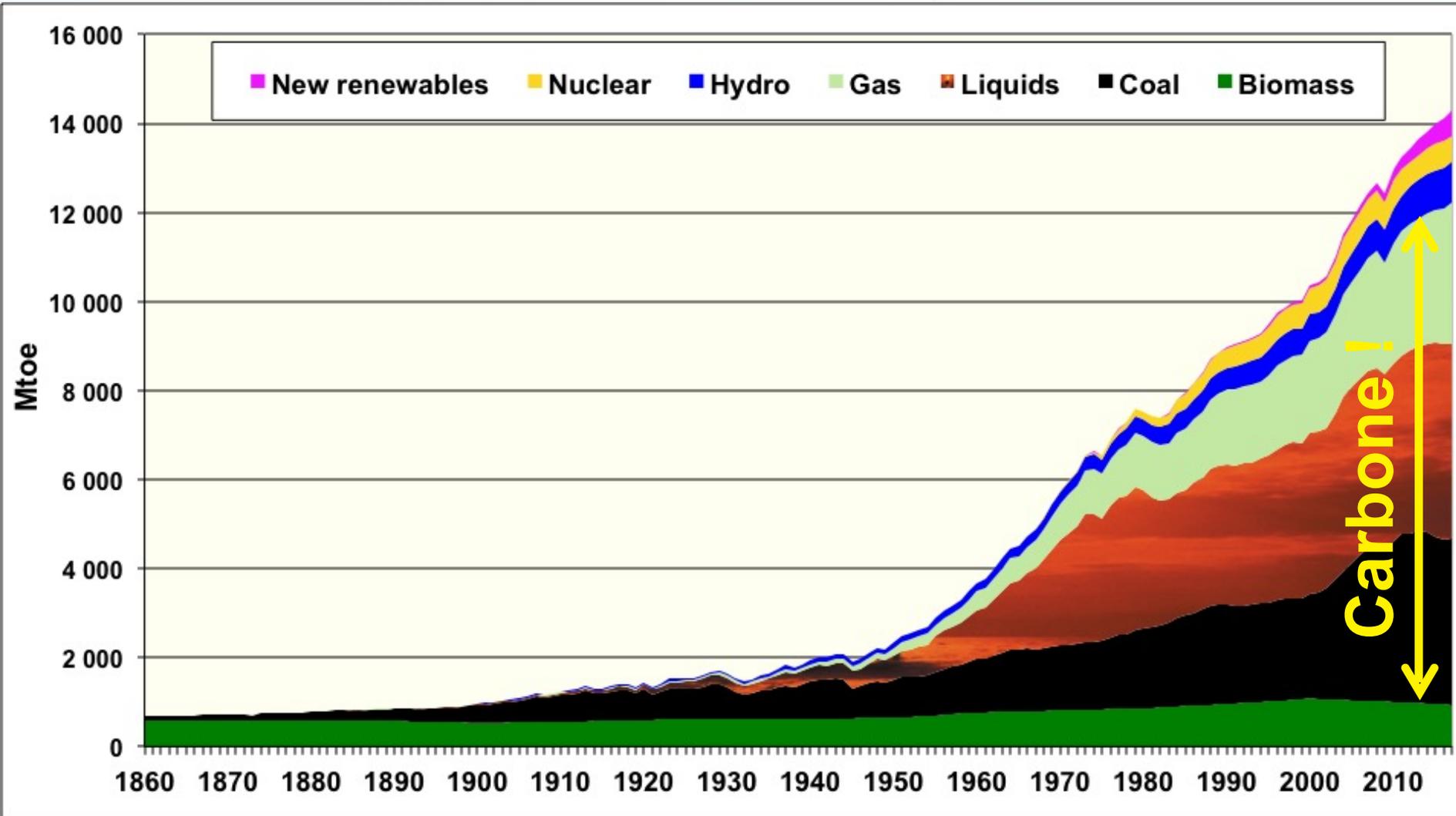
Plus de consommateurs, aussi....



2015 : > 7 milliards d'hommes... and rising

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



GRATUIT !

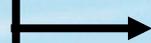
**Le seul vaisseau spatial habitable pour 7 milliards d'habitants
que nous ayons à disposition**



L'économie de la terre plate



Systeme productif



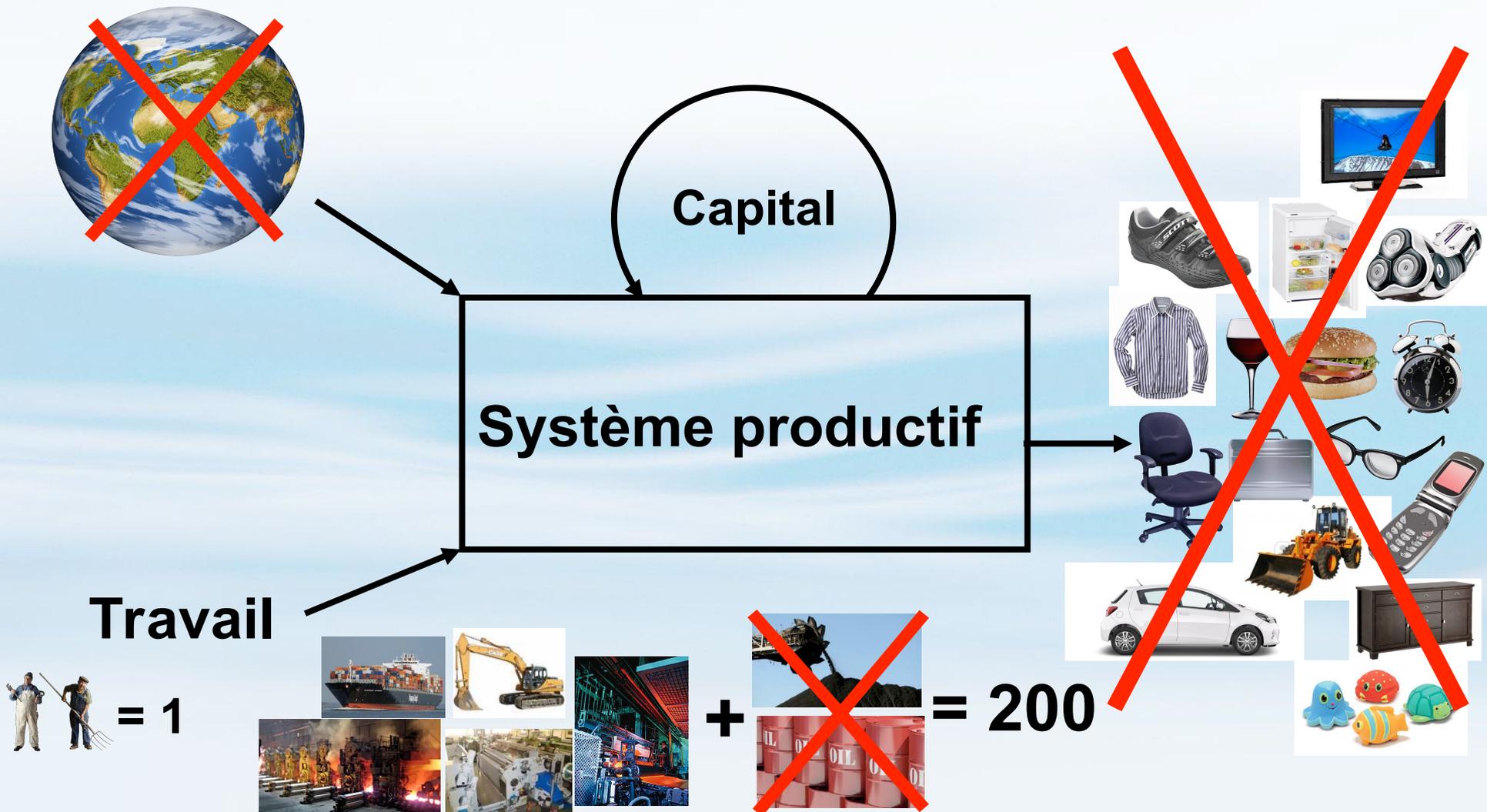
En fait, il vaut mieux avoir de la ressource...



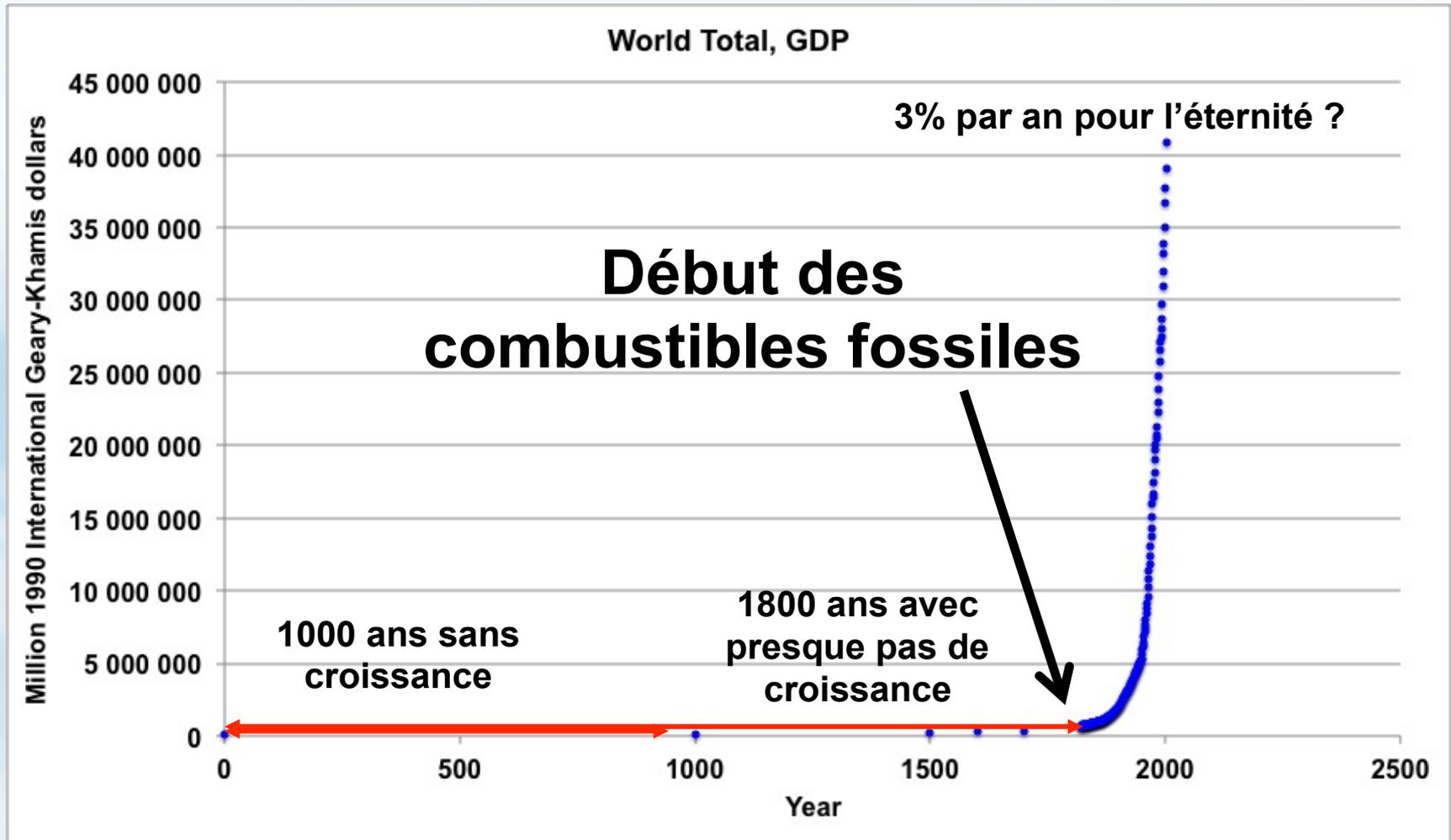
Travail



Sinon ...

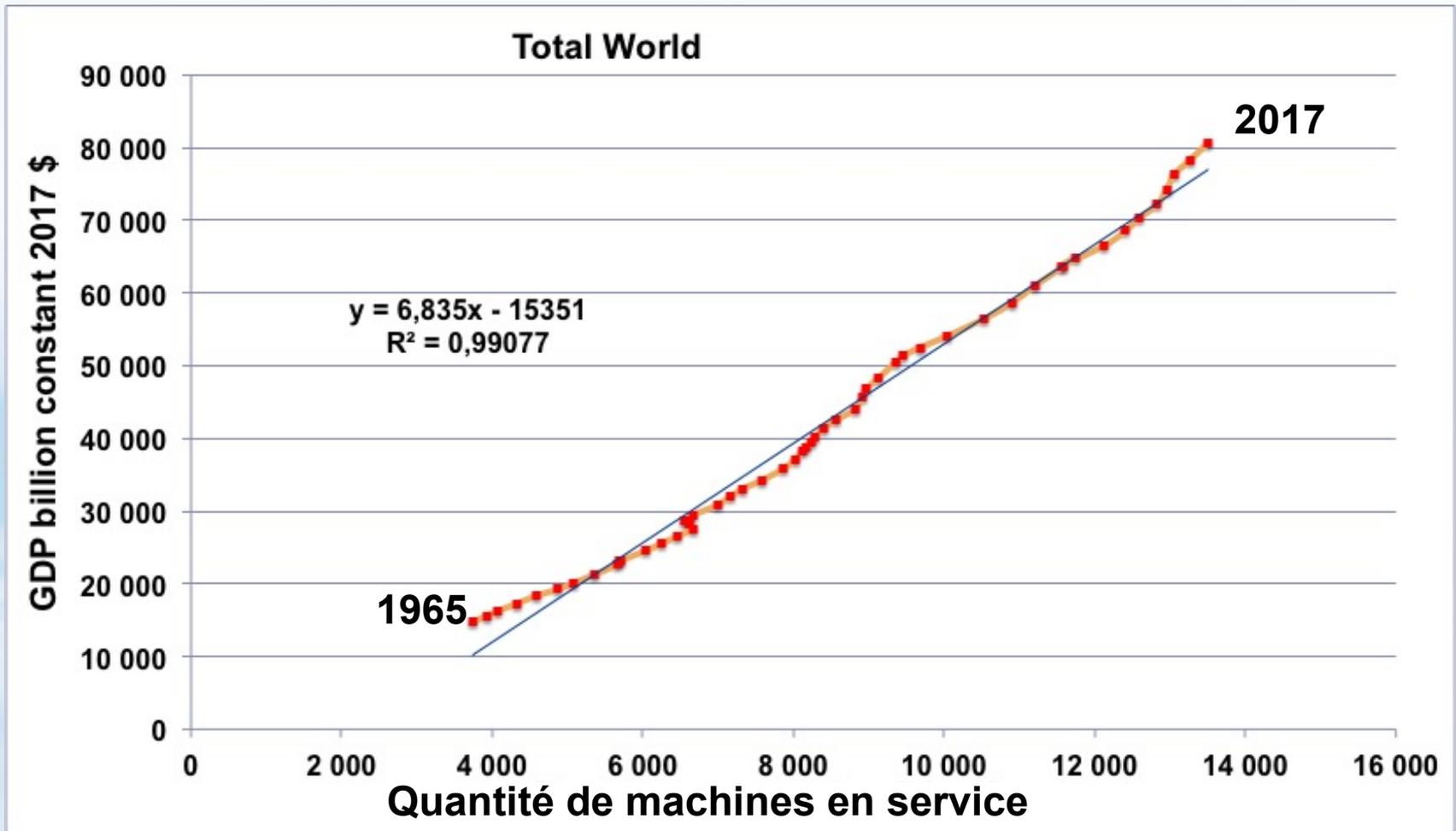


2000 ans de PIB



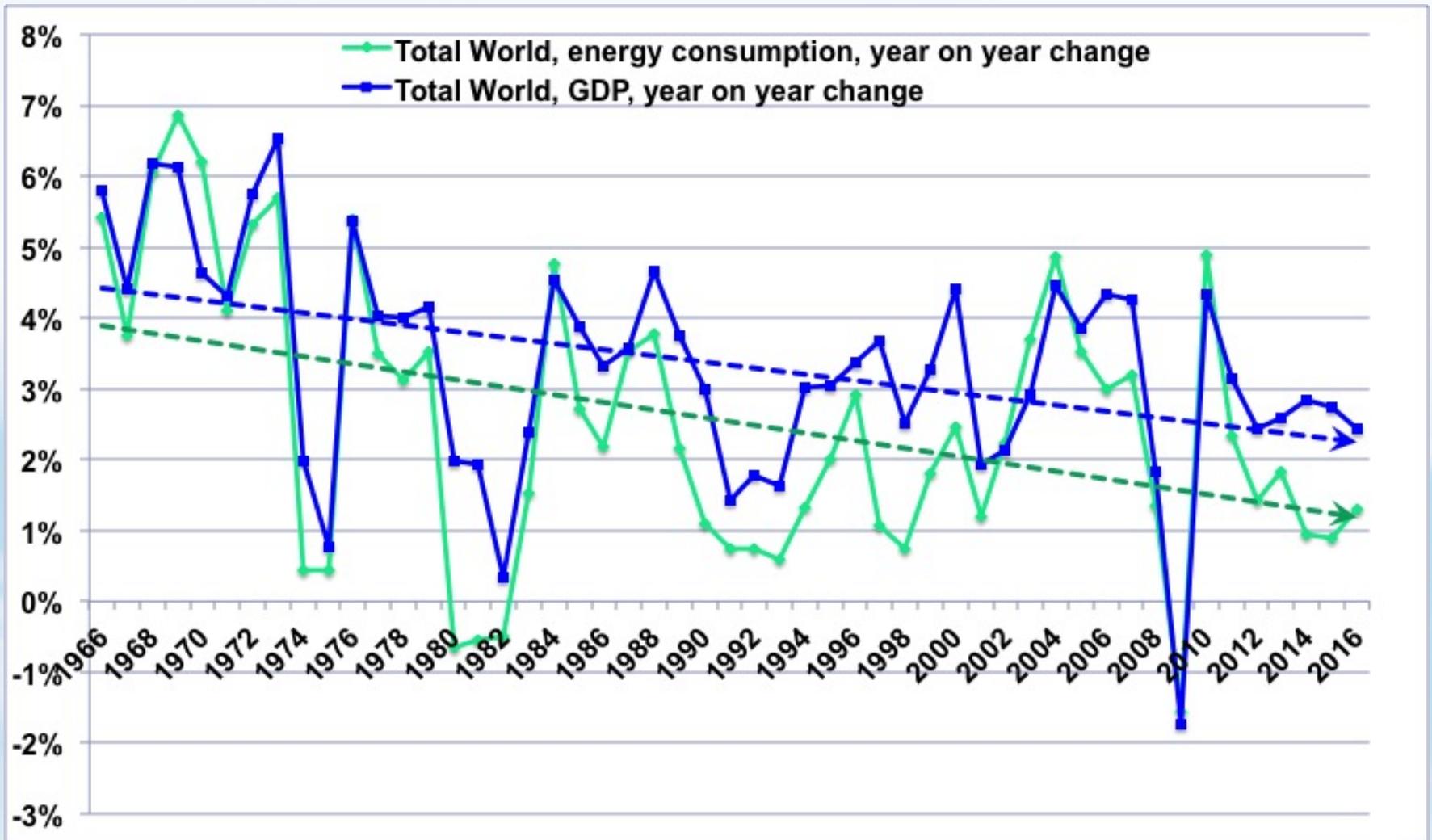
PIB mondial reconstitué de l'an 0 à 2003. Source Maddison, 2010

Le meilleur modèle macro-économique du monde : une droite



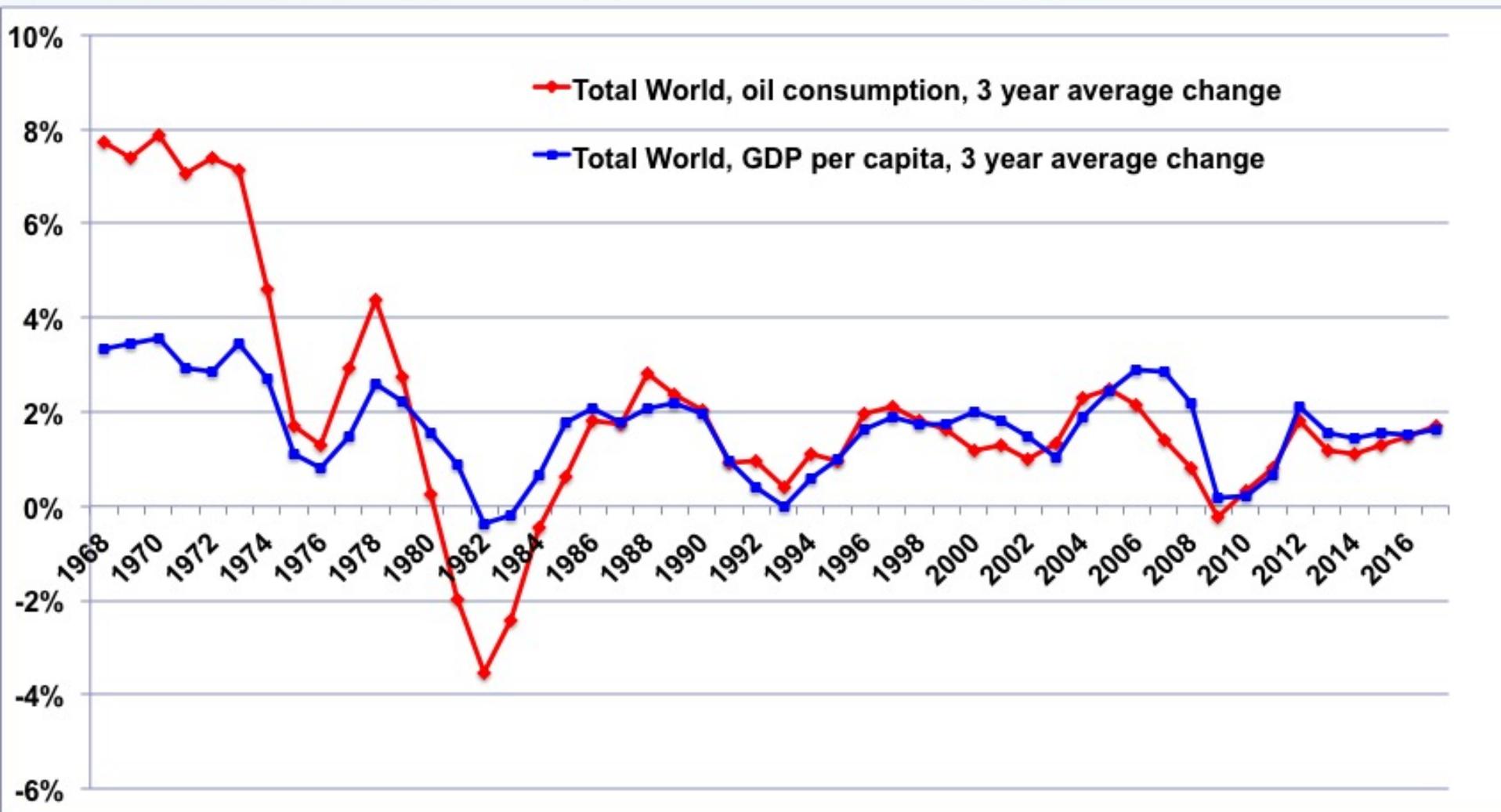
Énergie consommée (en abscisse) et PIB en dollars constants (ordonnée) pour le monde. Données primaires World Bank pour le PIB et BP stat pour l'énergie

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

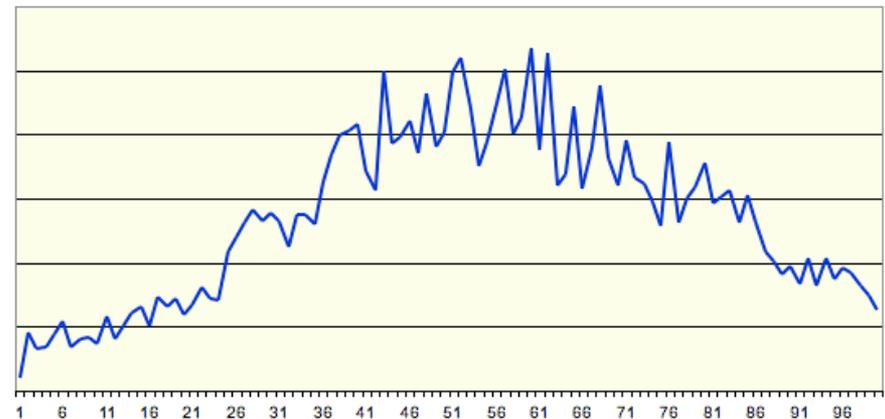
Même une extraction annuelle indéfiniment constante est impossible (sinon stock infini !)

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

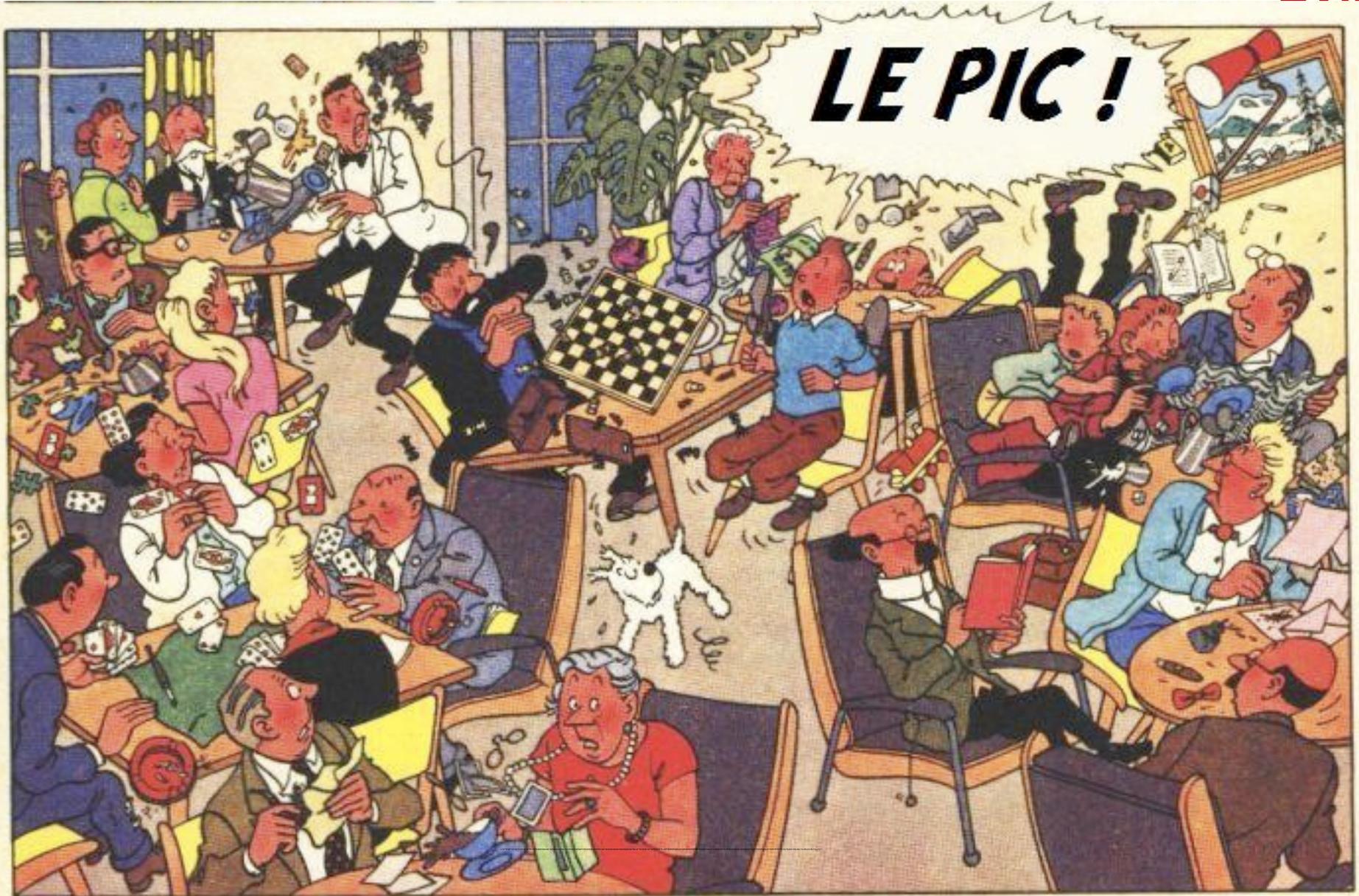
Est nulle à $-\infty$

Est nulle à $+\infty$

Passe par un maximum absolu entre les 2



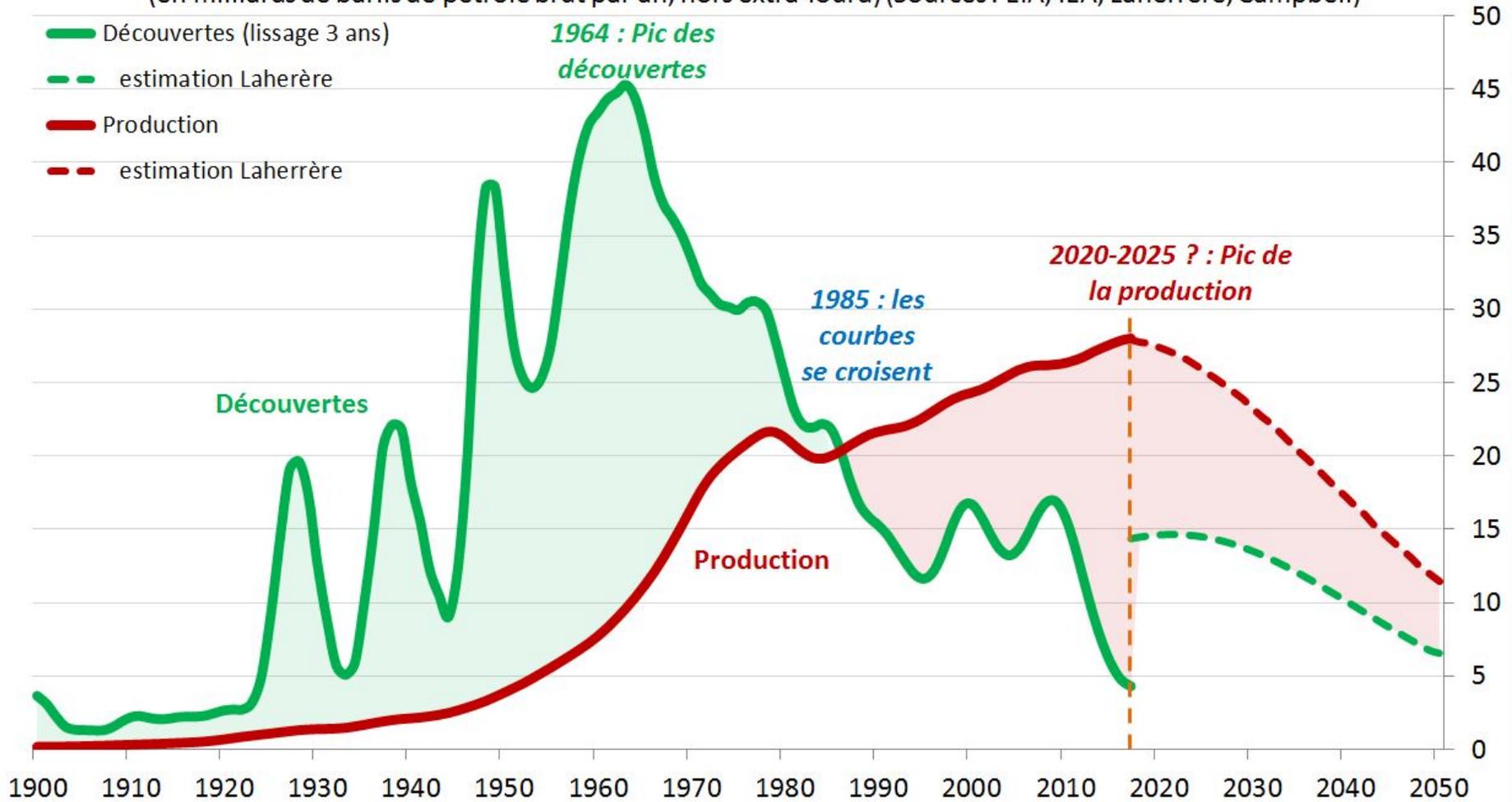
Les maths, c'est décidément détestable...



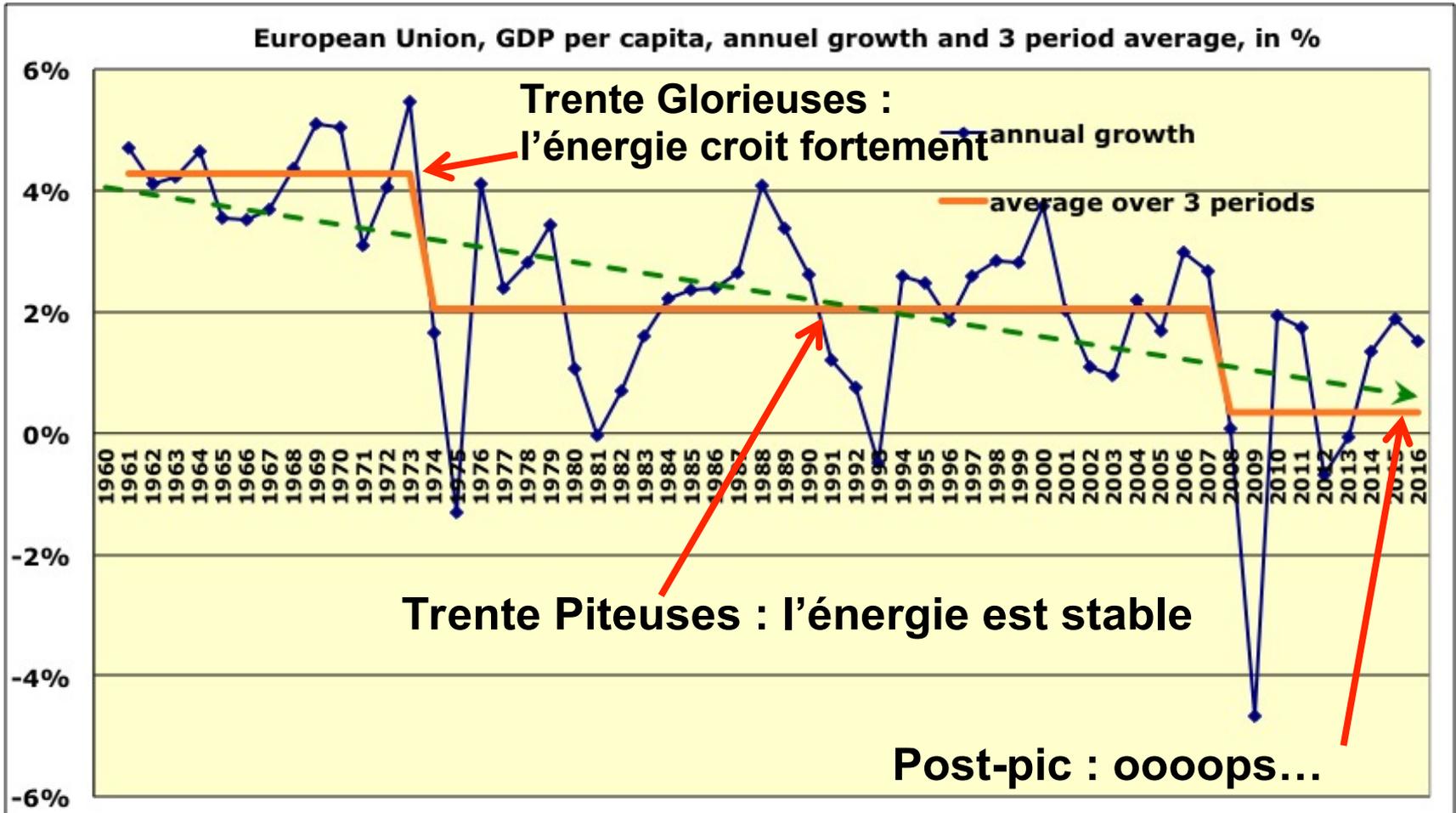
Prochain pic pétrolier ?

Découvertes et Production de Pétrole brut dans le monde 1900-2017

(en milliards de barils de pétrole brut par an, hors extra-lourd) (Sources : EIA, IEA, Laherrère, Campbell)



Saloperie de physique !



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

Énergie

Climat

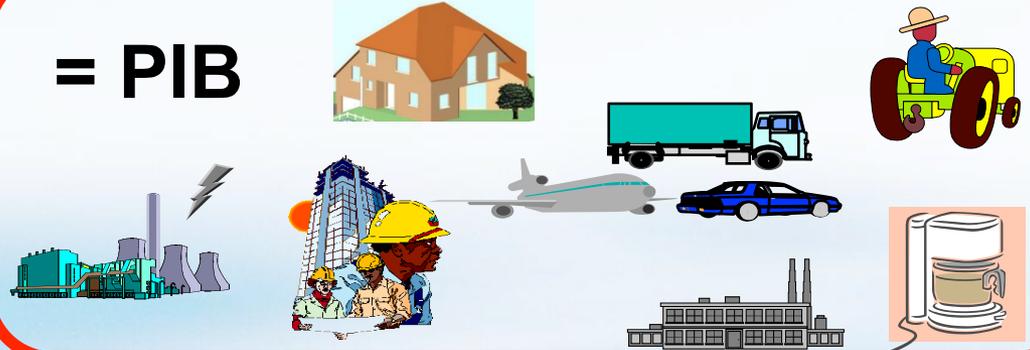
Numérique

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

Minerais, sols,
ressources
vivantes...



= PIB



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

O_2

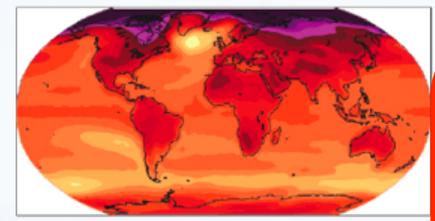
$C_n H_p$

Gratuit !!

Boum ou Crac ? ... ou les deux ?

Boum ?

Minerais, sols, ressources vivantes...

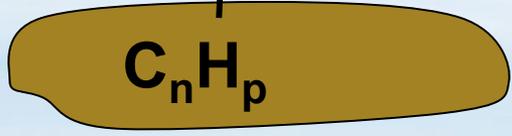


= PIB



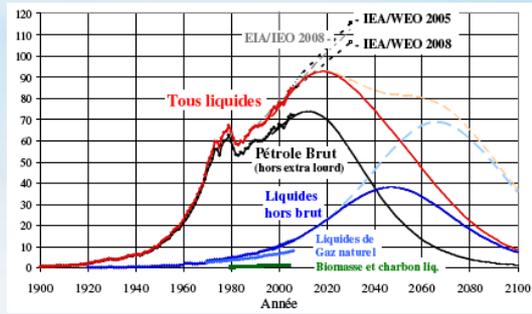
Structure actuelle des métiers, loisirs et vacances, études longues, santé, retraites, mondialisation, concentration urbaine et banlieues étalées...

O₂



Gratuit !!

Crac ?



BOUM !

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

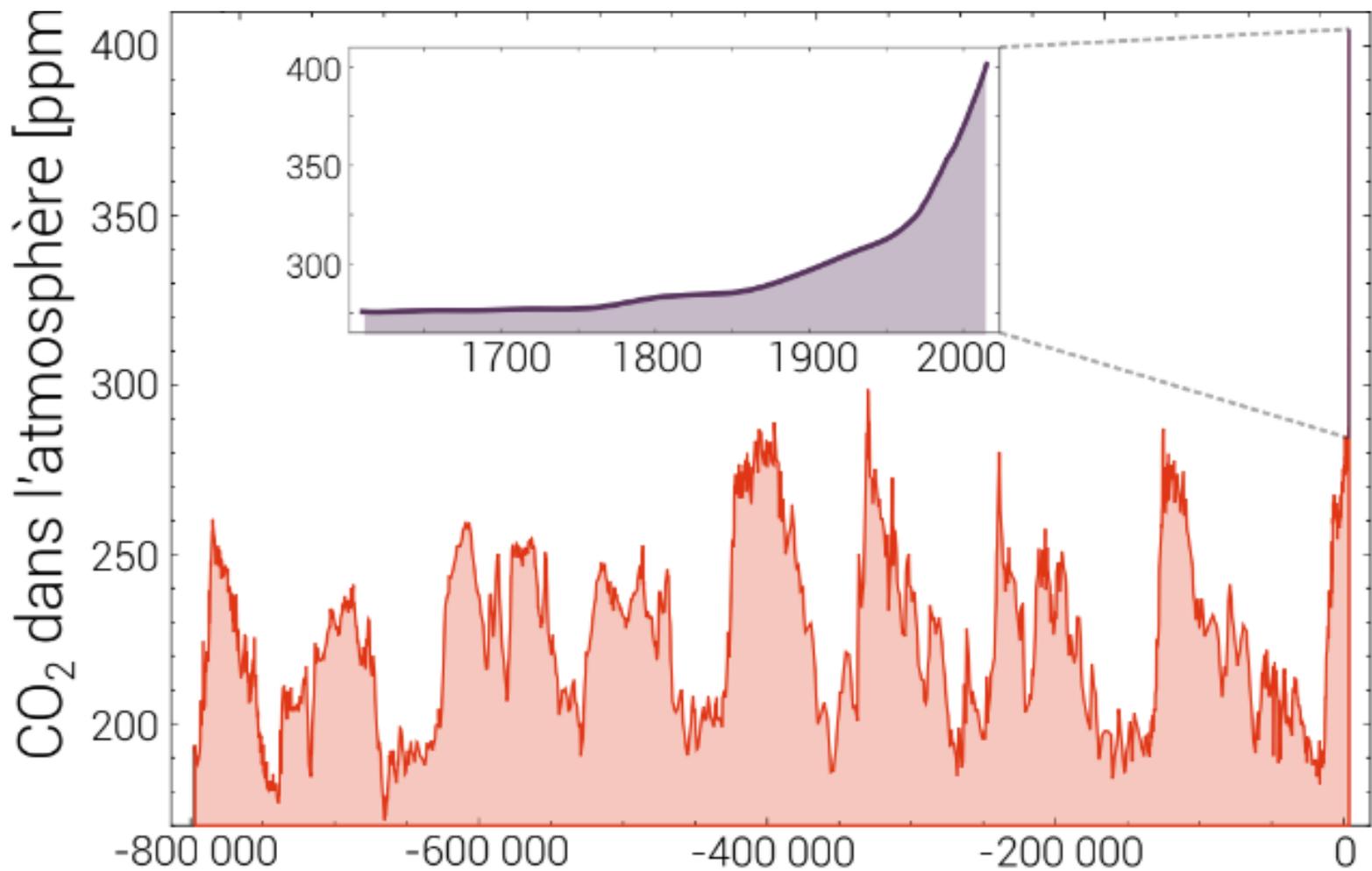


La vie grâce à l'effet de serre



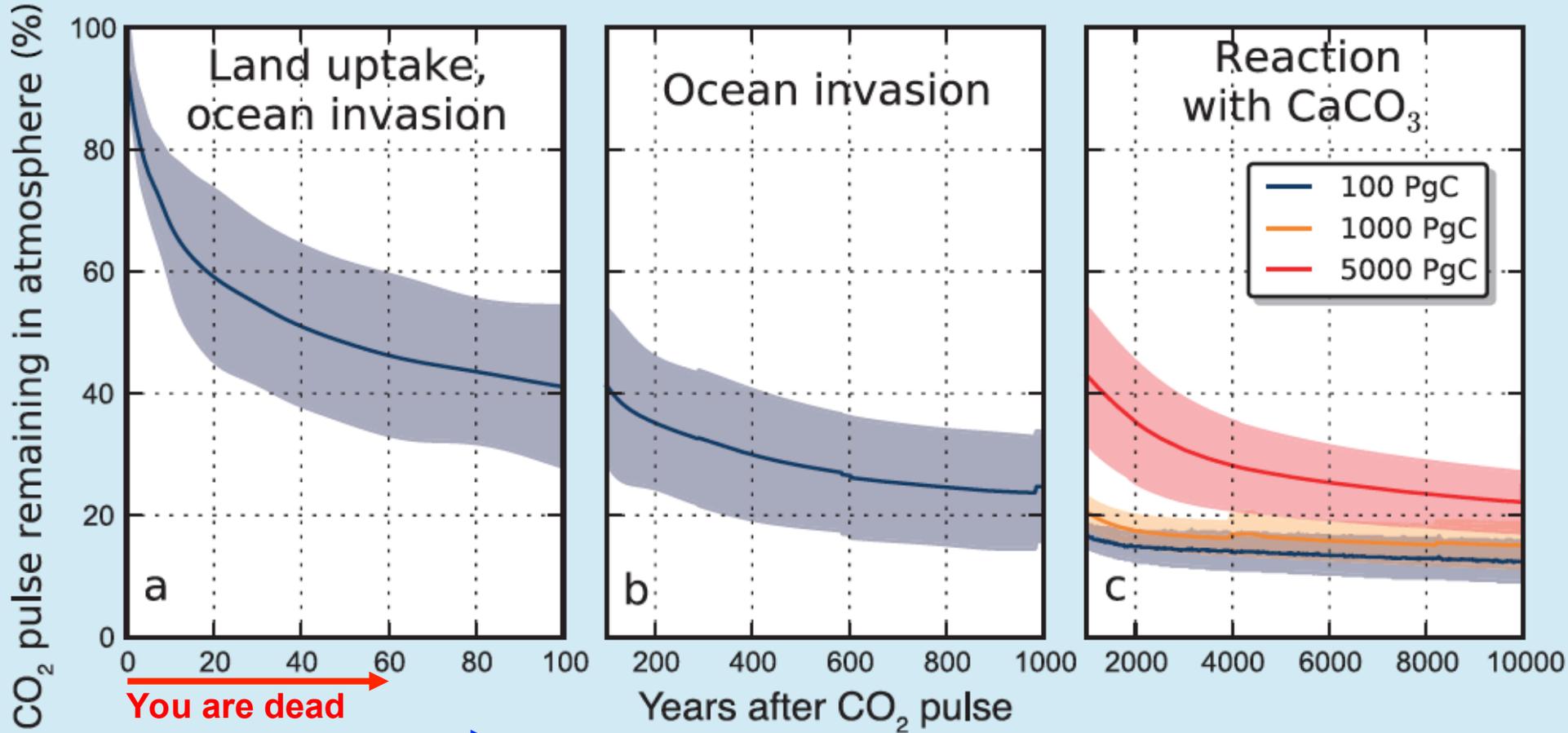
Un risque de déséquilibre





Source : Projet EPICA

Help! Where is the reset button?



You are dead → (red arrow, 0-20 years)

Your kids are dead → (blue arrow, 0-40 years)

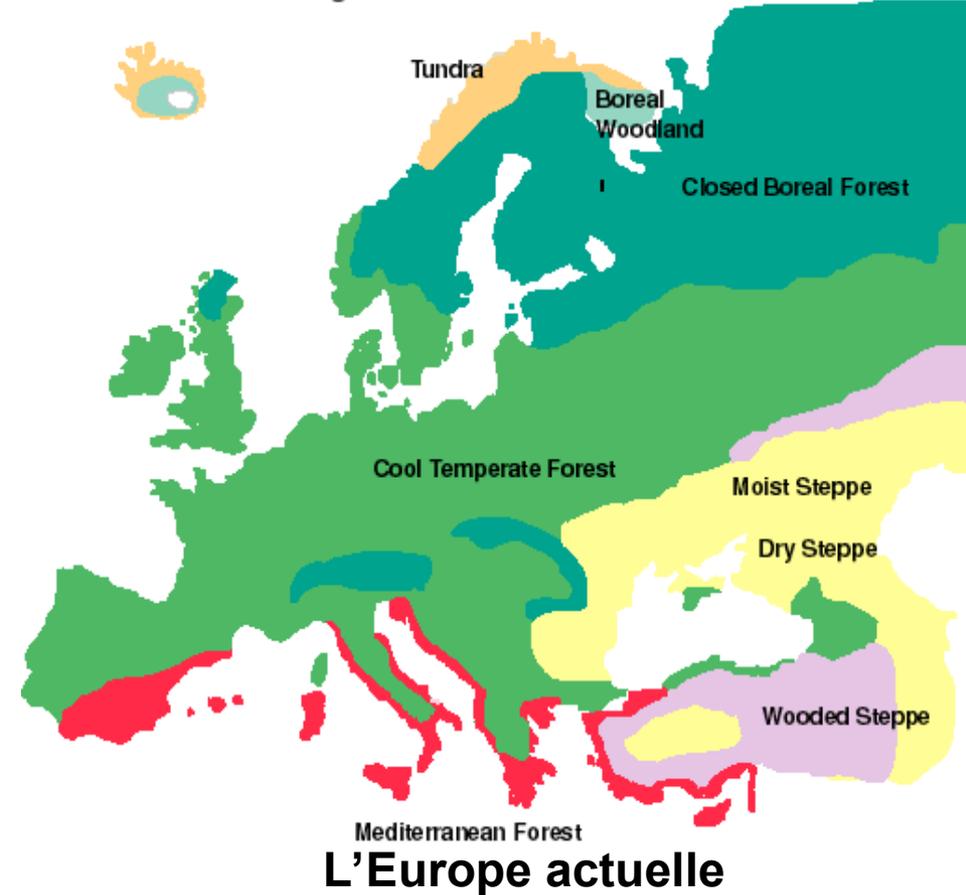
10 generations are dead... → (purple arrow, 0-100 years)

Source IPCC, 5th assessment report



+5°C, juste un pull en moins ?

Present Potential Vegetation

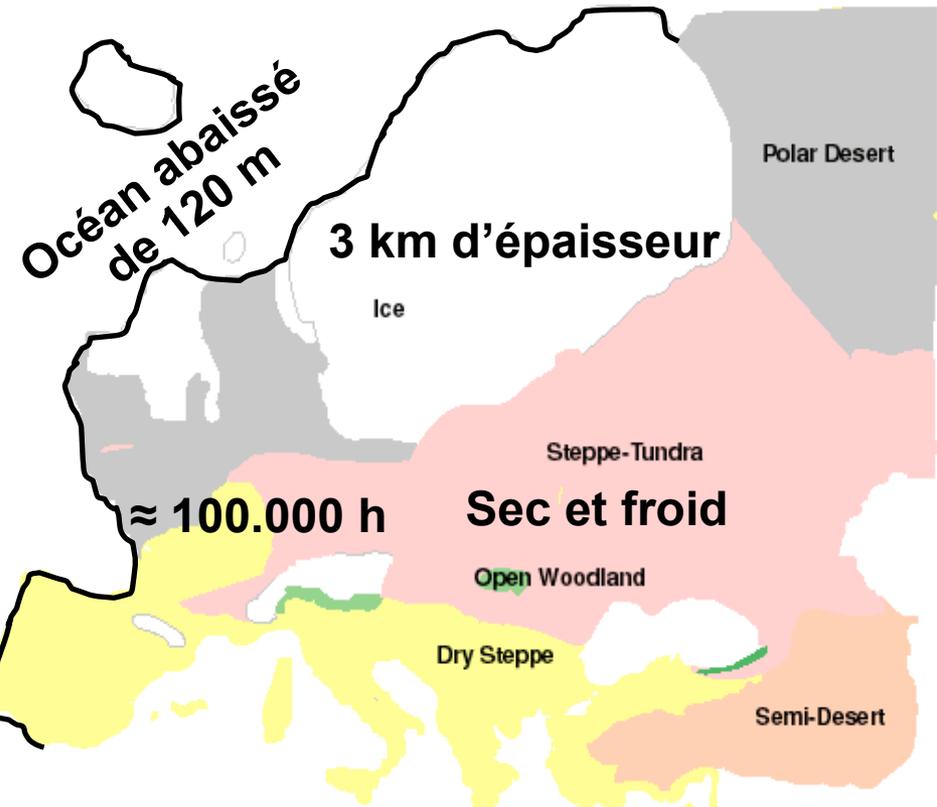


Source: Quaternary Environments Network



+5°C, juste un pull en moins ?

22,000 – 14,000 ¹⁴C years ago



Present Potential Vegetation



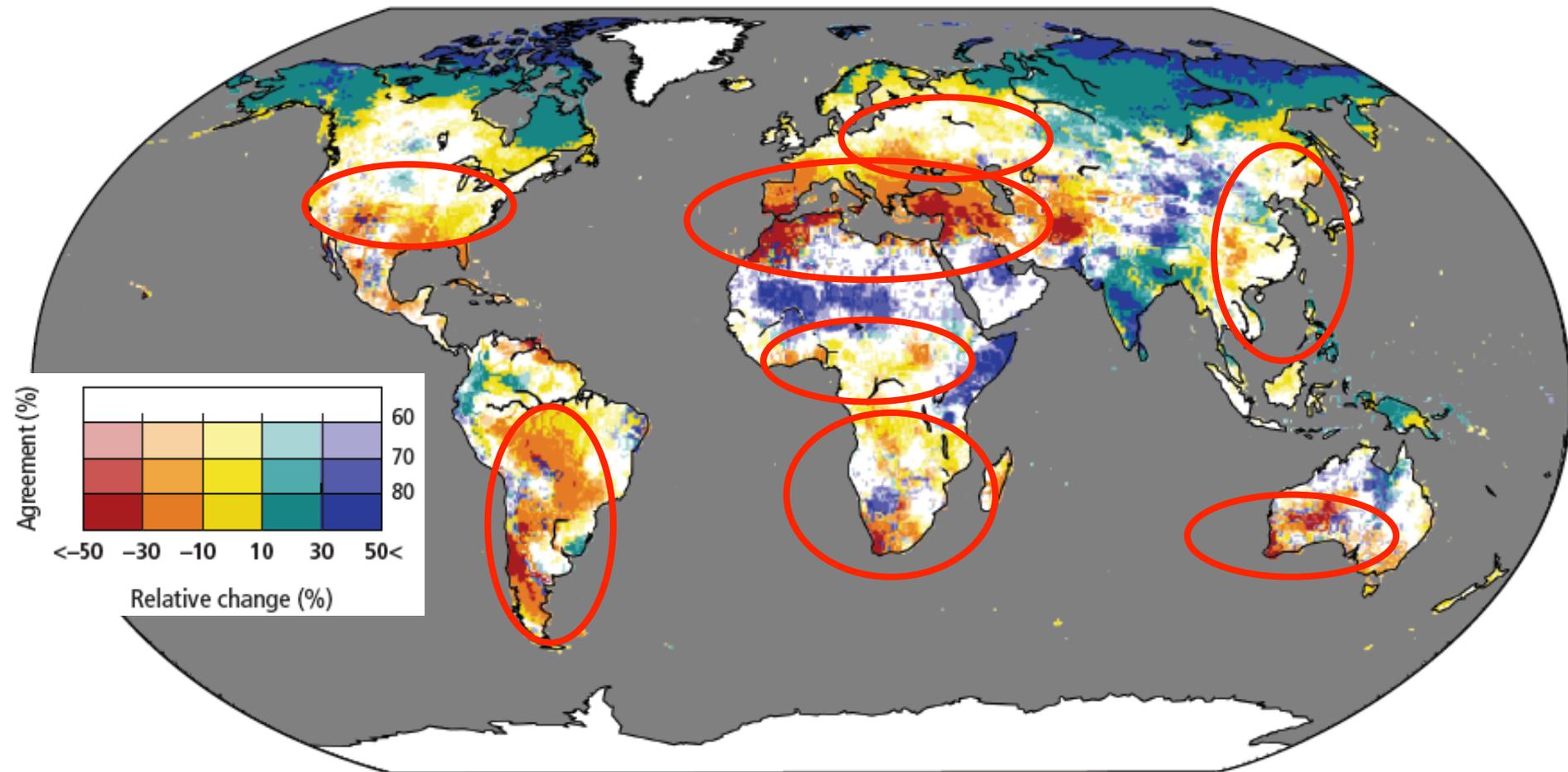
L'Europe il y a 20.000 ans

L'Europe actuelle

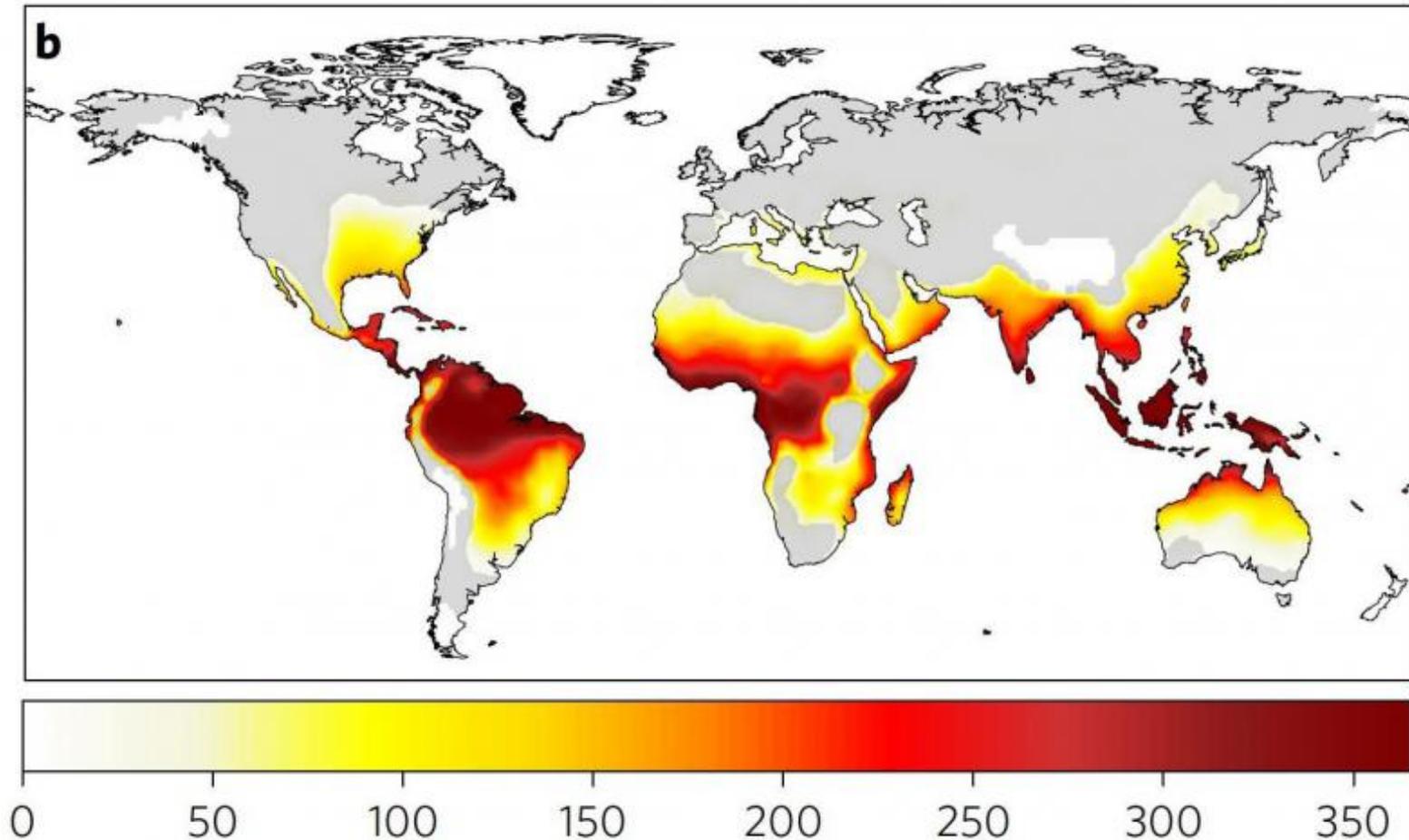
Moyenne ! +5°C



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



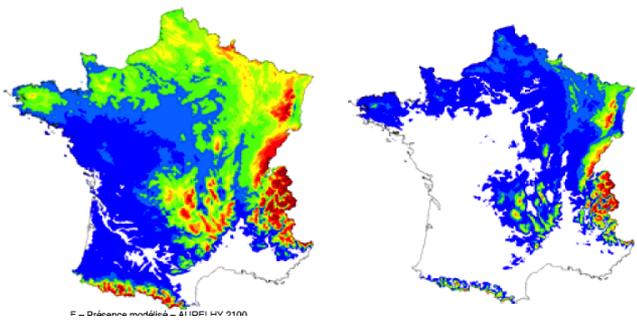
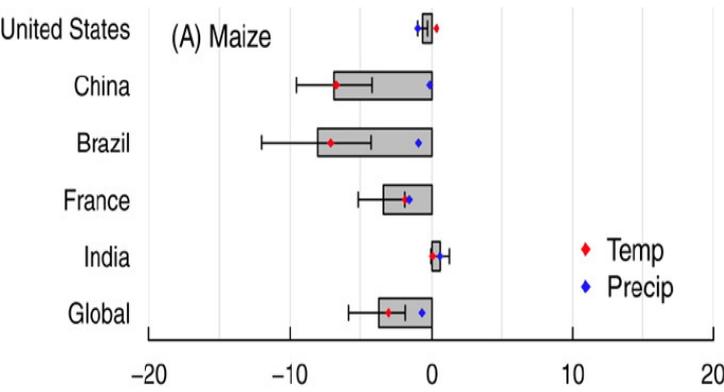
Moyenne inter-modèles de l'évolution des précipitations pour une hausse de 2°C de la moyenne par rapport à 1980-2010. Source : GIEC, 5è rapport d'évaluation, 2014



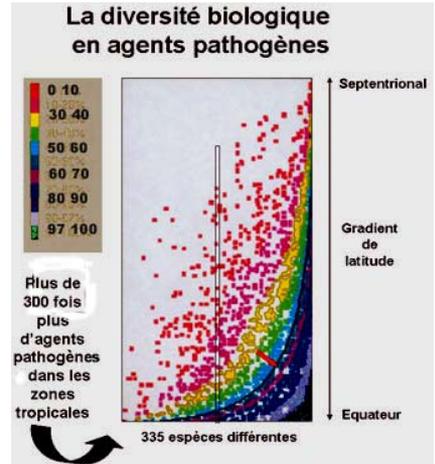
**Nombre de jours par an au-dessus du seuil létal en 2100 avec +4°C. Source :
Camilla Mora et al, Global Risk of deadly heat, Nature Climate Change**

Un jour, l'avenir devient le présent

Avec une ampleur qui dépendra de nos émissions

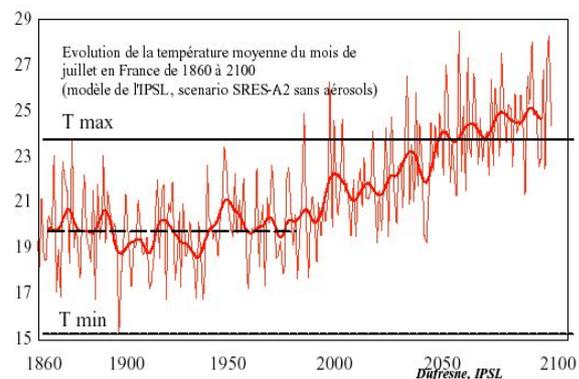


Atteinte aux écosystèmes

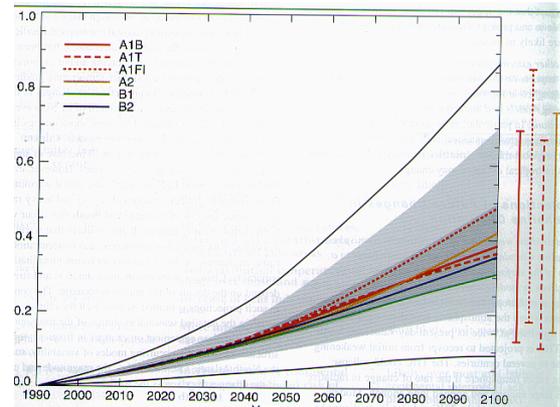


Agents pathogènes

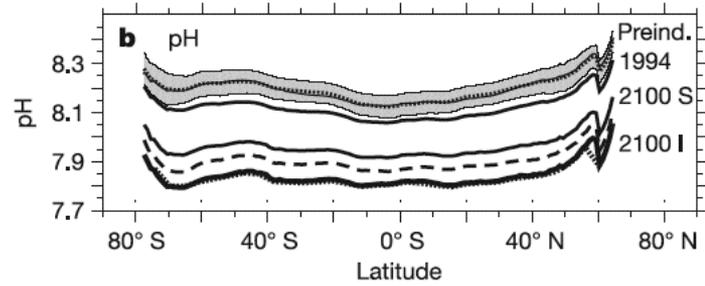
Baisse des rendements agricoles



Vagues de chaleur



Hausse du niveau de l'océan

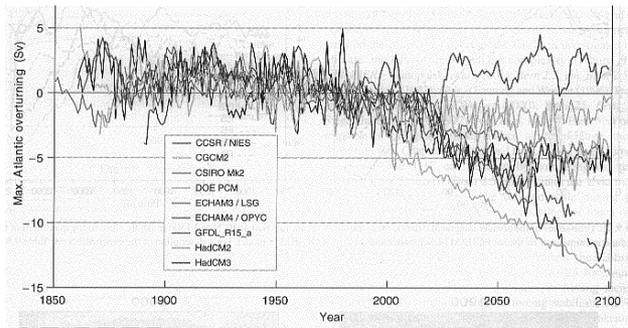


Acidification de l'océan

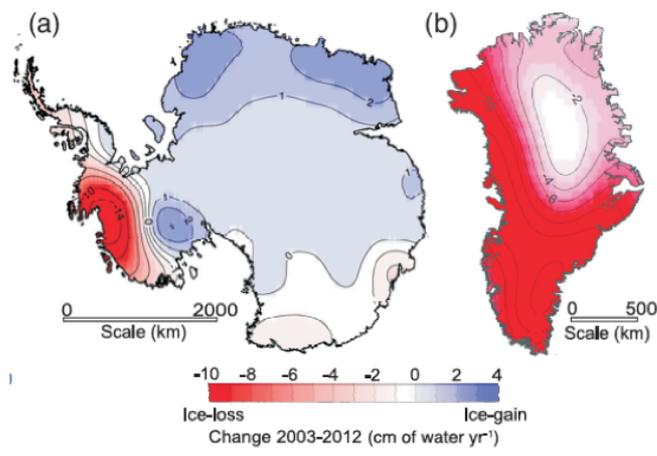


Partez pas, y'a du rab

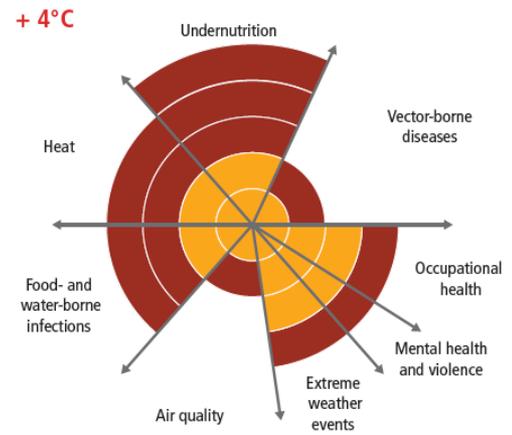
Avec une ampleur **qui dépendra de nos émissions**



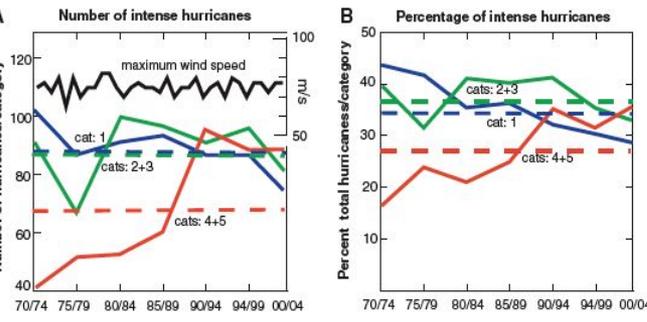
Changement de la circulation océanique



Fonte/désagrégation des calottes

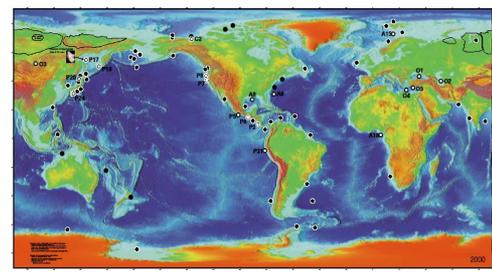
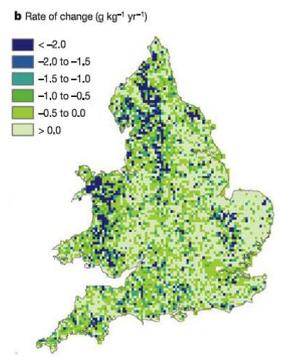


Conséquences sanitaires



Intensification des phénomènes extrêmes

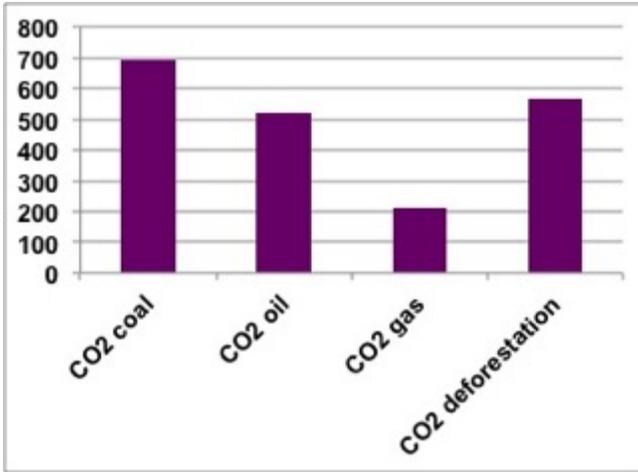
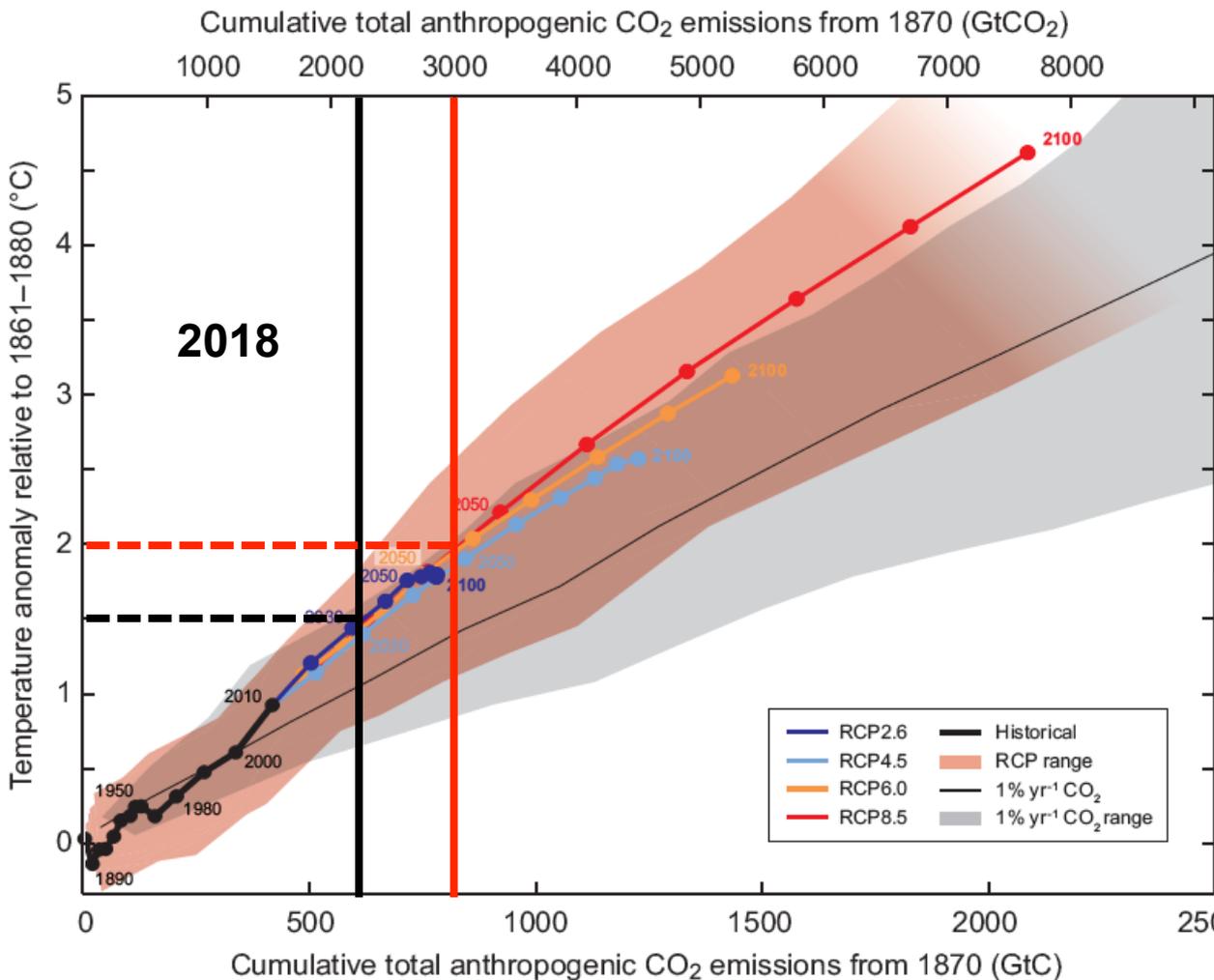
Relargage du carbone des sols



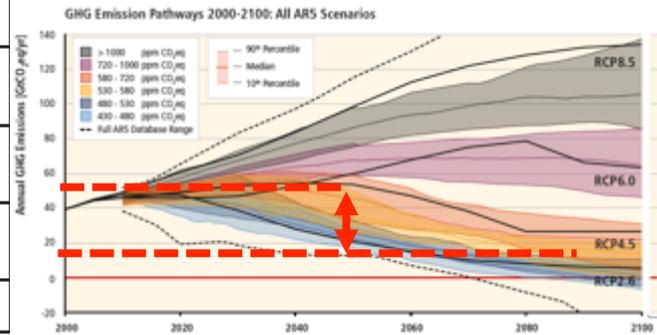
Et nous ne verrons jamais venir à l'avance toutes les conséquences possibles, puisque l'expérience est inédite



2°C, fingers in the nose?



Emissions cumulées de CO₂ depuis 1870 en Gt



÷ 3 en 2050

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



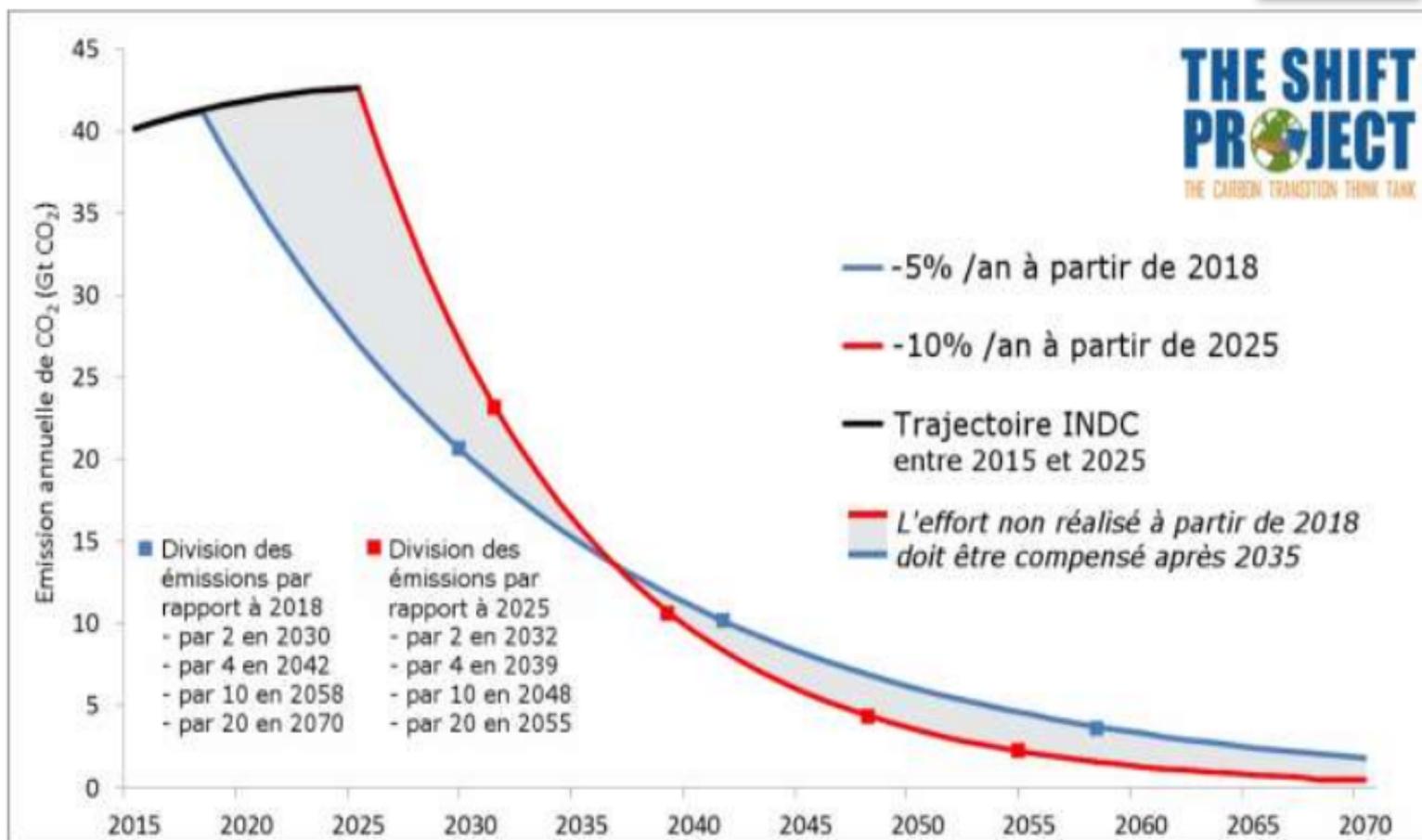
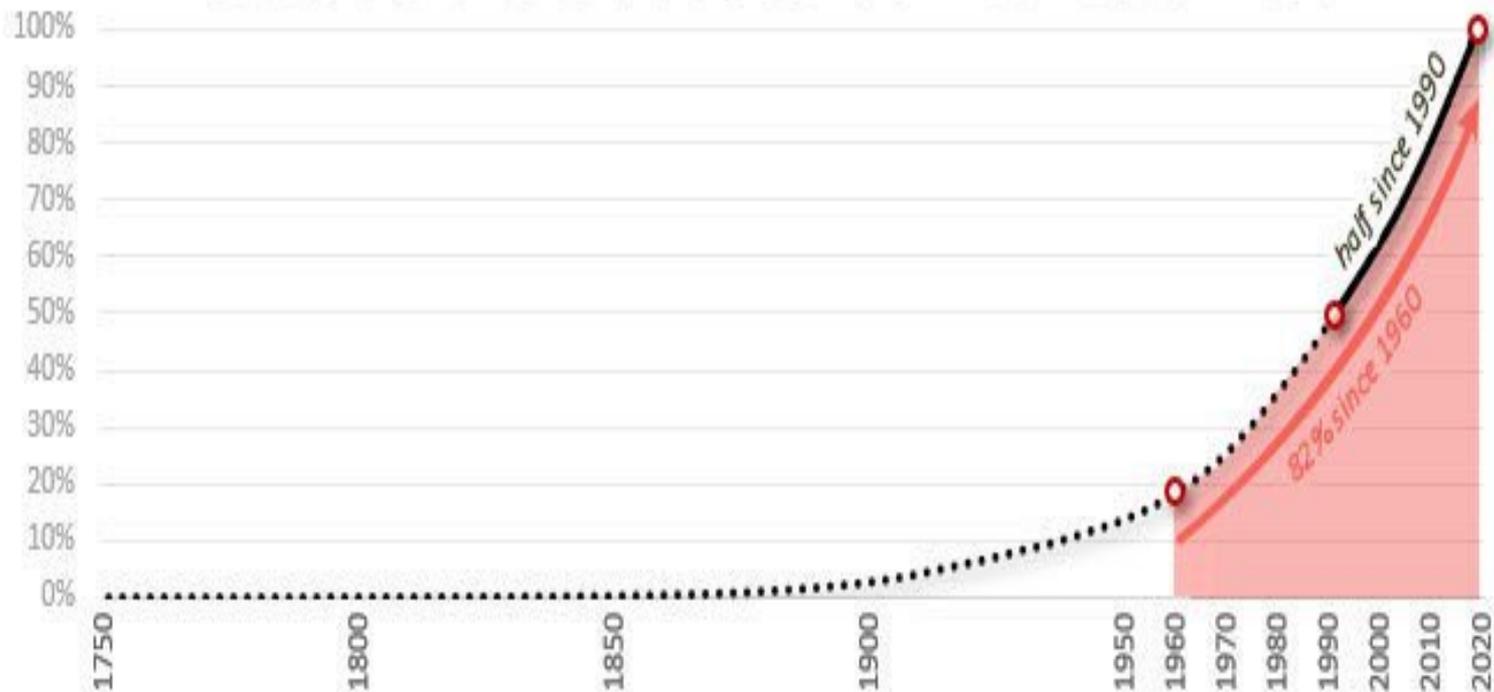


Figure 4 : Trajectoires d'émission compatibles avec une hausse de température limitée à 2°C
[Source : The Shift Project, 2016]

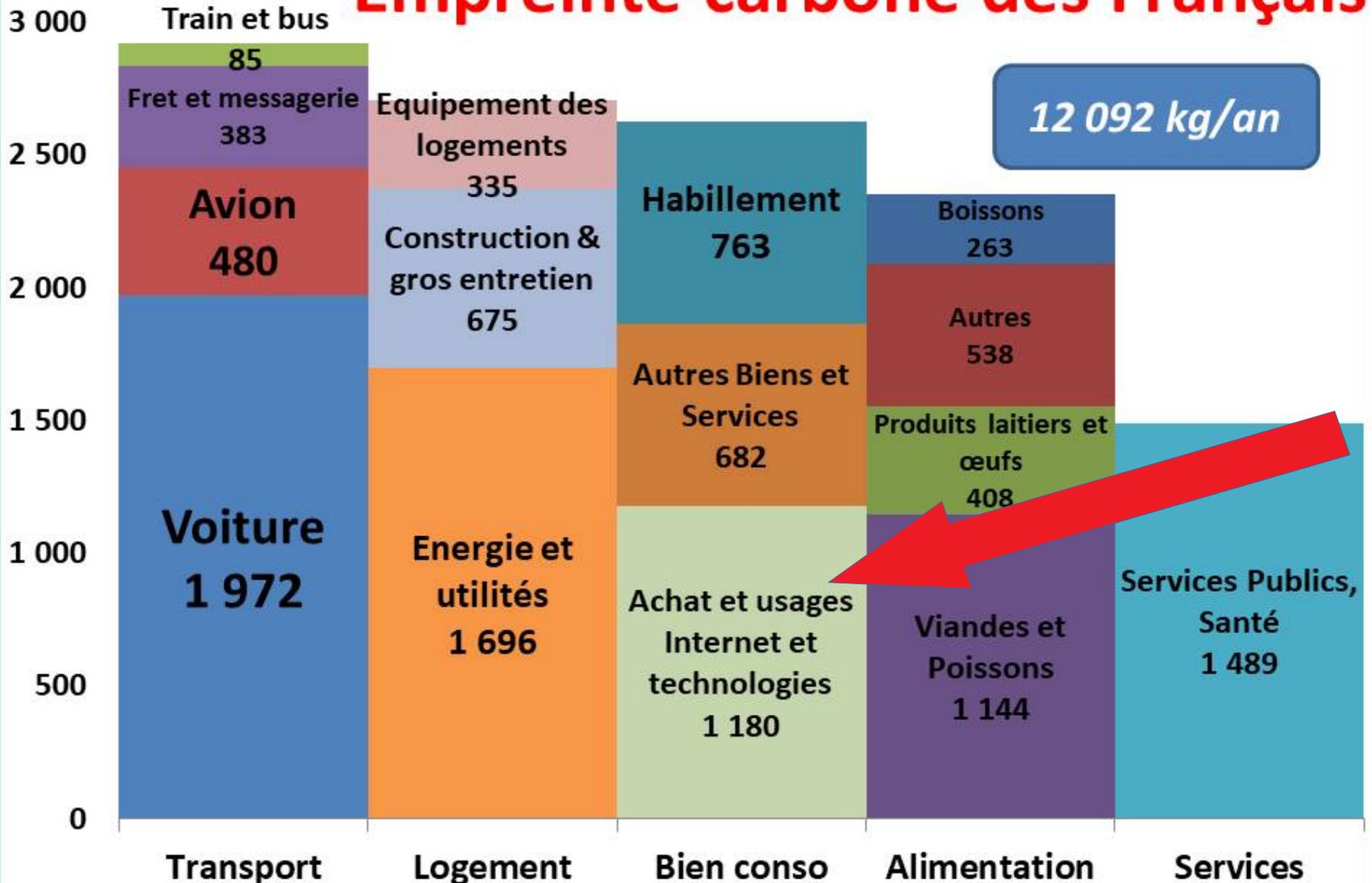
CUMULATIVE GLOBAL FOSSIL FUEL USE SINCE 1750



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/fip/ndp030/global.1751_2014.ems. CHART by Barry Saxifrage at VisualCarbon.org and NationalObserver.com. July 2019.

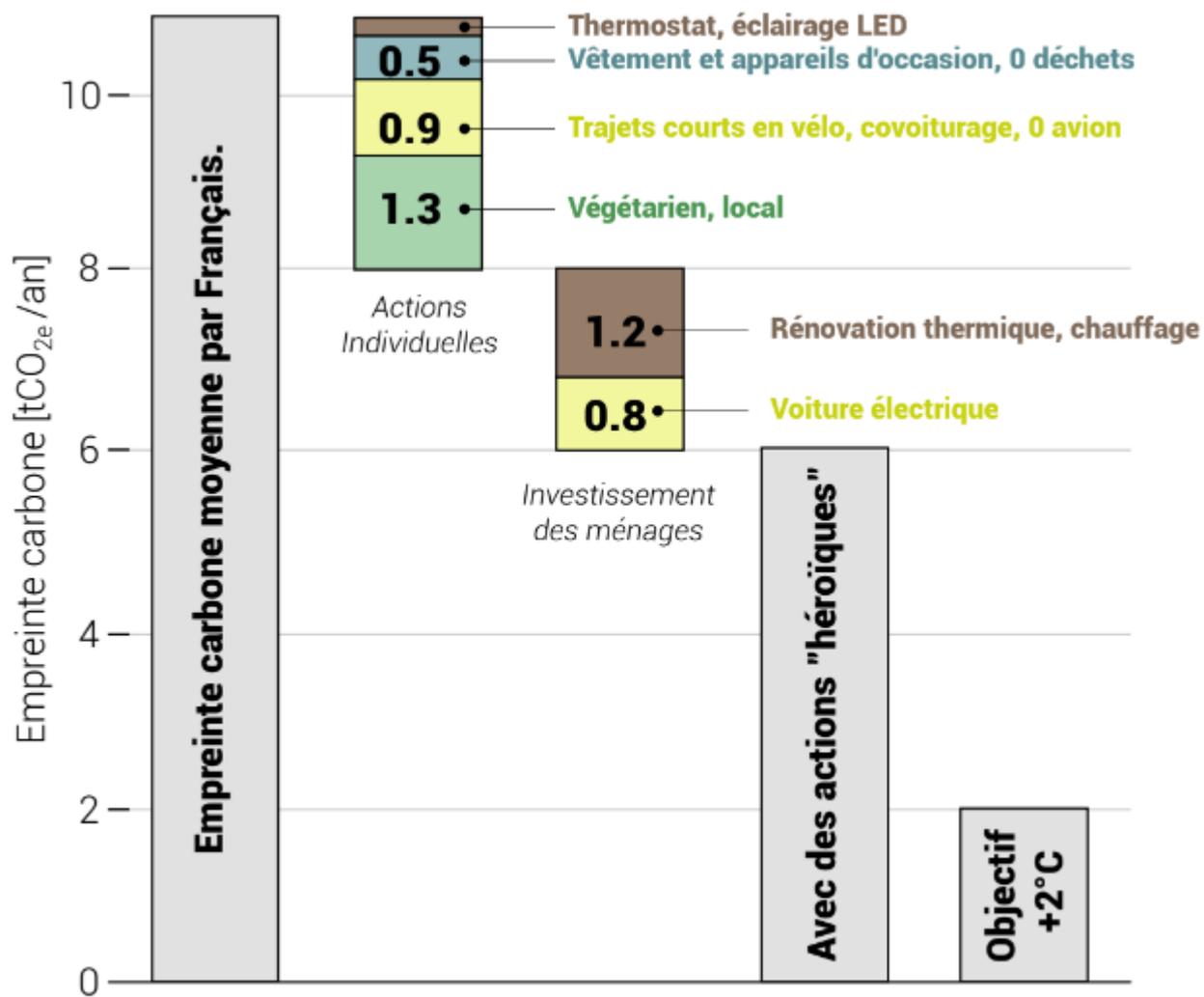
Empreinte carbone des Français

Kg eq CO₂/an



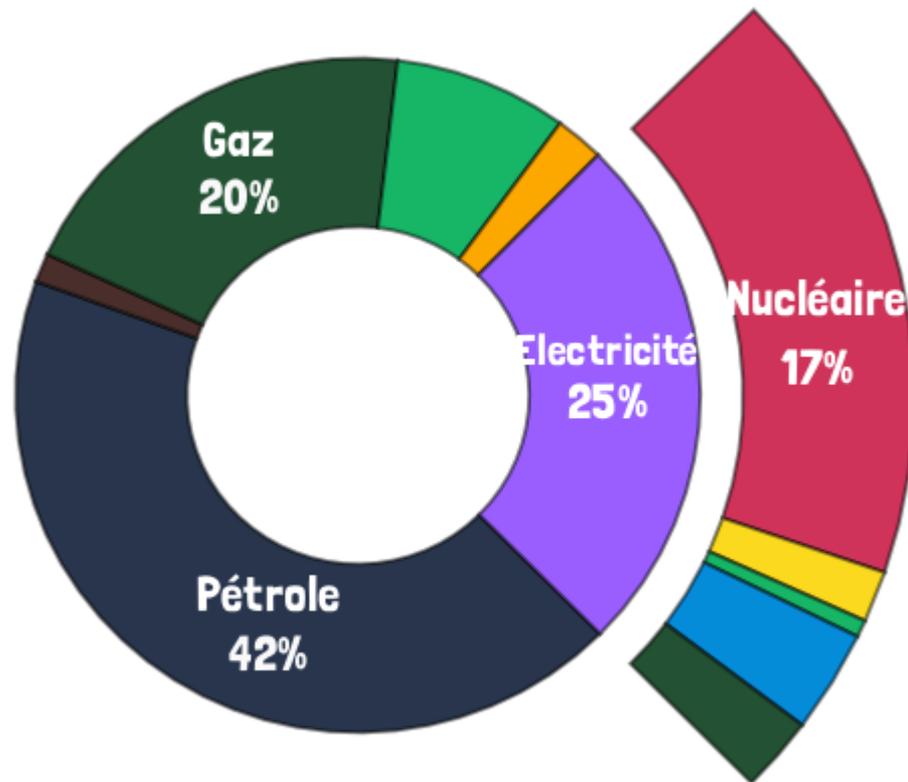
12 092 kg/an





Source : "Faire sa part ?"; Carbone 4.

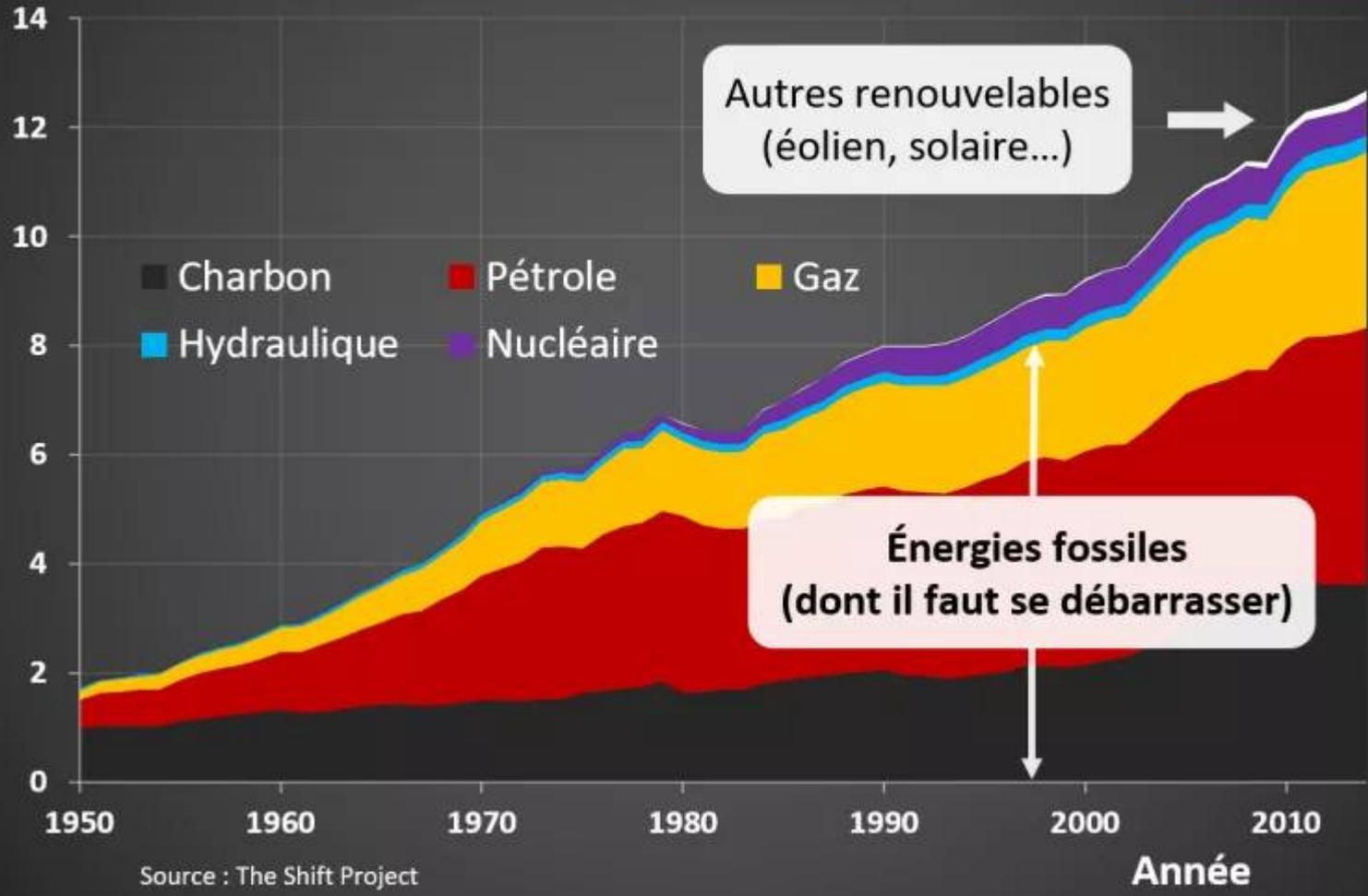
Énergie finale en France (2017) :



Source : IEA, RTE

Production mondiale d'énergie primaire

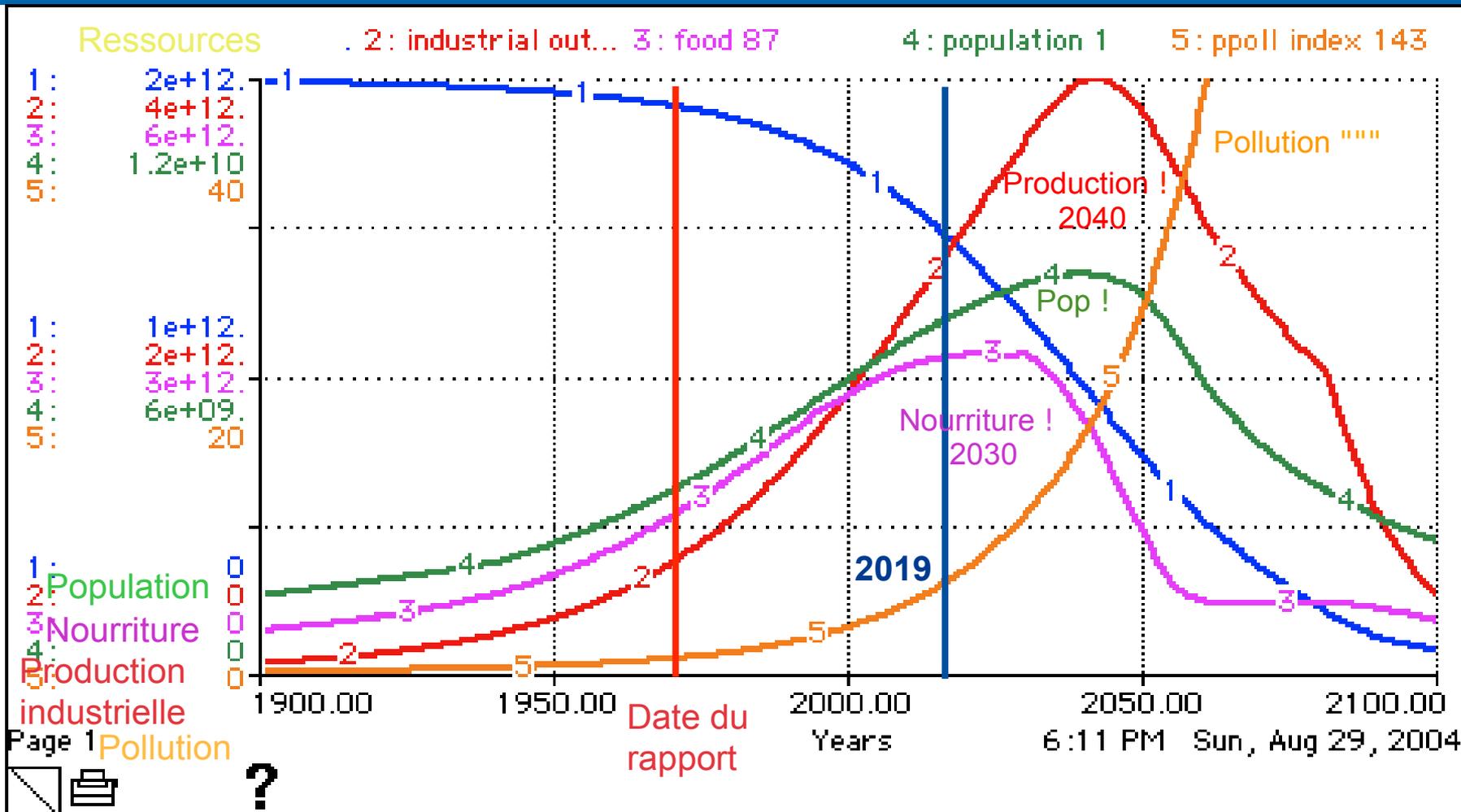
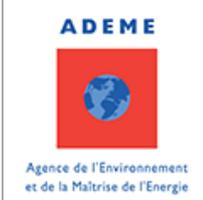
(hors bois) en milliards de tonnes équivalent pétrole



Source : The Shift Project

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.

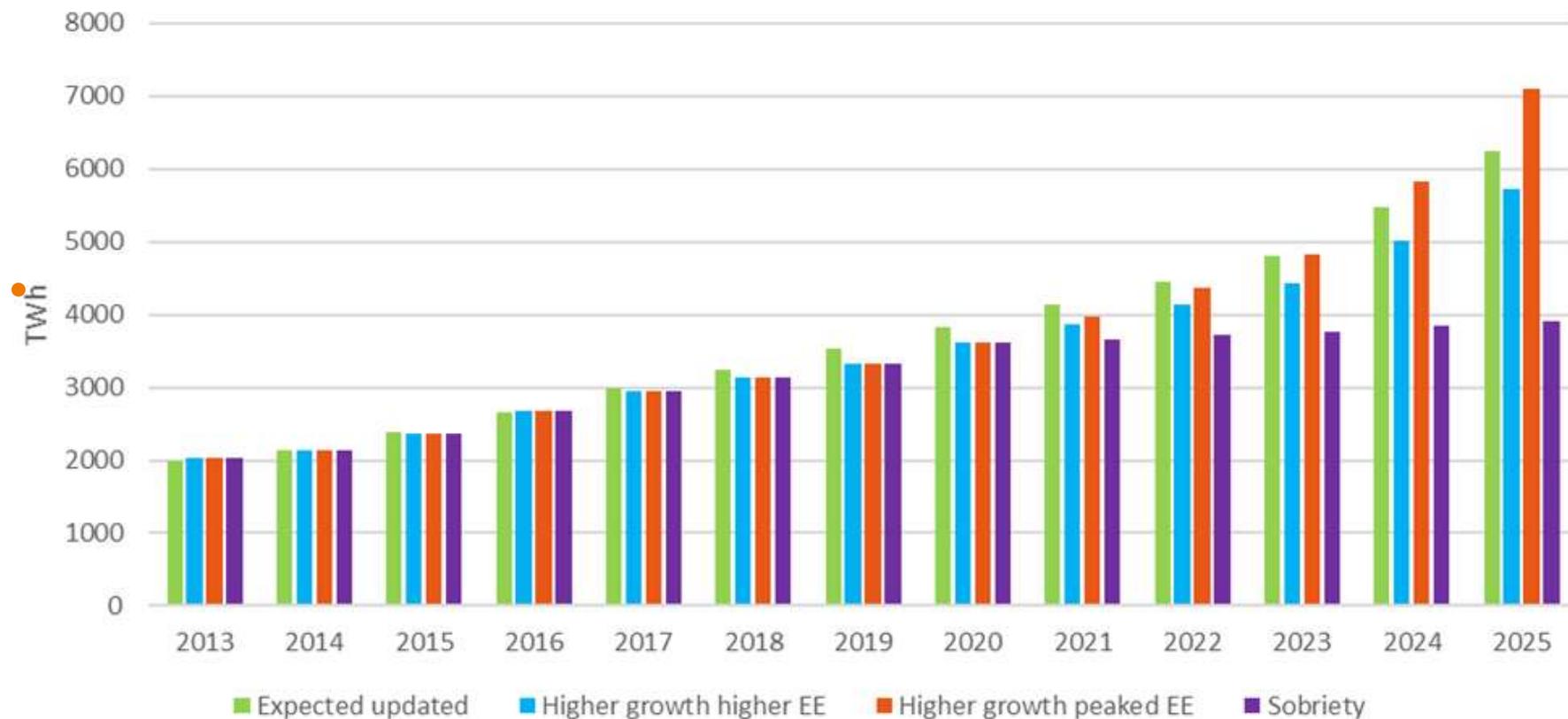


Le Monde Merveilleux du Numérique



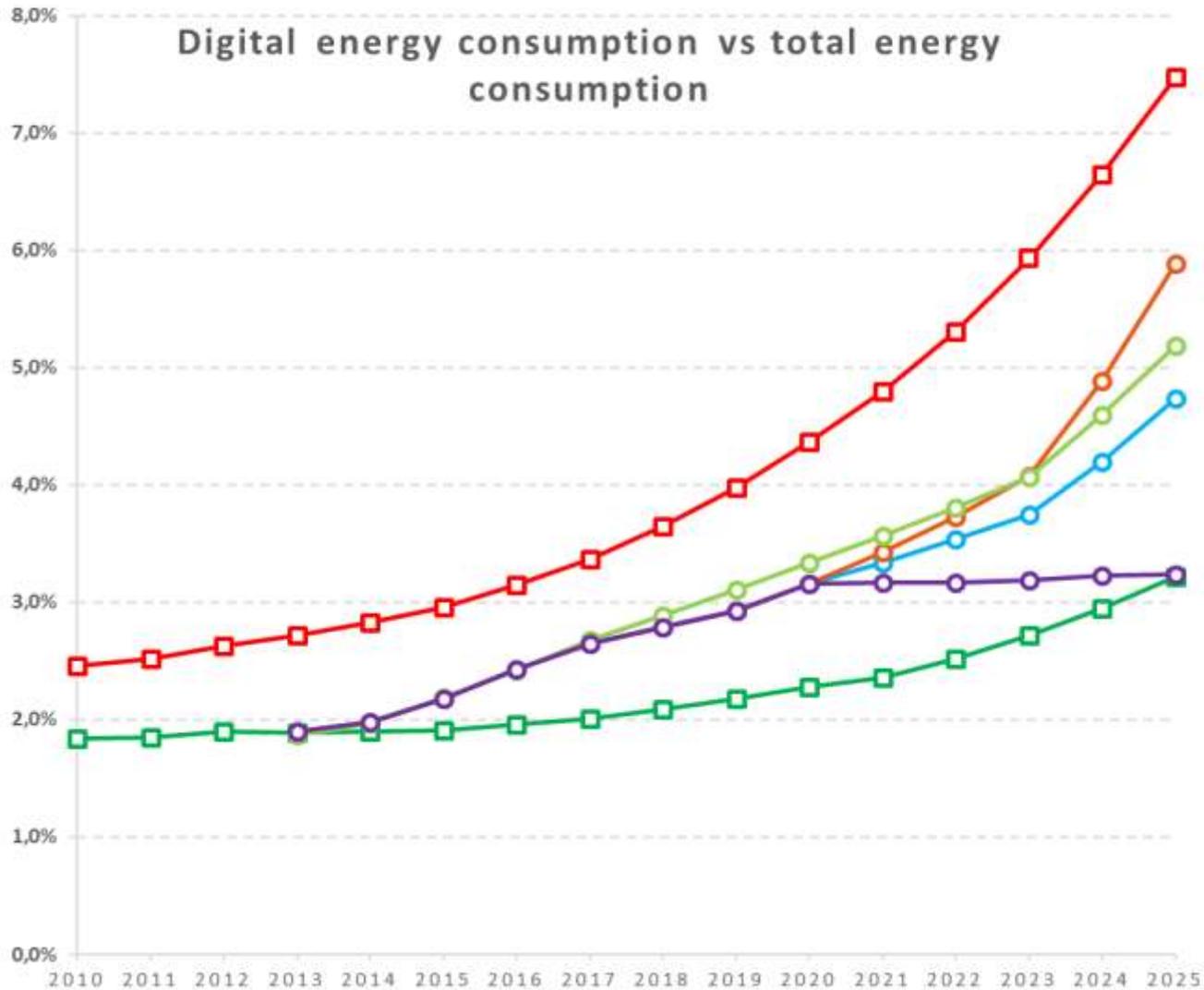
Un triplement en 10 ans (?)

Digital energy consumption

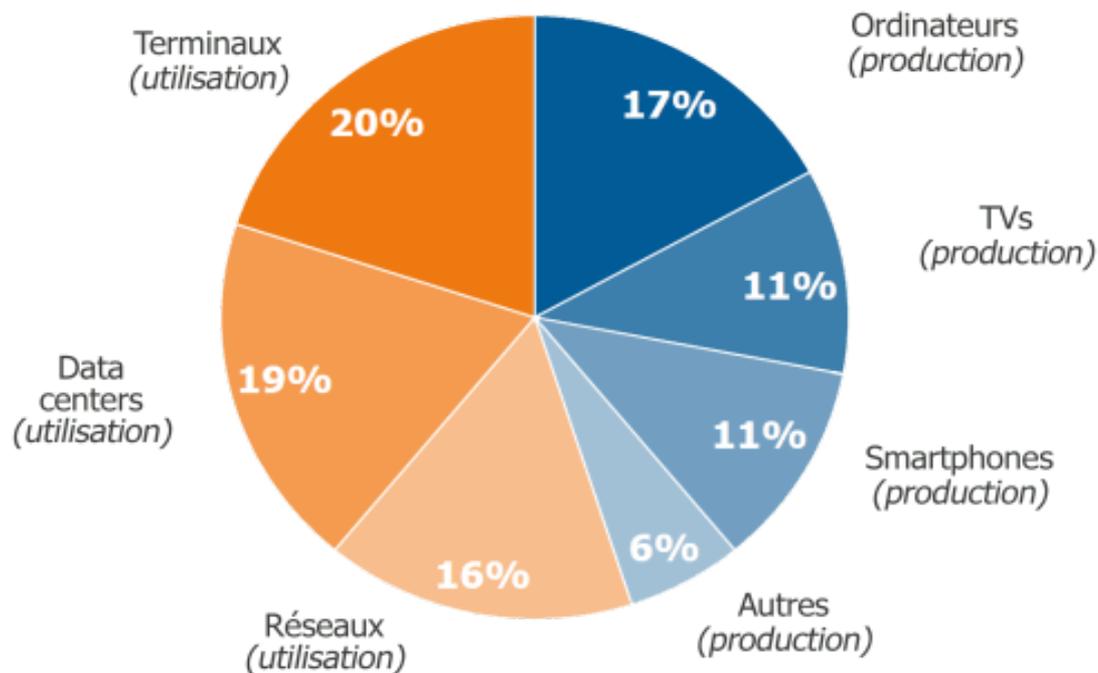


NB : 2017 : Électricité tous usages = 21000 TWh

- [Andrae&Edler-2015] WORST CASE
- [Andrae&Edler-2015] EXPECTED
- [TSP-2018] HIGHER GROWTH HIGHER EE
- [TSP-2018] SUPERIOR GROWTH PEAKED EE
- [TSP-2018] EXPECTED UPDATED
- [TSP-2018] SOBRIETY



Les postes de consommation

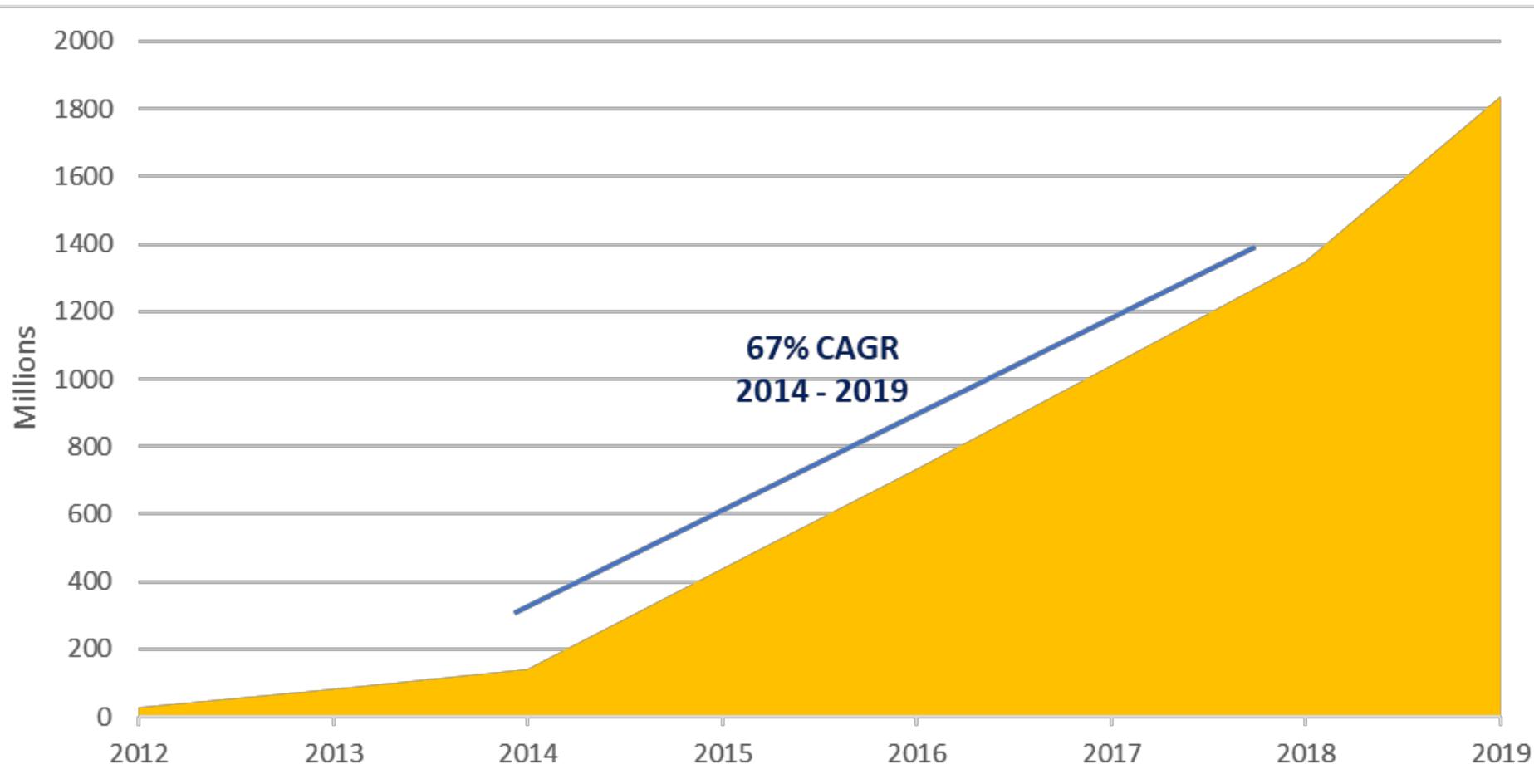


Distribution de la consommation énergétique du numérique par poste pour la **production (45 %) et l'**utilisation** (55 %) en 2017**

[Source : Lean ICT, The Shift Project 2018]

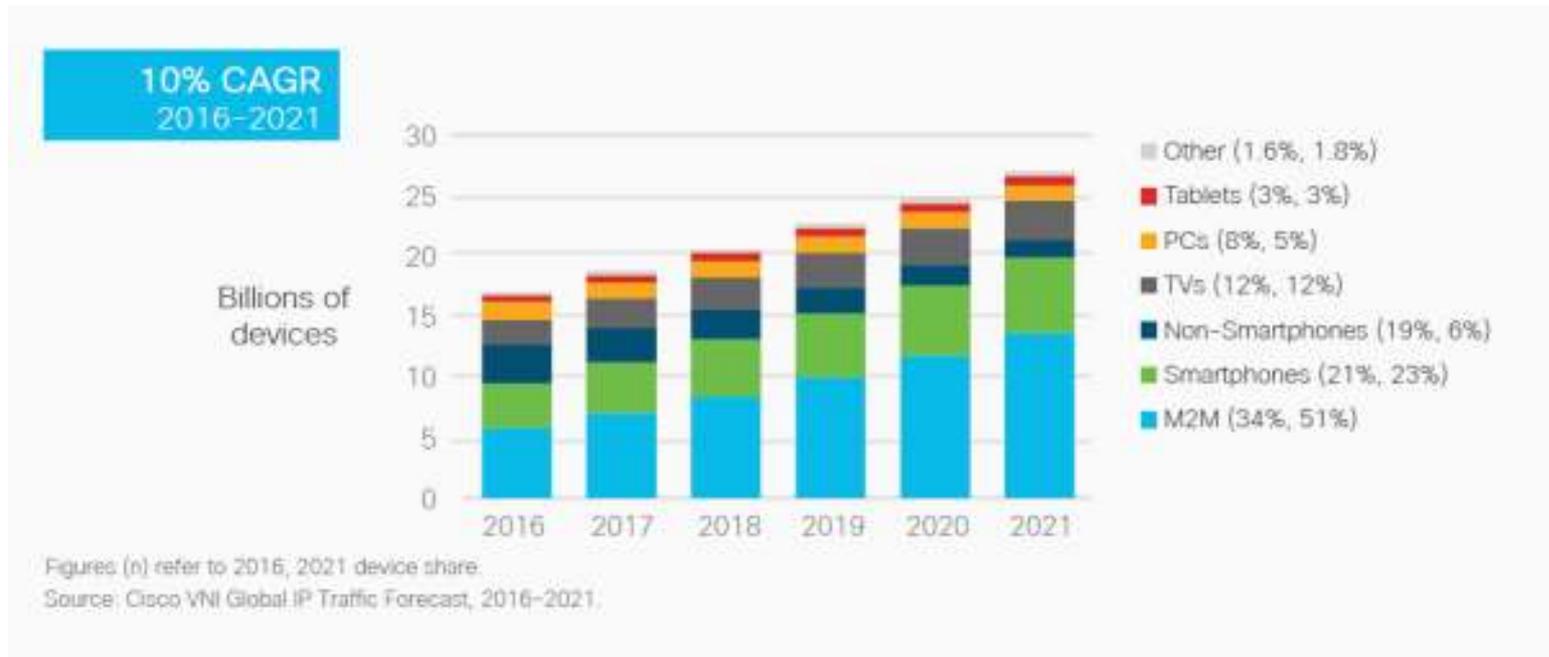
60% = terminaux et périphériques dont 2/3 pour la production

Toujours plus de terminaux



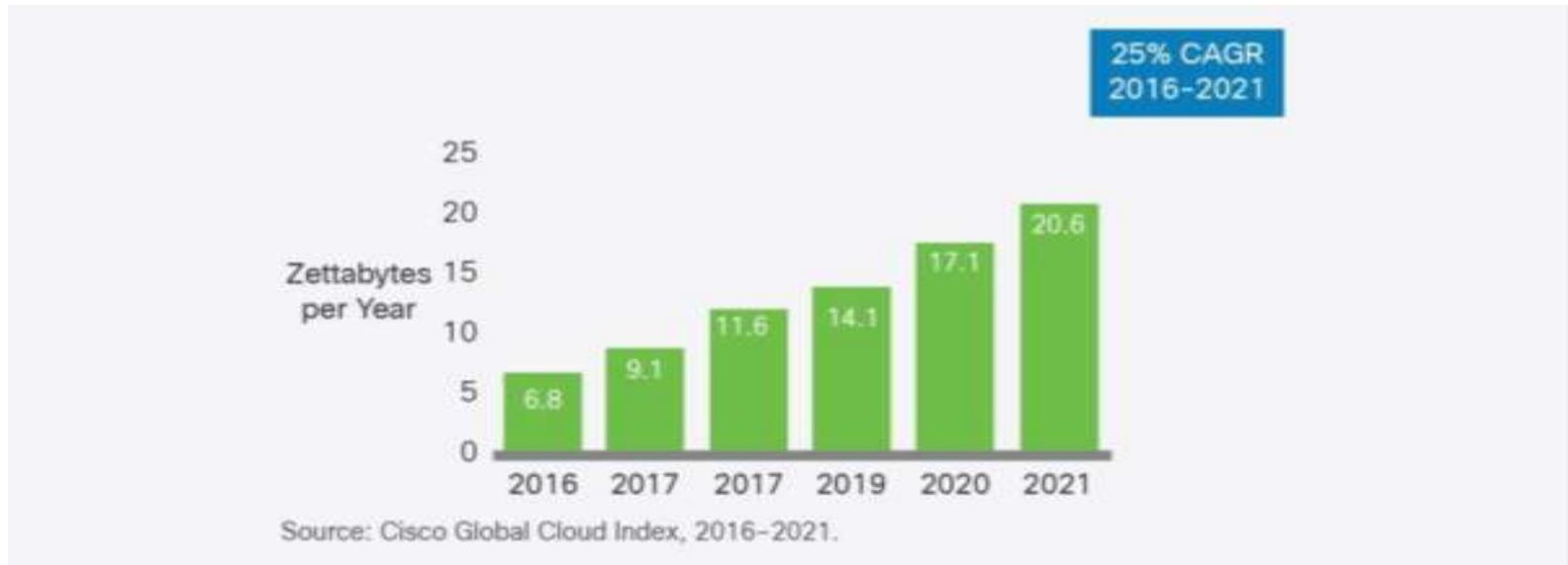
Livraisons d'équipements domestiques connectés (pays OCDE)

Évolution du parc de terminaux



M2M = machine to machine

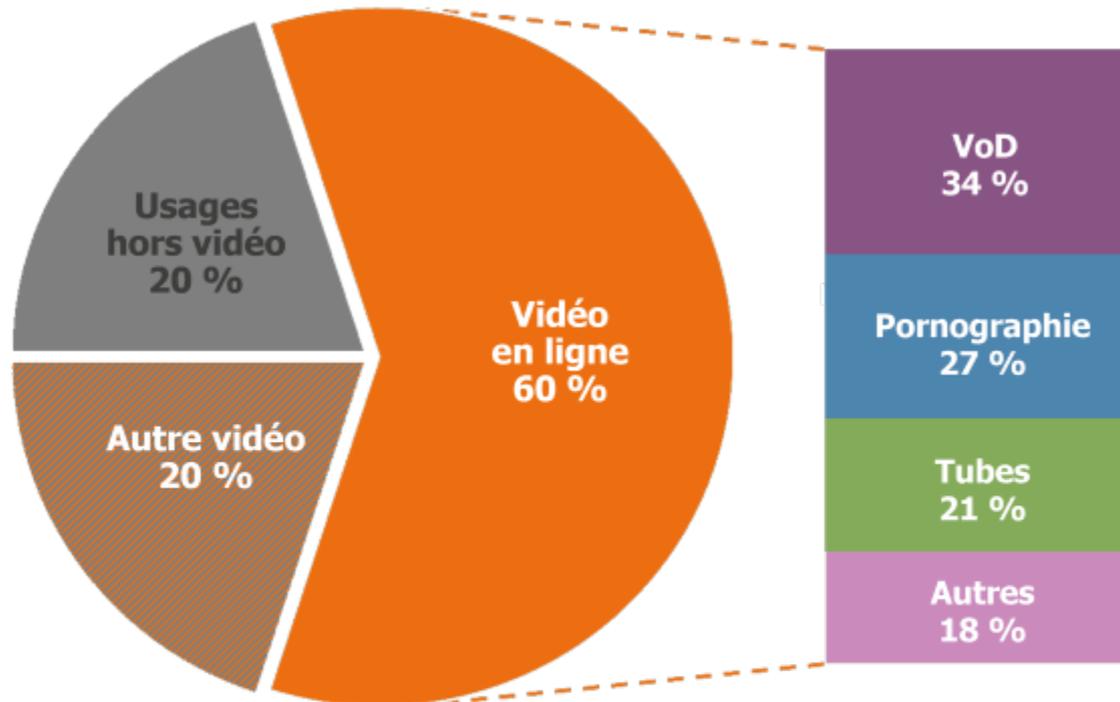
Évolution du trafic des data centers et des réseaux



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

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

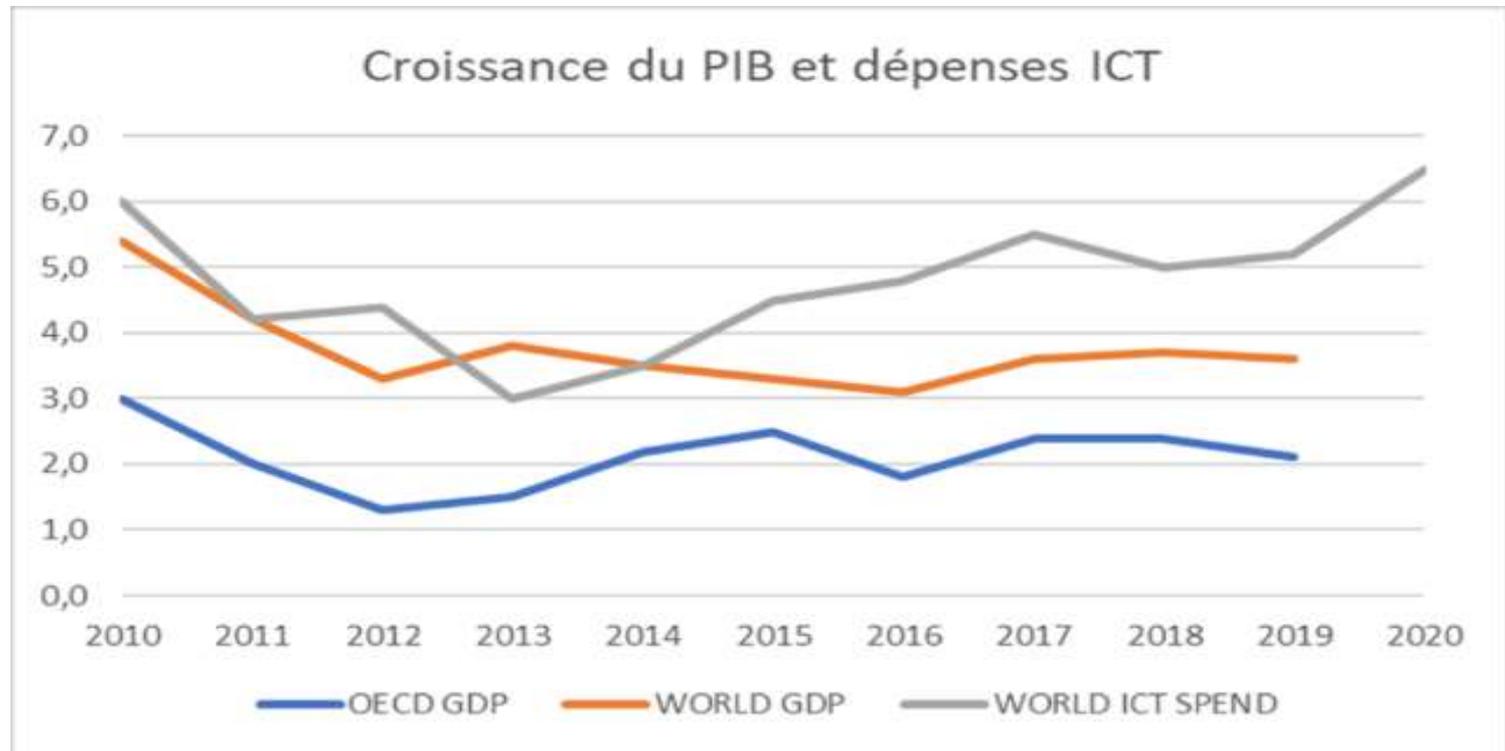
Les usages du Numérique



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

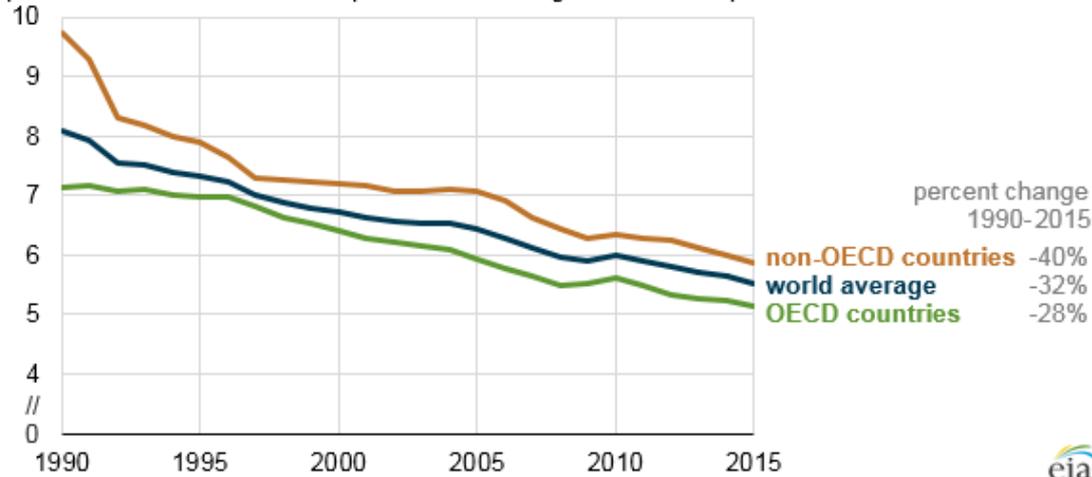
Numérique

Croissance annuelle consommation énergétique : + 9%

Croissance annuelle CA : + 5 %

Dégradation intensité énergétique ~ -4% par an

World energy intensity, 1990-2015
quadrillion British thermal units per trillion dollars gross domestic product

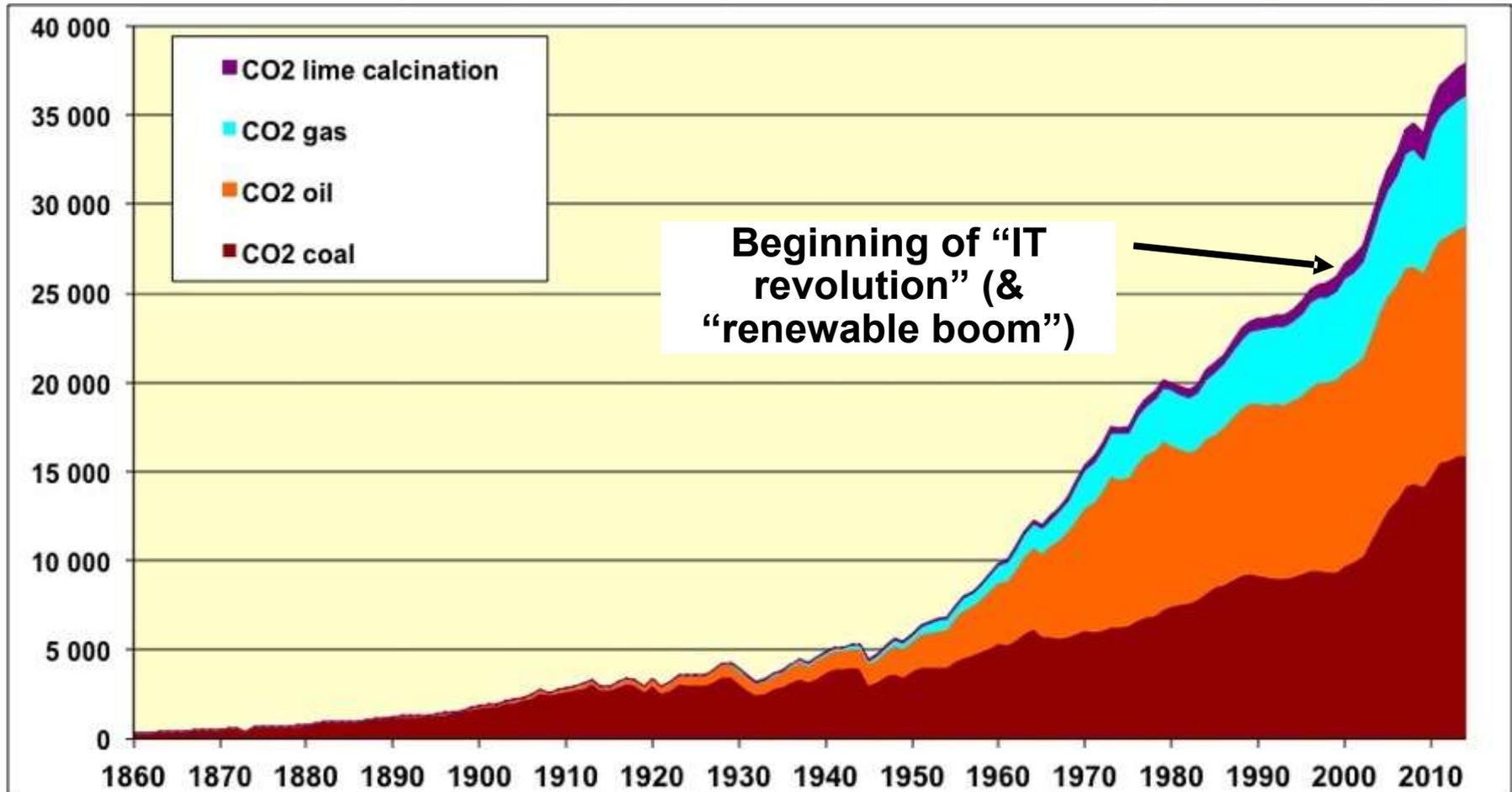


En comparaison, PIB mondial :

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 ?



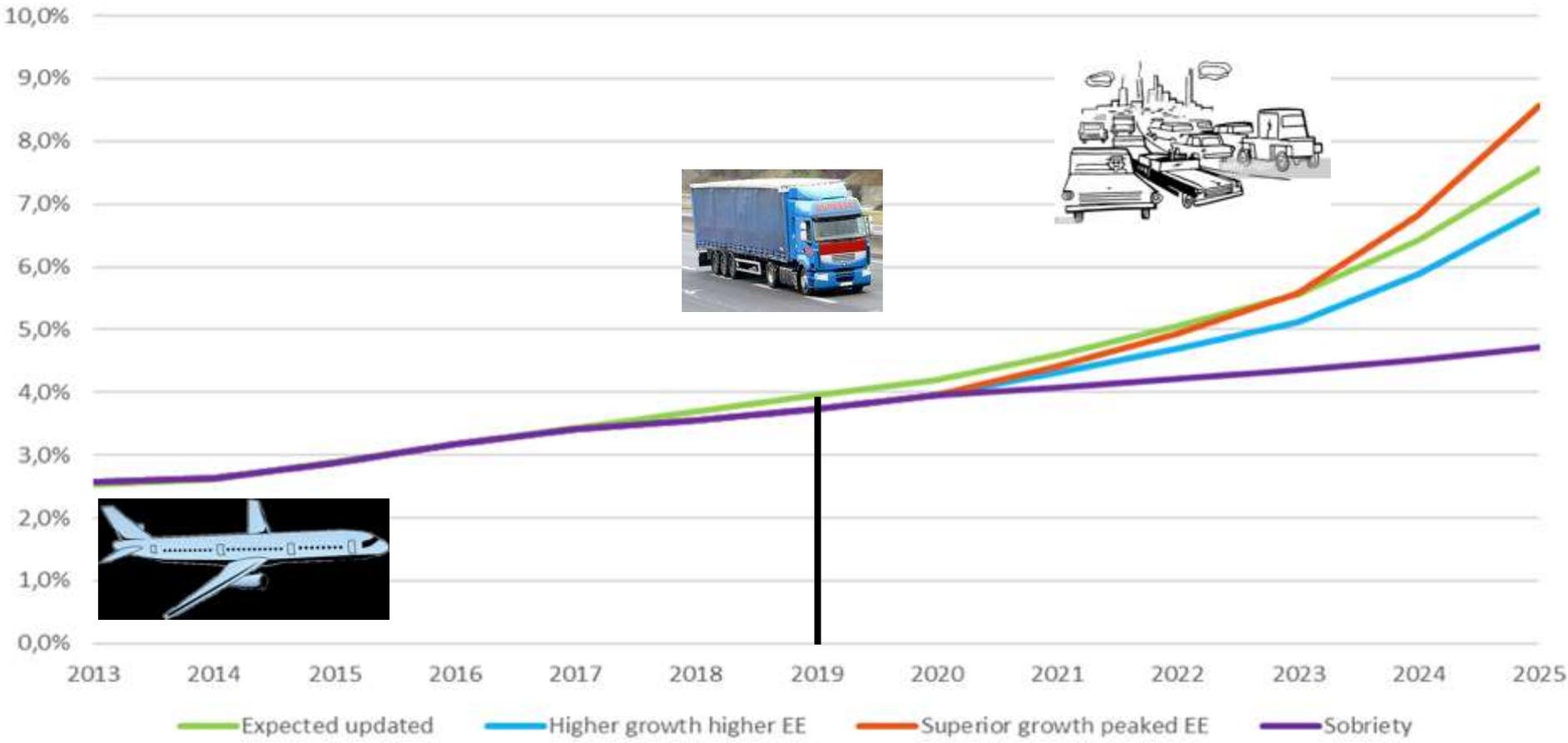
CO2 emissions since 1860. Jancovici, on primary data from Shilling et al, and BP Statistical Review.

Dematerialized, uh?

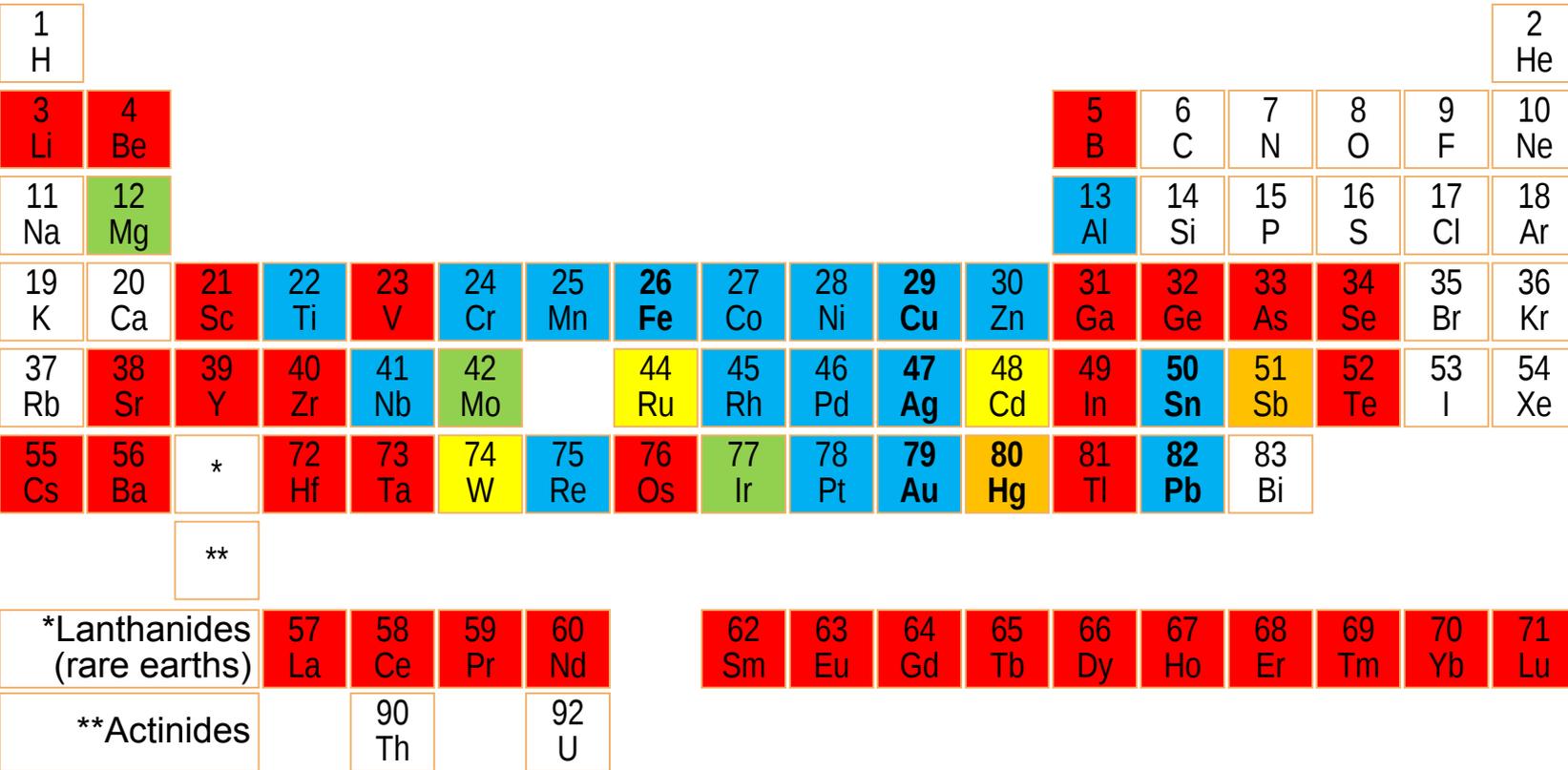


Faster than air travel !

Digital share of GHG emissions



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



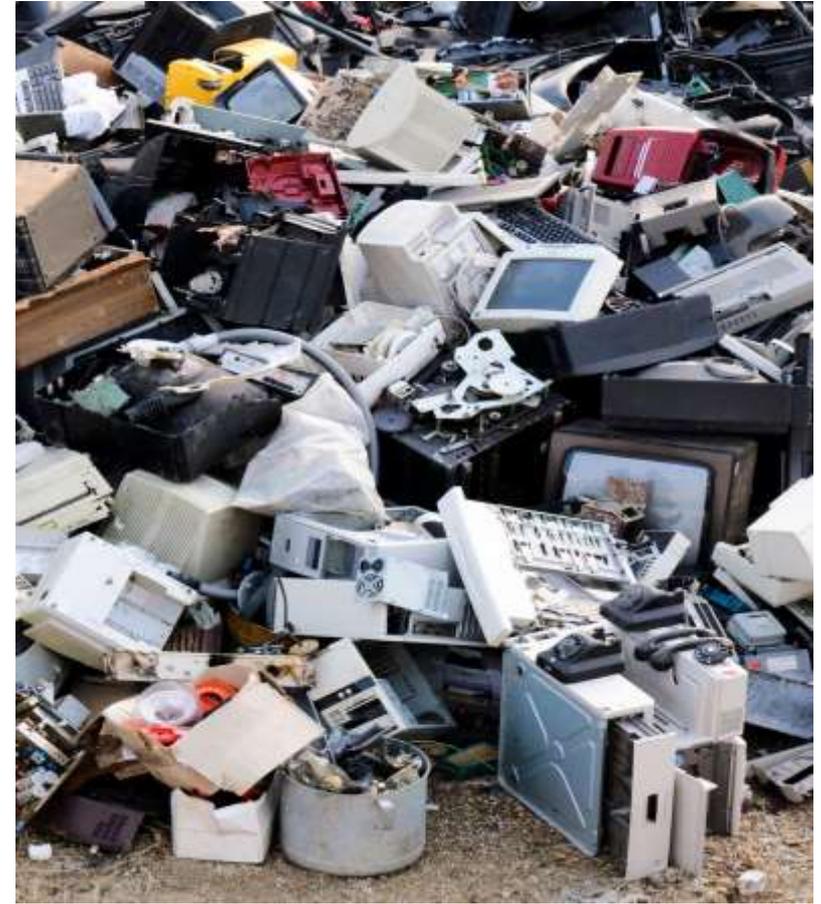
Recycling rate of metals



Source : UNEP / Recycling rates of metals 2011



You wouldn't want the life expectancy of a smartphone





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 CO₂

Physiologique

1 392 kg 11.51%

En kg CO₂ eq/an
ravijen.fr

QUESTIONS ?