

Énergie et humanité



Roland Lehoucq
CEA Paris - Saclay
Président de l'AFPER

Qu'est-ce que l'énergie ?

Nous avons besoin d'énergie.

Nous produisons de l'énergie.

Il faut économiser l'énergie.

Nos aliments contiennent de l'énergie (d'ailleurs c'est indiqué sur la boîte...).

Dans le langage courant, le mot « énergie » désigne aussi bien la force que la puissance, la vigueur, l'élan, le dynamisme, la volonté, la détermination, ...

L'énergie est l'unité de compte
des transformations de la matière.

Nous transformons la matière et vivons de ces transformations.

L'agent de ces transformations se nomme « interaction » (ou « force »).

L'énergie n'est pas une « chose » en soit,
mais une propriété de la matière en interaction.

Où intervient l'énergie ?

Modification de température



Modification de vitesse



Modification de forme



Modification de luminosité



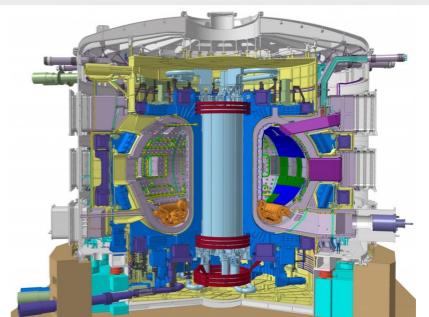
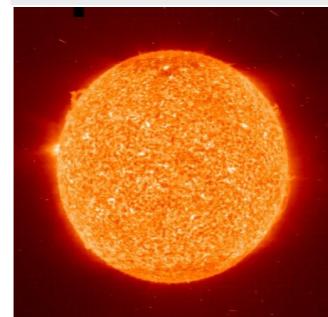
Modification de position dans un champ (électrique, magnétique, gravitationnel)



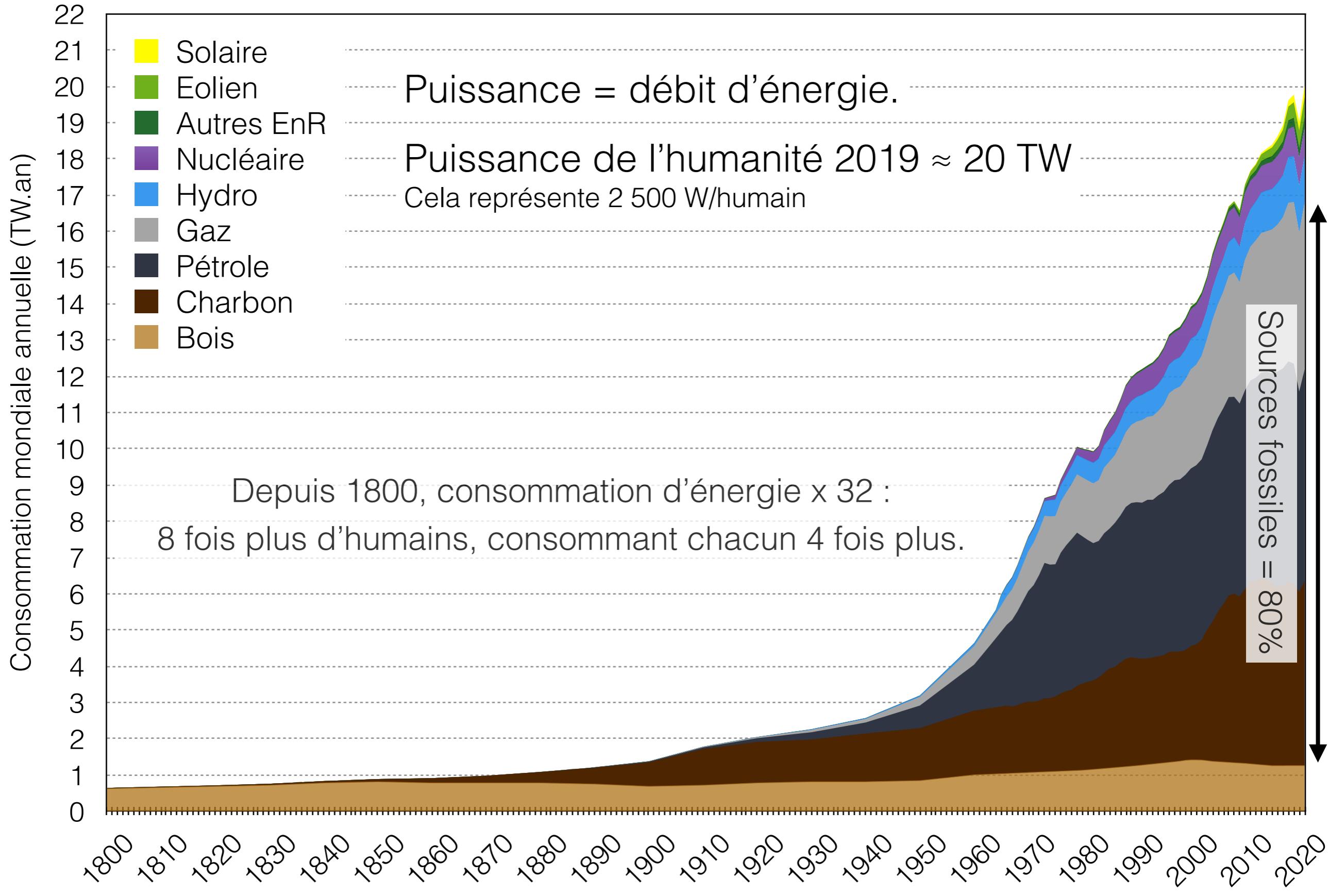
Modification de structure chimique



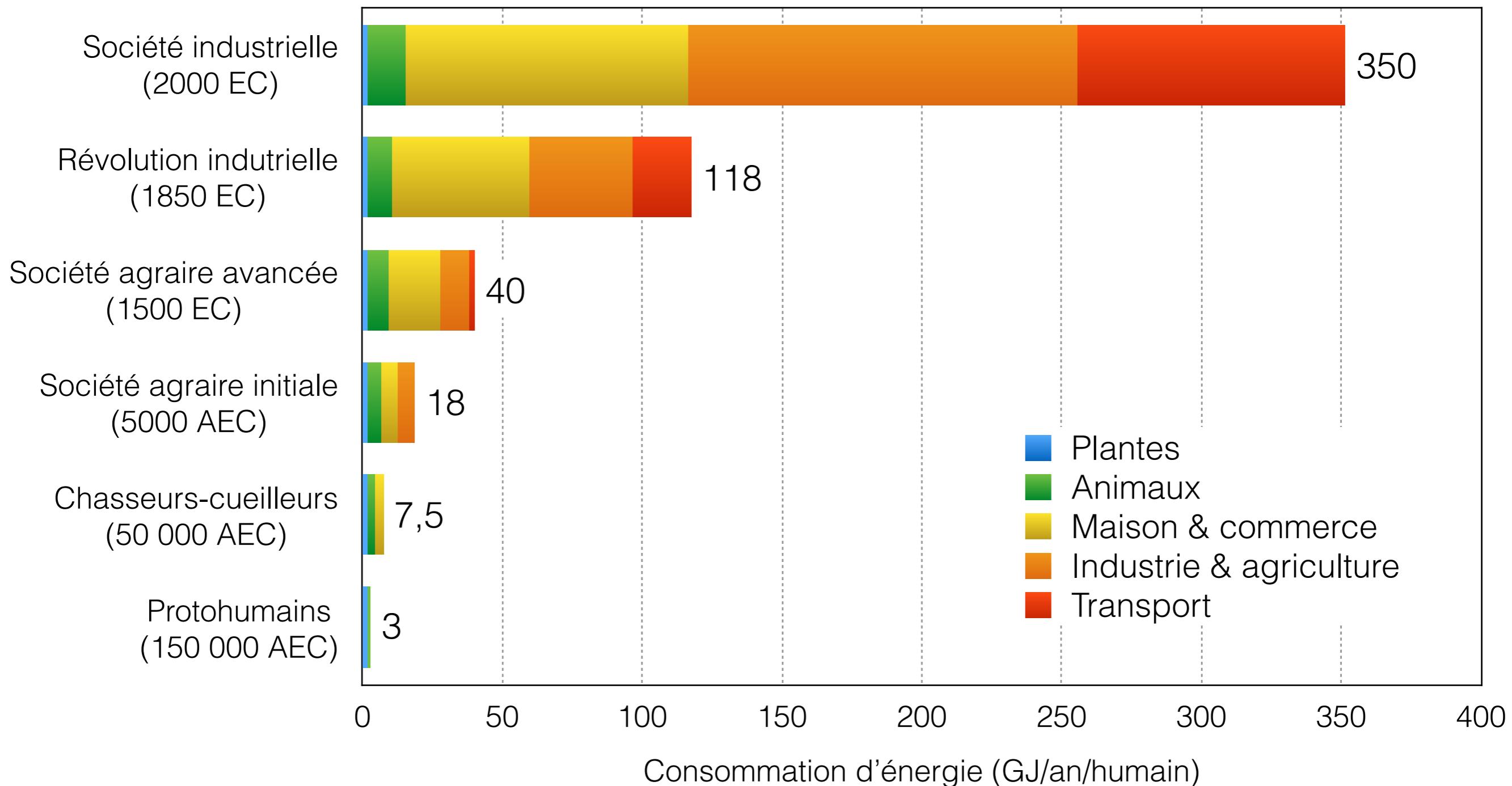
Modification de structure nucléaire



La consommation mondiale d'énergie primaire augmente



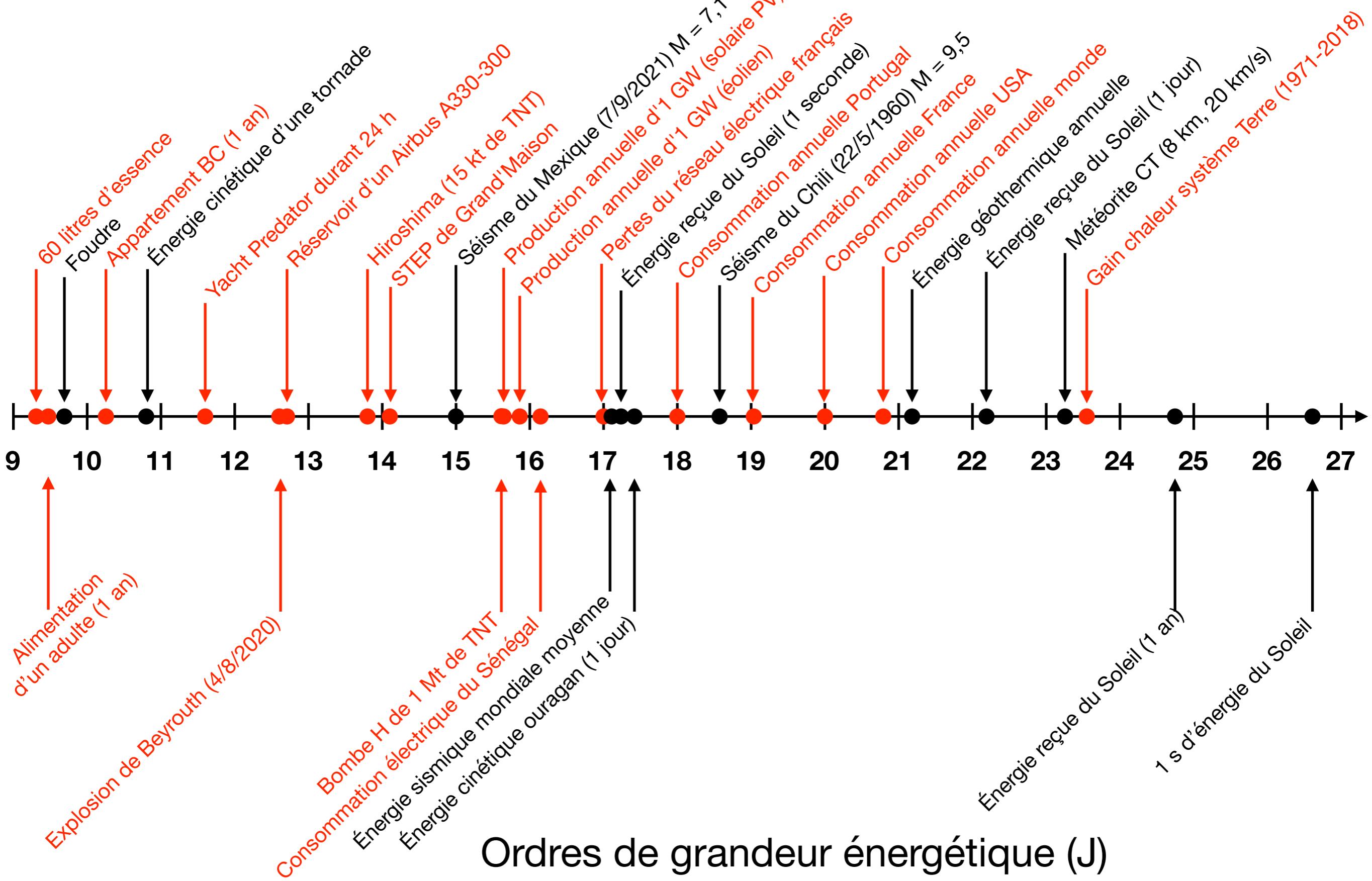
Évolution de la puissance disponible



1 GJ/an = 280 kWh/an = 32 watts

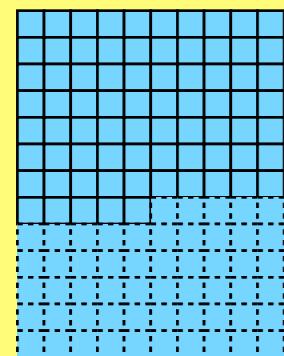
Alimentation d'un humain adulte = 2 000 kcal/jour = 3 GJ/an

L'humanité, « énergie tellurique »



Les ressources sont finies

Flux



Vents 75-130 TW



OTEC 3-11 TW



Biomasse 2-6 TW



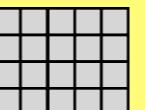
Hydraulique 3-4 TW



Géothermie 0,2-3 TW



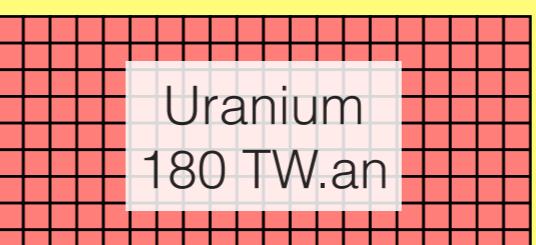
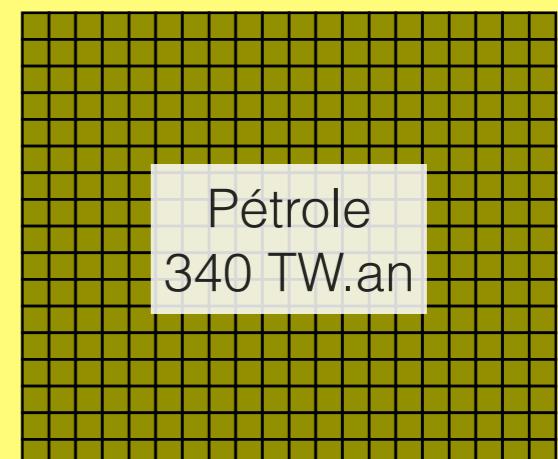
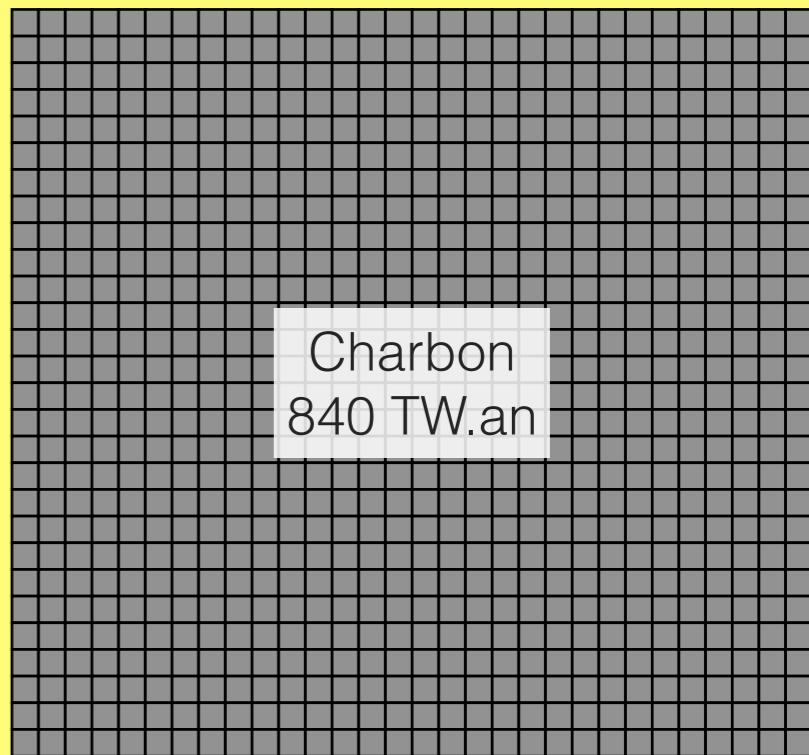
Vagues 0,3 TW



Puissance mondiale = 20 TW
préfixe T = téra = 10^{12}

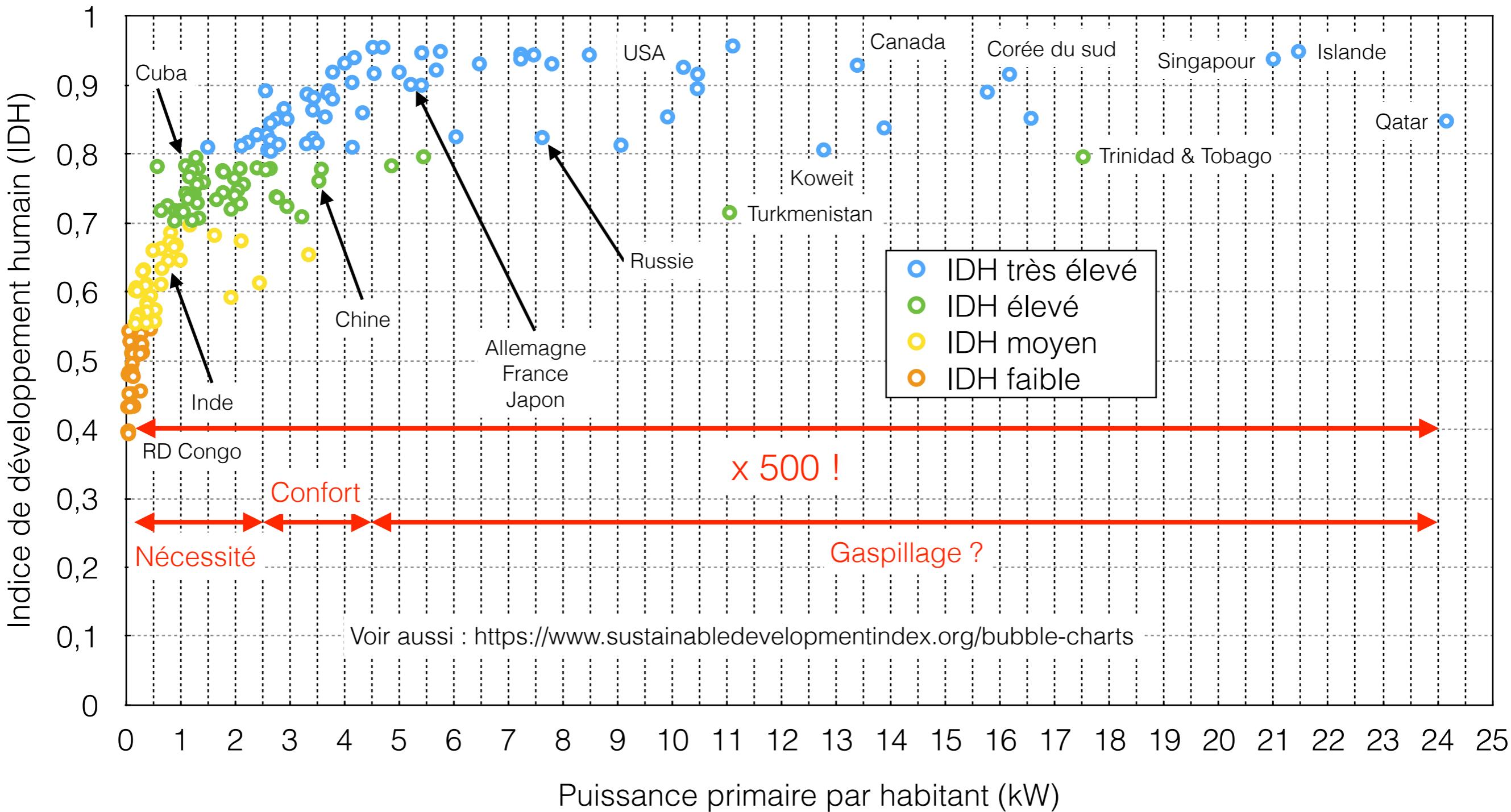
■ 1 TW = 1 TW.an/an

Stock



Développement et énergie

IDH = moyenne de trois indices quantifiant l'espérance de vie à la naissance, la durée moyenne de scolarisation & le niveau de vie.



Data : US Energy Information Administration (<https://www.eia.gov/international/data/world>)

UN World Population Prospect (<http://esa.un.org/unpd/wpp/>)

UN Human Development Reports (<https://hdr.undp.org/en/data>)



Puissance : beaucoup d'humains.



Puissance : 33 chevaux et 5 humains

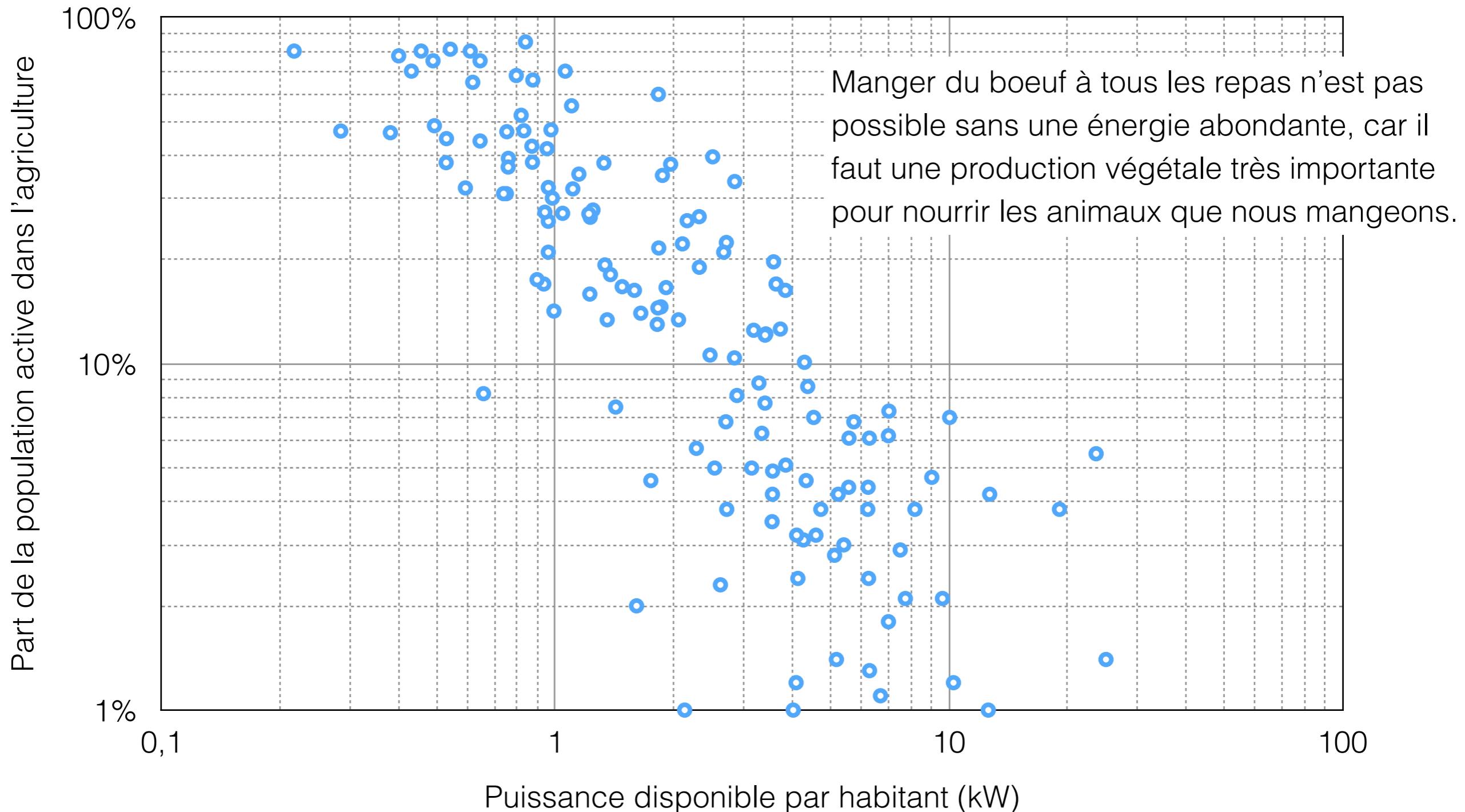
Agriculture

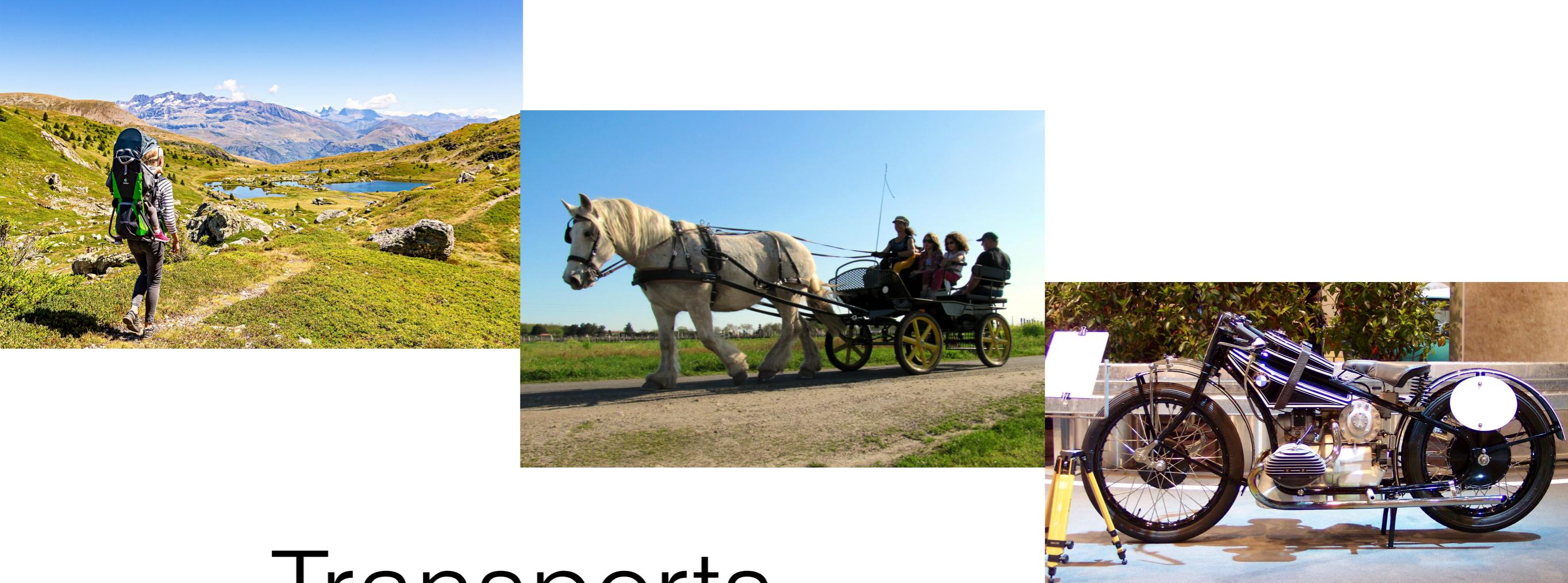


Puissance : 200 ch et 1 humain.

Disposer d'une énergie abondante permet

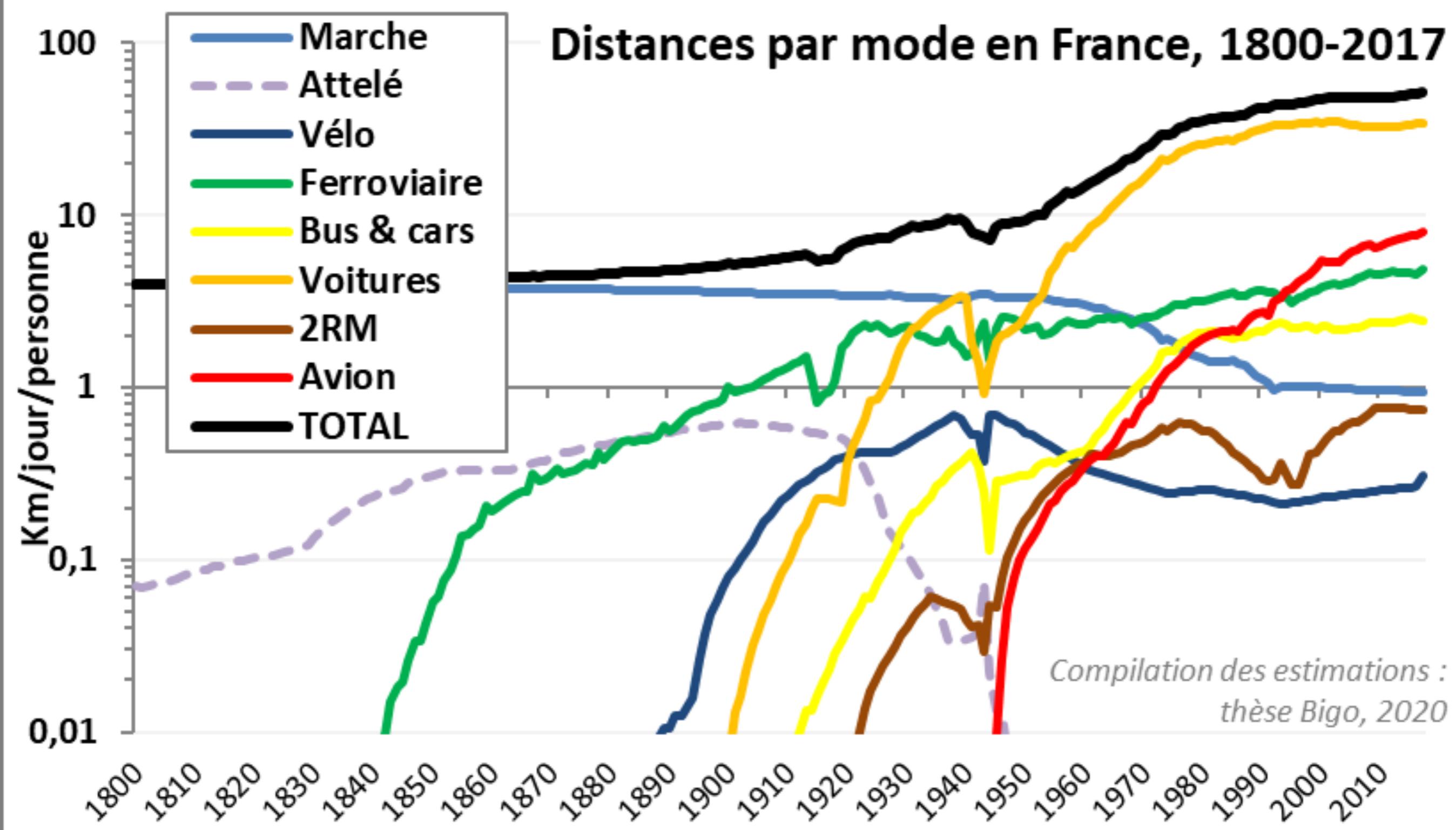
à l'essentiel de la population active de faire autre chose que de l'agriculture !



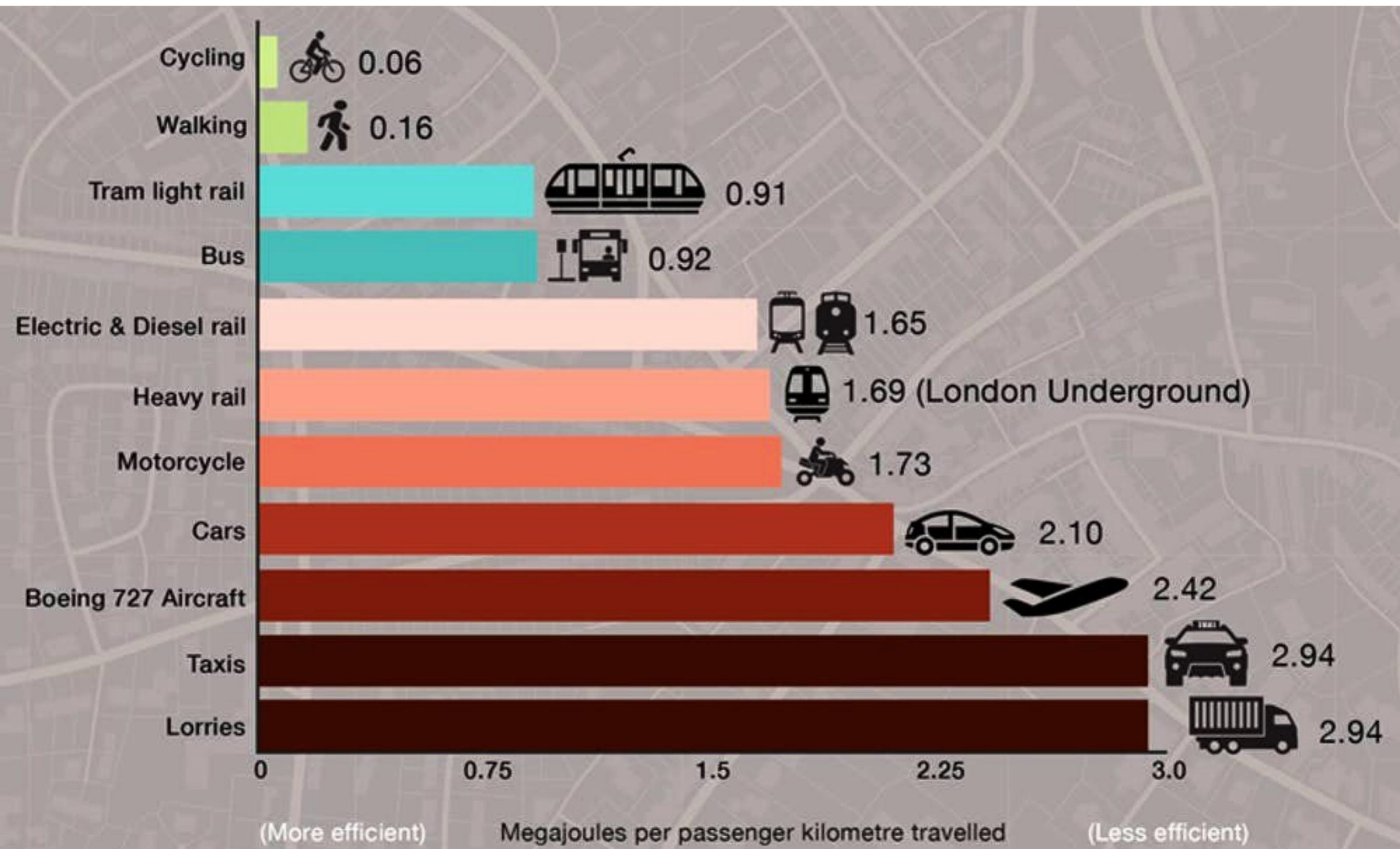


Transports

Évolutions des distances parcourues par personne et par jour, en France

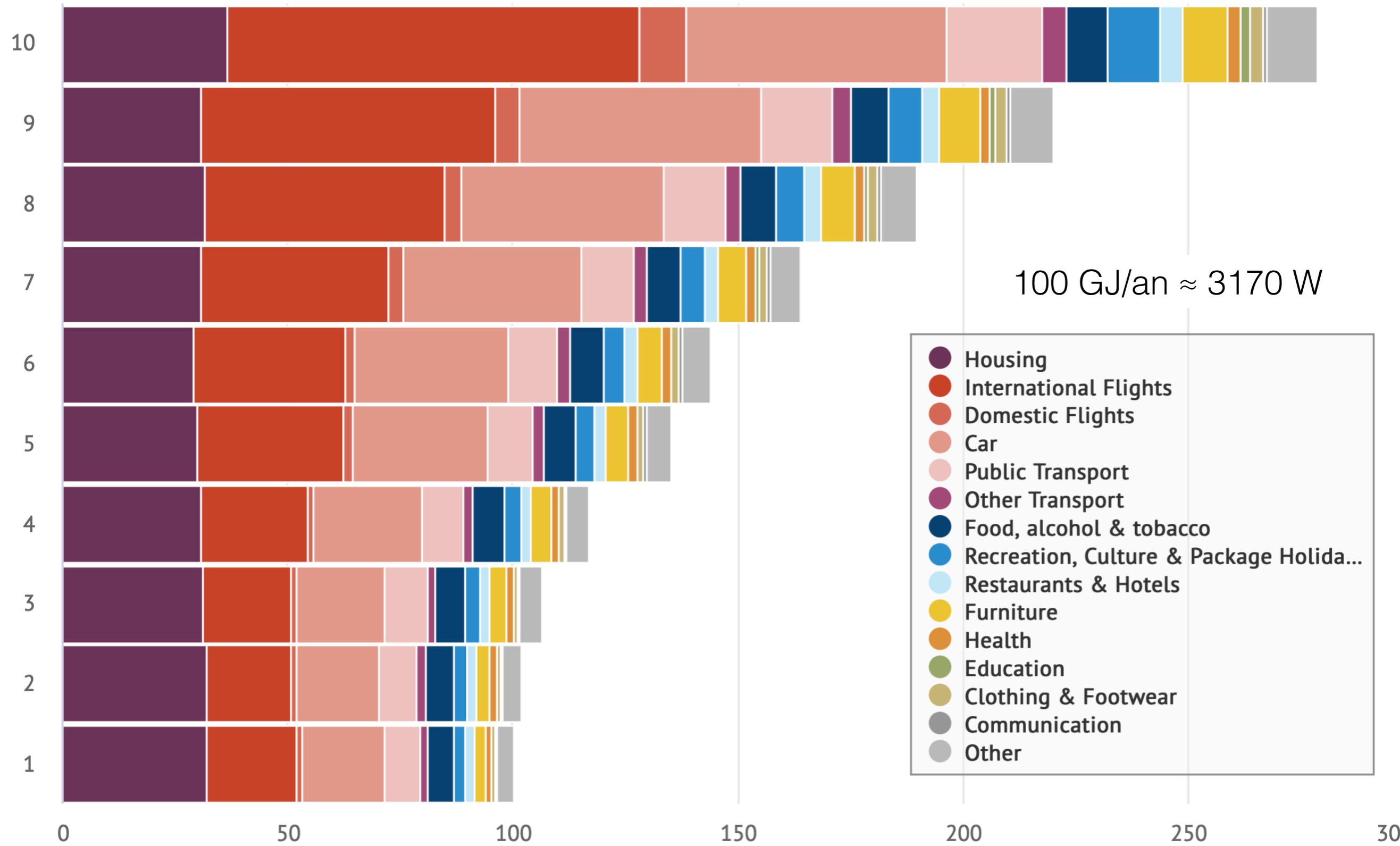


Coût énergétique du transport



Inégalités énergétiques (UK)

Annual energy use per adult equivalent, GJ

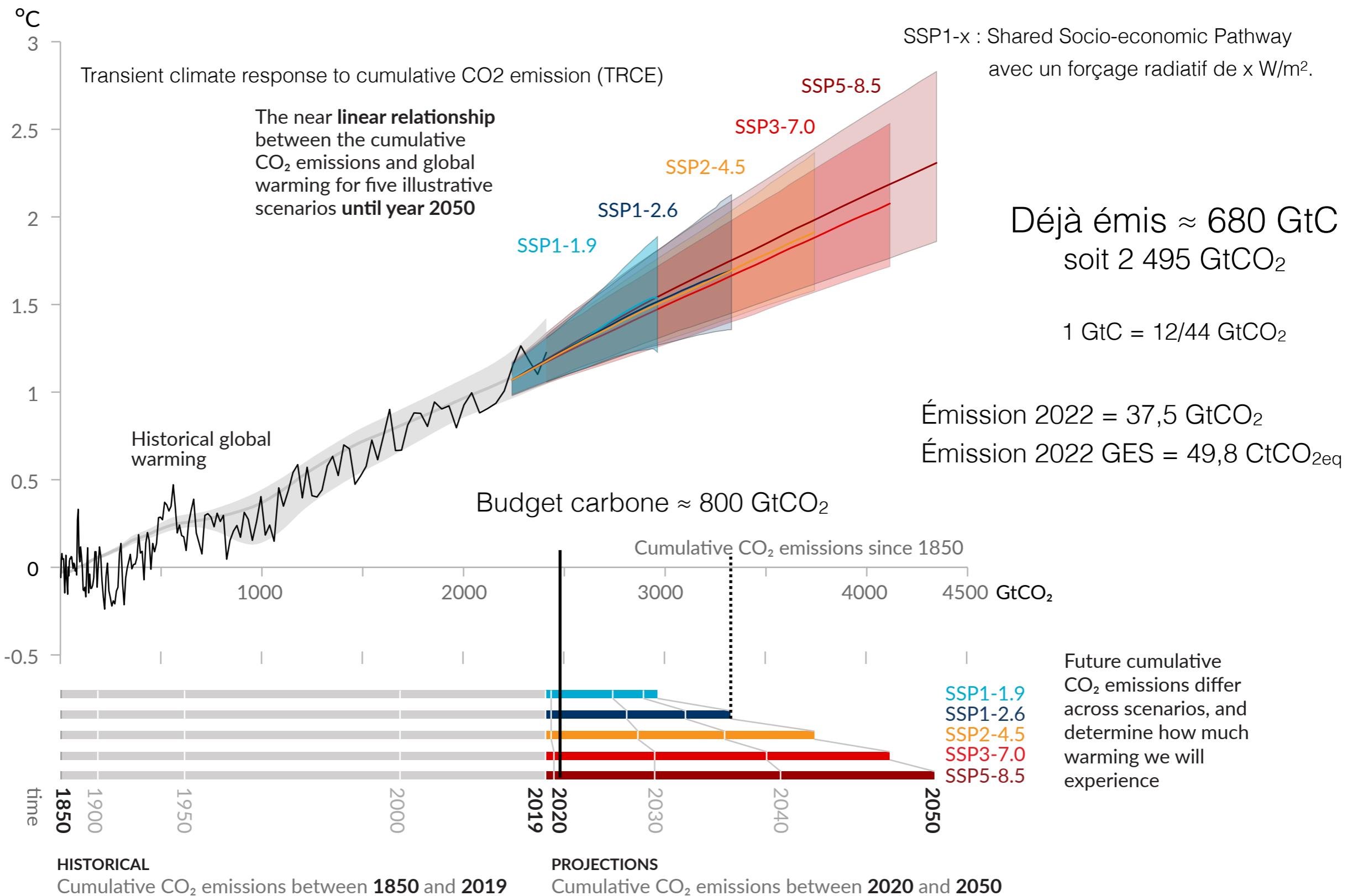


Source : M. Baltrusziewicz et al. Social outcomes of energy use in the United Kingdom.

Ecological economics 295 (2023) ; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800922003470>

La contrainte climatique

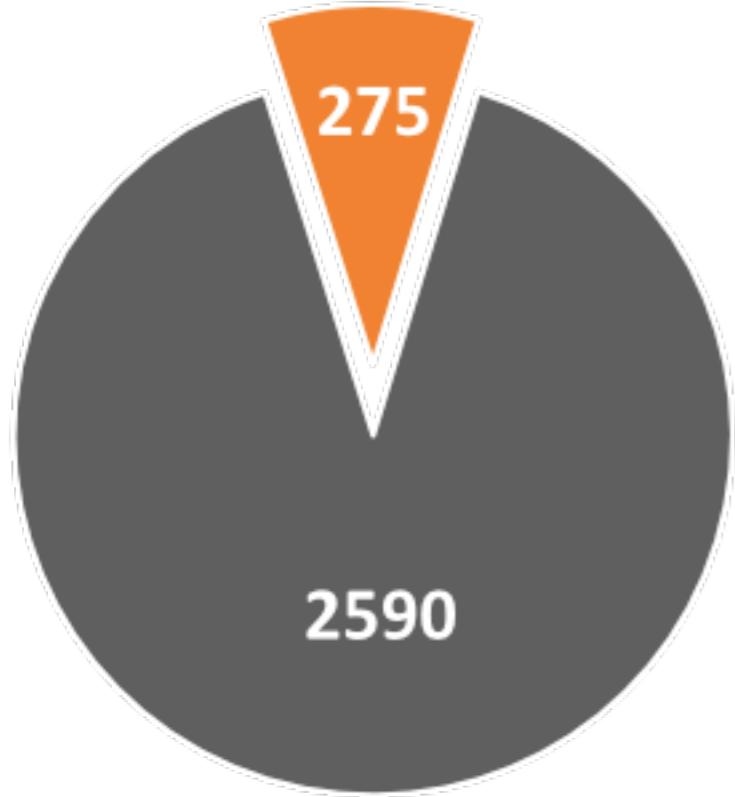
Global surface temperature increase since 1850-1900 ($^{\circ}\text{C}$) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



Budget carbone

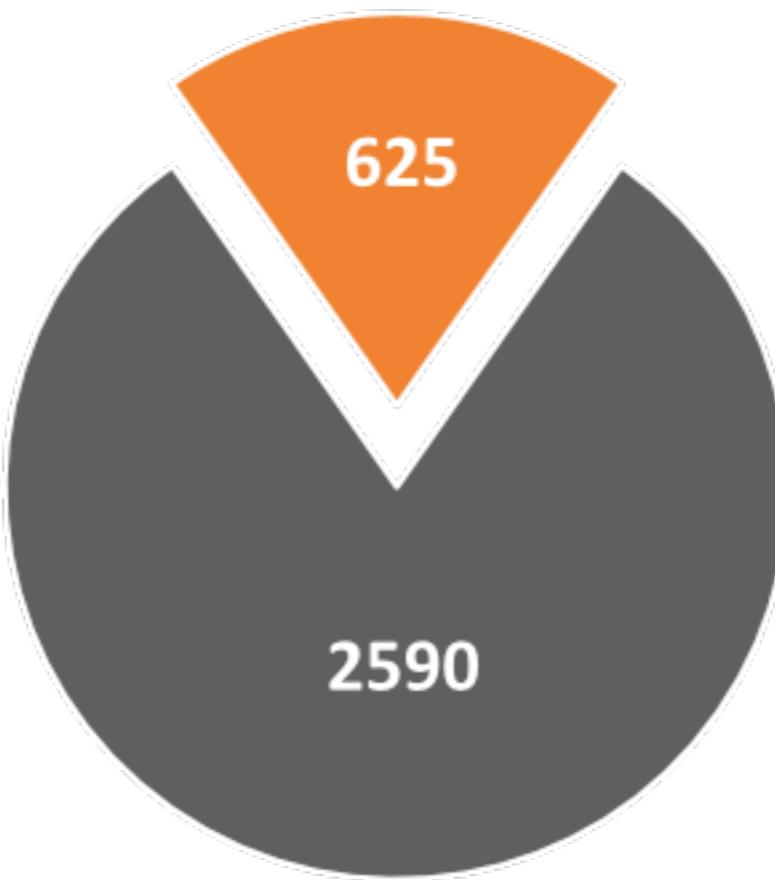
SSP1-1.9

1.5°C
(50% likelihood)



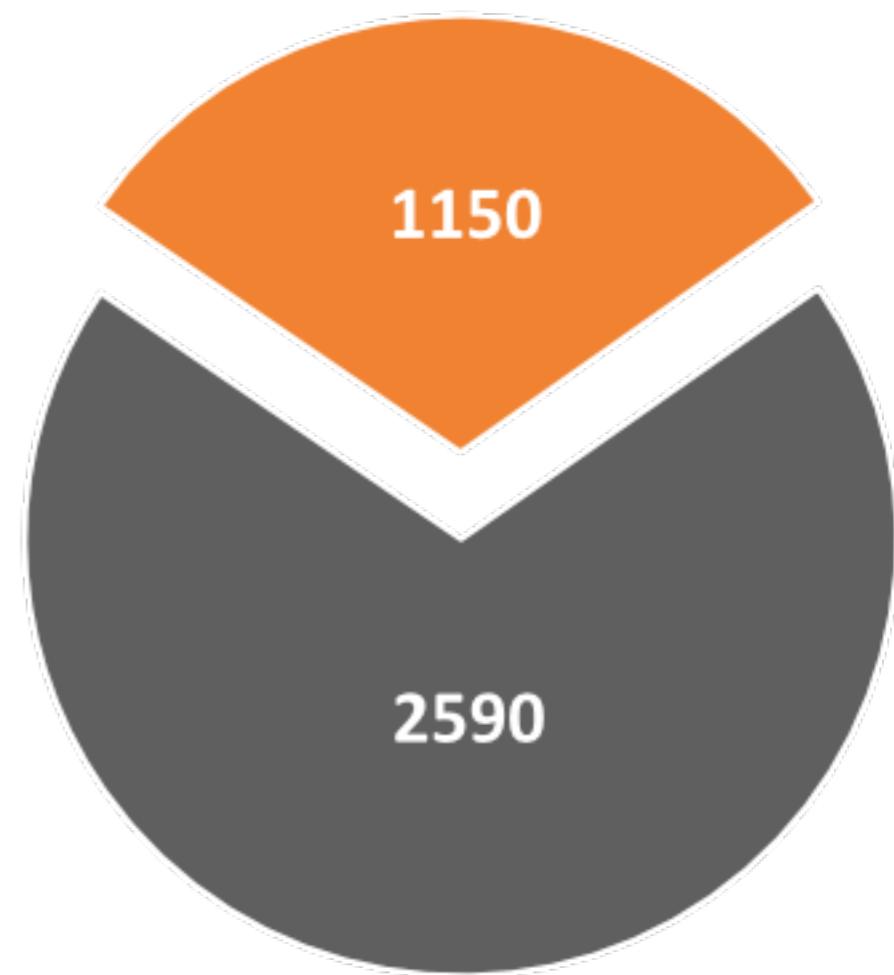
SSP1-2.6

1.7°C
(50% likelihood)



SSP2-4.5

2°C
(50% likelihood)



Gt CO₂ ■ Consumed
■ Remaining

L'identité de Kaya (1997)

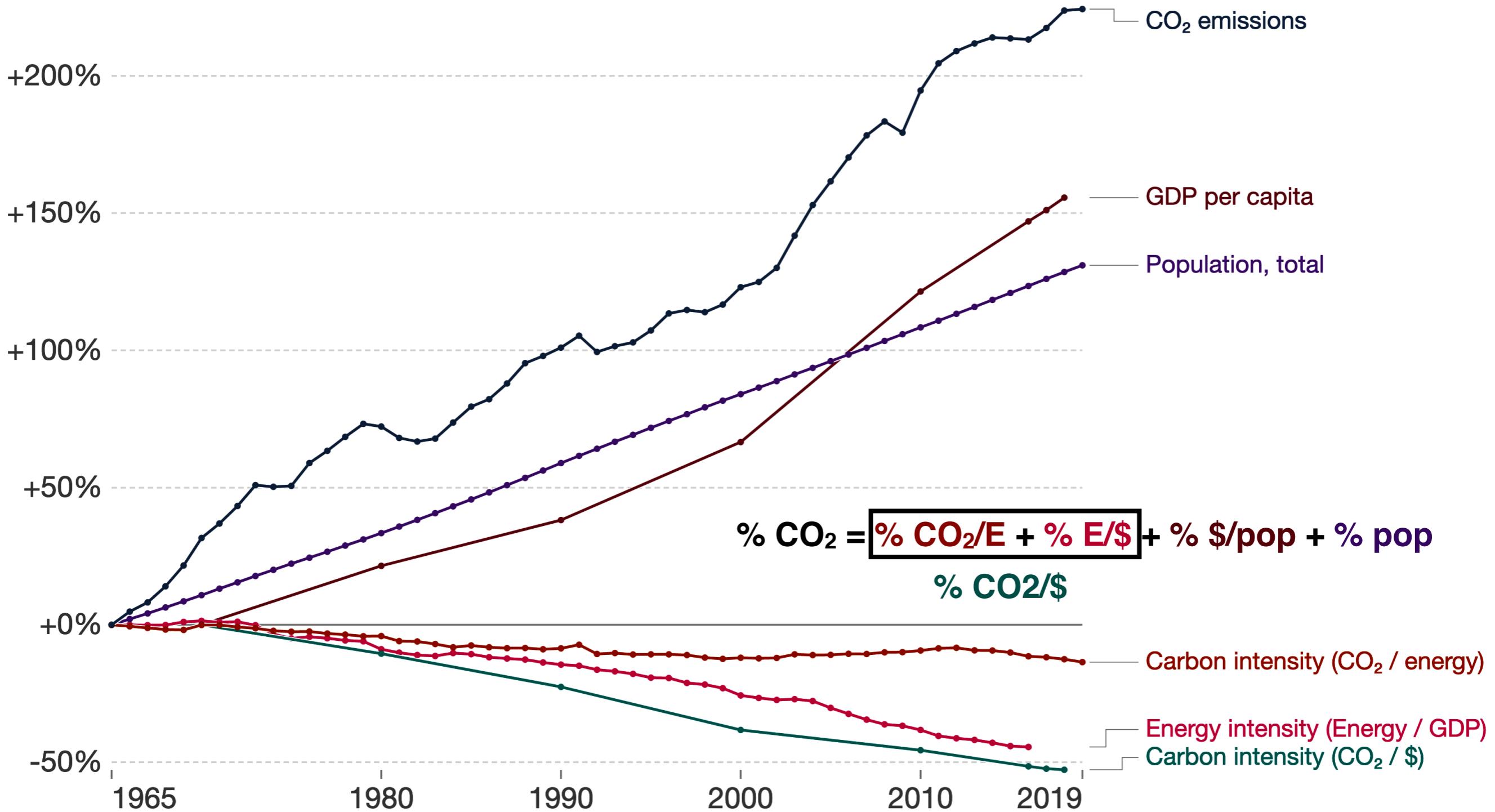
L'identité de Kaya relie les émissions de CO₂ à des paramètres démographique, économique et énergétique.

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{énergie}} \times \frac{\text{énergie}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{PIB}}{\text{population}} \times \text{population}$$

Émission de CO ₂	Contenu en CO ₂ de l'énergie	Intensité énergétique	Production par personne	Population mondiale
gCO ₂ tCO ₂	gCO ₂ /kWh tCO ₂ /tep	kWh/€	€/humain	humains

Kaya Identity: drivers of CO₂ emissions, World

Percentage change in the four parameters of the Kaya Identity, which determine total CO₂ emissions.



Source: Our World in Data based on Global Carbon Project; UN; BP; World Bank; Maddison Project Database

Note: GDP per capita is measured in 2011 international-\$ (PPP). This adjusts for inflation and cross-country price differences.

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Que faire d'ici 2050 ?

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{énergie}} \times \frac{\text{énergie}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{PIB}}{\text{population}} \times \text{population}$$

Objectif	À faire !	Derniers 30 ans	Derniers 30 ans	ONU 2050
x 1/4	x 1/6 !	x 0,71	x 1,62	x 1,3
Baisse de 5 à 6% par an durant les 30 prochaines années...			Croissance de 1% à 1,5%/an	

Passé : baisse de 10% sur les 35 dernières années...

L'approvisionnement en énergie sera x 1,5

Il faut massivement décarboner l'énergie en augmentant de 50% sa disponibilité !