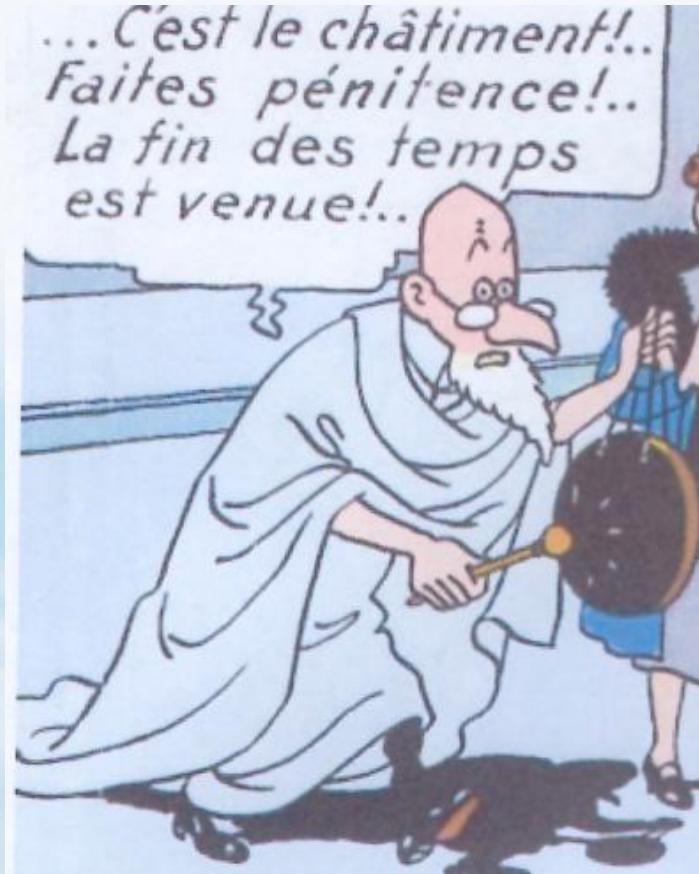
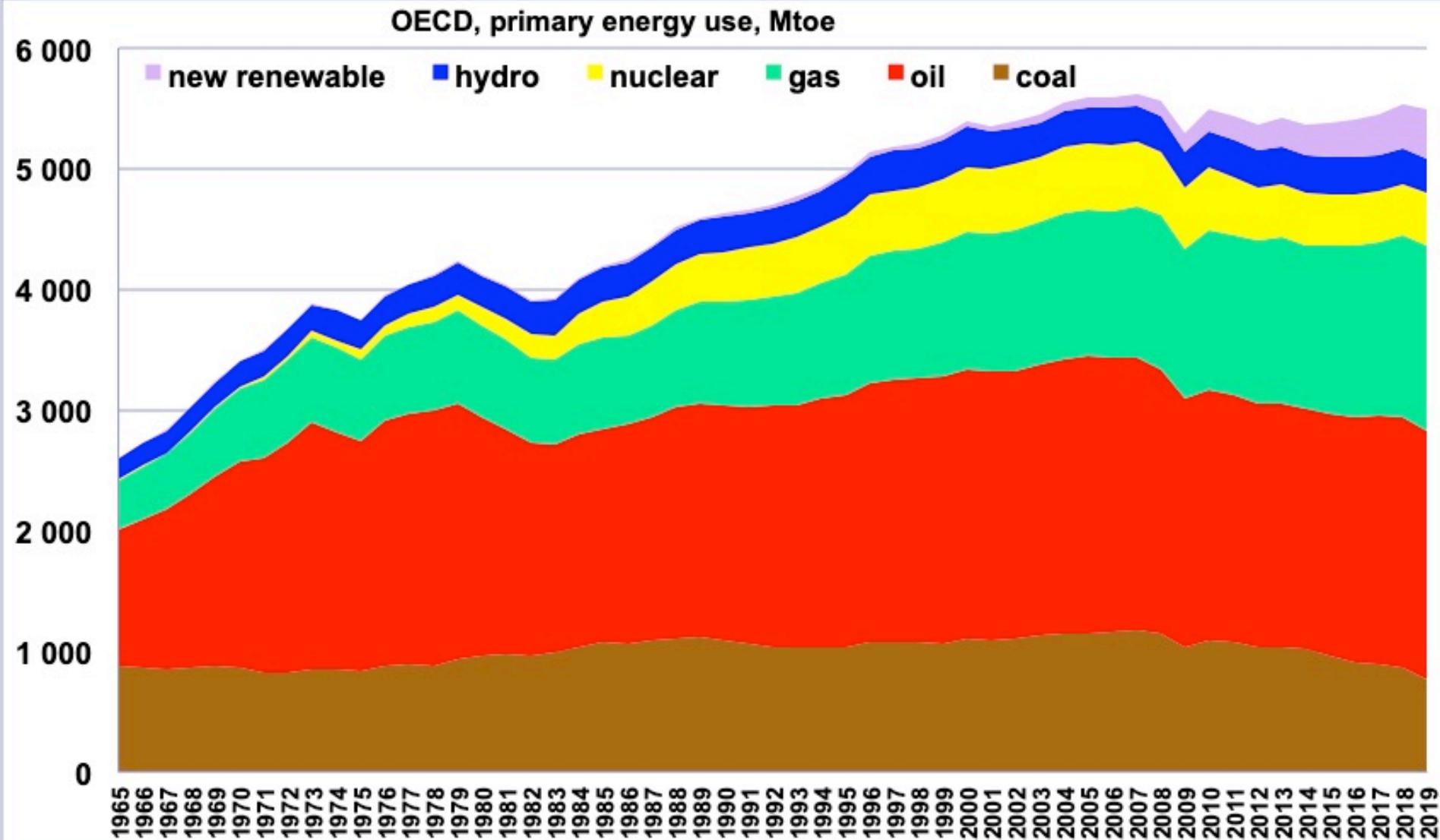


Eléments de base sur l'énergie au 21^e siècle



Jean-Marc Jancovici - Mines ParisTech 2020
Partie 5 - économies, quelles économies ?

Une première raison de faire des économies



Energie utilisée dans l'OCDE depuis 1965. Données BP Statistical Review

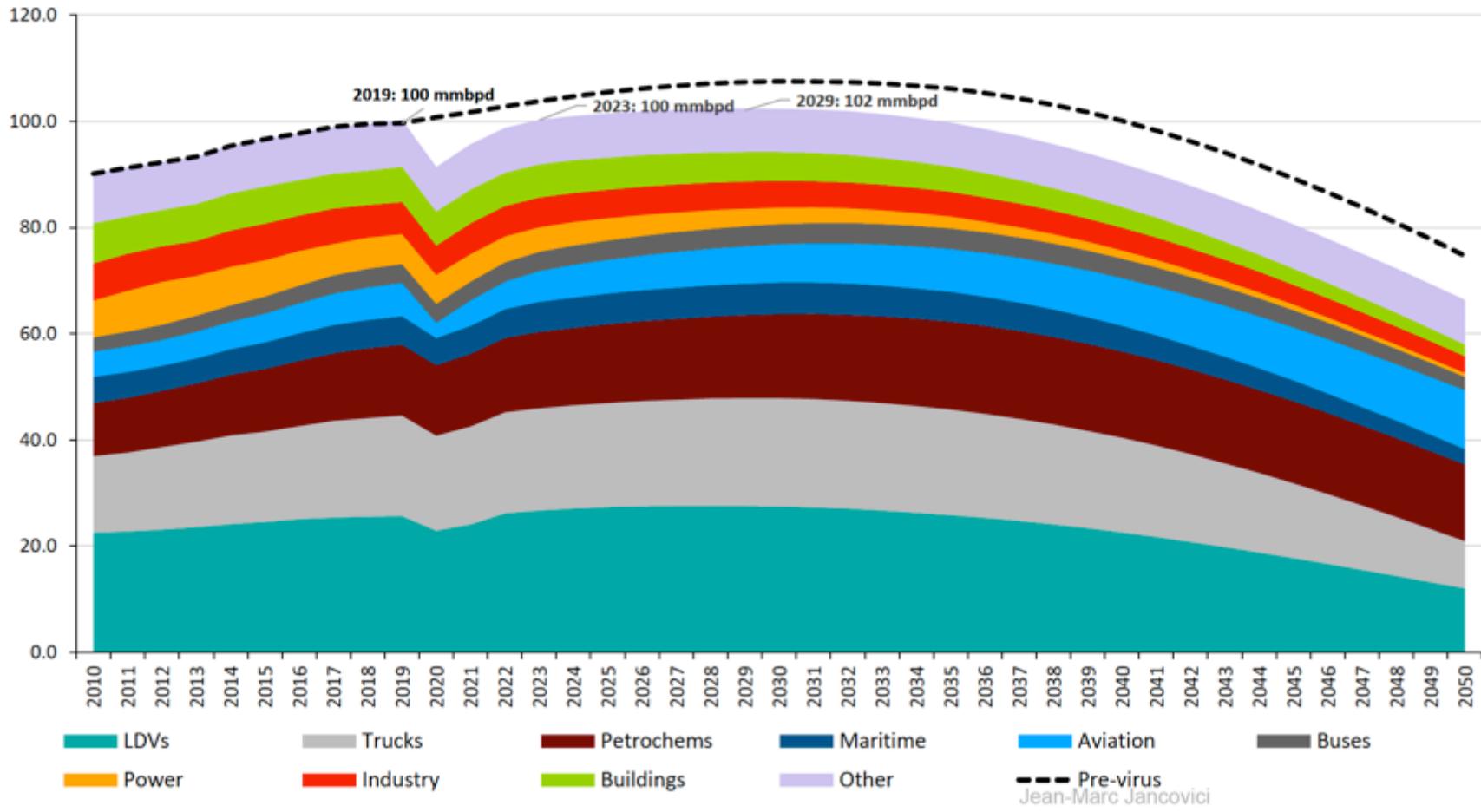
Une première raison de faire des économies (bis)

Impact on oil demand: Global implications

Peak oil demand could be lowered by 5 million bpd and arrive one year earlier due to Covid

Global oil demand 2010 to 2050, split by sector

Million bpd

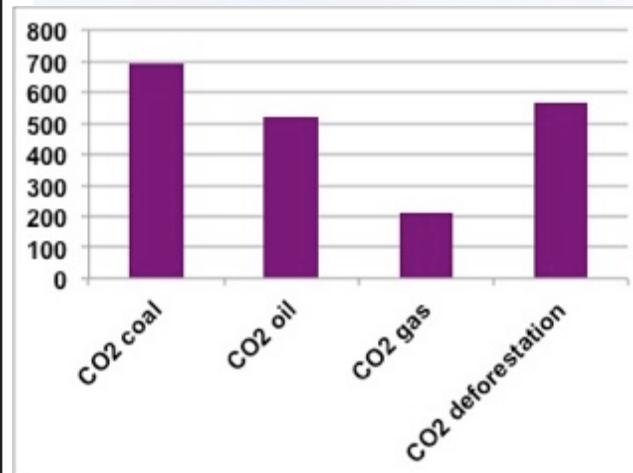
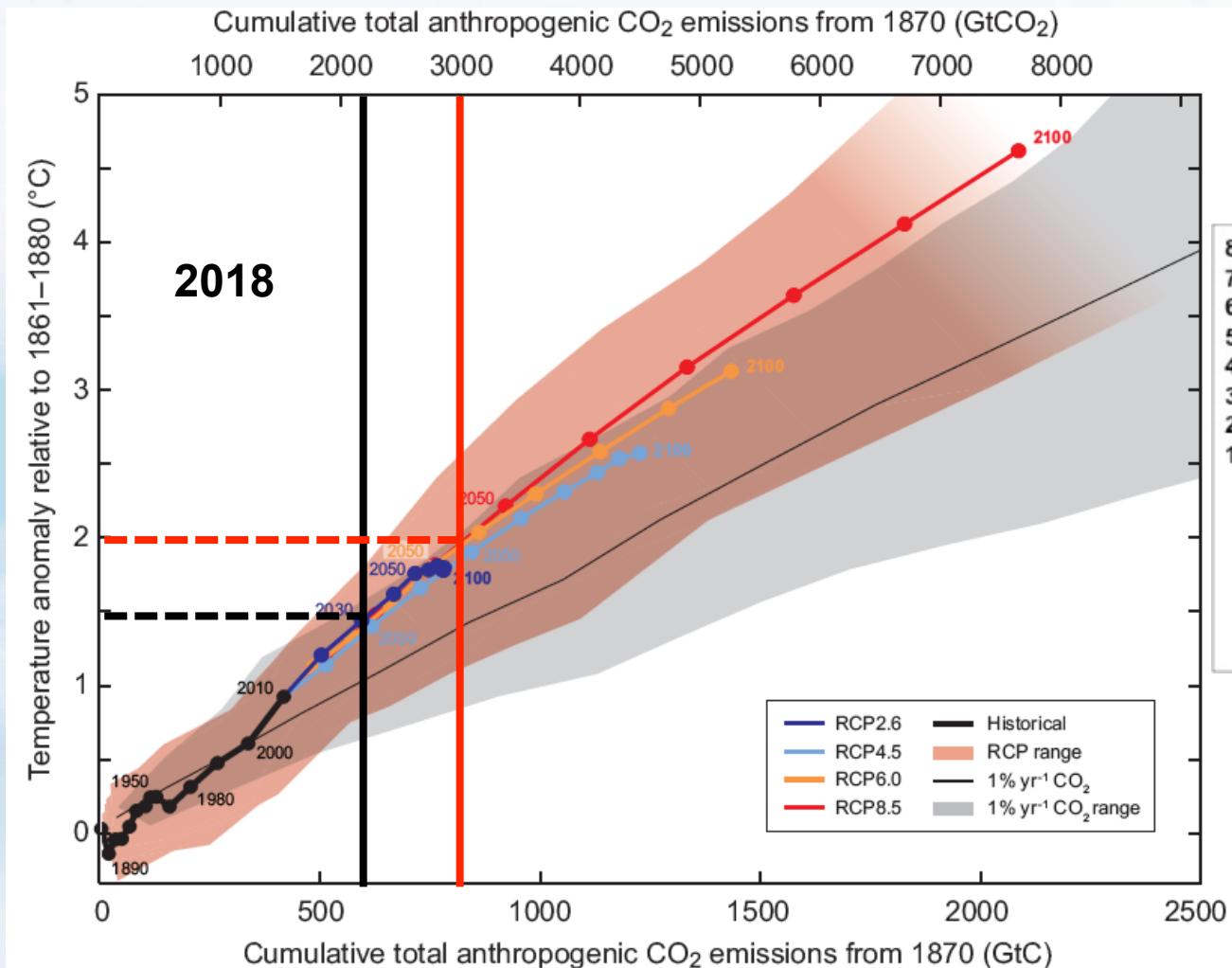


Source: Rystad Energy renewable research and analysis

Pre-virus
Jean-Marc Jancovici

The Shift Project

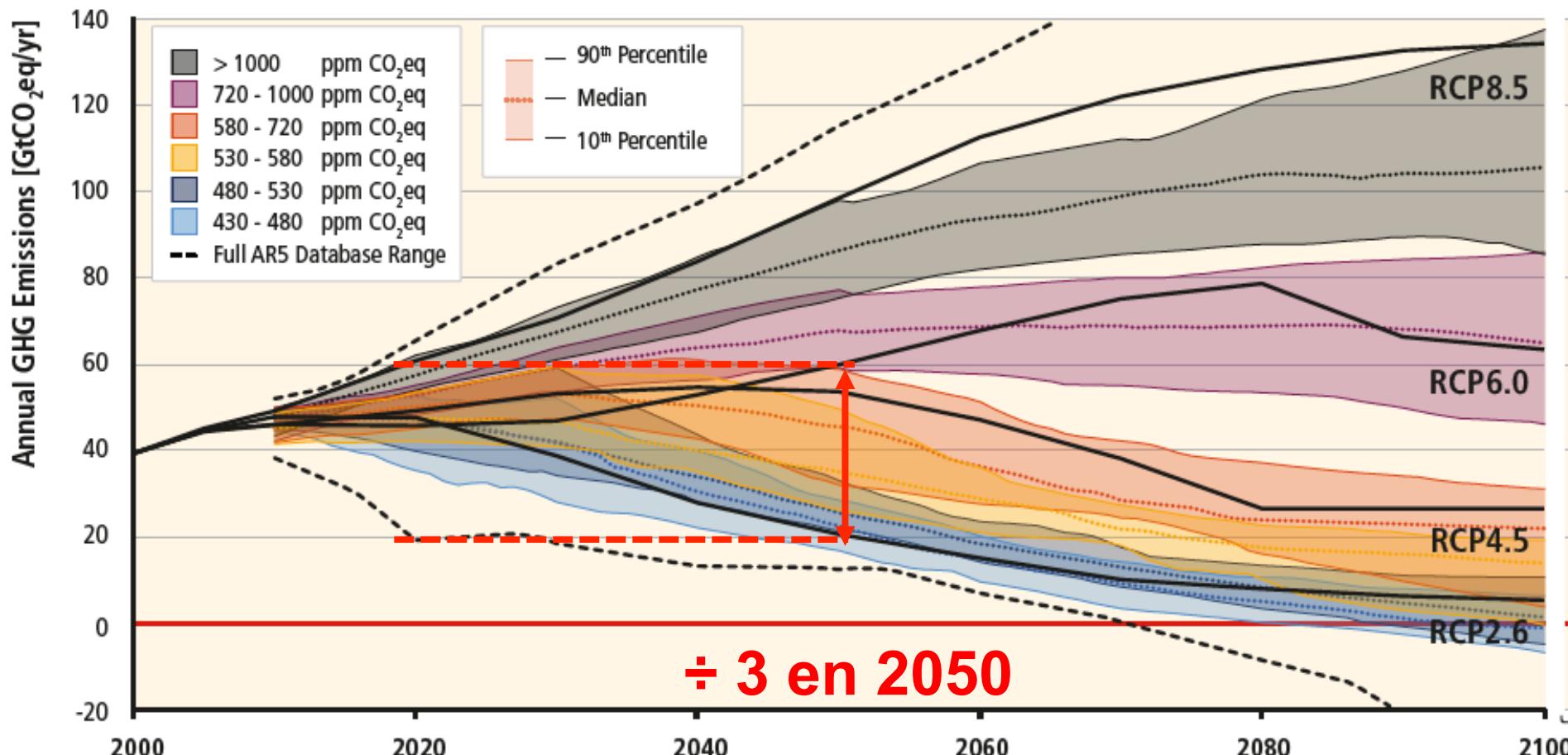
Approvisionnement en pétrole dans le monde. Rystad Energy, octobre 2020



Emissions cumulées de CO₂ depuis 1870 en Gt

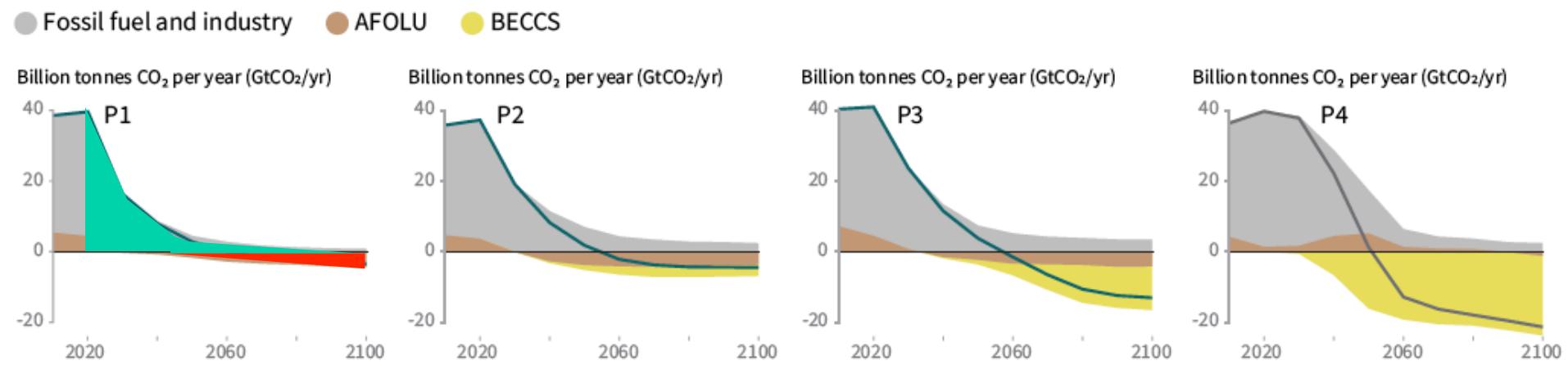
Élévation de température en 2100 en fonction du cumul émis depuis 1870. IPCC, 2015

GHG Emission Pathways 2000-2100: All AR5 Scenarios



Scénarios RCP. IPCC, 2018

1,5°C : si on émet encore, il faudra séquestrer



Scénarios permettant de limiter la hausse à 1,5 °C. IPCC, 2018

Au restaurant « Le bon développement durable », plat unique

20 milliards de tonnes de CO₂-eq pour 8 milliards d'individus, cela fait ≈ 2,5 par personne, et pour 9 milliards ≈ 2

En l'état actuel des technologies, **l'une des choses suivantes** suffit à atteindre le « droit maximal à émettre sur une année dans un monde à 9 milliards d'hommes » :

faire 15 000 km en avion (un A/R Paris-Chicago)

ou consommer 5 000 kWh d'électricité en Allemagne, mais 20 000 kWh en France (consommation annuelle moyenne par Français : environ 8 000 kWh),

ou acheter 10 à 500 kg de produits manufacturés (en France ≈ 2 000 à 6 000 euros de produits industriels, 8 000 à 15 000 euros de services)

ou construire 4 à 5 m² de logement,

ou brûler 7 000 kWh de gaz naturel, en tenant compte des émissions amont (quelques mois de chauffage d'un logement).

ou parcourir ≈ 10.000 km en voiture « moyenne » (2 fois moins en gros 4x4)

ou manger 50 kg de bœuf

Source : Jancovici, 2019

Dans l'enfer de la règle de trois

L'équation de Kaya :

A diviser par > 3 d'ici 2050...

et le sera !

$$CO_2 = \frac{CO_2}{TEP} * \frac{TEP}{PIB} * \frac{PIB}{POP} * POP$$

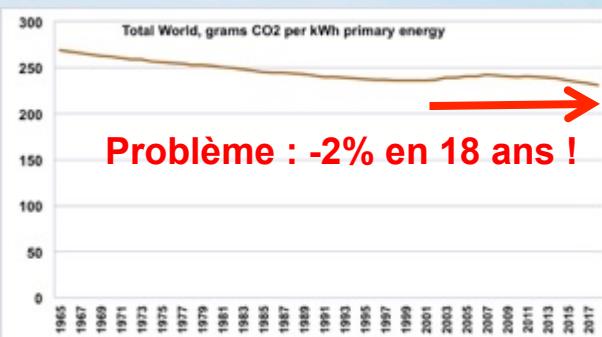
Emissions de gaz carbonique

= Contenu en gaz carbonique de l'énergie

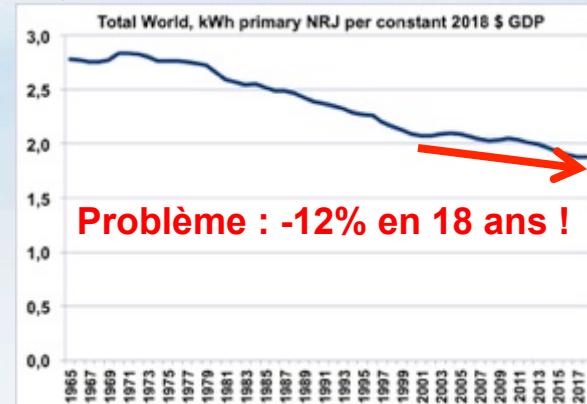
* Intensité énergétique de l'économie

* Production par personne

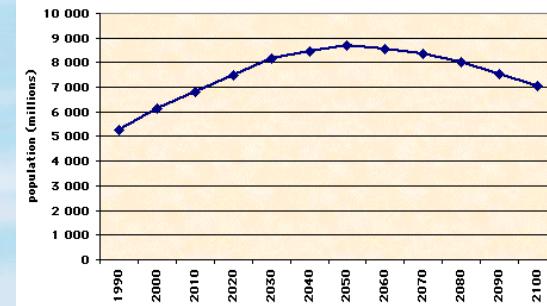
* Population



Magic technique N°2 :
↓ CO_2 par kWh = nuke, ENR, CCS & charbon vers gaz

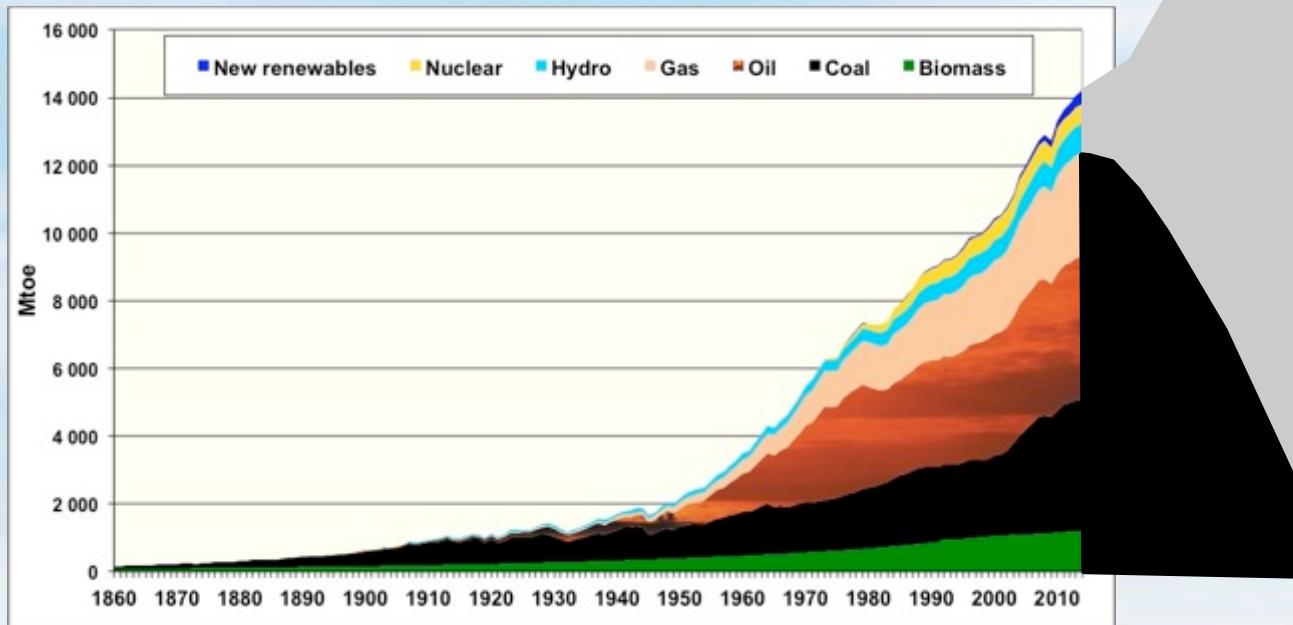


Magic technique N°1 : ↓ NRJ par \$ de PIB



+ 2% par an = x 1,8 en 30 ans ; + 4% par an = x 3,2 en 30 ans !!!

PIB++ et CO₂--, cela devrait donner ceci



+7% par an
(incl. nucléaire)

-3,1% par an

L'équation de Kaya :

**Est divisé par 3
d'ici 2050**

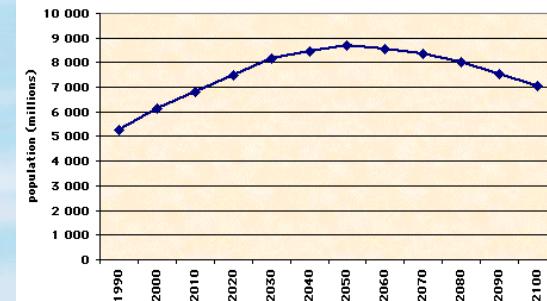
$$CO_2 = \frac{TEP}{PIB} * \frac{PIB}{POP} * POP$$

Emissions de gaz carbonique = Contenu en gaz carbonique de l'énergie * Intensité énergétique de l'économie * Production par personne * Population

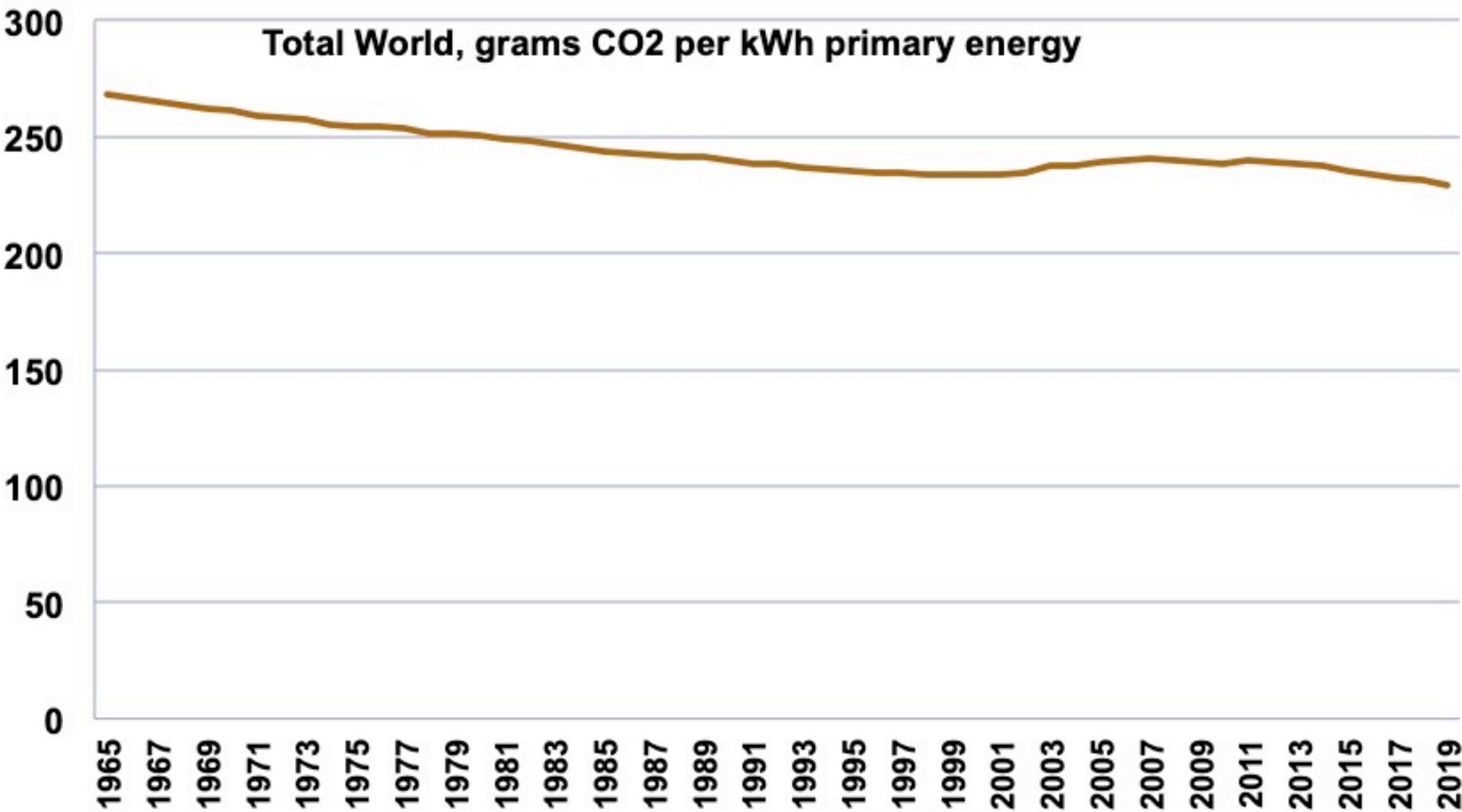
-2% par an (tous les ans, 80 centrales à charbon remplacées par du nucléaire + électrification d'une partie des transports et du chauffage)

-1,5% par an (sur consommation des voitures, des avions, des usines...)

-0,5% par an (et une division par 3 en France si égalité)

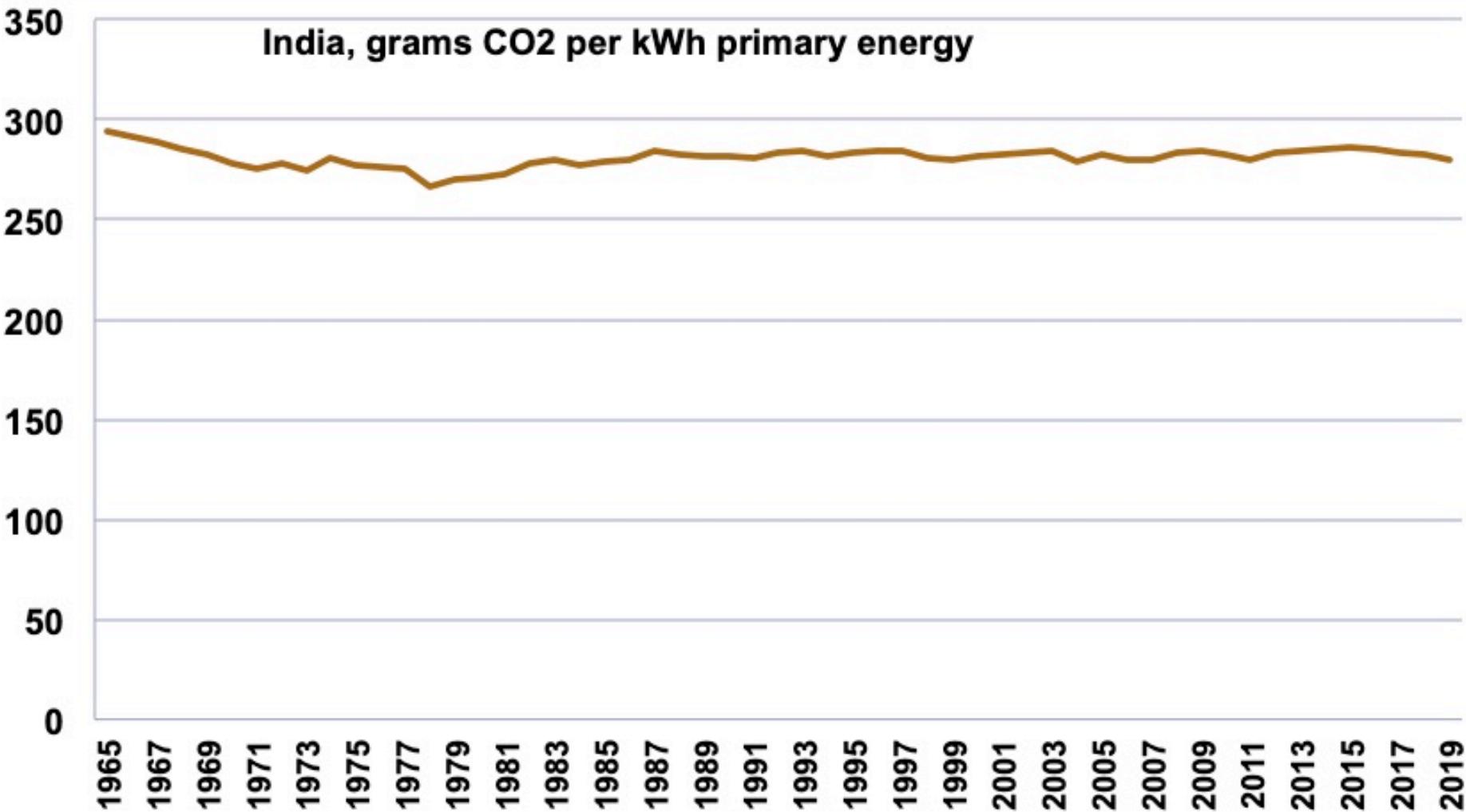


+ 20% d'ici 2050 ?



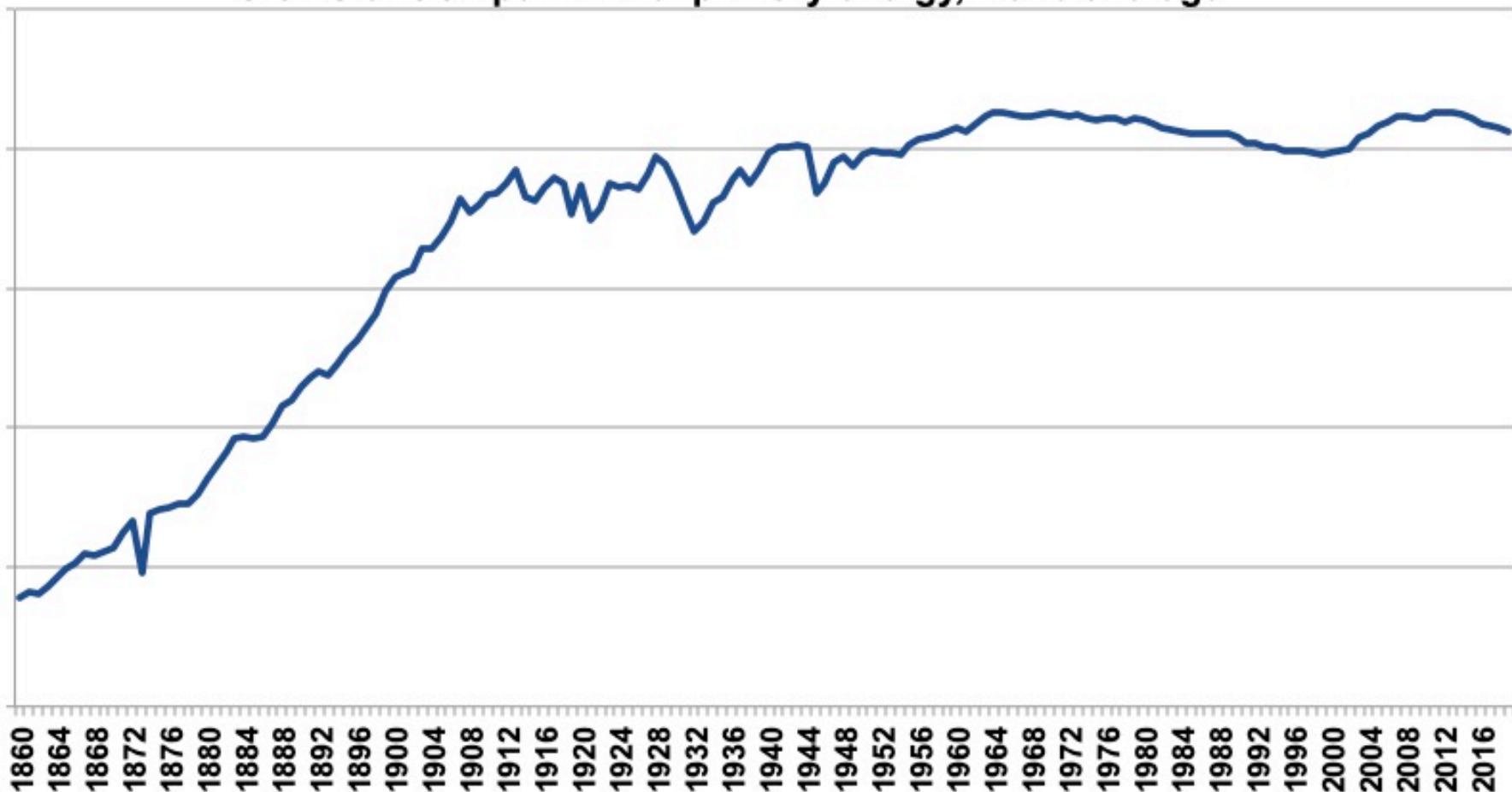
Emissions de CO2 correspondants à l'utilisation d'un kWh d'énergie primaire dans le monde. Calculs Jancovici ; données primaires BP Statistical Review.

Mais pas partout non plus



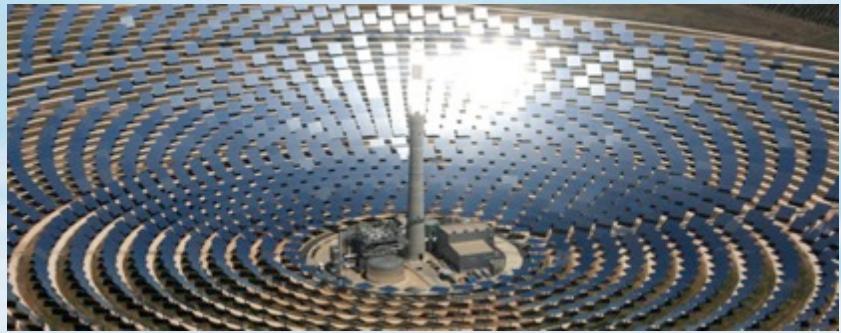
Emissions de CO2 correspondants à l'utilisation d'un kWh d'énergie primaire en Inde.
Calculs Jancovici ; données primaires BP Statistical Review.

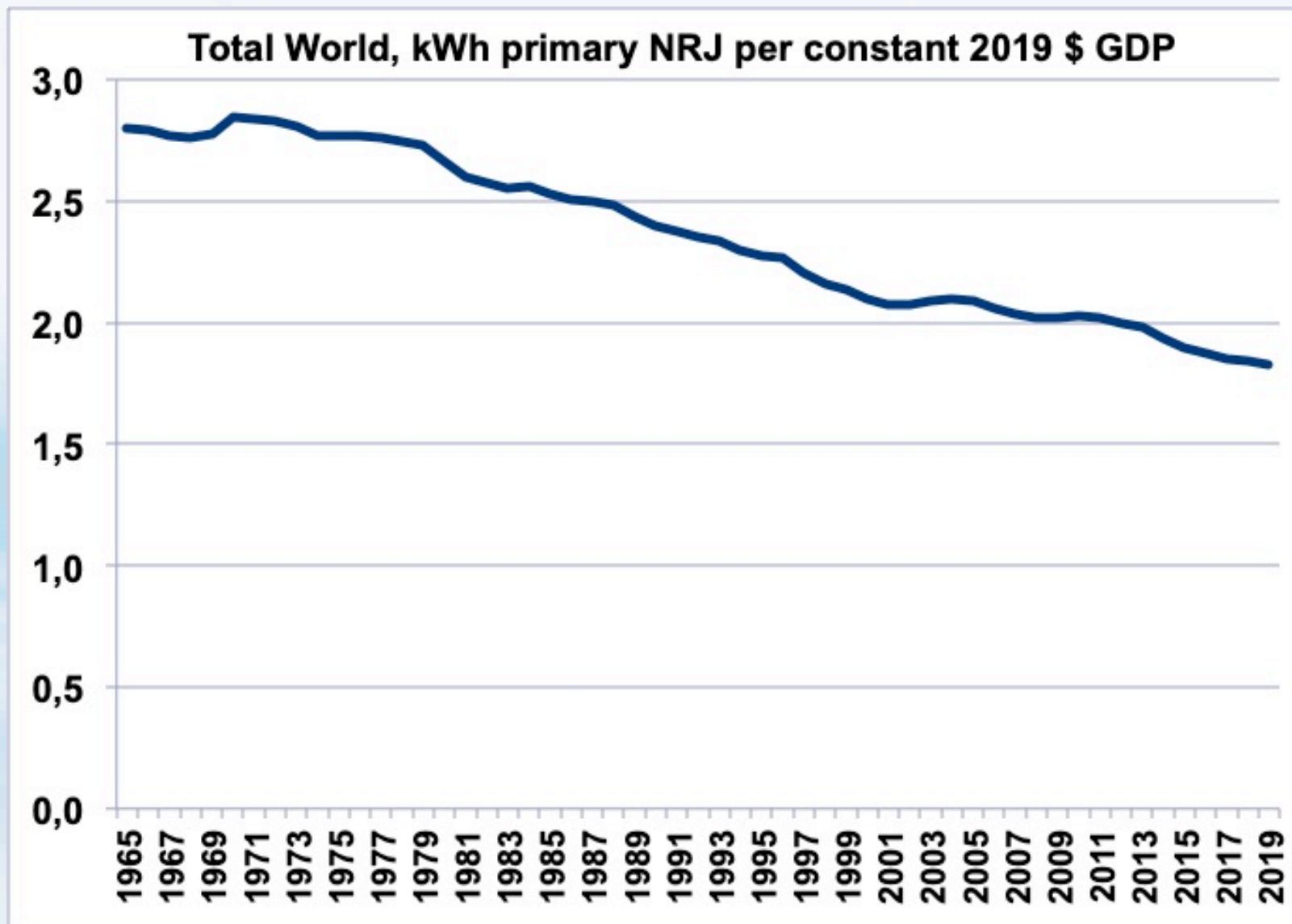
Grams of CO₂ per kWh of primary energy, world average



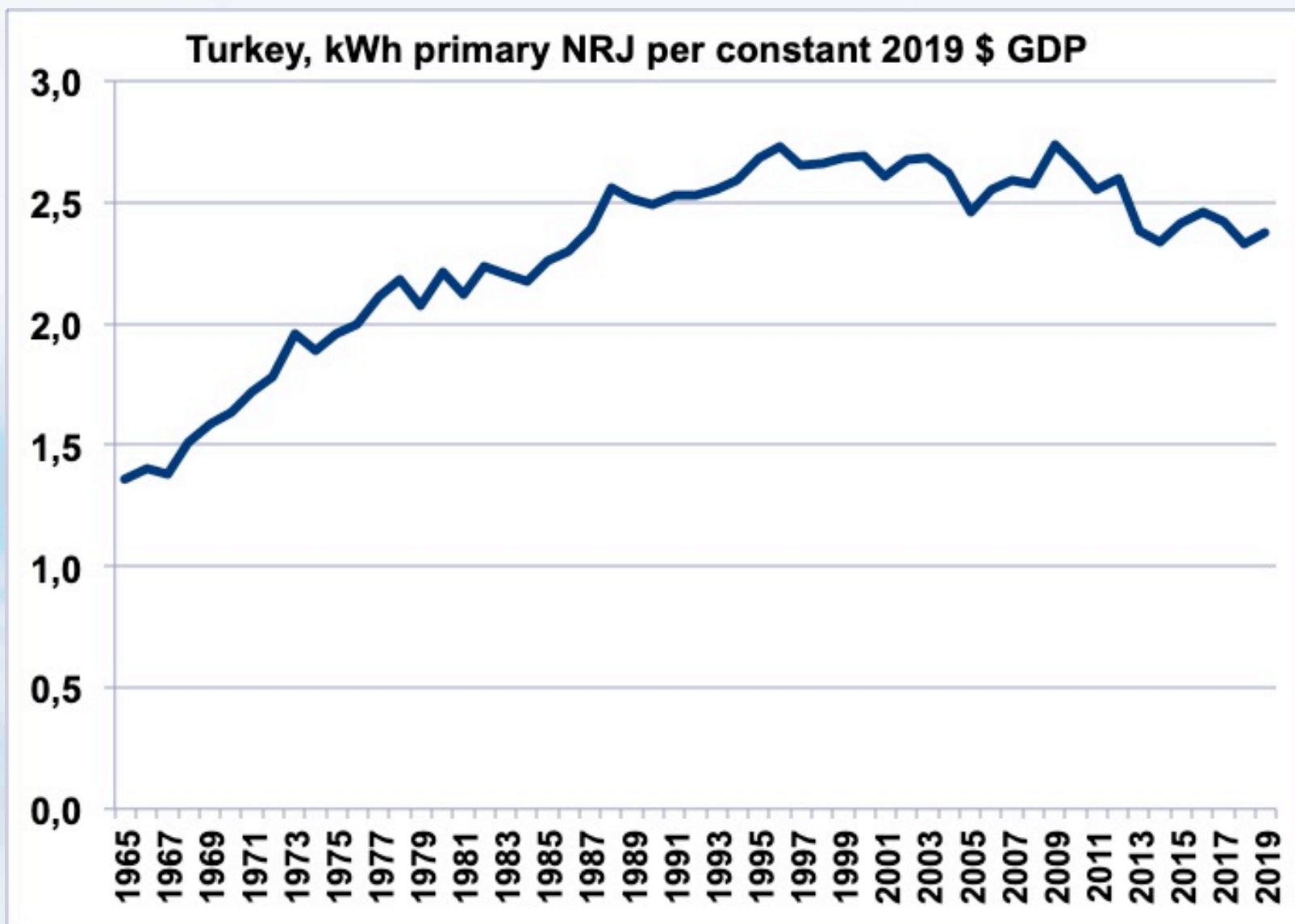
Emissions de CO₂ correspondants à l'utilisation d'un kWh d'énergie primaire dans le monde depuis un siècle et demi. Calculs Jancovici ; données primaires BP Statistical Review & Shilling et al., 1977.

Diminuer le contenu carbone de l'énergie

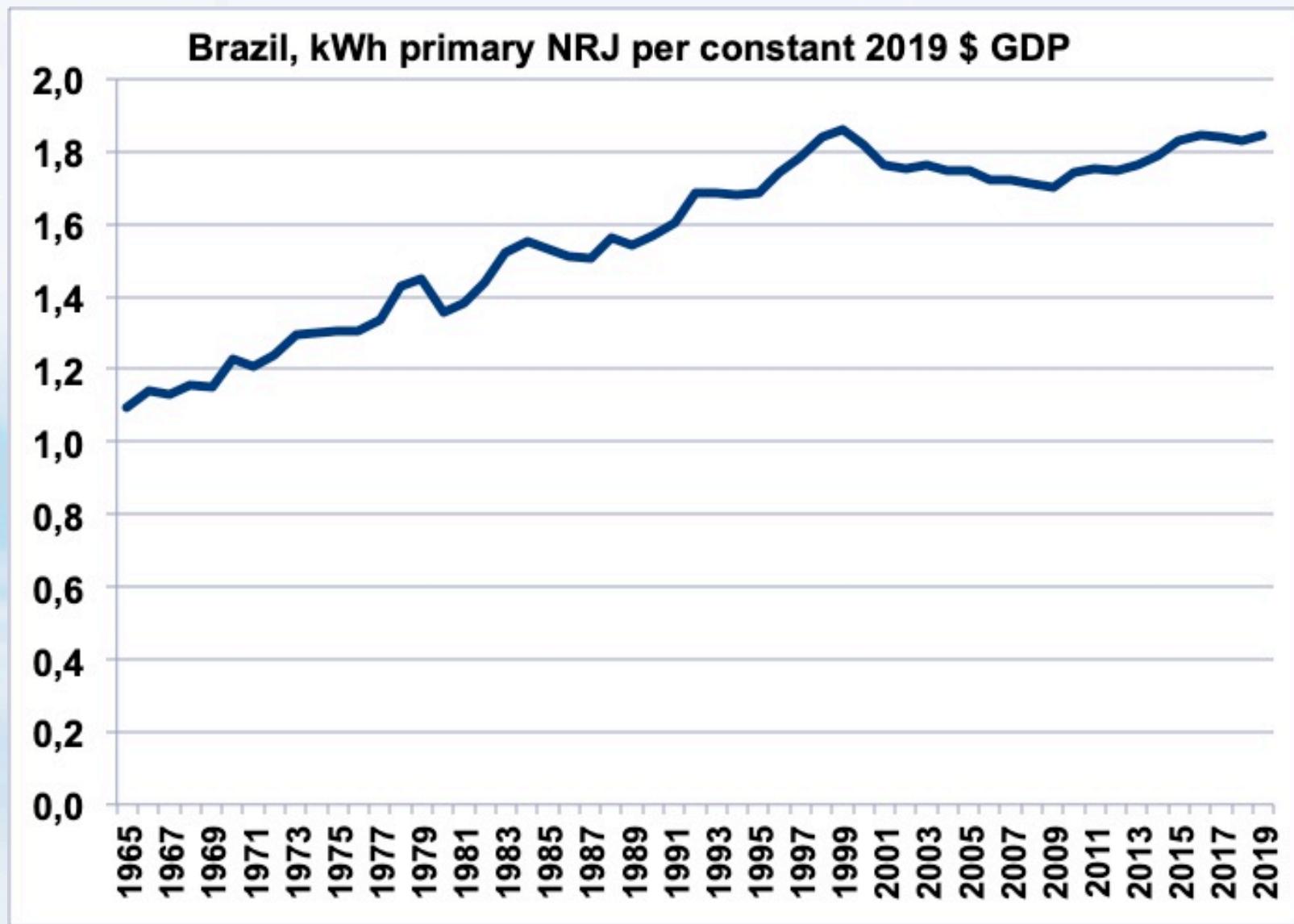




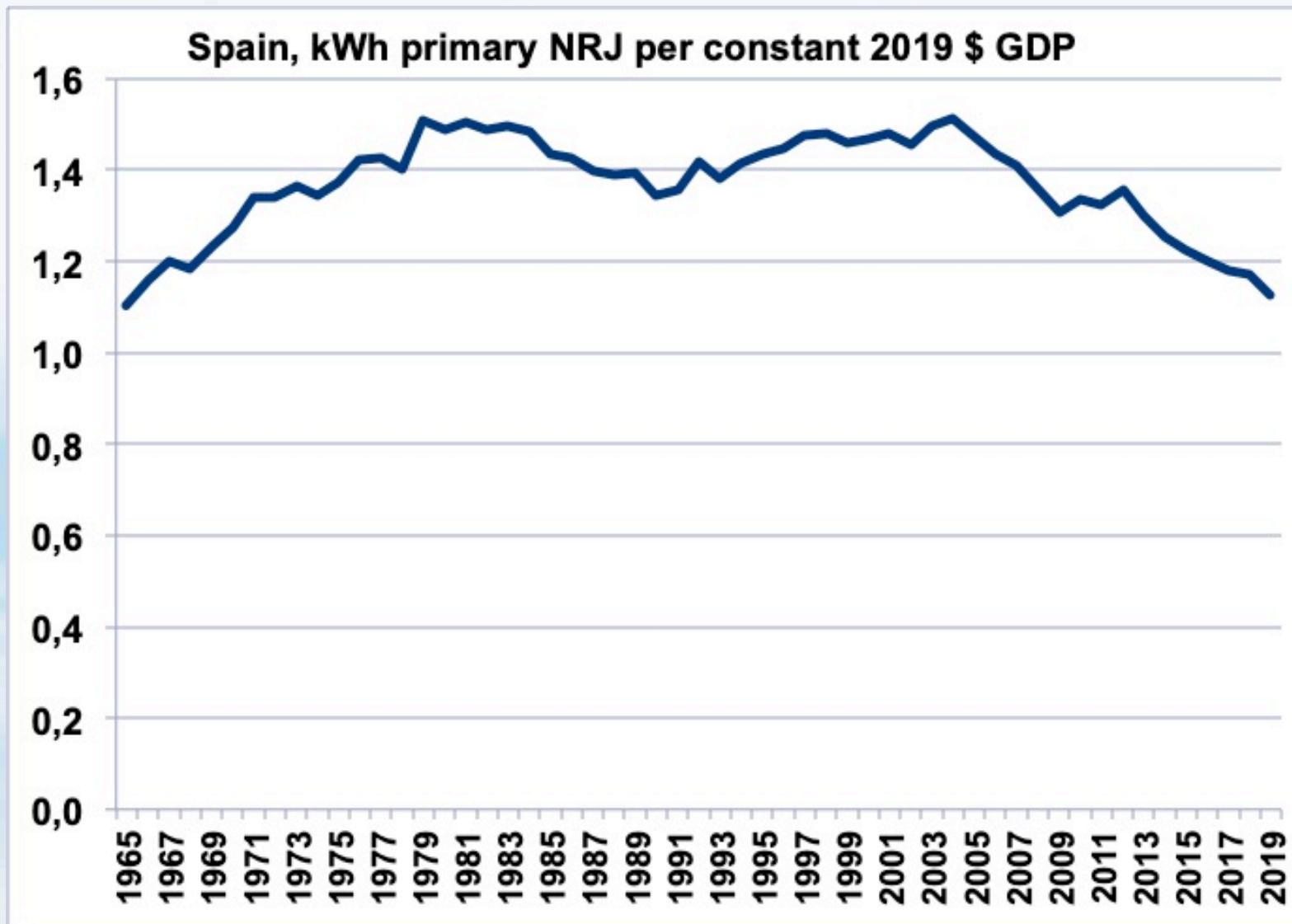
kWh d'énergie primaire utilisés pour produire un dollar de PIB dans le monde. Calculs Jancovici ; données primaires BP Statistical Review et World Bank.



kWh d'énergie primaire utilisés pour produire un dollar de PIB en Turquie. Calculs Jancovici ; données primaires BP Statistical Review et World Bank.



kWh d'énergie primaire utilisés pour produire un dollar de PIB au Brésil. Calculs Jancovici ; données primaires BP Statistical Review et World Bank.



kWh d'énergie primaire utilisés pour produire un dollar de PIB en Espagne. Calculs Jancovici ; données primaires BP Statistical Review et World Bank.

Vous êtes plutôt final, ou plutôt utile ?

Primaire

Charbon
brut



Pétrole
brut



Gaz
brut



Noyaux
fissiles



Bois, soleil,
géothermie,
vent...

Final

Boulets,
coke...



Carburants
raffinés



Gaz
purifié

Electricité

Vapeur, eau
chaude...

+ pertes
Jusqu'à 80%



Utile (et \$ €)

Mouvement

Chaleur

Transformation

Travail !

+ pertes
5% à 75%

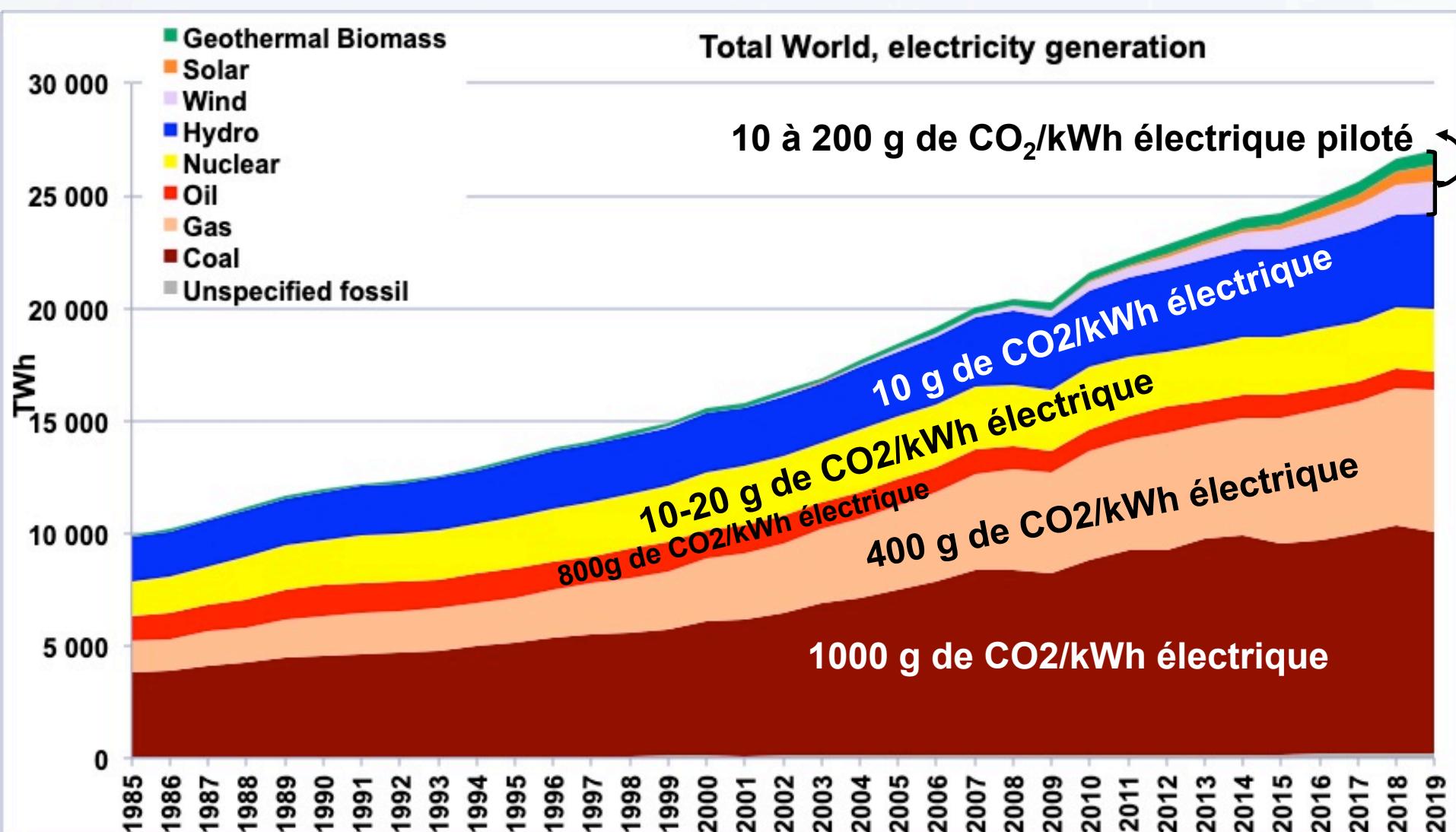
+ pertes
Jusqu'à 80%

5% à 75%

Jusqu'à 80%

5% à 75%

L'électricité n'est pas primaire, mais bien finale !



Évolution de la production électrique mondiale entre 1985 et 2019. Source BP Statistical Review

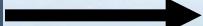
Qu'est-ce qu'un rendement ?



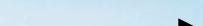
95% à 65%



85%

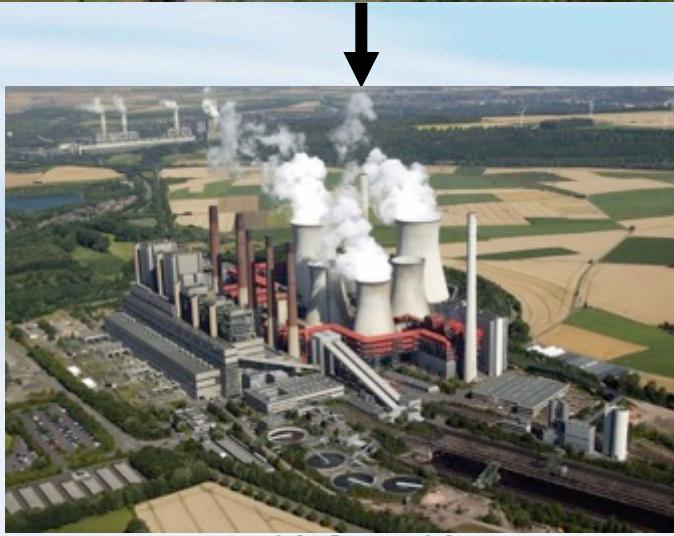


20% à 40%



< 5%

Qu'est-ce qu'un rendement (bis) ?



30% à 45%



92%



> 1



Économies ? Quelles économies ?

J'obtiens les mêmes services avec moins d'énergie -> **Efficacité**

Je parcours la même distance, dans une voiture de même puissance et même capacité, mais elle consomme moins grâce à des améliorations techniques

J'ai le même espace habitable, mais la performance thermique de mon logement est meilleure

J'achète la même quantité de poulets, de chemises et de billets de cinéma, mais ils ont été fabriqués avec des processus plus efficaces

J'utilise délibérément moins de services, et du coup il faut moins d'énergie pour me les fournir -> **Sobriété**

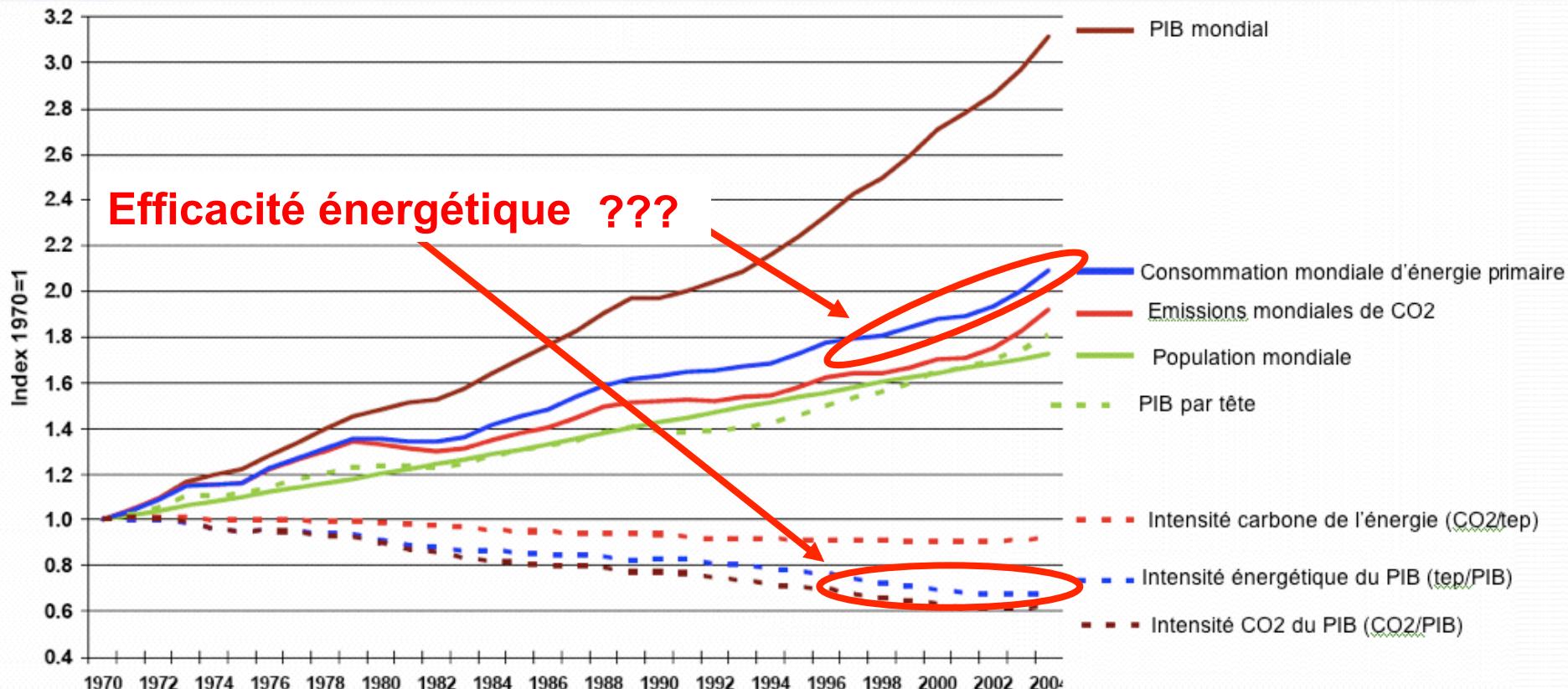
Je conduis moins, ou dans une plus petite voiture (moins puissante ou moins grande)

Je diminue mon espace habitable (co-location, appartement plus petit...)

J'achète moins de poulet, de crème de soins, mes enfants vont moins tard à l'école et j'accepte d'attendre à l'hôpital

J'utilise moins de services, et du coup il faut moins d'énergie pour me les fournir... mais je le fais de manière subie -> **Pauvreté**

Moins d'énergie, c'est quoi exactement ?



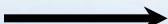
Evolution comparée du PIB, de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. Source GIEC, 2007

Faire une maison « zéro énergie », on peut



Exemple de maison passive (pas de chauffage, pas de climatisation) située en Suède

L'impossible définition des économies : le chauffage



Le logement de 1950 : 250 kWh/m²
quand il y a le chauffage central

Le logement de 2008 : 80 kWh
(finaux) par m²

3 fois moins d'énergie par m² de logement

Economies !

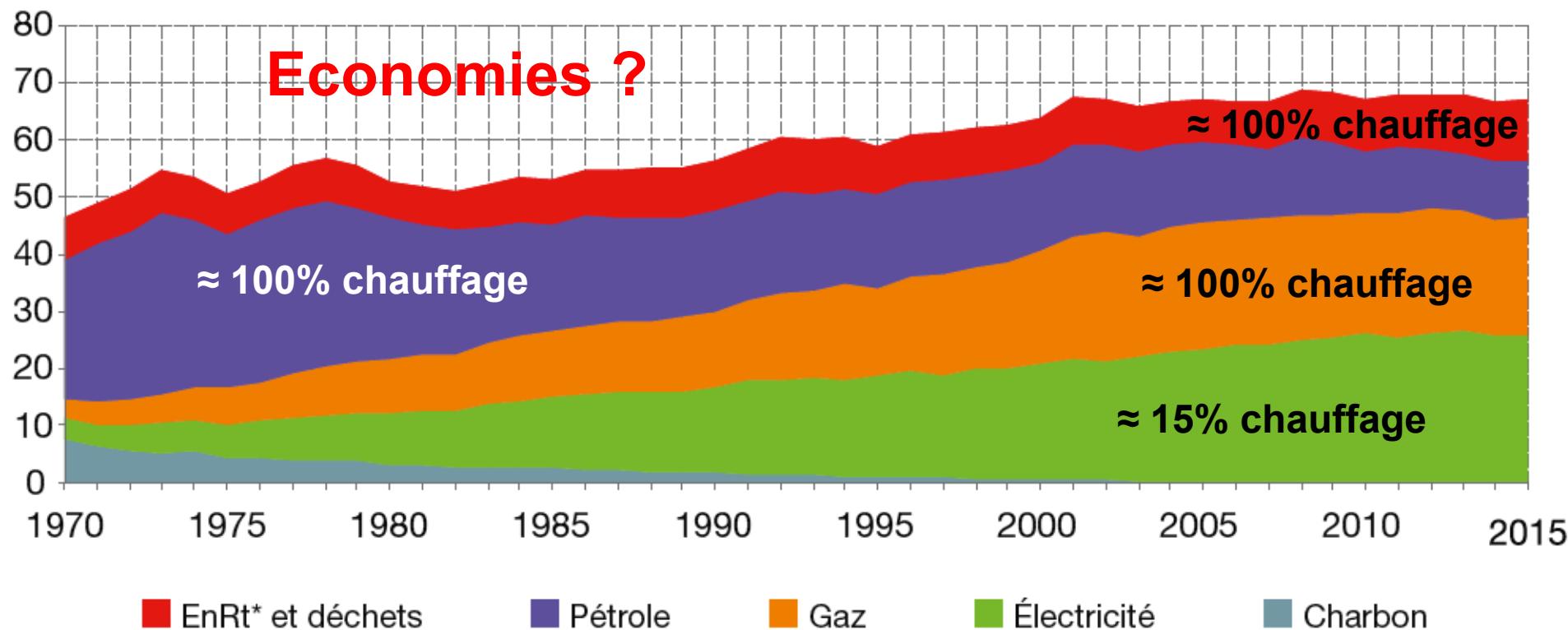
De 1950 à 2008

Augmentation forte du taux d'équipement en chauffage central

Augmentation de la surface habitable par personne (< 25 m² en 1973, ~ 40 m² par personne aujourd'hui)

Augmentation du taux d'équipement en divers appareils

Et bien sûr augmentation du nombre de logements



Consommation d'énergie dans le secteur résidentiel tertiaire, en millions de tonnes équivalent pétrole

Laissez les ingénieurs faire des voitures économes !



La 2CV de 1950 : 375 cm³ de cylindrée,
9 CV de puissance, 60 km/h, 500 kg

La C3 de 2018 (essence) : 1.200 cm³ de
cylindrée, 110 CV de puissance, 200
km/h, 1.100 kg

3 fois moins de carburant consommé par cm³ de cylindrée

3 fois moins de carburant consommé par km/h de vitesse maximale

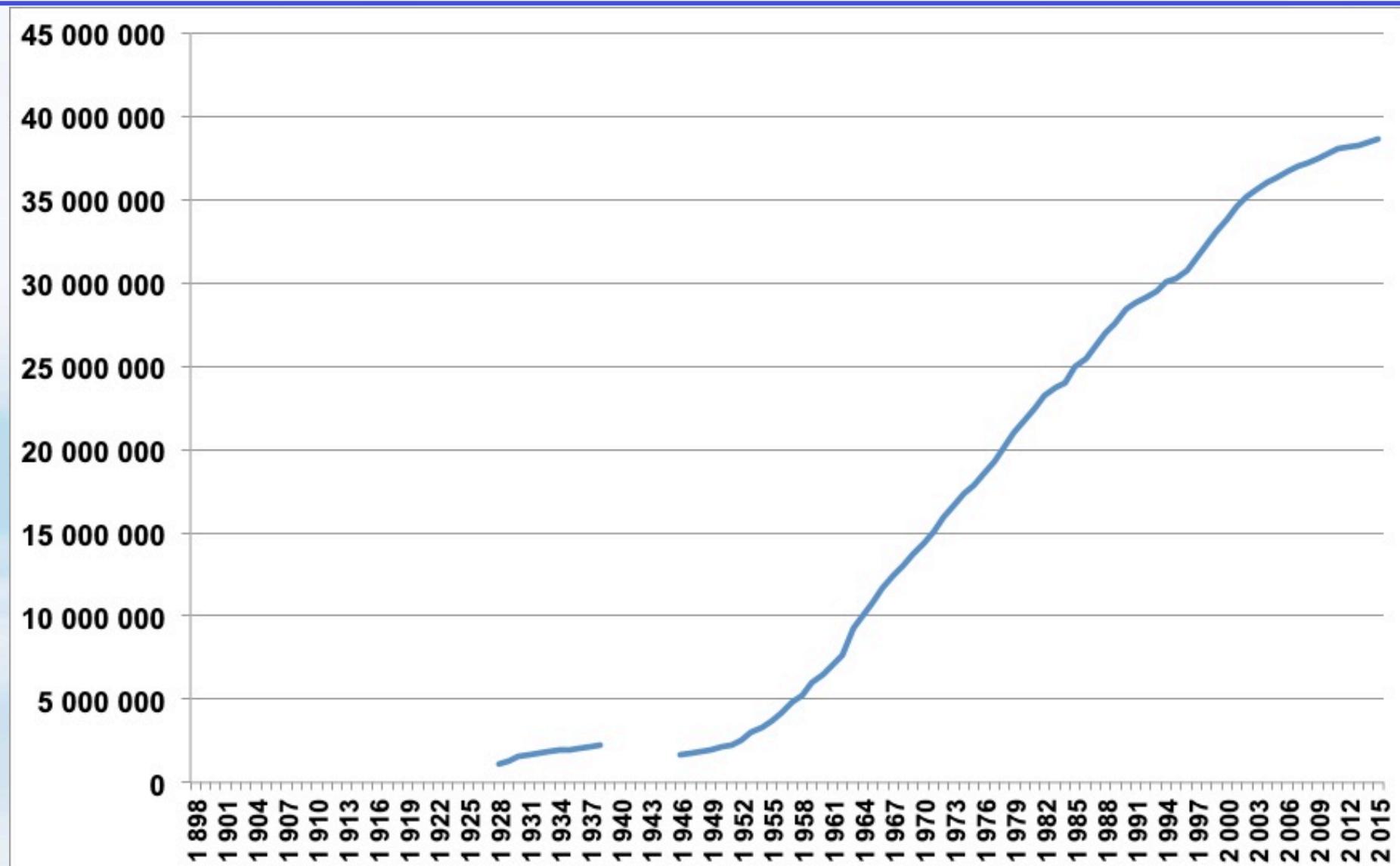
12 fois moins de carburant consommé par CV de puissance nominale

2 fois moins de carburant consommé par kg de masse

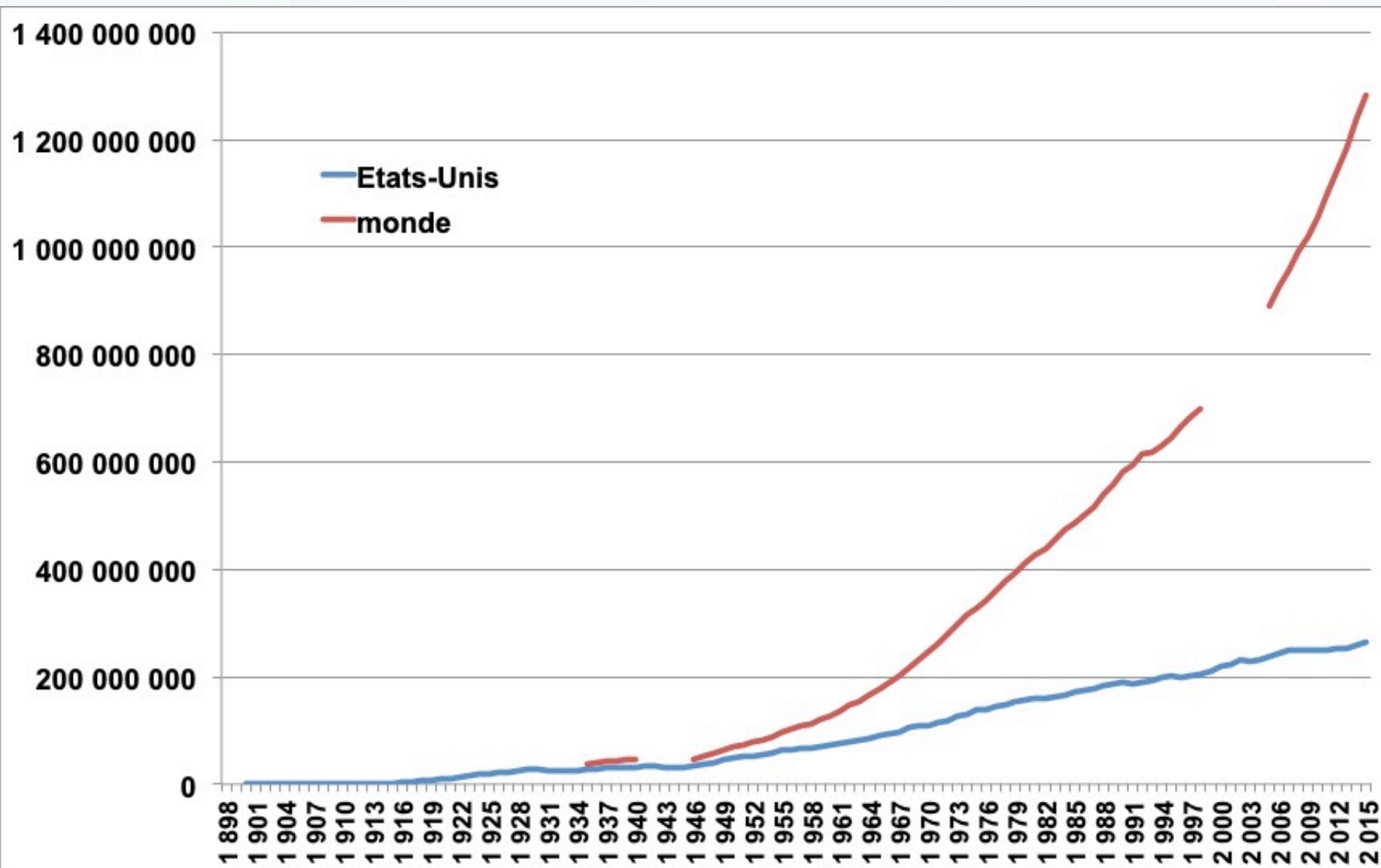
4,5 litres aux 100

5 litres aux 100

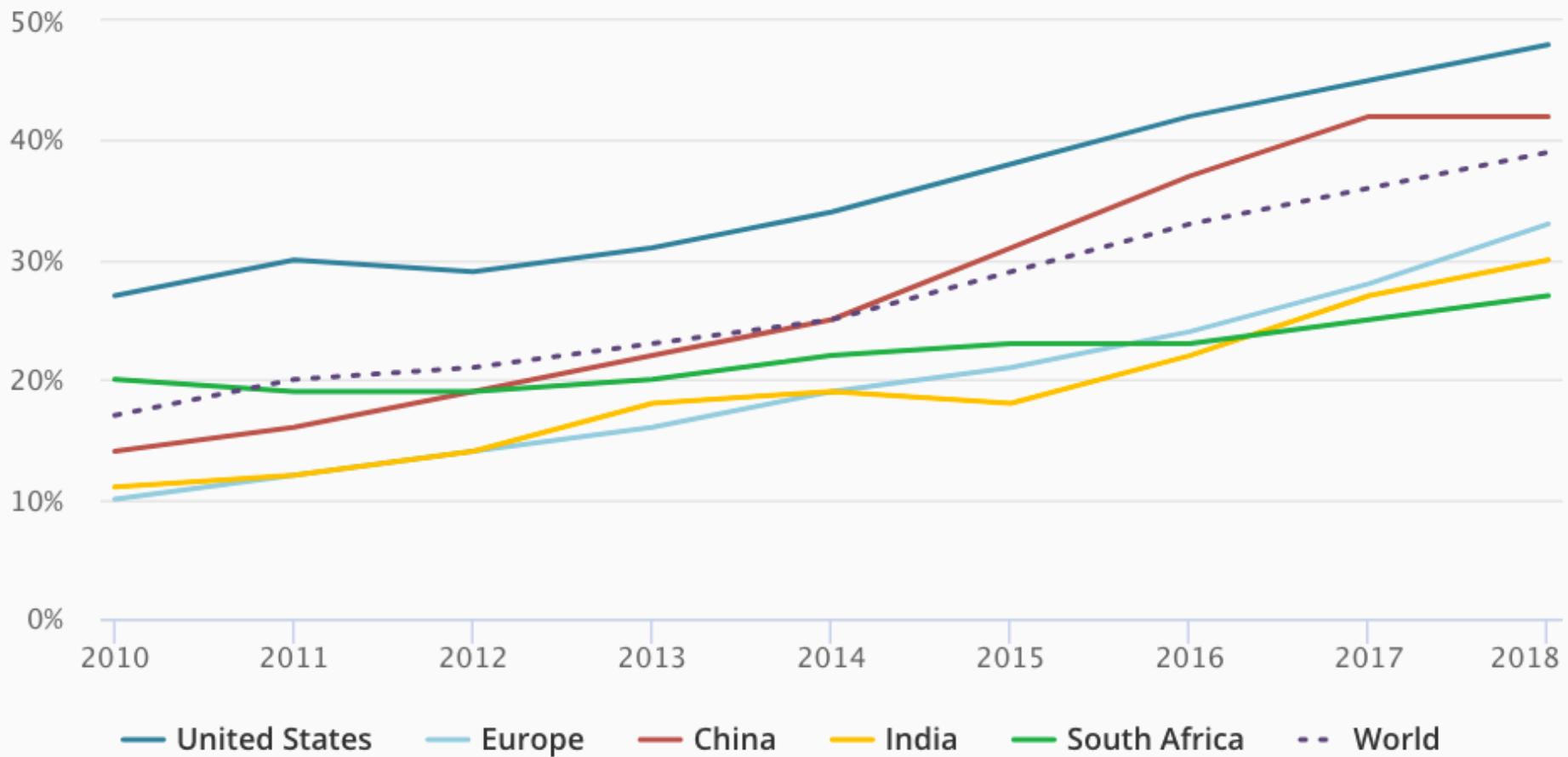
Economies ?



Flotte française de voitures particulières. Sources : AAMA, OICA, IRF, FHA.
Élaboration: Freyssenet M., 2018



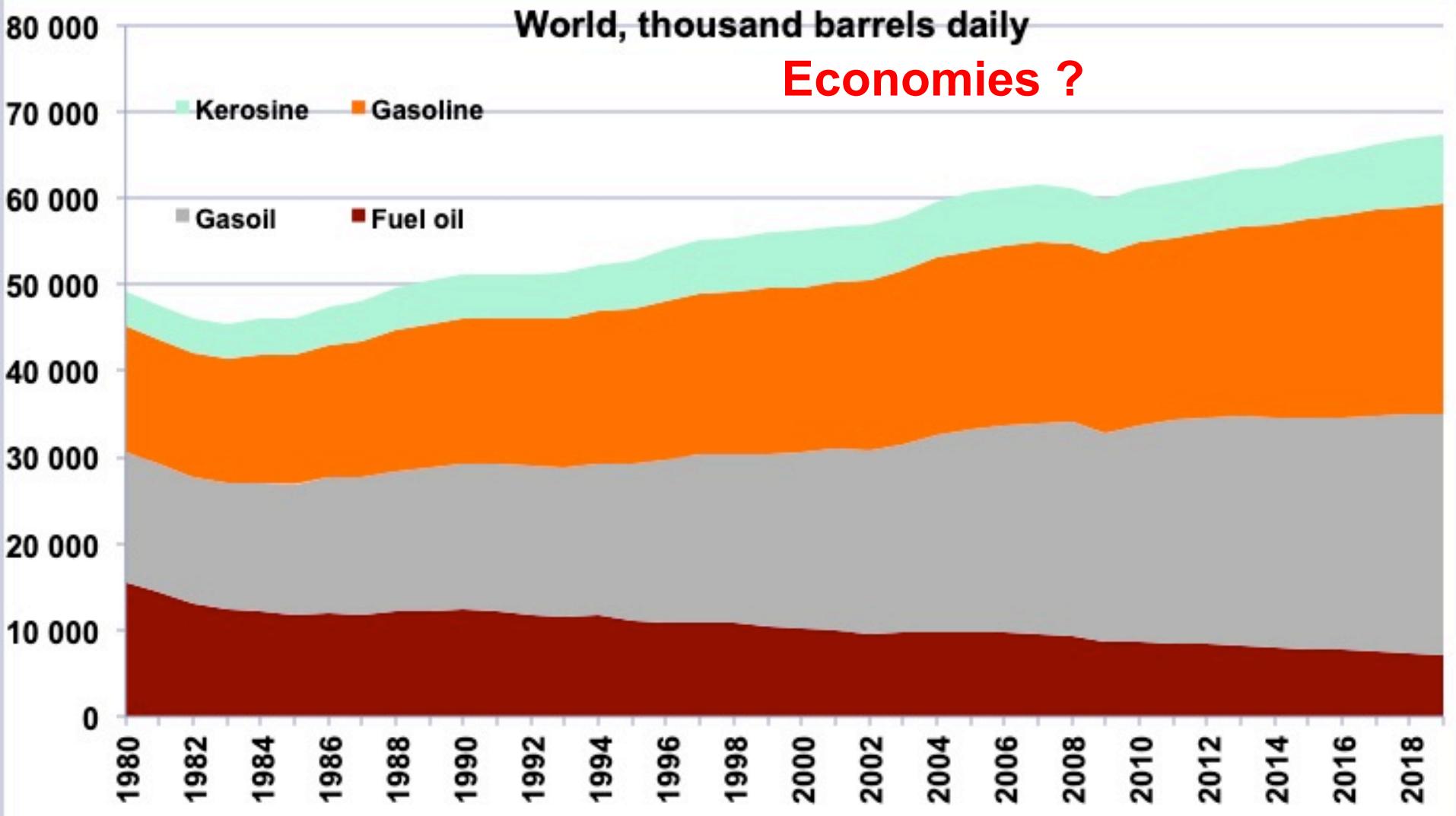
Flotte mondiale et US de voitures particulières. Sources : AAMA,OICA, IRF, FHA.
Élaboration: Freyssenet M., 2018



Part des SUV dans les ventes. Source AIE, 2019

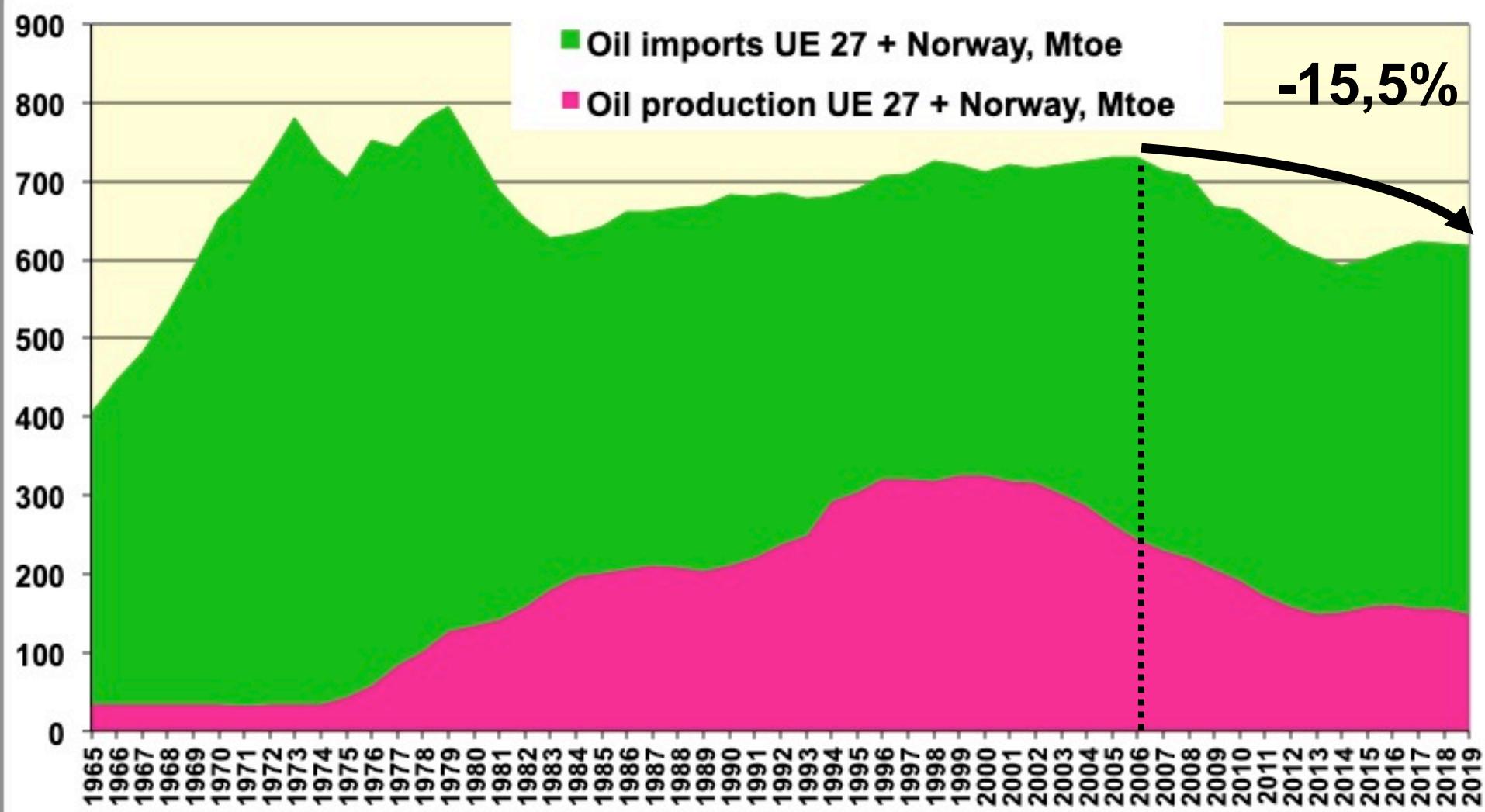
World, thousand barrels daily

Economies ?



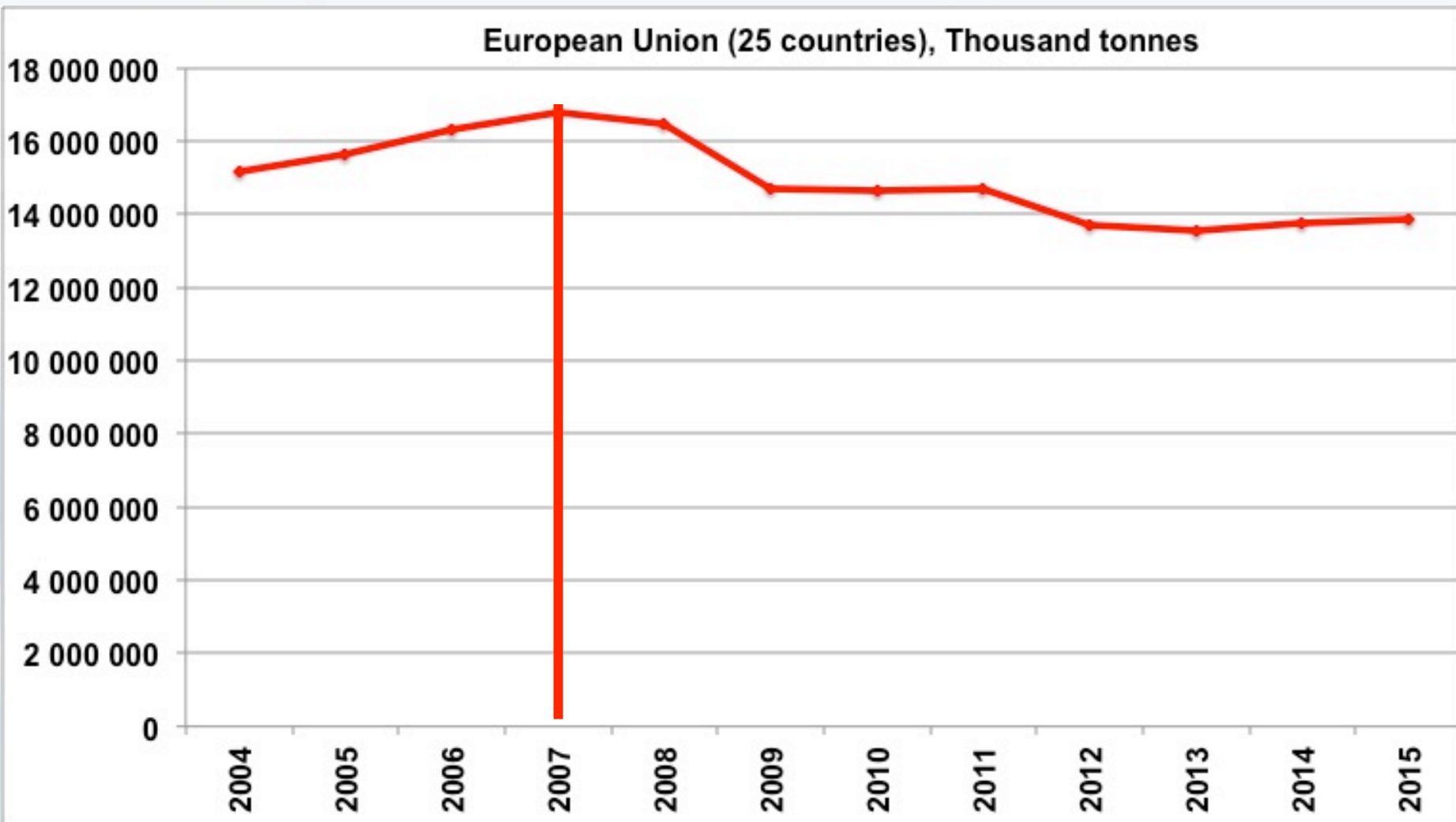
Consommation mondiale de carburants depuis 1980 (pour le fuel oil, une partie va dans l'industrie). Données BP Statistical Review.

Mais l'Europe n'est pas le monde...



Approvisionnement pétrolier de l'Union+Norvège depuis 1965. Jancovici, sur données BP Statistical Review, 2020

Moins de pétrole, moins de camions



Tonnes chargées en Europe depuis 2004. Données Eurostat

L'impossible définition des économies : l'électricité



Le frigo de 1950 : ~100 litres, ~400 kWh/an

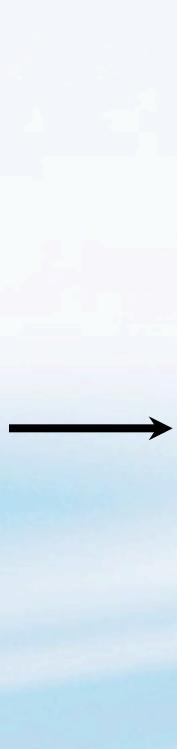
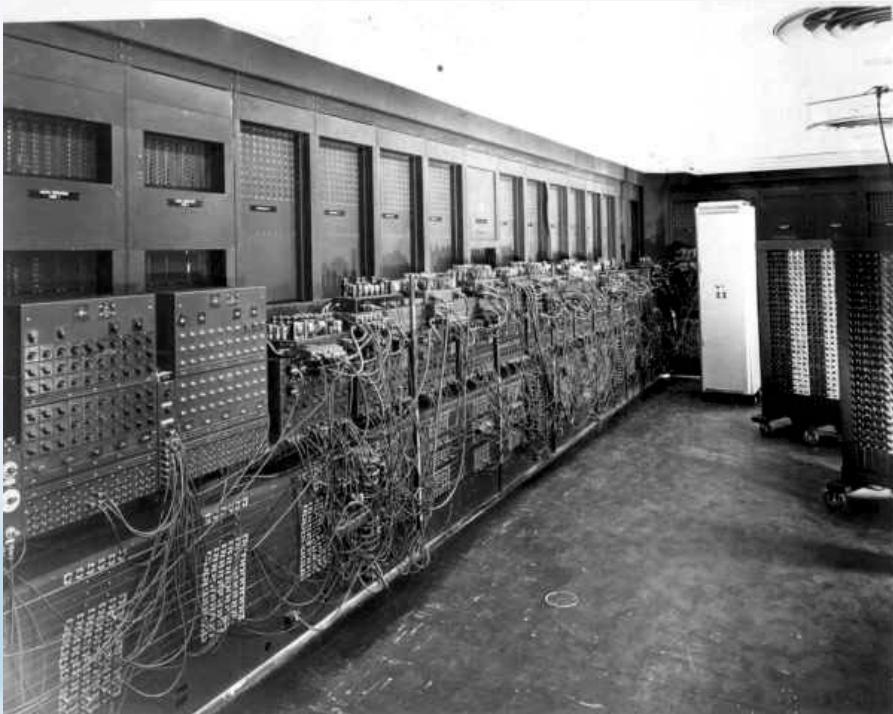
Le frigo de 2010 : 280 litres, 30% en compartiment surgelés, 320 kWh/an

2 à 4 fois moins d'électricité par litre refroidi

Par rapport à 1970, 4 fois moins d'électricité consommée par réfrigérateur

Economies !

L'impossible définition des économies : l'électricité



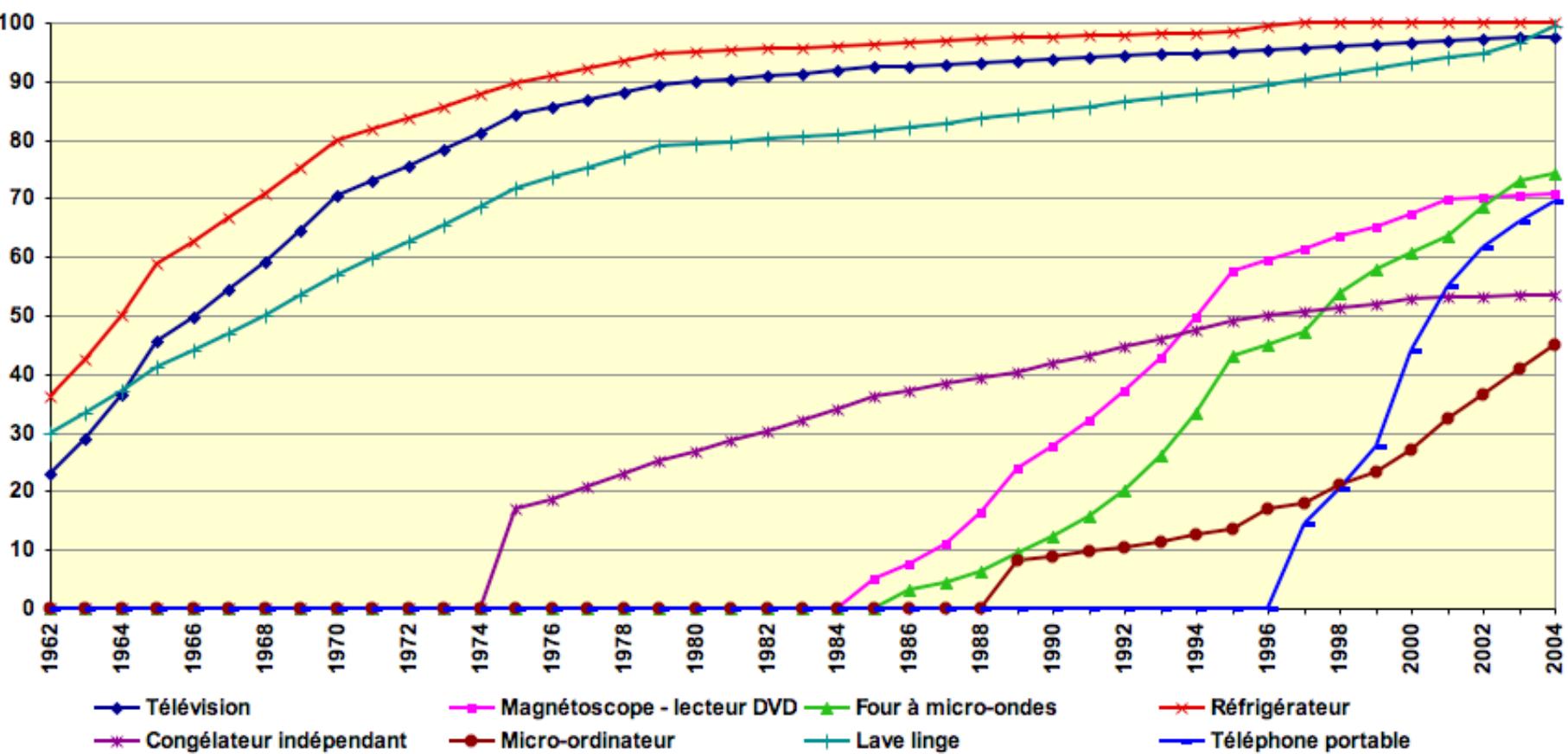
L'ordinateur de 1950 (ENIAC) : 27 tonnes, 18.000 tubes à vide, 150 kW.

L'ordinateur de 2028 : 2 kg, 50 millions de transistors, 20 W

Un million de fois moins de puissance électrique consommée par transistor

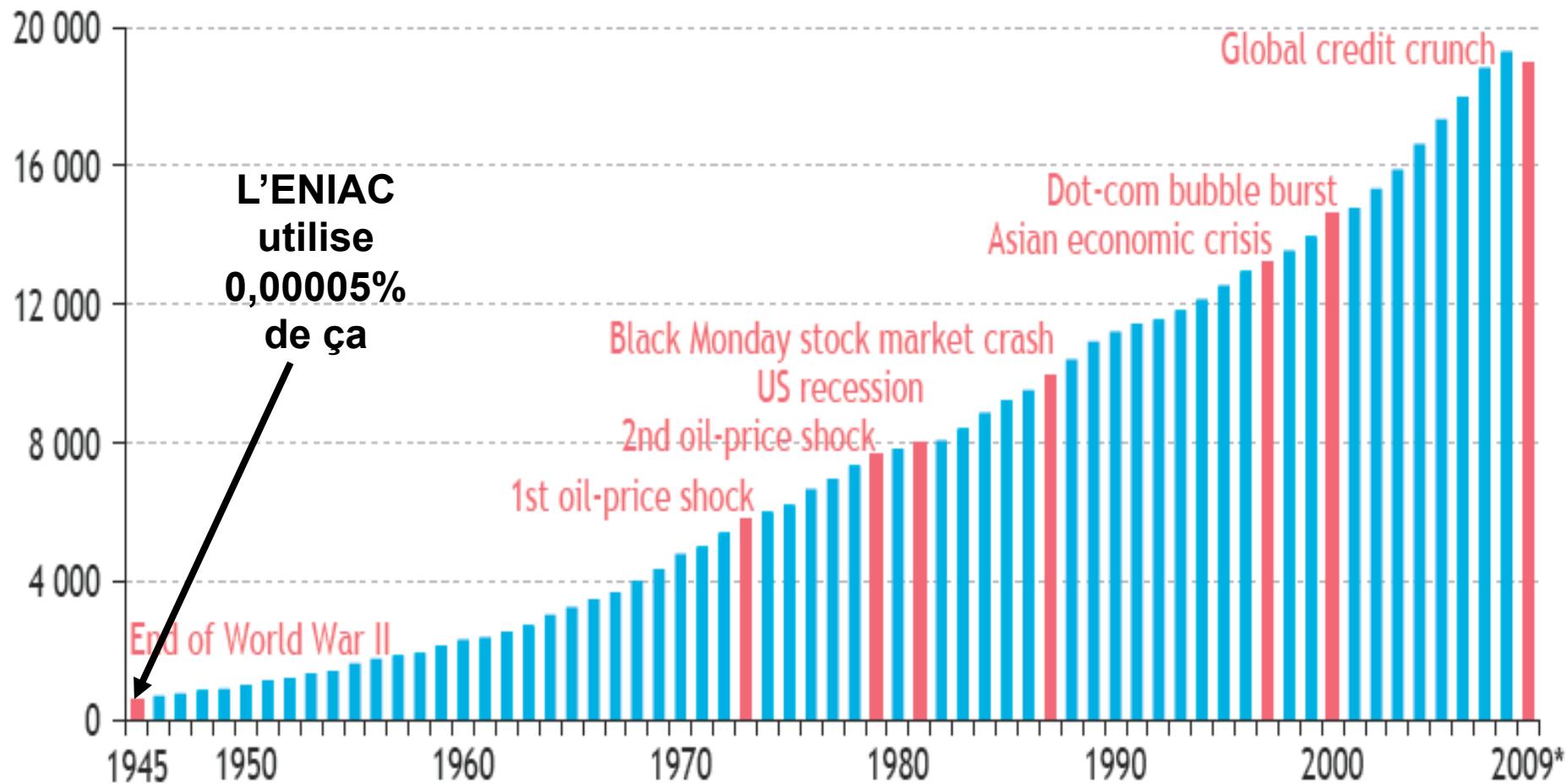
Un million de fois moins de poids par transistor

Economies !



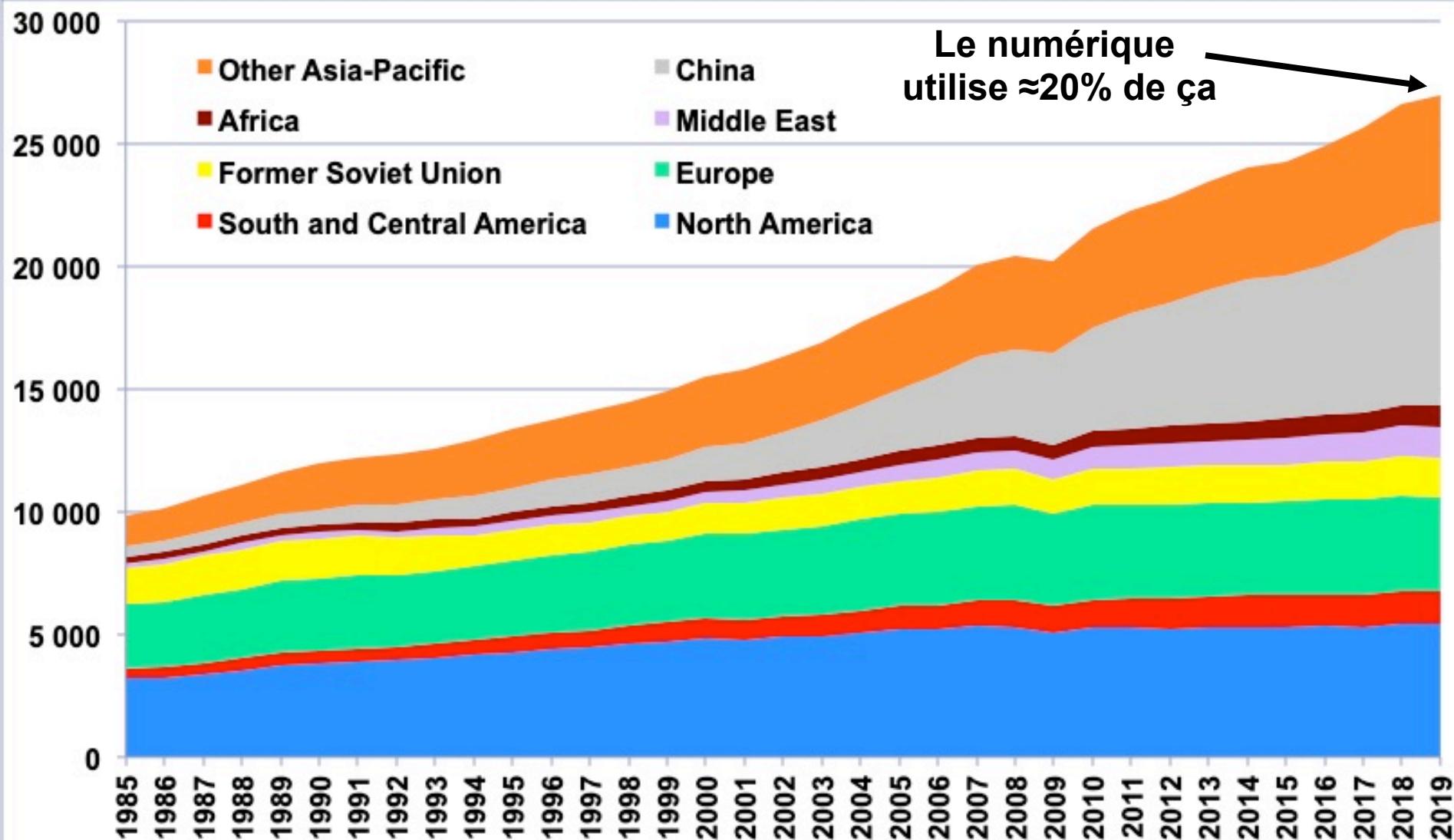
Evolution du taux d'équipement des ménages français de 1962 à 2004. Source : INSEE, 2010

≈ 21.000 TWh



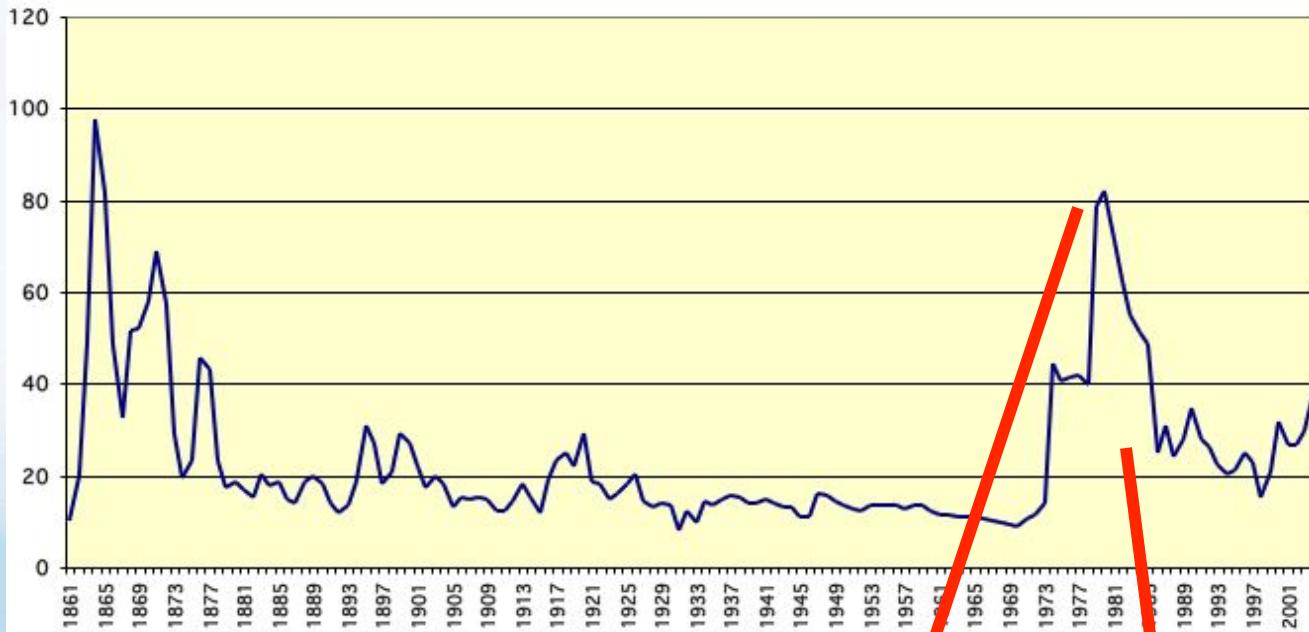
≈ 650 TWh

Evolution de la consommation mondiale d'électricité depuis 1945, en TWh
Source : World Energy Outlook, AIE, 2009



Consommation mondiale d'électricité depuis 1985.
Source BP Statistical Review

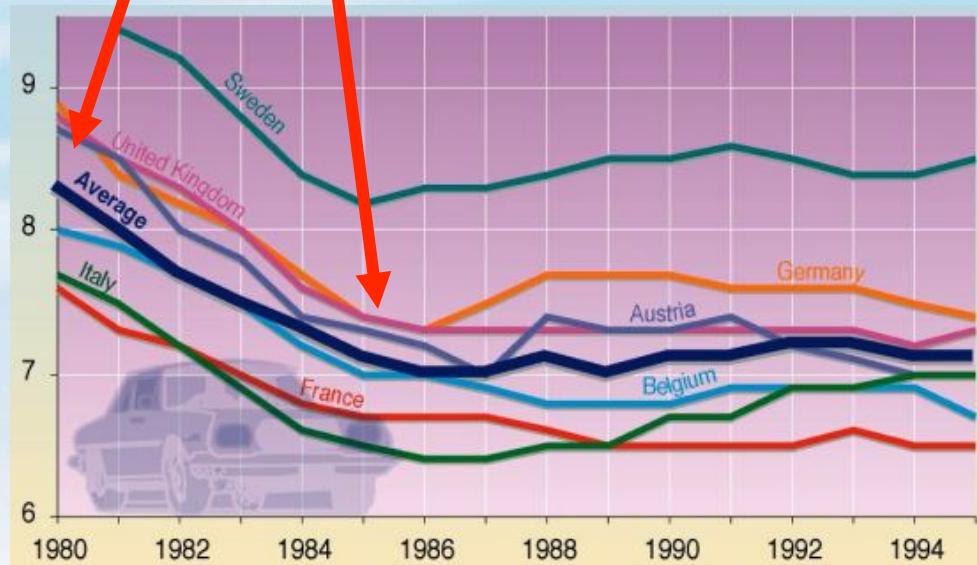
La morale c'est bien, mais le prix c'est mieux



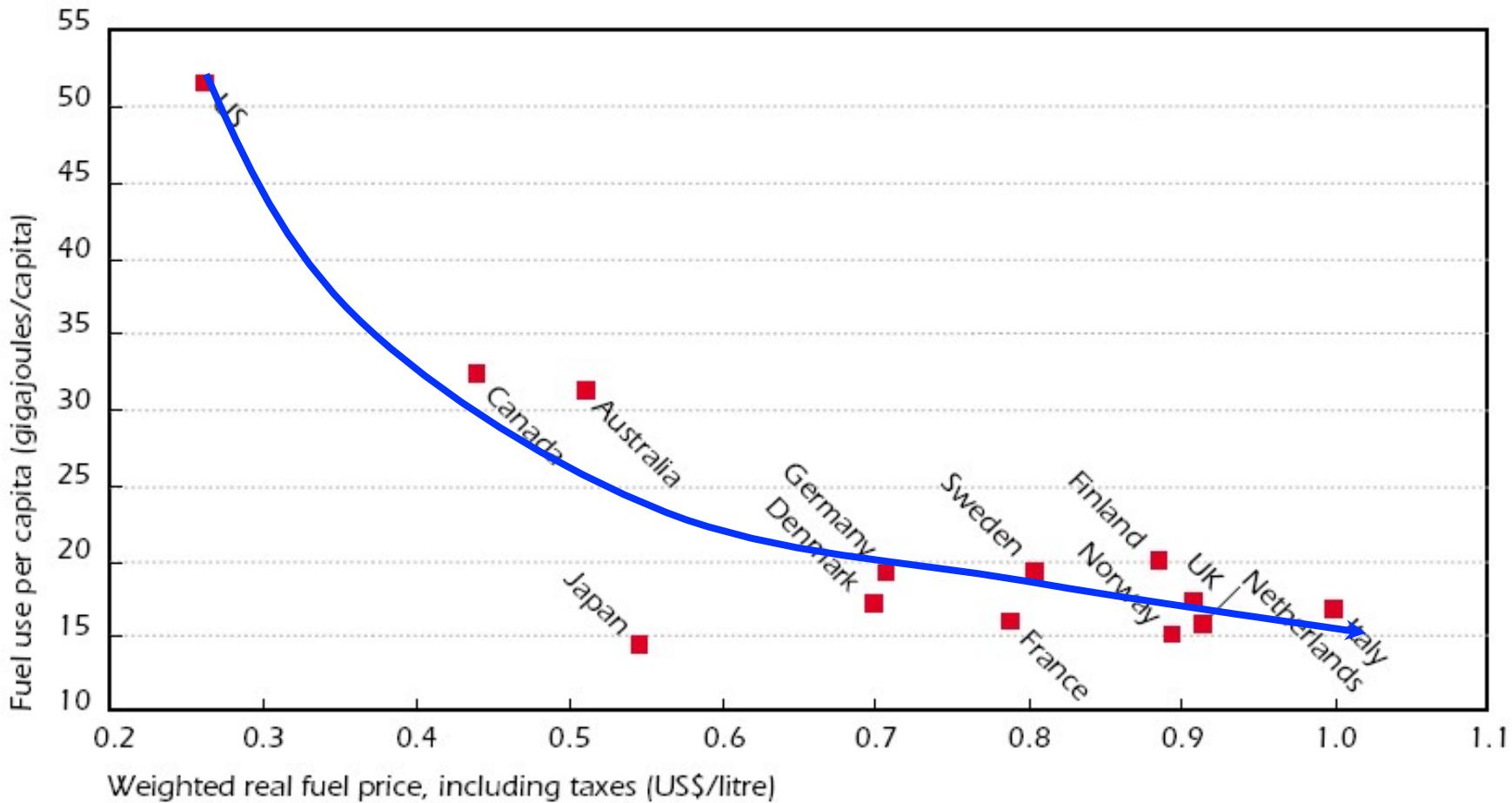
Prix du pétrole en \$ constants (de 2004) depuis 1861. Source BP Statistical Review, juin 2005

Consommation aux 100 km des voitures neuves vendues dans divers pays de l'OCDE.

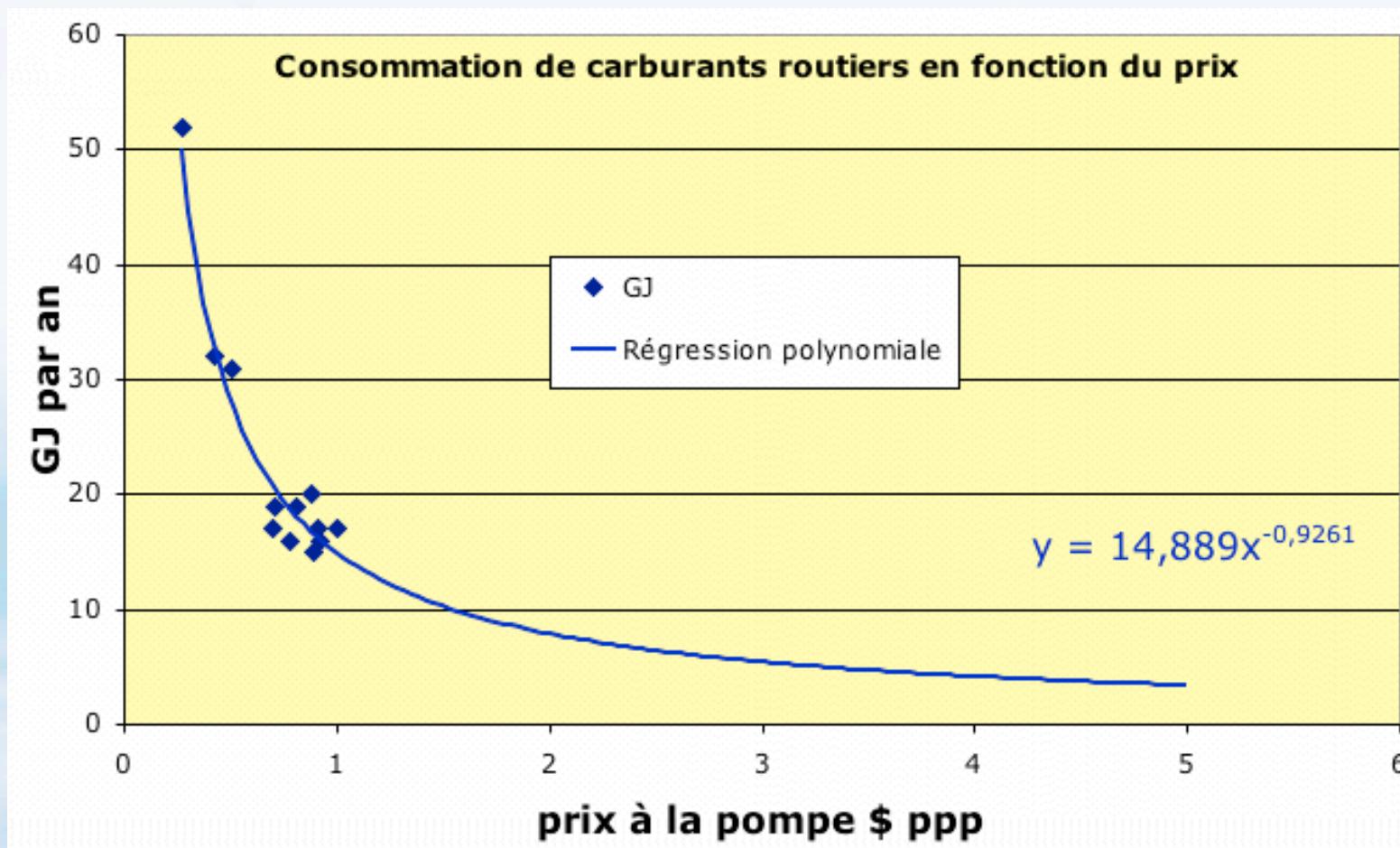
Source GIEC



Car Fuel Use per Capita versus Average Fuel Price, 1998



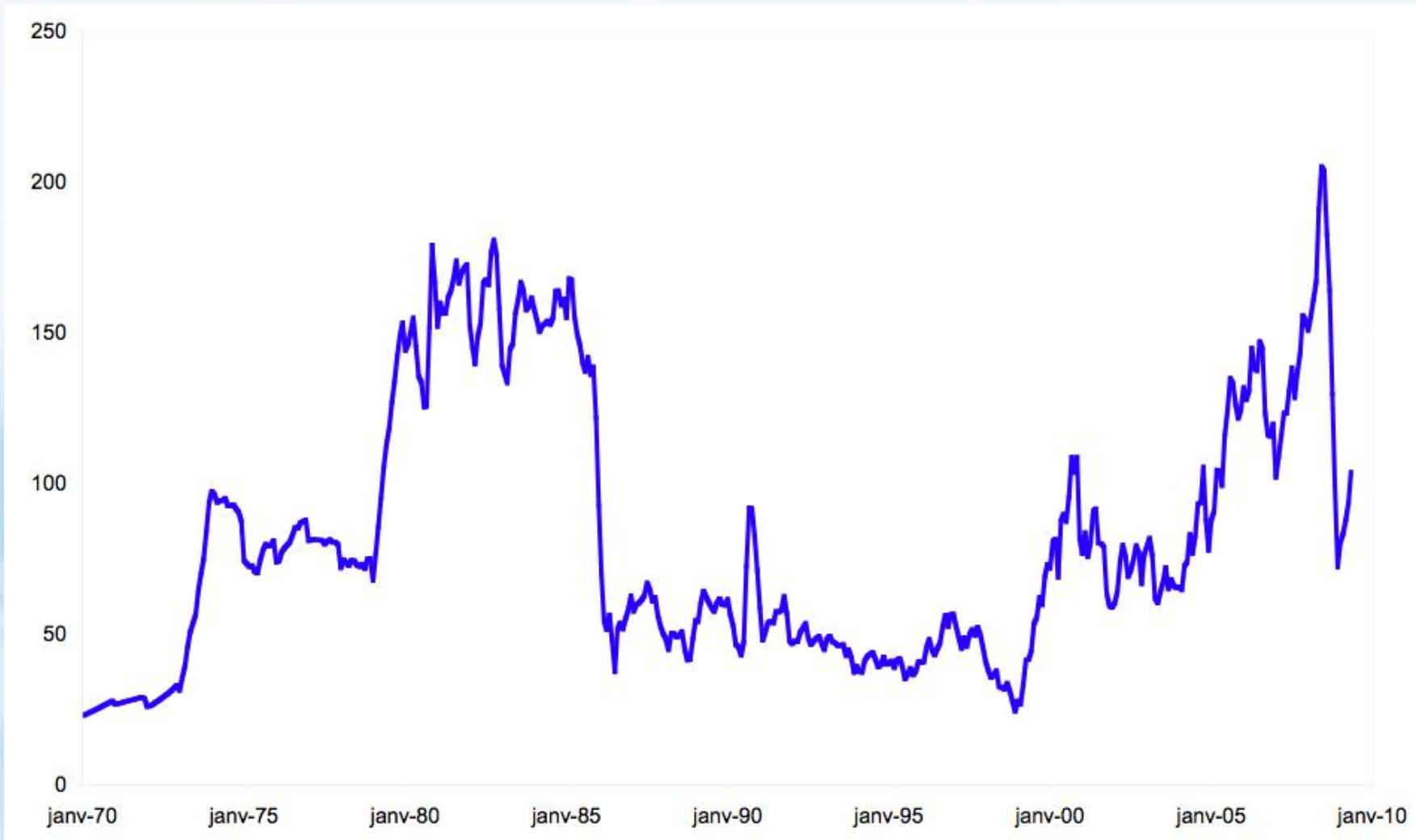
Consommations de carburants routiers par habitant en 1998 (axe vertical, en gigajoules ; une tonne de pétrole \approx 42 GJ) en fonction du prix de détail TTC des carburants en \$ par litre (axe horizontal). Source AIE, 2004



Même graphique que précédemment, avec prolongation tendancielle. Si celle-ci est valide, il faudrait que l'essence coûte (sur une période longue) environ 4 \$/litre (en prix constants) pour que la consommation soit divisée par 4 en France.

Extrapolation de l'auteur.

En fait, nous aimons beaucoup payer le carbone !



Prix moyen mensuel en € de 2008 d'une quantité de pétrole brut dont la combustion émet 1 t de CO₂. Source Richard Lavergne (CGDD) et Yves Martin, juillet 2009

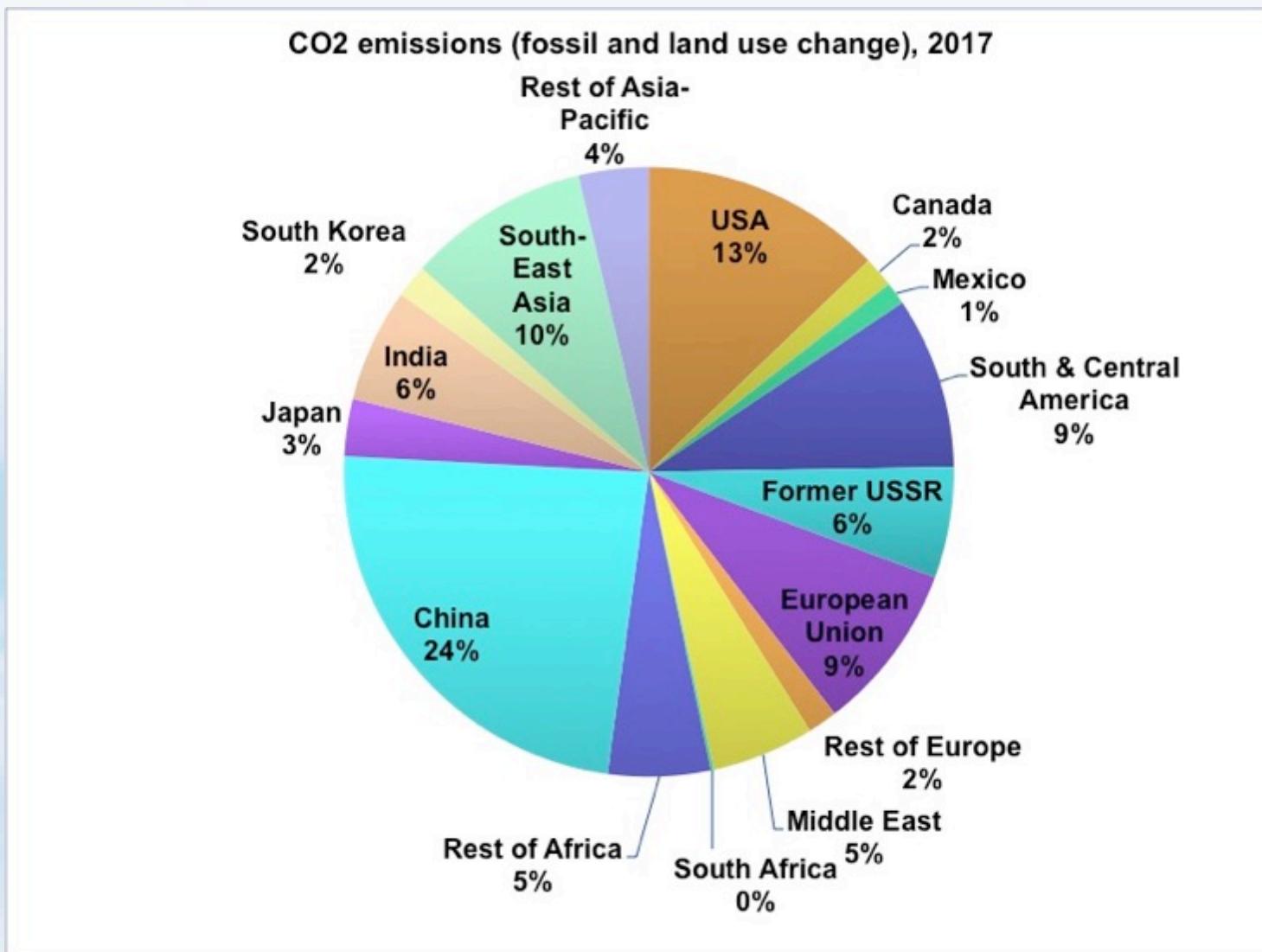
Pour engendrer des économies en valeur absolue, augmenter l'efficacité n'a jamais été suffisant. Il faut contraindre les usages :

Par les prix : fiscalité sur l'usage (carburants) ou la détention (vignette), paiements directs (places de stationnement)

Par la réglementation : quotas en volume (permis de construire, vols en avion, cheptel ou production de lait...), interdictions (par exemple d'avoir une chaudière à fioul chez soi), normalisation (consommation maximale d'un véhicule neuf)

Ou... par le rationnement survenant « naturellement » (peak oil ou covid !)

Les cochons de pollueurs... sont des cochons qui votent



Répartition par pays des émissions de CO₂ en 2017, déforestation incluse. Calculs de l'auteur sur sources BP Statistical Review pour l'énergie, et Woods Hole Centre pour la déforestation

L'idée qu'on se fait d'une organisation « normale »

**Le chef, en haut,
commande**



**Le salarié, en
bas, exécute.**



**La possibilité pour le salarié de
refuser d'exécuter est limitée...**

Et donc pour un gouvernement, c'est pareil ?



Une démocratie, ce n'est pas une entreprise



Je veux ! (ou je ne vote pas pour toi)



Je veux ! (ou je ne vote pas pour toi)



Je veux ! (ou je ne vote pas pour toi)



Je veux ! (ou je ne vote pas pour toi)

