

SOLEIL - CLIMAT - ENERGIE

Prenons de la hauteur

Sylvaine Turck-Chièze

*Directrice de recherches honoraire du CEA,
correspondante IDF F&S*

Emprunts à mes travaux, au CEA, à J M. Jancovici (Mines, Monde sans fin), aux membres du
GIEC, RTE, ITER, LMJ, NIF ...
et à bien d'autres

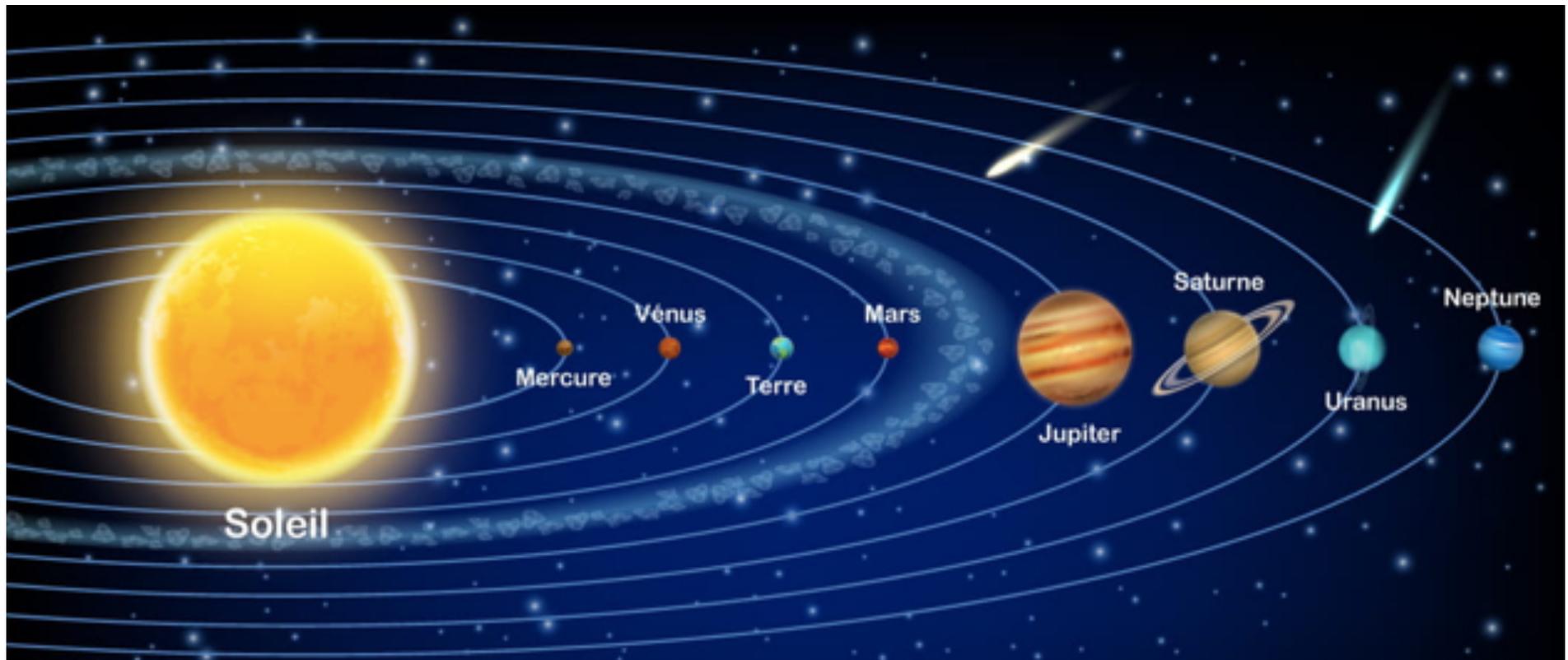
Pour comprendre il faut une vision d'ensemble,
le vingtième siècle l'a fourni,
Les mesures existent: passé, présent. Leur compréhension aussi

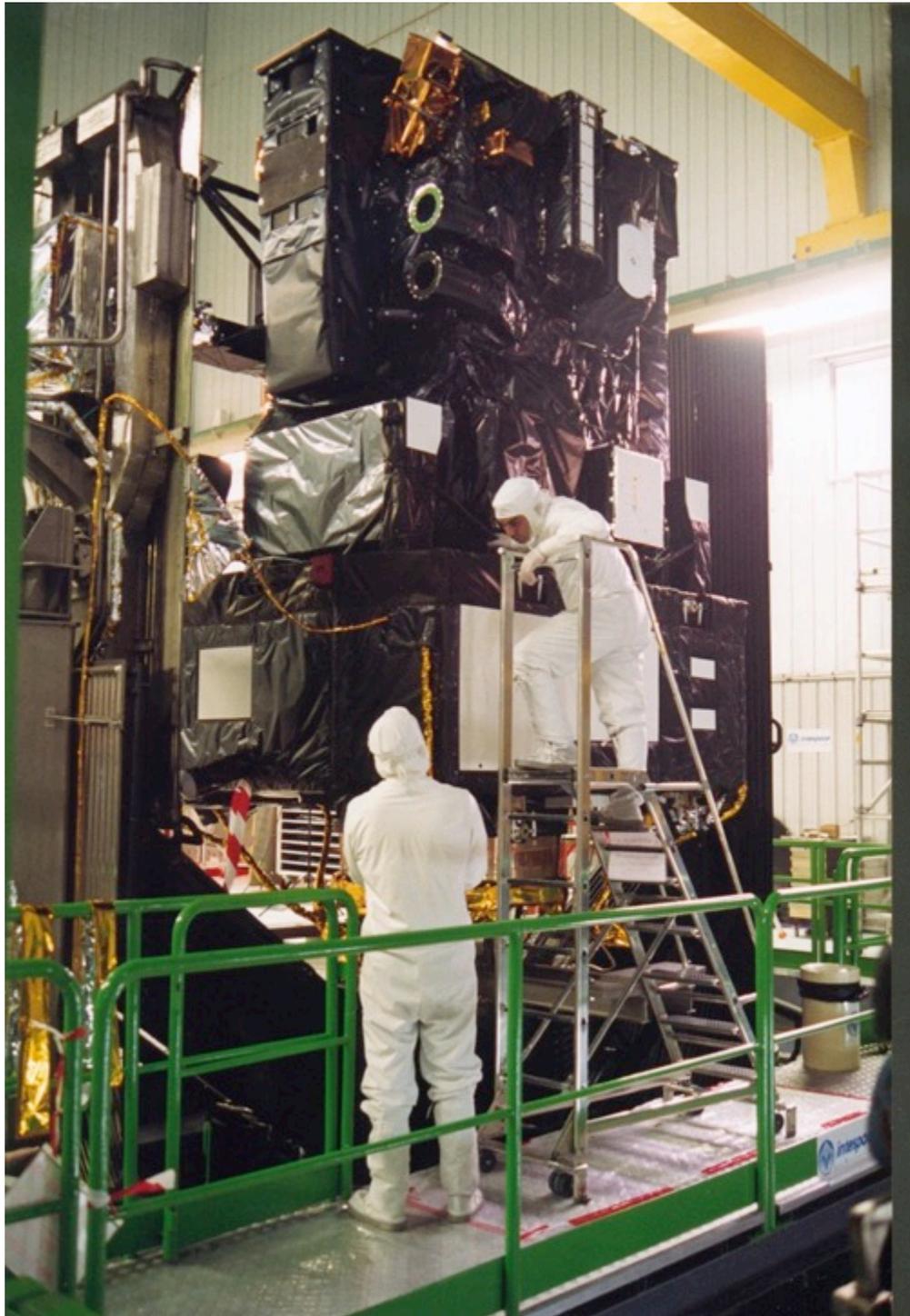
Rien sur la biodiversité dans cette présentation: je ne suis pas spécialiste
Alors comment réagir ?

1- Le Soleil

Le système solaire est né
il y a **4.65 milliards** d'années
de l'explosion d'une supernova
synthèse des éléments: C, N, O, Fe ...

le Soleil est *une étoile*, cad qu'il produit de l'énergie et chauffe la Terre, c'est sa principale source d'énergie

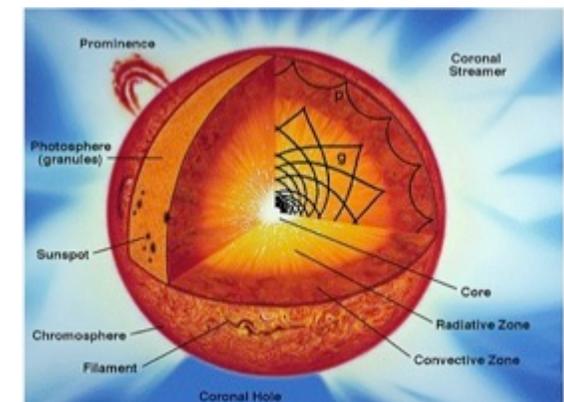




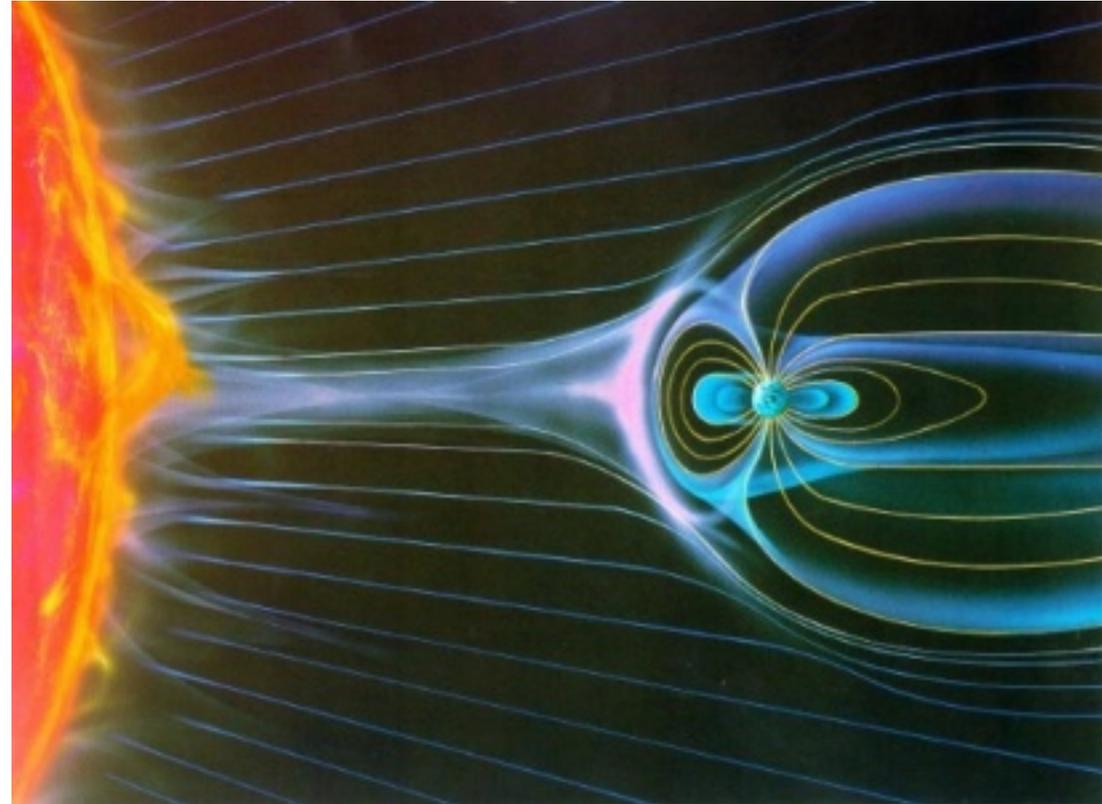
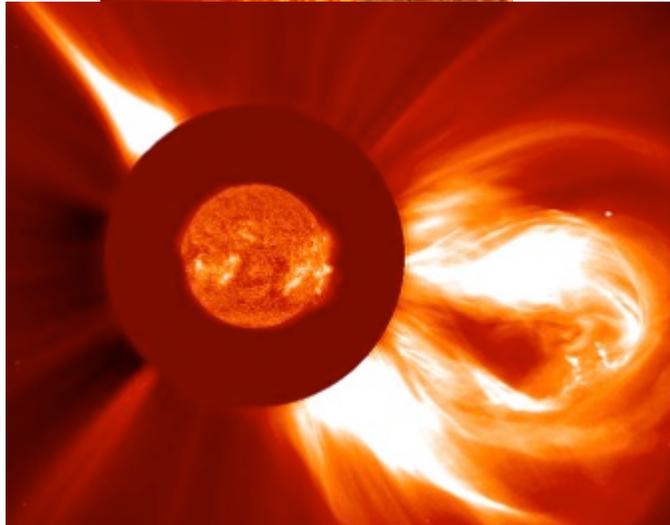
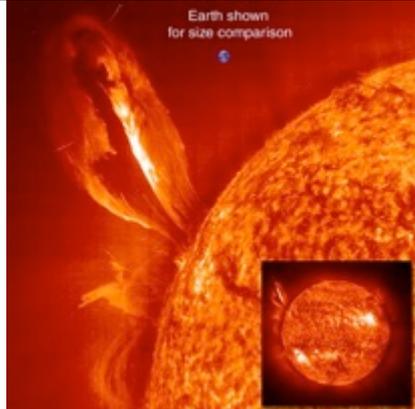
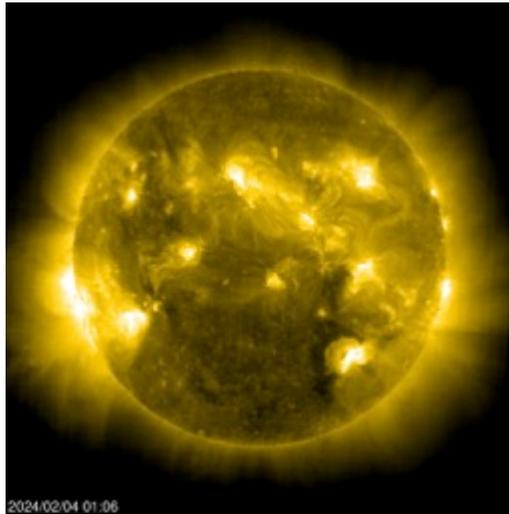
En 1995, le satellite européen **SOHO**, pierre angulaire de l'ESA, dédié à l'observation interne/externe du Soleil, a été lancé par la NASA. Il fonctionne toujours !!

Résultats: La luminosité est quasi constante sur 3 décennies: le Soleil n'est pas le responsable de l'augmentation de la T de la Terre.

Le fonctionnement interne de l'étoile soleil par sismologie est maîtrisé.



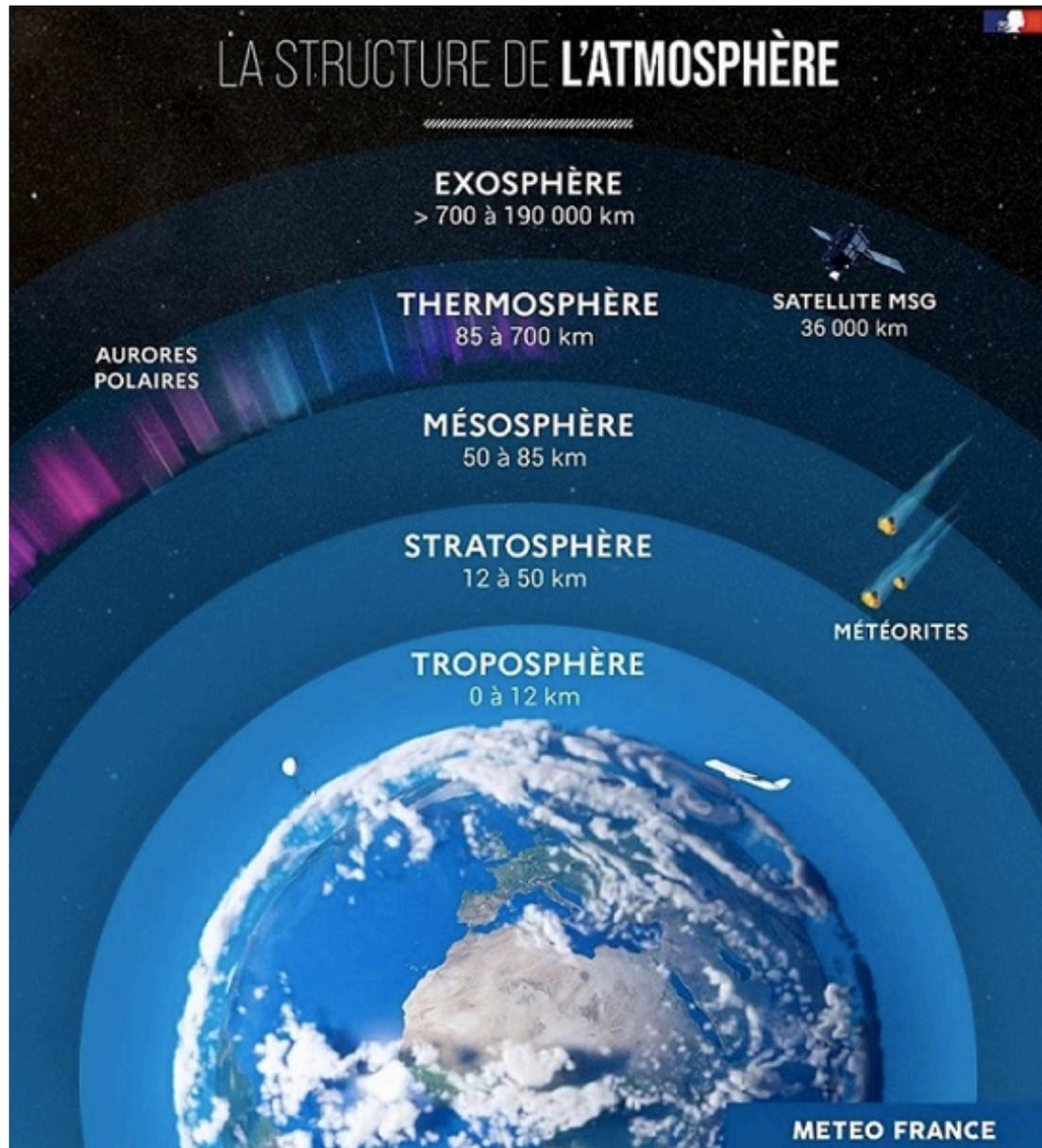
Le Soleil est une étoile magnétique variable => Interaction Soleil-Terre



Le rôle de la Lune:
stabilité et noyau de fer de la
Terre



La vie est apparue il y a **qq centaines de millions** d'années, grâce à l'atmosphère de la Terre qui a évolué



Atmosphère primitive
80% eau, 15% gaz carbonique (CO_2), moins de 5% azote, pas d'oxygène

L'homme est apparu il y a 1-2 millions d'années

Atmosphère aujourd'hui
78 % d'azote et 21 % d'oxygène, 1% de gaz rare: argon, hélium, ozone, krypton, xénon, vapeur d'eau et CO_2

De tout temps l'environnement de la Terre a subi des agressions qui ont un impact sur son climat:

Choc primitif: création de la Lune, éruptions solaires, météorites, explosion d'autres supernovae, provoquent des réactions de la Terre : volcans, mégafeux, inondations...
évolution de l'atmosphère ...

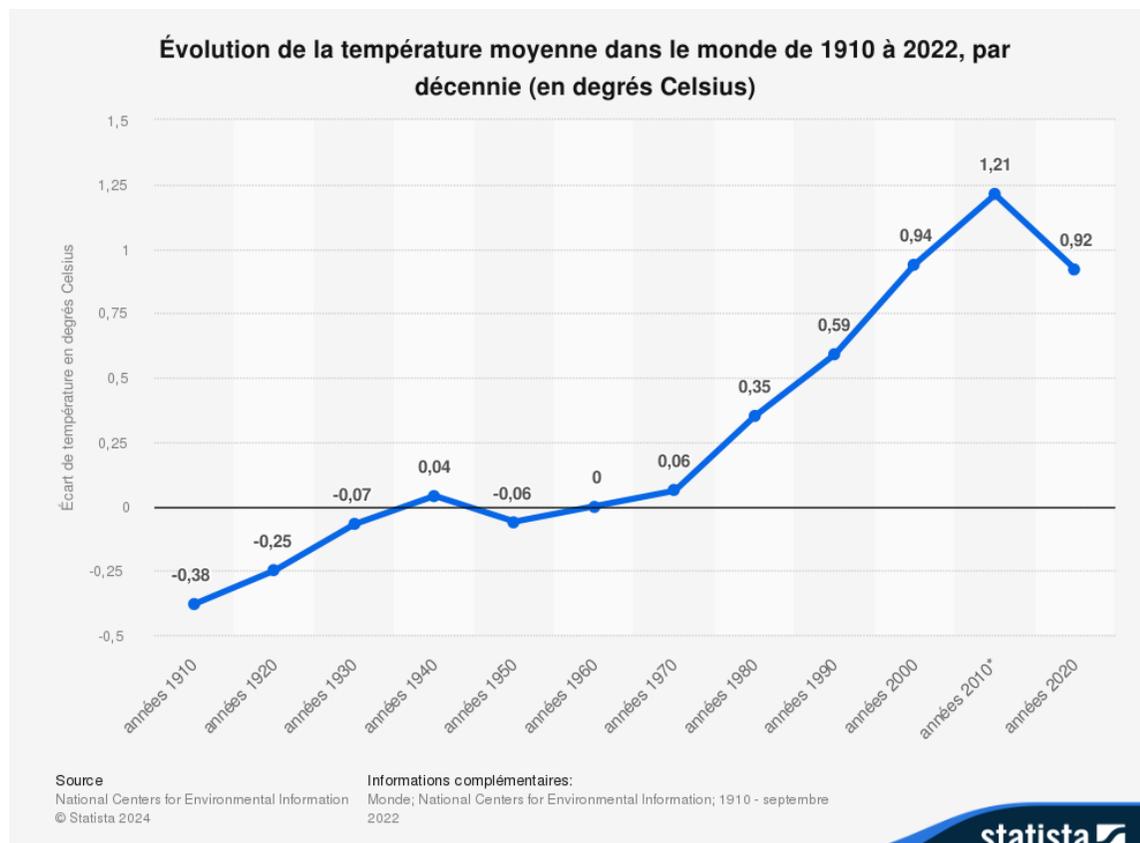
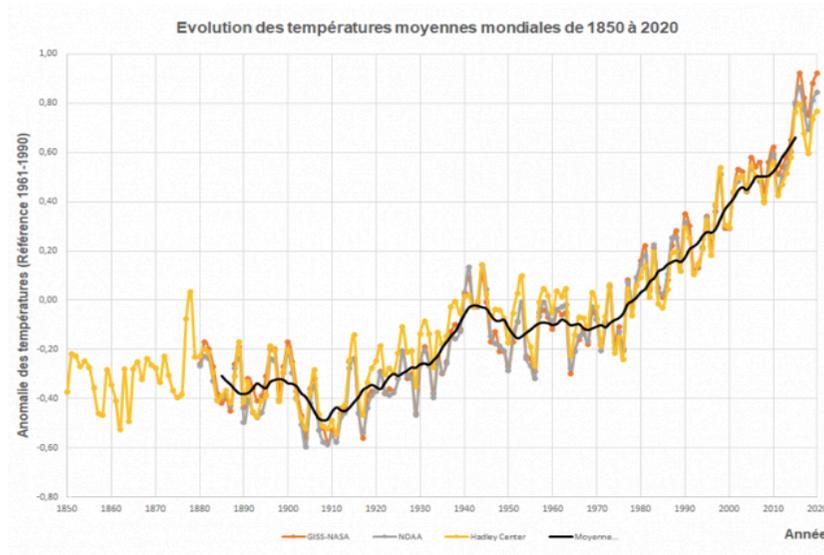
Aujourd'hui, notre Terre reste soumise à son environnement avec 2 dangers dominants:

- météorites et réactions de notre planète
- éruptions solaires en direction de la Terre: impact sur les systèmes électromagnétiques: satellites, centrales, système électricité (Mars 1989 Canada: 6 millions d'ha une dizaine d'heures, 5 tempêtes solaires de classe X en Octobre 2024)

2- Regardons maintenant la Terre

Le climat de la Terre

- C'est l'ensemble des paramètres météorologiques intégrés sur 30 ans environ:
- hygrométrie, pression, **température**, vent, précipitation, **composition de l'atmosphère** et leurs évolutions dans un lieu donné
- ou au niveau mondial



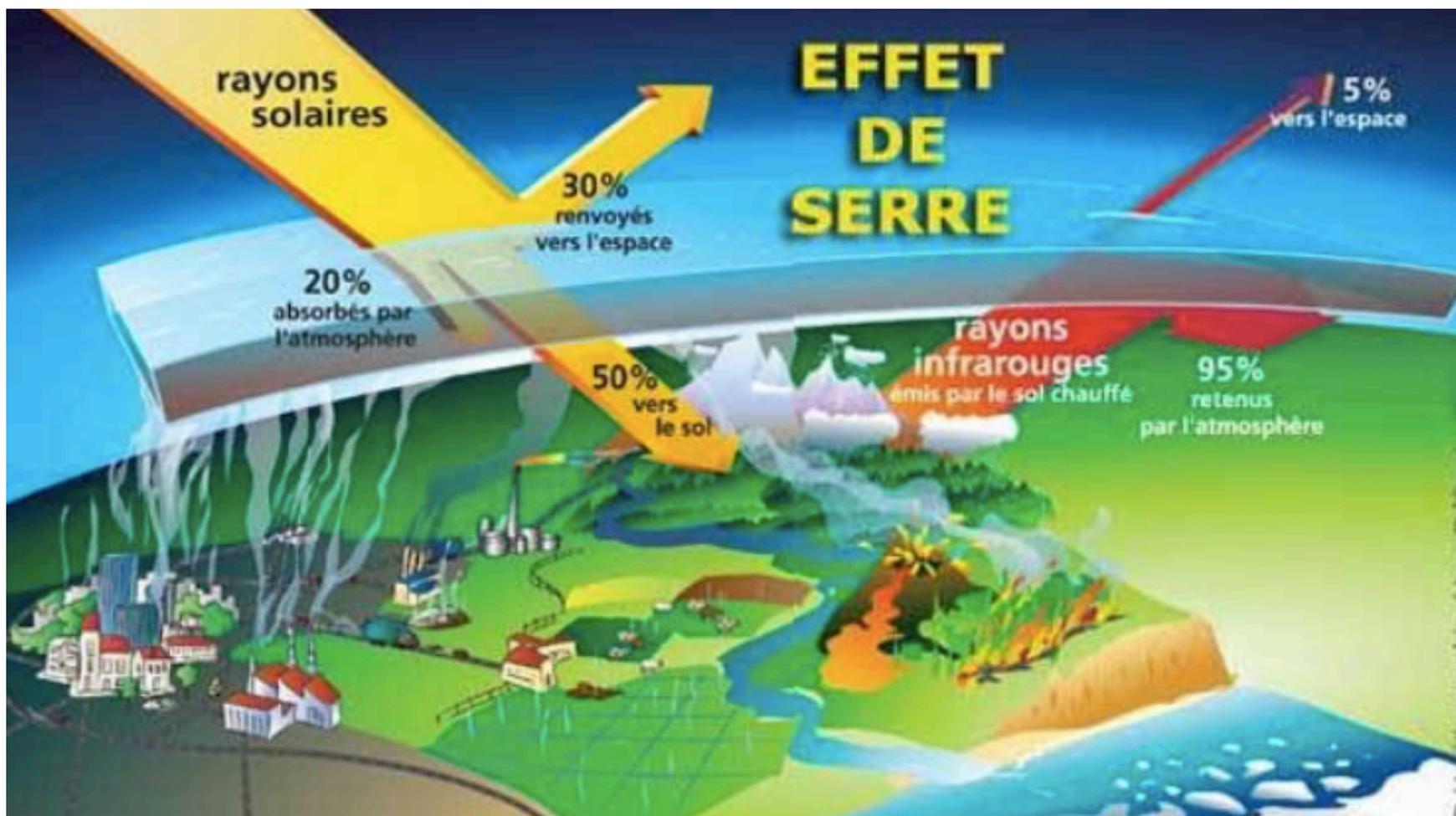
Réchauffement climatique:
origines naturelles ou
terrestres

climatologues (1980-1990)-
astrophysiciens

⇒ GIEC pour conseiller
les gouvernements

⇒ **Accord de Paris 2015**

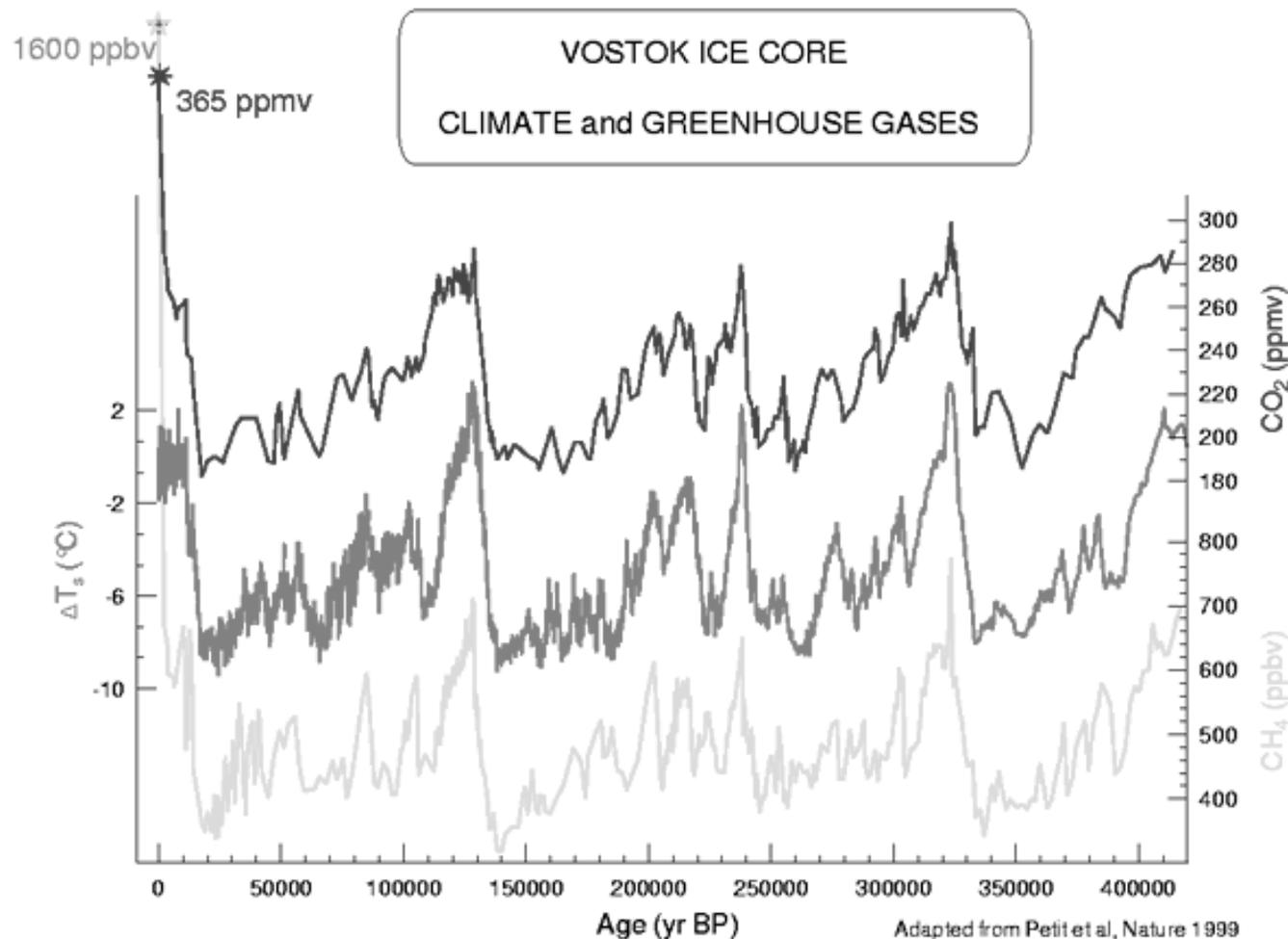
Qu'est ce l'effet de serre ?



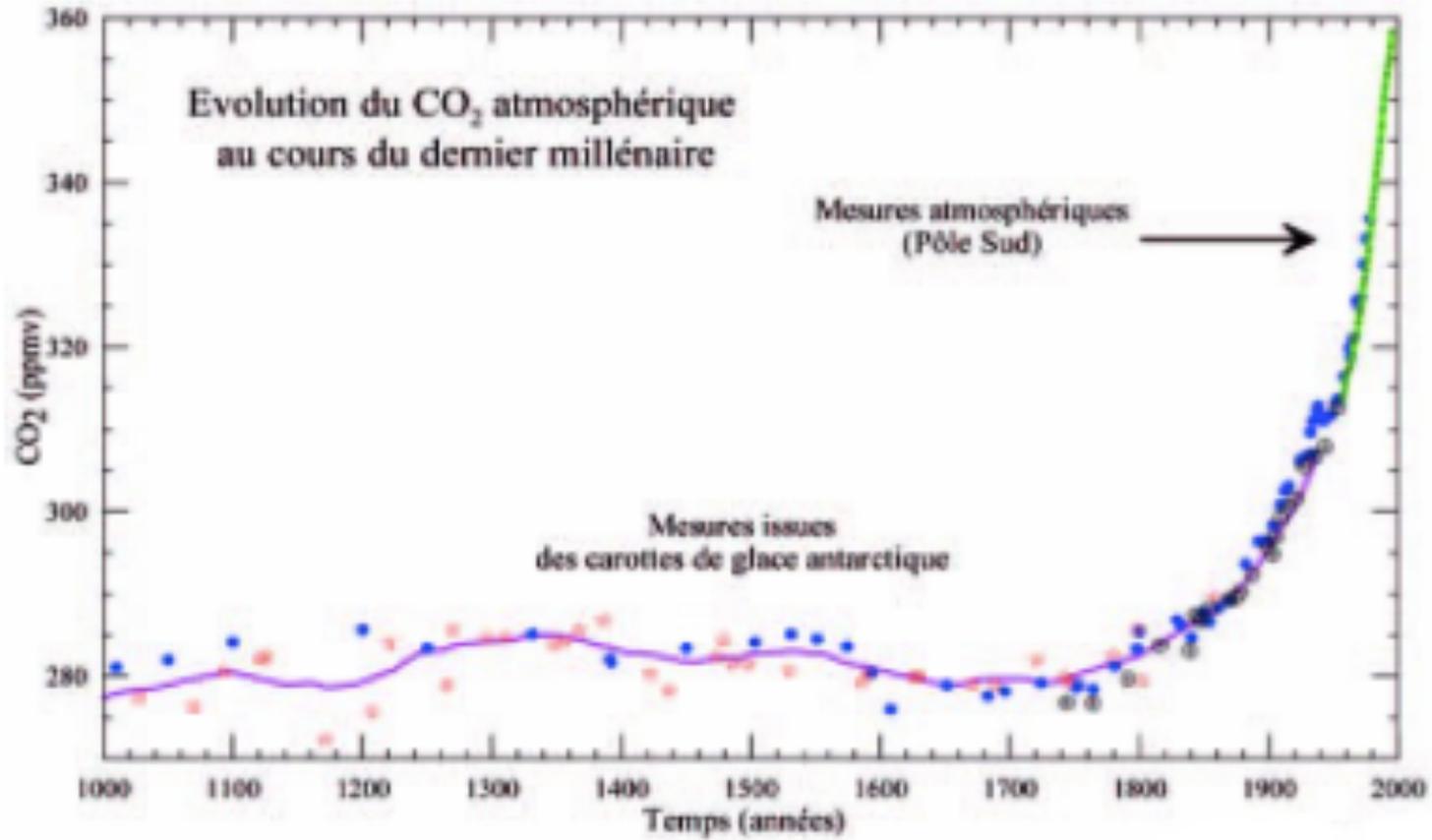
Principaux composants des gaz à effet de serre:
eau, CO_2 gaz carbonique, CH_4 méthane, N_2O monoxyde d'azote, ozone

Grâce au piégeage des gaz dans la glace, on peut remonter vers le passé sur 400 000-500 000 ans. Les variations observées sont largement liées au déplacement de la Terre par rapport du Soleil avec différentes périodicités: 41000, 20000 ans ...

périodes glaciaires-interglaciaires

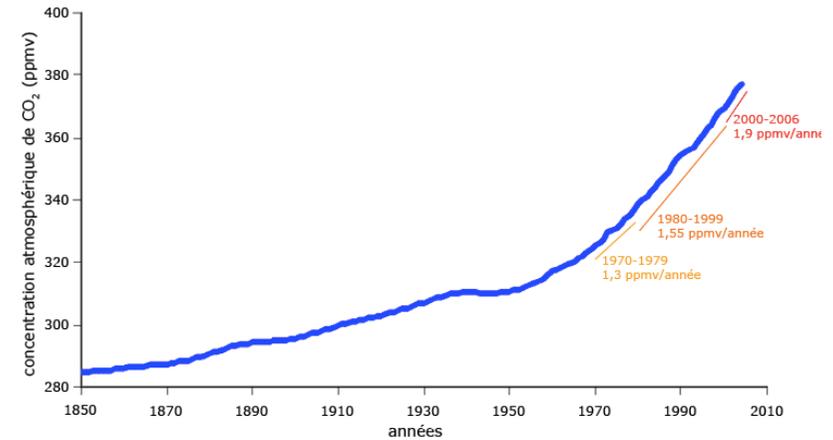


Evolution du CO₂ dans l'atmosphère



Évolution observée de la concentration de l'atmosphère en CO₂ (source : Jean-Marc Barnola, LGGE-CNRS)

Evolution du gaz carbonique (CO₂) dans l'atmosphère



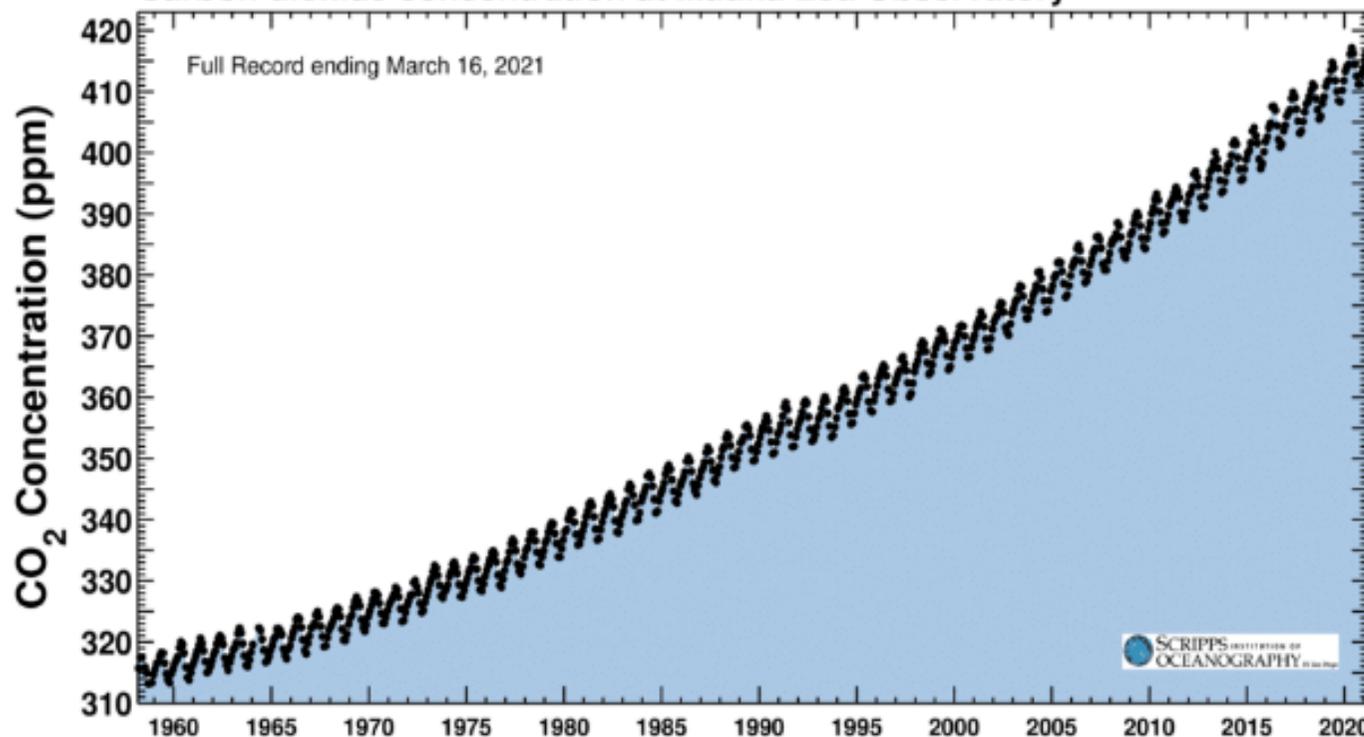
Sources : NOAA 2007; Canadell et al. 2007, PNAS

Évolution de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone entre 1850 et 2006

March 16, 2021

Hawaii

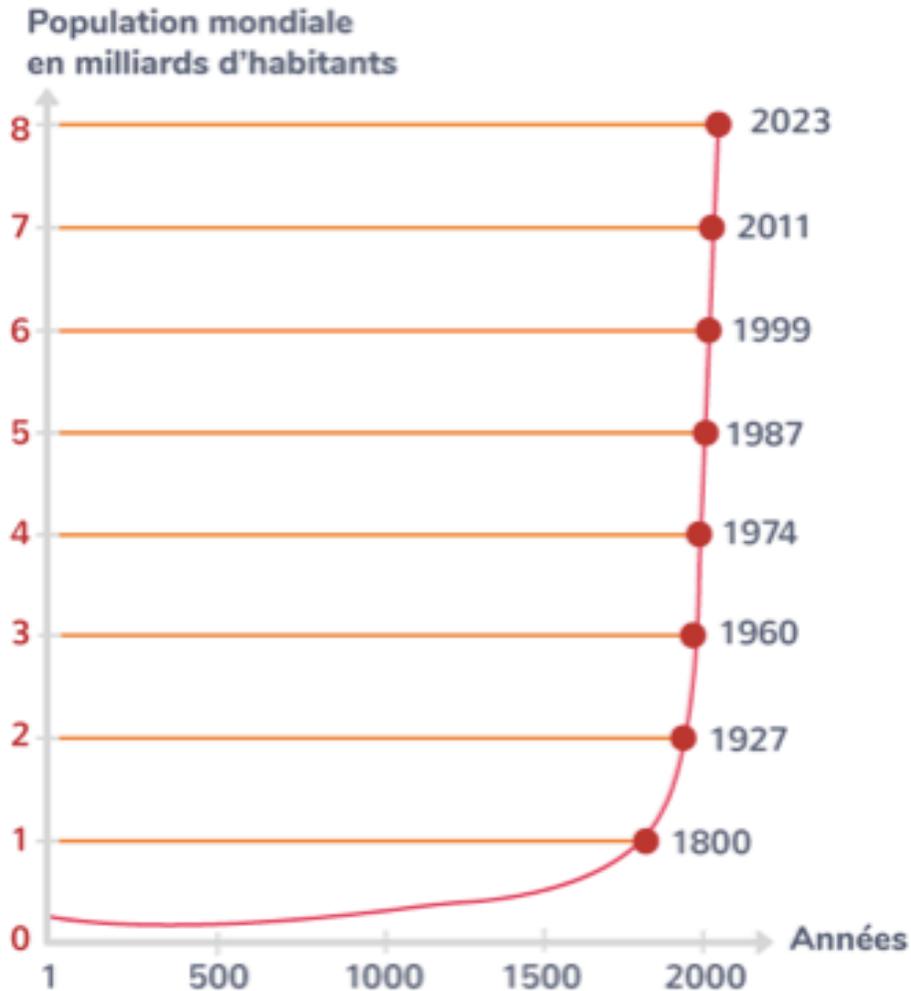
Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



**En 2022: 417.9 ppm
une augmentation
de 150% depuis 1750**

La courbe de Keeling, qui montre la concentration (donnée en parties par million) de CO₂ dans l'atmosphère, depuis 1958. © Scripps institution of oceanography

Courbe de croissance mondiale



Limitation des guerres

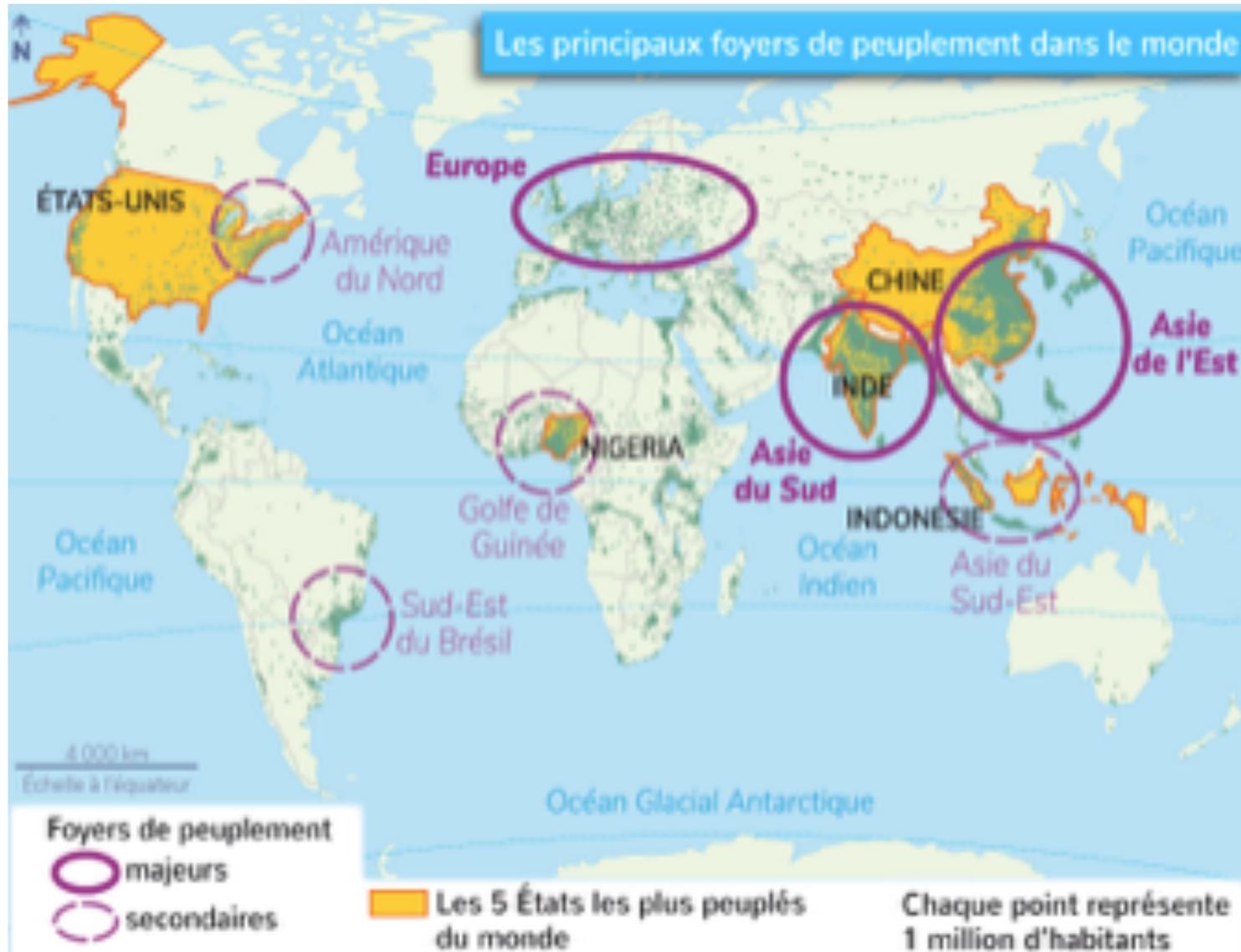
Développement de l'hygiène et de la médecine

Vieillessement de la population

Développement des aides au travail

La croissance de la population mondiale depuis l'Antiquité

Répartition de la population mondiale



Regroupement dans les villes

3 - Ere de l'anthropocène

Le rôle de l'homme

Energie

Qu'est ce que l'énergie ?

Jancovici : cours Mines 2019, Shift Project

L'énergie est la grandeur physique qui permet de caractériser un changement d'état dans un système :

Modification de température



Modification de la vitesse



Modification de forme



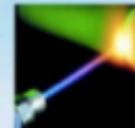
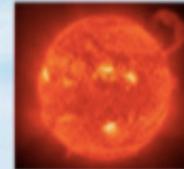
Modification de la composition chimique



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



Changement de composition atomique



Modification de l'énergie ou du nombre de photons



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

La puissance énergétique

Energie: puissance * temps d'usage



= 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 !

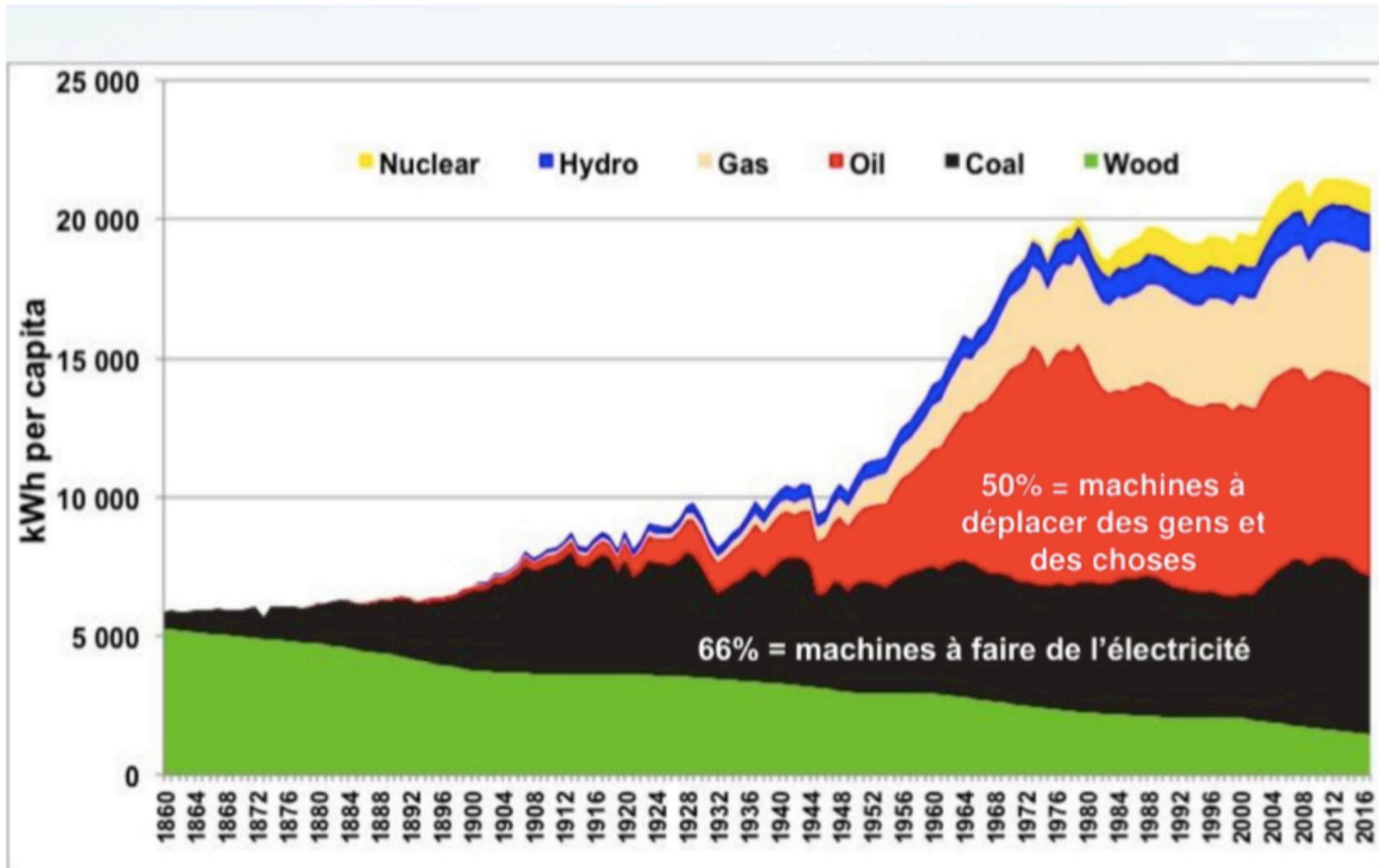


Un autre auxiliaire de l'agriculture qui vaut quelques millions de paires de bras...



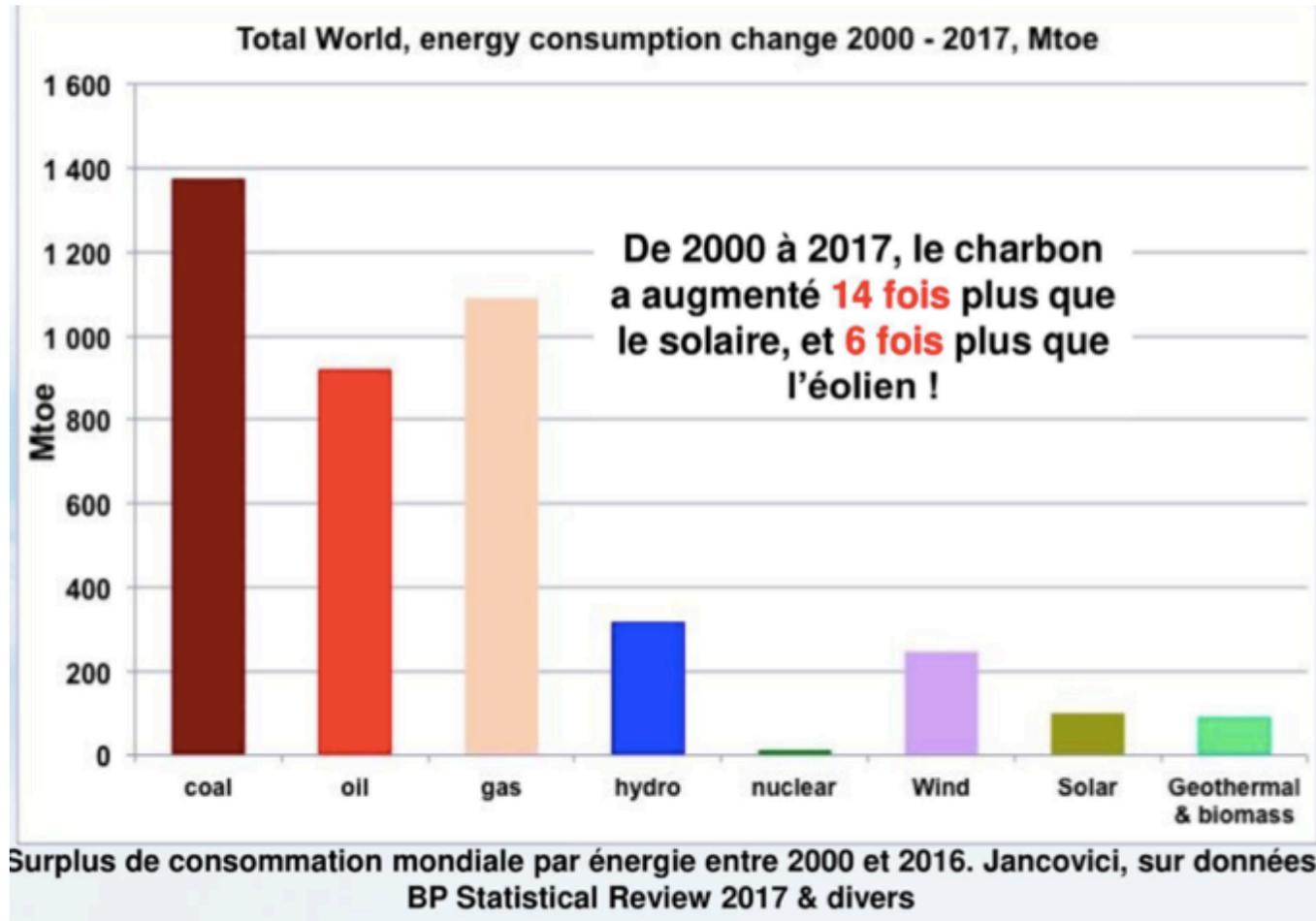
Et plus pour les Etats Unis

Evolution de la consommation énergétique mondiale

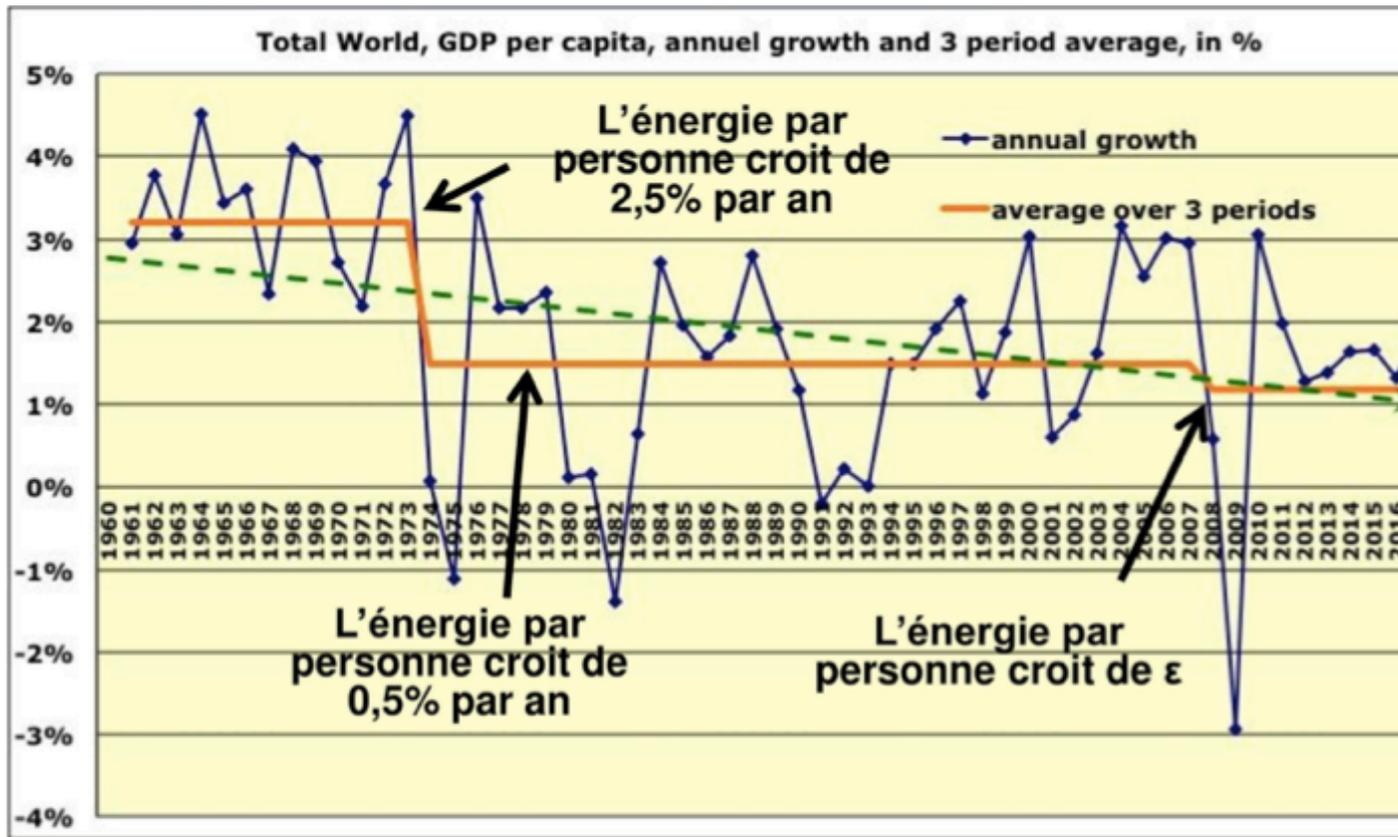


Consommation d'énergie par personne, moyenne mondiale 1860-2017. Jancovici, 2018

Consommation mondiale



Enfin une bonne nouvelle



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

Sources d'émission de CO₂ et durée de présence de polluants dans l'atmosphère

| | | | |
|------------------|------------------------------|--------------|---------------------------------------|
| nucléaire | 4 à 8 g CO ₂ /kWh | déchets | CO ₂ (420ppm): 5 à 100 ans |
| éolien | 10 g CO ₂ /kWh | intermittent | Méthane (2ppm): 7 ans |
| hydroélectricité | 10 g CO ₂ /kWh | aussi | Ozone: 120 ans |
| solaire | 23-43 g CO ₂ /kWh | intermittent | CFC: 100 ans |
| chauffage bois | 30 g CO ₂ /kWh | | HCFC: 12 ans |
| biomasse | 32 g CO ₂ /kWh | | HFC: 8-200 ans |
| géothermie | 38 g CO ₂ /kWh | | |
| gaz naturel | 443 g CO ₂ /kWh | épuisement | |
| pétrole | 730 g CO ₂ /kWh | épuisement | |
| charbon | 1058 g CO ₂ /kWh | épuisement | |

Et la France comment se situe t'elle?

- 1% de la population mondiale, poids démographique faible
- décisions fortes
- après guerre, le Général de Gaulle multiplie par 3 le budget de la recherche, développe un fort savoir faire dans le domaine de la recherche
CNRS 1939, CEA 1945, CNES 1961.
- La France fut (est ?) un pays de scientifiques et d'ingénieurs
- décision de construire des centrales nucléaires (56 réacteurs)

Il ne faut pas avoir honte de la France

- production électricité 2024 autour de 72% de nucléaire et 10-15% d'exportation (Allemagne 55% lignite et importation)
 - Le total de l'énergie consommée 2021: 64% combustibles fossiles
charbon 2%, pétrole 42%, gaz 20%, 25% électricité, 8.5% renouvelables
 - 30% transport, 30% résidentiel: chauffage
- Baisse de 20% depuis 1990 objectif - 40% 2030 initialement -40% 2050**
La France s'adapte: 4 Novembre 2024, PNACC-3, consultation publique

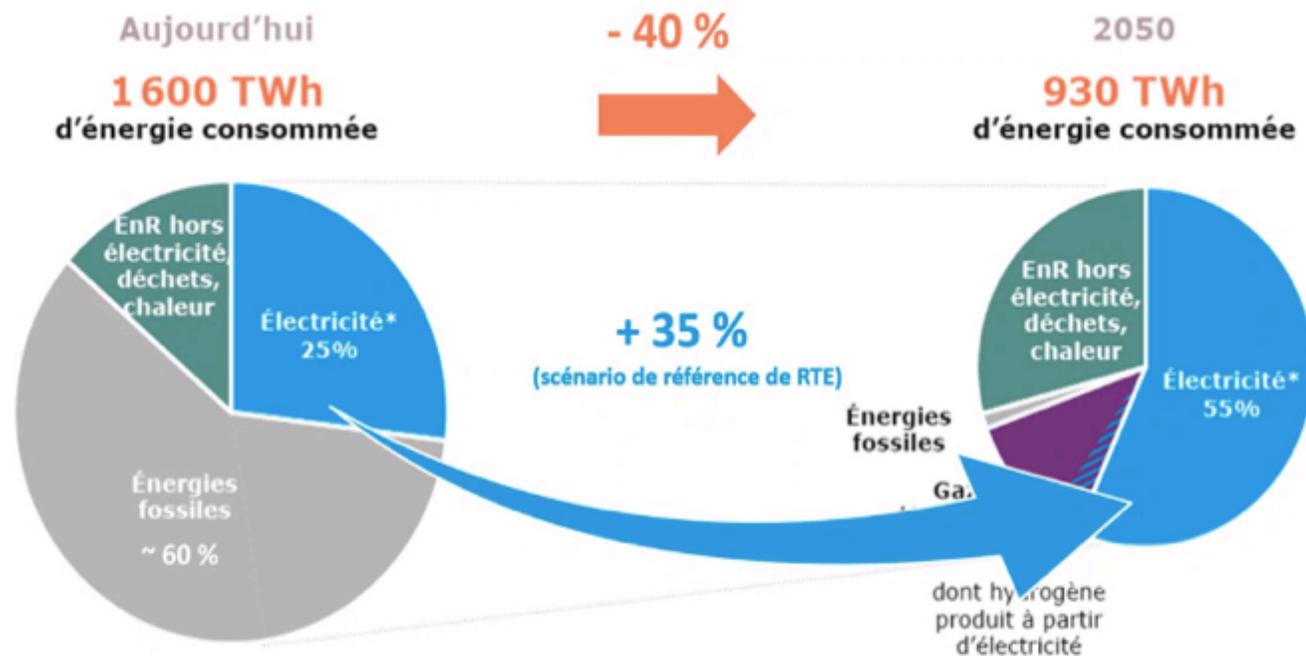
Centrons nous sur la France pour respecter les engagements 1.5 degrés



Cadrage

L'univers de l'étude : la SNBC pour sortir des énergies fossiles

Consommation d'énergie finale en France (SNBC)



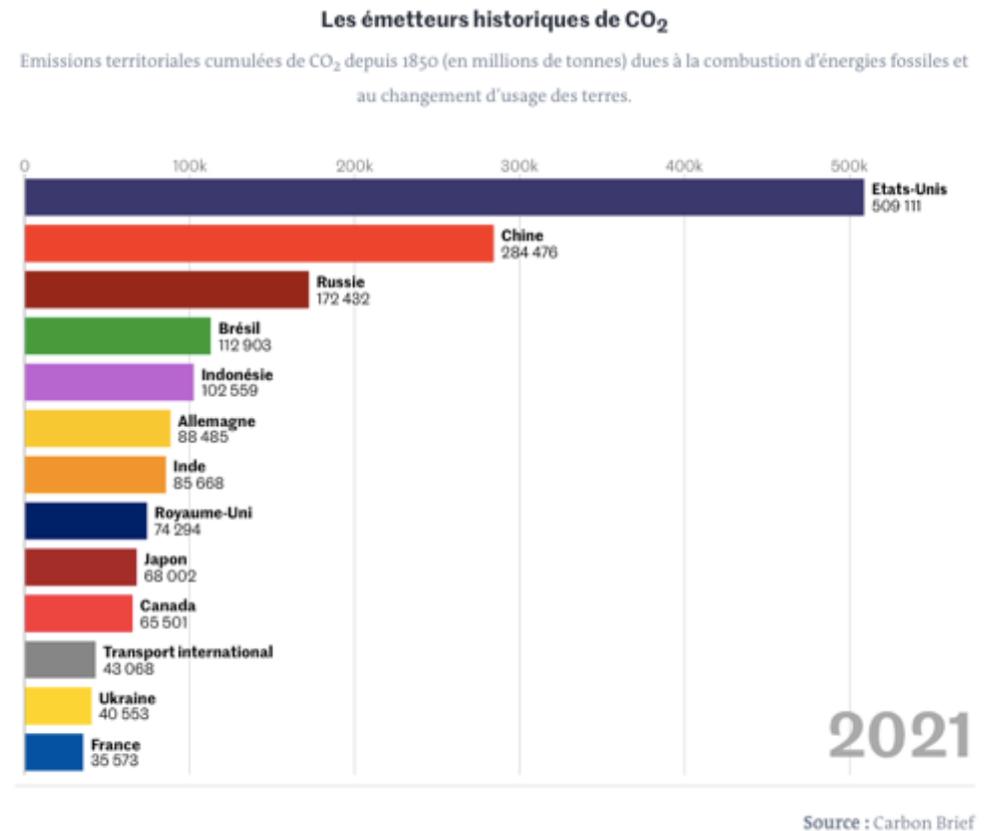
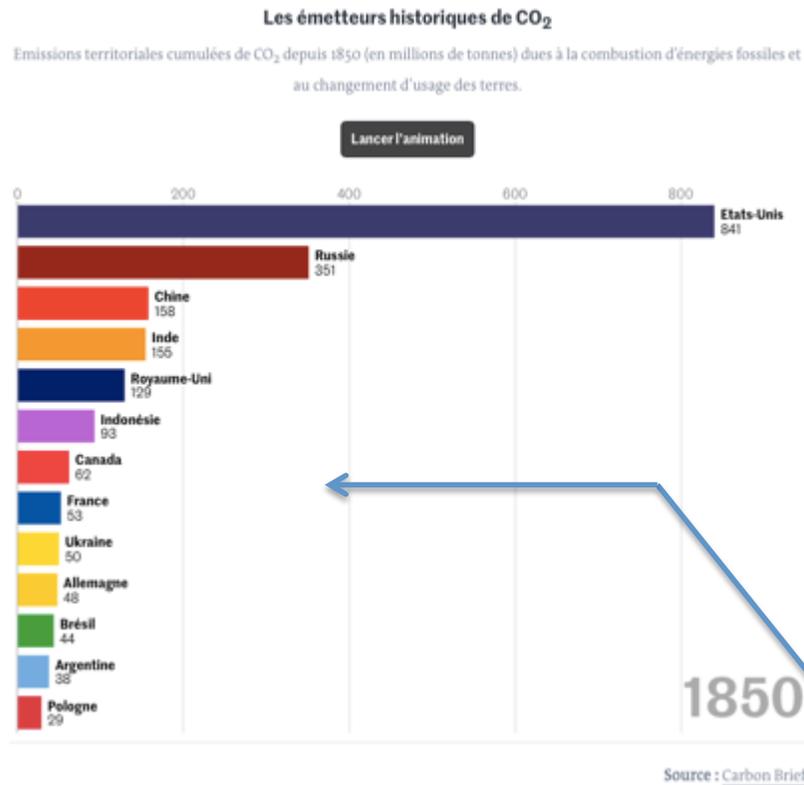
* Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production d'hydrogène)
Consommation totale d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE = 645 TWh



2021

Impossible sans le nucléaire => relance en France

Evolution cumulée de CO2 pays par pays



En millions de tonnes de CO2

Problèmes, solutions, Petits réacteurs, SMR

Pénurie des métaux

Piégeage du CO₂: Arcelor mittal Le Havre objectif 1-5 millions de tonnes/an piégés sur les 12 produits.

- **Actuellement l'énergie nucléaire n'est utilisée que pour l'électricité**, développement de petits réacteurs pour produire de l'énergie thermique et de l'électricité: Hexana et Stellaria (CEA-BPI).
- Start up Newcleo (anglo-italienne)+ France
- Amazon investit dans un petit réacteur X energy de 5GW pour garantir l'approvisionnement électrique de ses centres de données: **Numérique !**
- Cela permettra de relancer une industrie moins polluante pour l'atmosphère, **mais déchets-déchets partout**

Le futur énergétique: perspectives

- Après le pétrole et le gaz, la fission
l'énergie de fusion représente le Graal ? où en est on ?
- Fusion: source d'énergie encore incertaine sur Terre
- reconnue par tous les pays : EU, Chine, Inde ...
- Deux machines à fusion en construction en France:
LMJ (NIF américain) et ITER unique pays dans le Monde
- En Inde, premier pollueur aujourd'hui:
réacteurs nucléaires 2.7% de la production d'électricité
Pollution 60 fois supérieure aux normes OMS à New Delhi
- Prévission: + 20 réacteurs pour atteindre 25% en 2030-2050

4- Conclusion:

**Que faut il faire en France pour
accompagner ce changement
climatique ?**

Le changement climatique est une évidence: l'homme pollue, la nature réagit

- Le faire comprendre aux jeunes sans les effrayer et sans chercher des responsables pour qu'ils adoptent des gestes adaptés
- Encourager les jeunes à s'engager vers les sciences car il reste beaucoup de points de rupture car les jeunes sont peu informés et semblent insuffisamment conscients de leur capacité d'actions
- Développer un modèle européen, favoriser la coopération et la complémentarité. Viser des modèles adaptables à des pays à fort développement démographique
- Ne pas lâcher sur les objectifs en les rendant acceptables: éducation, sociologues, scientifiques, politiques
- Savoir où mettre l'argent dans une compétition internationale exacerbée: suivre Elon Musk ou Poutine, se laisser emporter ou garantir une atmosphère respirable ? **Résilience, méfiance, sagesse, positivité**

Perspective démographique

CROISSANCE DE LA POPULATION MONDIALE

Evolution de la population mondiale

Croissance annuelle de la population mondiale

