A scenic mountain landscape. In the foreground, a small stream flows through a grassy, rocky area with patches of snow. The middle ground shows a valley with a river winding through it, surrounded by snow-covered slopes and clusters of tall evergreen trees. In the background, majestic snow-capped mountain peaks rise against a clear blue sky.

*“Si la nature pense, les paysages  
sont l'expression de ses idées.”*

Sylvain Tesson

# Introduction et présentation du parcours



# **Pour me présenter : mes “enthousiasmes” durant ma carrière d'ingénieur !**

**Centrale nucléaire : Paluel**



**Usine de retraitement de La Hague**



**Usine d'enrichissement de l'uranium :  
Georges Besse II**



# “Concertation nationale : Notre avenir énergétique se décide maintenant”

<https://concertation-strategie-energie-climat.gouv.fr/>

**La participation en ligne de “la concertation nationale sur le mix énergétique” est ouverte jusqu’au 31 décembre 2022**

Les **trois thèmes** sur lesquels le public est amené à se prononcer sont :

- **Comment adapter notre consommation pour atteindre l’objectif de neutralité carbone ?**
- **Comment satisfaire nos besoins en électricité, et plus largement en énergie, tout en assurant la sortie de notre dépendance aux énergies fossiles ?**
- **Comment planifier, mettre en œuvre et financer notre transition énergétique ?**

Pour chacun de ces trois thèmes, un panel de questions a été élaboré.

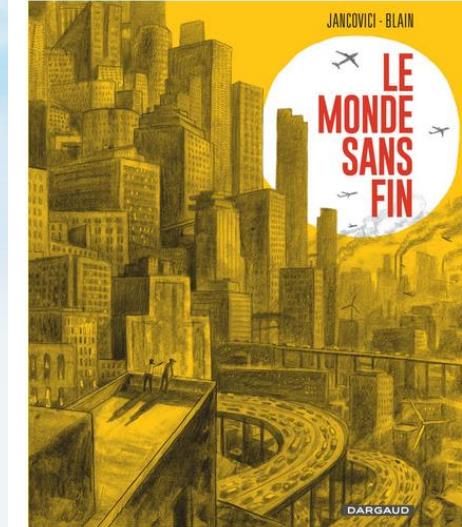
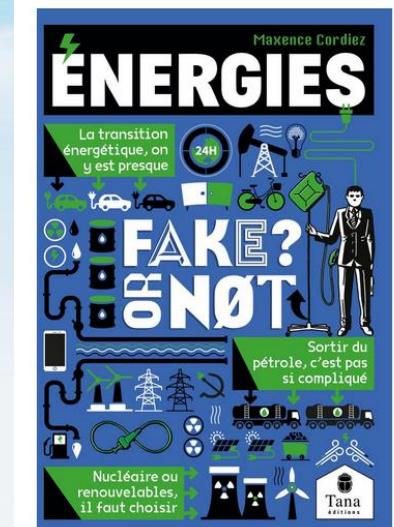


**Le dossier est remarquable**



# Mes sources (quelques-unes)

- GIEC
- Les MOOC (cours en ligne gratuits) sur FUN (France Université Numérique) et celui d'Avenir Climatique
- Le Haut Conseil pour le Climat, CNRS, Académie des sciences, CEA, Météo France etc. etc. grande richesse en France
- Les cours de Jean-Marc Jancovici à l'École des Mines
- Des livres
- Des sites internet : Le Réveilleur, Bon Pote, Osons comprendre, l'ADEME, The Shift Project etc.
- L'encyclique Laudato Si du pape François



Un parcours en 3 exposés :

1- La relation entre les énergies et le climat

2- Un panorama des énergies disponibles

3 -Comment atteindre la neutralité carbone en 2050 ?

# Plan de l'exposé n°1 : la relation entre les énergies et le climat

1. L'énergie : quésaco ?
2. Une expérience instructive
3. Toutes les énergies ne se valent pas
4. Energie primaire et énergie finale
5. Une très brève histoire de notre rapport à l'énergie
6. Une civilisation fossile, qui est le super héros du XX<sup>e</sup> siècle ?
7. Une question vraiment cruciale et un exercice très dangereux
8. Des énergies fossiles absolument partout
9. Le dérèglement climatique
10. Le GIEC et les COP
11. Heureusement nous savons ce qu'il faut faire
12. L'injustice climatique
13. Questions, échanges

# Exposé n°2 : Les sources d'énergie à notre disposition

## Plan de l'exposé

1. Rappels et introduction
2. Production et consommation d'énergie (données globales)
3. Quelques notions indispensables sur les énergies
4. Panorama des énergies
5. Les énergies fossiles
6. On (re)pose le problème
7. Par quoi remplacer les énergies fossiles ?
8. Les énergies à bas carbone
9. Le solaire
10. L'hydroélectricité
11. La photosynthèse et la biomasse
12. La géothermie
13. L'éolien
14. Le nucléaire
15. Parlons matériaux
- Conclusion provisoire

# Plan de l'exposé n°3 : comment atteindre la neutralité carbone, la très, très difficile transition énergétique... vers 2050

1. Nous savons ce qu'il faut faire
2. La Stratégie nationale bas carbone de la France (SNBC)
3. Les 4 scénarios de l'ADEME
4. Les 6 scénarios de RTE (Réseau de Transport de l'Électricité)
5. Le scénario de négaWatt
6. "Il nous faut un plan" The Shift Project
7. 2% pour 2°C, Institut Rousseau
8. Discussion

Et pour aller plus loin encore :

La Fresque du climat : mercredi 25 janvier,

Présentation de l'encyclique Laudato Si du pape François : jeudi 2 février,

Le nucléaire en France : jeudi 9 mars

Faire son bilan carbone : lundi 3 avril ou jeudi 6 avril

# Résumé de tout ce que je vais dire

1. Nous savons ce qui se passe et ce depuis longtemps déjà (50 ans au moins)
2. Nous le savons scientifiquement
3. L'utilisation des énergies fossiles déstabilise l'effet de serre
4. La Terre se réchauffe à grande vitesse
5. Nous savons ce qu'il faut faire pour limiter le réchauffement en dessous de +1,5°C
6. L'humanité dispose d'un budget carbone à ne pas dépasser pour éviter l'ingérable (euphémisme)
7. Alors ?

## 3 slogans

- Le pétrole est le sang de notre économie
- Nos émissions de gaz à effet de serre sont en train de détruire le climat
- Il nous faut éviter l'ingérable et gérer l'inévitable

# Quel est le fil rouge ?

- 1/ faire le constat que nous savons d'où nous venons et pourquoi nous en sommes là (exposé n°1)
- 2/ que tous les "décideurs" savent où nous en sommes et où nous pouvons aller (exposé n°1)
- 3/ nous aussi... si nous voulons savoir (exposé n°3)
- 4/ nous pouvons "infléchir" la trajectoire mais cela nécessite de sonner la "mobilisation générale" (exposés 2 et 3)
- 5/ évoquer les "bonnes nouvelles" et ouvrir la discussion

# Avertissements

Nous allons aborder uniquement la problématique “énergie - climat – modes de vie”, sans aborder bien d’autres domaines comme ceux de la biodiversité, de l’océan, de la cryosphère, de l’éthique (un peu)...

Sans jamais oublier que “tout est lié”...

**Ce qui compte ce sont les ordres de grandeur**

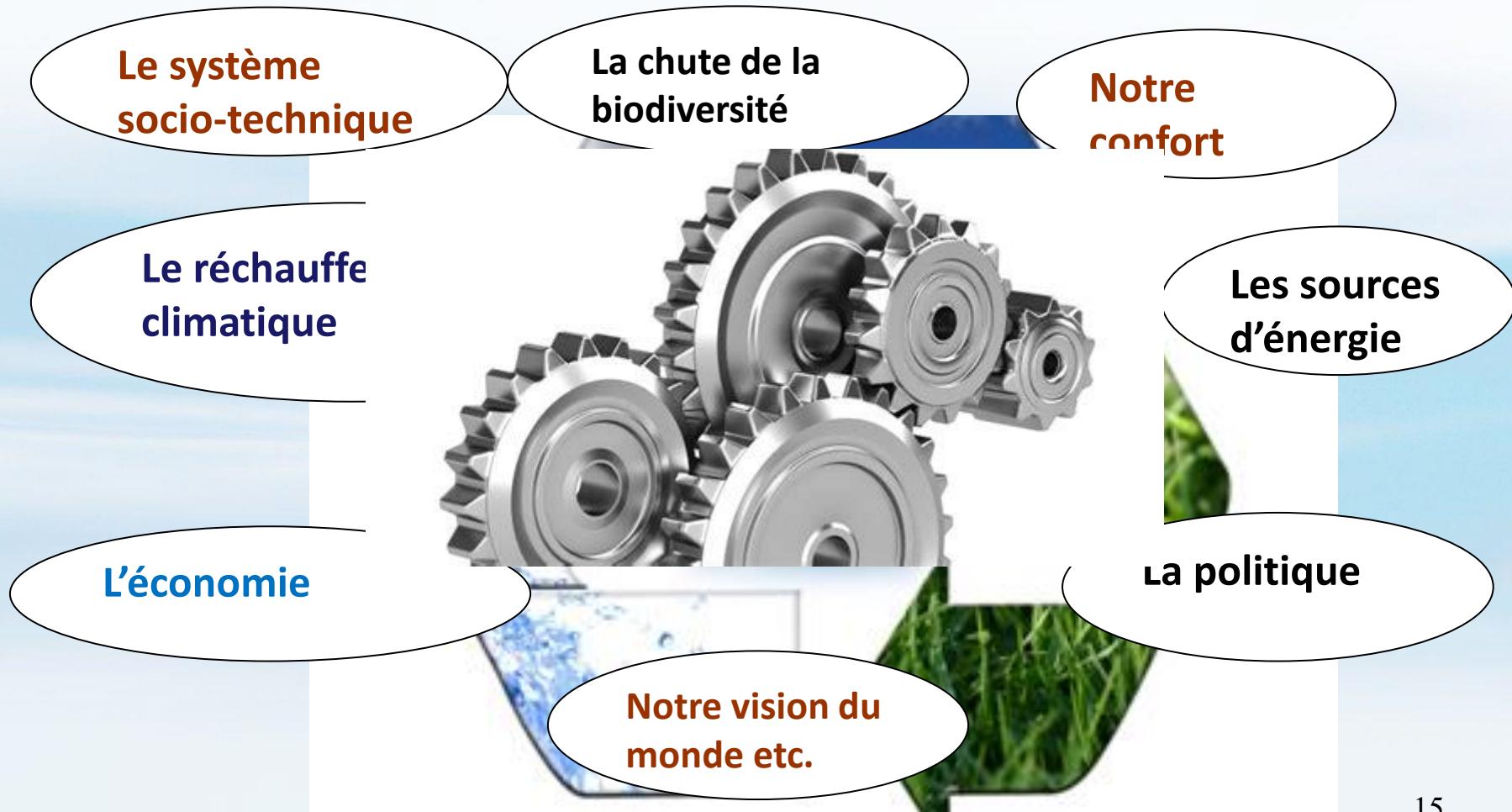
**Les exposés seront mis à disposition via l’UNIPOP**



**Pour m’écrire : [daniel.finati@orange.fr](mailto:daniel.finati@orange.fr)**

# “ Tout est lié ” (vision systémique)

Nous allons voir que l'énergie est un déterminant majeur



“Depuis 50 ans, **nous avons atteint** un niveau de confort inédit dans l’histoire de l’Humanité.

**Aujourd’hui**, nos besoins vitaux, et bien plus encore, sont satisfaits.

**Nous avons mis à notre service l’ensemble des ressources que la Terre nous offre**, nous avons construit un système économique aussi global que complexe, et les nouvelles technologies nous emmènent toujours plus loin...

Moyennant quoi, **nous sommes en train de dérégler le climat**, de faire disparaître la biodiversité, de polluer l’eau, l’air, les sols, de transformer les océans en décharges.... **Tout ça on le sait.”**

Introduction du livre de Maxence Cordiez

Mais que sait-on vraiment ?

De quoi sommes-nous sûrs ?

Quelles sont les échéances ?

Et puis, en quoi est-ce que  
ça nous concerne  
directement ?

Et qu'est-ce qu'on peut y faire ?





**Avant de plonger,  
quelles sont vos  
attentes/questions ?**

# 1. L'énergie : quésaco ?

L'énergie c'est compliqué...

Qu'est-ce que l'énergie ?

Puissance et énergie

Unités

Ordre de grandeur



# L'énergie est partout et sous différentes formes

Energie cinétique



Energie mécanique



Energie thermique



Energie chimique



Energie électrique



L'énergie mesure les transformations du monde  
"Consommation" d'énergie = le monde se transforme  
Energie = machines

# Dans la vie courante, on utilise l'énergie sous bien des formes

- **Modification de température**
- **Modification de la position dans un champ magnétique, électrique, gravitationnel**



- **Modification de la vitesse**
- **Modification de la composition chimique**



- **Changement de composition du noyau atomique**



- **Modification de forme**

- **Photons et chimie et photosynthèse**



À l'échelle humaine, l'énergie est une mesure de notre capacité à transformer notre environnement

Dès que quelque chose change, une énergie est mise en jeu. L'énergie mesure en quelque sorte l'ampleur du changement

Notre consommation d'énergie correspond à la façon dont nous transformons notre monde !

Energie = machines



L'énergie mobilisée par les hommes est le marqueur de la transformation de l'environnement

Plus on utilise d'énergie et plus on transforme le monde

L'humanité cherche depuis toujours à agir sur le monde pour améliorer ses conditions de vie



## Rappel : les unités du SI et les unités courantes

**Dans le système international, l'unité de mesure de l'énergie est le Joule (J).**

1 Joule (J) correspond au travail d'une force d'1 Newton (N) dont le point d'application se déplace d'1 mètre (m) dans la direction de la force.

C'est aussi l'énergie dissipée par un appareil électrique de 1 Watt (W) opérant pendant 1 seconde (s).

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N.m} = 1 \text{ W.s}$$

C'est une unité trop petite pour être facilement utilisée

**D'autres unités de mesure de l'énergie sont couramment utilisées, telles que :**

- le kWh (l'énergie électrique dissipée par un appareil électrique d'une puissance d'1kW pendant 1 heure ; **1 kWh = 3,6 MJ**),
- la tonne équivalent pétrole (1 tep = 42 GJ ou 11630 kWh),

la tonne équivalent charbon (1 tec = 0,7 tep), etc.

# Puissance et énergie : deux concepts souvent confondus

L'énergie désigne une quantité disponible pour effectuer un travail. Elle se mesure en Joules (J) dans le Système International (SI), beaucoup d'autres unités sont aussi utilisées (tep, kWh)

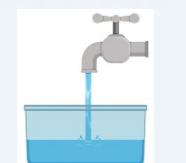
La puissance, quant à elle, quantifie la vitesse à laquelle ce travail est fourni. Elle désigne le débit d'énergie par seconde et s'exprime en Watt (Energie/temps) et ses multiples

Une image peut être utile : un problème de baignoire....

l'énergie pourrait être la quantité d'eau pour remplir votre baignoire (je sais, ce n'est pas bien),

la puissance serait le débit de votre robinet.

Vous pouvez la remplir en une semaine (goutte à goutte) ou en 5mn : même quantité obtenue mais vitesse très différente (puissance très différente)



Via notre mode de vie, nous “consommons” en moyenne environ 50 000 kWh par an, soit 6 kWh par heure !

**1 kWh = 1 douche de 2 à 5 minutes**



**1 kWh = 50 tasses de café**



**1 kWh = 1 heure d'aspirateur**



**1 kWh = 45 minutes sèche-cheveux**



**1 kWh = 100 h musique**



**1 kWh = 17 heure d'éclairage pour la lecture**



Source: Bulletin SEV/VSE 19/2007, BKW SA

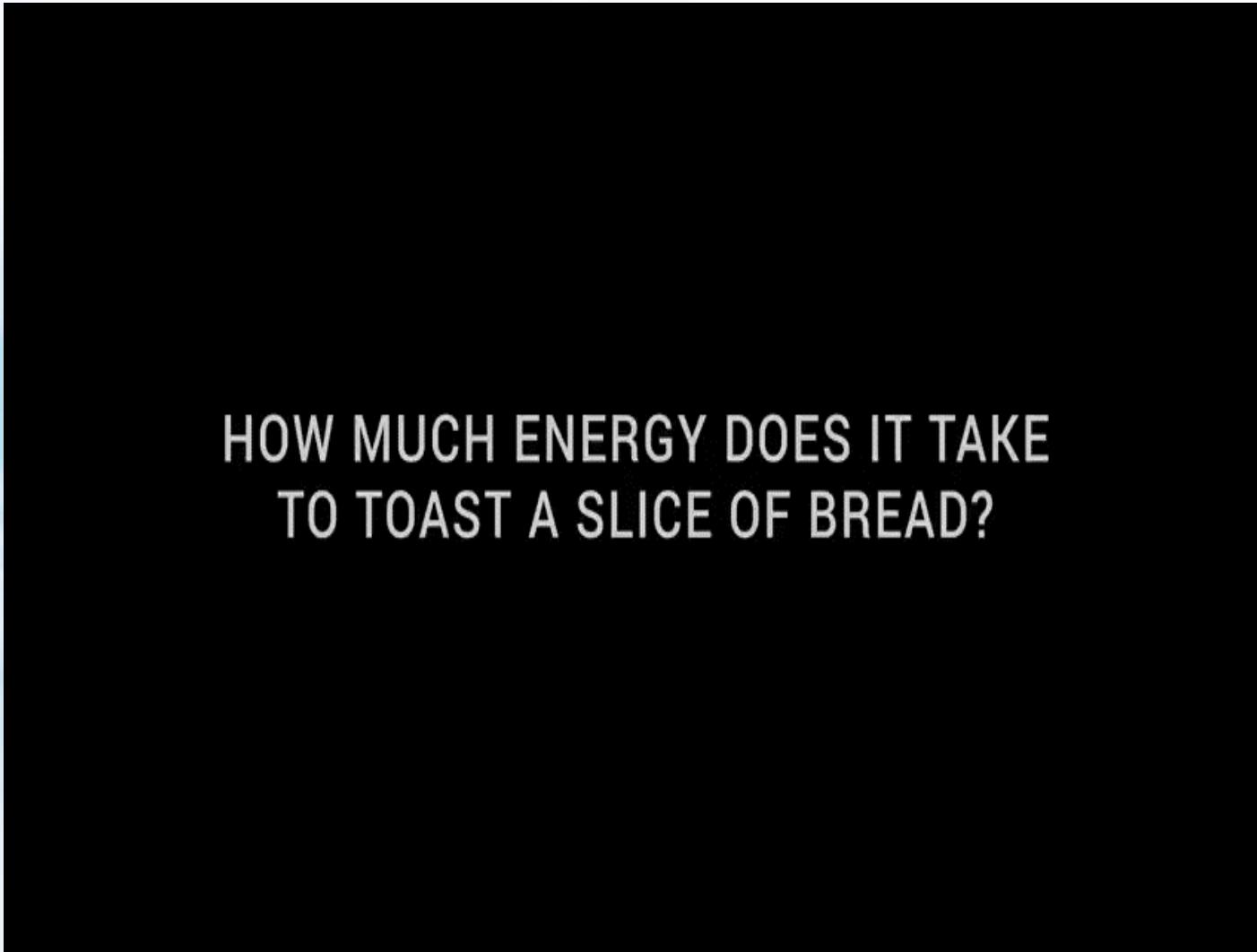
**Nota : notre corps en moyenne c'est 2,4 kWh par jour**

## Une puissance disponible en hausse constante

	Puissance
Métabolisme humain	100 W
Un esclave dans l'Antiquité	100-150 W
Un cheval de trait	400-800 W
Four micro-ondes	1 kW = 1 000 W
Voiture moyenne en France	84 kW
1 éolienne en mer	6+ MW
TGV	10 MW = 10 000 kW
Boeing 777	40 MW (60 MW au décollage)
Ville moyenne (Bordeaux, Nantes)	100 MW
Réacteur nucléaire	1 GW = 1 000 MW
Capacité électrique de la France	140 GW
Capacité électrique des USA	1 TW = 1 000 GW

## 2. Expérience : peut-on griller un toast en pédalant ?

Vidéo de 3 mn. Notez bien les chiffres pendant le visionnage



HOW MUCH ENERGY DOES IT TAKE  
TO TOAST A SLICE OF BREAD?



**Quelle puissance a développé notre champion ?**

**Environ 700 W et pendant 2mn seulement**

ROBERT GENERATED  
0,021 kWh

**Et donc combien d'énergie ?**

Et 1 litre d'essence, c'est combien d'énergie ?

**1 litre d'essence contient une énergie chimique d'environ 10 kWh**



Production d' 1 kW  
pendant 1 h

=



Soit cuire un poulet au  
four électrique

Un cycliste à 20km/h développe une puissance de 100W. Il faut donc 10 cyclistes pour faire un kilowatt (kW).

Production d' 1 kW  
pendant 1 h

=



=



100 €

10 cyclistes



=



0,10 €

Prise électrique

1000  
fois  
moins  
cher



On comprend pourquoi l'énergie a pris autant de place dans nos vies.

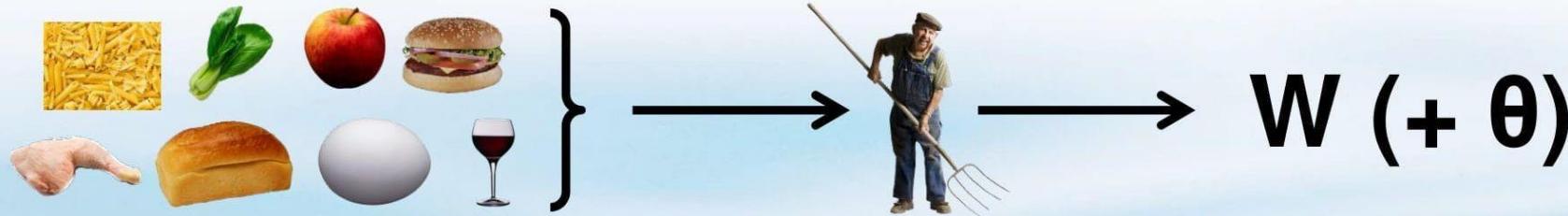
On ne s'en rend pas bien compte au quotidien mais c'est ce qui fait la différence entre avant et après la révolution industrielle.

Avant, nous utilisions en majorité nos muscles, et donc on ne faisait pas grand-chose.

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 (où elle se trouve déjà)** et la transformer avec un convertisseur.

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



Pour utiliser « plus puissant que soi » il faut un autre convertisseur, et l'énergie qui l'alimente



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

# Que représente notre mode de vie en équivalent d'énergie humaine ?



### 3. Toutes les énergies ne se valent pas

Ressources renouvelables

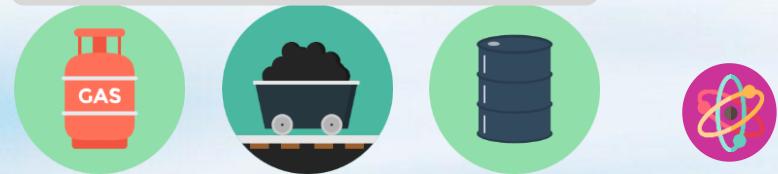


Quels sont



Ressources non-renouvelables

Energies fossiles



les avantages ?

Quels sont



les inconvénients ?

# Toutes les sources d'énergie ne se valent pas !

## Sources d'énergie très carbonées

Gaz Charbon Pétrole



Énergies fossiles

Facile à transporter et stocker

Très dense en énergie

Beaucoup d'émission de CO<sub>2</sub>

Uranium



Hydro



Éolien et solaire



Biomasse



Peu d'émission de CO<sub>2</sub>

Très dense en énergie

Déchets nucléaires

Facile à stocker

Zones limitées

Illimitée

Peu concentrée en énergie

Intermittent

Renouvelable

Concurrence d'affectation des sols

Sources d'énergie non renouvelables

Sources d'énergie renouvelables

**Ces énergies ne sont équivalentes ni en potentiel, ni en rendement, ni en coût, ni en usages, ni en pollution, ni etc.**

## Pour fournir 1 kWh, on peut utiliser...

### Productions variables pas encore stockables...



A travers un barrage de 50 m de haut...

8 000 L d'eau



Dans une centrale thermique

Bois  
1 bûche



Gaz  
1,5L\*\*



Energies fossiles  
Charbon  
Un petit tas



Pétrole  
33cl



Uranium  
Une pincée



\*Sous conditions climatiques moyennes en France - \*\*A 200 bar

Et donc quelle est l'énergie la plus pratique à utiliser ?

# Pour comparer l'impact des énergies sur le climat "LE" critère à regarder c'est : la quantité de gaz à effet de serre émise par kWh produit CO2eq/kWh

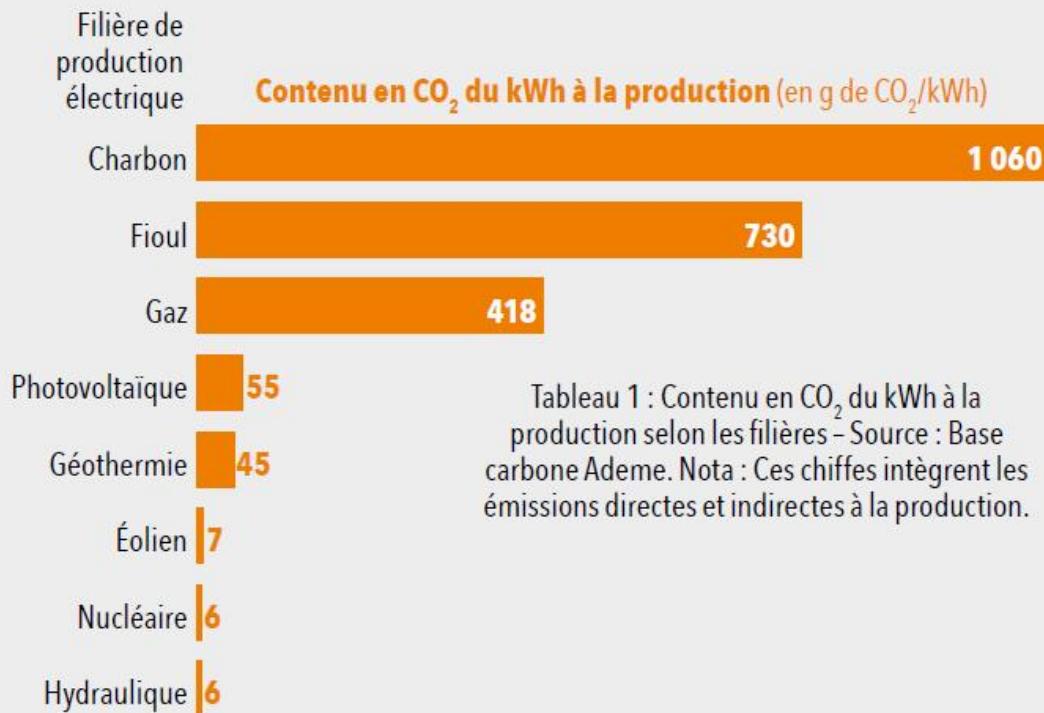
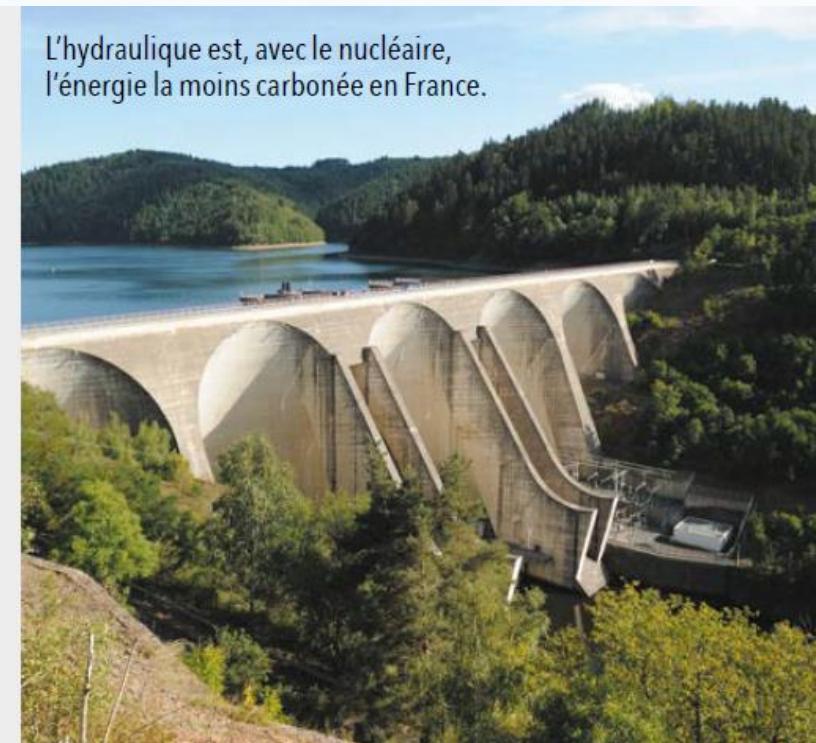
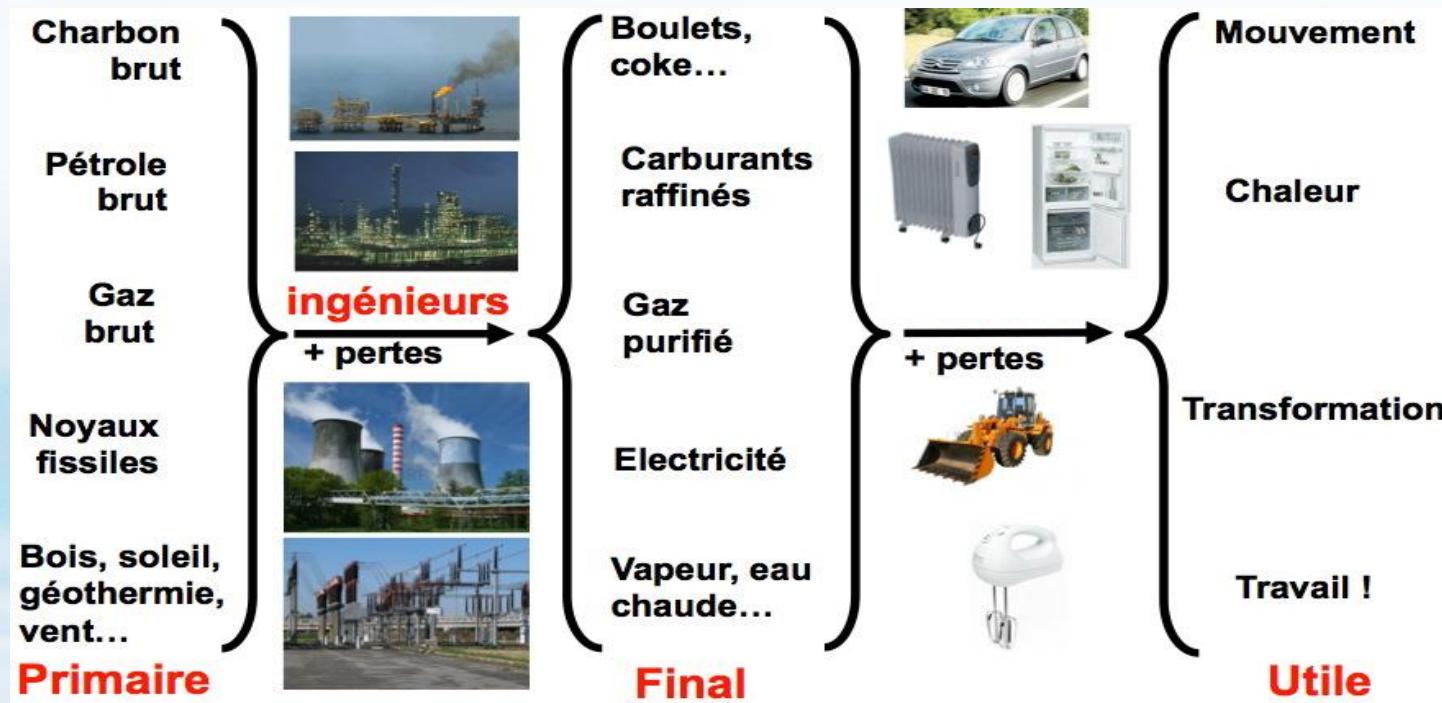


Tableau 1 : Contenu en CO<sub>2</sub> du kWh à la production selon les filières – Source : Base carbone Ademe. Nota : Ces chiffres intègrent les émissions directes et indirectes à la production.



**Nous y reviendrons lors des exposés suivants**

## 4 – Énergie primaire et énergie finale

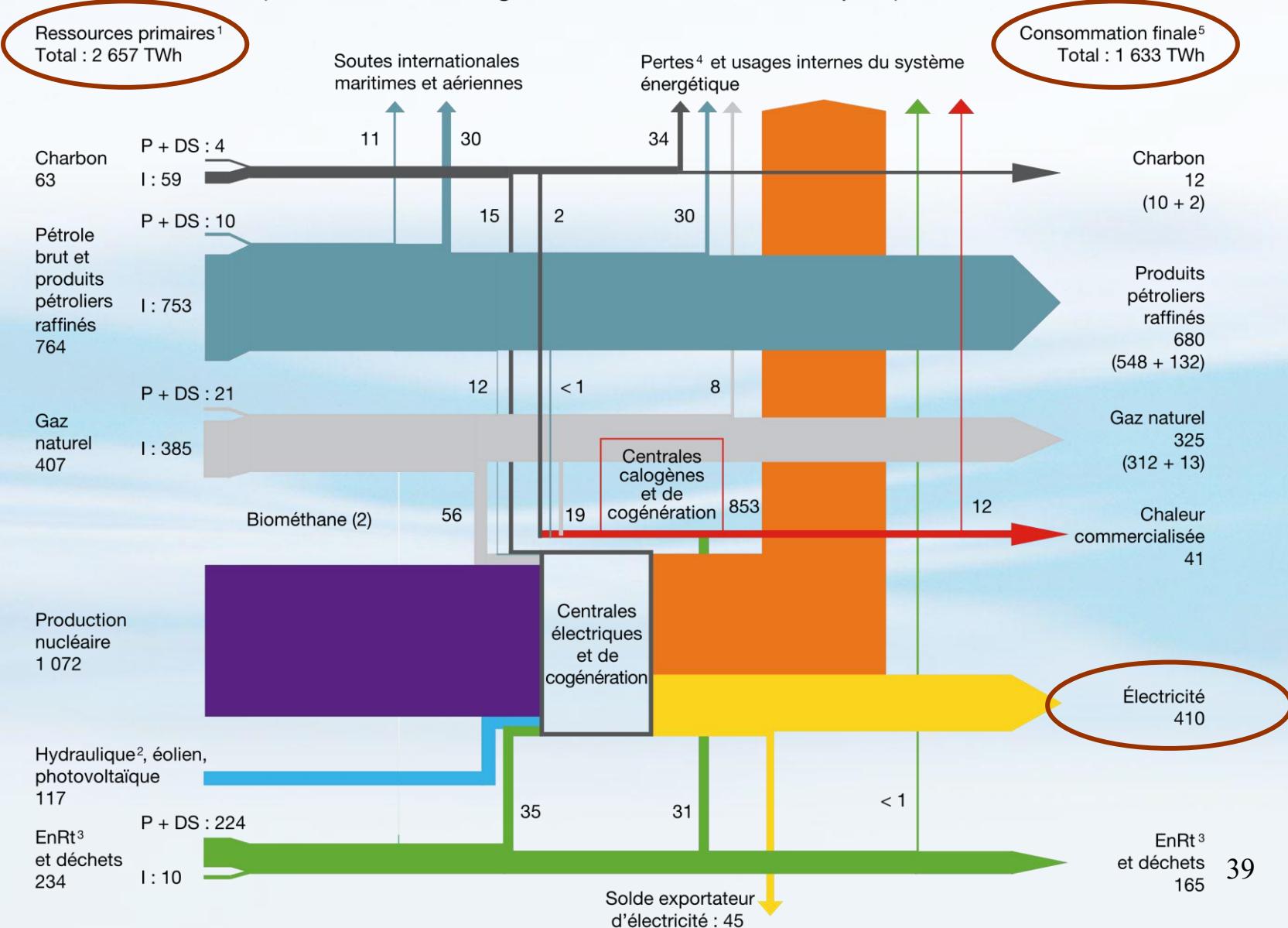


Représentation schématique du passage d'une forme d'énergie à une autre.

Toutes les énergies que nous utilisons, nous devons les trouver dans l'environnement. Toutes. Ce sont les énergies primaires

L'énergie finale, c'est celle qui passe le compteur du consommateur final.

En TWh, en 2020 (données non corrigées des variations climatiques)



## 5. Une très brève histoire de notre rapport à l'énergie : de l'Homme, à l'animal, à la machine



Force motrice



Animaux



Energies fossiles



***“La révolution industrielle a été une révolution de la conversion énergétique.”***



*Laquelle a permis un progrès matériel gigantesque, en Occident depuis 150 ans et aussi dans le reste du monde depuis 70 ans ... avec des disparités énormes*

## 6. Une civilisation fossile, qui est le super-héros du XX<sup>e</sup> siècle ?



Moteur : conversion  
d'une fraction de la  
chaleur en énergie  
mécanique (rendement)

Un être humain peut fournir  $\sim 100$  kWh d'énergie musculaire par an pour un coût estimé à 50 k€/an (salaire, charges...)

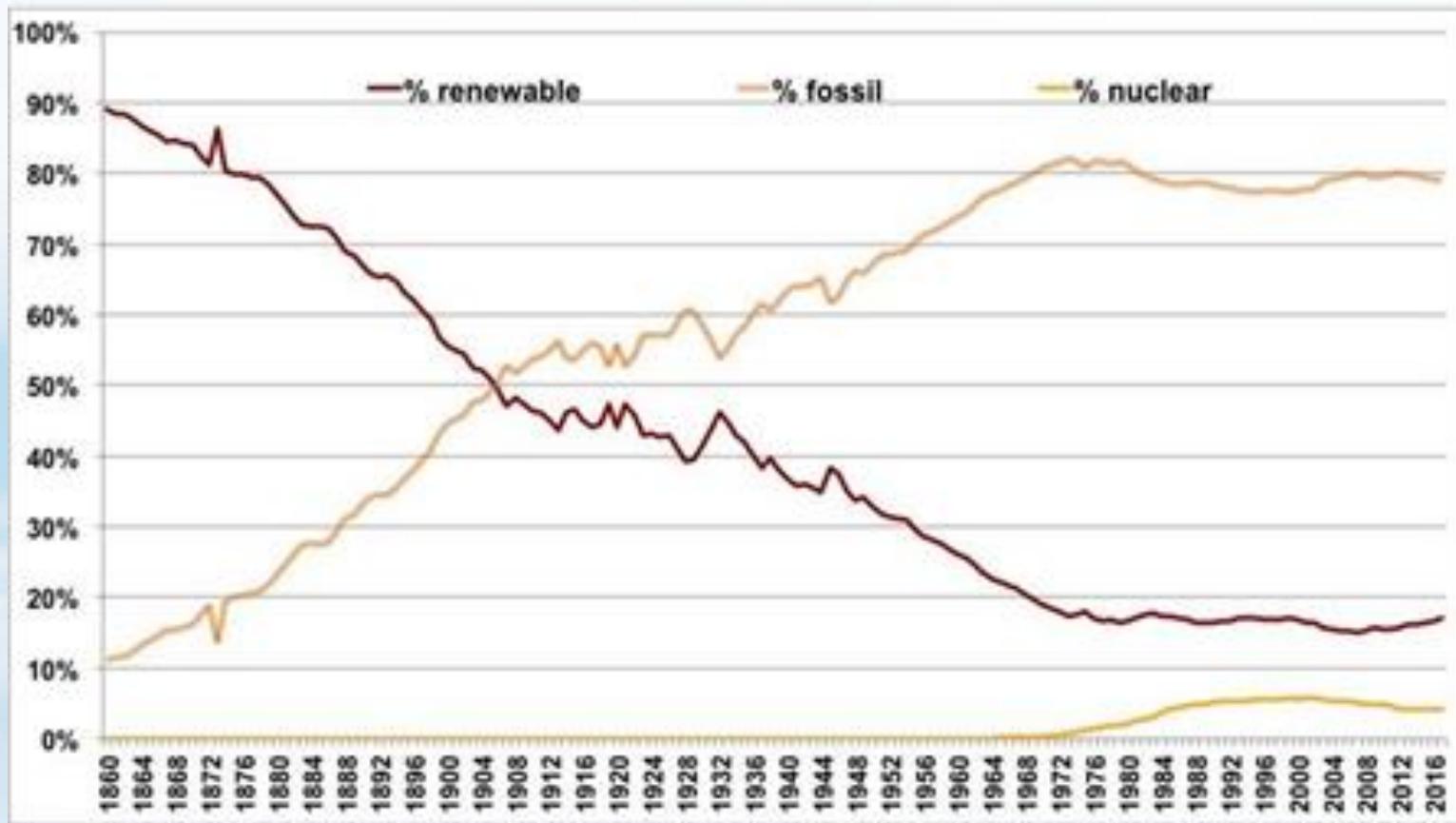
Avec l'essence il faut 33,3 l d'essence pour 100 kWh  $\rightarrow 1,5\text{€}/\text{l} \rightarrow 50\text{ €}$

Le kWh mécanique avec une machine à essence est donc en gros 1000 fois moins cher que le kWh musculaire !

# Ce qui explique l'évolution du mix énergétique mondial

En 1860 :  
90% ENR

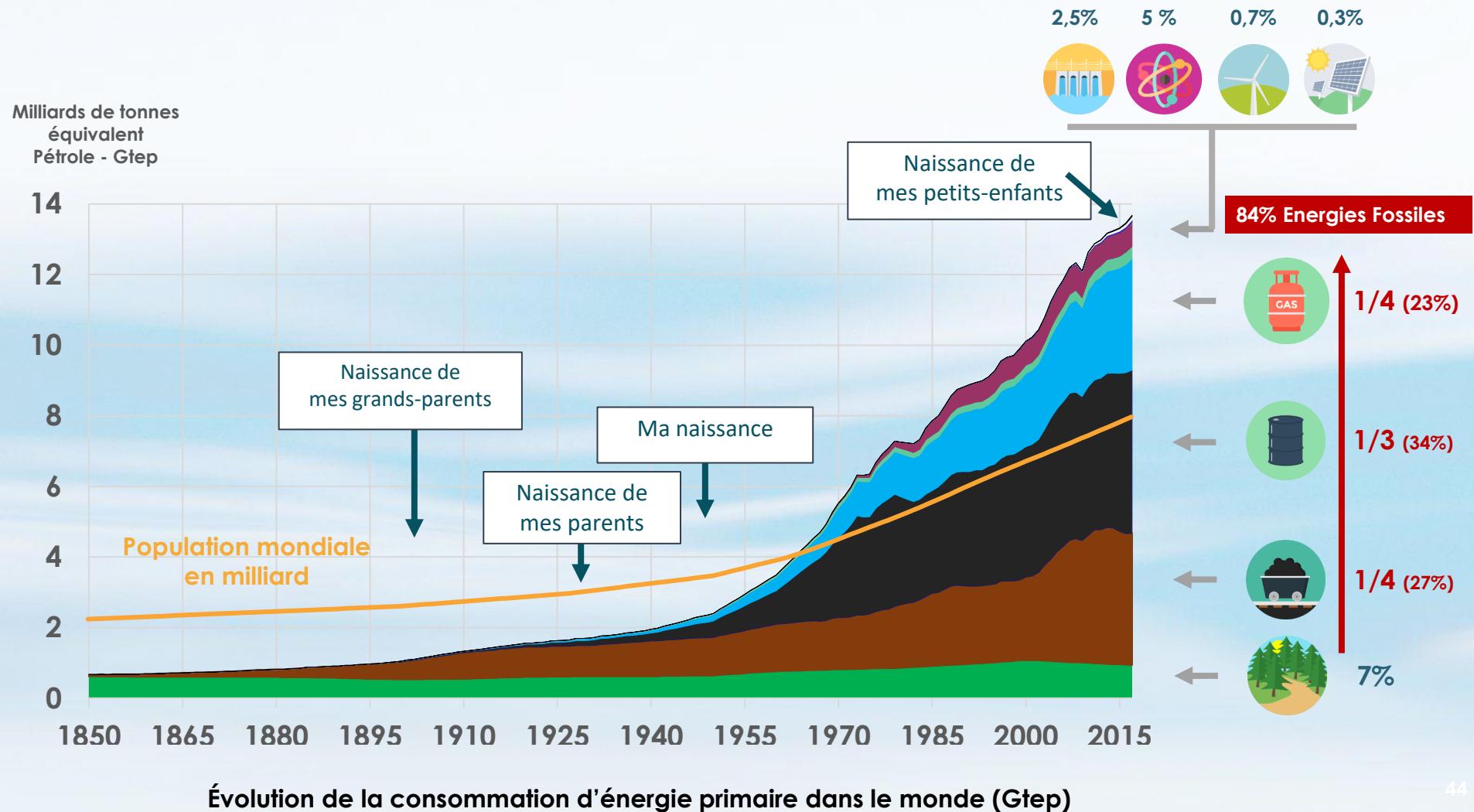
Aujourd'hui :  
80% fossiles



Part de chaque famille d'énergie depuis 1860. Sources Smil, Shilling et al, BP Statistical Review. Les nouvelles ENR sont en équivalent primaire

Les énergies fossiles (et un tout petit peu de nucléaire) ont inversé les proportions du mix énergétiques

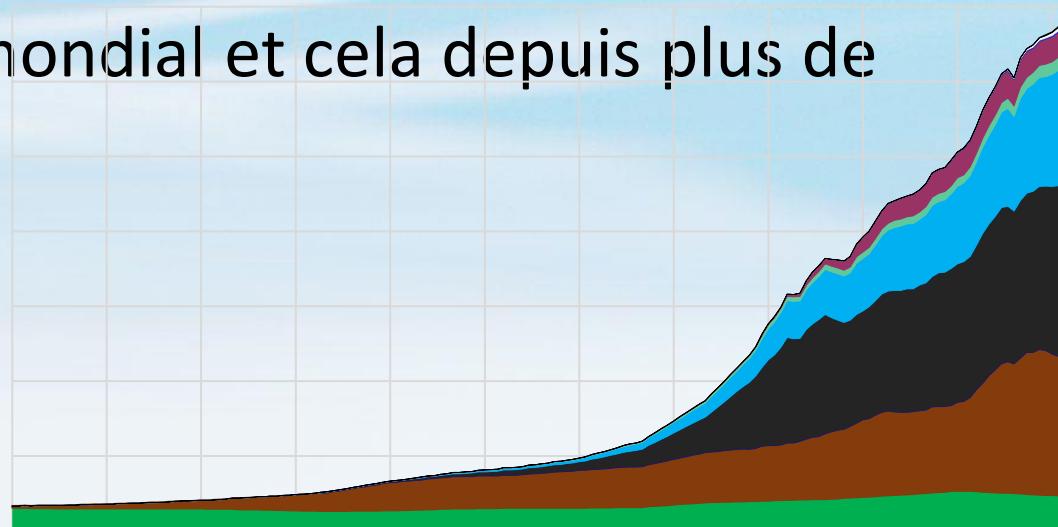
# LE graphique : consommation mondiale d'énergies primaires



Aucune innovation technologique n'a infléchi cette courbe : que ce soit le boom des services, le boom du numérique, le boom des EnR -> aucune inflexion constatable sauf lors de crises graves

Les énergies ont été ajoutées les unes aux autres, aucune substitution n'a été observée

Les énergies fossiles représentent plus de 80% de l'approvisionnement mondial et cela depuis plus de 50 ans...



L'histoire de l'humanité peut se voir comme une quête constante vers plus d'énergie disponible permettant de transformer toujours plus son environnement...  
pour une amélioration considérable du développement humain dans nos pays....mais...mais...



## 7. Une question vraiment cruciale



De quoi dépend notre mode de vie et donc de qui dépend notre mode de vie de tous les jours ?

Autre question : quelles sont nos conditions de subsistance ?

Et donc à l'heure de la dérive climatique et de la raréfaction des ressources : penser nos vulnérabilités... qui le fait sérieusement ?

# Un exercice très dangereux (mais salutaire)

Compter tous les objets ou services qu'on utilise dans une journée, faire le décompte de toutes les machines qui ont été utilisées pour permettre d'en bénéficier, depuis la mine australienne de minerai de fer jusqu'à la fabrication du magasin où on fait ses courses.



Le total va probablement vous donner le tournis !



*“Nous dépendons de plus en plus des choses qui dépendent de nous” Michel Serres*

## 8. Des énergies fossiles partout, absolument partout !



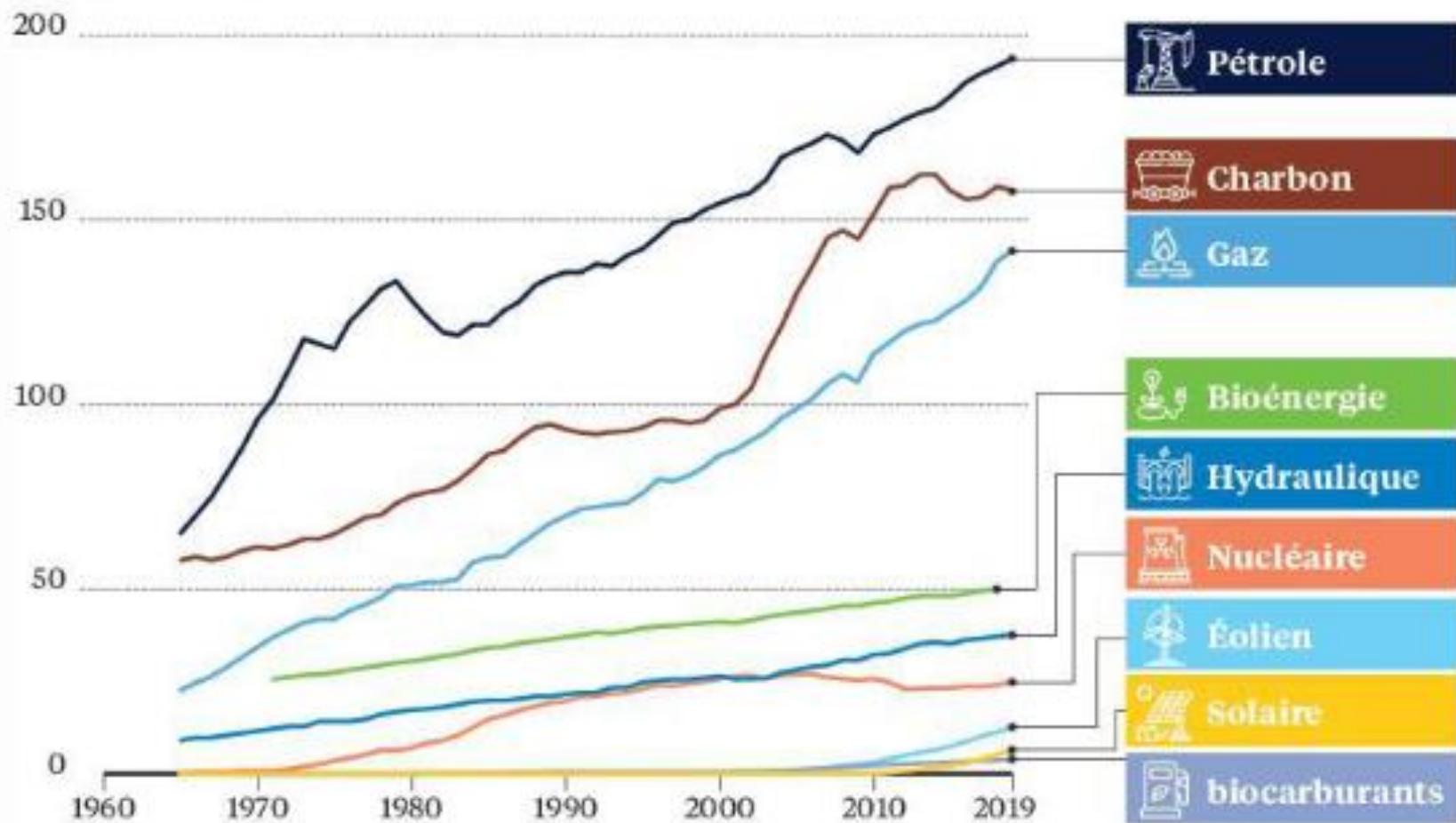
### Notre dépendance aux énergies fossiles



35 milliards de barils de pétrole par an !

# Le dérapage mondial des consommations d'énergie

La croissance des énergies renouvelables ne permet pas de compenser celle des énergies fossiles.  
En exajoules (EJ) par an



## 9. Le dérèglement climatique

Climat versus météo, éviter la confusion

L'effet de serre

Le GIEC

Les COP (Conference of Parties)

Les émissions de GES (gaz à effet de serre)

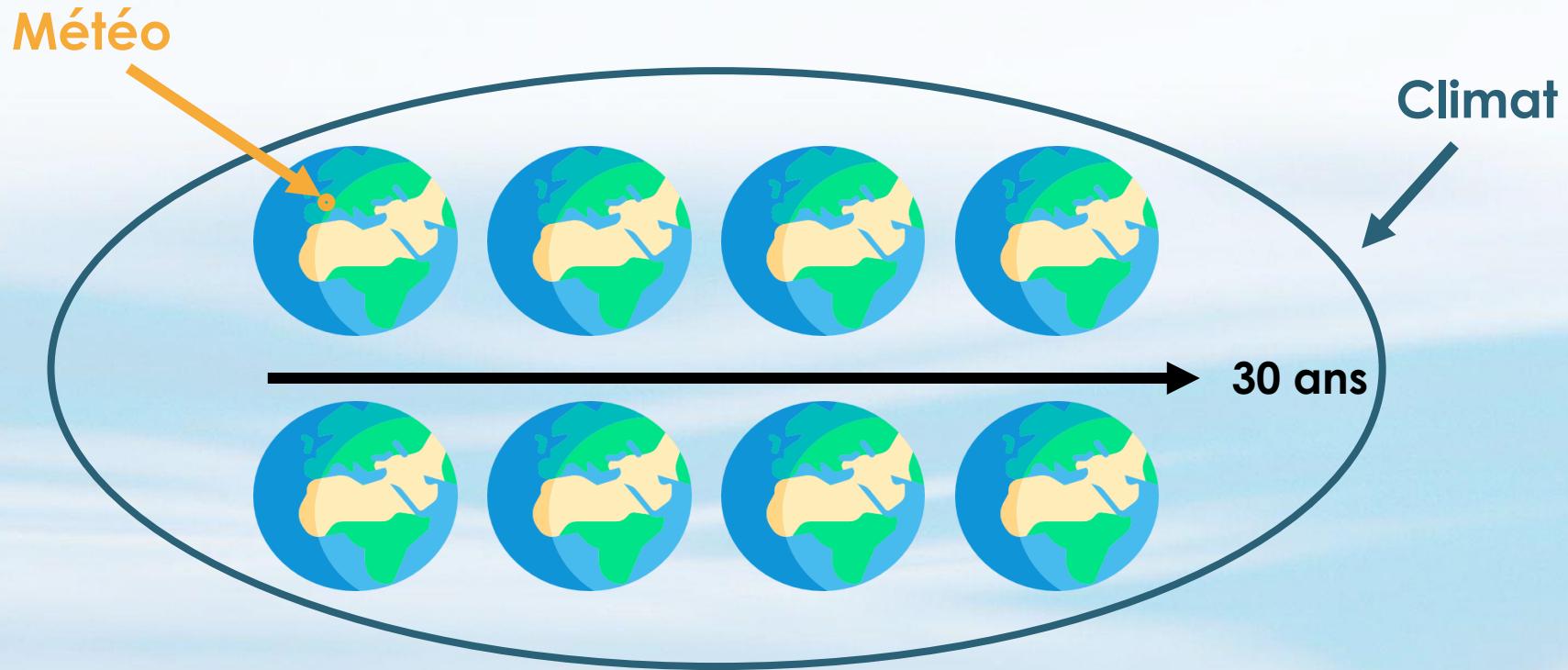
C'est très court mais.... instructif !



La question est donc souvent posée aux climatologues : comment peuvent-ils comprendre et prévoir l'évolution du système climatique à des échelles de temps au-delà de la décennie ? **La réponse est celle-ci : le climat est un ensemble de grandeurs statistiques et ces grandeurs statistiques sont, dans certaines limites, prévisibles.**

# Météo vs Climat : une confusion à éviter à tout prix !

La météo : évolution locale de l'atmosphère sur quelques jours



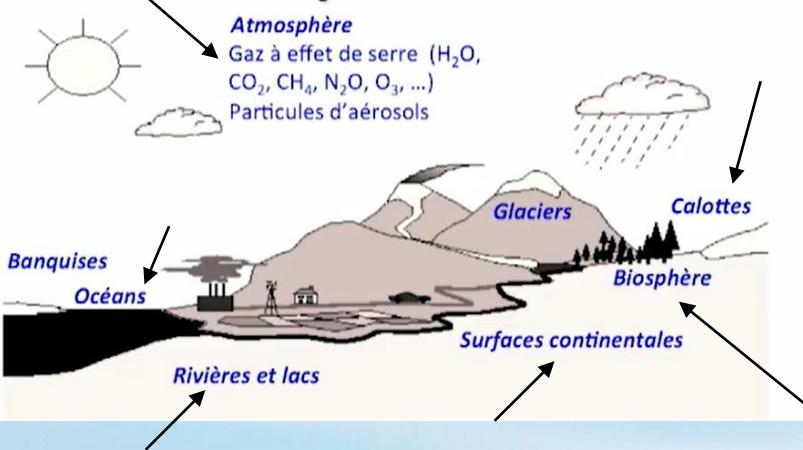
Confusion très répandue

Le climat : c'est l'étude de grandes zones géographiques, comme des pays ou des continents, sur de longues périodes

Météo et climat ne s'intéressent pas aux mêmes échelles spatio-temporelles.

# le système climatique

## Le système climatique et les facteurs influençant le climat



L'étude des changements climatiques nécessite de définir le système climatique. C'est un ensemble complexe constitué de cinq composantes principales : les surfaces continentales, l'atmosphère bien sûr, l'hydrosphère, il s'agit des océans, des lacs, des rivières, des nappes d'eau souterraines..., la cryosphère c'est-à-dire les glaces terrestres ou marines, le manteau neigeux, et enfin la biosphère, tous les organismes vivants dans l'air, sur Terre et dans les océans.

## Le système climatique

### Surfaces continentales



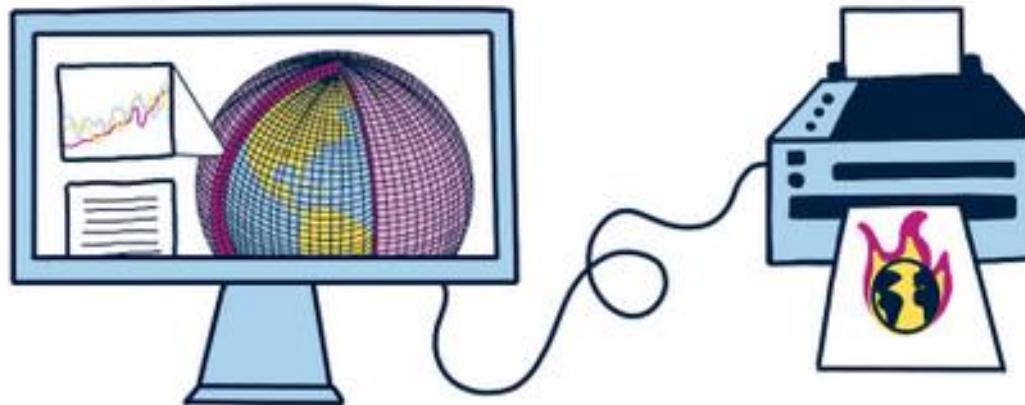
AVENIR CLIMAT  
PROTEGER, COMPTER, AGIR, ENSEIGNER



Les modèles de climat s'efforcent de simuler au mieux son fonctionnement.

# LES MODÈLES CLIMATIQUES

sont-ils fiables ?



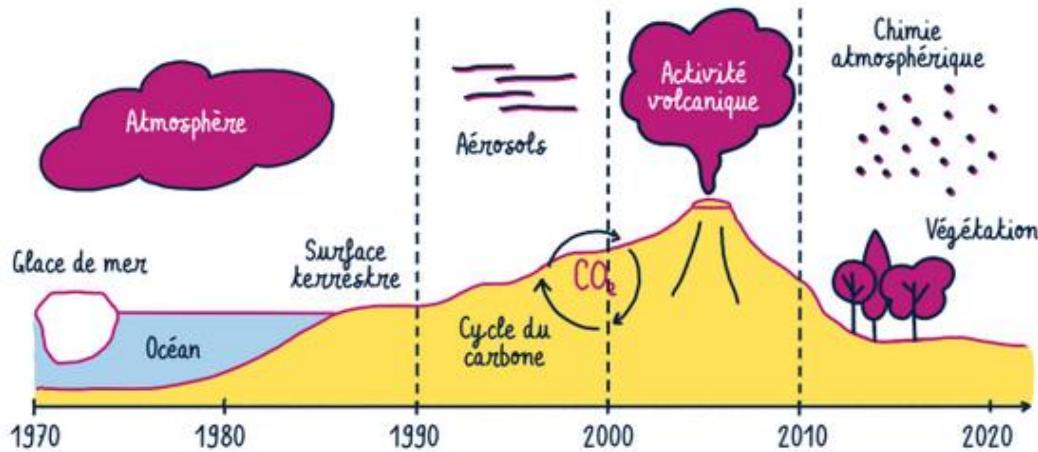
## QU'EST-CE QU'UN MODÈLE CLIMATIQUE ?

Ce que le GIEC dit :

CE SONT DES PROGRAMMES INFORMATIQUES EXTRÊMEMENT SOPHISTIQUÉS QUI ENGLOBENT NOTRE COMPRÉHENSION DU SYSTÈME CLIMATIQUE ET SIMULENT, AVEC AUTANT DE FIDÉLITÉ QUE POSSIBLE, LES INTERACTIONS COMPLEXES ENTRE L'ATMOSPHÈRE, L'OCÉAN, LA SURFACE TERRESTRE, LA NEIGE ET LA GLACE, L'ÉCOSYSTÈME MONDIAL ET DIVERS PROCESSUS CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES.

## ÉVOLUTION DES MODÈLES CLIMATIQUES

LES MODÈLES CLIMATIQUES SE SONT CONSIDÉRALEMENT COMPLEXIFIÉS DEPUIS LES ANNÉES 1970. ILS PRENNENT DE PLUS EN PLUS DE PROCESSUS NATURELS EN COMPTE :



LA COMPLEXITÉ DU SYSTÈME CLIMATIQUE ET DE SES NOMBREUSES INTERACTIONS FAIT QUE LA MODÉLISATION SUR ORDINATEUR EST L'UNIQUE MOYEN DE SE PROJETER DANS LE PASSÉ ET DANS LE FUTUR.

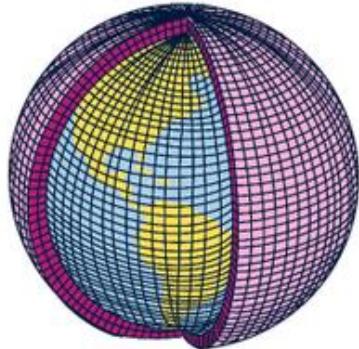
Jusqu'en 1990 : modèles rudimentaires, connaissances imparfaites d'où conclusions prudentes mais anticipations correctes (pas de surprises)

Un travail de fond de toute une communauté mondiale

Amélioration continue des modèles

## COMMENT ÇA MARCHE EXACTEMENT ?

LES CALCULATEURS ACTUELS, COMPOSÉS D'UN GRAND NOMBRE DE PROCESSEURS, PERMETTENT DE SIMULER L'ÉVOLUTION DU CLIMAT SUR DES PÉRIODES ALLANT DE QUELQUES MOIS À PLUSIEURS MILLIERS D'ANNÉES.

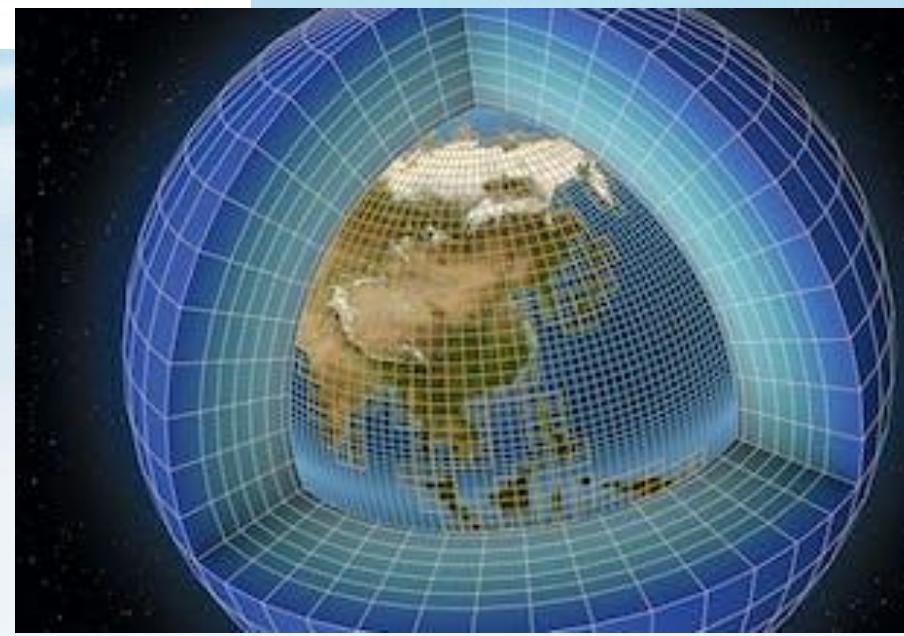
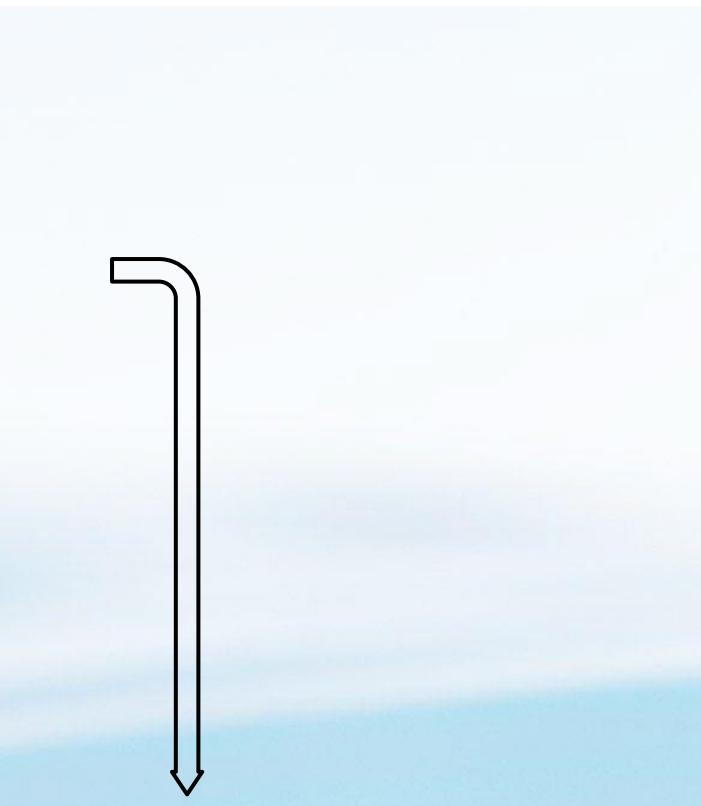


POUR CELA, LES COUCHES SUPERFICIELLES DU GLOBE TERRESTRE SONT DÉCOUPÉES EN MAILLES (latitude, longitude, altitude / profondeur).

LE TEMPS EST LUI AUSSI DÉCOMPOSÉ EN PAS. POUR CHAQUE POINT DU MAILLAGE, CES PROGRAMMES CALCULENT L'ÉVOLUTION DES DIFFÉRENTES VARIABLES D'ÉTAT (température, pression, etc) DE CHACUNE DES COMPOSANTES DU SYSTÈME CLIMATIQUE.

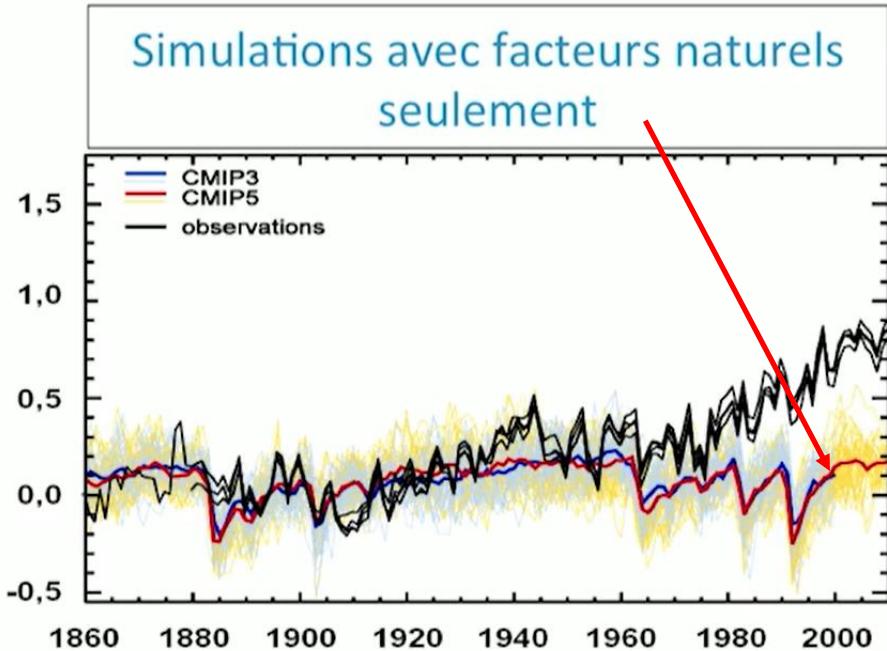
NATURELLEMENT, PLUS LE MAILLAGE EST SERRÉ ET PLUS LA DURÉE SIMULÉE EST IMPORTANTE, PLUS LE TEMPS DE CALCUL SERA LONG.

À titre d'exemple, la réalisation d'une simulation de 2000 ans avec un maillage de 100 km prend quasiment une année entière !



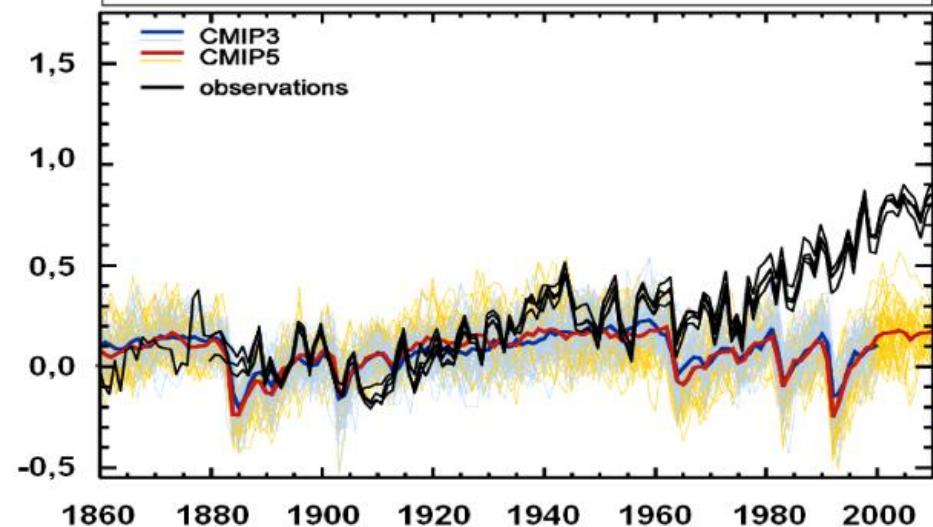
# Les effets de l'homme sur le climat

Variations de la température moyenne globale en surface simulées et observées depuis 1860

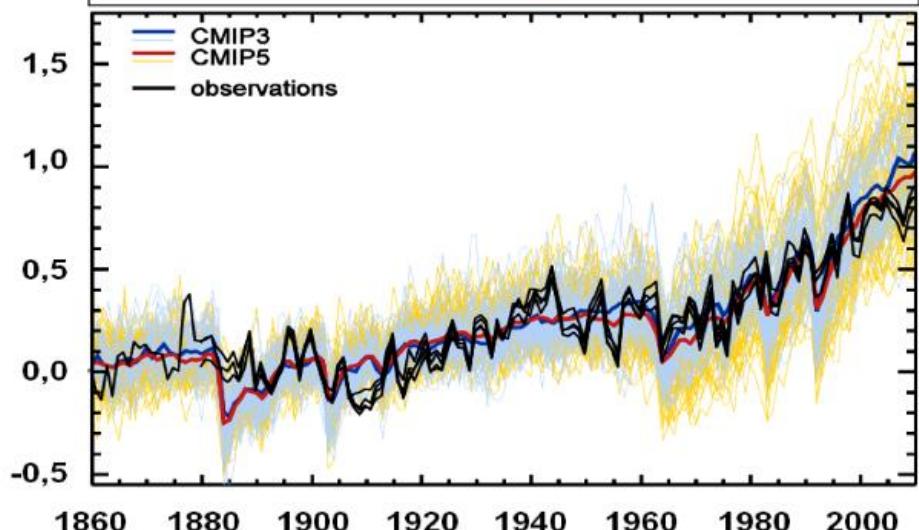


Source : GIEC, 2013

### Simulations avec facteurs naturels seulement



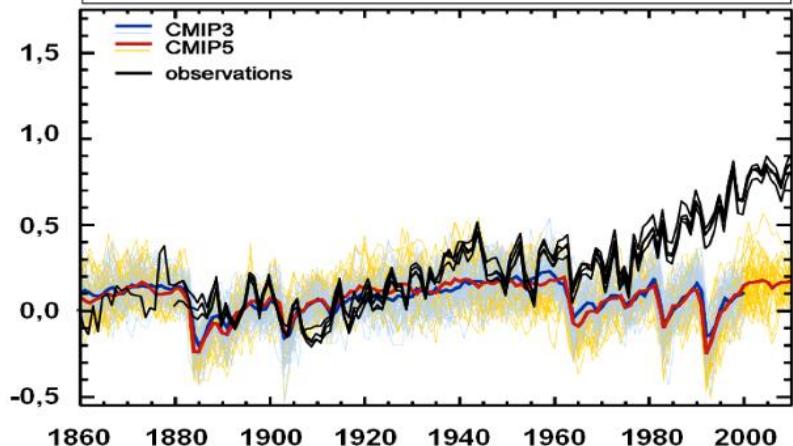
### Simulations avec facteurs naturels et facteurs d'origine humaine



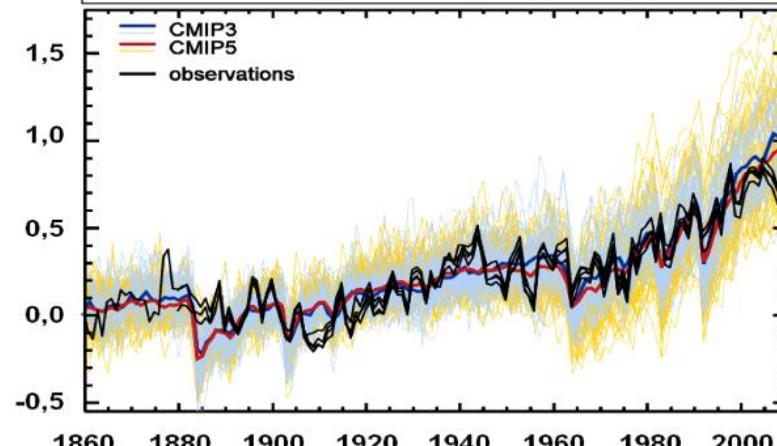
Source : GIEC, 2013

Les modèles simulent de mieux en mieux les observations

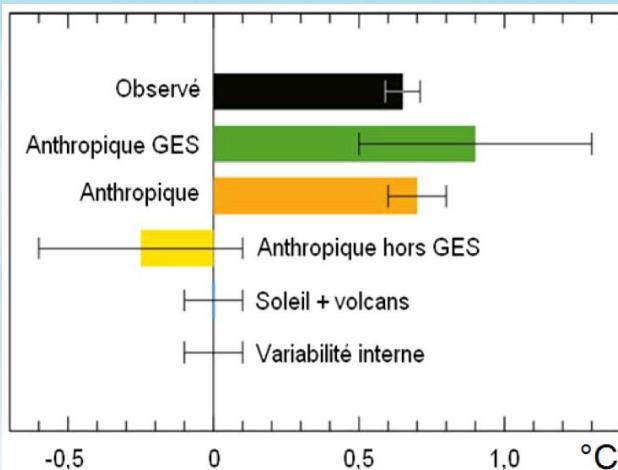
### Simulations avec facteurs naturels seulement



### Simulations avec facteurs naturels et facteurs d'origine humaine



Source : GIEC, 2013



## Le rôle des activités humaines

On détecte l'influence humaine dans les principales composantes du système climatique :

- dans les changements de température près de la surface de la terre
- dans le réchauffement de l'atmosphère et de l'océan
- dans la réduction de l'extension de la banquise Arctique
- dans l'augmentation de l'humidité atmosphérique
- dans la fréquence et l'intensité des extrêmes quotidiens de température
- .....

Les recherches se poursuivent concernant notamment :

- les causes de la variation du climat à l'échelle d'une ou deux décennies
- les causes de changement de fréquence ou d'intensité d'extrêmes

# Pourquoi ne pas dépasser 2°C ? (limite irresponsable)

Lors de la dernière ère glaciaire, il y a plus de 20 000 ans, de combien la Terre était-elle plus froide ?

Réponse : - 5°C par rapport à la période pré-industrielle

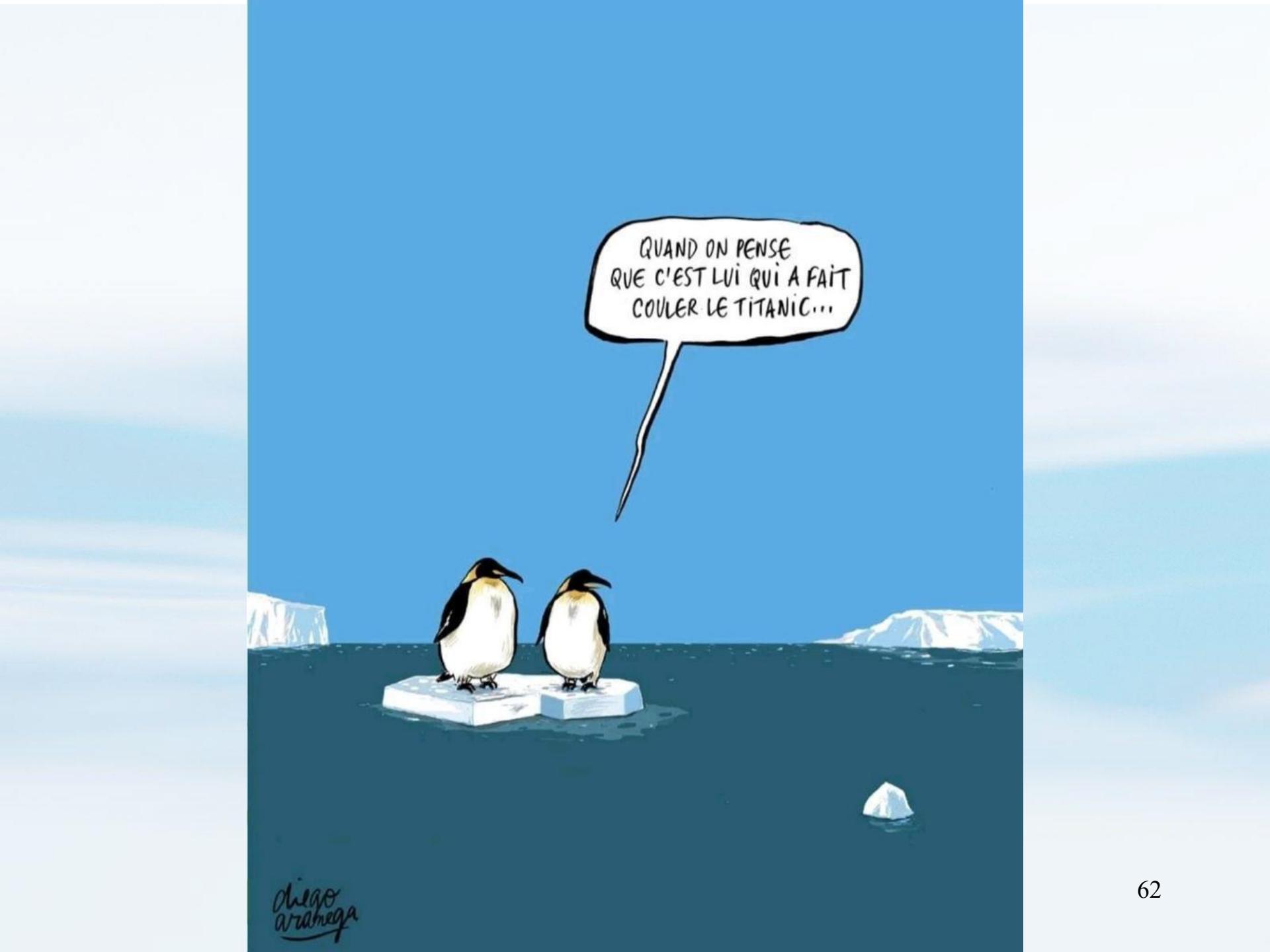
WHAAAA?!?!



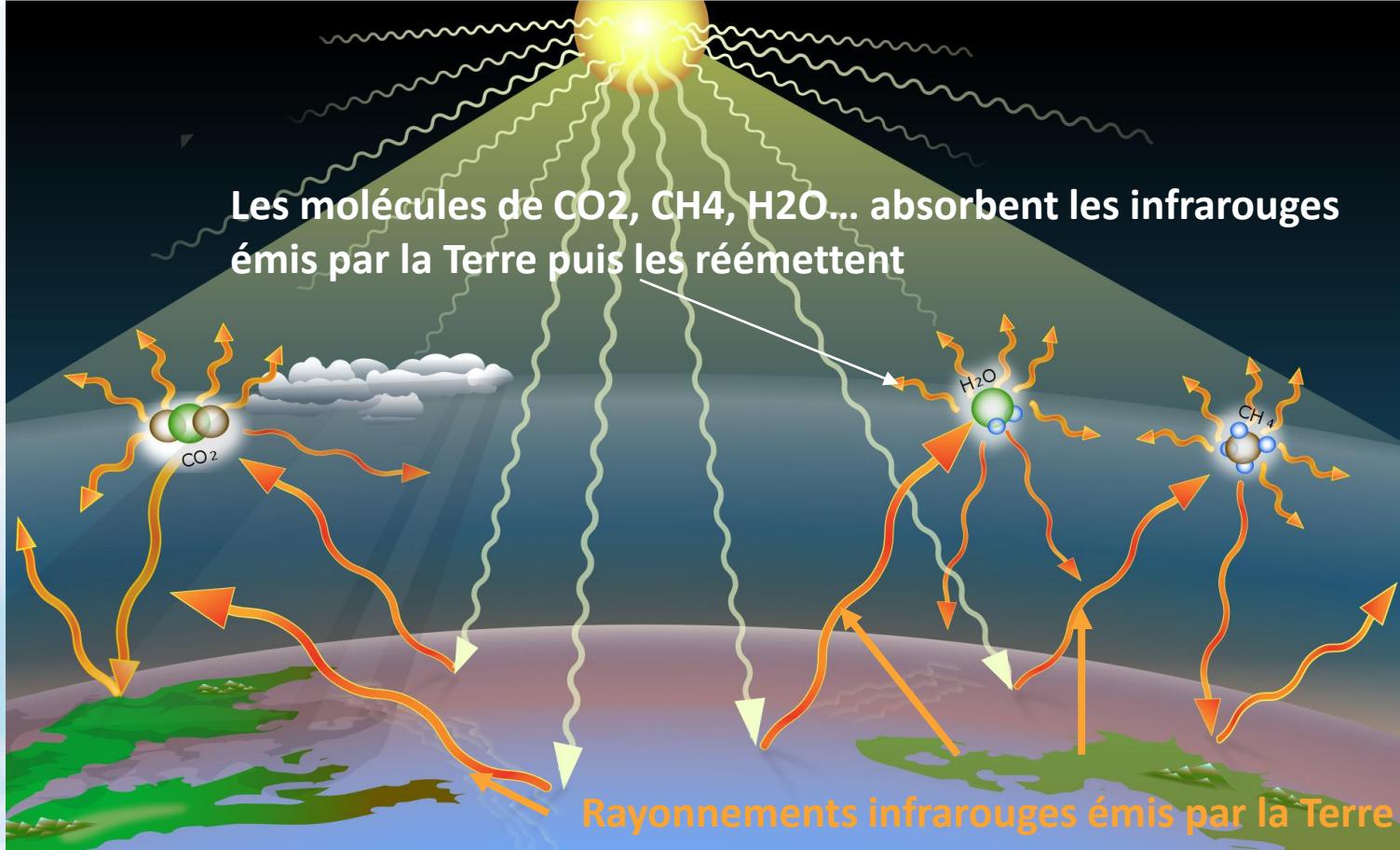
## Ere Glacière :

- Glaciers épais de plusieurs km
- Niveaux des mers 120m plus bas





QUAND ON PENSE  
QUE C'EST LUI QUI A FAIT  
COULER LE TITANIC...



**L'effet du rayonnement solaire sur la surface de la Terre est amplifié par les gaz à effet de serre.**

**Les rayonnements infrarouges émis par la surface terrestre sont absorbés par les molécules des GES et ensuite réémis par celles-ci vers la Terre**

**L'accroissement de la concentration des GES déséquilibre les flux énergétiques de la Terre et de l'atmosphère vers l'espace**

- Vidéo sur l'effet de serre (1 mn)



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



La vie grâce à l'effet de serre

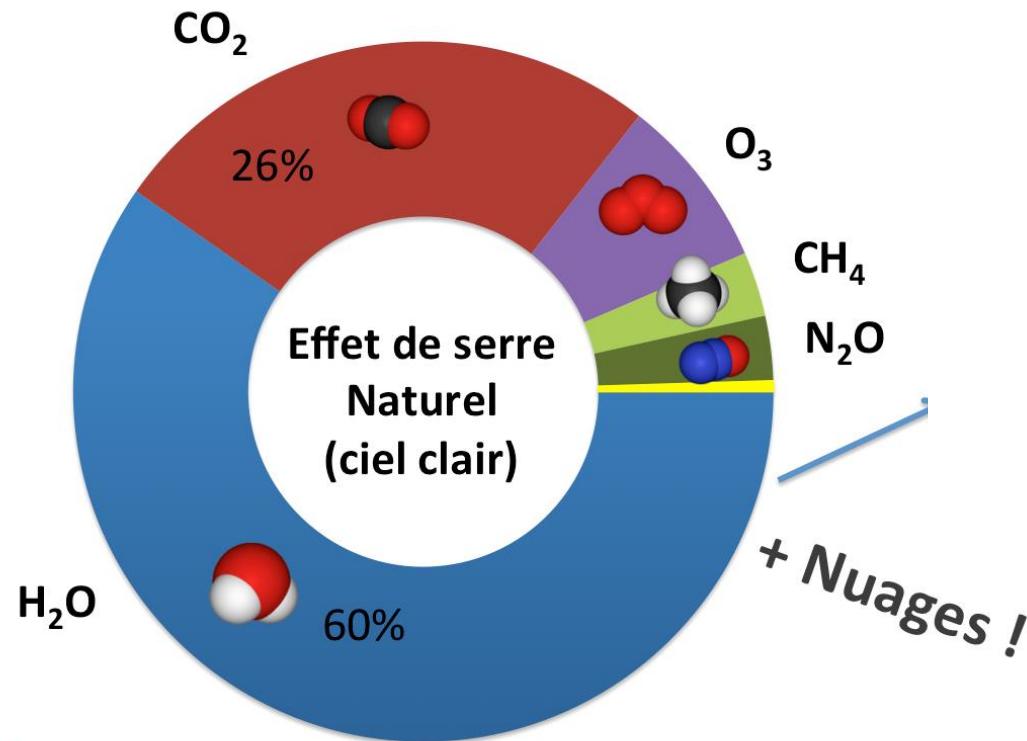


Un risque de déséquilibre

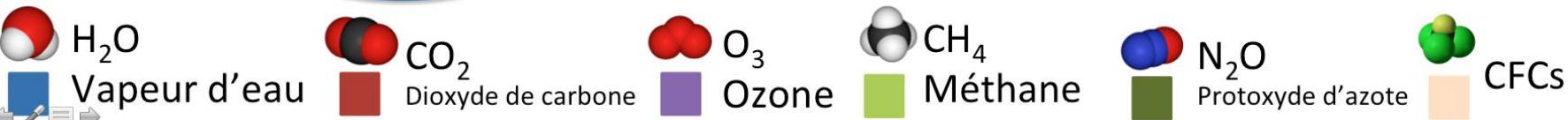


L'effet de serre est  
un phénomène  
naturel mais  
attention aux  
concentrations ...  
équilibre fragile !

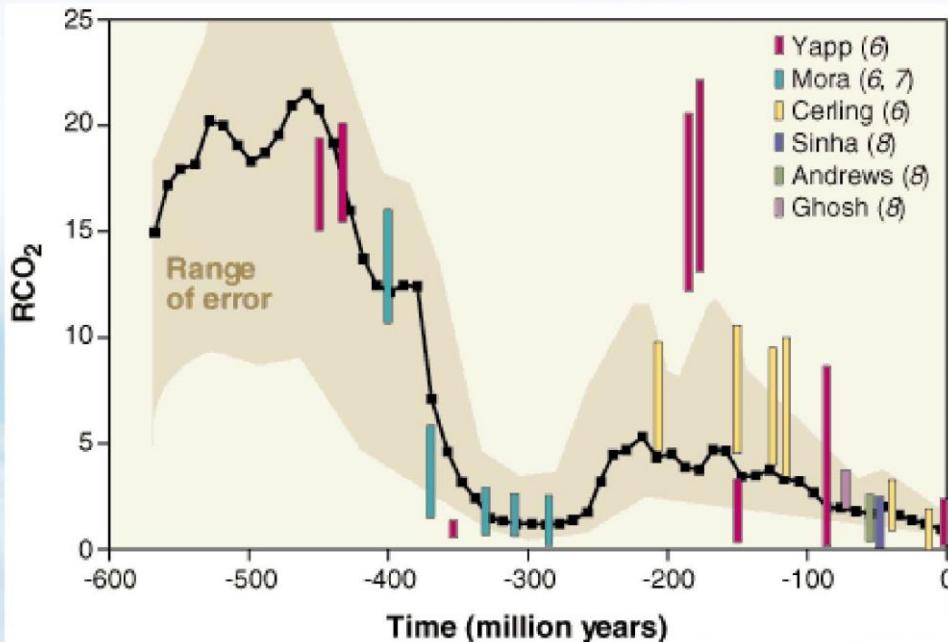
# Les gaz responsables de l'effet de serre naturel



Source : SAGE



Outre la vapeur d'eau et le  $\text{CO}_2$ , les principaux gaz "naturels" à effet de serre sont : le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), l'ozone ( $\text{O}_3$ ).  
On utilise un système d'équivalence avec le  $\text{CO}_2$ , noté  $\text{CO}_2\text{eq}$



Variation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>, au cours des 600 millions d'années qui nous ont précédé. Source : Berner, Science, 1997

Multiple de la quantité de CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère depuis le début de l'ère primaire (exprimé en multiples de la concentration actuelle).

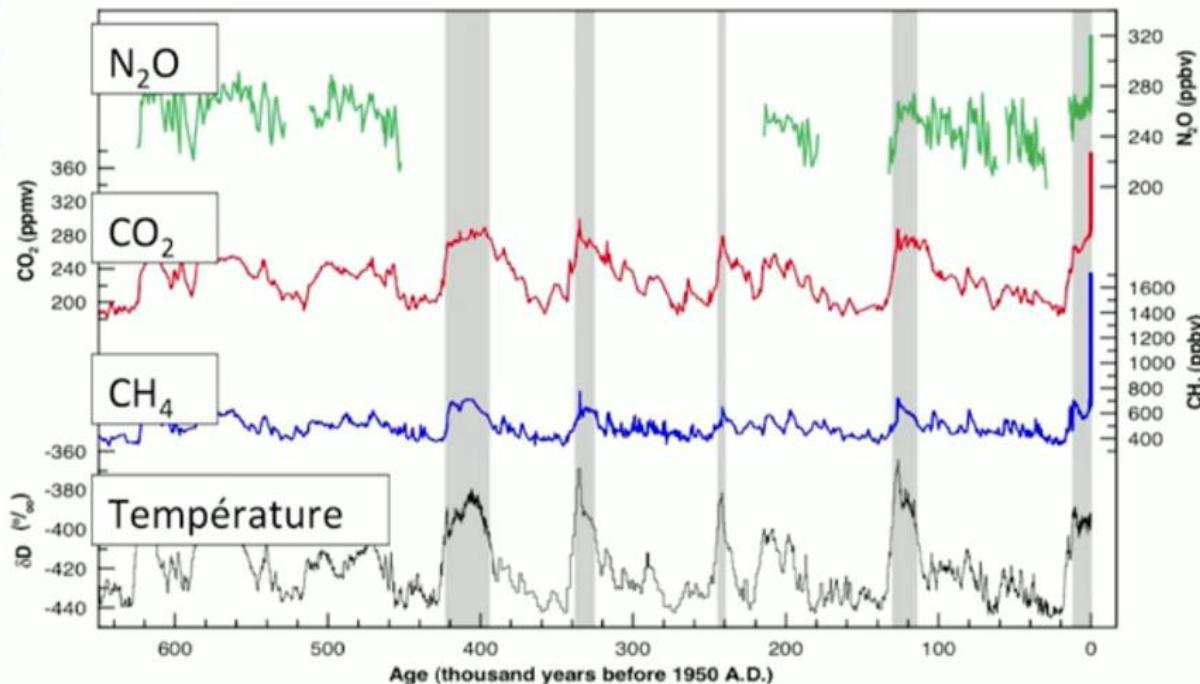
Il y a eu des époques géologiques où la concentration en CO<sub>2</sub> était beaucoup plus élevée qu'aujourd'hui

Les premiers végétaux terrestres, lichens et les mousses, apparaissent il y a environ 500 millions d'années. Mais ce n'est que vers -400 millions d'années que l'on trouve trace des premiers animaux évoluant sur la terre ferme.

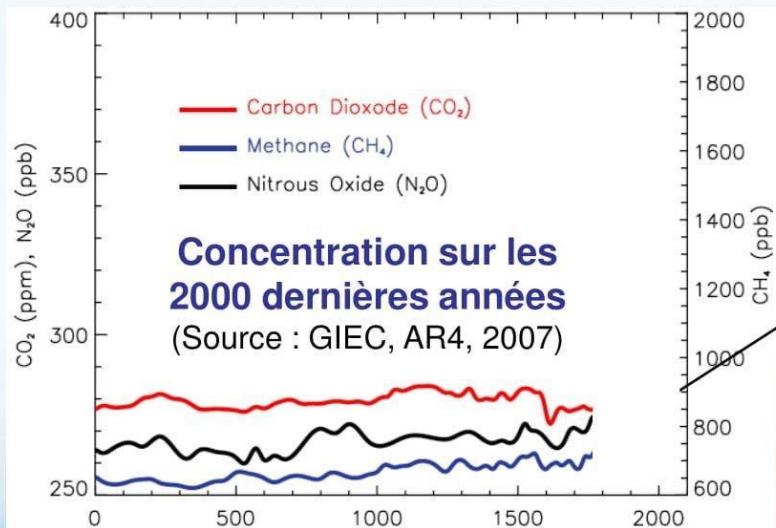
# Les 650 000 dernières années



Source: IPEV

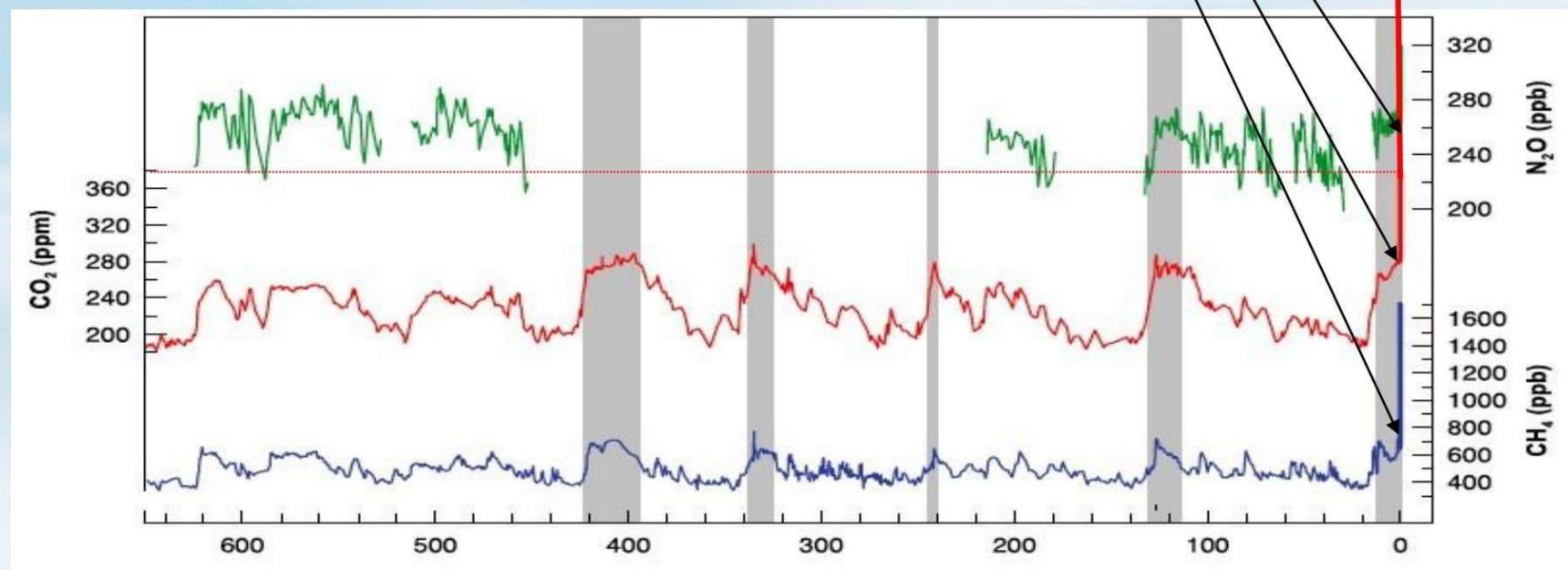


Source : GIEC, 2007



Début de la révolution  
industrielle

2100 ?



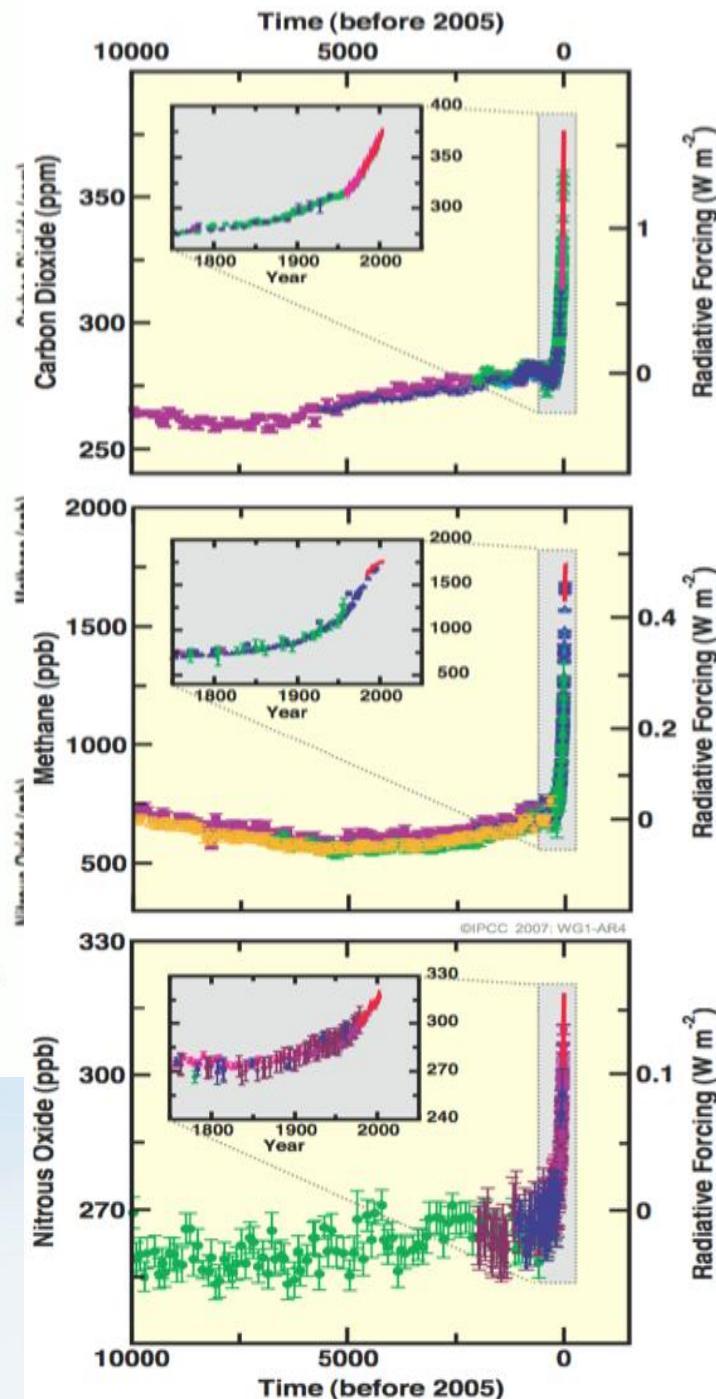
Concentrations atmosphériques du CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O sur les 650.000 dernières années (GIEC, AR4, 2007)

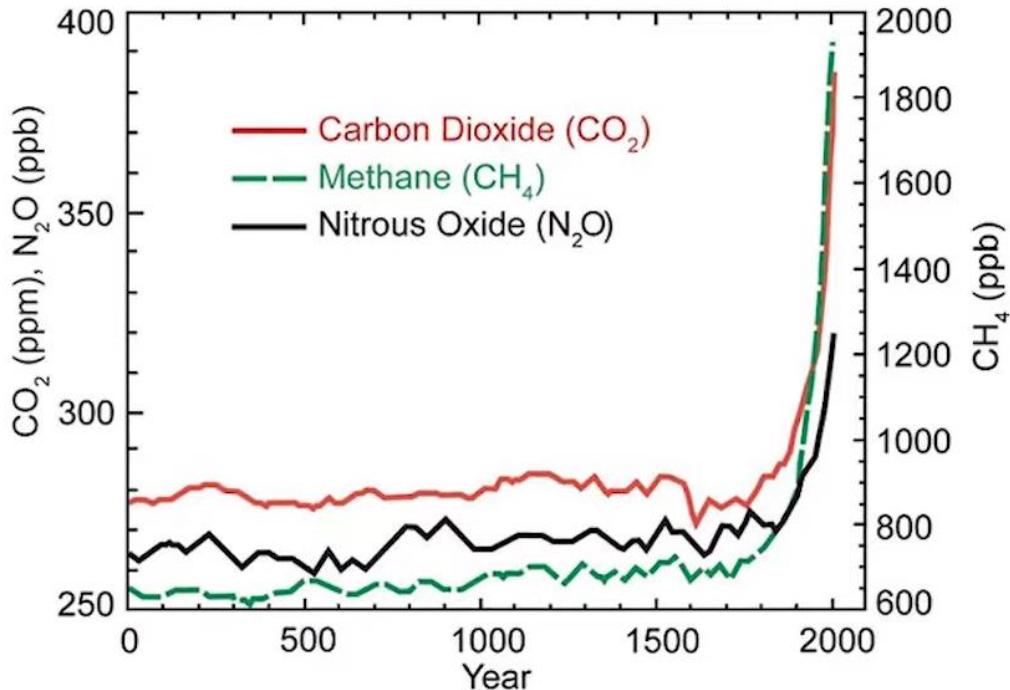
## Le climat dans lequel se sont développées nos civilisations: une situation très particulière

*> 10 000 ans de « quasi-stabilité » et quelques décennies de changement*

Pendant plus de 10 000 ans : climat stable → sédentarisation, agriculture...

IPCC, 2007





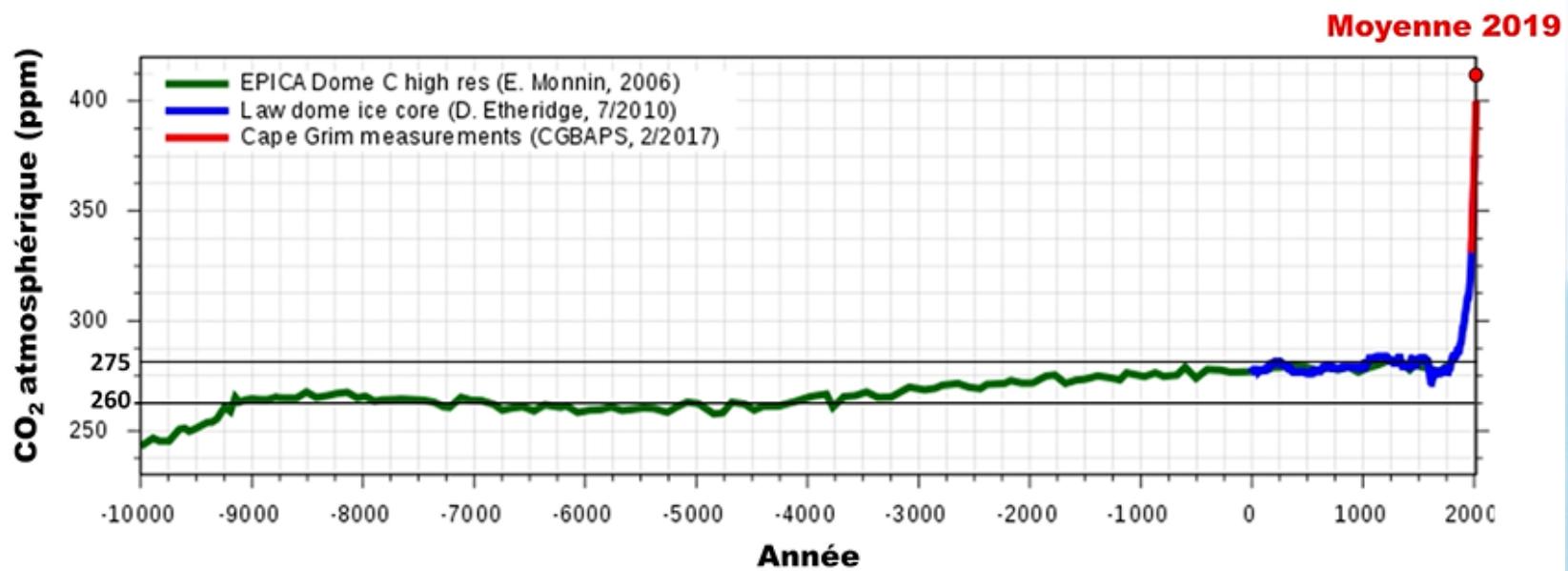
En quelques décennies, la concentration des GES a explosé



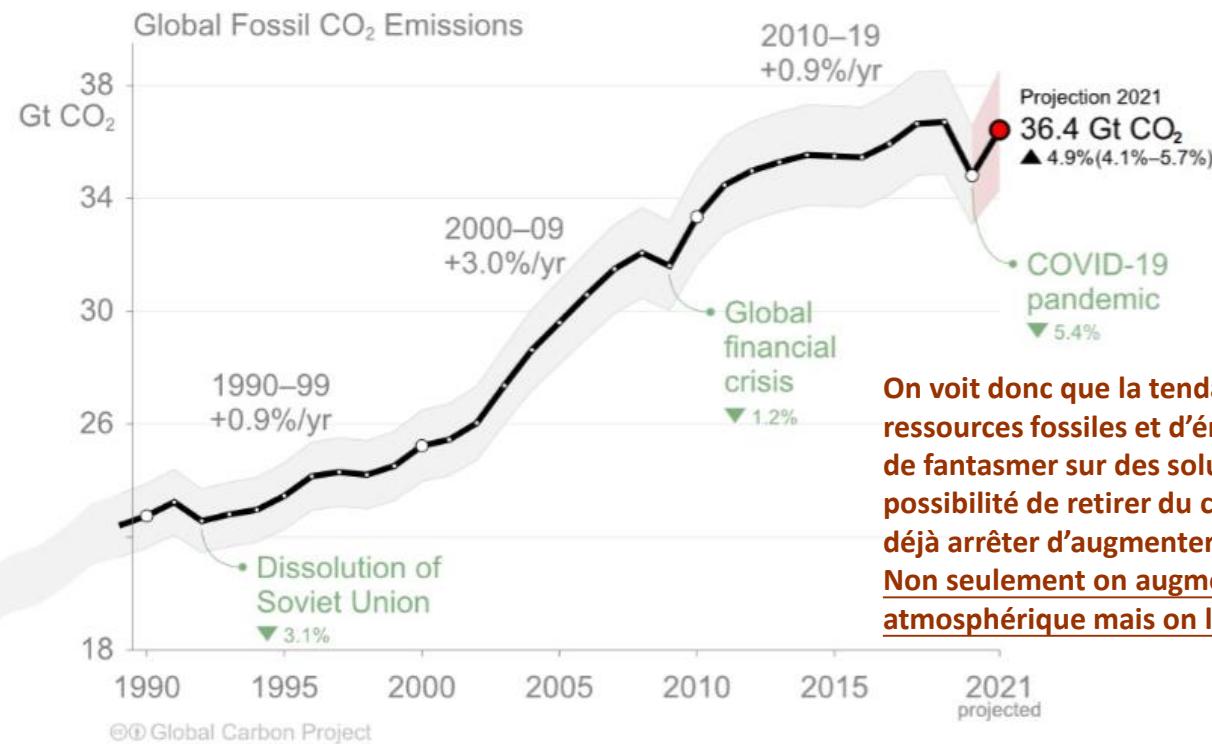
Source : U.S. National Climate Assessment (2014), IPCC AR5

Depuis la révolution industrielle les concentrations de GES augmentent brutalement → climat et biosphère ???  
**Alerte rouge !**

## Concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique des derniers 12 000 ans



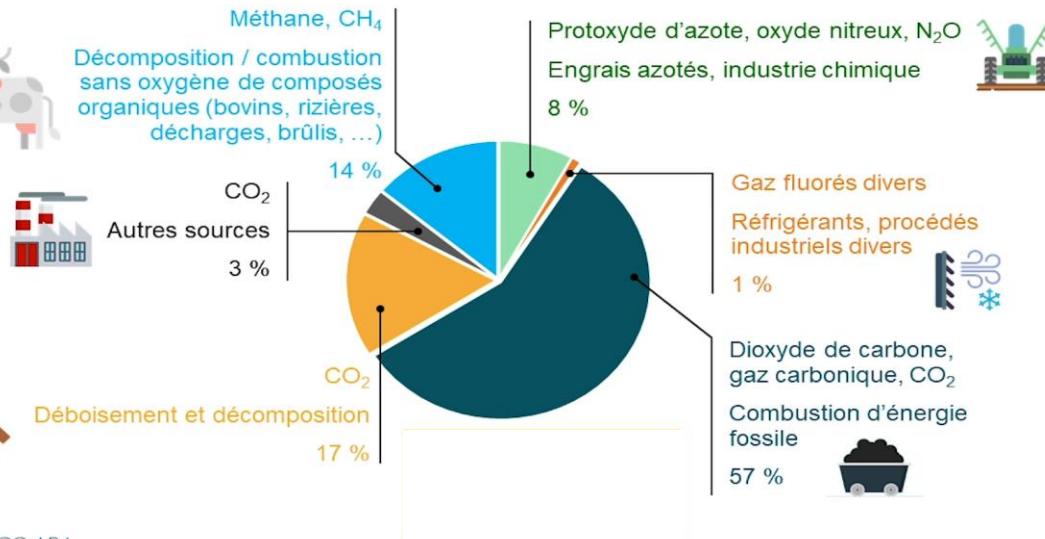
## Émissions mondiales pour la période 1990-2021. Global Carbon Project



On voit donc que la tendance est de brûler toujours plus de ressources fossiles et d'émettre toujours plus de CO<sub>2</sub>. Avant de fantasmer sur des solutions technologies ou sur la possibilité de retirer du carbone de l'atmosphère, il faudrait déjà arrêter d'augmenter chaque année ce qu'on y ajoute. Non seulement on augmente la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique mais on l'augmente de plus en plus vite.

Depuis l'accord de Paris en 2015, la seule inflexion observée a résulté des mesures liées à la pandémie de COVID-19.  
L'impuissance des États les contraints à des promesses sans cesse renouvelées et jamais tenues !

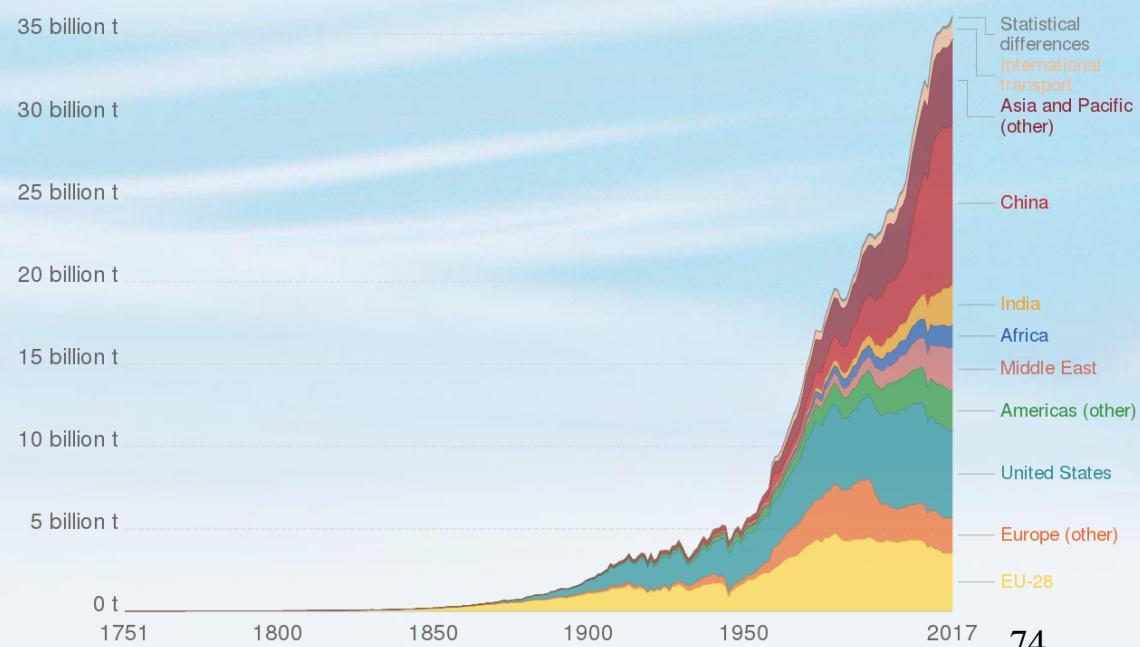
## Gaz à effet de serre : qui fait quoi ?



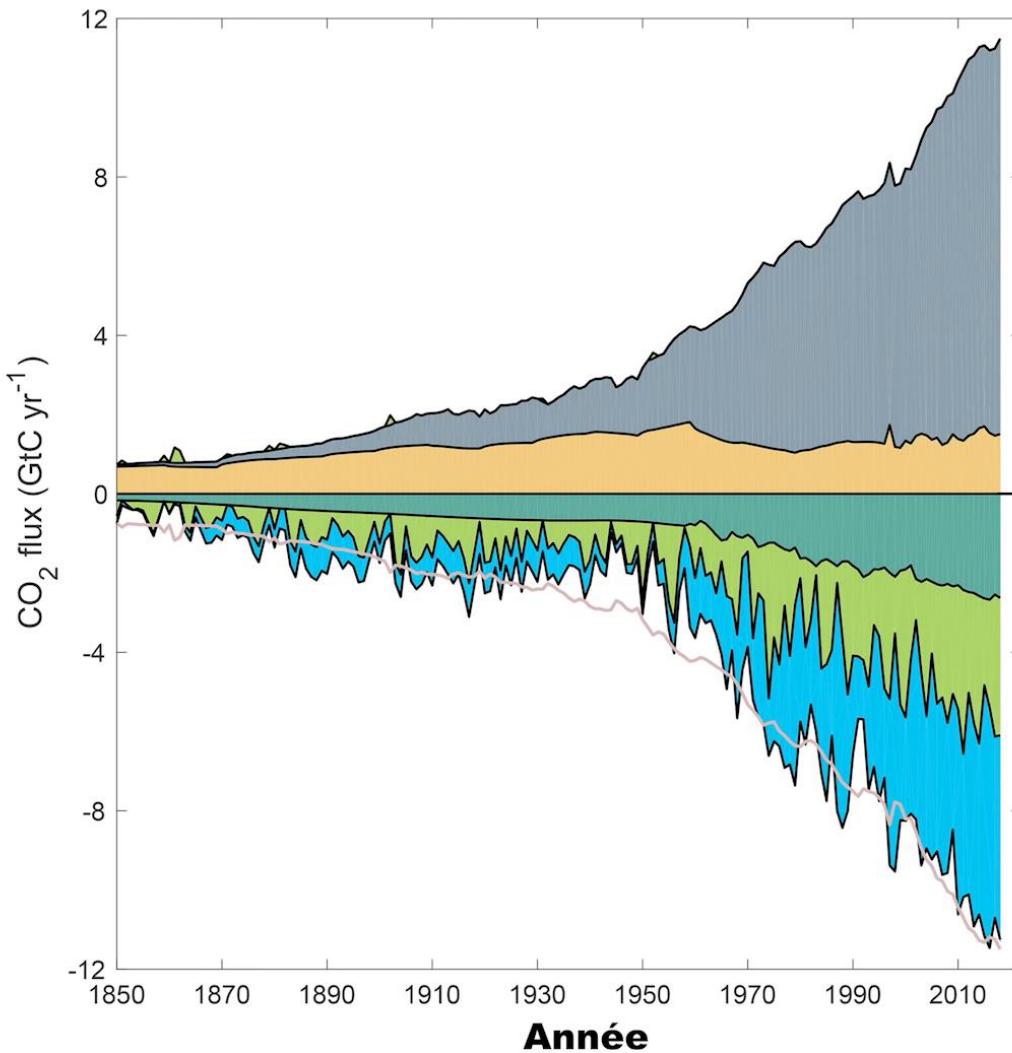
Source : IPCC AR4

**Nous verrons par la suite : les activités, les pays, et la France en particulier**

Annual total CO<sub>2</sub> emissions, by world region



Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC); Global Carbon Project (GCP)  
Note: The difference between the global estimate and the sum of national totals is labeled "Statistical differences".



**Carbone émis vers l'atmosphère par les activités humaines...**

**Émissions provenant de la combustion de ressources fossiles**

**Émissions provenant du changement d'affectation des sols**

**...et où ce carbone finit**

**Dans les océans**

**Dans les continents (végétation, sols...)**

**Dans l'atmosphère**

Malheureusement le CO<sub>2</sub> n'a ni odeur ni couleur, il ne modifie pas la beauté du ciel !  
*(contrairement à cette illustration!)*

**Le danger n'est pas sensible !  
Dans le ciel un invisible assassin**

**Et le pire : c'est une  
molécule très stable et sa  
durée de vie dans  
l'atmosphère s'exprime en  
siècles ...**



## 10. Le GIEC : LA “boussole” scientifique pour le climat



**GIEC** = **G**roupement d’experts **I**ntergouvernemental sur l’**É**volution du **C**limat), **IPCC** en anglais (**Intergovernmental Panel on Climate Change**)



Une présentation détaillée du GIEC et de ses travaux, est disponible, en particulier, sur le site du Ministère français de la Transition écologique et solidaire.

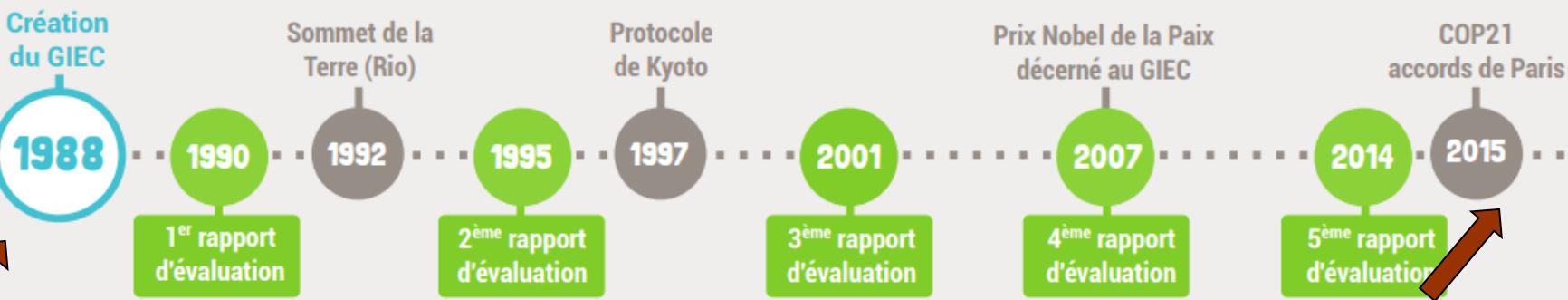
À noter aussi : **Le Réveilleur** (site d'un jeune ingénieur) et **Citoyens Pour Le Climat (CPLC)**

# COMPRENDRE LE GIEC

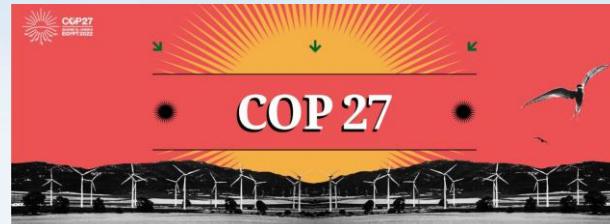
## GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT



Le GIEC a pour mandat d'évaluer, sans parti pris et de manière méthodique et objective, **l'information scientifique, technique et socio-économique** disponible en rapport avec le changement du climat. Il travaille à dégager les éléments qui relèvent d'un **consensus dans la communauté scientifique** et à identifier les limites d'interprétation des résultats.



La COP 27 (27<sup>°</sup> Conference of parties)  
en Égypte du 6 au 18 novembre

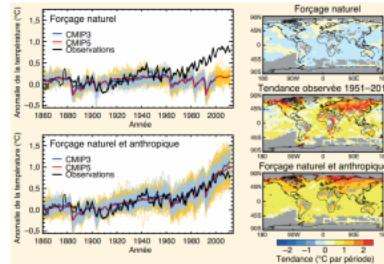


La 27<sup>e</sup> conférence des parties à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, qui se tiendra en Égypte du 6 au 18 novembre 2022, vise à renouveler la solidarité entre les pays afin de concrétiser l'accord historique de Paris

# TROIS GROUPES DE TRAVAIL

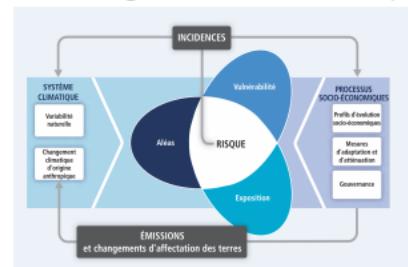
## GROUPE I

Aspects physiques du système climatique et de l'évolution du climat



## GROUPE II

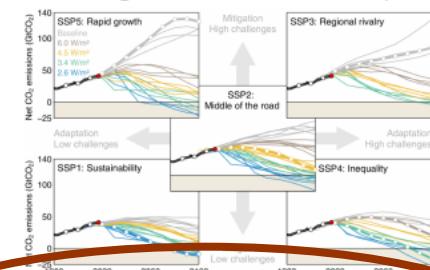
Vulnérabilités des systèmes socio-économiques et naturels aux changements climatiques



## GROUPE III



Solutions envisageables pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et atténuer les changements climatiques



Chaque groupe de travail produit un **rapport d'évaluation complet** ainsi qu'un **résumé à l'intention des décideurs**

Groupe n°1 : les connaissances scientifiques : août 2021

Groupe n°2 : conséquences, adaptations, vulnérabilités : février 2022

Groupe n°3 : atténuation du changement climatique : avril 2022

***C'est l'expertise collective qui fait la force des rapports du GIEC***

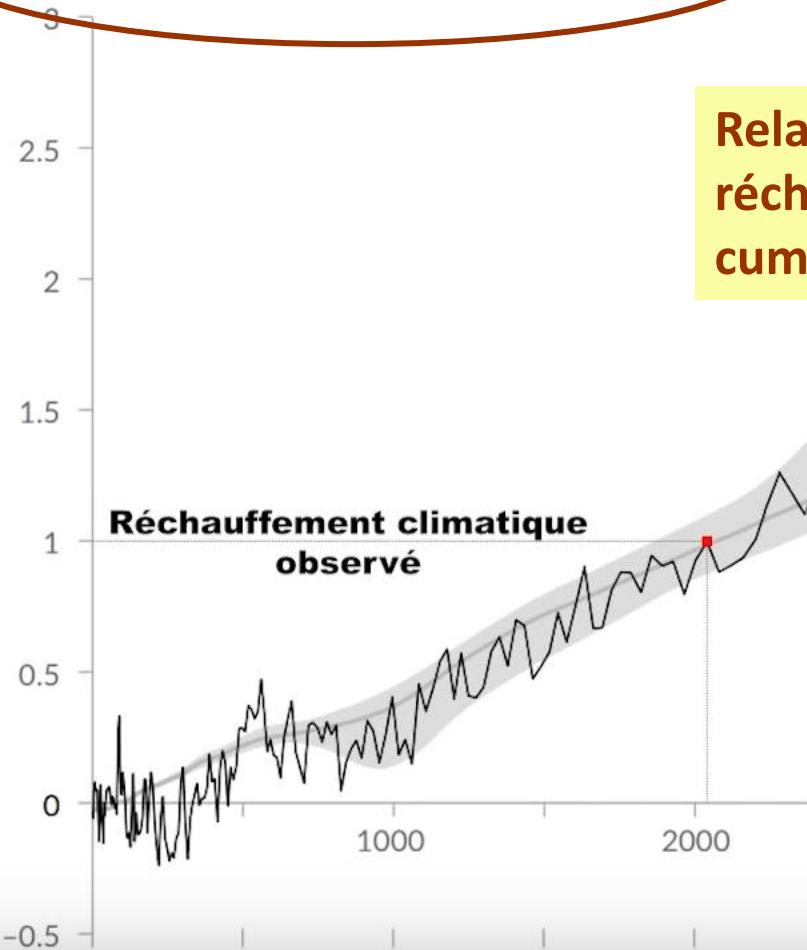
**Les rapports sont une mine phénoménale de connaissances mondiales détaillées mais aussi synthétisées pour les décideurs et pour les citoyens**

**A signaler : Valérie Masson-Delmotte, coprésidente du groupe n° 1 du GIEC depuis 2015 : à suivre sur Youtube**

# 11. Heureusement nous savons ce qu'il faut faire

## Le réchauffement climatique dépend du cumul des émissions de CO<sub>2</sub>

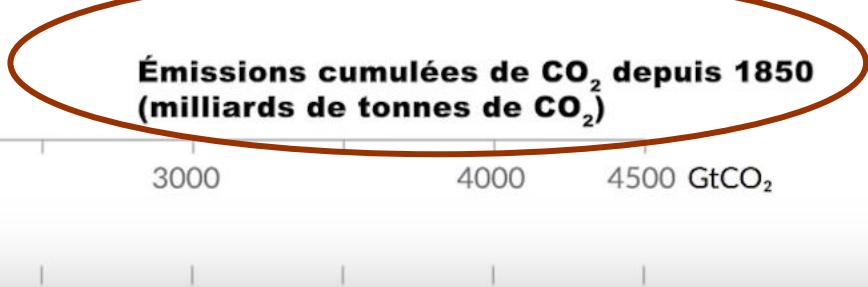
Augmentation de la température globale (°C) par rapport à la période 1850-1900



Relation pratiquement linéaire entre le réchauffement tendanciel et les émissions cumulées

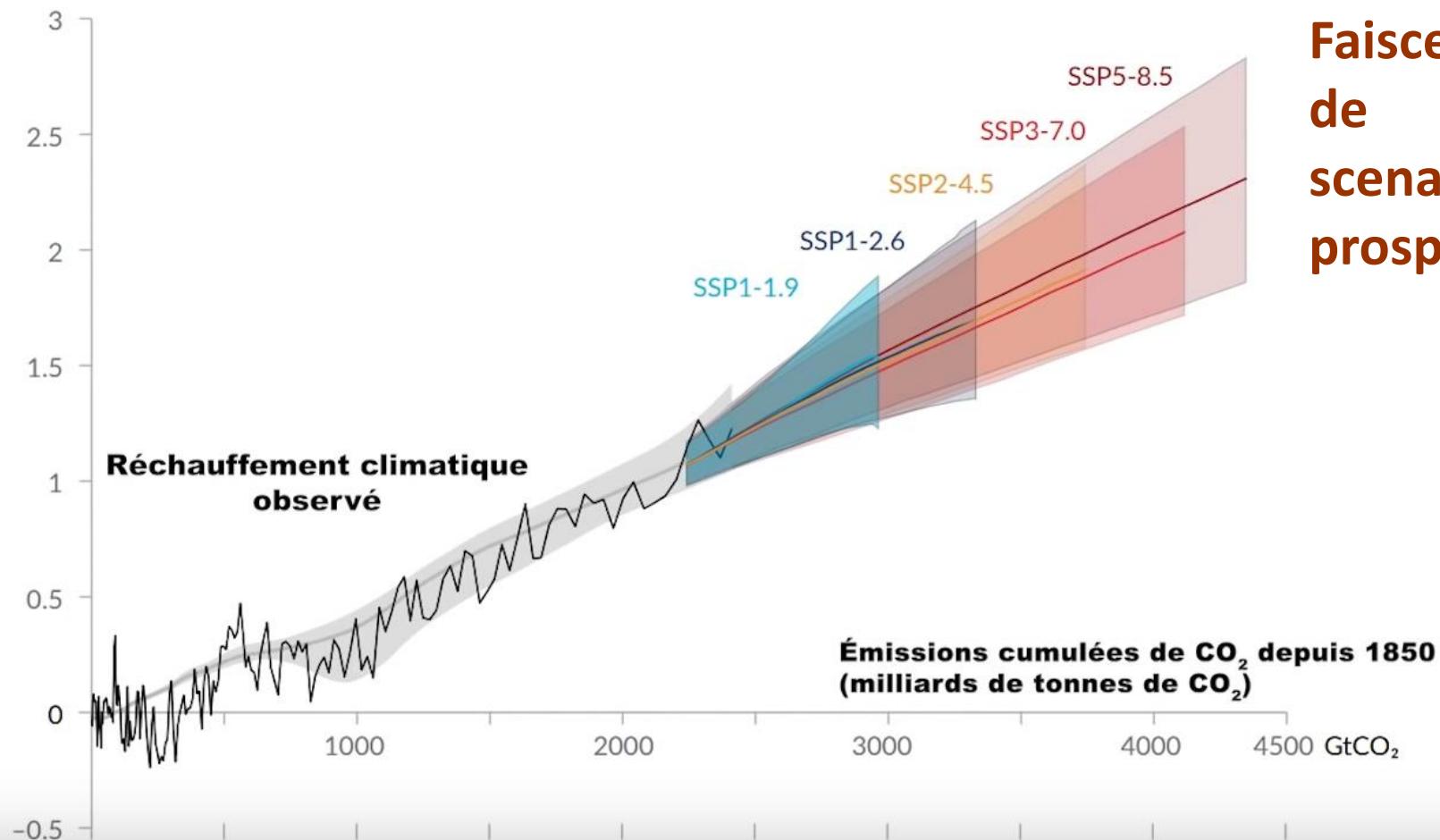


Émissions cumulées de CO<sub>2</sub> depuis 1850 (milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>)



# Le réchauffement climatique dépend du cumul des émissions de CO<sub>2</sub>

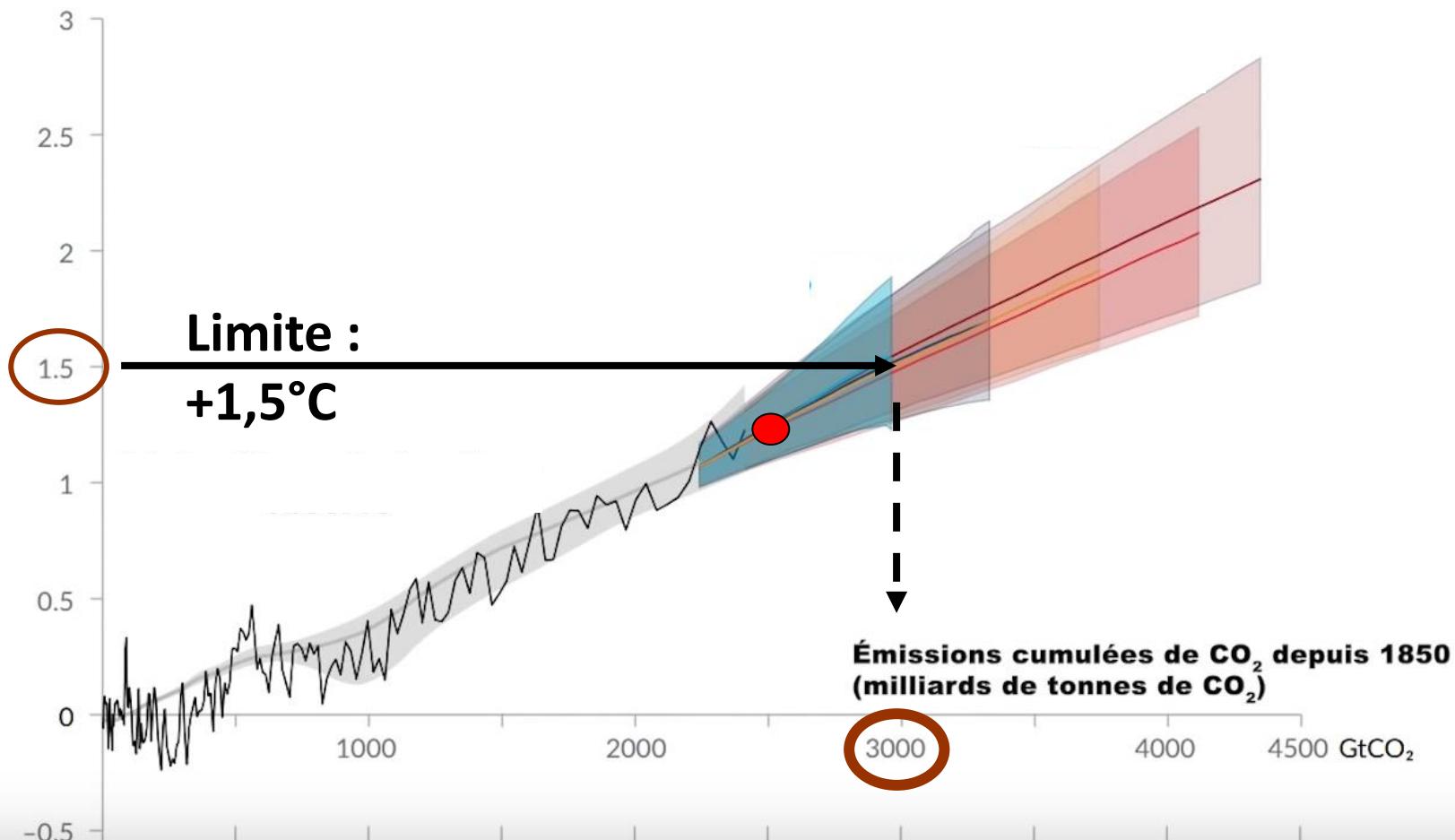
Augmentation de la température globale (°C)  
par rapport à la période 1850-1900



Faisceaux  
de  
scenarios  
prospectifs

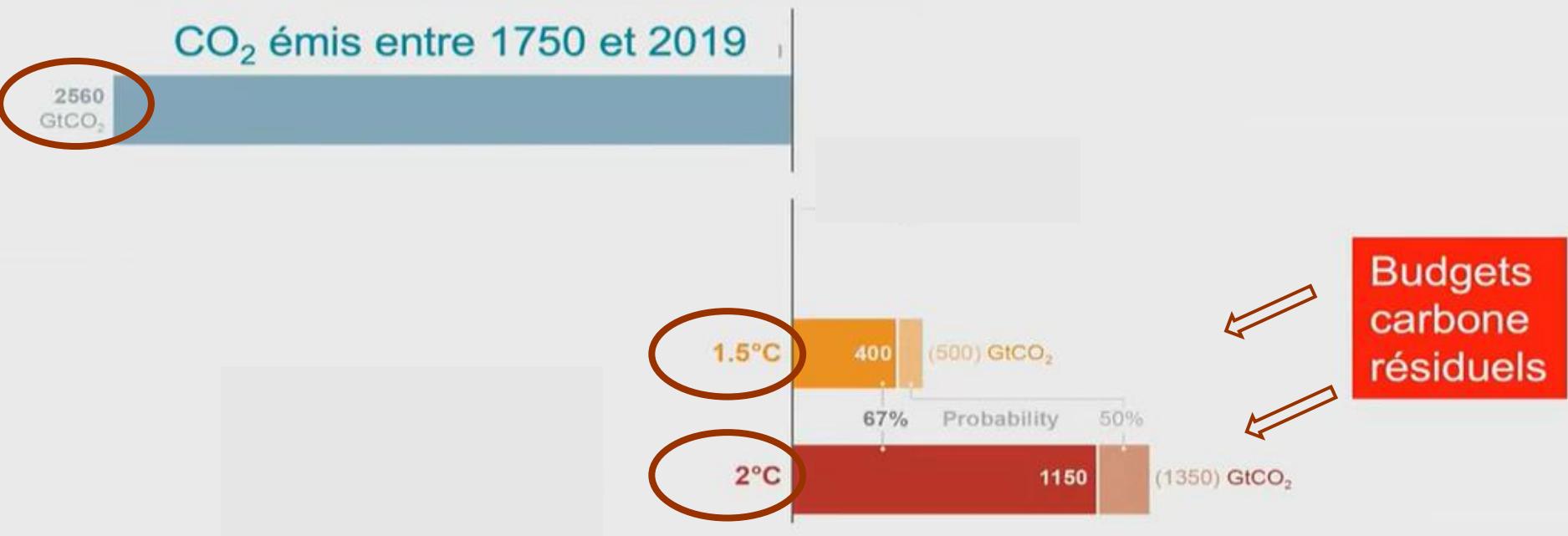
# Le réchauffement climatique dépend du cumul des émissions de CO<sub>2</sub>

Augmentation de la température globale (°C)  
par rapport à la période 1850-1900



CO<sub>2</sub> émis entre 1750 et 2019 : 2560 GtCO<sub>2</sub>

## Chaque tonne d'émissions de CO<sub>2</sub> contribue au réchauffement global



Rappel : en moyenne, ces dernières années, les émissions sont de 40 GtCO<sub>2</sub>/an, on y reviendra (exposé 3)

# 12. Des conséquences physiques... ...aux impact sur les sociétés humaines

## Impacts physiques



Hausse des températures et vagues de chaleur



Perturbation des précipitations



Augmentation de la fréquence et/ou amplitude des événements extrêmes



Élévation du niveau des eaux, érosion du littoral, retrait du trait de côte



Augmentation de l'acidité des océans



Effondrement des écosystèmes

## Conséquences sociétales



Pénuries d'eau

Sinistres



Baisse des rendement de pêche



Baisse des rendements agricoles



Migrations de populations



Instabilités politiques et financières

## Les conséquences pour les sociétés humaines

- Gestion des phénomènes météo extrêmes & risques d'incendies
- Ecosystèmes et accès aux besoins fondamentaux (eau, pêche, agriculture)
- Maladies tropicales
- Erosion et niveau de la mer
- Dégradation des infrastructures
- Mouvements migratoires et stabilité politique



Source : IPCC AR5,



**À Saint-Louis (Sénégal), en août 2021, une petite fille observe les travaux de construction d'une digue contre la montée des eaux due au réchauffement climatique.**  
John Wessels/AFP

# Pertes et Préjudices : qui paiera les conséquences du changement climatique ?

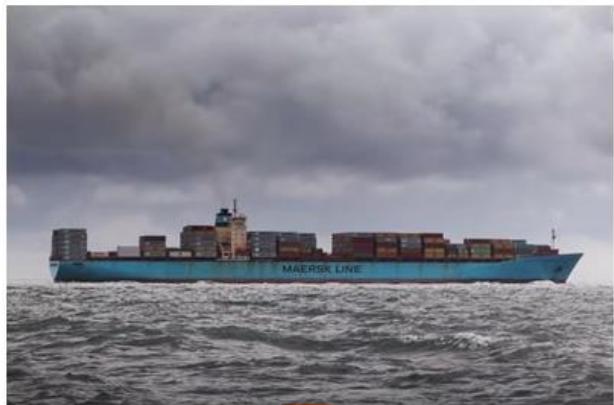


Si tous les États reconnaissent le changement climatique d'origine humaine, le consensus n'est plus du tout le même au moment d'en reconnaître la responsabilité et les conséquences.

**“Dans toutes les régions du monde, les personnes et les systèmes les plus vulnérables sont affectés de manière disproportionnée. L'augmentation des extrêmes météorologiques et climatiques a entraîné des effets irréversibles, les systèmes naturels et humains étant poussés au-delà de leur capacité d'adaptation.” GIEC**

# Le défi de l'adaptation

## 3 épines dans le pied de l'humanité



1) L'homme est beaucoup plus sédentaire qu'avant

2) Le monde est beaucoup plus complexe qu'avant

3) Nous dépendons des écosystèmes naturels



Atténuer =  
Éviter l'ingérable

S'adapter =  
Gérer l'inévitable

Objectif : neutralité  
carbone (exposé 3)



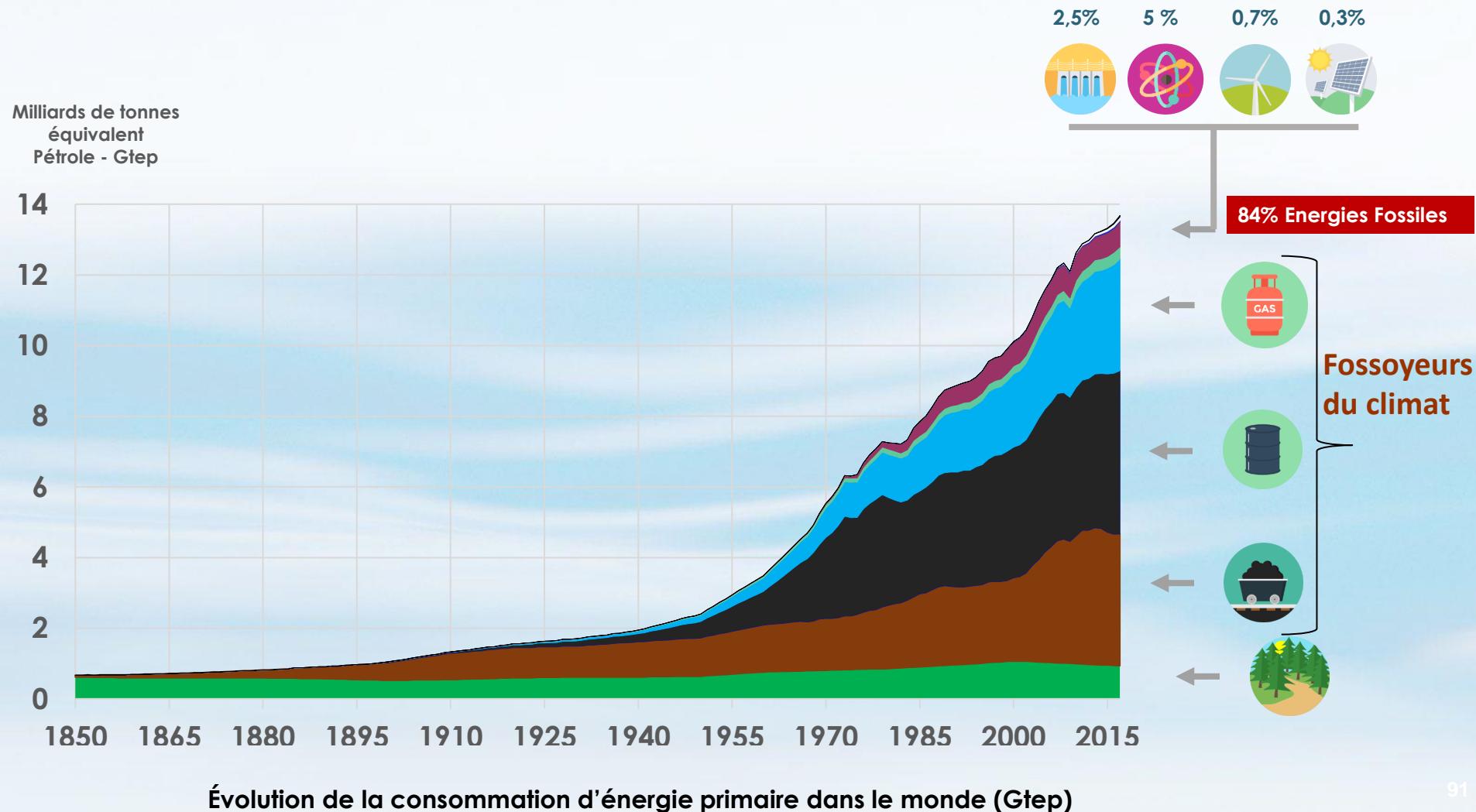
**L'adaptation est très, très peu anticipée au niveau politique, voire pas du tout !**



# Conclusion provisoire



# LE GRAPHIQUE QUI EXPLIQUE PRESQUE TOUT !



L'énergie avant d'être un bien de consommation est un déterminant de notre monde voire même LE déterminant !

Notre extraordinaire niveau de vie dépend entièrement ou presque des énergies fossiles

L'utilisation de ces énergies dégage des GES dont la concentration dans l'atmosphère est maintenant critique

L'humanité dispose encore d'un faible budget carbone à ne pas dépasser pour permettre d'éviter l'ingérable (euphémisme)

Les connaissances robustes existent aujourd'hui mais elles ne sont pas encore assez utilisées pour nous préparer aux risques dus au dérèglement du climat (adaptation, nouveaux projets...)

La prochaine fois (lundi 21 ou jeudi 24 novembre) nous passerons en revue les différentes énergies à notre disposition au stade actuel du développement technologique ce qui nous préparera à la dernière étape (lundi 5 décembre ou jeudi 1 décembre) qui abordera l'horizon 2050 et l'objectif de neutralité carbone de la France

**Suggestions pour préparer la prochaine réunion :**

- 1. Répondre à la question suivante :  
quels sont mes critères pour juger une énergie ?**
- 2. Faire son propre bilan carbone avec “ nosgestesclimat.fr ”  
de l’ADEME (en 20 mn on découvre quelque chose  
d’essentiel)**
- 3. Proposer des citations qui vous inspirent**

A scenic mountain landscape featuring a clear, rocky river flowing through a valley. The banks are covered in lush green grass and small yellow flowers. In the background, there are dense forests of tall evergreen trees on the right and a range of mountains with patches of snow on the left under a bright blue sky with wispy white clouds.

**daniel.finati@orange.fr**

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

**Je dédie tout mon travail à mes petits-enfants et j'exprime mon admiration aux jeunes qui s'investissent gratuitement pour nous former (Le Réveilleur, Bon Pote, Osons comprendre et d'autres)**