



# Enjeux climatiques et Energie

**Jean LIZA**

**Président SFEN R.A.L.**

**Société Française d'Énergie Nucléaire Rhône Ain Loire**

**Université Ouverte Lyon, le 6 novembre 2020**

# Société Française d'Énergie Nucléaire

- Créée en 1973, association loi 1901, la SFEN est un lieu d'échanges pour celles et ceux qui s'intéressent à l'énergie nucléaire et à ses applications avec 3 600 professionnels, ingénieurs, techniciens, chimistes, médecins, professeurs, et étudiants, chercheurs, concernés par le nucléaire français.
- Missions principales :
  - **Partager, informer, publier** : la Revue Générale Nucléaire (RGN)
  - **Valoriser l'excellence scientifique et la rigueur technique** de la filière
  - **Contribuer aux débats sur les énergies, le mix énergétique, le changement climatique** : collaborer avec les spécialistes pour analyser les conséquences du changement climatique.
  - **Fédérer les femmes et les hommes du nucléaire** la mise en commun des connaissances scientifiques et à la confrontation des points de vue techniques pour innover et progresser sur tout type d'énergies.

**La Terre serait bien plus froide  
si l'effet de serre n'existait pas  
(-18 °C en moyenne, contre 15 °C actuellement).**



# Effet de serre?... le risque d'emballement

*S'agissant de réchauffement, il peut paraître paradoxal de parler d'effet « boule de neige »*

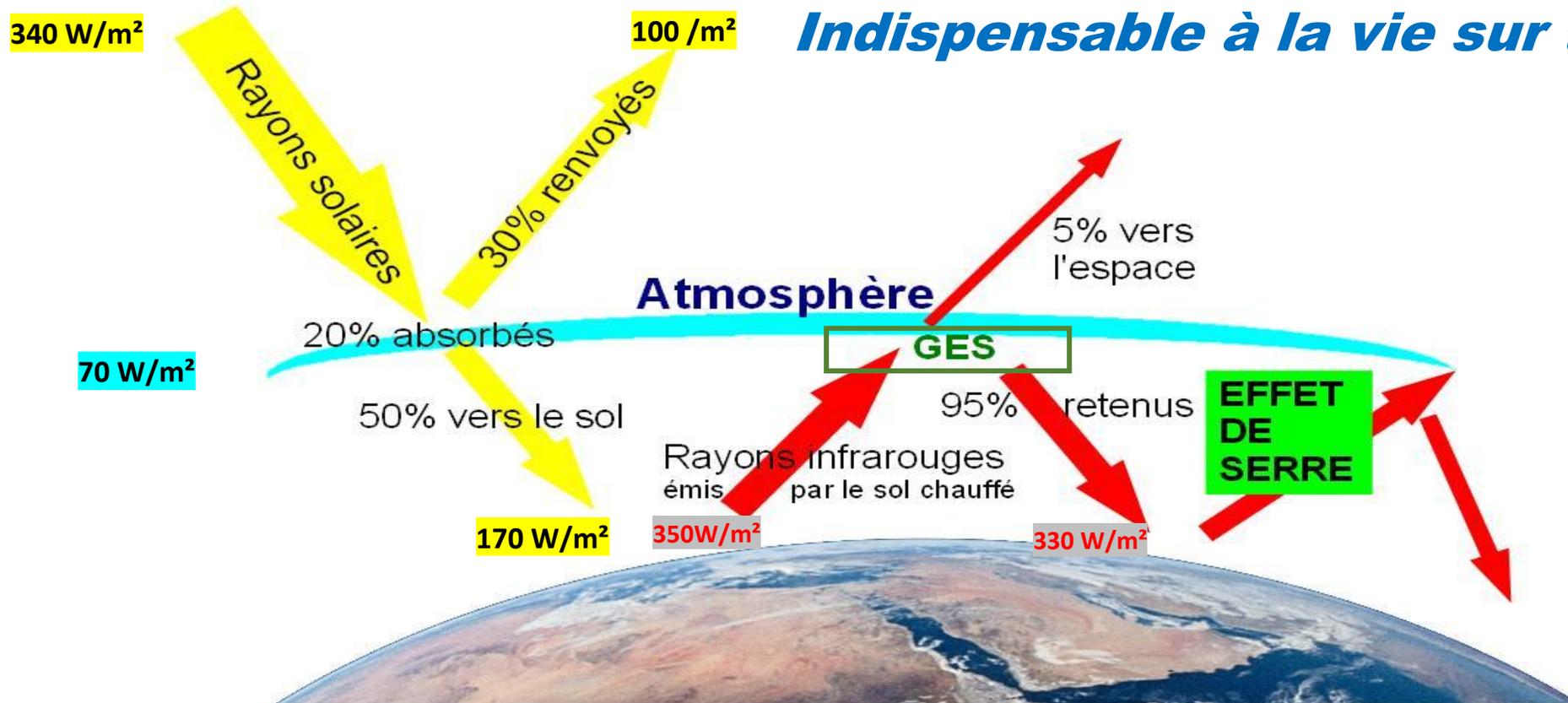
- Principe de l'effet de serre mis en évidence par de **Horace Bénédict de Saussure** en 1796, puis par **Joseph Fourier** en 1824 et confirmé par **John Tyndall** en 1861.
- Modélisé en 1896 par **Svante August Arrhénius**, il avait prévu qu'un doublement de la teneur en CO2 conduira à un accroissement de **4 à 5 degrés**... en 3000 ans!
- C'est un phénomène thermique bien connu, l'atmosphère laisse passer une partie du rayonnement solaire qui vient frapper le sol. Réchauffé, celui-ci émet un rayonnement infrarouge en partie ou totalement piégé par l'atmosphère rendue « imperméable » par la présence de gaz, dont vapeur d'eau et CO2 .
- En résulte une isolation accrue de la planète et **un réchauffement global**

**85% des français sont inquiets**

des conséquences du **dérèglement climatique.**

# L'effet de serre : Qu'est ce que c'est?

*Un phénomène naturel,  
Indispensable à la vie sur terre!*



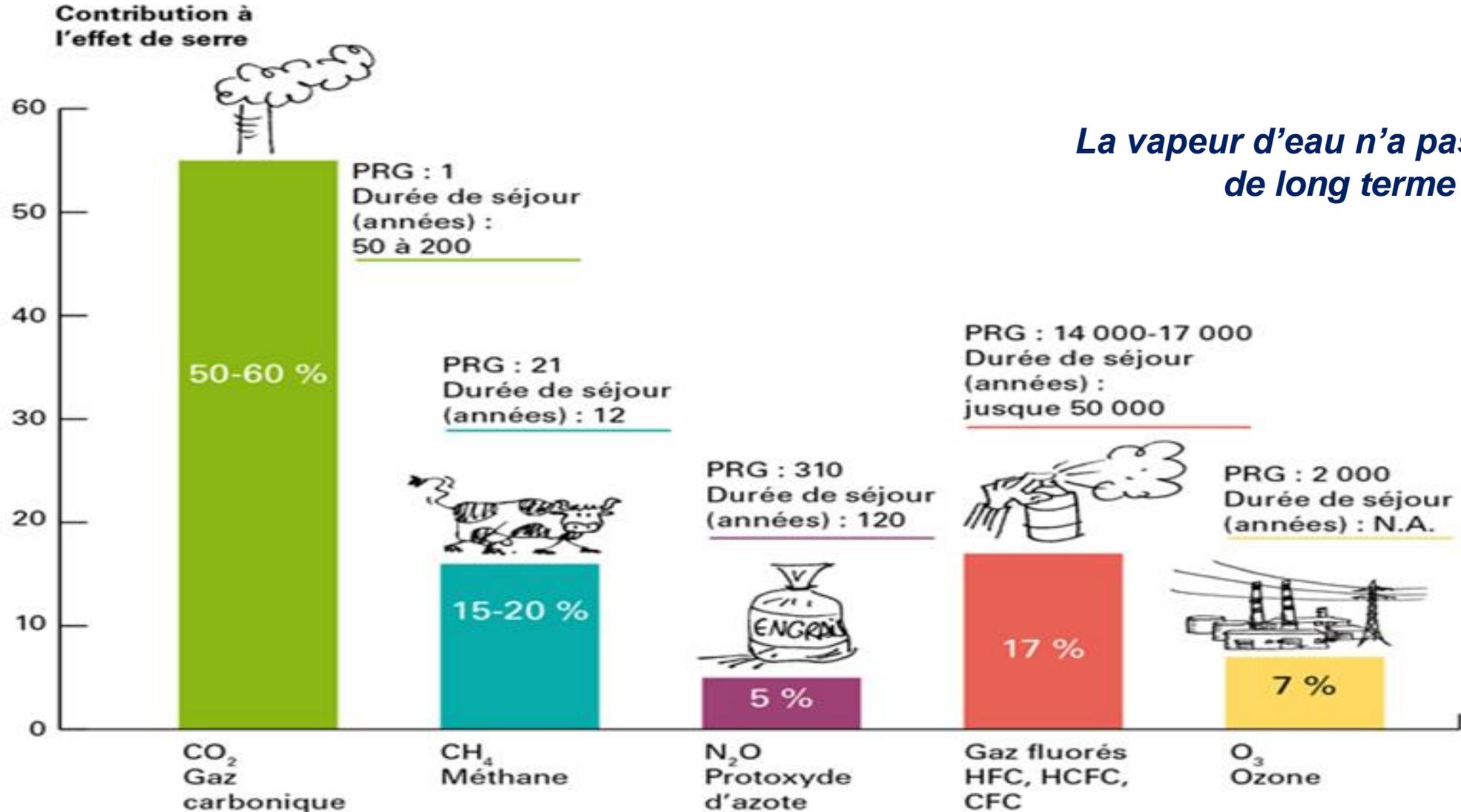
# Les principaux Gaz à Effet de Serre (GES)



- Vapeur d'eau : Durée de vie quelques semaines, sans incidence sur DeltaT°
- CO<sub>2</sub> : Dv >100 ans
- Méthane : Dv=12 ans, mais 25 fois plus puissant.
- N<sub>2</sub>O: Dv~120ans – 300 fois plus puissant.
- Gaz fluorés (HFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, ..) Dv: jusqu'à 50 000 ans
- Ozone troposphérique

*Dv : Durée de vie*

# Les principaux GES (Gaz à Effet de Serre) et leur PRG (Pouvoir de Réchauffement Global)

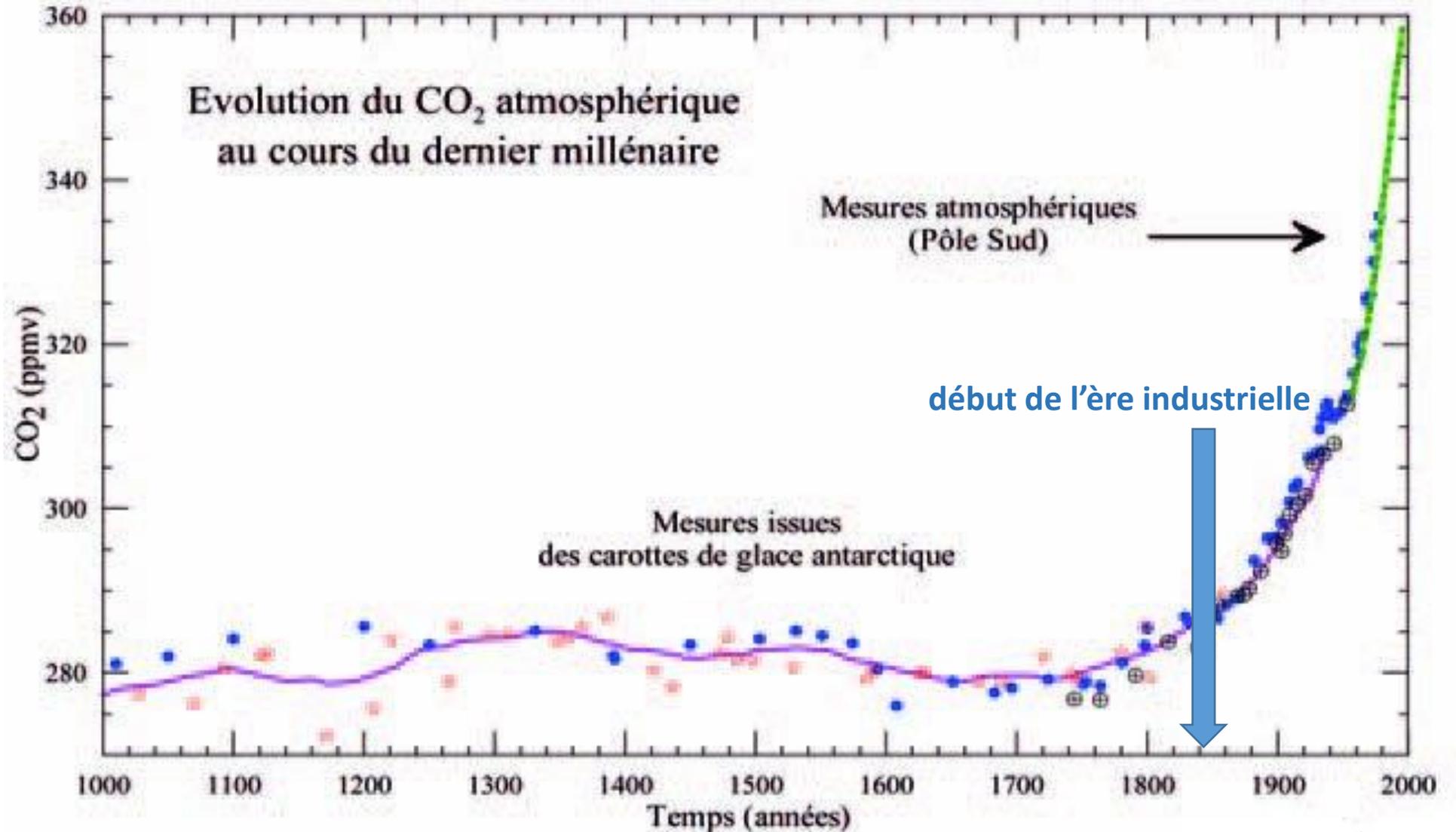


*La vapeur d'eau n'a pas d'effet de long terme*

Source :  
les Cahiers du DD

# Concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère

En 1000 ans  
la concentration  
En dyoxide de  
carbone CO<sub>2</sub> a  
augmenté  
de près de 30%



# Concentration en GES dans l'atmosphère confirmation de l'évolution

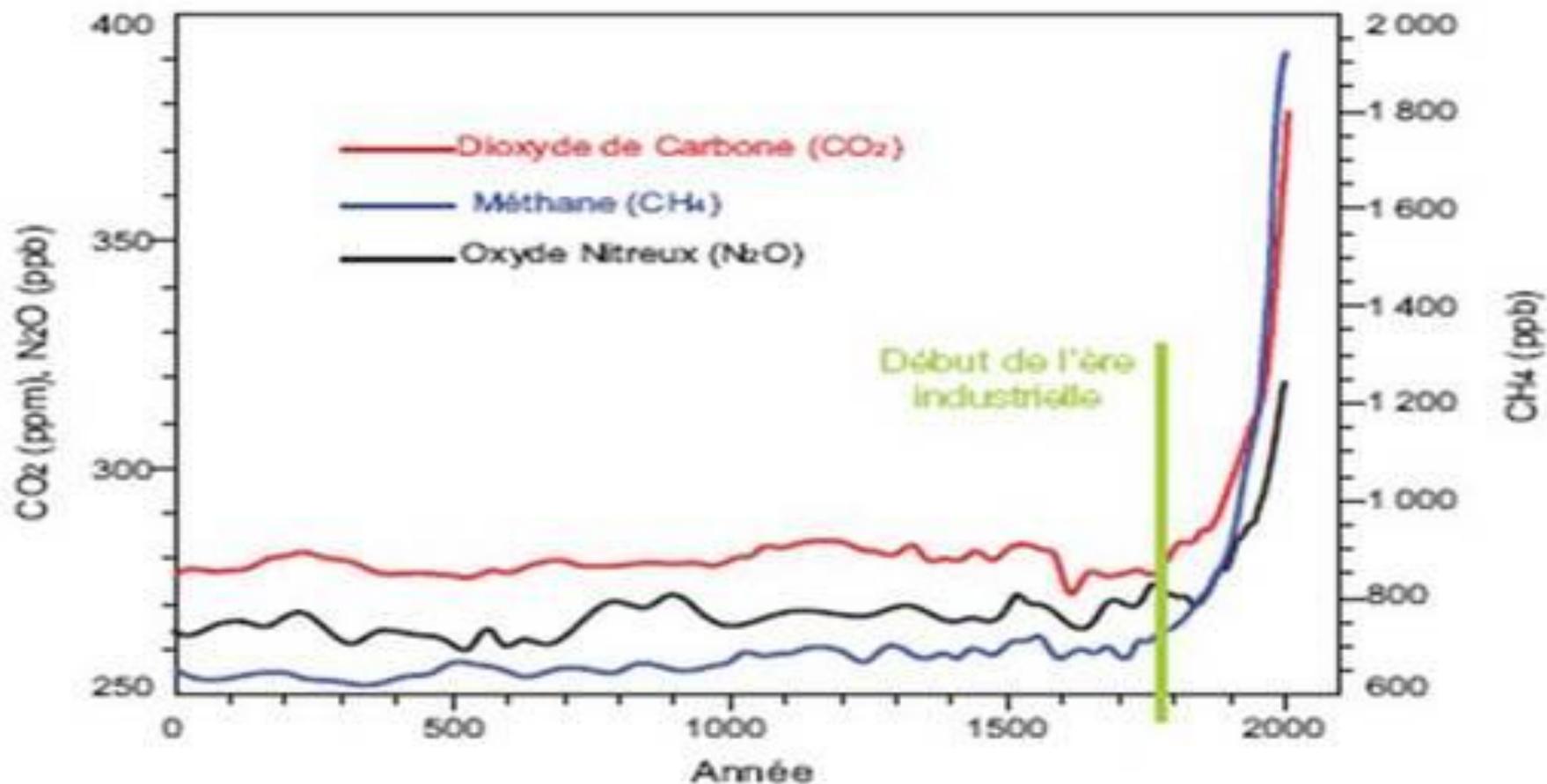
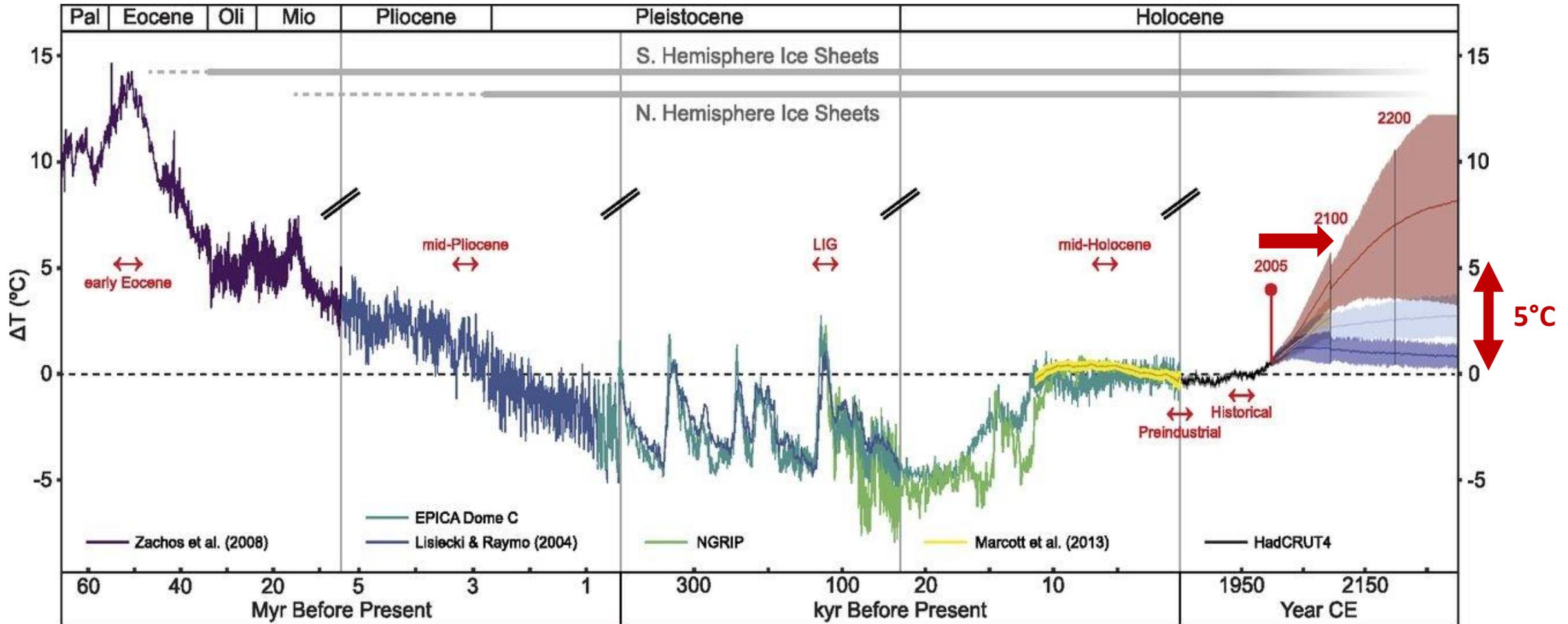


Figure 1 – Evolution des concentrations des principaux gaz à effet de serre (GIEC, 2007)

# Augmentation des températures

Source : Académie des sciences USA

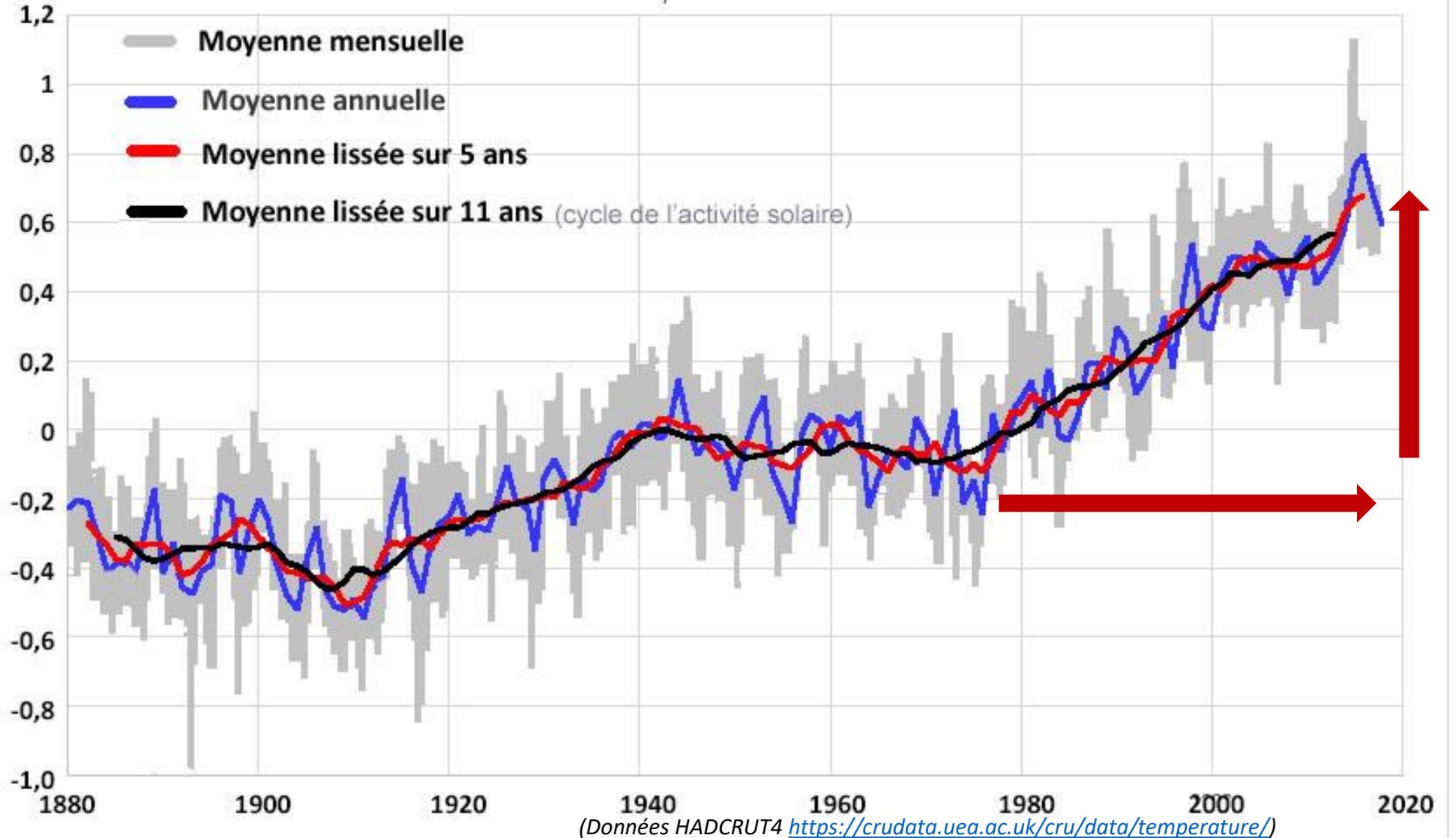


# Le Constat

analyse plus fine :

entre 1978 et  
2018 (40 ans)  
augmentation de  
**0,9°C**  
0,22°C/décade

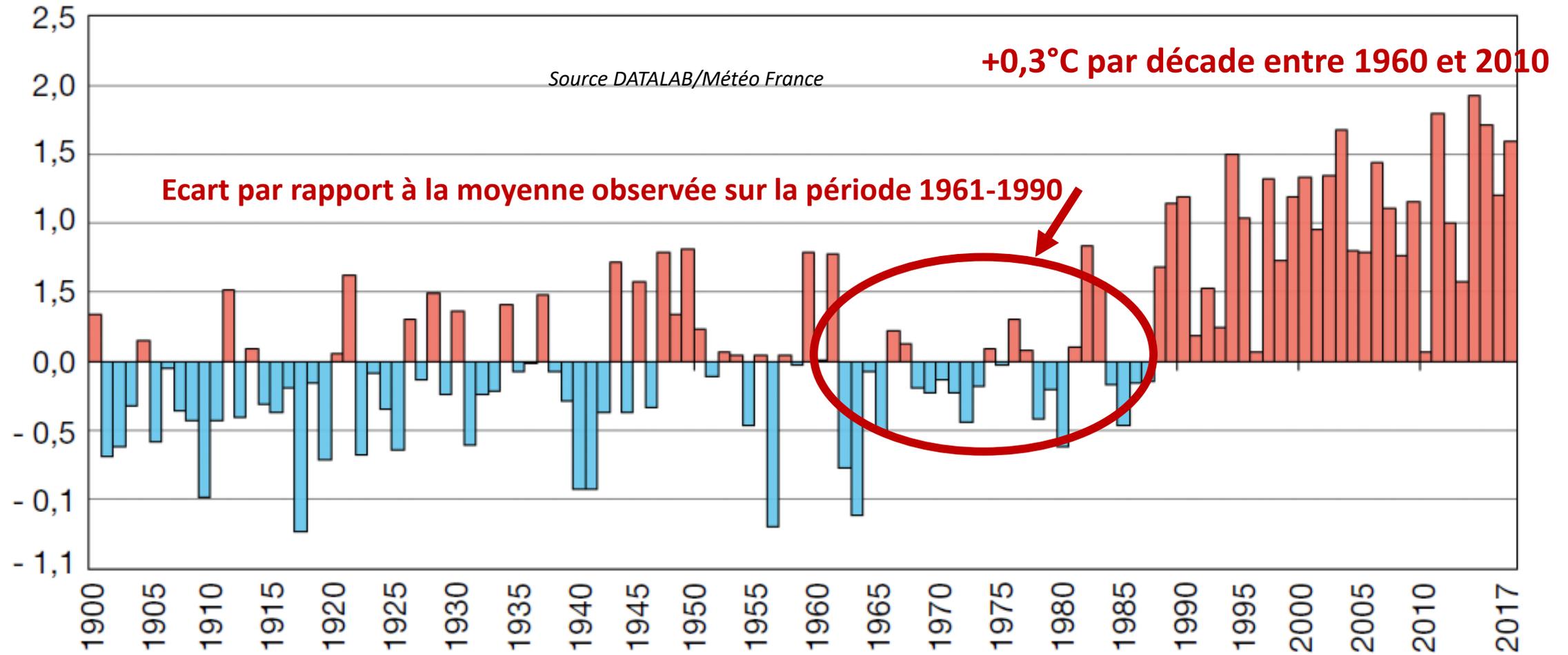
Evolution de la température moyenne globale de 1880 à 2018  
zéro = moyenne sur 1961-1990



# Le Constat : températures

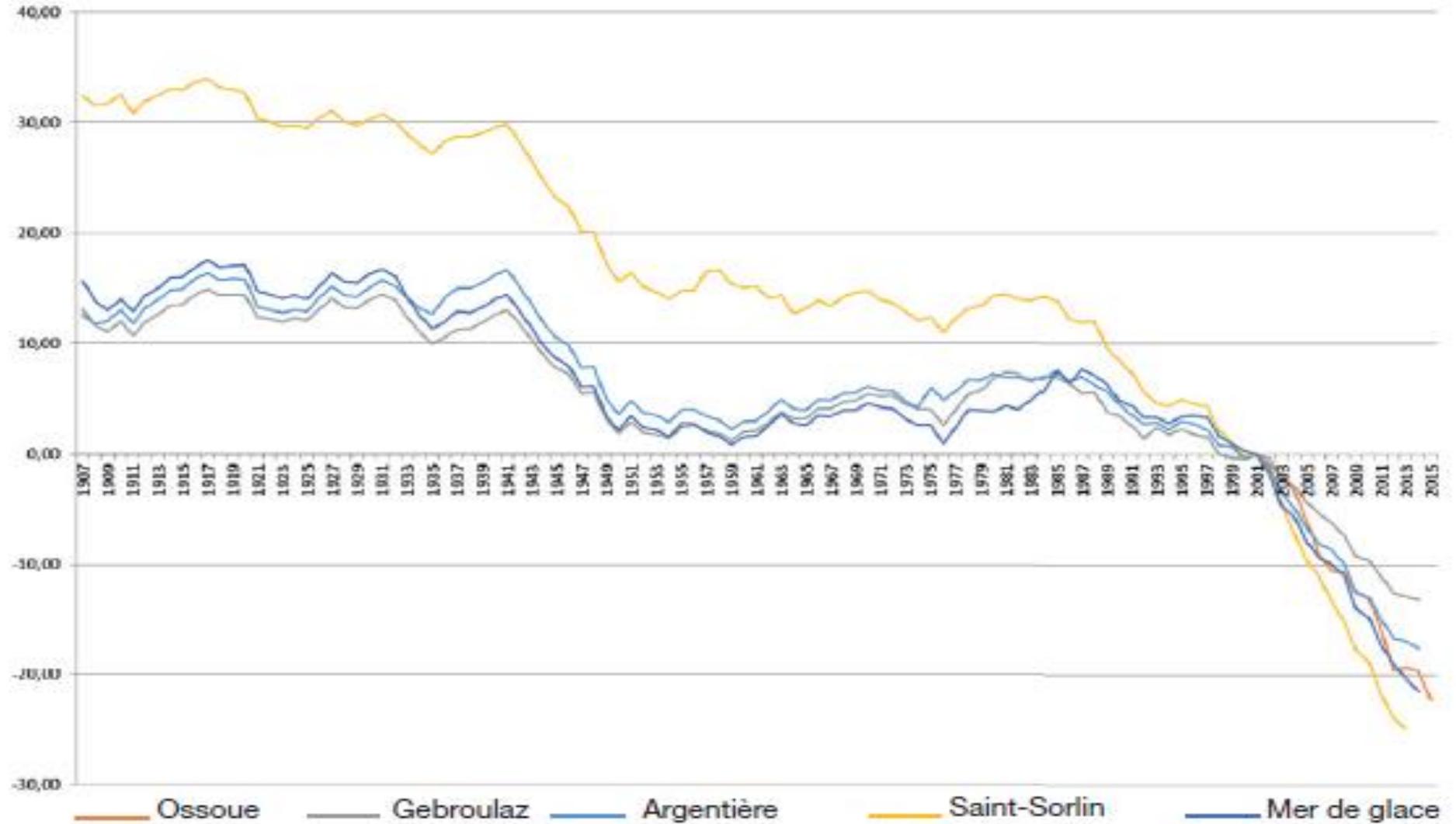
## ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE EN FRANCE MÉTROPOLITAINE DEPUIS 1900

En °C



# MODIFICATION DE LA MASSE DES PRINCIPAUX GLACIERS FRANÇAIS

Bilan de masse cumulée (en équivalent mètres d'eau)



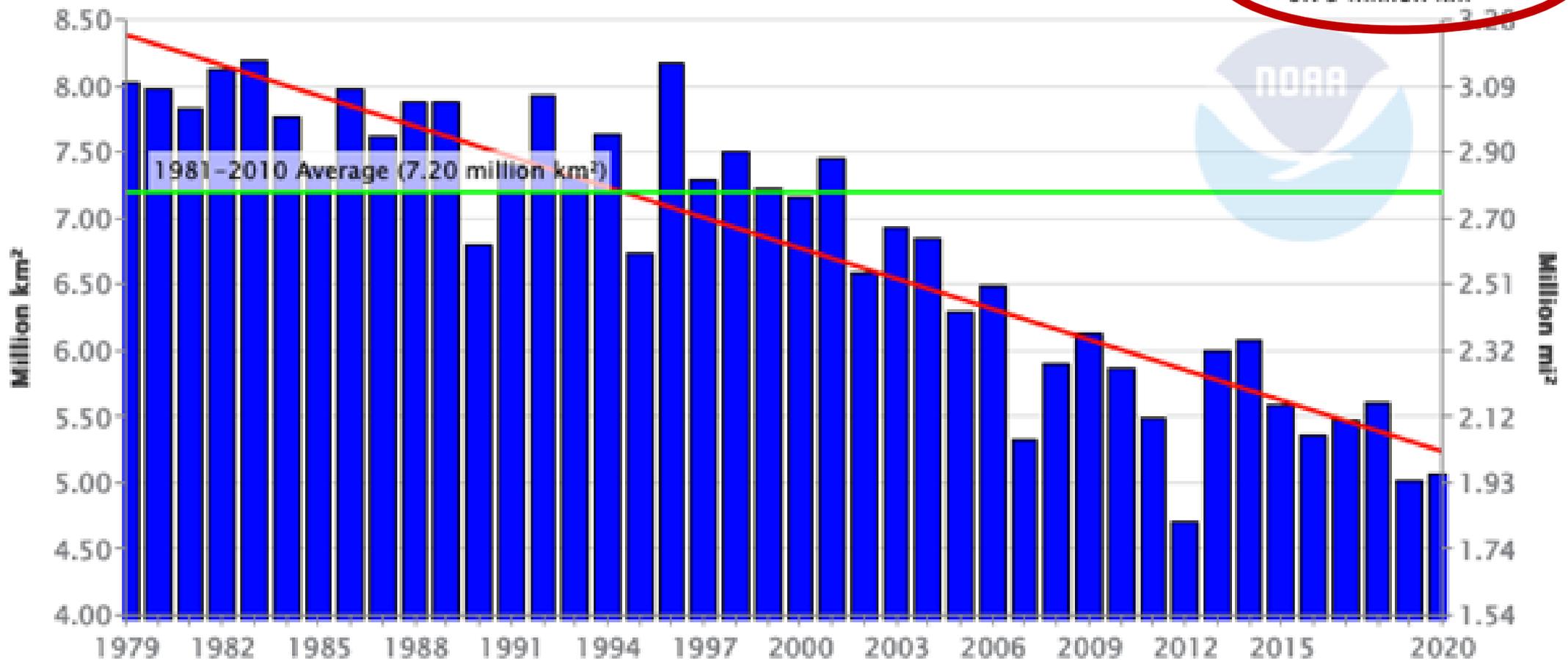
Sources : Association Moraine (Association pyrénéenne de glaciologie) ; Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement - LGGE (CNRS - UJF - OSUG), 2017

Le  
Constat  
suite...

Fonte  
des  
glaciers

# Très nette diminution de la surface de la banquise dans l'hémisphère Nord

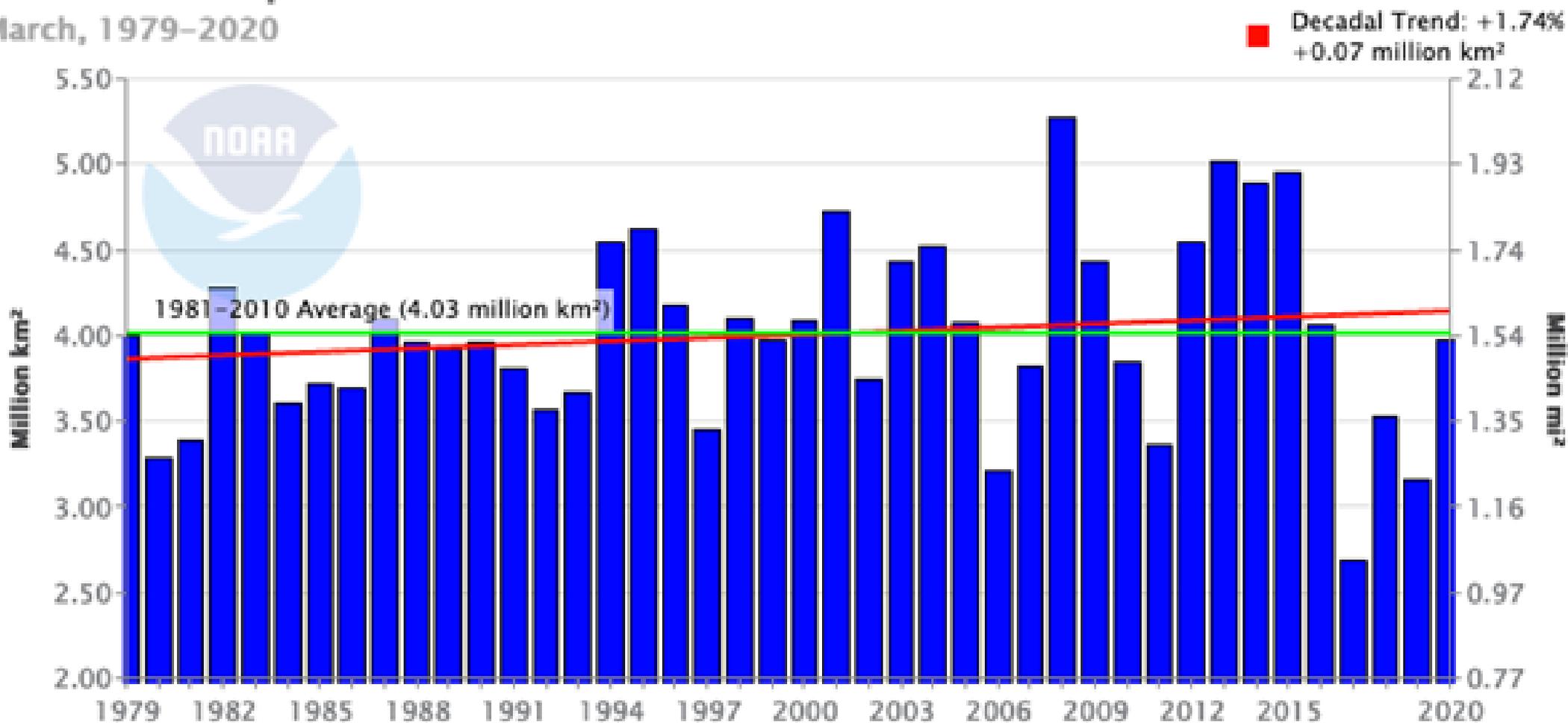
Northern Hemisphere Sea Ice  
August, 1979-2020



# Pas d'accélération dans l'hémisphère Sud

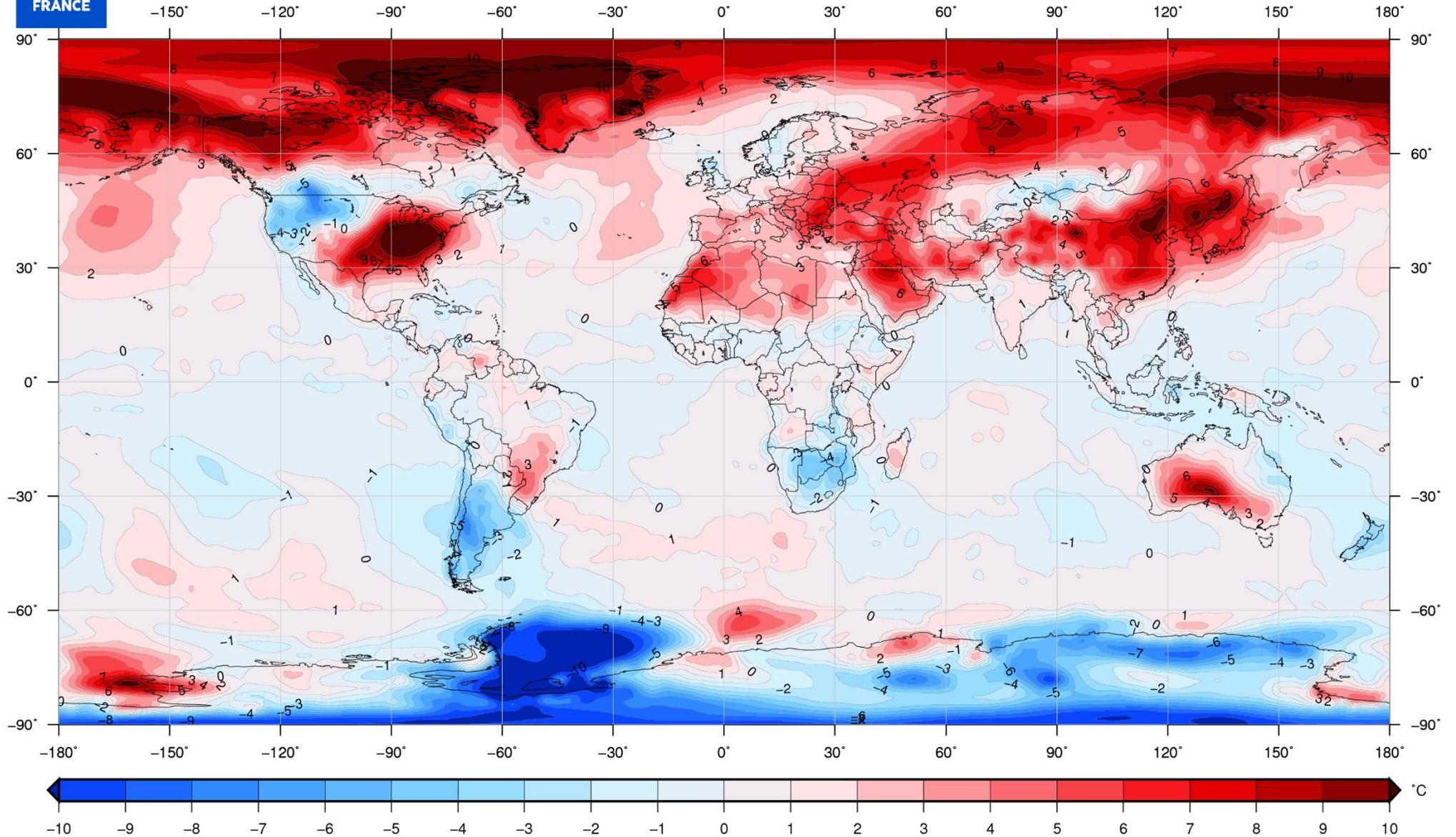
## Southern Hemisphere Sea Ice

March, 1979-2020



# Température 2m – Anomalie du 1 au 03/10/2019

Analyse ECMWF – réf. ERA-Intérim 1981-2010



# Cryosphère et Niveau des mers

La surface de banquise diminue au Nord, avec un effet amplificateur sur le CC  
Le niveau des mers s'élève, cohérent avec fonte des calottes qui s'accélère.

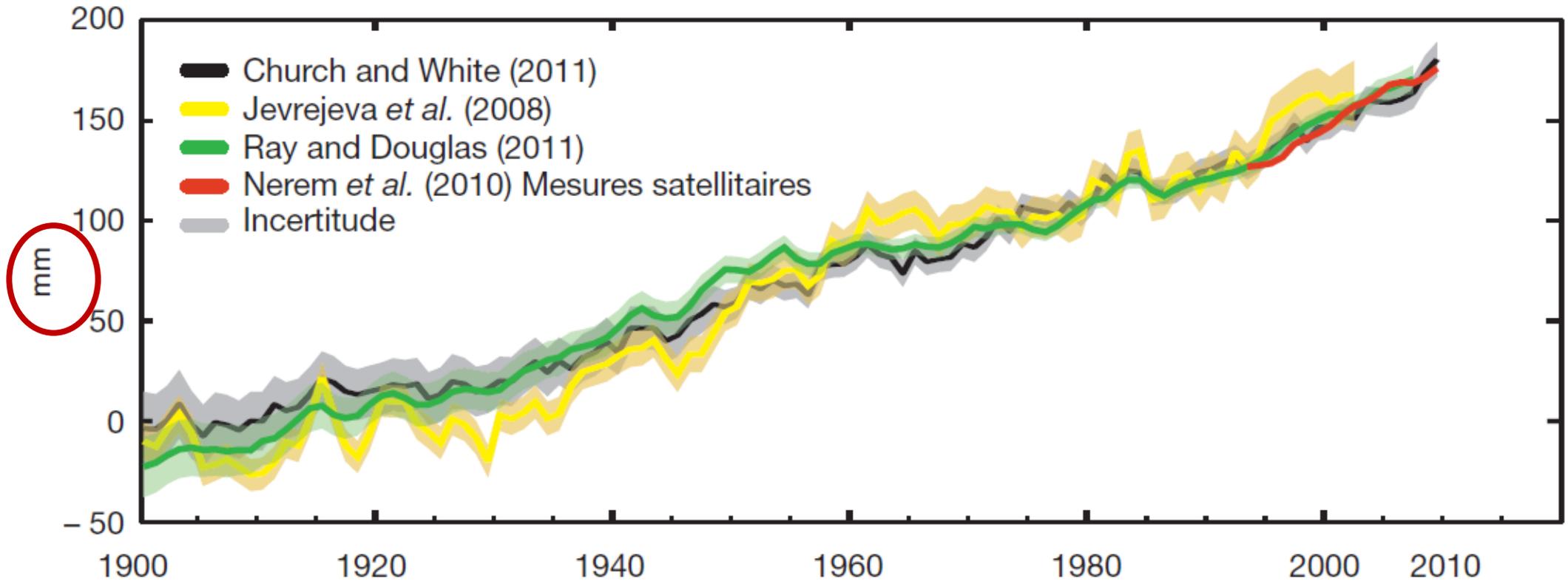


Sea Height Variation (mm)



# Le Constat suite... niveau de la mer

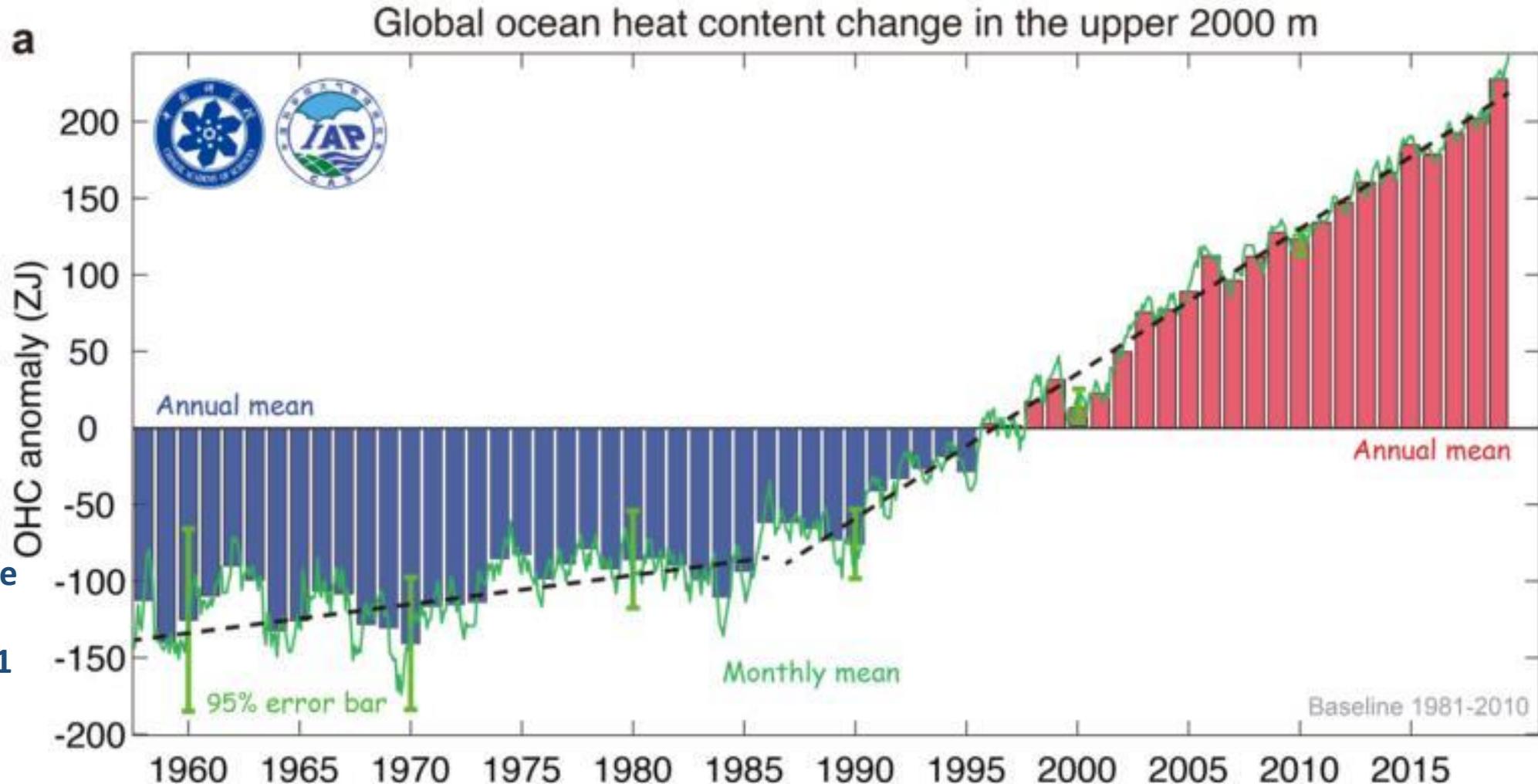
## ÉVOLUTION DU NIVEAU MOYEN DES MERS DU GLOBE PAR RAPPORT À LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE 1900-1905



Source : Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail, 2013

Etude publiée par l'Académie des Sciences américaines 8 avril 2019 :  
**élévation de + de 2 mètres en 2100 (certain à 95%) si rien n'est fait!**

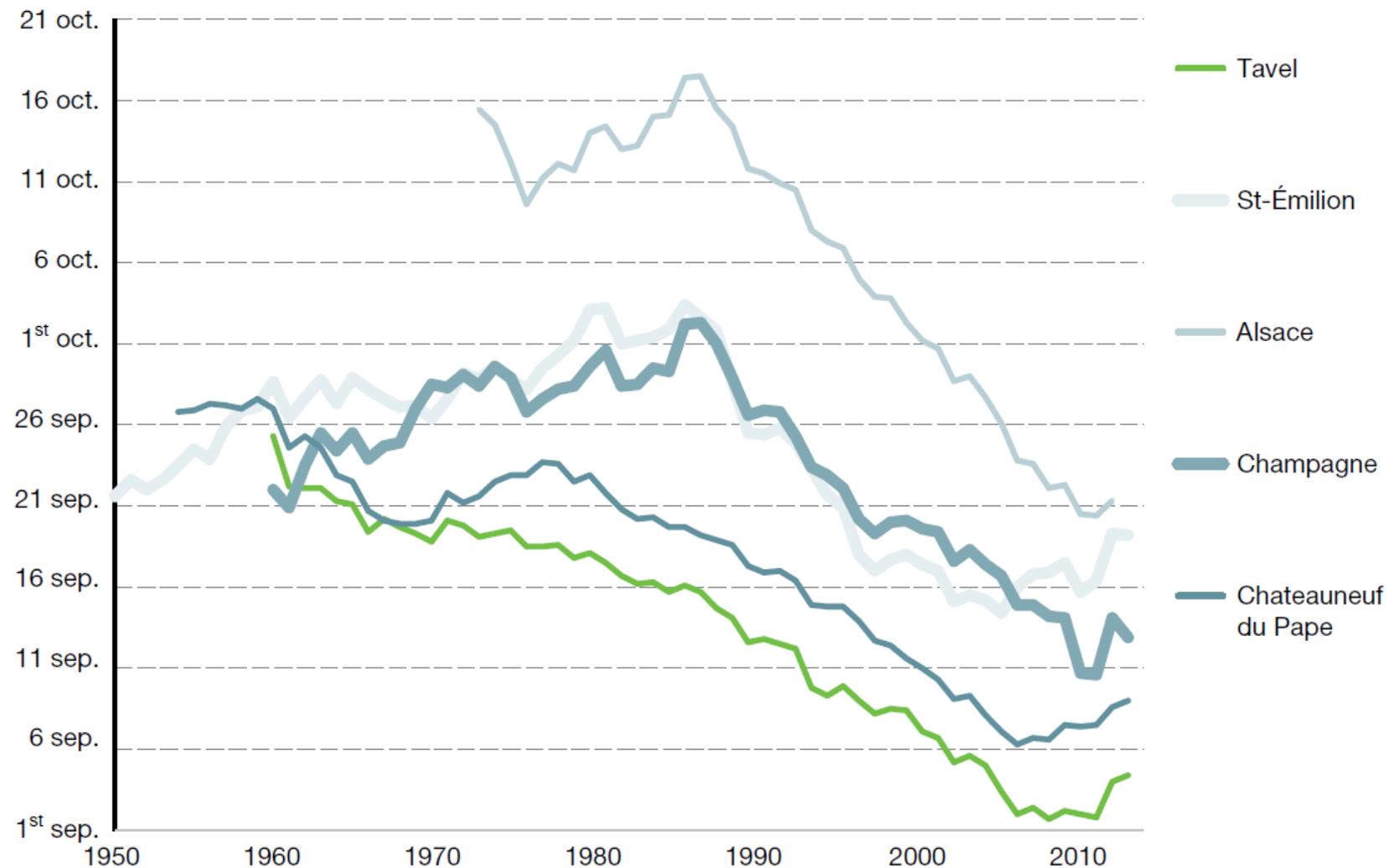
# Stockage de chaleur dans l'océan confirmée depuis 20 ans



1 zettajoule  
=  
10 puissance 21  
joules

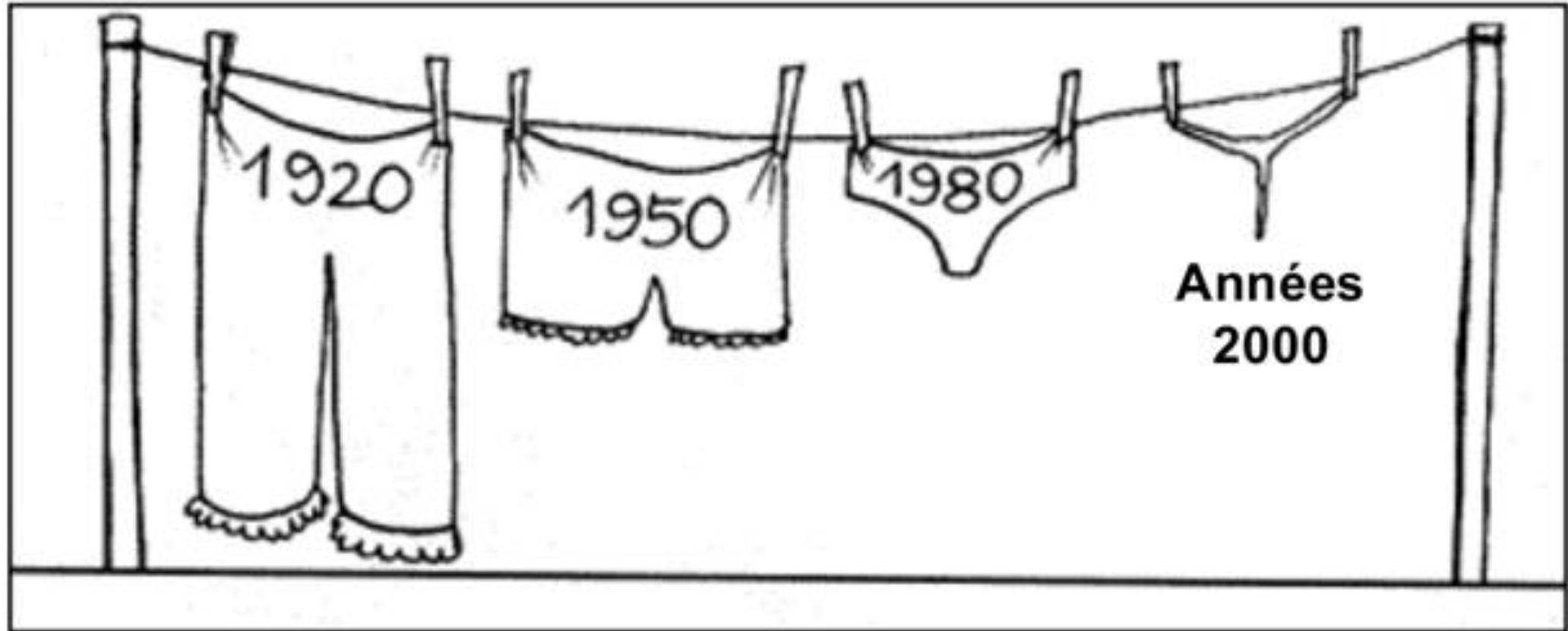
## ÉVOLUTION DES DATES DE VENDANGES

**Autre  
Constat :  
la date des  
Vendanges  
en France**



**Sources :** Inter-Rhône, ENITA Bordeaux, Inra, CICV, Inter-Rhône

Enfin, l'observation est la mère de toutes les lois en physique... 😊



Effet du relèvement des températures l'habillement depuis 1920 Source :  
Petit Bateau ; Playtex ; Aubade ; Princesse Tam Tam

# En résumé..., selon le 5ème rapport du GIEC

(émis en 2014 pour la préparation COP21 de 2015)

## Des constats sans appel

- La température moyenne terrestre s'élève :  $\sim +1^{\circ}\text{C}$  depuis 1900
- Le niveau de la mer a augmenté de 19 cm en un siècle
- Le réchauffement est dû - pour l'essentiel - à l'accroissement de la teneur en  $\text{CO}_2$ , dû à l'activité humaine (certain à 95%)
- Impacts sur la biosphère

## Le processus s'accélère, dans la décennie 2000, versus 1990

- Les émissions de GES ont cru 3 fois plus vite,
- L'Arctique a perdu sa glace 6 fois plus vite,
- La décennie 2000/2010 est la plus chaude jamais enregistrée,
- Les océans s'acidifient à un taux alarmant.

# Conclusion... à ce jour!

**« Notre maison brûle et nous regardons ailleurs... »**  
*Jacques CHIRAC au 4<sup>ème</sup> Sommet de la Terre le 2 septembre 2002 à Johannesburg*



**Urgence absolue: réduire les émissions de CO2**

# Changement climatique Transition énergétique



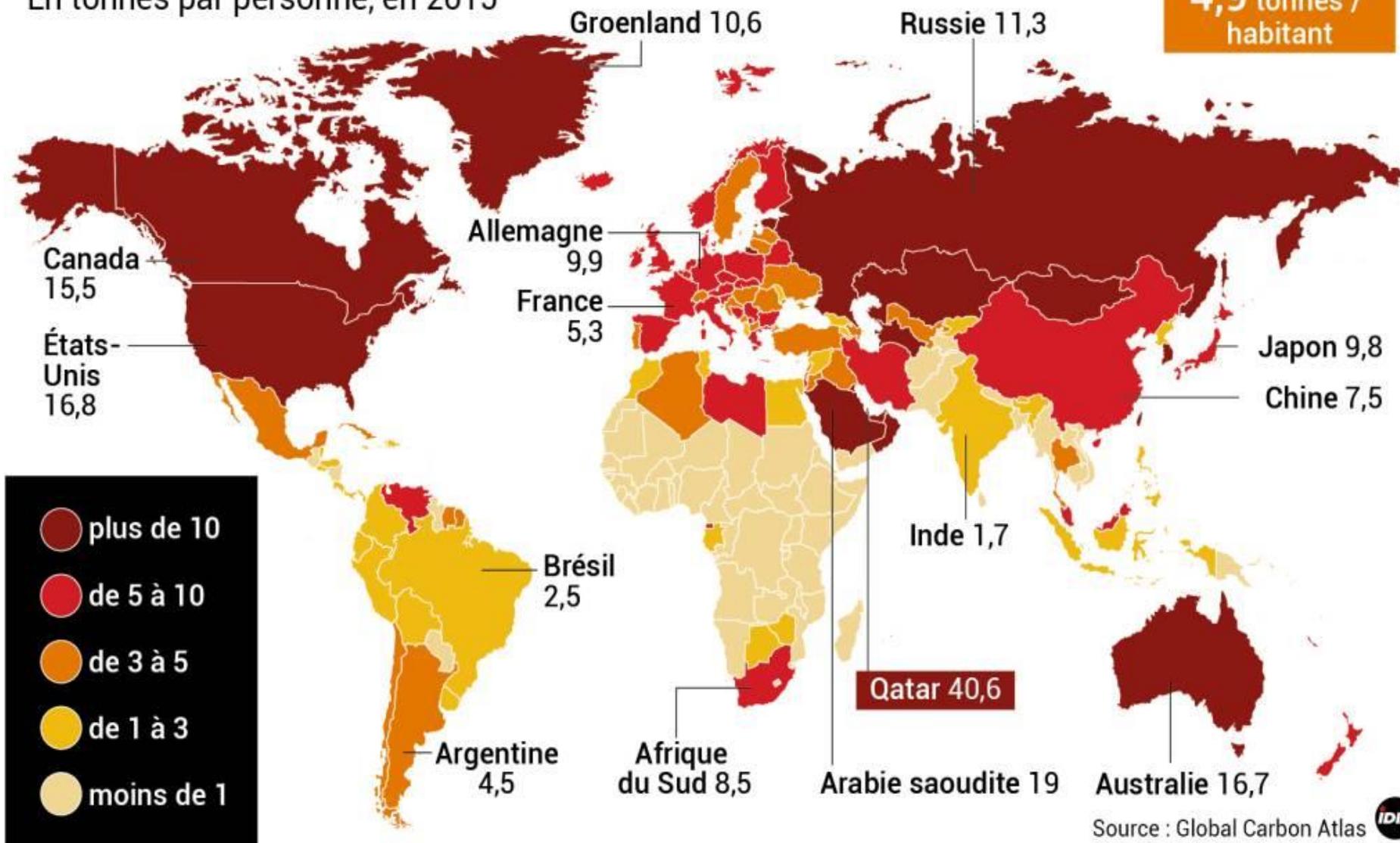
**Tout cela dépend de notre capacité à diminuer nos émissions de CO<sub>2</sub>**

# Emissions mondiales de CO<sub>2</sub>

## Les émissions de CO<sub>2</sub> par habitant

En tonnes par personne, en 2015

Moyenne Monde  
4,9 tonnes / habitant



# Nouveau record d'émissions mondiales de CO<sub>2</sub> en 2018

Variation annuelle des émissions de CO<sub>2</sub> de 2014 à 2018 (en millions de tonnes)

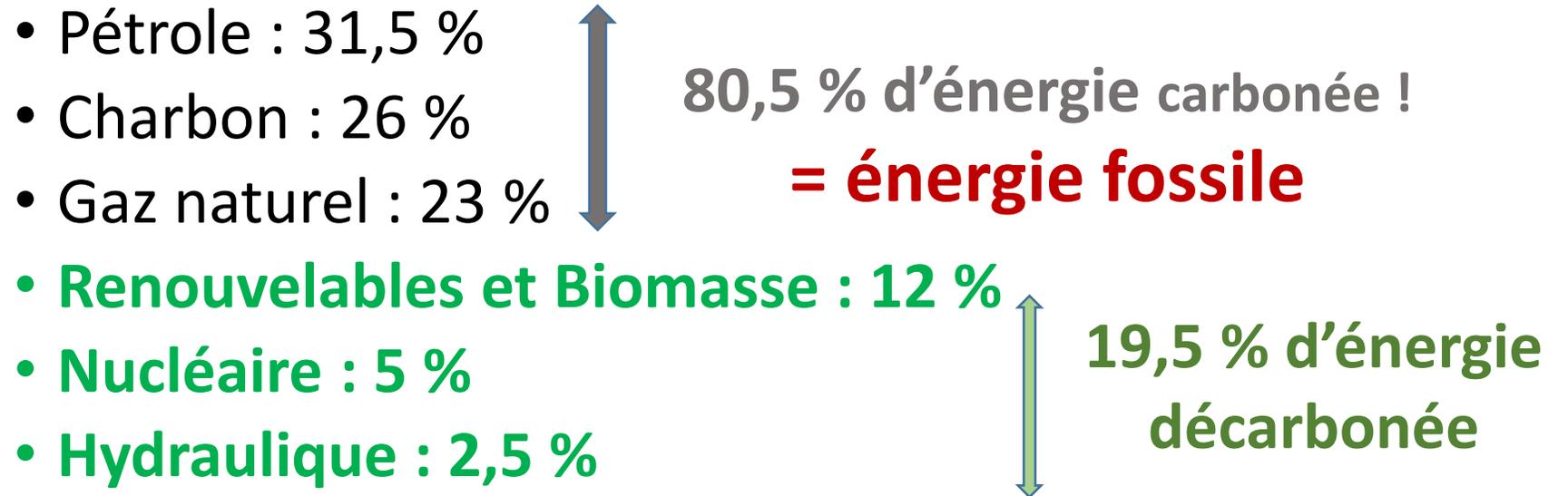


Signature des accords de Paris COP 21 : diminution du CO<sub>2</sub>

# La consommation mondiale d'énergie primaire en 2018

Elle a été multipliée par 4 / habitant au cours du dernier siècle avec une grande disparité mondiale

Le total de la consommation mondiale **d'énergie primaire** (électriques et autres énergies) est de 14 milliards de **T.E.P.**, « Tonne Equivalent Pétrole » (source AIEA), répartie comme suit :

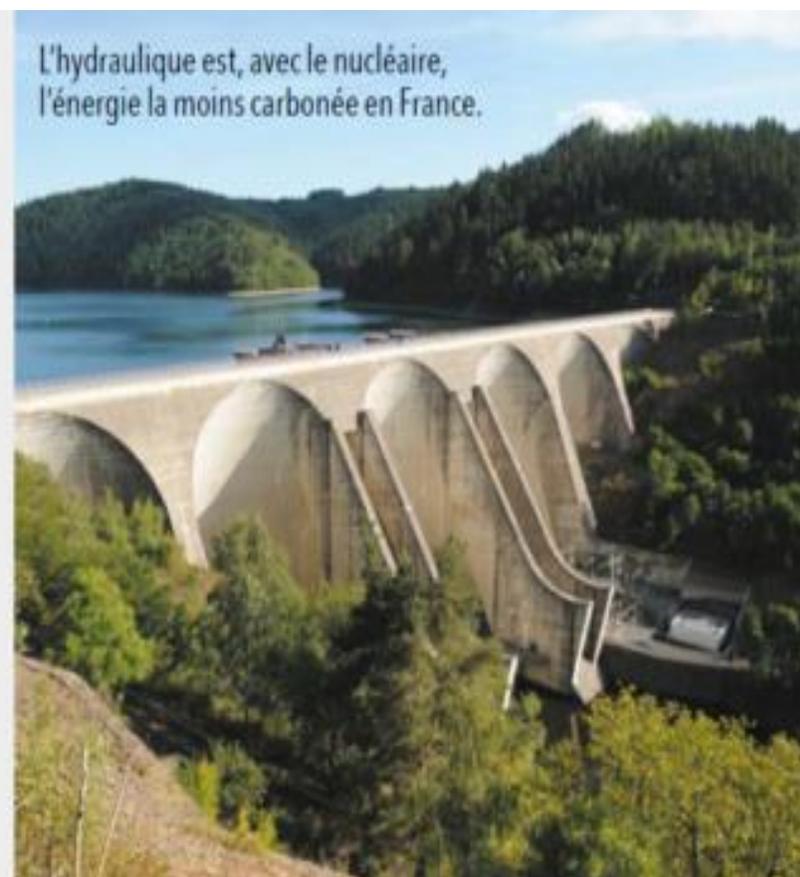
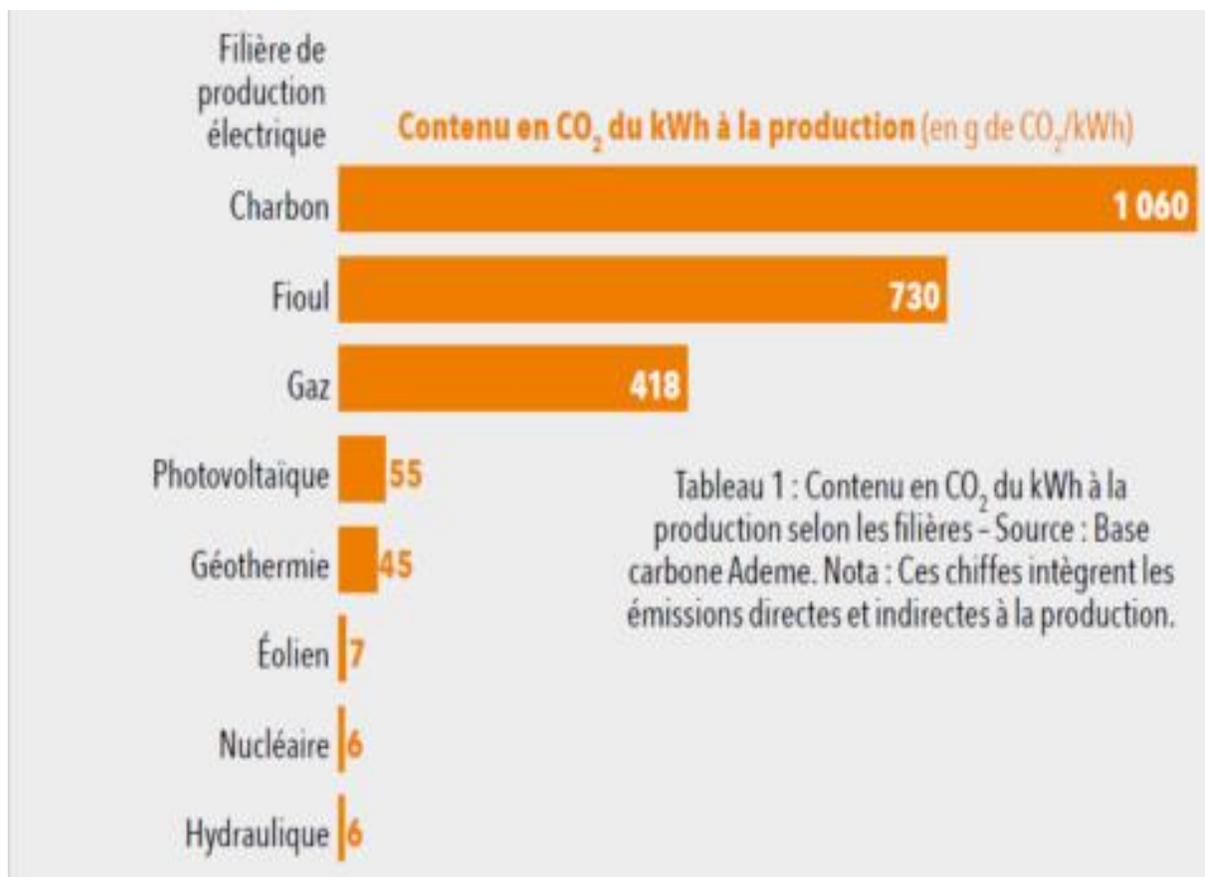


1 TEP = 11630 KW ; 1 tonne de bois = 0,3215 TEP ; 1 tonne d'uranium = 16000 TEP, 1 TEP = 1000m<sup>3</sup> de gaz,

*1 TW (10 puissance 12 W) = 1000 GW, 1 GW (10 puissance 9 W) = 1000 MW, 1 MW (10 puissance 6 W) = 1000 KW*

# Emission de CO<sup>2</sup> par type d'énergie électrique

Au niveau de l'ensemble du parc, le contenu CO<sub>2</sub> moyen annuel du kWh produit en France se calcule en divisant les émissions directes du système électrique par le total de l'énergie produite. Ce facteur carbone à la production est l'un des plus faibles d'Europe à **53 g/kWh** en moyenne contre environ **560 g/kWh** en Allemagne (chiffres 2016)



# Evolution possible (1/2)

## Scénario haut : « Business as usual »

*Poursuite de la tendance actuelle : efforts modérés.*

- Accroissement température ~4°C ou plus en 2100
- Élévation du niveau des mers ~1m  **Déplacements massifs  
Réfugiés climatiques**
- Impacts majeurs sur la faune et la flore,
- Accroissement des zones arides,
- Dégel du pergélisol >> émissions massives de CH<sub>4</sub> (Méthane) et du CO<sub>2</sub>
- Conflits pour la maîtrise de l'accès à l'eau potable
- Compétition planétaire pour accès aux ressources primaires
- Évènements climatiques extrêmes, de plus en plus constatés depuis plusieurs années...

# Evolution possible (2/2)

**Scénario bas** : diminution drastique des émissions de CO<sub>2</sub>,  
Neutralité carbone en 2070 au niveau mondial

- Accroissement température ~2°C
- Révision sévère des politiques de TOUS les pays développés
  - Politiques volontaristes d'économie d'énergie
  - Abandon rapide des combustibles fossiles

→ *✓ Risque majeur de décroissance économique*  
*✓ Impacts sociaux*

- Quelle énergie pour les pays émergents?
- Élévation du niveau des mers plus modéré, mais néanmoins graves conséquences sur les populations côtières.
- L'impact sur la faune et la flore reste significatif.

→ *Nécessité d'adaptation et de limitation du changement climatique*

# Montée des Eaux

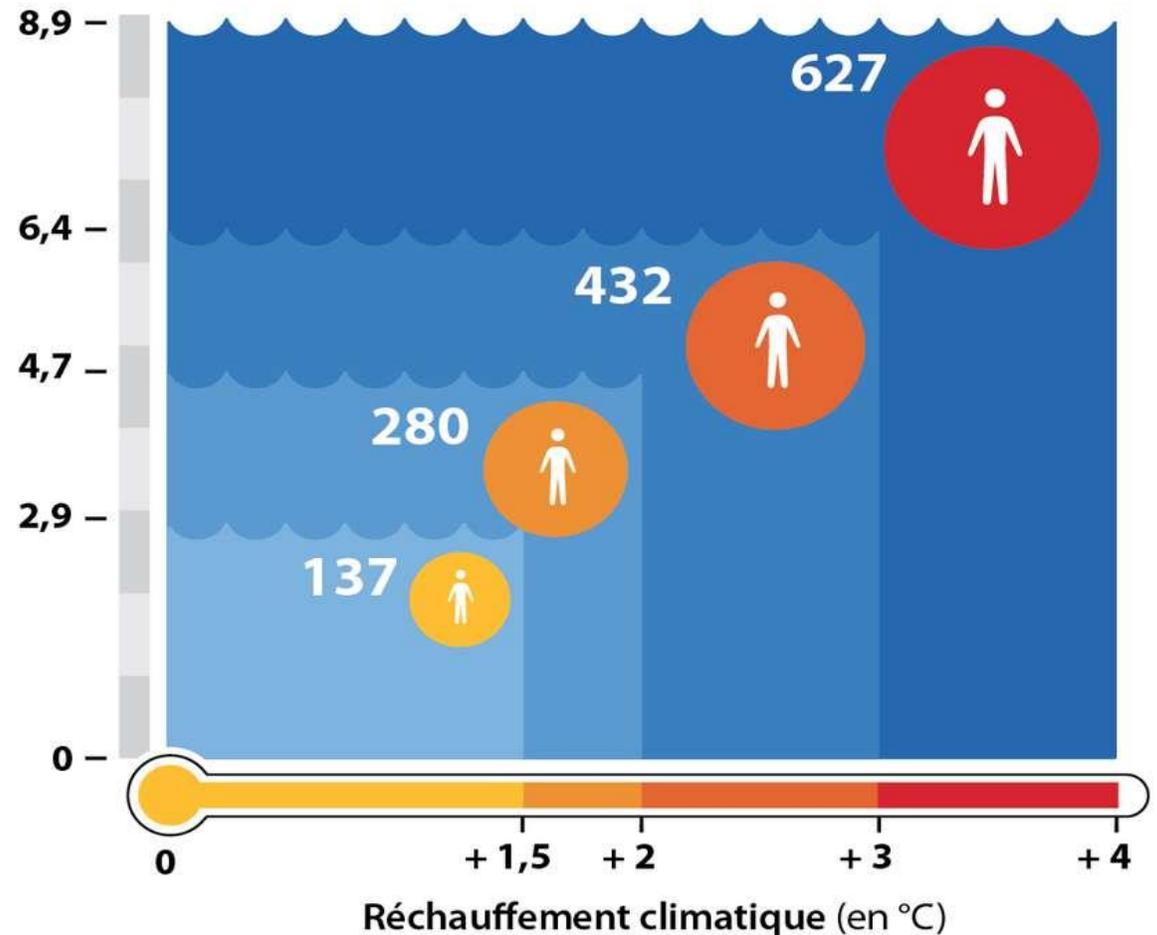
Les experts de l'ONU prévoient même une hausse du niveau actuel de près **d'un mètre d'ici 2100** si on ne reste pas en deçà des 2° de réchauffement climatique.

Un rapport de la Banque mondiale estime que la montée des eaux et les autres conséquences en 2050 du dérèglement climatique vont forcer **140 millions de personnes à devenir des réfugiés climatiques!**

## L'impact du réchauffement climatique sur le niveau de la mer et la population

Population dont le domicile serait sous le niveau de la mer, en millions, en 2010, selon le degré de réchauffement

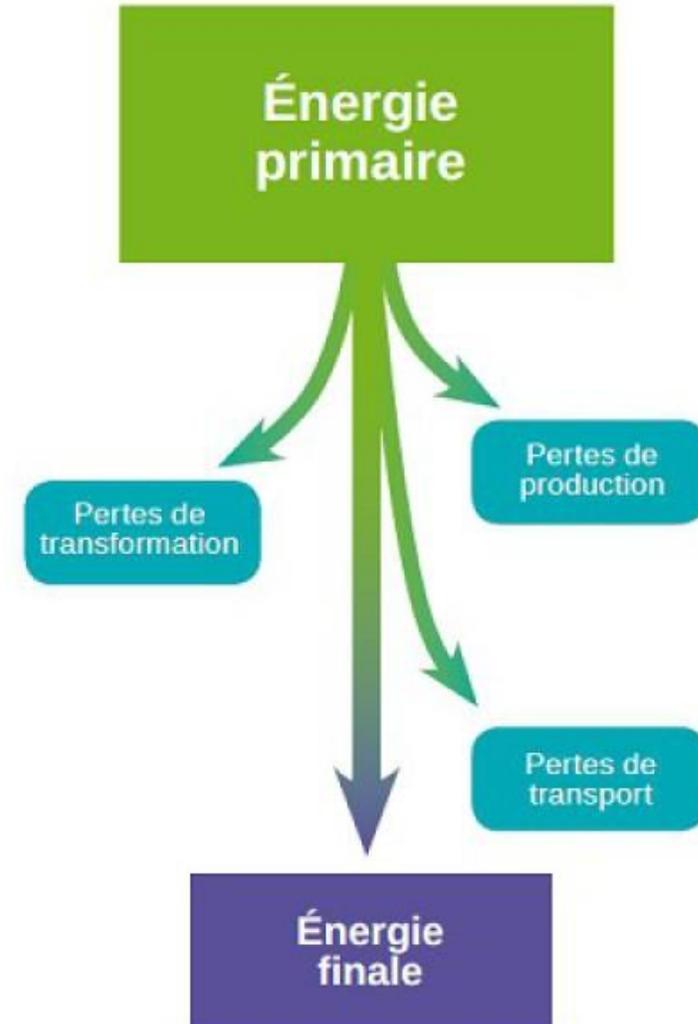
Montée du niveau de la mer (en mètres)



# Energie Primaire

L'énergie primaire est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés.

Ce sont principalement le pétrole brut, les schistes bitumineux, le gaz naturel, les combustibles minéraux solides, la biomasse, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie du vent, la géothermie et l'énergie tirée de la fission de l'uranium.



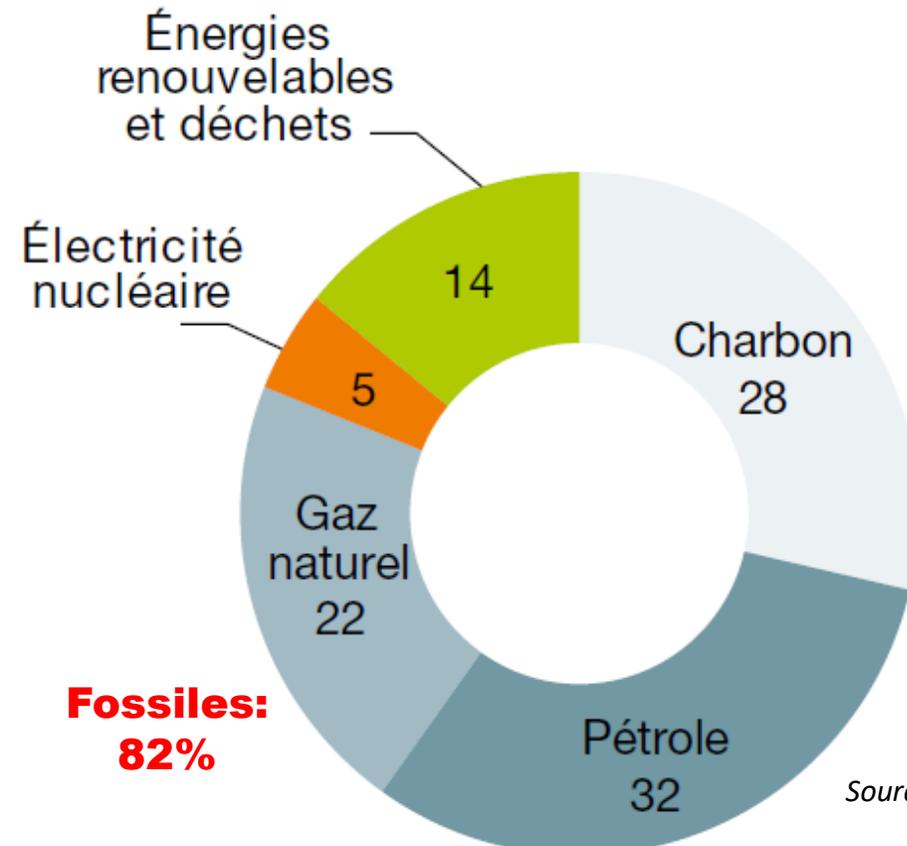
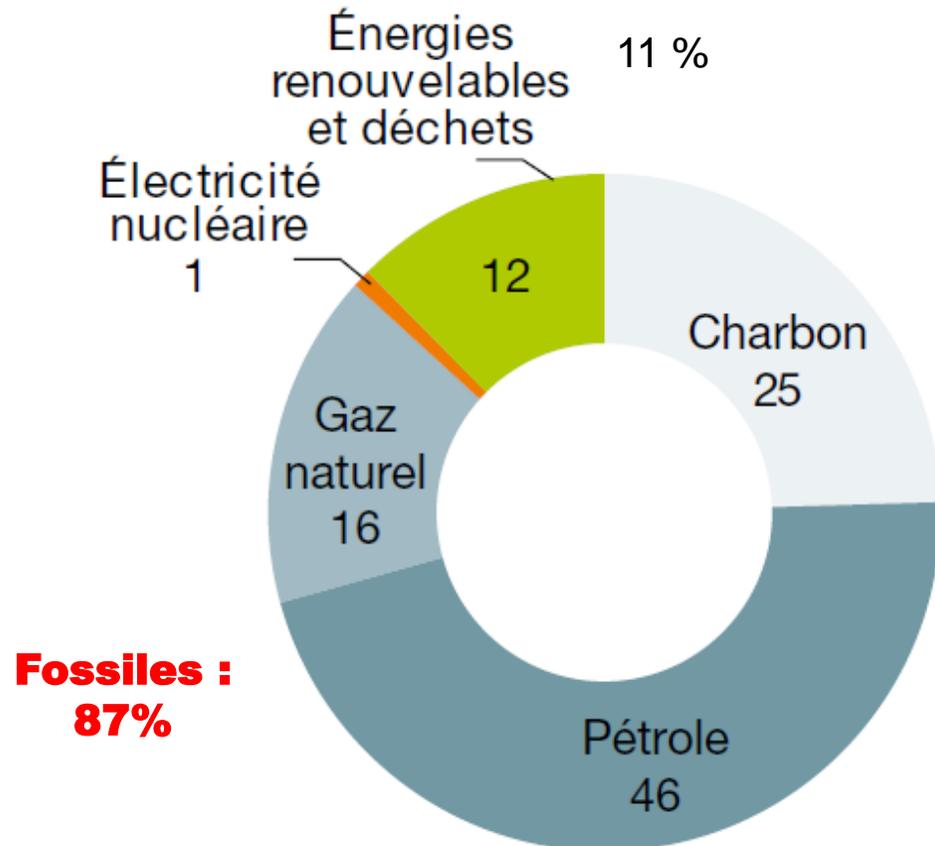
# Mix énergétique primaire dans le monde

En %

1973  
(6 101 Mtep)



**+225%**  
2015  
(13 647 Mtep)



Source : AIE 2017

# Perspectives dans le Monde

- **COP21/Paris 2015** : Les engagements de réduction des émissions pris par les 191 Etats (s'ils étaient tenus!) conduiraient à +3,2°C en 2100
- **Résultats 2018** :
  - Consommation d'énergie : +2,3% (+4% pour le charbon)
  - Emissions de GES :+2,1%, (2,3 % en Chine, de 3,4 % aux USA et de 6,4 % en Inde)
- **Rapport spécial GIEC 2018**
  - Pour limiter le réchauffement à +2°C : Réduction des émissions de GES de 25% en 2030 (/2010), et neutralité carbone en 2070
  - Pour viser +1,5°C: Réduction de 45% en 2030 (/2010) et neutralité carbone en 2050.
- « **Frilosité** » des USA (Retrait 2020), Australie, Brésil, Indonésie, etc..
- Peu d'avancées concrètes aux COP 22...25 et lors de la dernière assemblée de l'ONU en septembre 2019, notamment à l'égard des pays pauvres

***Des objectifs réalistes?...***

# Rappels des objectifs France Climat et Energie

**Objectifs LTECV(2015), révisés par la «Loi Energie-Climat» (Oct. 2019), :**

- **Réduction GES :**
  - - 40% en 2030 par rapport à 1990,
  - Neutralité Carbone 2050 (objectif déjà fixé en 2003, confirmé en 2007),
- **Consommation d'énergie :**
  - -7% en 2023, -20% en 2030 et -50% en 2050 (/2012)
- **Consommation d'énergies fossiles**
  - -40% en 2030 (/2012)
- **Production d'électricité :**
  - Plafonnement de la capacité de production nucléaire (63,2GWe),
  - Arrêt centrales charbon en 2022/ Arrêt Fessenheim en 2020
  - Nucléaire : 50% du Mix électrique en 2035
  - Prévision d'arrêt de 14 tranches supplémentaires
  - Développement massif des EnR électriques (PV et éolien)

# Les émissions en Europe (CO2 lié à l'énergie)

## ❖ Evolution depuis 2014 (Millions de tonnes)

Année	2014	2015	2016	2017	2018
Emissions	3223	3258	3238	3296	3243



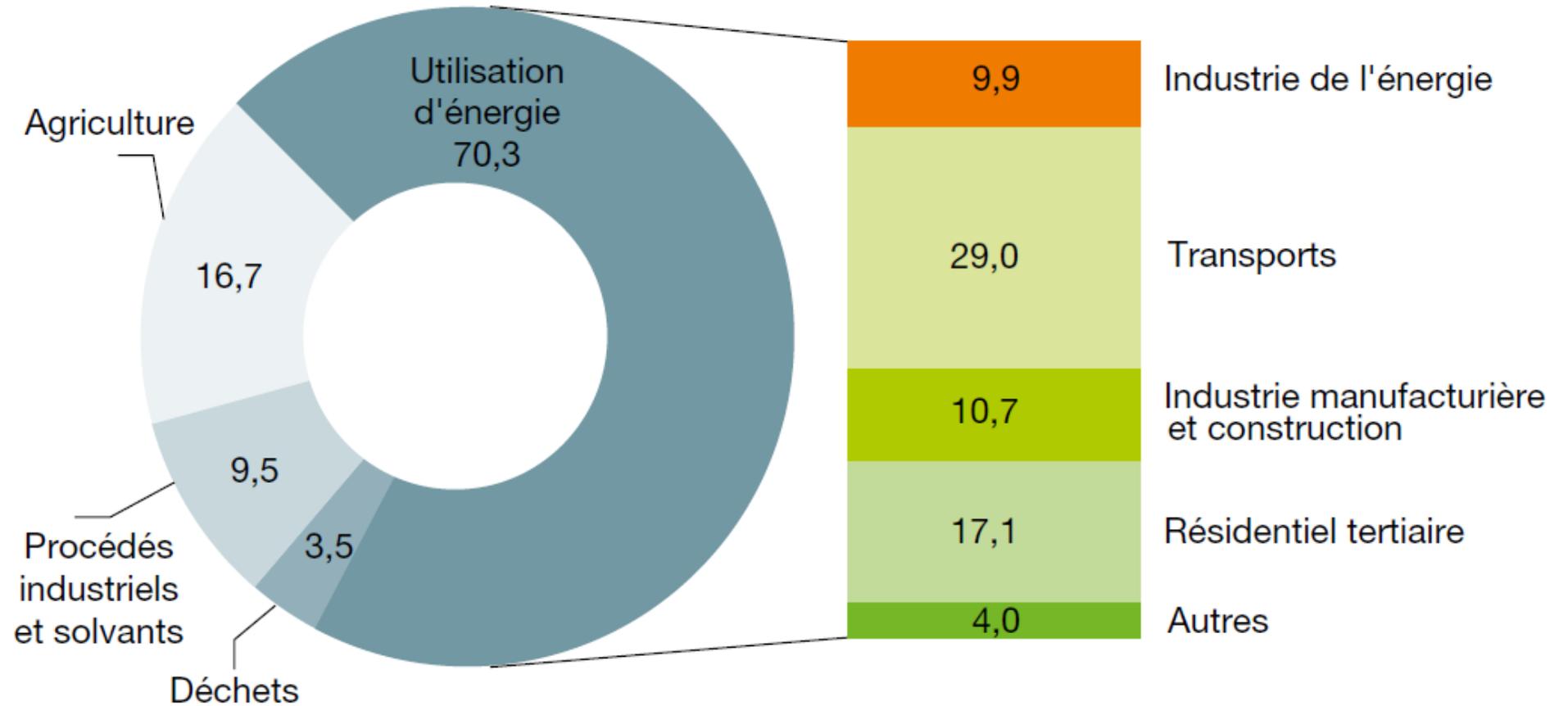
La trajectoire visant -40% / 1990 en 2030 est loin d'être respectée

## ❖ Les 7 pays européens les plus émetteurs

Pays	Allemagne	Roy. Uni	Italie	France	Pologne	Espagne	Pays-Bas
% émissions	23,0%	11,2%	10,7%	10,0%	9,8%	7,7%	5,0%
Variation 2017/2014	+1,0%	-11,5%	+4,1%	+3,0%	+8,9%	+9,6%	+7,6%
TCO2/Hab	8,9	6,5	5,3	4,6	7,5	5,0	8,9

# Sources d'émission de GES en France

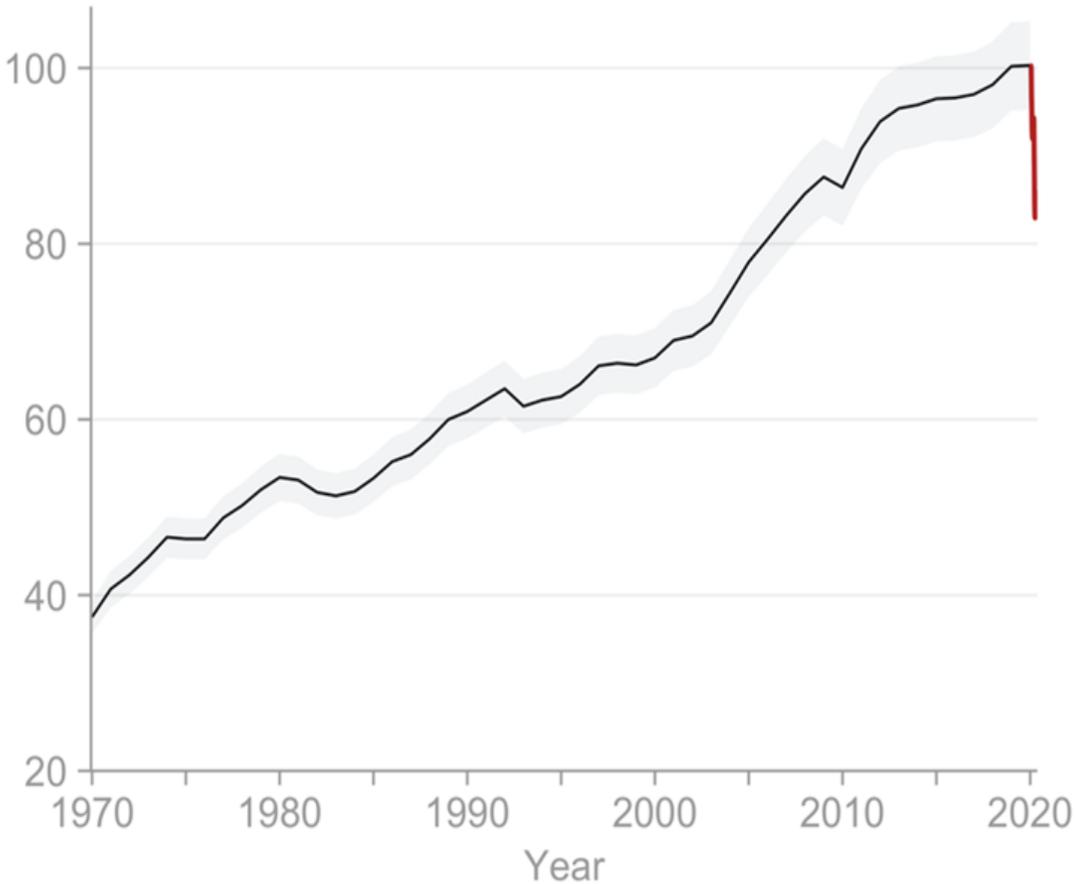
En %



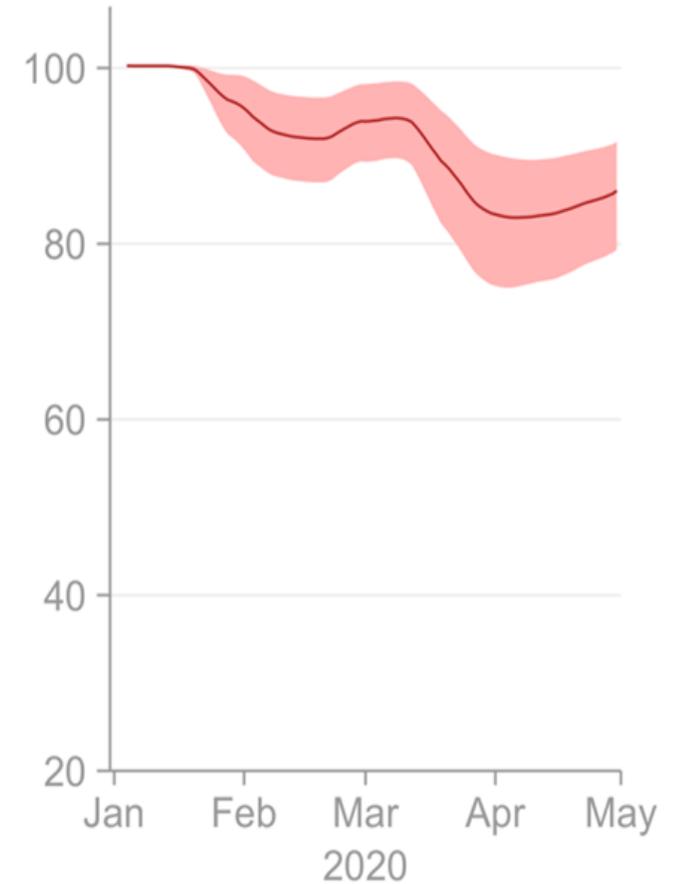
# Emissions de CO<sub>2</sub> et COVID

**La crise du Covid a eu un impact totalement inédit sur les émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, avec diminution temporaire de  $\approx 15\%$  ramenant le niveau d'émissions à celui de la fin des années 2000 (10 ans de croissance)**

Global daily fossil CO<sub>2</sub> emissions  
MtCO<sub>2</sub> day<sup>-1</sup>



MtCO<sub>2</sub> day<sup>-1</sup>

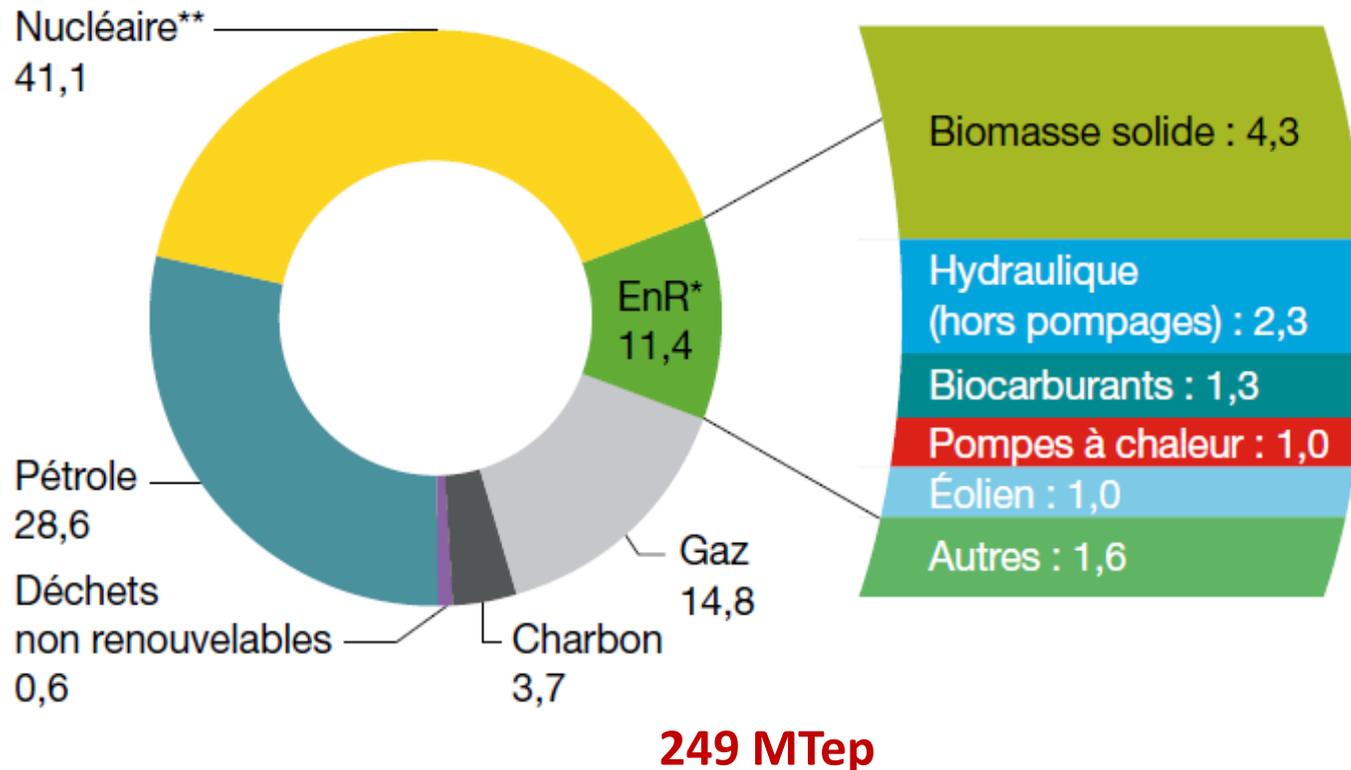


© ⓘ Source: Le Quéré et al. Nature Climate Change (2020); Global Carbon Project

# L'énergie en France

## Bouquet énergétique **primaire** (2018)

En %



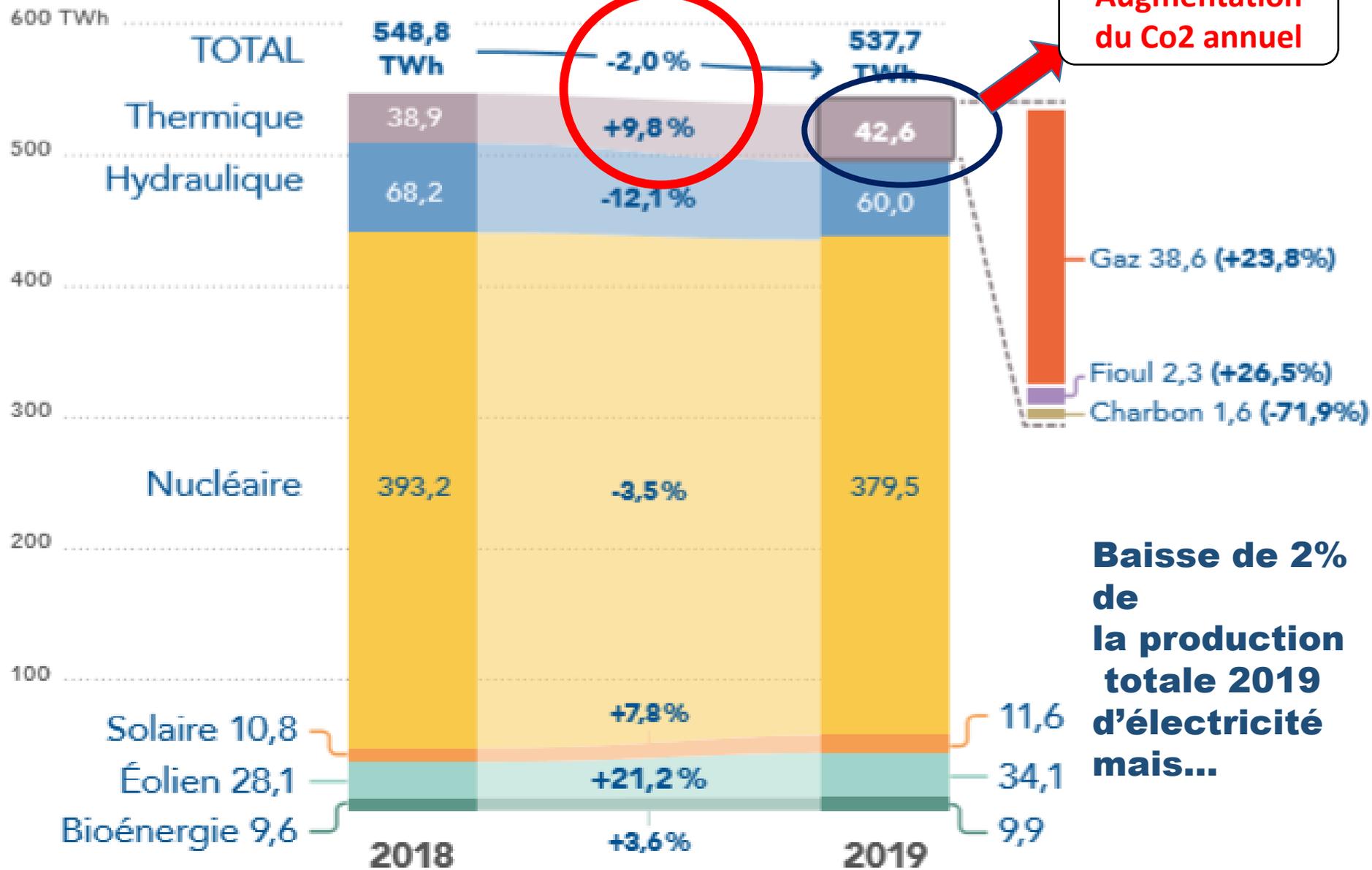
## CONSOMMATION d'énergie **finale**, PAR USAGE (2017)

- Résidentiel/tertiaire: 45,6% (*en croissance*)
- Transports : 32,5% (*croissance légère*)
- Industrie : 18,6% (*décroissance*)
- Agriculture : 3,2% (*stable*)

**141,8 Mtep**



↓ Évolution de la production d'électricité en TWh, entre 2018 en 2019

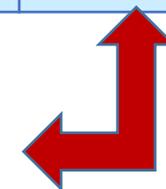


# Quels résultats pour la France?

(métropolitaine)

Métropole	2014	2015	2016	2017	2018	2023
Émissions de CO2 (Mt)	304	312	311	313	303	254
Conso. finale d'énergie (Mtep)	147,5	150	152	152,5	153	136
Conso. énergies fossiles (Mtep)	116	119	119	120	116	96

**Objectifs visés pour 2023 dans la PPE 2016**



**PPE 2020: 277 MtCO2 en 2023**  
**Conso Energie : 143 MTep**

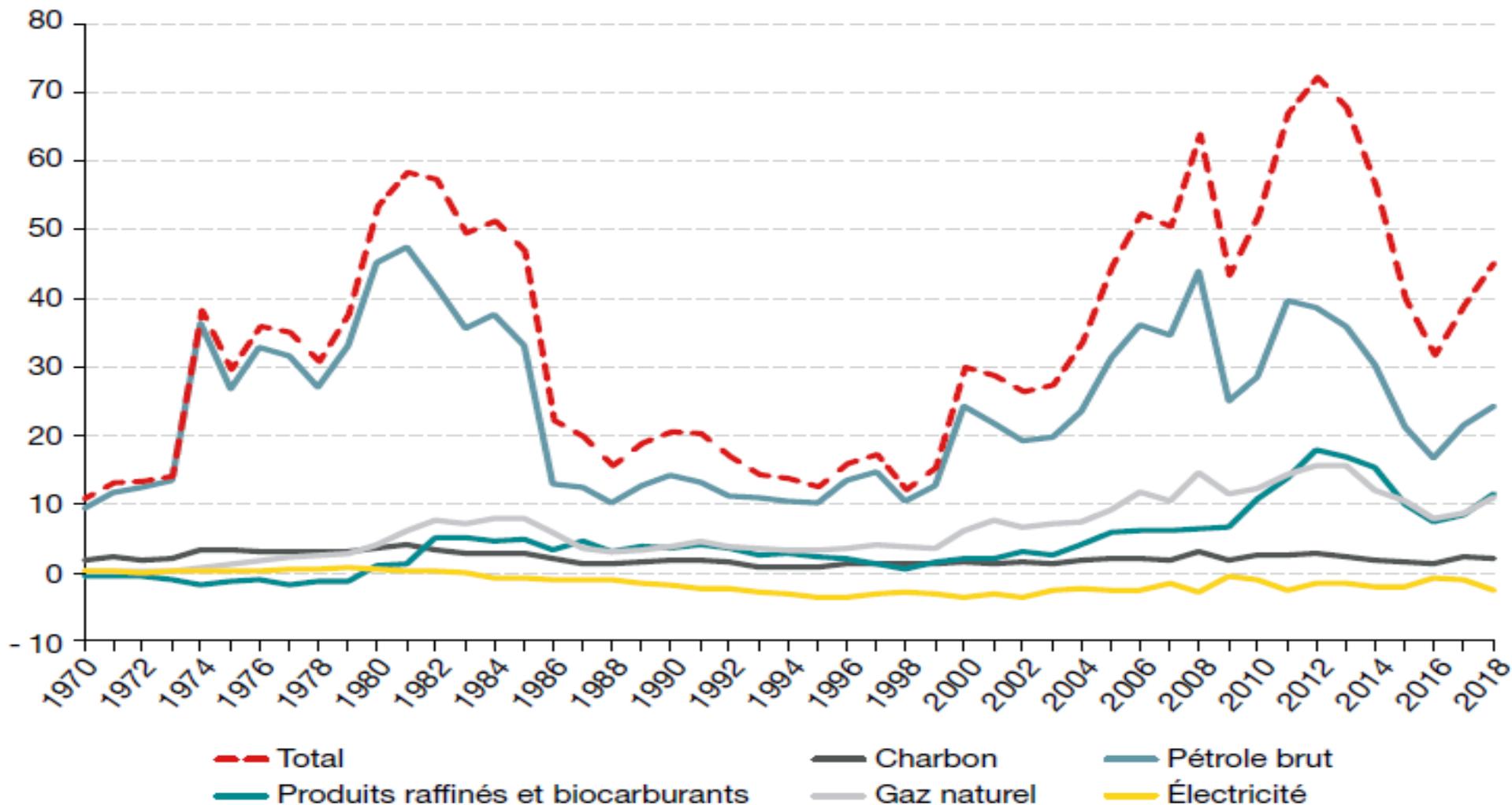
Source : MEDD - Bilan énergétique France – Données définitives – 9/12/2019 et SLC

# Quelques repères du projet de PPE

	Obj. 2023	Obj. 2028	Année de référence
Consommation d'énergie	<b>-7%</b>	<b>-14%</b>	2012
Conso. Combustibles fossiles	<b>-20%</b>	<b>-35%</b>	2012
Chaleur renouvelable	25%	Env. +50%	2016
Emissions de GES	<b>-14%</b>	<b>-30%</b>	2016
Production Gaz Renouvelable		*35 ou *50	2017
Capacité Enr Electrique	50%	100%	2017
Production nucléaire	<b>4 à 6 réacteurs fermés</b>	<b>14 réacteurs fermés</b>	

# Facture énergétique de la France

En milliards d'euros 2018



Source DataLc

# Impact des EnR sur le coût d'achat moyen de l'électricité, hors externalités, en France: réalité 2017

Source CRE/EDF

Coûts moyens d'achat d'énergies renouvelables par EDF (€/MWh)							
€/MWh	2010	2011	2012	2013	2014	2017	variation % 2017/2010
Éolien	84,1	85,3	87,4	88,2	88,6	90,2	7,25
Photovoltaïque	538,2	519,3	498	474,5	422,2	357	-33,67
Hydraulique	60,2	64,4	63,4	67,5	71,8	74,3	23,42
Biomasse	98,4	107,3	119,1	128,9	133,3	145	47,36
Biogaz	86,1	92,6	102,7	107,5	113,6	169	96,28

**Prix de marché moyen de l'électricité: 50 à 55 €/MWh versus ENR**  
**Des prix élevés, sous prétexte de création d'une industrie nationale, une obligation d'achat et aucune obligation sur l'équilibre du réseau**



**A SUIVRE...**

**PRENEZ SOIN DE VOUS**

