

# Sensibilisation à l'écologie et à l'impact du numérique

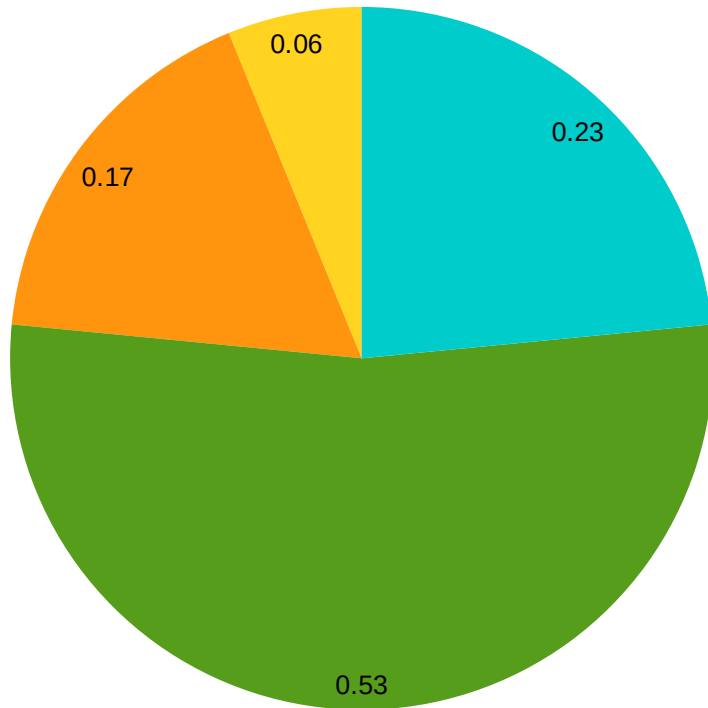
## CHANGEMENT CLIMATIQUE ET eqCO2

Nicolas Bonichon, Aurélie Bugeau, Gaël Guennebaud

Source principale : Écologie et numérique : Comprendre et Agir, Annabelle Collin, Juliette Chabassier

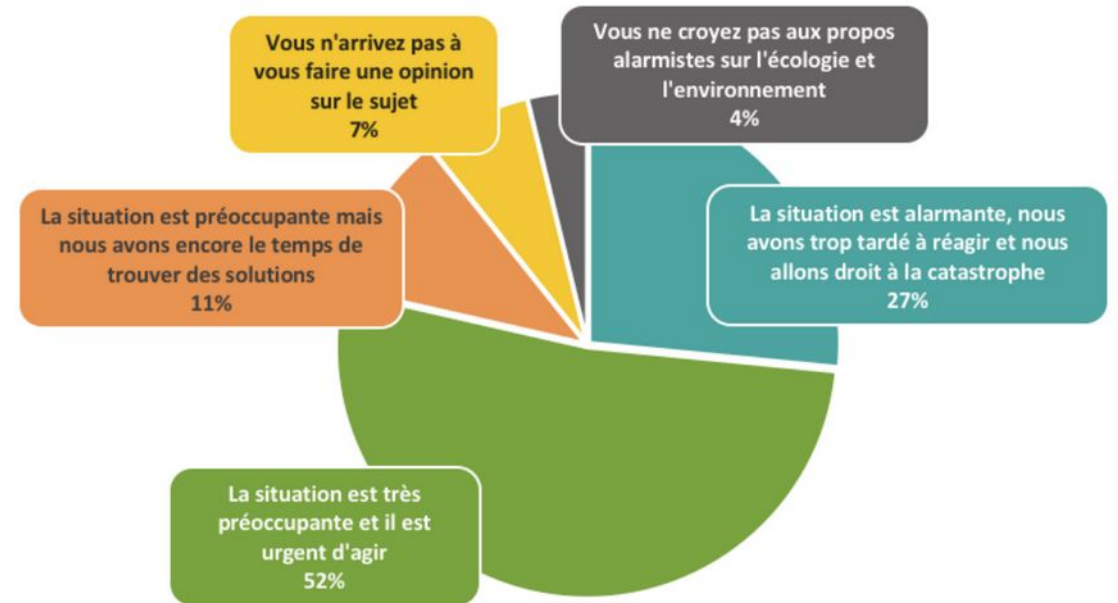
# Retour sondages

Concernant les questions environnementales, quelle proposition vous correspond le mieux ?



Vous  
(promo 2020)

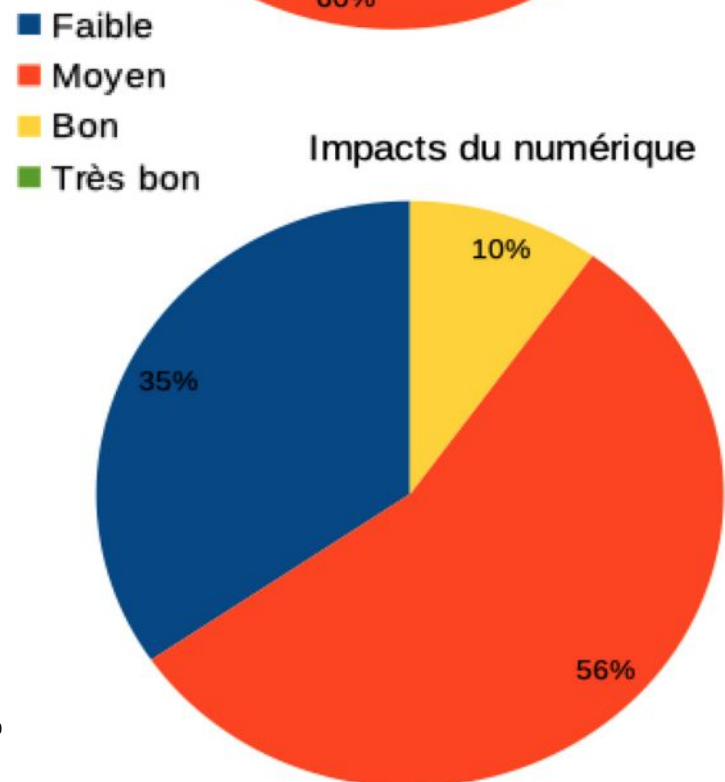
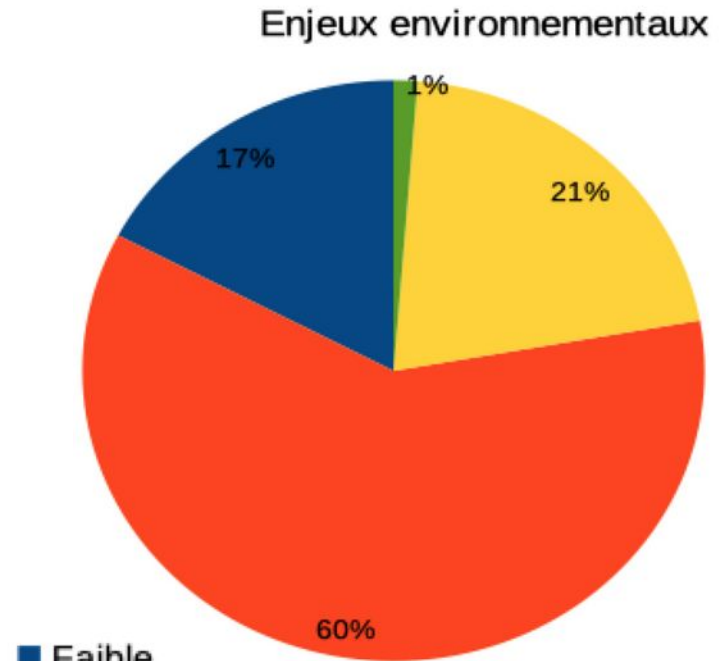
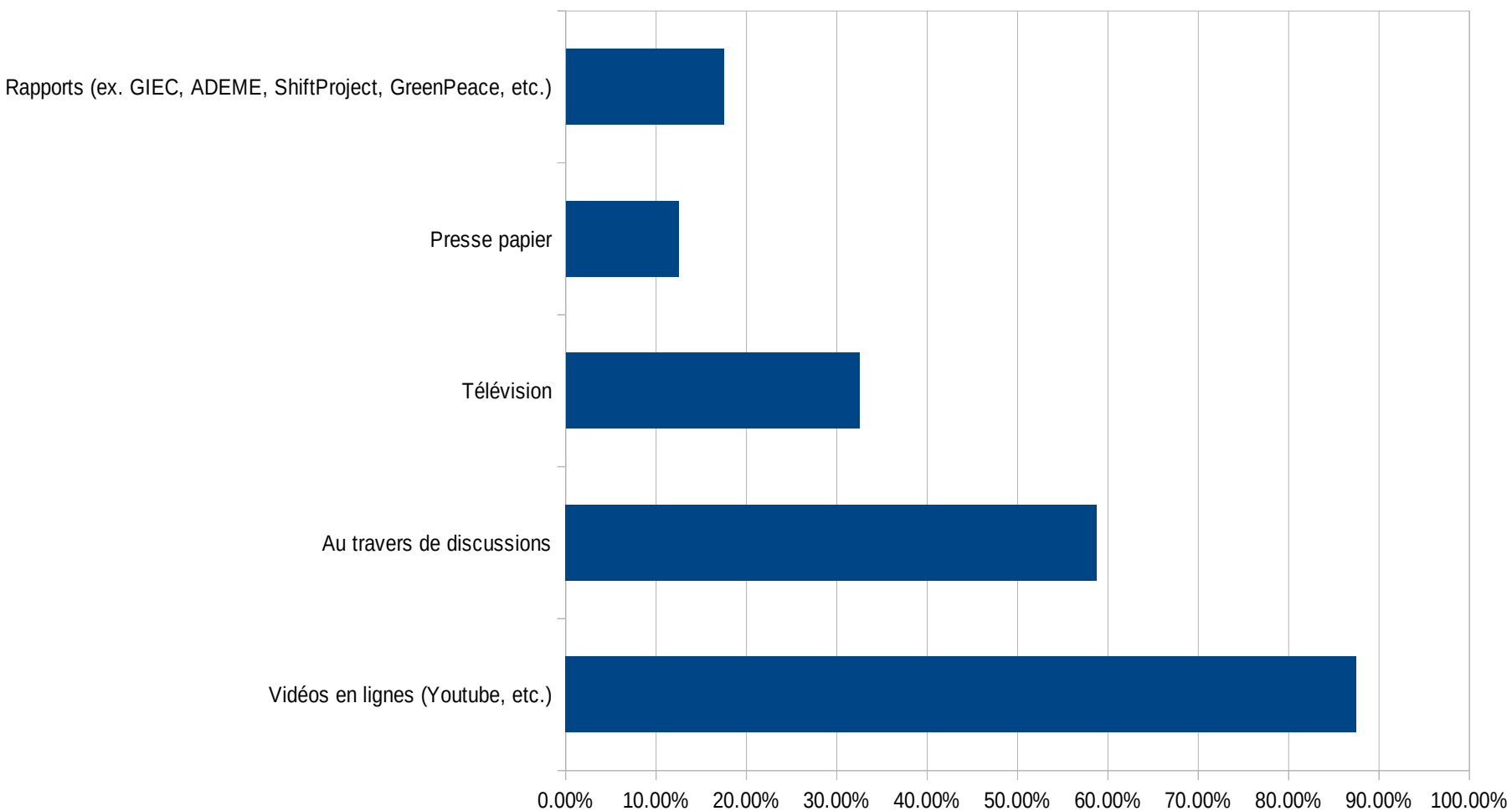
- Vous n'arrivez pas à vous faire une opinion sur le sujet.
- La situation est préoccupante mais nous avons encore le temps de trouver des solutions.
- La situation est très préoccupante et il est urgent d'agir.
- La situation est alarmante, nous avons trop tardé à réagir et nous allons droit à la catastrophe.



Les Français fin 2019

# Retour sondages

Comment vous informez-vous sur ces sujets :



# Changement climatique

- Changement climatique : Lien températures / Gaz à Effet de Serre (GES)
- Etudié par le GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
  - en anglais : IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)
  - créé en 1988 à l'ONU à la demande du G7
  - 195 pays membres
  - synthèse des travaux existants
- de loin la source la plus fiable sur le sujet

# Gaz à effet de serre

- En anglais, GHG : *Greenhouse Gaz*
- GES ? C'est quoi ? A quoi ça sert ?
- Quelle serait la température moyenne de la Terre sans effet de serre ?
  - 9° ?
  - 0° ?
  - -18° ?

# Gaz à effet de serre

- Gaz contribuant à l'effet de serre

Principe de l'effet de serre



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



*La vie grâce à l'effet de serre*



*Un risque de déséquilibre*

Source : ADEME

# Gaz à effet de serre

- Exemples de Gaz ?

# Gaz à effet de serre

- Parmi les gaz suivants, lesquels sont des gaz à effet de serre ?
  - le méthane ( $\text{CH}_4$ )
  - la vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ )
  - le dioxygène ( $\text{O}_2$ )
  - l'ozone ( $\text{O}_3$ )
  - le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )
  - le diazote ( $\text{N}_2$ )



# Gaz à effet de serre

- Parmi les gaz suivants, lesquels sont des gaz à effet de serre ?
  - le méthane ( $\text{CH}_4$ )
  - la vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ )
  - le dioxygène ( $\text{O}_2$ )
  - l'ozone ( $\text{O}_3$ )
  - le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )
  - le diazote ( $\text{N}_2$ )

# Gaz à effet de serre

## • Gaz contribuant à l'effet de serre

GES	Conc. préindustriel	Conc. actuelle	Durée de séjour	Potentiel de Réchauffement à 100 ans
Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>	280 ppm	412 ppm	100 ans	1 (définition)
Méthane CH <sub>4</sub>	0,6 à 0,7 ppm	1,8 ppm	12 ans	25
Protoxyde d'azote N <sub>2</sub> O	0,27 ppm	0,327 ppm	114 ans	265
Dichlorodifluorométhane CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0	0,52 ppb	100 ans	10 900
Chlorodifluorométhane CHClF <sub>2</sub>	0	0,105 ppb	12 ans	1 810
Tétrafluorométhane CF <sub>4</sub>	0	0,07 ppb	50 000 ans	7 390
Hexafluorure de soufre SF <sub>6</sub>	0	0,008 ppb	3 200 ans	23 500

**ppm** = partie par million (en masse),  $10^{-6}$

**ppb** = partie par milliard (en masse),  $10^{-9}$

**Durée de séjour** : temps pour que la concentration diminue de moitié.

combustion des énergies fossiles, cimenterie, déforestation

brûlis, élevage des ruminants, pourrissement anaérobique (culture du riz, zone humide & feu follet, décharges), fuites de gaz naturel et grisou

= gaz hilarant ;  
engrais & procédés chimiques

Aérosol, remplacé par le R134a  
(+ effet sur la couche d'Ozone)

agent réfrigérant, interdit dans de nombreux pays  
(+ effet sur la couche d'Ozone)

production de l'aluminium

médicale, postes électriques, métallurgie, etc.

# Gaz à effet de serre

- Gaz contribuant à l'effet de serre

GES	Conc. préindustriel	Conc. actuelle	Durée de séjour	Potentiel de Réchauffement à 100 ans
Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>	280 ppm	412 ppm	100 ans	1 (définition)
Méthane CH <sub>4</sub>	0,6 à 0,7 ppm	1,8 ppm	12 ans	25
Protoxyde d'azote N <sub>2</sub> O	0,27 ppm	0,327 ppm	114 ans	265
Dichlorodifluorométhane CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0	0,52 ppb	100 ans	10 900
Chlorotrifluorométhane CHClF <sub>2</sub>	0	0,105 ppb	12 ans	1 810
Tétrafluorométhane CF <sub>4</sub>	0	0,07 ppb	50 000 ans	7 390
Hexafluorure de soufre SF <sub>6</sub>	0	0,008 ppb	3 200 ans	23 500

**ppm** = partie par million (en masse),  $10^{-6}$

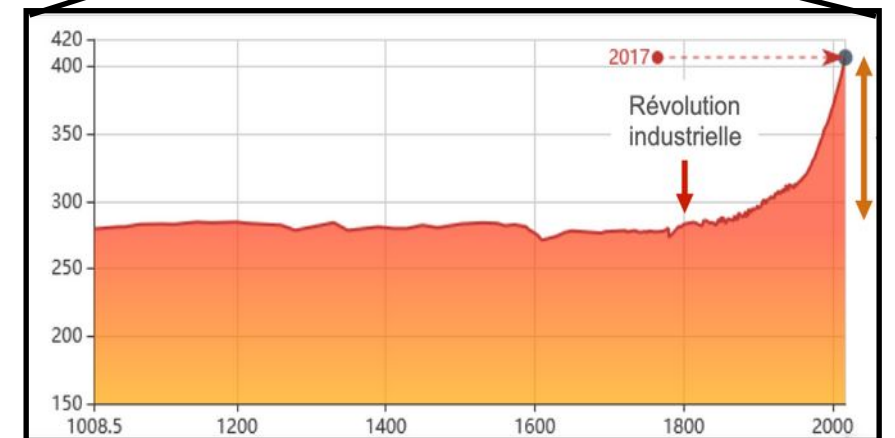
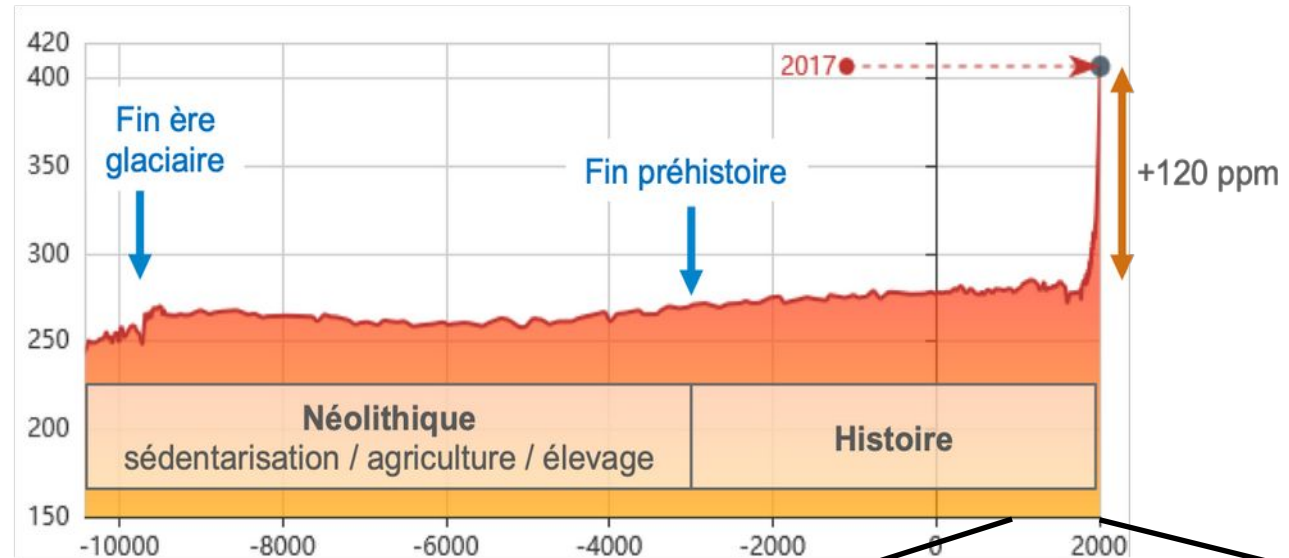
**ppb** = partie par milliard (en masse),  $10^{-9}$

## Équivalent CO<sub>2</sub> :

masse de dioxyde de carbone qui aurait le même potentiel de réchauffement climatique qu'une quantité donnée d'un autre gaz à effet de serre pour une échéance temporelle de 100 ans.

# Dioxyde de carbone (CO2)

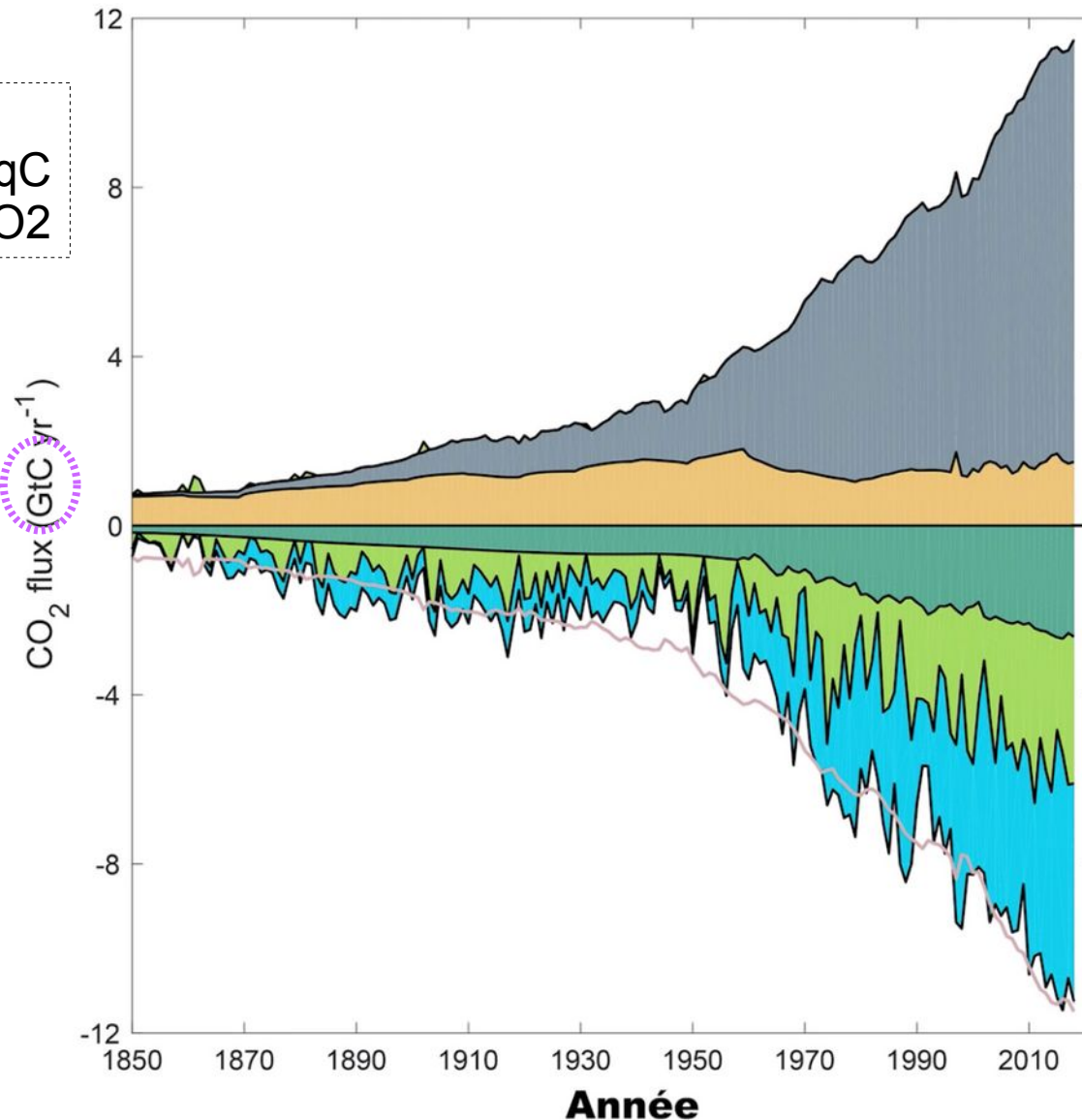
Évolution de la concentration  
du Dioxyde de carbone (CO2)  
dans l'atmosphère



Sources : National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Ice Core records (data) before 1959 and Mauna Loa records (data) after 1959.  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz\\_à\\_effet\\_de\\_serre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_à_effet_de_serre)

# Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) – Bilan des flux

attention :  
1 eqCO<sub>2</sub> = 0.27 eqC  
1 eqC = 3.66 eqCO<sub>2</sub>



**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**

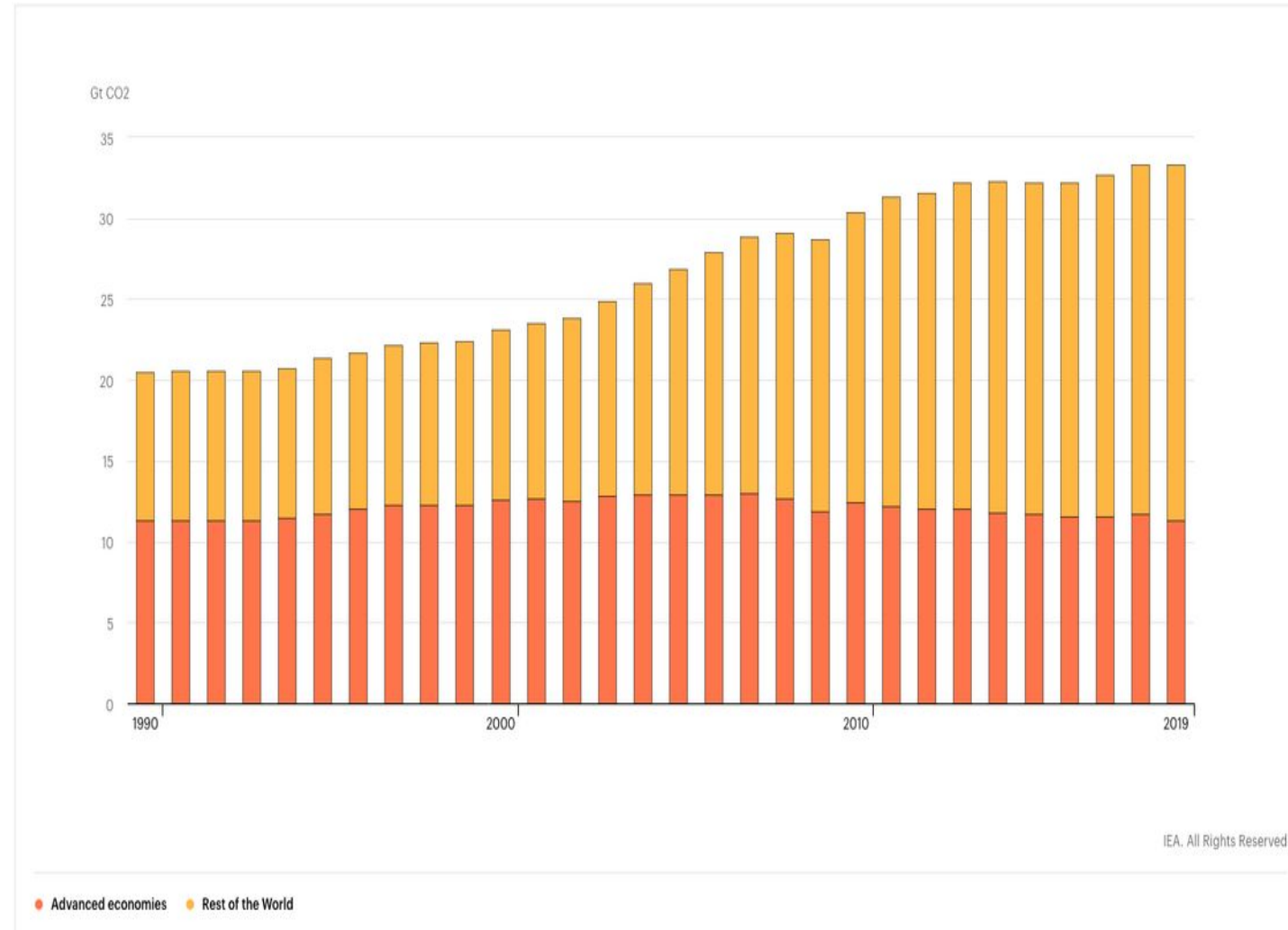
Dans les océans → acidification...

Dans les continents (végétation, sols...)

Dans l'atmosphère

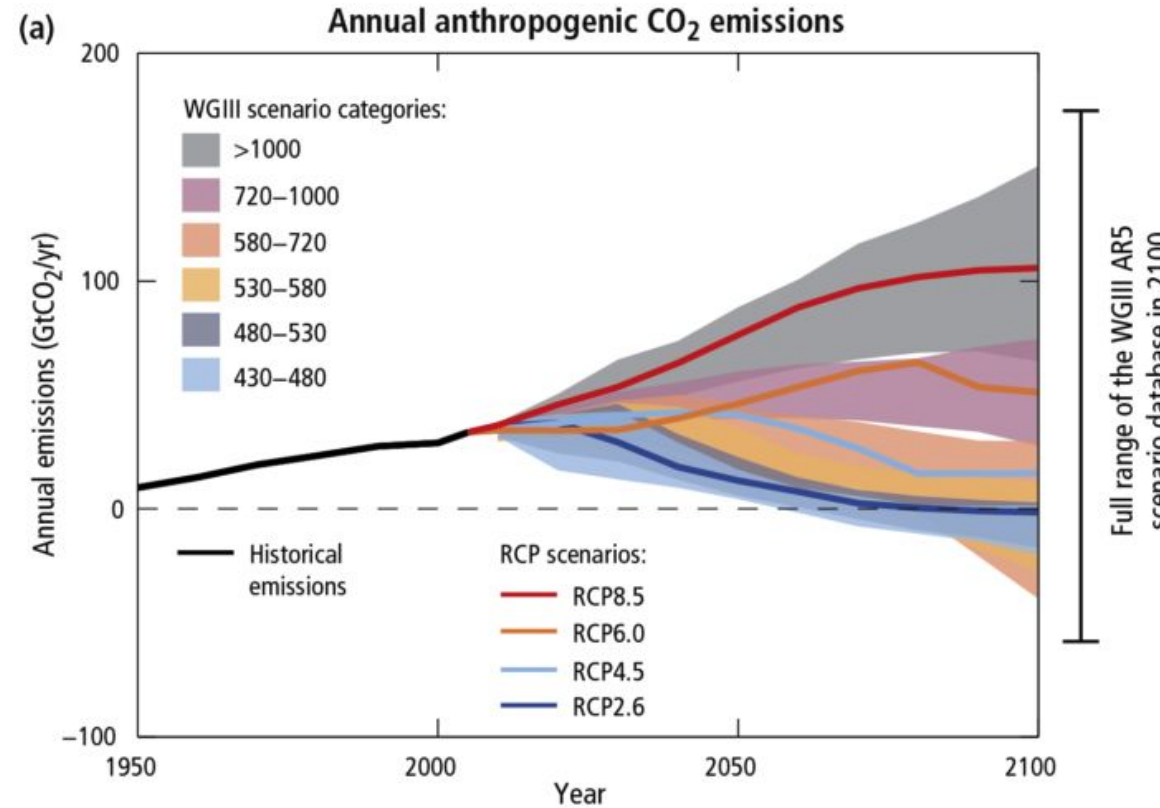
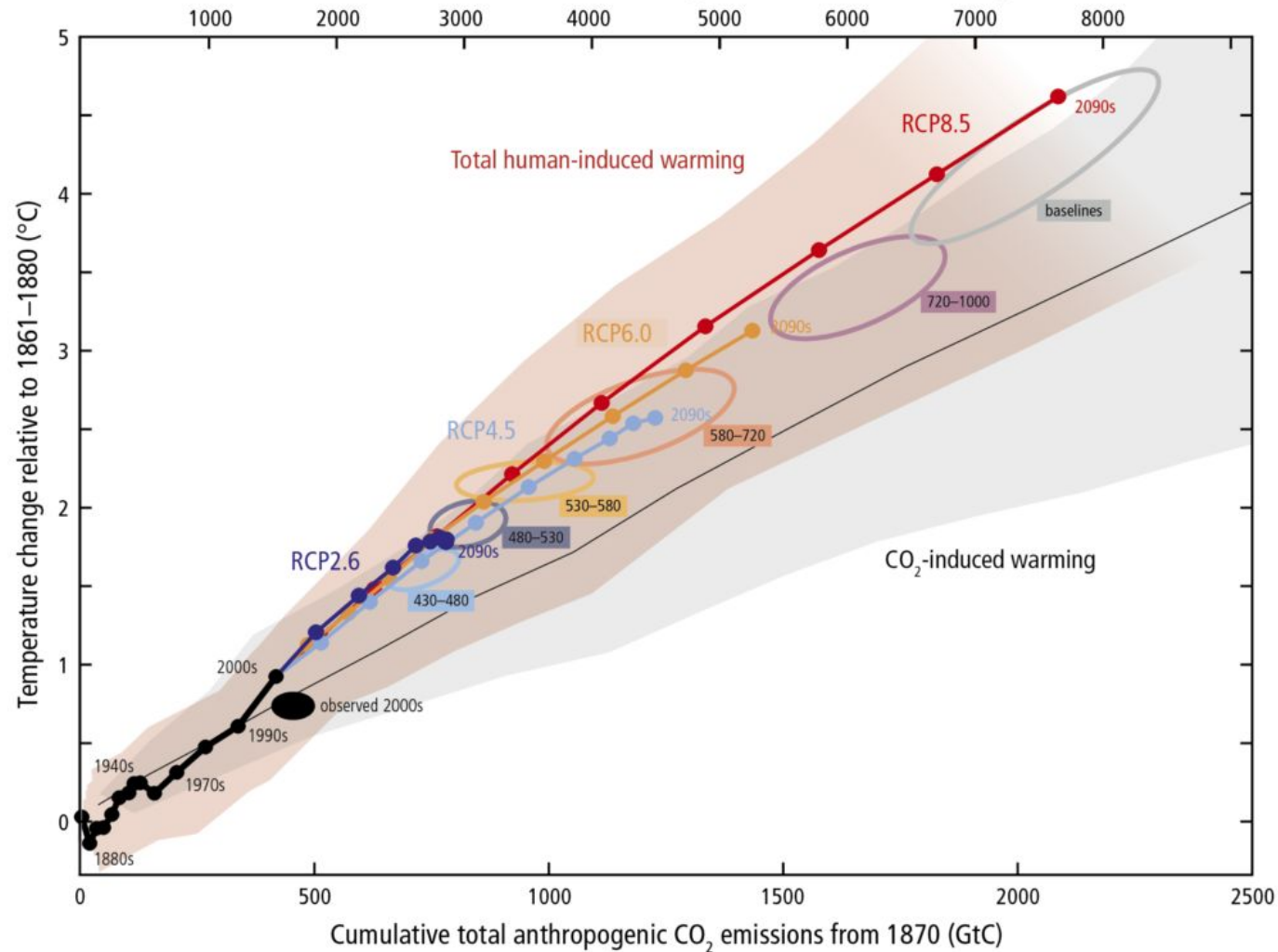
# Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

- Stabilisation des émissions annuelles ces dernières années
  - Énergies renouvelables
  - Ralentissement de la croissance économique dans certains marchés émergents (Inde)
  - Adoucissement de la météo



# Gaz à effet de serre & Projections

- Stabilisation ces dernières années mais **CUMUL**



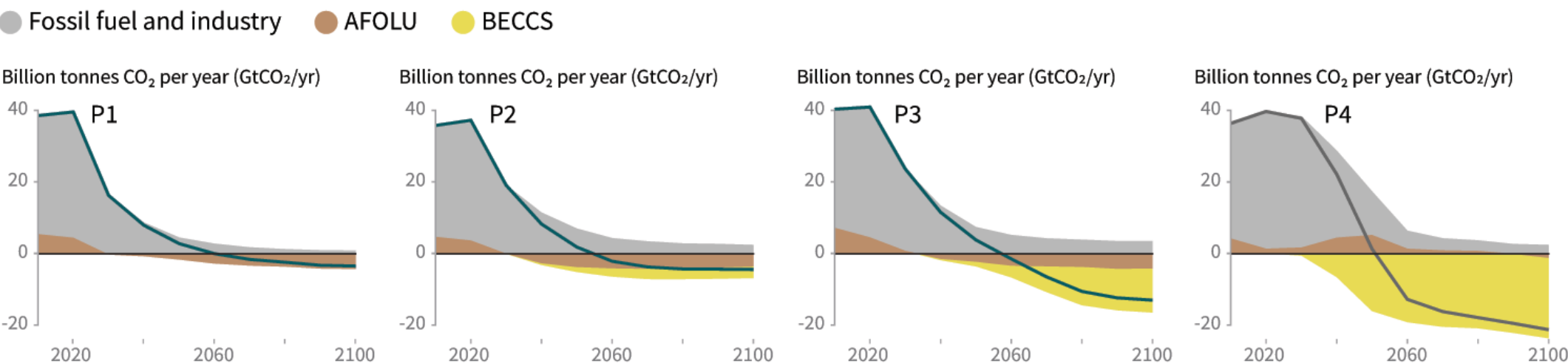
Source :  
IPCC, 2014 - Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change



# Characteristics of four illustrative model pathways

Different mitigation strategies can achieve the net emissions reductions that would be required to follow a pathway that limits global warming to 1.5°C with no or limited overshoot. All pathways use Carbon Dioxide Removal (CDR), but the amount varies across pathways, as do the relative contributions of Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) and removals in the Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) sector. This has implications for emissions and several other pathway characteristics.

## Breakdown of contributions to global net CO<sub>2</sub> emissions in four illustrative model pathways



**P1:** A scenario in which social, business and technological innovations result in lower energy demand up to 2050 while living standards rise, especially in the global South. A downsized energy system enables rapid decarbonization of energy supply. Afforestation is the only CDR option considered; neither fossil fuels with CCS nor BECCS are used.

**P2:** A scenario with a broad focus on sustainability including energy intensity, human development, economic convergence and international cooperation, as well as shifts towards sustainable and healthy consumption patterns, low-carbon technology innovation, and well-managed land systems with limited societal acceptability for BECCS.

**P3:** A middle-of-the-road scenario in which societal as well as technological development follows historical patterns. Emissions reductions are mainly achieved by changing the way in which energy and products are produced, and to a lesser degree by reductions in demand.

**P4:** A resource- and energy-intensive scenario in which economic growth and globalization lead to widespread adoption of greenhouse-gas-intensive lifestyles, including high demand for transportation fuels and livestock products. Emissions reductions are mainly achieved through technological means, making strong use of CDR through the deployment of BECCS.

Source : IPCC 2018 Global Warming of 1.5 °C



# Transition écologique

COP 21 (accords de Paris, 2015)

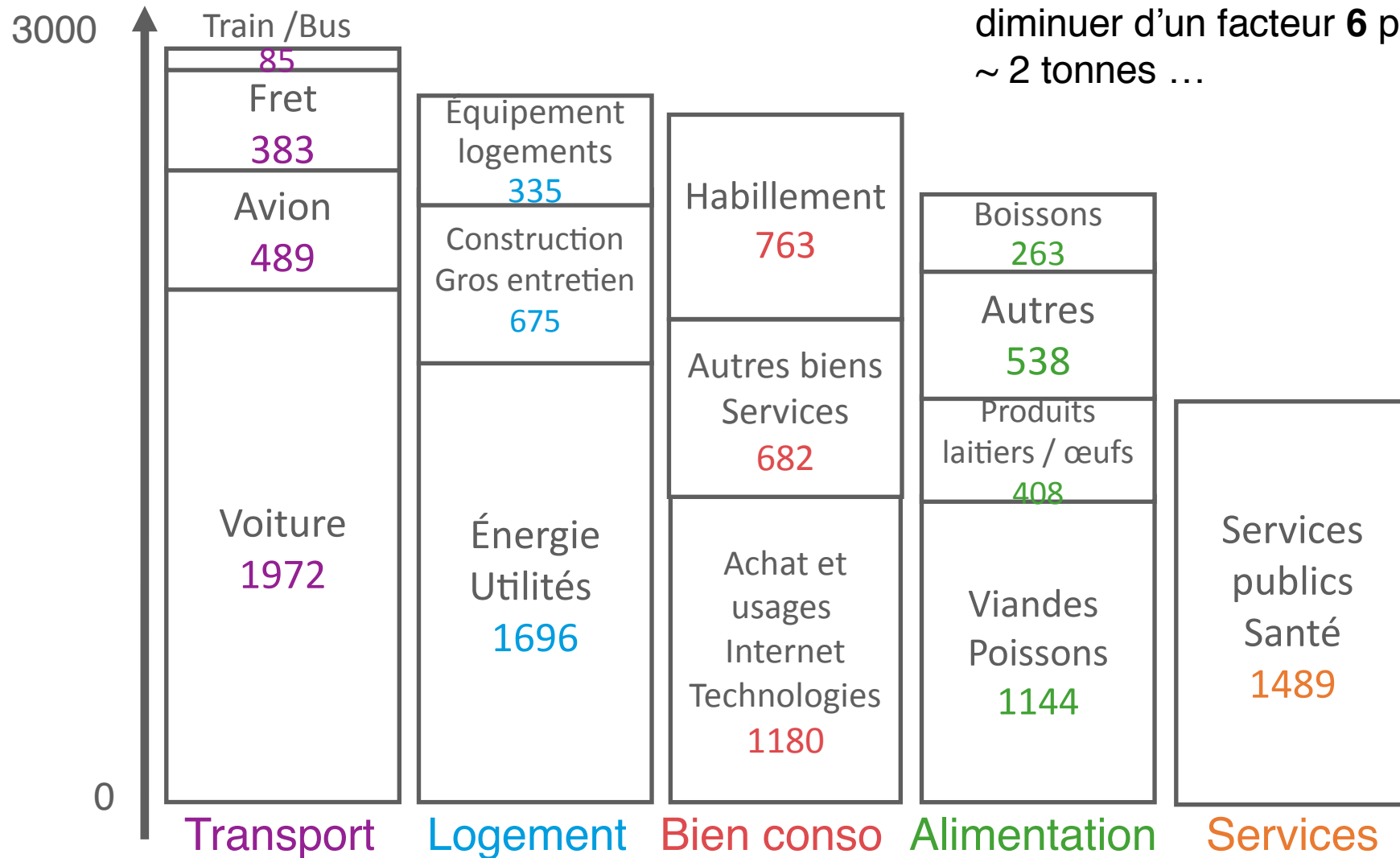
- Chaque état s'est engagé à réduire ses émissions de GES sur leur sol
  - Objectif : “neutralité carbone pour 2050”, qui signifie:
    - ~ env. 2 tonnes eqCO<sub>2</sub> par an/personne pour 2050
    - pour un français ↔ diminuer d'un facteur 6 son empreinte carbone
  - Attention :
    - débat : bilan vs empreinte carbone
    - un seul indicateur environnemental, ici l'eqCO<sub>2</sub>



# Empreinte carbone à l'échelle d'un individu

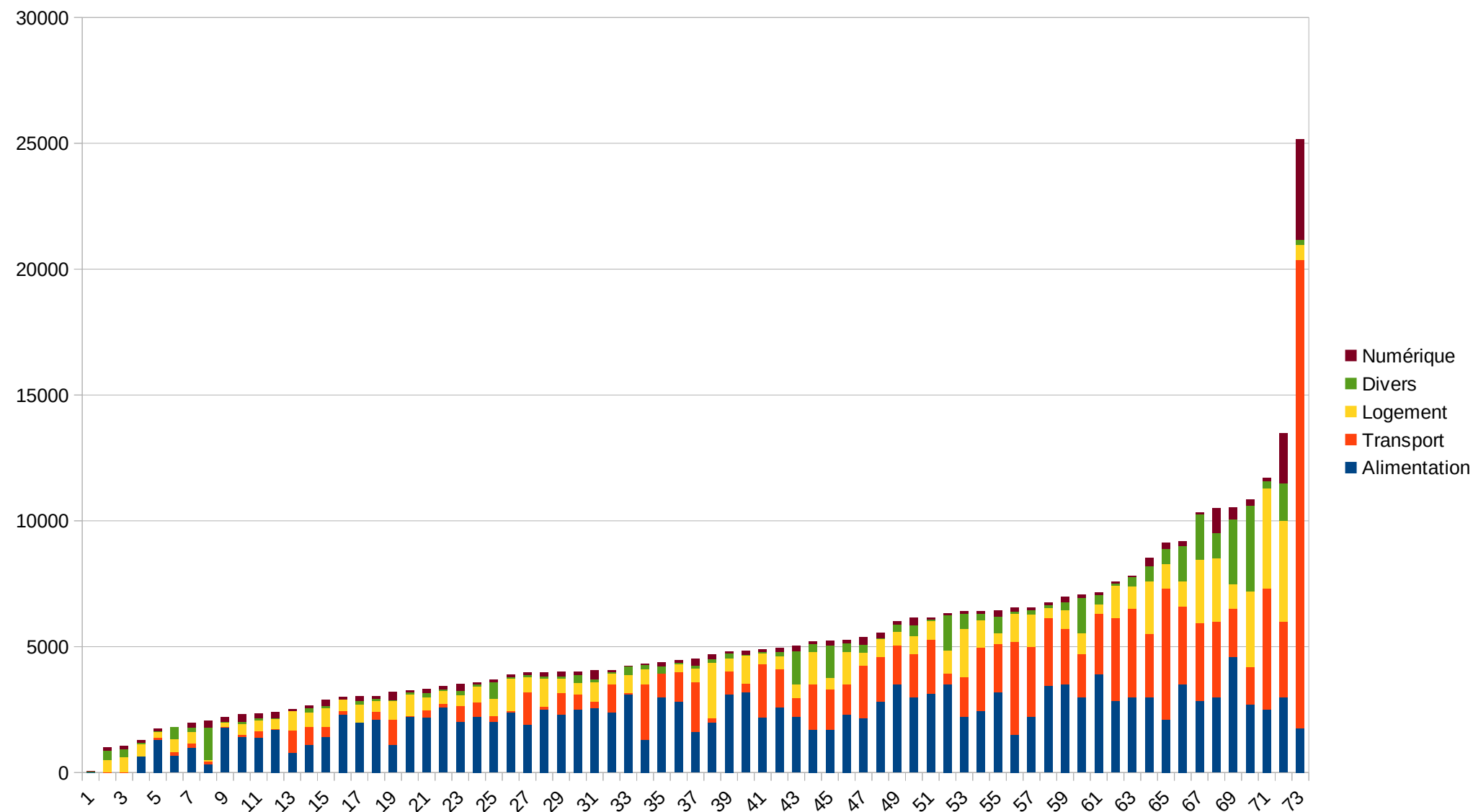
- Une tonne de CO<sub>2</sub> c'est :
  - Un an de chauffage gaz pour un 3 pièces à Paris
  - 1 aller-retour Paris – New York en avion
  - ~ 4 500 km de Twingo en ville
  - ~ 3 300 km de 4x4 en ville

# Empreinte carbone



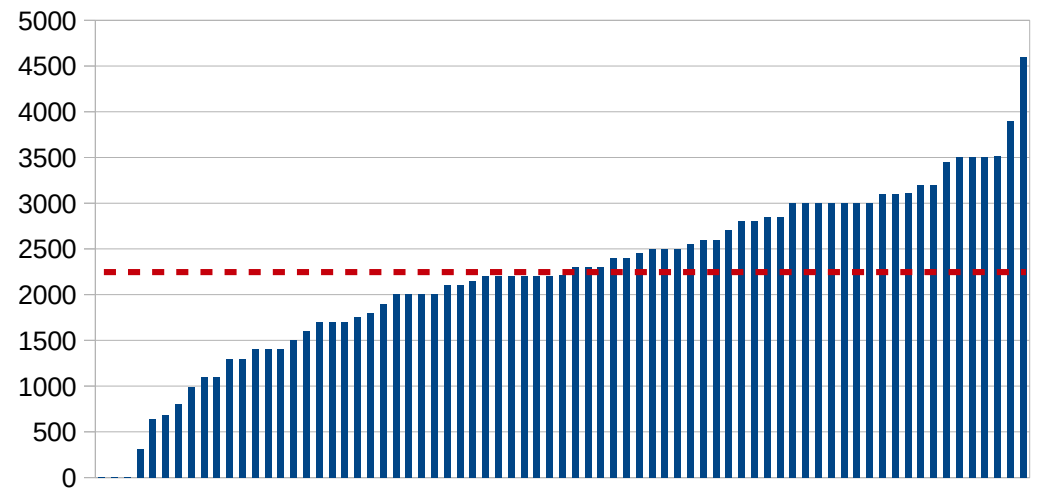
~ 12 tonnes ~ 12 000 kgs eq. CO2  
Objectif **accord de Paris** :  
diminuer d'un facteur **6** pour 2050  
~ 2 tonnes ...

# Bilan & Empreinte carbone – Vos résultats 1/4

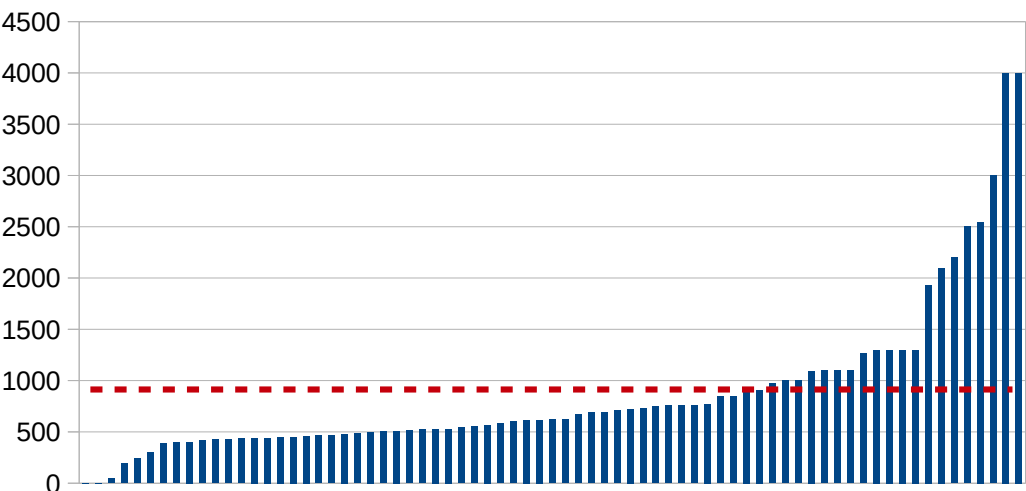


# Bilan & Empreinte carbone – Vos résultats 2/4

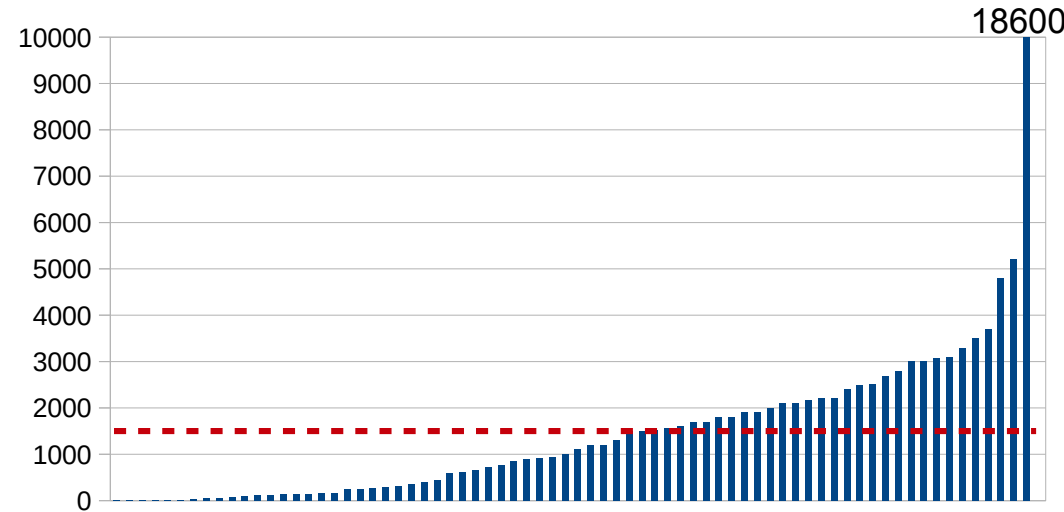
Alimentation



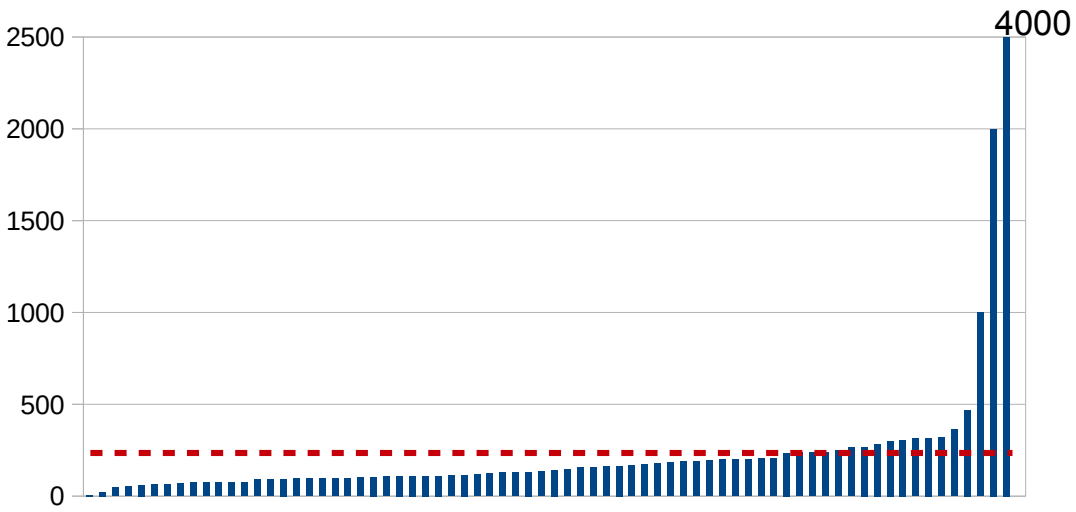
Logement



Transport



Numérique



# Bilan & Empreinte carbone – Vos résultats 3/4

- Avez-vous été surpris de votre impact ?
  - Pas du tout 19%, **Un peu surpris 56%**, Surpris 24%, Très surpris 2%
  - Qu'est ce qui vous a surpris ?
    - Que l'alimentation pèse aussi lourd
      - “...on importe beaucoup de produits venants du monde entier notamment, qui arrivent pour la plupart en cargo ou avion ...” → à débattre
    - Que le numérique pèse si peu → à débattre
    - 
    - “je suis d'ailleurs surprise que mon impact soit aussi peu important comparé à la moyenne”
      - à débattre
    -

# Bilan & Empreinte carbone – Vos résultats 4/4

- Incertitude ?
  - Beaucoup de réponses entre 5% et 30% ou entre 0.5t et 2t  
→ vous êtes plutôt lucide !
- Autres remarques
  - Les limites de l'exercice...
  -

# Bilan & Empreinte carbone - Débat

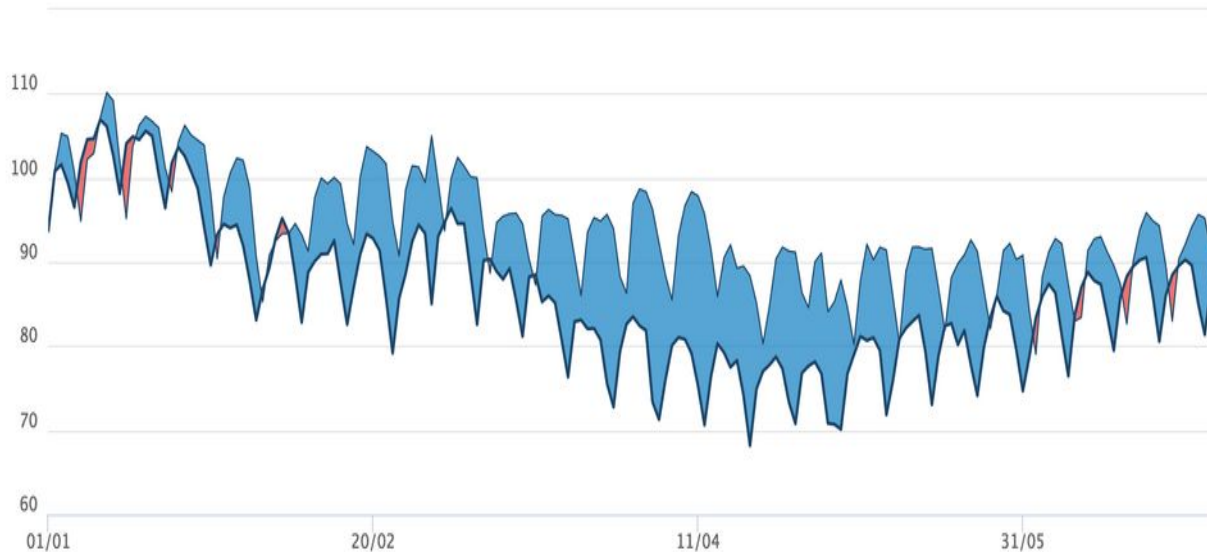


# Impact de la COVID19 ?

LEGEND — 2020 — 2019 CO<sub>2</sub> emissions : Decrease Increase Lockdown period

## WORLD

Jan, 1<sup>st</sup> > Jun, 30<sup>th</sup> 2020 / Jan, 1<sup>st</sup> > Jun, 30<sup>th</sup> 2019  
-1315.43 MtCO<sub>2</sub> (-7.74 %)



carbonmonitor.org - September, 8th 2020

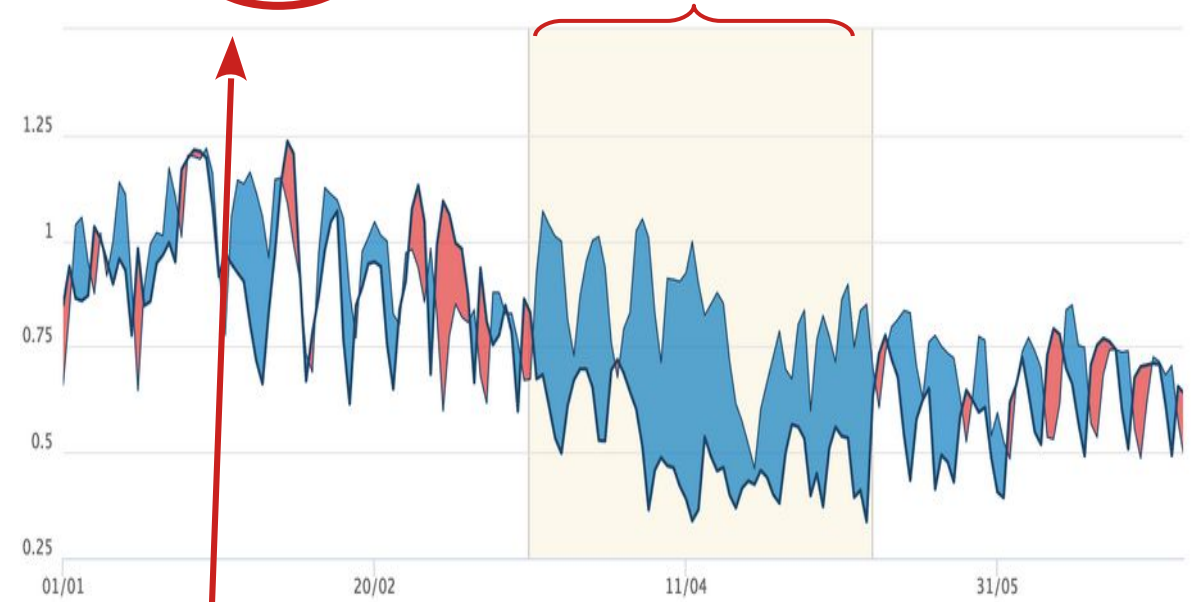
## CO<sub>2</sub> EMISSIONS VARIATION (%)

January, 1<sup>st</sup> → June, 30<sup>th</sup> 2020 vs January, 1<sup>st</sup> → June, 30<sup>th</sup> 2019

LEGEND — 2020 — 2019 CO<sub>2</sub> emissions : Decrease Increase Lockdown period

## France

Jan, 1<sup>st</sup> > Jun, 30<sup>th</sup> 2020 / Jan, 1<sup>st</sup> > Jun, 30<sup>th</sup> 2019  
-21.48 MtCO<sub>2</sub> (-14.20 %)



carbonmonitor.org - September, 8th 2020

objectif 2030 : -50 %

# Dérèglement climatique - Débat

- Quels impacts ?

# Les impacts



## CLIMATE RISKS: 1.5°C VS 2°C GLOBAL WARMING



### EXTREME WEATHER

100% increase in flood risk. | vs | 170% increase in flood risk.

### SPECIES

6% of insects, 8% of plants and 4% of vertebrates will be affected. | vs | 18% of insects, 16% of plants and 8% of vertebrates will be affected.

### WATER AVAILABILITY

350 million urban residents exposed to severe drought by 2100. | vs | 410 million urban residents exposed to severe drought by 2100.

### ARCTIC SEA ICE

Ice-free summers in the Arctic at least once every 100 years. | vs | Ice-free summers in the Arctic at least once every 10 years.

### PEOPLE

9% of the world's population (700 million people) will be exposed to extreme heat waves at least once every 20 years. | vs | 28% of the world's population (2 billion people) will be exposed to extreme heat waves at least once every 20 years.

### SEA-LEVEL RISE

46 million people impacted by sea-level rise of 48cm by 2100. | vs | 49 million people impacted by sea-level rise of 56cm by 2100.

### OCEANS

Lower risks to marine biodiversity, ecosystems and their ecological functions and services at 1.5°C compared to 2°C.

### CORAL BLEACHING

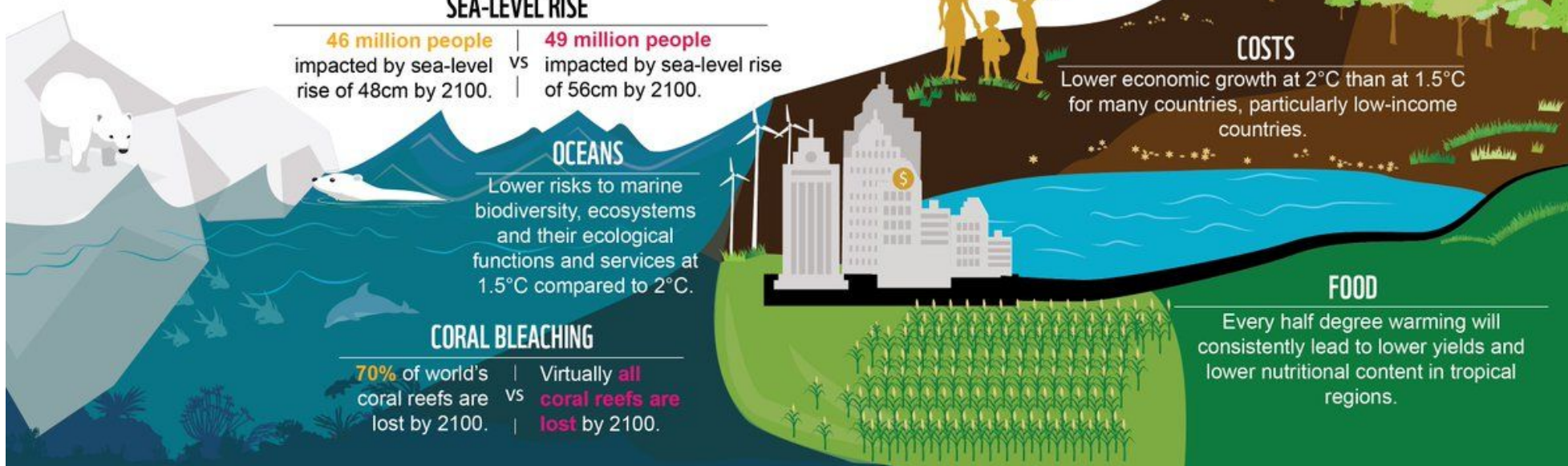
70% of world's coral reefs are lost by 2100. | vs | Virtually all coral reefs are lost by 2100.

### COSTS

Lower economic growth at 2°C than at 1.5°C for many countries, particularly low-income countries.

### FOOD

Every half degree warming will consistently lead to lower yields and lower nutritional content in tropical regions.



# Transition écologique

- Solutions ?

# Transition écologique

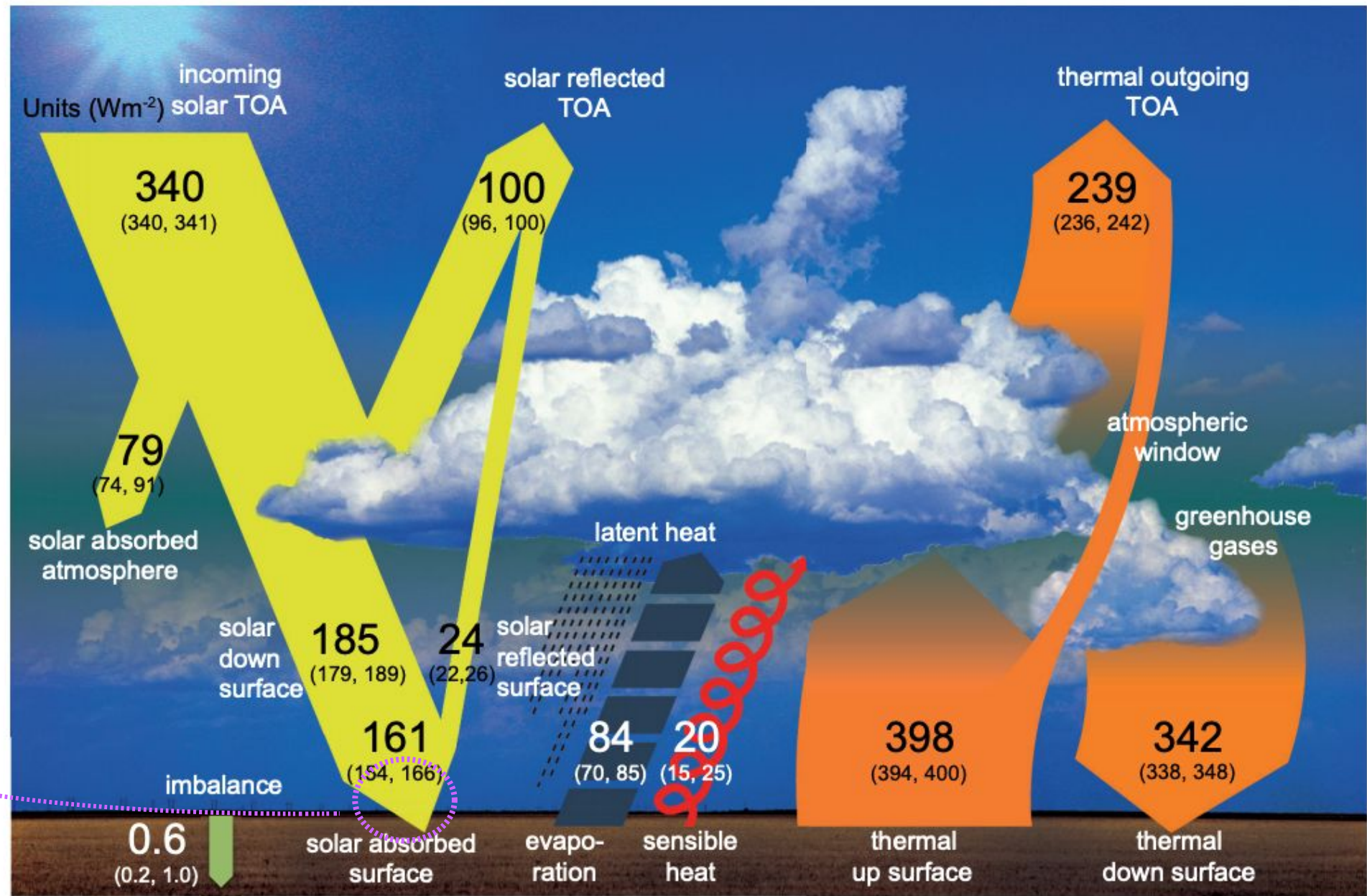
- Le numérique est-il indispensable à la transition écologique ?

# Compléments



# Les principaux moteurs du changement climatique & Bilan radiatif

Dépend de l'albedo (couvert végétal, glace, % de surface d'eau, couleur des océans, etc.)



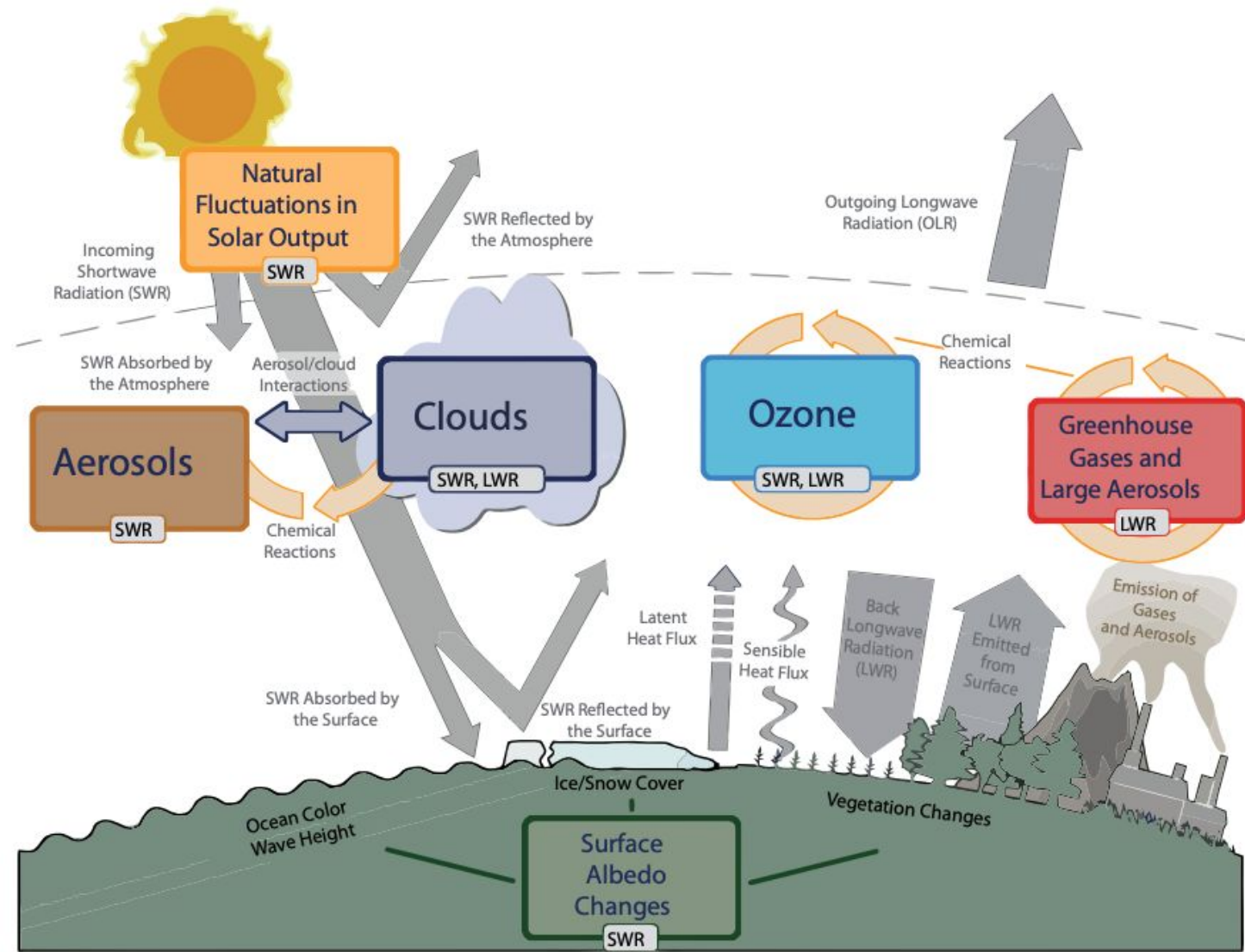
**Figure 2.11:** | Global mean energy budget under present-day climate conditions. Numbers state magnitudes of the individual energy fluxes in  $\text{W m}^{-2}$ , adjusted within their uncertainty ranges to close the energy budgets. Numbers in parentheses attached to the energy fluxes cover the range of values in line with observational constraints. (Adapted from Wild et al., 2013.)

# Mémo

- TOA: Top Of the Atmosphere
- Échanges énergétiques principalement par rayonnement infrarouge
  - SWR : Ondes courtes pour le soleil
  - LWR : Grandes ondes pour les émissions terrestres ....
    - OLR : ... vers la voûte céleste (entre  $-45^{\circ}$  et  $-75^{\circ}$ )
- Sensible heat : échange énergétique sans changement de phase (par conduction, différent des échanges par rayonnement infrarouge)
- Latent heat : échange énergétique par changement de phase (vapeur/eau/glace)

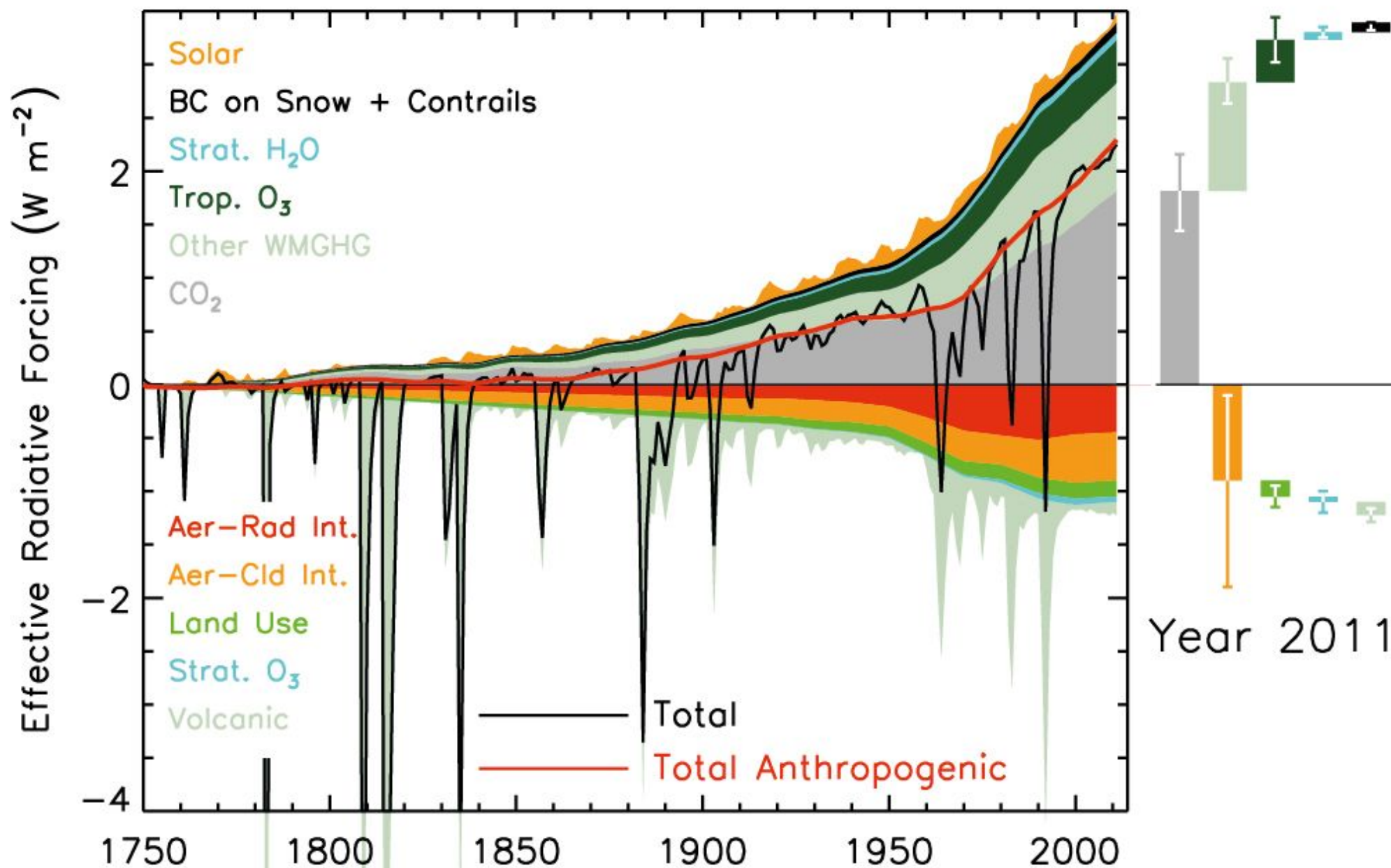


# Les principaux moteurs du changement climatique



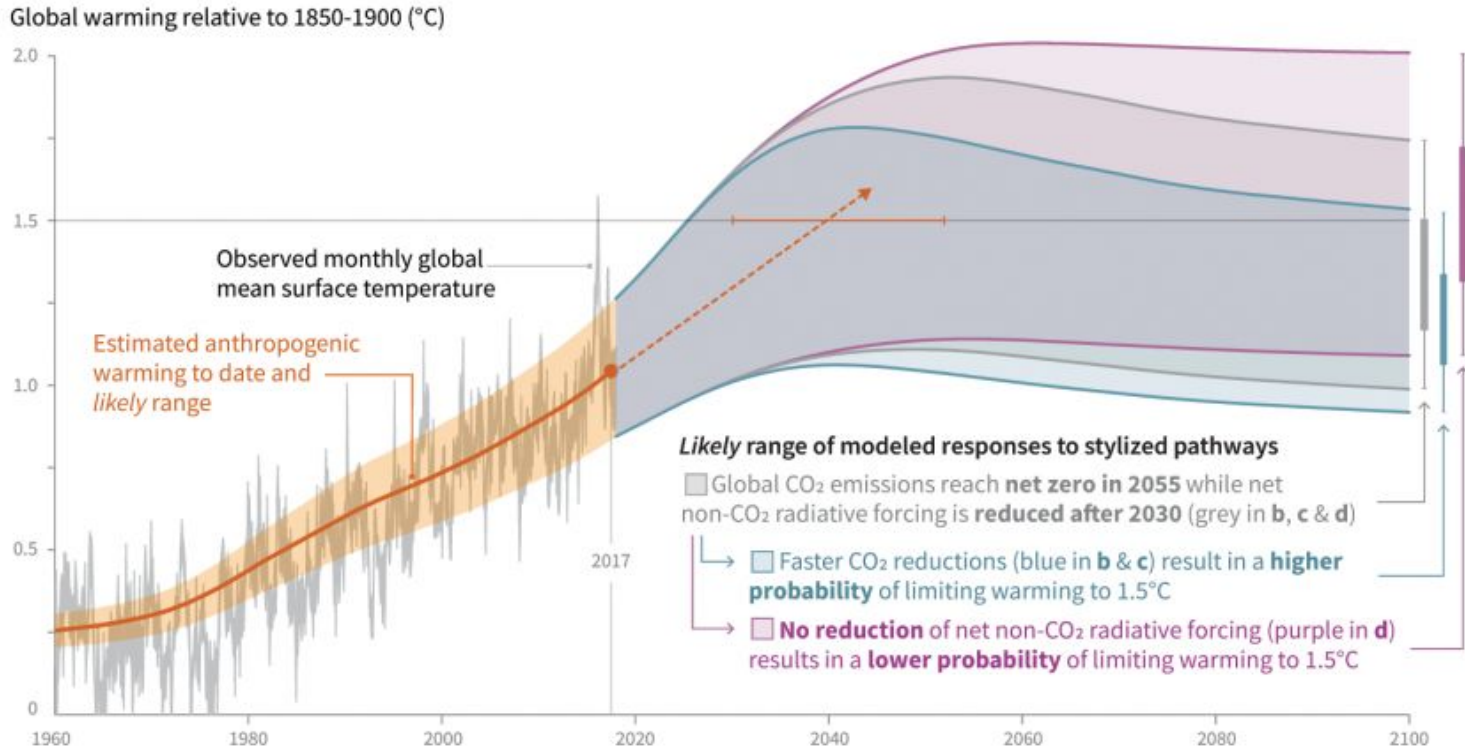
**Figure 1.1 |** Main drivers of climate change. The radiative balance between incoming solar shortwave radiation (SWR) and outgoing longwave radiation (OLR) is influenced by global climate 'drivers'. Natural fluctuations in solar output (solar cycles) can cause changes in the energy balance (through fluctuations in the amount of incoming SWR) (Section 2.3). Human activity changes the emissions of gases and aerosols, which are involved in atmospheric chemical reactions, resulting in modified  $O_3$  and aerosol amounts (Section 2.2).  $O_3$  and aerosol particles absorb, scatter and reflect SWR, changing the energy balance. Some aerosols act as cloud condensation nuclei modifying the properties of cloud droplets and possibly affecting precipitation (Section 7.4). Because cloud interactions with SWR and LWR are large, small changes in the properties of clouds have important implications for the radiative budget (Section 7.4). Anthropogenic changes in GHGs (e.g.,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $O_3$ , CFCs) and large aerosols ( $>2.5 \mu m$  in size) modify the amount of outgoing LWR by absorbing outgoing LWR and re-emitting less energy at a lower temperature (Section 2.2). Surface albedo is changed by changes in vegetation or land surface properties, snow or ice cover and ocean colour (Section 2.3). These changes are driven by natural seasonal and diurnal changes (e.g., snow cover), as well as human influence (e.g., changes in vegetation types) (Forster et al., 2007).

# Évolution du forçage radiatif



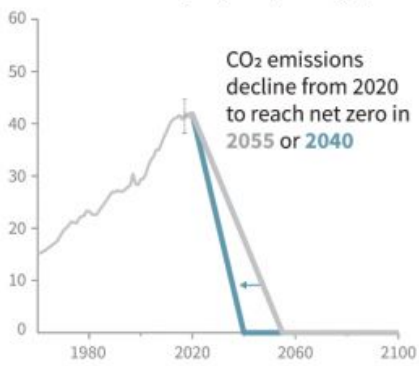
# Cumulative emissions of CO<sub>2</sub> and future non-CO<sub>2</sub> radiative forcing determine the probability of limiting warming to 1.5°C

## a) Observed global temperature change and modeled responses to stylized anthropogenic emission and forcing pathways



## b) Stylized net global CO<sub>2</sub> emission pathways

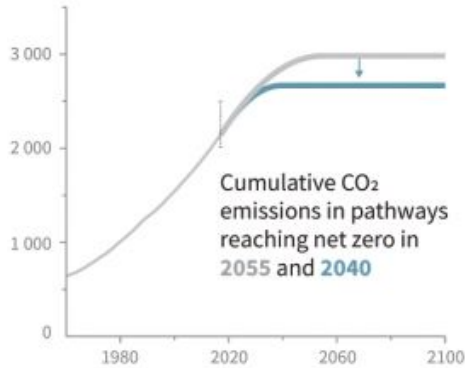
Billion tonnes CO<sub>2</sub> per year (GtCO<sub>2</sub>/yr)



Faster immediate CO<sub>2</sub> emission reductions limit cumulative CO<sub>2</sub> emissions shown in panel (c).

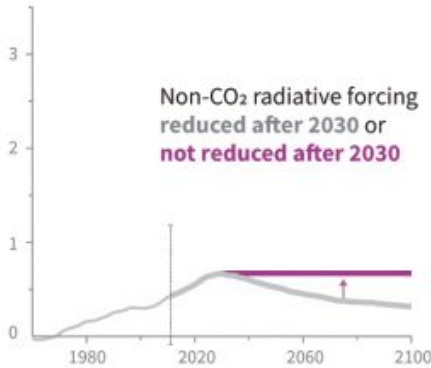
## c) Cumulative net CO<sub>2</sub> emissions

Billion tonnes CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>)



## d) Non-CO<sub>2</sub> radiative forcing pathways

Watts per square metre (W/m<sup>2</sup>)



Source : [IPCC 2018 Global Warming of 1.5 °C](#)

Maximum temperature rise is determined by cumulative net CO<sub>2</sub> emissions and net non-CO<sub>2</sub> radiative forcing due to methane, nitrous oxide, aerosols and other anthropogenic forcing agents.



# Climatosceptique

*paramètres de Milankovitch & modification de l'orbite terrestre*

