

Changement climatique & Leviers d'action

Christophe Coillot (L2C-CNRS)*, Sylvie Jouan (FDE) & Périne Landois (L2C-FDE)

Christophe Coillot (christophe.coillot@umontpellier.fr)

Ingénieur de Recherche CNRS – PhD - HDR

Centre d'Etude des Environnements Terrestres
et Planétaires (CETP)

- Instrumentation spatiale



Laboratoire Charles Coulomb (L2C)

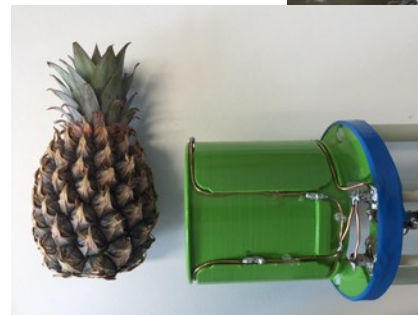
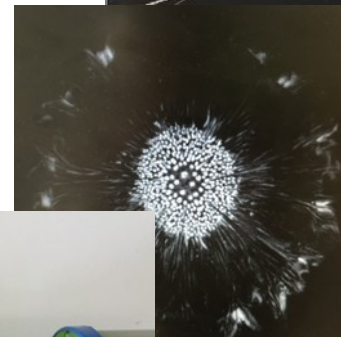
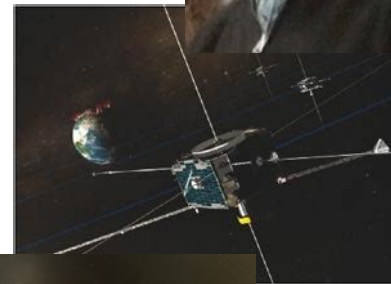
- Imagerie par Résonance Magnétique Nucléaire
- Capteurs à base de graphène (monocouche d'atomes de carbone) pour l'environnement



Membre GDR Labos1Point5



Responsable d'une UE à l'Université :
Education à la Transition Ecologique



Partie 1: Changement climatique

Etat des lieux

$S/4$: flux solaire
(= 324 W/m²)

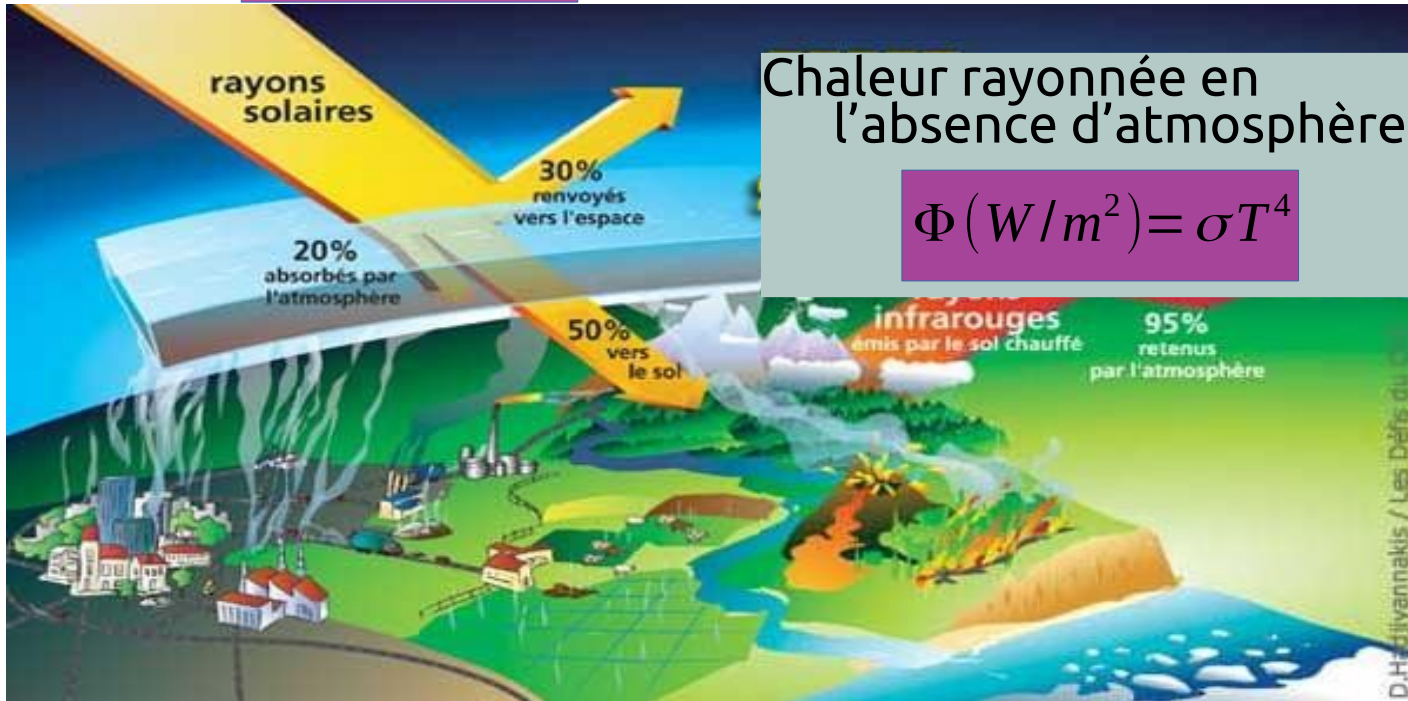
$\alpha S/4$ (α = albédo)



$\alpha = 0,3$ albédo (lumière réfléchie/lumière incidente)

$0 < \alpha < 1$ pour des surfaces de "absorbantes" à "réflechissantes"

Bilan:
 $(1 - \alpha) S / 4$



Bilan:
 $(1 - \alpha) S / 4$



ϵ = absorption de la « chaleur » (ou rayonnement infrarouge) par les gaz de l'atmosphère ($0 < \epsilon < 1$)

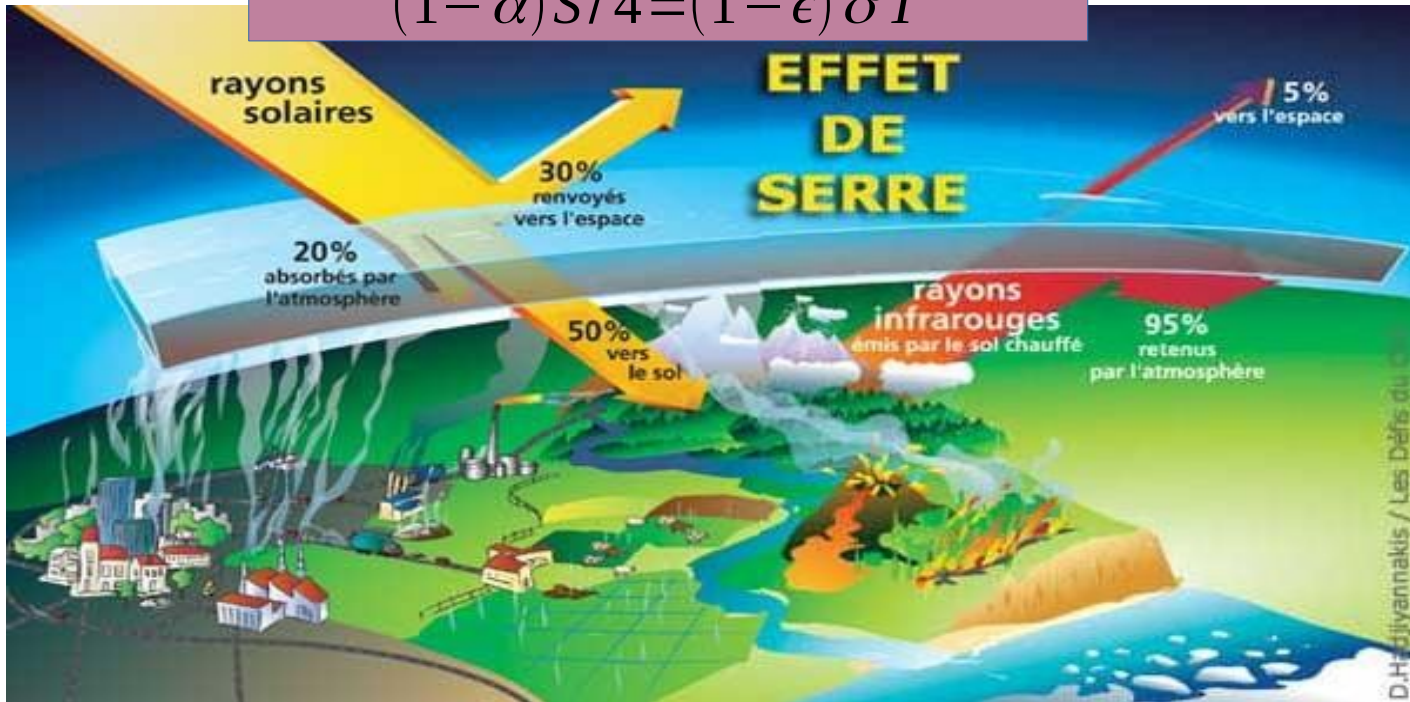
Principaux gaz à effet de serre dans l'atmosphère

Gaz à effet de serre naturels

- Vapeur d'eau (H_2O)
- Dioxyde de Carbone (CO_2)
- Méthane (CH_4)
- Protoxyde d'azote (N_2O)

Flux solaire = Rayonnement IR

$$(1 - \alpha) S / 4 = (1 - \epsilon) \sigma T^4$$



$\alpha = 0,3$ albedo (lumière réfléchie/lumière incidente)

$0 < \alpha < 1$ pour des surfaces de "absorbantes" à "réflechissantes"

Modèle climatique :

$$\Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{(1 - \alpha) S}{4 \sigma (1 - \epsilon)}}$$

S : flux solaire (terrestre = 1368 W/m^2)

α : albedo

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ cte de Stefan-Boltzmann

ϵ : atmosphère + ou - dense

Modèle climatique :

$$\Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha)S}{4\sigma(1-\epsilon)}}$$

S : flux solaire (terrestre = 1368 W/m^2)

α : albedo

$\sigma = 5,67 \times 10^{(-8)}$ cte de Stefan-Boltzmann

ϵ : atmosphère + ou - dense

Lune - sans

Terre - atmosphère

Vénus - atmosphère

Atmosphère $\epsilon \approx 0$ $\alpha=0,28$

peu dense - $\epsilon \approx 0,72$ $\alpha=0,3$

dense : $\epsilon \approx 0,99$ $\alpha=0,77$



$$\Rightarrow T_{\text{Lune}} = 250 \text{ K} = -23^\circ \text{C}$$

$$\Rightarrow T_{\text{Terre}} = 288 \text{ K} = 15^\circ \text{C}$$

$$\Rightarrow T_V = 737 \text{ K} = 464^\circ \text{C}$$

R. Kandel, « Le réchauffement climatique », Que sais-je ?, (2010)

Sans atmosphère, la Terre serait une boule de glace.



-
18°C



ÉduClimat

Merci les....



à effet « dessert » 😊

Gaz à effet de serre

- Vapeur d'eau (H_2O)
- Dioxyde de Carbone (CO_2)
- Méthane (CH_4)
- Protoxyde d'azote (N_2O)

Historique des modèles du climat

Historique des modèles du climat

1824 : Joseph **Fourier** (physicien Français) qui mettait en évidence les propriétés de la chaleur rayonnante pour expliquer l'équilibre thermique d'un volume chauffé par la lumière (*)

(*) *Fourier J., «Théorique des propriétés de la chaleur rayonnante» Annales de Chimie et de Physique, (1824)*

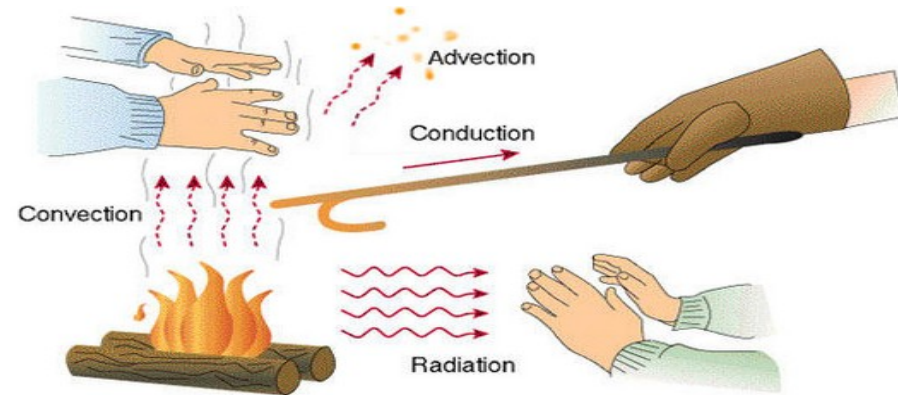
Historique des modèles du climat

1824 : Joseph **Fourier** (physicien Français) qui mettait en évidence les propriétés de la chaleur rayonnante pour expliquer l'équilibre thermique d'un volume chauffé par la lumière (*)

1884 : Loi de **Stefan- Boltzmann**

Rayonnement thermique :
un corps à une température T
émet un rayonnement
électromagnétique
(gamme infrarouge)

(*) *Fourier J., «Théorique des propriétés de la chaleur rayonnante » Annales de Chimie et de Physique, (1824)*



Historique des modèles du climat

1896 : Svante **Arrhenius** (1857-1927), chimiste suédois & prix Nobel de chimie en 1903, mettait en évidence le rôle du CO_2 (*):



Augmentation de concentration de CO_2 :

- augmentation de la chaleur absorbée (forçage radiatif)
- accroissement de la température

(*) S. Arrhenius, *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*, *Philosophical Magazine and Journal of Science* (1896).

Historique des modèles du climat

1896 : Svante **Arrhenius** (1857-1927), chimiste suédois & prix Nobel de chimie en 1903, mettait en évidence le rôle du CO_2 (*):



Augmentation de concentration de CO_2 :

- augmentation de la chaleur absorbée (forçage radiatif)
- accroissement de la température

ively? A simple calculation shows that the temperature in the arctic regions would rise about 8° to 9° C., if the carbonic acid increased to 2.5 or 3 times its present value.

(*) S. Arrhenius, *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*, *Philosophical Magazine and Journal of Science* (1896).

Historique des modèles du climat

1896 : Svante **Arrhenius** (1857-1927), chimiste suédois & prix Nobel de chimie en 1903, mettait en évidence le rôle du CO_2 (*):



Augmentation de concentration de CO_2 :

- augmentation de la chaleur absorbée (forçage radiatif)
- accroissement de la température

$$2,5 - 3 \times \text{CO}_2 \rightarrow \Delta T \approx 8 - 9^\circ \text{C}$$

(*) S. Arrhenius, *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*, *Philosophical Magazine and Journal of Science* (1896).

Historique des modèles du climat

1975 : **Manabe S.** (prix Nobel de Physique 2021) et Wetherald R., calculaient l'augmentation de température moyenne en cas d'un doublement de concentration du CO_2 dans l'atmosphère (*):



(*) S. Manabe et R. T. Wetherald, « The effect of doubling of CO_2 concentration in the atmosphere », *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1975.

Historique des modèles du climat

1975 : **Manabe S.** (prix Nobel de Physique 2021) et Wetherald R., calculaient l'augmentation de température moyenne en cas d'un doublement de concentration du CO_2 dans l'atmosphère (*):

The Effects of Doubling the CO_2 Concentration on the Climate of a General Circulation Model¹

SYUKURO MANABE AND RICHARD T. WETHERALD

$$2 \times \text{CO}_2 \rightarrow \Delta T = 2,93^\circ \text{C}$$

(*) S. Manabe et R. T. Wetherald, « The effect of doubling of CO_2 concentration in the atmosphere », *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1975.

Historique des modèles du climat

1979 : J. **Charney** & co. (1979) : Evaluation des contributions du CO₂ au forçage radiatif. Rapport de **l'Académie des Sciences Américaines** (*).

Modèle du “forçage radiatif” & sensibilité climatique

- Doublement de CO₂
- Revue des modèles existants

(*) Charney and co. « *Carbone dioxyde and climate: a scientific assesment* », (1979).

Les contributions au forçage radiatif du rapport Charney

Effet du CO₂ : effet moteur, sa contribution isolée est d'environ 1/3

$$2 \times CO_2 \rightarrow \Delta T = 1^\circ C$$

L'essentiel du réchauffement provient des contre-réactions

1) Effet de la vapeur d'eau

=> contre-réaction >0 $T \uparrow \Rightarrow H_2O \uparrow \Rightarrow T \uparrow$

2) Effet de la fonte des glaces

=> contre-réaction >0 $\alpha(\text{albédo}) \downarrow \Rightarrow T \uparrow$

3) Effet Parasol : Particules de Soufre (SO₂)

=> Contre-réaction <0 $\alpha \uparrow \Rightarrow T \downarrow$

Éruption volcanique (Pinatubo (1992)) : refroidissement de 0,5°C

=> Perturbation du cycle de l'eau (tempête/sécheresse)

=> Pluies acides et eco-toxicité



$$2 \times CO_2 \rightarrow \Delta T \approx 3^\circ C (\pm 1,5^\circ C)$$

Historique des modèles du climat

1979 : J. **Charney** & co. (1979) : Evaluation des contributions du CO₂ au forçage radiatif. Rapport de **l'Académie des Sciences Américaines** (*).

(*) Charney and co. « *Carbone dioxyde and climate: a scientific assesment* », (1979).

The conclusions of this brief but intense investigation may be comforting to scientists but disturbing to policymakers. If carbon dioxide continues to increase, the study group finds no reason to doubt that climate changes will result and no reason to believe that these changes will be negligible. The

A wait-and-see policy may mean waiting until it is too late.

Dès 1979, le rapport Charney annonçait le réchauffement climatique

Commandé par la Maison Blanche, il dressait une synthèse des connaissances sur l'impact possible des activités humaines sur le climat.

Par Stéphane Foucart https://www.lemonde.fr/planete/article/2009/12/28/des-1979-le-rapport-charney-annoncait-le-rechauffement-climatique_1285427_3244.html

Historique des modèles du climat

1824 : Joseph Fourier

1884 : Loi de Stefan- Boltzmann - rayonnement thermique

1900 : Svante Arrhenius mettait en évidence le rôle du CO_2 .

$$2,5 - 3 \times CO_2 \rightarrow \Delta T \approx 8 - 9 ^\circ C$$

1975 : Manabe & Wetherald – modèle du climat pour un doublement de la concentration de CO_2

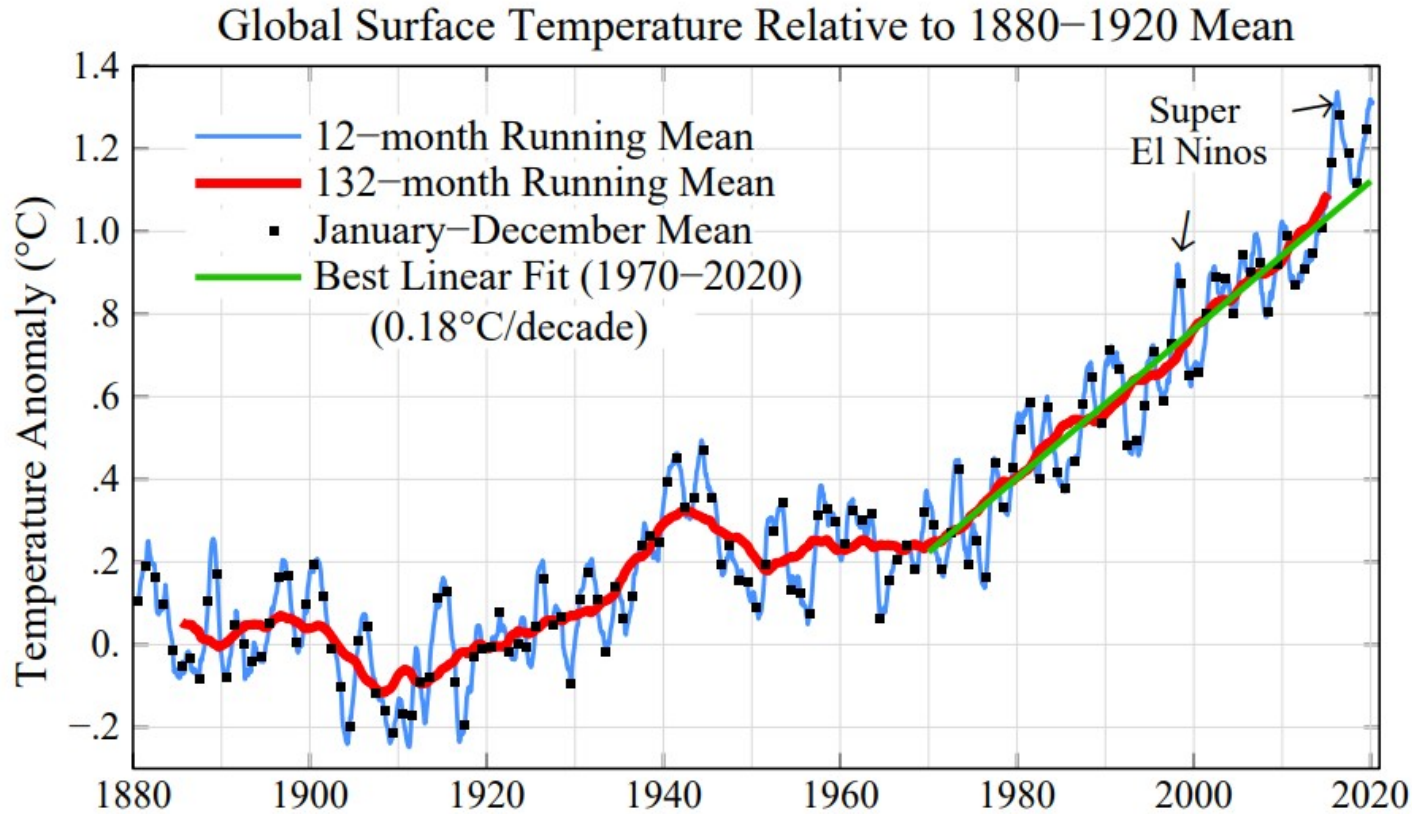
$$2 \times CO_2 \rightarrow \Delta T = 2,93 ^\circ C$$

1979 : Charney & co. (1979) : Evaluation des contributions du CO_2 au forçage radiatif. Rapport de **l'Académie des Sciences Américaines**.

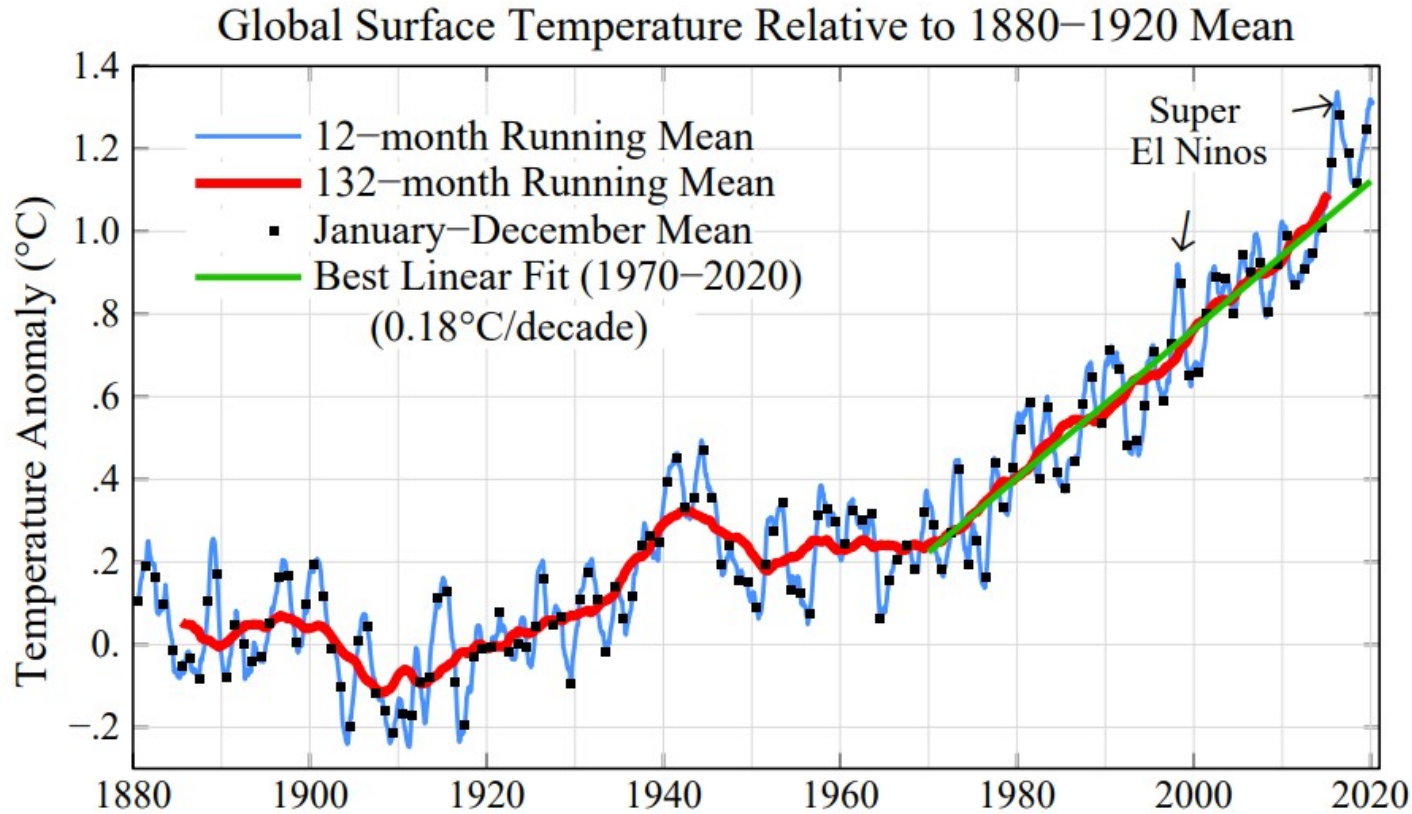
$$2 \times CO_2 \rightarrow \Delta T \approx 3 ^\circ C (\pm 1,5 ^\circ C)$$

1979: Haroun Tazieff & Claude Lorius – Archives INA

Evolution de la température moyenne à la surface de la Terre



Evolution de la température moyenne à la surface de la Terre



Historique de l'hypothèse du réchauffement climatique lié au renforcement du forçage radiatif :

1979 : Rapport Charney (Académie des Sciences Américaines)

Historique de l'hypothèse du réchauffement climatique lié au renforcement du forçage radiatif :

1979 : Rapport Charney (Académie des Sciences Américaines)

1988 : 1st IPCC report (Intergovernmental Panel on Climate Change).

=GIEC : Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

giec



Groupe d'expertise et de conseil
intergouvernemental sur l'évolution du climat

ipcc



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON
climate change



195 pays à travers le Monde en sont membres

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 **la question du changement du climat**.

Le GIEC est un lieu **d'expertise collective** visant à **synthétiser** les recherches effectuées par des scientifiques, des experts ou des organismes et **publiées dans des revues scientifiques**.

Le GIEC travaille à dégager **un consensus de la communauté scientifique**.

→ **La controverse scientifique est inhérente à la démarche scientifique du GIEC**

(*) <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/comprendre-giec>

Historique de l'hypothèse du réchauffement climatique lié au renforcement du forçage radiatif :

1979 : Rapport Charney (Académie des Sciences Américaines)

1988 : 1st IPCC report (Intergovernmental Panel on Climate Change).

=GIEC : Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

2001 : 3rd IPCC report : **Climate warming is attributed to human activities.**

Climate Change 2001: Synthesis Report

Summary for Policymakers

Question 2

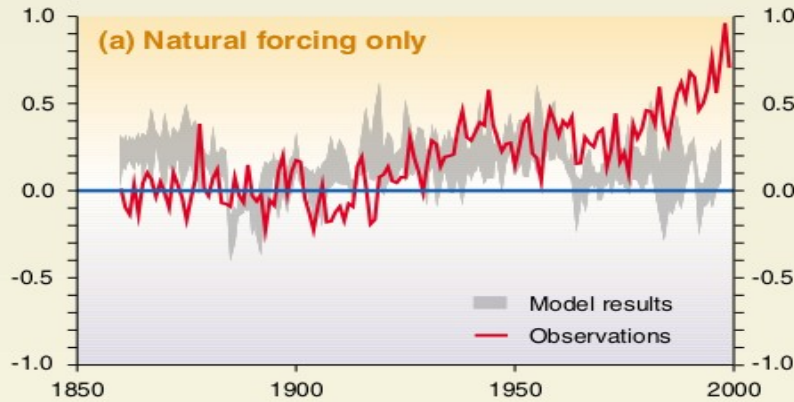
Q2

What is the evidence for, causes of, and consequences of changes in the Earth's climate since the pre-industrial era?

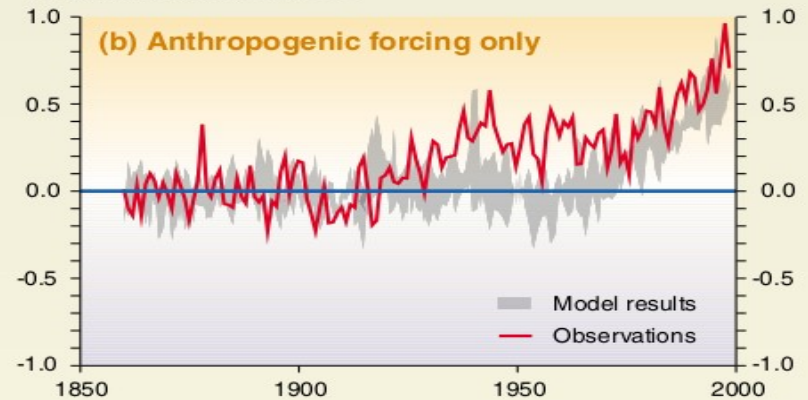
There is new and stronger evidence that most of the warming observed over the last 50 years is attributable to human activities. Detection and attribution studies

Comparison between modeled and observations of temperature rise since the year 1860

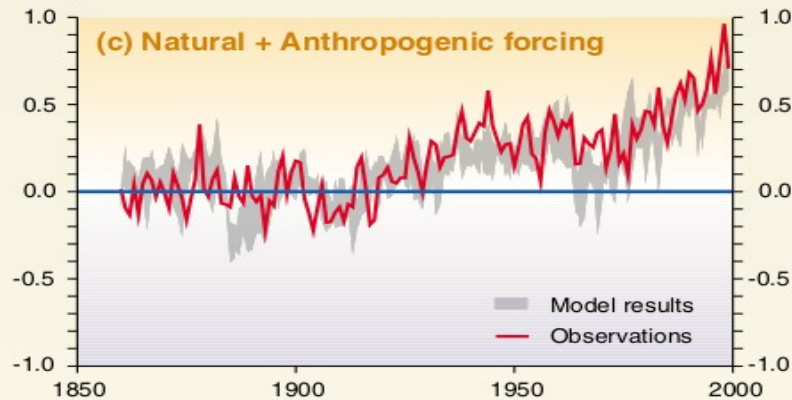
Temperature anomalies in °C



Temperature anomalies in °C



Temperature anomalies in °C



Historique de l'hypothèse du réchauffement climatique lié aux émissions de Gaz à effet de serre d'origine anthropique:

1979 : Rapport Charney (Académie des Sciences Américaines)

1988 : 1st IPCC report (Intergovernmental Panel on Climate Change).
=GIEC : Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

2001 : 3rd IPCC report : **Climate warming is attributed to human activities.**

2005 : Joint Science Academies' Statement
<http://nationalacademies.org/onpi/06072005.pdf>

2007 : 4th IPCC report

Summary for Policymakers

Tableau RiD.3. Exemples d'incidences possibles des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes associés aux changements climatiques, selon les projections visant la deuxième moitié du XXI^e siècle. L'évolution de la capacité d'adaptation n'est pas prise en compte. Les probabilités indiquées dans la deuxième colonne concernent les phénomènes recensés dans la première colonne. {Tableau 3.2}

Phénomène ^a et évolution anticipée	Probabilité de l'évolution future selon les projections établies pour le XXI ^e siècle sur la base des scénarios SRES	Principales incidences anticipées par secteur			
		Agriculture, foresterie et écosystèmes	Ressources en eau	Santé	Industrie, établissements humains et société

Périodes ou vagues de chaleur plus fréquentes sur la plupart des terres émergées	<i>Très probable</i>	Baisse des rendements dans les régions chaudes en raison du stress thermique ; risque accru d'incendies
--	----------------------	---

Fortes précipitations plus fréquentes dans la plupart des régions	<i>Très probable</i>
---	----------------------

Augmentation de l'activité cyclonique intense	<i>Probable</i>
---	-----------------

Incidence accrue des épisodes d'élévation extrême du niveau de la mer (à l'exception des tsunamis) ^c	<i>Probable</i> ^d
---	------------------------------

Historique de l'hypothèse du réchauffement climatique lié aux émissions de Gaz à effet de serre d'origine anthropique:

1979 : Rapport Charney (Académie des Sciences Américaines)

1988 : 1st IPCC report (Intergovernmental Panel on Climate Change).
=GIEC : Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

2001 : 3rd IPCC report : **Climate warming is attributed to human activities.**

2005 : Joint Science Academies' Statement
<http://nationalacademies.org/onpi/06072005.pdf>

2007 : 4th IPCC report

2015 : COP21 @ Paris => Statement $\Delta T < 1,5^{\circ}\text{C}$ - **2016** : $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$

La vague de chaleur en Inde fait plus de 2 000 morts

Les températures suffocantes perdurent depuis des semaines en Inde.

Publié le 30 mai 2015 à 13h54 - Mis à jour le 30 mai 2015 à 14h15

🕒 Lecture 1 min.

La canicule continue de faire des ravages en Inde. La vague de chaleur a fait 1 412 morts cette semaine dans le sud du pays, alors que les températures ont régulièrement dépassé les 47 °C, ont annoncé les autorités.



Périodes ou vagues de chaleur plus fréquentes sur la plupart des terres émergées

Le M

wire
A New York Times



Augmentation de l'activité cyclonique intense

Ouragan Irma : un pur produit du réchauffement climatique

par France Inter publié le 7 septembre 2017 à 12h



Les ouragans tirent leur énergie de l'océan. Si sa

température augmente, on risque d'avoir des cyclones plus

intenses

(Propos de Bernard Legras, DR météorologue au CNRS)

Alors que le premier bilan d dans plusieurs îles des Caraïbes, les météorologues tirent la sonnette d'alarme.



Le Monde **Afrique** - MOZAMBIQUE

Au Mozambique, « Beira, première ville au monde détruite par les changements climatiques »

Au-delà de la fragilité du pays, la catastrophe déclenchée par le cyclone Idai pose la question de la responsabilité de la communauté internationale.

Incidence accrue des épisodes d'élévation extrême du niveau de la mer (à l'exception des tsunamis) ^c



Historique de l'hypothèse du réchauffement climatique lié aux émissions de Gaz à effet de serre d'origine anthropique:

1979 : Rapport Charney (Académie des Sciences Américaines)

1988 : 1st IPCC report (Intergouvernemental Panel on Climate Change).
=GIEC : Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

2001 : 3rd IPCC report : **Climate warming is attributed to human activities.**

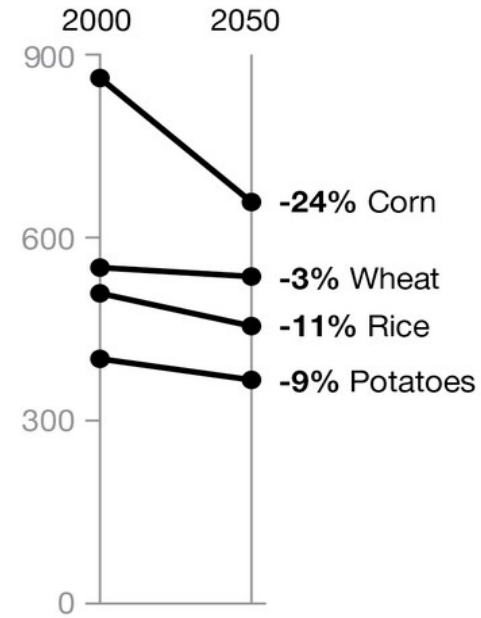
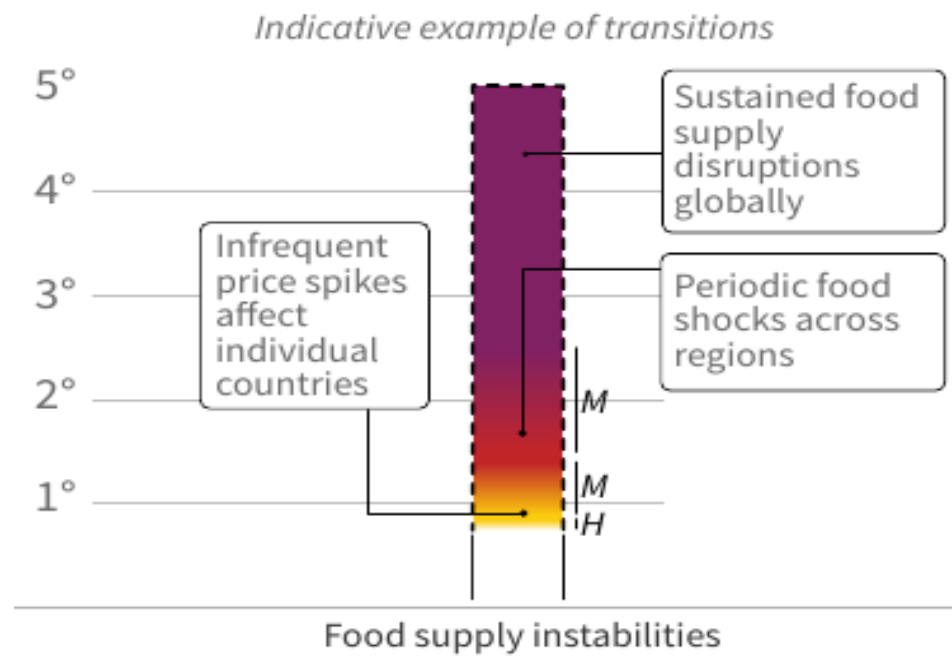
2005 : Joint Science Academies' Statement
<http://nationalacademies.org/onpi/06072005.pdf>

2007 : 4th IPCC report

2015 : COP21 @ Paris => Statement $\Delta T < 1,5^{\circ}\text{C}$ - **2016** : $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$

2018-2019 : Special IPCC report (=GIEC) => $\Delta T < 1,5^{\circ}\text{C}$

IPCC special report on Climate Change and land (August 2019).



Risque de pénuries alimentaires

Changement climatique : les "méga-feux" en Australie vont-ils devenir la norme ?

Depuis septembre 2019, l'Australie est dévastée par une série d'incendies d'une ampleur sans précédent. Des "méga-feux" qui surviennent partout dans le monde et qui font craindre le pire pour l'avenir.

Baisse des rendements dans les régions chaudes en raison du stress thermique ;
risque accru d'incendies

A firefighter in green gear is carrying a dead kangaroo by its hind legs. The kangaroo is brown and appears to be dead.

1 milliard
d'animaux tués

Au moins 27 morts, un milliard d'animaux tués et plus de 10 millions d'hectares partis en fumée, les "méga-feux" en Australie vont-ils devenir la norme ? Un scénario probable pour le professeur Richard Betts, codirecteur d'une étude sur l'impact du changement climatique sur les incendies. *"Les températures en Australie sont extrêmes, mais c'est ce à quoi on s'attend à l'échelle mondiale, avec une hausse des températures de presque 3°C. Cela nous montre à quoi le futur pourrait ressembler"*, a-t-il expliqué lors d'une conférence à Londres le 13 janvier.

"Ça ne fait qu'empirer"

Partout, la planète s'embrase, en Sibérie, en Californie, ou en Amazonie. Des incendies plus violents, plus fréquents, avec le changement climatique, la saison des incendies s'allonge. Elle a déjà augmenté en moyenne de

Historique de l'hypothèse du réchauffement climatique lié aux émissions de Gaz à effet de serre d'origine anthropique:

1979 : Rapport Charney (Académie des Sciences Américaines)

1988 : 1st IPCC report (Intergouvernemental Panel on Climate Change).
=GIEC : Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

2001 : 3rd IPCC report : **Climate warming is attributed to human activities.**

2005 : Joint Science Academies' Statement
<http://nationalacademies.org/onpi/06072005.pdf>

2007 : 4th IPCC report

2015 : COP21 @ Paris => Statement $\Delta T < 1,5^{\circ}\text{C}$ - **2016** : $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$

2018-2019 : Special IPCC report (=GIEC) => $\Delta T < 1,5^{\circ}\text{C}$

2021 (August 9th) ...

Dernier rapport
du GIEC

Messi au PSG



Historique de l'hypothèse du réchauffement climatique lié aux émissions de Gaz à effet de serre d'origine anthropique:

1979 : Rapport Charney (Académie des Sciences Américaines)

1988 : 1st IPCC report (Intergovernmental Panel on Climate Change).
=GIEC : Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

2001 : 3rd IPCC report : **Climate warming is attributed to human activities.**

2005 : Joint Science Academies' Statement
<http://nationalacademies.org/onpi/06072005.pdf>

2007 : 4th IPCC report

2015 : COP21 @ Paris => Statement $\Delta T < 1,5^{\circ}\text{C}$ - **2016** : $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$

2018-2019 : Special IPCC report (=GIEC) => $\Delta T < 1,5^{\circ}\text{C}$

2021 (August 9th) : 6ème rapport du GIEC

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

Climate Change 2021

The Physical Science Basis

Summary for Policymakers

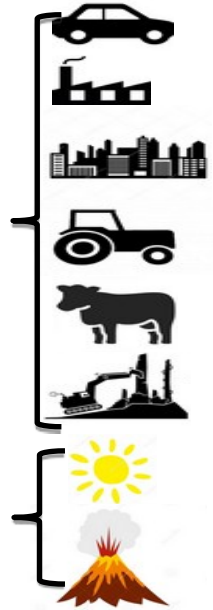
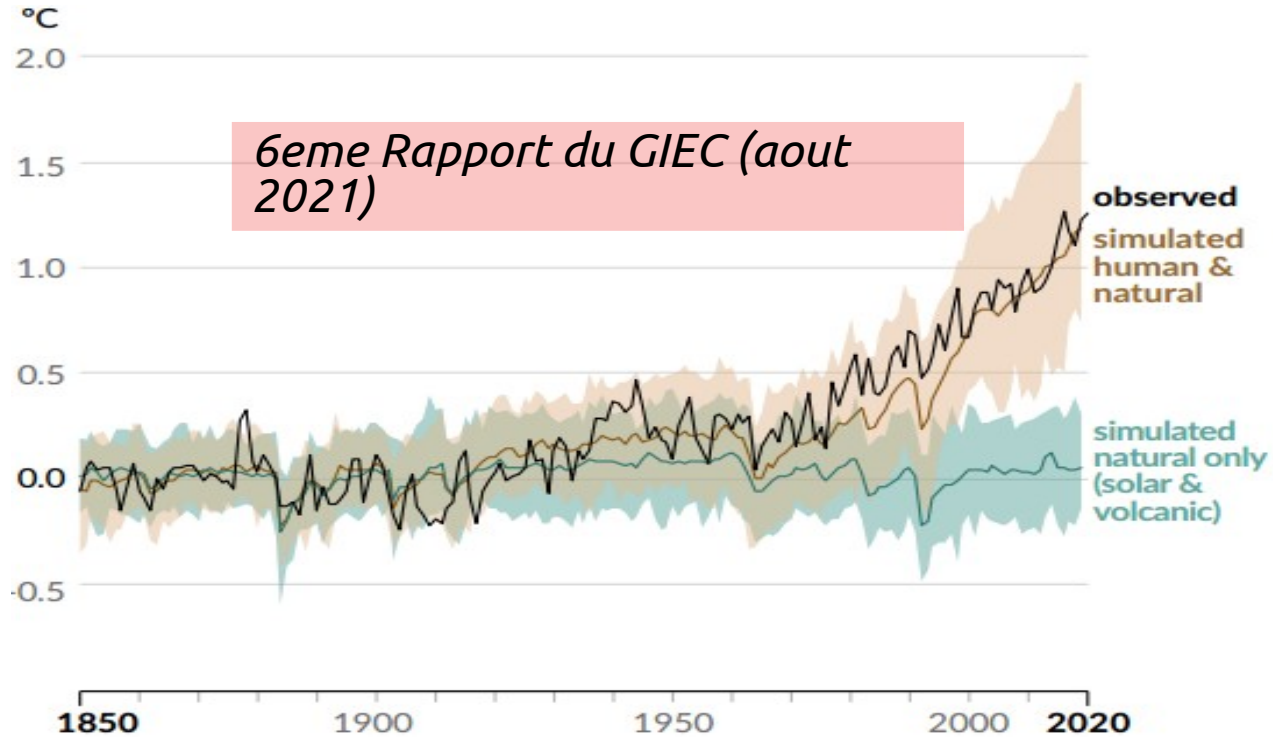
Climate Change 2021

The Physical Science Basis

A.1 Il est sans équivoque que l'influence humaine a réchauffé l'atmosphère, l'océan et la terre. Des changements rapides se sont produits dans l'atmosphère, l'océan, la cryosphère et la biosphère.

A.1.1 Les augmentations observées des concentrations de gaz à effet de serre (GES) depuis environ 1750 sont sans équivoque causées par les activités humaines.

Réchauffement global par rapport à 1850-1879 (°C)



Climate Change 2021

The Physical Science Basis

A.4.4 Le coefficient de sensibilité climatique à l'équilibre est une quantité importante utilisée pour estimer la façon dont le climat réagit au forçage radiatif. Le coefficient est évalué à 3°C avec une plage probable de $2,5^{\circ}\text{C}$ à 4°C (degré de confiance élevé).

$$2 \times \text{CO}_2 \rightarrow \Delta T \approx 3^{\circ}\text{C} (-0,5^{\circ}\text{C} / +1^{\circ}\text{C})$$

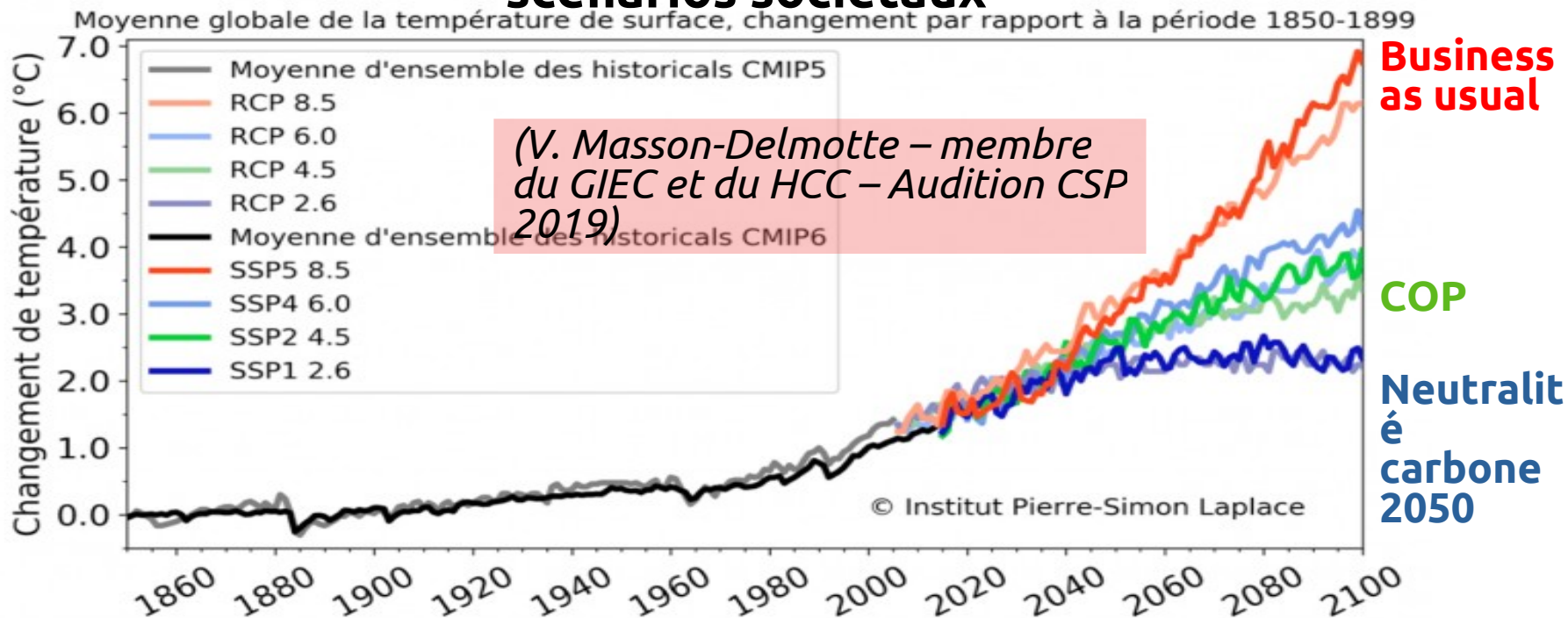
Climate Change 2021

A. 3.5 Il est probable que l'influence humaine a accru les chances d'évènements extrêmes depuis 1950. Cela inclut les vagues de chaleurs et de sécheresse, les feux et les inondations

Summary for Policymakers

B.2,4 Il est très probable que, dans un climat plus chaud, les précipitations abondantes s'intensifieront et deviendront plus fréquentes dans la plupart des régions. Les cyclones tropicaux intenses (catégories 4 et 5) et les pics de vitesse des vents sont amenés à augmenter

Projections des modélisations du climat selon différents scénarios sociétaux

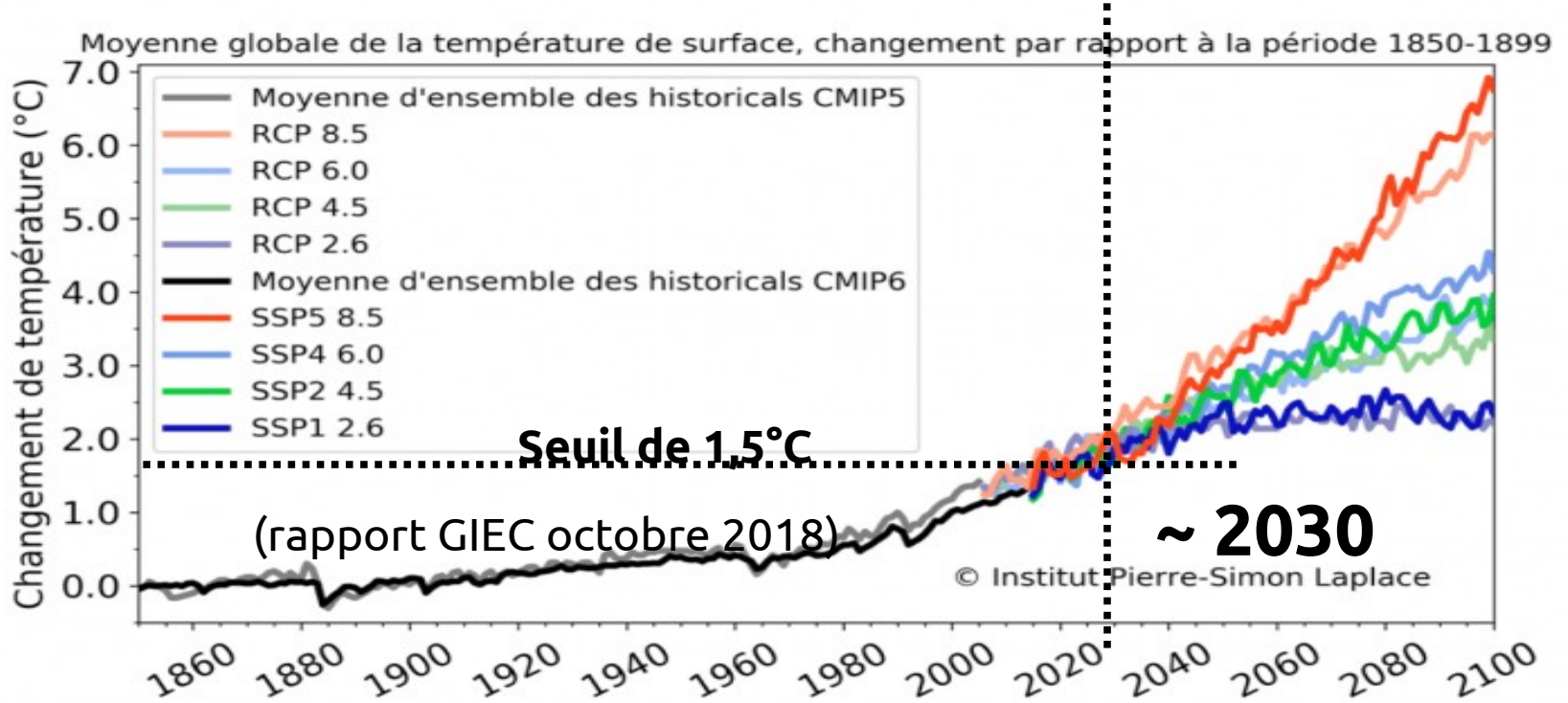


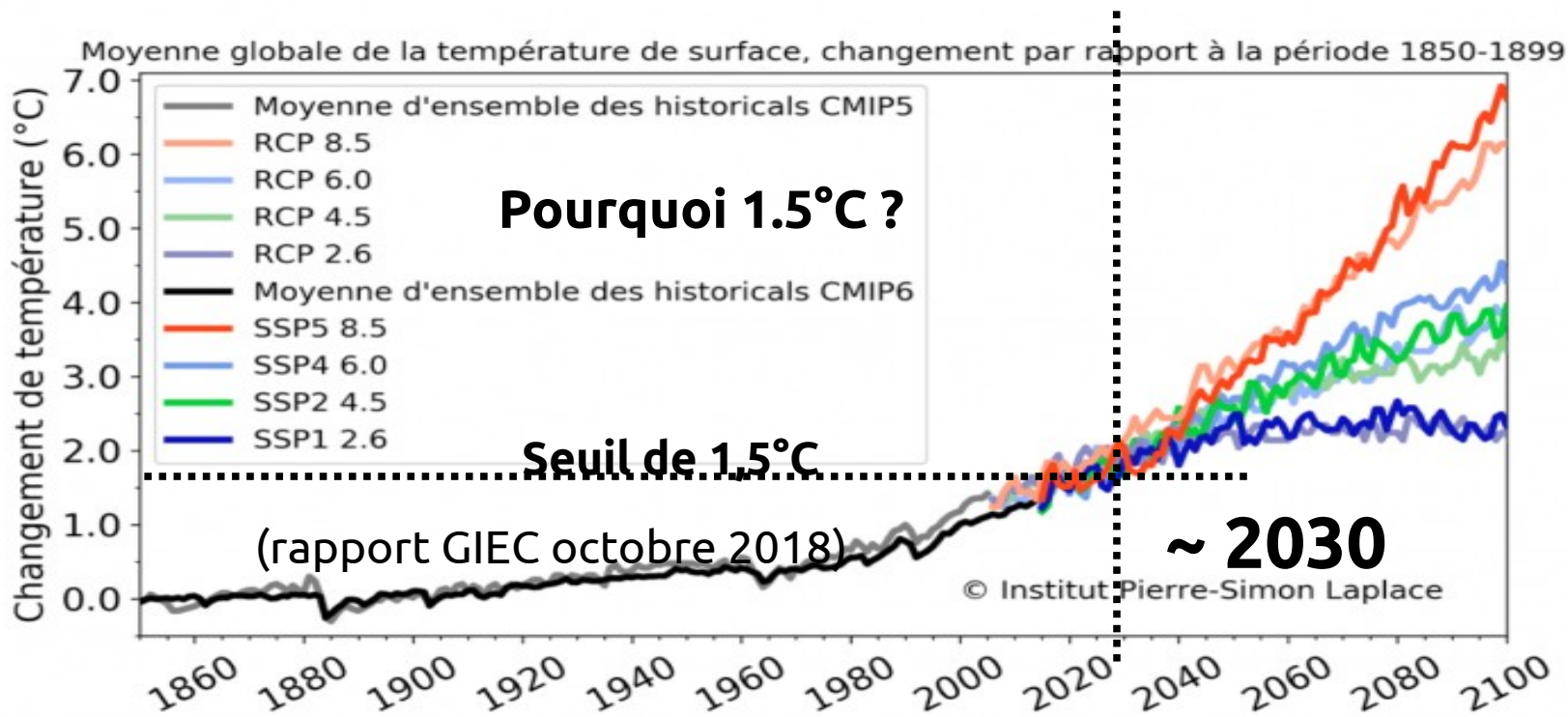
Pour contenir le réchauffement climatique en deçà de 1,5°C:
Les émissions mondiales de gaz à effet de serre devraient commencer à décroître « bien avant 2030 », en baissant d'ici-là de 40 % par rapport à leur niveau de 2010 (*).



Seuil de 1,5°C !

() d'après rapport spécial du GIEC (2018).*





Climate Change 2021

The Physical Science Basis

B.4.3 L'ampleur des rétroactions entre le changement climatique et le cycle du carbone devient plus grande mais aussi plus incertain dans les scénarios d'émissions élevées de CO₂ (degré de confiance très élevé (...))

Des réponses supplémentaires des écosystèmes au réchauffement ne sont pas encore complètement inclus dans les modèles climatiques, tels que les flux de CO₂ et de CH₄ des zones humides, le dégel du pergélisol et les feux de forêt, qui augmenteraient encore les concentrations de ces gaz dans l'atmosphère (degré de confiance élevé).

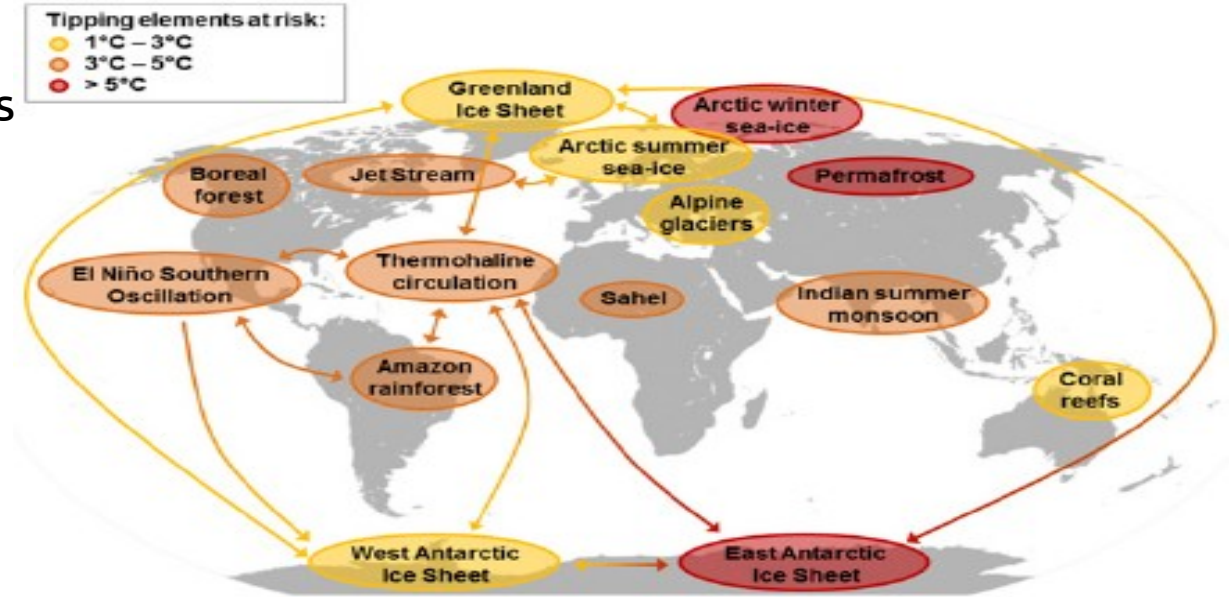
Trajectories of the Earth System in the Anthropocene

Will Steffen^{a,b,1}, Johan Rockström^a, Katherine Richardson^c, Timothy M. Lenton^d, Carl Folke^{a,e}, Diana Liverman^f, Colin P. Summerhayes^g, Anthony D. Barnosky^h, Sarah E. Cornellⁱ, Michel Crucifix^{j,i}, Jonathan F. Donges^{a,k}, Ingo Fetzer^a, Steven J. Lade^{a,b}, Marten Scheffer^l, Ricarda Winkelmann^{k,m}, and Hans Joachim Schellnhuber^{a,k,m,1}

Edited by William C. Clark, Harvard University, Cambridge, MA, and approved July 6, 2018 (received for review June 19, 2018)

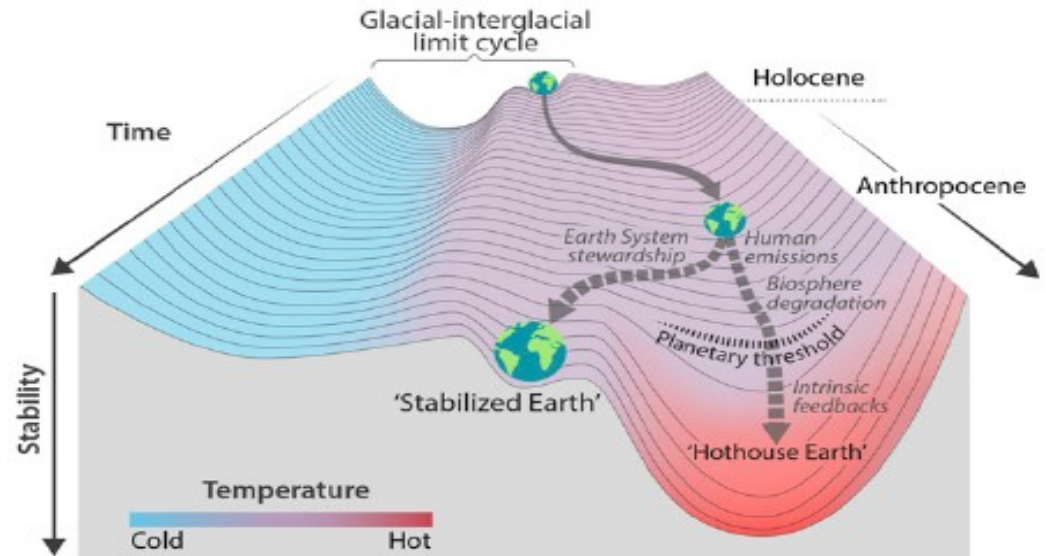
« Le réchauffement pourrait **activer des éléments déclencheurs**, qui augmenteraient eux-même la température dans un **effet domino** conduisant la Terre vers des températures toujours plus élevées. »

- Disparitions des couvertures glaciaires (arctique, Groenland,...)
- Déperissement des forêts amazoniennes et boréales,
- Capacité des océans et des sols à absorber le CO₂
- Dégel du pergélisol (permafrost)



Seuil ~ 2°C: Déclenchement de réactions négatives et cascades d'évènements

- Réchauffement climatique hors de contrôle => piloté par les contre-réactions.
- Basculement dans un scénario de « **Terre chaude** » qui compromet (dixit les auteurs de l'étude) :



ultimately, the habitability of the planet for humans.

(*) d'après Steffen & al. (2018)

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

Climate Change 2021

The Physical Science Basis

C.3.2 (...) Des réponses brusques et des points de bascule du climat, tels que la fonte fortement accrue de la calotte glaciaire de l'Antarctique et le dépérissement des forêts, ne peuvent être exclus (confiance élevée).

Partie 2 : Leviers d'action

Le bilan carbone

Mobilité

Habitat

Agriculture & Alimentation

Déchets

Le kgCO₂e : quésako ?

Unité de la comptabilité carbone: **kgCO₂e**...

kg + CO₂ + « e/eq » (=équivalent)

Le CO₂ = 1 atome de Carbone + 2 atomes d'Oxygène

Ordre de grandeur **kgCO₂**

$1\text{ kg}(\text{Bois}) \sim 2\text{ kg}(\text{CO}_2)$

La méthode du bilan carbone

Unité de la comptabilité carbone: **kgCO₂e...**

Pour rendre possible la comparaison de l'impact de l'émission de ces gaz sur le climat, le GIEC fournit à travers ses rapports un facteur de caractérisation de ces gaz : le **Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)**.
Ce PRG est établi sur une durée caractéristique (typ. 100 ans).

	$\delta_{2020-1880}$ (ppm)	Durée de vie	PRG à 100 ans	Impact
Dioxyde de carbone (CO ₂)	~130ppm	100 ans	x1	~76 %
Méthane (CH ₄)	~1,1ppm	12 ans	x30	~18 %
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	~0,055ppm	130 ans	x265	~8 %
Vapeur d'eau (H ₂ O)		9 jours	N.A.	

La méthode du bilan carbone

Unité de la comptabilité carbone: **kgCO₂e...**

L'émission de 1g d'un gaz à effet ayant un PRG de X est équivalent à l'émission de X g de CO₂.

$$M_{CO_2eq}(g) = \sum PRG_{gaz} \times M_{gaz}(g)$$

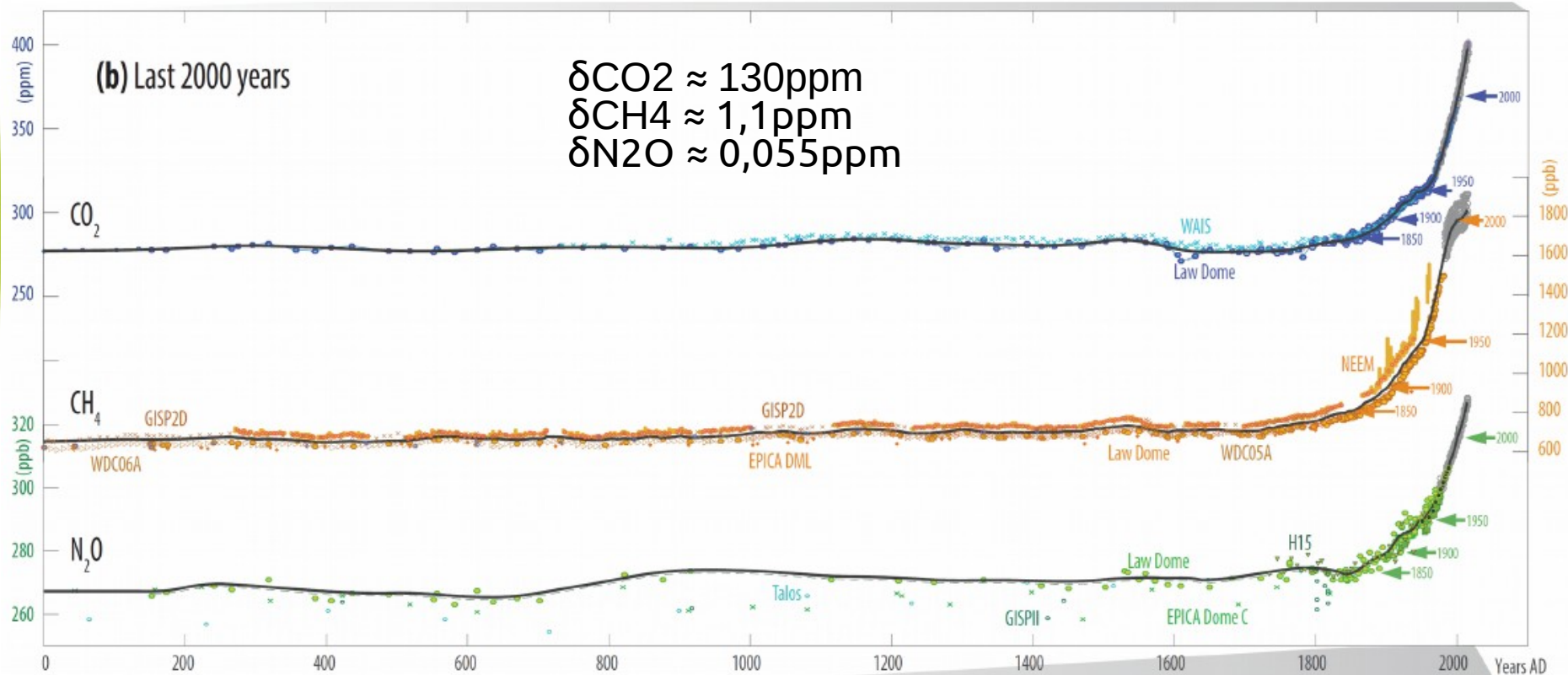
=> kgCO₂e

Illustration:

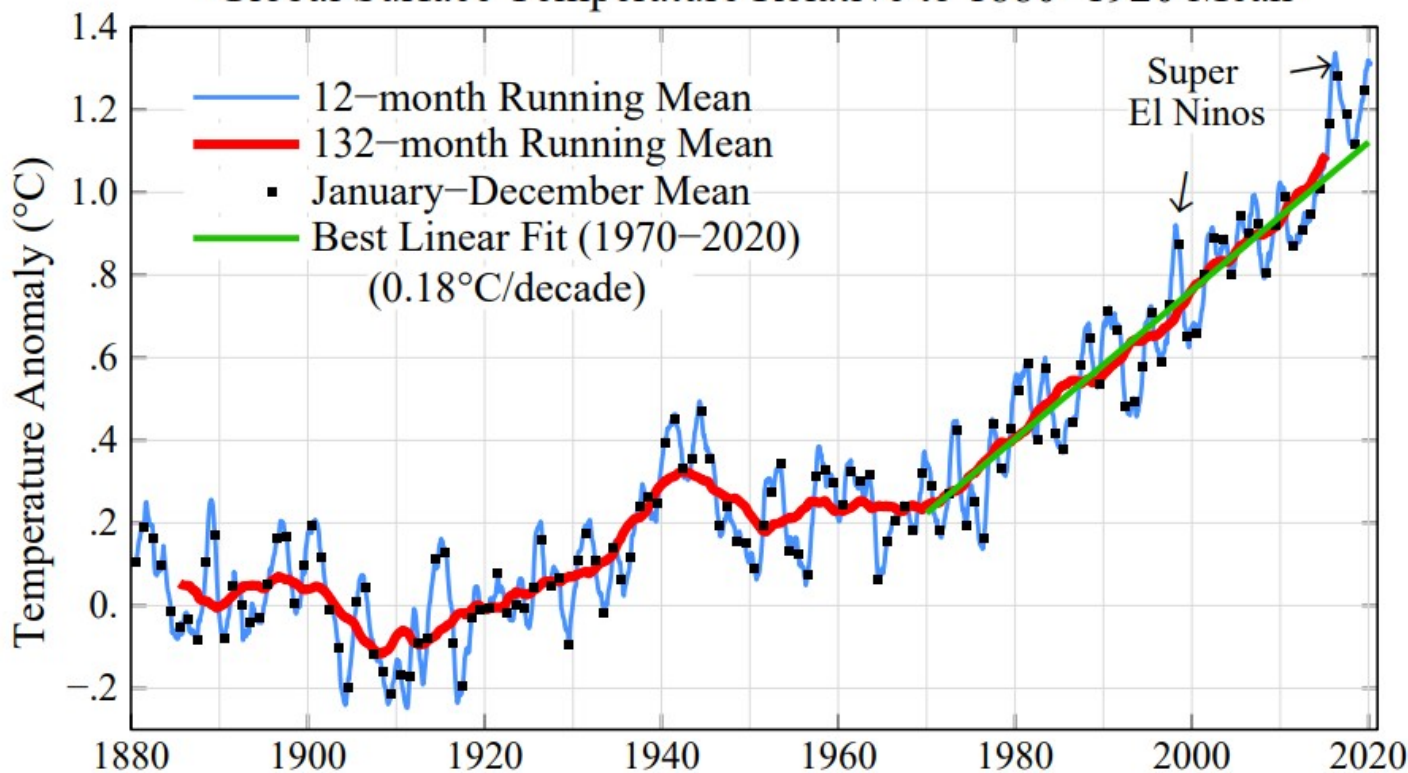
1g de méthane (CH₄) => 30 gCO₂eq

1g de protoxyde d'azote (N₂O) => 265 gCO₂eq

Evolution des concentrations de gaz à effet de serre



Global Surface Temperature Relative to 1880–1920 Mean



https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9chauffement_climatique
 => http://berkeleyearth.lbl.gov/auto/Global/Land_and_Ocean_summary.txt

D'où vient le Dioxyde de Carbone (ou CO₂) ?

Cycle naturel

**Combustion du bois =
cycle court du carbone !**



Surplus d'origine anthropique

Combustion des énergies fossiles :



Gaz



Charbon



pétrole



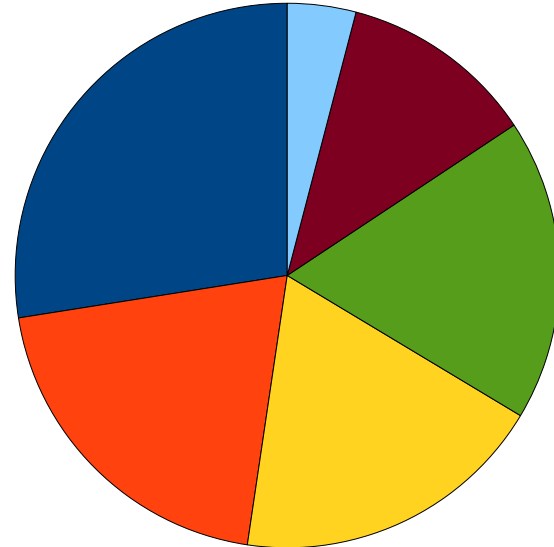
D'où vient le Dioxyde de Carbone (ou CO₂) ?

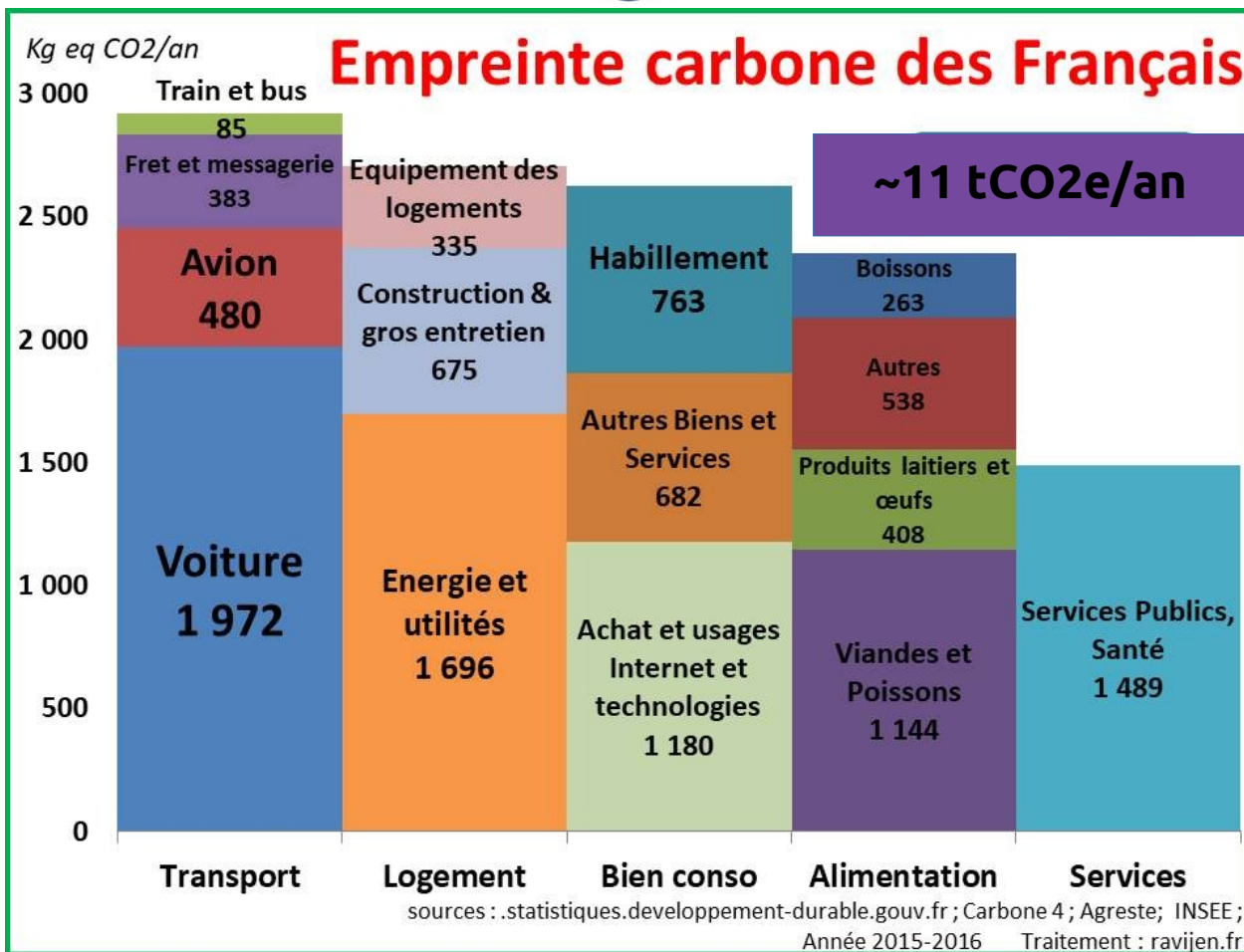
Combustion des énergies fossiles :



Bilan des Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) en France (d'après le CGDD) :

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)





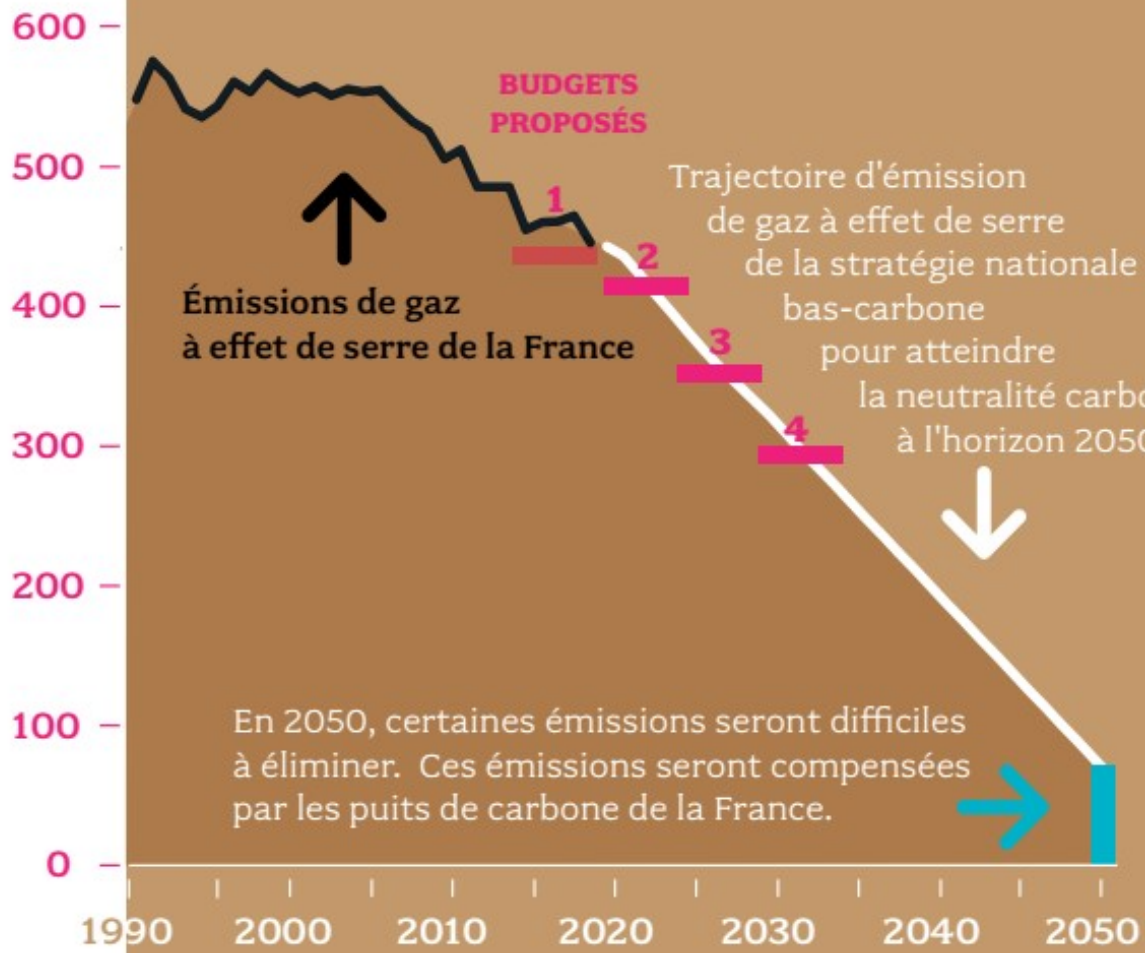
Objectif National de réduction des GES

Pour maintenir le réchauffement
climatique en deçà de 1,5°C:

Réduire de 40 % d'ici 2030

Neutralité carbone en 2050

MILLIONS DE TONNES DE CO₂ ÉQUIVALENT PAR AN



La méthode du bilan carbone

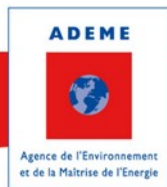
Chaque secteur d'activité peut (devrait) faire son bilan carbone (**BC**).

L'ADEME a produit un document de référence : la **Base Carbone** qui permet de connaître le facteur d'émission (**FE**) de chaque activité (**FLUX**).

$$BC(kgCO_{2e}) = FE(kgCO_{2e}/unité) \times Flux(unité)$$

Base Carbone

<https://www.basecarbone.fr/>



Documentation des facteurs d'émissions
de la Base Carbone ®



La méthode du bilan carbone

Chaque secteur d'activité peut (devrait) faire son bilan carbone (**BC**).

L'ADEME a produit un document de référence : la **Base Carbone** qui permet de connaître le facteur d'émission (**FE**) de chaque activité (**FLUX**).

$$BC(kgCO_{2e}) = FE(kgCO_{2e}/unité) \times Flux(unité)$$

Illustration :

Unité = D (distance en km)
FE = 0,2 kgCO_{2e}/km (hors fabrication)

A.N. D = 10 000 kms/an

$$BC = 0,2(kgCO_{2e}/km) \times D(km/an)$$

$$BC = 2\,000\,kgCO_{2e}/an$$

Base Carbone

<https://www.basecarbone.fr/>



Documentation des facteurs d'émissions
de la Base Carbone ®

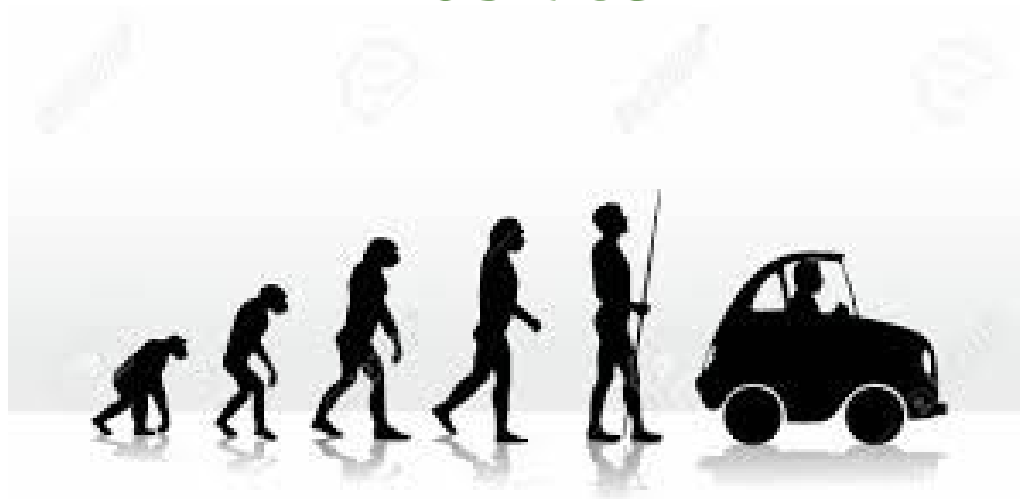
La méthode du bilan carbone

Unité de la comptabilité carbone: **kgCO₂e...**

Gaz à effet de serre d'origine anthropique (i.e. liés aux activités humaines)

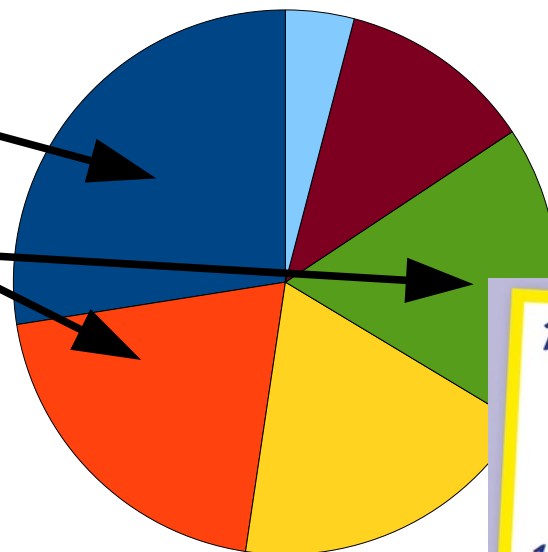
- Dioxyde de Carbone (CO₂)
- Méthane (CH₄)
- Protoxyde d'azote (N₂O)

Mobilité



Émissions de Gaz à Effet de Serre (d'après le CGDD) :

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



=> **Sac à dos écologique**



Mobilités



5km/jour en vélo 1 an

0.0 kgCO₂eq



Aller retour Paris - Nice
en TGV

8.0 kgCO₂eq



Aller retour Paris - Nice
en voiture

160.0 kgCO₂eq



30km/jour en voiture
électrique 1 an

770.0 kgCO₂eq



30km/jour en voiture 1 an

2000.0 kgCO₂eq



Aller retour Paris - New
York en avion

2600.0 kgCO₂eq



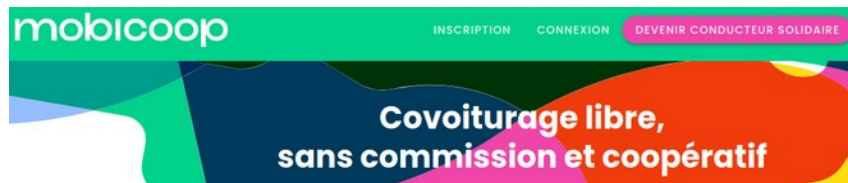
AVENIR CLIMATIQUE
PARLONS CLIMAT AVEC ÉNERGIE !



ÉduClimat

1) Se déplacer autrement : vélo, VAE, transports en commun

2) Covoiturer



3) Réduire le parc automobile : une auto est utilisée 5 % du temps => auto-partage

4) Rapprocher les lieux d'habitation et de travail
Par ex : télétravailler (à la maison, espace de co-working)

5) Opter pour un véhicule « moins » polluant :
moins gros &/ou électrique



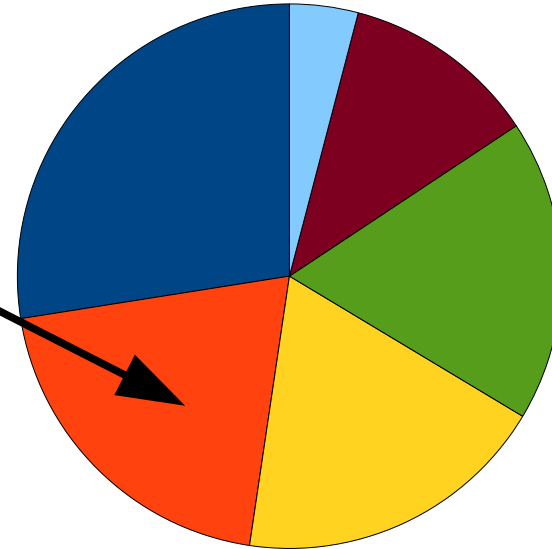


Habitat

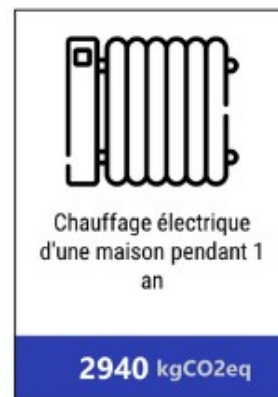


Émissions de Gaz à Effet de Serre (d'après le CGDD) :

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



Habitat : chauffage domestique



AVENIR CLIMATIQUE
PARLONS CLIMAT AVEC ÉNERGIE !



ÉduClimat

Bâtiment : la revanche de Nif-Nif ;)



	Béton	Bois
Emission (kgCO _{2eq} /m ² de construction)	+435	+240
Séquestration de Carbone (par tonne de matériau)	N.A.	2000 kgCO _{2eq}
Recyclabilité	-	+
Matières premières renouvelables	Exploitation sable	Oui

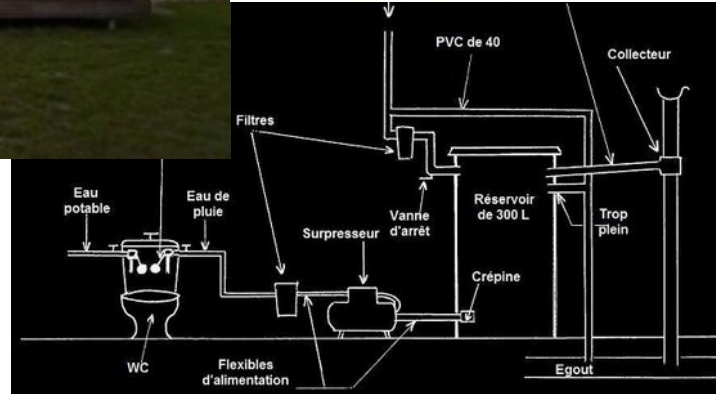
(D'après rapport de l'institut Carbone4 & Base Carbone de l'ADEME)

Habitat : maisons bioclimatiques & LowTech (*)



www.cour-et-jardin.fr

(*) d'après rapports de projets 2021
Licence Sciences et Technologies -
Parcours Sciences dans le premier
degré et médiation scientifique
(SPDMS)

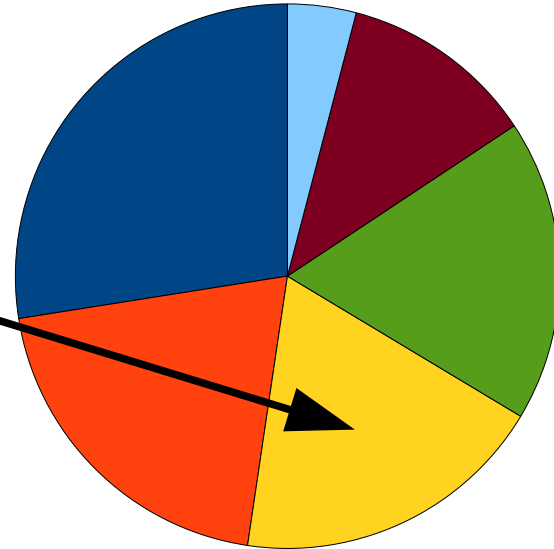


Agriculture/Alimentation



Émissions de Gaz à Effet de Serre (d'après le CGDD) :

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



Production agricole (engrais, mécanisation, chauffage de serre, élevage, etc.)

Consommation de l'usine de transformation agro-alimentaire

Par ex. des haricots verts achetés auprès d'un producteur « local » émettront bcp moins qu'une conserve de haricots verts

D'après l'ADEME, un repas pris en restauration collective émet :

=2,5kgCO₂e/repas



≈



1L essence (*)

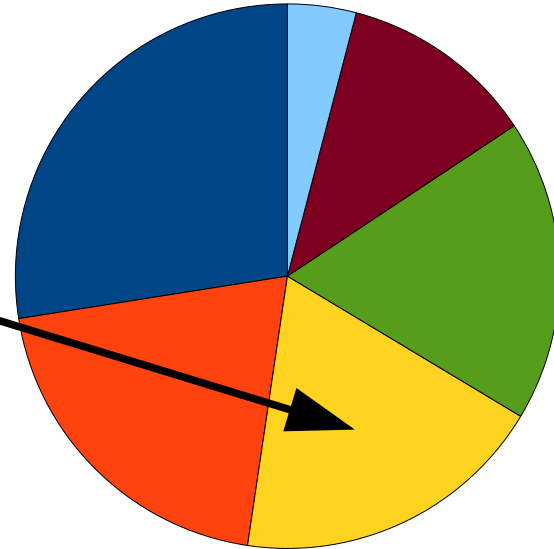
≈



≈ 10 km en voiture (*)

Émissions de Gaz à Effet de Serre (d'après le CGDD) :

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Énergie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



L'agroécologie : une agriculture inspirée de la nature !

Paillage « naturel » des sols

Agroforesterie et forêt-maraichage

Rotation des cultures & engrais vert

Associations d'espèces



- ✓ **Amélioration de la fertilité des sols**
- ✓ **Réduction des intrants...et des émissions de N_2O**
- ✓ **Séquestration de CO_2 dans les sols (4%)**



Végétaliser son alimentation

Repas Moyen : $FE_{\text{RepasBoeuf}} = 2,1 \text{ kgCO}_2\text{e}$

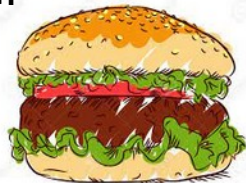
Repas Moyen (boeuf) : $FE_{\text{RepasBoeuf}} = 6,39 \text{ kgCO}_2\text{e}$

Repas Moyen (poulet) : $FE_{\text{RepasPoulet}} = 1,35 \text{ kgCO}_2\text{e}$

Repas Moyen (végétarien) : $FE_{\text{RepasVégétarien}} = 0,51 \text{ kgCO}_2\text{e}$

$$\rightarrow BC_{\text{REPAS}} = FE_{\text{REPAS}} \times 365 \times 2,5 = 1916 \text{ kgCO}_2\text{e/an/hab}$$

2,5 repas par jour



= 10 000 kms en voiture



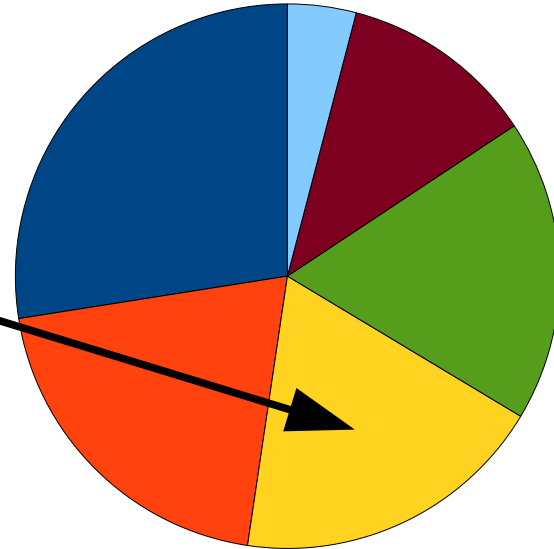
Solution flexitarien : 70 % végétarien, 30 % carnés

(25 % porc ou poulet et 5% boeuf)

$$\rightarrow BC_{\text{Solution Flexitarien}} = 960 \text{ kgCO}_2\text{e/an/hab}$$

Alimentation

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



SOLUTIONS : Consommer **bio, flexitarien...**

Consommer de saison

Tomate de saison, crue

légumes

0,51kgCO₂e/kg

Score
environnemental

0.07

par kg de produit

+ Infos

Tomate hors saison, crue

légumes

1,88kgCO₂e/kg

Score
environnemental

0.2

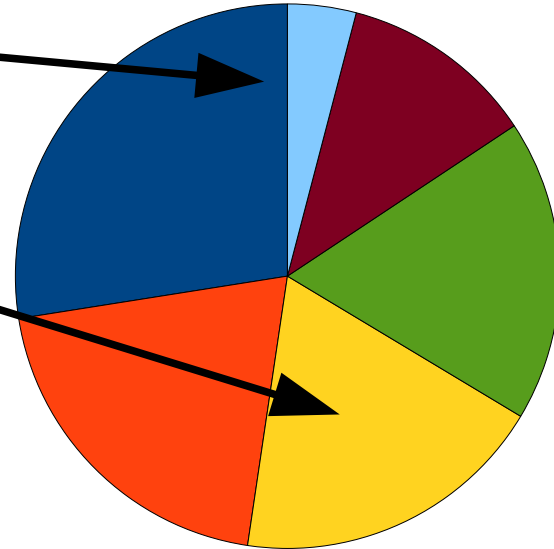
par kg de produit

+ Infos

Consommer des fruits et légumes « hors saison » peut avoir ~3-4 x plus d'impact sur le changement climatique

Alimentation

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



SOLUTIONS : Consommer bio, flexitarien, **local & de saison...**

Composter et réduire le gaspillage alimentaire

Gaspillage alimentaire & enfouissement des déchets (3% des émissions de GES) :

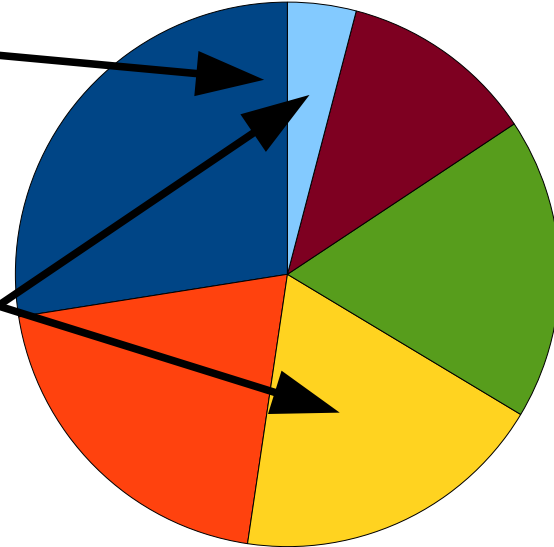
$$\rightarrow BC_{\text{Enfouissement} + \text{Gaspi}} = 158 \text{ kgCO}_2 \text{ e/ an/ hab}$$

Levier d'action: réduire le **gaspillage & **composter** les épluchures et restes de repas !**



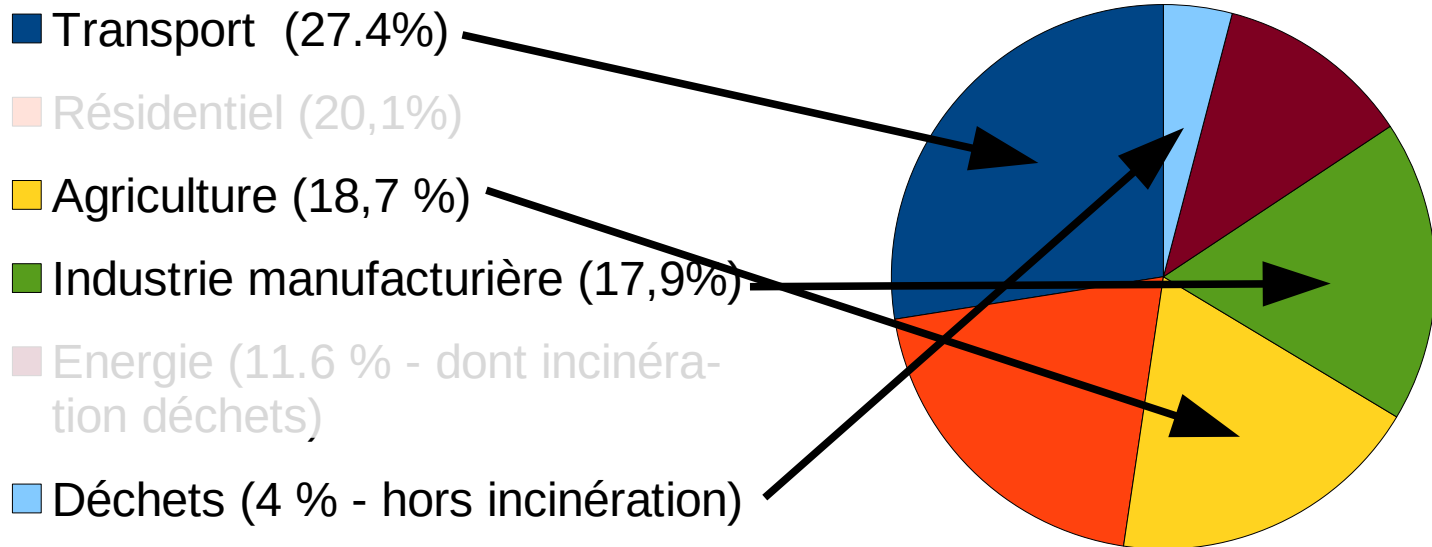
Alimentation

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



SOLUTIONS : Consommer bio, flexitarien, local & de saison...
réduire le gaspillage alimentaire & composter ses biodéchets

Alimentation



SOLUTIONS : Consommer **bio, flexitarien, local & de saison...**
réduire le gaspillage alimentaire & **composter ses biodéchets**

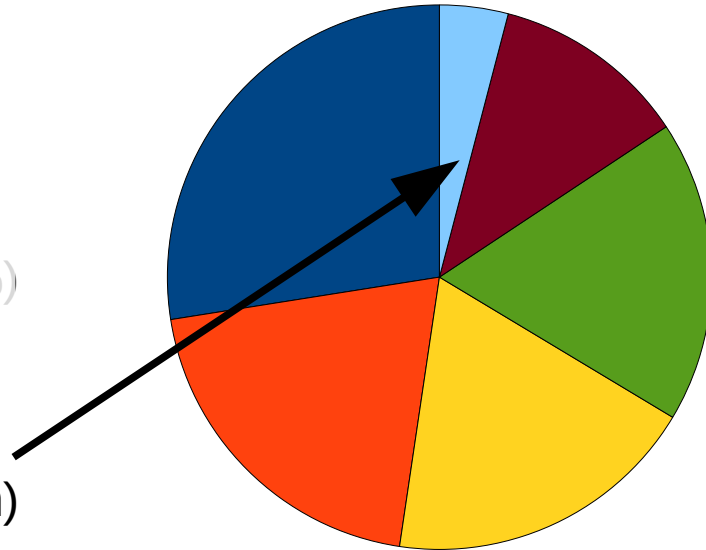
Faire soi-même ses repas !!!

Déchets

Déchets

Émissions de Gaz à Effet de Serre (d'après le CGDD) :

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



Acheter local, de saison & **en vrac**
(& composter ;)



Boire de l'eau du robinet : c'est cool (de source)

MATCH

Eau du robinet
La victoire écrasante

vs **Eau en bouteille**

1 PRIX

65 fois moins chère !



2 QUALITÉ



Certains eaux minérales
ne sont pas recommandées
pour une consommation
quotidienne.

3 ENVIRONNEMENT

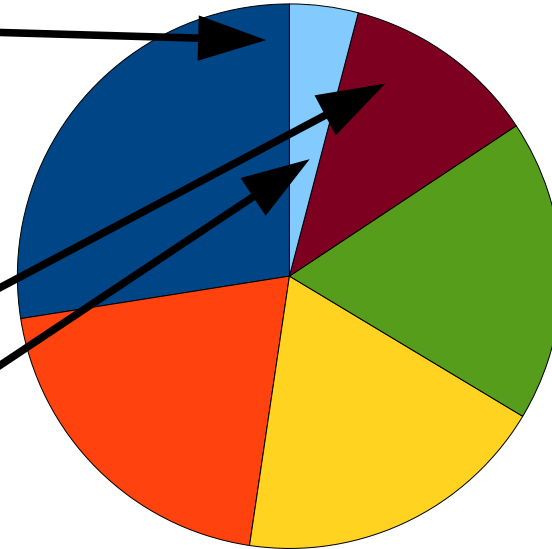
Effet de serre :
360 fois plus

+ de 150 000 tonnes
d'emballages par an



Déchets

- Transport (27.4%)
- Résidentiel (20,1%)
- Agriculture (18,7 %)
- Industrie manufacturière (17,9%)
- Energie (11.6 % - dont incinération déchets)
- Déchets (4 % - hors incinération)



$$M_{\text{Textiles}} = 14 \text{ kg/an/hab}$$

$$\overline{FE}_{\text{Textiles}} = 56 \text{ kgCO}_2 \text{eq/kg}$$

$$\rightarrow BC_{\text{Textiles}} = 784 \text{ kgCO}_2 \text{eq/hab/an}$$



=3500kms en
voiture /an /hab



Une appli pour **scanner l'étiquette de vos vêtements** <https://www.clear-fashion.com/>

Consommer autrement

Acheter durable & d'occasion (le bon coin, Vide-greniers, etc...)

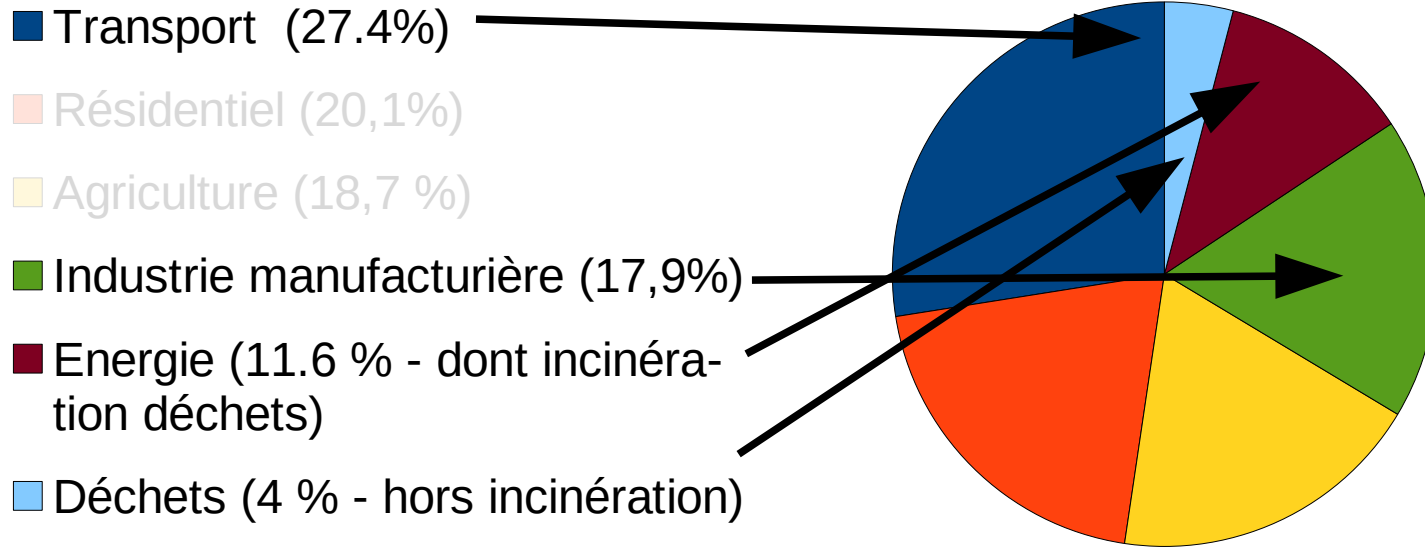
Réparer plutôt que jeter

Mutualiser plutôt que posséder

Coller un StopPub sur sa boîte aux lettres



Déchets



Conclusion

Valérie Masson-Delmotte : **“Chaque 1/10^{ème} de degré compte”**.

Le réchauffement climatique est **déjà perceptible....**

Changer nos modes de vie pour **“protéger nos aînés”**



Remerciements à F. Dulac (Chercheur au LSCE) pour sa relecture complète et critique de cette présentation et ses conseils

Back-up slides

Initiatives dans l'enseignement supérieur:

CNAM :

<https://formation.cnam.fr/rechercher-par-discipline/integrer-les-risques-et-enjeux-du-changement-climatique-dans-la-pratique-de-l-ingenieur-1090605.kjsp>

INSA :

<https://www.groupe-insa.fr/nos-actualites/shift-project-groupe-insa-l-ancient-climatsup-insa>

Université de Paris-Saclay:

<https://ecampus.paris-saclay.fr/enrol/index.php?id=20067>

Université de Grenoble:

<https://disrupt-campus.univ-grenoble-alpes.fr/nos-formations/green-university/green-university-programme-de-la-formation-787661.htm?RH=1551877459017>

Pour aller + loin

→ Ressources pédagogiques :

<https://view.genial.ly/5ead92f432376f0d7de44250/interactive-content-la-big-conf-lycee>

→ Le bilan carbone du secteur aérien

<https://bonpote.com/pourquoi-arreter-lavion-ne-devrait-plus-etre-un-debat/?fbclid=IwAR36Jju-GJdLAdkFwWbUQPQIOOHTQnFwlzY7hhW4kowlqeGboFGFwzirW9c>

→ L'impact carbone des banques:

<http://financeresponsable.org/entreprise.php>

→ Quels outils numériques ? Bilan carbone des ordinateurs

<http://la-fabrique-du-libre.org/spip.php?article261>

→ Faire son propre bilan Carbone en ligne

<https://avenirclimatique.org/micmac/simulationCarbone.php>