

GIEC, climat et énergie

François-Marie
Bréon



Chercheur au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CEA-CNRS-UVSQ)



Auteur du 5^{ème} rapport du GIEC (2014) mais pas du 6^{ème} (2021)



Président de l'AFIS depuis 2020



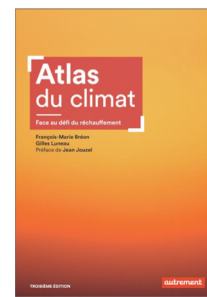
Membre du CA des *Voix du Nucléaire*



Actif sur Tweeter : @fmbreon



Auteur de 2 livres "grand public"



Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Intergovernmental Panel on Climate Change)

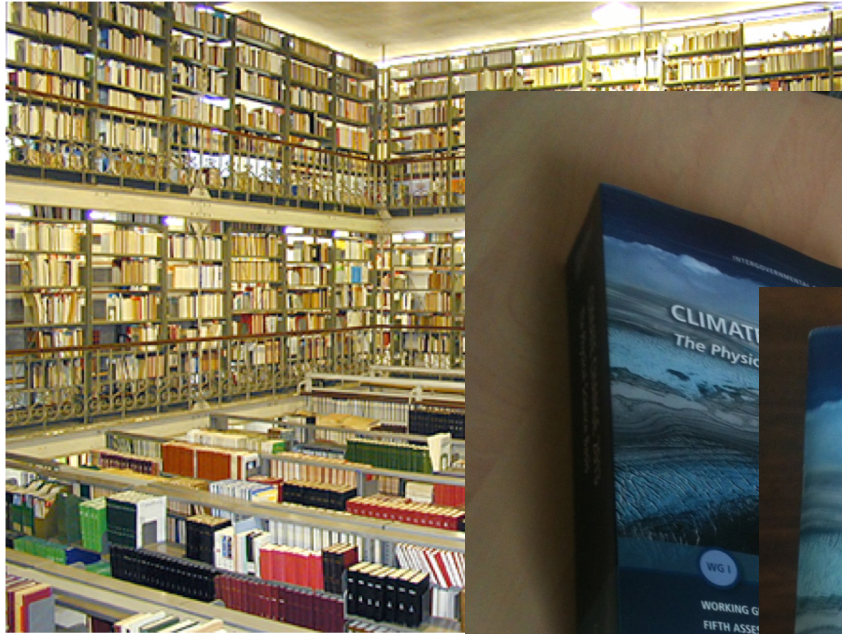
Créé par l'ONU en 1988

Premier rapport en 1990; sixième en 2022

Quelques rapports spéciaux en plus

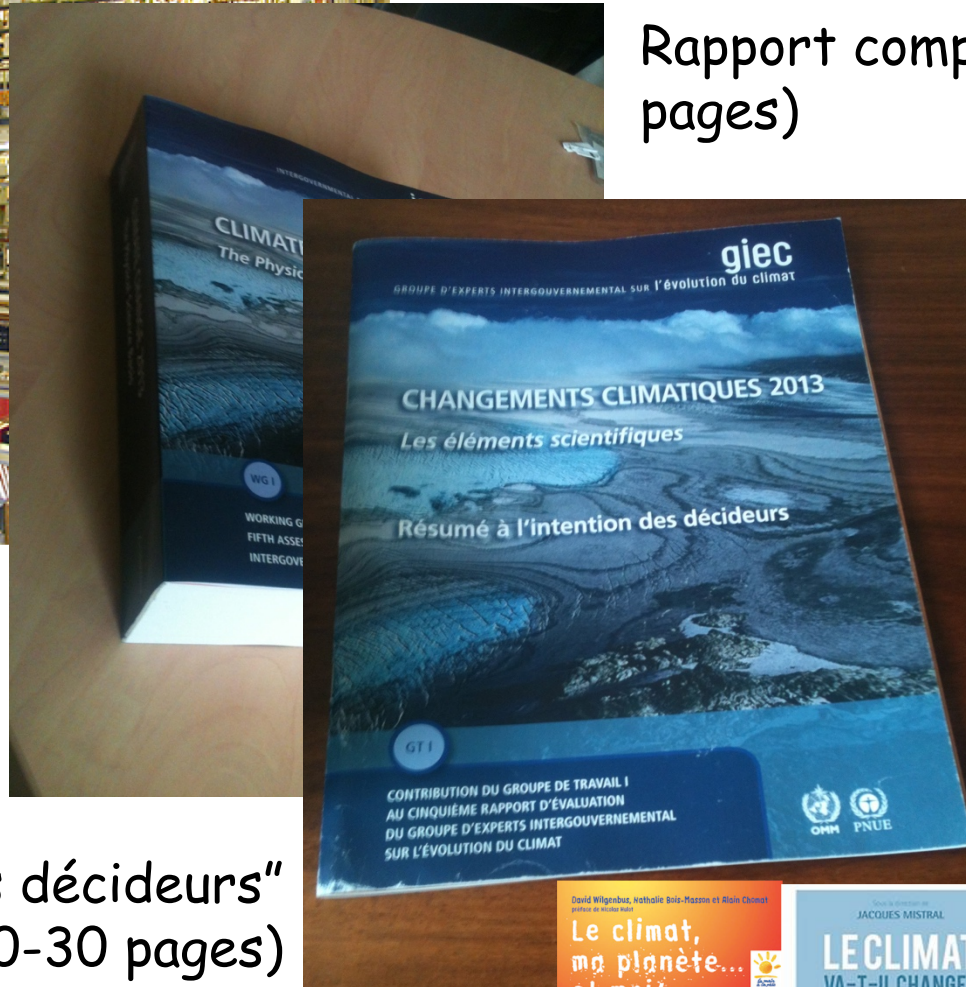
Rapports écrits par les experts. Le "*résumé pour les décideurs*" est négocié et approuvé par les représentants des états

Les auteurs ne sont pas rémunérés par le GIEC. Ils consacrent une partie de leur temps de travail à cette activité



On part de la littérature scientifique

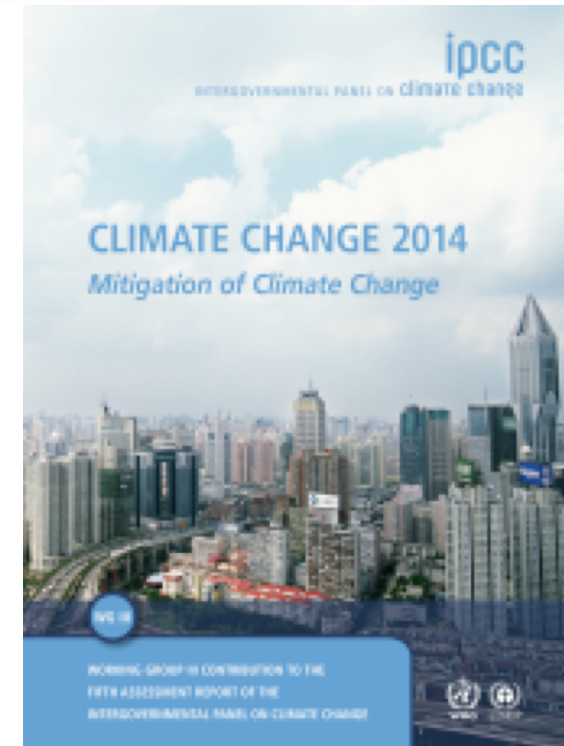
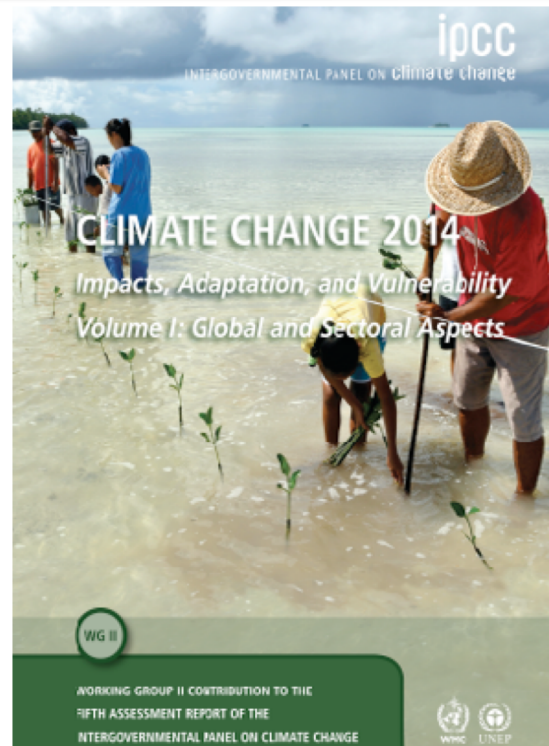
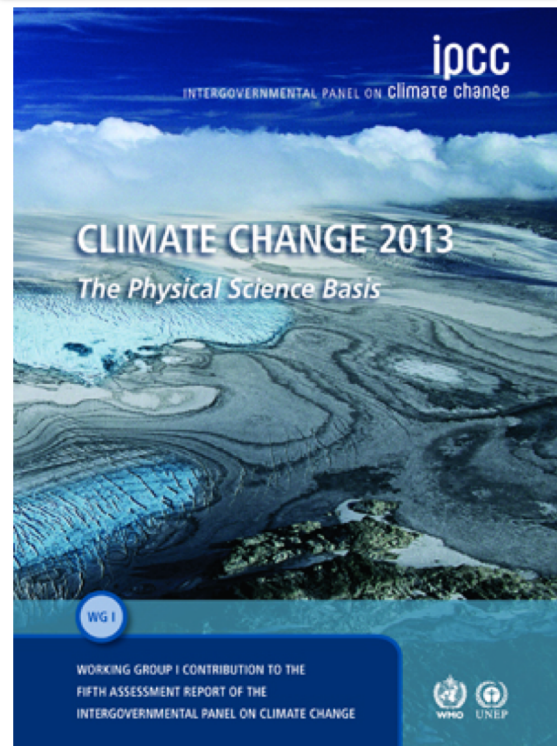
Rapport complet (500-1000 pages)



"Résumé pour les décideurs"
(20-30 pages)

Et la communication grand public suit (sans contrôle)...





Groupe 1

Science du climat

Groupe 2

Impact et vulnérabilité

Groupe 3

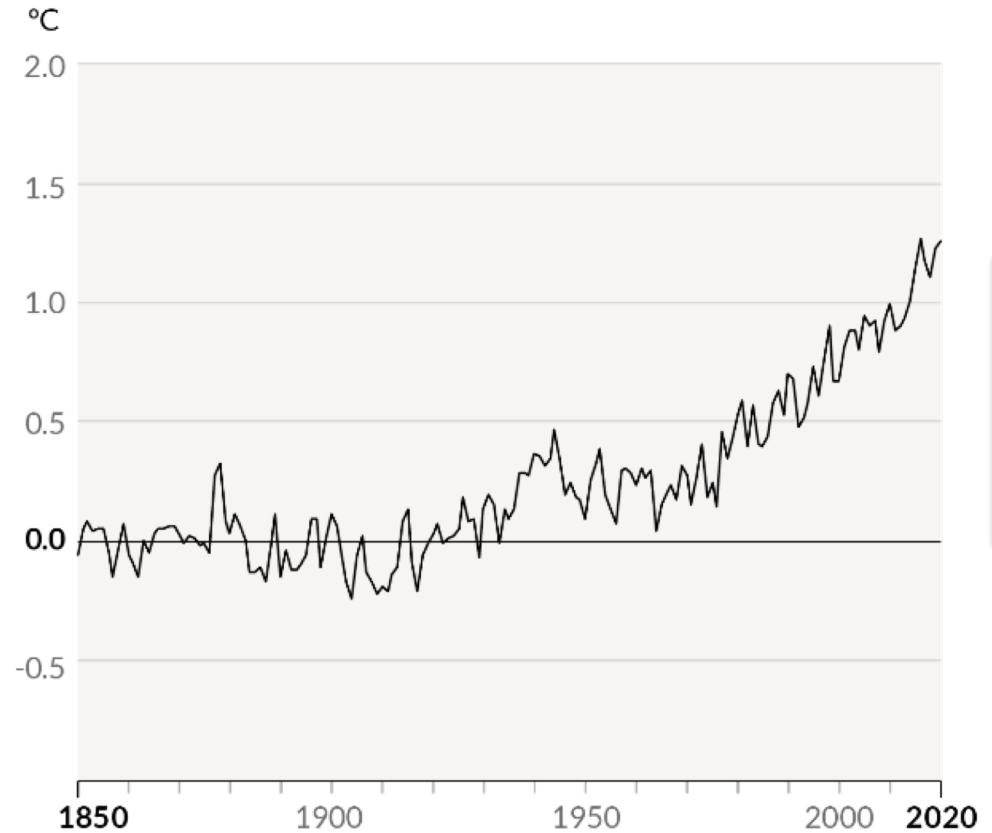
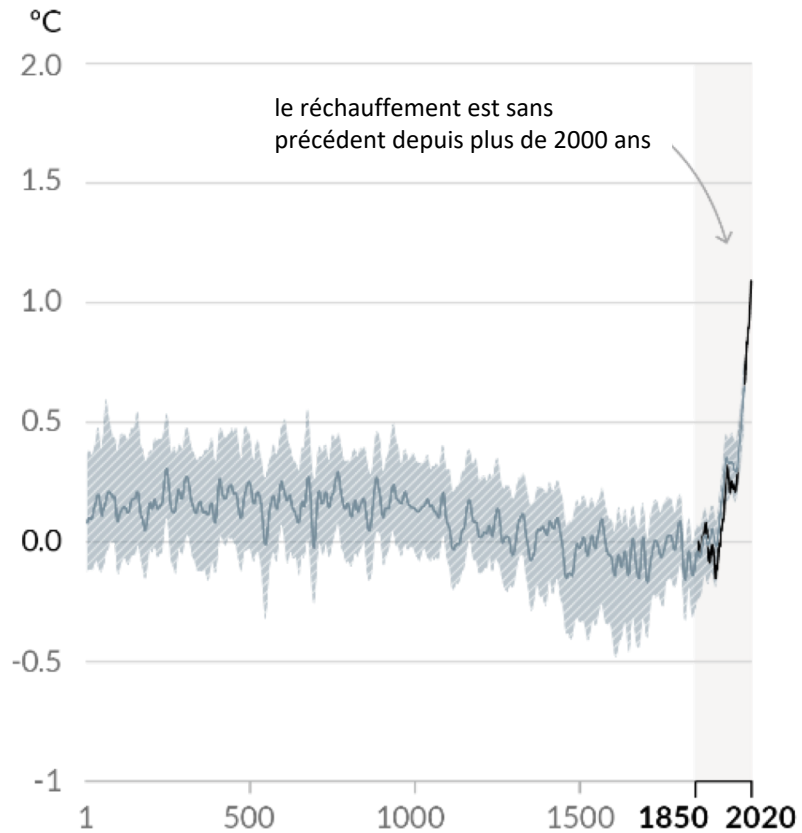
Atténuation du CC

200-250 auteurs par groupe, organisés par chapitres (avec 2-3 coordinateurs)

Dans le groupe 1, TOUS les auteurs sont des académiques (chercheurs et enseignants-chercheurs) travaillant sur la thématique du climat.

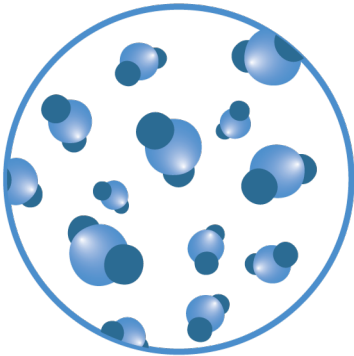
Les profils sont plus divers dans les autres groupes

Le climat de la Terre s'est réchauffé à un rythme sans précédent depuis au moins 2000 ans



augmentation de
1.1 °C

Concentration
CO₂



la plus élevée

depuis au moins

2 millions d'années

Montée du
niveau des mers

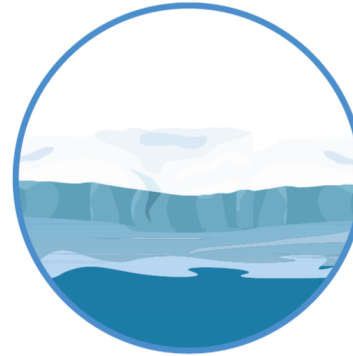


la plus rapide

depuis au moins

3000 ans

surface de la
banquise arctique



la plus réduite

depuis au moins

1000 ans

recul des
glaciers



sans précédent

depuis au moins

2000 ans

Ce sont là des estimations prudentes. Il est probable que le caractère "exceptionnel" s'applique sur des périodes plus longues



Chaleur extrême

plus fréquente
plus intense



Fortes précipitations

plus fréquentes
plus intenses



Sécheresse

augmentation
dans certaines
régions



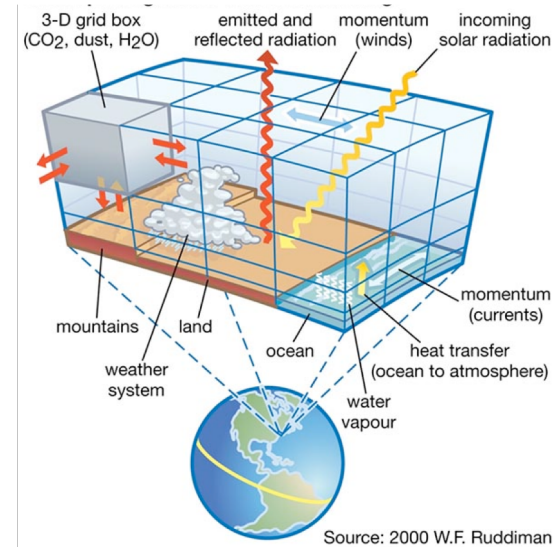
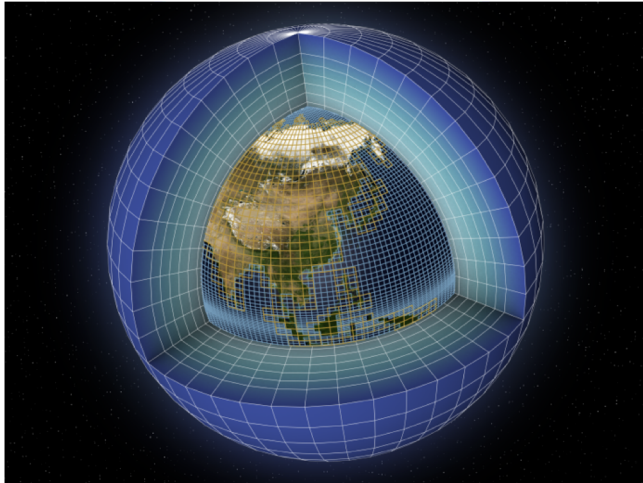
Conditions météorologiques propices aux incendies

plus fréquentes



Océans

réchauffement
acidification
perte d'oxygène

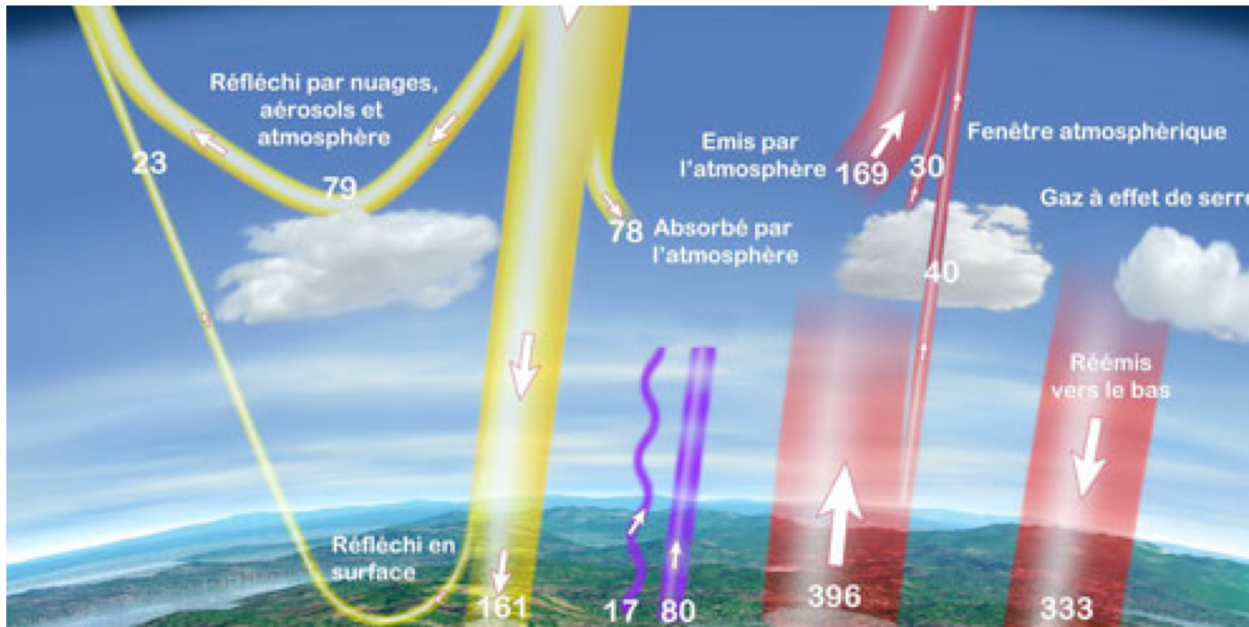


Pour interpréter les changements et anticiper le futur, on utilise des modèles

Modèles climatiques similaires aux modèles météo, mais avec des modules qui prennent en compte les processus lents (courants marins, calottes polaires, distribution de végétation)

Solaire ($\lambda < 3 \mu\text{m}$)

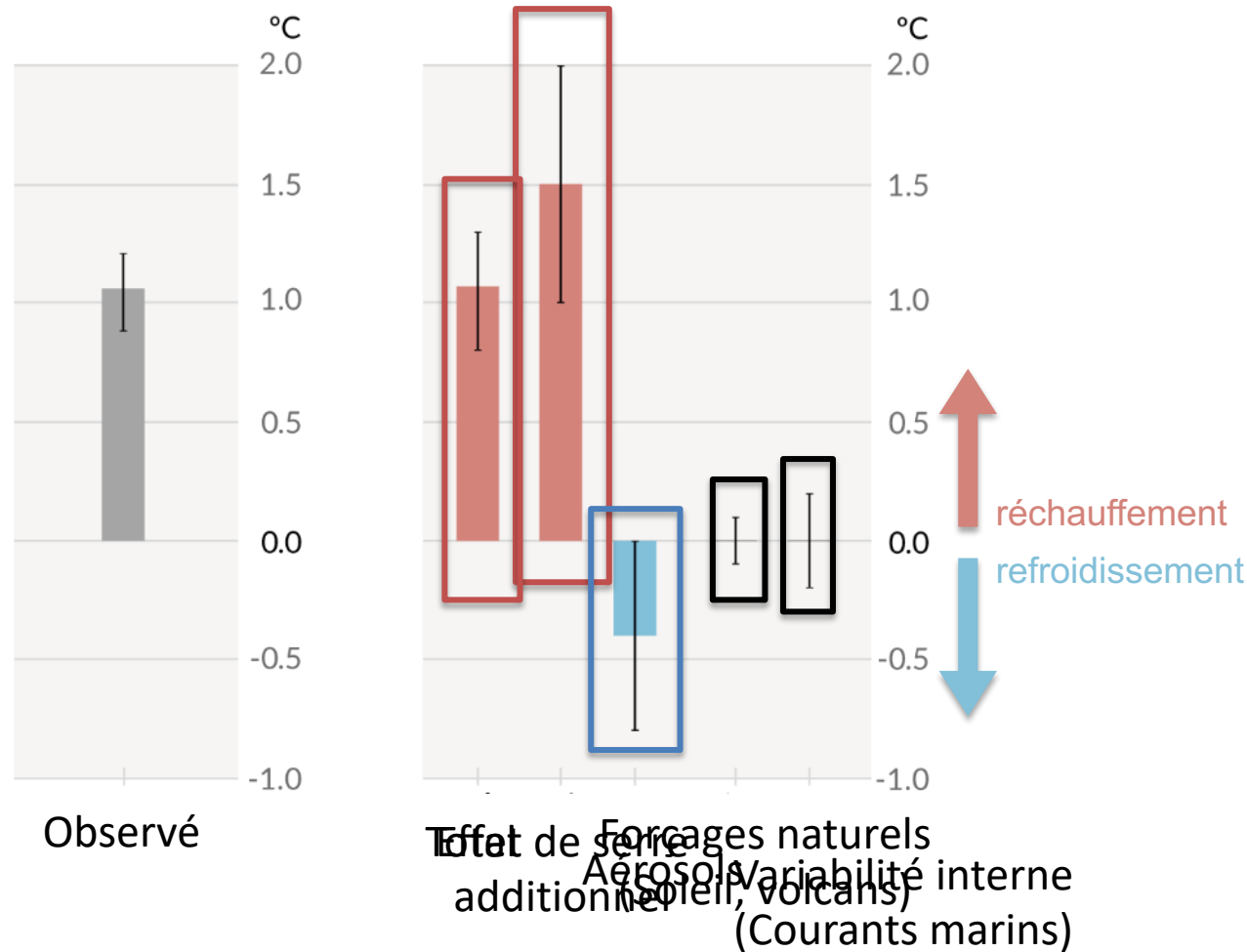
InfraRouge ($\lambda > 4 \mu\text{m}$)



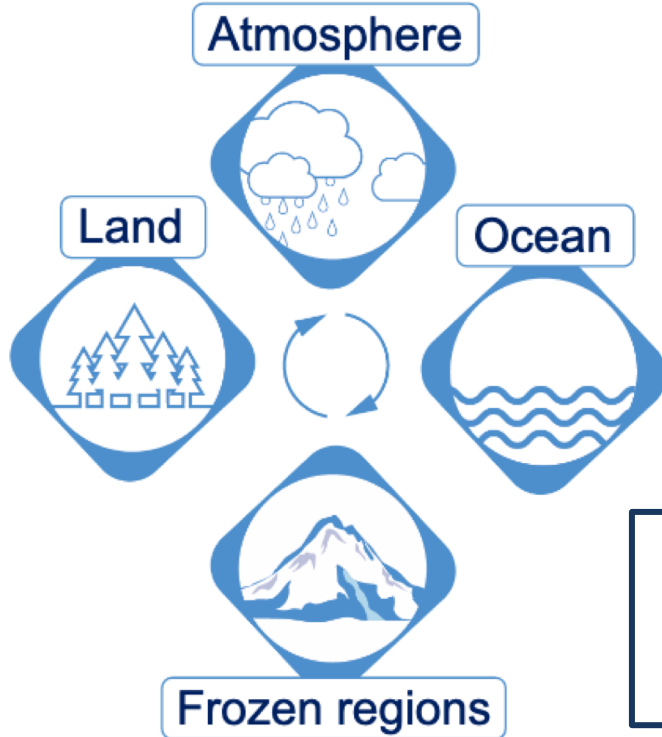
Flux radiatifs moyens
donnés sur la figure en
 W m^{-2}

L'atmosphère est pratiquement transparente au rayonnement solaire ($\lambda < 3 \mu\text{m}$)
 Elle est largement opaque au rayonnement infra-rouge ($\lambda > 4 \mu\text{m}$)
 Principe bien compris depuis plusieurs siècles

Principaux gaz: Vapeur d'eau (H_2O), Dioxyde de Carbone (CO_2), Méthane (CH_4), protoxyde d'Azote (N_2O). 99% de l'atmosphère (O_2 , N_2) n'y participe pas.



Le réchauffement observé est dû aux émissions issues **des activités humaines**, le réchauffement dû **aux gaz à effet de serre** étant partiellement masqué par le refroidissement dû aux **aérosols**



Une atmosphère plus chaude peut contenir plus de vapeur d'eau



Avec le réchauffement climatique, l'évaporation est plus intense et rapide



Augmentation de la fréquence des sécheresses

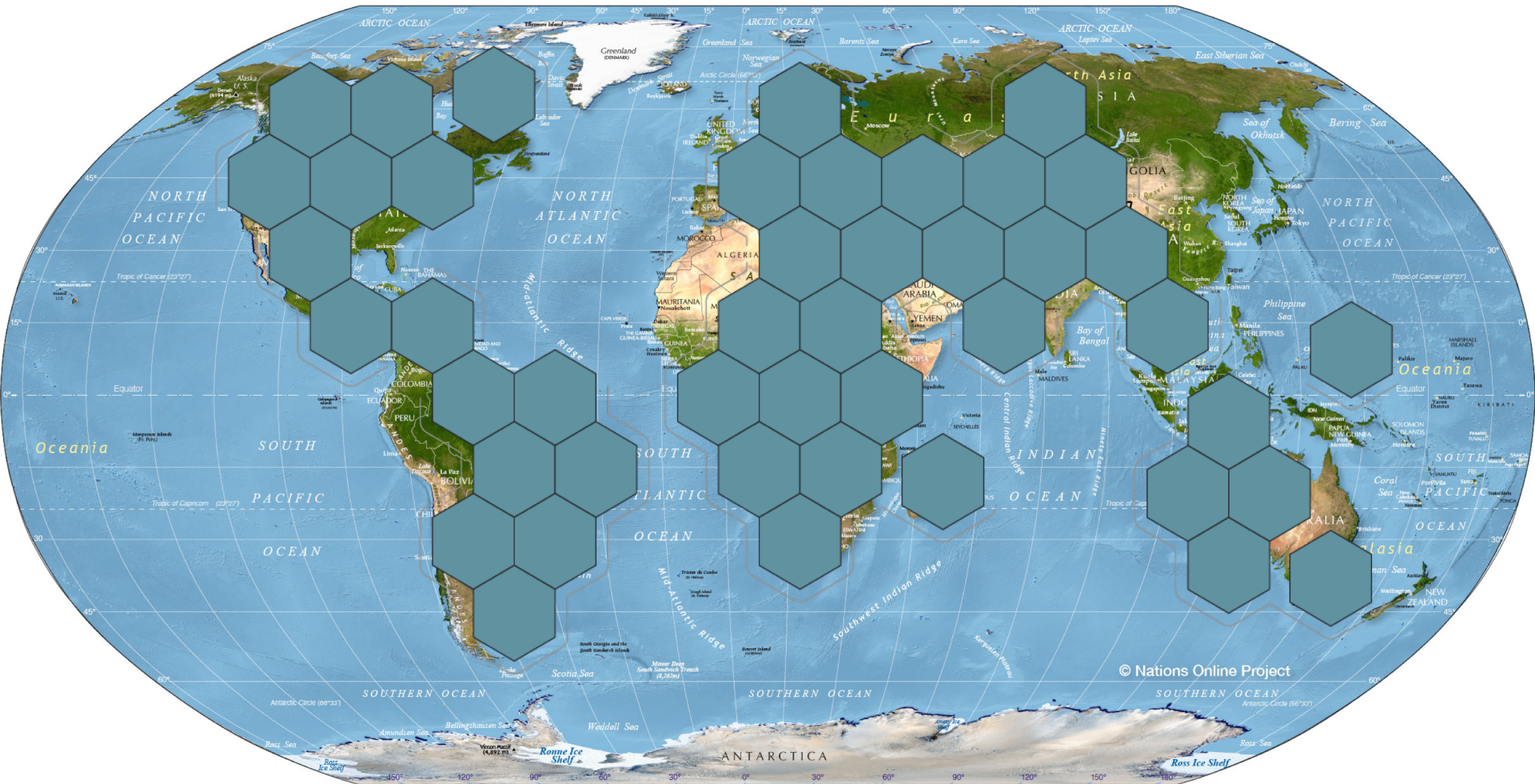


Augmentation des précipitations intenses

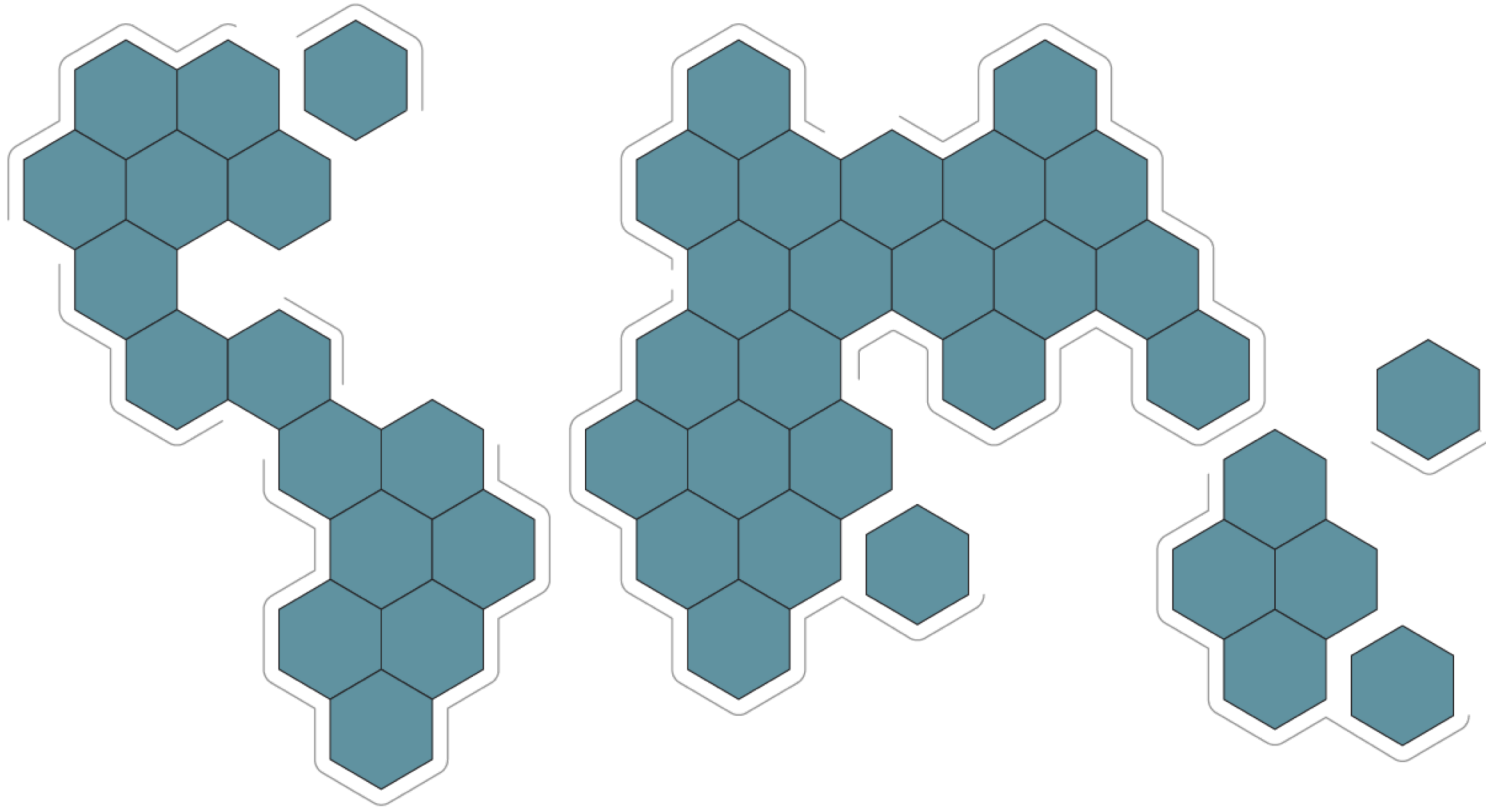




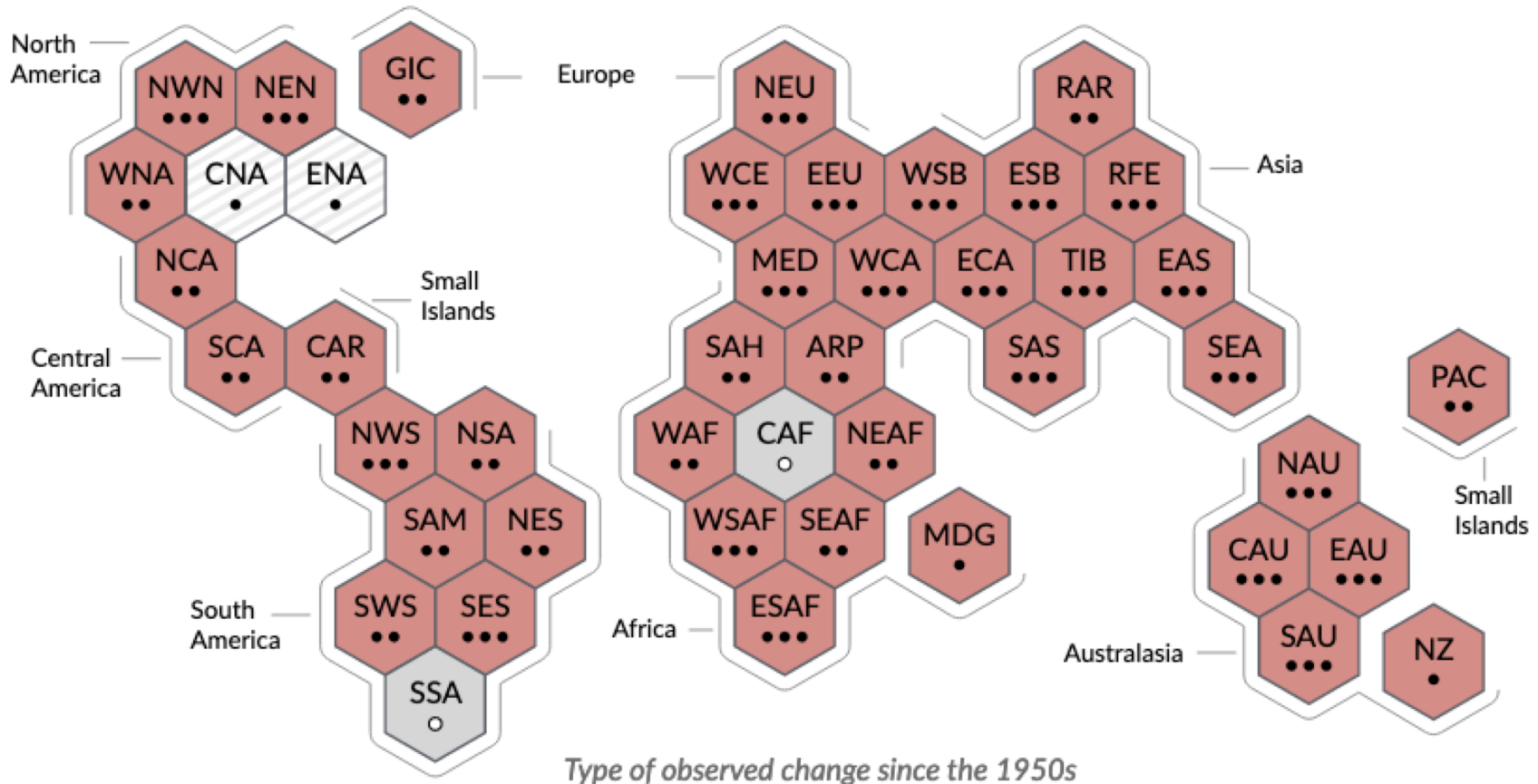
La Terre a été divisée en 45 régions. Le changement climatique et ses impacts est analysé sur chacune







La Terre a été divisée en 45 régions. Le changement climatique et ses impacts est analysé sur chacune



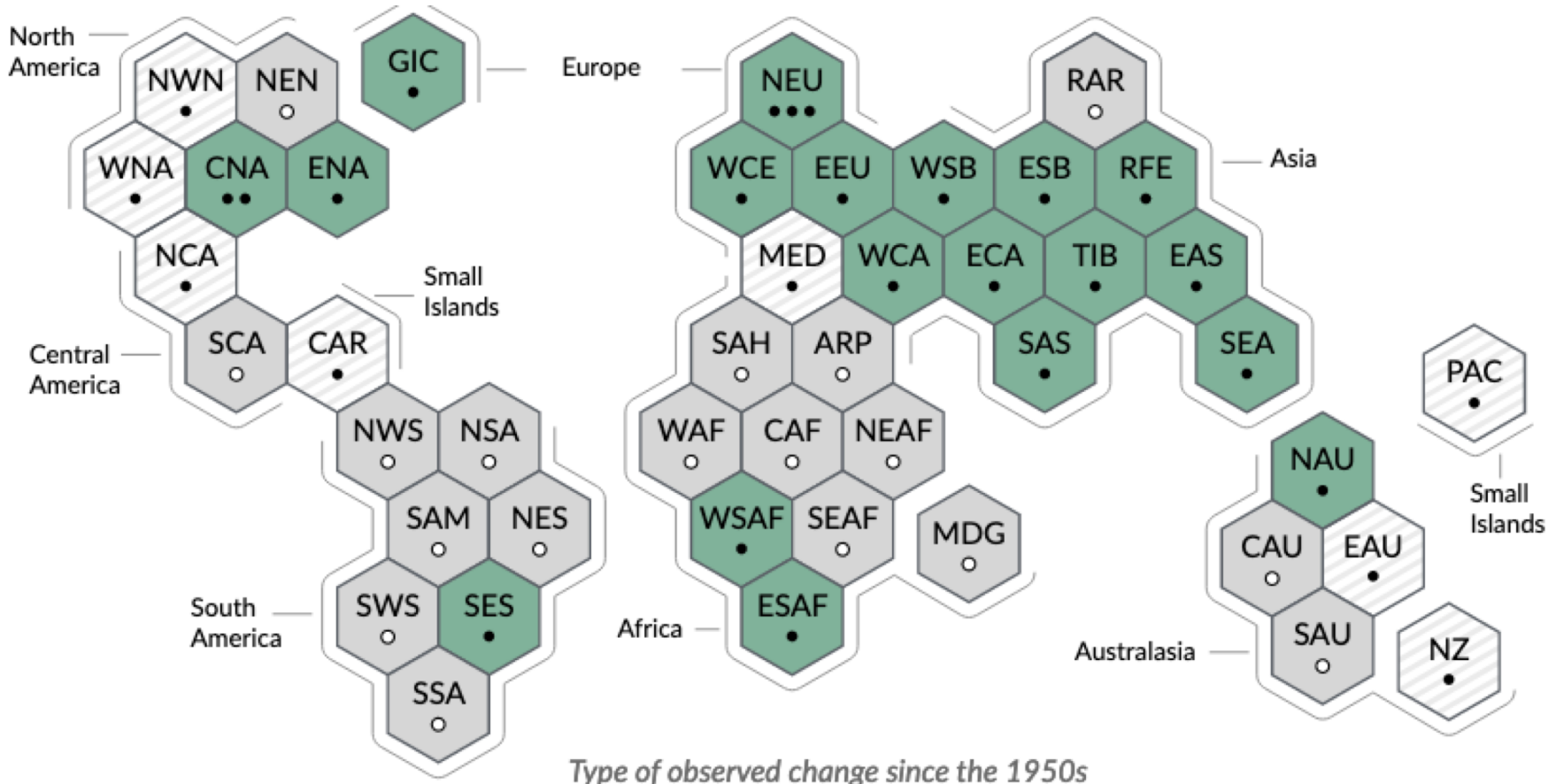
La Terre a été divisée en 45 régions. Le changement climatique et ses impacts est analysé sur chacune







-  Augmentation
-  Diminution
-  Incertain
-  Absence de donnée

Confiance en une cause anthropique

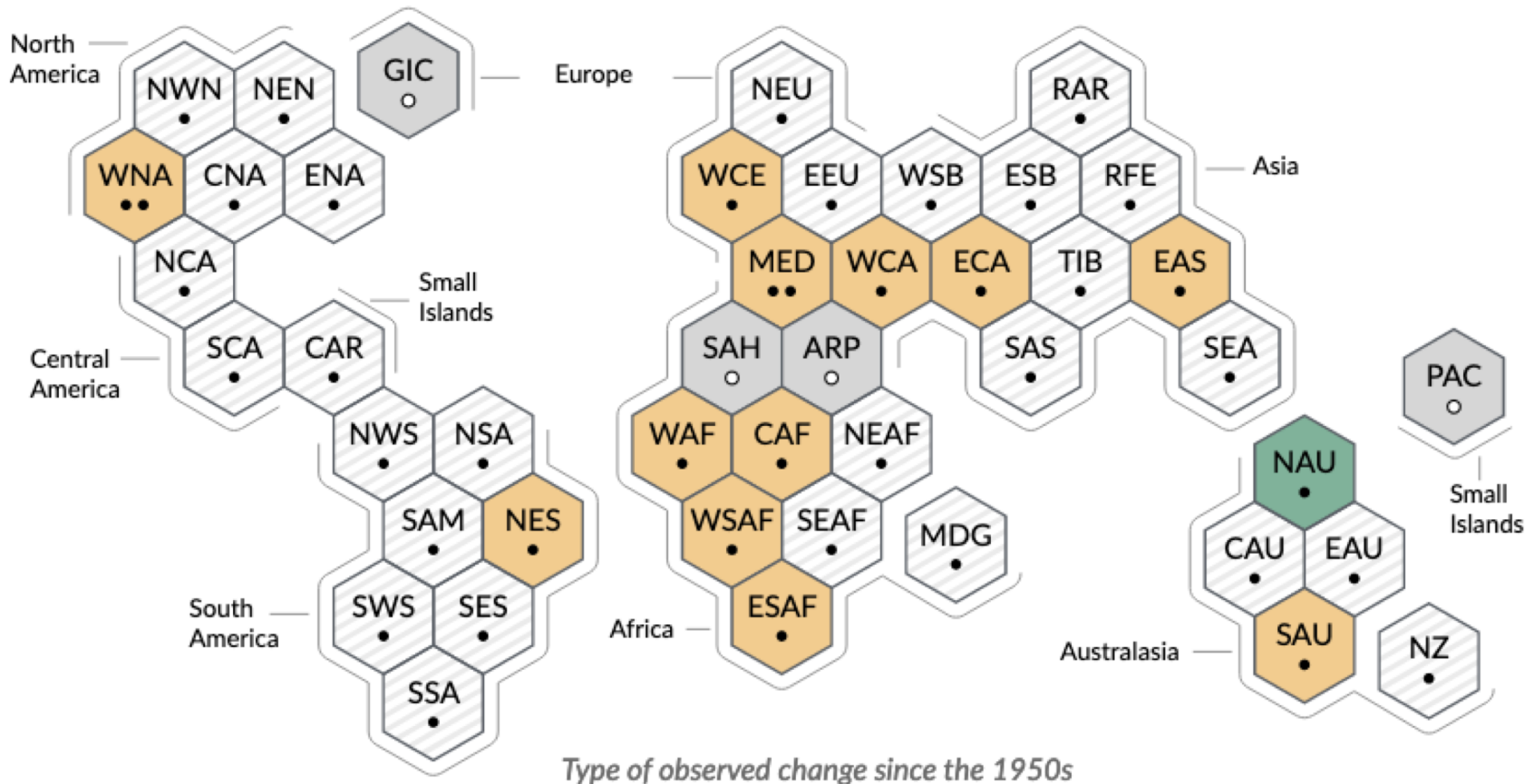
- ● ● Forte
- ● Moyenne
- Faible par absence d'accord
- Absence de données







-  Augmentation
-  Diminution
-  Incertain
-  Absence de donnée

Confiance en une cause anthropique

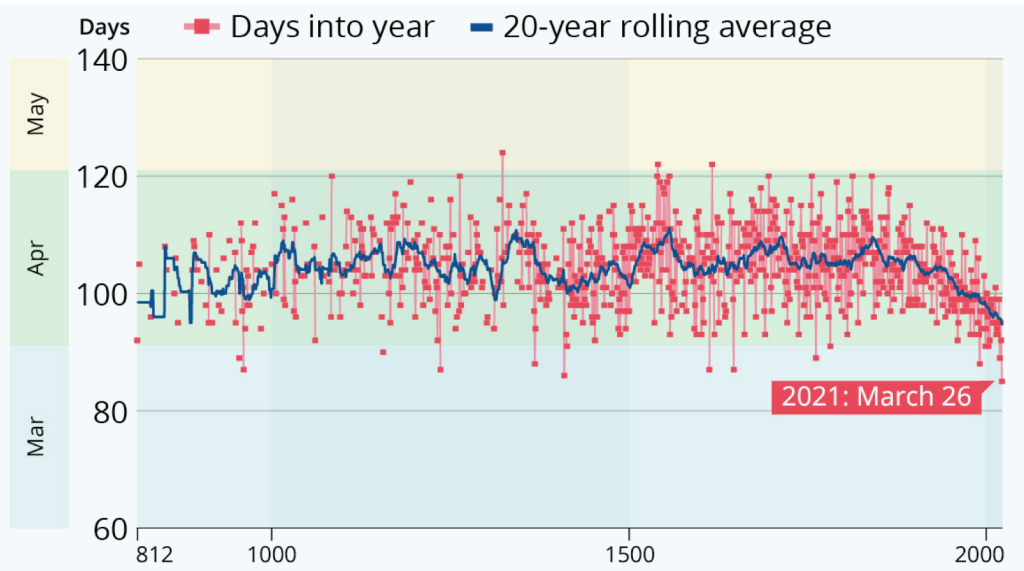
- ● ● Forte
- ● Moyenne
- Faible par absence d'accord
- Absence de données



-  Augmentation
-  Diminution
-  Incertain
-  Absence de donnée

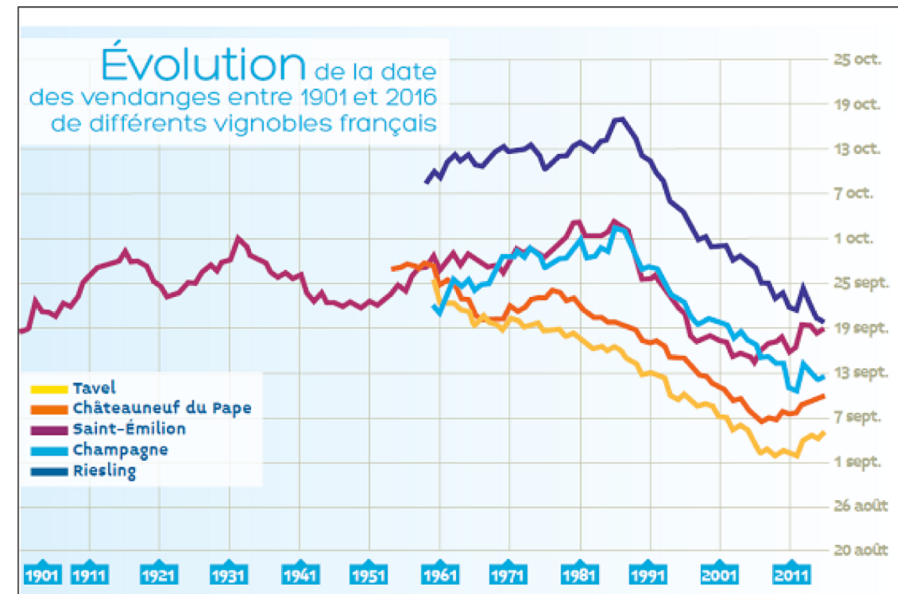
Confiance en une cause anthropique

- ● ● Forte
- ● Moyenne
- Faible par absence d'accord
- Absence de données



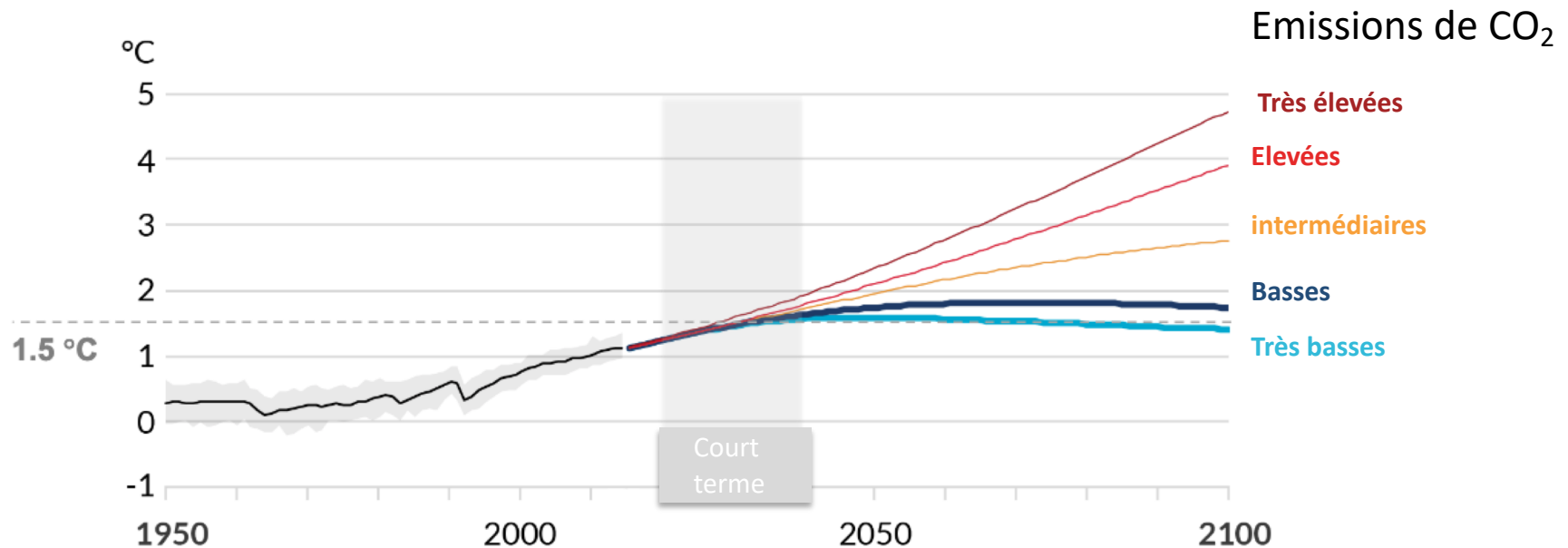
Date de floraison des Cerisiers à Kyoto
 — Moyenne sur 20 ans

Date de vendange des vignobles français (valeur moyenne sur la décennie précédant la date indiquée)



Source : Inter-Rhône-ENITA Bordeaux-INRA Colmar-Comité interprofessionnel du vin de Champagne-Traitement: ONERC-5e05 2017

Les émissions à venir entraînent un réchauffement supplémentaire

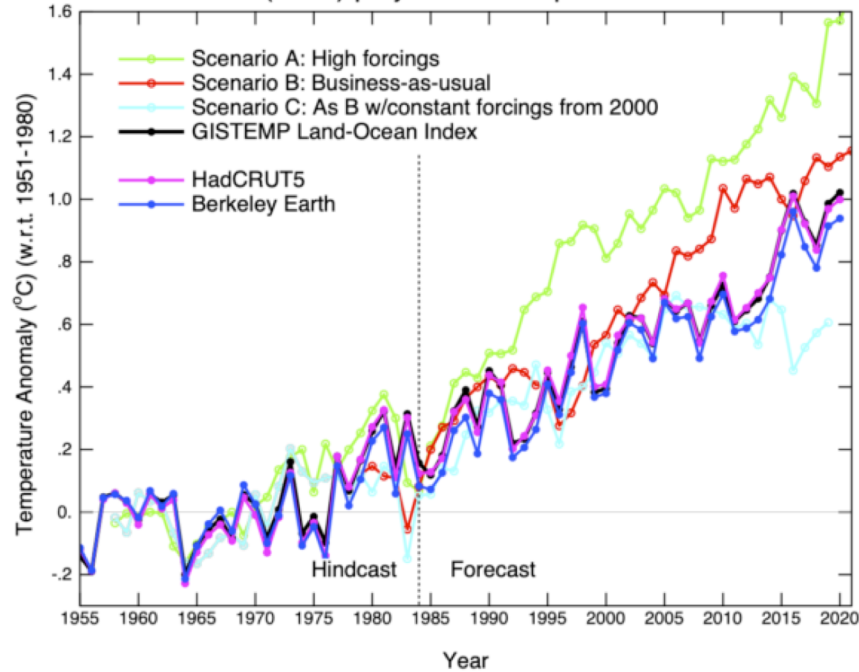


1.5 degrés sera dépassé avant 2040

Possibilité de repasser dessous avec des efforts très importants et rapides

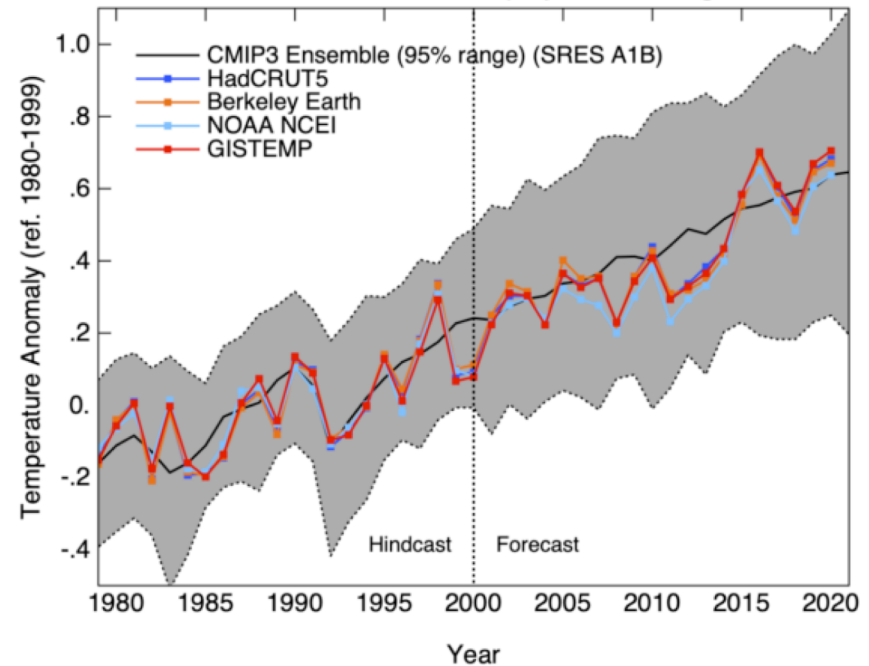
Le 2 degrés (fixé par les états lors des accords de Paris) est encore "possible"

Hansen et al (1988) projections compared to Observations



Dés 1988, James Hansen (NASA GISS) réalise des projections de la température de surface avec 3 scénarios d'évolution des GES. Accord assez correct avec l'évolution constatée sur les 30 dernières années

How are climate model projections doing?

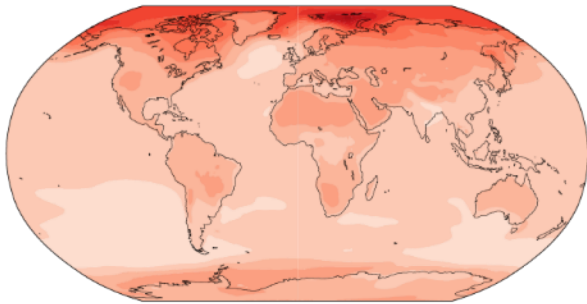


De même, les simulations réalisées en préparation au quatrième rapport du GIEC (début des années 2000) sont cohérentes à ce qui a été observé depuis

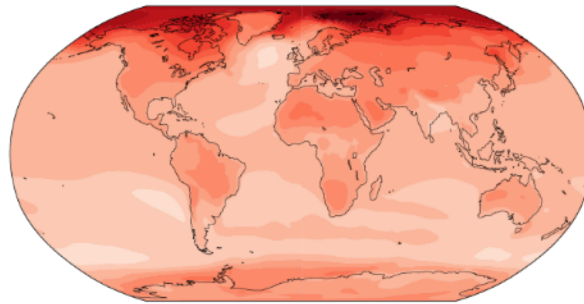
Le réchauffement n'est pas homogène : + fort sur les terres et sur les régions polaires

Changements simulés ...

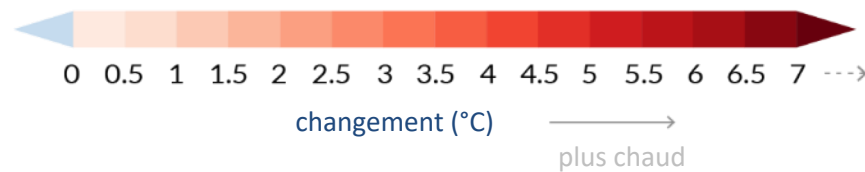
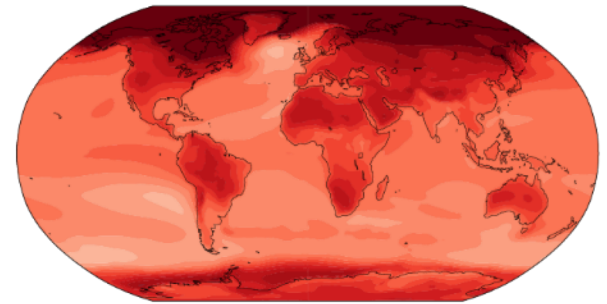
... pour 1.5°C



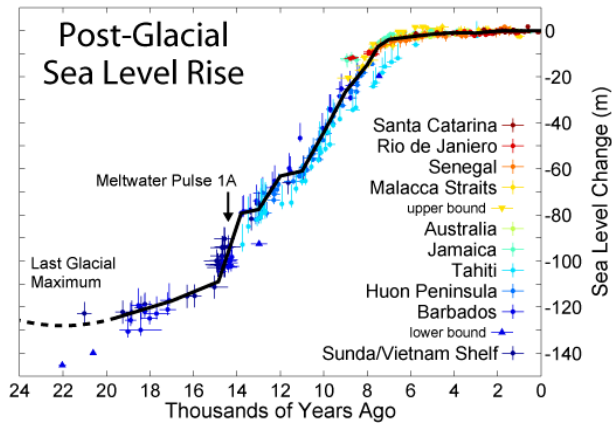
... pour 2°C



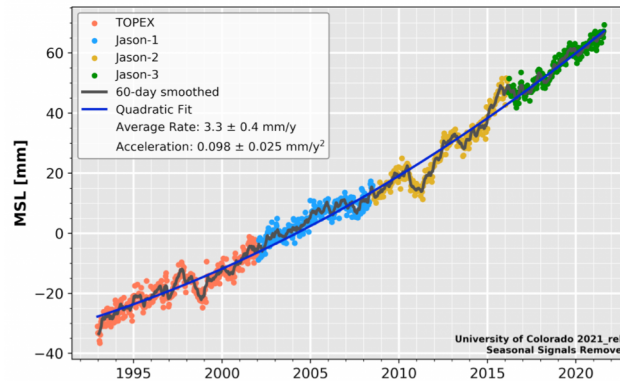
... pour 4°C



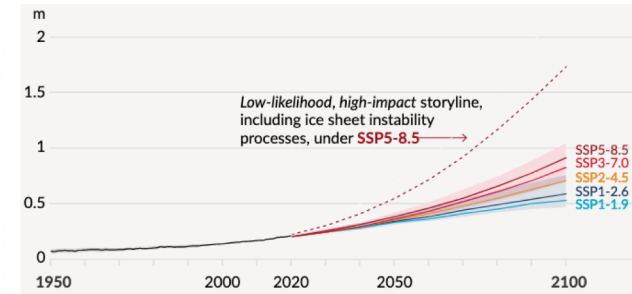
Pour chaque fraction de réchauffement planétaire supplémentaire, les changements sont amplifiés



Passé (24 000 ans)



Présent (30 ans)



Futur (100 ans)

L'élévation du niveau des mers est due à

- L'expansion thermique des océans
- La fonte des glaces

Même si on stabilise le climat, ces processus vont continuer durant les prochains siècles conduisant à une hausse continue du niveau des mers

Il y a de fortes incertitudes sur la dynamique des calottes glaciaire. Une déstabilisation n'est pas exclue

Extrait Fact sheet Europe

- Quels que soient les niveaux futurs de réchauffement climatique, les **températures augmenteront** dans toutes les régions européennes à un rythme dépassant les changements de température moyenne mondiale, similaires aux observations passées.
- La fréquence et l'intensité des **extrêmes de chaleur**, y compris les vagues de chaleur marines, ont augmenté au cours des dernières décennies et devraient **continuer d'augmenter** quel que soit le scénario d'émissions de GES. Les seuils critiques pertinents pour les écosystèmes et les humains devraient être dépassés pour un réchauffement planétaire de 2 °C et plus.
- La **fréquence des vagues de froid et des jours de gel diminuera** dans tous les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et à tous les horizons temporels, à l'instar des observations passées
- Les observations ont un schéma saisonnier et régional cohérent avec **l'augmentation prévue des précipitations en hiver en Europe du Nord**. Une **diminution des précipitations est projetée en été en Méditerranée** s'étendant aux régions du nord. **Les précipitations extrêmes et les inondations pluviales devraient augmenter** à des niveaux de réchauffement planétaire dépassant 1,5 °C dans toutes les régions, à l'exception de la Méditerranée.
- Quel que soit le niveau de réchauffement climatique, le **niveau relatif de la mer augmentera** dans toutes les zones européennes à l'exception de la mer Baltique, à un rythme proche ou supérieur au niveau moyen mondial de la mer. Les changements devraient se poursuivre au-delà de 2100. Les événements extrêmes du niveau de la mer deviendront plus fréquents et plus intenses, entraînant davantage d'inondations côtières. Les **rivages le long des côtes sablonneuses reculeront** tout au long du 21e siècle.
- De fortes **baisses des glaciers**, du pergélisol, de l'étendue de la couverture neigeuse et de la **durée saisonnière de la neige** aux latitudes/altitudes élevées sont observées et se poursuivront dans un monde en réchauffement.
- De multiples facteurs d'impact climatique ont déjà changé simultanément au cours des dernières décennies. Le nombre de changements de facteurs d'impact climatiques devrait augmenter avec l'augmentation du réchauffement climatique

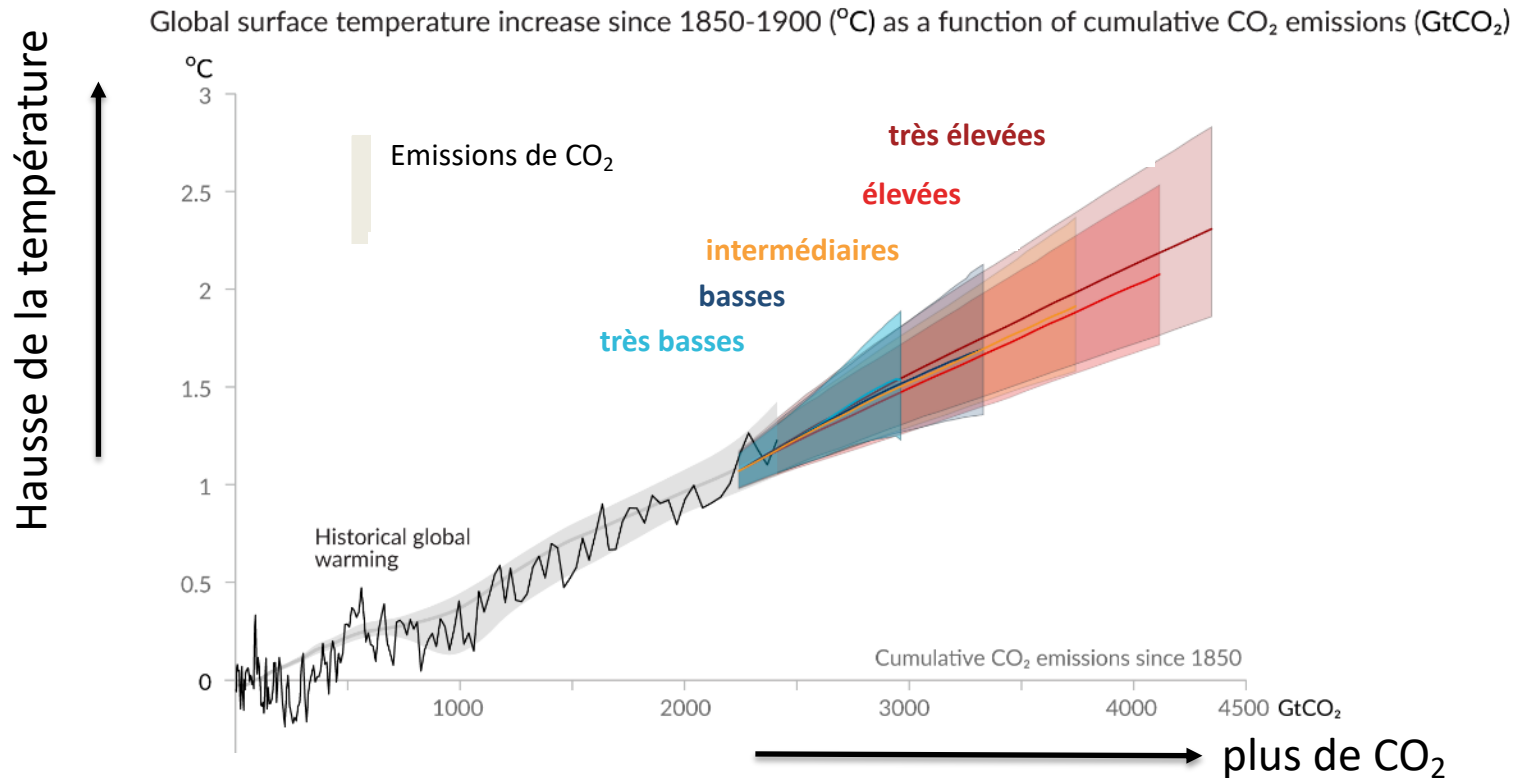
Europe occidentale et centrale (WCE)

- **Augmentation projetée des inondations** pluviales avec un réchauffement global de 1,5°C (degré de confiance moyen) et de 2°C et plus (degré de confiance élevé).
- Tendance à la **hausse observée des crues des rivières** et augmentation prévue à 2°C et plus du réchauffement climatique (degré de confiance élevé).
- **Augmentations prévues des sécheresses hydrologiques, agricoles et écologiques** à des niveaux de réchauffement au milieu du siècle de 2 °C ou plus, quel que soit le scénario d'émissions de GES (degré de confiance moyen).

Méditerranée (MED)

- **Augmentation observée des sécheresses hydrologiques, agricoles et écologiques** (degré de confiance moyen), **augmentation prévue de l'aridité et des conditions météorologiques de feu** lors d'un réchauffement global de 2°C et plus (degré de confiance élevé).
- **Combinaison prévue de changements climatiques** (réchauffement, températures extrêmes, augmentation des sécheresses et de l'aridité, diminution des précipitations, augmentation des incendies, niveaux moyens et extrêmes de la mer, diminution de la couverture neigeuse et diminution de la vitesse du vent) d'ici le milieu du siècle et à réchauffement global d'au moins 2°C et plus (degré de confiance élevé).

Chaque tonne d'émissions de CO₂ contribue au réchauffement de la planète



Le paramètre important est le total des émissions de CO₂;
le rythme a une influence mineure

Les rapports du GIEC montrent que le changement climatique va avoir des impacts graves sur la santé, l'agriculture, les écosystèmes...

Mais, la lutte contre le changement climatique peut aussi avoir des impacts grave sur l'économie, le niveau de vie, le développement au sens large

La lutte contre le CC a des impacts négatifs assez rapides, et des bénéfiques lointains (en temps).

On est donc face à un choix politique qui revient à privilégier les générations actuelles ou les générations futures

Il y a aussi un aspect géographique : Les dommages (dus au CC) ne sont pas sur les lieux de l'émission; certains pays sont plus vulnérables que d'autres. Clairement, on n'est pas dans un cadre pollueur-payeur.

Cela rend les négociations internationales (qui doit faire les efforts) particulièrement difficile

Pour lutter contre le changement climatique, il faut diminuer nos émissions de CO_2 (prioritairement), méthane et N_2O (aussi)

Méthane lié à fuites de gaz naturel, décharges, et agriculture

N_2O essentiellement lié à agriculture

CO_2 lié à l'utilisation des combustibles fossiles : Charbon, pétrole, gaz.

La diminution de ces usages passe par

- **Sobriété** (Moins de viande, de m^2 , de km parcourus, d'objets, d'eau chaude...)
- **Efficacité** (isolation, meilleurs rendements des moteurs, co-génération...)
- **Electrification** (non carbonée) des usages énergétiques

On peut aussi compter sur la **géo-ingénierie** pour limiter le réchauffement

La contribution relative de ces différents leviers relève de choix politiques. La science est muette pour arbitrer entre un scénario de type NegaWatt (forte sobriété) ou une transition massive vers une électricité nucléaire.

Le changement climatique est bien là. Il a déjà des impacts sur le bien être, les infrastructures et les écosystèmes

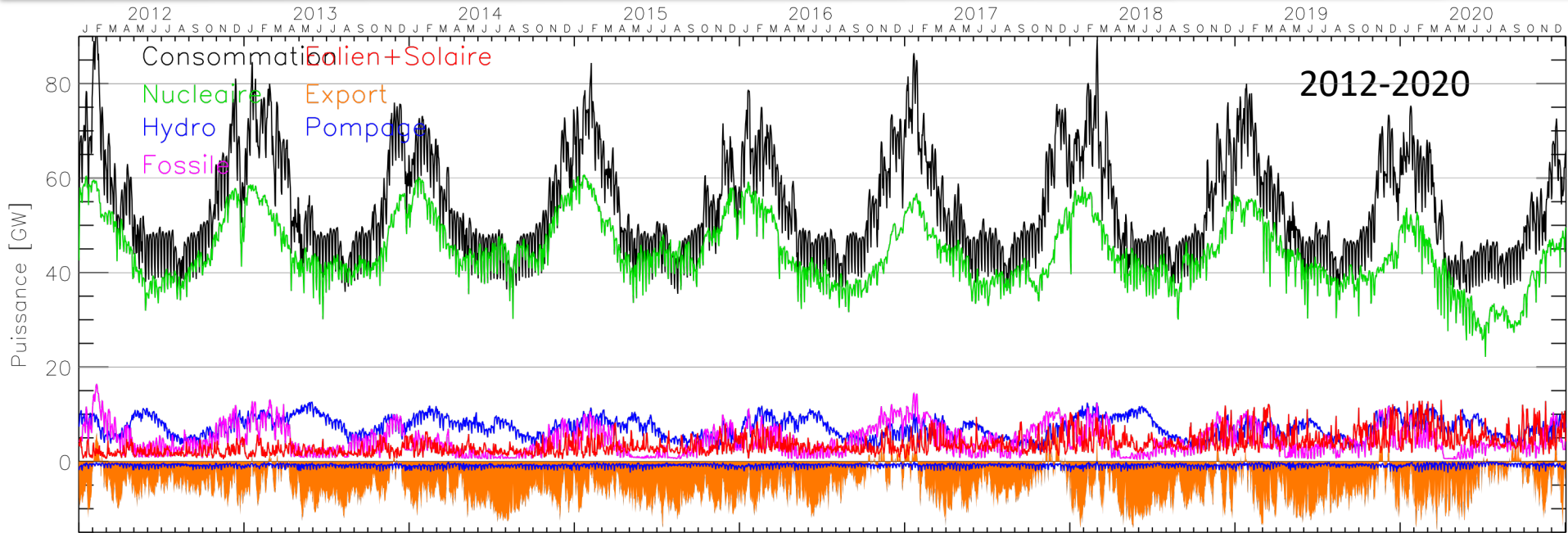
Il est clair que les impacts du changement climatique vont aller en s'amplifiant, avec l'augmentation des températures. La production agricole sera impactée avec des conséquences graves si des mesures compensatoires ne sont pas prises

limiter le réchauffement climatique à 1,5 degrés (1,1 aujourd'hui) est virtuellement hors de portée du fait de l'inertie sociétale

Certains impacts sont irréversibles et le niveau des mers va même s'élever pendant plusieurs siècles quelque soient les mesures prises

D'autres impacts peuvent être limités si des mesures adéquates sont prises

Lutter (ou non) contre le changement climatique, et surtout les mesures à adopter (sobriété, efficacité, électrification, géo-ingénierie...) relèvent de choix politiques, et un arbitrage entre différentes contraintes



Cycle annuel facteur ≈ 2 (chauffage électrique)

Grosses variations en hiver (température)

Cycle hebdomadaire $\approx 10\%$

Hydro max au printemps

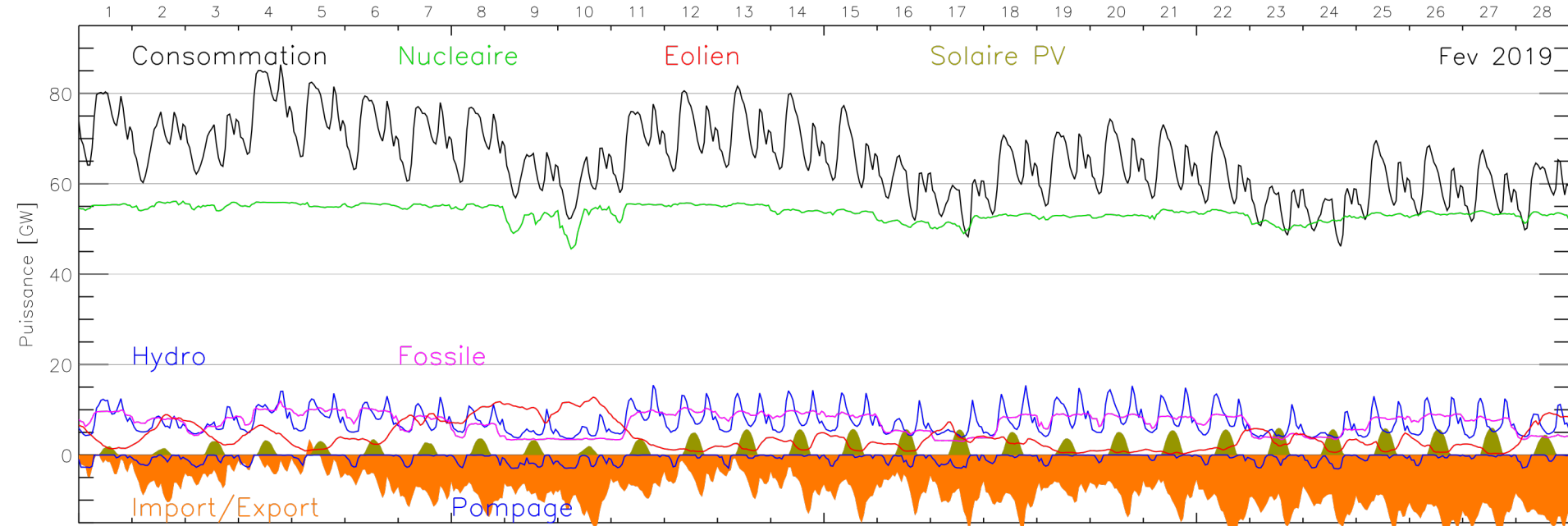
Renouvelables (hors hydro) très variable

Le fossile comble le déficit en hiver

Le nucléaire suit le cycle annuel et le cycle hebdomadaire

Contrairement à une idée (très) répandue, le nucléaire est pilotable (Mais impact sur rentabilité)

Moyennes journalières



Février 2019

Moyennes horaires

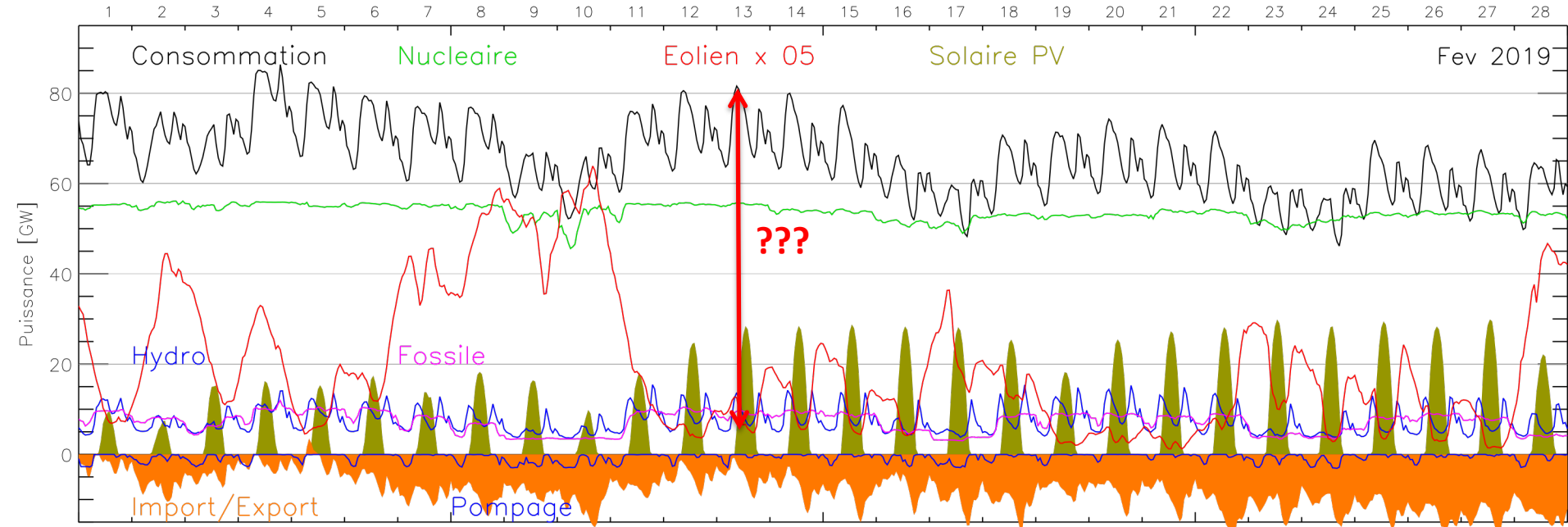
Cycle hebdomadaire $\approx 10\%$

Cycle diurne $\approx 20\%$

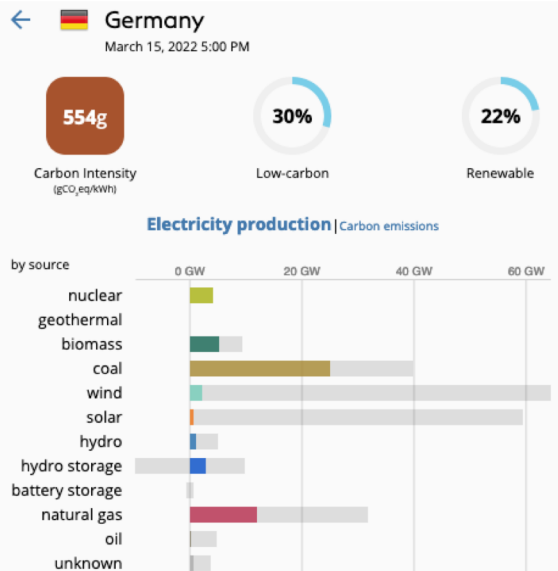
Cycle diurne en partie compensé par **hydro** et **solaire PV**

Nucléaire à fond sauf pendant certains WE

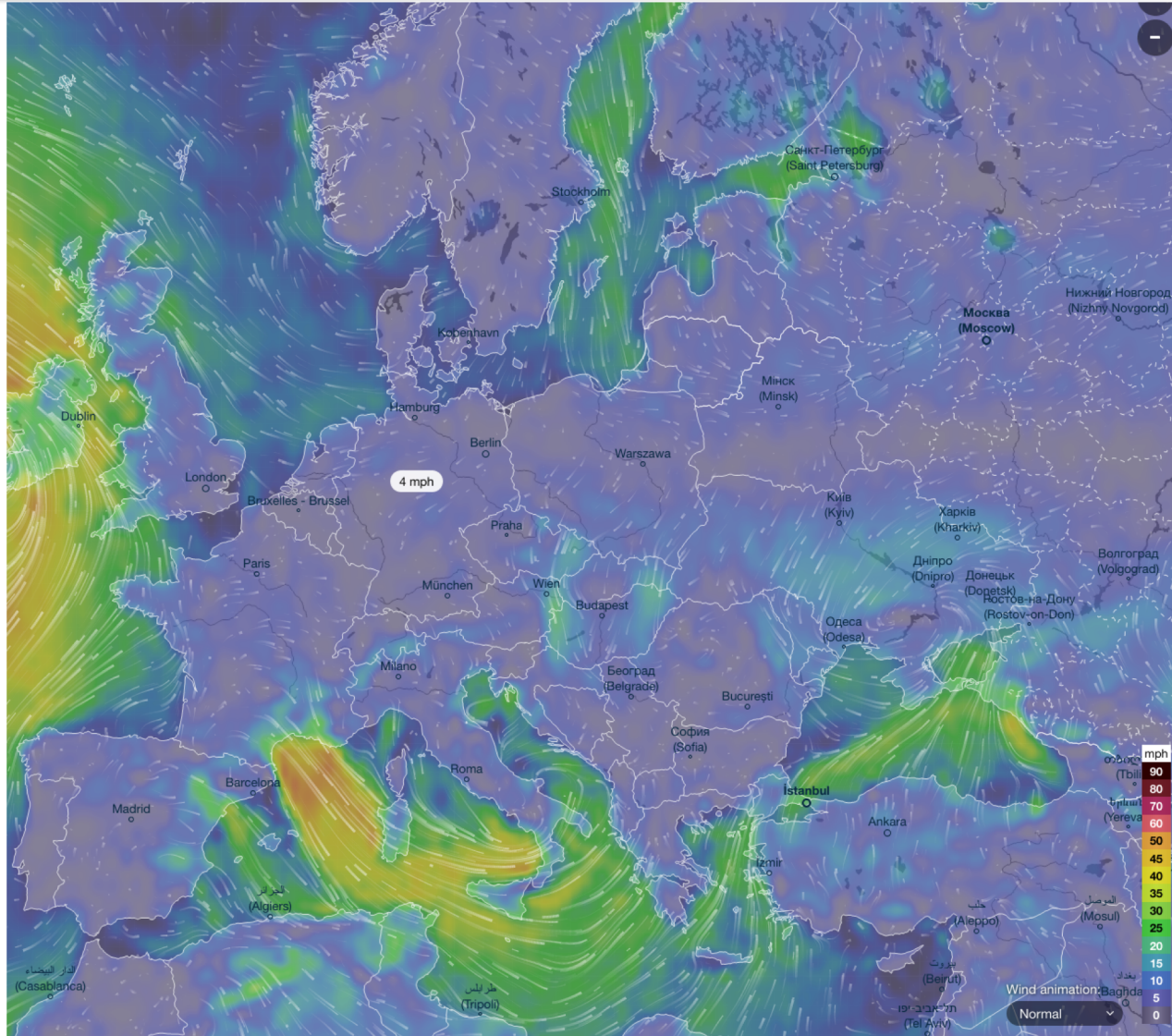
Exports importants



Jan 2016



Allemagne, il y a 2 jours à 17 heures :
 120 GW installés Eolien + solaire PV
 4 GW produits (moins que les 4 réacteurs restant)



Peu de vent sur la plus grosse partie de l'Europe de l'Ouest. On ne peut pas compter sur les inter-connections

Les énergies renouvelables "nouvelles" (Eolien, Photovoltaïque) sont présentés comme apportant une part de solution au défi climatique.

Vrai, uniquement si elles remplacent une énergie carbonée.

Les énergies renouvelables en croissance rapide ont une production intermittente. Comment assurer l'équilibre production-demande ?

- ✓ Ajuster la demande
- ✓ Stockage
- ✓ Foisonnement (imports)
- ✓ Backup pilotable (peu utilisé)

Chacune de ces solutions pose des difficultés et a un coût. Il serait normal que ce coût soit affecté au bilan financier des ENR, ce qui n'est jamais fait. En pratique, cout prohibitif

Pas un problème tant que la part du fossile reste important. Problème immense si on vise une électricité non carbonée (donc sans backup au gaz ou charbon)

Titre certes provocateur,
mais réalité sur de nombreux aspects:

- **Sobre** en matériaux et en surface occupée
- Les déchets ne génèrent **pas de pollution** (car confinés)
- Impact des accidents très **limité**, contrairement aux présentations catastrophiques qui en sont faites
- **Durable** si on passe à une technologie de type Superphénix ou une extraction de l'Uranium des océans

Et puis...

- Balance commerciale très favorable
- Coûts (donc emplois) essentiellement en France

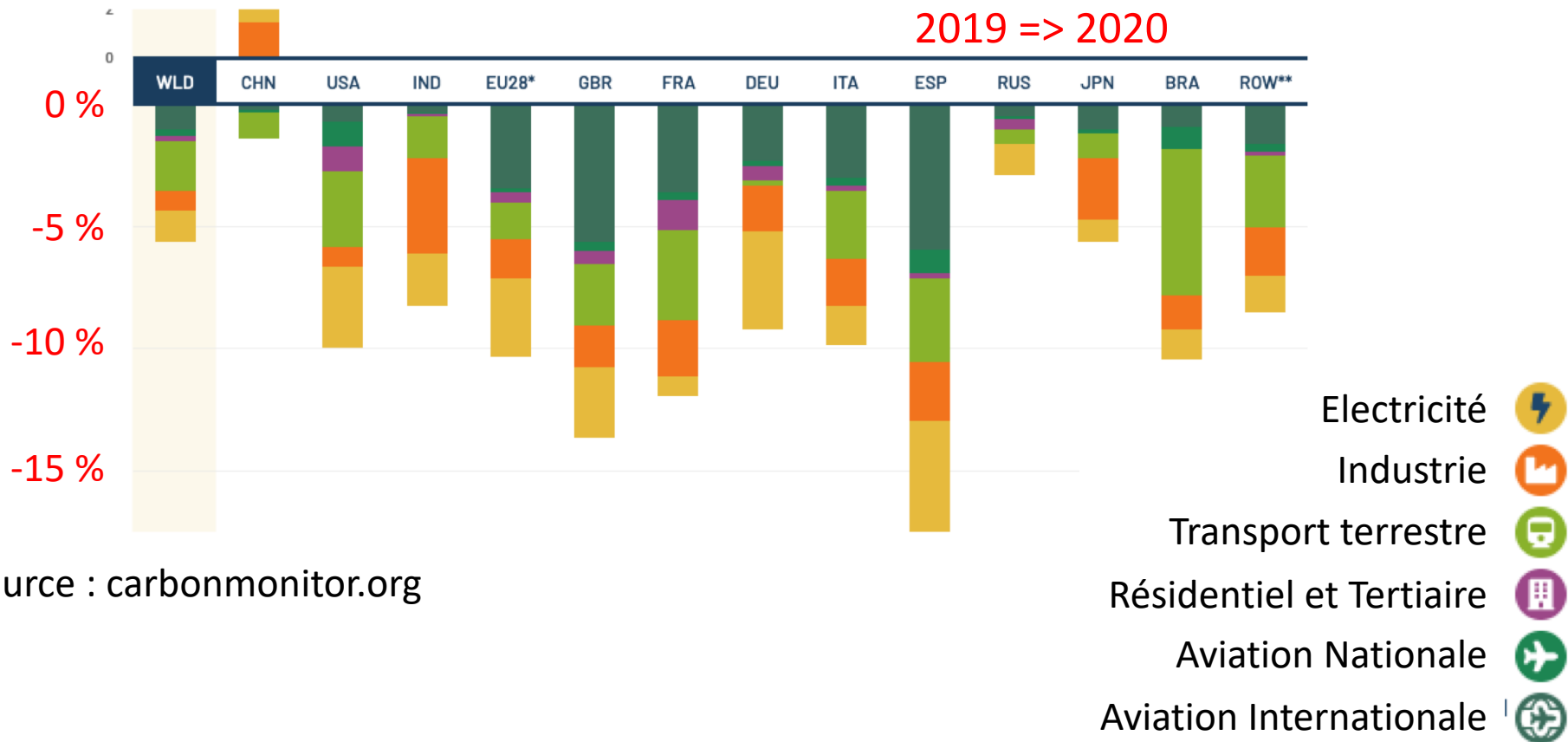
La France n'est pas en retard, elle est au contraire en avance !

FIN

CO₂ EMISSIONS VARIATION (%)

January 1st → December 31st, 2020 vs January 1st → December 31st, 2019

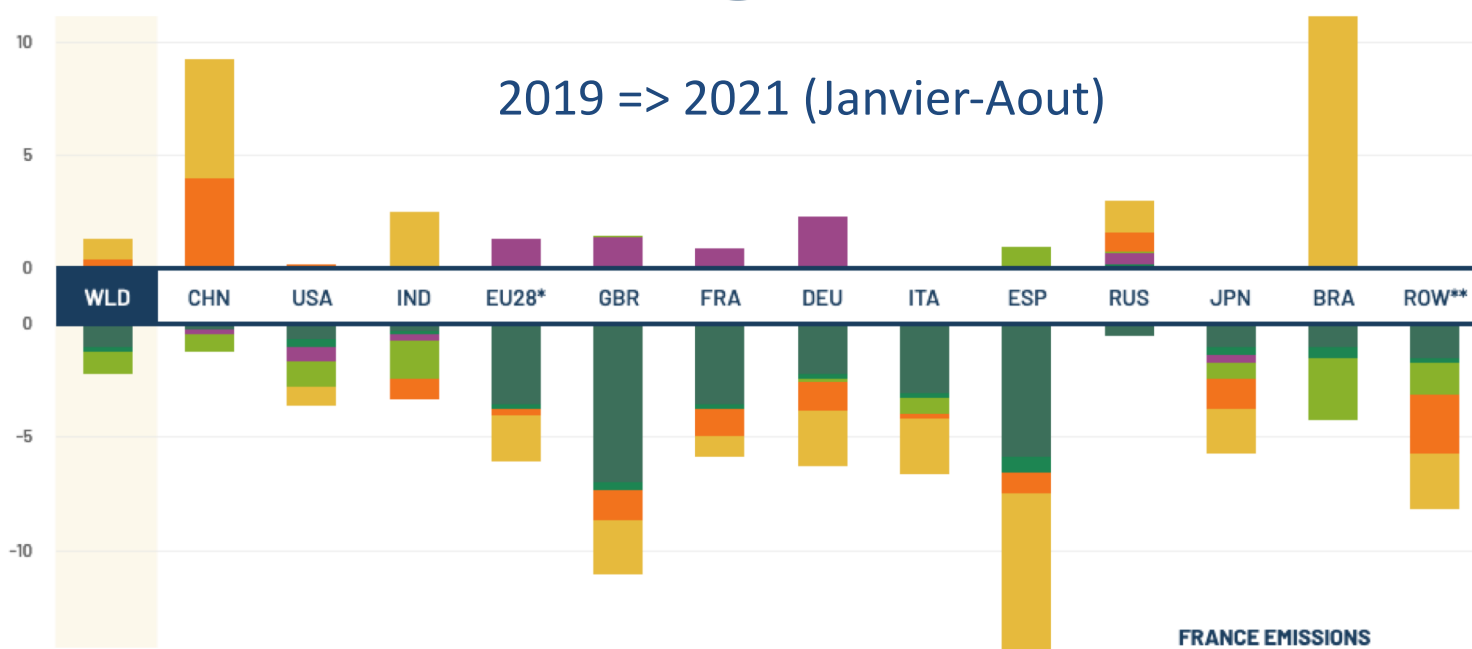
2019 => 2020



Source : carbonmonitor.org

Entre 2019 et 2020, les émissions mondiales ont diminué de ≈5,5%
 Réduction des transports terrestres était la première cause
 Variable suivant les pays. Notez la contribution de l'aviation dans les pays occidentaux

January 1st → August 31st, 2021 vs January 1st → August 31st, 2019



WORLD EMISSIONS

Jan 1st → Aug 31st, 2021 / Jan 1st → Aug 31st, 2019

All sectors	-1.0%	2.2%	(-221.3 MtCO ₂)
Power	+0.9%	2.2%	(+201.7 MtCO ₂)
Industry	+0.4%	1.3%	(+82.5 MtCO ₂)
Ground Transport	-1.0%	-5.4%	(-232.6 MtCO ₂)
Residential	+0.0%	-0.3%	(-6.0 MtCO ₂)
Domestic Aviation	-0.2%	-15.3%	(-36.8 MtCO ₂)
International Aviation	-1.0%	-54.3%	(-230.1 MtCO ₂)

FRANCE EMISSIONS

Jan 1st → Aug 31st, 2021 / Jan 1st → Aug 31st, 2019

All sectors	-4.8%	-9.6%	(-9.8 MtCO ₂)
Power	-0.9%	-9.6%	(-1.7 MtCO ₂)
Industry	-1.2%	-6.0%	(-2.5 MtCO ₂)
Ground Transport	+0.0%	0.1%	(+0.1 MtCO ₂)
Residential	+0.9%	3.7%	(+1.9 MtCO ₂)
Domestic Aviation	-0.2%	-31.9%	(-0.5 MtCO ₂)
International Aviation	-3.5%	-51.5%	(-7.0 MtCO ₂)

Diminution de ≈1% en mondial

En France, la diminution 2019=>2021 est essentiellement liée au transport aérien international