

# Recherche en astrophysique et dérèglement climatique

**Patrick Boissé**

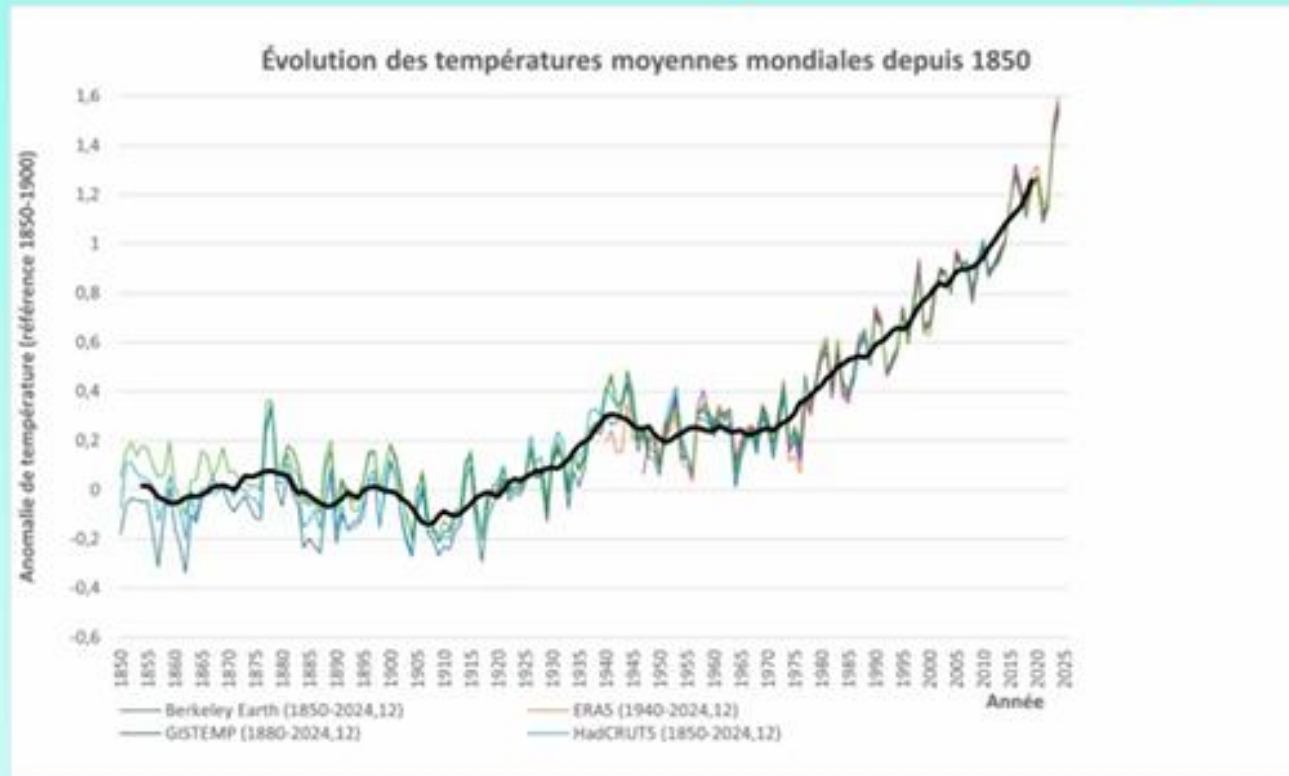
Sorbonne Université et IAP

*boisse@iap.fr*

## Résumé :

- Changement climatique : où en est-on ?
- Quelques notions générales
- Prévisions à l'horizon 2030, 2050, 2100
- Initiatives dans la société
- Démarche et actions dans le domaine de la recherche
- Conclusions

# Evolution de la température moyenne



- 6<sup>ème</sup> rapport du GIEC, publié en mars 2023 OMM
- 2024 : année la plus chaude jamais mesurée ( $\Delta T > 1.5^{\circ} \text{C}$ )
- Tendence claire, prédite dès 1970 (+ forte variabilité)
- Attribuée aux activités humaines (via effet de serre des GES émis)

Conséquences : événements extrêmes (fréquence, intensité), santé, sécheresses, productions agricoles, niveau de la mer ...

# Indicateurs du dérèglement climatique

(Le Monde, avril 2023)

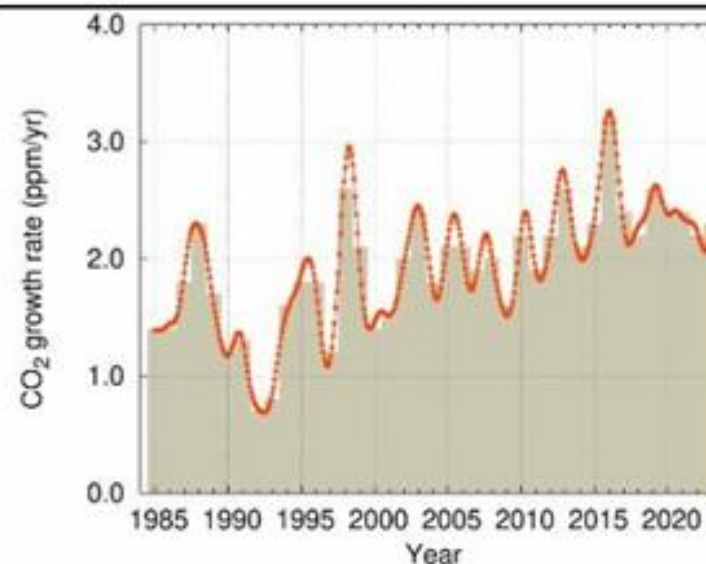
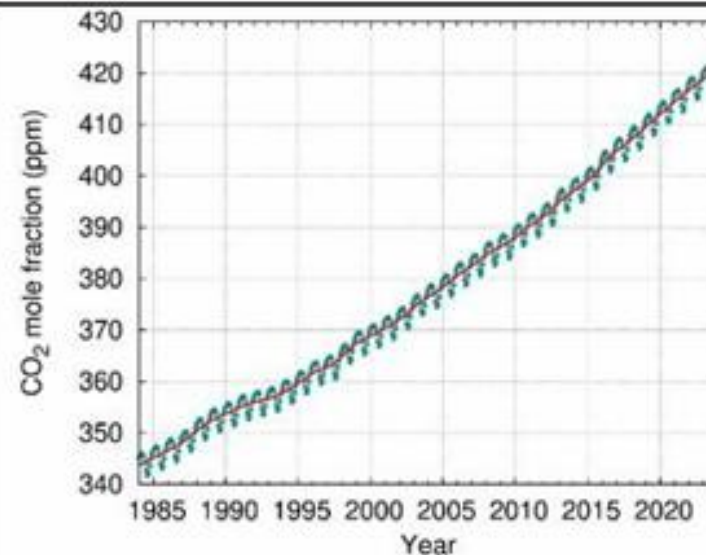
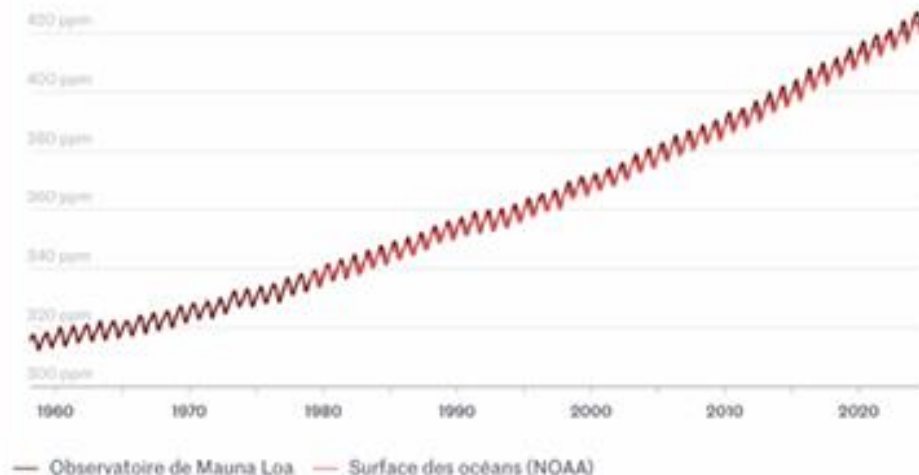
## Concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère

Mesures mensuelles de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) à la surface des mers. La concentration en  $\text{CO}_2$  est également mesurée à l'observatoire de Mauna Loa (3 400 mètres).

Le niveau de concentration observé actuellement n'a pas été aussi élevé depuis deux millions d'années.

**$\text{CO}_2$**   $\text{CH}_4$   $\text{N}_2\text{O}$

ⓘ Attention, les échelles ont changé.

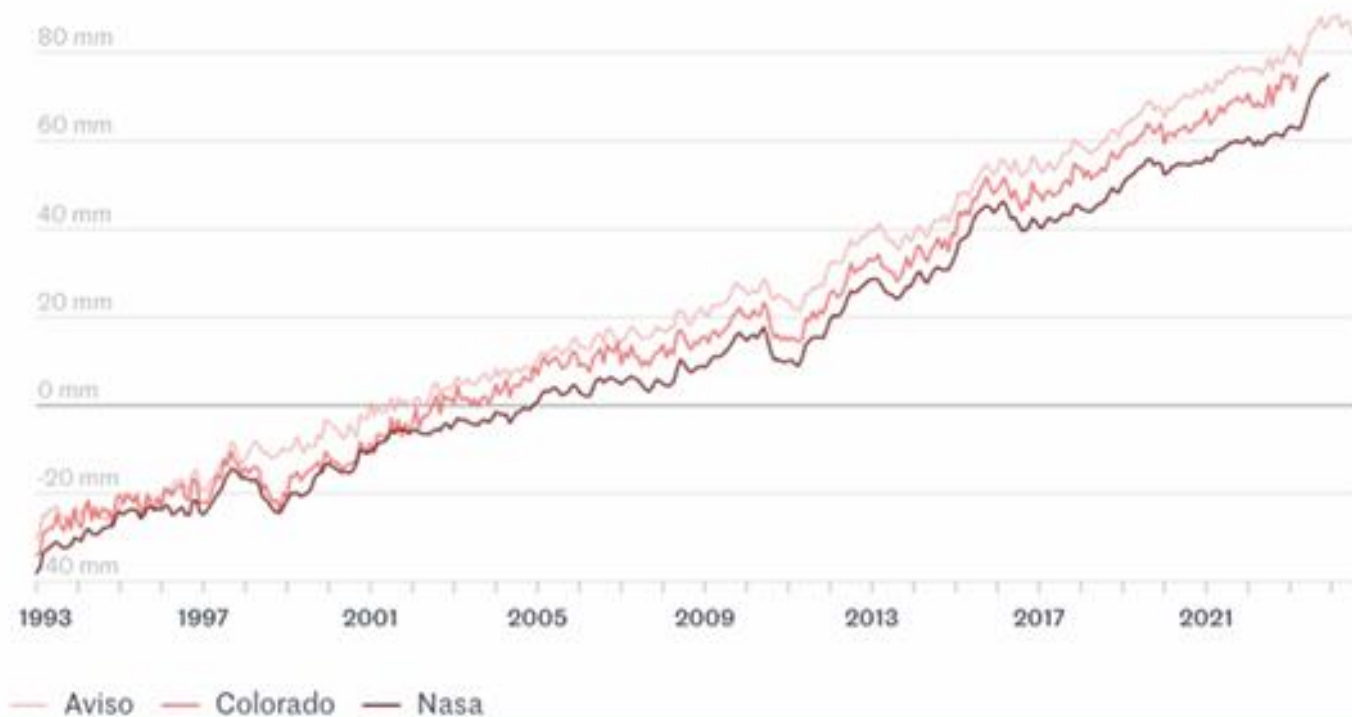


# Indicateurs du dérèglement climatique

## Niveau des océans

Différence du niveau moyen des océans par rapport à la moyenne de la période 1993-2010. (Les observations ont démarré en 1993.)

En moyenne, le niveau des océans a **augmenté de 3 millimètres par an** depuis 1993.





# Indicateurs du dérèglement climatique

## Surface de banquise

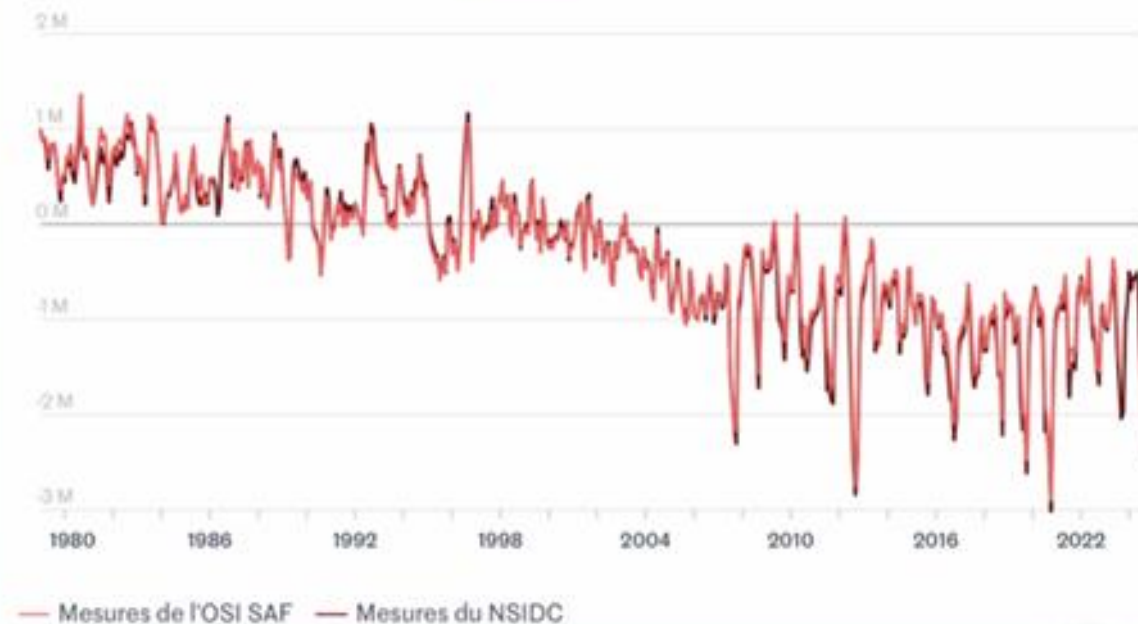
Evolution de la surface des glaces en Arctique et en Antarctique par rapport à la moyenne de la période 1981-2010 (en millions de km<sup>2</sup>).

La surface des glaces de mer de l'Arctique **diminue sur le long terme**. Dans l'Antarctique, le recul des glaces s'est légèrement accéléré depuis 2016.

Sélectionnez une région polaire pour afficher les données correspondantes

Arctique

Antarctique

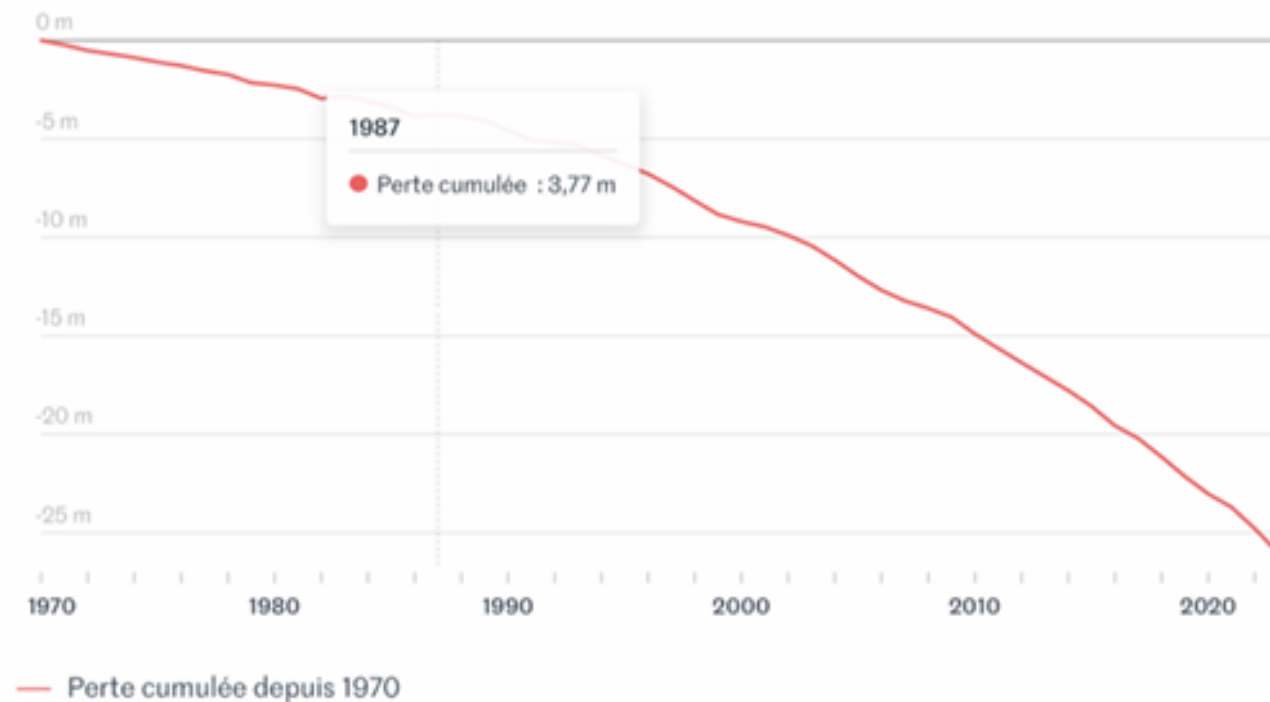


# Indicateurs du dérèglement climatique

## Perte de masse des glaciers

Cumul annuel de la fonte des glaces depuis 1970, mesuré à partir des observations continues de 40 glaciers de référence dans le monde.

Depuis 1970, un volume équivalent à **une couche de 28 mètres** de glace répartie sur tous les glaciers du monde a fondu.



# Quelques notions générales / 1

## Effet de serre

### Rayonnement (émission) thermique d'un corps chaud :

- à  $\approx 5000$  C : visible ( $\lambda \approx 0.6 \mu\text{m}$ )
- à  $\approx 20$  C : infrarouge (IR,  $\lambda \approx 10 \mu\text{m}$ )



### Principe d'une serre :

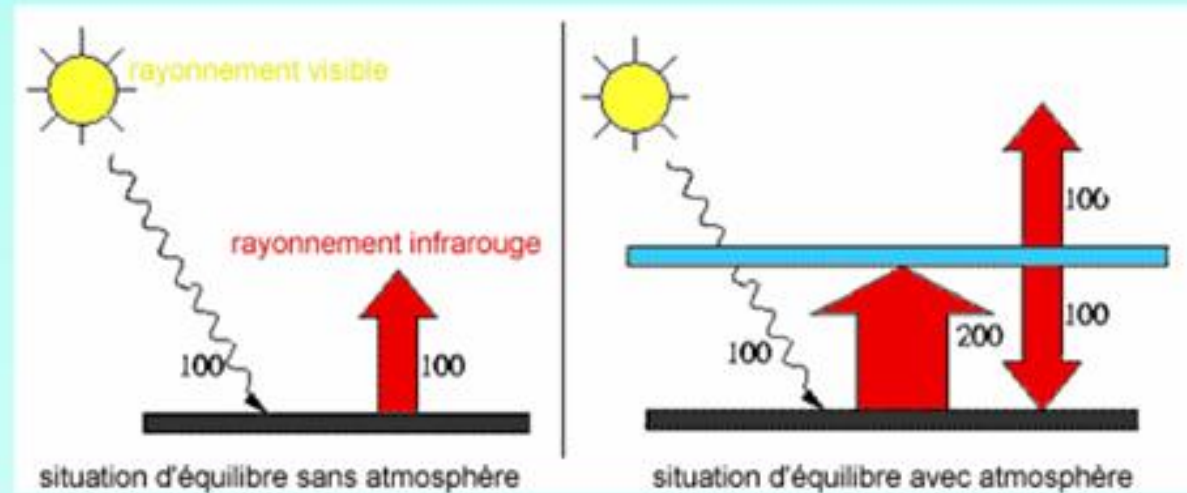
- verre transparent au visible
- verre opaque en IR

**T(équilibre):  $P_{\text{reçu}} = P_{\text{émis}}$**

### Atmosphère

GES ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ..)  $\approx$  vitre

Effet sur T :  $T = -18^\circ \Rightarrow +15 + \Delta T \dots$  (Vénus :  $-20^\circ \Rightarrow 460^\circ$ )



## Quelques notions / 2

### - **Température moyenne de la Terre :**

Moyenne spatiale (globe) et temporelle (année)

Indicateur statistique d'évolution globale

### - **Émissions de GES, unité :**

Tonnes équivalent-CO<sub>2</sub> ou Gt CO<sub>2</sub>-eq

Emissions CO<sub>2</sub> liées à l'énergie en 2017 USA: 14,6 t/hab./an Inde: 1,6t/ha/an

2019 : 59 Gt (+12%/2010 +54%/1990 dont 86% : comb. fossiles)

### - **Neutralité Carbone**

CO<sub>2</sub> absorbé (« puits »: océans, végétation et sols, ...) = CO<sub>2</sub> émis



# Quelques notions / 3

- **Modèles climatiques (et météorologiques) ( $\approx 40$ )**

Décrivent la circulation océanique et atmosphérique

Système climatique chaotique (variabilité interne)

- **Point de bascule**

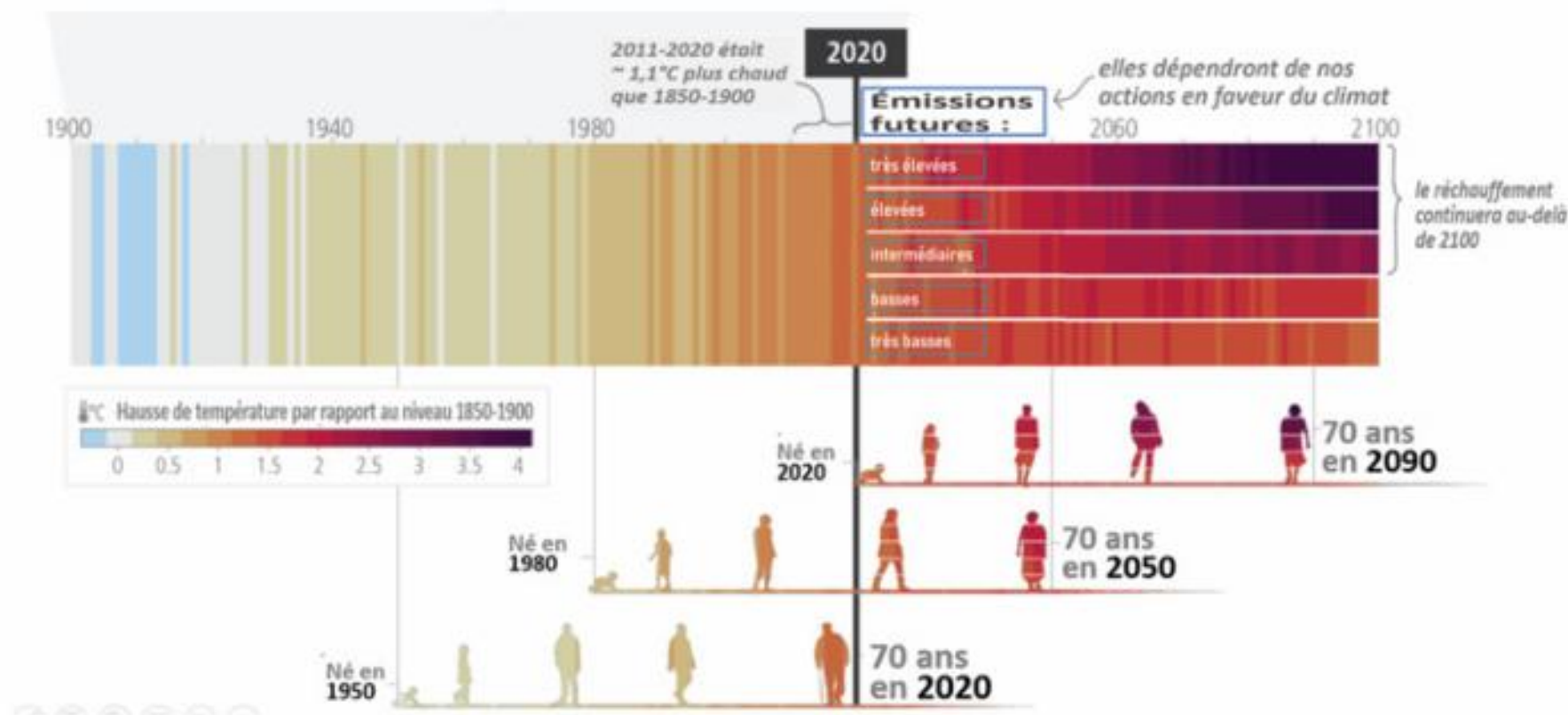
Transition irréversible vers un autre état d'équilibre

Exemples : fonte calottes glaciaires, pergélisol ( $\rightarrow$  CH<sub>4</sub>), courants marins

- **Changement/Réchauffement/Dérèglement ... climatique**

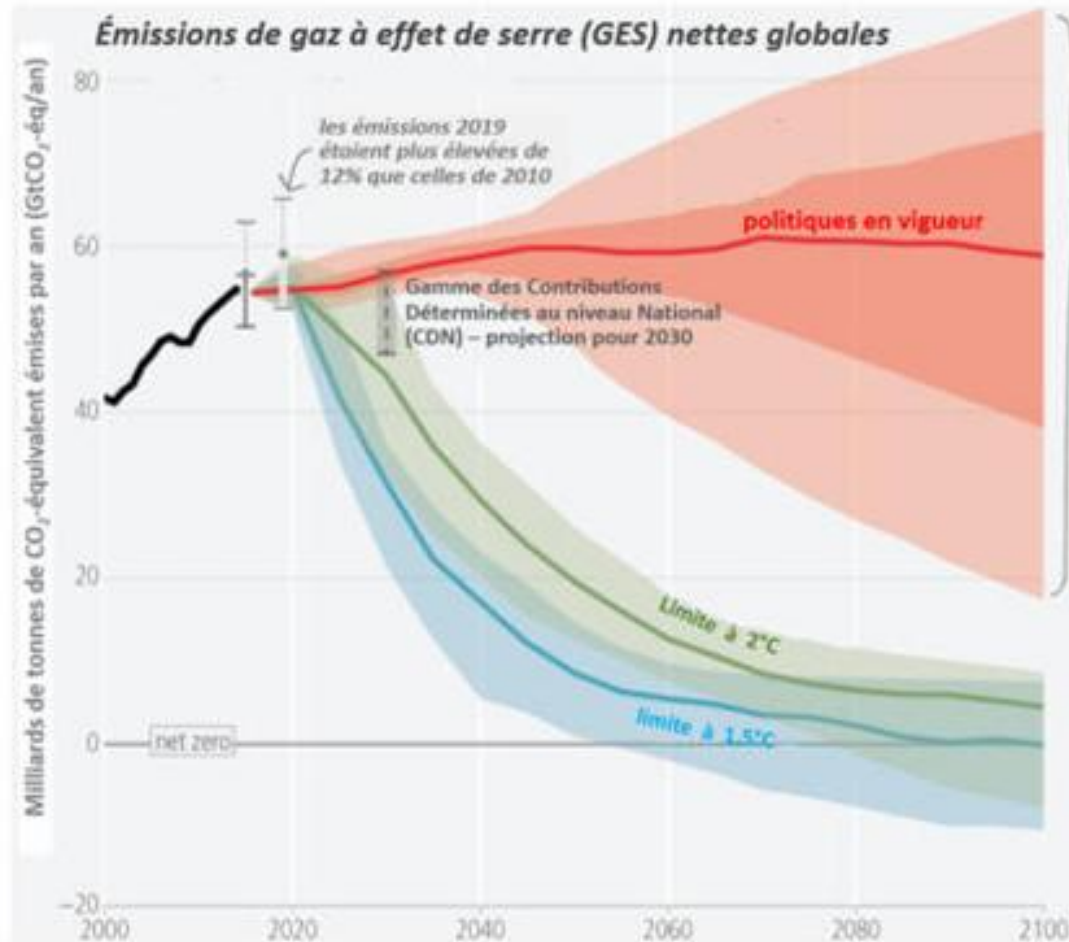
# Prévisions 2030, 2050, 2100 selon émissions GES

*Le monde dans lequel nous et les générations futures vivront dépend des choix que nous ferons aujourd'hui et à court terme pour les émissions futures*



Prédictions basées sur les modèles climatiques

# Emissions GES / accord de Paris



Ce qu'on appelle les 'CDN' - contributions déterminées au niveau national - sont les engagements nationaux des pays qui ont 'promis' des efforts en faveur du climat lors des COP

Les 'politiques en vigueur' correspondantes conduisent aux émissions en rouge, et à une augmentation de température de 3,2°C (entre 2,2 et 3,5°C ; indice de confiance moyen d'après la nomenclature GIEC)

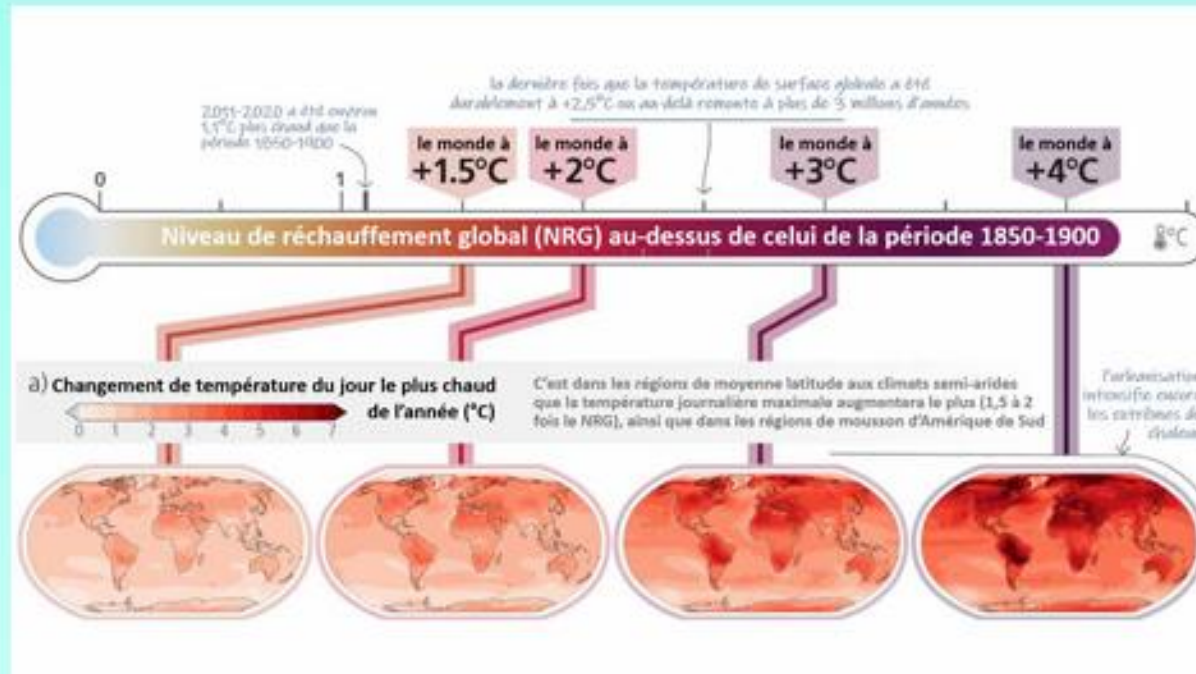
- Politiques en vigueur (moyenne, percentiles 25-75%, percentiles 5-95%)
- Limitation du réchauffement à 2°C (probabilité >67%)
- Limitation du réchauffement à 2°C (probabilité >50%) sans ou avec peu de dépassement
- Émissions passées (2000-2015)
- I Gamme des modèles pour les émissions 2015
- | • | Émissions passées et gamme d'incertitudes pour 2015 et 2019 (le point indique la médiane)



# Remarques importantes

## T moyenne → T locale ?

$\Delta T$  plus élevée sur les continents, spécialement en Europe



## Grandes disparités : les inégalités sont exacerbées !

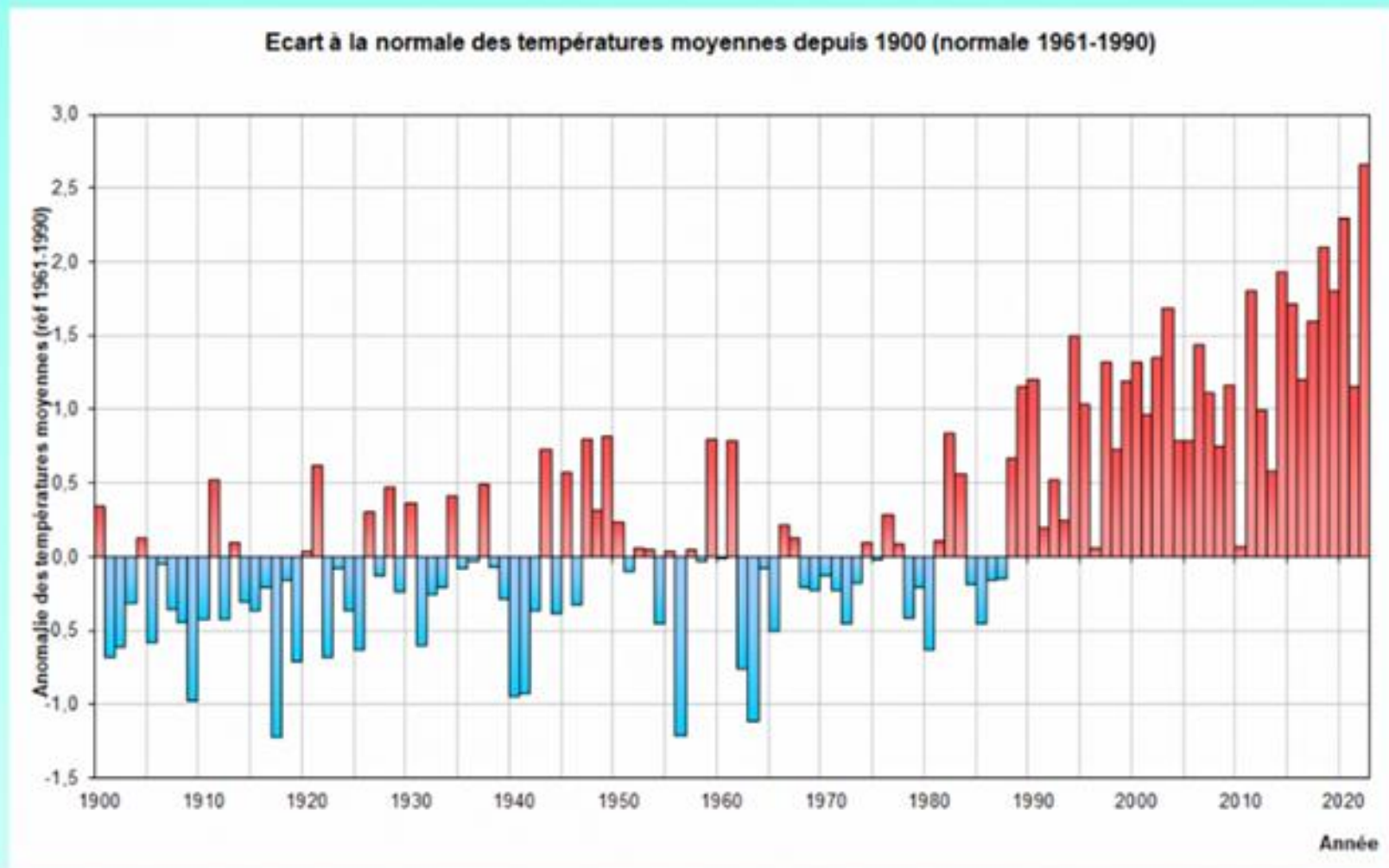
Emissions GES <-> niveau développement

10% + riches → 40% émissions alors que 50% + pauvres → < 15% émissions

Fortes inégalités pour s'adapter.



# Hausse des températures en France



+ 2,7 C en 2022 par rapport à moyenne 1961 – 1990

Adaptation prévue pour 2100 à +4 C en France (+ 2,6C Terre)

# Années les plus chaudes en France

## LES 10 ANNÉES LES PLUS CHAUDES EN FRANCE DEPUIS 1900



METEO FRANCE

Les 10 années les plus chaudes sont postérieures à 2010. Les 3 années les plus chaudes sont postérieures à 2020.

# Cadre général des actions

Actions nécessaires :

- **Réduction** des émissions de GES (globale)
- **Adaptation** pour T, sécheresse, niveau mer, etc (local)

## Niveau mondial

GIEC (6 rapports AR1 à AR6; AR6 publié en 2023)

COP ( ... COP21 accord Paris 2015, COP31 en Turquie en nov. 2026)

Engagement des états (réductions GES, entraide ...)

## Etats (et organismes internationaux : ESO, CERN ...)

**En France**, Haut Conseil pour le Climat + Conseil Scientifique + ADEME

Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC, 5 ans) => neutralité C en 2050

Emissions **divisées par  $\approx 2$  en 2030, par  $\approx 4$  en 2050**

Politique définie pour industrie, **recherche**, logements, mobilités, ...

**Recherche** : cadre défini par le CNRS et les Universités

mise en œuvre dans les laboratoires (sept. 24 : délégué au dev. durable)



# Initiatives dans la société

## - Agir pour le climat, Pacte finance-climat (J. Jouzel)

Lever des financements (Banque européenne du climat) pour agir  
Associé à *Team for the Planet* (entreprises / urgence climatique)

## - The Shift project (J.M. Jancovici)

Laboratoire d'idées (prop. réduction dépendance aux en. fossiles ...)

## - Individuelles :

Par exemple :

Greta Thunberg (grèves pour le climat),

Aurélien Barrau

*Le plus grand défi de l'histoire de l'humanité*

Hubert Reeves (engagement pour l'écologie)





# Initiatives dans la société

## - Agir pour le climat, Pacte finance-climat (J. Jouzel)

Lever des financements (Banque européenne du climat) pour agir  
Associé à Team for the Planet (entreprises / urgence climatique)

## - The Shift project (J.M. Jancovici)

Laboratoire d'idées (prop. réduction dépendance aux en. fossiles ...)

## - Individuelles :

Greta Thunberg , Aurélien Barrau, ...Hubert Reeves

## - Nos vies bas carbone (association),

## - Scientifiques en rébellion

Urgence d'agir, désobéissance civile

## - Astronomers for Planet Earth (A4E)

## - Labos1point5



# Astronomers for Planet Earth (A4E)



Rassemble des astrophysiciens, étudiants, astronomes amateurs  
≈ 2300 membres de 85 pays

## **La Terre est notre seule chance :**

- pas d'autre planète possible dans le système solaire
- les exoplanètes sont bien trop loin
- la plupart des humains seraient délaissés
- nous pouvons relever le défi climatique !

**Développent prise de conscience, proposent des actions et ressources**



# Collectif et GdR Labos1point5



- Initialement (2019) un collectif de personnels de la recherche.
- Structuration en GdR fin 2021, soutenu par le CNRS, l'ADEME ...
- Met à disposition des labos des outils (par exemple, pour **BEGES**)  
et fédère les efforts (réseau de labos en transition)
- Equipes : « enseignement », réflexion, Arts&Sciences

# Organismes de recherche

## Rapport de prospective CNRS pour la Physique

*Ainsi, la recherche en physique sera confrontée durant la prochaine décennie à l'obligation légale de réduire rapidement ses émissions de carbone (2 à 5 % par an) et devra faire face à des pénuries de ressources essentielles.*

*Sans une action déterminée de la communauté scientifique, cette crise environnementale pourrait avoir des conséquences néfastes sur la liberté de la recherche, la cohésion interne des laboratoires et le soutien public à la recherche en physique.*

*Répondre à ces enjeux entraînera des changements dans les pratiques de recherche aux échelles individuelle, du laboratoire, mais aussi institutionnelle.*

### Comité éthique CNRS :

**La prise en compte des impacts ... relève de l'éthique de la recherche.**

### **Dans un contexte contraint, redéfinition des objectifs prioritaires :**

- Réduire l'impact des grandes infrastructures utilisées en astronomie
- Nouveaux projets : doivent intégrer les contraintes climatiques
- Reconnaître dans les carrières l'implication et la formation sur ces sujets
- Renforcer projets participatifs et diffusion des savoirs (rapport CNRS/INSU)



# Démarche des laboratoires / 1

**Méthode :** associe la direction, groupe climaction, conseil de labo et personnels pour **réduire l'empreinte et s'adapter**  
... en trouvant autant que possible des consensus (questionnaire aux membres).

## Bilan des émission GES (BEGES)

pour identifier les postes principaux et agir dessus

tâche complexe → outil du GdR labo1point5 (+ evaluation homogène)

bilan pris en compte dans l'évaluation des labos ?

## Principaux postes :

- dépend beaucoup du type d'activités (instrumentation/théorie)
- par exemple : missions (conférences, jurys, collaborations), achats, calcul numérique, bâtiments etc.

# Démarche des laboratoires / 2

## Réduction :

- déplacements :
  - domicile – labo : encourager les transports en commun, le vélo
  - missions : limiter autant que possible l'avion /train, informer  
impact avion >> train ( + incertitudes trainées)  
conférences : visio-conférences (cf période COVID), mode hybride, x sites  
**auto-limitation ou budget carbone / personne ou /équipe ?**
- achats : encourager le réemploi, appareils reconditionnés
- numérique : formation aux bonnes pratiques (stockage données)
- gestion des déchets (plastique etc)

## Adaptation

- **comme au domicile**: T bureau, locaux adaptés si canicule (> clim. !) etc

# Quelques conclusions

- Evolution très préoccupante, à regarder en face  
très urgent de s'adapter **et** de réduire les émissions de GES
- Nombreuses initiatives et actions en cours :  
Plus de 50% des émissions dans le champ de politiques publiques
- Importance de la formation (jeunes, cadres de l'état ... OCE)  
Eco-anxiété :  $\approx 70\%$  des ados.
- Chacun peut agir : bilan carbone etc, voir [nosviesbas carbone.org](http://nosviesbas carbone.org)
- Recherche modifiée en profondeur :
  - livre « Décroissance » de N. Chevassus-au-Louis  
réflexions sur fonctionnement et évolution de la recherche
  - viabilité de très grands projets au-delà de ELT, JWST, LHC ?
  - mieux exploiter les données déjà acquises (bases partagées)
  - davantage d'interdisciplinarité pour vision globale (dont SHS)



# Emissions de CO<sub>2</sub> par km et par personne pour divers modes de transport



**TGV**  
**3,5** gCO<sub>2</sub>/p.km



**TRAINS  
GRANDES LIGNES**  
**10** gCO<sub>2</sub>/p.km



**BUS**  
**20** gCO<sub>2</sub>/p.km



**VOITURE**  
**85** gCO<sub>2</sub>/p.km



**AVION**  
**145** gCO<sub>2</sub>/p.km