



IPSL Climate Modelling Centre



# *Changements climatiques : Quoi de neuf ?*

*Jean-Louis Dufresne*

*jean-louis.dufresne@lmd.jussieu.fr*

*Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS, UPMC, ENS, X)  
Institut Pierre Simon Laplace.*

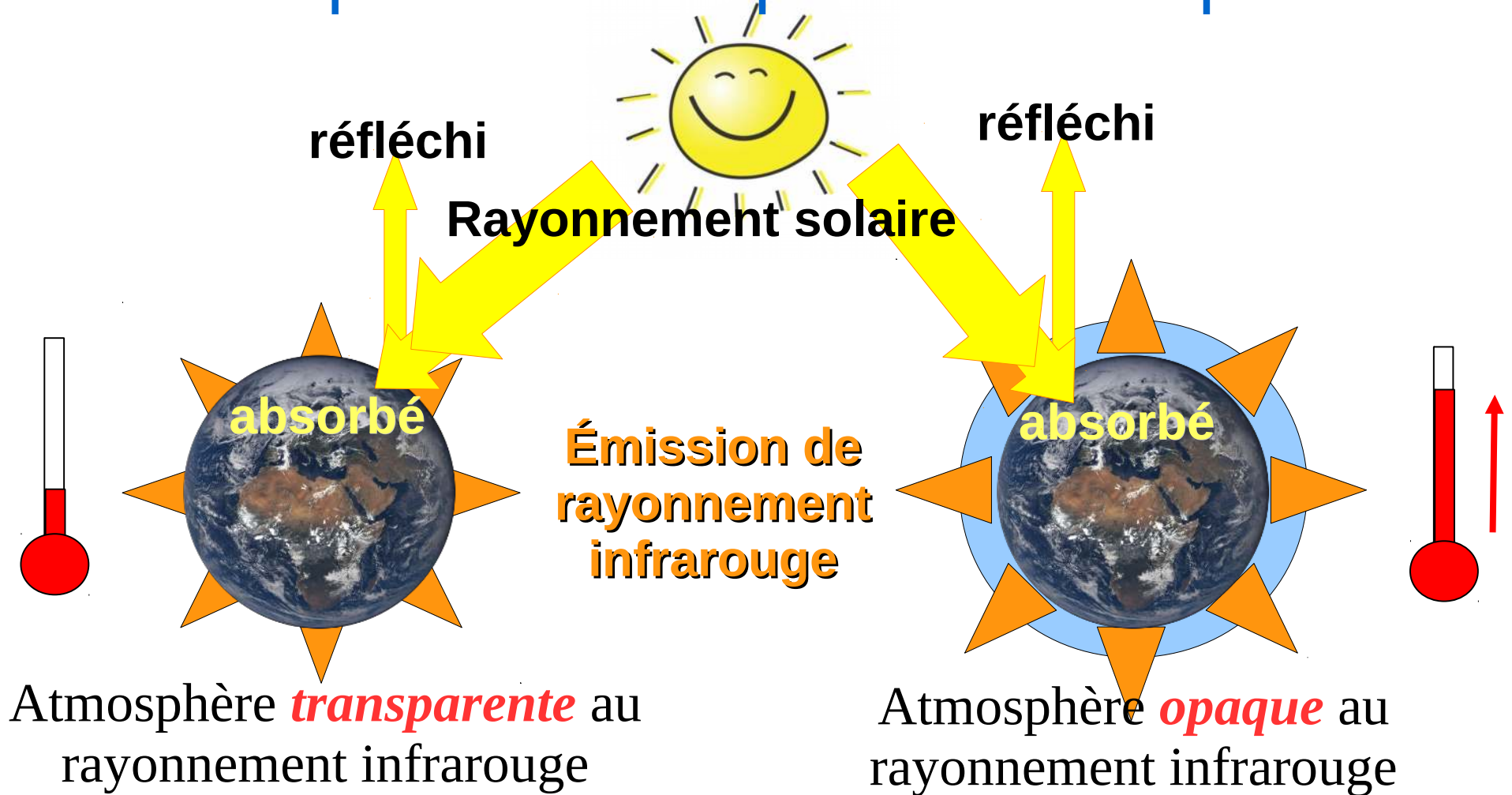


Arras, 5 février 2019

# Plan

- I. Quelques éléments de bases
- II. Réchauffement récent et rôle des activités humaines
- III. Projections des climats futurs
- IV. Les négociations internationales : accords de Paris et ses suites

# Température d'équilibre d'une planète



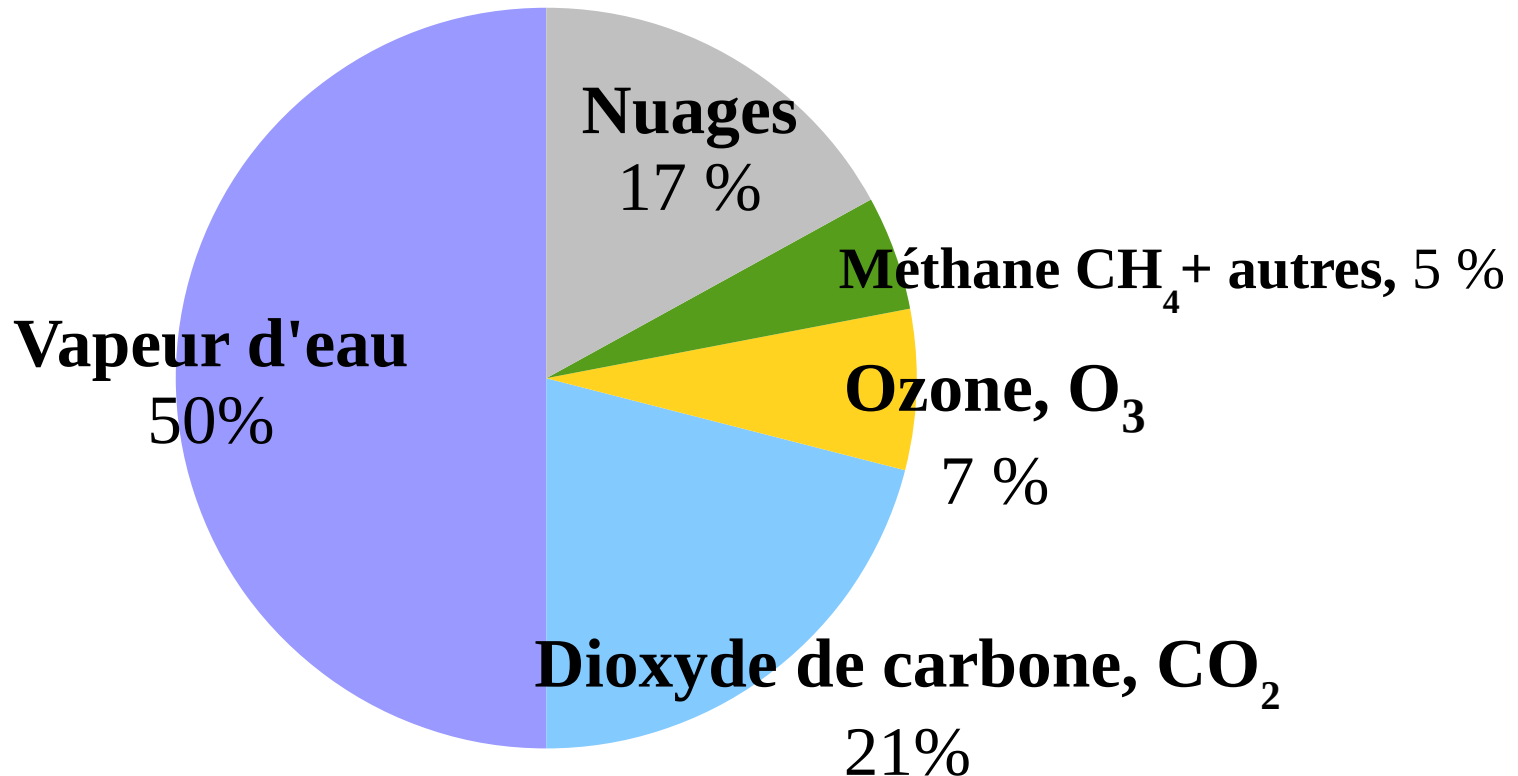
- Si l'atmosphère était transparente au rayonnement infrarouge, la température de la surface serait **de  $-18^{\circ}\text{C}$**
- La température actuelle est **de  $15^{\circ}\text{C}$**
- **La différence est due à l'effet de serre**

# L'effet de serre sur Terre

**Effet de serre:** différence entre le flux émis par la surface et celui perdu vers l'espace

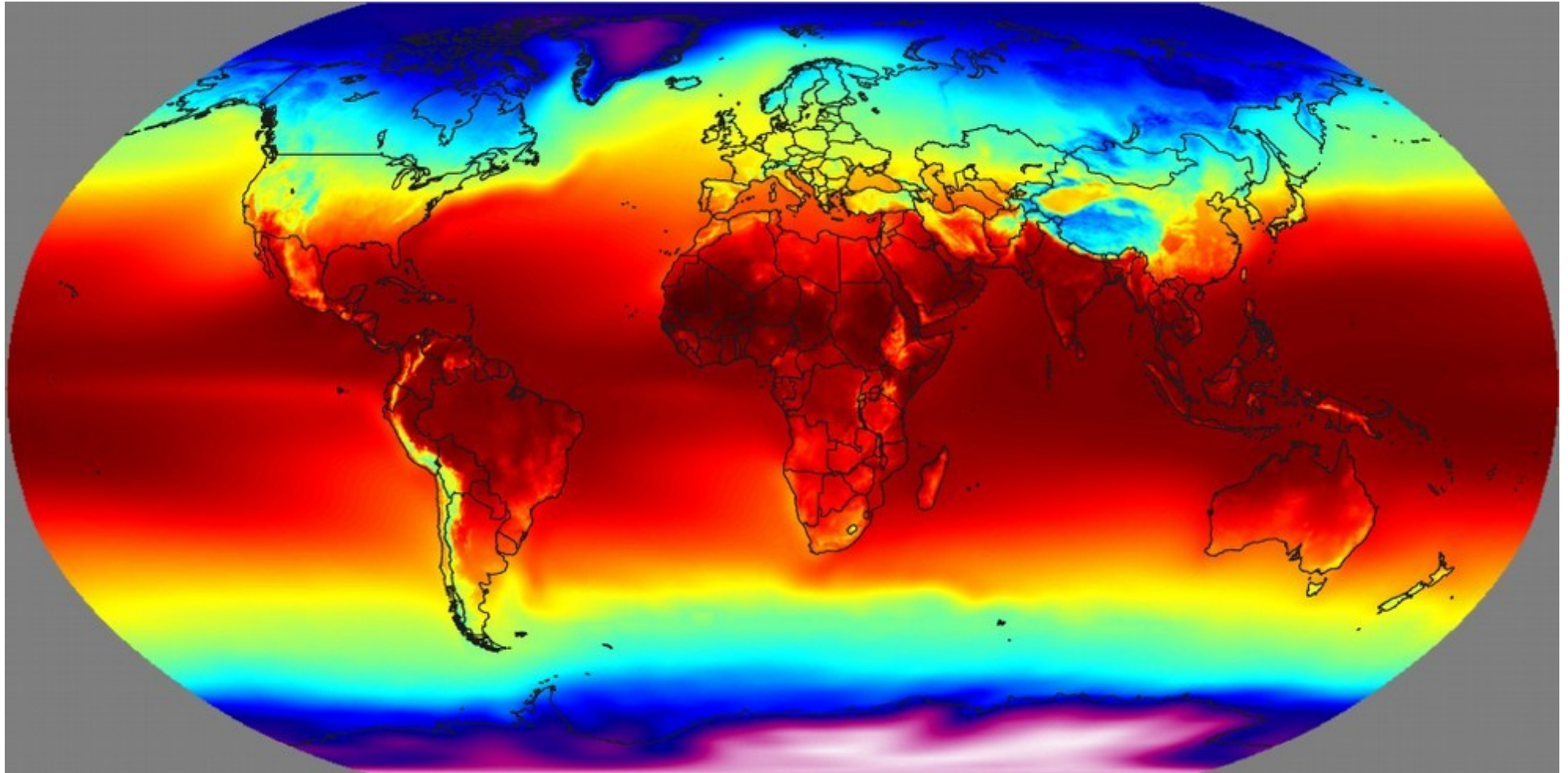
Sur Terre :  $G = 150 \text{ Wm}^{-2}$

**Qui contribue à l'effet de serre ?**



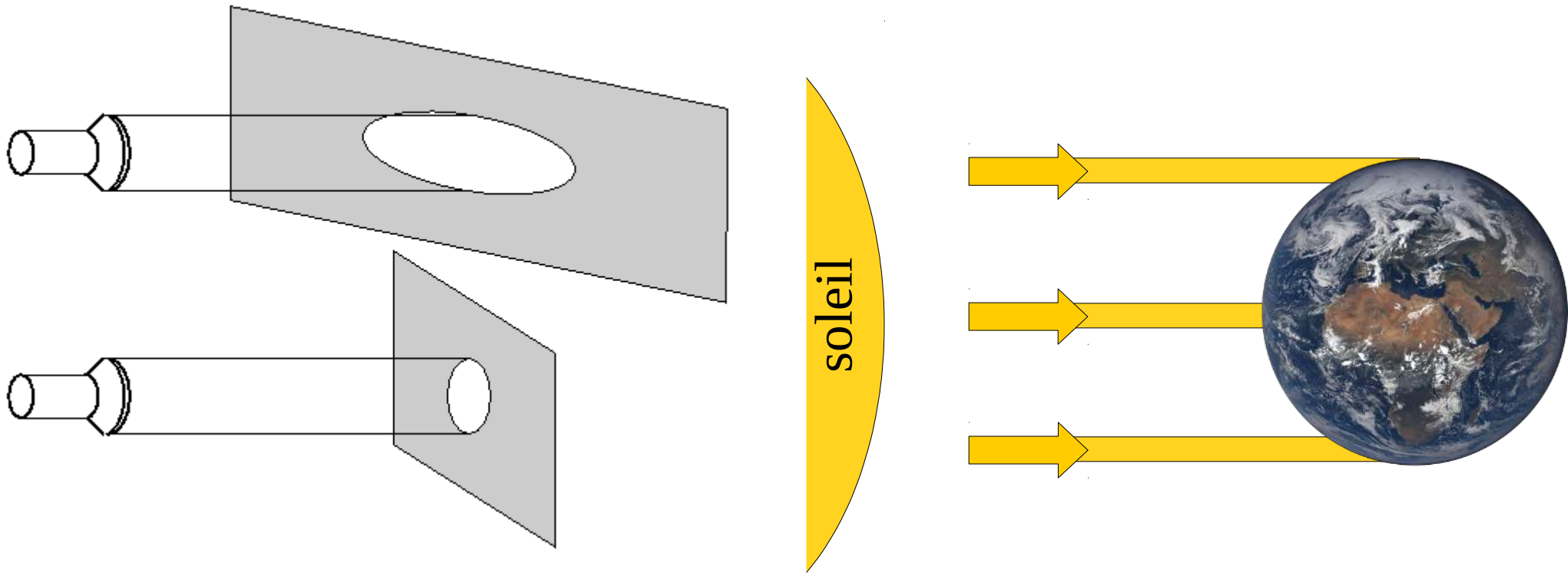
# Qu'est ce que le climat global ?

**moyenne annuelle de la température de surface**



# Qu'est ce que le climat global ?

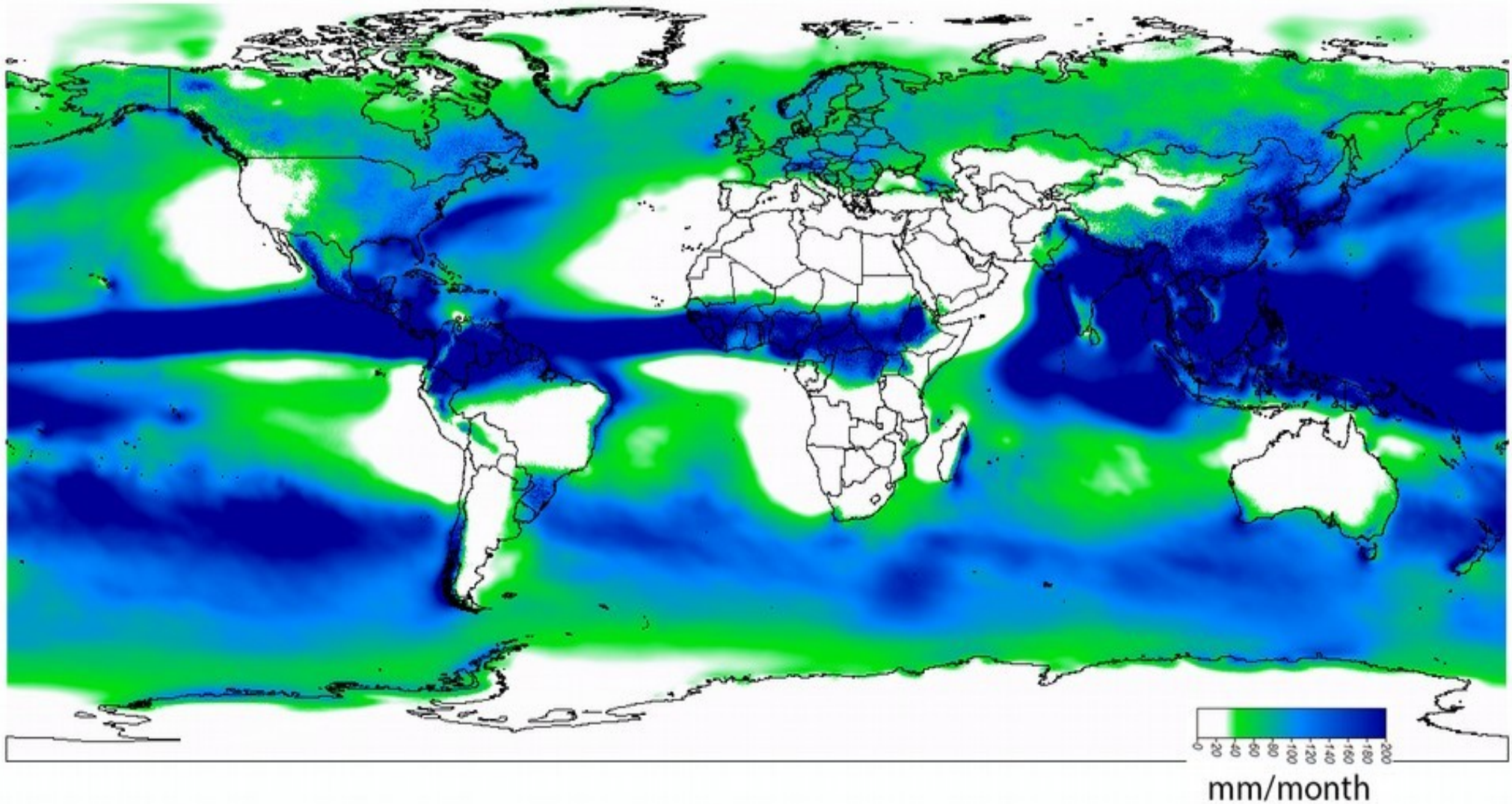
## Le soleil, moteur du climat



**Climat** : Provient du grec « klima » « inclinaison du ciel »  
l'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil

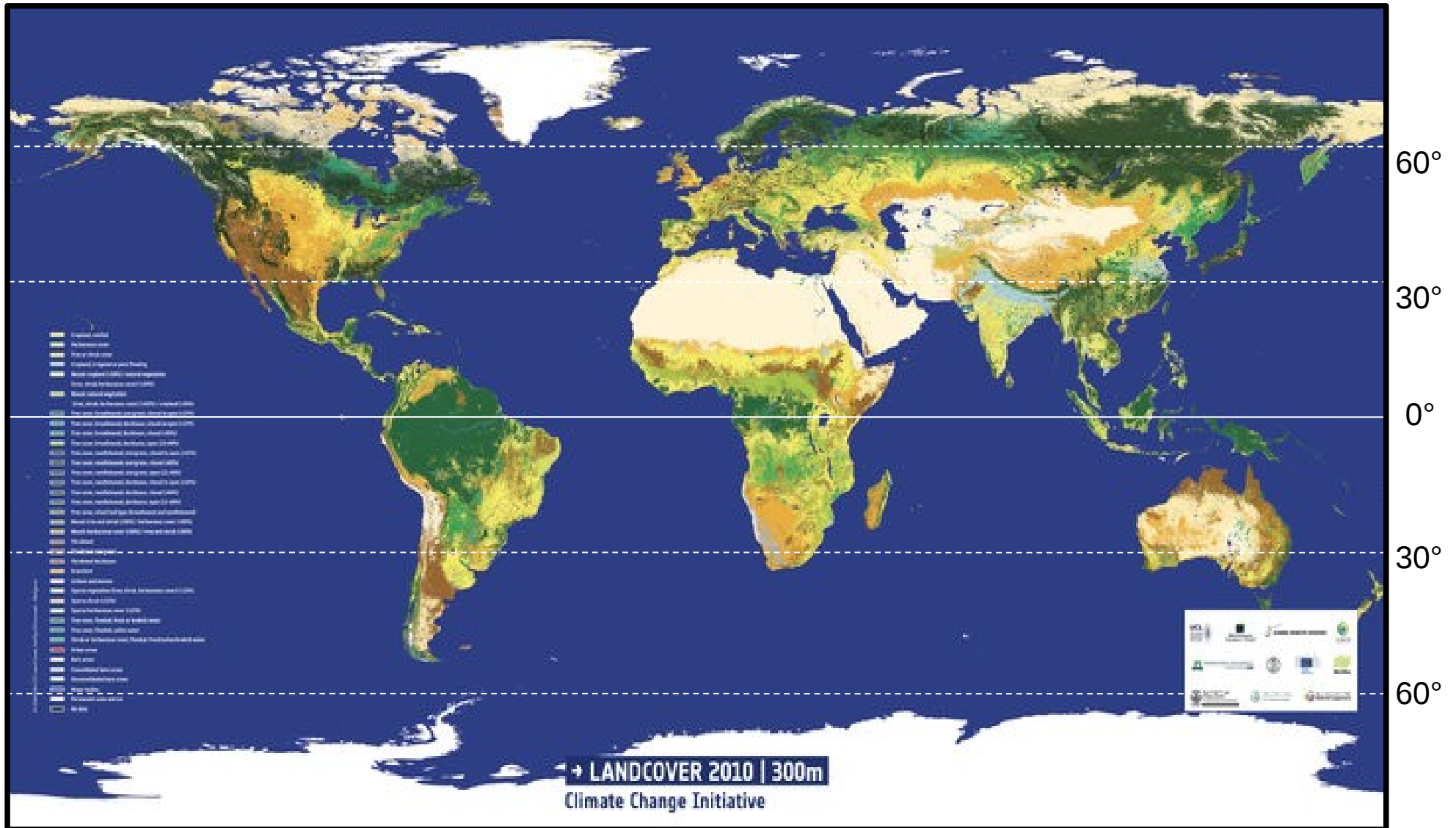
# Qu'est ce que le climat global ?

## Précipitations moyennes en juillet



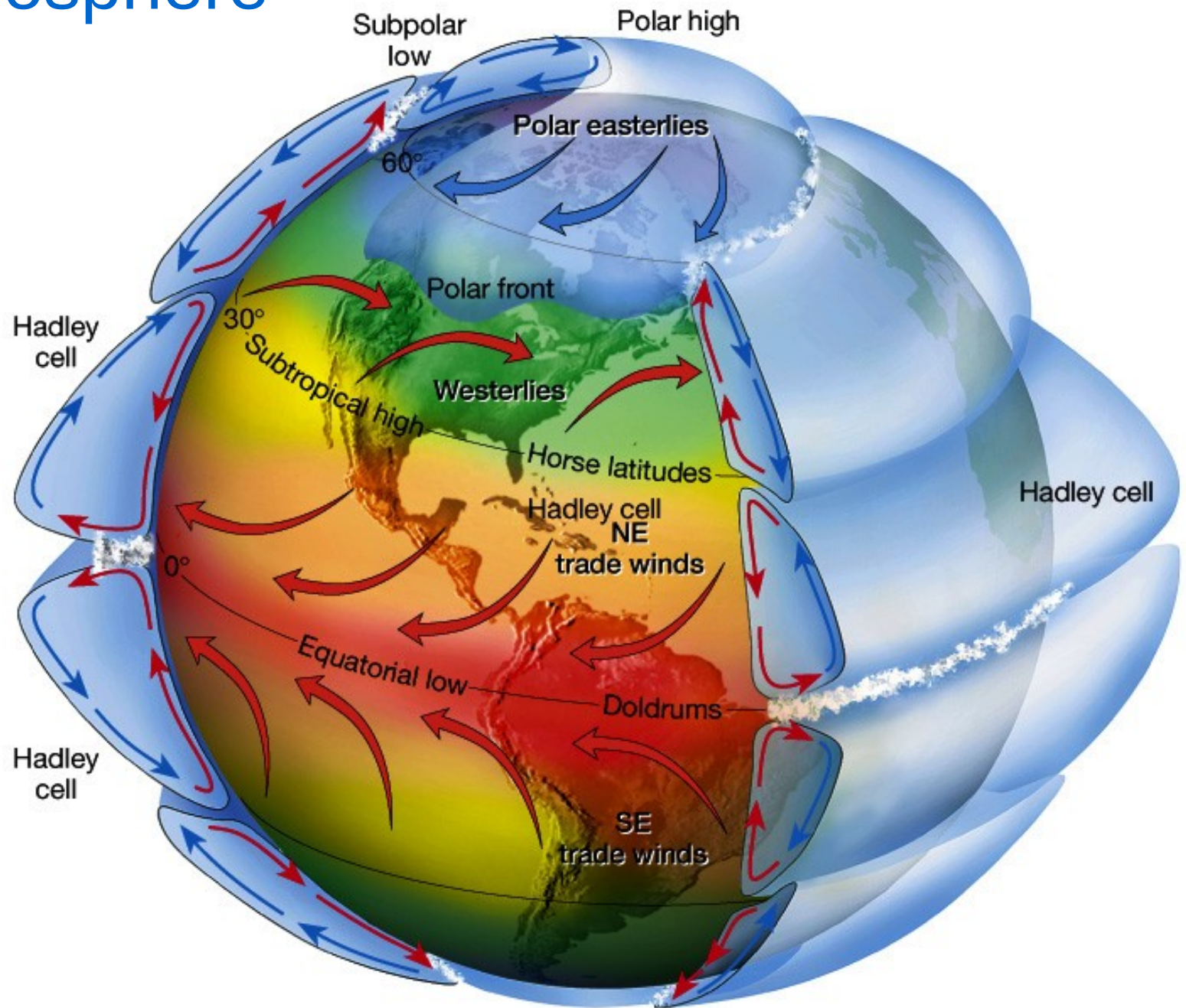
# Qu'est ce que le climat global ?

## Carte de végétation





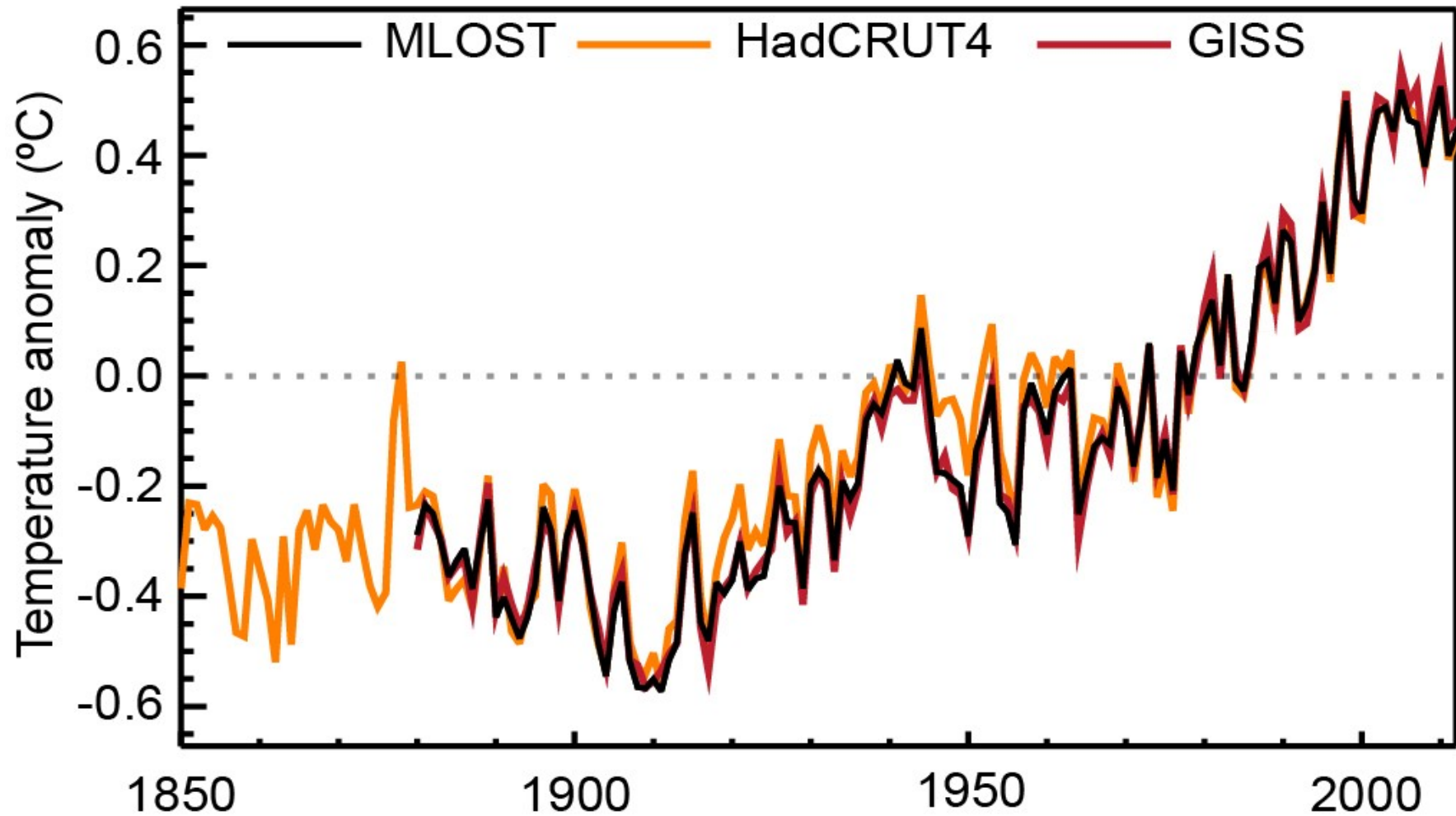
# Circulation générale de l'atmosphère



# Plan

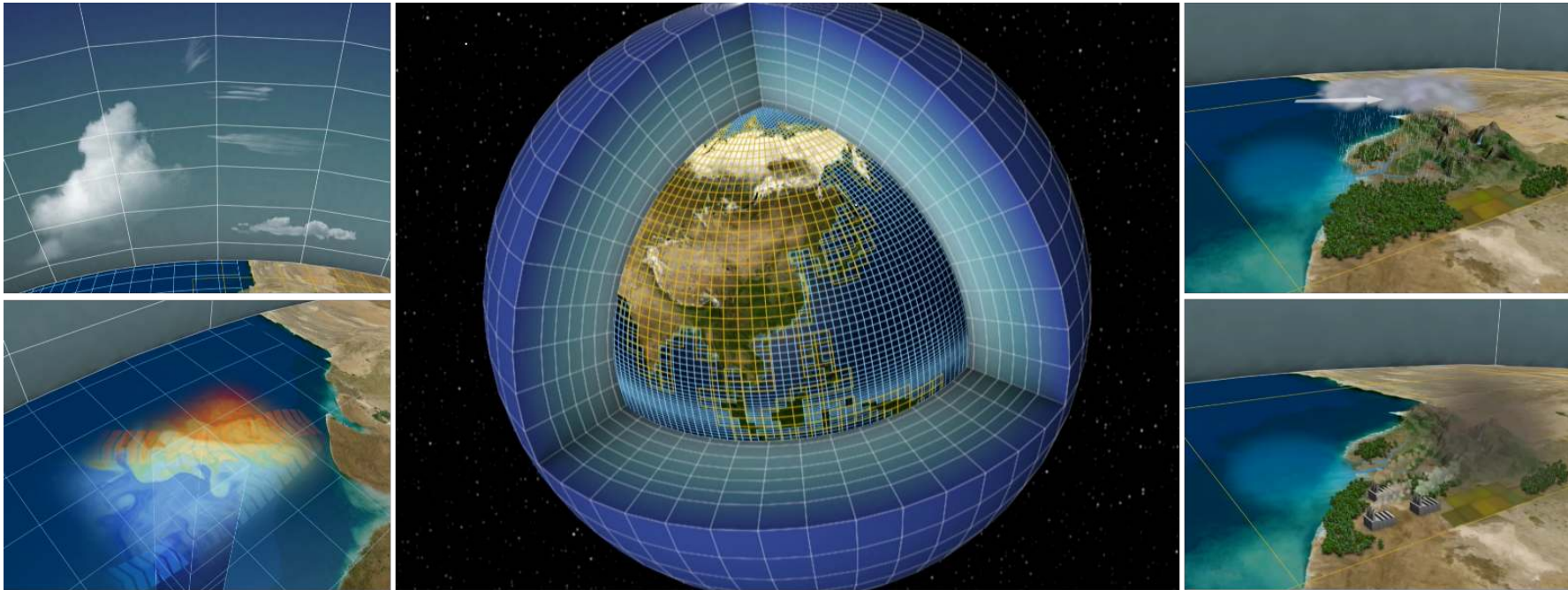
- I. Quelques éléments de bases
- II. Réchauffement récent et rôle des activités humaines
- III. Projections des climats futurs
- IV. Les négociations internationales : accords de Paris et ses suites

# Évolution récente de la température du surface



# Modèle de climat

## (Modèle de circulation générale)



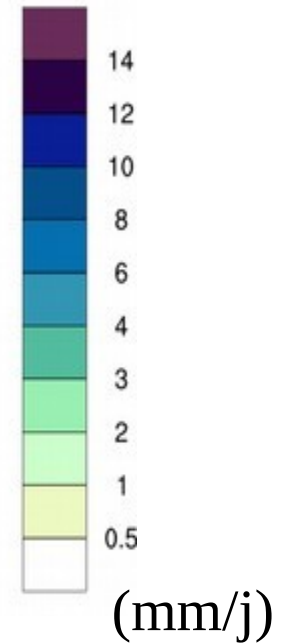
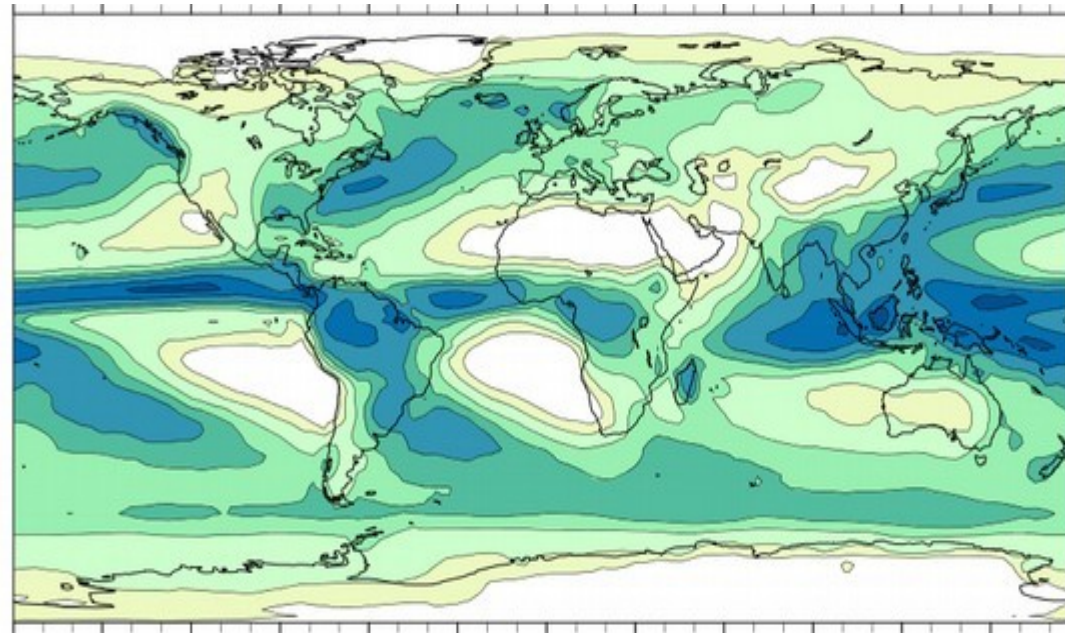
Images issues d'un film présentant la modélisation du climat. Copyright CEA

- Une représentation 3D de l'atmosphère l'océan glaces de mer et surfaces continentales (couplages de différents modèles)
- Une représentation du couplage avec les cycles biogéochimiques dans l'atmosphère l'océan et le continent

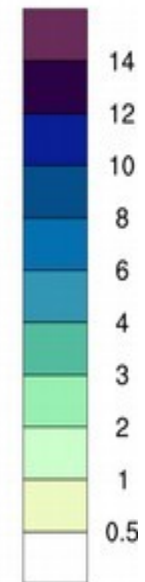
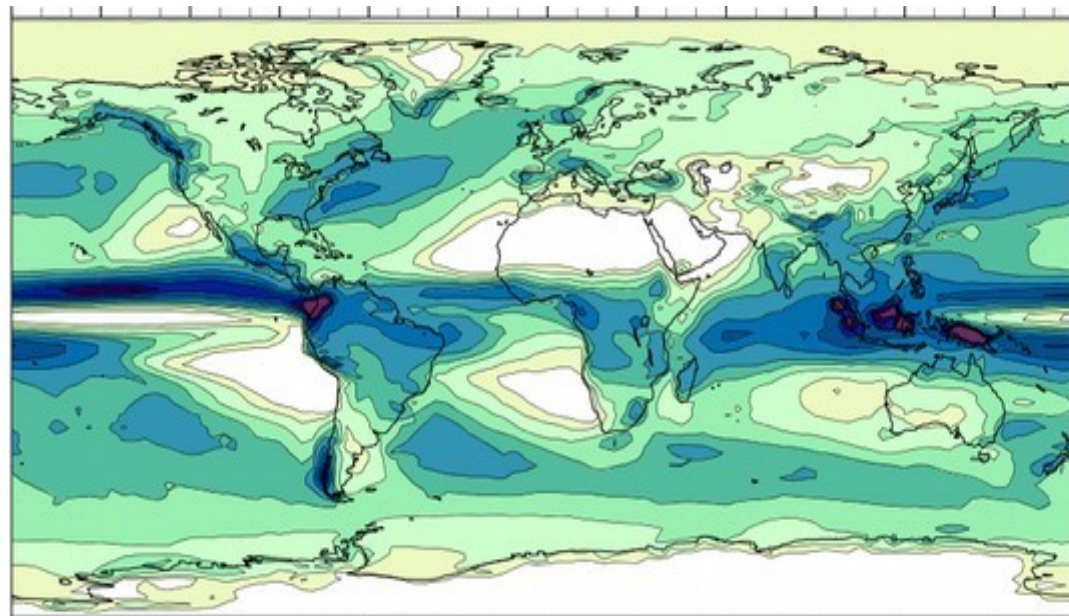
# Comment les modèles simulent le climat d'aujourd'hui ?

## Précipitations (pluie + neige), moyenne annuelle

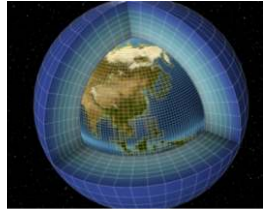
**Observations**



**Modèle  
IPSL**

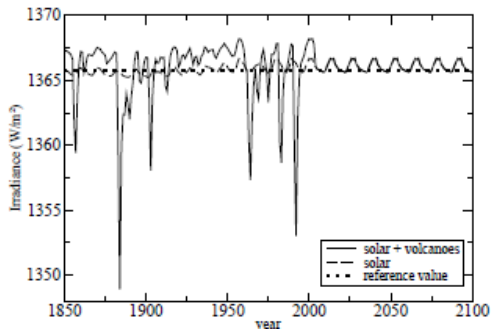


# Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL

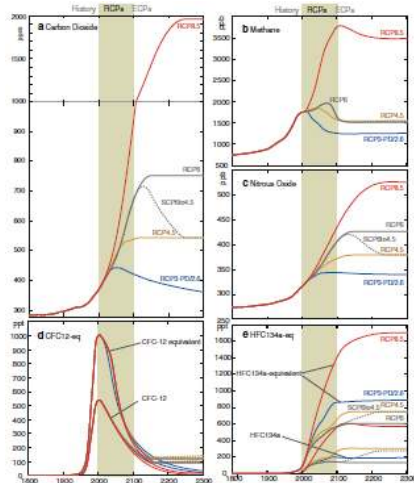


## Forçages naturels et anthropiques

### Soleil et volcans



### Gaz à effet de serre ou chimiquement actifs

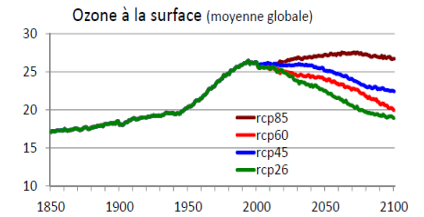


### Concentration de CO<sub>2</sub>

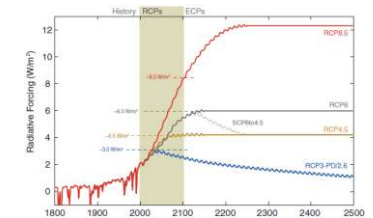
**Modèle de climat**

- Représentation 3D de l'atmosphère l'océan glaces de mer et surfaces continentales (couplages de différents modèles)
- Représentation du couplage avec les cycles biogéochimiques dans l'atmosphère l'océan et le continent

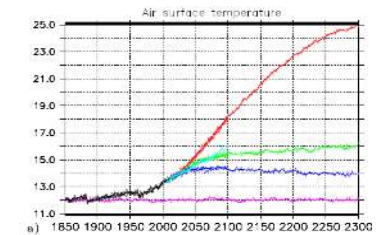
## Composition de l'atmosphère



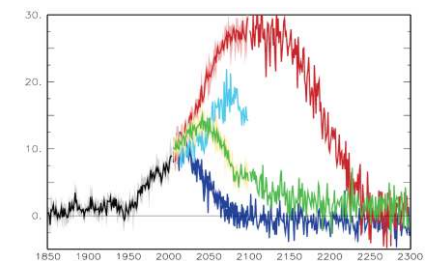
## Forçage radiatif



## Changement climatique



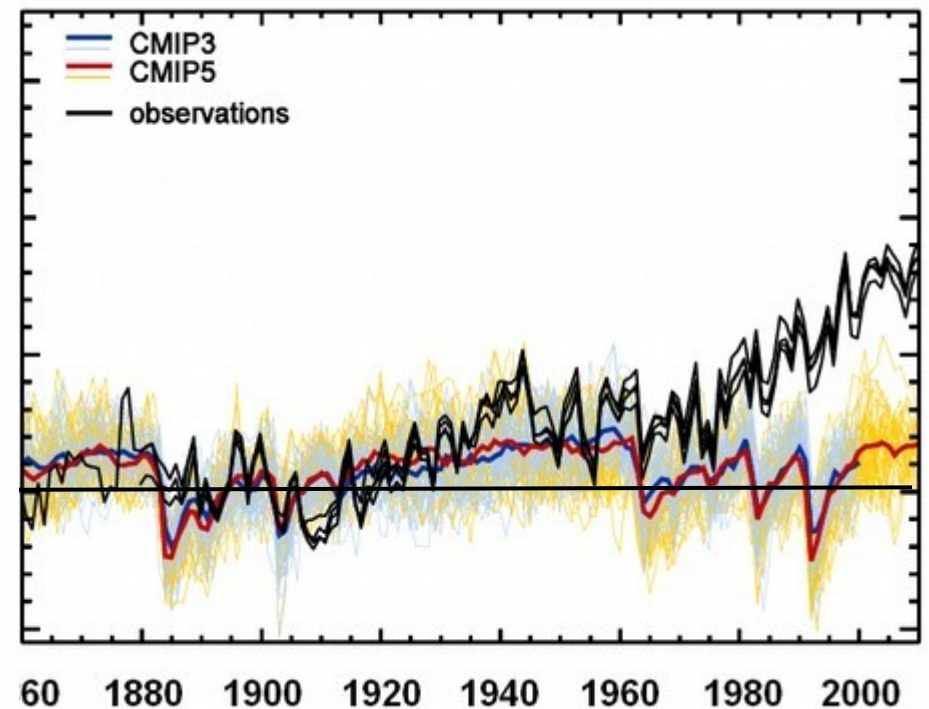
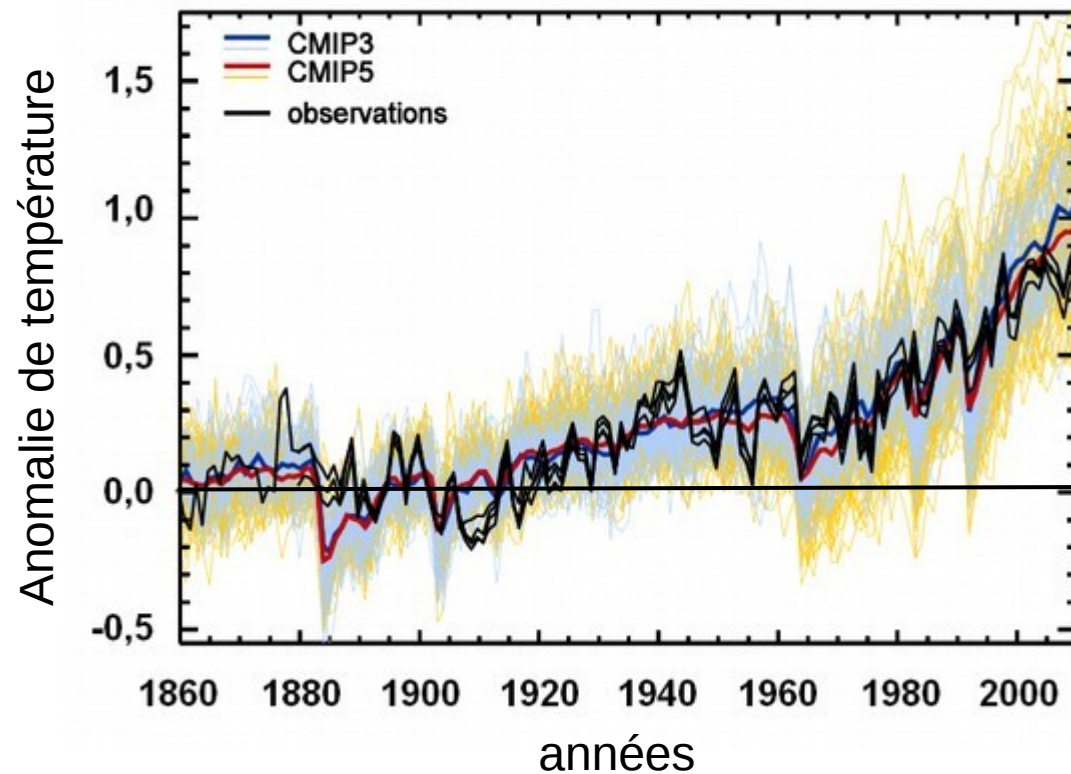
## Émission autorisée de CO<sub>2</sub>



# Évolution récente de la température de surface de la Terre

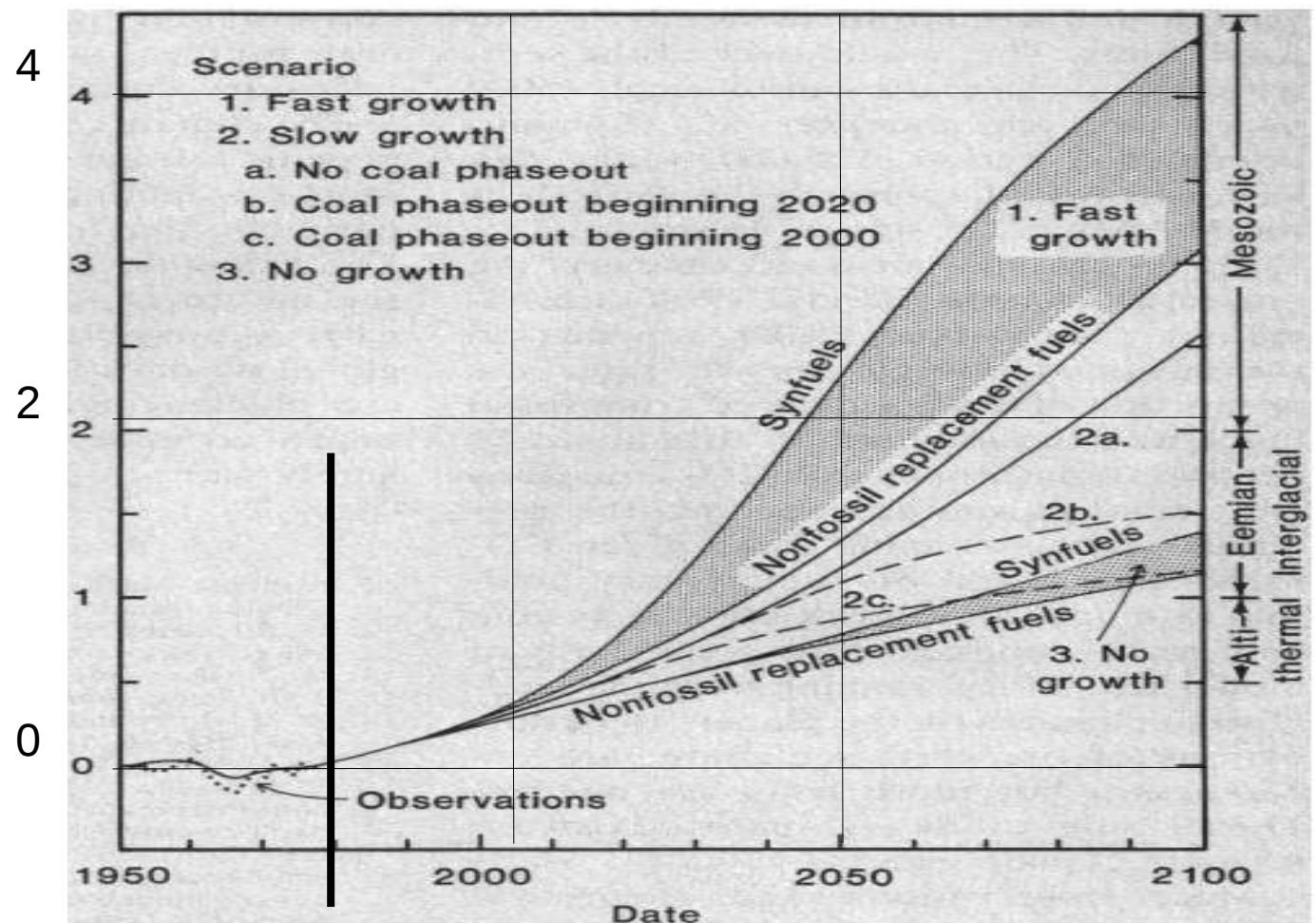
Simulations avec *forçages naturels et anthropiques*

Simulations avec *forçages naturels seulement*



# Évolution de la température de surface : un réchauffement prévu

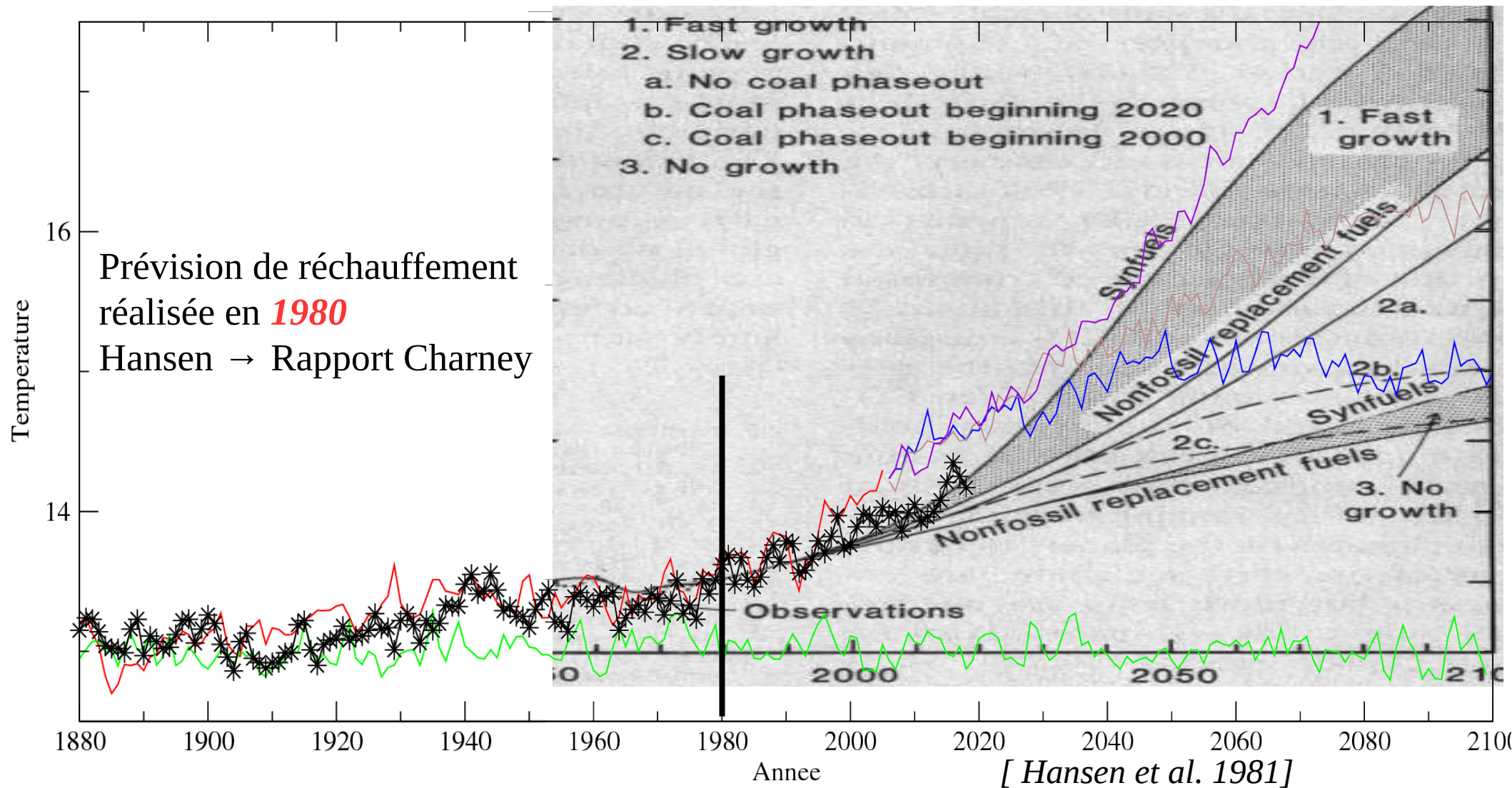
Prévision de réchauffement réalisée en **1980**



[ Hansen et al. 1981 ]

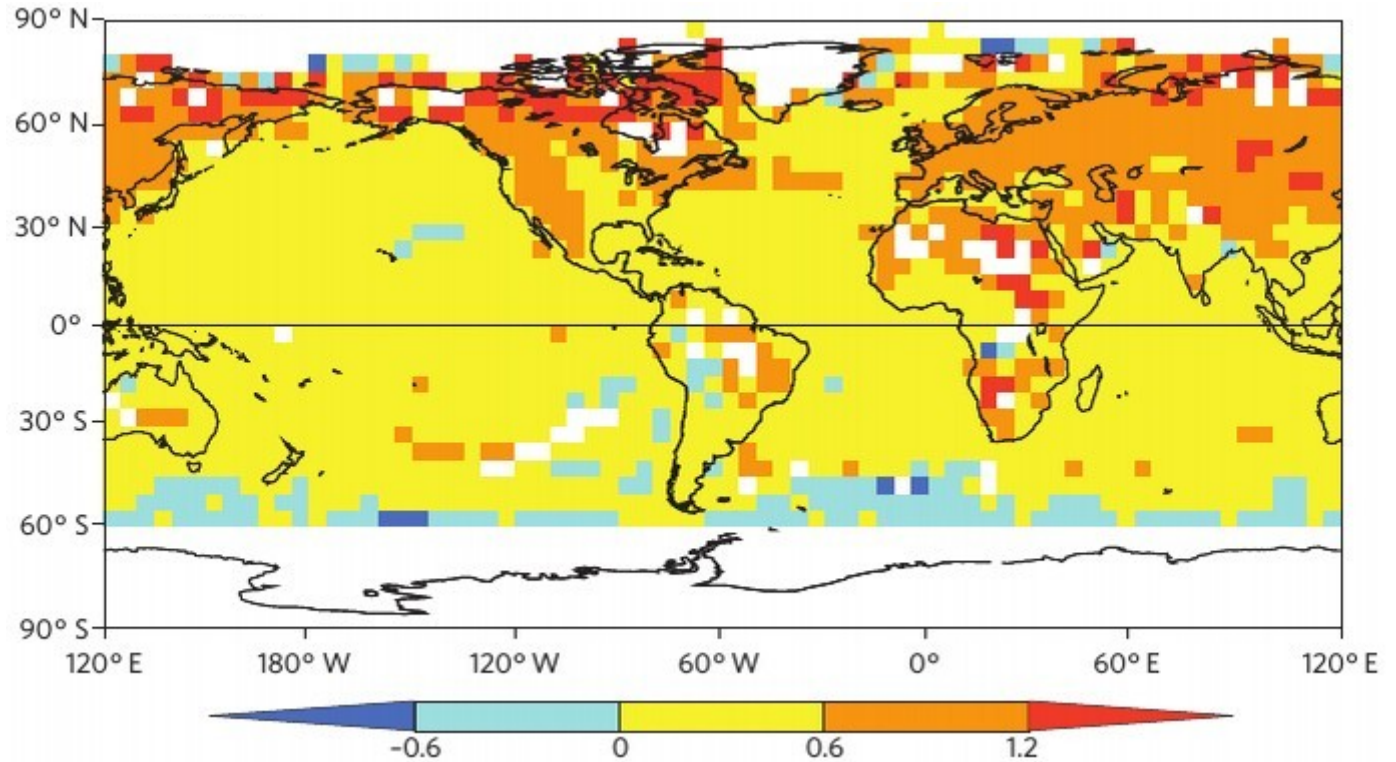


# Évolution de la température de surface : un réchauffement prévu

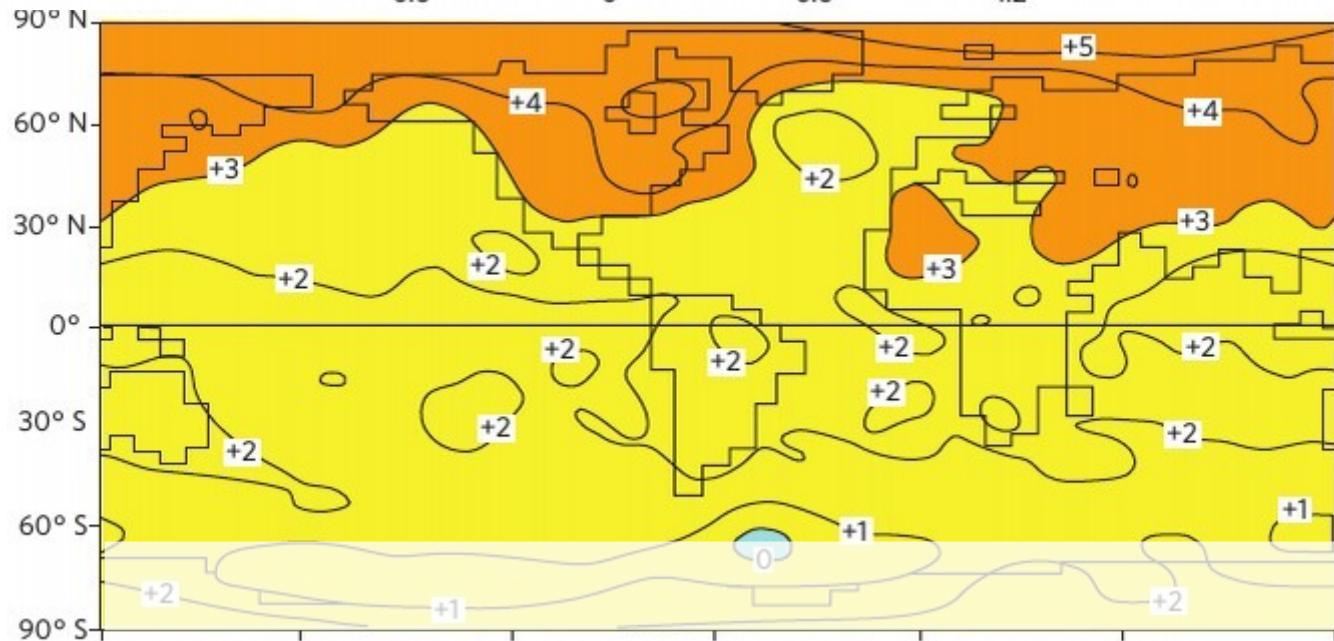


# Carte des changements de température

Changements **observés** entre les années 1975 (1961–1990) et les années 2002 (1991–2015)



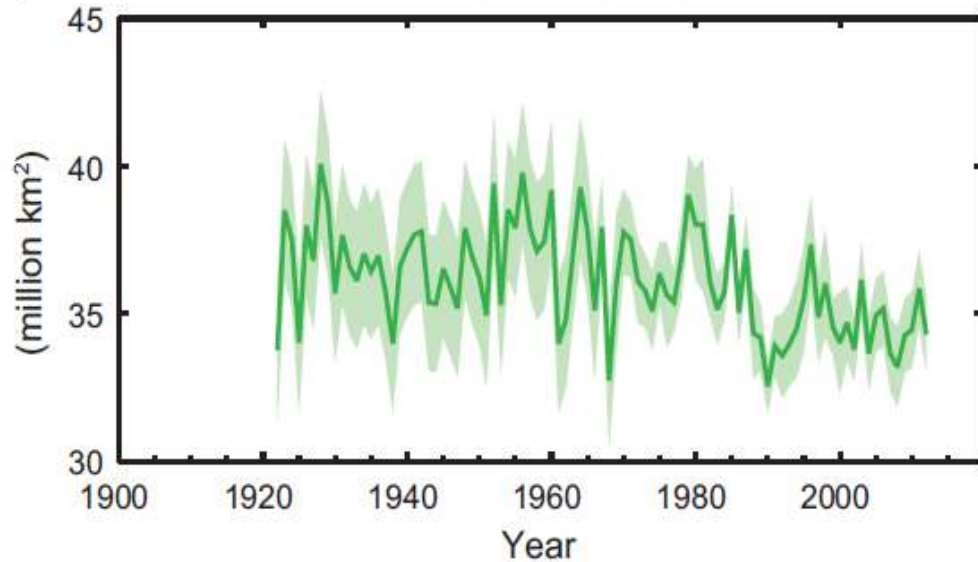
Changements **simulés en 1989** pour une expérience idéalisée (doublement de CO<sub>2</sub> en 70ans)



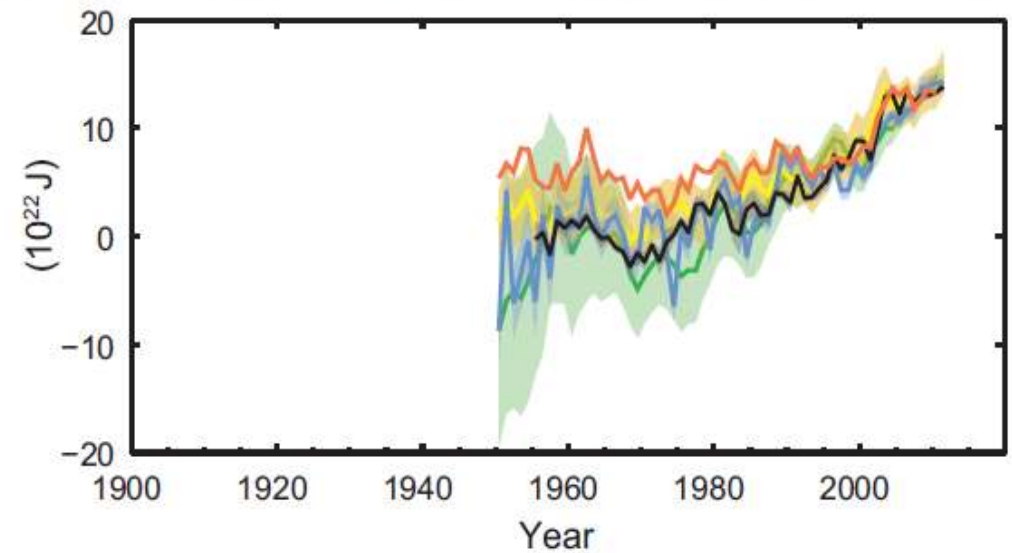
[Stouffer et al., 1989]  
[Stouffer & Manabe  
2017]

# Variations du climat

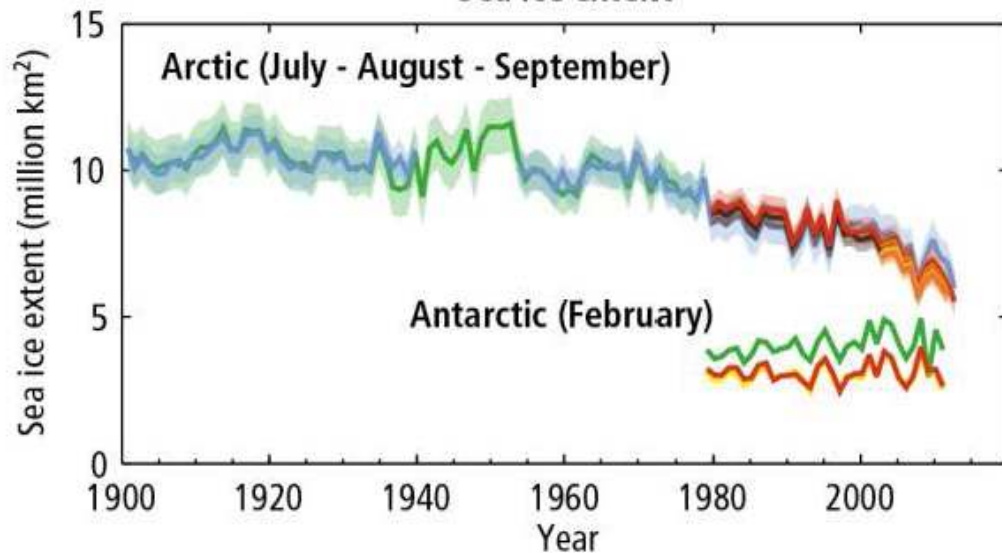
(a) Northern Hemisphere spring snow cover



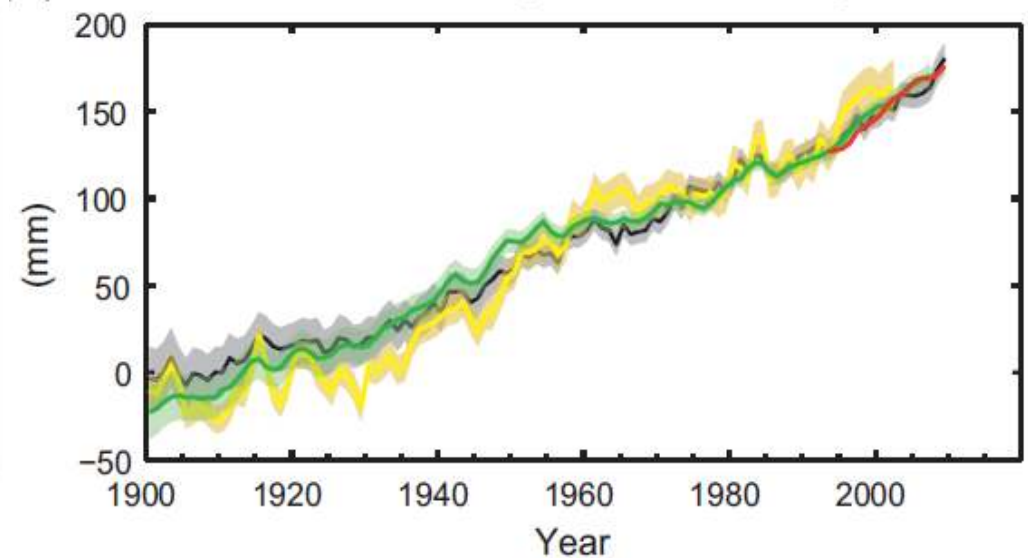
(c) Change in global average upper ocean heat content



Sea ice extent

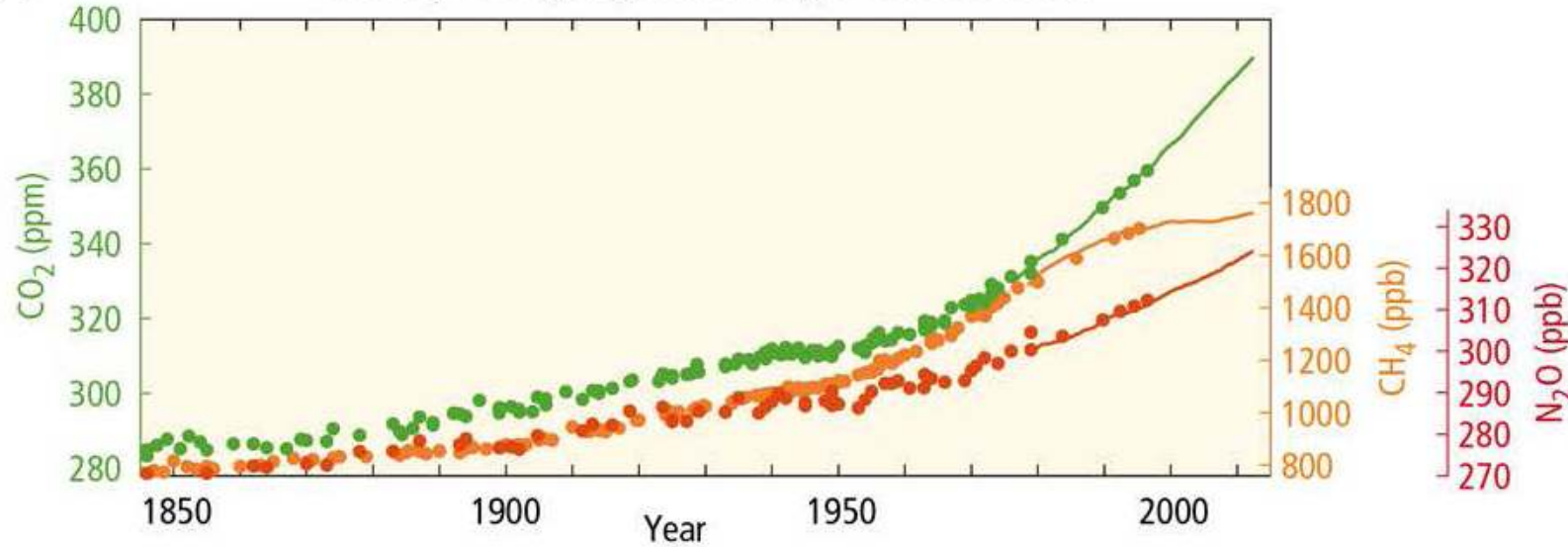


(d) Global average sea level change



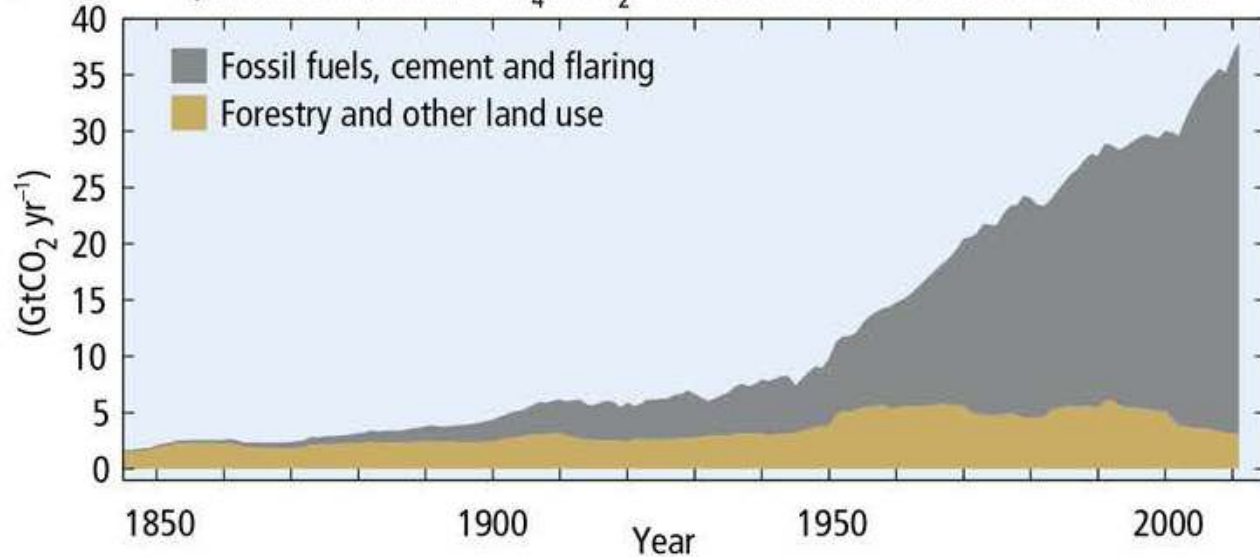
# Évolution des gaz à effet de serre due aux activités humaines

(c) Globally averaged greenhouse gas concentrations

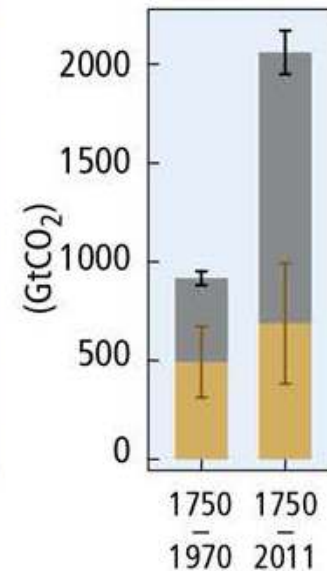


(d) Global anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions

Quantitative information of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission time series from 1850 to 1970 is limited



Cumulative CO<sub>2</sub> emissions



# Émission moyenne de CO<sub>2</sub> (2008-2017)

1 GtC = 3.67 GtCO<sub>2</sub>

## Sources = Puits



+

34.4 GtCO<sub>2</sub>/yr  
87%

17.3 GtCO<sub>2</sub>/yr

44%

11.6 GtCO<sub>2</sub>/yr

29%

13%  
5.3 GtCO<sub>2</sub>/yr

22%  
8.9 GtCO<sub>2</sub>/yr



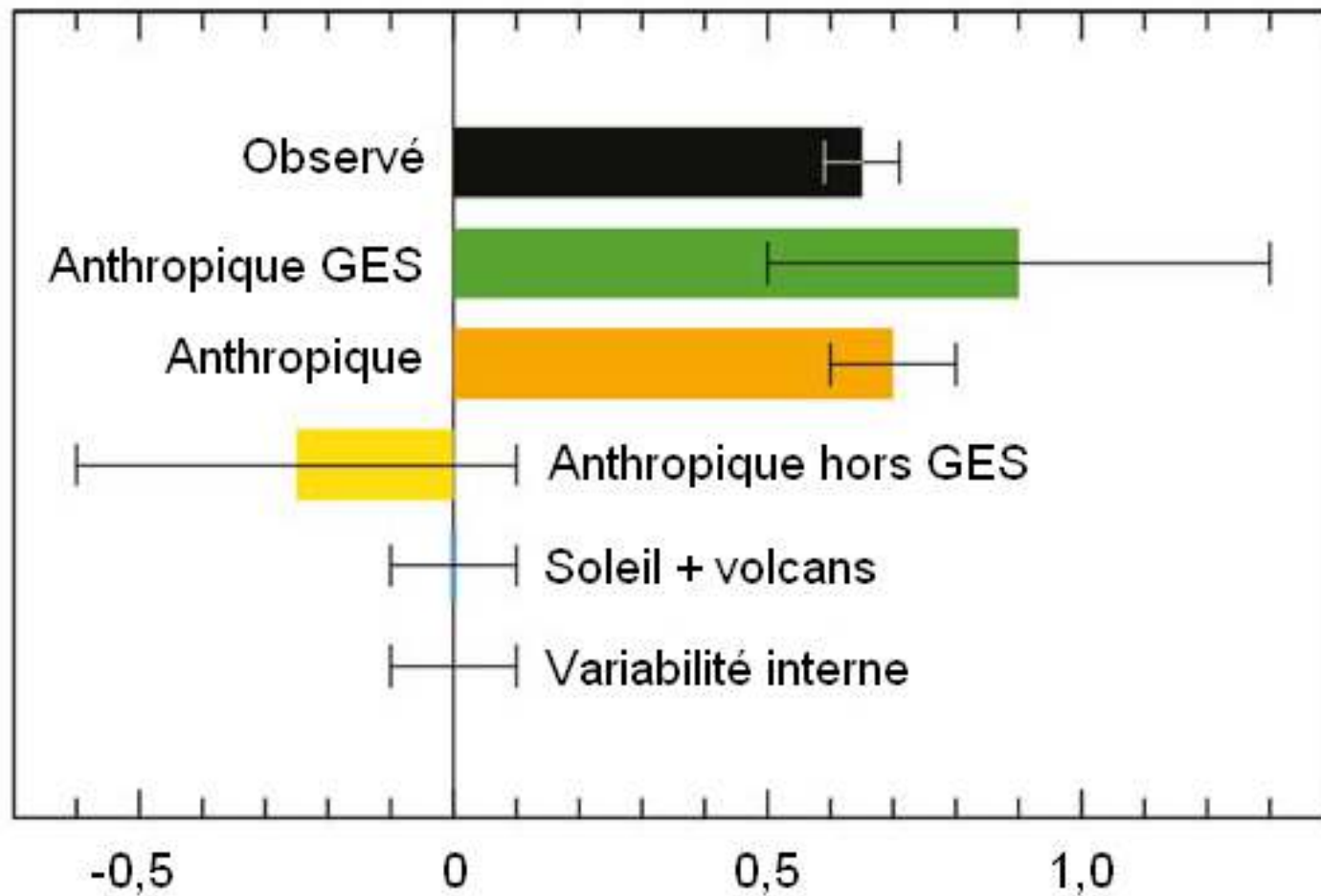
Budget Imbalance:

(the difference between estimated sources & sinks)

5%

1.9 GtCO<sub>2</sub>/yr

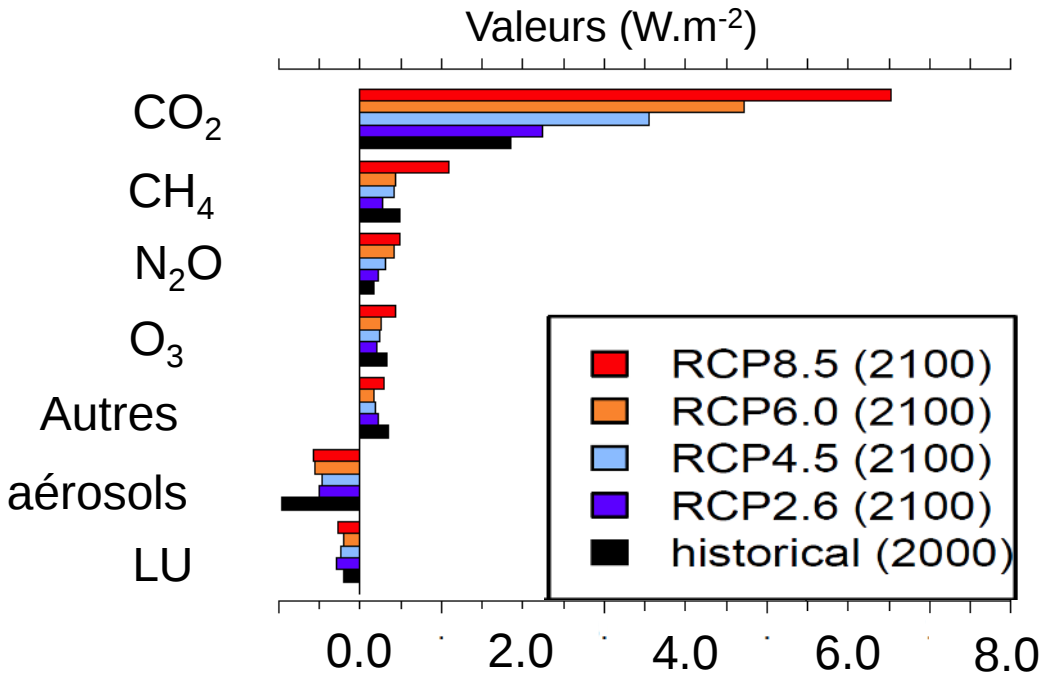
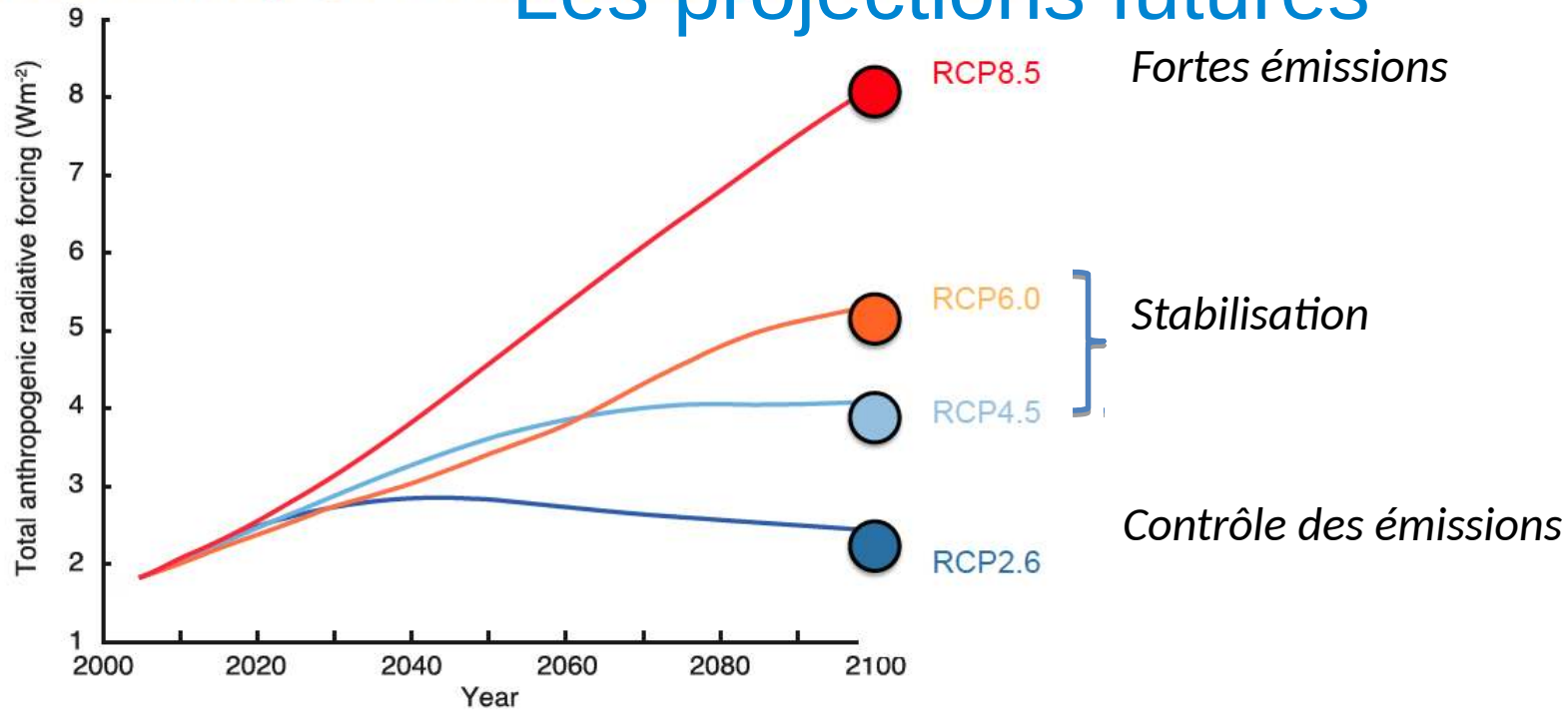
# Attribution des tendances sur 1951-2010 de la température moyenne globale en surface



# Plan

- I. Quelques éléments de bases
- II. Réchauffement récent et rôle des activités humaines
- III. Projections des climats futurs
- IV. Les négociations internationales : accords de Paris et ses suites

# Les projections futures

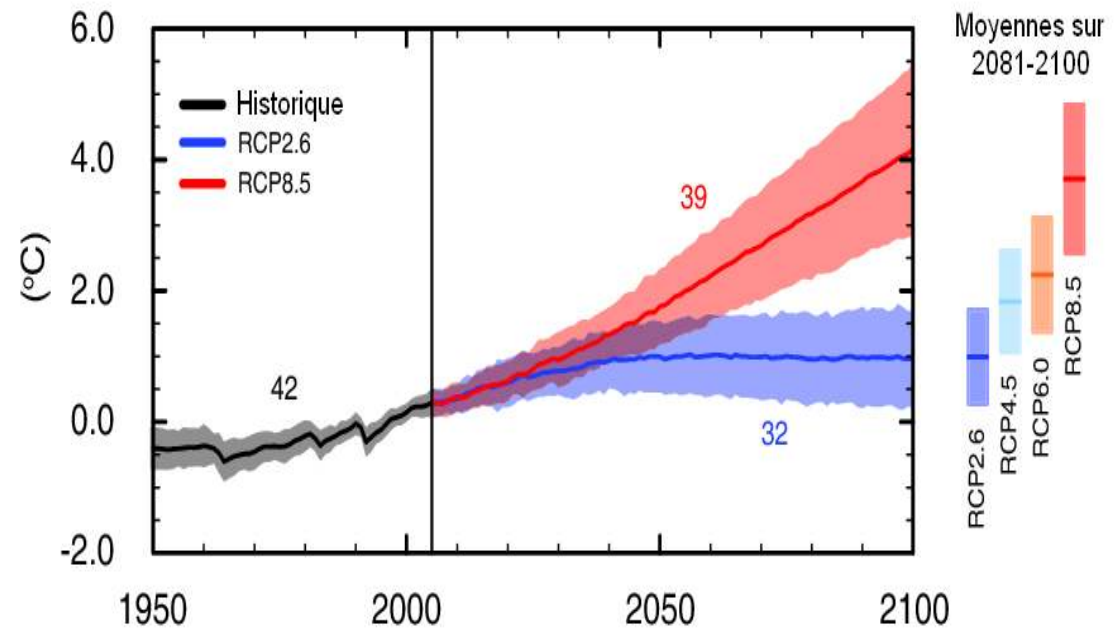


*Contribution des forçages individuels au forçage total (référence 1850)*

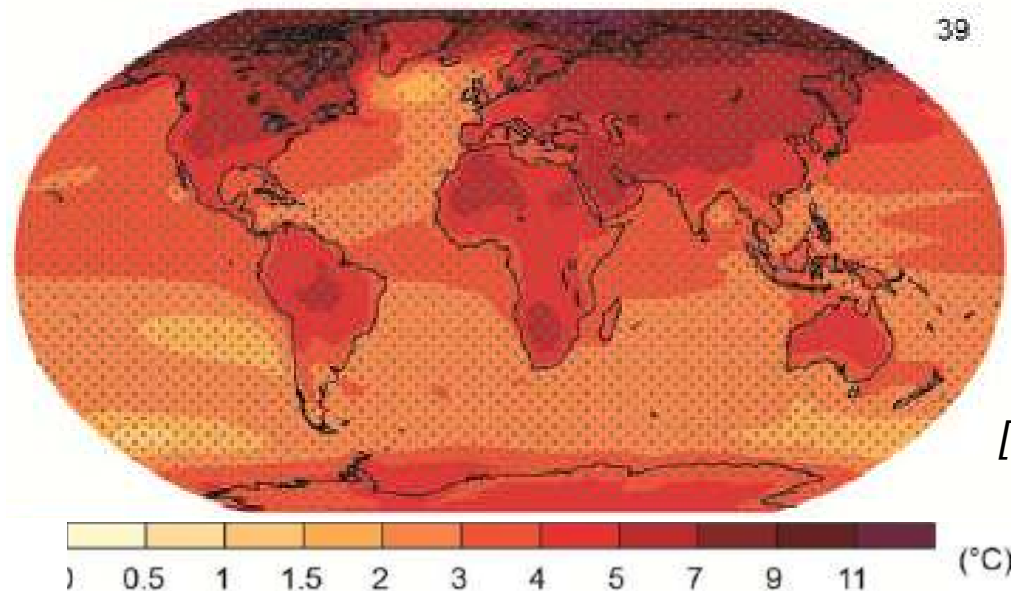


# Température de surface

Moyenne globale  
1950 à 2100  
(40 modèles CMIP5)

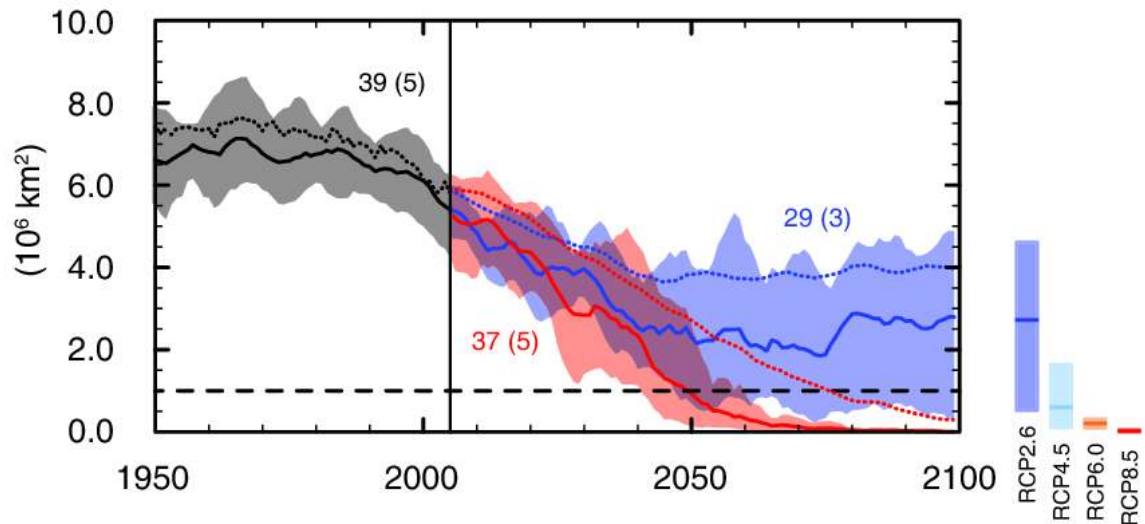


En 2100,  
scénario RCP8.5  
(39 modèles CMIP5)

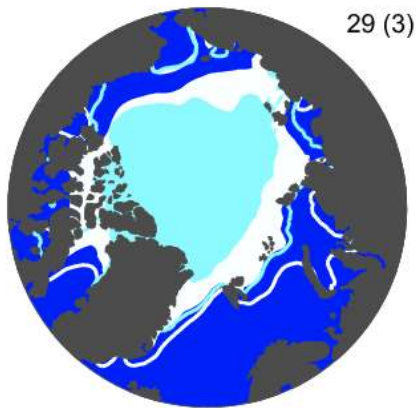


[GIEC, 2013]

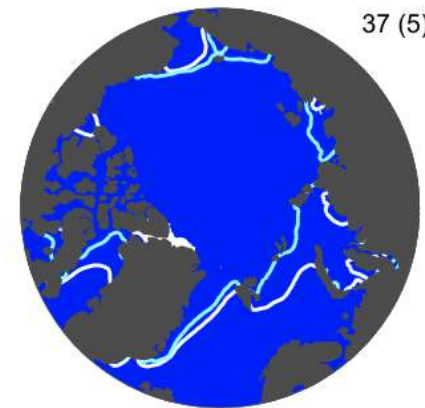
# Changements d'extension de la banquise arctique en septembre (minimum d'extension)



RCP2.6

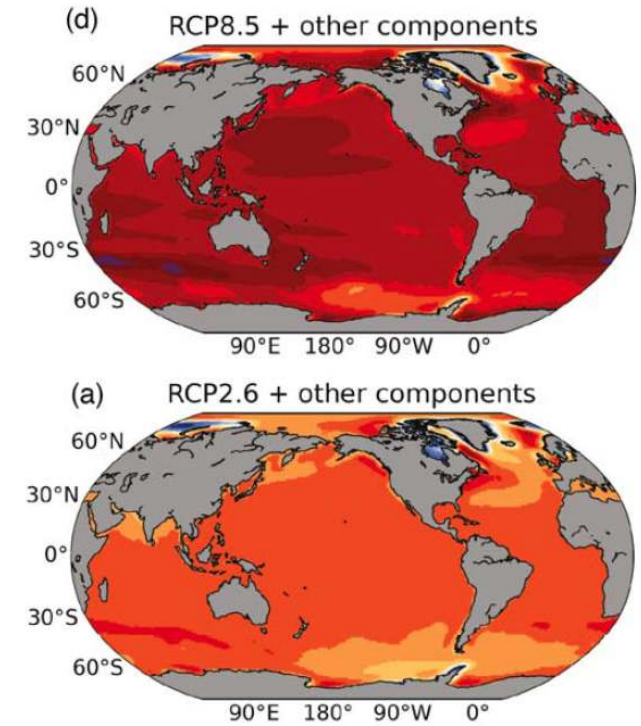
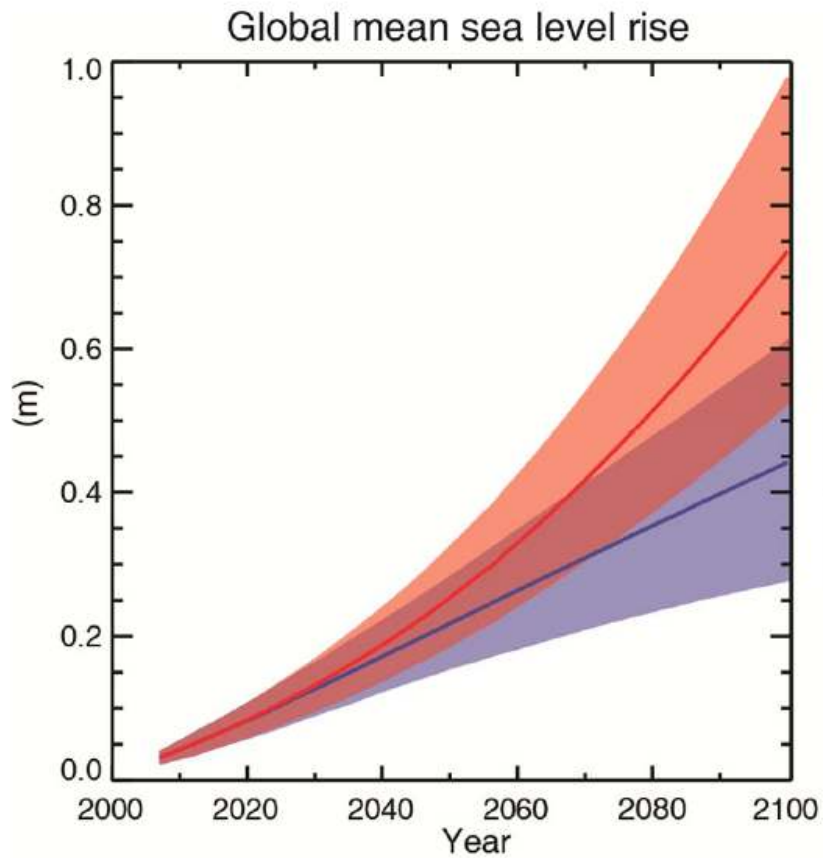


- CMIP5 multi-model average 1986–2005
- CMIP5 multi-model average 2081–2100
- CMIP5 subset average 1986–2005
- CMIP5 subset average 2081–2100

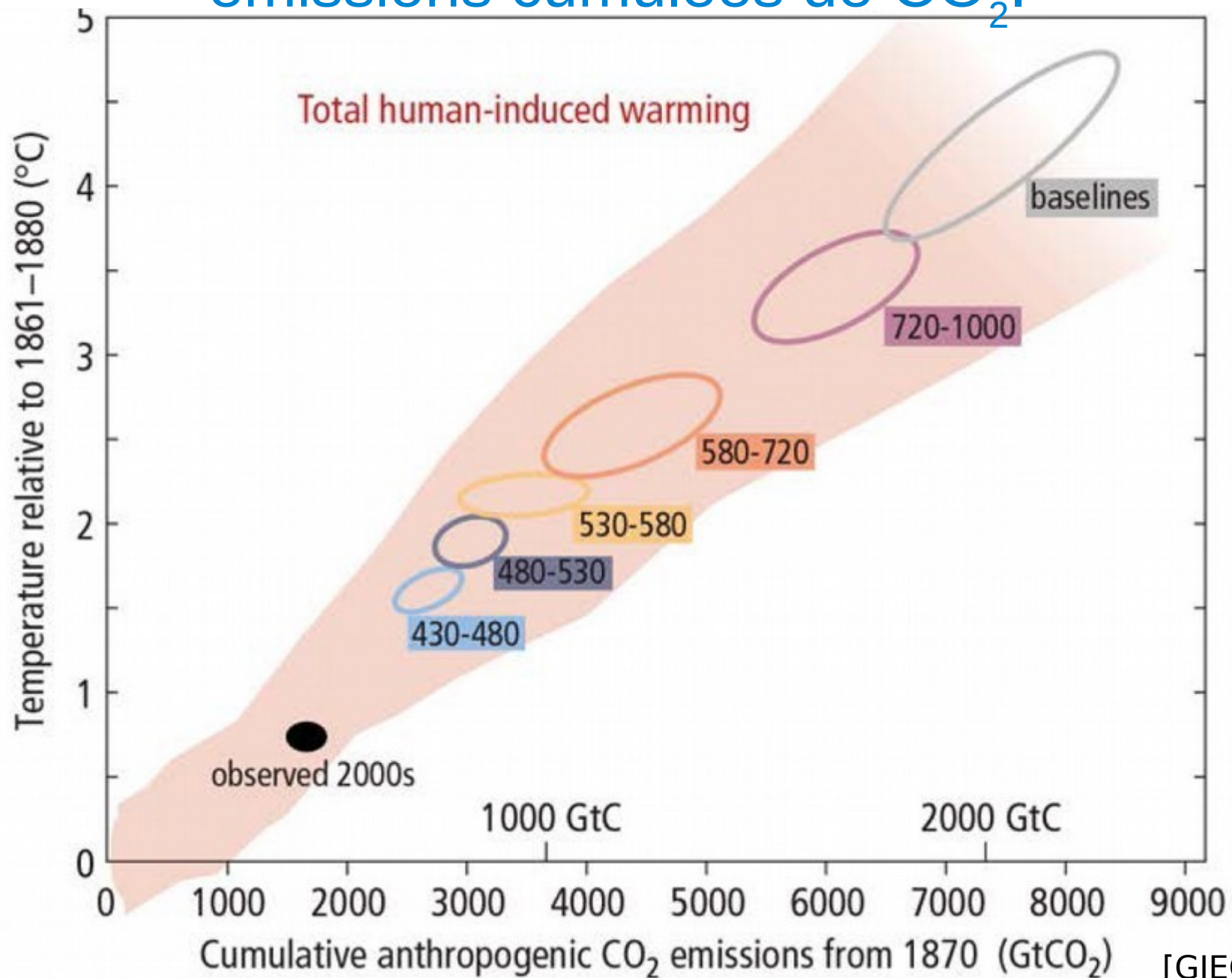


RCP8.5

# Changement du niveau des mers

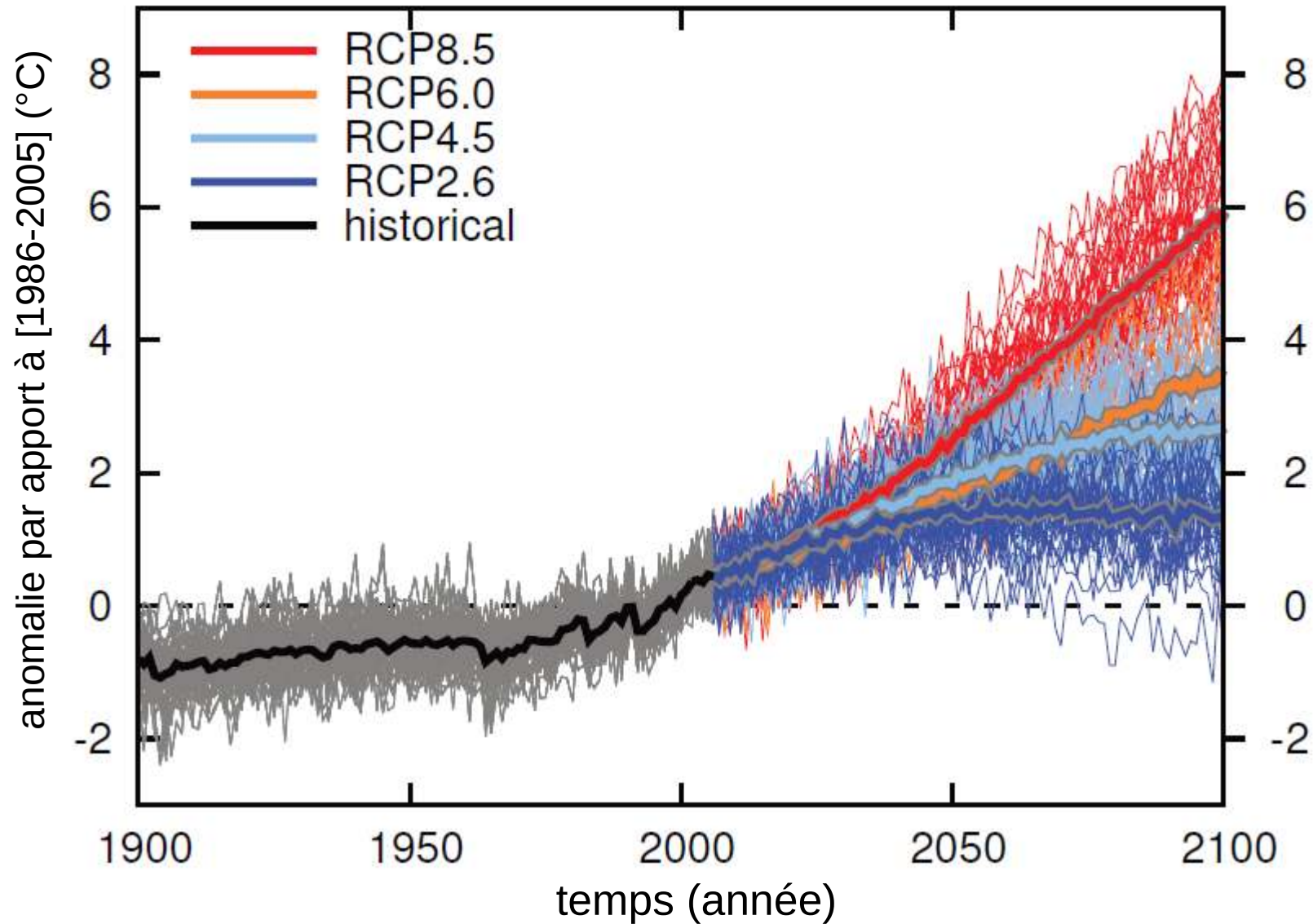


# Accroissement de température versus les émissions cumulées de CO<sub>2</sub>.



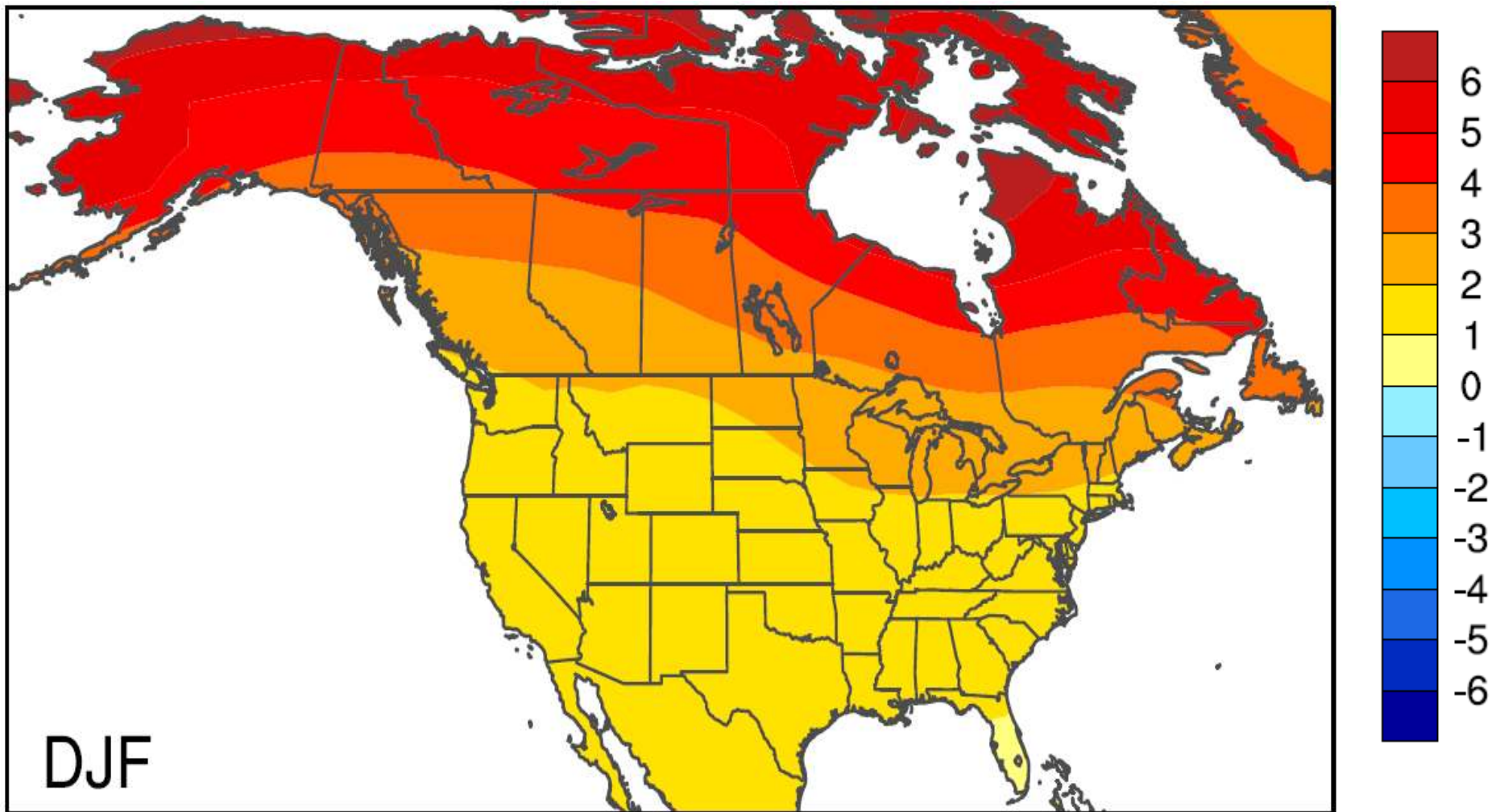
# Changement climatique et variabilité interne

Température moyenne au dessus des continents,  
en hiver boréal (dec.-fev.)



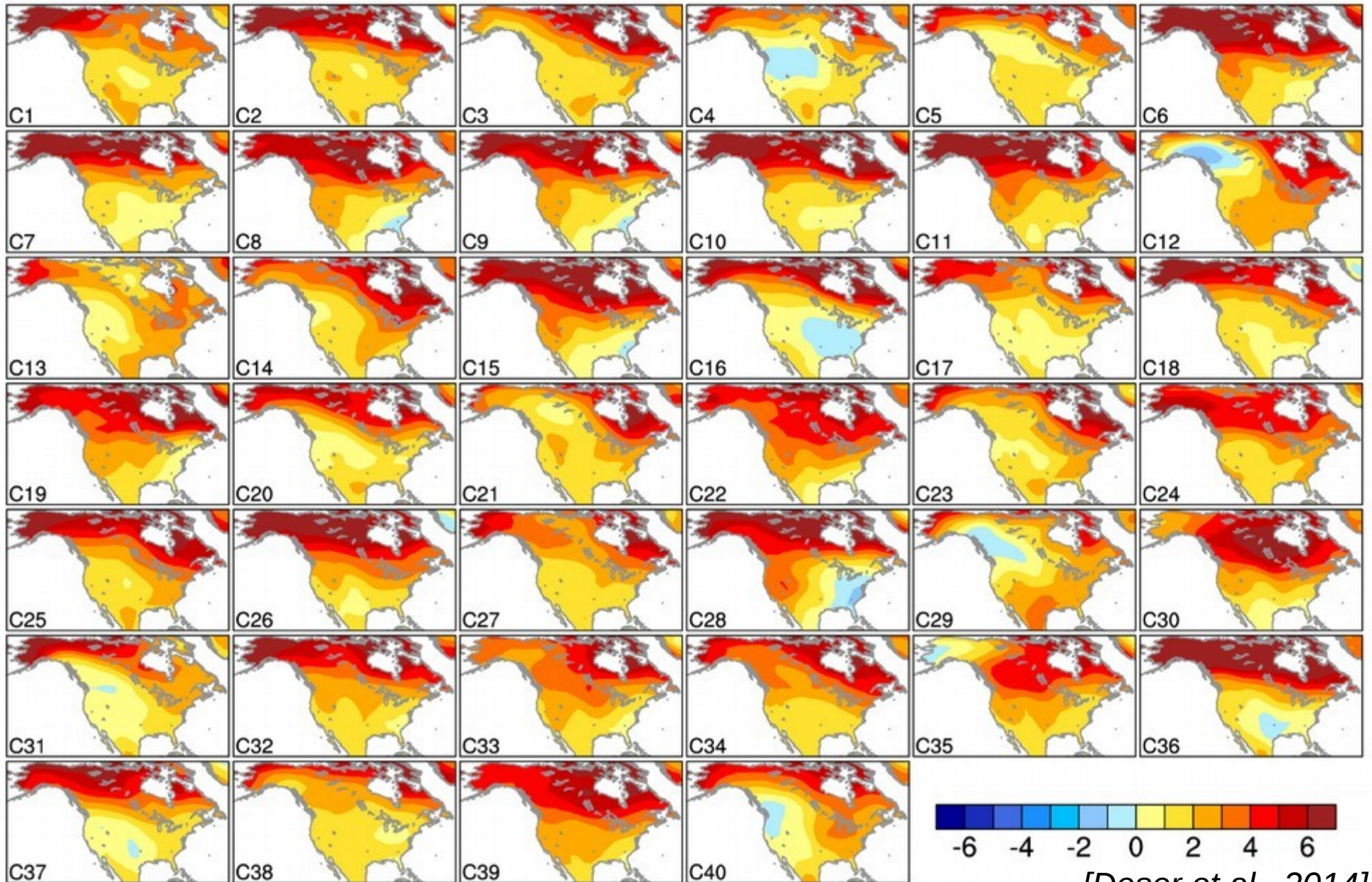
# Changement climatique et variabilité interne

Tendance sur 50 ans de la température hivernale ( $^{\circ}\text{C}/50$  ans)  
pour un scénario « intermédiaire - haut »



# Changement climatique et variabilité interne

Tendance sur 50 ans de la température hivernale ( $^{\circ}\text{C}/50$  ans)



[Deser et al., 2014]

# Variabilité interne et variations dues à des forçages

Les variations climatiques ont plusieurs origines:

$$\underbrace{\Delta T}_{\text{variation}} \approx \underbrace{\Delta T_{int}}_{\text{Variabilité interne}} + \underbrace{\frac{\partial T}{\partial Q} \Delta Q_{nat}}_{\text{Réponse aux forçages naturels}} + \underbrace{\frac{\partial T}{\partial Q} \Delta Q_{ant}}_{\text{Réponse aux forçages anthropiques}}$$

$\underbrace{\hspace{15em}}_{\text{Variabilité naturelle}}$

- L'importance relative de ces termes dépend de la moyenne spatiale et temporelle considérée, et de l'amplitude des forçages
- Les différences entre observations et résultats de modèles, ou entre résultats de modèles, peuvent inclure tous ces termes



# Plan

- I. Quelques éléments de bases
- II. Réchauffement récent et rôle des activités humaines
- III. Projections des climats futurs
- IV. Les négociations internationales : accords de Paris et ses suites



# Qu'est-ce que le GIEC ?

- **GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais IPCC)
- Créé en 1988 par l'**Organisation météorologique mondiale** (OMM) et le **Programme des Nations Unies pour l'environnement** (PNUE)
- A pour mission d'établir **l'état des connaissances scientifiques** sur les changements climatiques et leurs possibles incidences sur l'environnement et les activités socio-économiques
- Ne **fait pas** la **recherche**

## Trois groupes de travail:

I- Les **bases physiques** des changements climatiques

II- **Impacts, adaptations et vulnérabilités** aux changements climatiques.

III- **Atténuation** des changements climatique

La **Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques** (CCNUCC); adoptée au cours du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992 (ratifiée par 189 pays)

**Conférence des parties** (COP). Composée de tous les États parties, elle se réunit tous les ans pour analyser les avancées de la convention et prend des décisions pour atteindre les objectifs de lutte contre les changements climatiques.

**1997:** COP 3. Signature du **protocole de Kyoto**. Engagement de limitation de l'accroissement de gaz à effet de serre pour les pays industrialisés pour la période 2005-2012.

**2009: échec de la Conférence de Copenhague** (COP15 ) qui devait déboucher sur un accord global

**2015 : COP21 Conférence Paris Climat 2015;** trouver un accord qui permette de tenir l'objectif d'un réchauffement limité à 2 degrés.

# Conférence Paris Climat 2015



## En amont :

- **objectif:** «aboutir, pour la première fois, à un accord universel et contraignant permettant de lutter efficacement contre le dérèglement climatique et d'impulser/d'accélérer la transition vers des sociétés et des économies résilientes et sobres en carbone».
- considérer l'**atténuation** (réduction des émissions de gaz à effet de serre) ainsi que l'**adaptation** aux changements climatiques
- chaque pays devait présenter ses **contributions prévues** déterminées au niveau national (CPDN) (INDC pour Intended Nationally Determined Contributions)
- pas de mesures de rétorsion, mais **obligation de transparence** dans les objectifs de réduction d'émission de gaz à effet de serre

# Accords de Paris 2015



## Principaux points :

- Contenir d'ici à 2100 le réchauffement climatique « **bien en dessous de 2°C** par rapport aux niveaux préindustriels » et si possible de viser à « poursuivre les efforts pour **limiter la hausse des températures à 1,5°C** »
- Atteindre la neutralité carbone ou « **zéro émission net** » dans la deuxième partie du siècle
- Rappel du principe des « responsabilités communes mais différenciées » de 1992
- **Aides financières** aux pays en développement fixé à 100 milliards de dollars par année et sera revu au plus tard en 2025
- Les **objectifs** de réduction des émissions seront **révisés d'ici 2020**, puis tous les cinq ans, et ne pourront être revus qu'à la hausse

# Accords de Paris 2015



## Des points faibles :

- Un **accord peu contraignant** et des objectifs pas forcément crédibles
- Des **engagements non compatibles avec les objectifs annoncés**

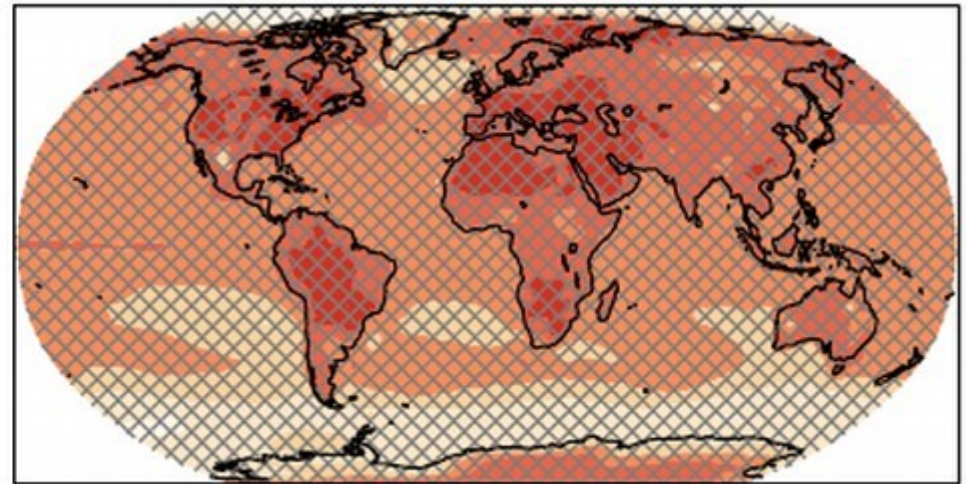
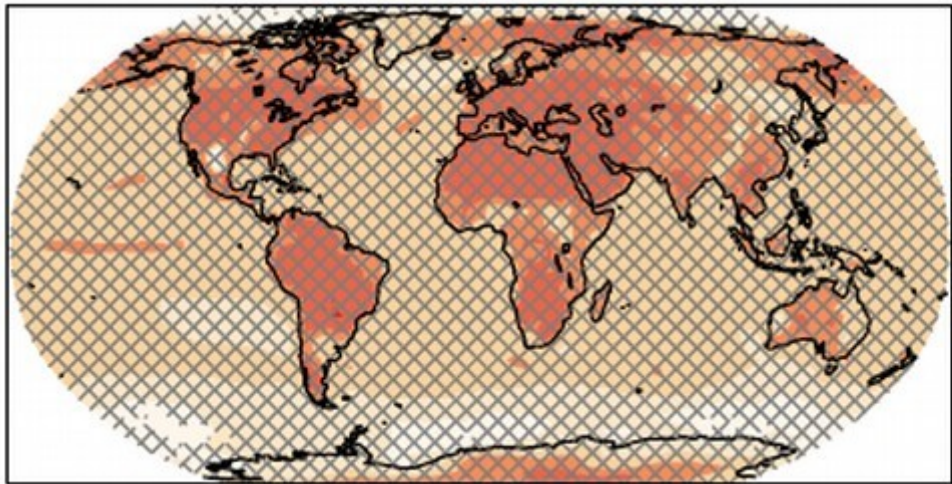
## Des conséquences fortes :

- Il y a de nouveau un cadre de discussion, avec des rendez-vous réguliers
- L'objectif « **zéro émission net** » fait que **tous les pays, tous les acteurs sont concernés** par la réduction des émissions
- Les pays prennent acte :
  - 1) du rôle dominant des activités humaines sur les changements climatiques
  - 2) que des mesures très importantes doivent être prises pour limiter les changements futures et s'adapter à ces changements

# Changement des températures les plus chaudes

Pour un réchauffement global de **1,5°C**

Pour un réchauffement global de **2°C**



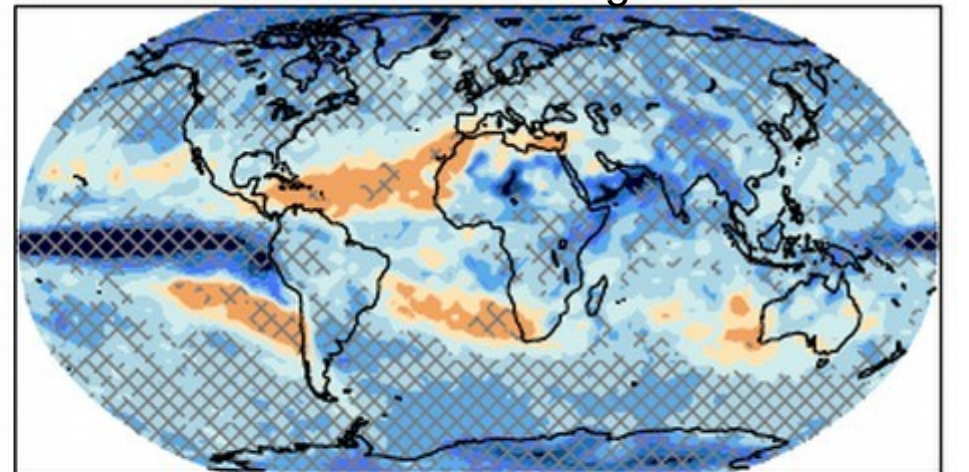
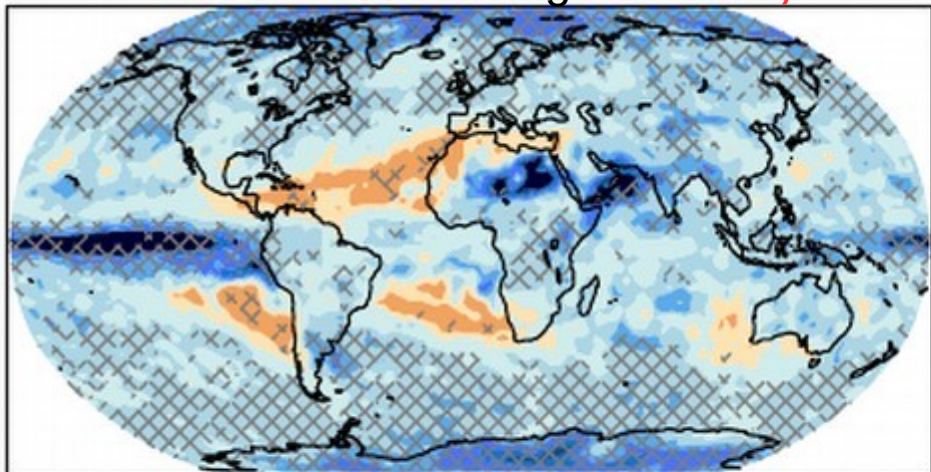
Temperature (°C)



# Changement des précipitations extrêmes

Pour un réchauffement global de **1,5°C**

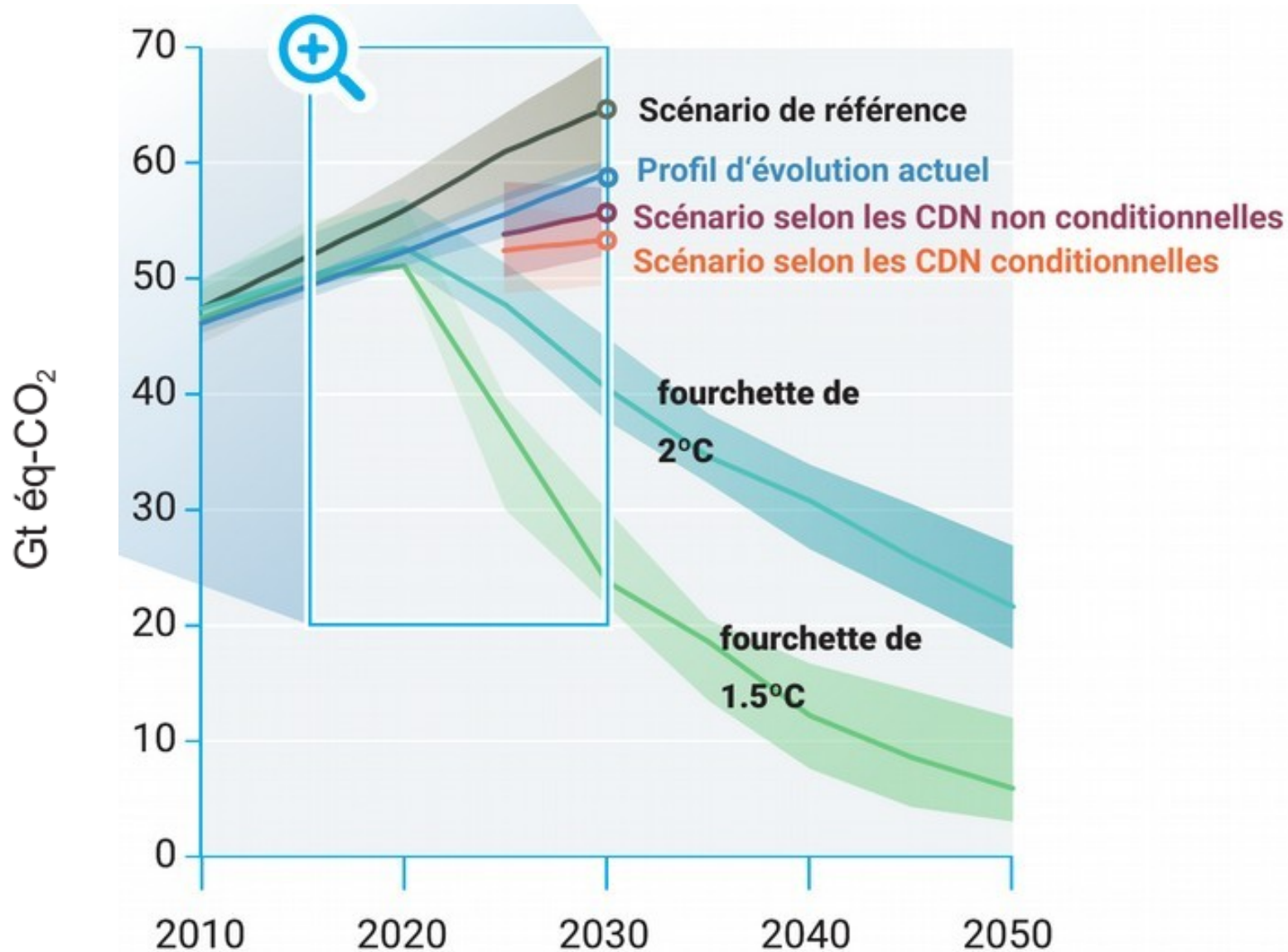
Pour un réchauffement global de **2°C**



Precipitation (%)

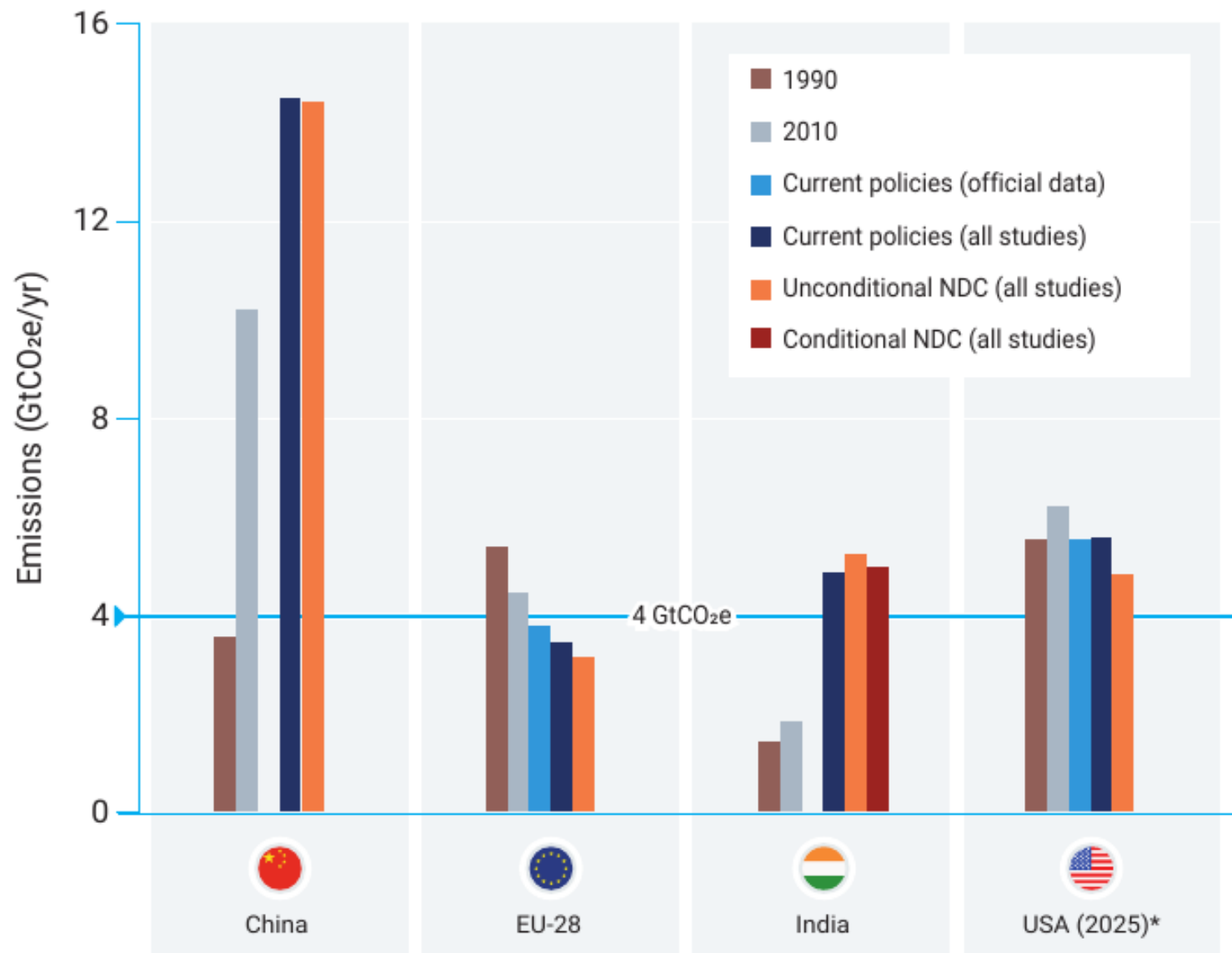


# Évolution des émissions





# Les CDN, contributions déterminées au niveau national



# Les CDN : qui va respecter ses engagements ?

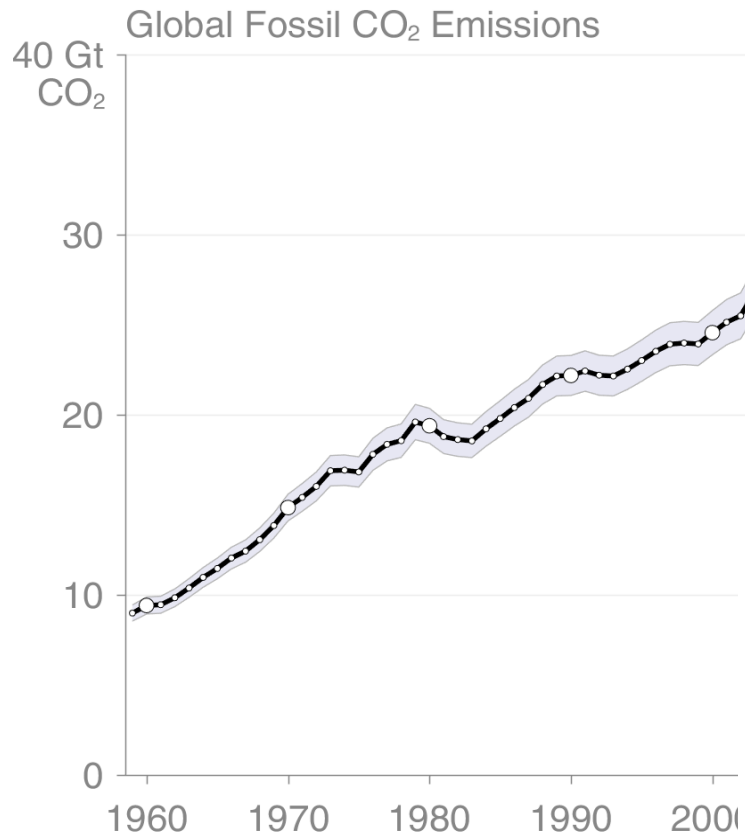
Quels pays sont les plus grands émetteurs de GES?  
Et quels pays sont sur la bonne voie pour respecter  
leurs engagements?

● Oui ● Incertain ● Non

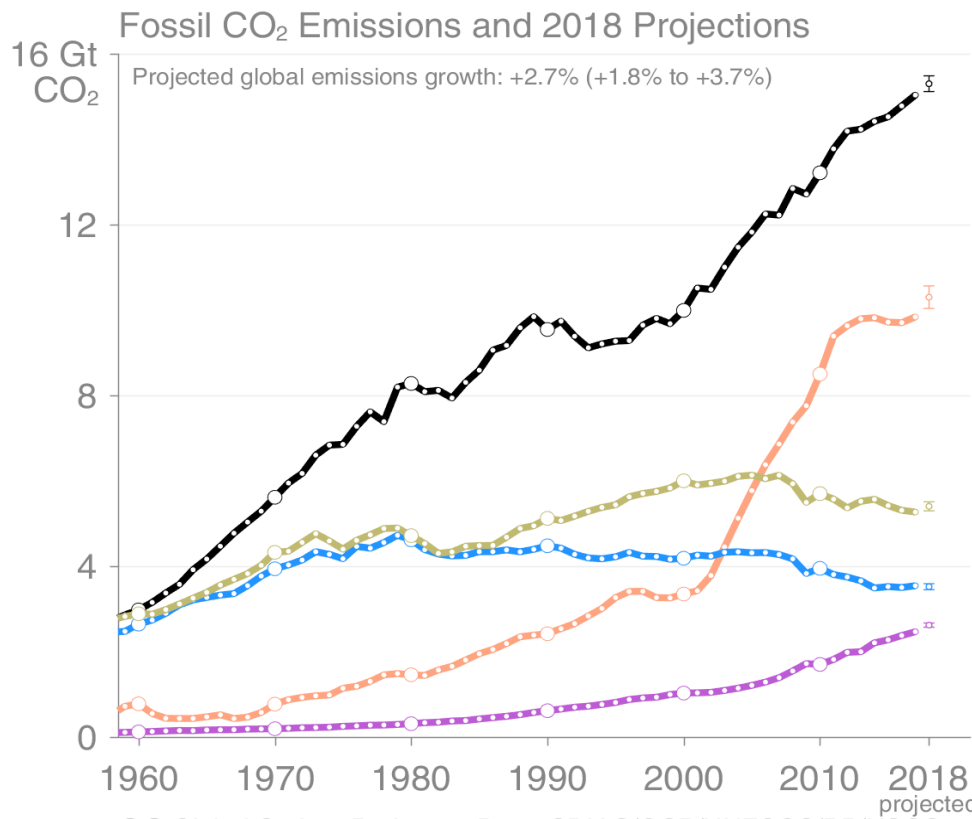
Certains pays ne font pas ce qu'ils devraient pour réduire leurs émissions et limiter le réchauffement climatique. Ici, les **la taille des cellules** représente les émissions de chaque pays, dans le but de repérer les contributeurs les plus importants.



# Évolution récente des émissions de CO<sub>2</sub>



Projection 2018  
**37.1 Gt CO<sub>2</sub>**  
 ▲ 2.7% (1.8%–3.7%)



Projected global emissions growth: +2.7% (+1.8% to +3.7%)

Projected Gt CO<sub>2</sub> in 2018  
**All others 15.3**  
 ▲ 1.8% (+0.5% to +3.0%)

**China 10.3**  
 ▲ 4.7% (+2.0% to +7.4%)

**USA 5.4**  
 ▲ 2.5% (+0.5% to +4.5%)

**EU28 3.5**  
 ▼ 0.7% (-2.6% to +1.3%)

**India 2.6**  
 ▲ 6.3% (+4.3% to +8.3%)

[Global Carbon Project]

# Conclusions

- Le **réchauffement** climatique en cours, du fait des activités humaines, **a été prévu** depuis 30-40 ans
- De **nouveaux changements** sont progressivement observés et attribués aux activités humaines
- L'accroissement de certains **événements extrêmes** (canicule, précipitations extrêmes) sont mieux compris et sont progressivement observés
- Plusieurs changements sont **revus à la hausse** depuis l'AR5 (par ex. niveau des mers)
- Limiter le réchauffement à 1,5 ou 2°C nécessite une **réduction radicale** des émissions de CO<sub>2</sub>. Cette diminution est encore totalement absente
- Atteindre l'objectif de « **zéro émission nette** » implique et affecte **tous les acteurs sociaux, tous les pays**