



IPSL Climate Modelling Centre



Modélisation numérique du climat et projection des changements climatiques

Jean-Yves Grandpeix

Jean-yves.grandpeix@lmd.jussieu.fr

[d'après Jean-Louis Dufresne]

Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS, UPMC, ENS, X)

Institut Pierre Simon Laplace.



Plan

- I. Modélisation du climat
- II. Les premières projections des climats futurs
- III. Variations récentes du climat
- IV. Projections futures
- V. Paléoclimats et variabilité naturelle
- VI. Les scientifiques, le GIEC et les COP

Plan

- I. Modélisation du climat
- II. Les premières projections des climats futurs
- III. Variations récentes du climat
- IV. Projections futures
- V. Paléoclimats et variabilité naturelle
- VI. Les scientifiques, le GIEC et les COP

ENJEUX

L'atmosphère terrestre n'a jamais eu la composition actuelle durant les derniers 400 000 ans et même, vraisemblablement, durant les derniers 20 millions d'années.

⇒ Le climat futur ne peut pas se déduire simplement de l'observation des climats passés et présents.

But de la modélisation climatique : simuler le climat terrestre et son évolution

⇒ simuler l'état moyen des enveloppes superficielles (atmosphère, océan, végétation ...) ainsi que leurs variabilités spatiales et temporelles en tout point de la surface de la Terre.

Caractéristiques du système climatique

- Système très hétérogène
- Processus fortement couplés, couvrant un spectre très large de temps caractéristiques
- Comportement chaotique

Particularités

- Il y a des processus dominants (cycle diurne ...);
- Mais aussi des phénomènes importants résultant de couplages entre processus non-linéaires
 - > comportement complexe et chaotique (par ex. : variabilité à l'échelle de qq jours des nuages et précips sur la France; variabilité à l'échelle de qq années de la température des eaux de surface du Pacific tropical est [El Nino]; variabilité à l'échelle de quelques dizaines d'années de la température des eaux de surface de l'Atlantique nord [Oscillation Multi-décennale Atlantique]).
- Système difficile à observer (avènement des satellites -> amélioration de la couverture spatiale et temporelle, mais il reste difficile d'analyser un système convectif pendant sa durée de vie; et les profondeurs de l'océan restent en grande partie inaccessible).

==> Domaine où la modélisation et la simulation numérique jouent des rôles clef.

Caractéristiques du système climatique

- Système très hétérogène
- Processus fortement couplés, couvrant un spectre très large de temps caractéristiques
- Comportement chaotique

Particularités

- Il y a des processus dominants (cycle diurne ...);
- Mais aussi des phénomènes importants résultant de couplages entre processus non-linéaires
 - > comportement complexe et chaotique (par ex. : variabilité à l'échelle de qq jours des nuages et précips sur la France; variabilité à l'échelle de qq années de la température des eaux de surface du Pacific tropical est).
- Système difficile à observer (avènement des satellites -> amélioration de la couverture spatiale et temporelle, mais il reste difficile d'analyser un système convectif pendant sa durée de vie; et les profondeurs de l'océan restent en grande partie inaccessible).

==> **Domaine où la modélisation et la simulation numérique jouent des rôles clef.**

Oui, mais avec quels modèles ?

Modélisation, climat et météorologie

Stratégie :

Système très complexe ==> plusieurs approches :

- Modèle de Circulation Générale (GCM)
- Modèles d'échelle fine (LES) ou de méso-échelle (CRM)
- Modèles simples de climat

Système hétérogène ==> différents types de modèles pour différents composants du système climatique (atmosphère, océan, banquise, hydrologie, végétation, ...)

Les modèles de circulation générale (GCMs)

Les modèles de circulation générale sont des outils permettant la simulation numérique de l'évolution au cours du temps de l'état de l'atmosphère (pour les AGCMs) ou de l'océan (pour les OGCMs).

Ils sont construits à partir de principes physiques.

Calage sur observations présentes -> incertitudes

Manque d'observations dans certains domaines -> incertitudes

====> question de la crédibilité et de la confiance.

Pour augmenter la confiance :

- paléo-climats
- autres planètes
- modèles variés (GCM, codes méso-échelle, modèles simples)
- "comprendre" comment le climat fonctionne (comparaison à des modèles simples, études de rétroactions).

La **philosophie générale** a été définie par Charney en 1950 : **travailler avec des modèles incomplets et imparfaits et les améliorer pas par pas.**

Les principes fondamentaux : Découpage et raccordement

Les mondes des modèles

apparences

théories (physique, chimie, biologie, économie)

mathématique

numérique

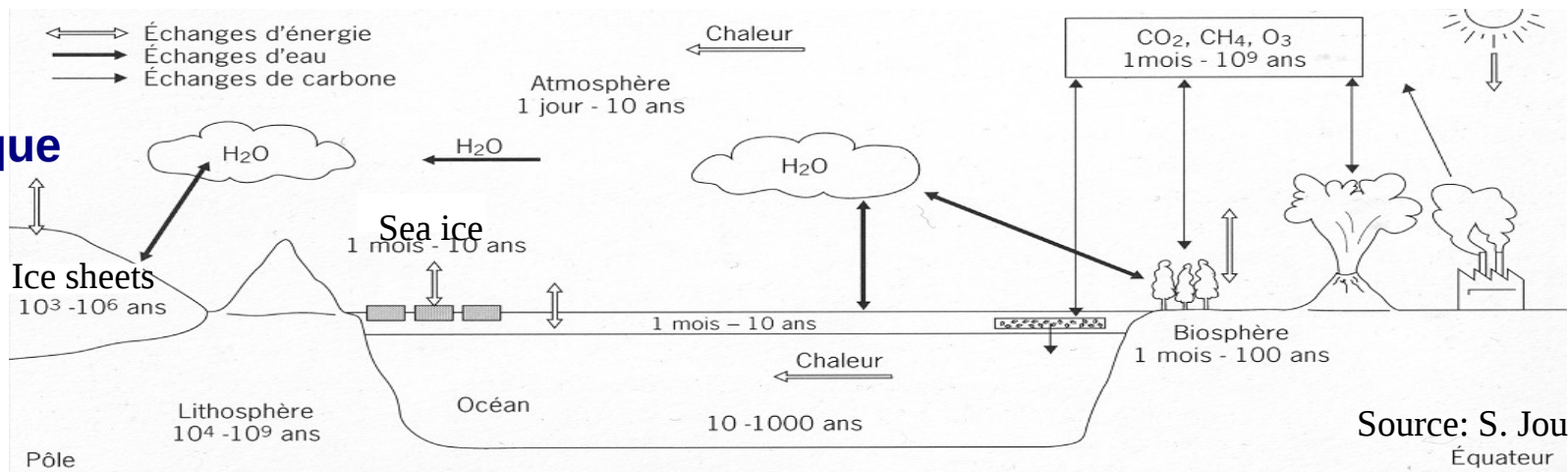
informatique

Mathématiques = langage commun

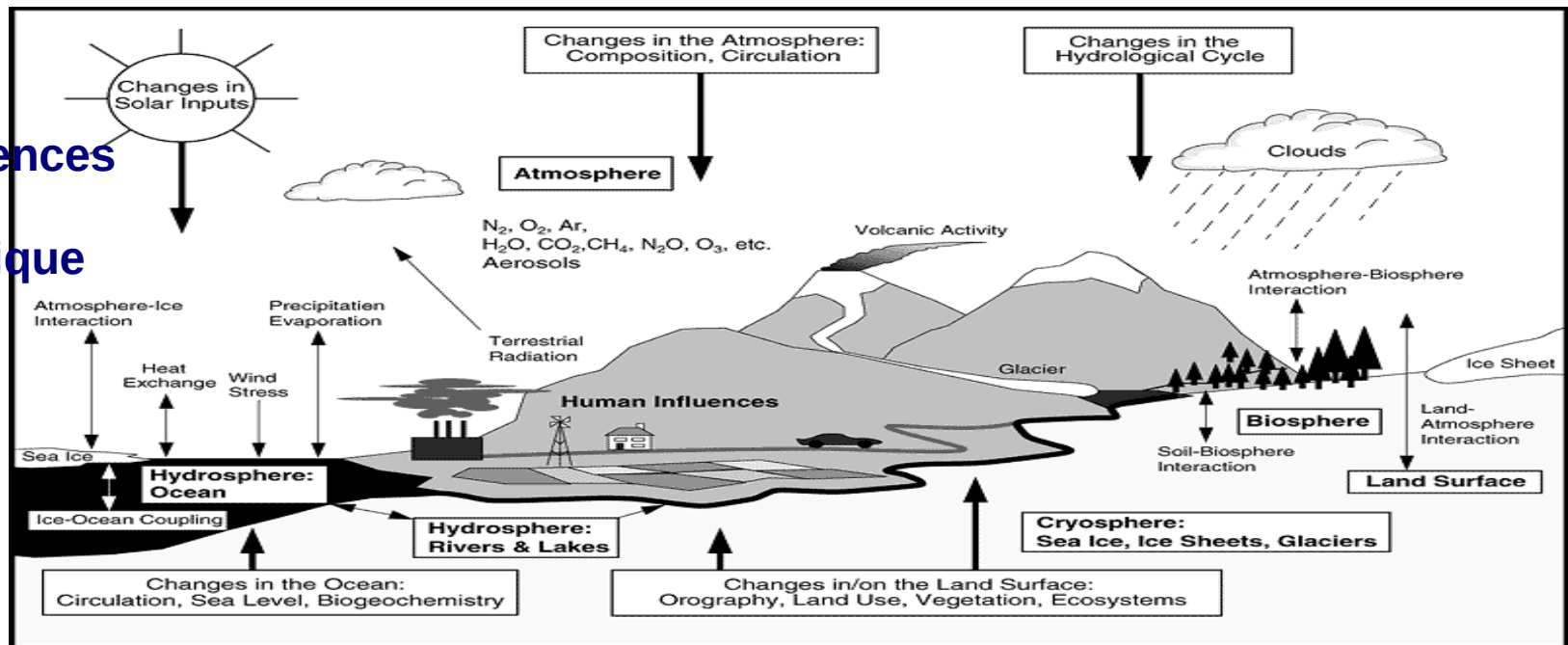
- nous considérons les représentations mathématique et numérique des modèles
Modèle = ensemble d'équations
- toujours essayer de mettre en évidence les liens avec les couches supérieures
- (Sous-)Système = modèle \oplus variables

Modélisation du climat : mondes des apparences et physique

Physique



Apparences & physique



Splitting within Atmospheric Global Circulation Models

Equations de GCM atmosphérique (extraits)

Equations dynamiques en coordonnées pression

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \partial_t \vec{V} = \underbrace{-(\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V}}_{\text{transport}} - \omega \partial_p \vec{V} - \underbrace{\vec{\nabla} \Phi}_{\text{gravité}} - \underbrace{f \vec{k} \times \vec{V}}_{\text{Coriolis}} + \tilde{S}_v \\
 \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + \partial_p \omega = 0 \\
 \partial_t q = -\vec{V} \cdot \vec{\nabla} q - \omega \partial_p q + S_q
 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l}
 \Phi = gz \quad \text{geopotentiel} \\
 \omega = \partial_t p \quad \text{vitesse vert.} \\
 q = \text{humidite specifique}
 \end{array} \right.$$

Sources

(9)

\tilde{S}_v et S_q : termes source déterminés par les **paramétrisations physiques** :

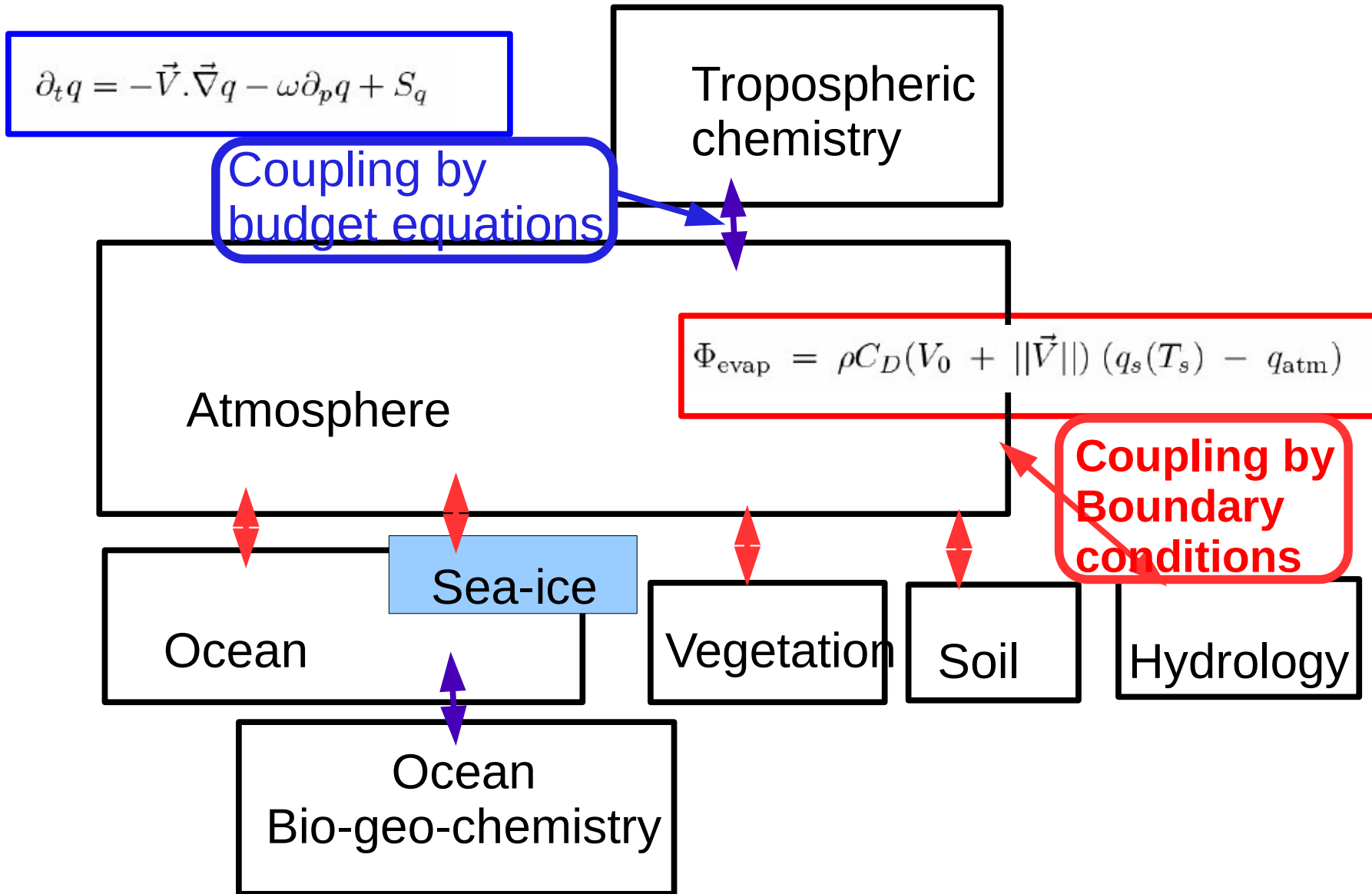
- couche limite planétaire
- convection profonde (Gros cumulus et cumulonimbus)
- nuages
- processus radiatifs
- orographie
- sol

Les deux concepts clefs de la modélisation climatique

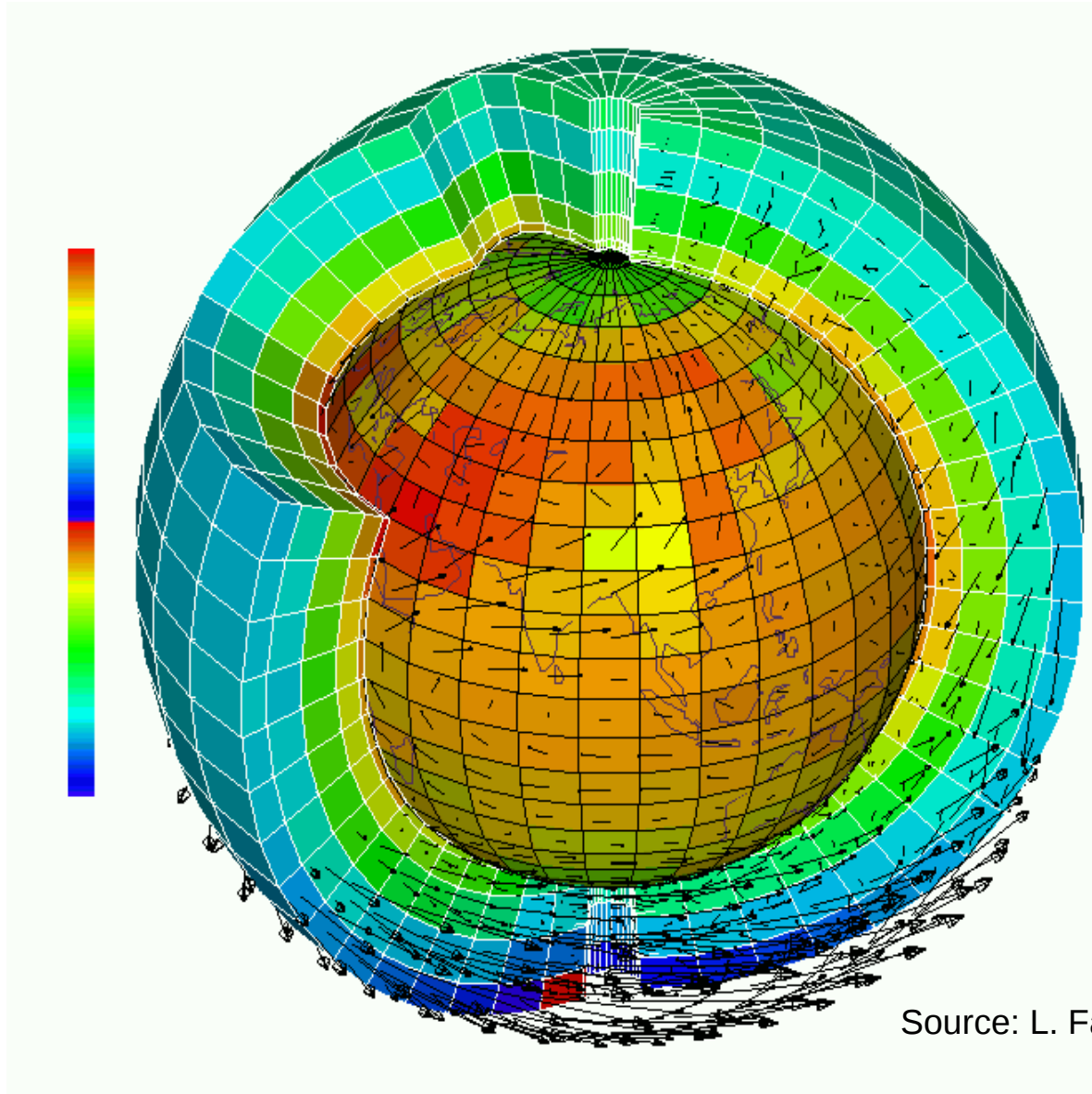
- **Découpage** en modèles "élémentaires", ce qui permet (1) de travailler avec des modèles partiels de taille gérable, (2) de compliquer peu à peu le modèle ;
- **Couplage et raccordement** avec les dynamiques atmosphérique et océanique (et, un peu, entre ces modèles élémentaires).

La façon de voir de Charney semble fonctionner, vraisemblablement parce que les "dynamiques" sont les parties les plus solides, les plus théorisées, des modèles climatiques.

Climate modelling: splitting in submodels



Modélisation numérique 3D du climat

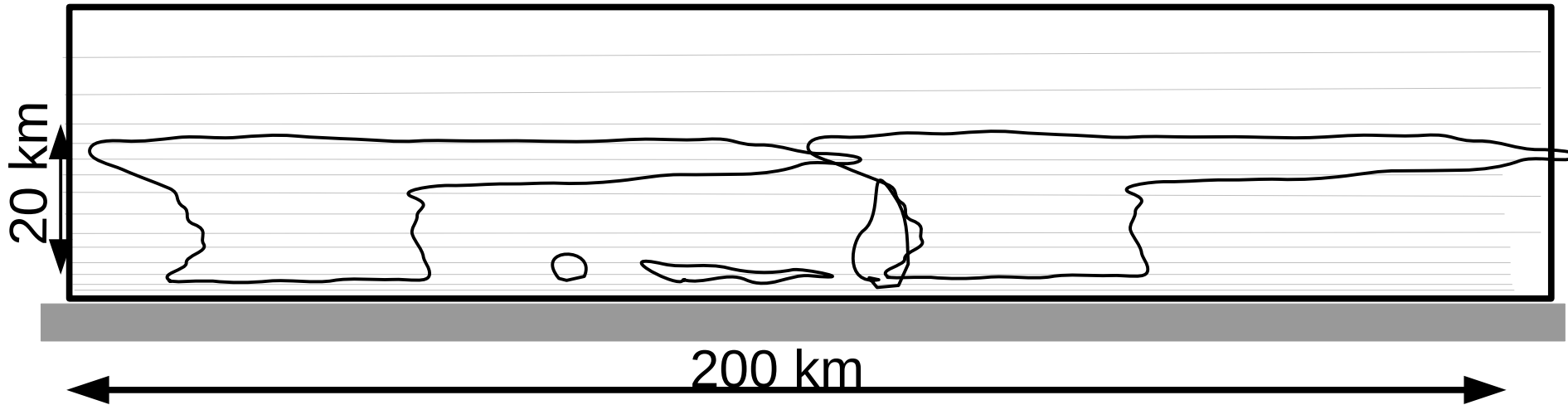


Source: L. Fairhead, LMD/IPSL

Discrétisation

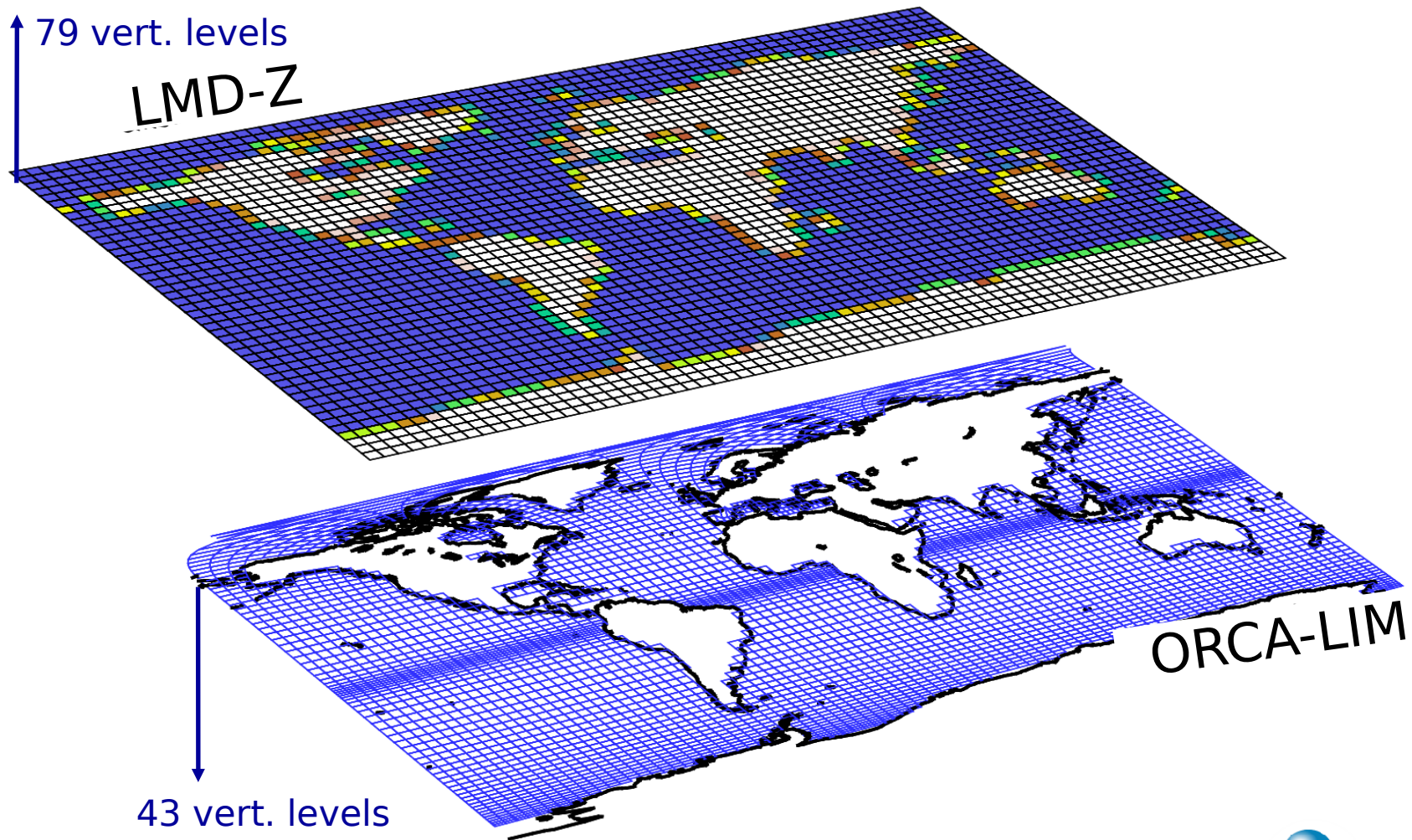
- Incrément temporel : de quelques minutes à une demi-heure, selon la technique d'intégration.
- Grille horizontale : maille allant de 100 à 300 km.
- Grille verticale : maille allant de 20m (ou moins) au niveau du sol, à quelques kilomètres dans la stratosphère.

Colonne atmosphérique typique:



Couplage avec un modèle de circulation océanique

Modèle climatique de l'IPSL



Récapitulation

- GCM = modèle (ensemble d'équations et mise en oeuvre informatique associée) dont le but est de simuler le comportement au fil du temps des circulations globales de l'atmosphère et de l'océan ainsi que des processus connexes : météorologiques, chimiques, biologiques ...
- Les GCMs atmosphériques sont divisés en 2 parties : (i) la **Dynamique** résout les équations de la dynamique atmosphérique; (ii) la **Physique** représente les processus d'échanges verticaux d'échelle plus petite que la maille.
- **Découpage et raccordement** permettent le développement de sous-modèles spécifiques pour chaque partie et l'analyse des couplages entre ces parties.
- Ce qu'on attend des GCMs: (i) représenter les **valeurs moyennes** des variables climatiques; (ii) représenter la **variabilité des** variables climatiques (diurne à séculaire), y compris les événements extrêmes; (iii) posséder des **sensibilités** correctes (e.g. à [CO₂]); (iv) posséder des **feedbacks** corrects.

Hiérarchie de modèles

Modèles globaux 3D (par ordre de complexité croissante)

- AGCM sur aqua-planète
- AGCM avec continents
- AOGCM à [gaz à effet de serre] fixées
- AOGCM avec [gaz à effet de serre] plus ou moins couplées
- couplage avec d'autres processus - - - - -

Modèle 1D : Toute la physique du GCM, mais une seule colonne

Modèles de méso ou fine échelle :

LES ($\delta x \simeq 100m$) et CRMs ($\delta x \simeq 1\text{à}5km$) permettent d'explorer le fonctionnement de l'atmosphère :

- LES pour PBL
- CRM pour convection profonde

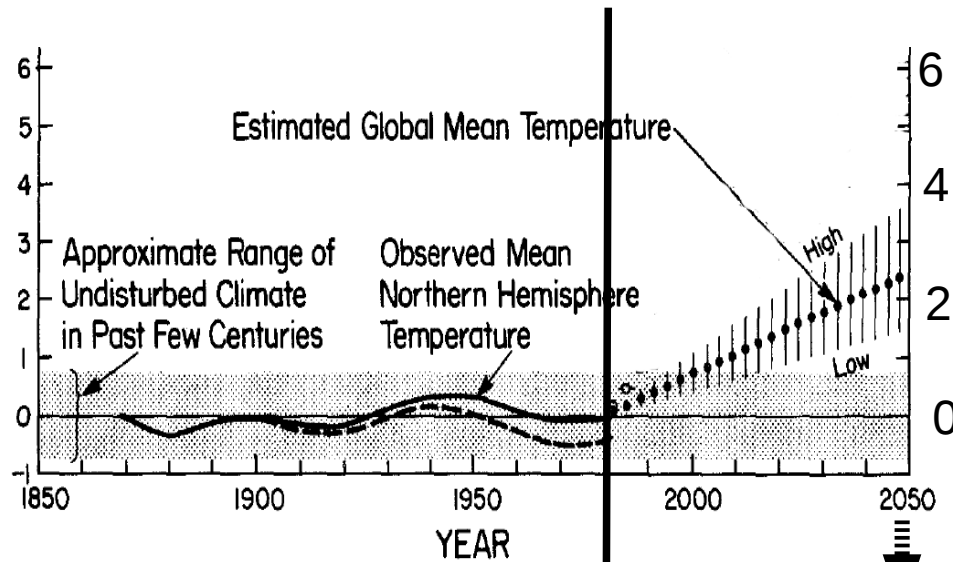
Modèles simples (importants pour comprendre les résultats) :

- Modèle d'équilibre global : $4\epsilon\sigma T^4 = (1 - \alpha)\Phi_{SW}$
- Modèles de rétroactions

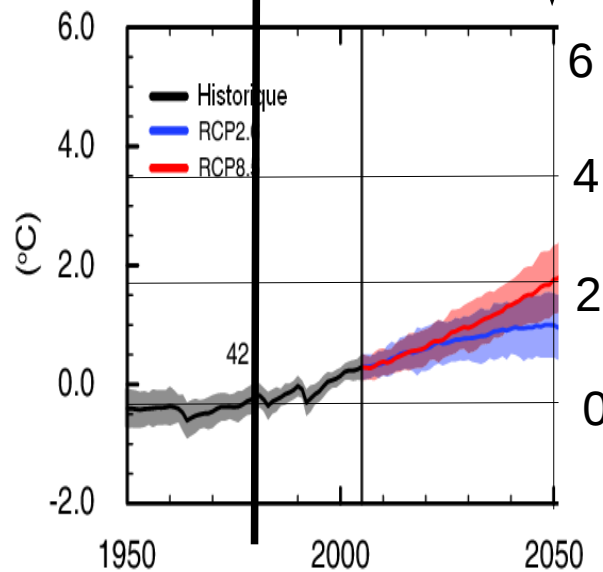
Plan

- I. Modélisation du climat
- II. Les premières projections des climats futurs
- III. Variations récentes du climat
- IV. Projections futures
- V. Paléoclimats et variabilité naturelle
- VI. Les scientifiques, le GIEC et les COP

Premières projections climatiques alors que la température a peu augmenté

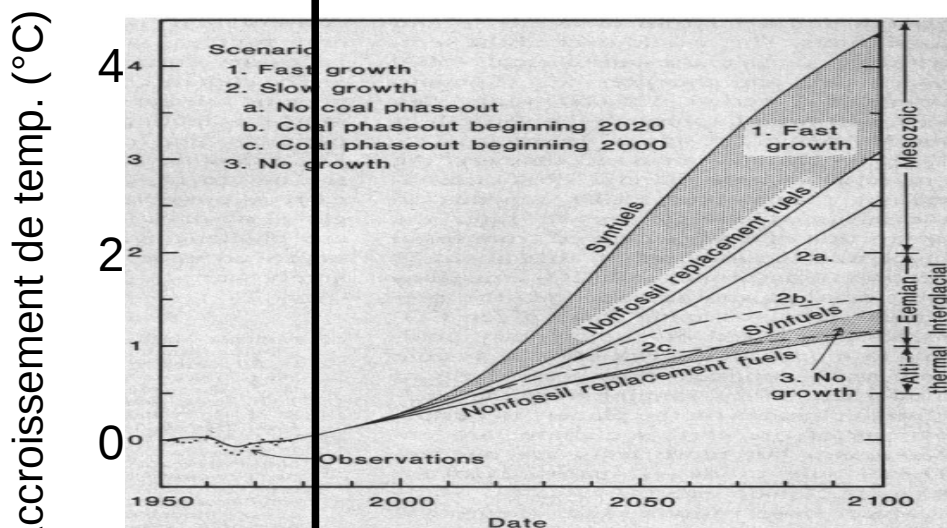


[Kellogg 1977]

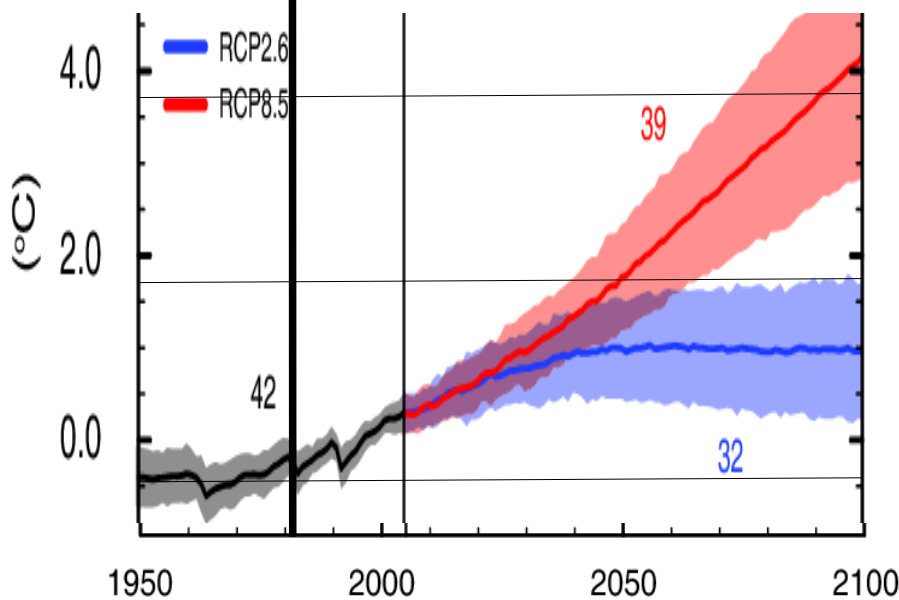
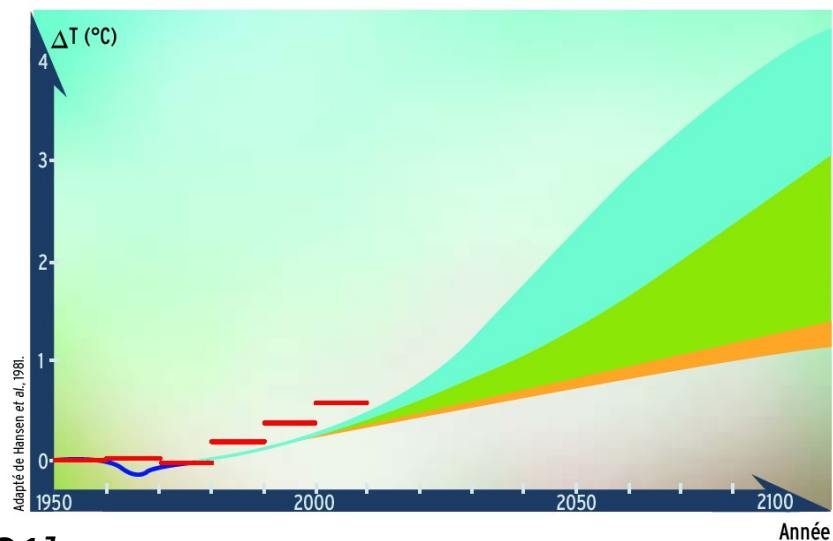


[GIEC 2013]

Premières projections climatiques alors que la température a peu augmenté



[Hansen et al. 1981]



[GIEC 2013]

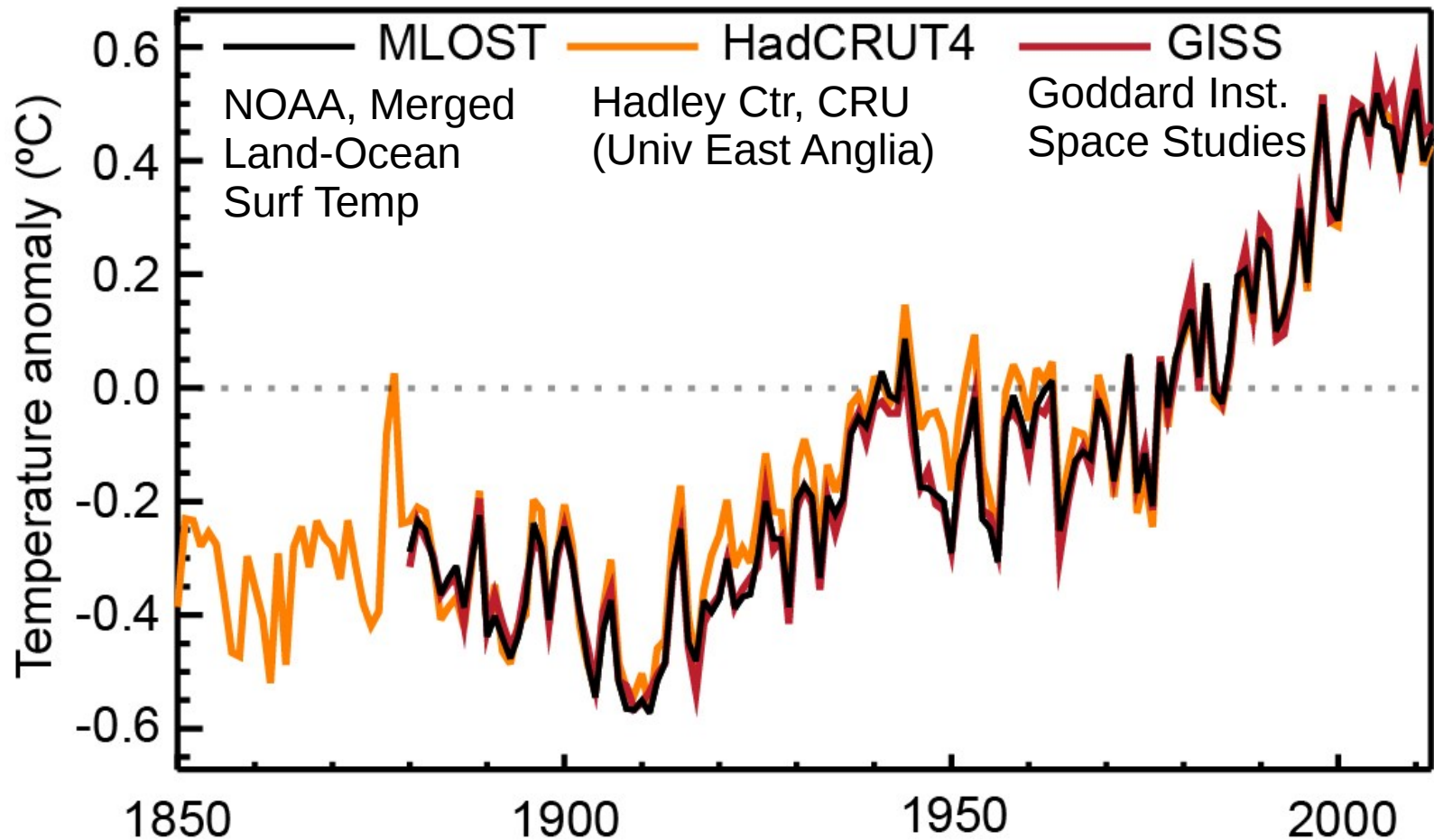
— Observations
(postérieures)
Moyennes sur 10 ans

Plan

- I. Modélisation du climat
- II. Les premières projections des climats futurs
- III. Variations récentes du climat
- IV. Projections futures
- V. Paléoclimats et variabilité naturelle
- VI. Les scientifiques, le GIEC et les COP

Variations du climat et rôle des activités humaines

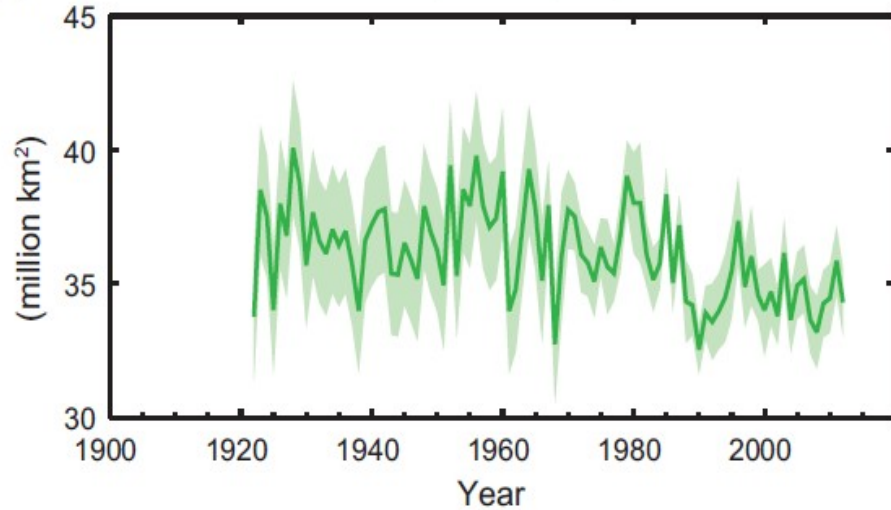
Accord entre trois méthodes d'estimation de la température moyenne



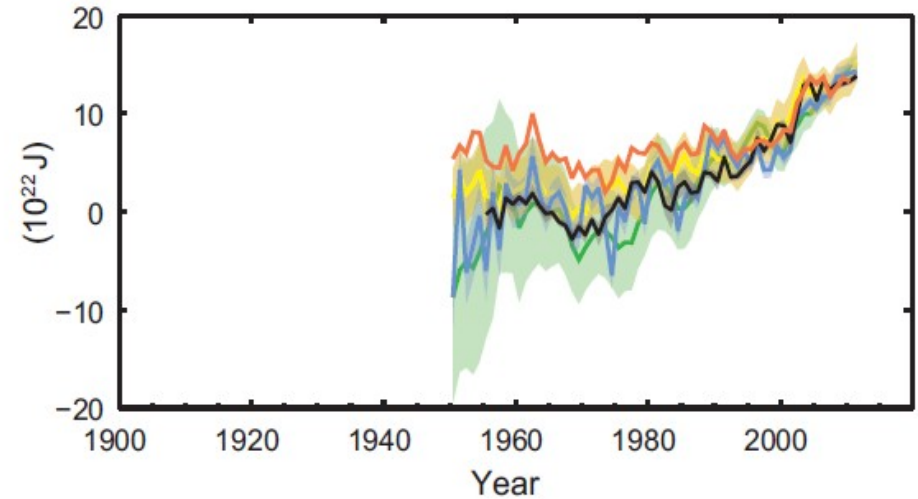
[GIEC 2013]

Variations du climat et rôle des activités humaines

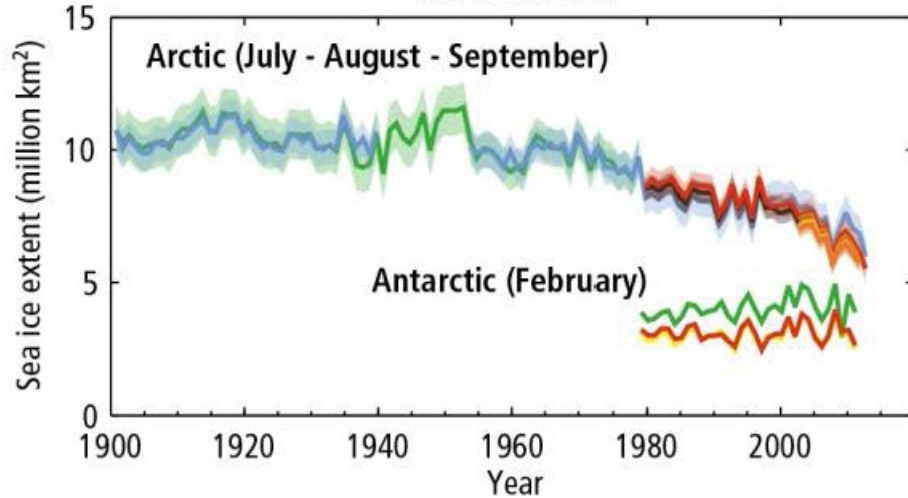
(a) Northern Hemisphere spring snow cover



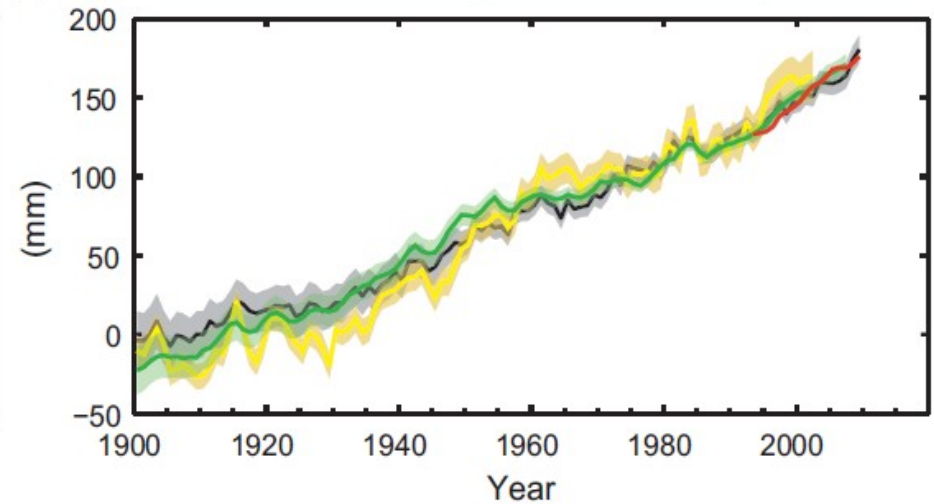
(c) Change in global average upper ocean heat content



Sea ice extent



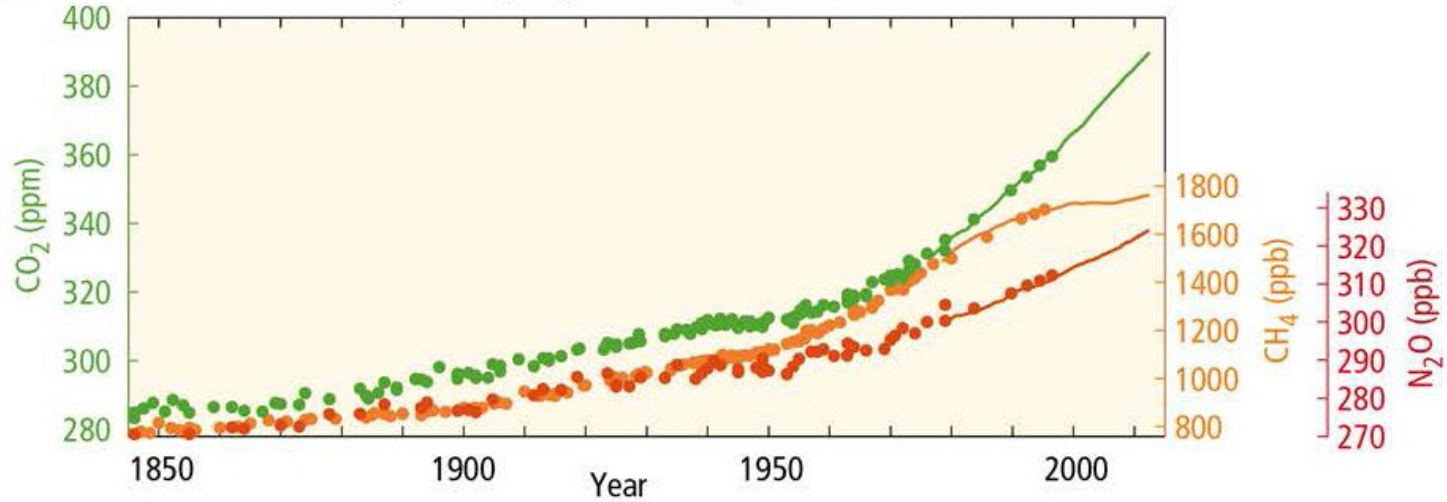
(d) Global average sea level change



Variations du climat et rôle des activités humaines

(c)

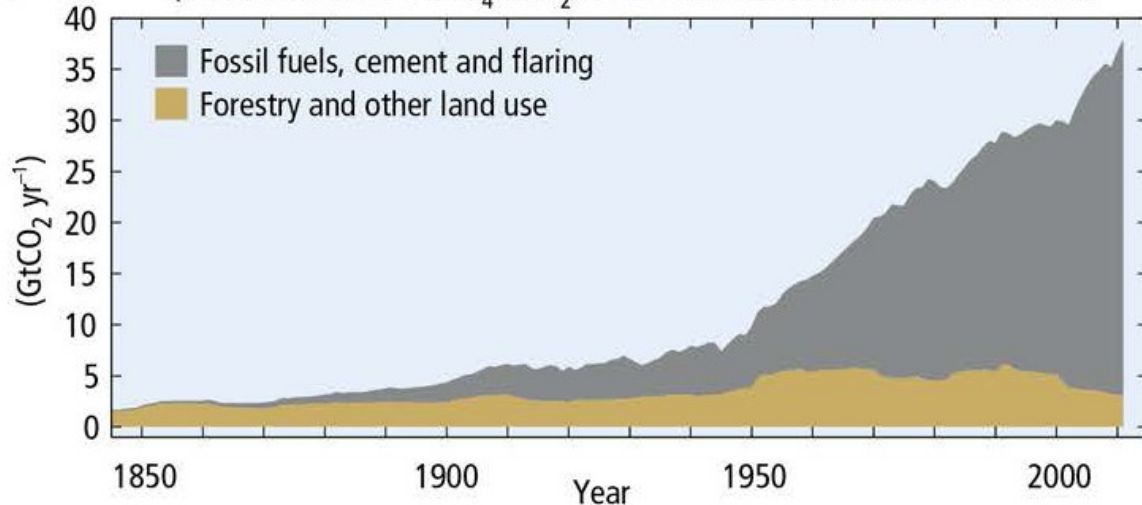
Globally averaged greenhouse gas concentrations



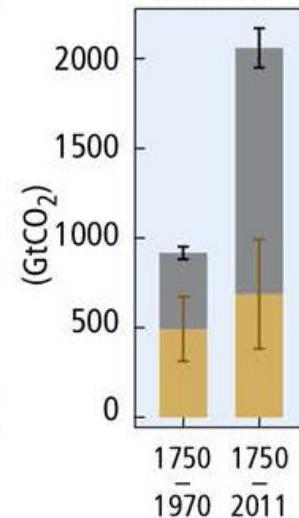
(d)

Global anthropogenic CO₂ emissions

Quantitative information of CH₄ and N₂O emission time series from 1850 to 1970 is limited



Cumulative CO₂ emissions



[GIEC 2014]

Emissions moyennes de CO₂ pour 2003-2012

1 GtC = 3.67 GtCO₂

8,6 ± 0,4 GtC y⁻¹



0,8 ± 0,5 GtC y⁻¹



+

4,3 ± 0,1 GtC y⁻¹
45%



2,6 ± 0,5 GtC y⁻¹
27%



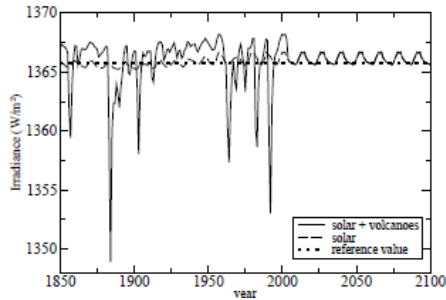
2,6 ± 0,8 PgC y⁻¹
27%



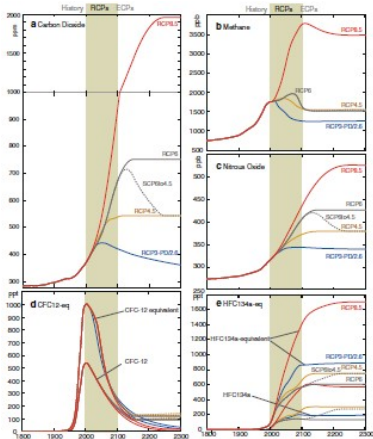
Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL

Forçages naturels et anthropiques

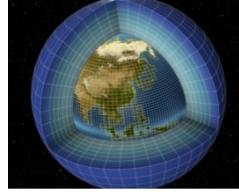
Soleil et volcans



Gaz à effet de serre ou chimiquement actifs



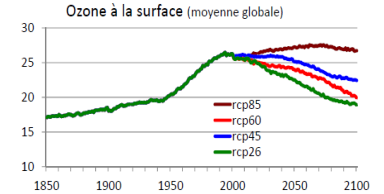
Concentration de CO₂



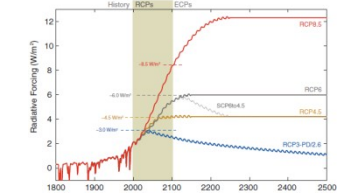
Modèle de climat

- 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

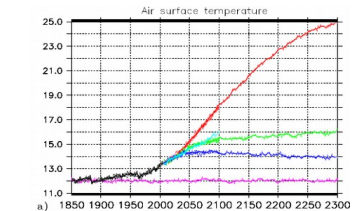
Composition de l'atmosphère



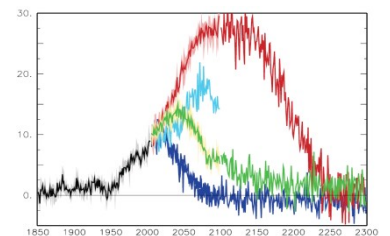
Forçage radiatif



Changement climatique

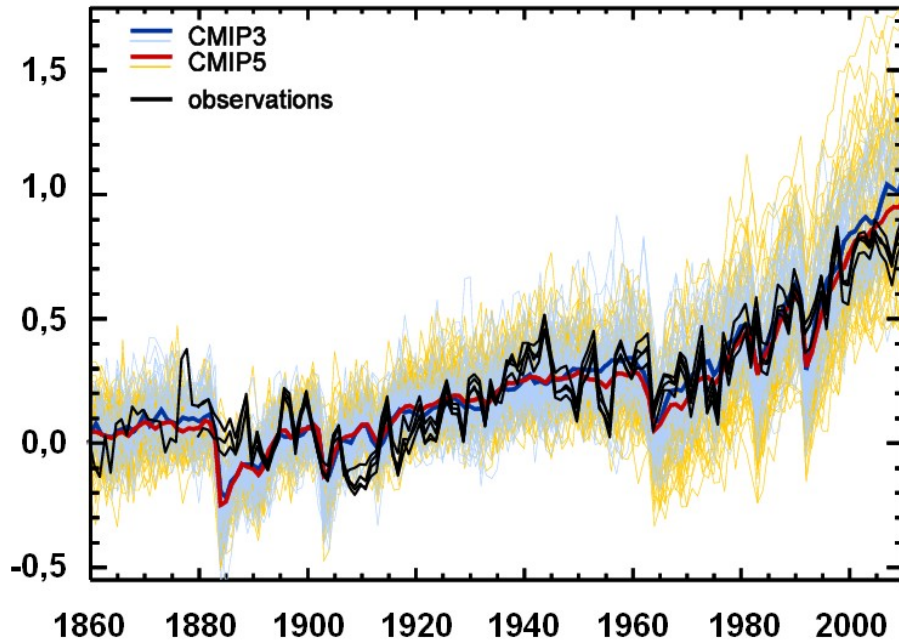


Émission autorisée de CO₂

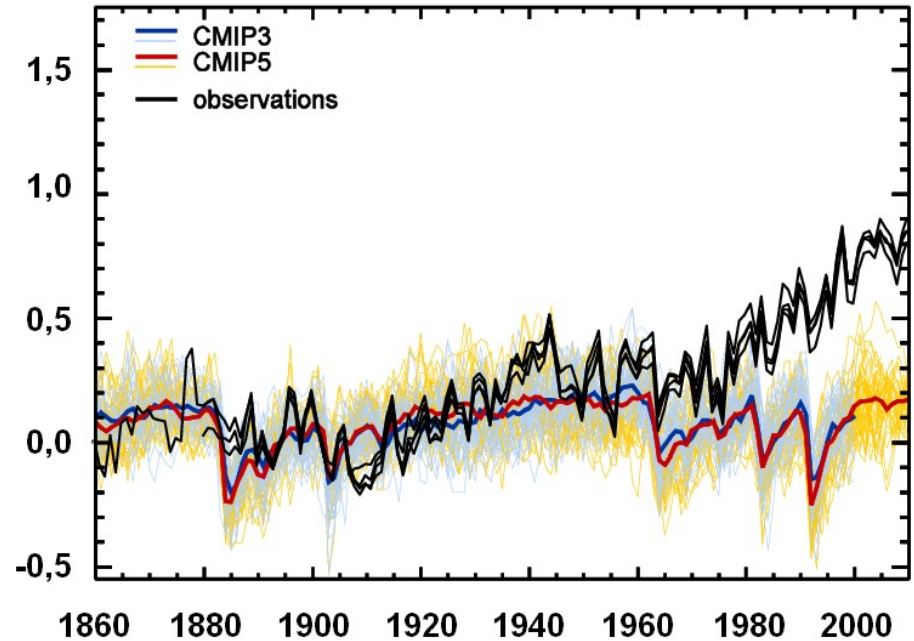


Évolution récente de la température de surface de la Terre

Simulations avec forçages naturels et anthropiques

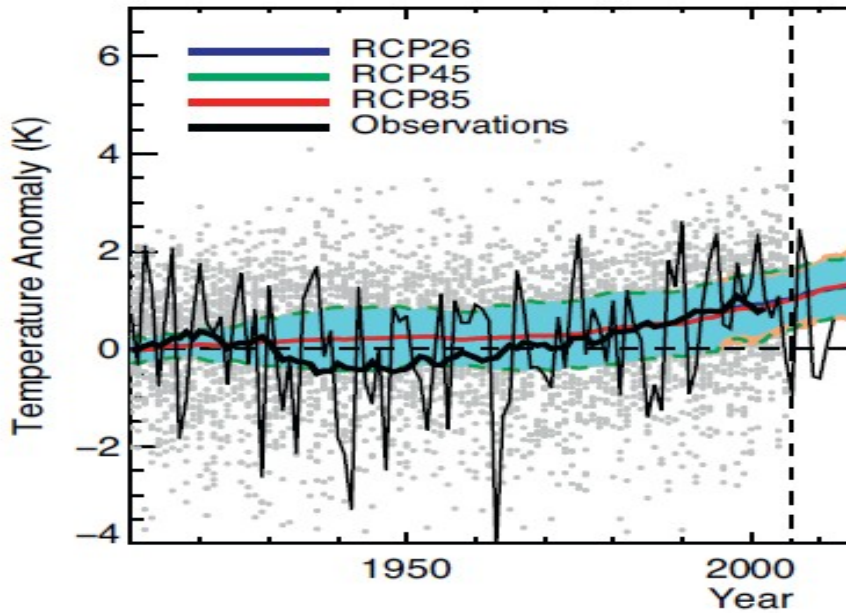


Simulations avec forçages naturels seulement

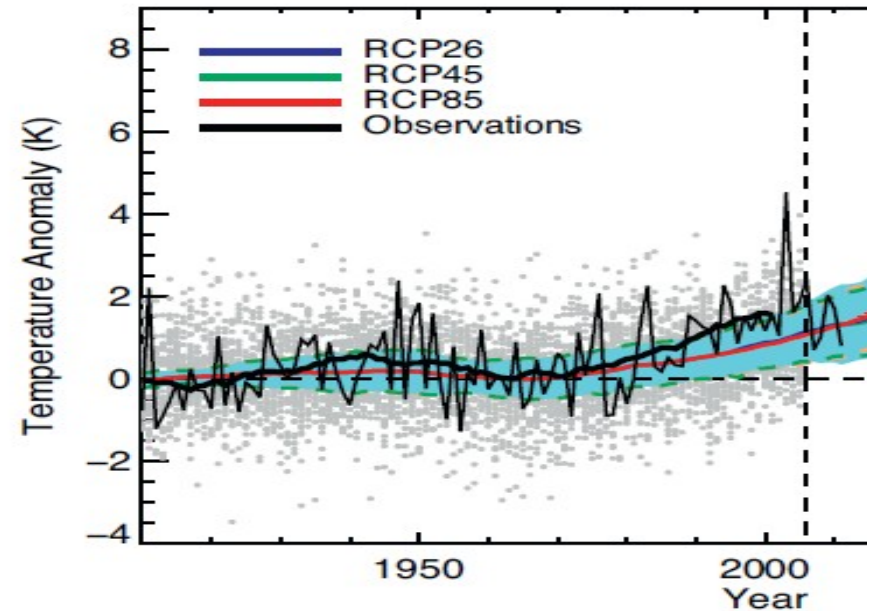


Evolution de la température en France

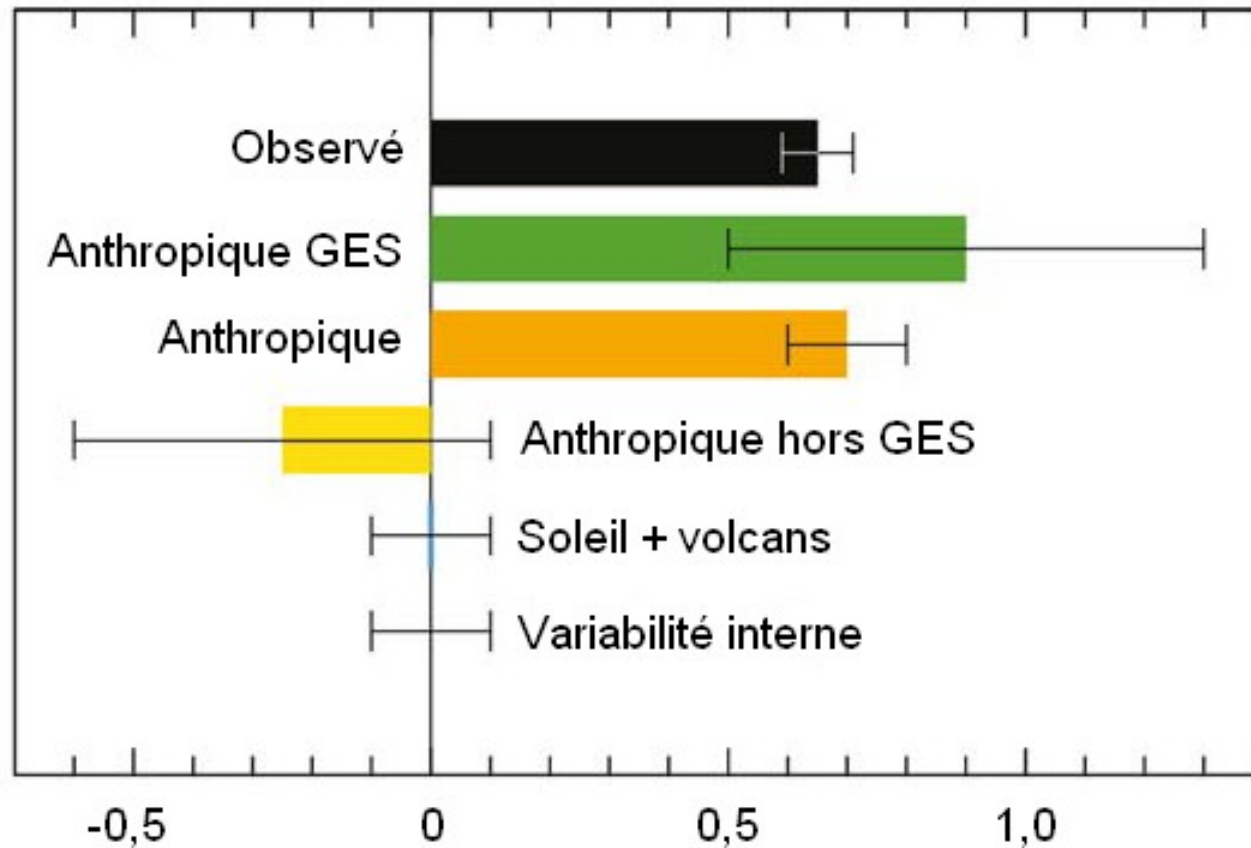
hiver



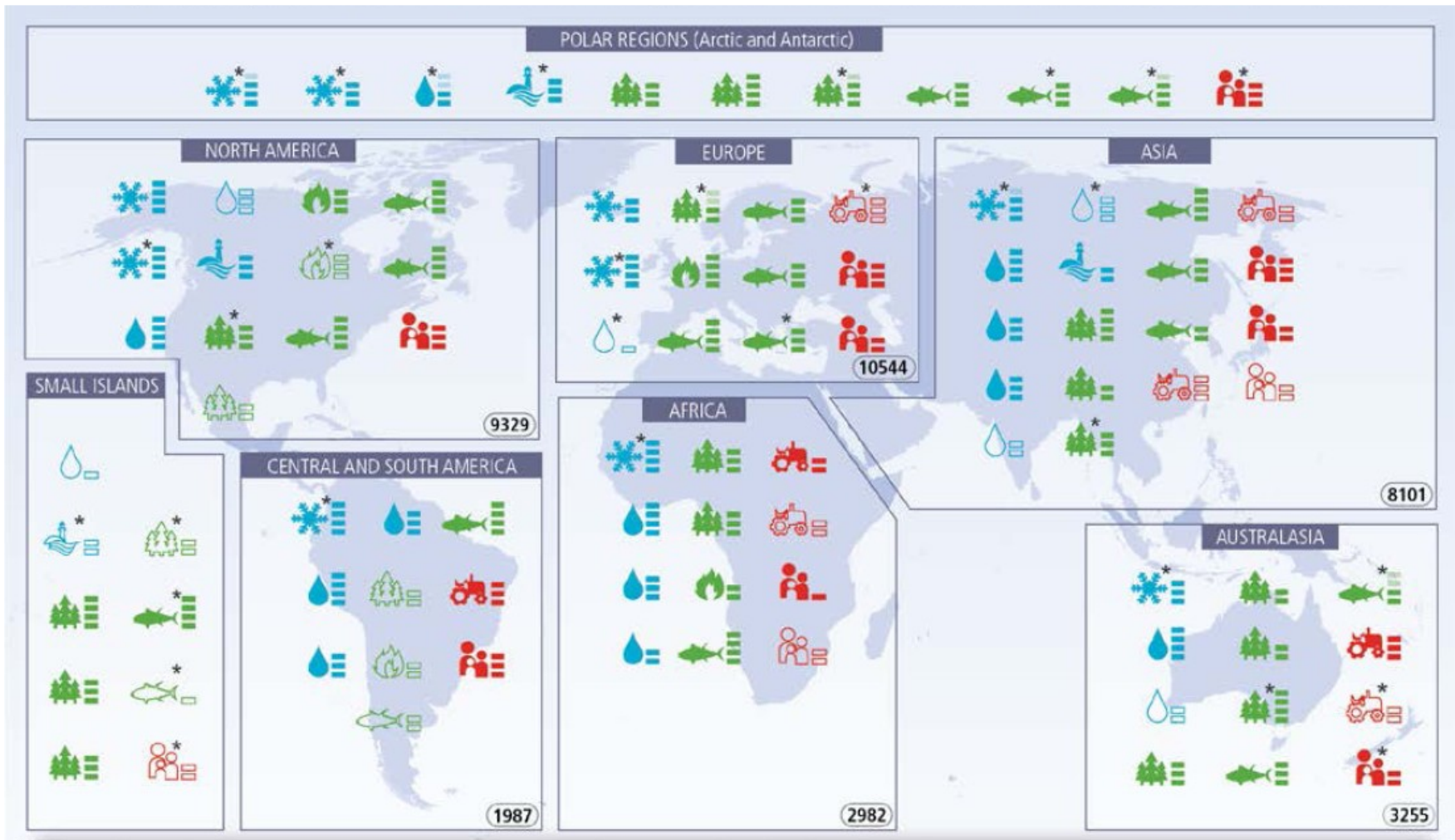
été



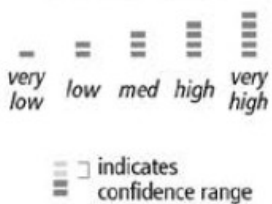
Attribution des tendances sur 1951-2010 de la température moyenne globale en surface



Incidences attribuées au changement climatique

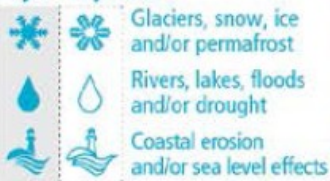


Confidence in attribution to climate change



Observed impacts attributed to climate change for

Physical systems



Biological systems



Human and managed systems



* Impacts identified based on availability of studies across a region

Outlined symbols = Minor contribution of climate change
Filled symbols = Major contribution of climate change

[GIEC, 2014]

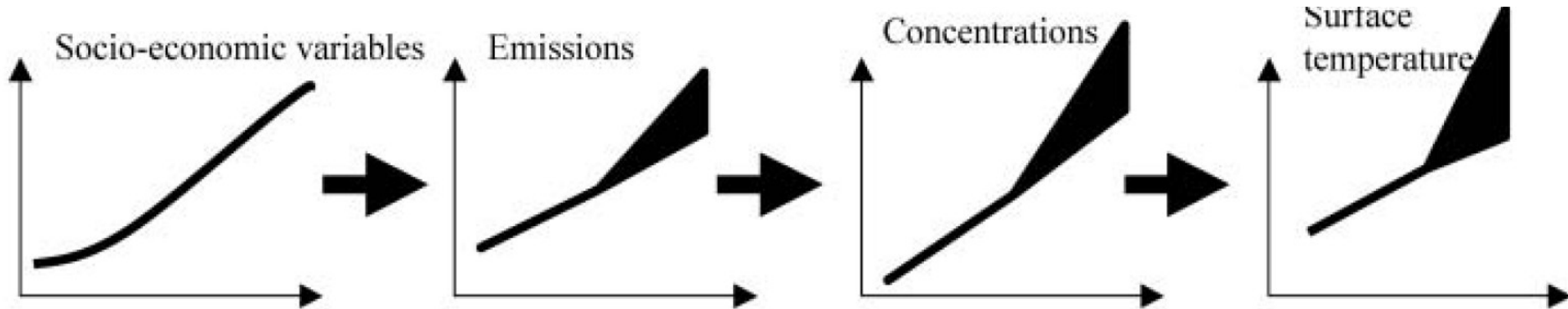
Plan

- I. Modélisation du climat
- II. Les premières projections des climats futurs
- III. Variations récentes du climat
- IV. Projections futures**
- V. Paléoclimats et variabilité naturelle
- VI. Les scientifiques, le GIEC et les COP

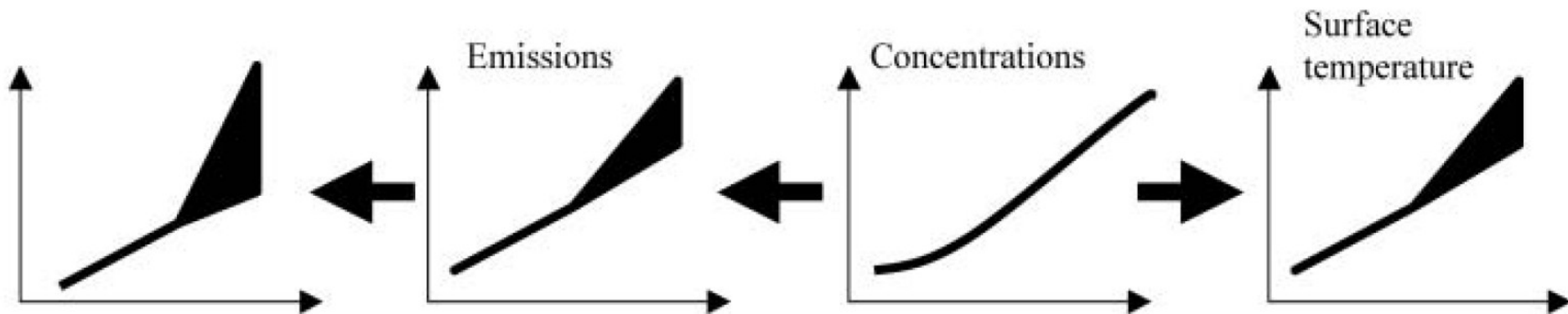
Les projections futures

Explorations des futurs possibles. Repose sur des scénarios d'émissions ou de concentration des gaz à effet de serre et précurseurs des aérosols

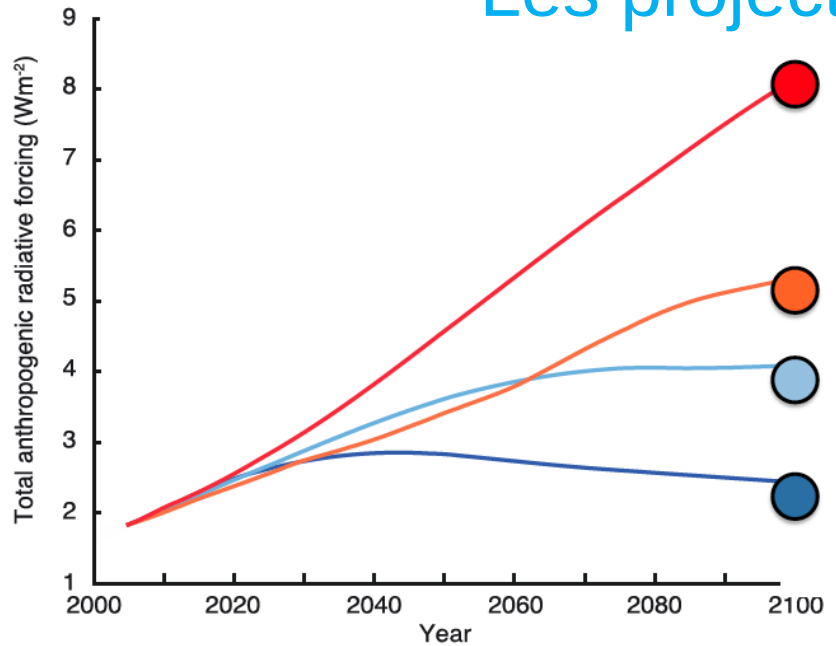
Approche anciens scénarios (SRES)



Approche nouveaux scénarios (RCP = Representative Concentration Pathways)



Les projections futures



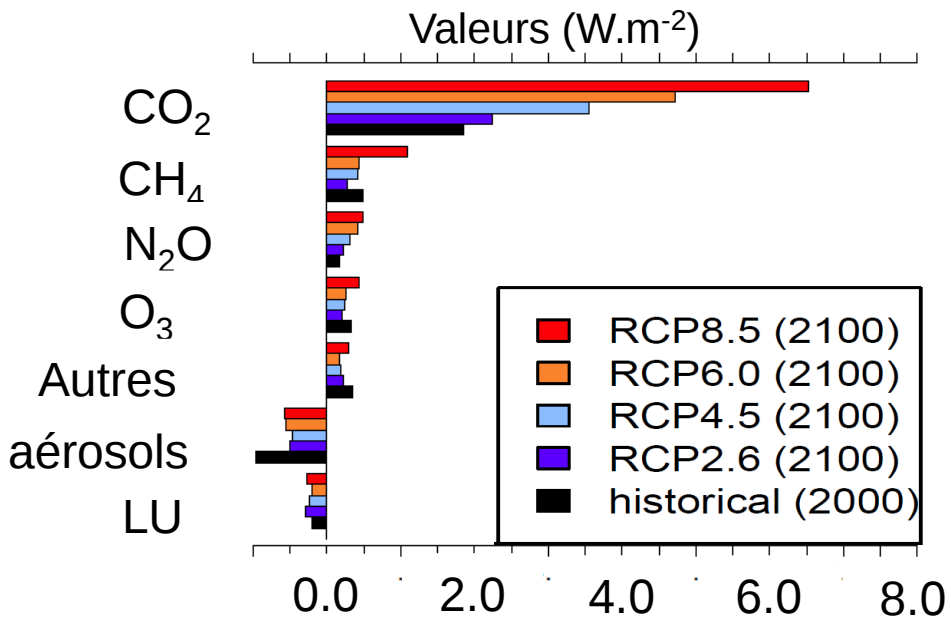
RCP8.5 Fortes émissions

RCP6.0 } Stabilisation

RCP4.5 }

RCP2.6 Contrôle des émissions

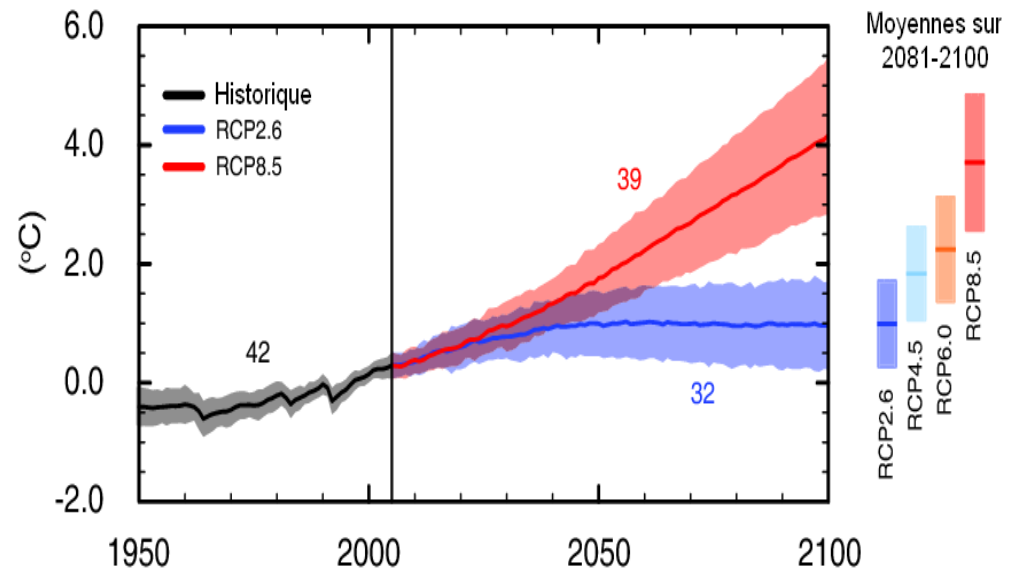
RCP8.5 : le forçage radiatif en 2100 par Rapport à 1850 est 8.5 W/m²



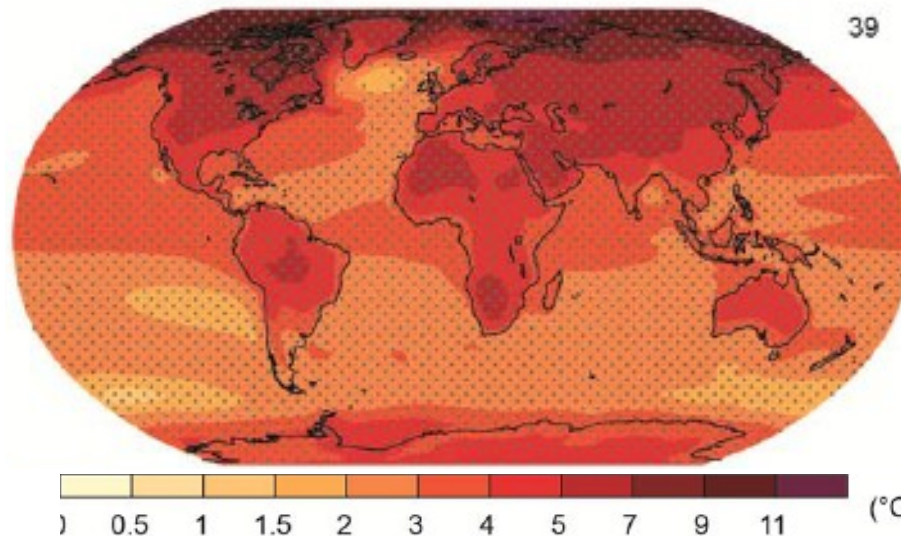
Contribution des forçages individuels au forçage total (référence 1850)

Température de surface

Moyenne globale
1950 à 2100
(40 modèles CMIP5)

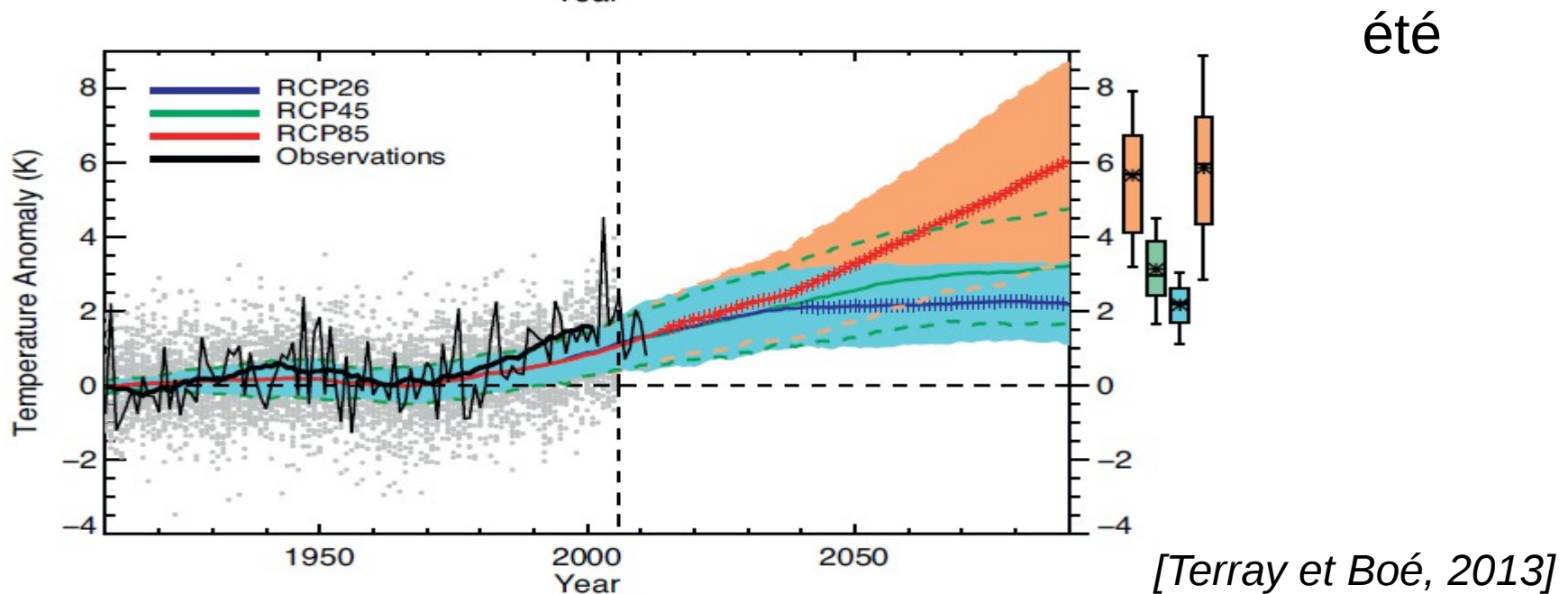
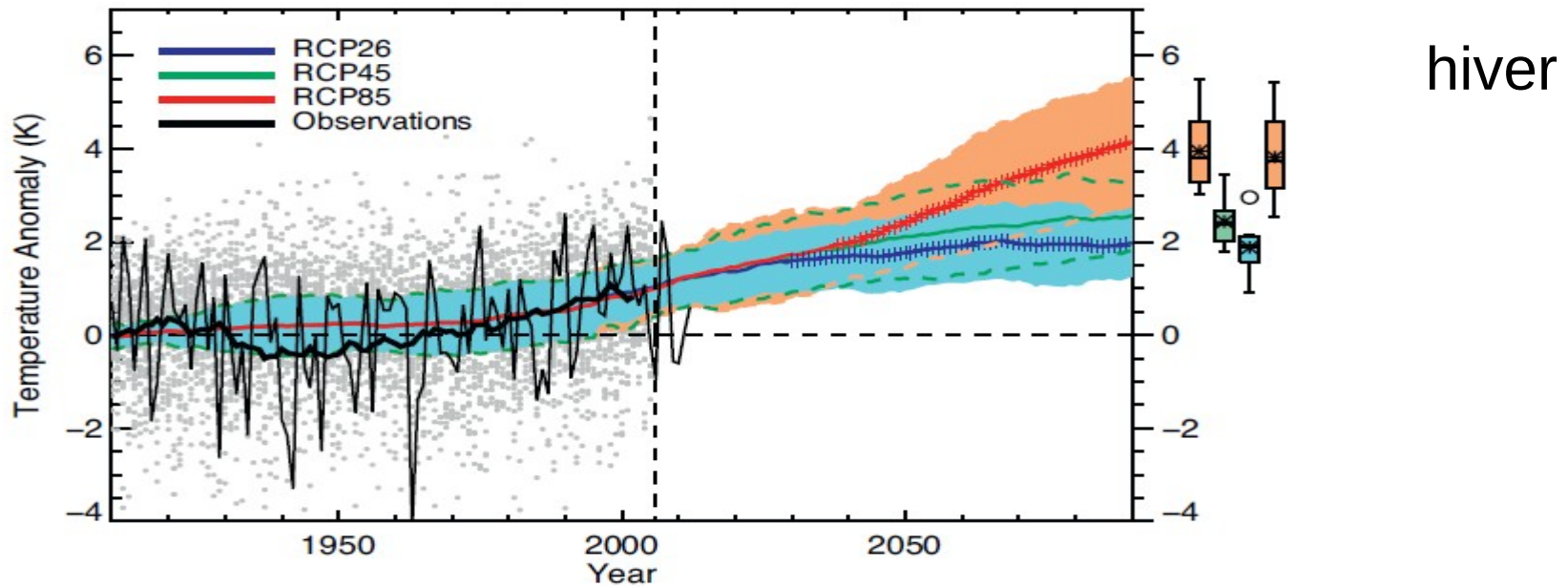


En 2100,
scénario RCP8.5
(39 modèles CMIP5)

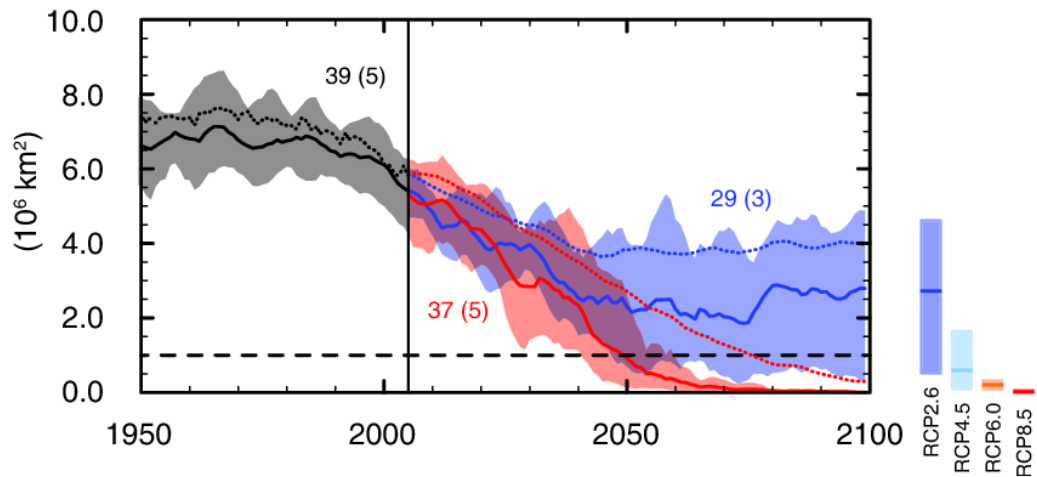


[GIEC, 2013]

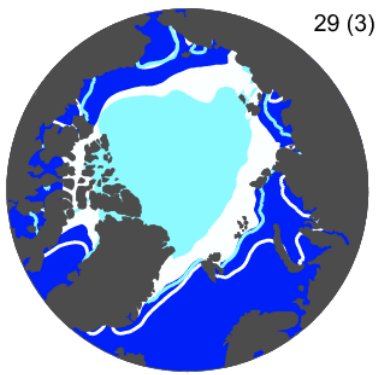
Evolution de la température en France



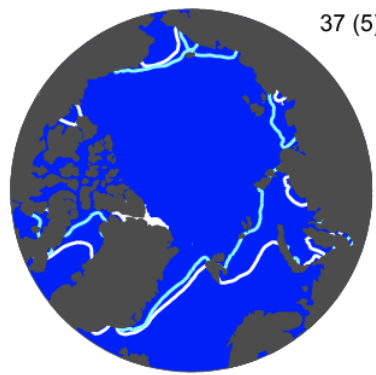
Changements d'extension de la banquise de l'hémisphère nord septembre (minimum d'extension)



RCP2.6

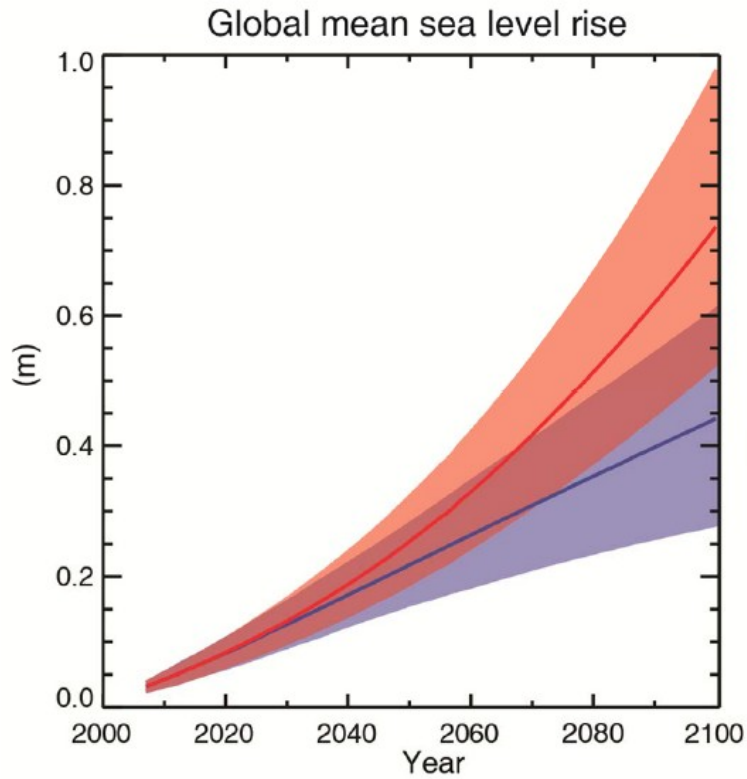


- CMIP5 multi-model average 1986-2005
- CMIP5 multi-model average 2081-2100
- CMIP5 subset average 1986-2005
- CMIP5 subset average 2081-2100



RCP8.5

Changement du niveau des mers



Mean over
2081-2100

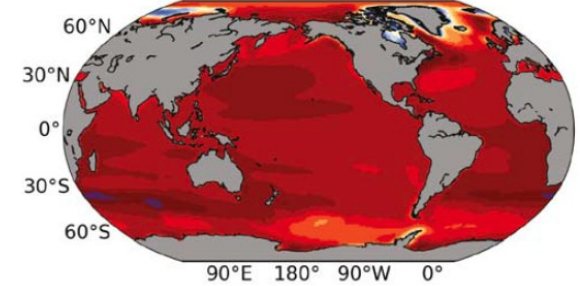
RCP2.6

RCP4.5

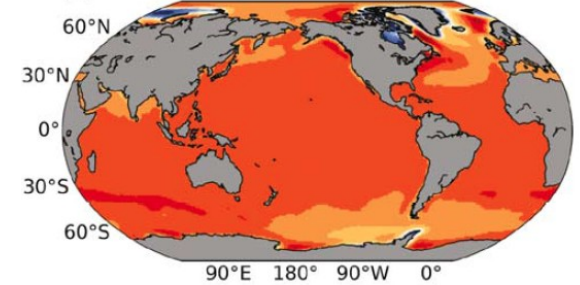
RCP6.0

RCP8.5

(d) RCP8.5 + other components



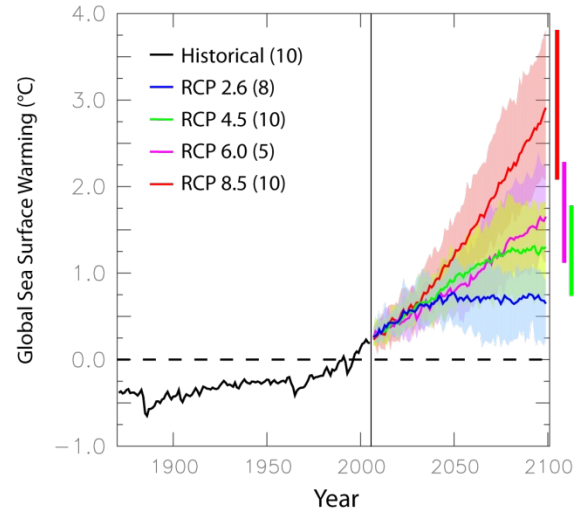
(a) RCP2.6 + other components



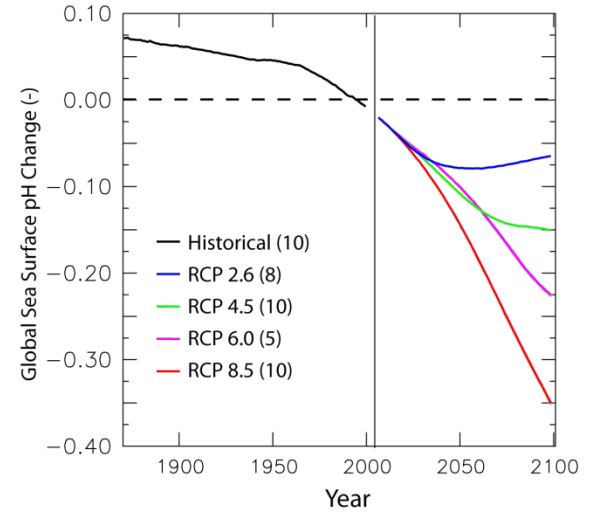
Impacts du changement climatique sur les écosystèmes marins : Multi-modèle

Des eaux de surface plus chaudes...
et plus acides

Température de Surface

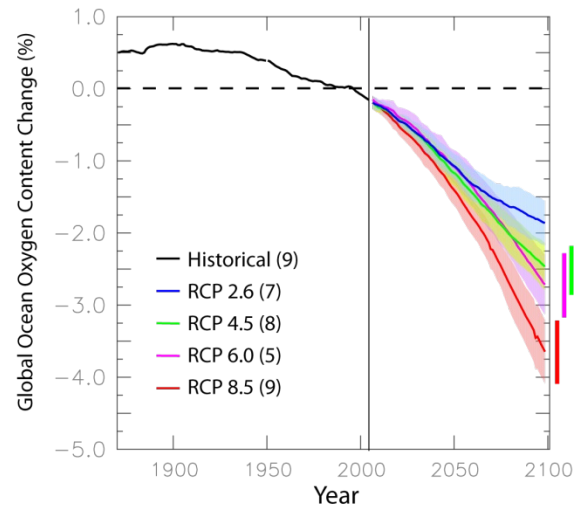


pH de Surface

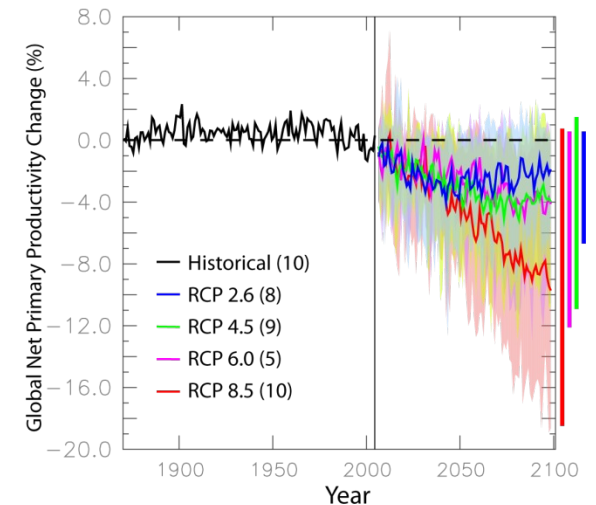


Moins d'oxygène et
moins de production
primaire

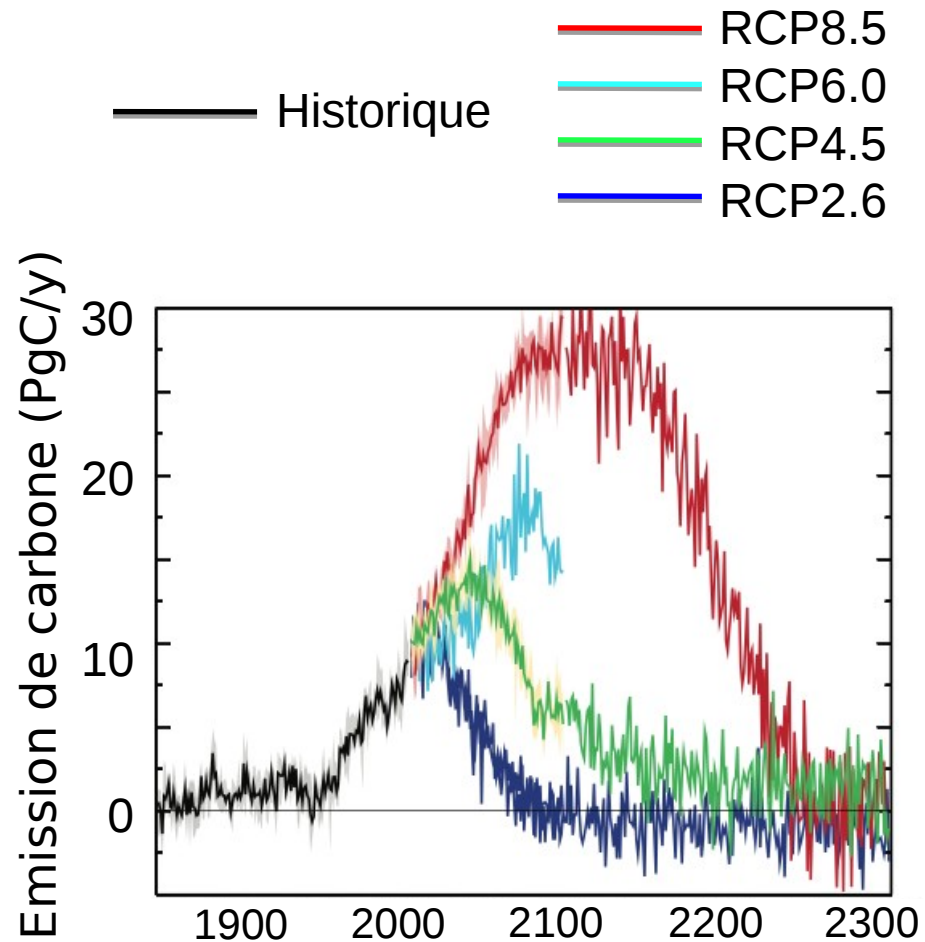
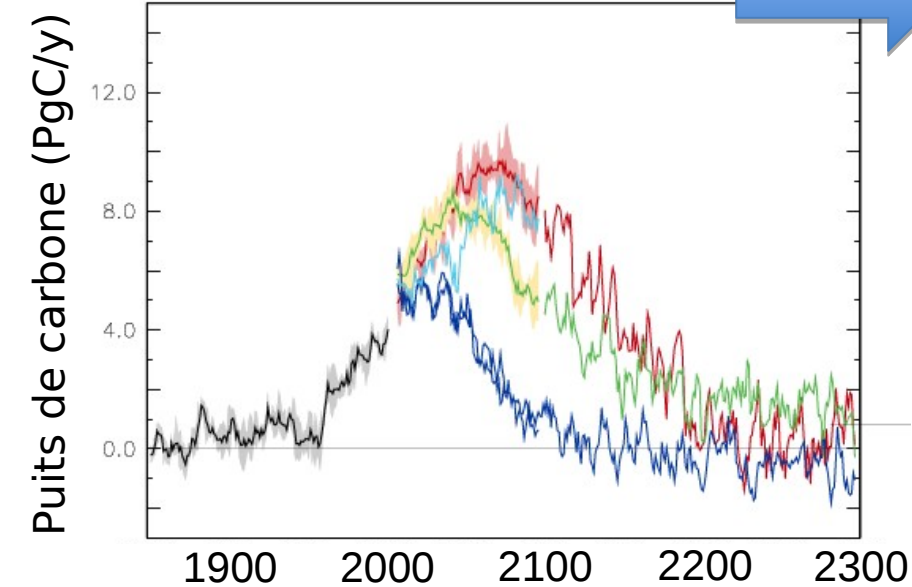
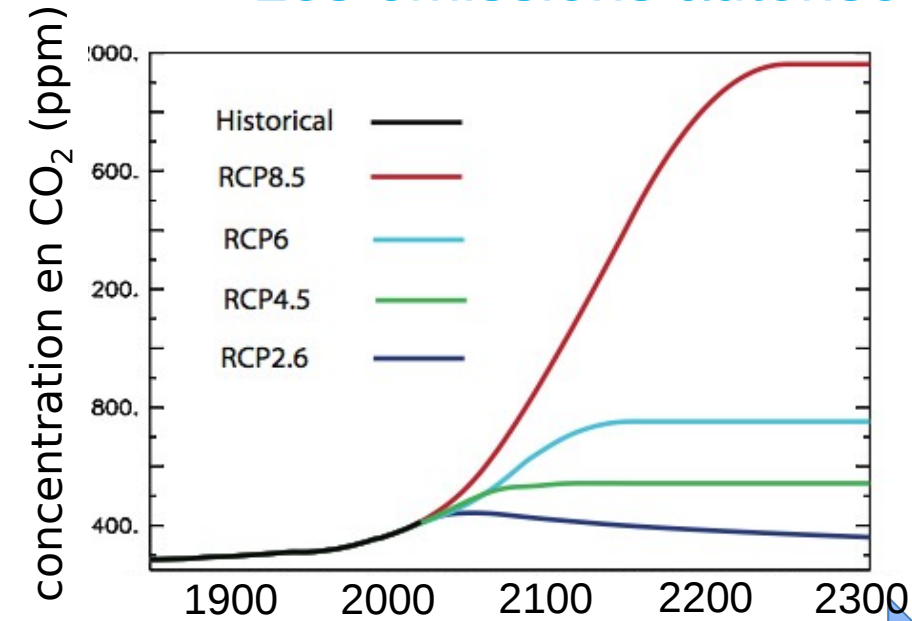
Contenu en Oxygène



Production Primaire Nette

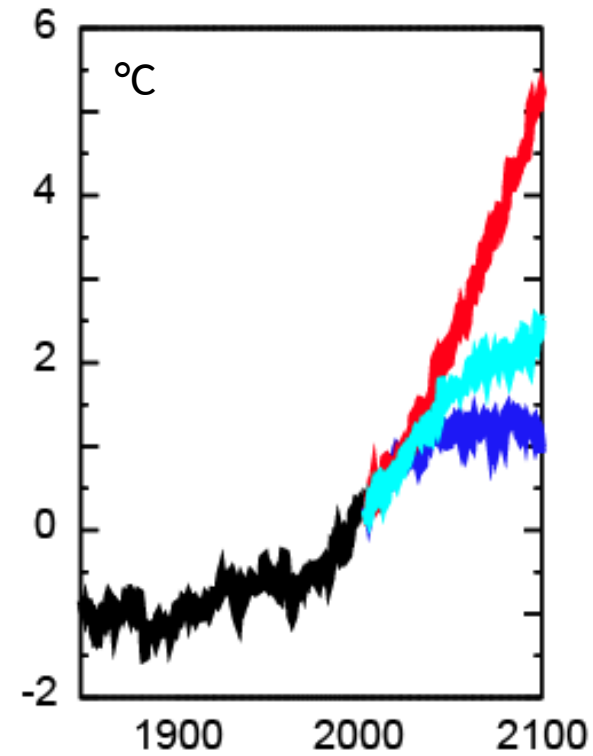
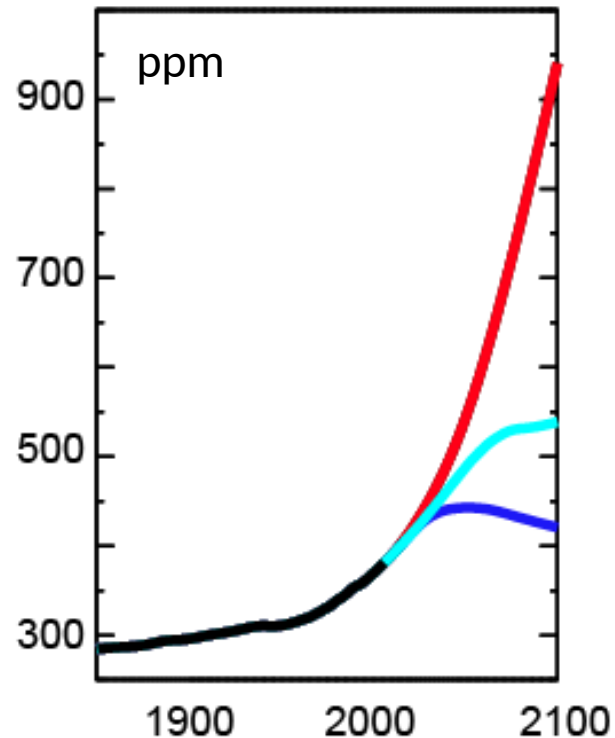
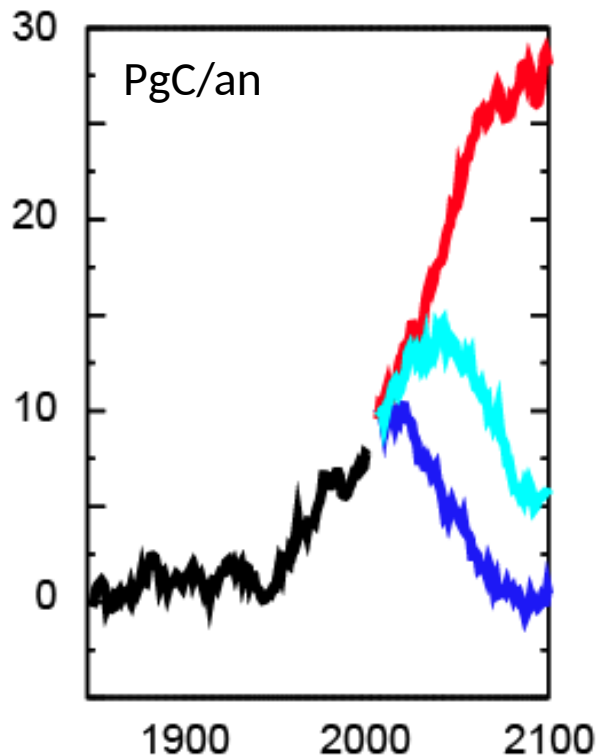


Les émissions autorisées de CO₂ avec IPSL-CM5

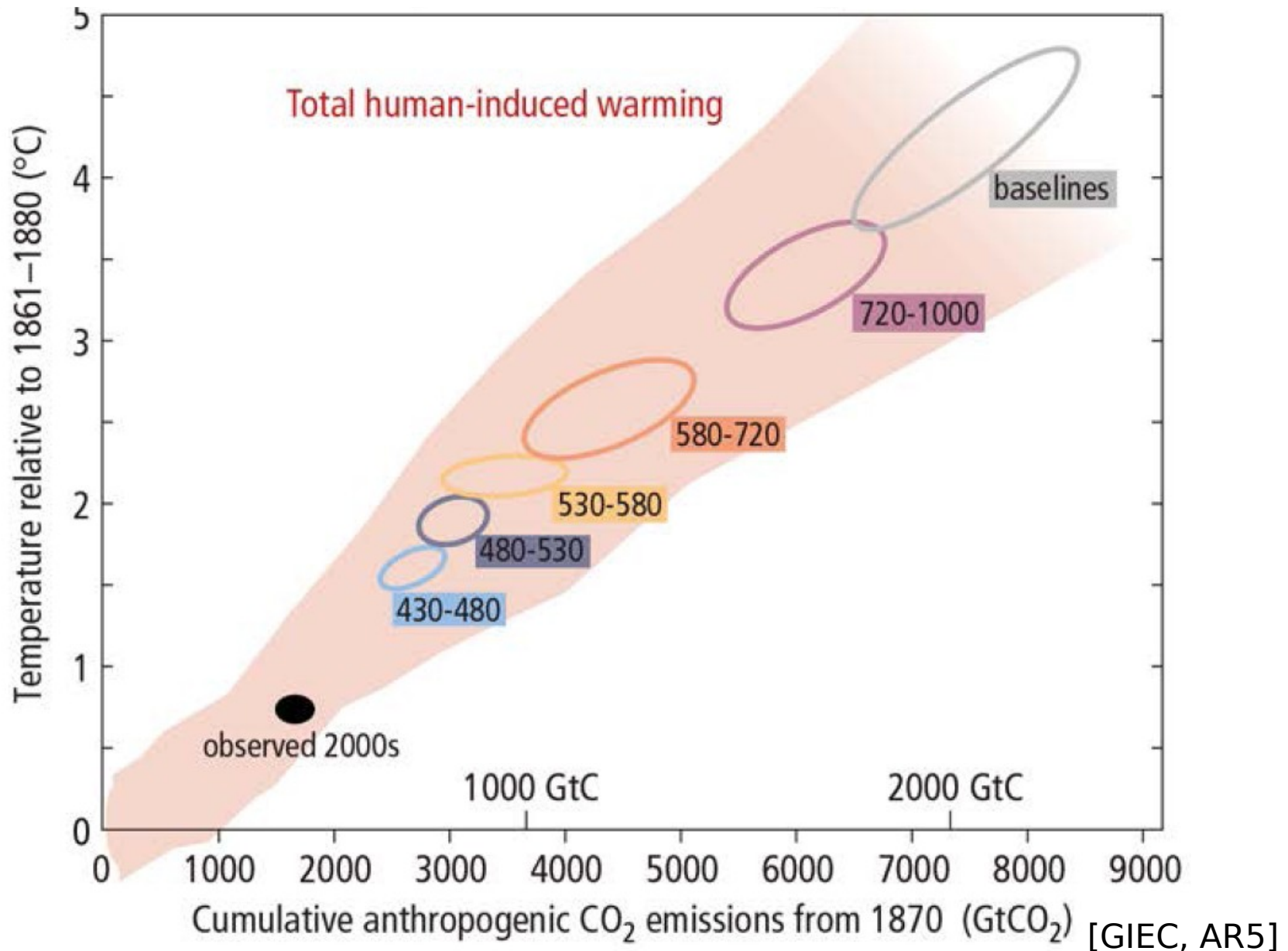


Emissions de Carbone, Concentrations atmosphérique de CO₂, Température moyenne

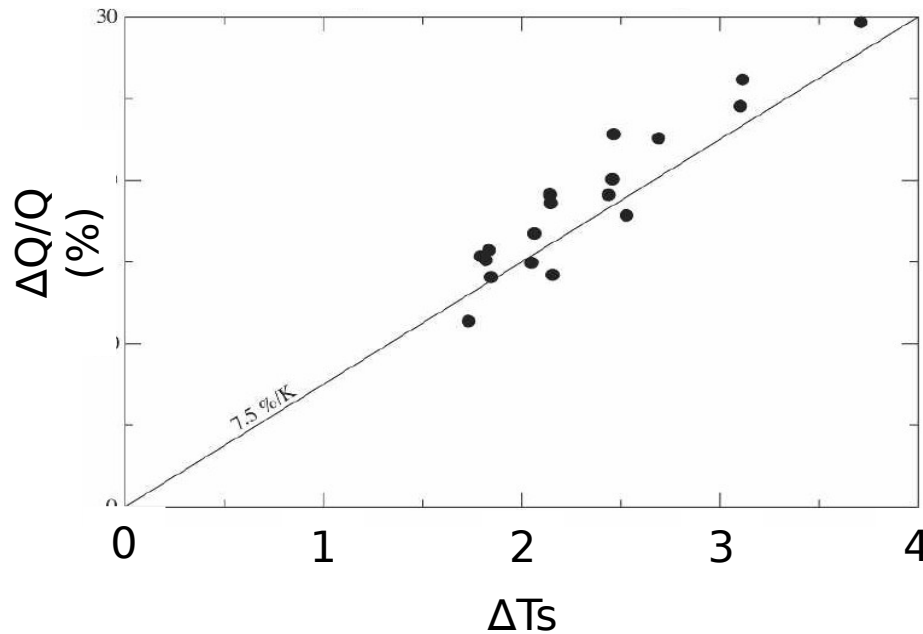
- >> **Scénario Haut** : les émissions, les concentrations et les températures augmentent
- >> **Scénario Médian** : pour stabiliser les concentrations à 550 ppm, il faut décroître fortement les émissions. Mais les températures continuent à augmenter
- >> **Scénario Bas** : pour limiter le réchauffement à 2°, il faut limiter la concentration à moins de 450 ppm et amener les émissions à 0 avant la fin du siècle.



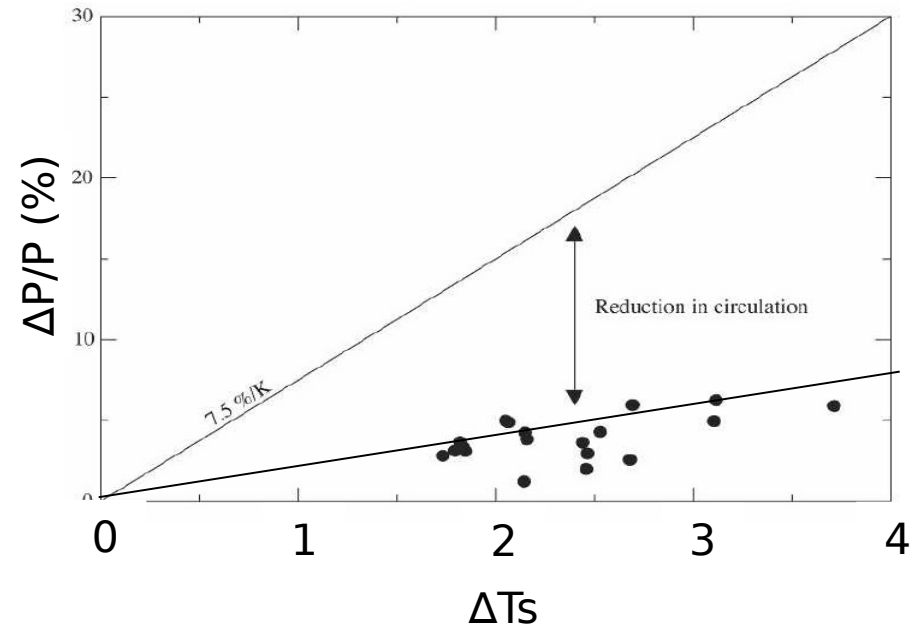
Accroissement de température versus les émissions cumulées de CO₂.



Les changements de précipitations dus à l'accroissement de température



$$\Delta Q/Q (\%) \approx 7.5 \Delta T_s$$

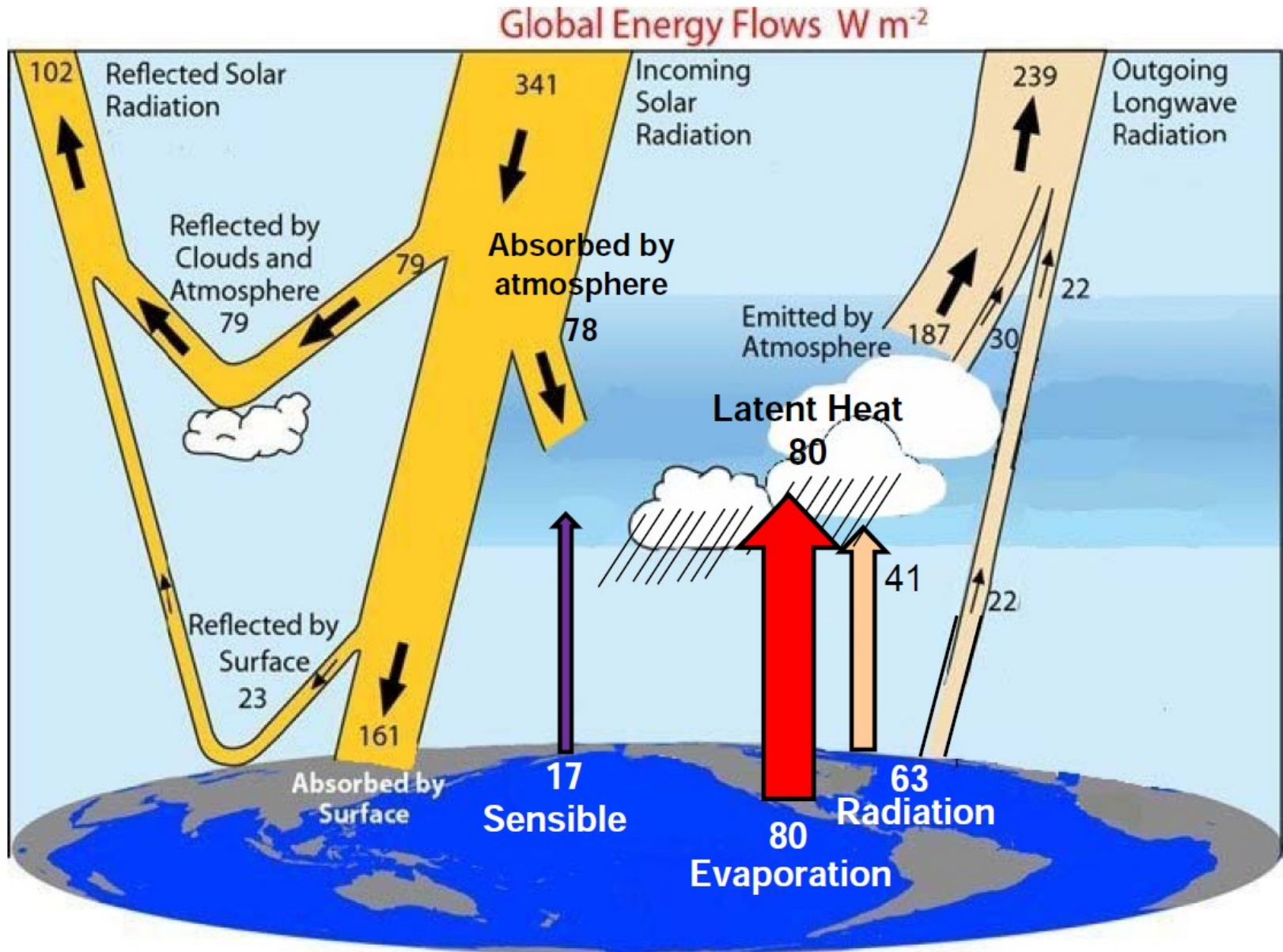


$$\Delta P/P (\%) \approx 1.5 \Delta T_s$$



Changement moyen de précipitation n'est pas directement relié au changement moyen de vapeur d'eau

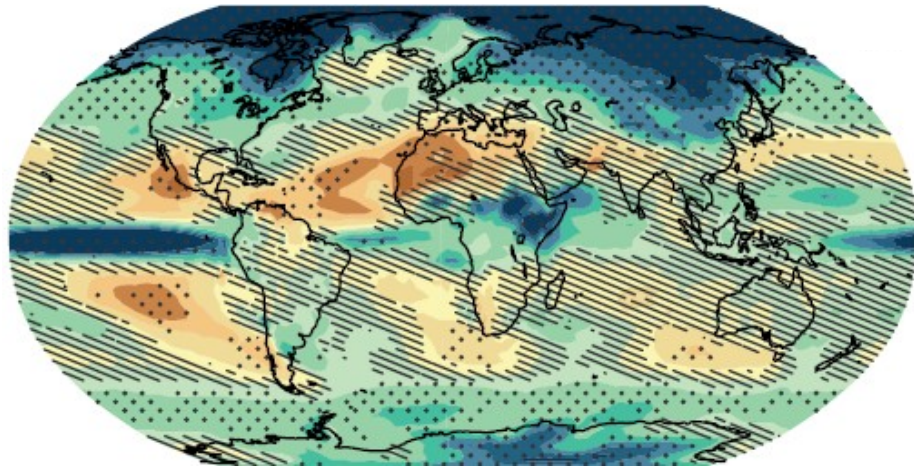
Bilan d'énergie de l'atmosphère terrestre



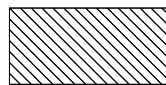
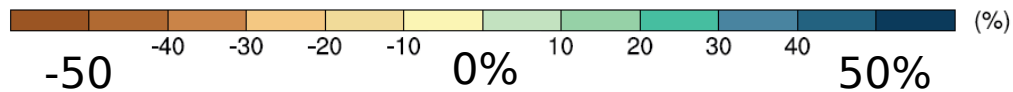
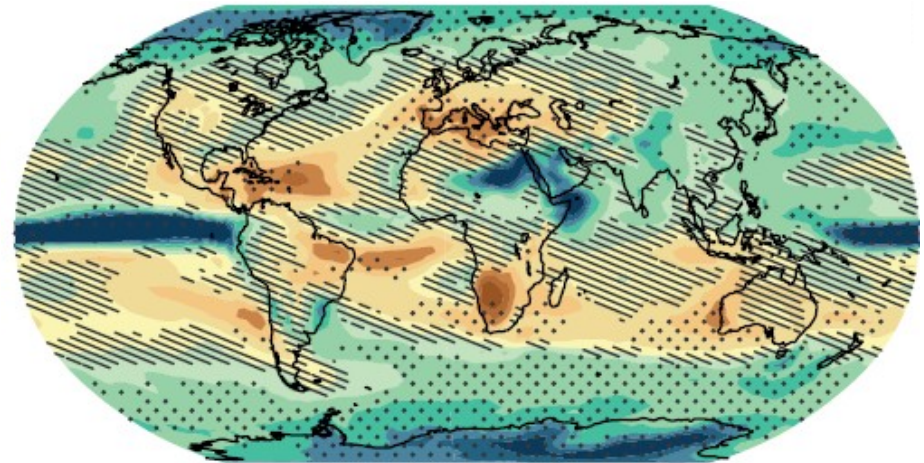
[adapté d'après Trenberth & Fasullo, 2012]

Distribution géographique et saisonnière du *changement relatif des précipitations* entre 2000 et 2100, scénario RCP8.5

Décembre à février



Juin à septembre



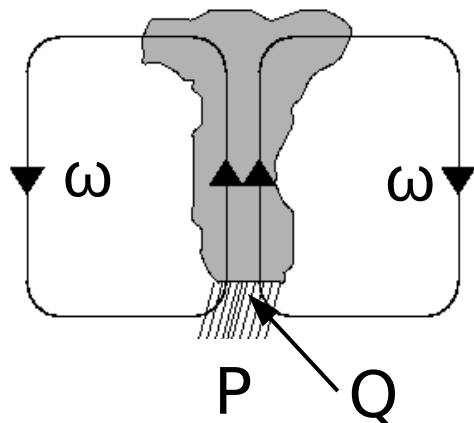
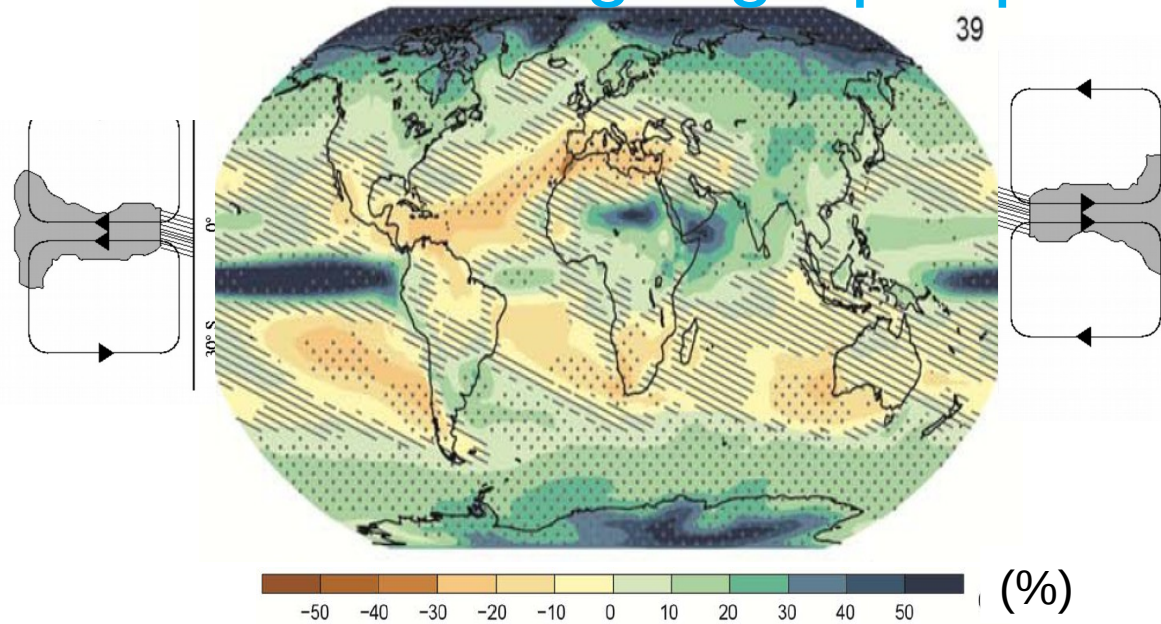
Signal/bruit faible



Signal/bruit élevé et modèles en accord

39 modèles CMIP5

Changements des précipitations: distribution géographique



Variation des précipitations

$$\Delta P \approx \omega \Delta Q + Q \Delta \omega$$

Variation

thermodynamique

Variation

dynamique

Évènements extrêmes: tendances passées et futures

Phénomène	Probabilité depuis 1950	Contribution humaine	Probabilité au début / fin du XXI ^e siècle
Périodes/vagues de chaleur plus fréquentes et/ou plus longues sur la plupart des terres émergées	Probable dans de grandes parties d'Europe, d'Asie et d'Australie	Probable	Non évalué / Très probable
Augmentation de la fréquence, intensité et/ou du nombre des épisodes de précipitations abondantes	Probablement plus d'augmentations que de diminutions sur les terres émergées	Degré de confiance moyen	Probable sur de nombreuses régions / Très probable sur certaines régions
Augmentation de l'intensité et/ou de la durée des sécheresses	Faible confiance à l'échelle mondiale, probable dans certaines régions	Faible confiance	Faible confiance / Probable à l'échelle régionale ou mondiale
Augmentation de l'activité cyclonique tropicale de forte intensité	Faible confiance à l'échelle séculaire, pratiquement certain pour Atlantique Nord	Faible confiance	Faible confiance / Plus probable qu'improbable dans certains bassins

Plan

- I. Modélisation du climat
- II. Les premières projections des climats futurs
- III. Variations récentes du climat
- IV. Projections futures
- V. Paléoclimats et variabilité naturelle
- VI. Les scientifiques, le GIEC et les COP

La découverte des variations passées

Hypothèse des périodes glaciaires (1840-1860)



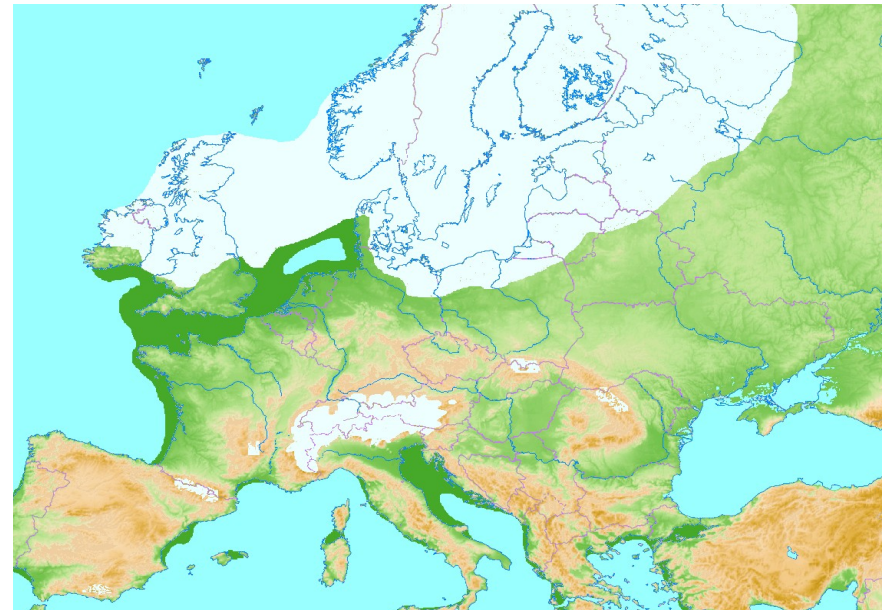
Jean de
Charpentier



Blocs erratiques



Louis Agassiz



La découverte des périodes glaciaires

Une période documentée par des peintures



Cosquer

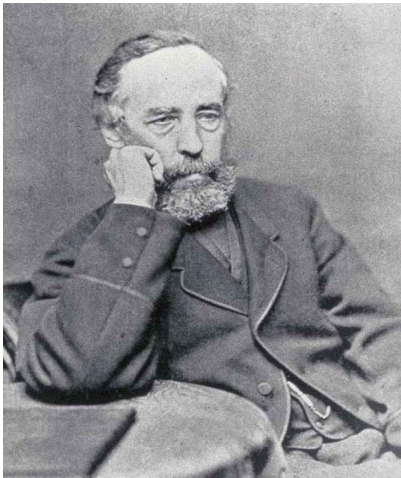


Lascaux



Chauvet

Origine de ces variations : soleil ou CO₂ (1860-1900) ?

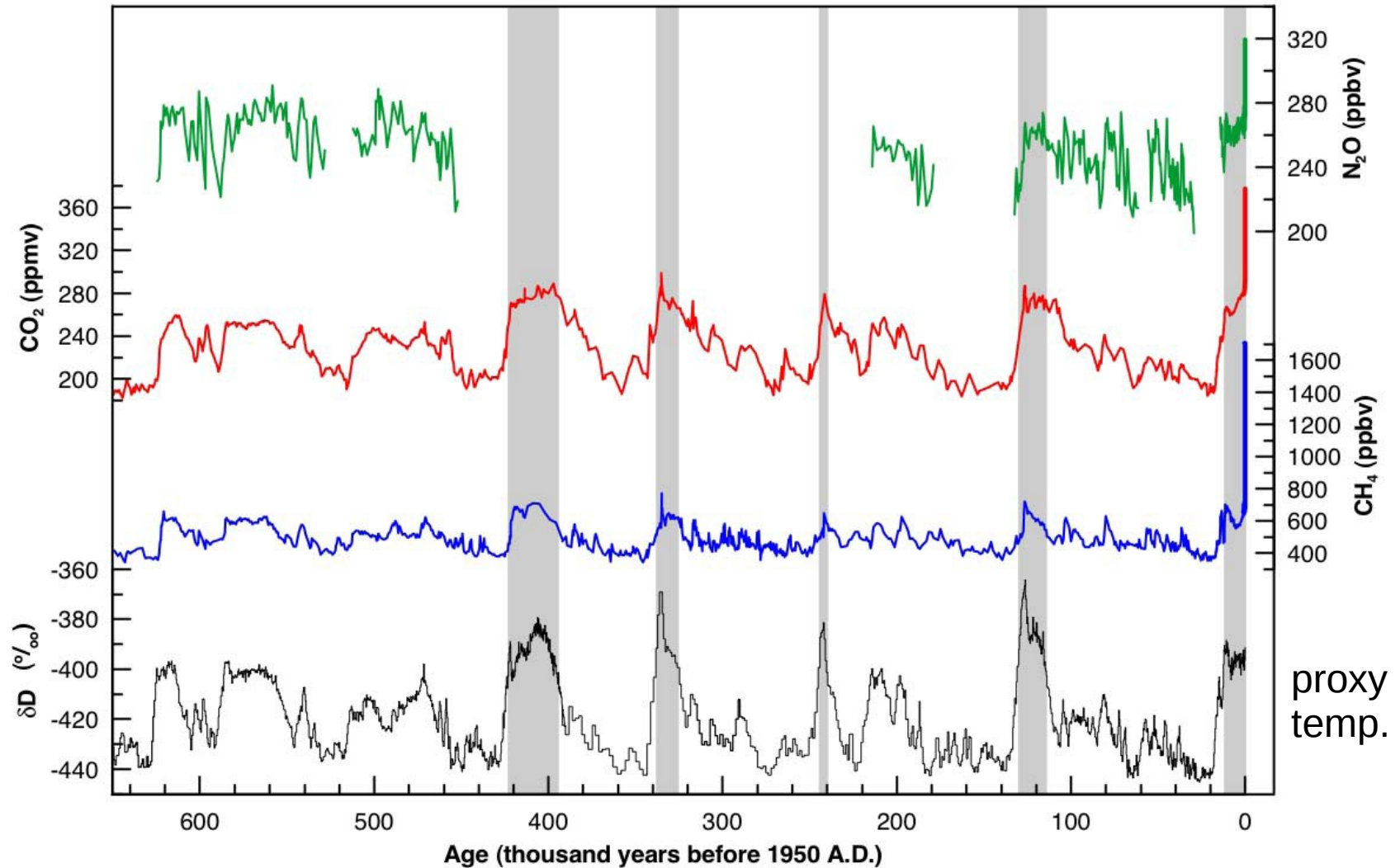


James
Croll



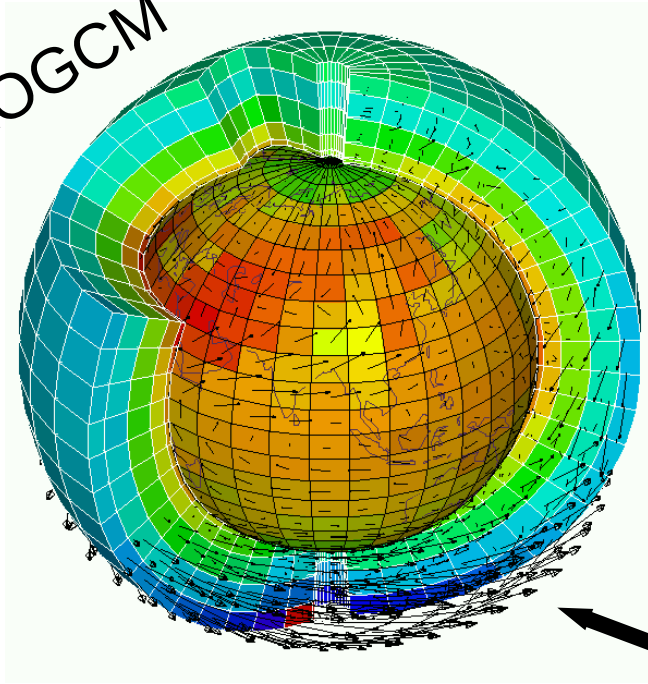
Svante Arrhenius

Reconstructions à partir de carottages glaciaires et observations récentes

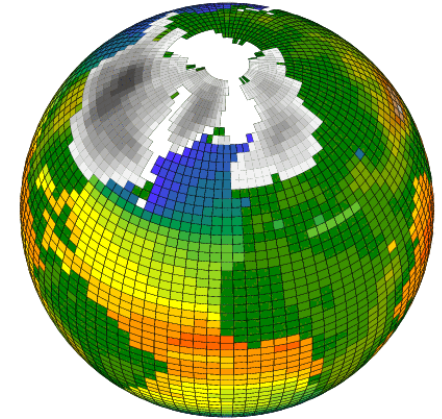


Simulation du climat du Dernier Maximum Glaciaire

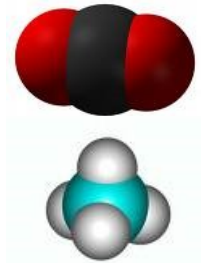
AOGCM



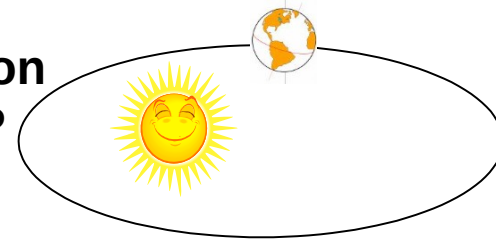
Calottes
glaciaires



Composition
atmosphérique
CO₂: 185 ppm
CH₄: 350 ppb...



Insolation
21ky BP



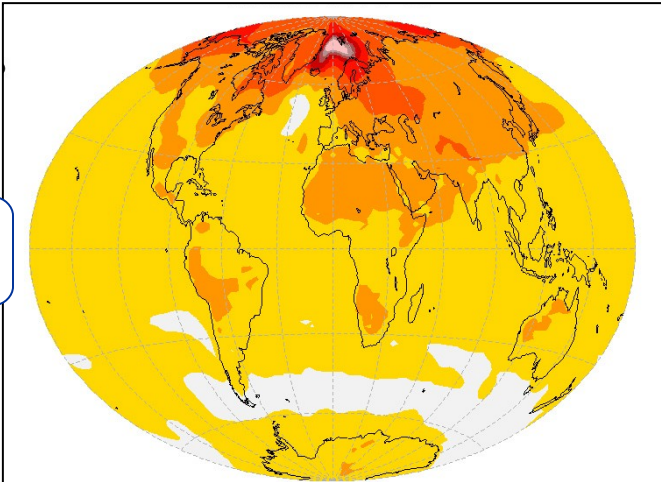
Forçage en gaz à effet de serre ~ climat futur
Autre forçage majeur: calottes glaciaire

Changement de température de surface

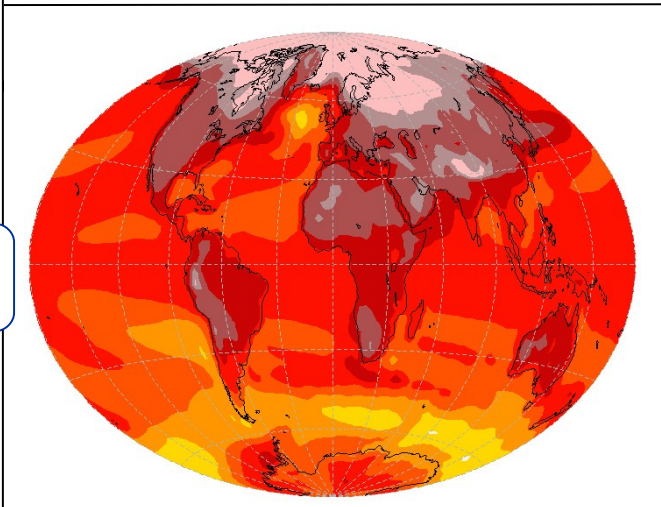
Différence entre **2100** et **1990**

IPSL-CM5A-LR

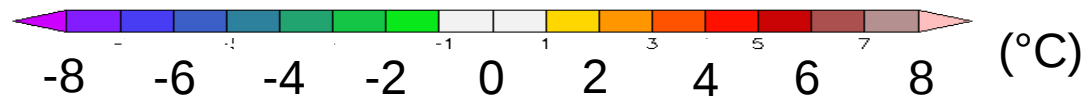
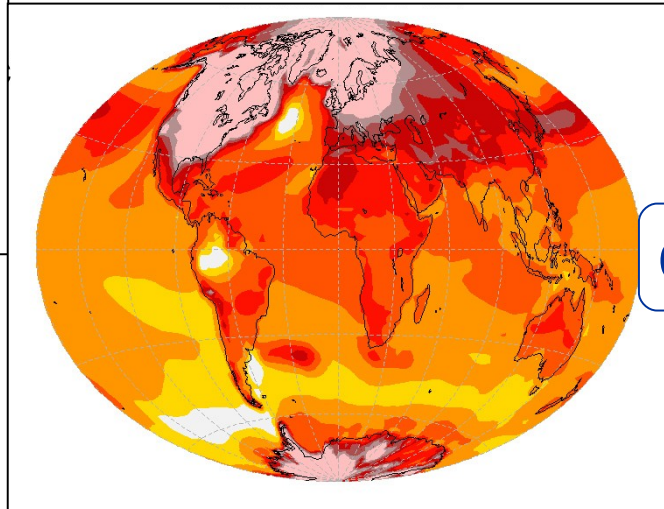
RCP2.6



RCP8.5



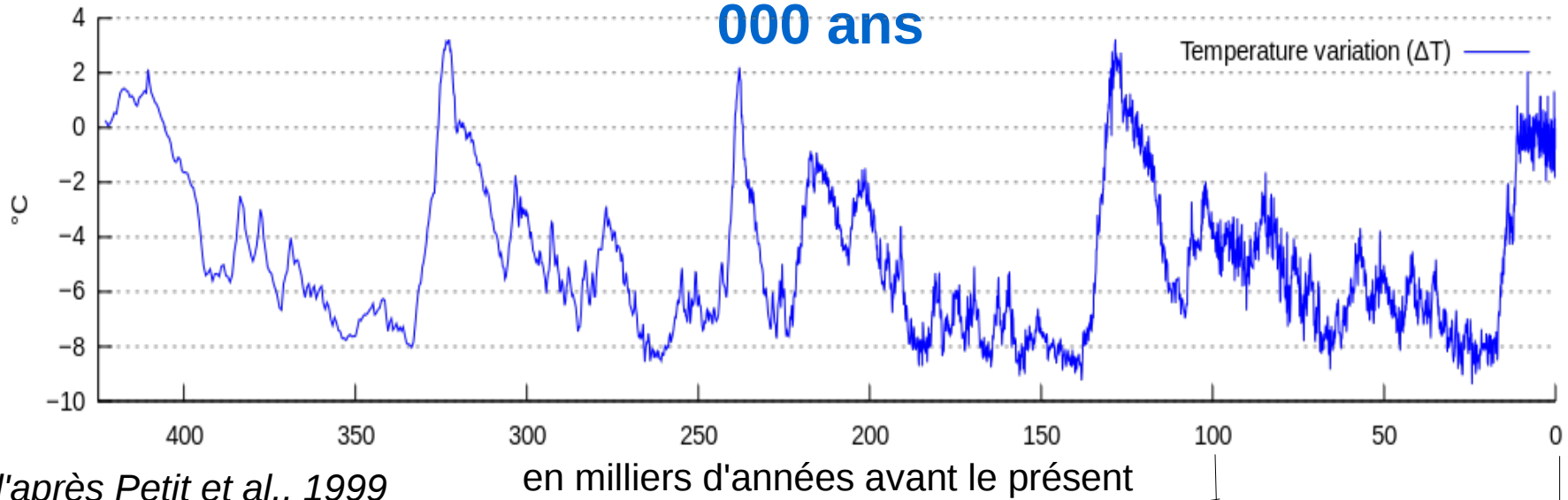
Glaciaire



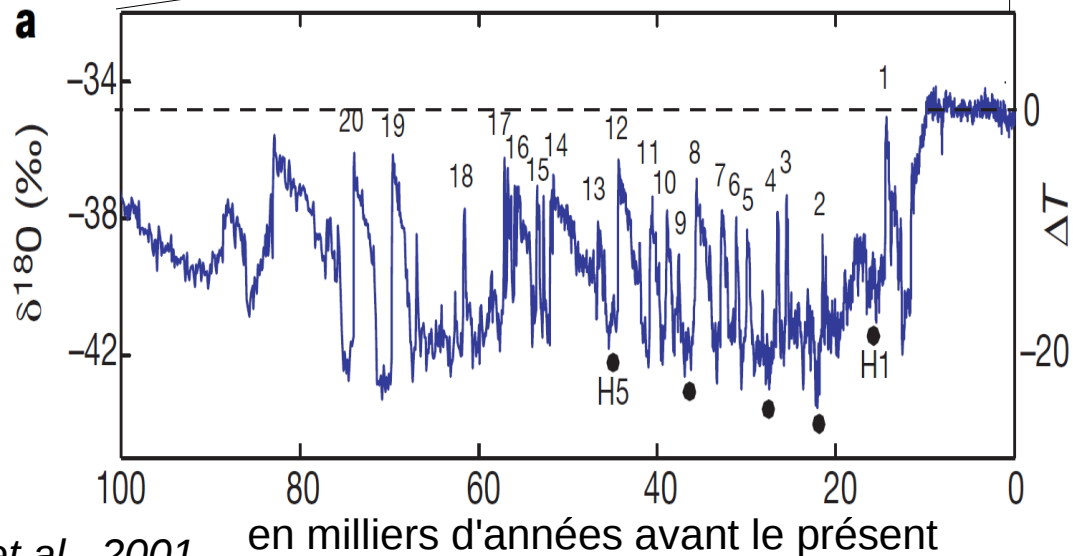
Périodes glaciaires

Forages de glace en **Antarctique** : des « cycles » à 120

000 ans

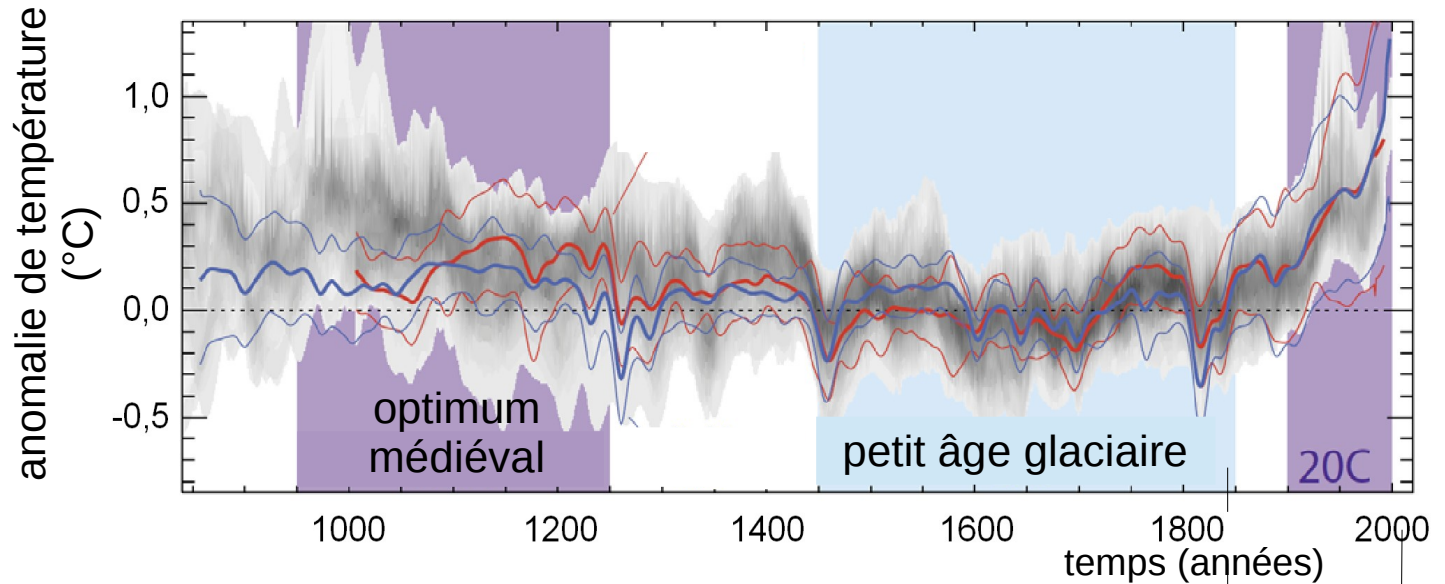


Forages de glace au **Groenland** : des variations très rapides en périodes glaciaires



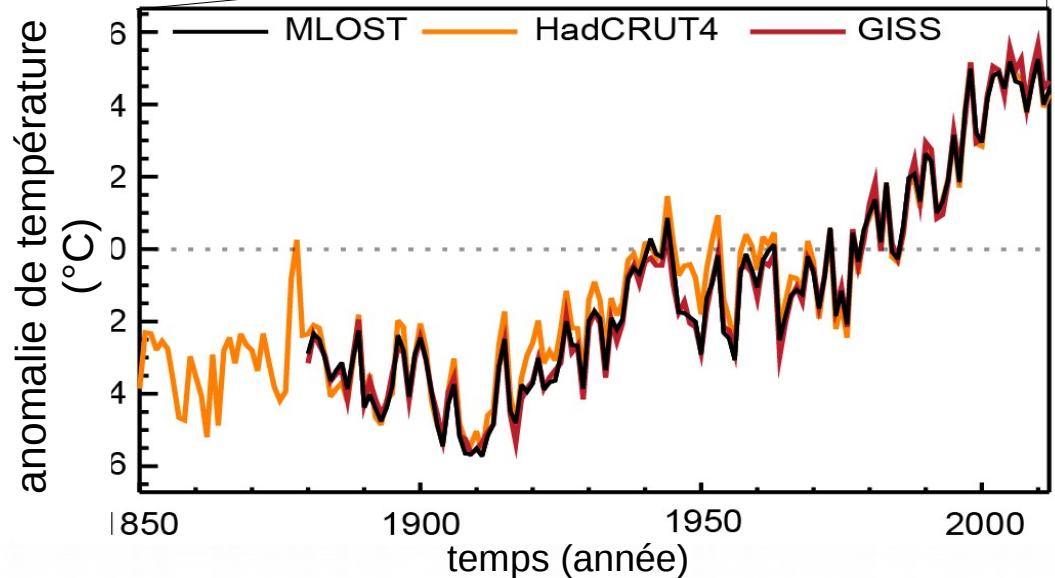
Dernier millénaire

température
moyenne de
l'hémisphère
nord
estimée à partir
d'indicateurs

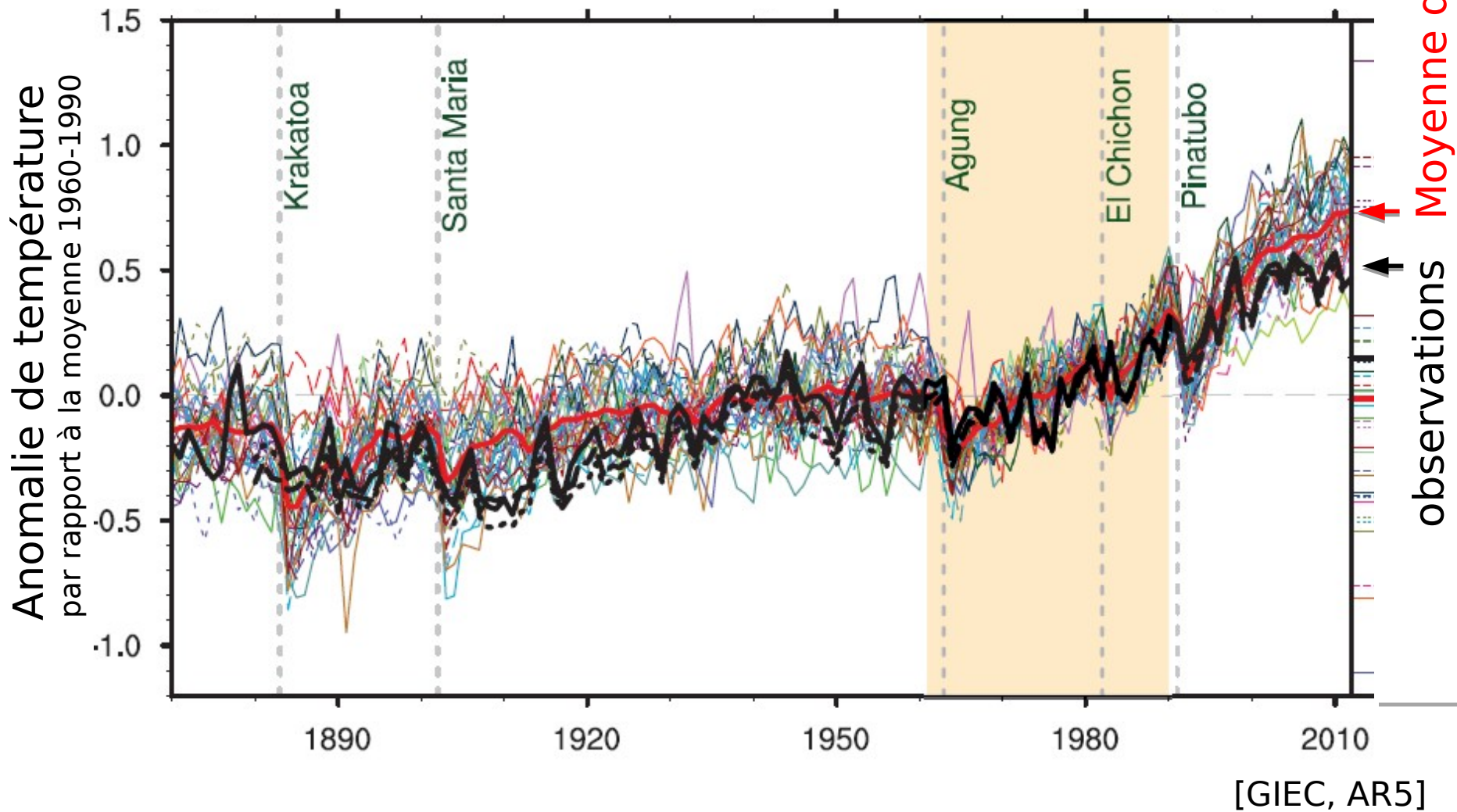


Dernier centenaire

température
moyenne
globale estimée
à partir de
mesures
directes

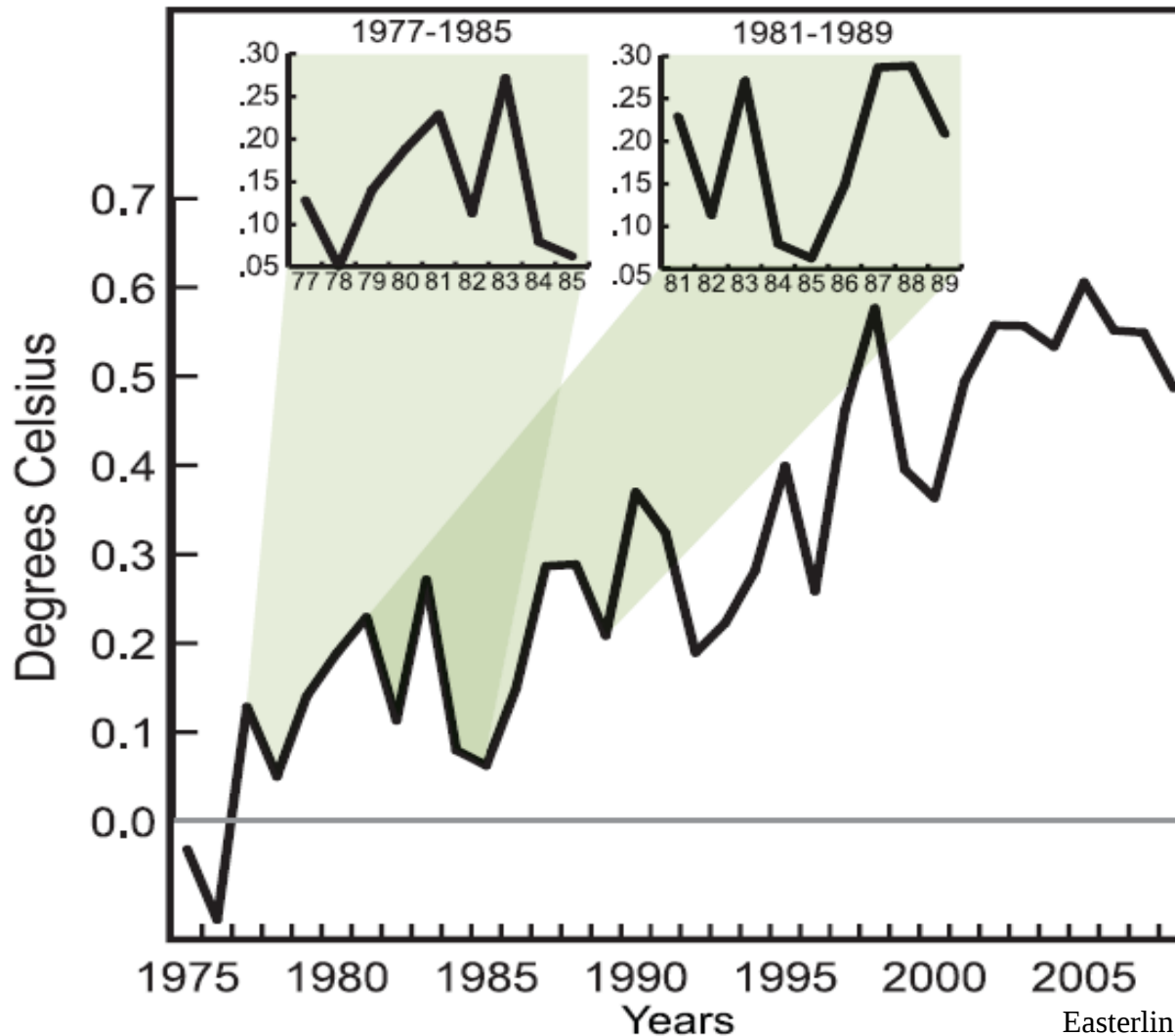


Simulation de l'évolution récente du climat



Les variations du climat sont elle régulières? Variations et variabilité du climat

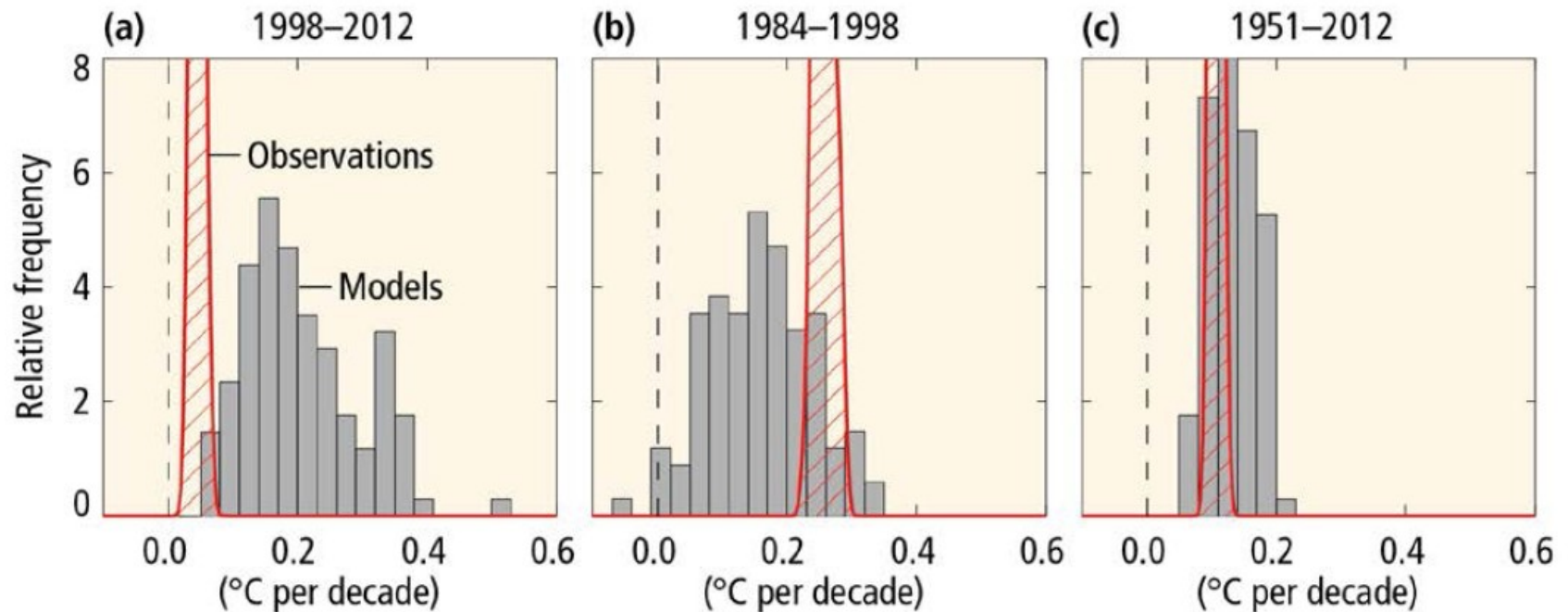
Observée



Les variations du climat sont-elles régulières?

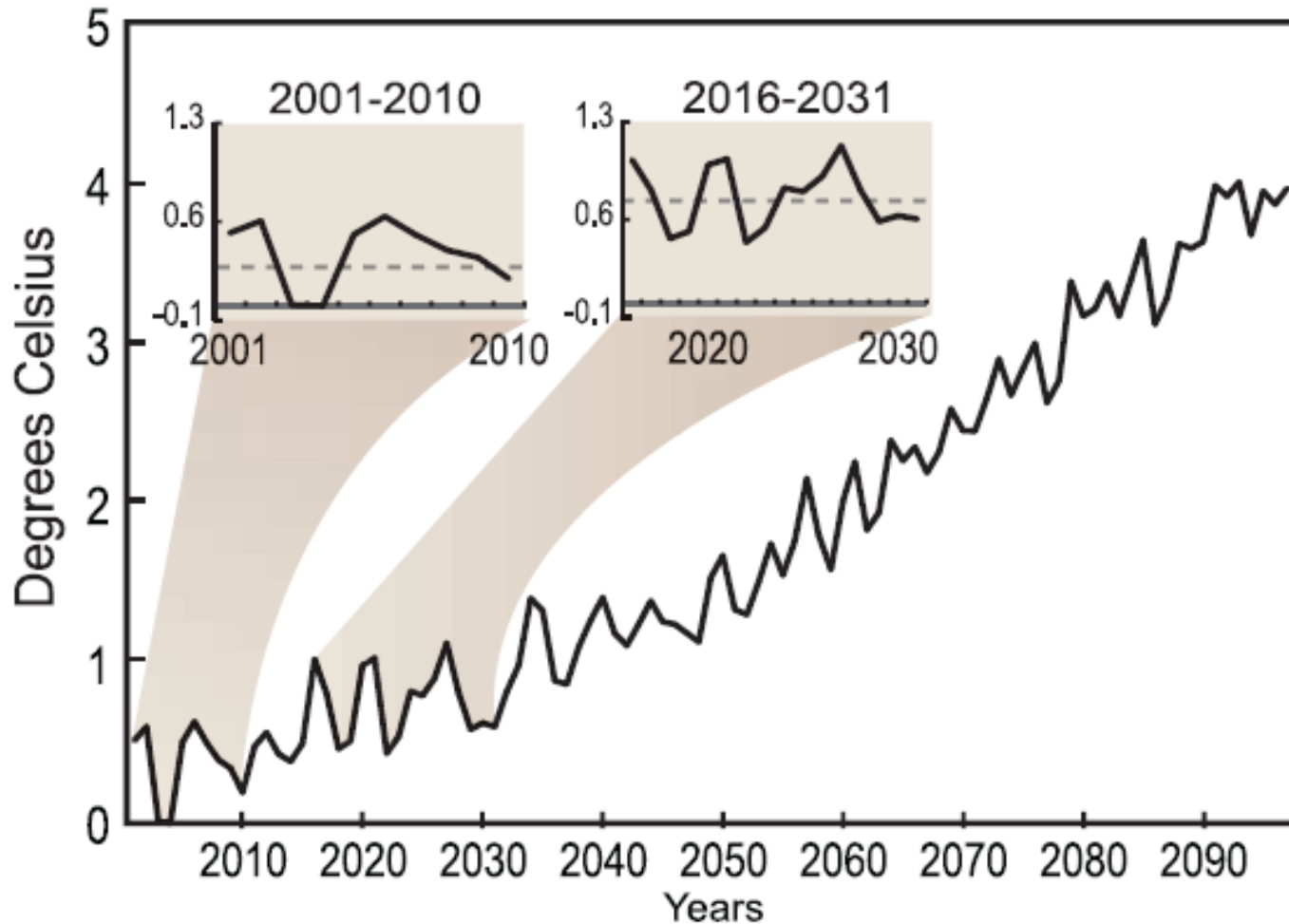
Variations et variabilité du climat

Tendances observées et simulées



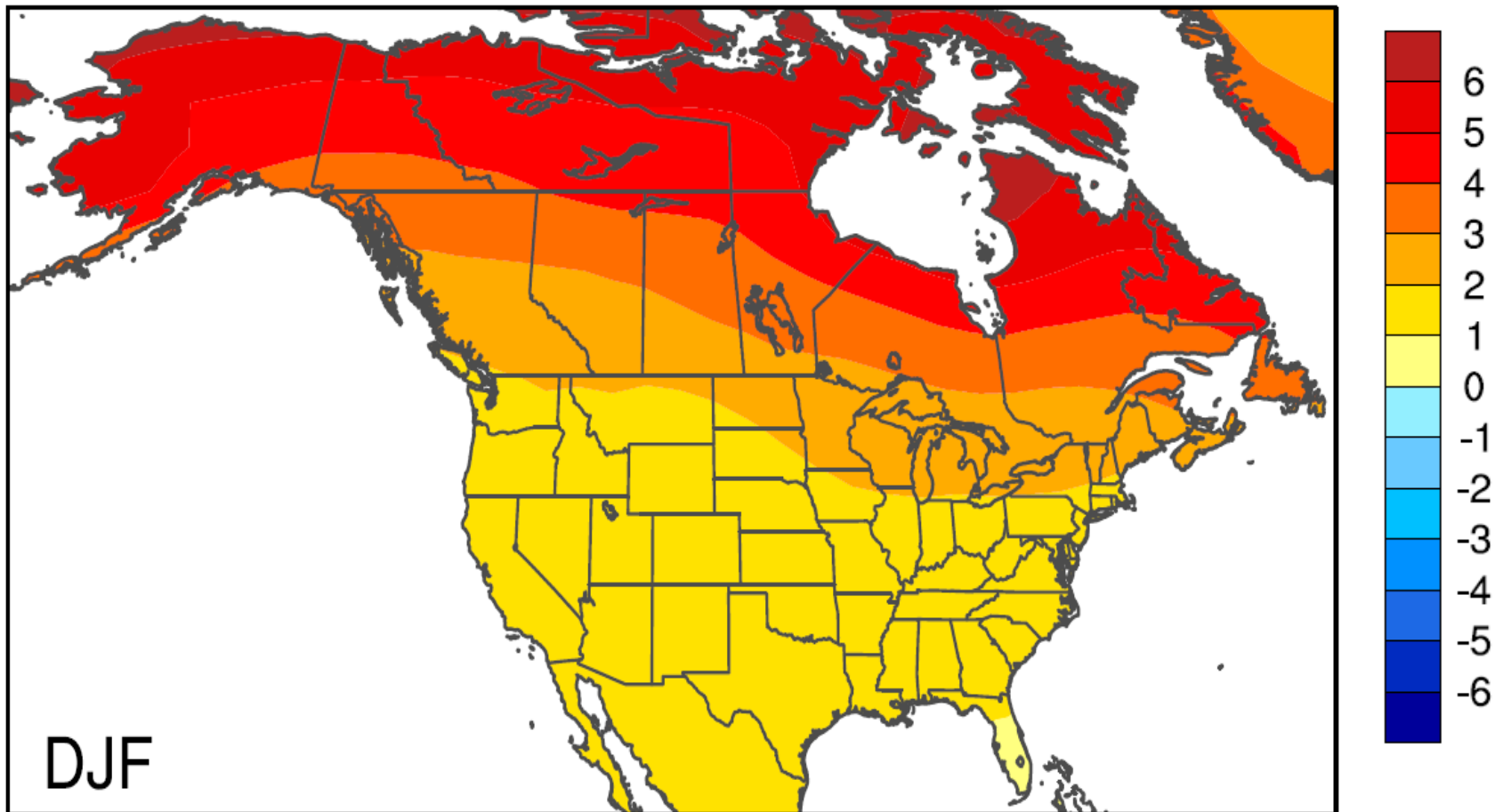
Les variations du climat sont elle régulières? Variations et variabilité du climat

Simulations



Changement climatique et variabilité interne

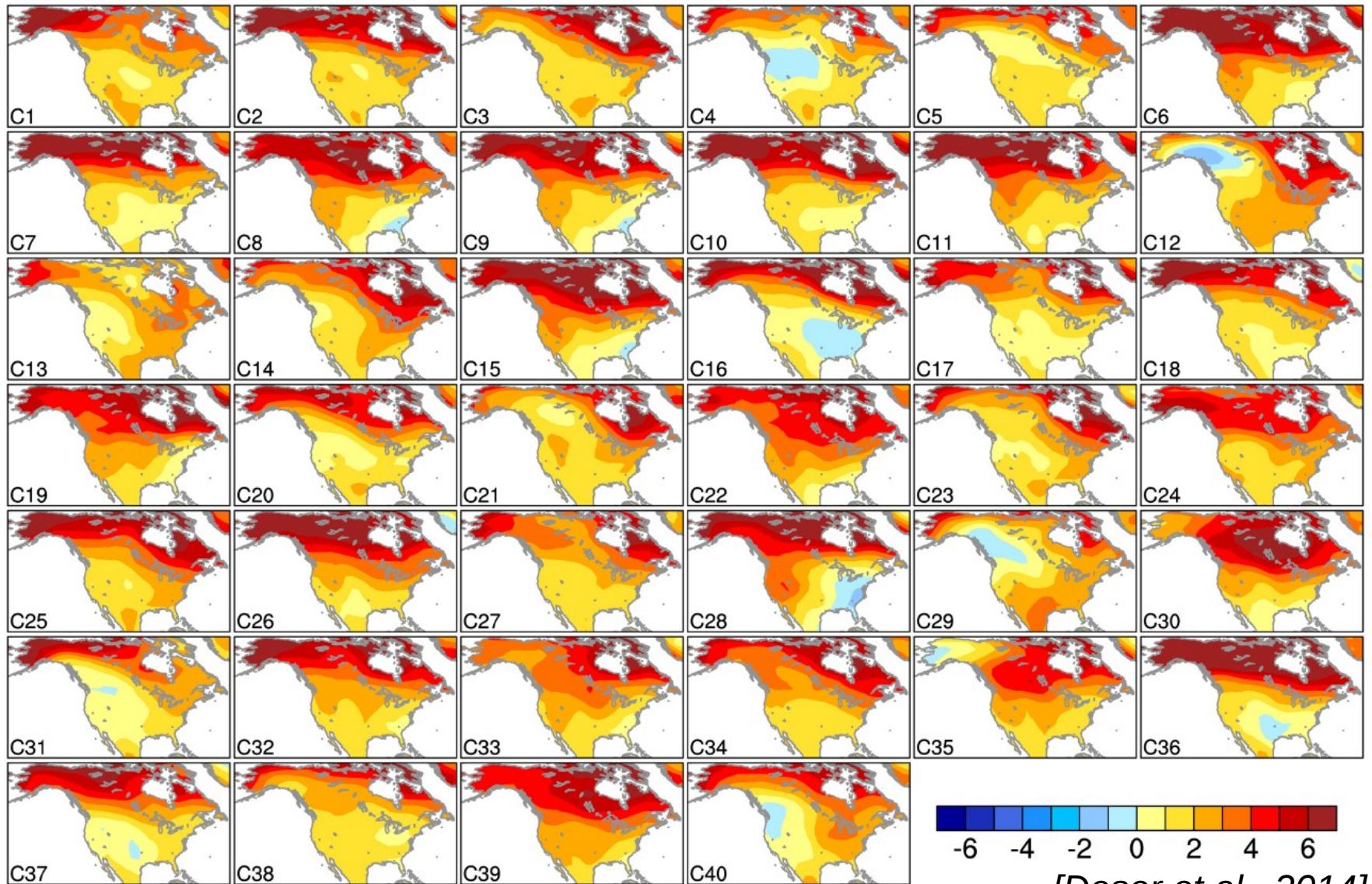
Tendance sur 50 ans de la température hivernale ($^{\circ}\text{C}/50$ ans)
pour un scénario « intermédiaire - haut »



[Deser et al., 2014]

Changement climatique et variabilité naturelle

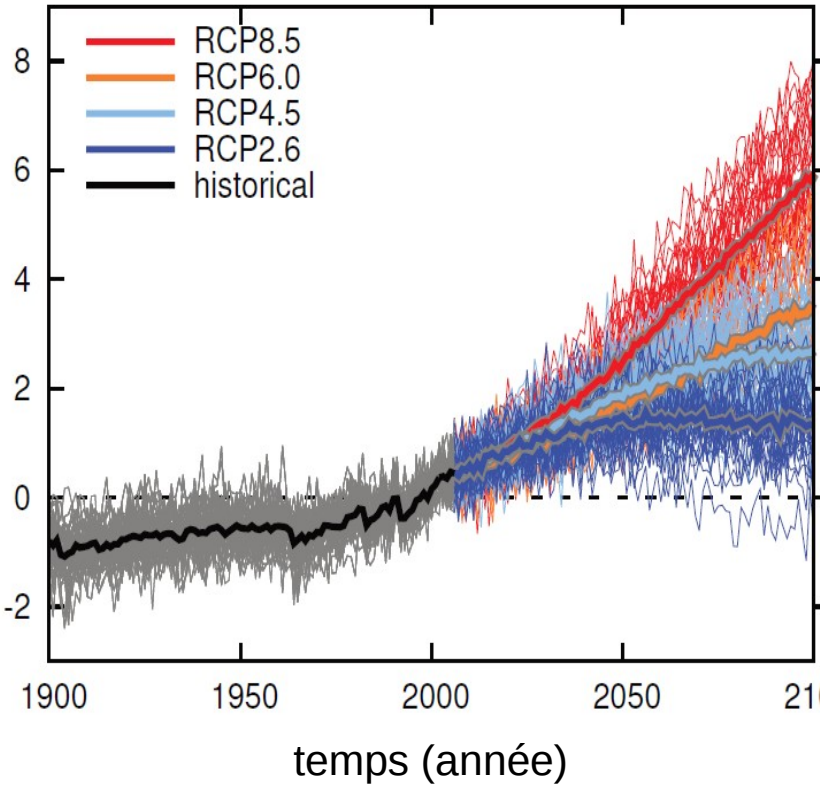
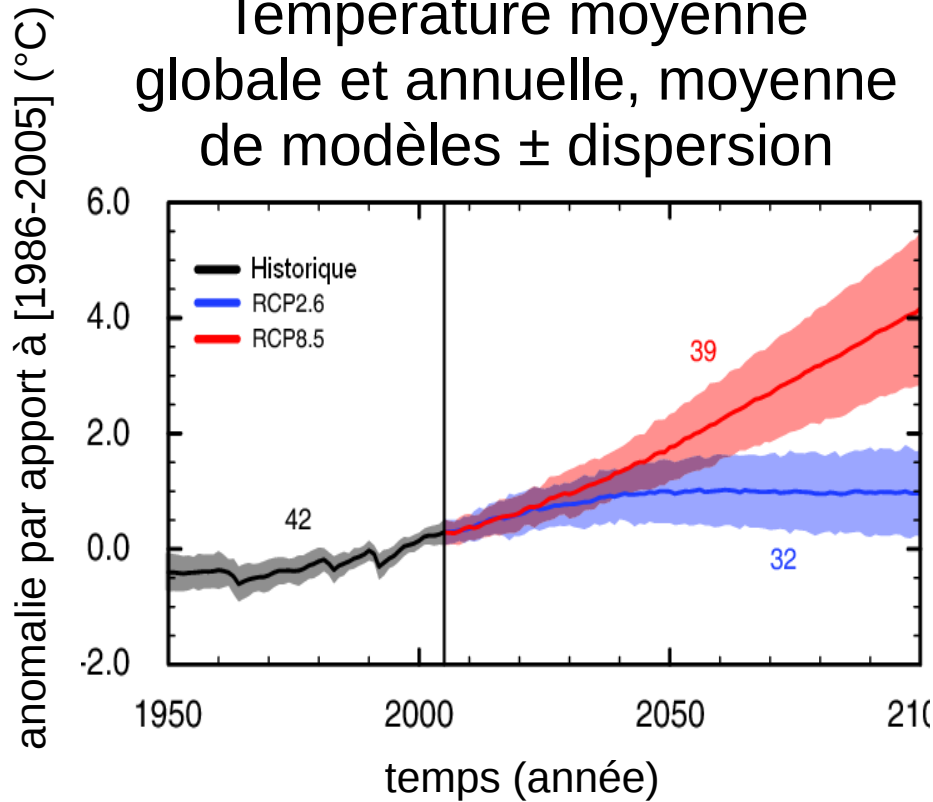
Tendance sur 50 ans de la température hivernale ($^{\circ}\text{C}/50$ ans)



Changement climatique et variabilité interne

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

Température moyenne globale et annuelle, moyenne de modèles \pm dispersion



Plan

- I. Modélisation du climat
- II. Les premières projections des climats futurs
- III. Variations récentes du climat
- IV. Projections futures
- V. Paléoclimats et variabilité naturelle
- VI. Les scientifiques, le GIEC et les COP

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

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



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** ni organise la **recherche**



Qu'est-ce que le GIEC ?

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais IPCC)

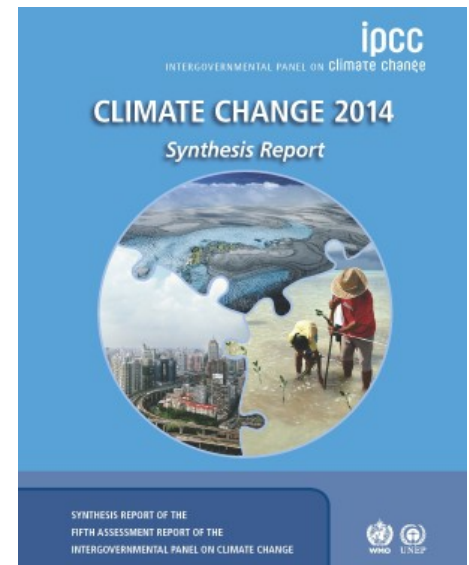
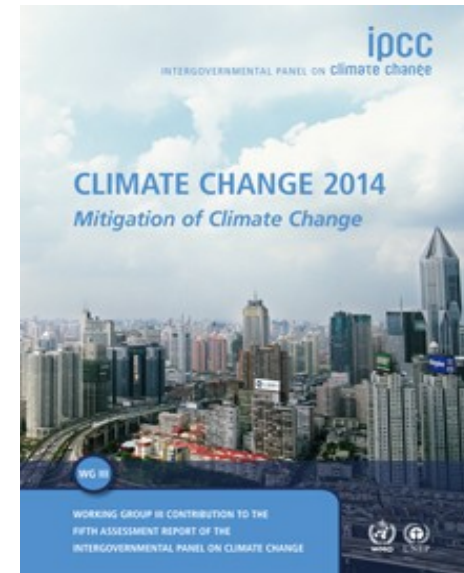
Trois groupes de travail:

I- Les bases physiques des changements climatiques et de l'évolution du climat

II- Impacts, adaptations et vulnérabilités aux changements climatiques. Vulnérabilité des systèmes socioéconomiques et naturels aux changements climatiques, les conséquences de ces changements et les possibilités de s'y adapter.

III- Atténuation des changements climatique. Solutions envisageables pour limiter les émissions de gaz à effet de serre ou atténuer de toute autre manière les changements climatiques.

2013-2014: 5^e rapport d'évaluation des 3 groupes du GIEC



Conclusions

- L'accroissement de la température globale et le rôle dominant des activités humaines sont maintenant bien établis, compris
- Les questions relatives aux changements climatiques évoluent: passage de l'alerte à la quantification, la description et l'anticipation des risques associés
- Il y a un saut d'ordre de grandeurs sur les exigences vis-à-vis des modèles climatiques. Importance de la représentation des processus et de la compréhension des phénomènes climatiques
- Plus on s'intéresse aux phénomènes régionaux, aux courtes échelles de temps (décennies) ou aux phénomènes extrêmes, plus les incertitudes et la variabilité naturelle deviennent importants

Quelques ressources

Livres:

- Le climat à découvert - CNRS Editions

Revue:

- « La Météorologie Revue de l'atmosphère et du climat »
<http://meteoetclimat.fr/presentation-et-ligne-editoriale/>
numéro spécial à paraître au printemps 2015
- Analyse et modélisation du changement climatique. 2e éditions
du *Livre blanc Escrime*:
http://www.ipsl.fr/content/download/1513/13922/file/livre_blanc_escrime.pdf

Web:

- GIEC: www.ipcc.ch
- Le climat en questions: <http://www.climat-en-questions.fr/>
- ONERC <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Presentation-et-missions.html>

DVD:

- C'est pas sorcier: Effet de serre: coup de chaud sur la planète

An aerial photograph of a vast, snow-covered mountain range under a clear blue sky. The snow is bright white, contrasting sharply with the deep blue of the sky. In the lower-left quadrant, a faint rainbow is visible, adding a touch of color to the scene. The text 'Merci de votre attention' is centered over the image in a white, sans-serif font.

Merci de votre attention