

Changement climatique

Comment nous avons modifié le climat
et les avenir qui s'offrent à nous

Eric Guilyardi
CNRS

Institut Pierre Simon Laplace

Orléans, Avril 2018



The University of Reading



**SORBONNE
UNIVERSITÉ**
CRÉATEURS DE FUTURS
DEPUIS 1257



Institut
*Pierre
Simon
Laplace*



Mon bureau



Mon autre bureau



Pourquoi venir ici ?

- Les sciences du climat sont passionnantes !
- Changement climatique : êtes-vous concernés ?
Est-ce grave ? Est-ce urgent ? Que peut-on faire ?
- Que transmettre en classe ? Comment aborder la question ?

A l'affiche

Le climat, qu'est-ce que c'est ?

Les variations du climat

~

L'impact de l'Homme

L'avenir que nous choisirons

Impacts du changement climatique

Que faire ?

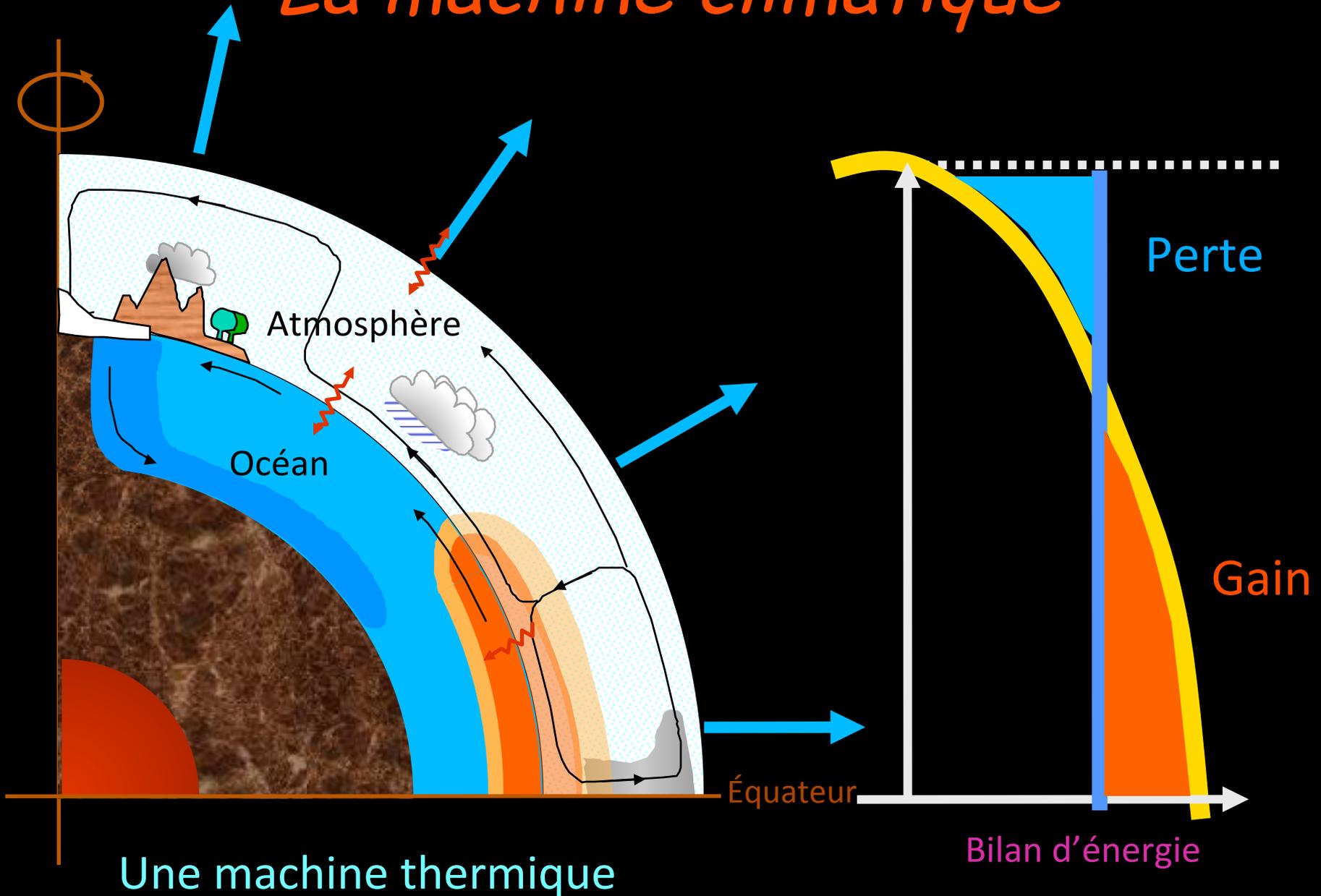


Comment définir le climat ?

C'est la moyenne du «temps» météorologique pendant une saison, des années, décennies, siècles, millénaires...

- Le climat vous dit quels vêtements acheter, la météo vous dit quels vêtements porter

La machine climatique



L'océan, mémoire du climat

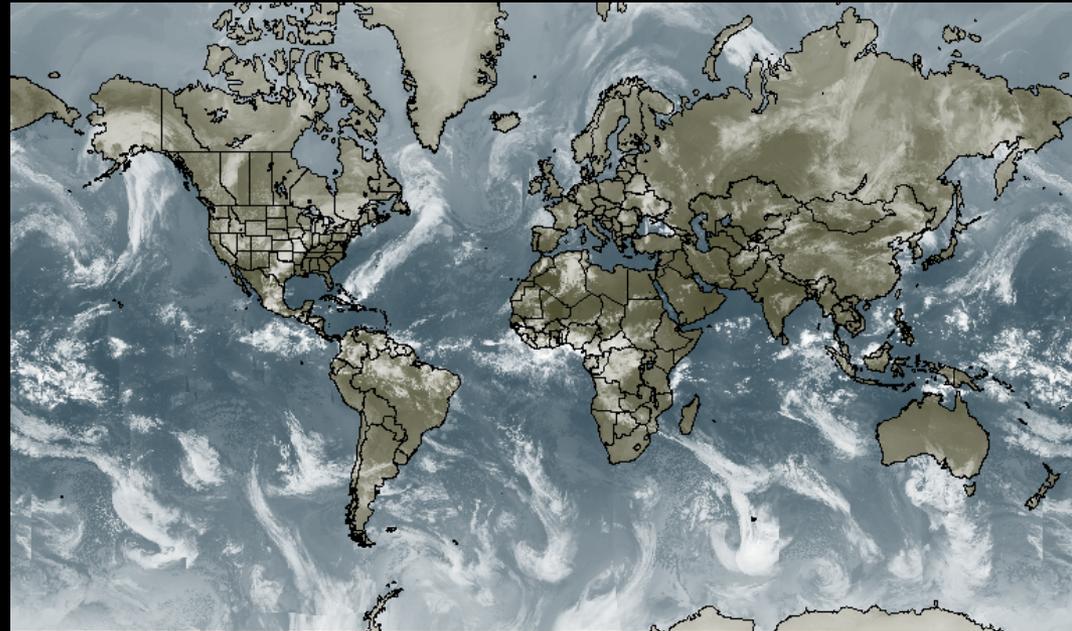
Atmosphère

- Rapide (jour - 3 semaines)
- Peu de mémoire
- Chauffée par le bas



Océan

- Lent (saison - 1000 ans)
- Inertie thermique
- Chauffé par le haut
- Opaque



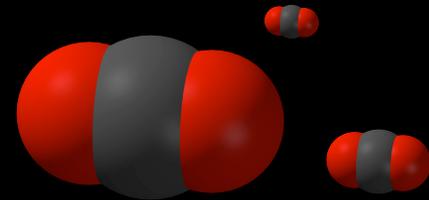
Les forçages externes



Soleil

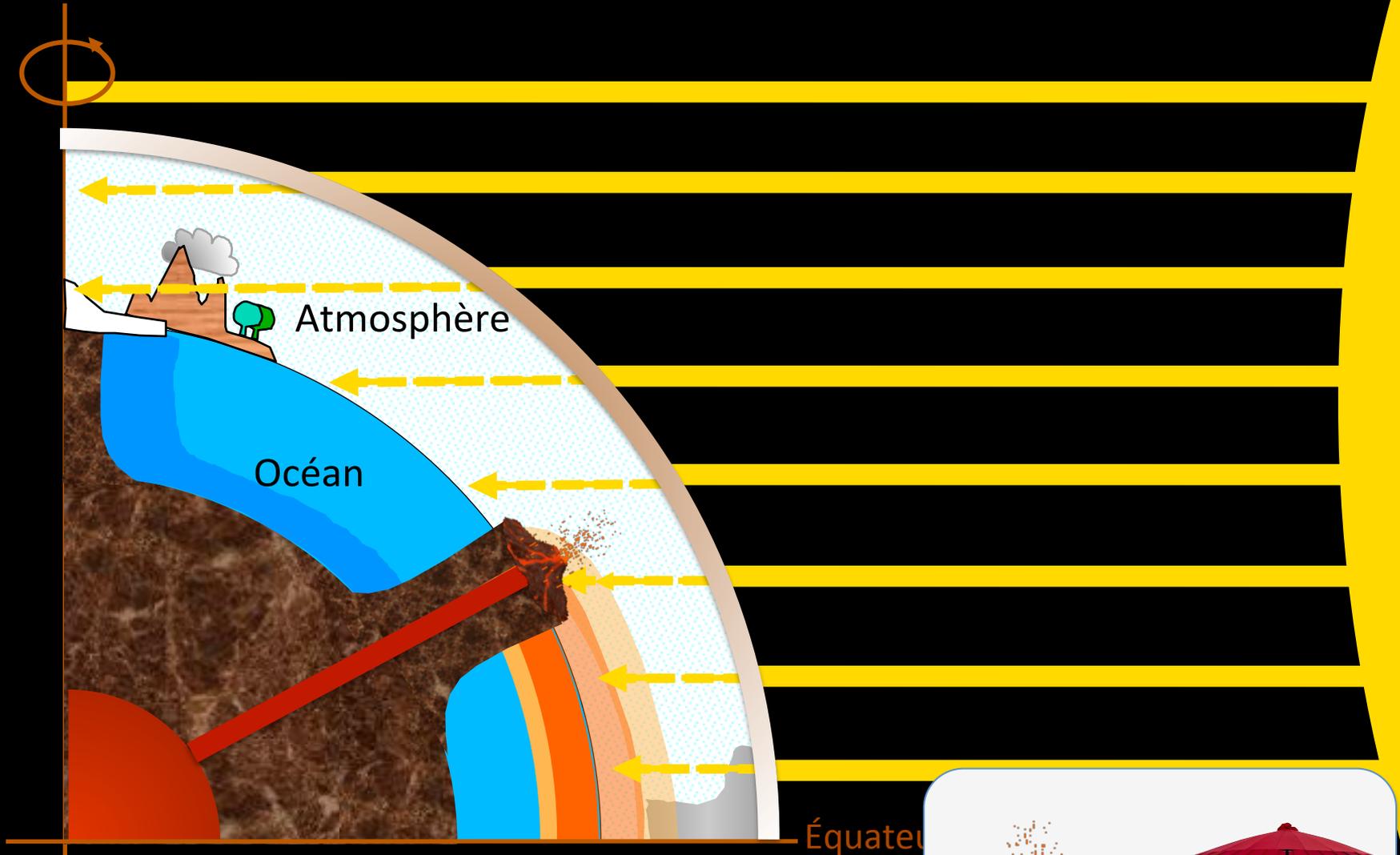


Volcans



Gaz à effet de serre

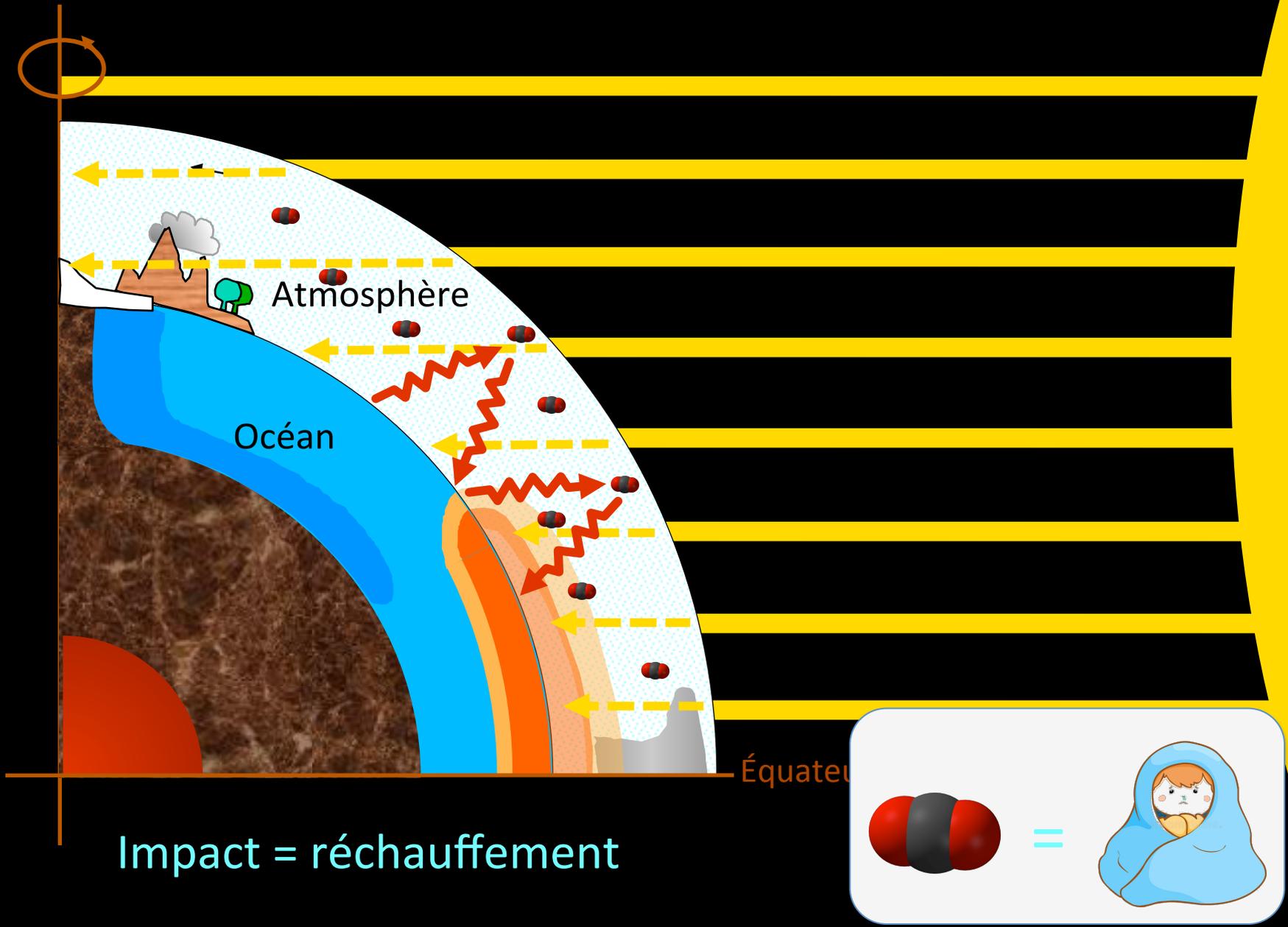
Forçage externe : éruptions volcaniques



Impact = refroidissement



Forçage externe : Gaz à effet de serre



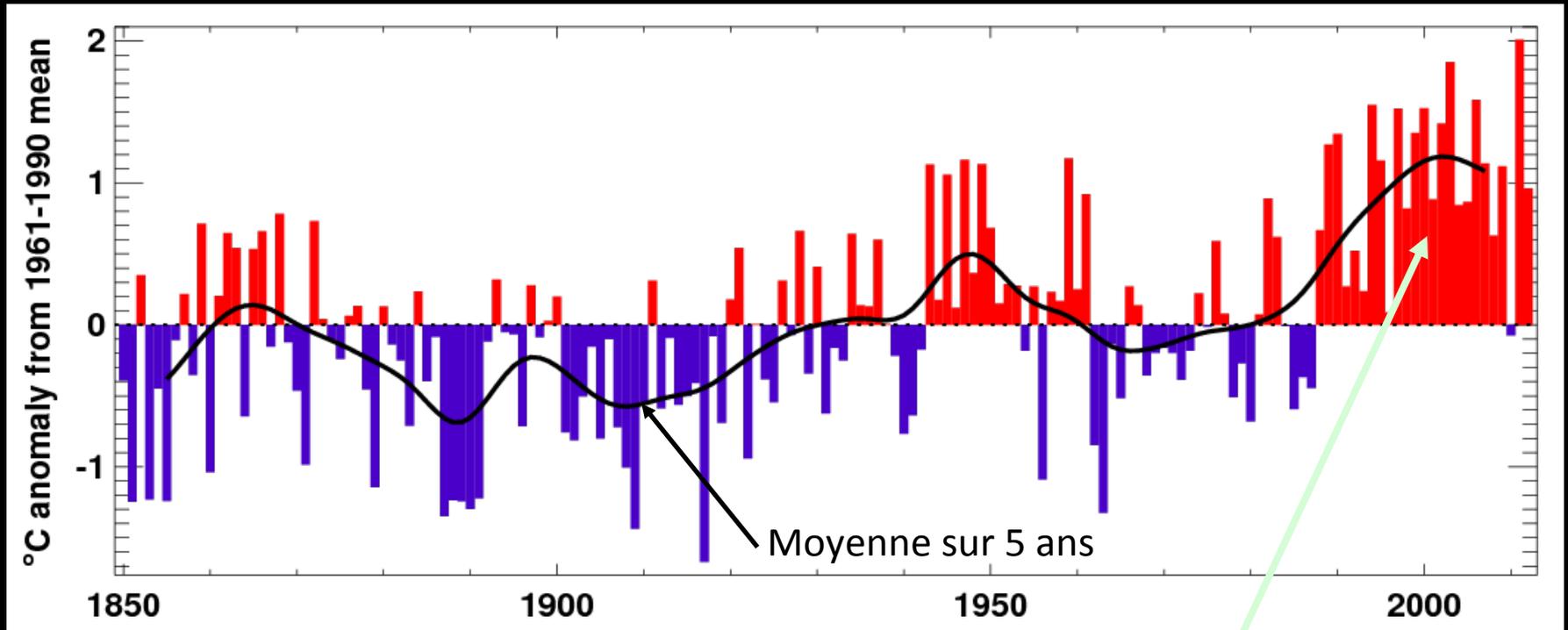
Donc les sciences du climat c'est:

- De la physique
- De la chimie
- De la biologie
- Des mathématiques
- Des méthodes numériques
- Des sciences de l'ingénieur
- De la géographie
- ...



Pourquoi le climat varie-t-il ?

Histoire des températures à Orléans



Significatif ?

Origine ?

Prévoir la météo et le climat

Il existe deux sources de prévisibilité (qui nous permettent de prévoir) pour un système physique qui varie dans le temps:

1. l'état initial du système (e.g. le moment présent)
2. les conditions aux limites du système (c'est-à-dire de son environnement externe et/ou de ses propriétés intrinsèques).

Puis-je prévoir votre activité ?

- dans 45 minutes ? oui: l'auditeur (poli) sera toujours en train

→ **prévision possible et fiable car je sais que vous êtes dans la salle au moment de la prévision**

METEO

- à 21h30 ce soir ? hum.... impossible de savoir si vous serez en train de manger, de dormir, de lire, etc. → perte de prévisibilité

- à 4h du matin ? oui, vous serez en train de dormir... très probablement: à nouveau de la prévisibilité : une prévision très fiable (1% d'insomniaque).

→ **prévision possible par la connaissance de contraintes ext**

CLIMAT

Météo et climat, ce n'est pas pareil

Il existe deux sources de prévisibilité (qui nous permettent de prévoir) pour un système physique qui varie dans le temps:

1. l'état initial du système (e.g. le moment présent)
2. les conditions aux limites du système (c'est-à-dire de son environnement externe et/ou de ses propriétés intrinsèques).



METEO

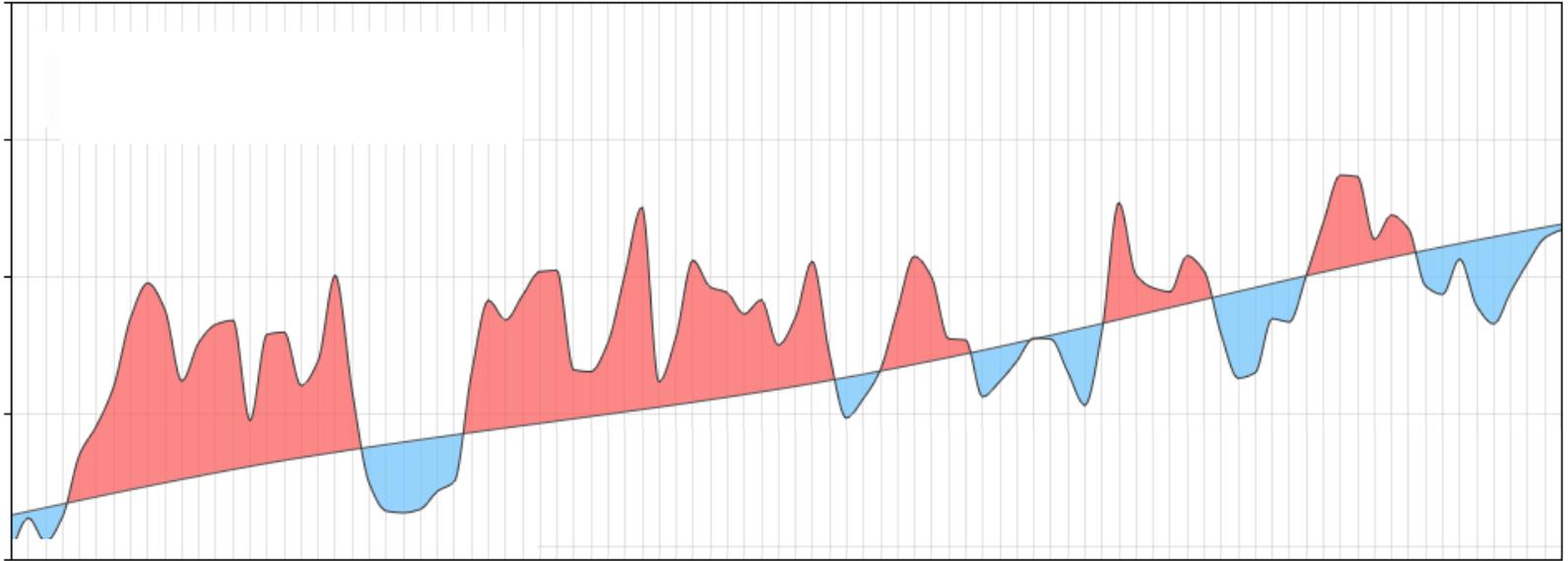
Météo : prévision de la suite d'événements « atmosphériques »
→ prévisibilité due à l'état initial atmosphérique



CLIMAT

Climat : prévision de la moyenne d'événements
« atmosphériques + océaniques + glace... »
Exemple: l'été est plus chaud que l'hiver
→ prévisibilité due aux conditions aux limites

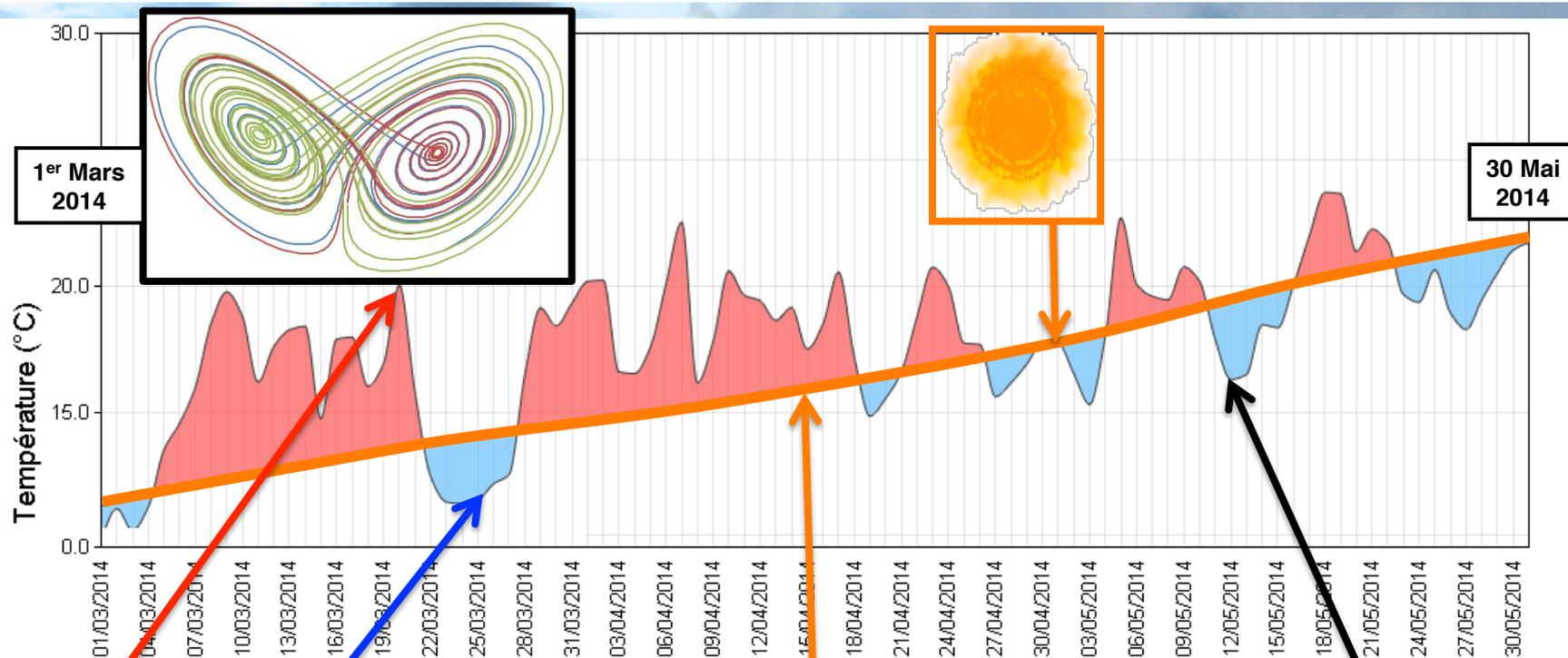
Variabilité: un concept si familier!



Quizz: quel est donc ce signal?

Variabilité: histoire d'un forçage et d'un papillon

Evolution des températures maximales quotidiennes en France du printemps 2014



Chaos météorologique:
Modulation par la
variabilité interne

+

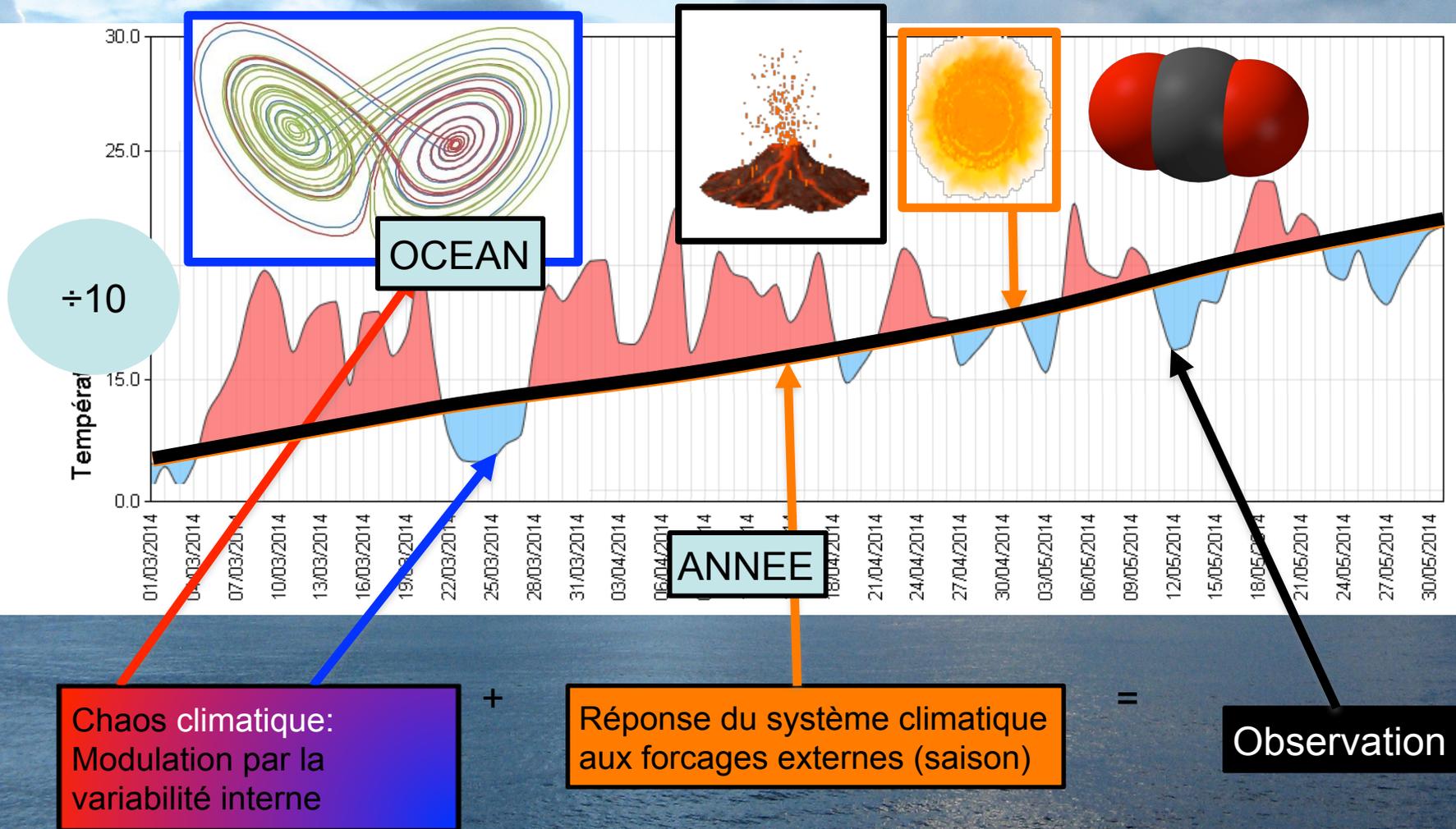
Réponse du système climatique
aux forçages externes (saison)
estimée sur une période de 30 ans

=

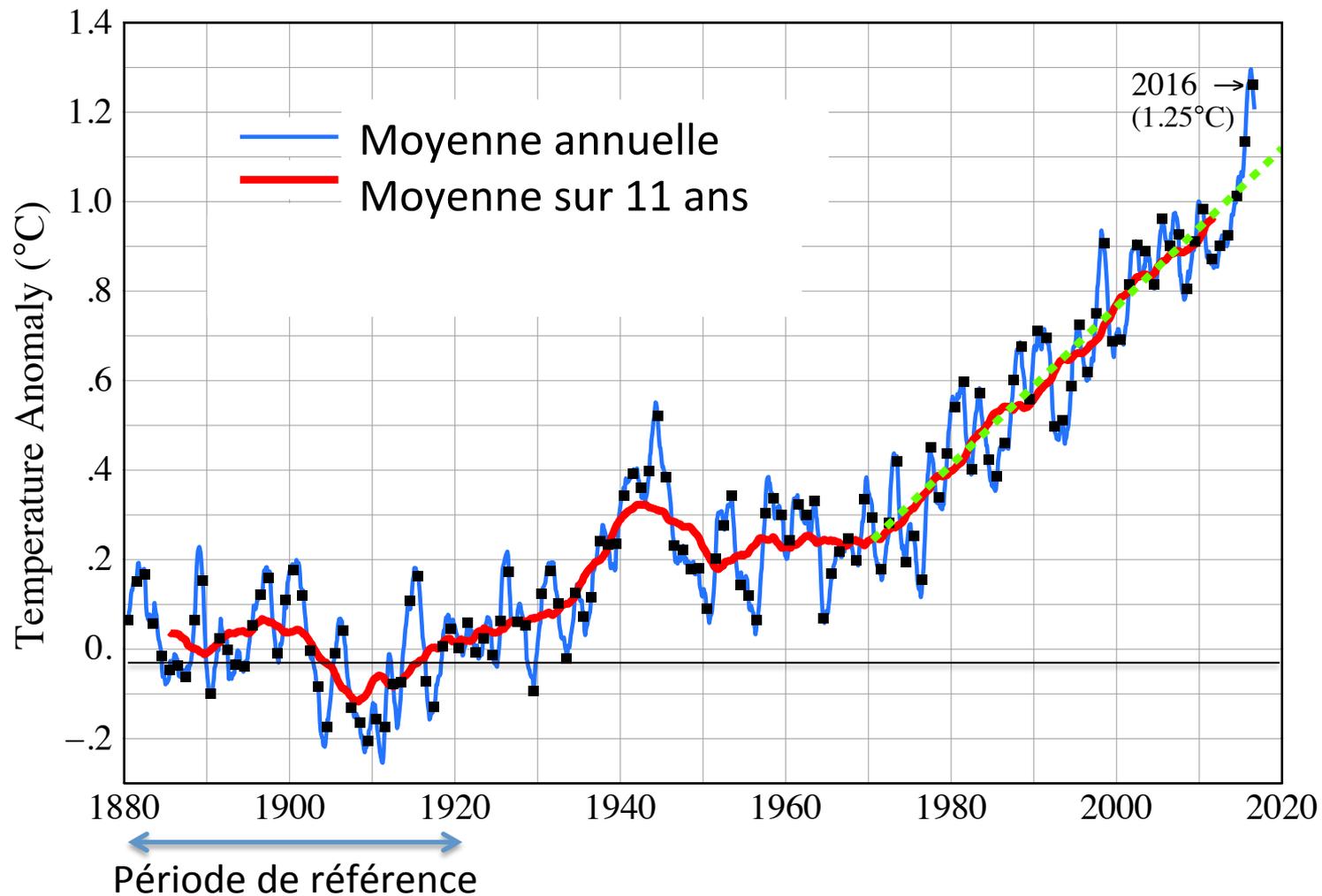
Observation

Variabilité climatique: histoire de forçages et de papillons

Par exemple, anomalies annuelles de température annuelle globale

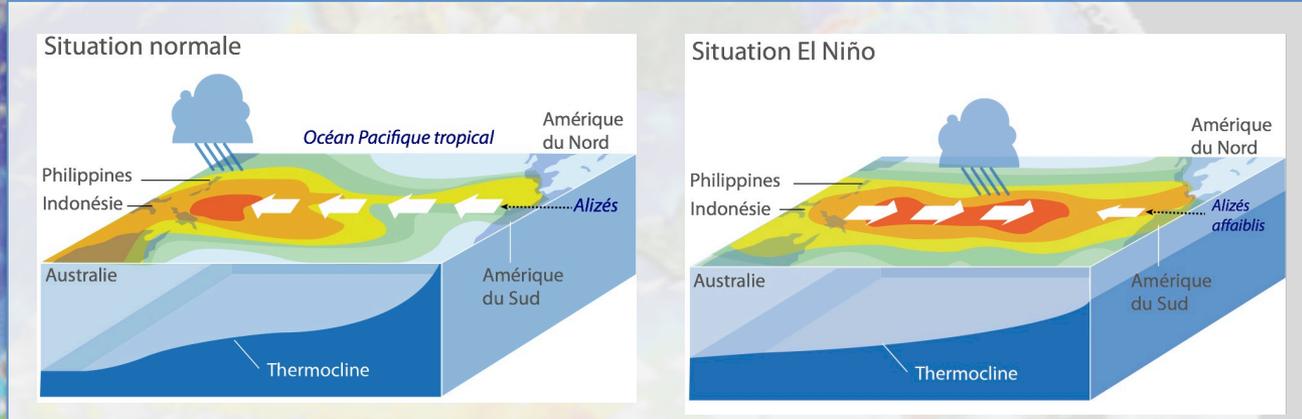
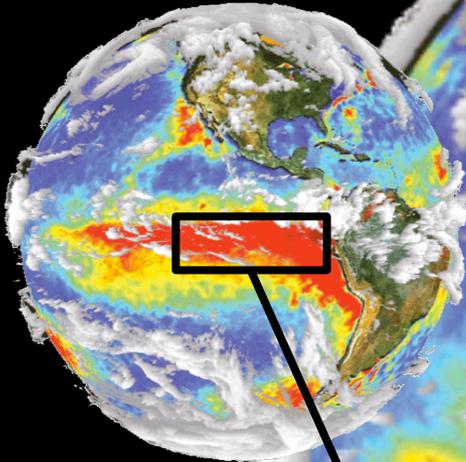


Température globale

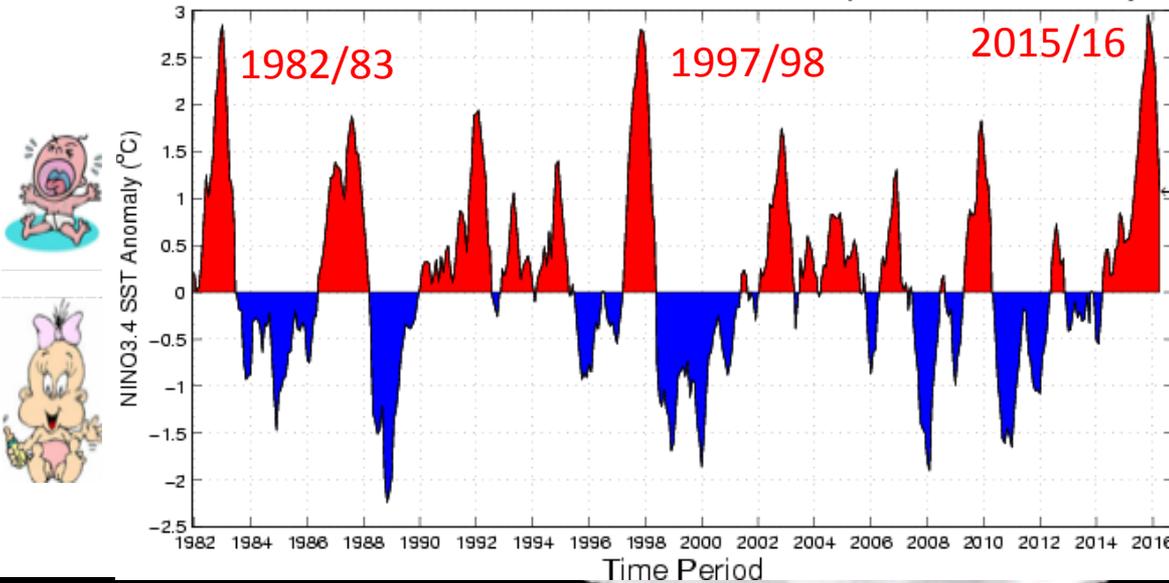


El Niño

Anomalie couplage océan-atmosphère



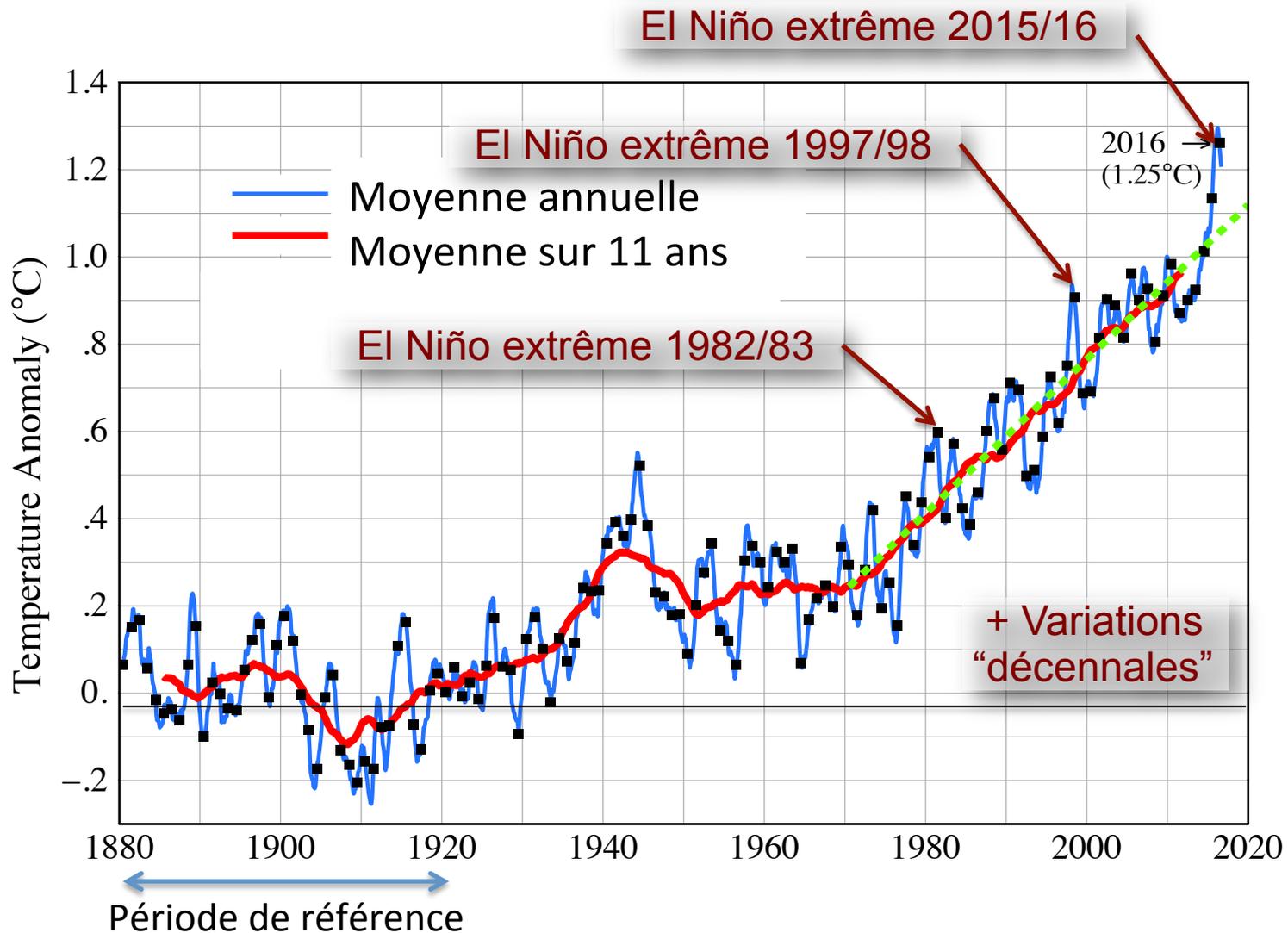
Historical NINO3.4 Sea Surface Temperature Anomaly



El Niño

La Niña

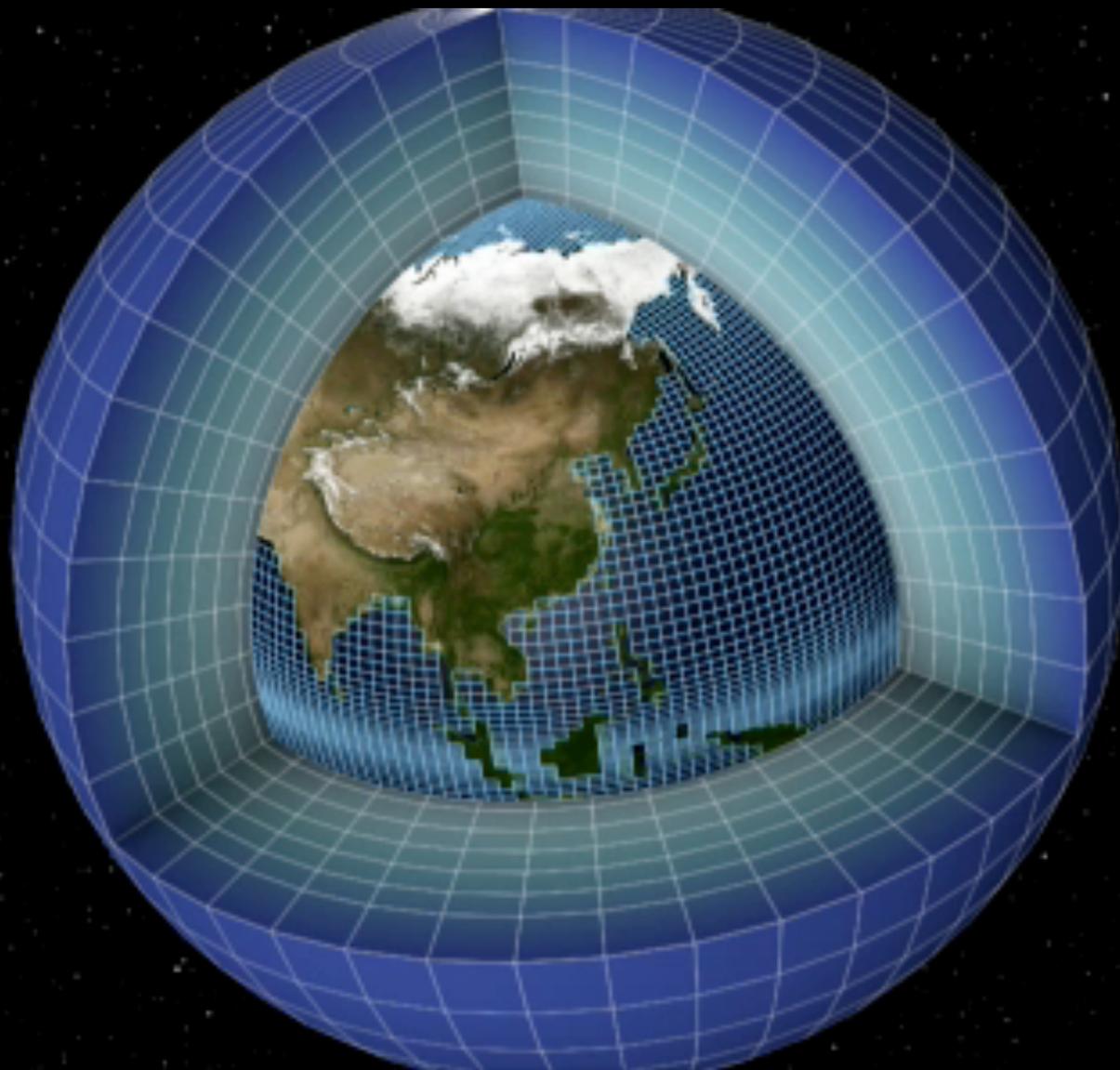
Température globale



An aerial photograph of a massive ocean wave, showing the deep blue water and the white foam of the crest. A semi-transparent grey rectangular box is overlaid on the center of the image, containing the text "La modélisation du climat" in white. The text is centered horizontally and vertically within the box.

La modélisation du climat

Simulateur de climat

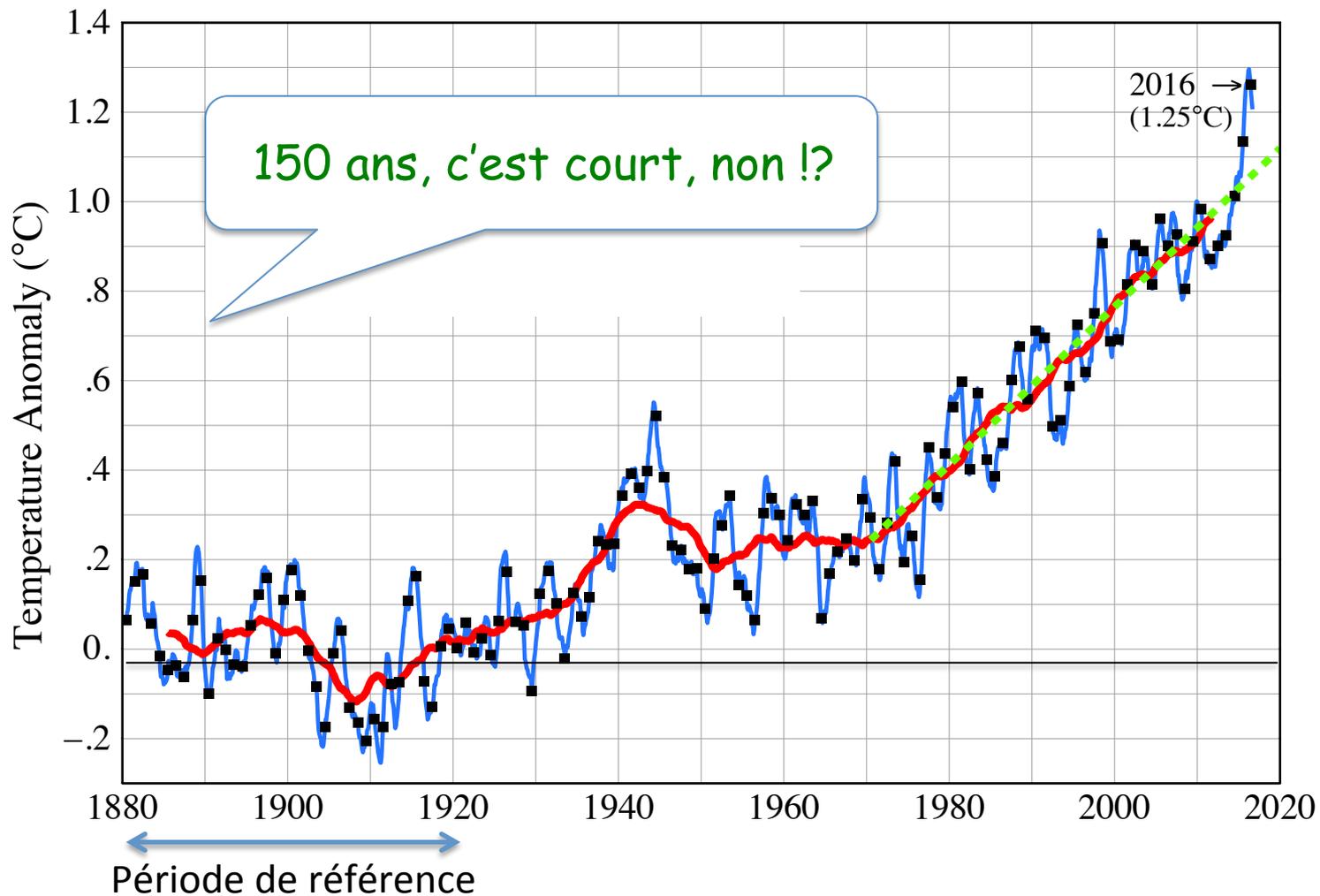


Crédits: P. Brockmann et L. Fairhead (IPSL)

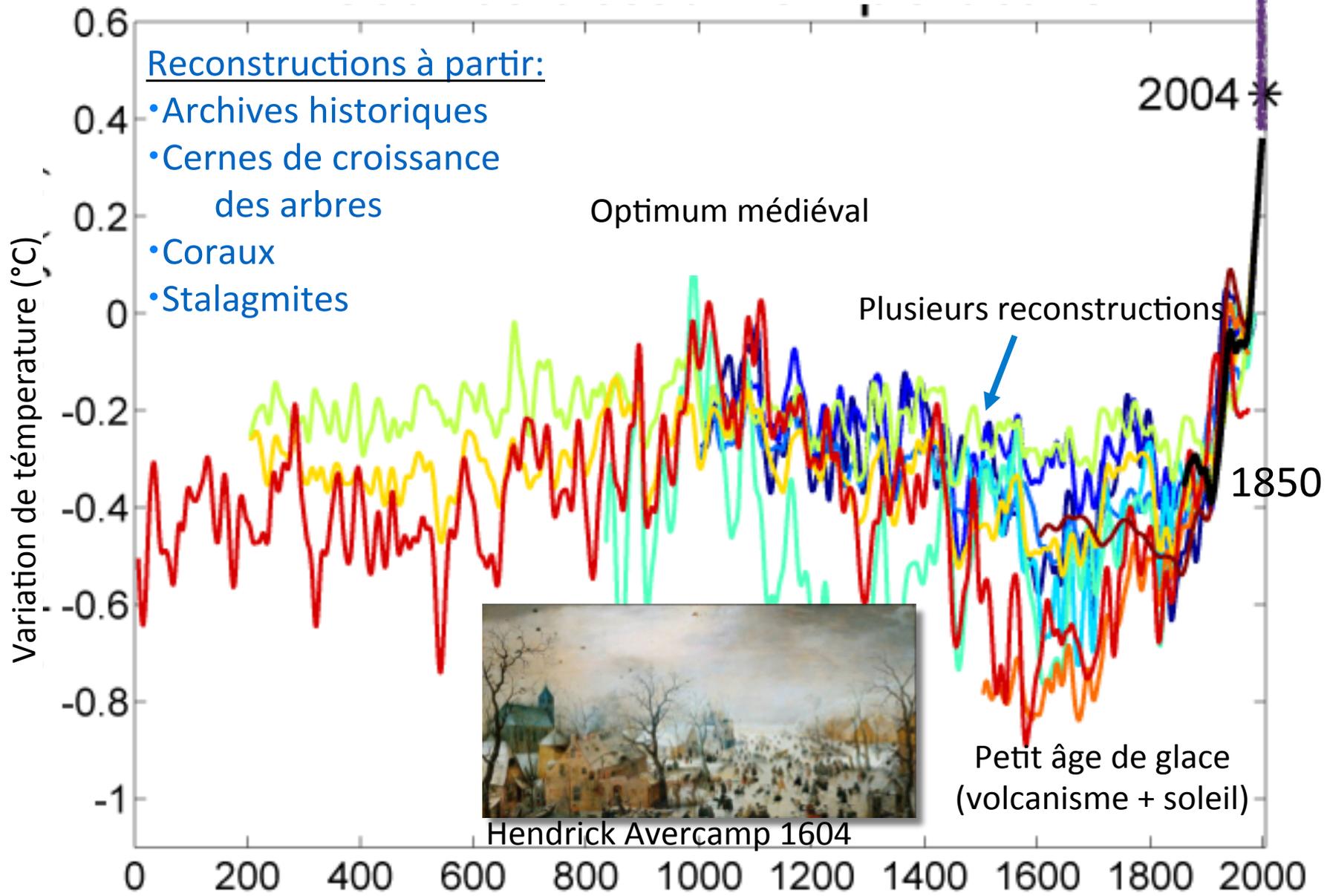


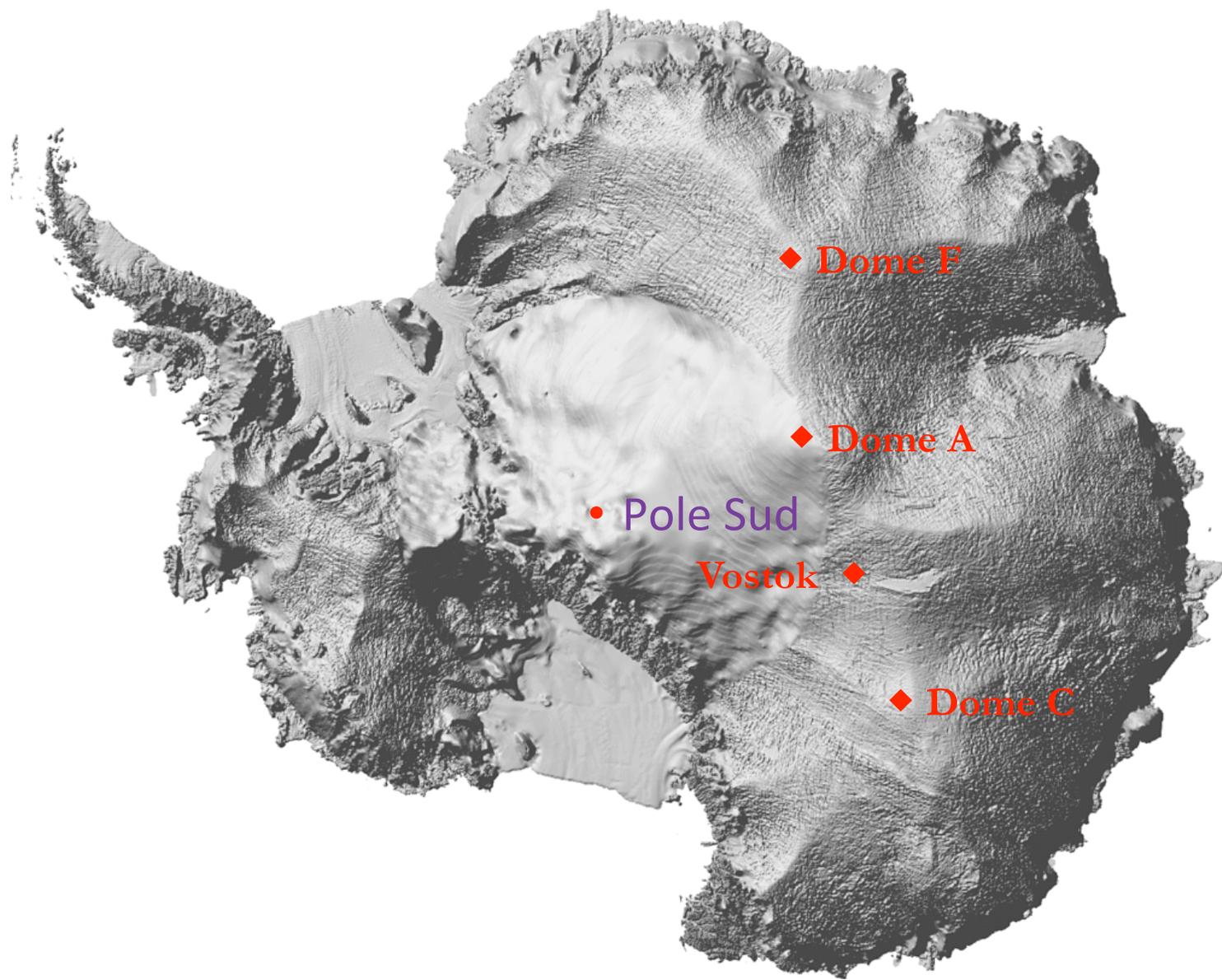
L'impact de l'homme

Température globale



Température de l'hémisphère nord depuis 2000 ans

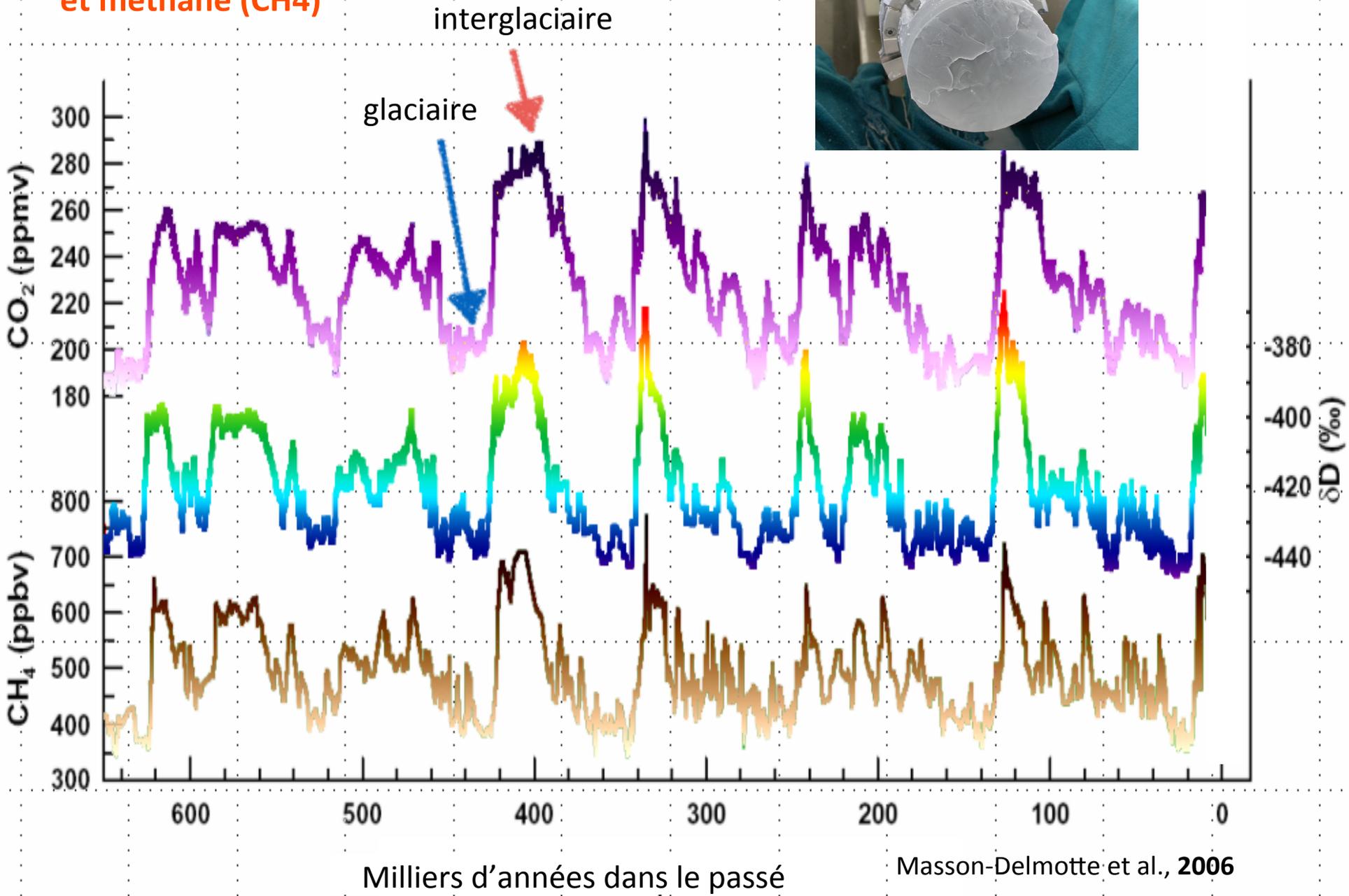








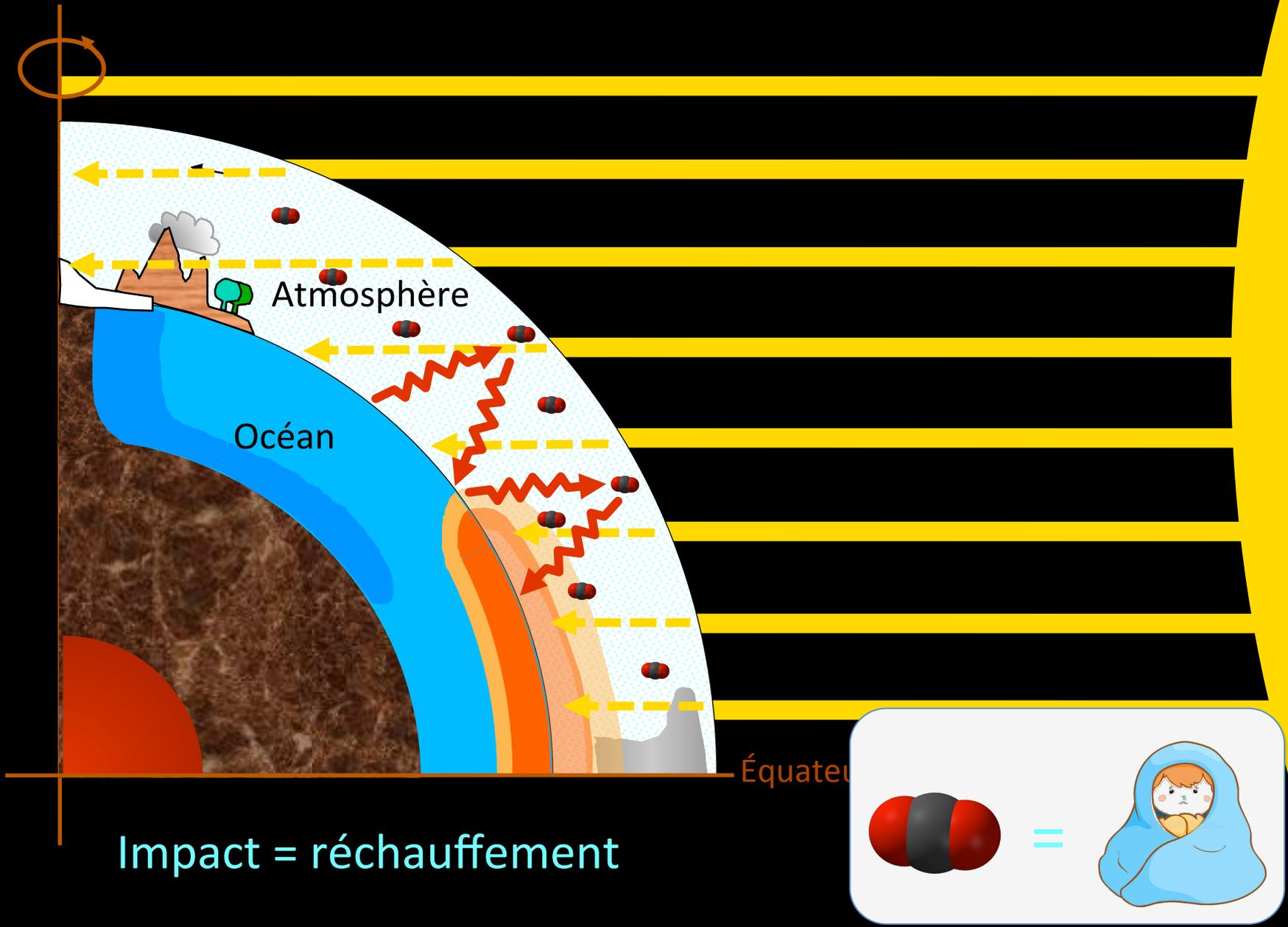
**CO₂, température
et méthane (CH₄)**



Vitesse et amplitude du changement climatique
sans précédent depuis 1 million d'années

Comment l'a-t-on attribué aux activités
humaines ?

Forçage externe : Gaz à effet de serre



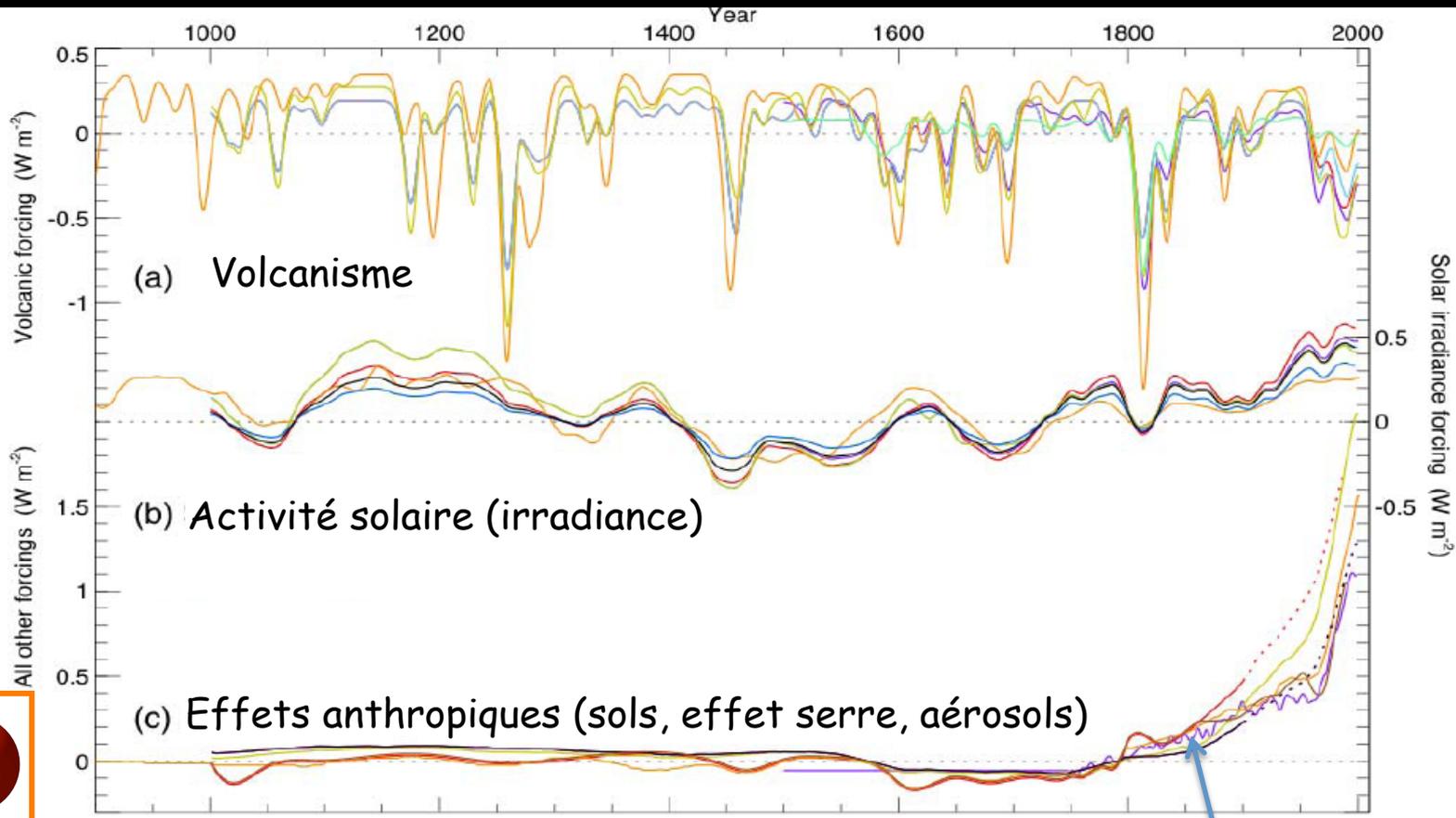
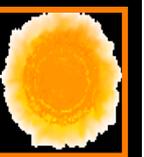
Impact = réchauffement



=



Rôle des différents forçages externes depuis 1000 ans

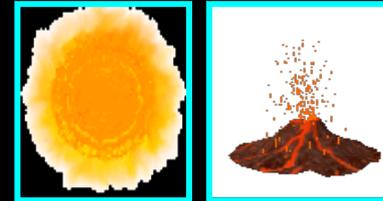
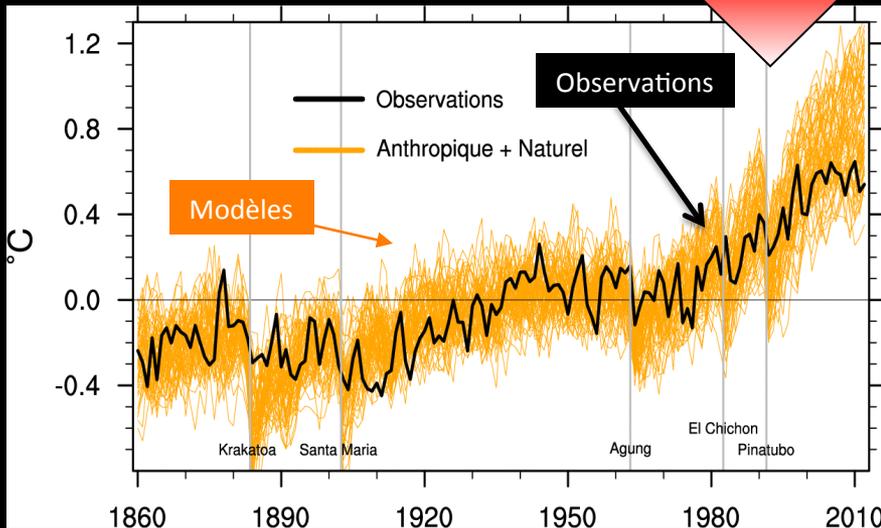
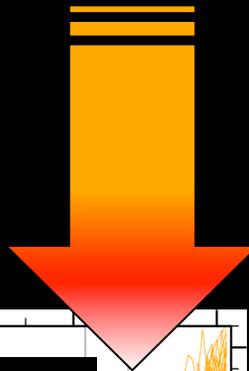


Révolution industrielle

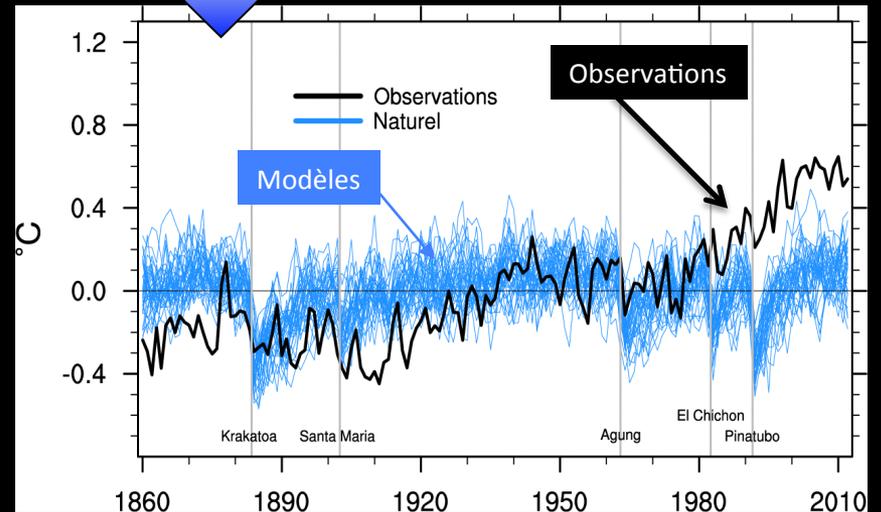
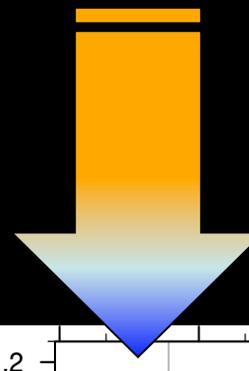
Origine du réchauffement récent



Tous les forçages = naturels + ceux liés aux activités humaines

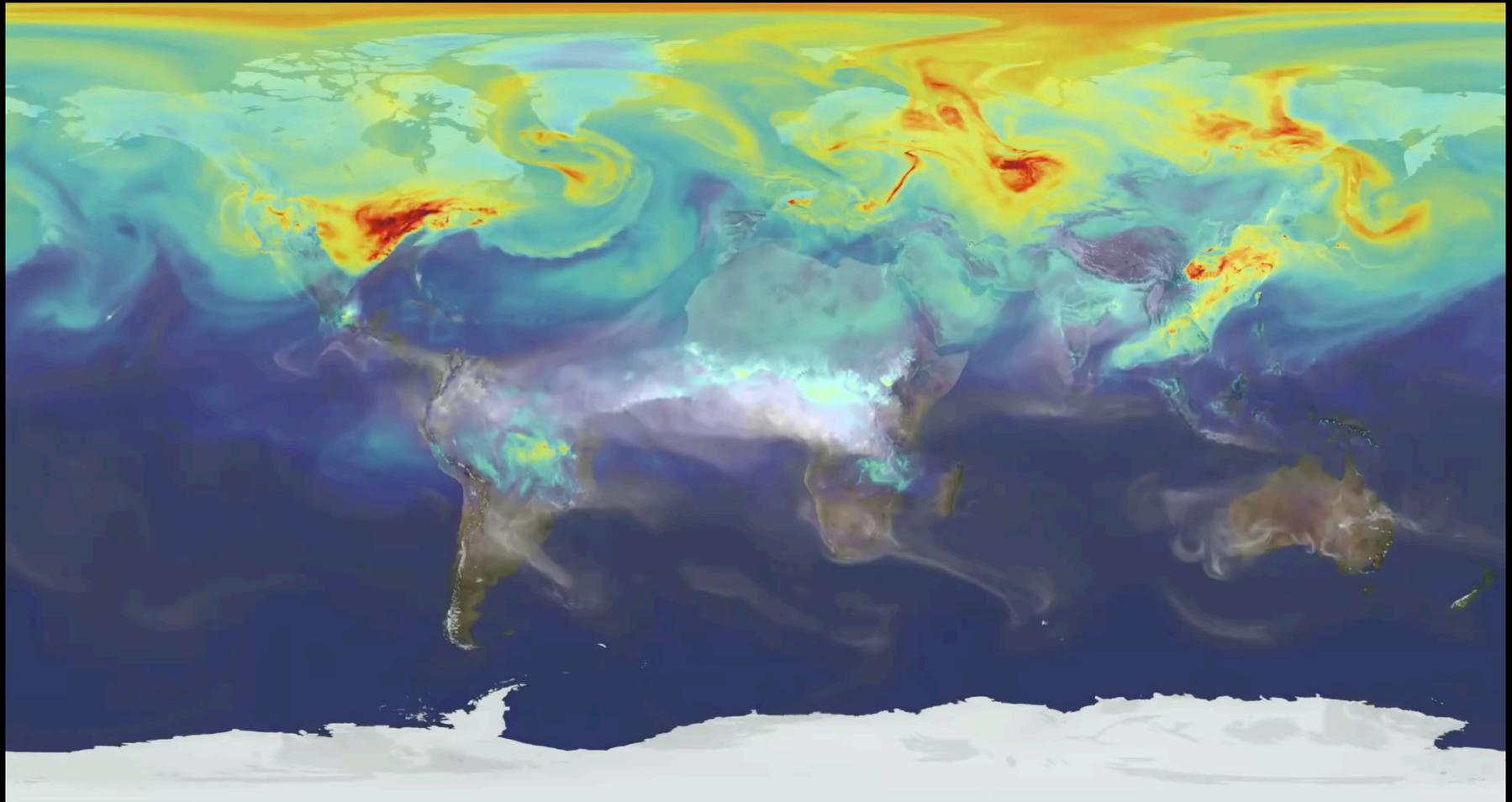


Forçages naturels (soleil et volcans)



Le réchauffement observé depuis 1960 ne peut s'expliquer que par l'effet de l'activité humaine (rejets de gaz à effet de serre, déforestation,...)

CO₂ atmosphérique pendant un an



2006 / 01 / 01

Global Modeling and Assimilation Office

Carbon Monoxide Column Abundance [1.0e18 molec cm-2]



Carbon Dioxide Column Concentration [ppmv]





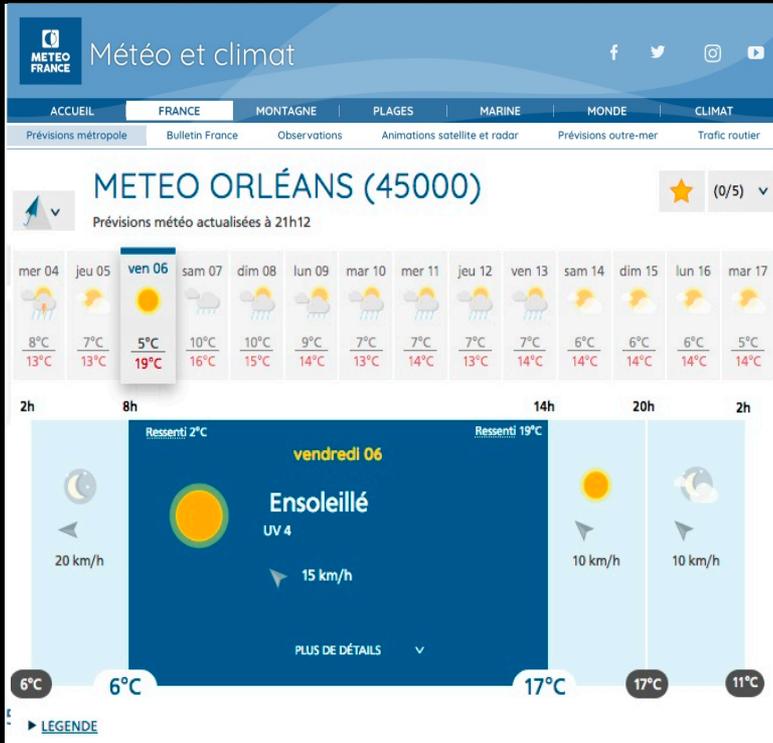
L'avenir que nous
choisirons

Voyage dans le(s) futur(s)

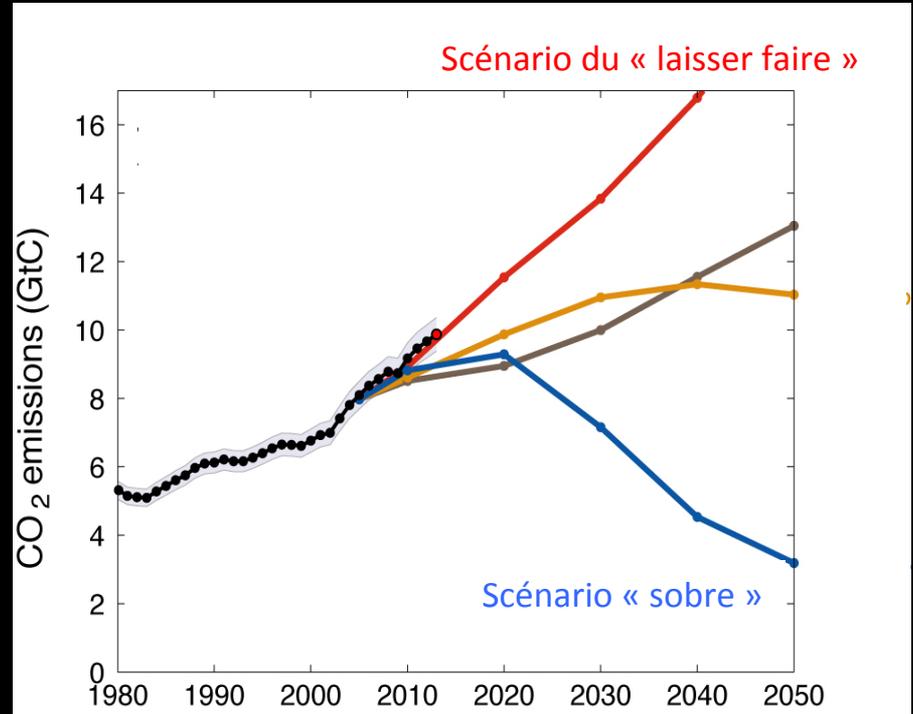
Prévision

vs.

Projection

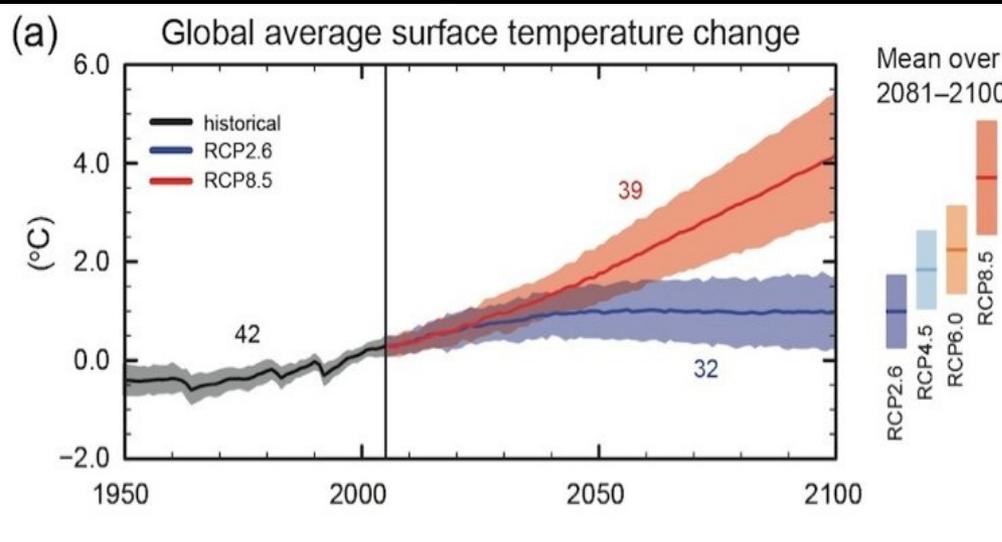


Probabilité importante d'occurrence



Probabilité d'occurrence dépend d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre

Projections climatiques pour notre siècle



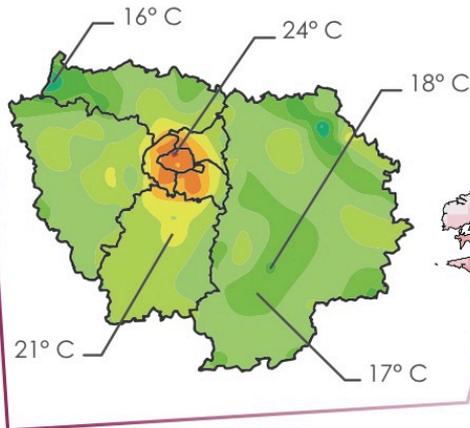
On ne fait rien de significatif
(Scénario du laisser faire): + 3-5 C

On agit de façon radicale
maintenant (Scénario sobre)
+ 0.9-2.3 C

GIEC (2013)

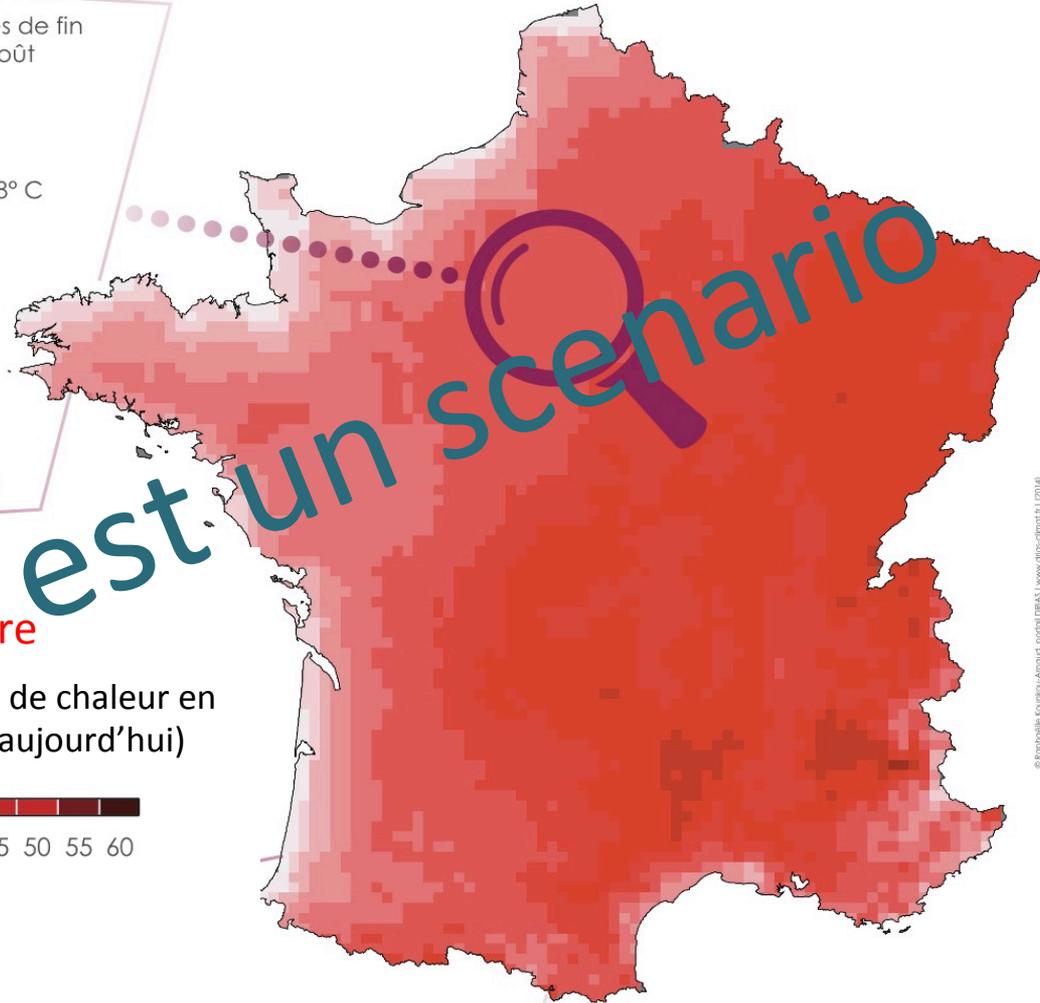
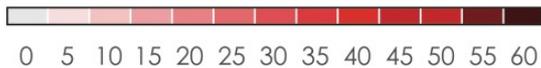
Vagues de chaleur estivales

Légende : Moyenne des températures de fin de nuit en Ile-de-France du 8 au 13 août 2003.



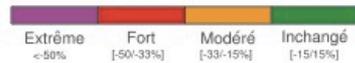
Scénario du laisser faire

Nombre de jours de vagues de chaleur en plus à la fin du siècle (2 à 3 aujourd'hui)



© Republique Française - Annuaire portail DEAS | www.dtic-climat.fr | 2014

Légende : Changement des débits des rivières en %.



LE SCÉNARIO du « laisser faire » et ses effets sur...

... le débit des rivières en été.

Les débits de rivières diminueront en été de manière généralisée. Les réductions seront fortes sur les grands fleuves (Loire, Rhône) voire extrêmes (aronne, Adour). Les rivières de montagne et les petits bassins versants du Sud seront les plus affectés.

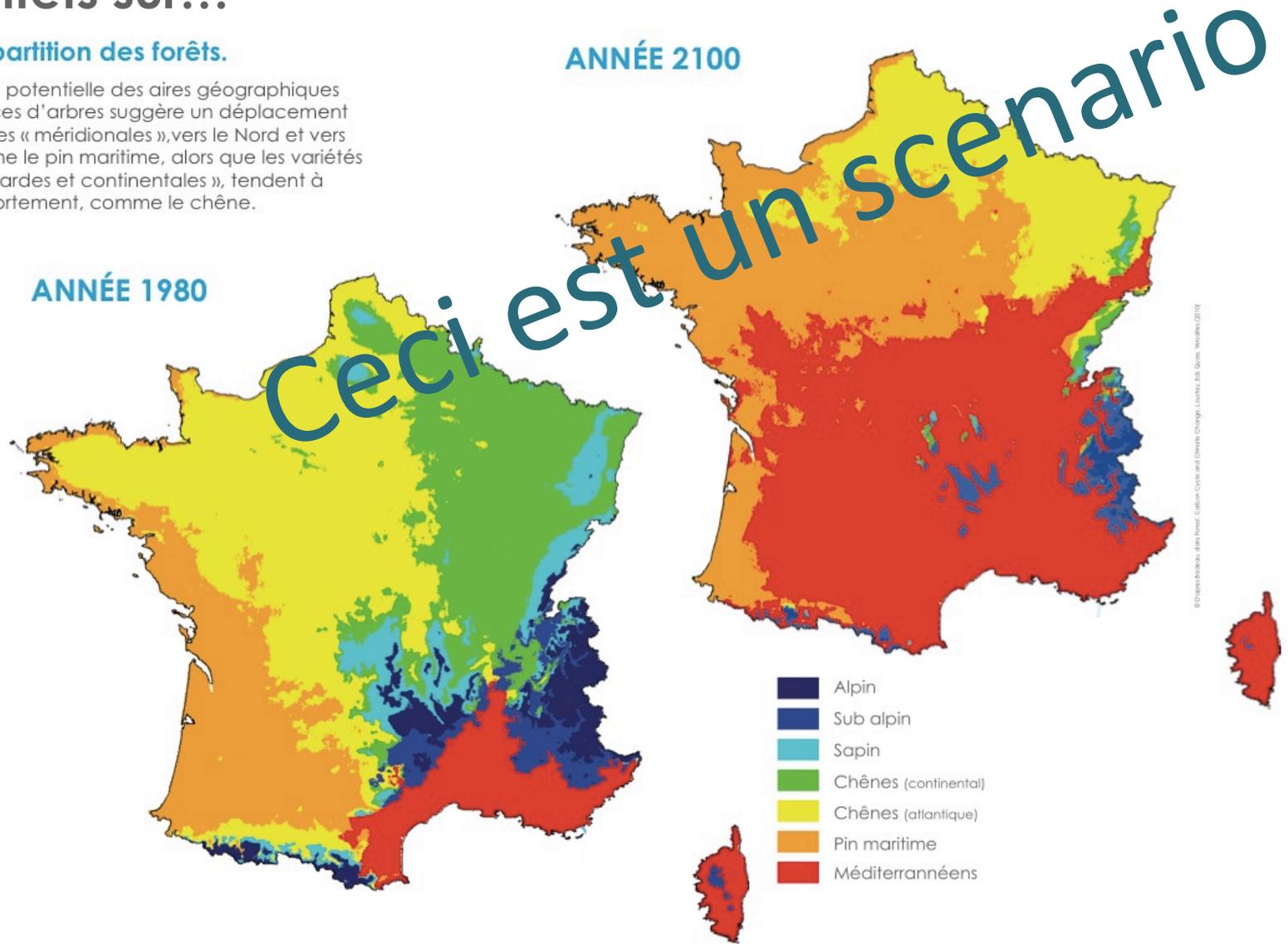


© G. Dreyer et G. Corvais, CMRS, Corvais (2018)

LE SCÉNARIO du « laisser faire » et ses effets sur...

... la répartition des forêts.

L'évolution potentielle des aires géographiques des essences d'arbres suggère un déplacement des espèces « méridionales », vers le Nord et vers l'Est, comme le pin maritime, alors que les variétés « montagnardes et continentales », tendent à régresser fortement, comme le chêne.



Source: Le train du climat

Quels impacts sur le bassin de la Loire ?

LES ZONES D'INTERVENTION LOIRE NATURE PAR SECTEURS NATURELS

Impacts sur le cycle de l'eau

- Inondations
- Sècheresses
- Nappes souterraines
- Compétition usages (agricole, industriel, écosystèmes,...)
- Aménagement du territoire

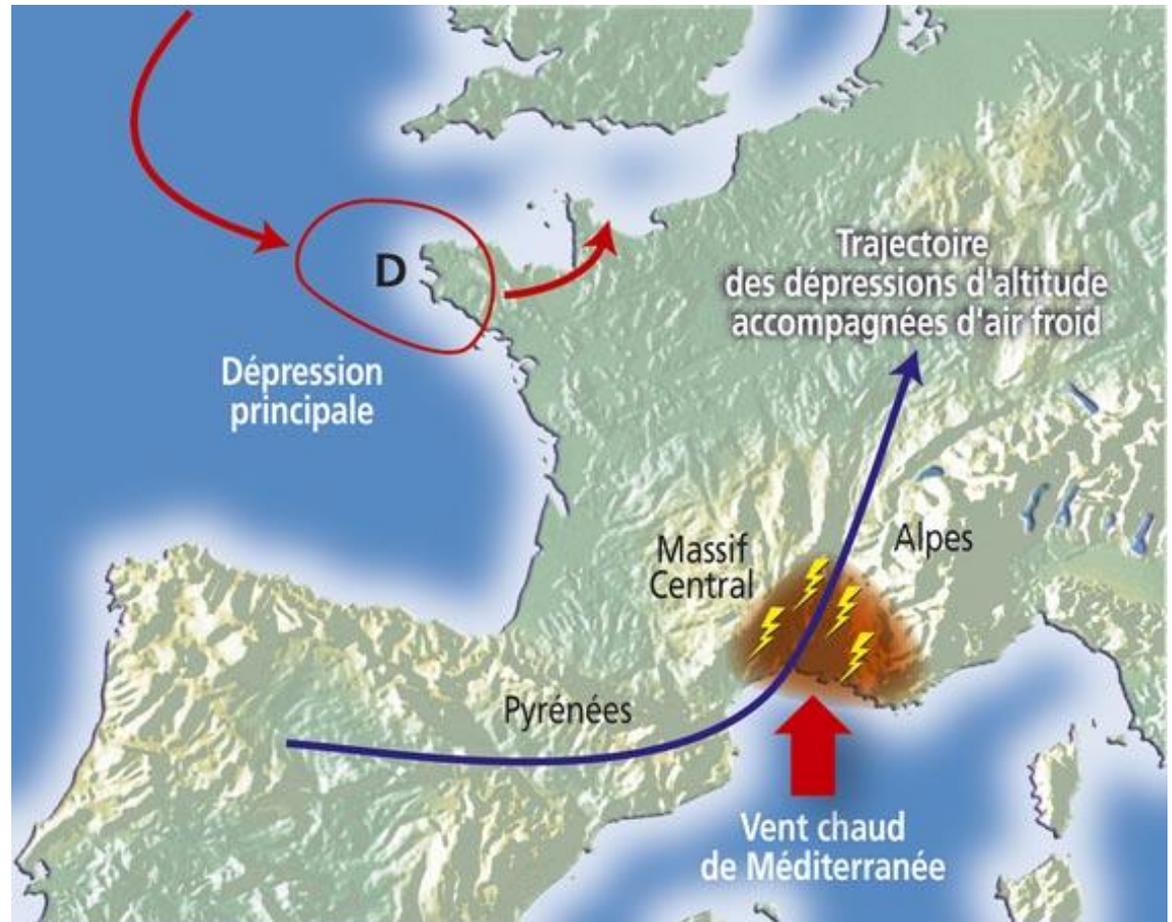


Enjeux (Plan Climat-Énergie-Air Territorial):

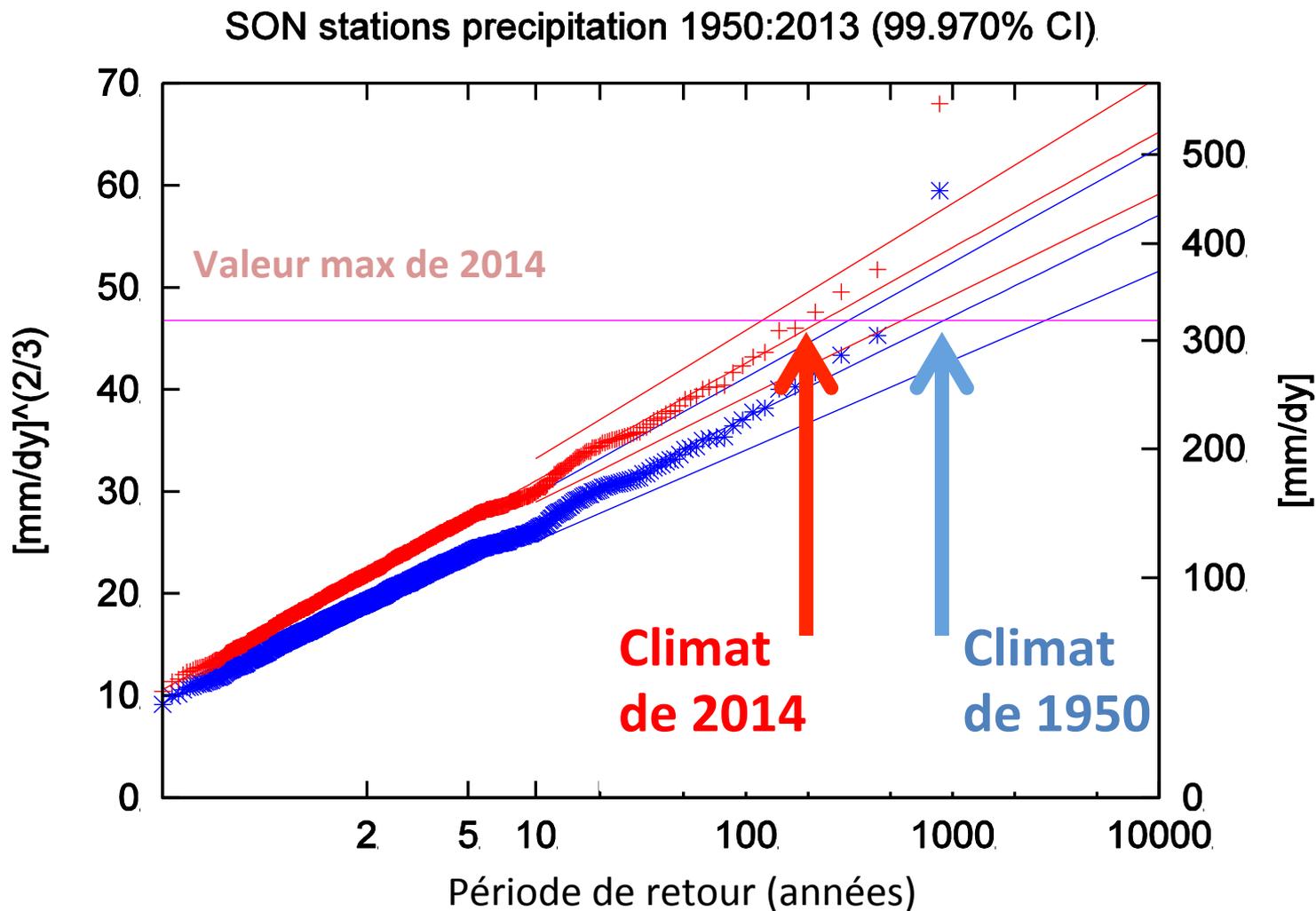
- Adaptation: comprendre et anticiper les vulnérabilités
- Services climatiques, expertise co-construite
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre

Les épisodes Cévenols

- Fin d'été / automne
- Flux humide de sud
- Orages violents : heure > 100mm, jour >300mm, jusqu'à ~1000 mm
- Crue subite



Estimation de l'occurrence d'épisodes Cévenols: probabilité 3x plus forte en 2014 qu'en 1950 (facteur 1.3 à 12)

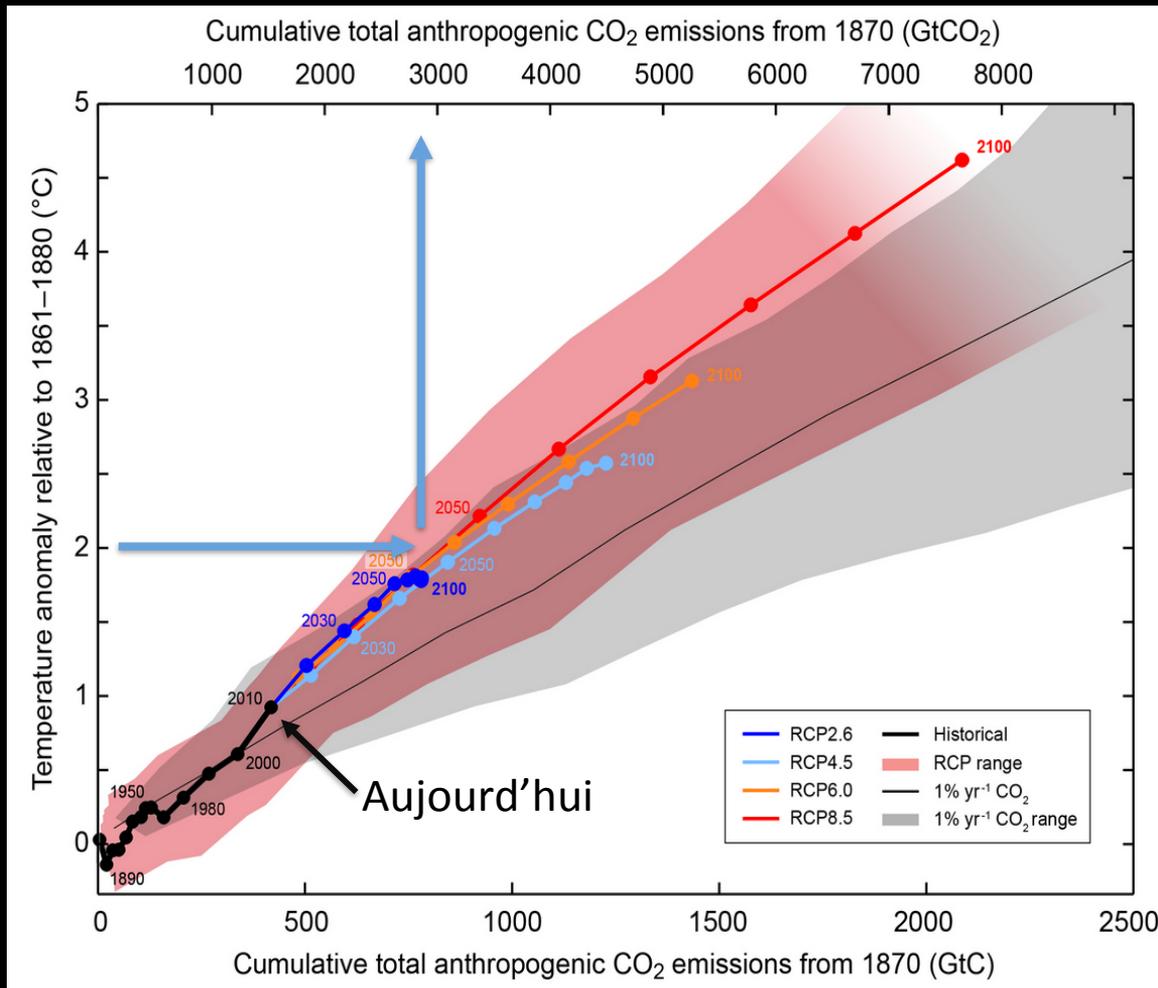




Réduire nos
émissions de CO₂

Projections futures: émissions vs. réchauffement

Relation simple entre émissions cumulées et réchauffement

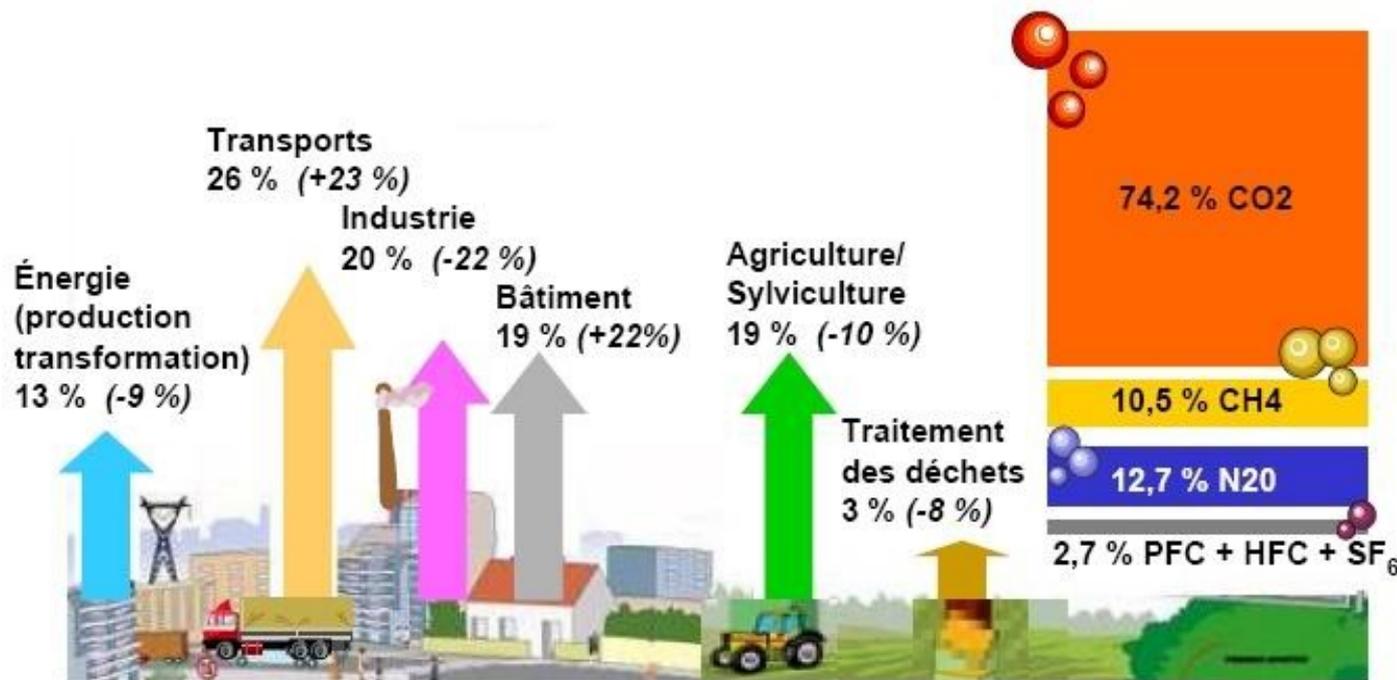


Rester sous 2°C
demande de ne pas
émettre plus de 3000 Gt
de CO₂

Nous en avons déjà émis
2000 Gt

Il reste donc 1000 Gt à
émettre, soit 20% des
réserves connues de
charbon, pétrole et gaz

Sources des gaz à effet de serre en France

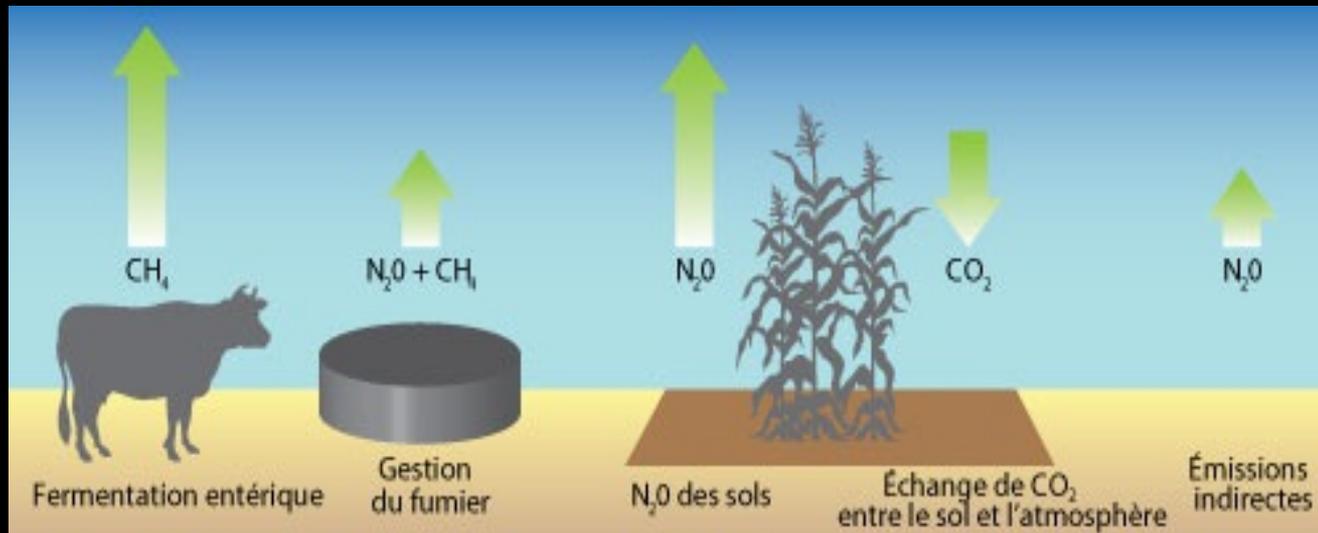


Émissions de gaz à effet de serre en France (y compris DOM/COM) en 2004, par secteur (entre parenthèses, l'évolution depuis 1990 ; source : CITEPA/Inventaire SECTEN/Format PNLCC, février 2006)

En France, 8 tonnes équivalent CO₂ par habitant (USA: 20 T/hab, Chine: 4 T/hab) ... mais 12 T/hab si on tient compte des importations

Sources de gaz à effet de serre - l'agriculture

➔ L'agriculture est à l'origine de l'essentiel des émissions des gaz "hors CO₂"



- 2/3 du méthane (CH_4) et du protoxyde d'azote (N_2O) (élevage bovin et engrais)
- Gaz « secondaires » = environ un quart des émissions globales
- Temps de résidence dans l'atmosphère plus court que le CO_2

En résumé

- Le changement climatique est une réalité
- Ce sont les activités humaines qui le causent
- Le consensus scientifique est large
- Cela engendre des impacts négatifs sur nos sociétés
- Certains sont inévitables dans les années qui viennent
- Il faut s'y préparer (canicules, inondations,...)

Que faire ?

- Nous avons de nombreuses solutions pour limiter les pires impacts, si nous le voulons
- Pour cela il faut réduire drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre (CO₂, méthane, déforestation, ...)
- Enjeu global, solutions locales

Succès et enjeu de l'Accord de Paris de 2015

Construire une autre histoire de l'avenir



Les sciences du climat c'est:

- De la physique
- De la chimie
- De la biologie
- Des mathématiques
- Des méthodes numériques
- Des sciences de l'ingénieur
- De la géographie

- Des sciences humaines
- De l'éducation

Ressources de la main à la pâte

Mathieu Hirtzig, David Wilgenbus et Gabrielle Zimmermann

L'océan, ma planète... et moi !

Guide pédagogique pluridisciplinaire
pour l'école primaire et le collège



la main à la pâte

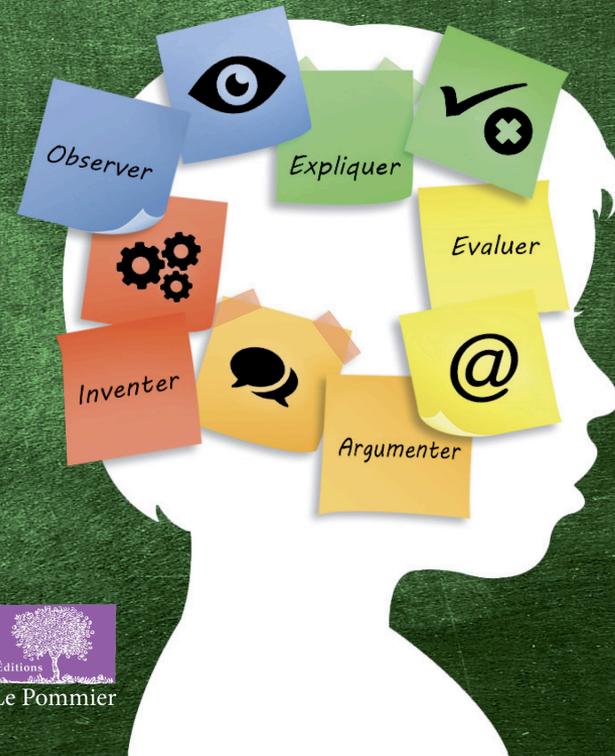


Gabrielle Zimmermann, Elena Pasquinelli et Mathieu Farina

Esprit scientifique, Esprit critique

Un projet pédagogique pour l'école primaire

Tome 1
Cycles
2 et 3



FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE

Ressources pédagogiques pour accompagner les rapports du GIEC



Lancement en mars 2018



