



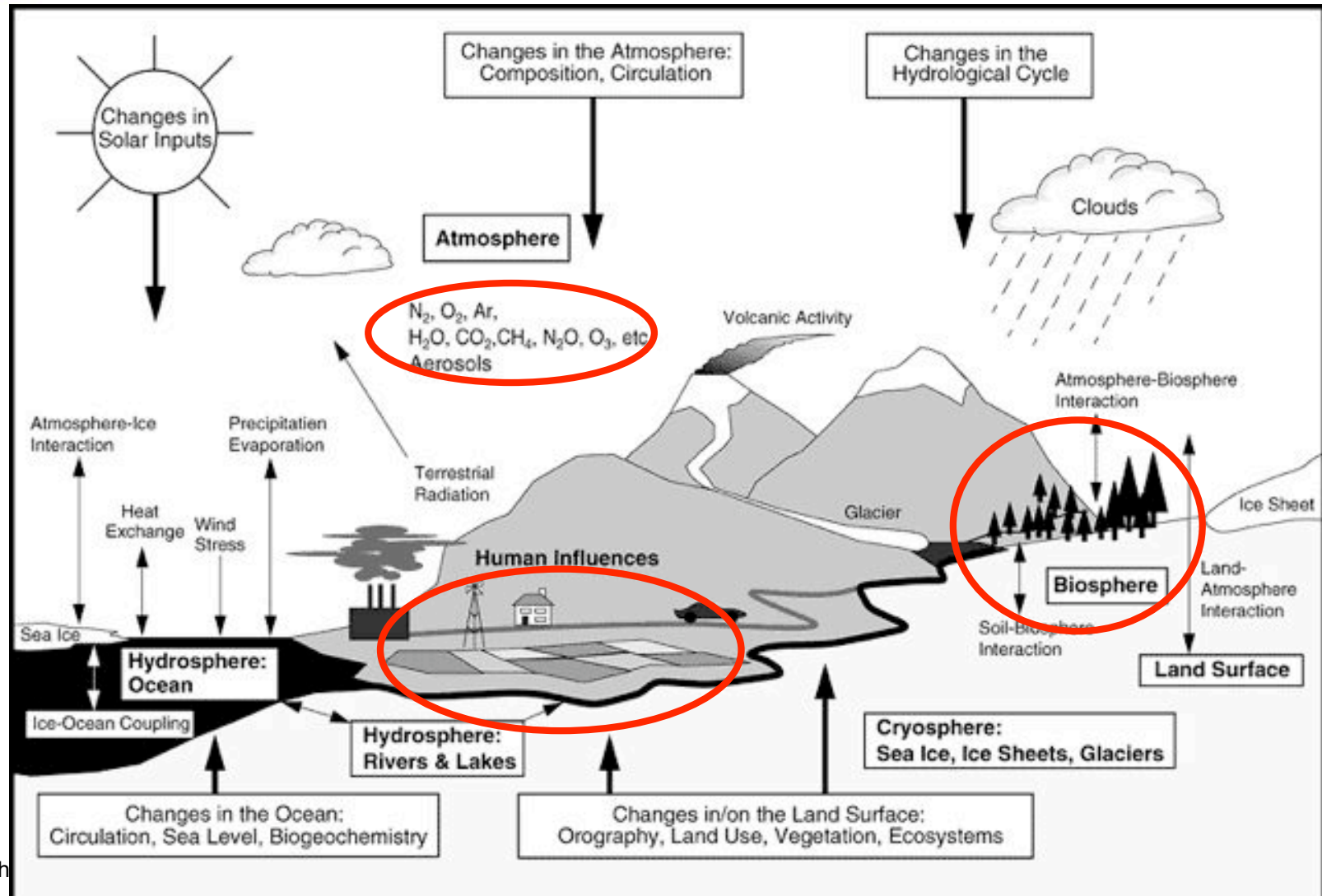
Cycles biogéochimiques et rétroactions climatiques

Olivier Boucher
Met Office Hadley Centre
College de France – Paris – 30 mai 2008

Plan

- Introduction : forçage radiatif et rétroaction
- Rétroaction cycle du carbone - climat
- Rétroactions impliquant les aérosols et la chimie
- Interactions entre l'ozone et le cycle du carbone
- Interactions entre les aérosols et le cycle du carbone
- Conclusions

Le système climatique



La modélisation du système climatique

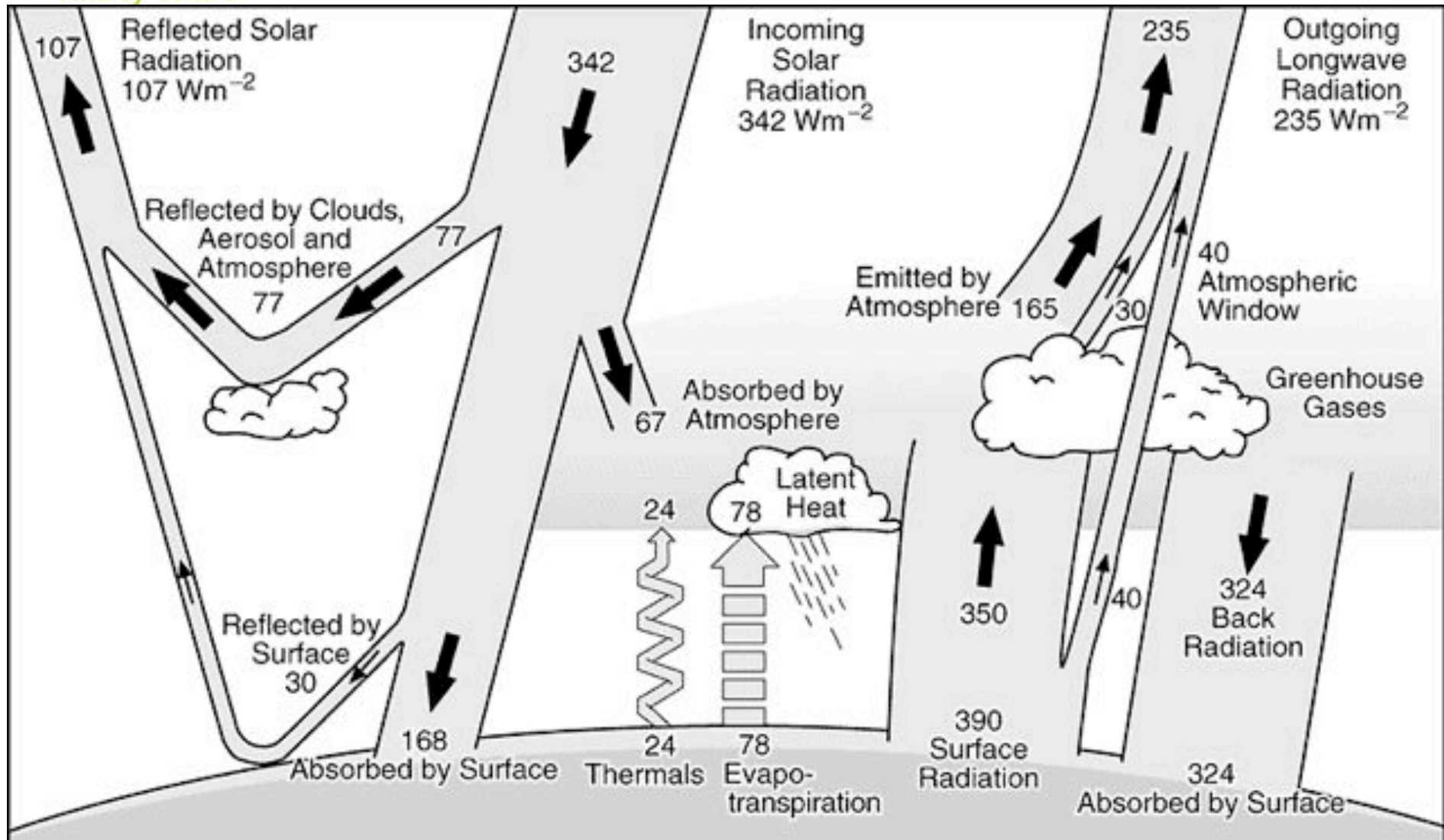
The Development of Climate models, Past, Present and Future



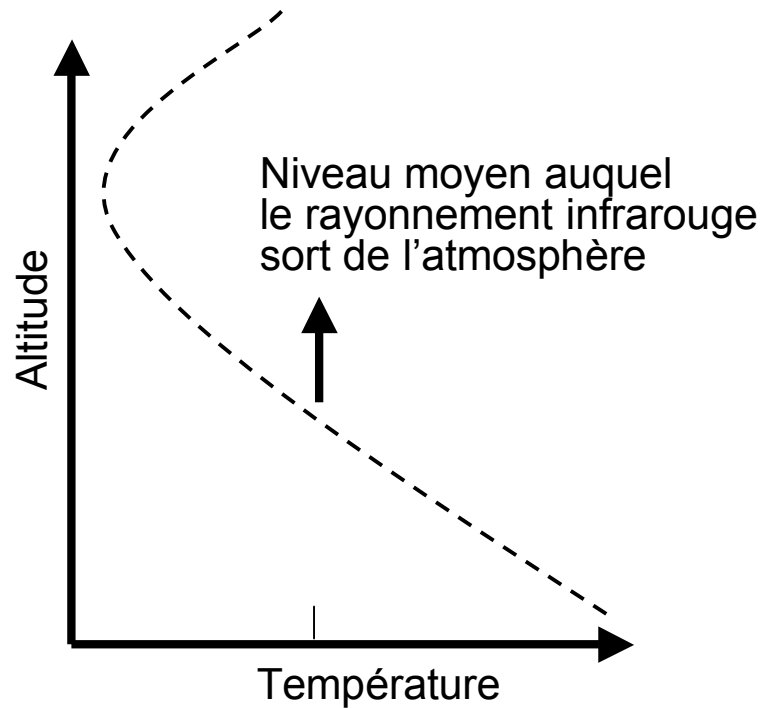


Met Office
Hadley Centre

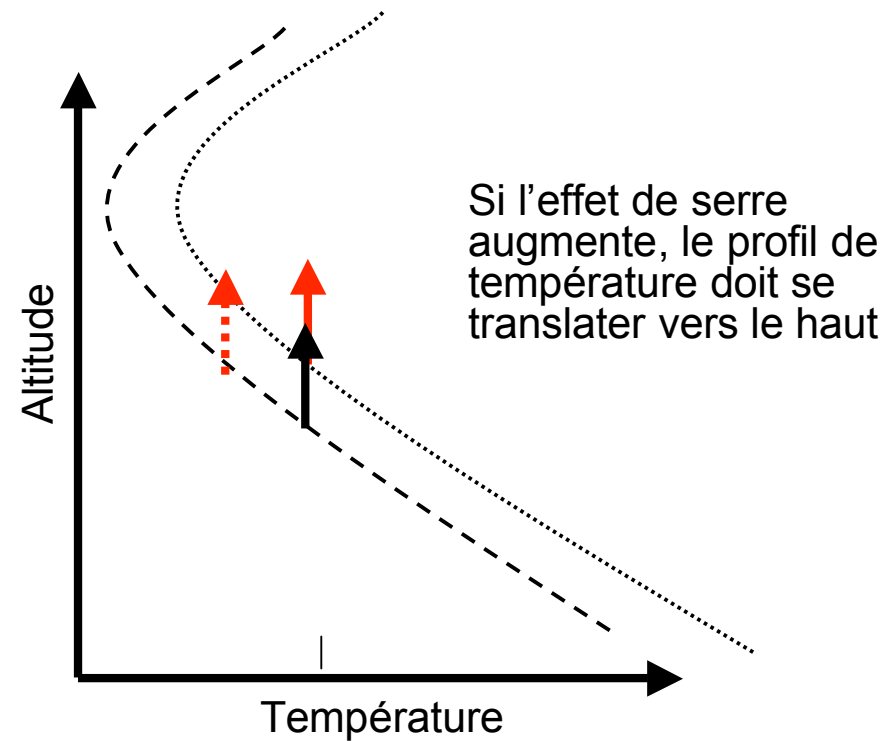
Bilan radiatif



Réponse du climat à un forçage



Atmosphère de référence



Atmosphère avec un effet de serre additionnel



... existence de rétroactions !

Exemples

La rétroaction de la vapeur d'eau

$$\text{GHG} \nearrow \Rightarrow T \nearrow \Rightarrow q_s(T) \nearrow \Rightarrow q \nearrow \Rightarrow \text{GHG} \nearrow \Rightarrow T \nearrow$$

La rétroaction de la glace de mer

$$\text{GHG} \nearrow \Rightarrow T \nearrow \Rightarrow \text{sea-ice} \searrow \Rightarrow A \searrow \Rightarrow T \nearrow$$

Rétroactions des nuages, de la neige, ...



Définition d'une rétroaction

Temperature change due to an applied RF ΔQ

In the absence of feedbacks

(other than the basic feedback of temperature dependence of emitted radiation!)

$$\Delta T_0 = \lambda \Delta Q$$

In the presence of a feedback

$$\Delta T_{eq} = \lambda \Delta Q$$

The gain factor is

$$g = (\Delta T_{eq} - \Delta T_0) / \Delta T_{eq} = \Delta T_{feedbacks} / \Delta T_{eq}$$

$$\Delta T_{eq} = \Delta T_0 / (1-g)$$

In the presence of several independent feedbacks

$$g = \sum_i g_i$$

$$\Delta T_{eq} = \Delta T_0 / (1 - \sum_i g_i)$$



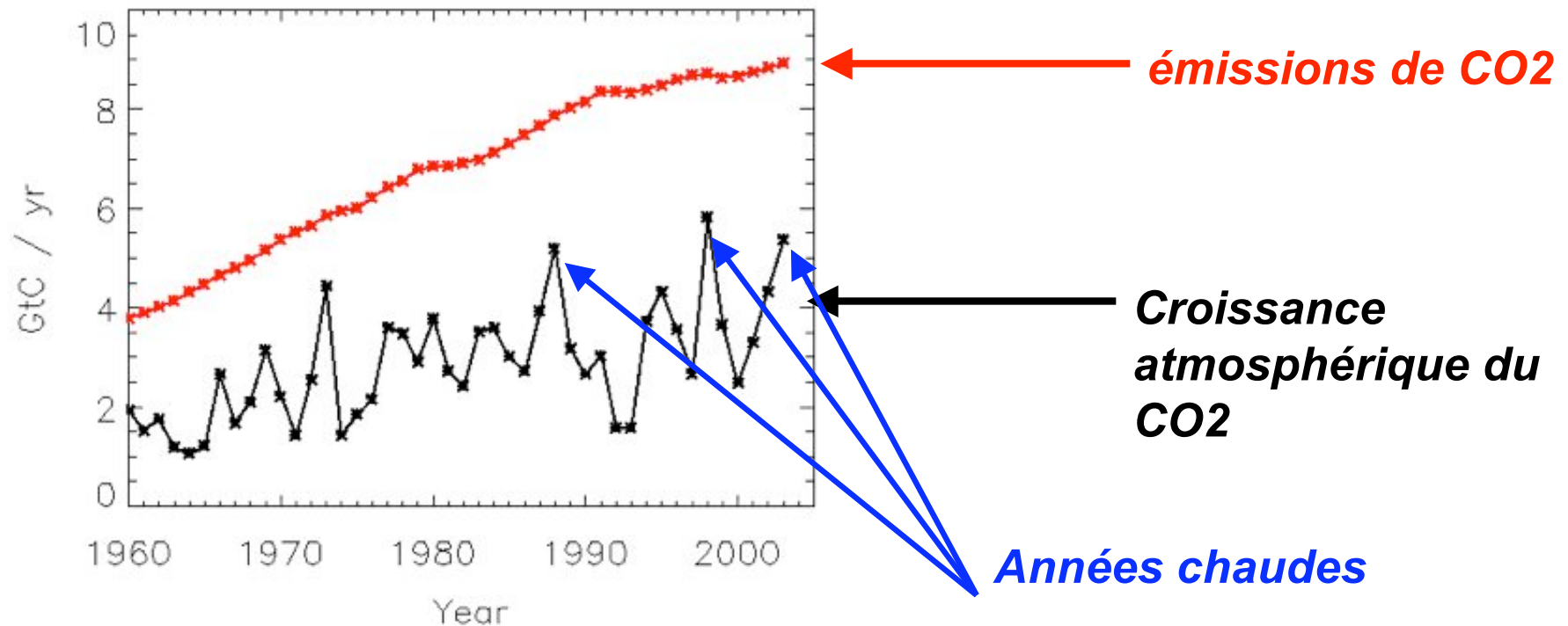
Rétroactions chimiques et biogéochimiques

- La rétroaction cycle du carbone-climat
- La boucle DMS-sulfate-nuage-climat (CLAW)
- La rétroaction vent-sels marins-climat
- La rétroaction végétation-COV-ozone-température
- La rétroaction végétation-COV-aérosols-température

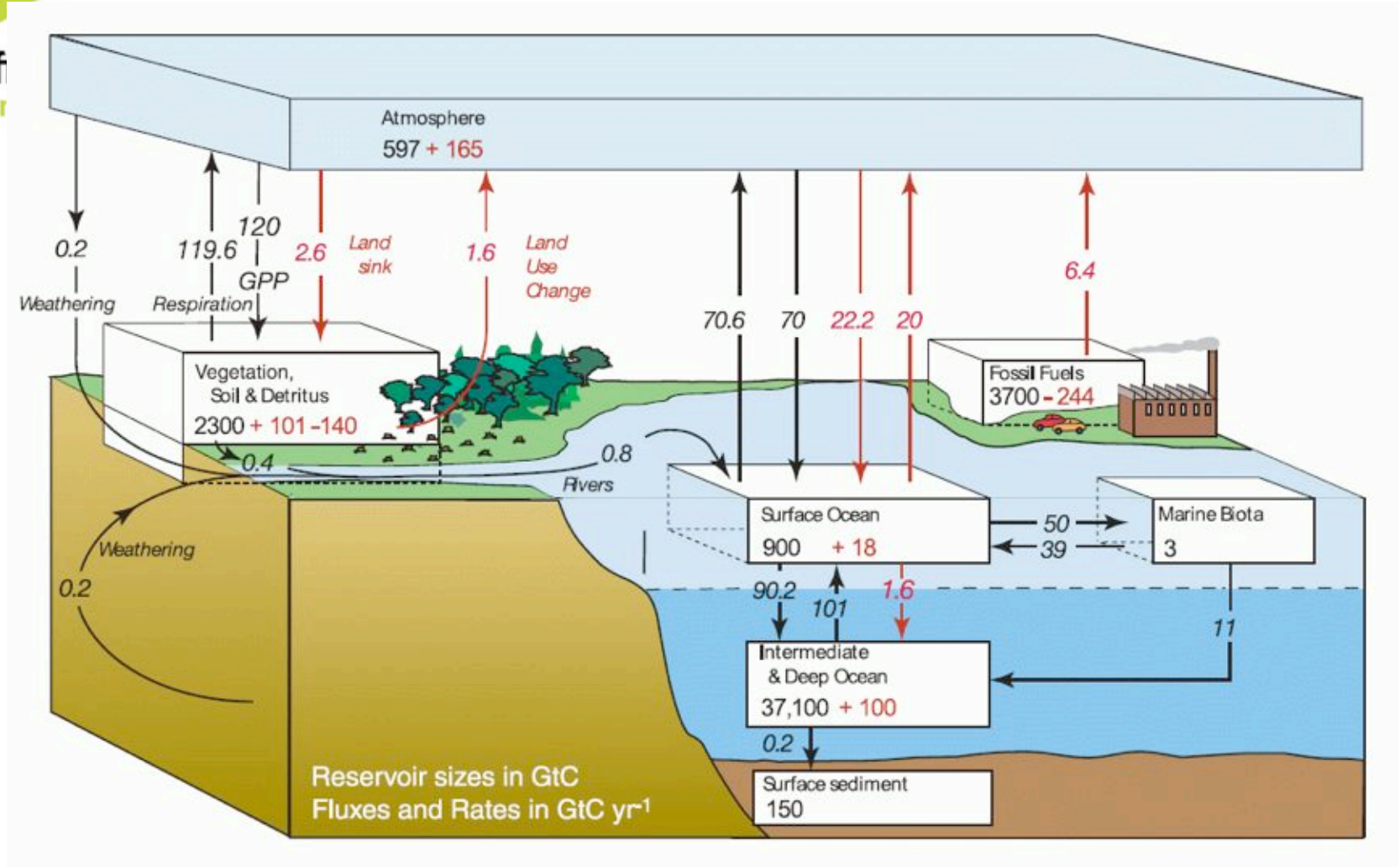
Signe ? Amplitude?

Cycle du carbone : émissions versus CO₂ atmosphérique

La biosphère terrestre et l'océan absorbent la moitié des émissions. Cela va-t-il continuer ?



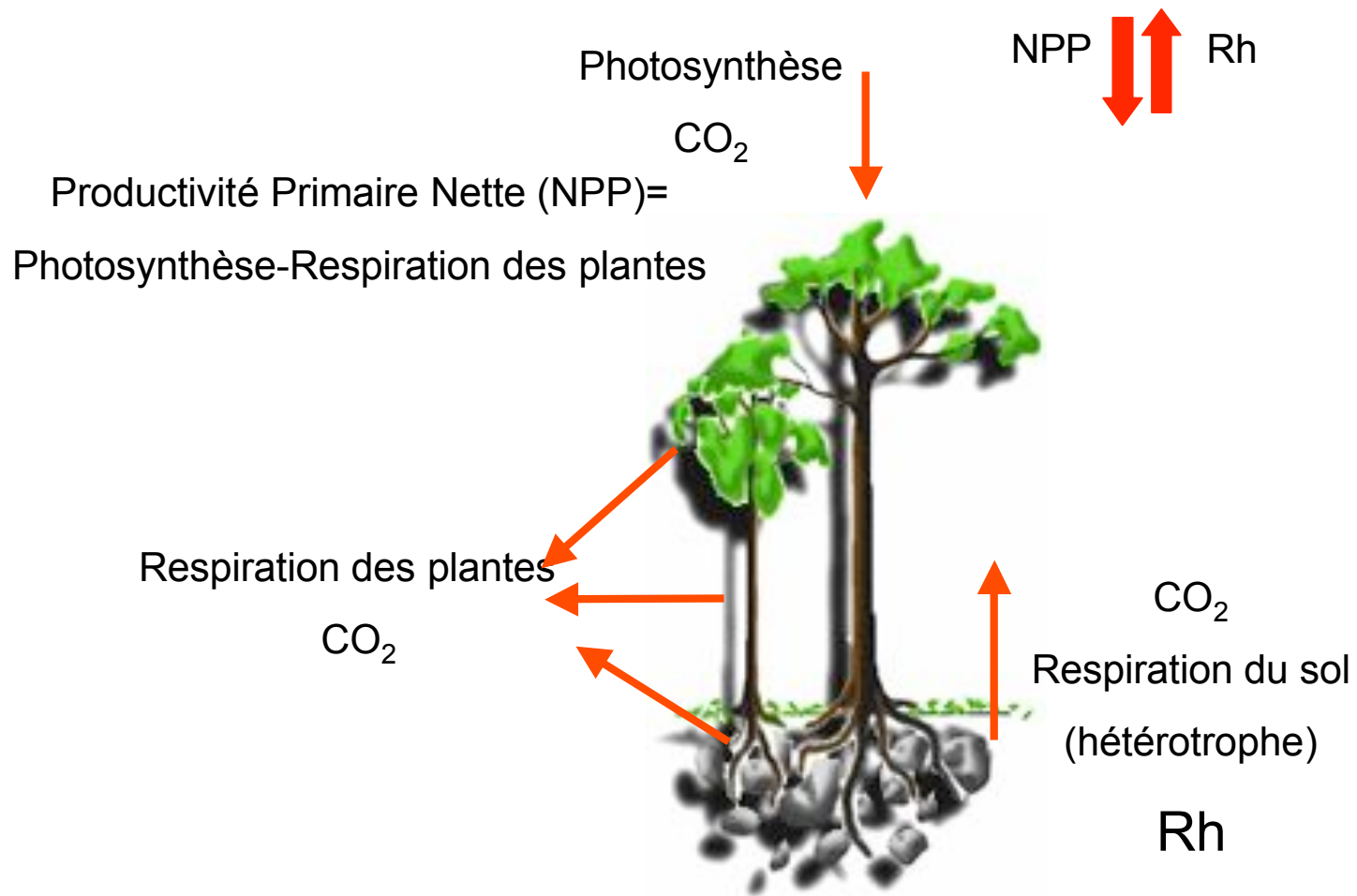
Le cycle du carbone



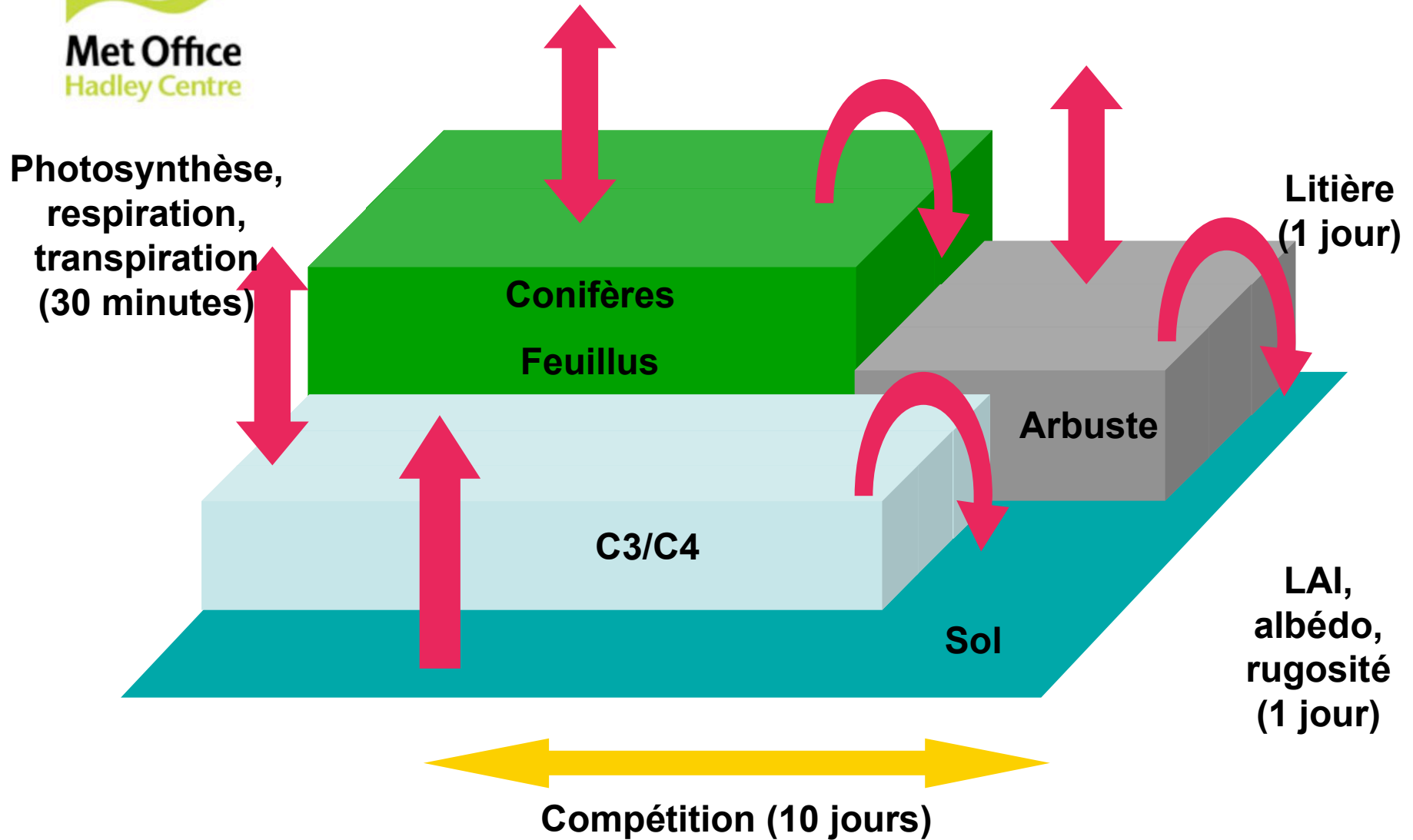
Les flux sont importants et sont à l'équilibre sur le long terme. Les activités humaines perturbent légèrement ces flux.

Cycle du carbone: terminologie

Echange net de l'écosystème $NEE = NPP - Rh$



Couplage MCG - TRIFFID





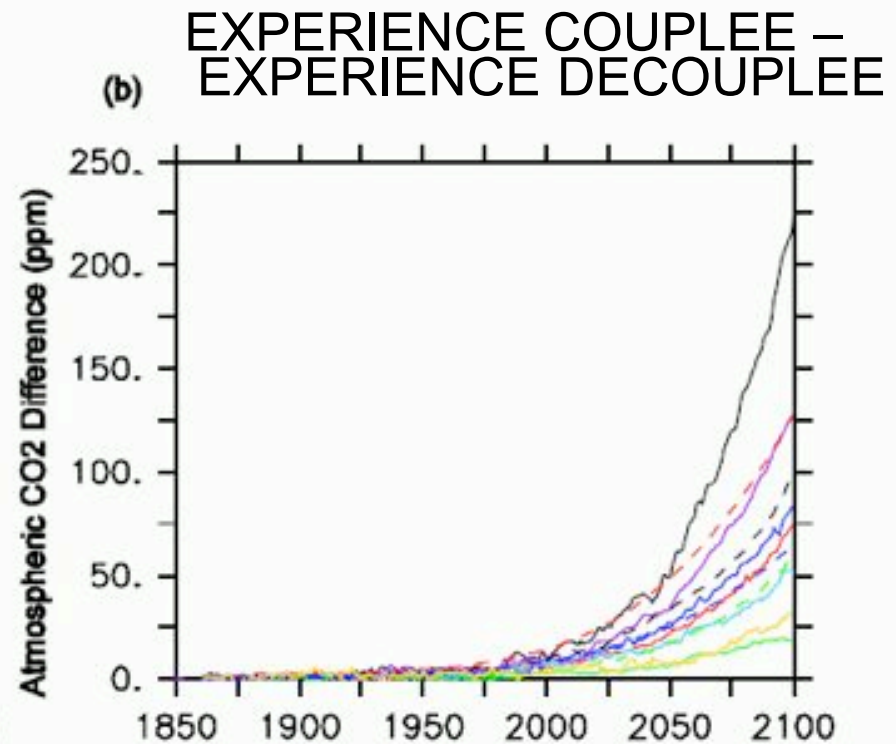
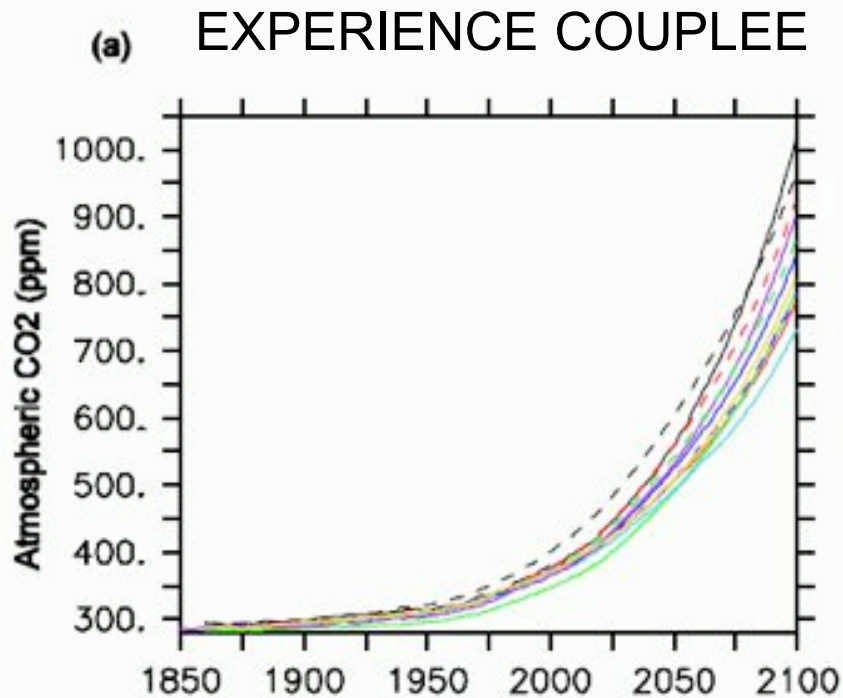
EXPERIENCE COUPLEE

Les écosystèmes et l'océan voient le changement climatique)

EXPERIENCE DECOUPLEE

Les écosystèmes et l'océan ne voient pas le changement climatique

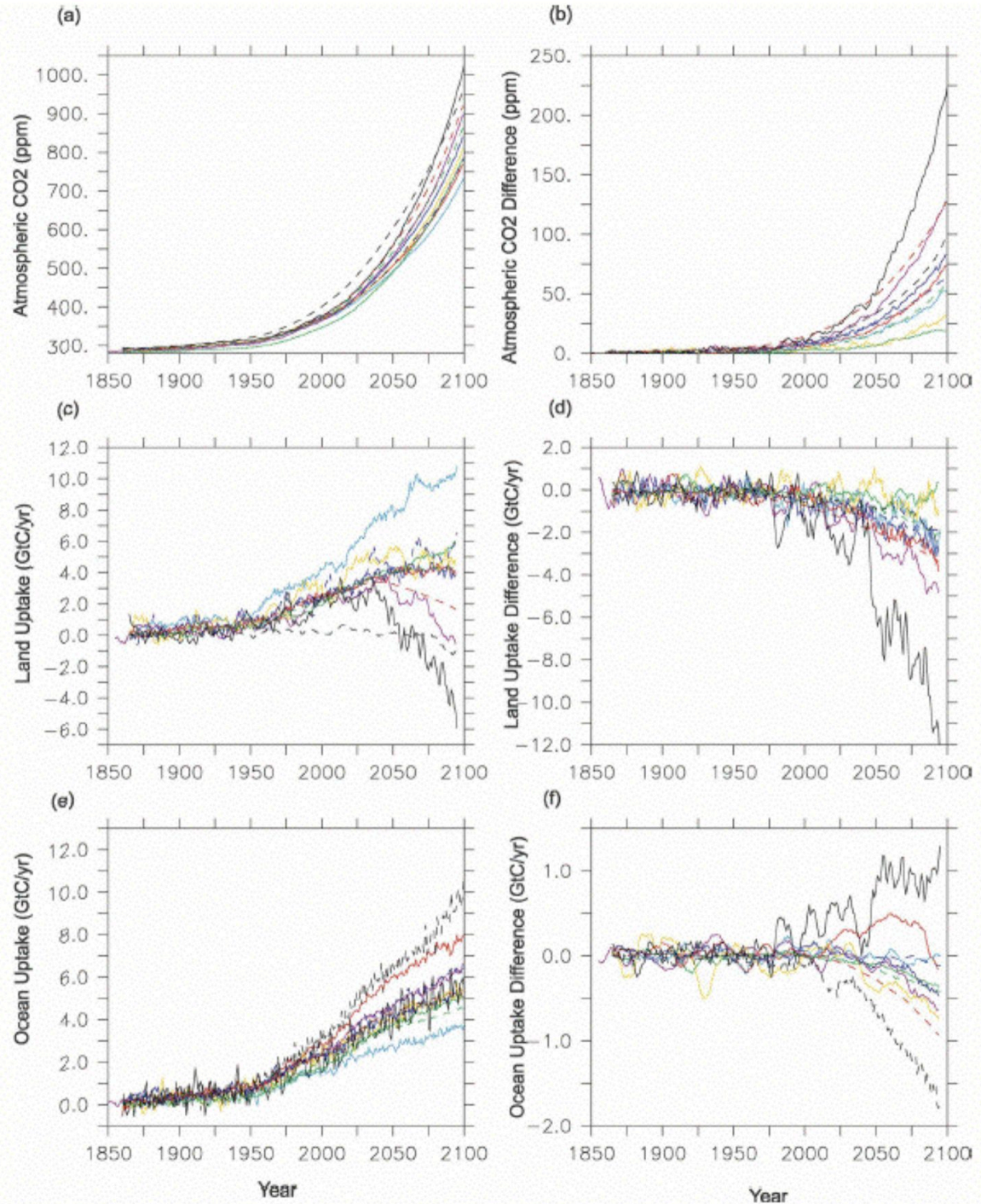
C4MIP



Friedlingstein et al. (2006)



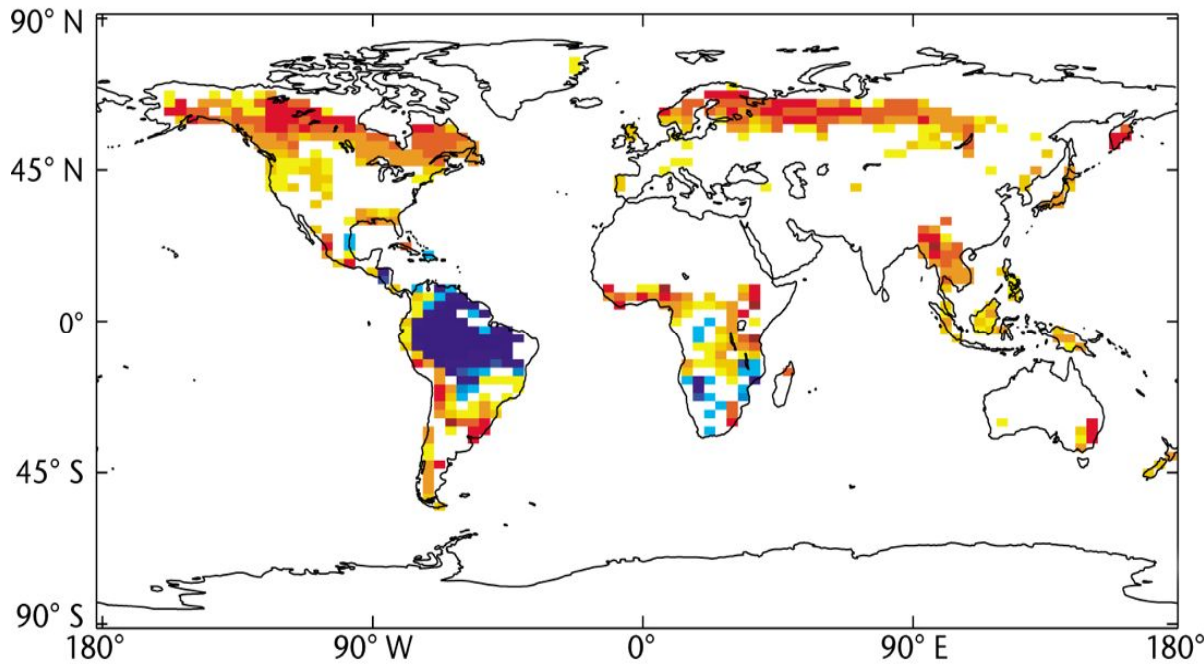
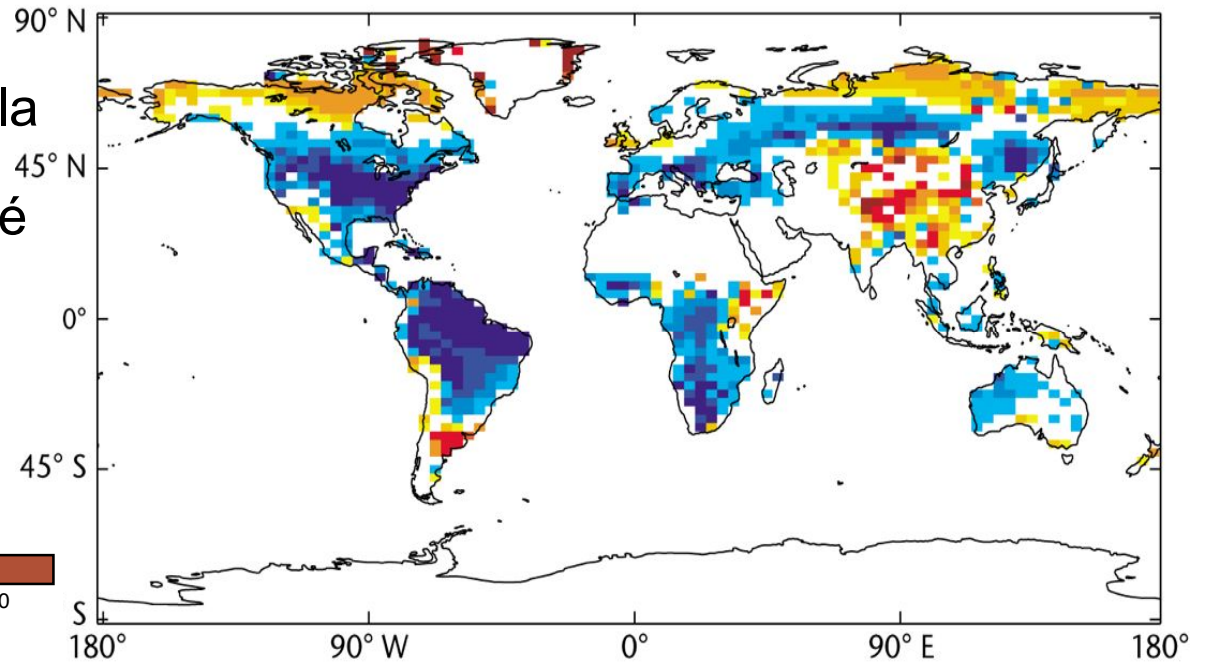
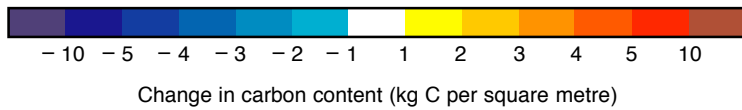
C4MIP



Friedlingstein
et al. (2006)



Différence de la quantité de carbone stocké dans le sol (1860–2100)

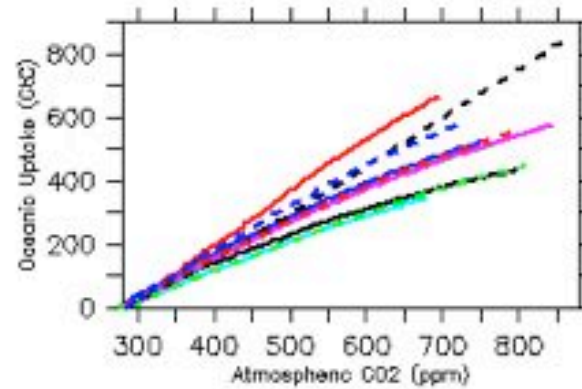
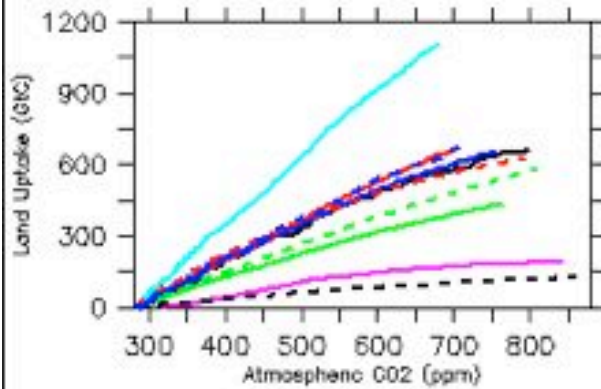


Différence de la quantité de carbone stocké dans la végétation (1860–2100)



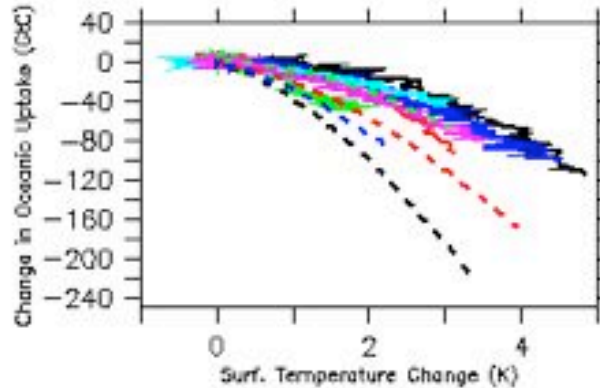
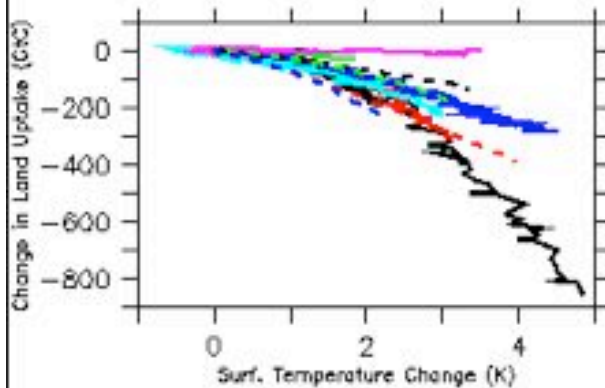
Analyse de sensibilité

Sensibilité a la concentration de CO₂



Rétroaction négative

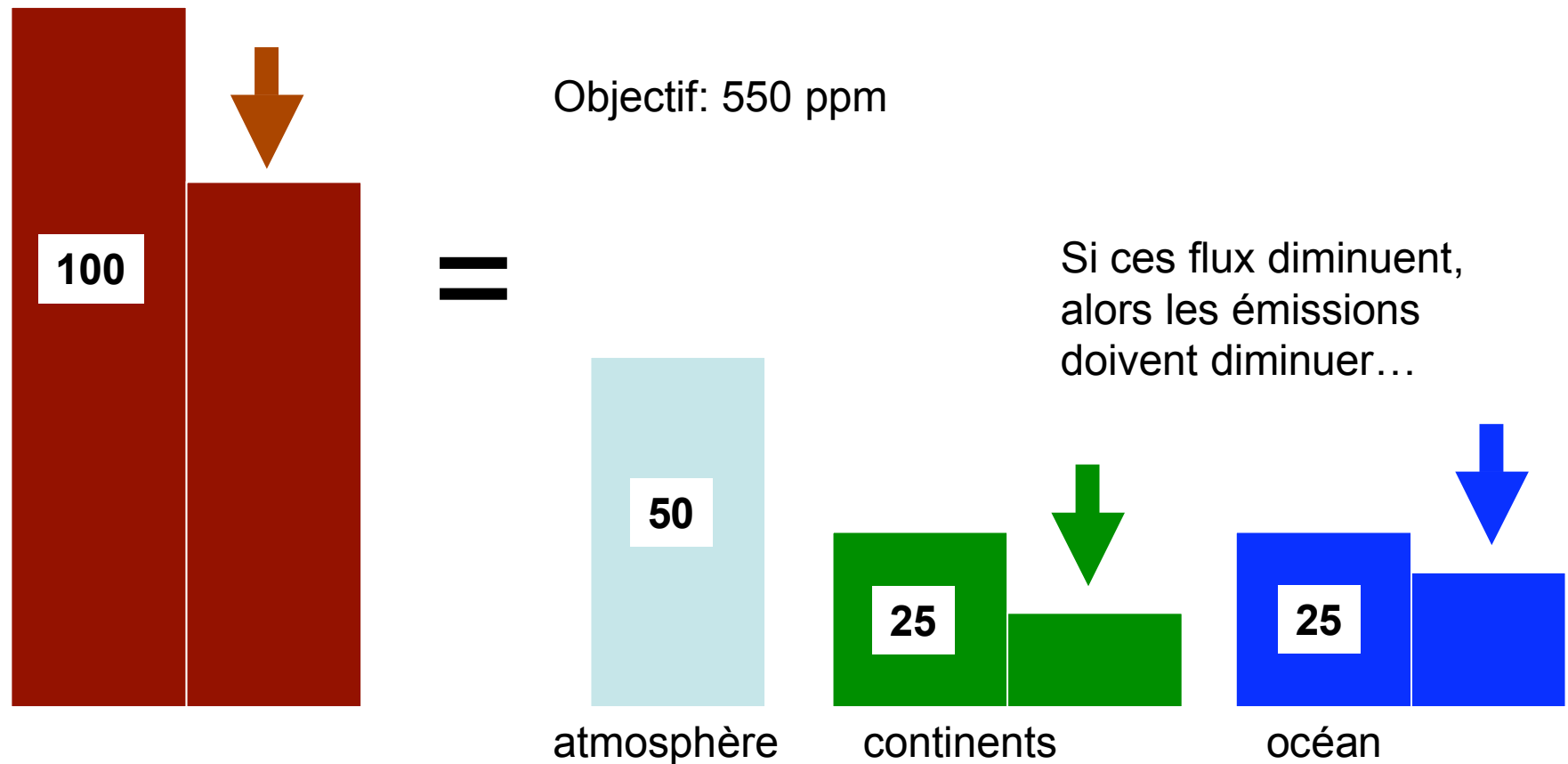
Sensibilité au climat



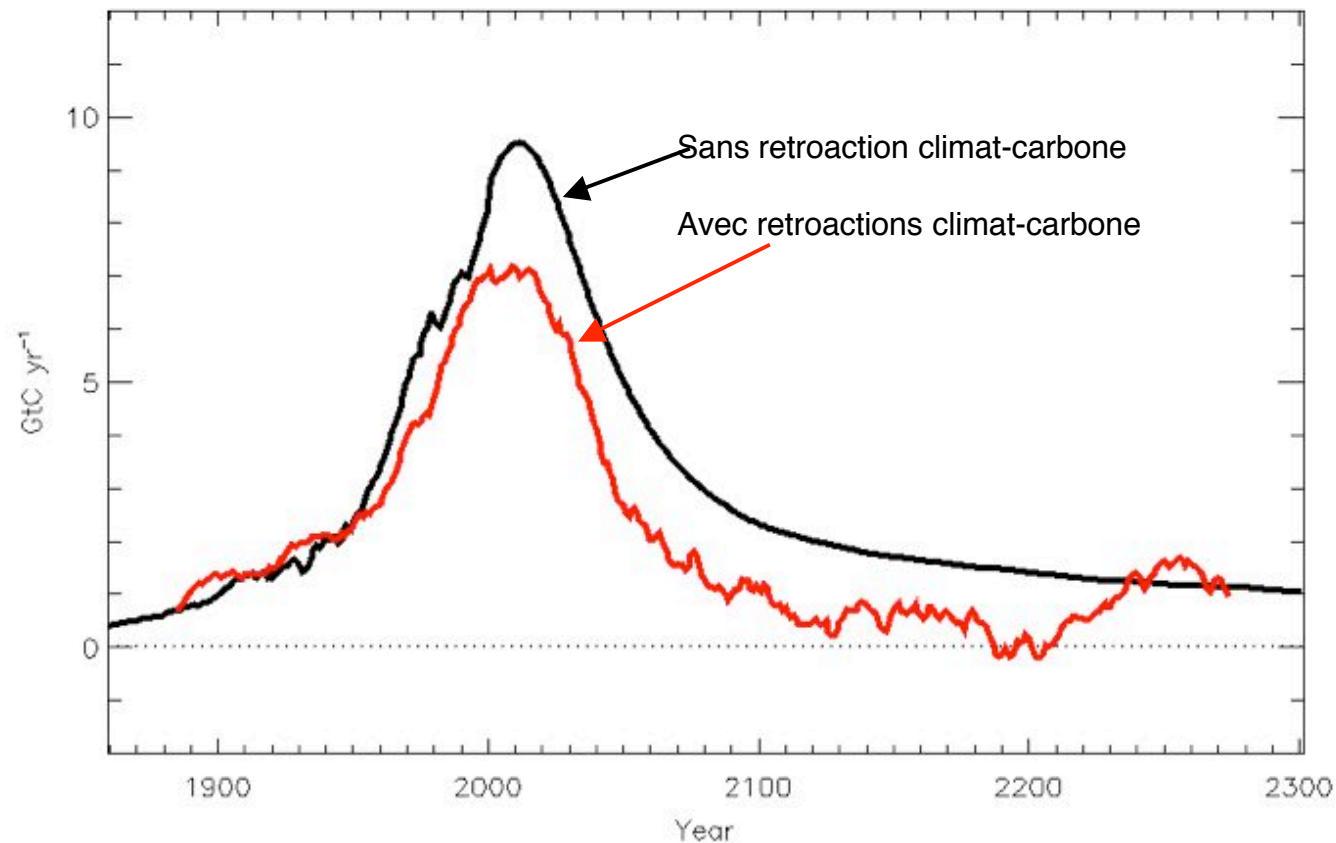
Rétroaction positive

Friedlingstein
et al. (2006)

Objectif : stabiliser le climat

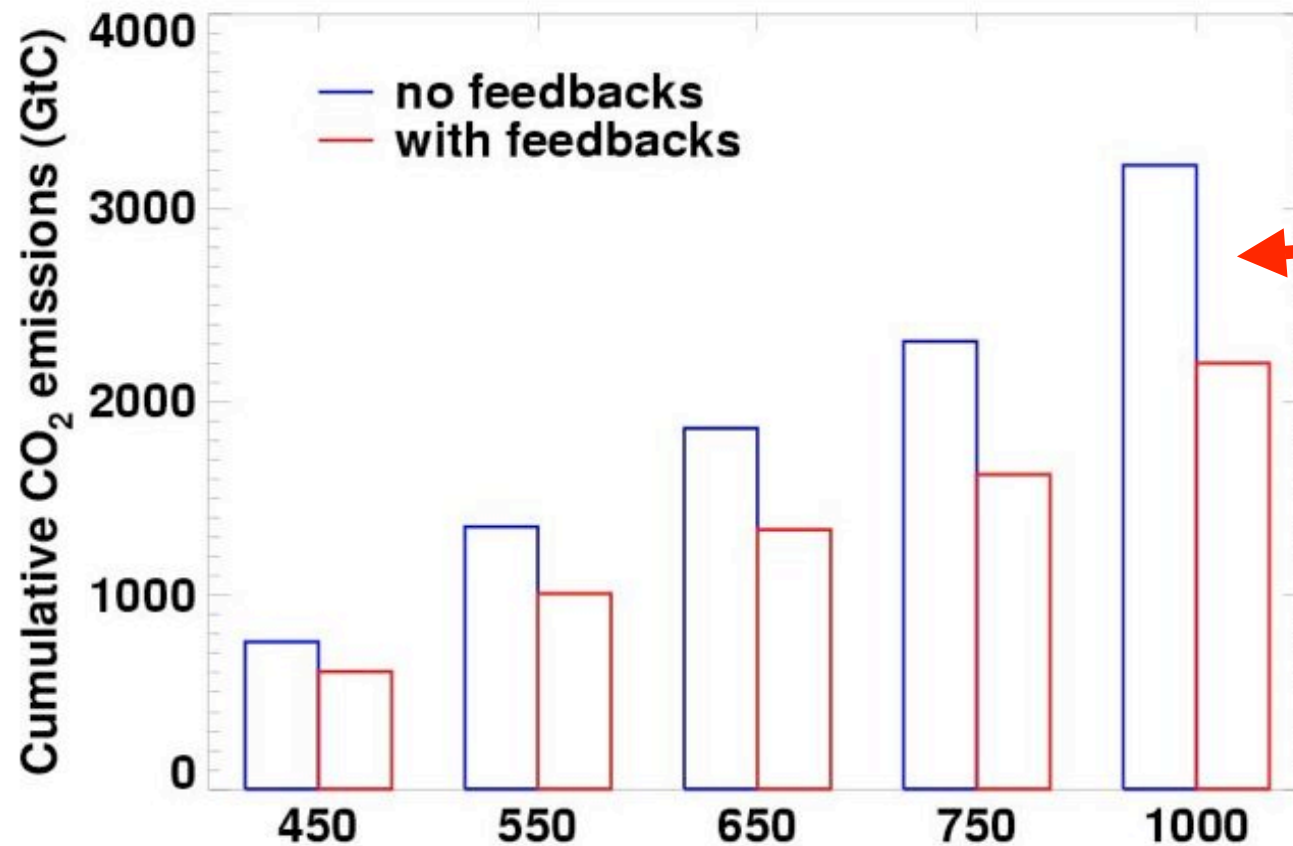


Emissions de CO₂ permissibles pour stabiliser la concentration à 450 ppm



- Les émissions permissibles diminuent
- Le pic est plus faible et doit être atteint plus tôt
- Le cumul des émissions autorisées est moindre

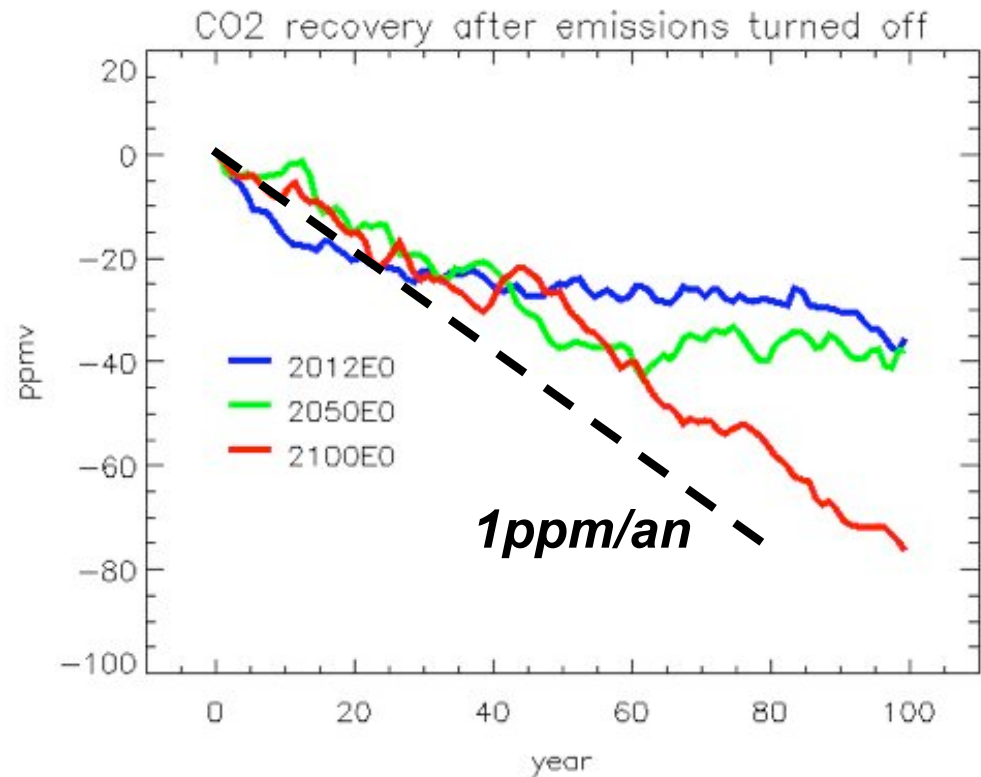
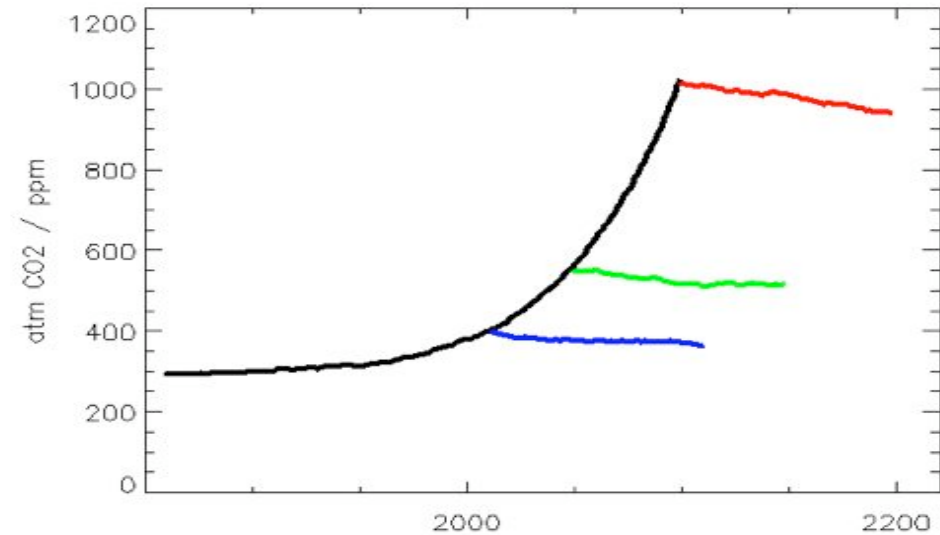
Stabilisation à différents niveaux



La réduction est d'autant plus importante que le niveau de stabilisation est élevé.

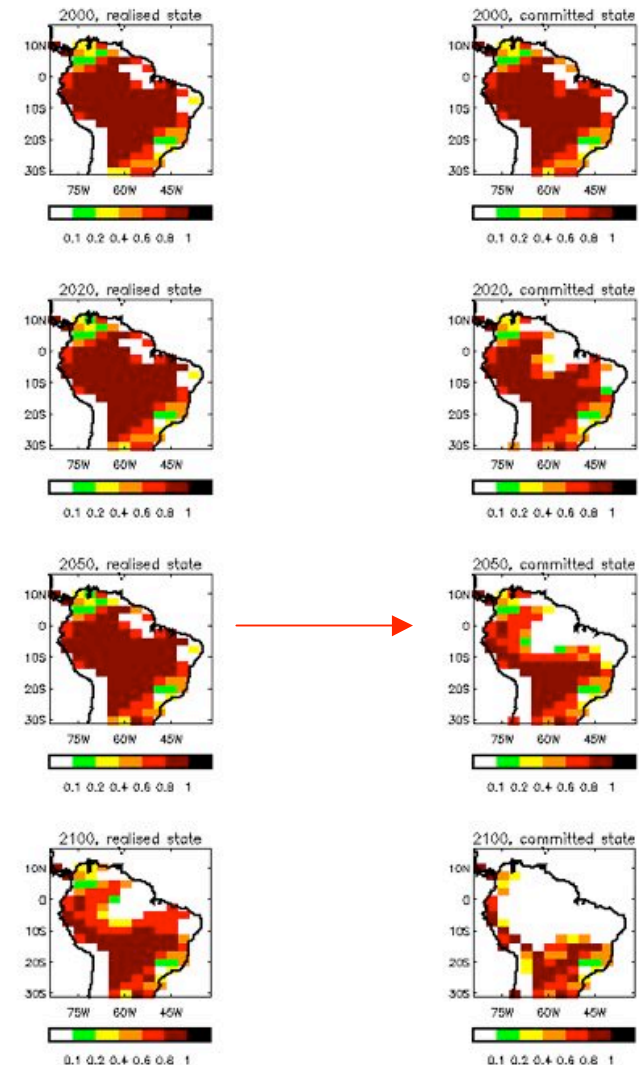
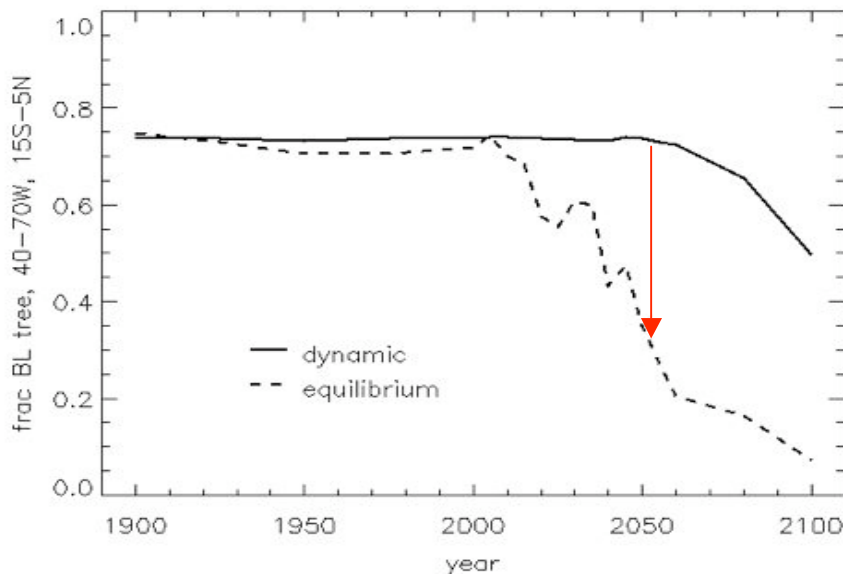
Diminution de la concentration de CO₂ si les émissions deviennent nulles

- Taux de récupération relativement constant sur les 50 premières années
- Le taux maximum de récupération est de 1 ppm/an → implication pour les politiques d'atténuation du climat



Inévitabilité des impacts sur les écosystèmes dans HadCM3LC

Une série d'expériences ont été menées avec HadCM3LC pour caractériser la réponse à l'équilibre à différents points dans une simulation du XXI siècle.



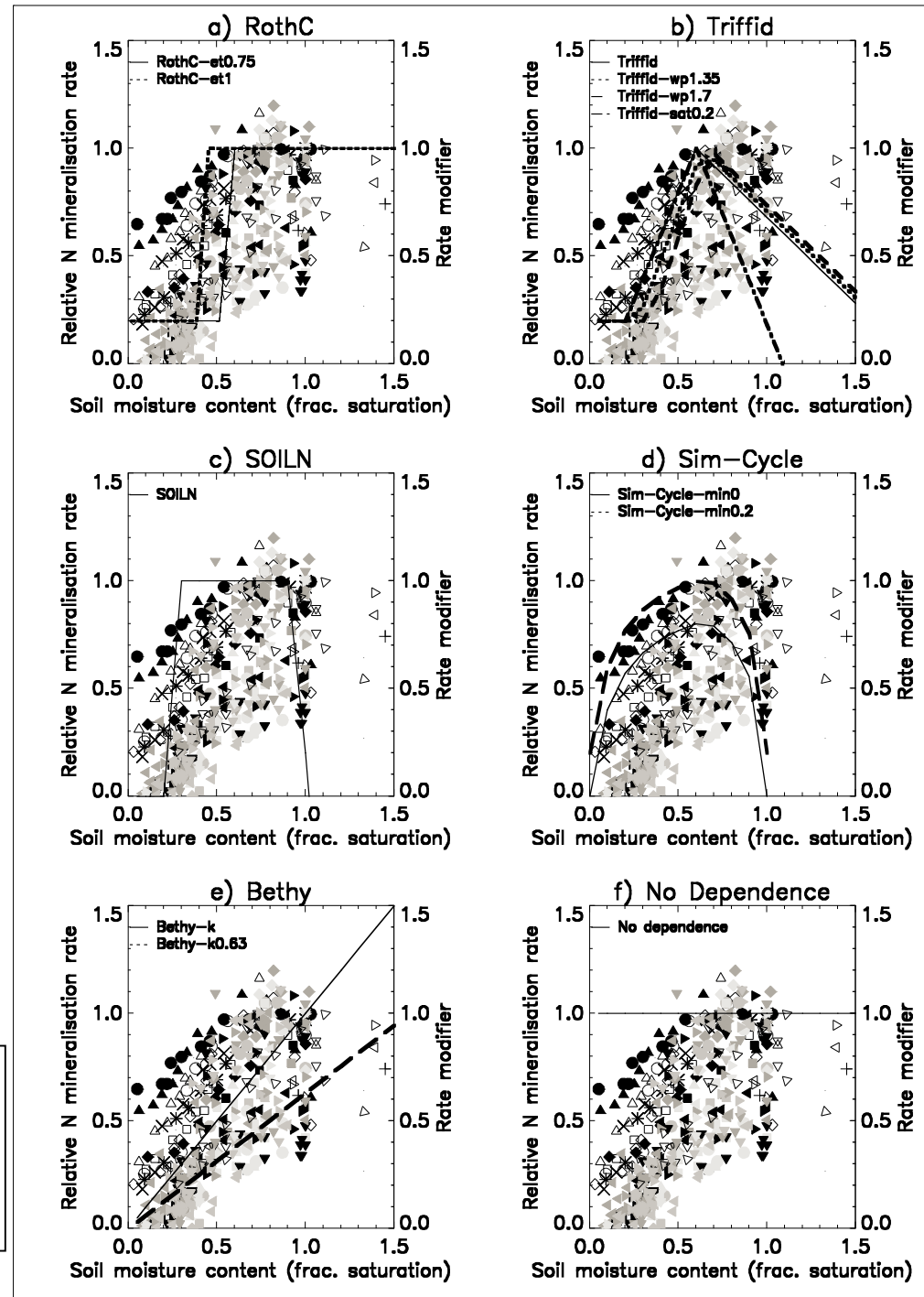


Rétroaction carbone-climat et humidité des sols

- La rétroaction climat-carbone résulte de la réponse de la végétation et du sol à l'augmentation des températures
- Elle dépend de manière critique de la réponse de la respiration du sol au changement climatique
- La sensibilité du carbone contenu dans les sols à la température est relativement bien compris
- En revanche la sensibilité du carbone contenu dans les sols à l'humidité et au changement d'humidité est mal connu
- *Quel est l'impact de différentes relations entre la respiration et l'humidité des sols dans la rétroaction carbone-climat ?*

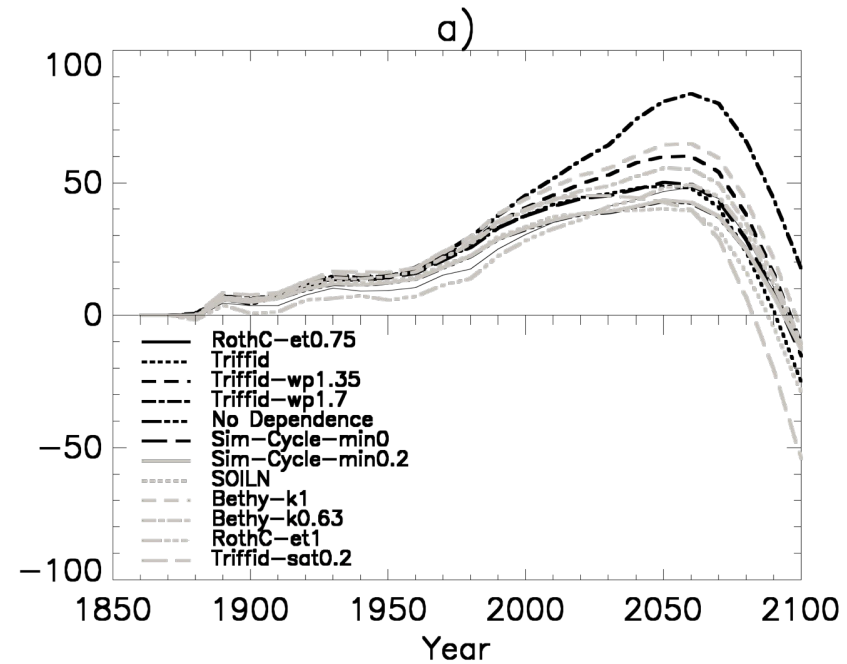
Respiration des sols en fonction de l'humidité des sols. Comparaison à des observations du taux de minéralisation en azote.

*Falloon et al.
GBC, soumis,
2007*

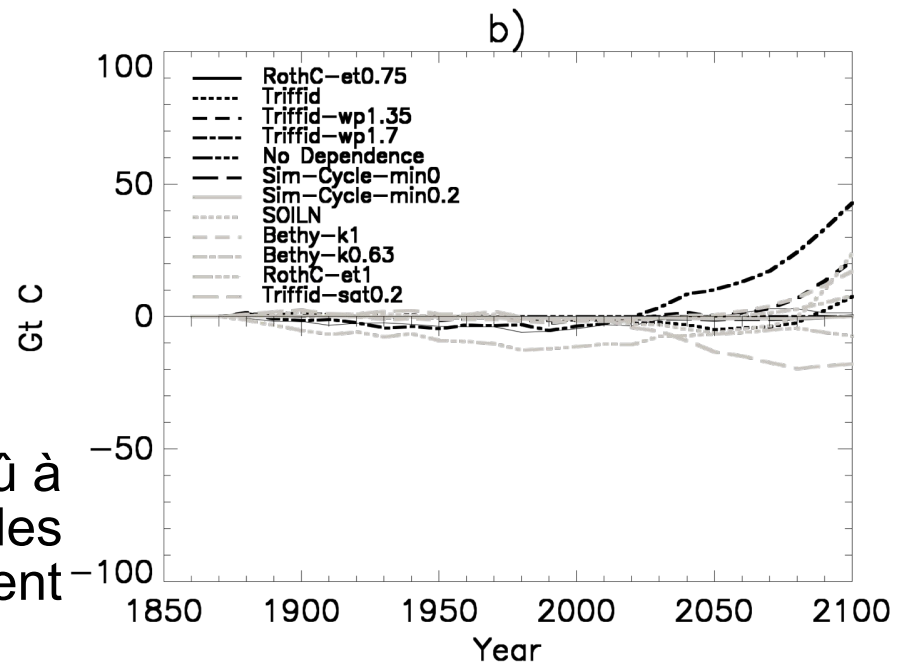


Modification du contenu des sols en C due au changement climatique

Tous les forçages

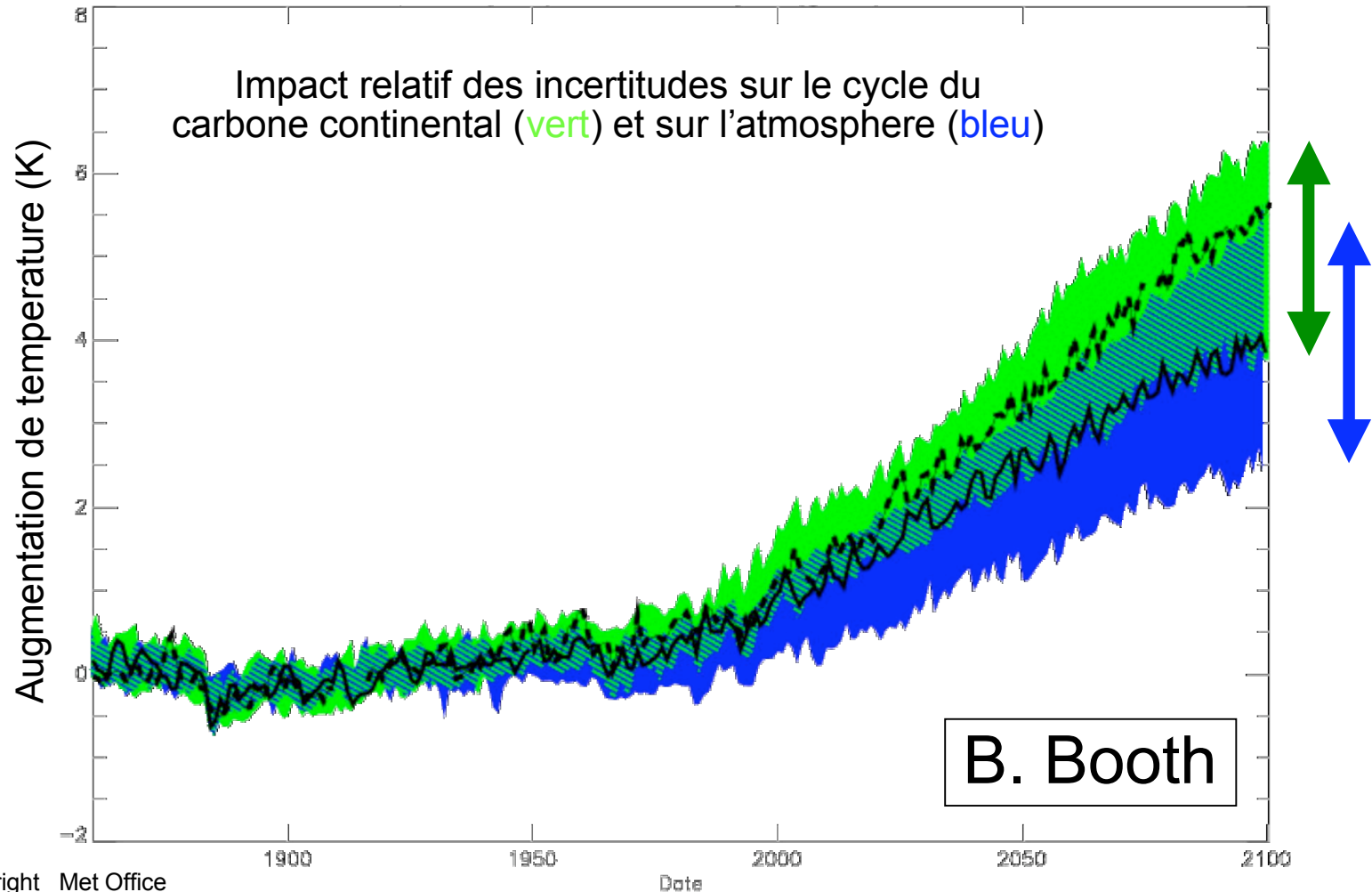


Forçage dû à l'humidité des sols seulement



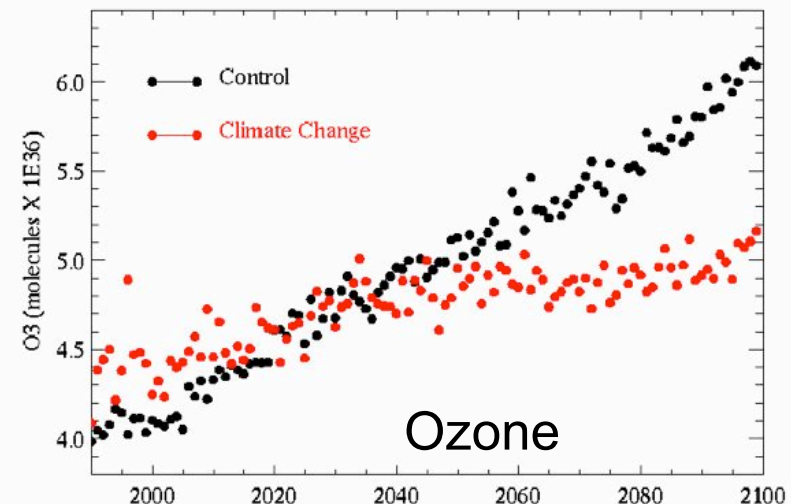
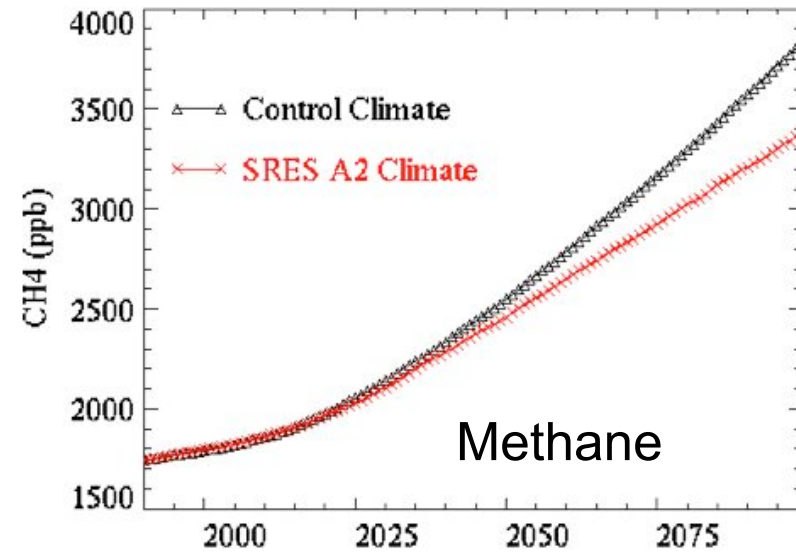
*Falloon et al.
GBC, soumis,
2007*

Incertitudes sur le changement climatique: cycle du carbone vs climat physique



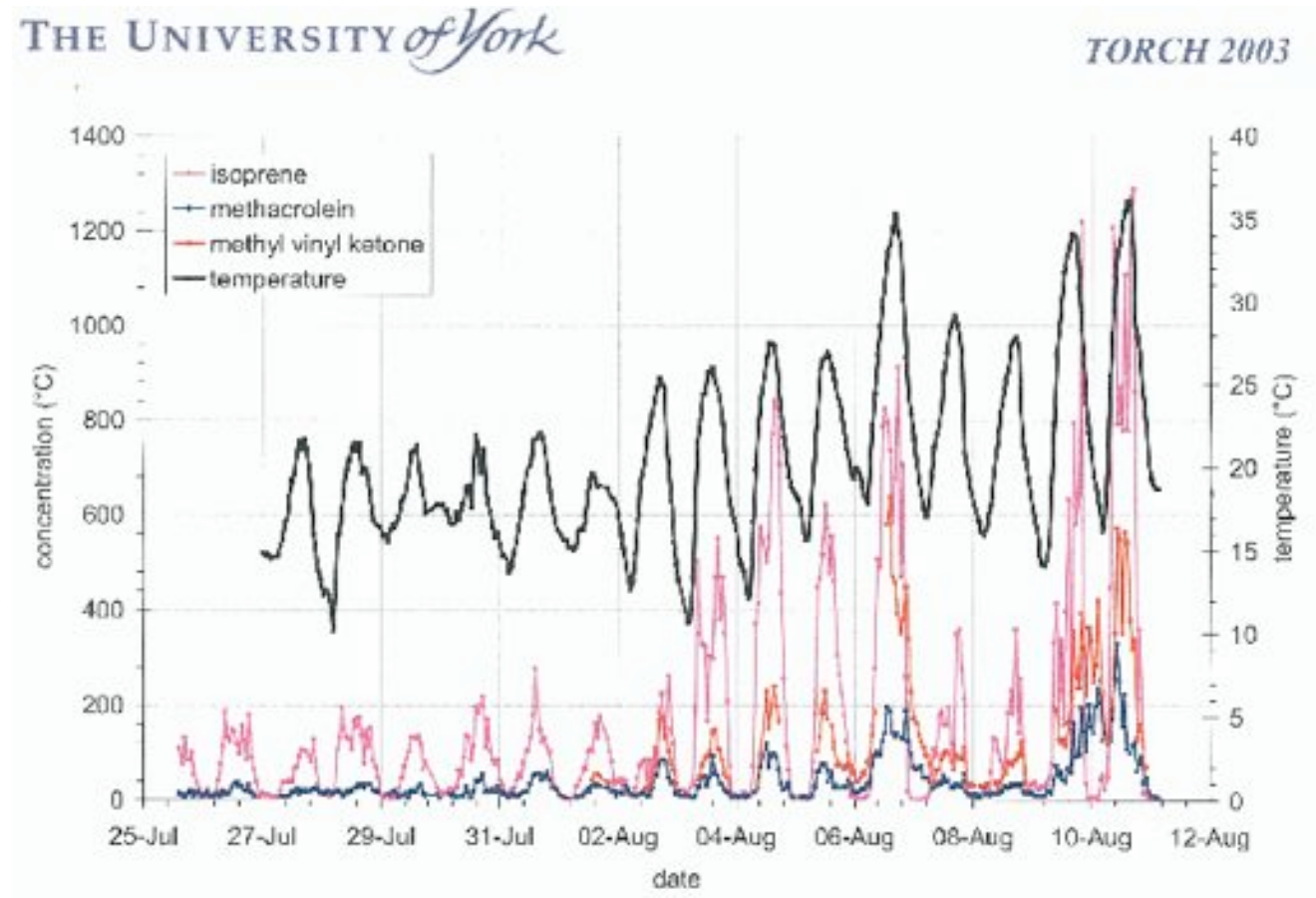
Rétroaction chimie-climat

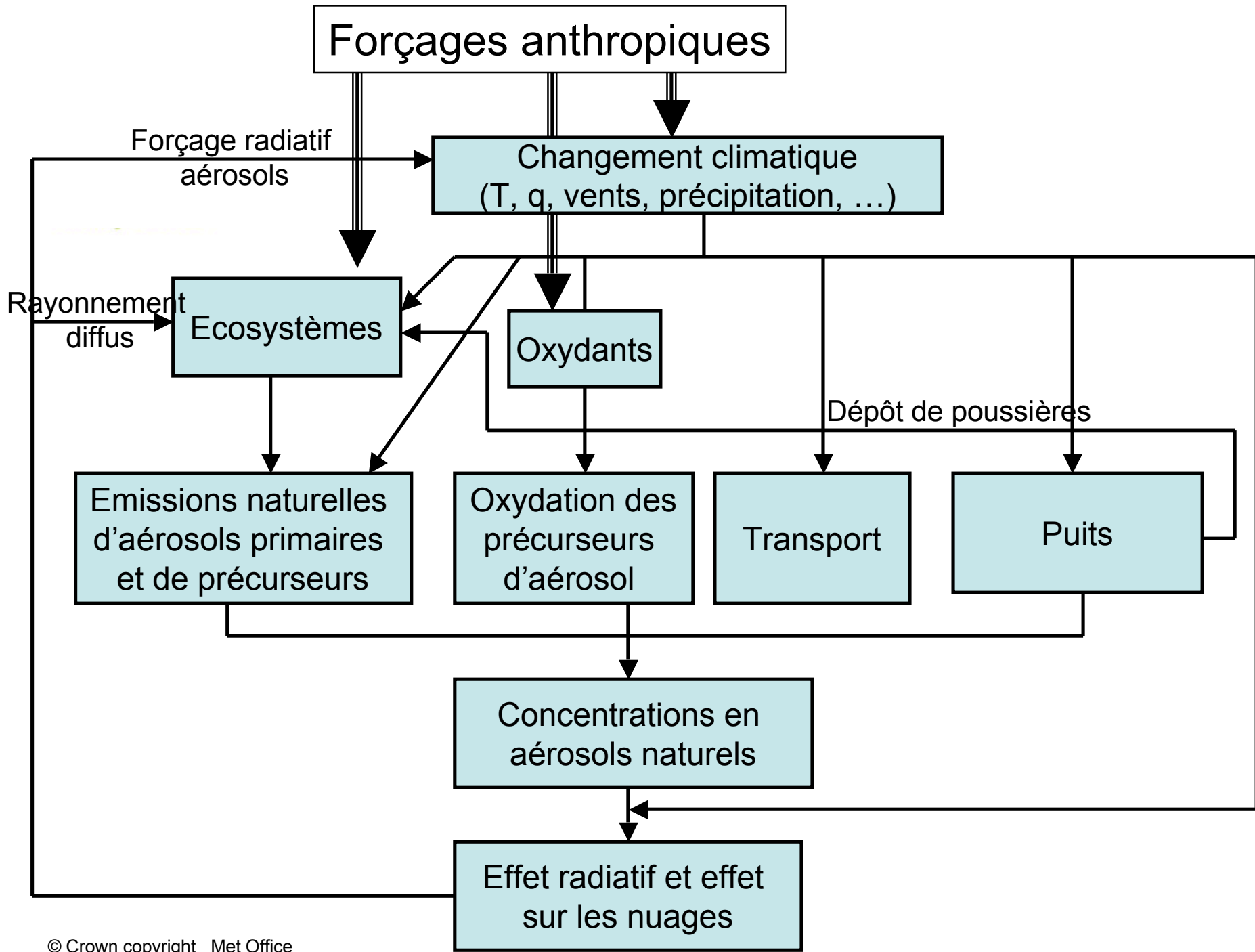
L'augmentation de la température et de la vapeur d'eau dans le futur conduira à une augmentation du taux de destruction du méthane et de l'ozone. Cependant cela pourrait être compensé par une modification des émissions naturelles de méthane et des composés organiques volatils.



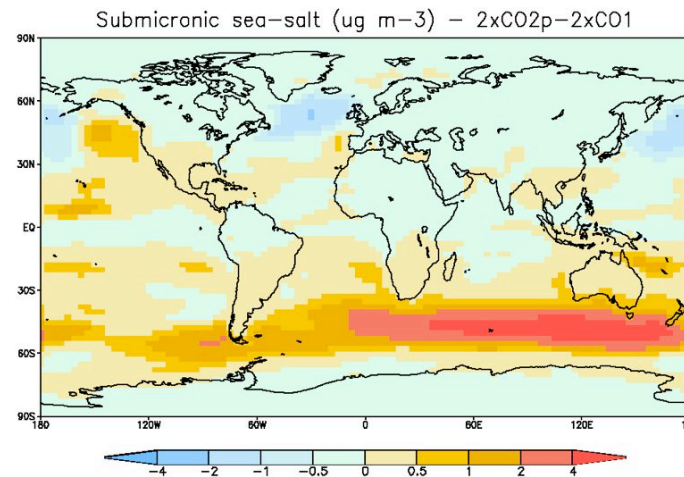
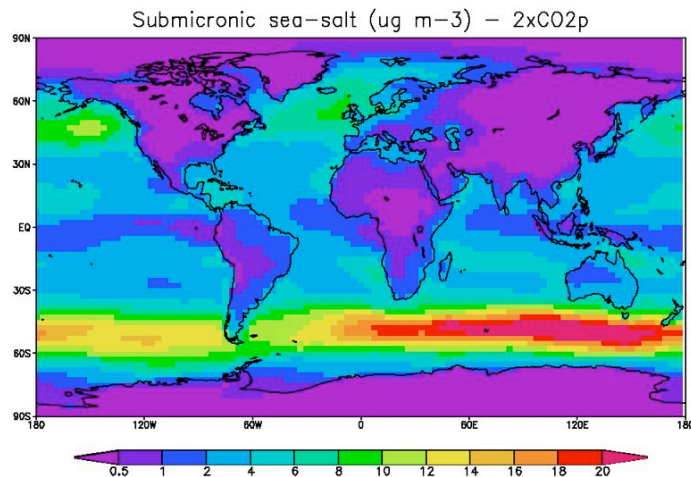
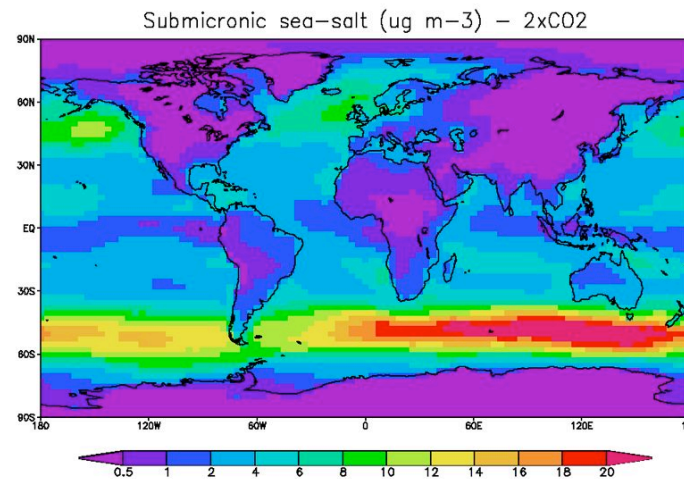
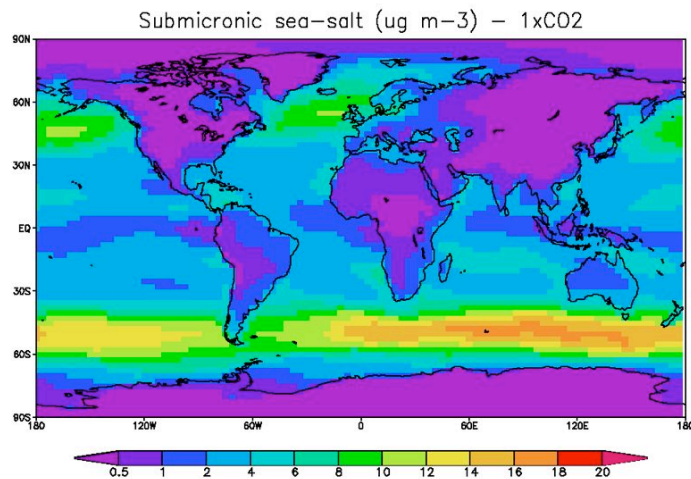
Rétroactions émission-chimie-climat

L'augmentation des températures peut conduire à une augmentation des émissions de composés organiques volatils (comme l'isoprène)





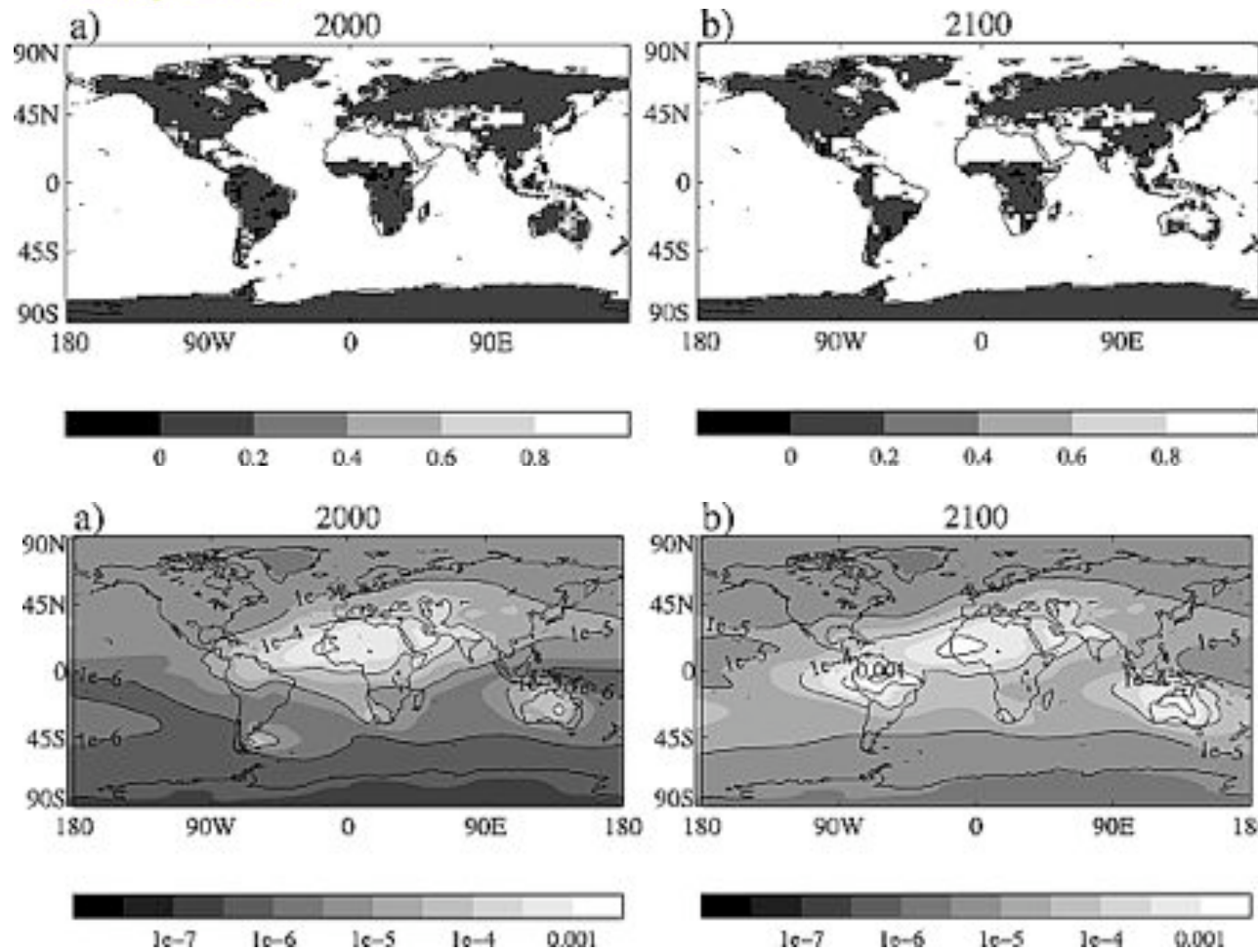
Changement des sels marins dans un climat $2xCO_2$



Les émissions et les puits de sels marins répondent au changement climatique via une modification des vents, du transport et de la précipitation.

Réchauffement dans l'HN, refroidissement dans l'HS. D'où un contraste hémisphérique.

Changement des poussières entre 2000 et 2100

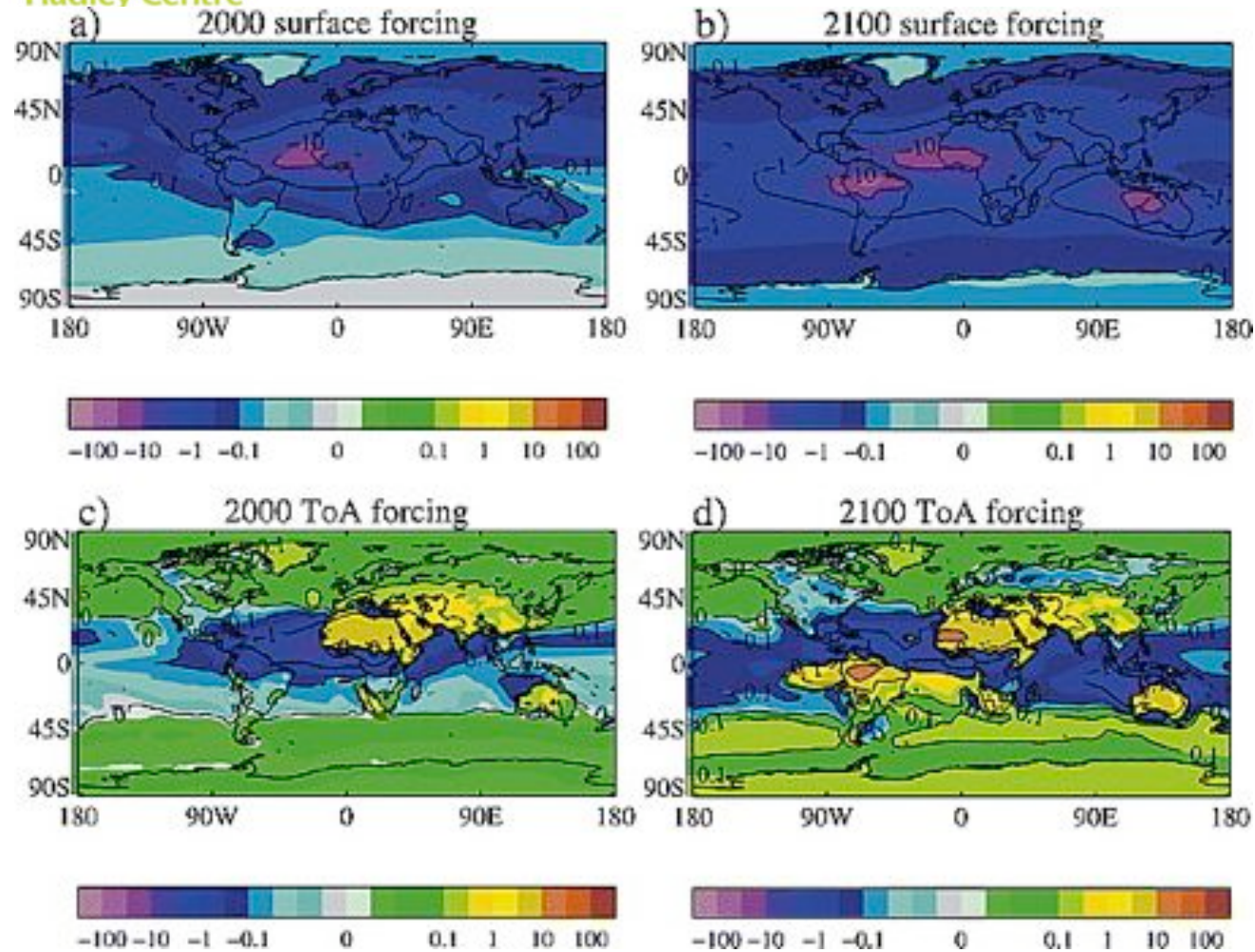


Fraction de sol nu

Colonne de poussières
(kg m⁻²)

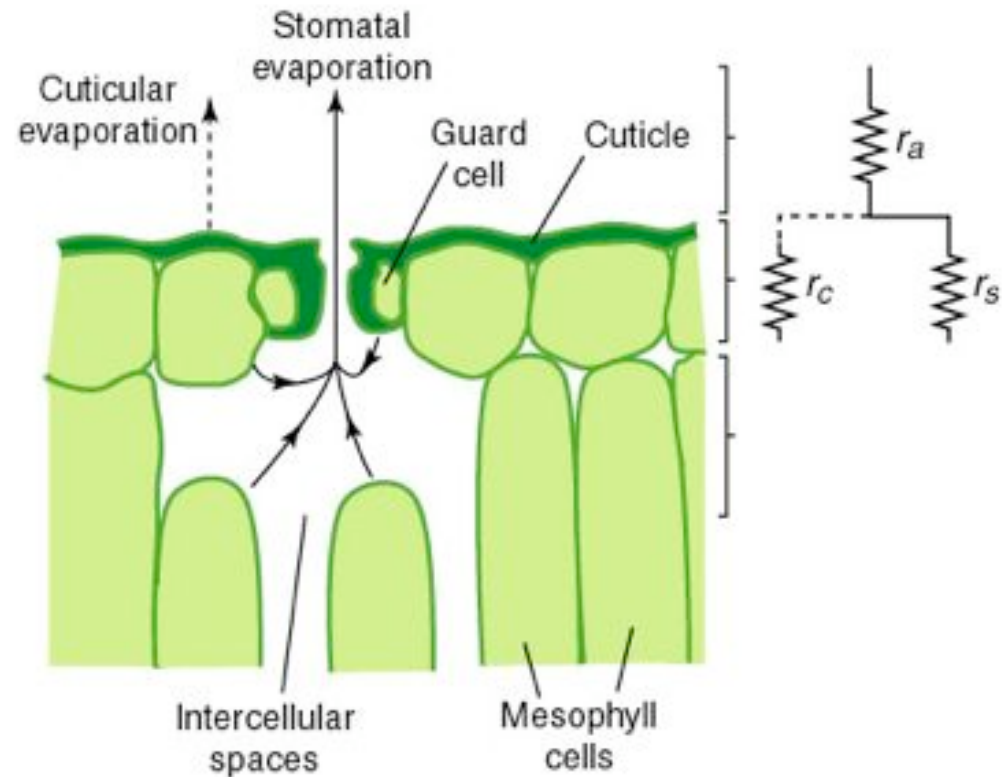
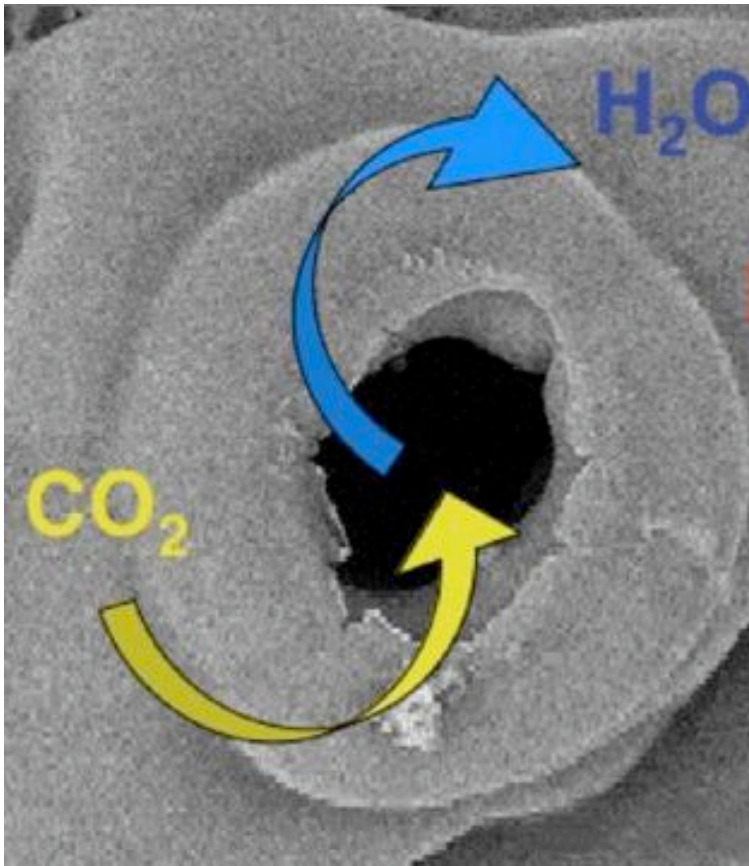
Woodward et al.
GRL, 2005

Changement du forçage radiatif dû aux poussières (2100-2000)



Woodward et al.,
GRL, 2005

Forçage physiologique du CO_2

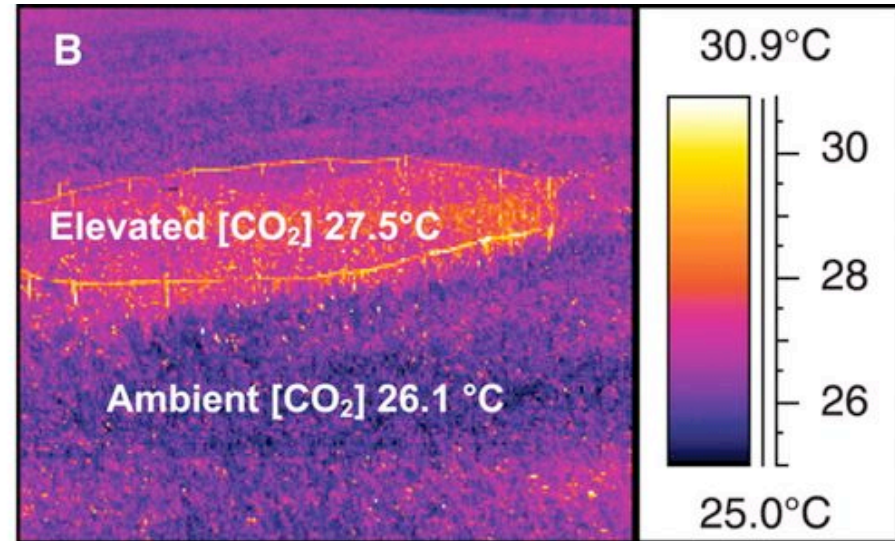


Si la concentration atmosphérique en CO_2 augmente, les plantes peuvent réduire l'ouverture de leur stomates et l'évaporation diminue.

Expérience FACE (Free-Air Carbon Dioxide Enrichment)



Soja



Long et al., Science, 2006

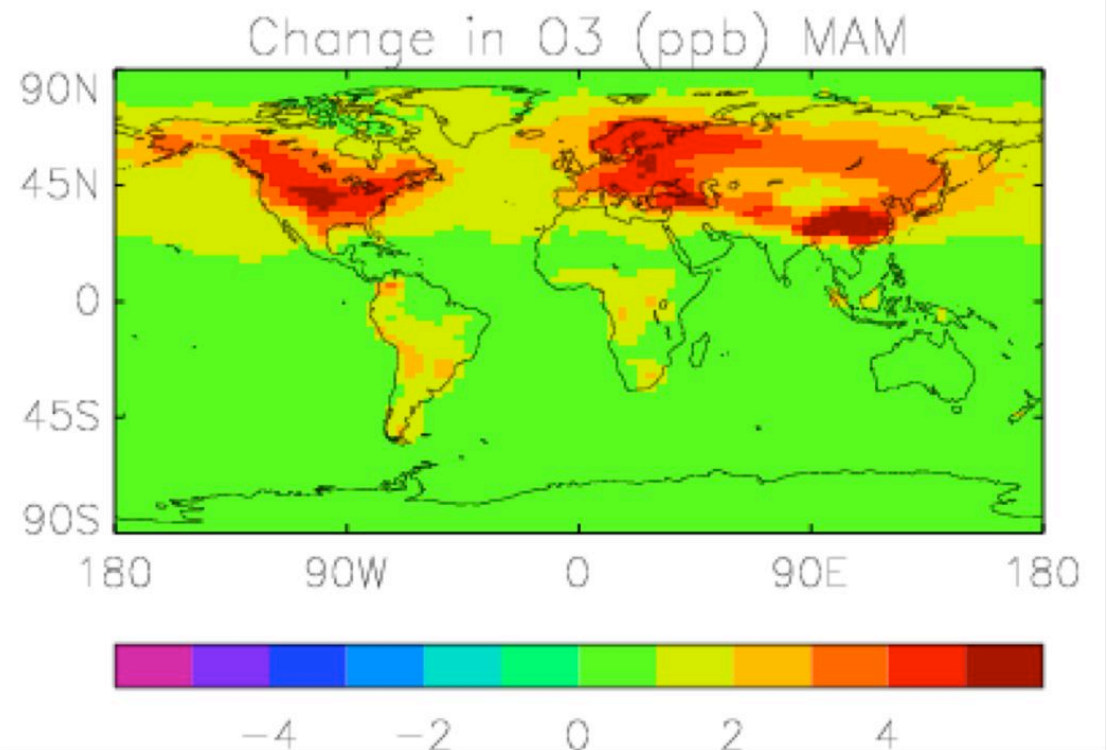
Dioxyde de carbone, stomate et ozone

Plus de CO_2 →

Stomates moins ouvertes →

Dépôt sec d'ozone plus faible →

Concentrations d'ozone plus élevées



Les concentrations d'ozone sont plus élevées de 8 ppbv au printemps si le dépôt sec est calculé pour $2\times\text{CO}_2$.

L'ozone abîme les plantes



Lésions



Décoloration

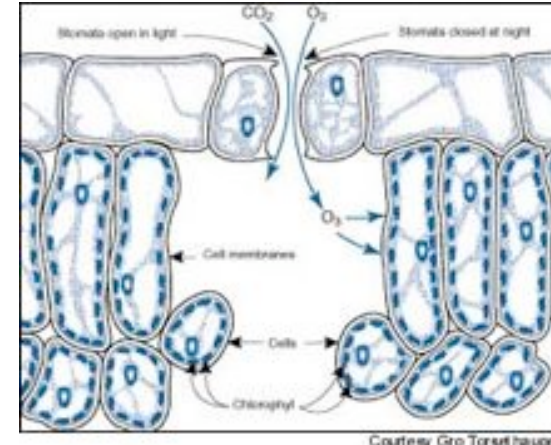
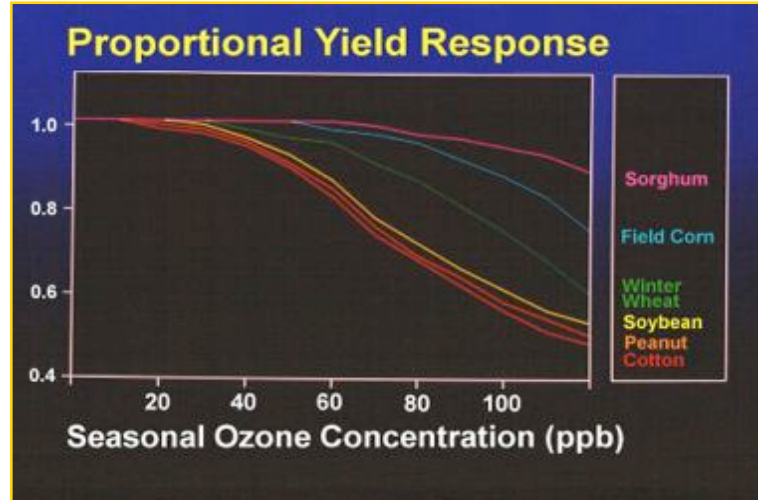
Chlorose



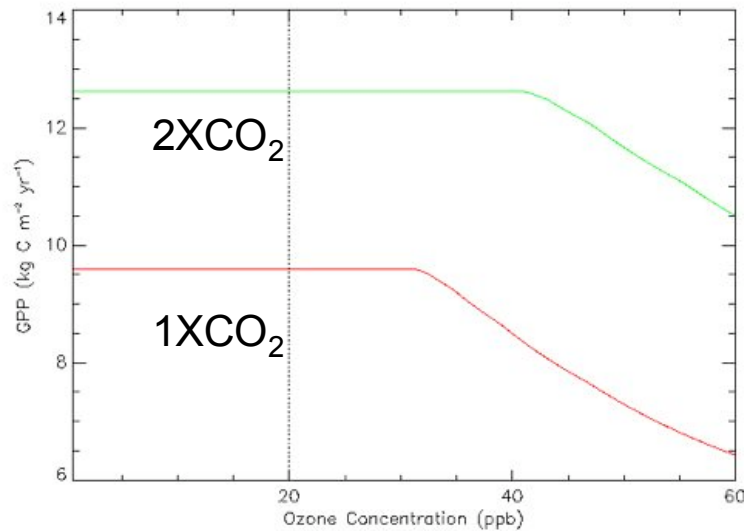
Baisse de productivité –
jusqu'à 30% en 2020
pour certaines cultures



Impact sur le cycle du carbone



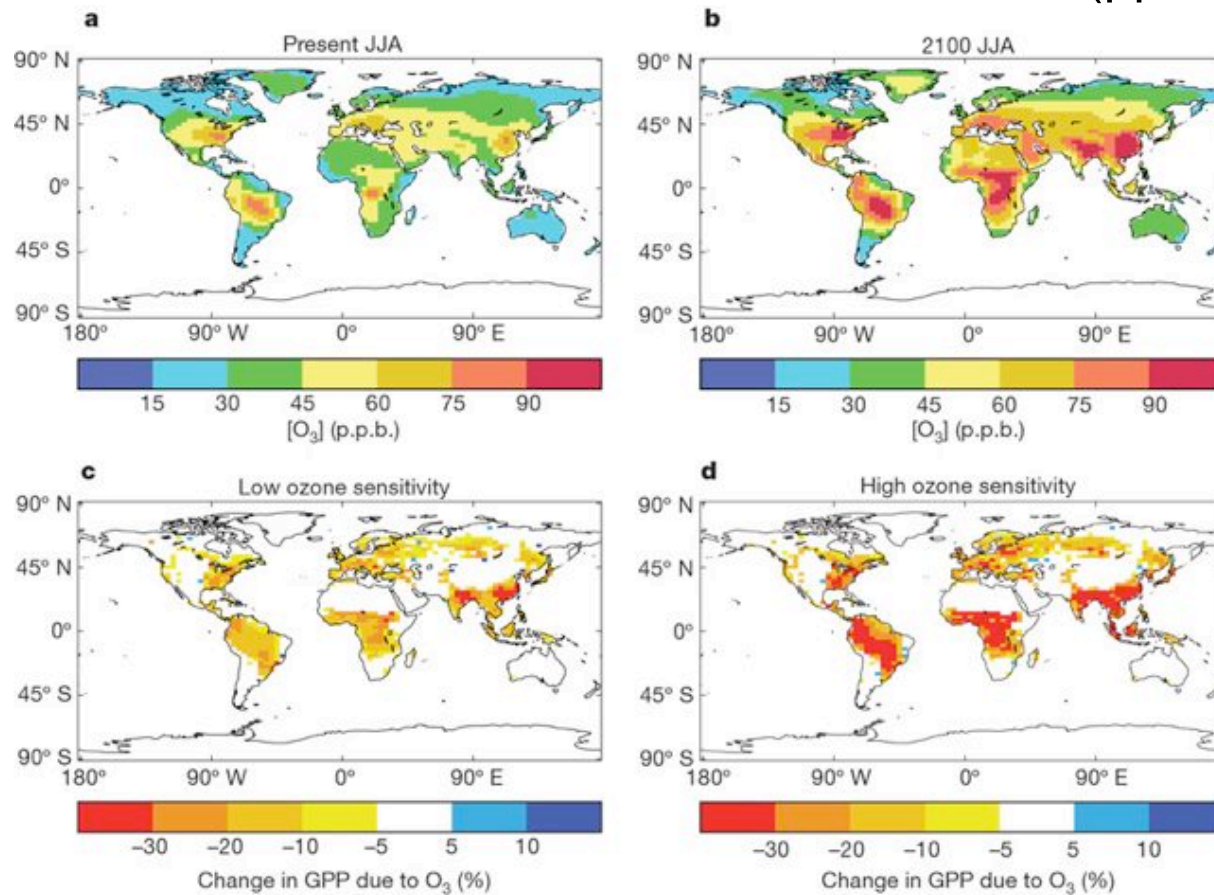
Gross primary productivity



- L'ozone endommage les plantes.
- Ce processus peut être modélisé de manière empirique.
- Le puits continental de CO₂ va être réduit.

Effet indirect de l'ozone sur le cycle du carbone (1)

Concentrations de surface en ozone (ppbv)

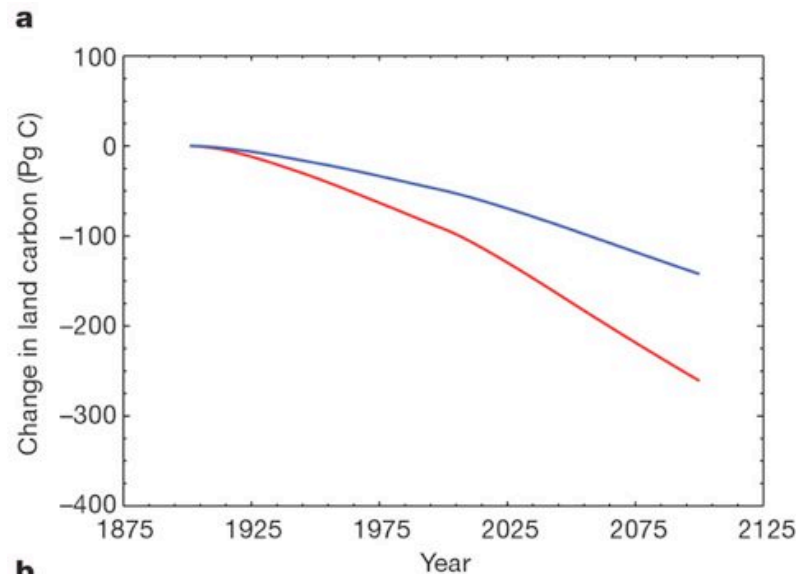


Différence (%) de GPP due à l'ozone (2100-2000)

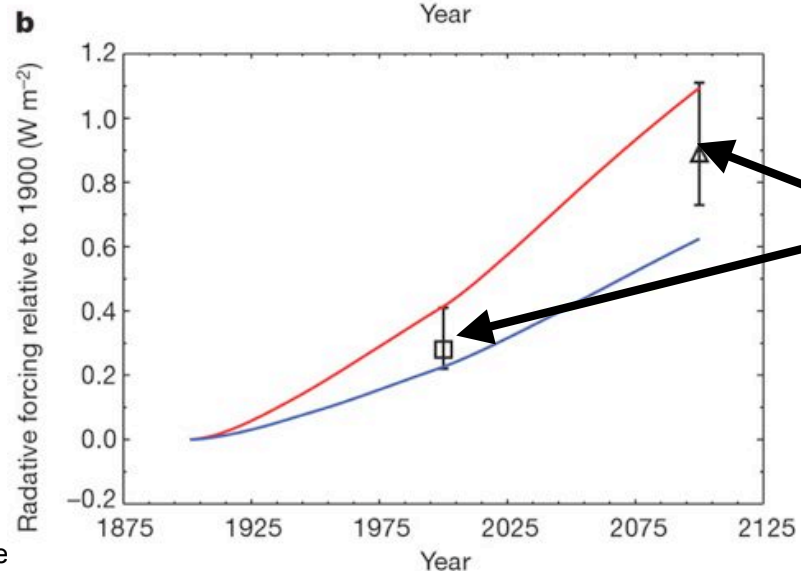
Sitch et al.,
Nature, 2007.

Effet indirect de l'ozone sur le cycle du carbone (2)

Diminution du carbone stocké (PgC)



Forçage radiatif indirect par l'ozone (Wm^{-2})

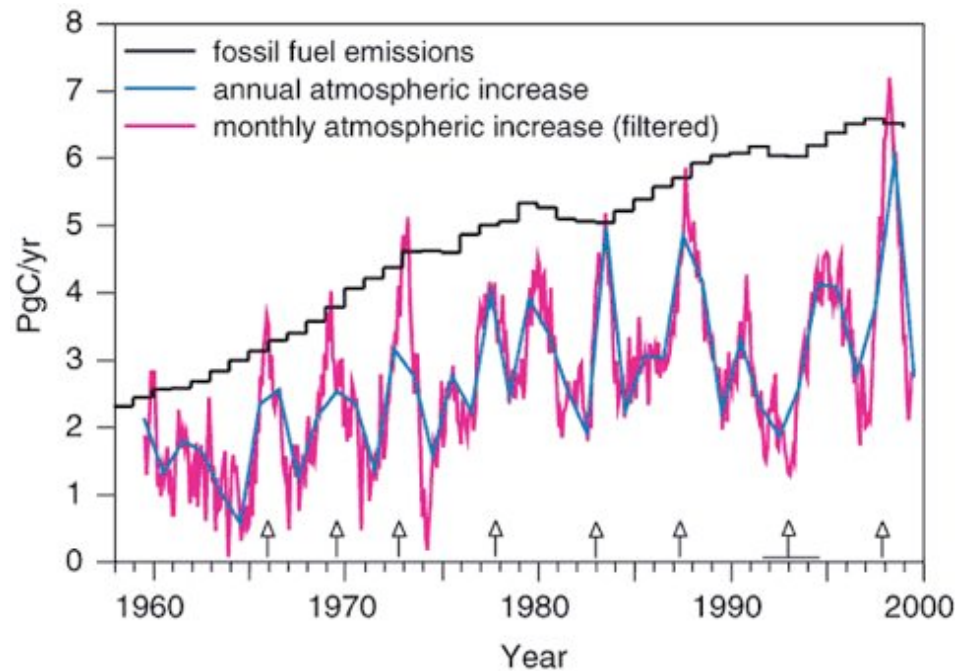


Forçage radiatif direct par l'ozone (Wm^{-2})

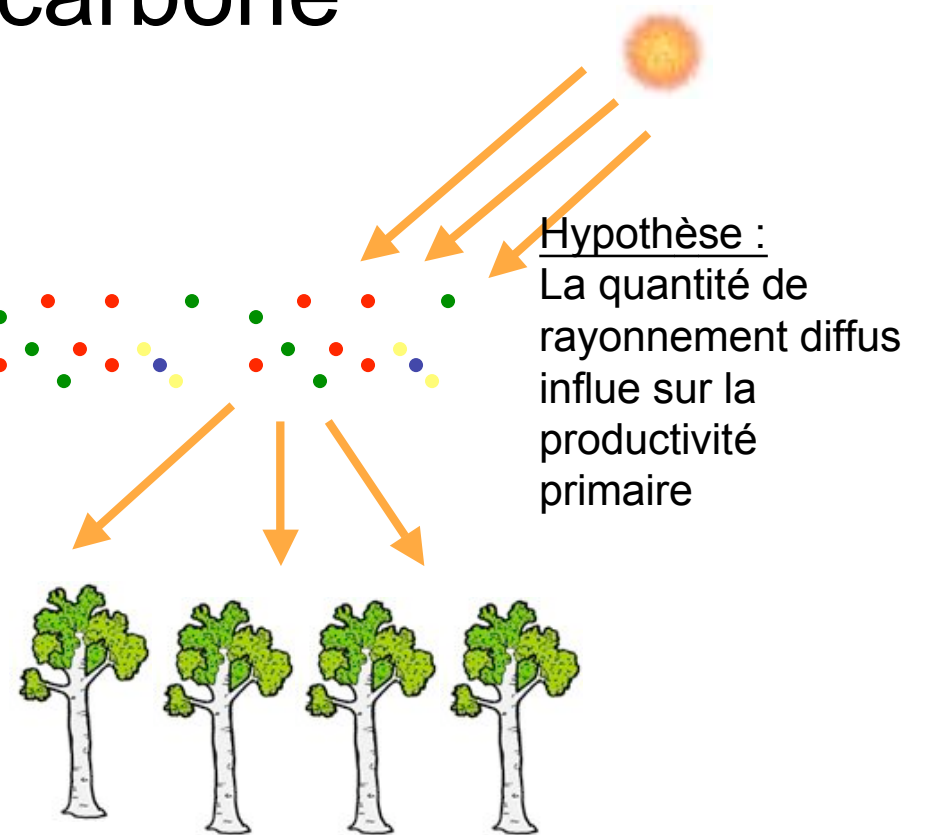
Sitch et al.,
Nature, 2007.

Impact des aérosols sur le cycle du carbone

Variabilité interannuelle du puits continental



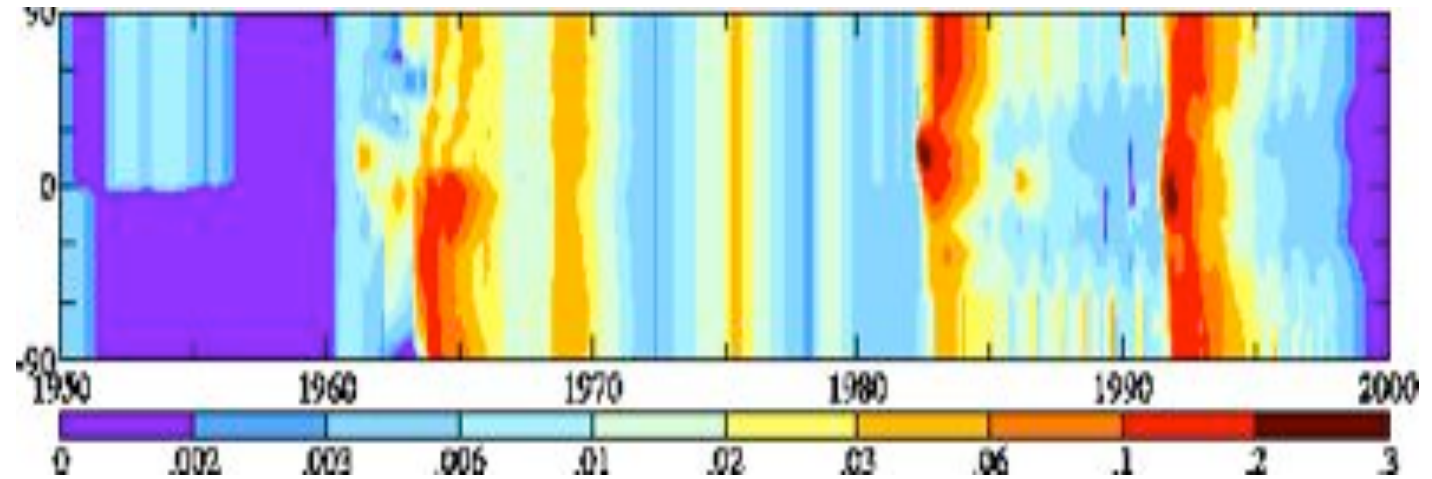
Hypothèse : une partie de la variabilité est due aux aérosols stratosphériques



Si c'est le cas il a pu y avoir une influence des aérosols anthropiques sur le cycle du carbone du Xxième siècle.

Aérosols stratosphériques

Epaisseur optique à 550 nm (moyenne zonale)

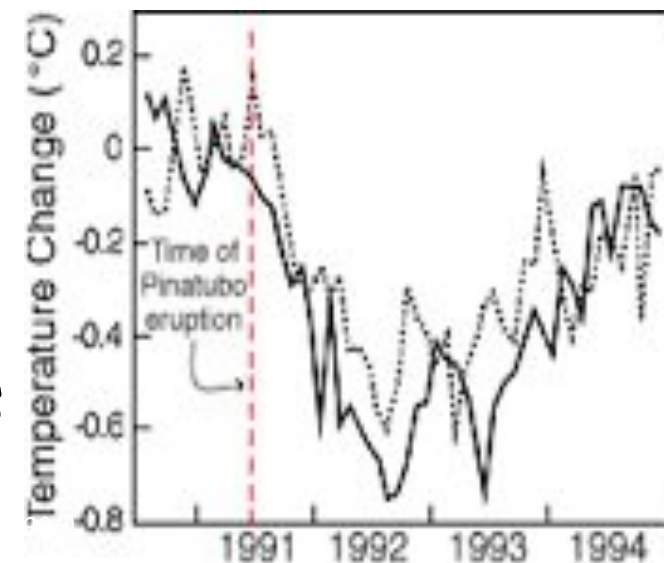


Eruption Pinatubo en 1991

Augmentation des aérosols
stratosphériques

Augmentation du rayonnement diffus

Refroidissement temporaire





Conclusions

Les modèles de système Terre offre une nouvelle opportunité d'étudier les rétroactions climatiques impliquant les cycles biogéochimiques.

La validation des modèles est difficile. La validation des processus responsables des rétroactions reste très parcellaire.

Au premier ordre:

- Peu de rétroactions négatives
- Les rétroactions n'impliquant pas le cycle du carbone sont faibles



Merci pour votre attention.

Questions?

olivier.boucher@metoffice.gov.uk