

# Une nouvelles approche des rétroactions climatiques

Quentin Libois

Encadrement: A. Lahellec et J.-L. Dufresne (LMD)

26 Octobre 2011

- 1 Introduction
- 2 Quantification et attribution des rétroactions climatiques
- 3 L'analogie électrique
- 4 Discussion

- 1 Introduction
- 2 Quantification et attribution des rétroactions climatiques
- 3 L'analogie électrique
- 4 Discussion

- 1 Introduction
- 2 Quantification et attribution des rétroactions climatiques
- 3 L'analogie électrique
- 4 Discussion

- 1 Introduction
- 2 Quantification et attribution des rétroactions climatiques
- 3 L'analogie électrique
- 4 Discussion

# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Quantification et attribution des rétroactions climatiques
- 3 L'analogie électrique
- 4 Discussion



# Les objectifs

- Apporter un regard critique sur la manière de traiter des rétroactions dans le climat
- Proposer une nouvelle approche en s'appuyant sur l'étude parallèle des 2 expériences

# Le paramètre $\lambda$

## Le bilan TOA (moyenne globale)

$$N = \Delta Q - \lambda \Delta T_s$$

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

$$\Delta Q = \lambda_p \Delta T_0$$

$$\Delta T_s = f \Delta T_0$$

## Les différents termes

$\Delta Q$ : forçage radiatif ( $CO_2$  et réponses rapides)

$\Delta T_s$ : variation de la température de surface

$N$ : bilan net Top of Atmosphere (TOA)

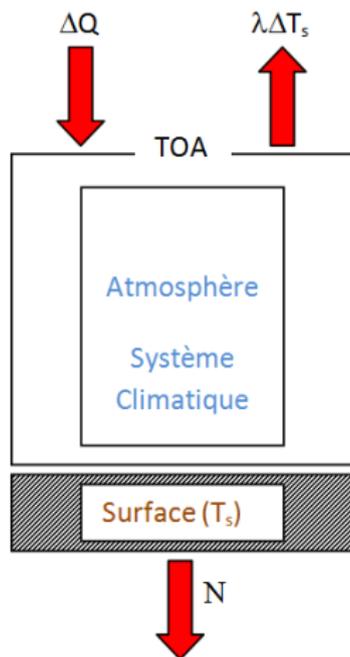


Figure 1: Schéma illustrant les bilans radiatifs

# La méthode de régression (Gregory et al. [2004])

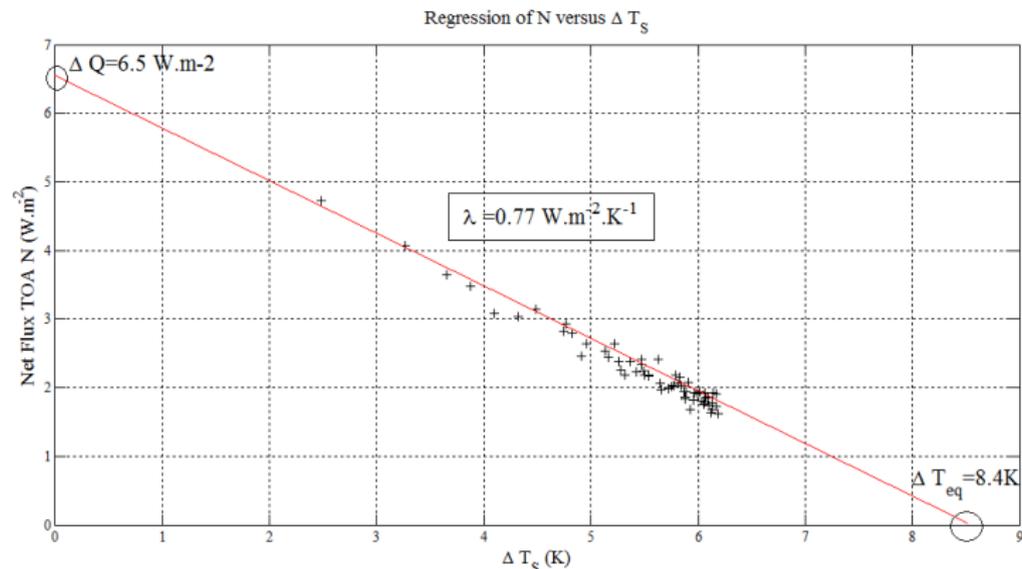


Figure 2: Méthode utilisée pour évaluer  $\lambda$ ,  $\Delta Q$  and  $\Delta T_{eq}$

|             | $\lambda$ ( $\text{W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ) | $\Delta Q$ ( $\text{W.m}^{-2}$ ) | $\Delta T_{eq}$ (K) |
|-------------|---|----------------------------------|---------------------|
| Modèle IPSL | 0.77  | 6.5                              | 8.4                 |

# Les différentes rétroactions et leur signe

$$\lambda = \lambda_P + \lambda_{LR} + \lambda_C + \lambda_{WV} + \lambda_{SA}$$

- **Planck**: rayonnement du corps noir
- **Lapse rate**: Variation de  $\frac{\partial T}{\partial z}$  (Fig. 3)
- **Nuages**: Effet de serre et albédo
- **Vapeur d'eau**: effet de serre et absorption
- **Albédo de surface**: retrait des zones enneigées

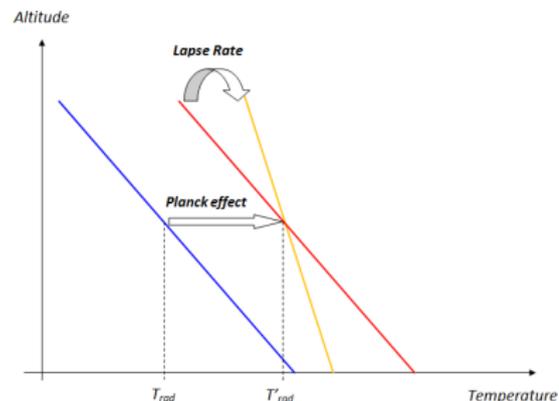


Figure 3: Différence entre les rétroactions Planck et Lapse Rate

# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Quantification et attribution des rétroactions climatiques
- 3 L'analogie électrique
- 4 Discussion

# Les méthodes classiques (Soden and Held [2006])

## COMMENT ÉVALUER LES RÉTROACTIONS DU CLIMAT?

### La méthode Partial Radiative Perturbation (PRP)

- 2 simulations climatiques
- 1 grandeur figée
- Attribution de la différence à la grandeur bloquée

### La méthode $SST + 2K$

- Variation de SST imposée
- Evaluation de la variation du flux TOA

### Les Kernels

- Variation d'un paramètre (champs 3D)
- Evaluation de la variation du flux TOA

# Notre méthode

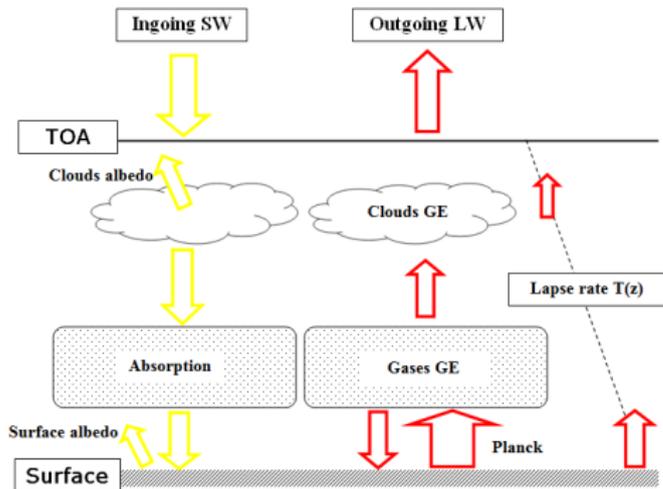


Figure 4: Décomposition du flux TOA

## Caractéristiques

- Champs 2D
- 1 seule simulation
- Intrication des rétroactions
- Nuages traités explicitement
- Hypothèses fortes
- Efficace pour le SW, moins pour le LW

# Les réponses rapides du climat et les rétroactions

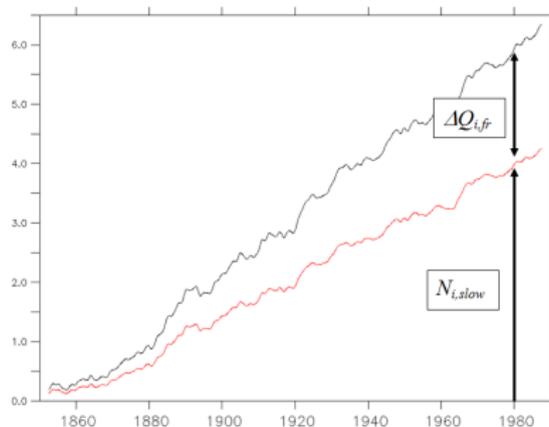


Figure 5: Réponse rapide et rétroaction de l'albédo des nuages

## Remarques

- Les réponses rapides dépendent du forçage
- Les méthodes classiques ne différencient pas forcément les 2 termes

# Application à l'amplification polaire

## Particularités des Pôles

- Des zones très sèches (calottes glaciaires)
- Rétroaction négative de l'albédo des nuages
- Fort albédo

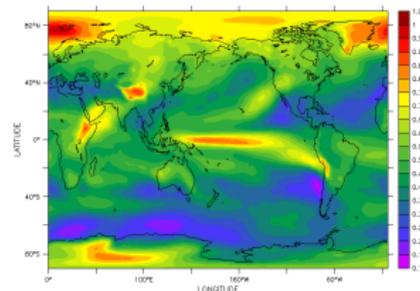


Figure 6: Variation relative du contenu en eau de l'atmosphère

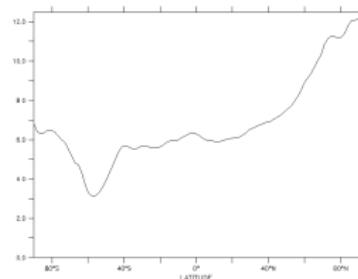
## L'amplification polaire

- Réchauffement plus important dans les régions polaires
- Amplification du phénomène de transport vers les pôles
- Rétroaction forte de l'albédo
- Augmentation du transport vers les Pôles

# Les différences entre l'Arctique et l'Antarctique

## L'asymétrie

- Antarctique énergétiquement isolé
- Effet d'albédo moins important
- Inertie de l'océan austral



Surface warming as a function of latitude

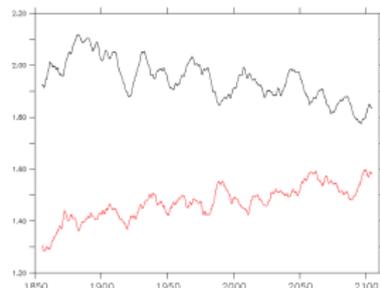


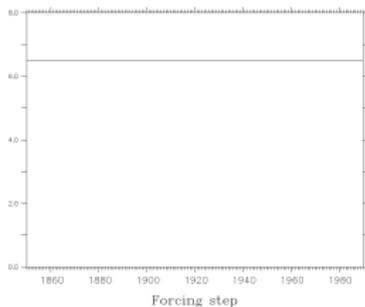
Figure 7: Evolution de PA pour l'Arctique (noir) et l'Antarctique (rouge)

$$PA = \frac{\Delta T_p}{\Delta T_g}$$

# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Quantification et attribution des rétroactions climatiques
- 3 L'analogie électrique**
- 4 Discussion

# Le point de départ



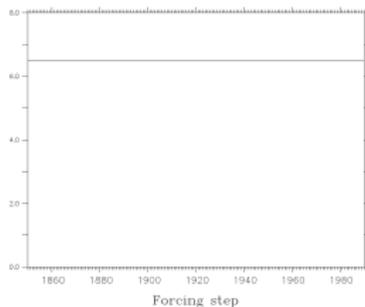
$$\int_0^t dt \Rightarrow$$

GCM ↓

↓ GCM

$$\int_0^t dt ? \Rightarrow$$

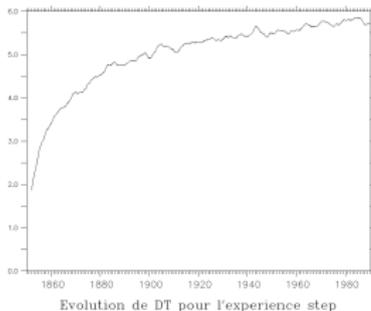
# Le point de départ



$$\int_0^t dt$$

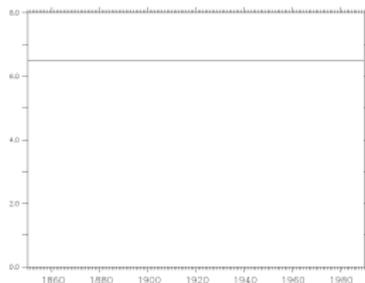
GCM ↓

↓ GCM



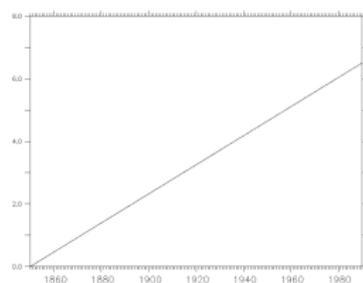
$$\int_0^t dt ?$$

# Le point de départ



Forcing step

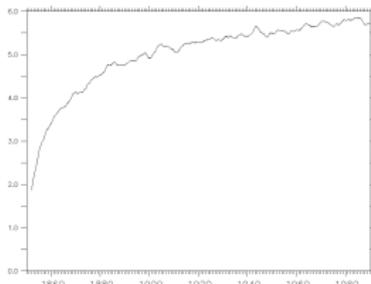
$$\int_0^t dt \Rightarrow$$



Forcing rampe

GCM ↓

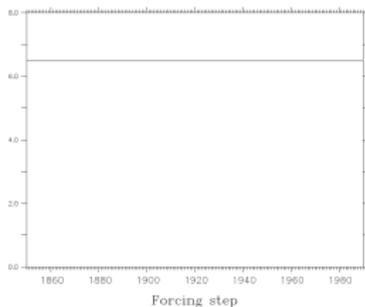
↓ GCM



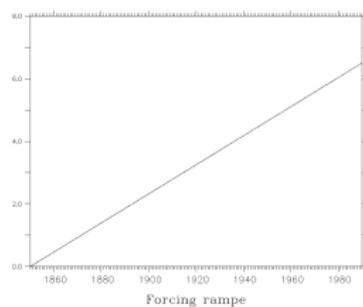
Evolution de DT pour l'expérience step

$$\int_0^t dt ? \Rightarrow$$

# Le point de départ



$$\int_0^t dt$$



GCM ↓

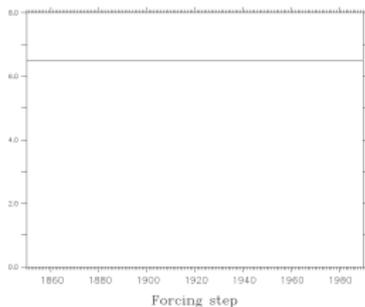
↓ GCM



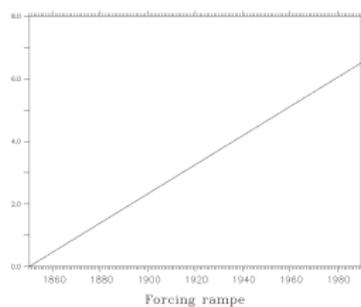
$$\int_0^t dt ?$$



# Le point de départ



$$\int_0^t dt \Rightarrow$$

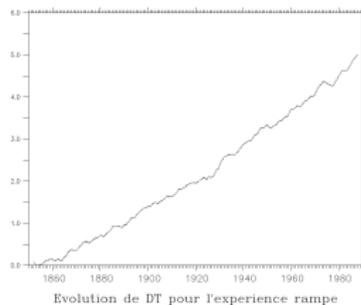


GCM ↓

↓ GCM



$$\int_0^t dt ? \Rightarrow$$



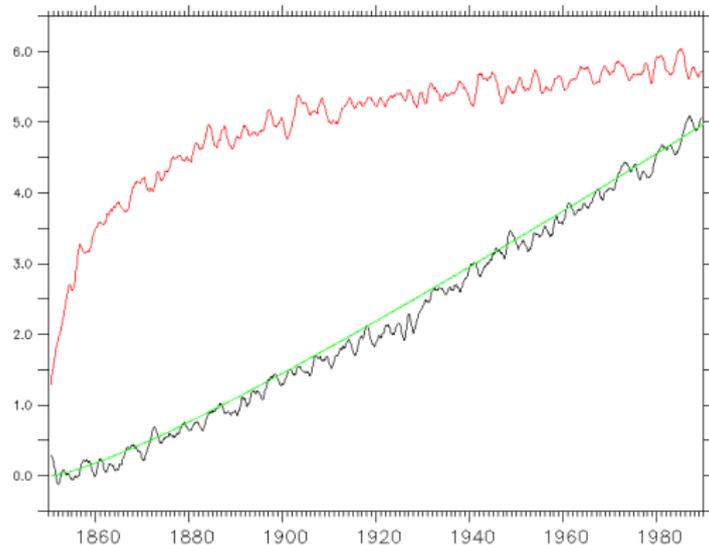
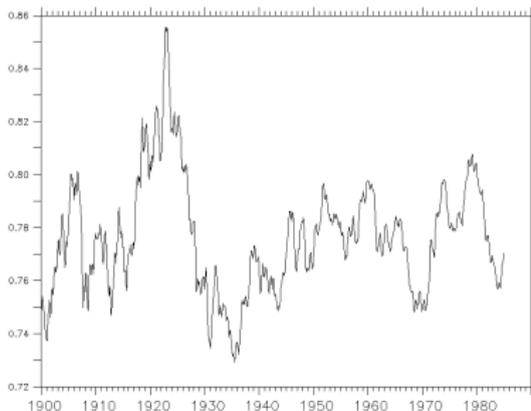


Figure 8:  $\Delta T_{ramp}$  (noir),  $\Delta T_{step}$  (rouge),  $\frac{1}{t_f} \int_0^t \Delta T_{step}$  (vert)

## Observation

LE GCM SE COMPORTE COMME UN SYSTÈME LINAIRE

# Les objectifs



Evolution de lambda avec le temps pour l'expérience rampe

$$\lambda = \frac{\Delta Q - N}{\Delta Q}$$

- Expliquer la linéarité des GCMs
- Discuter du lien entre simulations "Step" et "Rampe"
- Expliciter la constante  $\kappa$
- Définir des temps caractéristiques du climat
- Tester la validité du modèle

# L'intrication des rétroactions (Lahellec and Dufresne [2011])

$$\Delta Q = \frac{\lambda_p}{1 + \sum_i f_i} \Delta T_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_p} + \sum_i \frac{1}{\frac{\lambda_p}{f_i}}} \Delta T_{eq}$$

Contribution de  
chaque mécanisme

$$\Delta T_i = g_i \Delta T$$

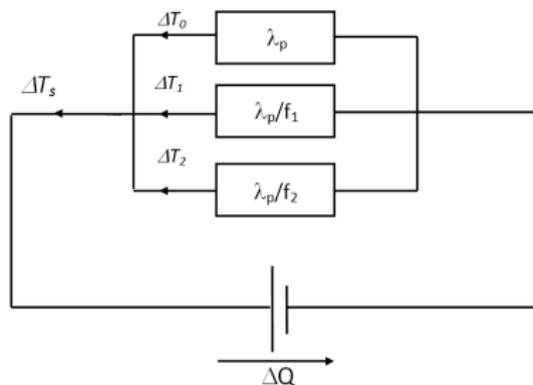


Figure 9: Le climat à l'équilibre

# Le paramètre $\kappa$

## Origines

- Introduit dans Gregory and Mitchell [1997]
- Repris dans Raper et al. [2002], Winton et al. [2010], Dufresne and Bony [2008]

$$N = \kappa \Delta T$$

- Non valable en début ou fin d'expérience
- Relation linéaire non valable pour le modèle IPSL

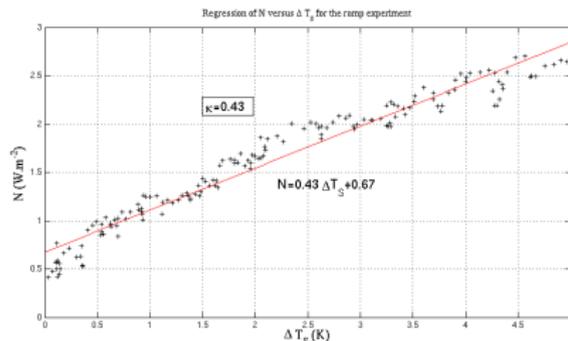


Figure 10: Régression de  $N$  par  $\Delta T$  pour l'expérience "Rampe" ( $\kappa=0.43$  pour l'IPSL)

# Interprétation physique de $\kappa$

## 2 contributions (Fig. 11)

- Transport diffusif
- Circulation méridienne

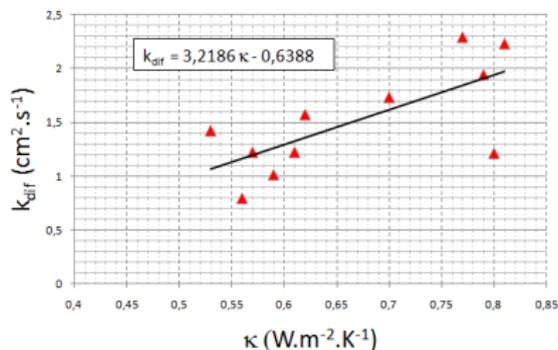


Figure 11: Correlation de  $k_{dif}$  par  $\kappa$

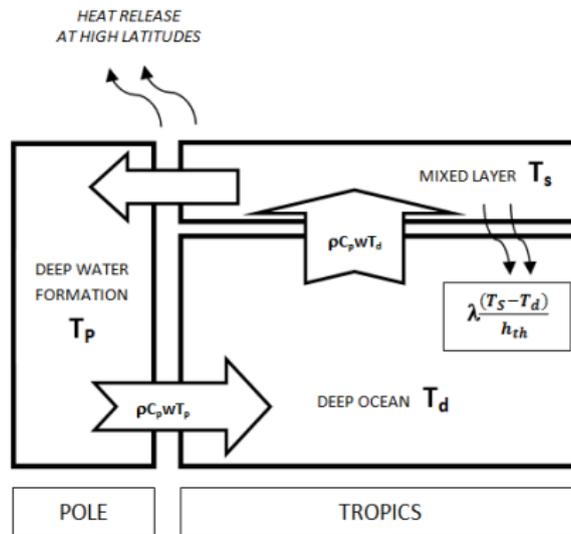
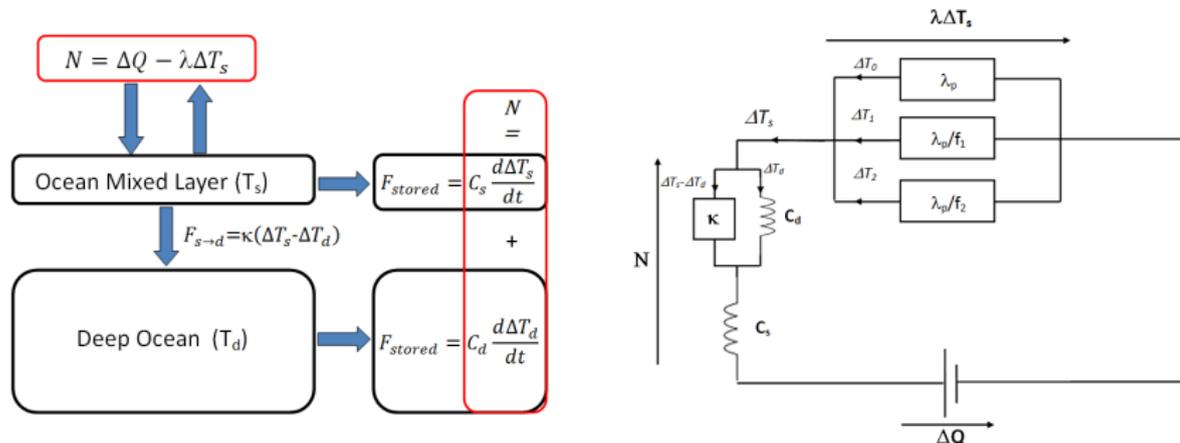


Figure 12: Modèle à 3 boîtes de la circulation thermohaline

## Commentaires

- Circulation méridienne de 85Sv
- Validation de l'interprétation "circulation méridienne"

# Le circuit final

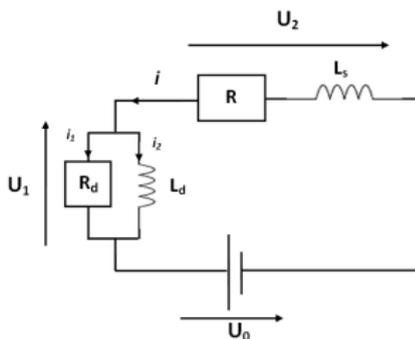


**Figure 13:** Le schéma énergétique de l'océan et le circuit final électrique équivalent

## Remarque

ON N'EXPLICITE PAS LA RÉACTION DU CLIMAT AUX COURTES ÉCHELLES DE TEMPS

# Les caractéristiques pour l'expérience "Step"



## Les temps caractéristiques

$$\tau_1 = \frac{C_s}{\lambda + \kappa} = 4.8 \text{ans}$$

$$\tau_2 = \frac{C_d(\lambda + \kappa)}{\lambda \kappa} = 1300 \text{ans}$$

Figure 14: Le schéma électrique équivalent

## Détermination de A et B

$$A = \frac{\lambda \Delta T_{eq}}{\lambda + \kappa}$$

$$B = \frac{\kappa \Delta T_{eq}}{\lambda + \kappa}$$

## Expressions de $\Delta T$ et $N$

$$\Delta T(t) = A \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right) + B \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right)$$

$$N(t) = \lambda \left( A \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + B \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right)$$

# L'expérience "Rampe"

Extrapolation pour  $\tau_1 \ll t' \ll \tau_2$

$$\Delta T_{ramp}(t) = \frac{1}{t_f} A(t - \tau_1)$$

$$N_{ramp}(t) = \frac{\lambda B}{A} \Delta T + \frac{\tau_1}{t_f} \lambda \Delta T_{eq}$$

$$\kappa = \lambda \frac{B}{A}$$

Nouveau moyen d'obtenir  $\kappa \implies \kappa = 0.5$

# Confrontation à l'expérience

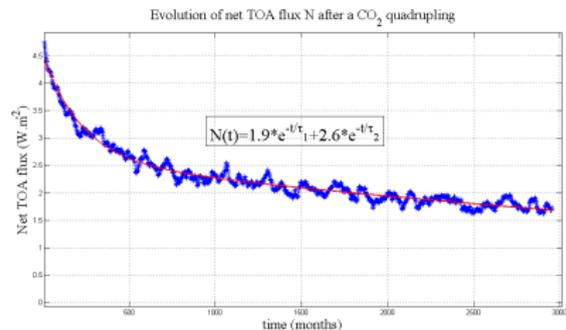
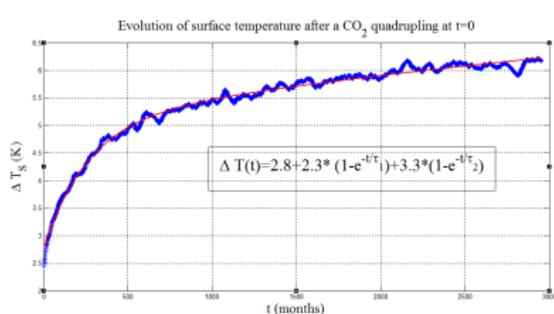


Figure 15: Exponential fits applied to  $\Delta T$ (up) and  $N$ (bottom)

|            | A   | B   | A/B  | $\tau_1$ | $\tau_2$ |
|------------|-----|-----|------|----------|----------|
| $\Delta T$ | 5.1 | 3.3 | 1.55 | 22       | 580      |
| $N$        | 3.9 | 2.6 | 1.5  | 19       | 562      |

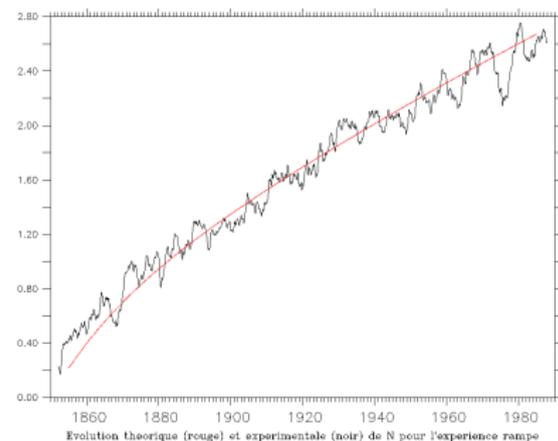
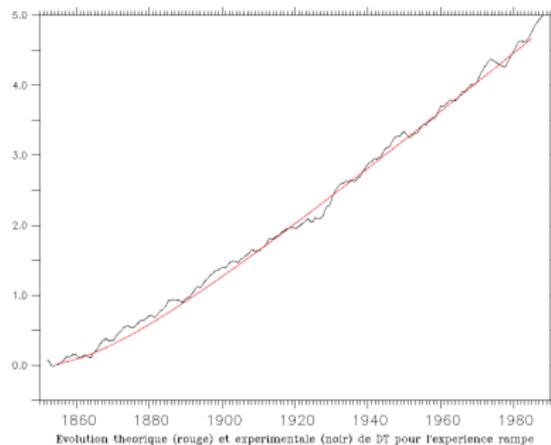
Table 1: Paramètres calculés à partir des fits exponentiels

$$A_N \simeq \lambda A_T$$

$$B_N \simeq \lambda B_T$$

$$\tau_{i,\Delta T} \simeq \tau_{i,N}$$

# Application à l'expérience "Rampe"



**Figure 16:** Comparaison des courbes théoriques et expérimentales pour l'expérience "Rampe"

|          | $\lambda$ | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $A$  | $B$  | $\Delta\tau_1$ | $\Delta\tau_2$ |
|----------|-----------|----------|----------|------|------|----------------|----------------|
| MIROC 5  | 1.54      | 4.6      | 400      | 2.42 | 2.59 | 23             | 25             |
| INMCM4   | 1.5       | 5.5      | 1170     | 2.0  | 1.7  | 4              | 38             |
| CanESM2  | 1         | 6.9      | 201      | 2.95 | 3.18 | 6              | 13             |
| bcc-csm1 | 1.14      | 7.3      | 194      | 2.38 | 2.58 | 12             | 16             |
| IPSL     | 0.77      | 4.8      | 580      | 5.1  | 3.3  | 14             | 3              |

Table 2: Analyse d'autres GCMs,  $\Delta\tau_i = \left| \frac{\tau_{i,\Delta T} - \tau_{i,N}}{\tau_{i,\Delta T}} \right|$  is in %

## Résumé

- Bonne cohérence entre les  $\tau_1$
- $\tau_2$  variable (simulation trop courte, hypothèse d'équilibre contraignante)
- $\lambda_{IPSL}$  particulièrement faible
- Variabilité du rapport  $A/B$
- Méthode de régression pas valable pour tous les GCMs

# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Quantification et attribution des rétroactions climatiques
- 3 L'analogie électrique
- 4 Discussion**

# Discussion

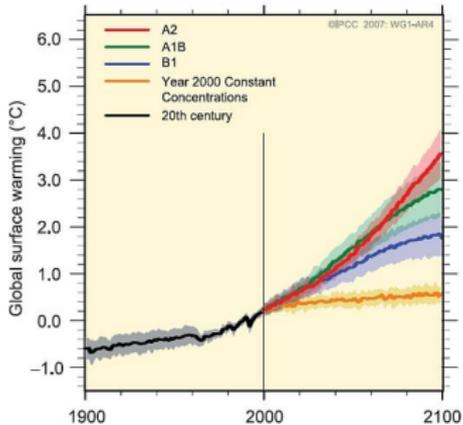


Figure 17: Les scénarios du GIEC selon divers scénarii d'émission de  $CO_2$

## Les apports du modèle

- Explicitation de relations empiriques
- Nouvelles quantités intéressantes
- Sépare bien les échelles de temps
- Nouveau moyen d'accéder à  $\kappa$
- Corrélations entre grandeurs
- Applicable pour tout forçage

## Les limites du modèle

- Non-applicable aux GCMs non-linéaires (Fig. 19)
- Rétroaction de l'océan profond (Winton et al. [2010])
- Non-linéarité des rétroactions (albédo, vapeur d'eau)
- Pas explicite pour les temps très courts (nécessité d'une analyse en moyenne mensuelle)

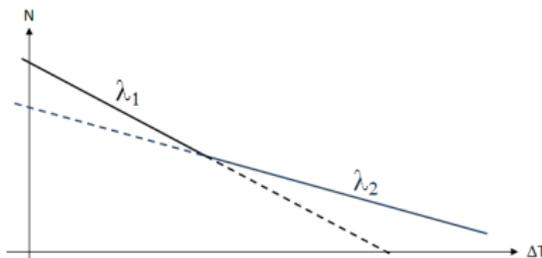


Figure 18: En pratique,  $\lambda$  n'est pas nécessairement constant (Gregory and Mitchell [1997])



# Merci pour votre attention

Avez-vous des questions?



# Références I

- J-L. Dufresne and S. Bony. An assessment of the primary sources of spread of global warming estimates from coupled atmosphere-ocean models. *Journal of Climate*, October 2008.
- J.M. Gregory and J.F.B. Mitchell. The climate response to  $CO_2$  of the hadley centre coupled aogcm with and without flux adjustment. *Geophysical Research Letters*, 24(15):1943–1946, August 1997.
- J.M. Gregory, W. J. Ingram, M. A. Palmer, G. S. Jones, P. A. Stott, R. B. Thorpe, J. A. Lowe, T. C. Johns, and K. D. Williams. A new method for diagnosing radiative forcing and climate sensitivity. *Geophysical Research Letters*, 31, 2004.
- A. Lahellec and J-L. Dufresne. A formal analysis of feedback concept in climate models: the inclusive feedback components. *not submitted*, 2011.
- S. Raper, J. M. Gregory, and R. J. Stouffer. The role of climate sensitivity and ocean heat uptake on an aogcm transient temperature response. *Journal of Climate*, 15:124–130, 2002.

## Références II

- B. J. Soden and I. Held. An assessment of climate feedbacks in coupled ocean-atmosphere models. *Journal of climate*, 19, 2006.
- M. Winton, K. Takahashi, and I. M. Held. Importance of ocean heat uptake efficiency to transient climate change. *Journal of Climate*, 231: 2333–2344, May 2010.