

Variabilité de la stratosphère polaire arctique en fin d'hiver/début du printemps : rôle de l'ozone.

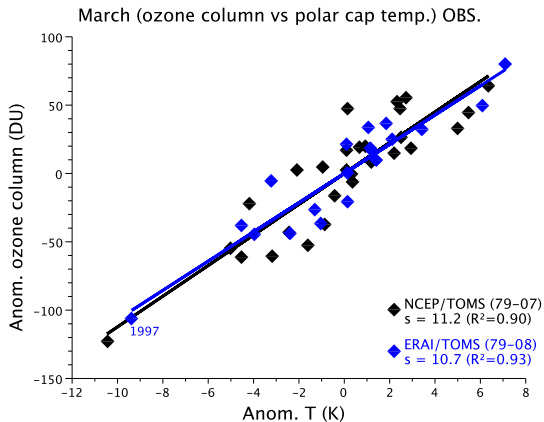
David Saint-Martin *et al.*

Météo-France [CNRM-GAME/GMGEC/CAIAC]

Introduction

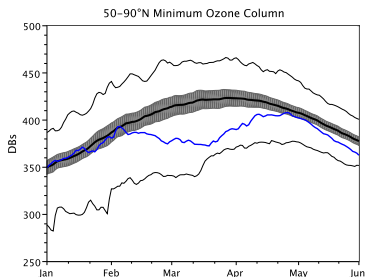
- La stratosphère polaire arctique hivernale (et printannière) présente :
 - ▷ une très forte variabilité interannuelle.
 - ▷ un comportement extrêmement complexe, qui mêle des effets dynamiques, radiatifs et chimiques.
- Sujet de l'étude : rôle de l'ozone.
- Axes d'étude
 - ▷ Utilisation d'un modèle couplé chimie-climat : CNRM-CCM (cf *Michou et al., 2011*).
 - ▷ Cas d'étude de l'hiver 2010-2011.

Corrélation ozone-température (mars)



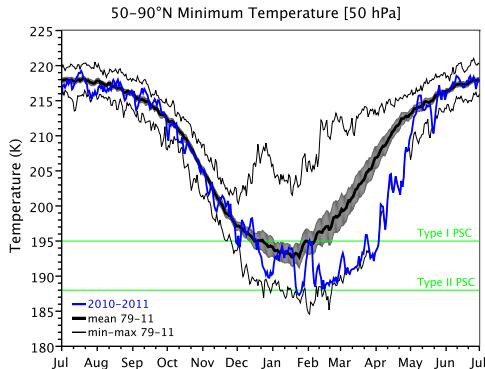
► Lien fort entre la T et l' O_3 .

L'hiver 2010-2011 : un cas d'étude idéal.



- ▶ Une fin d'hiver 2010-2011 remarquable dans la stratosphère polaire arctique :
 - en termes d'**ozone** (cf *Manney et al.*, *Nat.*, 2011).

L'hiver 2010-2011 : un cas d'étude idéal.



► Une fin d'hiver 2010-2011 remarquable dans la stratosphère polaire arctique :

- en termes d'**ozone** (cf *Manney et al.*, *Nat.*, 2011).
- en termes de **température** (cf *Hurwitz et al.*, 2011).

Plan

- Quid de $O_3 = \mathcal{F}(T)$?
- Quid de $T = \mathcal{G}(O_3)$?
- Rétroaction ?

Ozone = $\mathcal{F}(\text{Température})$

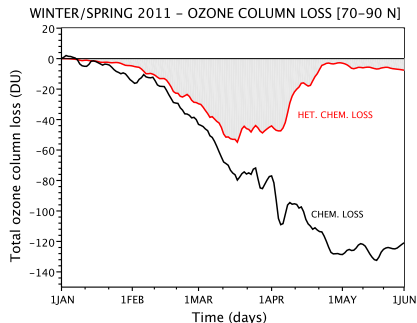
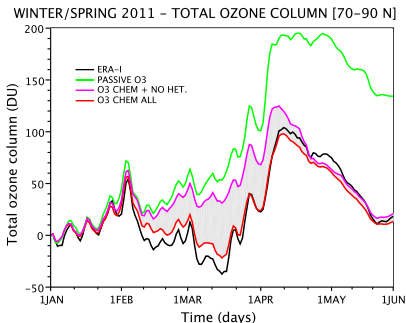
- ▷ Effet bien documenté, principalement dans l'Hémisphère Sud.
- ▷ 2 mécanismes concurrents : **Transport** et **Chimie**, en interaction $\mathcal{I}$.

$$\frac{\partial}{\partial t}(O_3) = \text{Tr} + \text{Ch} + \mathcal{I}(\text{Tr}, \text{Ch})$$

- ▷ $\text{Tr} = f(Q_{dyn}(T))$: sensible à T à travers le filtrage des ondes planétaires.
- ▷ $\text{Ch} = \text{Gaz.}(T) + \text{Het.}(T)$: rôle de T via la formation ou non de PSC (phénomène à seuil, non-linéaire).

-
- Quantifier le rôle respectif de chacun de ces termes.
 - 3 simulations guidées (dyn. & temp.) du 1er jan 2011 au 31 mai 2011.
 - ① Pas de chimie : ozone comme traceur passif.
 - ② Chimie gazeuse seulement.
 - ③ Chimie gazeuse et hétérogène.

Ozone = $\mathcal{F}$ (Température) : résultats hiver-printemps 2011



- ▷ Bonne représentation des réactions chimiques : respect de la chronologie (résultats similaires à *Balis et al.*, 2011 et *Sinnhuber et al.*, 2011).
- ▷ Rôle prépondérant (-50 DU) de la chimie hétérogène pour l'hiver 2011.

Température = $\mathcal{G}$ (Ozone)

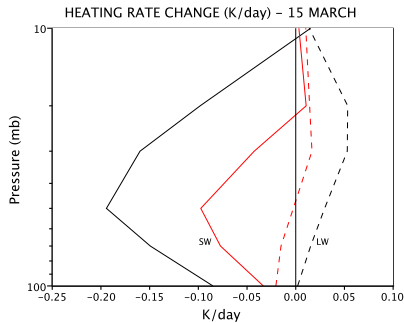
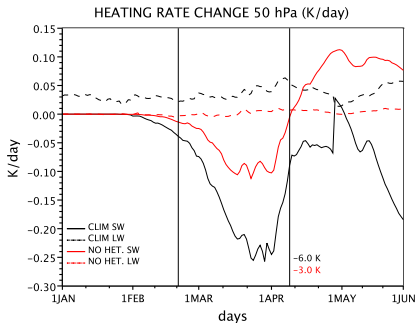
$$\frac{\partial T}{\partial t} = Q_{dyn}(t) + Q_{rad}(t)$$

$$Q_{rad} = J_{SW}(O_3, \bullet) + Q_{LW}(T, \bullet, O_3)$$

- Quantifier $\partial Q_{rad} / \partial O_3$ le long de la trajectoire hiver/printemps ?
- Utilisation des 3 simulations guidées précédentes.
 - ① Ozone passif : $Q_{rad}(t) = Q_{rad}(T^*, O_3^{(c)})$
 - ② Ozone (chimie gazeuse) : $Q_{rad}(t) = Q_{rad}(T^*, O_3^{(g)})$
 - ③ Ozone (chimie gazeuse + hét.) : $Q_{rad}(t) = Q_{rad}(T^*, O_3^{(a)})$
- L'intégrale de $\delta Q_{rad}(t)$ le long de la trajectoire donne une idée de la perturbation de température engendrée par la diminution d'ozone :

$$\int \delta Q_{rad}(t) \equiv \delta T_{o3}$$

Taux de chauffage radiatifs : évolution temporelle

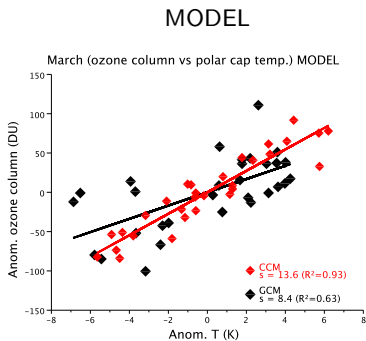
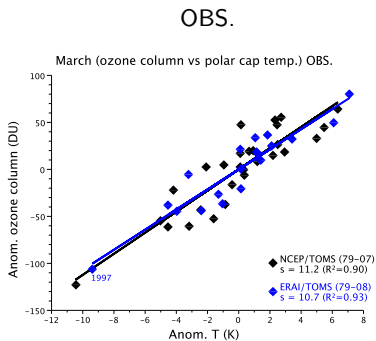


- Effet majoritairement en ondes courtes (et maximal fin mars).
- Effet concentré autour de 50 hPa (cohérent avec *Shine, 1986*).
- Effet cumulé $\delta T_{o3} \equiv 6 \text{ K}$: suffisamment important pour une rétroaction ?

$$O_3 \searrow \Rightarrow T \searrow \Rightarrow O_3 \searrow$$

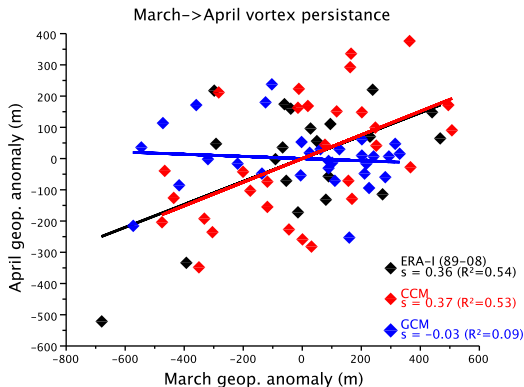
Rétroaction ? : lien ozone-température (mars).

- 2 simulations transitoires (GCM forcé par SST obs., 1971-2000).
 - 1 Contrôle (chimie calculée mais passive) : GCM.
 - 2 Radiativement couplée avec la chimie : CCM.



- Lien plus significatif ozone/température en *chimiquement-couplé*.
- Si perturb. de T , alors ajustement de O_3 dans les deux cas, mais pas d'impact sur T dans le cas de référence.

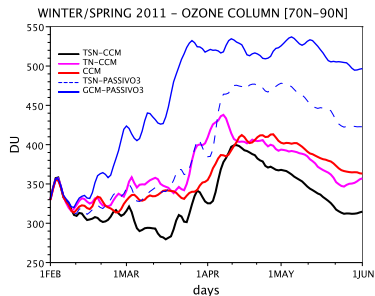
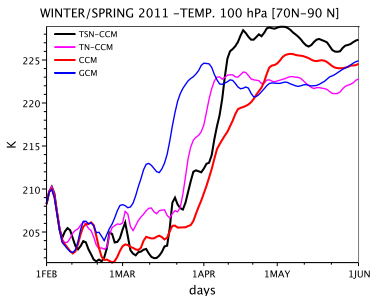
Rétroaction ? lien vortex mars - vortex avril.



- Pas de persistance hiver/printemps des anomalies de vortex dans la simulation de référence (GCM) : prise en compte réaliste par la simulation avec chimie (CCM).

Rétroaction ? : reproduction hiver-printemps 2011

- Simulations du 02/02/2011 au 31/05/2011, avec initialisation de l'ozone issu de la simulation guidée (TSN-CCM).
 - ▷ Contrôle (ozone passif) : GCM.
 - ▷ Radiativement couplée avec la chimie : CCM.
 - ▷ Chimie-couplée + guidée dans la troposphère : TN-CCM.



- ▷ Résultats prometteurs.

Conclusion et perspectives

- Étendre le protocole à d'autres années.
- Étudier le rôle (primordial) des ondes planétaires et des ondes de gravité.
- Rôle du forçage solaire ? Rétroaction de la vapeur d'eau ?
- Impact sur le climat de surface ?
- Quid des tendances ?

Bibliographie

- **Balis** et al. (2011) Observed and modelled record ozone decline over the Arctic during winter/spring 2011, *GRL*, 38, L23801.
- **Hurwitz** et al. (2011) The Arctic vortex in march 2011 : a dynamical perspective, *ACP*, 11, 11447-11453.
- **Manney** et al. (2011) Unprecedented Arctic ozone loss in 2011, *Nature*, 478, 469–475.
- **Michou** et al. (2011) A new version of the CNRM Chemistry-Climate Model, CNRM-CCM : description and improvements from the CCMVal2 simulations, *GMD*, 4, 873-900.
- **Shine** et al. (1996) On the modelled thermal response of the Antarctic stratosphere to a depletion of ozone, *GRL*, 13, 1331-1334.
- **Sinnhuber** et al. (2011) Arctic winter 2010/2011 at the brink of an ozone hole, *GRL*, 38, L24814.

Heat flux

$$\frac{\partial T}{\partial t} = Q_{dyn} + Q_{rad}$$

TEM formulation (cf *Newman et al.*, 2001) :

$$Q_{dyn} = -\overline{w^* \Gamma} = C \overline{v' T'} \quad \text{et} \quad Q_{rad} = -\frac{1}{\tau} (\overline{T} - \overline{T}_{re})$$

$$\overline{T}(t) = \overline{T}_{re} + e^{-t/\tau} (\overline{T}(0) - \overline{T}_{re}) + C \int_0^t e^{-(t+\xi)/\tau} \overline{v' T'}(\xi) d\xi$$

