

STA-9850: couplage d'une chimie atmosphérique avec un modèle global de circulation générale

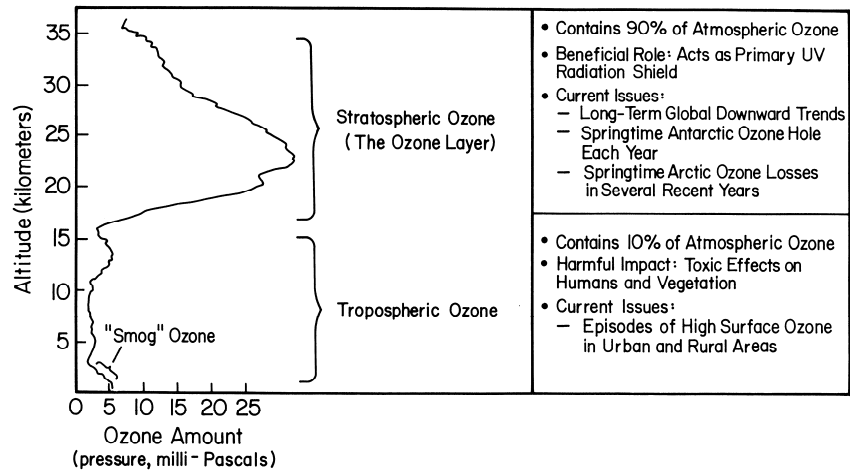
Pierre Gauthier
Sciences de l'atmosphère

UQAM Département des sciences de la terre et de l'atmosphère
Université du Québec à Montréal

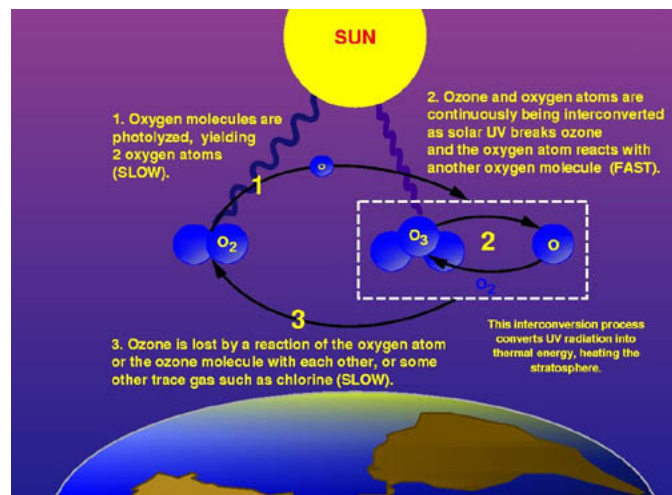
Introduction

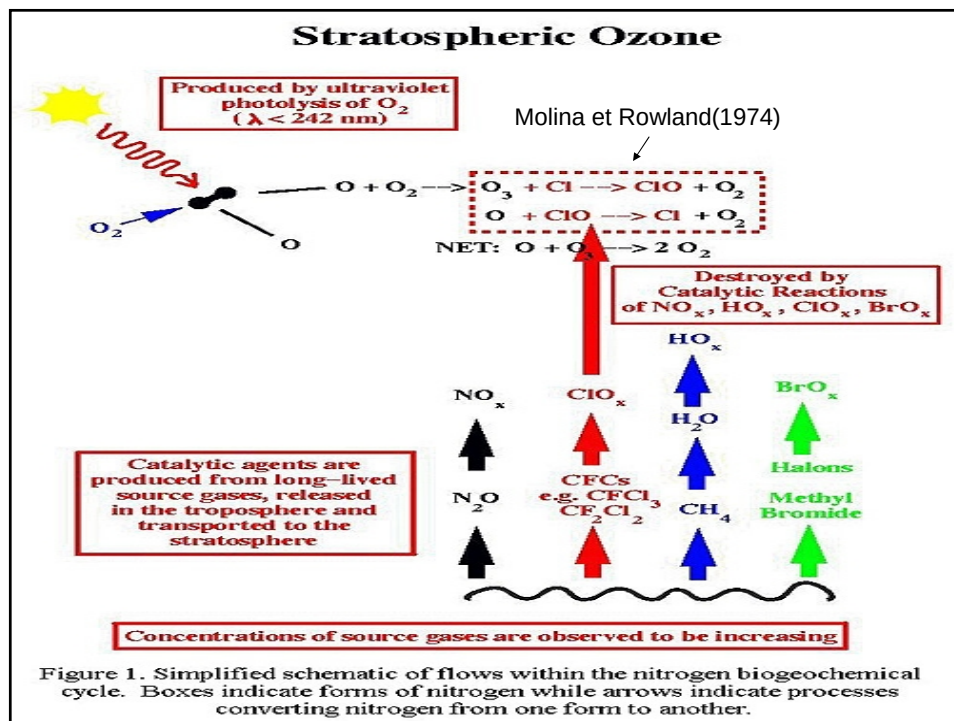
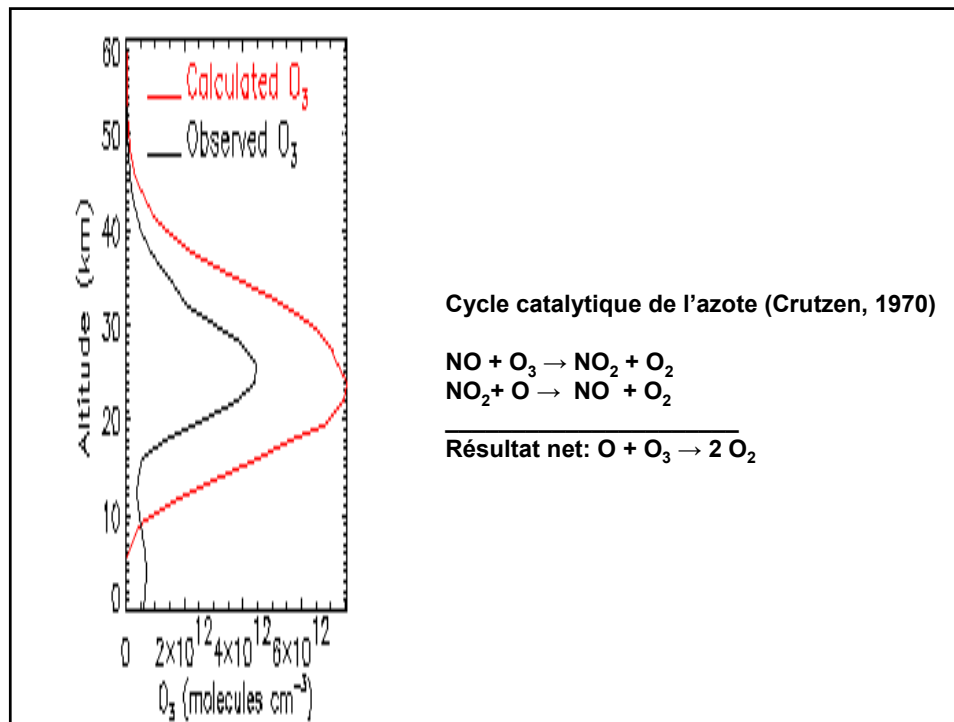
- **Modélisation de la chimie stratosphérique pour la représentation de l'ozone**
- **Assimilation de données avec un modèle qui prend en compte l'interaction entre la dynamique et la chimie atmosphérique**
 - * Assimilation quadri-dimensionnelle: prise en compte de l'évolution des observations dans le temps
 - * Influence de l'ozone sur le transfert radiatif et impact sur les prévisions météorologiques

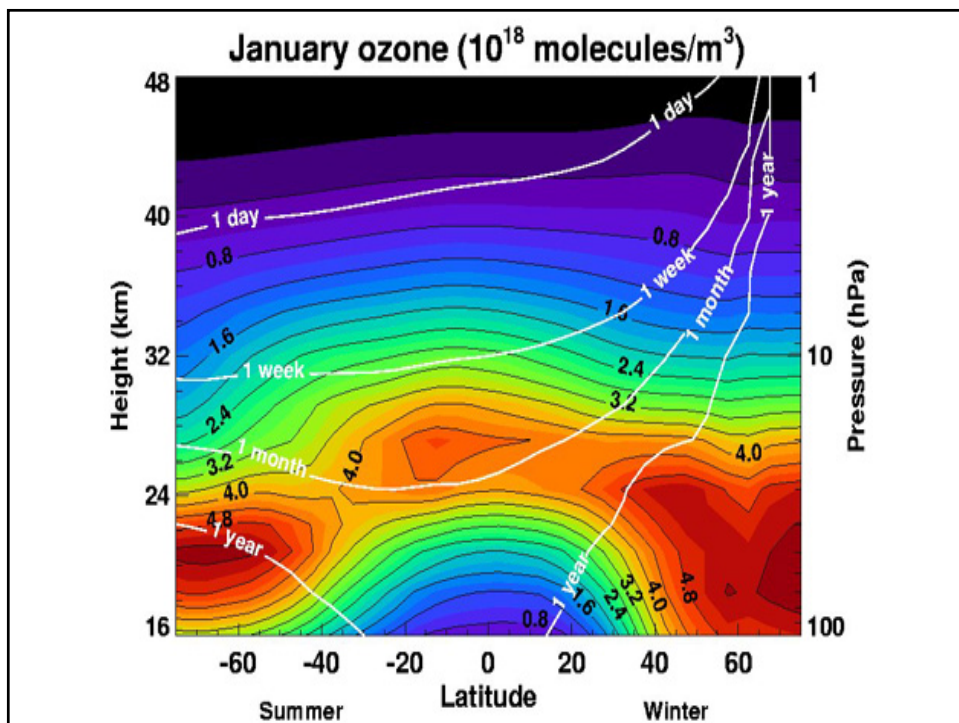
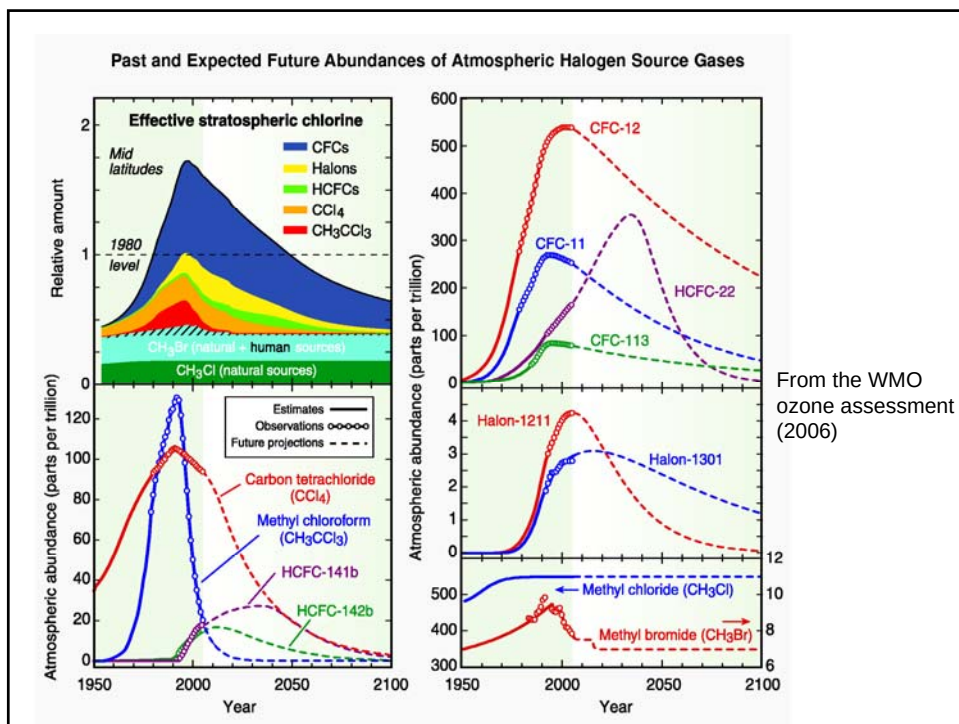
Distribution verticale de l'ozone atmosphérique

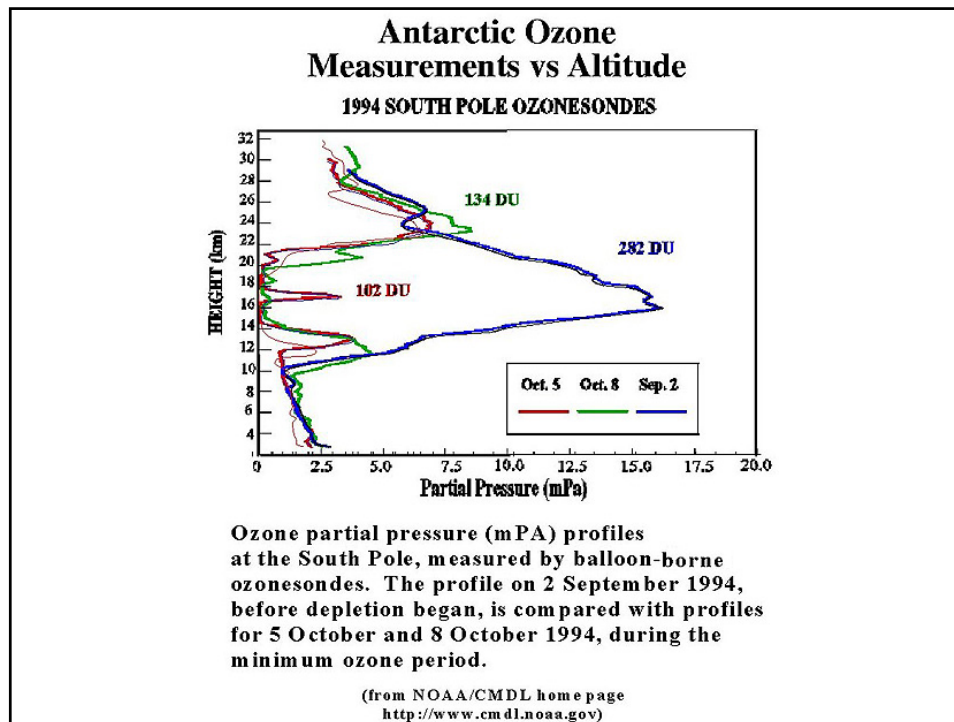


Chapman, 1930









Chimie stratosphérique de l'ozone

- Ozone est généré dans les Tropiques et transporté vers les régions polaires
- Mécanismes de destruction de l'ozone
 - Photodissociation
 - Réactions catalytiques (NO_x, ClO, BrO)
 - Nécessitent des températures très froides
 - Chimie hétérogène
 - Particules (aérosols) et présence de nuages polaires stratosphériques
 - Volcans constituent une source importante d'aérosols et de SO₂
- Confinement de l'ozone dans les régions polaires
 - Vortex polaire
 - Plus intense au-dessus de l'Antarctique
 - Arctique peut être 'réalimentée' en O₃ et les températures sont moins froides

Le couplage dynamique-chimique en assimilation: Compte rendu du contrat avec l'Agence Spatiale Européenne. Partie II: Assimilation de l'ozone stratosphérique dans GEM

Team

Dr Richard Ménard (P.I.) (1)
 Dr Pierre Gauthier (1)
Dr Jean de Grandpré (1)
 M. Alain Robichaud (1)
 Dr Yves Rochon (2)
 M. Cécilien Charette (1)

Dr Martin Charron (1)
 M. Alexander Kallaur (1)
 Dr Yan Yang (2)

Dr Simon Chabrilat (3)
 Dr Dominique Fonteyn (3)

Prof Jack McConnell (4)
 Dr Jacek Kaminski (4)

Dr Thomas von Clarmann (5)

Dr Paul Vaillancourt (1)
 Dr Monique Tanguay (1)
 M. Michel Roch (1)

With the participation of Paul-André Beaulieu⁽¹⁾, Quentin Errera⁽³⁾, Sylvain Ménard⁽¹⁾, Mike Neish⁽²⁾, Bin He⁽¹⁾ and Cathy Xie⁽¹⁾

Environment Canada
 (1) 2121 Transcanada Highway
 Dorval, Qc, H9P 1J3
 CANADA

(2) 4905 Dufferin Street
 Toronto, Ont., M3H 5T4
 CANADA

(3) **Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie**
Institut d'Aéronomie de Belgique (BIRA-IASB)
 3, avenue Circulaire
 1180 Brussels, BELGIUM

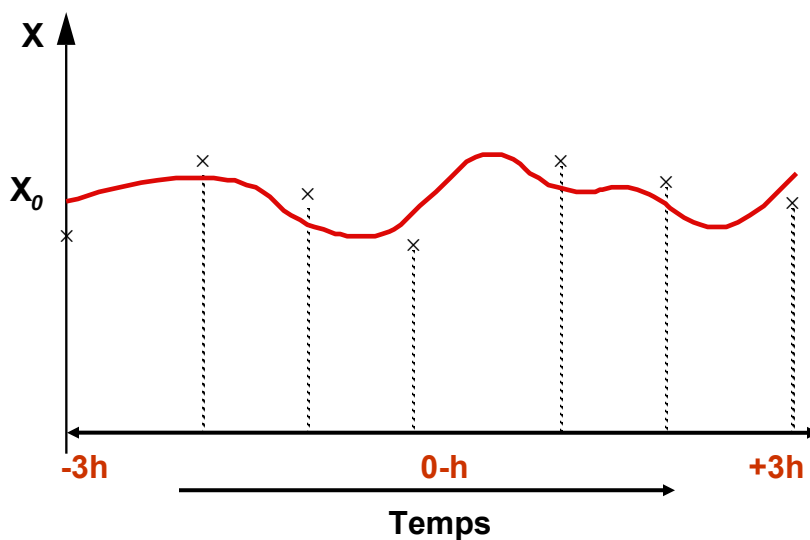
(4) **York University**
 Department of Earth and Atmospheric Science
 4700 Keele Street, Toronto, Ont. M3J 1P3
 CANADA

(5) **Institut für Meteorologie und Klimaforschung**
 Universität Karlsruhe
 Forschungszentrum Karlsruhe
 GERMANY

Assimilation de données pour la chimie stratosphérique

- **Assimilation quadri-dimensionnelle 4D (4D-Var)**
- **Approche incrémentale**
 - Approximations permettant de simplifier les équations d'évolution des perturbations
 - Limites de ces approximations
- **Impact du couplage chimie-dynamique en assimilation**
 - Information sur les vents obtenus d'observations de l'évolution d'un constituant chimique
 - Interaction de l'ozone avec le transfert radiatif: impact sur les prévisions de température

Assimilation de données variationnelle 4D (4D-Var) sur une fenêtre de 6-h



Formulation of variational assimilation through successive changes of variables

Definition:

$$\xi = \mathbf{B}^{-1/2} \delta \mathbf{x} \equiv \mathbf{B}^{-1/2} (\mathbf{X} - \mathbf{X}_b)$$

$$\delta \mathbf{x} = \mathbf{B}^{1/2} \xi \equiv \mathbf{G} \xi$$

Cost function:

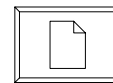
$$J(\xi) = \frac{1}{2} \xi^T \xi + \frac{1}{2} (\mathbf{H}' \mathbf{G} \xi - \mathbf{y}')^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{H}' \mathbf{G} \xi - \mathbf{y}')$$

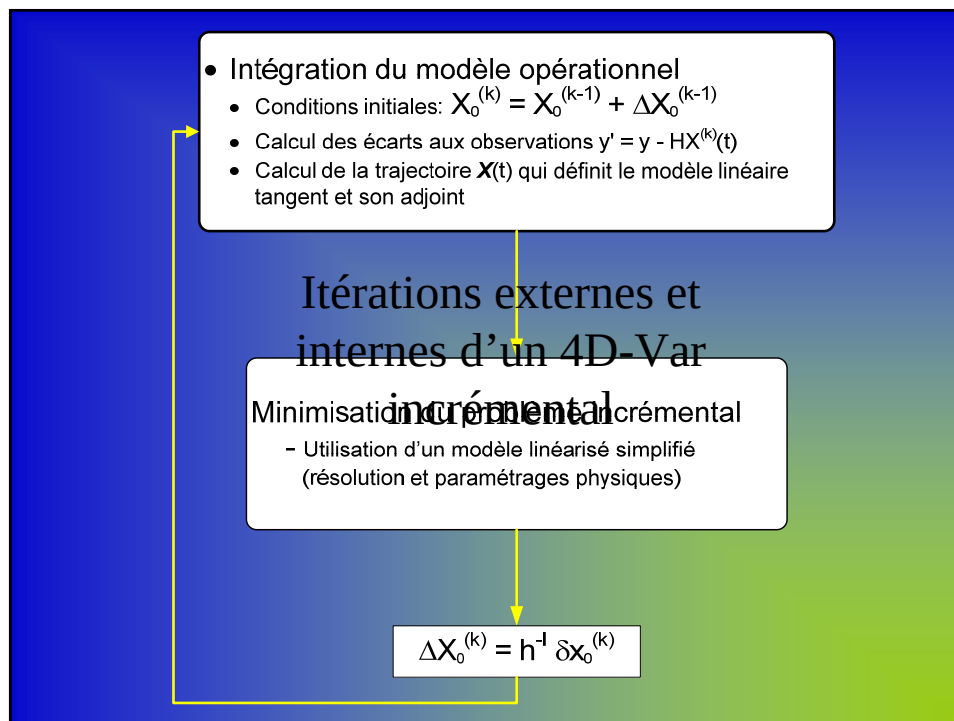
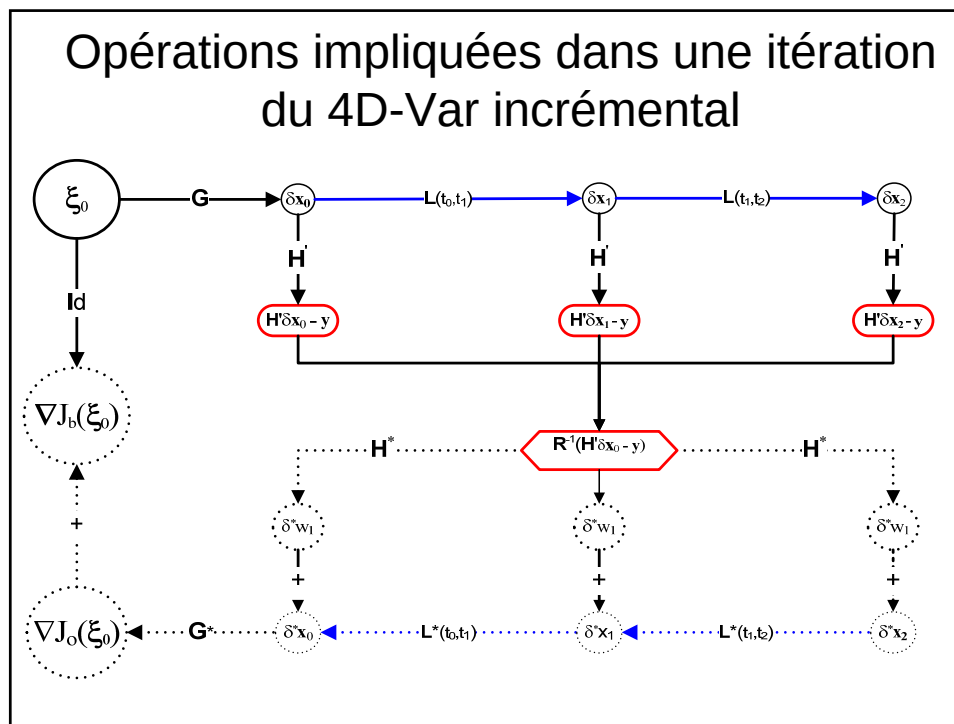
$$\mathbf{y}' = \mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{X}_b)$$

- Extension to 4D:**

observation operator includes a tangent linear model integration from time t_0 to time t_i

- Propagator: $\delta \mathbf{x}(t_i) = \mathbf{L}(t_0, t_i) \delta \mathbf{x}(t_0)$
 $\mathbf{H}' \rightarrow \mathbf{H}_i \mathbf{L}(t_0, t_i)$





Configuration de GEM-BACH et de l'assimilation

- **Configuration de GEM-BACH**

- * Résolution 240x120x80 (toit à 0.1 hPa) pour le modèle et les incréments d'analyse
- * Inclut le 'Gravity Wave Drag' de Hines et le schéma de radiation de Li et Barker
- * Climatologie de l'ozone de Fortuin et Kelder a été introduite dans le schéma radiatif du modèle
- * Vapeur d'eau interactive entre la chimie et le modèle est présente pour les intégrations avec le modèle couplé
- * Chimie stratosphérique complète (57 espèces)

- **Système d'assimilation**

- * Assimilation inclut toutes les observations du système opérationnel
- * Canaux additionnels AMSU-a (11 à14) stratosphériques
→ Canaux 11-14 sont influencés par la couche entre 0.1 et 10 hPa

Information sur les vents obtenue de séries temporelles d'observations de constituants

- **4D-Var incrémental dans lequel les incréments d'analyse évoluent approximativement comme des traceurs passifs**

- * GEM-BACH avec chimie complète dans la boucle externe du 4D-Var

- **Assimilation des observations MIPAS de CH₄, O₃, et/ou N₂O**

- * Espèces se comportent approximativement comme des traceurs passifs
- * Observations de 10 à 100 hPa dans les Tropiques et de 10 à 300 hPa dans les extra-Tropiques

- **Comparaison des incréments est comparée aux autres sources d'information sur les vents dans la stratosphère**

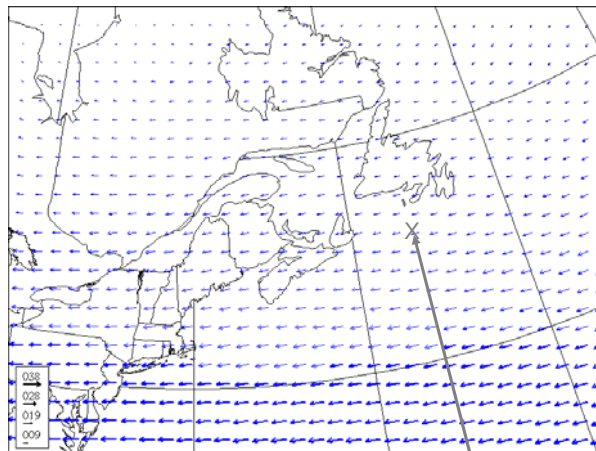
- * Impact de changements dans les statistiques d'erreur

- **Validation dans un cycle d'assimilation comprenant toutes les observations**

Expérience

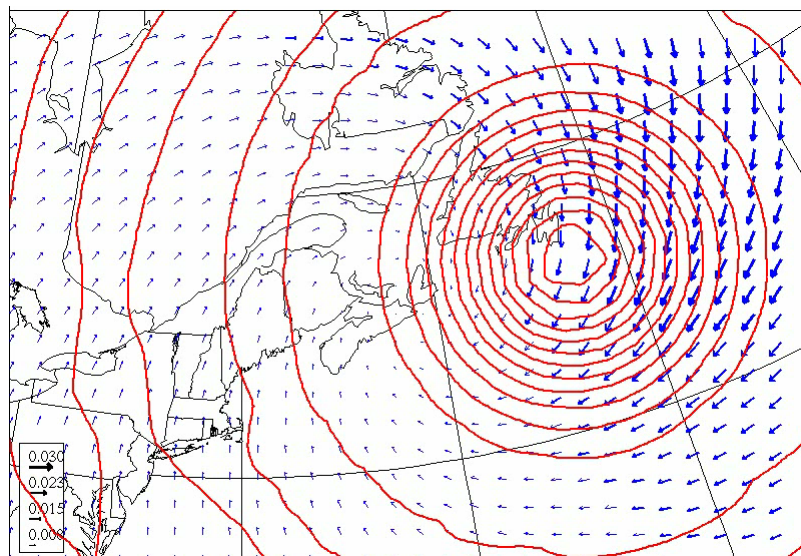
- Assimilation de données de méthane de MIPAS valide à T+ 2-h en un point donné

Analyse des vents 15 août 2003, 0 UTC

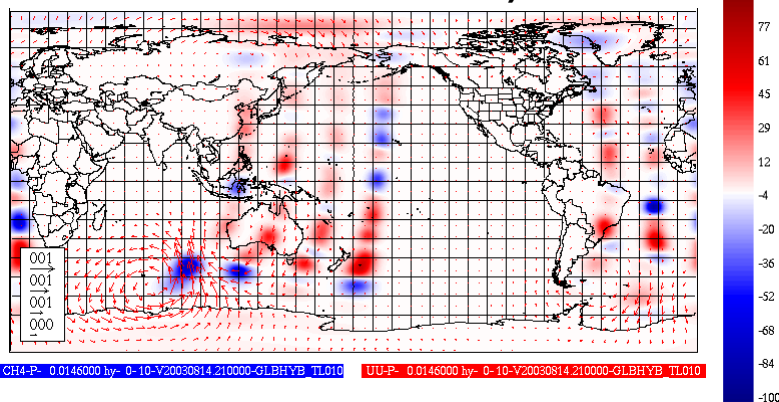


Situation de l'observation de CH₄ de MIPAS

Methane and wind increments obtained from 4D-Var

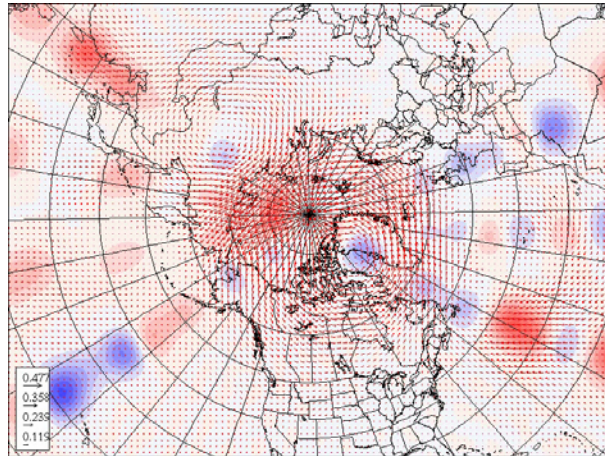


ASSIMILATION OF all MIPAS methane data (without the meteorological observations)

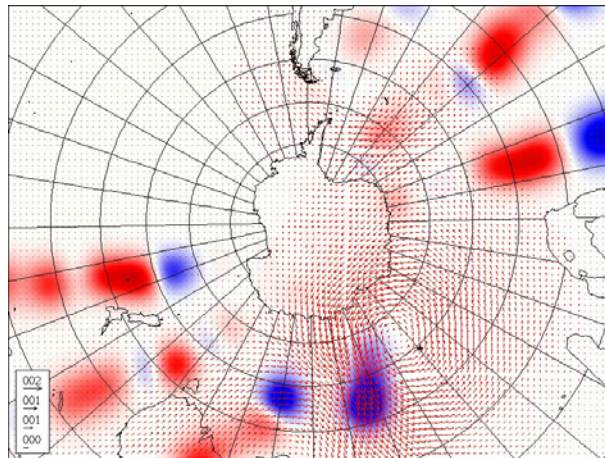


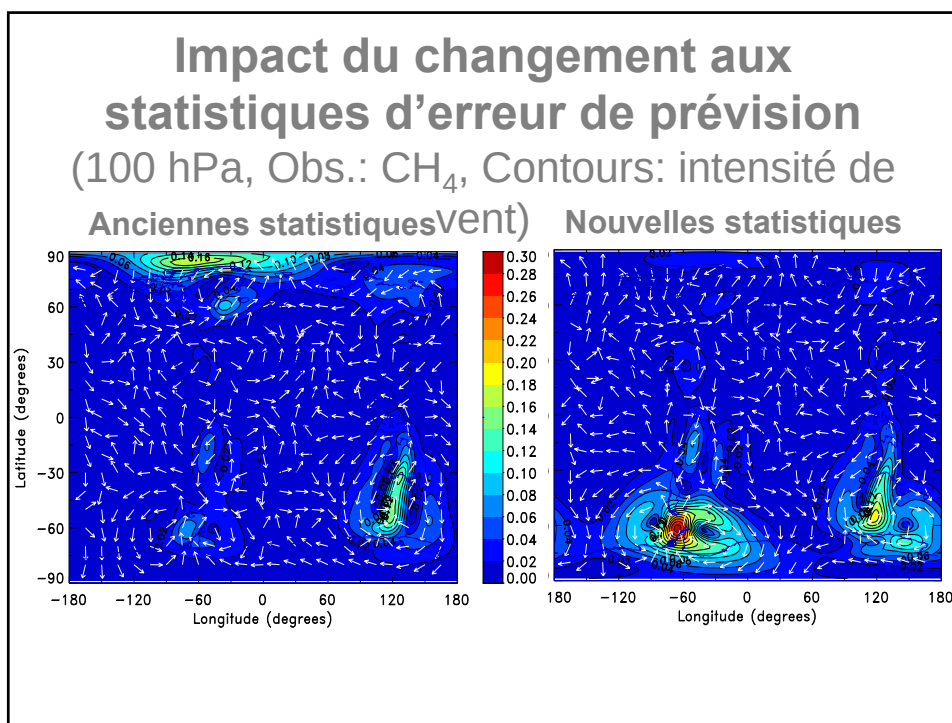
Wind and methane analysis increments (Units for CH_4 : 10^{-3} ppmv)

Assimilation of all MIPAS methane data Northern Hemisphere

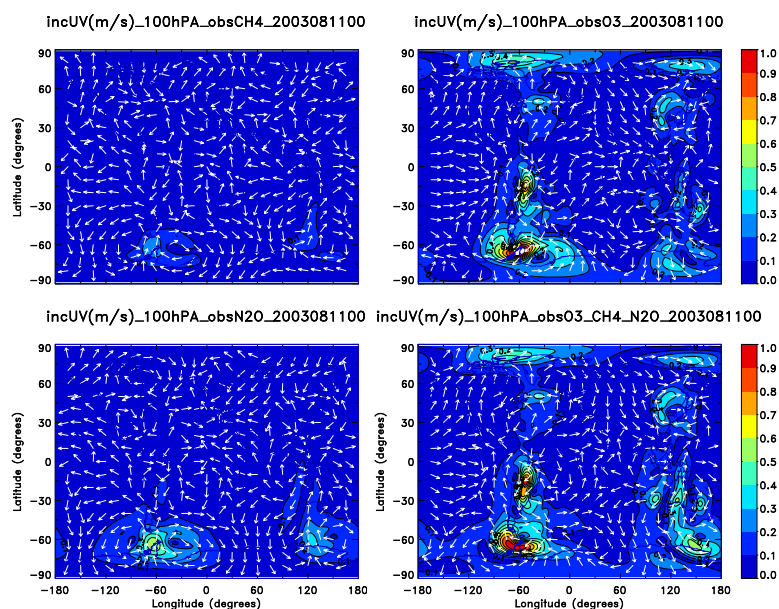


Assimilation of all MIPAS methane data Southern Hemisphere

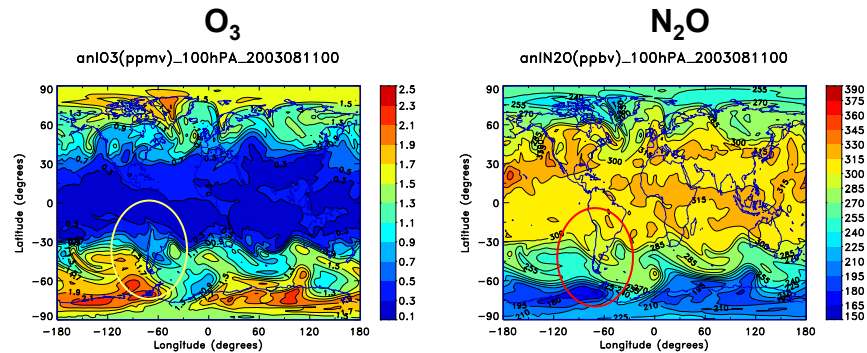




Impact en 4D-Var sur les vents: assimilation individuelle vs. effet combiné: **100 hPa**



Analyses de O₃ et de N₂O à 100 hPa



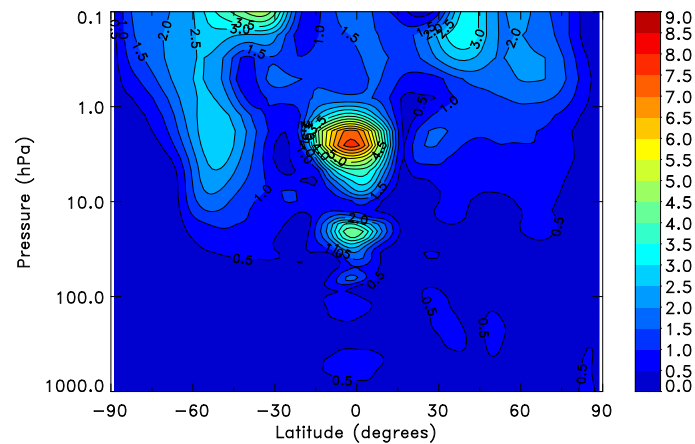
Différence dans les analyses de vent (moyenne zonale)

moins

4D-Var avec assimilation de CH₄, O₃ et N₂O

4D-Var sans assimilation de CH₄, O₃ et N₂O

UV(4dv_dyn+chem)–UV(4dv_dyn)–15aug–05oct2003(m/s)

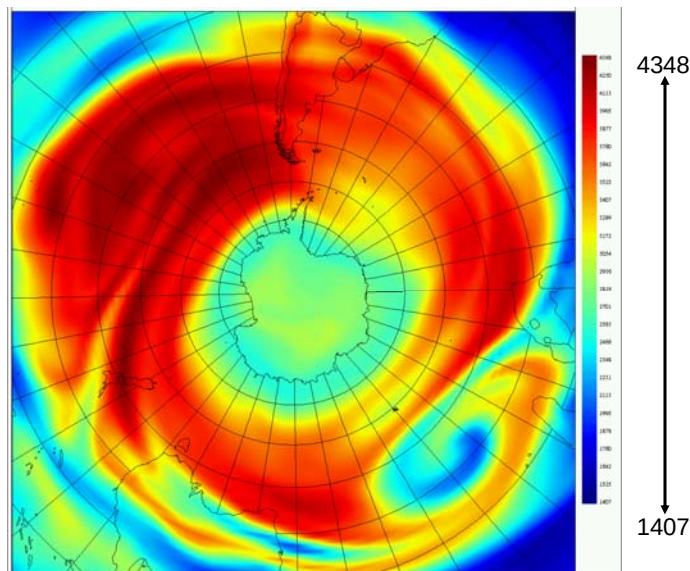


Impact de la chimie sur une prévision de 6-h

- **Conditions initiales sont identiques dans les deux expériences:**
 - Exp. No.1: intégration avec la chimie complète du système couplé GEM-BACH
 - Exp. No.2: chimie est désactivée, et l'ozone est tout simplement advecté
 - Différence entre les deux intégrations indiquera où la chimie influence le plus l'évolution du champ d'ozone
- **Deux cas sont considérés cases were considered**
 - 11 août 2003: période avant la formation du trou d'ozone au-dessus de l'Antarctique
 - 21 septembre 2003: durant la période où le trou d'ozone est présent

Analyse d'ozone: 11 août 2003

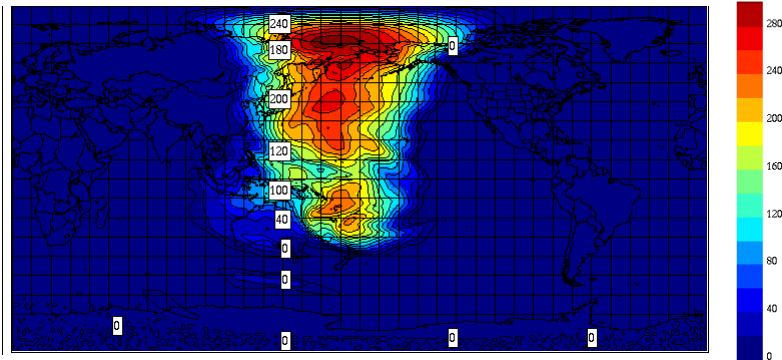
(11 août 2003, 00 UTC: ozone 50 hPa, Unités: ppbv)



Impact de la chimie sur la prévision 6-h

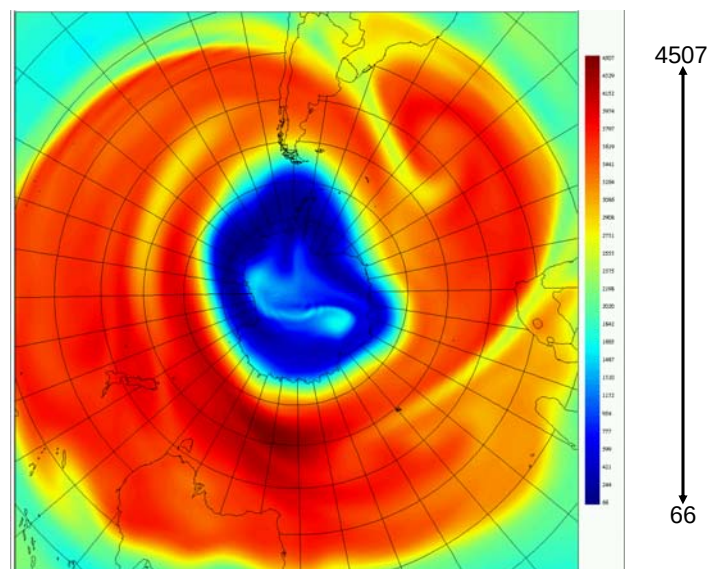
(11 août 2003, 00 UTC: ozone 10 hPa)

O_3 (avec chimie) – O_3 (sans chimie) Unités: ppbv



Analyse d'ozone: 21 Septembre 2003

(21 Septembre 2003, 00 UTC: ozone 50 hPa, Unités: ppbv)

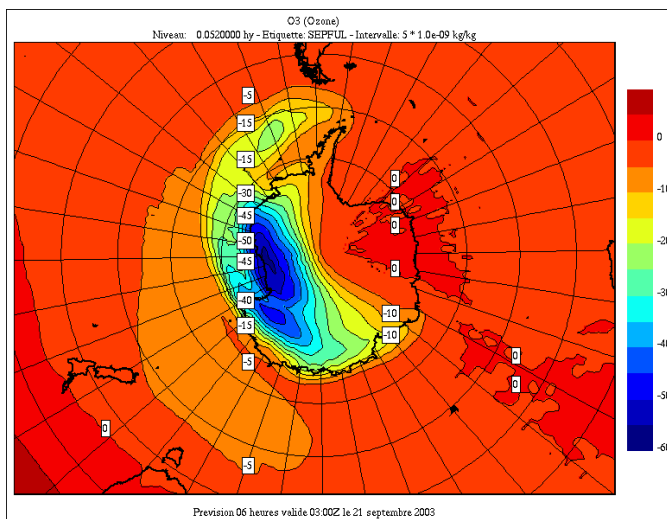


Impact de la chimie sur la prévision 6-h

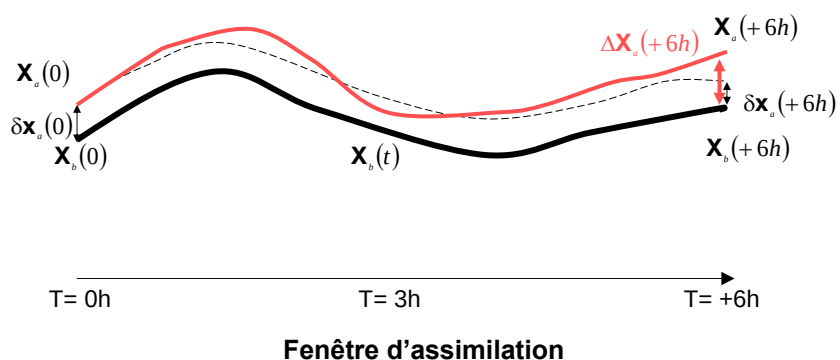
(21 Septembre 2003: ozone 50 hPa)

O_3 (avec chimie)
 – O_3 (sans chimie)

Unités: ppbv

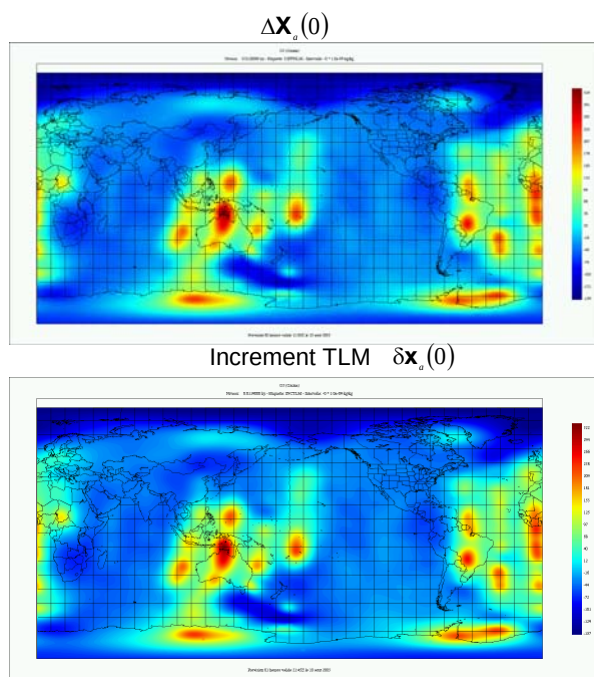


Représentation schématique du 4D-Var



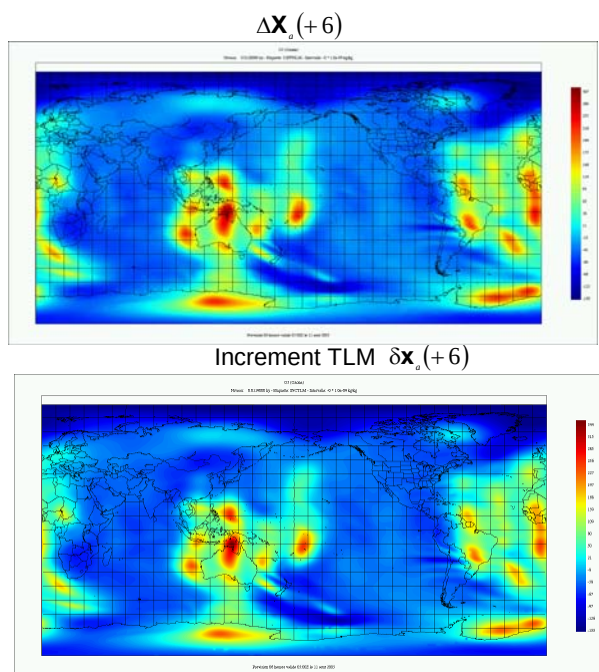
O₃ Incrément au
 temps initial
 10 hPa

11 août 2003

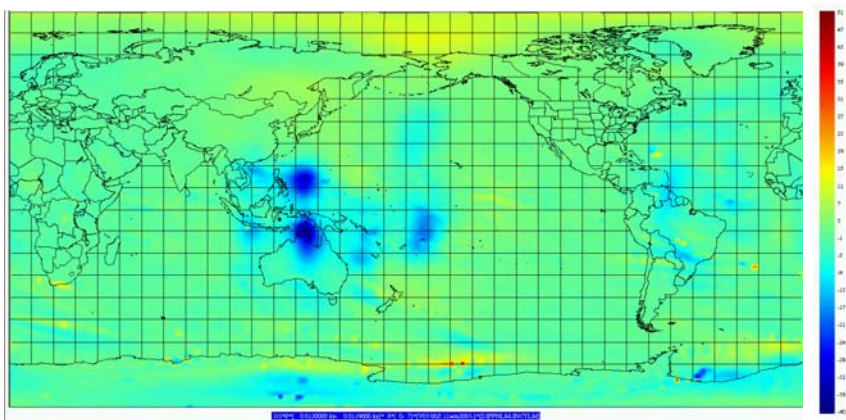


O₃ Incrément au
 temps final
 10 hPa

11 août 2003

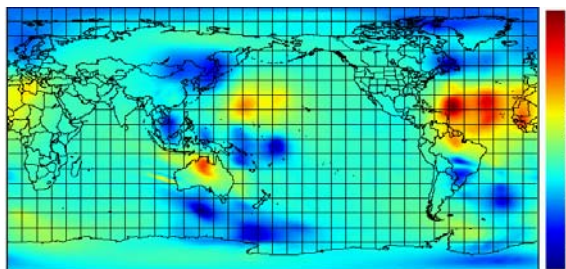


Différence entre les incréments d'analyse au temps final (10 hPa)

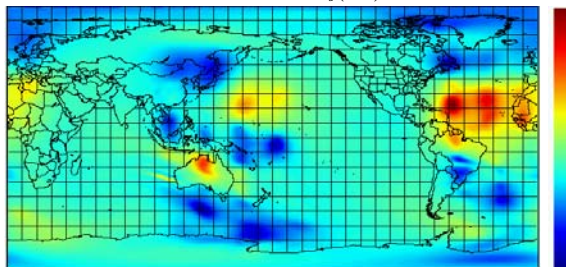


O₃: Incrément au
 temps final
 50 hPa
 11 août 2003

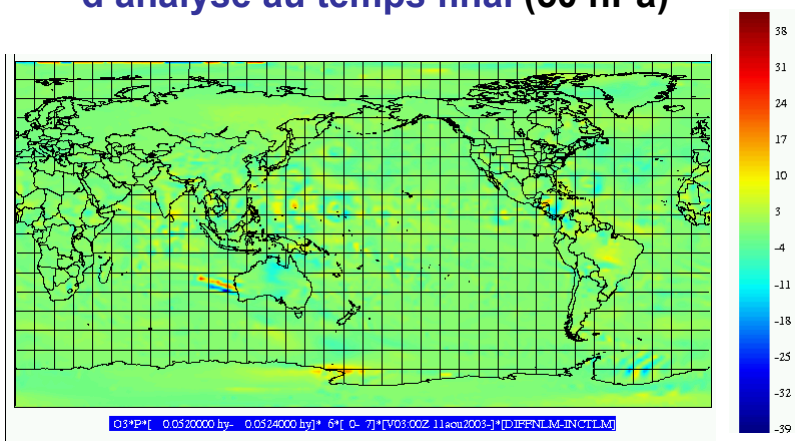
$\Delta \mathbf{x}_o(+6)$



Increment TLM $\delta \mathbf{x}_o(+6)$

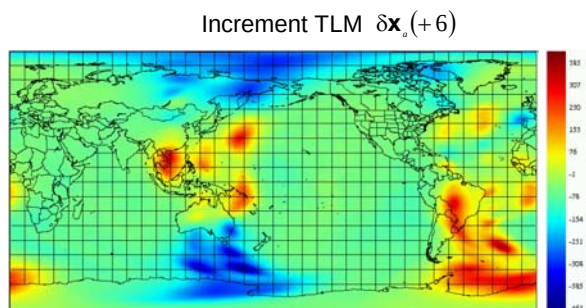
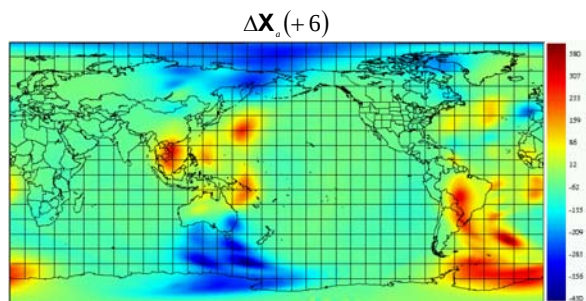


Différence entre les incréments d'analyse au temps final (50 hPa)

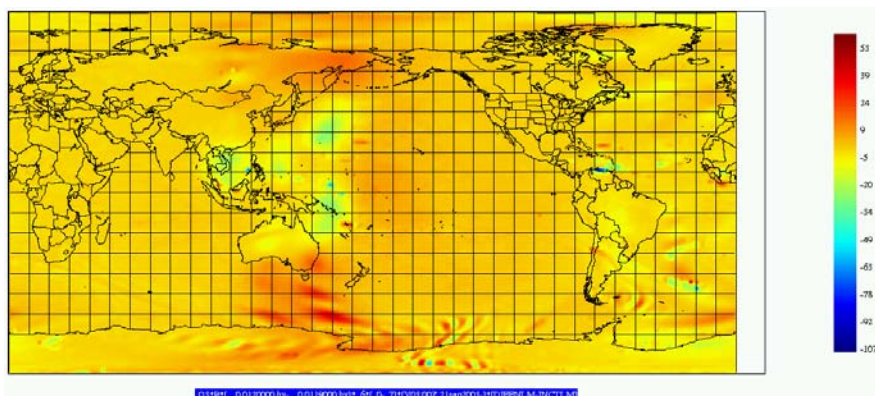


O3: Incrément au temps final 10 hPa

21 septembre 2003

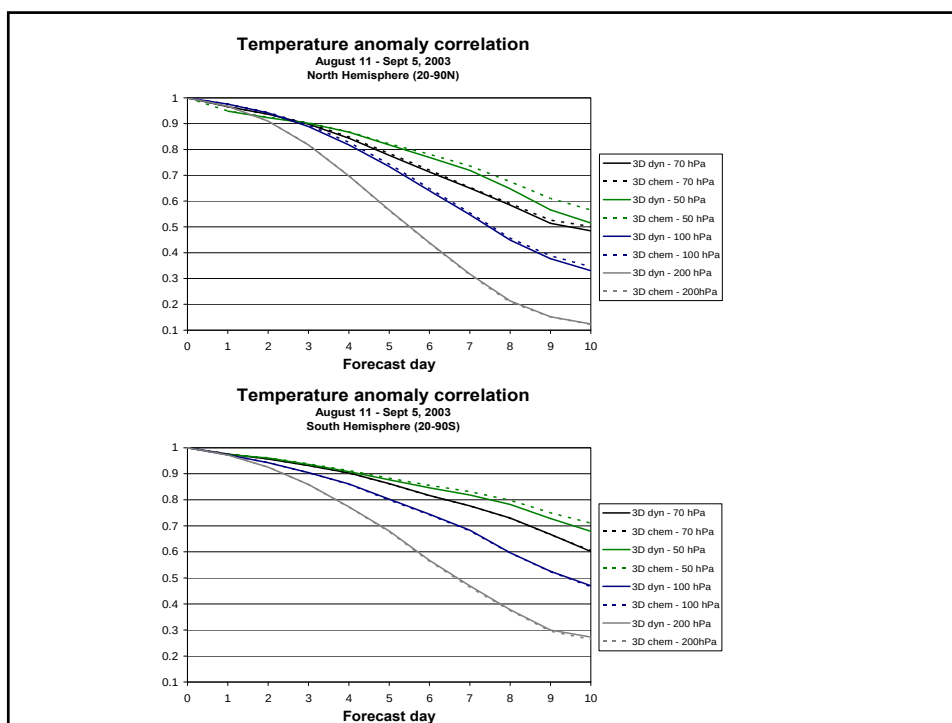


Différence entre les incréments d'analyse au temps final 21 Sept., 2003, 10 hPa



Impact de la prise en compte de l'ozone sur les prévisions météorologiques

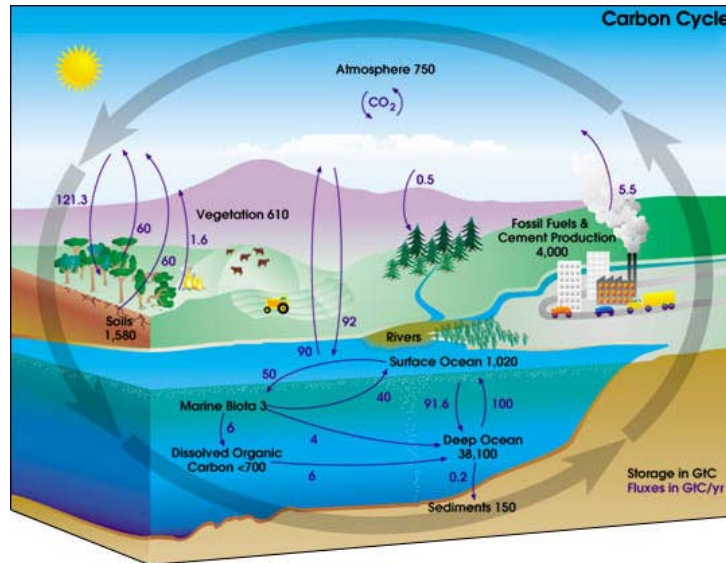
Période du 11 août au 5
septembre 2003



Conclusion

- Assimilation dans le cadre d'un modèle couplé incluant la dynamique et la chimie stratosphérique
 - Information sur les vents peut être obtenu de l'observation de l'évolution de traceurs chimiques
 - Impact de l'ozone sur le transfert radiatif sur la dynamique (température et indirectement sur les vents)
 - Circulation générale guide le transport des constituants chimiques
- Modélisation et assimilation avec des modèles couplés
 - Résultats dépendent de la qualité du modèle utilisé
 - Comparaison contre tous les types d'observation permet de valider l'ensemble des processus modélisés ainsi que leurs interactions
 - Modèle atmosphérique et modèle hydrologique: cohérence entre les précipitations et les débits mesurés dans les cours d'eau

Exemple cycle du carbone (Queegan, 2004: ESA summer school)



Definitions

$\delta x = X - X_b$: increment

$H' = \partial H / \partial X$: tangent-linear of the observation operator

$y' = y - H(X_b)$: innovation vector (observation departure)

X : model state (dim $X = N \sim 10^7$)

X_b : background state

B : background-error covariance

H : forward model (or *observation operator*)

y : observation vector (dim $y = M \sim 10^5$)

R : observational error covariance matrix

Remarks

- Linearisation of the observation operators is taken around a profile model state obtained with respect to the high resolution background