

Mise en oeuvre d'un système d'analyse de sensibilité aux erreurs de prévisions

Stéphane Laroche et Josée Morneau

Collaborateurs: Mark Buehner

Pierre Gauthier

Simon Pellerin

Jean-François Mahfouf

Michel Roch

Monique Tanguay

Ayrton Zadra

Sommaire

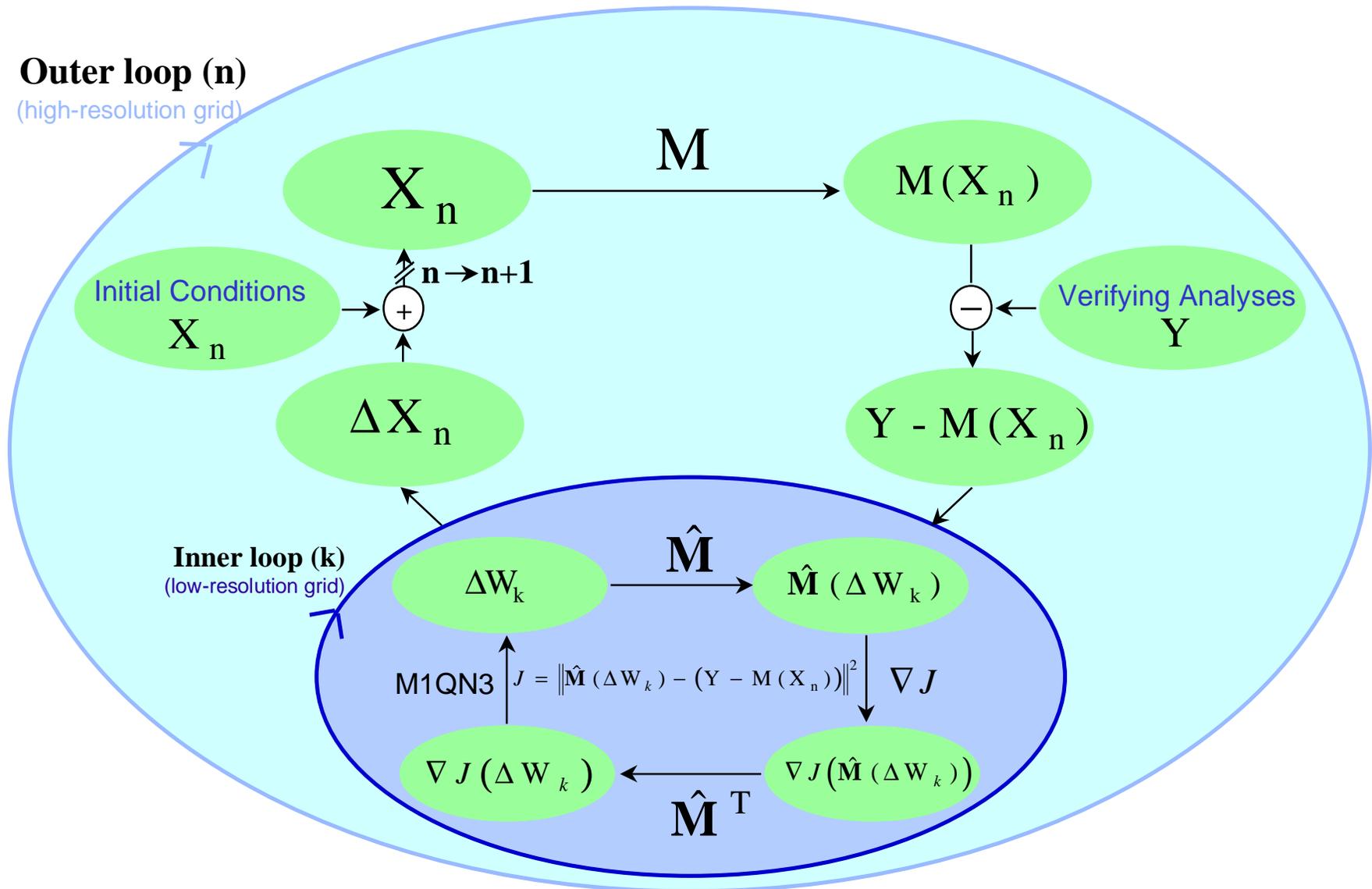
- Objectifs;
- rappel sur le système d'analyse de sensibilité (cas du 7 février 2001);
- présentation sommaire du site interne des analyses de sensibilité (cas du 21 janvier 2003);
- pathologies et solutions possibles (cas du 28 mars 2003);
- travaux à venir.

Objectifs

- Eprouver la robustesse du linéaire tangent de GEM et son adjoint pour les besoins du 4D-Var;
- mieux comprendre les sources d'erreurs de prévisions dans notre système d'analyse sur une base quotidienne;
- analyser les mauvaises performances de notre système de prévisions attribuables à l'analyse;
- obtenir éventuellement une analyse a posteriori plus complète et plus précise.

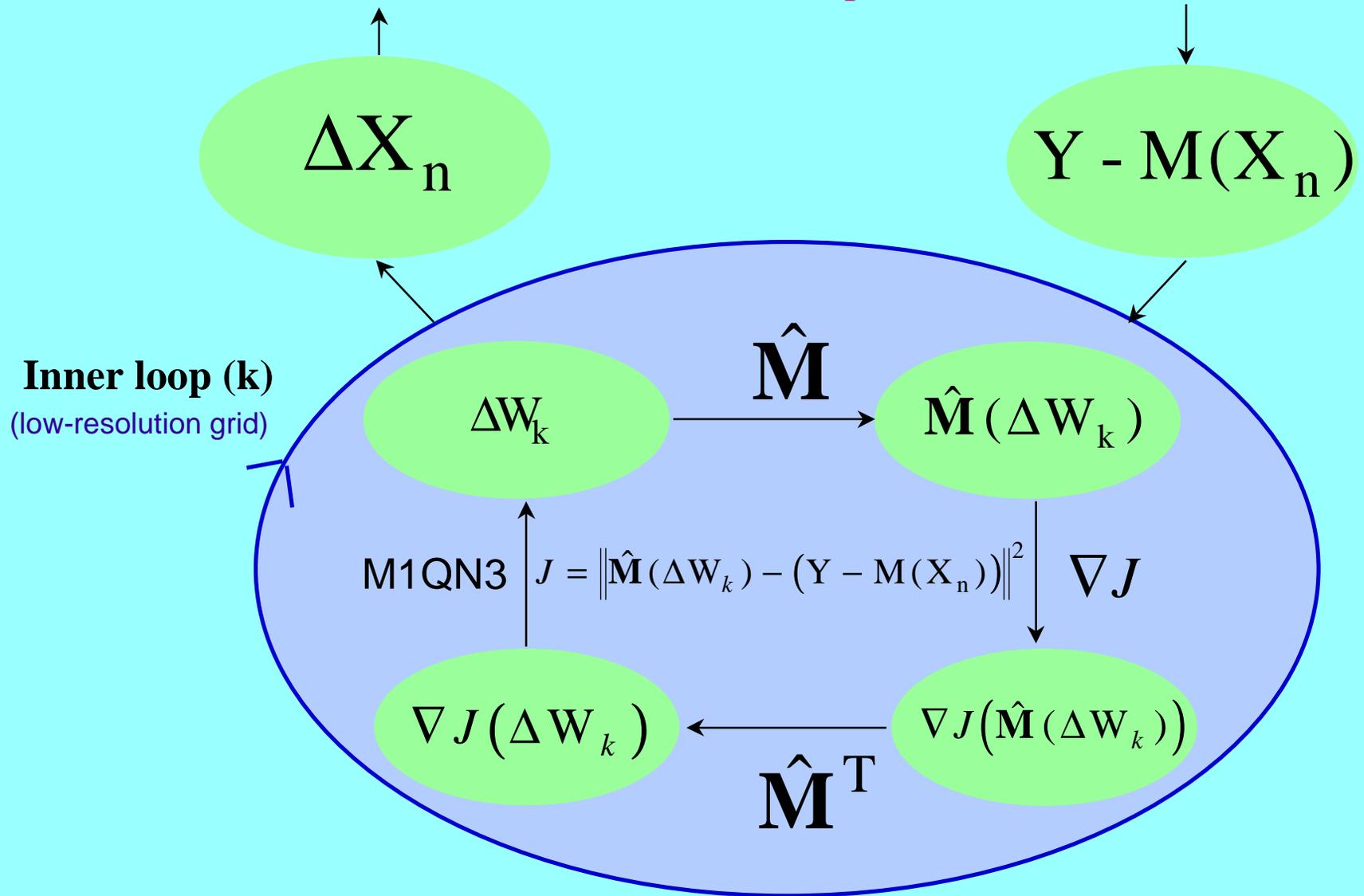
Sensitivity analysis system

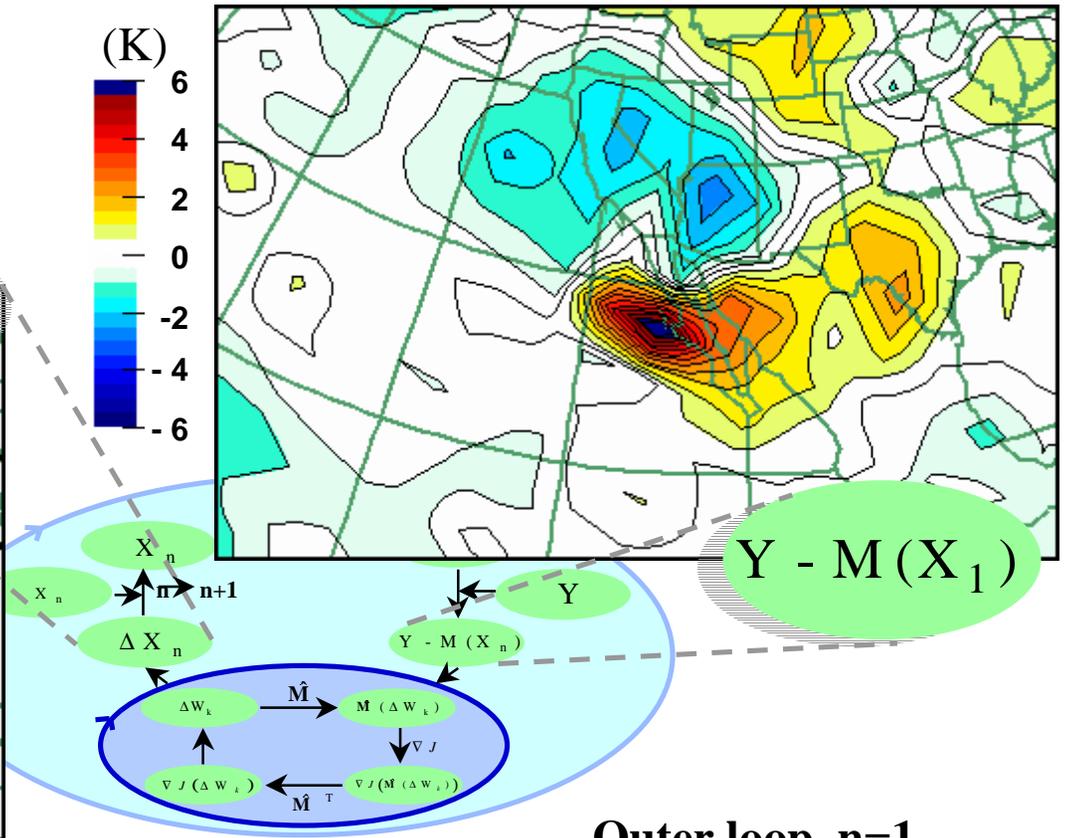
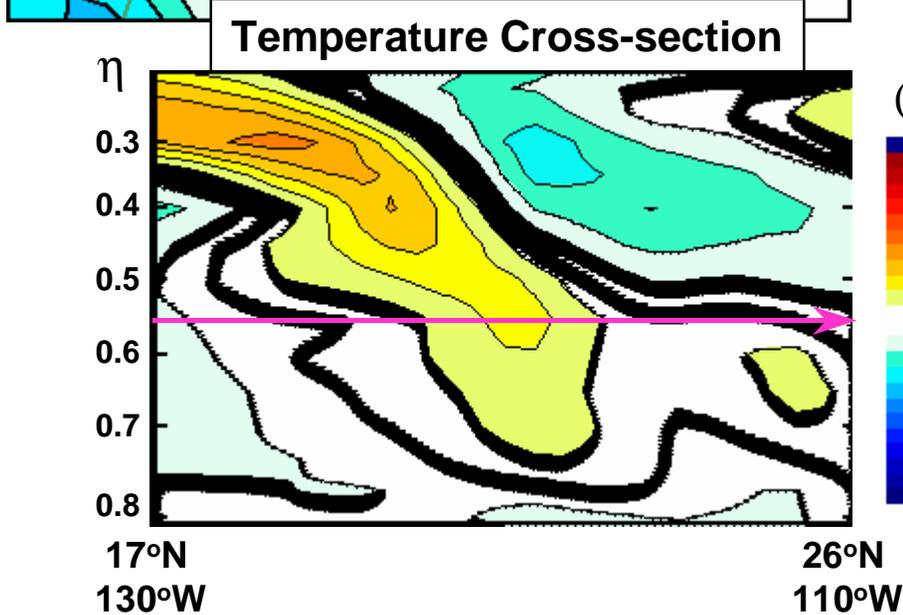
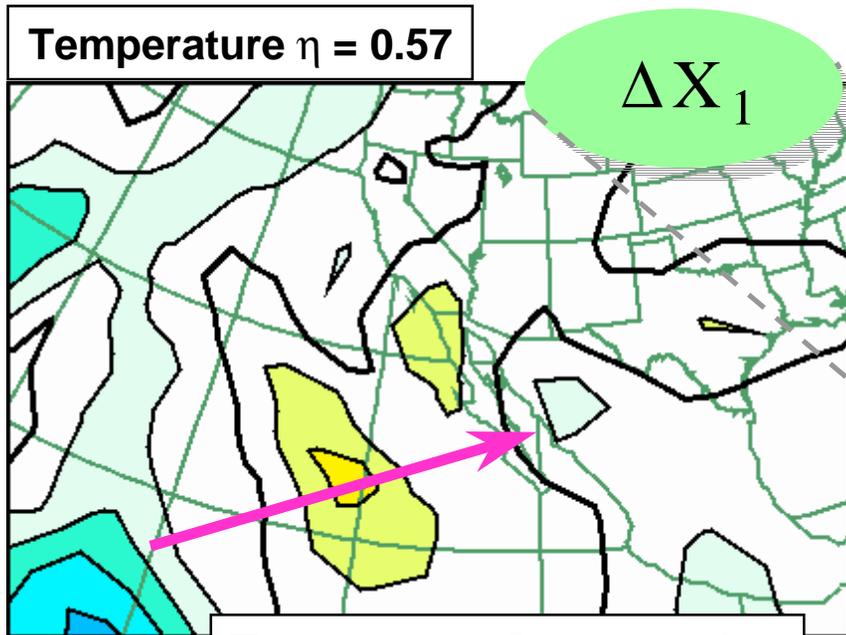
General algorithm for key analysis errors estimation



Sensitivity analysis system

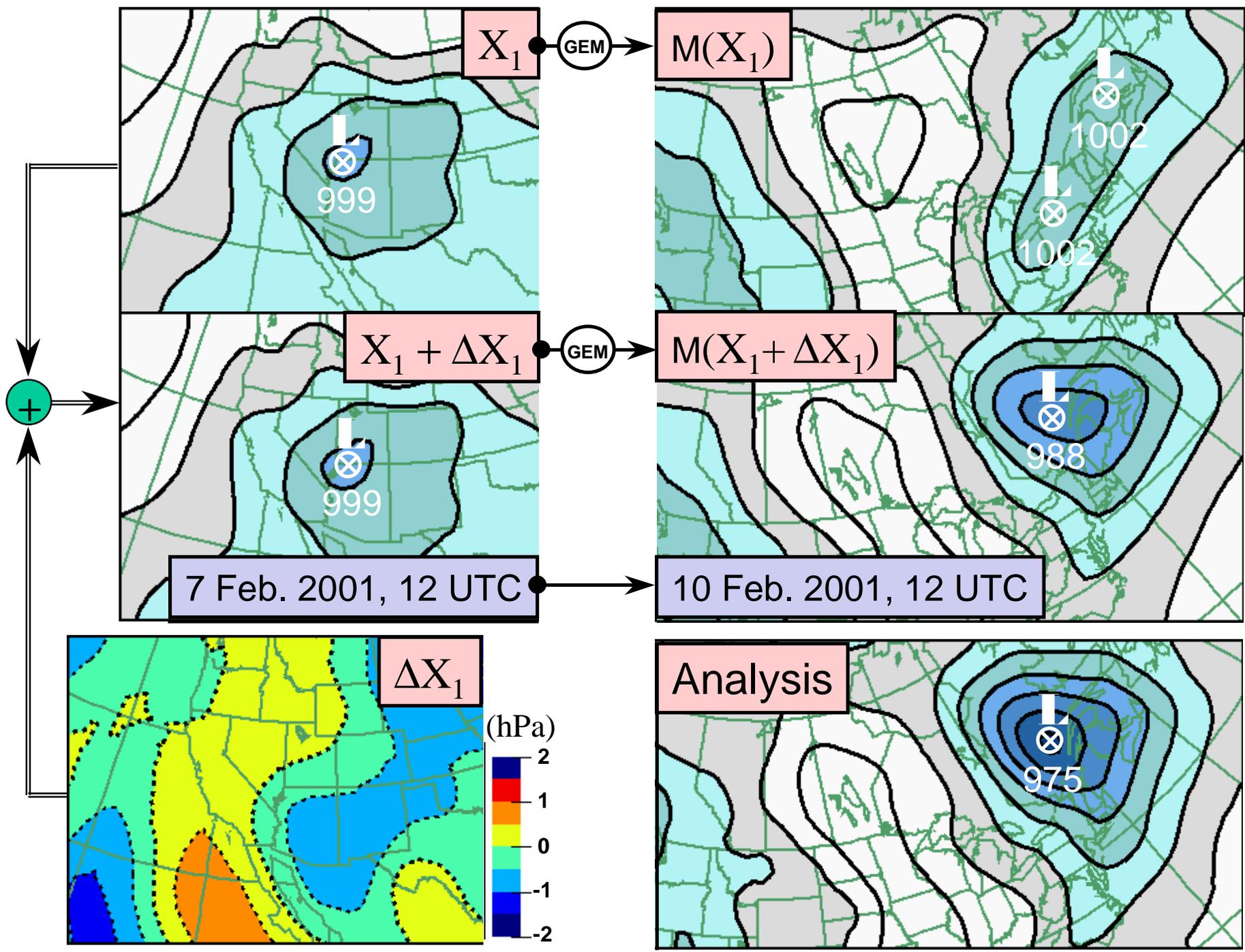
The Inner loop





Outer loop, $n=1$
Inner loop, $k=3$

24hr key analysis errors
valid on February 7th, 2001



Configuration actuelle du système

- Boucle externe: modèle global opérationnel;
- Boucle interne: grille global 3 degrés uniforme, pôles non-basculés, pas de temps 3600s;
- GEMDM 3.0.2;
- Physique simplifiée: diffusion verticale;
- 1 itération externe et 3 itérations internes.

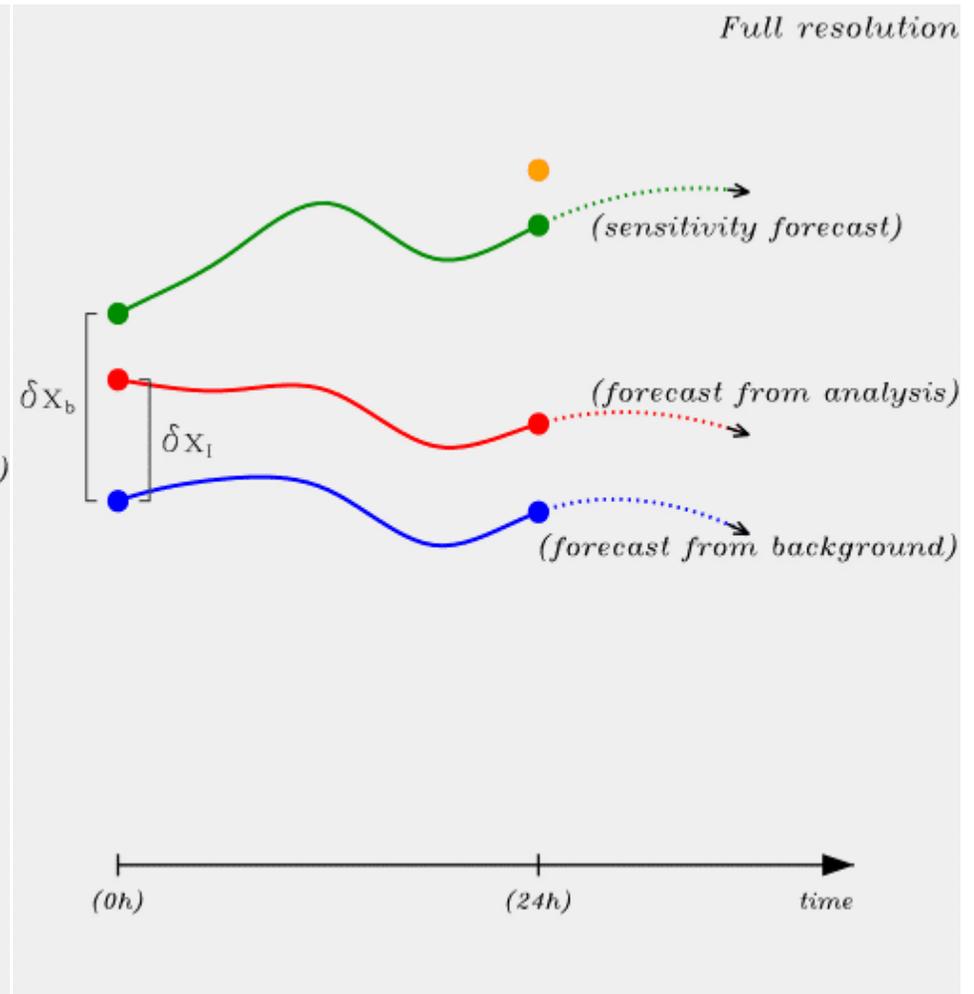
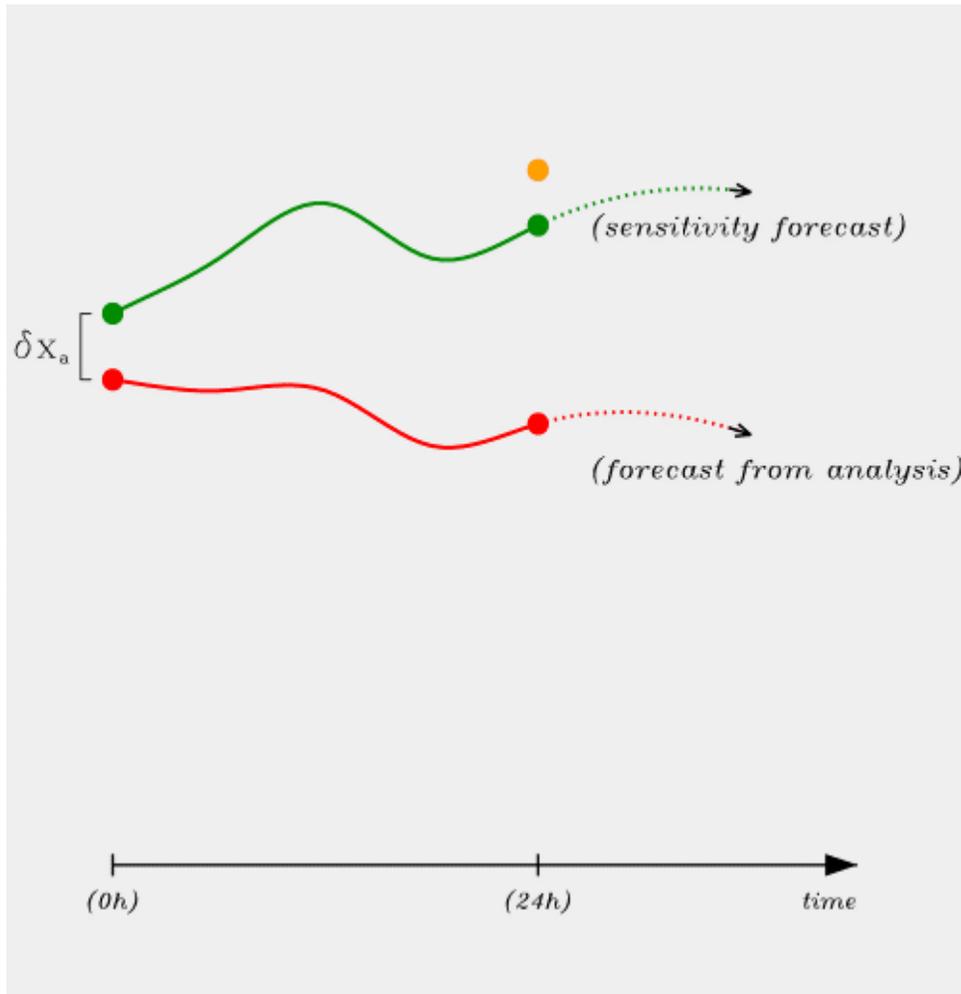
Produits sur le site web

iweb.cmc.ec.gc.ca/~afsdjmo/SENSIB/sensib.html

- Sensibilités de l'erreur de prévision de 24h par rapport à l'analyse et au champ d'essai;
- Évolutions des sensibilités et des incréments d'analyses;
- Vérifications et séries temporelles des diverses prévisions issues du système.

Sensibilité par rapport à l'analyse

Sensibilité par rapport champ d'essai



Mesures des perturbations et de la performance

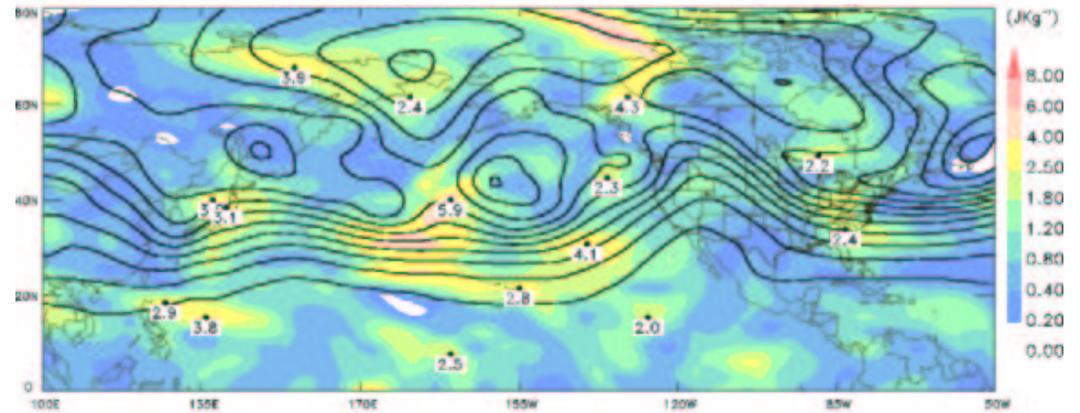
Mesure des différences entre deux prévisions

$$E(t) = \frac{1}{2(P_b - P_a)} \int_{P_a}^{P_b} \left[u'^2 + v'^2 + \frac{c_p}{T_r} T'^2 \right] dp$$

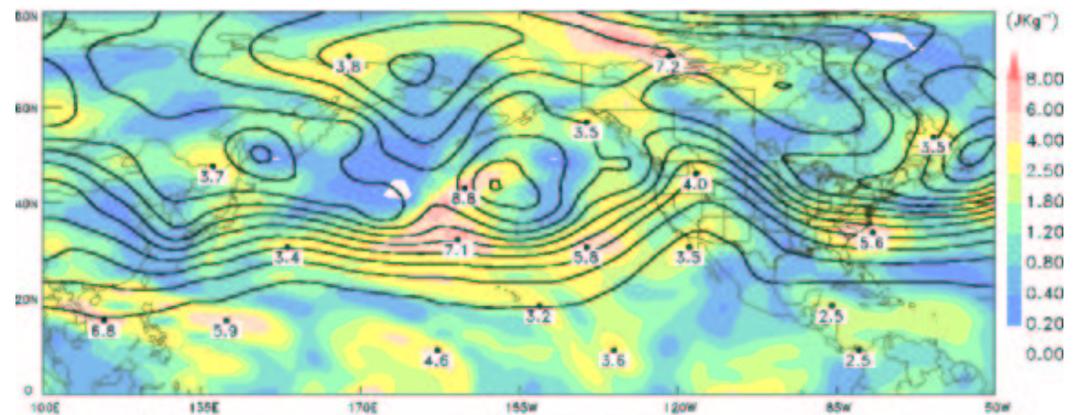
$$P_b = 850 \text{ hPa}, \quad P_a = 200 \text{ hPa}$$

Cas du 21 janvier 00Z

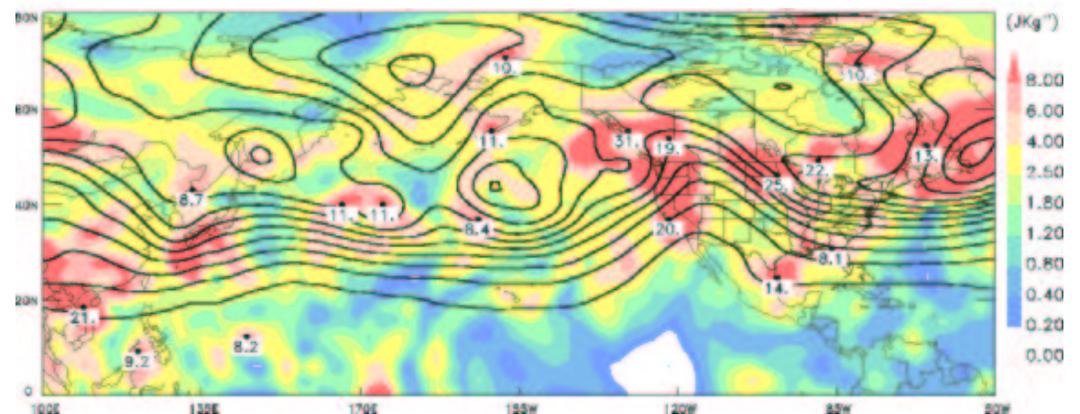
Sensibilités par rapport
à l'analyse



Sensibilités par rapport
au champ d'essai

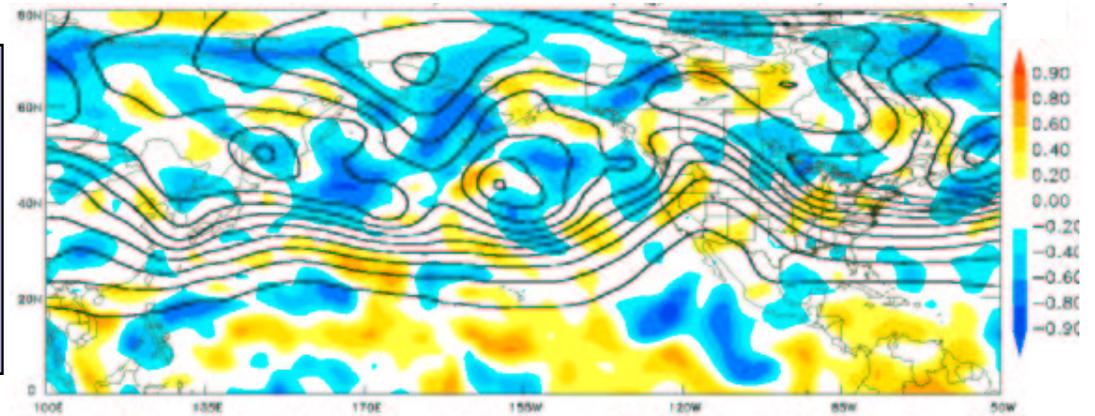


Incréments d'analyse

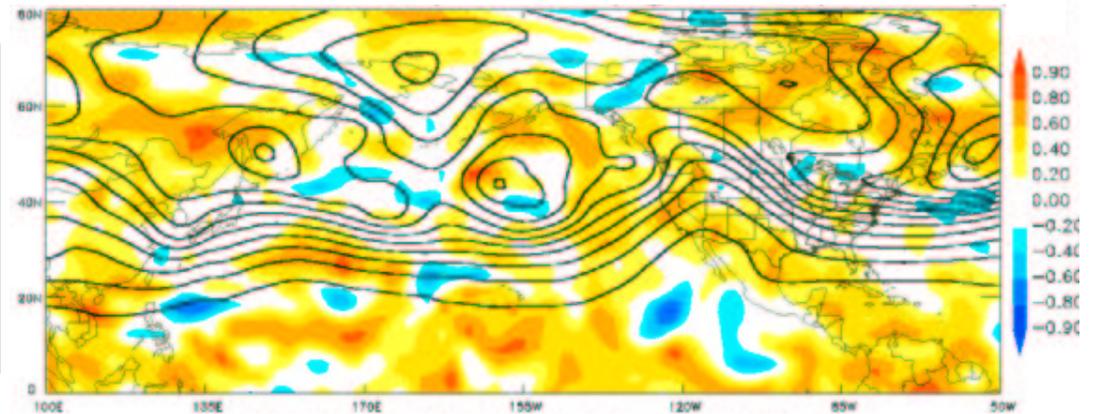


Cas du 21 janvier 00Z

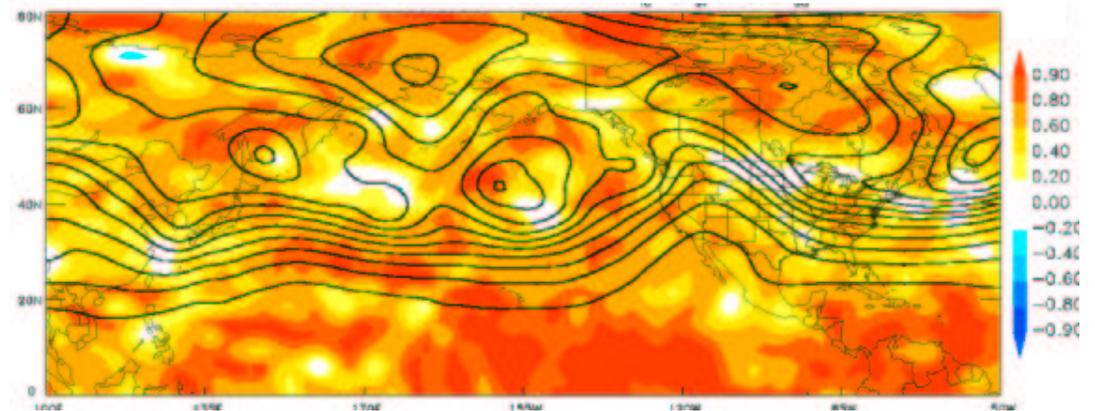
Corrélation entre
les sensibilités par rapport à l'analyse
et les incréments d'analyse



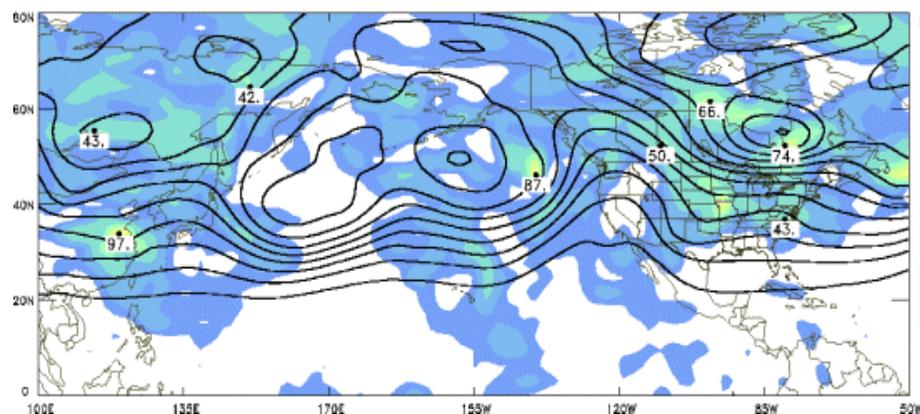
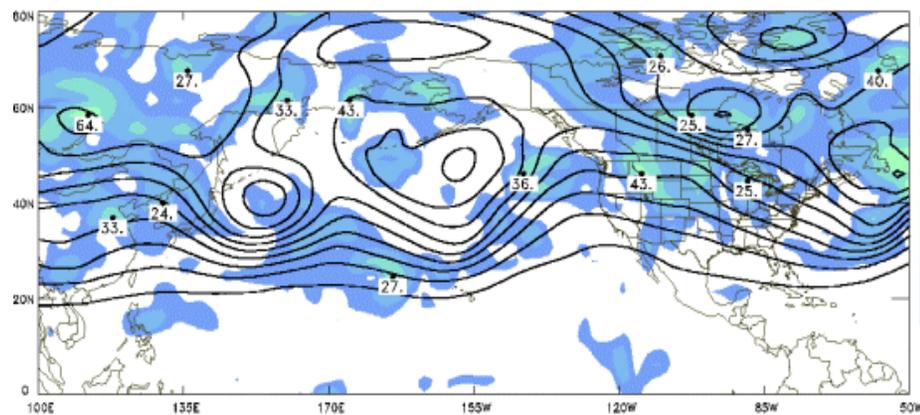
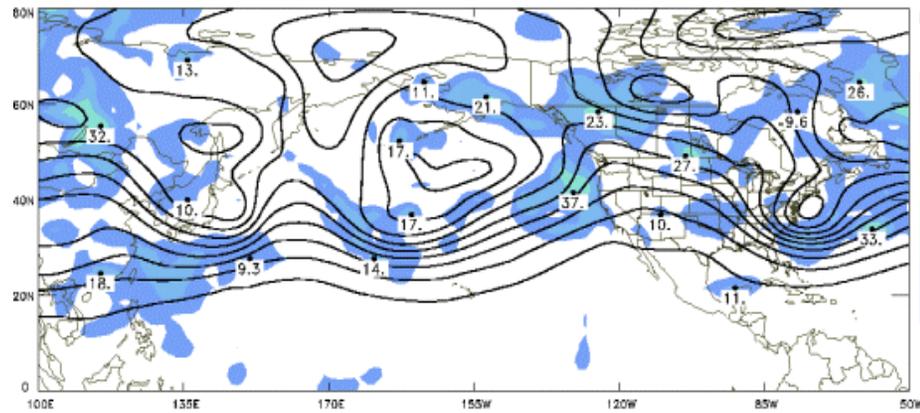
Corrélation entre
les sensibilités par rapport
champ d'essai
et les incréments d'analyse



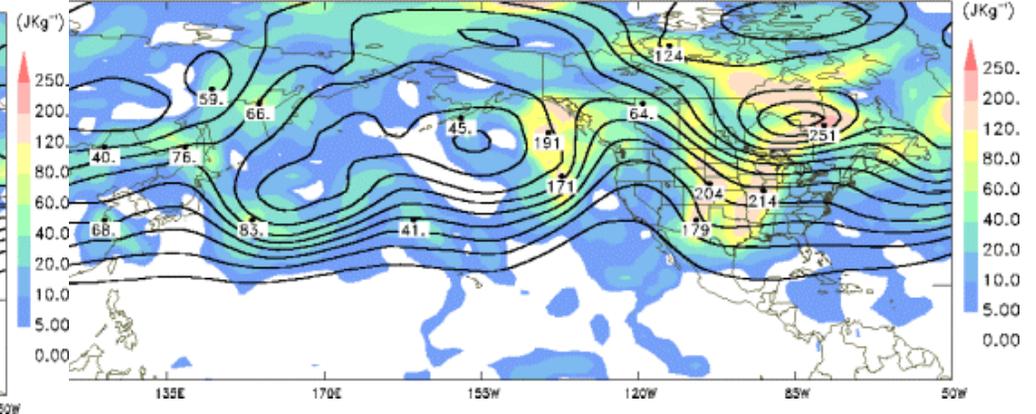
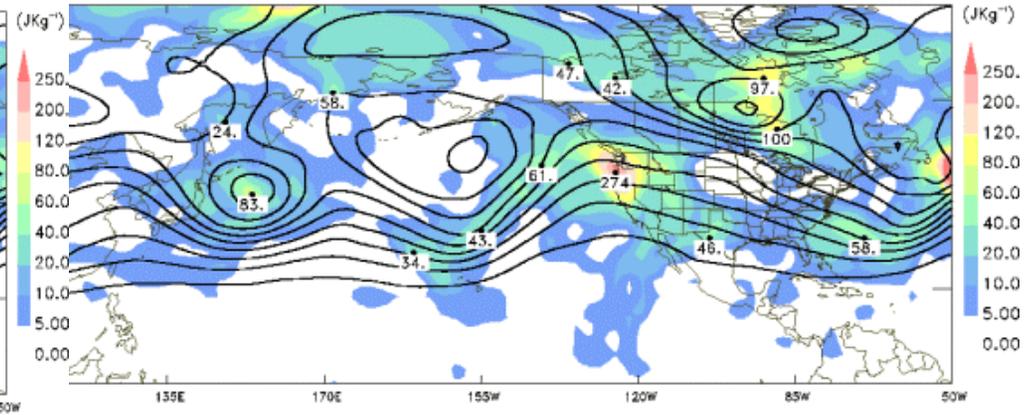
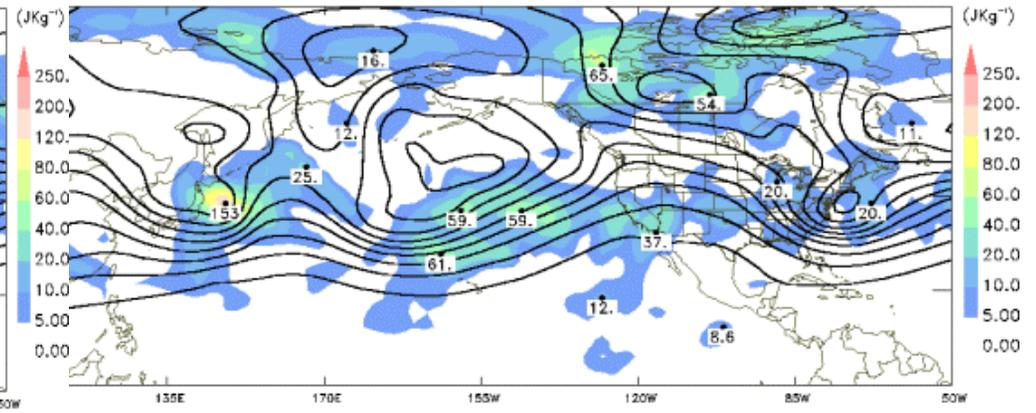
Corrélation entre
les sensibilités par rapport
à l'analyse + les incréments d'analyse
et les sensibilités par rapport au champ d'essai



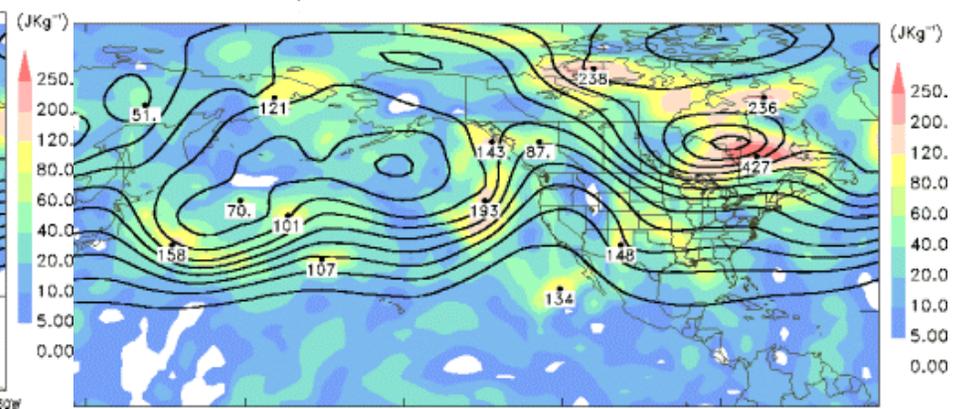
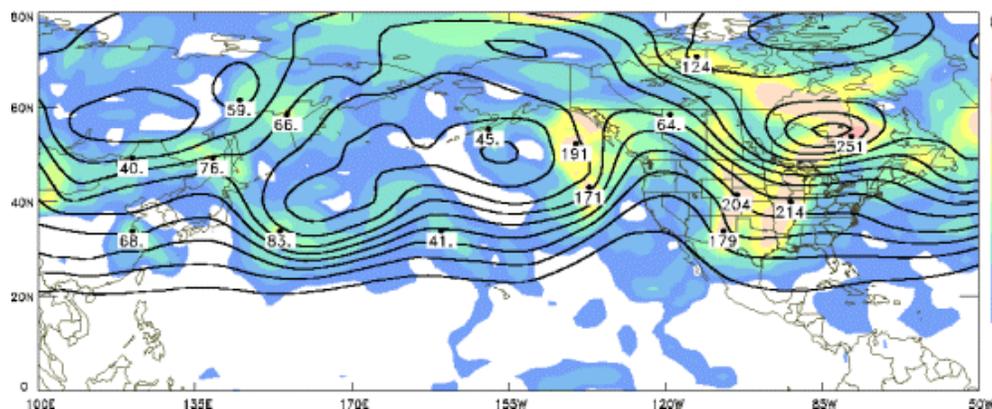
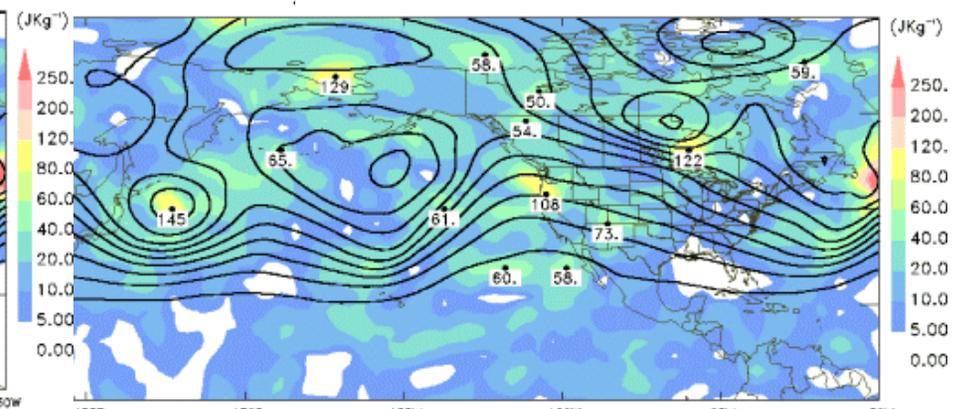
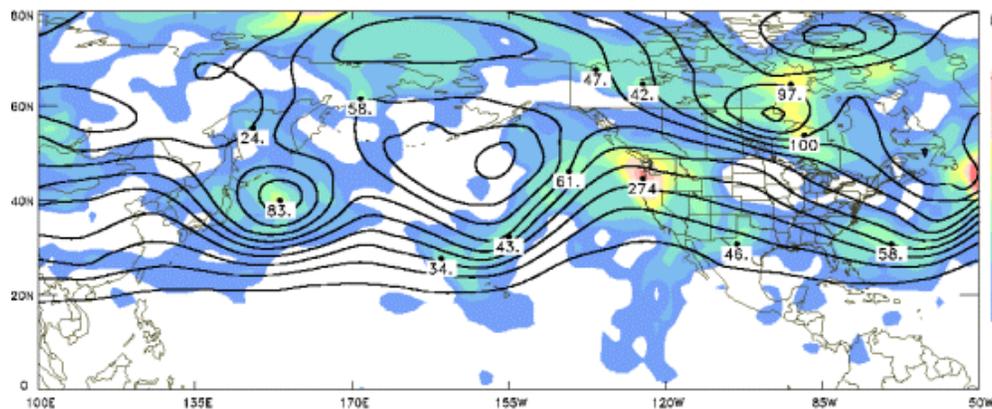
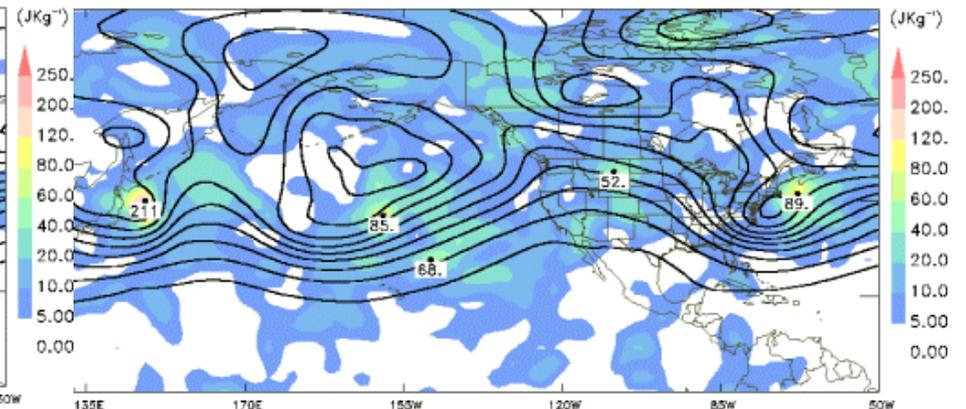
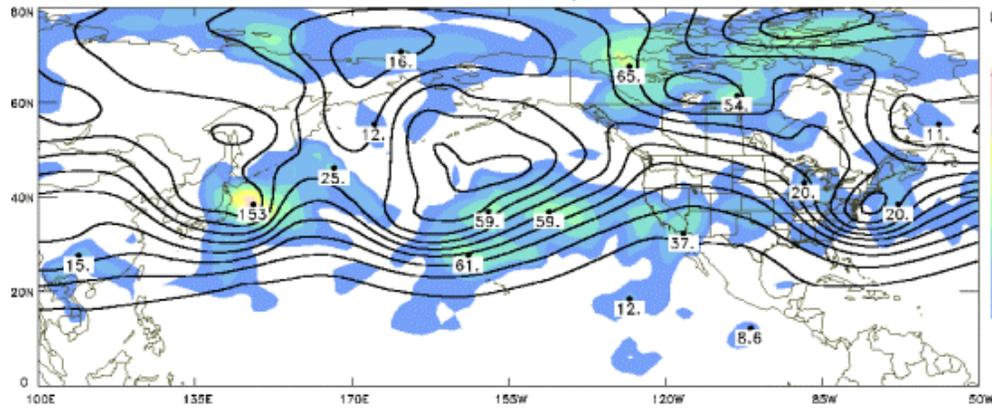
Évolution des incréments d'analyse



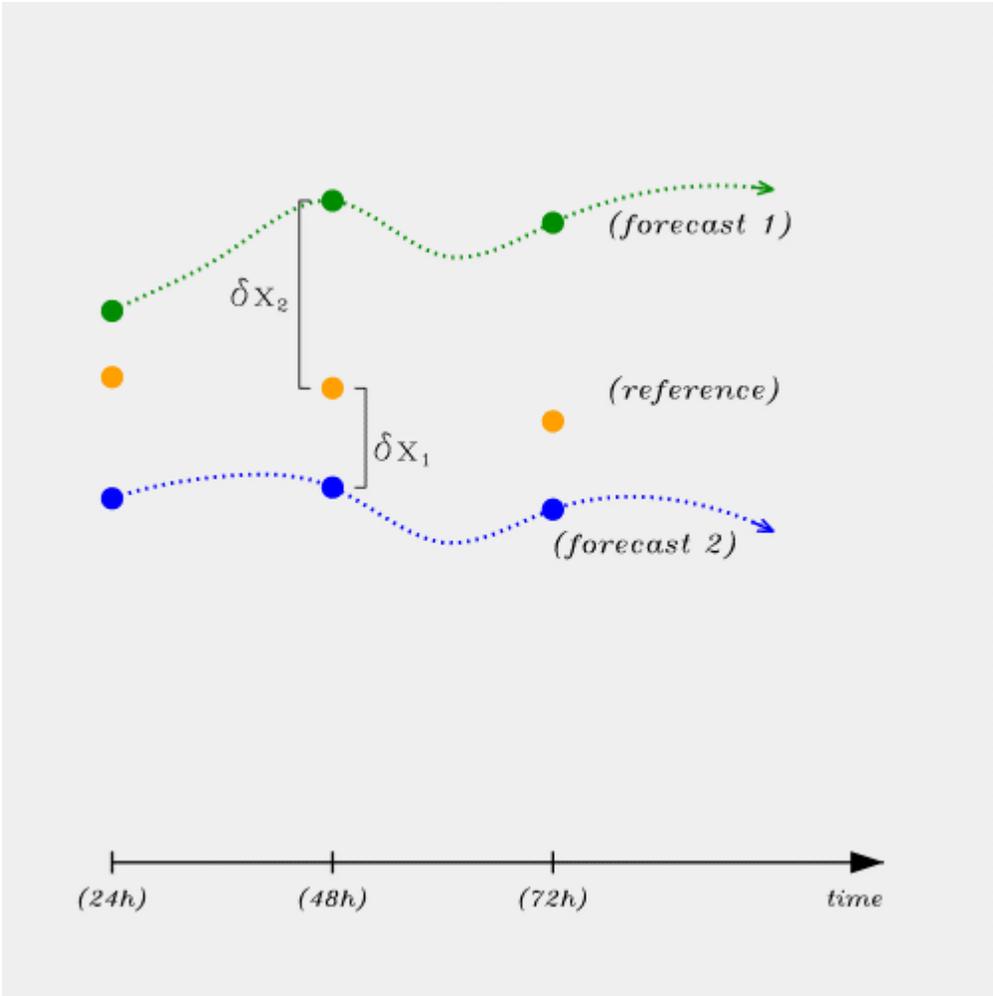
Évolution des sensibilités par rapport à l'analyse



Évolution des sensibilités par rapport à l'analyse



Indice d'amélioration (prévision 2 par rapport à prévision 1)



Mesures des perturbations et de la performance

Mesure des différences entre deux prévisions

$$E(t) = \frac{1}{2(P_b - P_a)} \int_{P_a}^{P_b} \left[u'^2 + v'^2 + \frac{c_p}{T_r} T'^2 \right] dp \quad P_b = 850 \text{ hPa}, \quad P_a = 200 \text{ hPa}$$

Indice d'amélioration (prévision 2 par rapport à prévision 1)

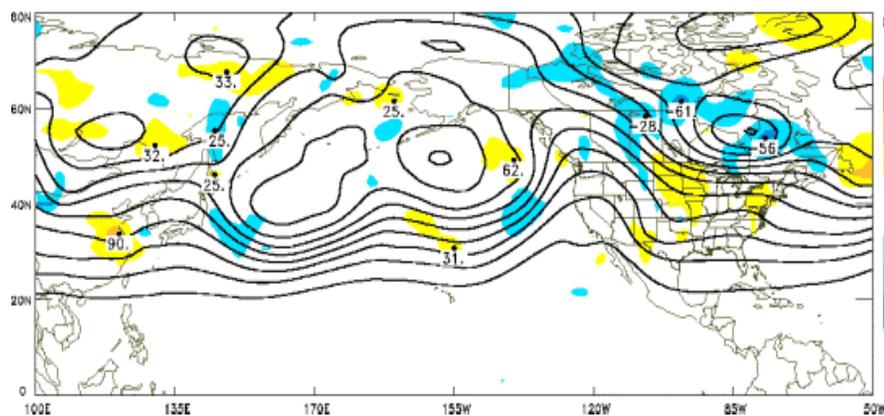
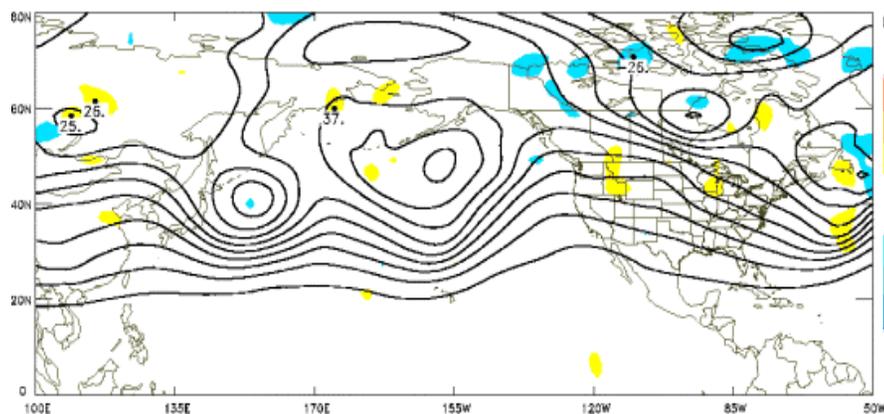
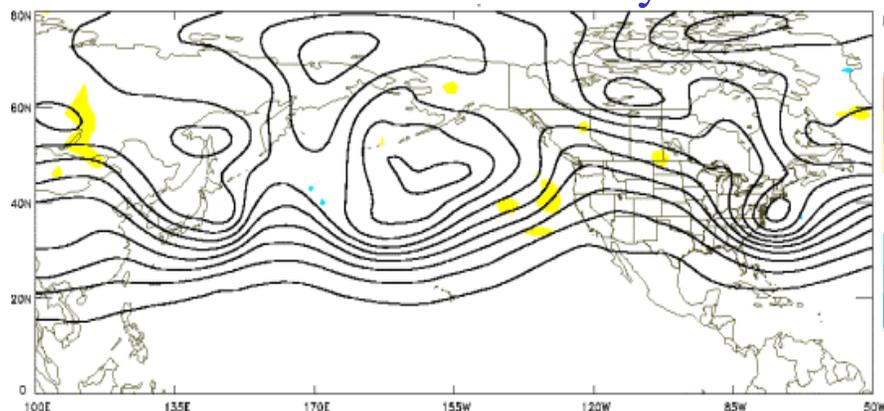
$$A(t) = \frac{1}{2(P_b - P_a)} \int_{P_a}^{P_b} \left[u''^2 \text{sign}(u'') + v''^2 \text{sign}(v'') + \frac{c_p}{T_r} T''^2 \text{sign}(T'') \right] dp$$

$$u'' = |\delta u_1(t)| - |\delta u_2(t)|$$

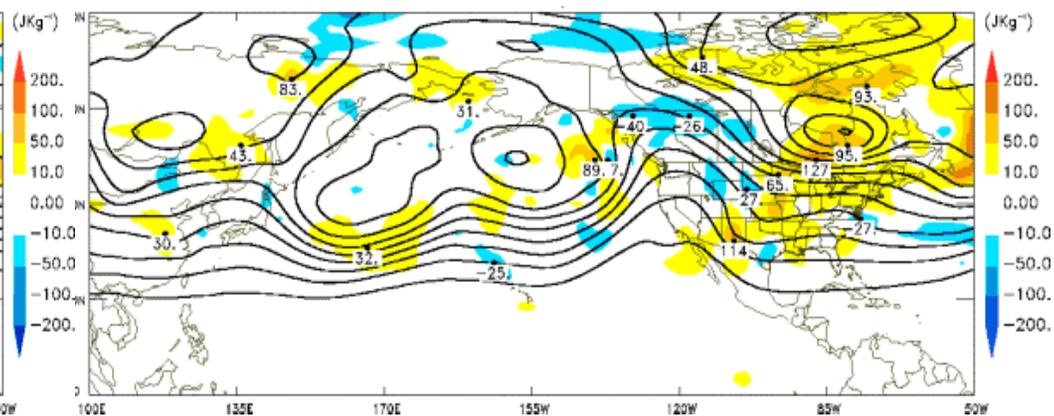
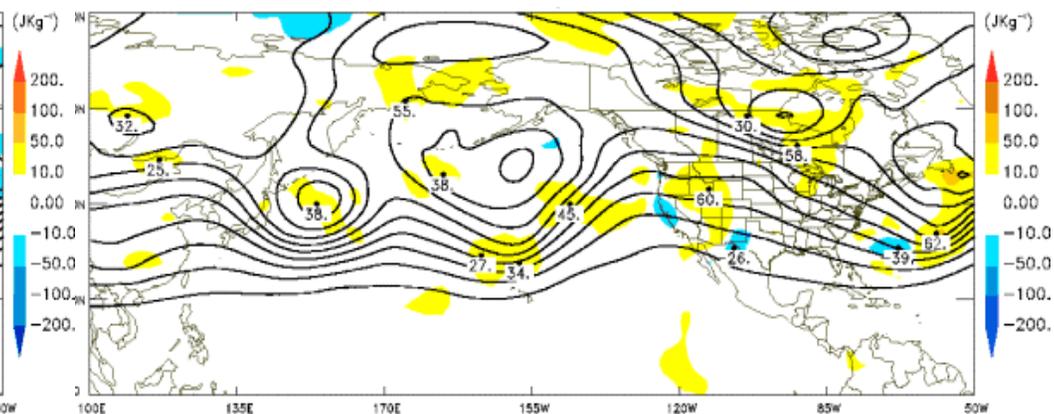
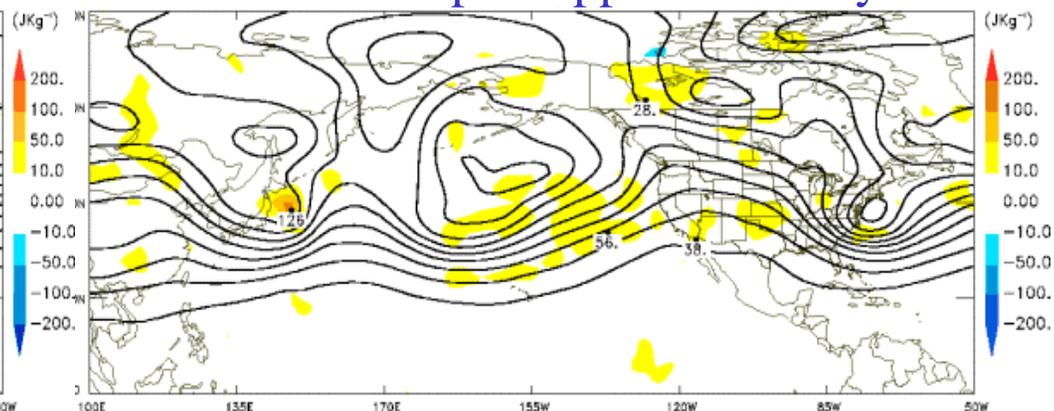
$$v'' = |\delta v_1(t)| - |\delta v_2(t)|$$

$$T'' = |\delta T_1(t)| - |\delta T_2(t)|$$

Amélioration apportée par l'incrément d'analyse



Amélioration apportée par la sensibilité par rapport à l'analyse

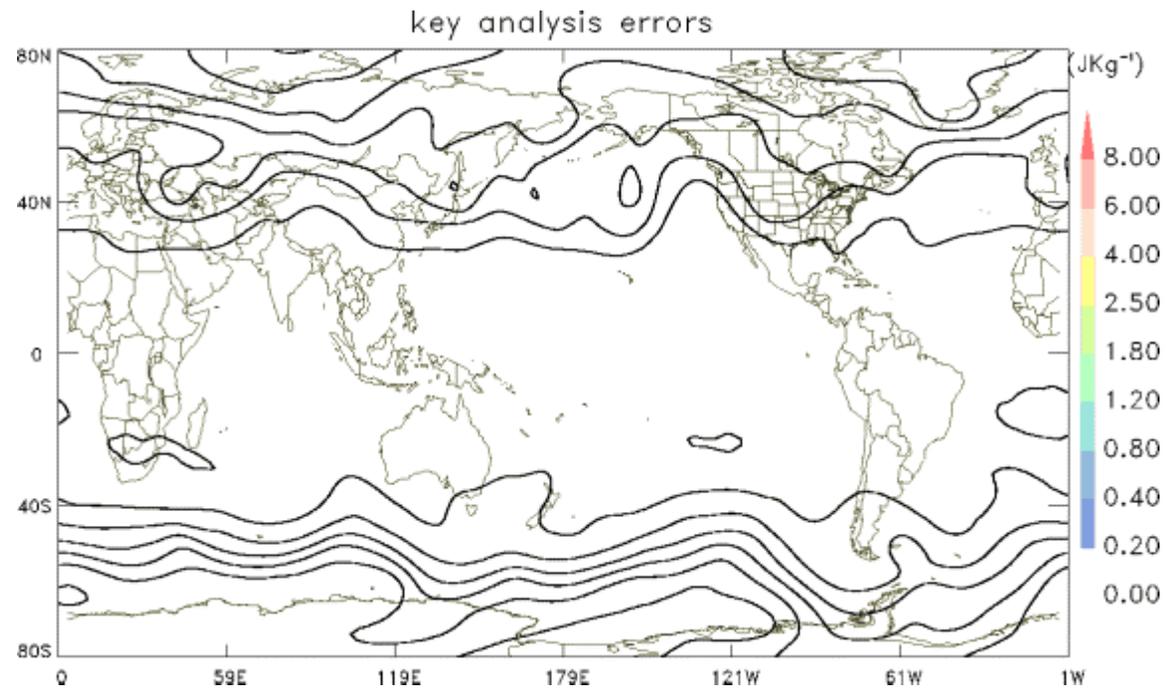


Commentaires sur le comportement au jour le jour du système

- Depuis mi-octobre 2002, nous produisons des analyses de sensibilité tous les jours (00Z).
- Cependant, depuis mars 2003, certains cas pathologiques sont apparus.
- L'apparition du problème coïncide avec le changement de régime de temps près du pôle sud.

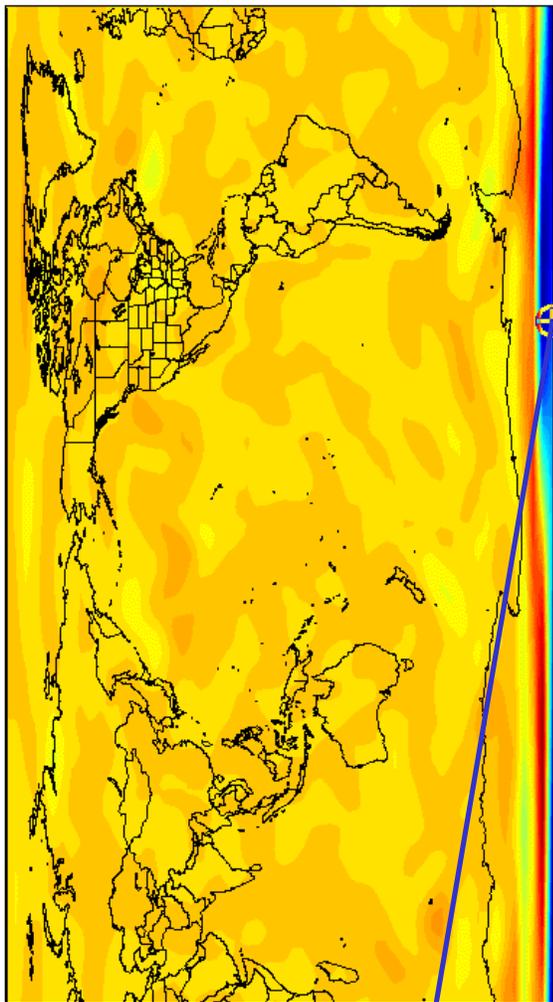
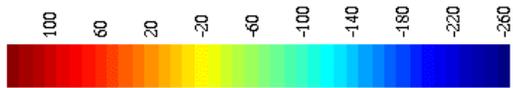
Exemple d'un cas pathologique

28 mars 2003, 00Z



UU (Vent est-ouest)

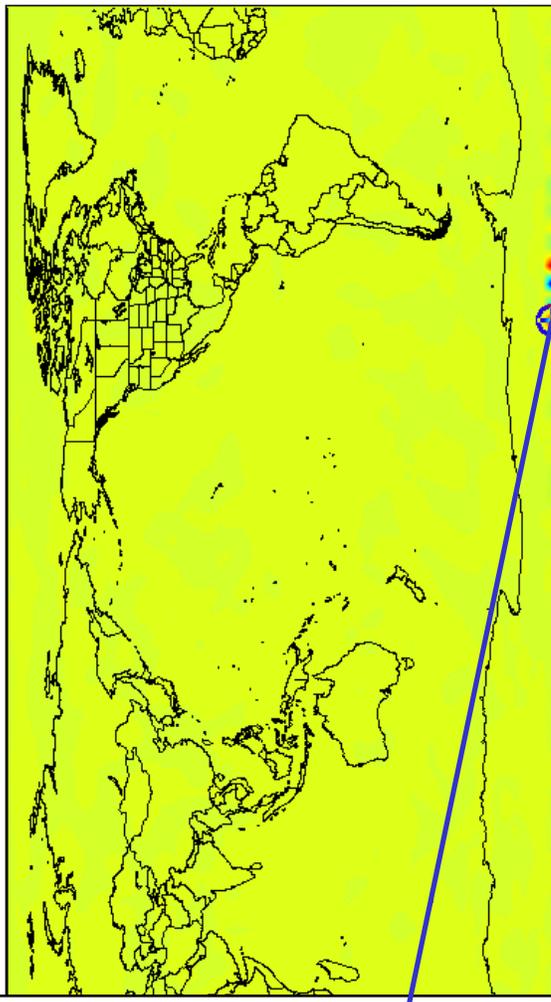
Niveau: 0.9930 sg - Etiquette: AKB10 - Intervalle: 10 * 1.0e+00 noeuds



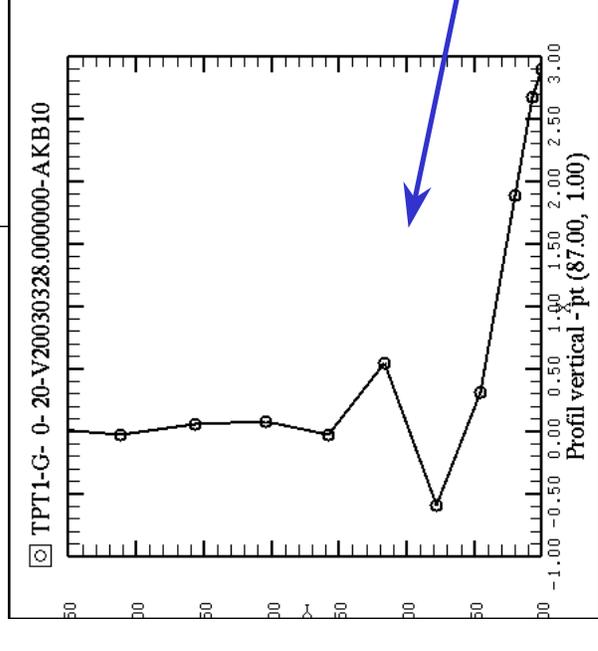
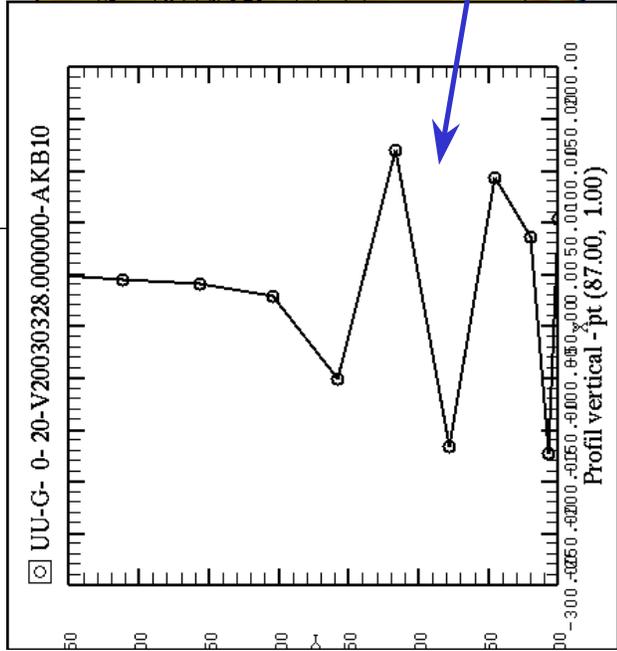
Champ valide 00:00Z le 28 mars 2003

TPT1

Niveau: 0.9930 sg - Etiquette: AKB10 - Intervalle: 0 * 1.0e+01 (???)



Champ valide 00:00Z le 28 mars 2003

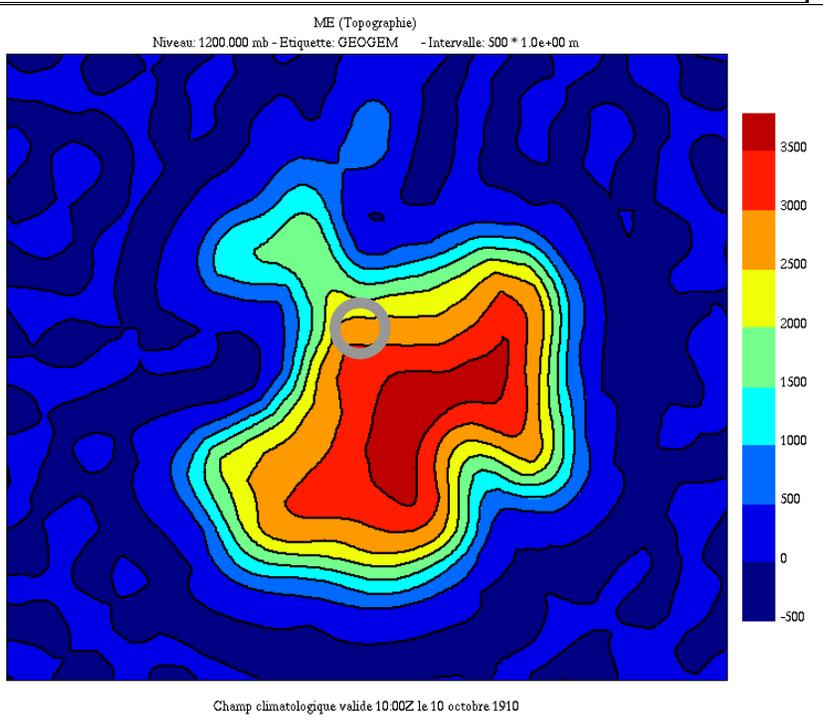
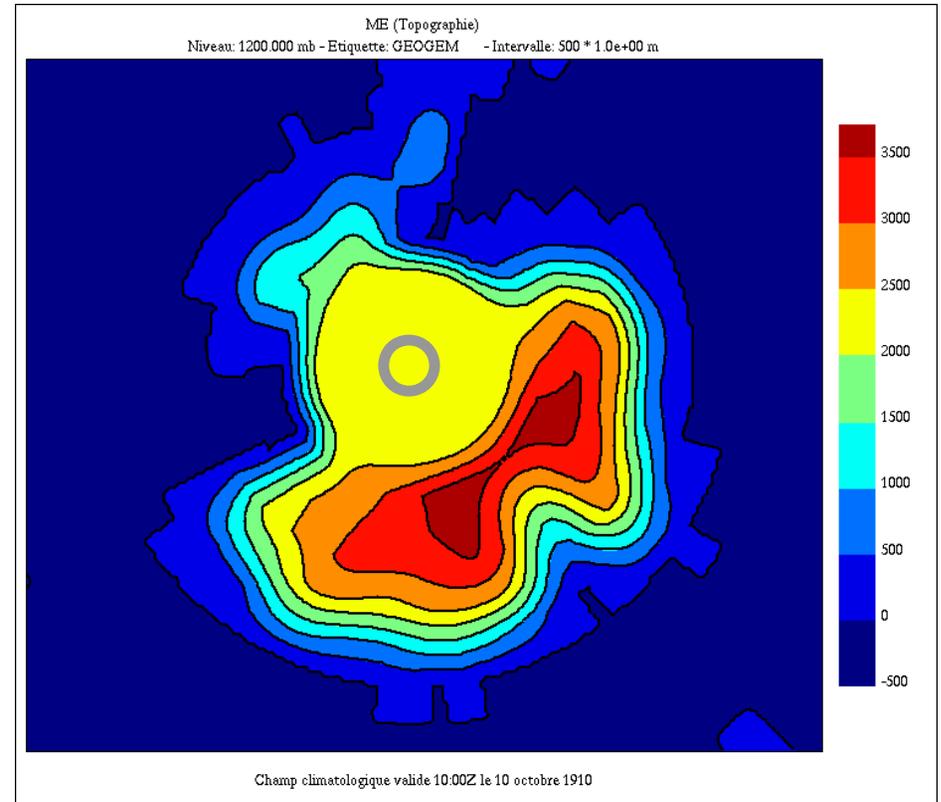
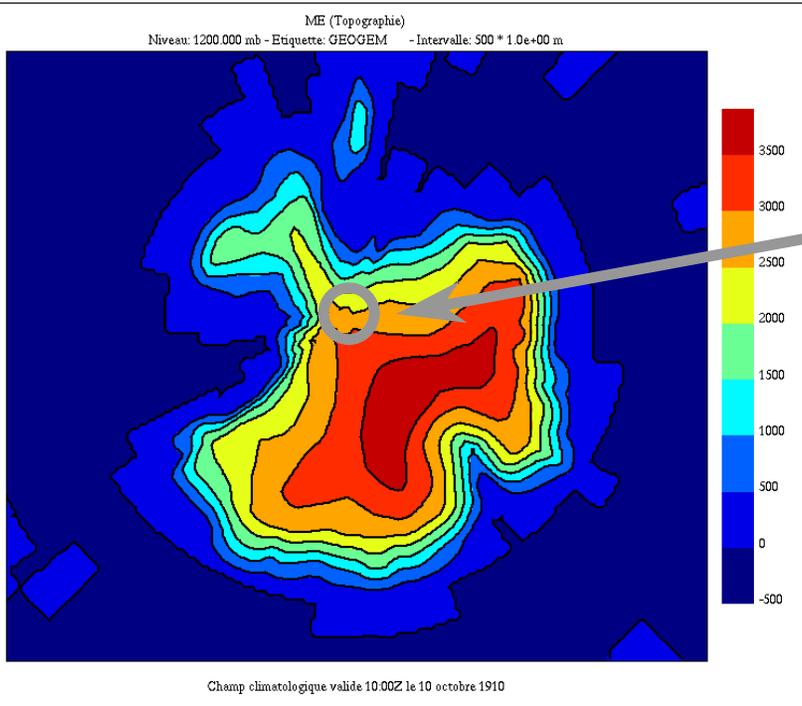


Solutions examinées

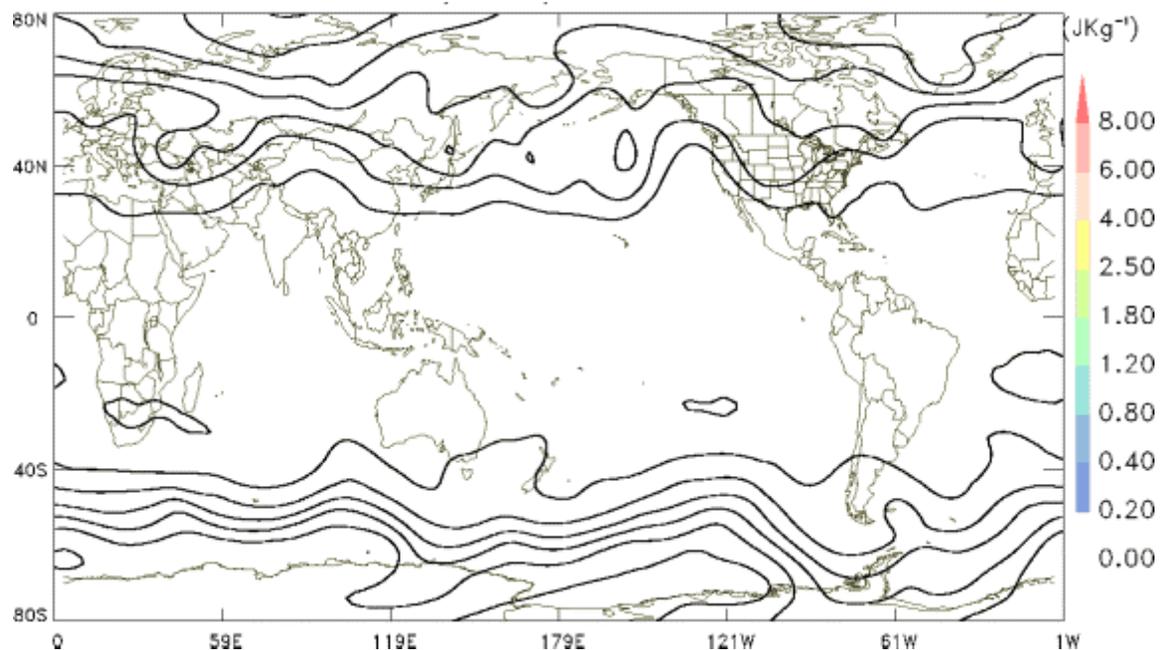
- Réduire le pas de temps de 3600s à 1800s;
- Revenir aux pôles basculés opérationnels;
- Lisser l'orographie;
- Modifier la diffusion horizontale;
- Augmenter la diffusion horizontale près des pôles;
- Imposer une diffusion verticale minimale près de la surface;
- Modifier le problème de minimisation près des pôles.

Topographie (3 degrés)

Pôle Sud

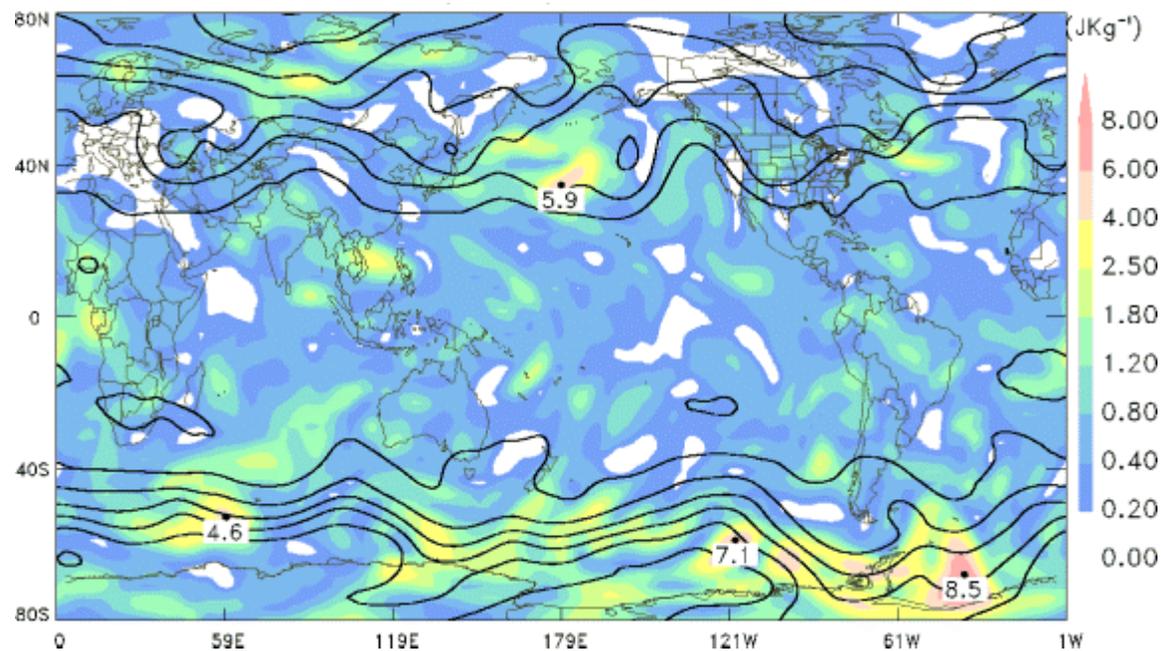


Pas de temps (3600s)



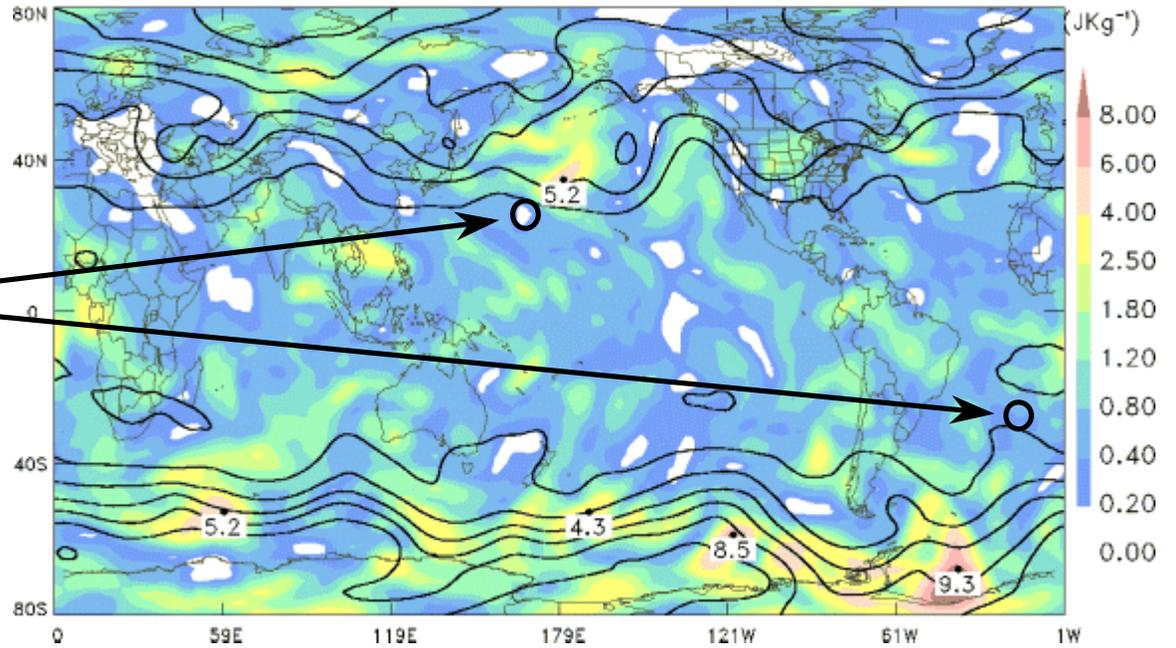
Cas du 28 mars 00Z

Pas de temps (1800s)



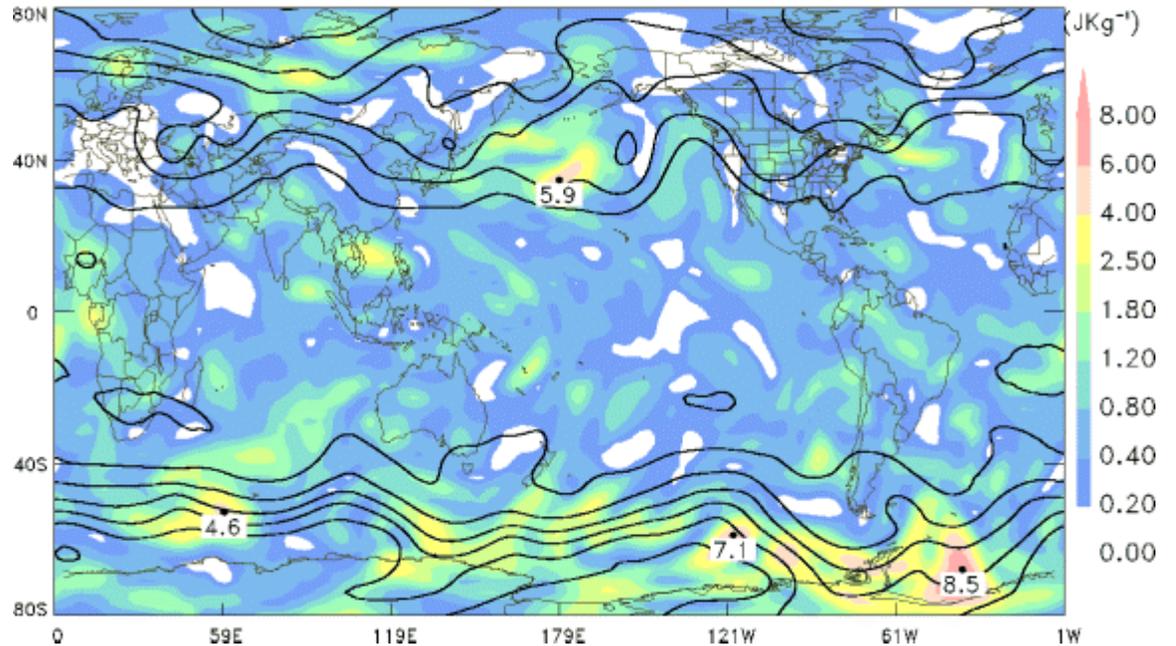
Pas de temps (3600s)

Pôles basculés



Cas du 28 mars 00Z

Pas de temps (1800s)



Analyse de sensibilité en équations

Erreur de prévision

$$\mathbf{y}' = \mathbf{S} \{ \mathbf{x}^{24h} - M(\mathbf{x}^{0h}) \}$$

Fonction objective
à minimiser

$$J(\delta \hat{\mathbf{x}}_k) = \frac{1}{2} [\hat{\mathbf{M}} \delta \hat{\mathbf{x}}_k - \mathbf{y}']^T \hat{\mathbf{C}} [\hat{\mathbf{M}} \delta \hat{\mathbf{x}}_k - \mathbf{y}']$$

Gradient

$$\nabla J_k = \hat{\mathbf{M}}^T \hat{\mathbf{C}} [\hat{\mathbf{M}} \delta \hat{\mathbf{x}}_k - \mathbf{y}']$$

norme nulle
près des pôles

Ebauche

$$\delta \hat{\mathbf{x}}_0 = 0$$

annuler le gradient
près des pôles

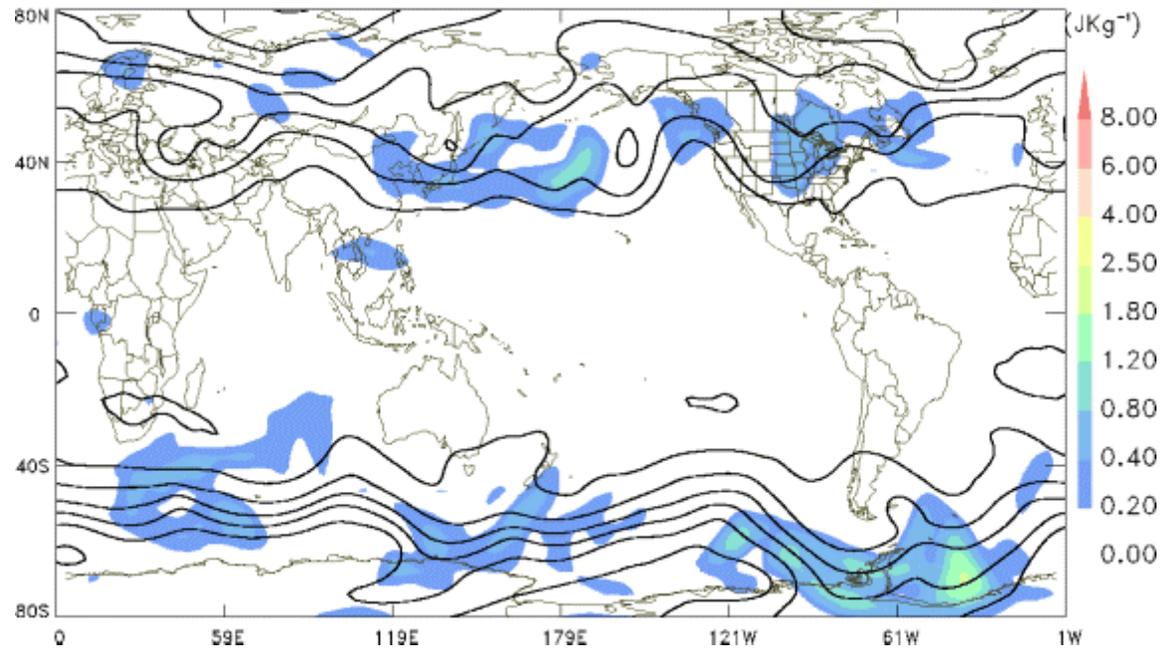
Minimisation

$$\delta \hat{\mathbf{x}}_k = \delta \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \alpha_{k-1} \mathbf{d}(\nabla J_{k-1}) \quad k = 1, 2, 3$$

Correction

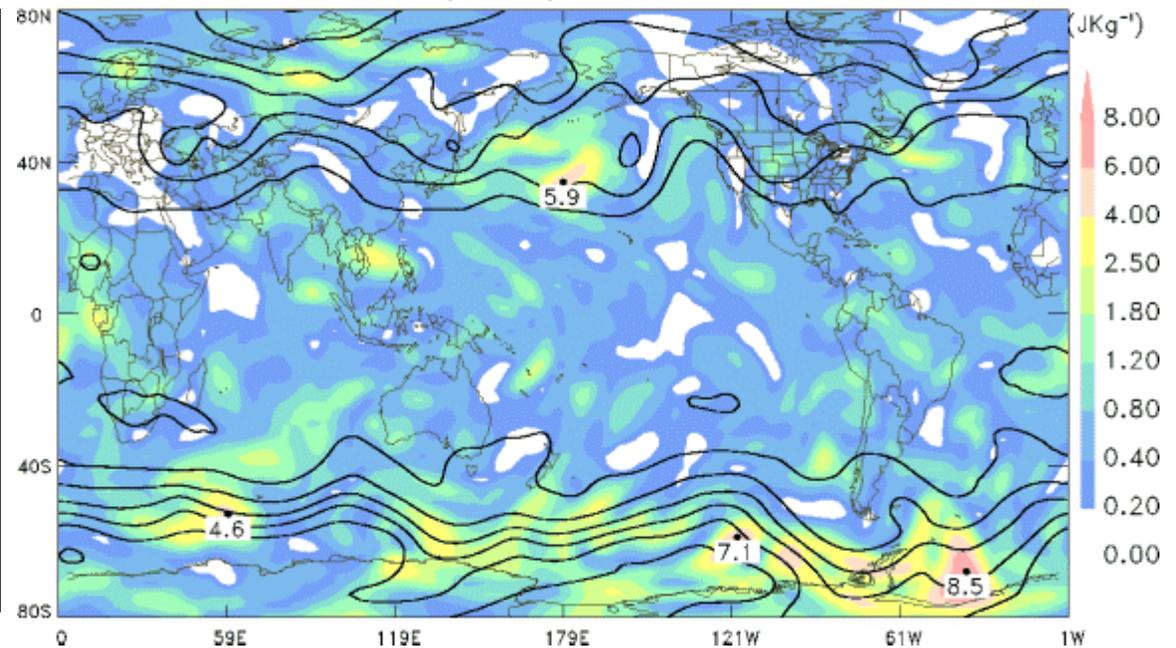
$$\mathbf{x}^s = \mathbf{x}^{0h} + \mathbf{S}^{-1} \delta \hat{\mathbf{x}}_3$$

-Pas de temps (3600s)
-Fonction coût modifiée
aux pôles

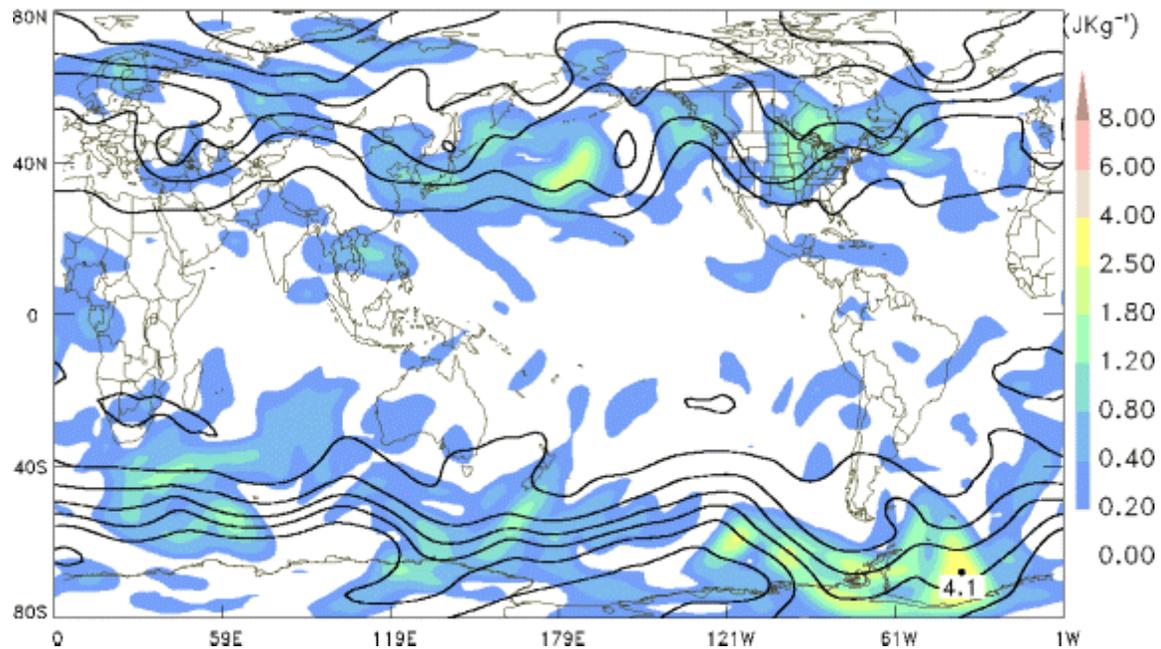


Cas du 28 mars 00Z

-Pas de temps (1800s)

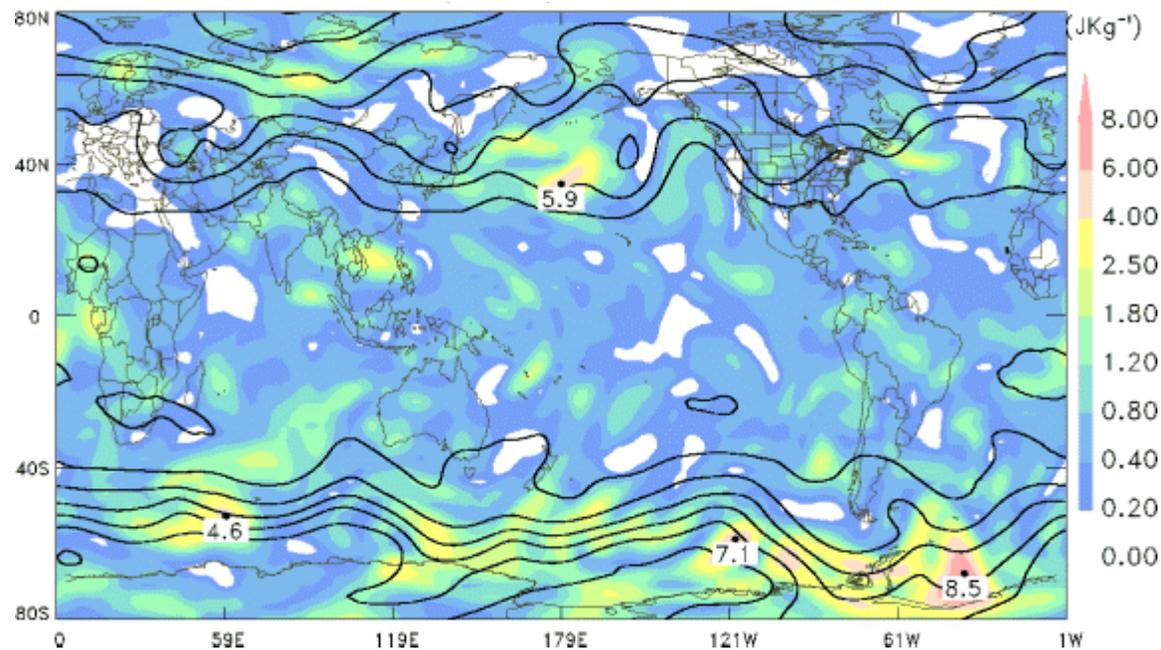


-Pas de temps (3600s)
-Gradient modifié
aux pôles



Cas du 28 mars 00Z

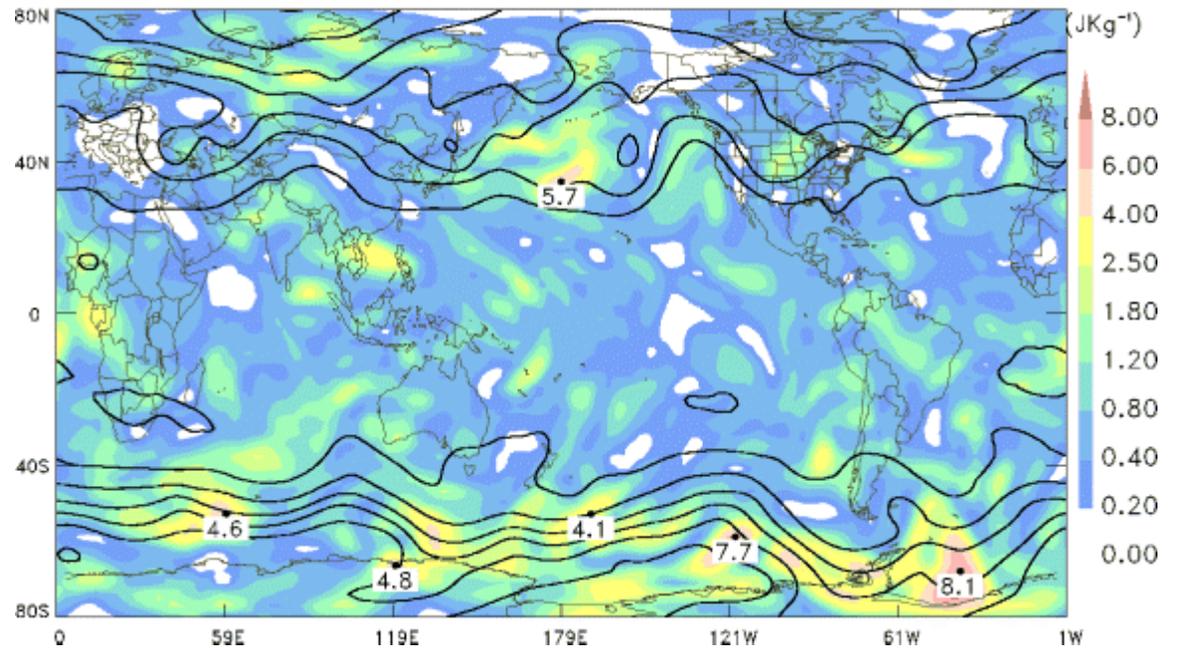
Pas de temps (1800s)



-Pas de temps (3600s)

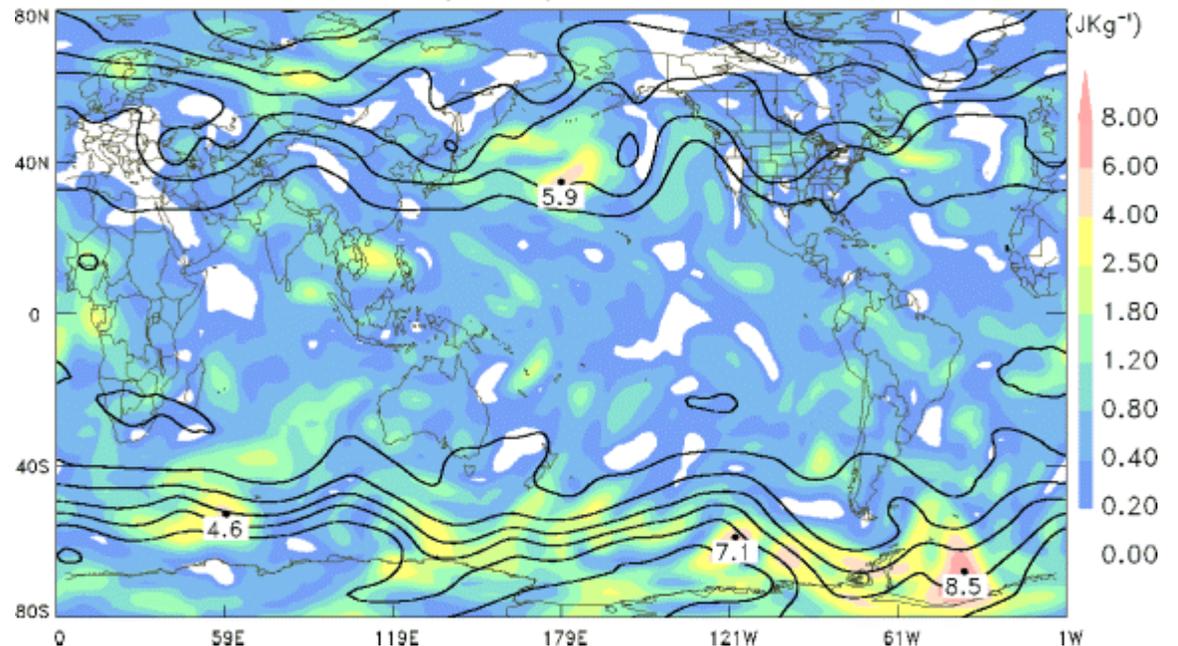
-Fonction coût modifiée
aux pôles

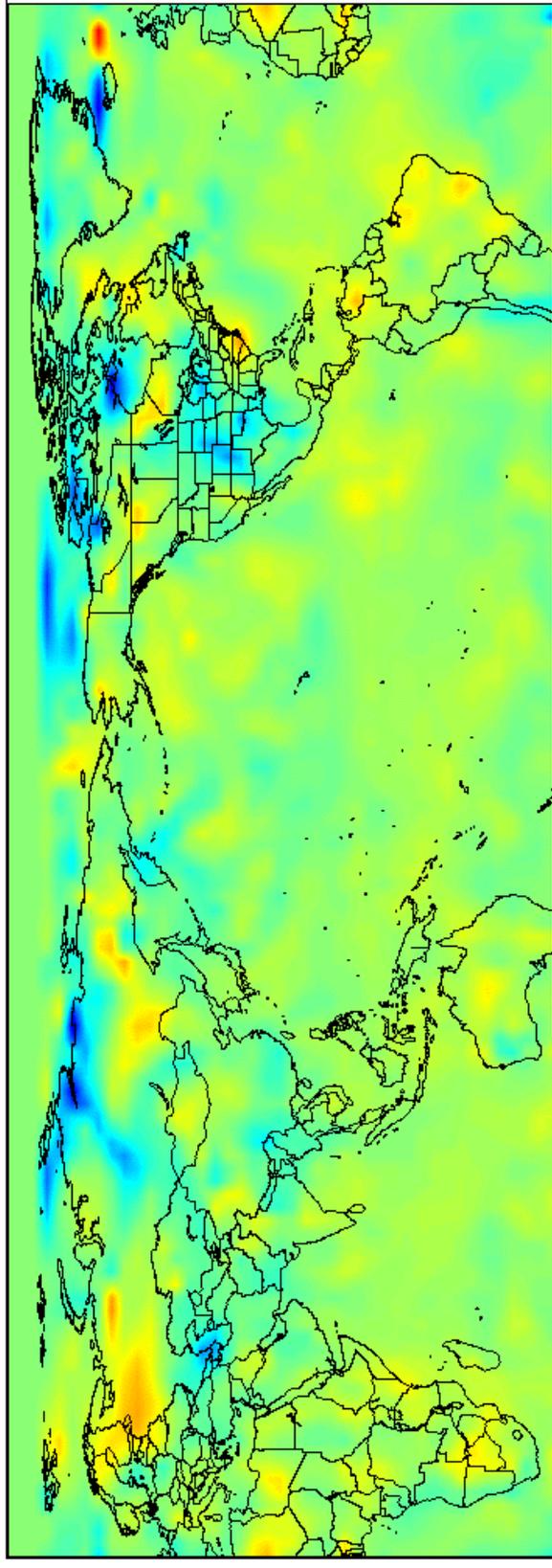
-Gradient modifié
aux pôles



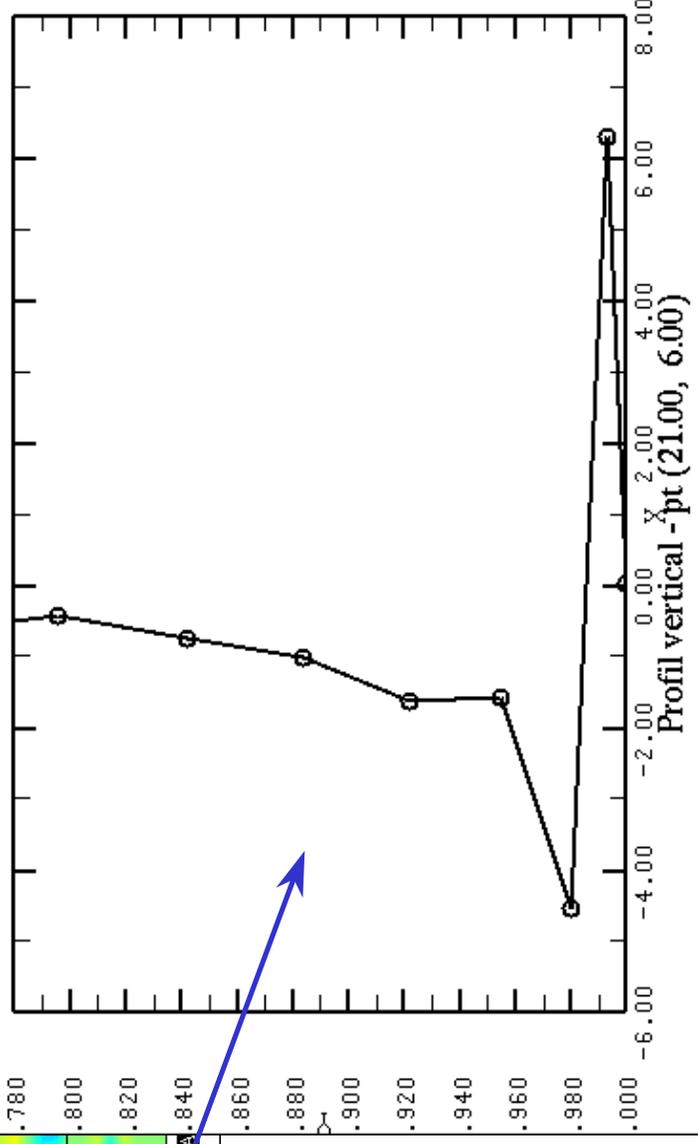
Cas du 28 mars 00Z

-Pas de temps (1800s)





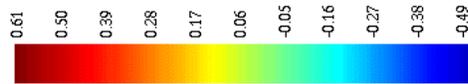
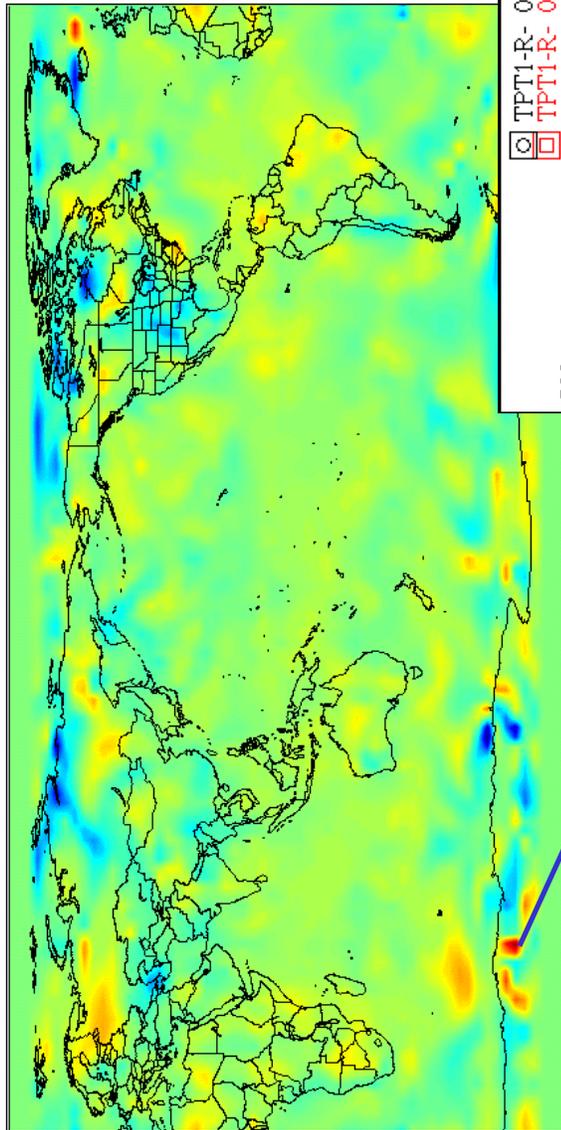
☉ TPT1-R-0-4-V20030328.000000-AKB13



TPT1-R-0.9930 s.g. 0-4-V20030328.000000-A

TPT1

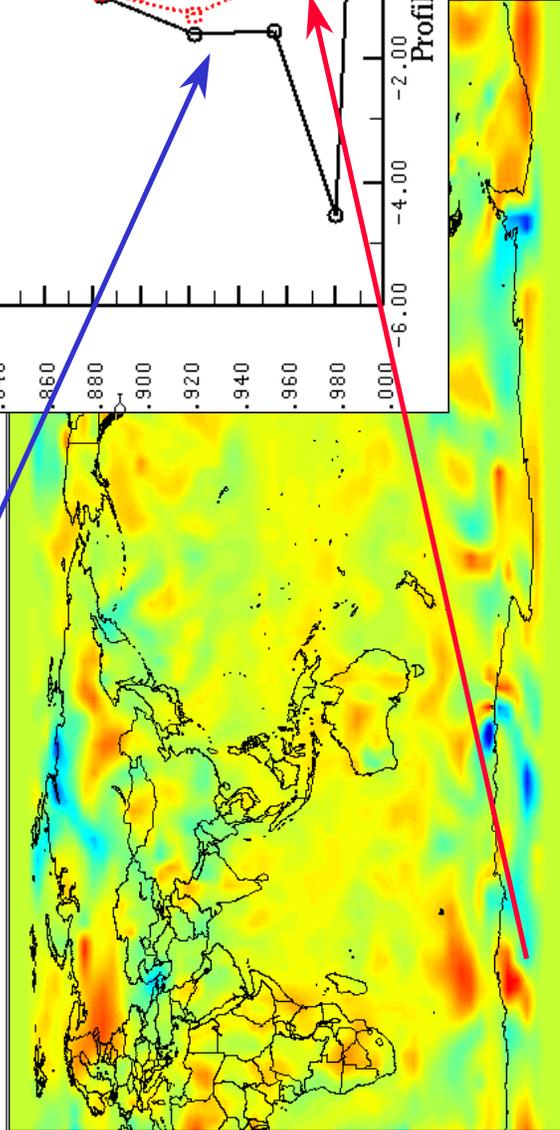
Niveau: 0.9930 sg - Etiquette: AKB13 - Intervalle: 0.01 * 1.0e+01 (???)



Residus valides 00:00Z le 28 mars 2003

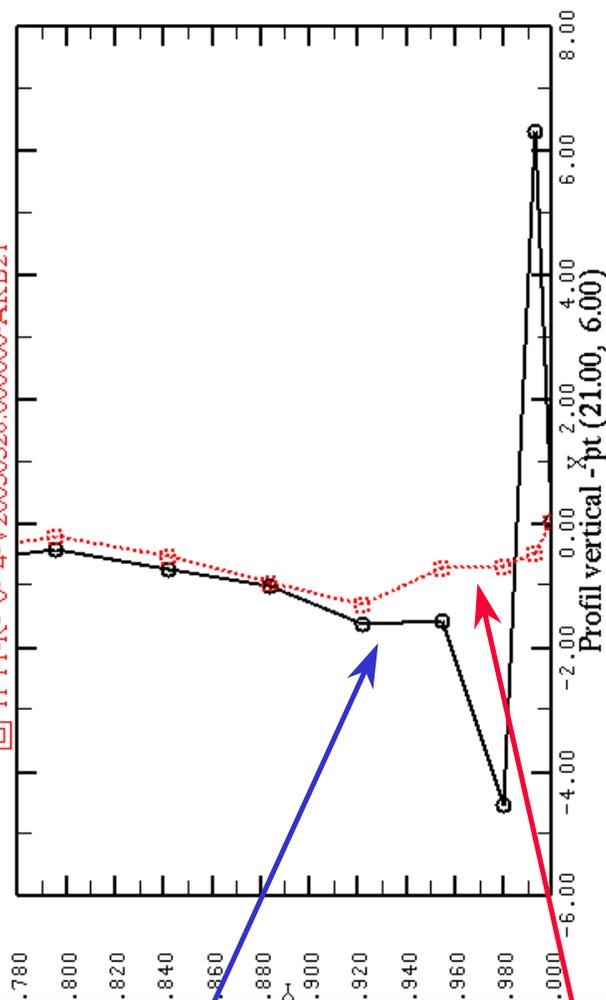
TPT1

Niveau: 0.9930 sg - Etiquette: AKB21 - Intervalle: 0.01 *

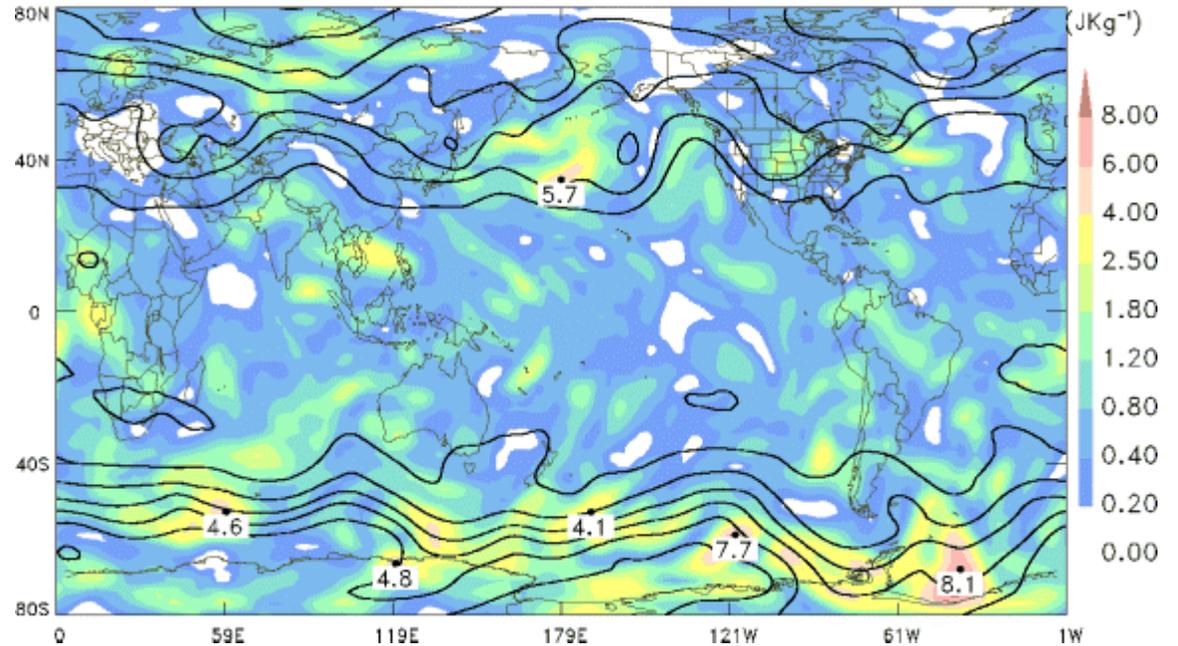


Residus valides 00:00Z le 28 mars 2003

○ TPT1-R- 0- 4-V20030328.000000-AKB13
□ TPT1-R- 0- 4-V20030328.000000-AKB21

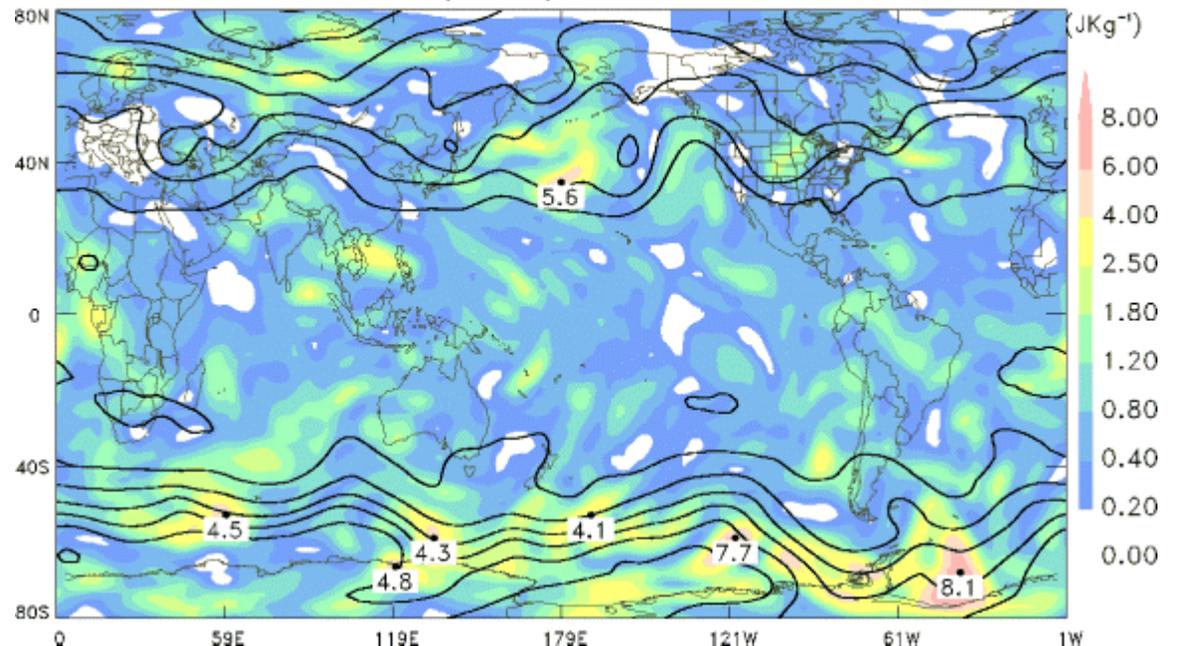


- Pas de temps (3600s)
- Fonction coût modifiée aux pôles
- Gradient modifié aux pôles

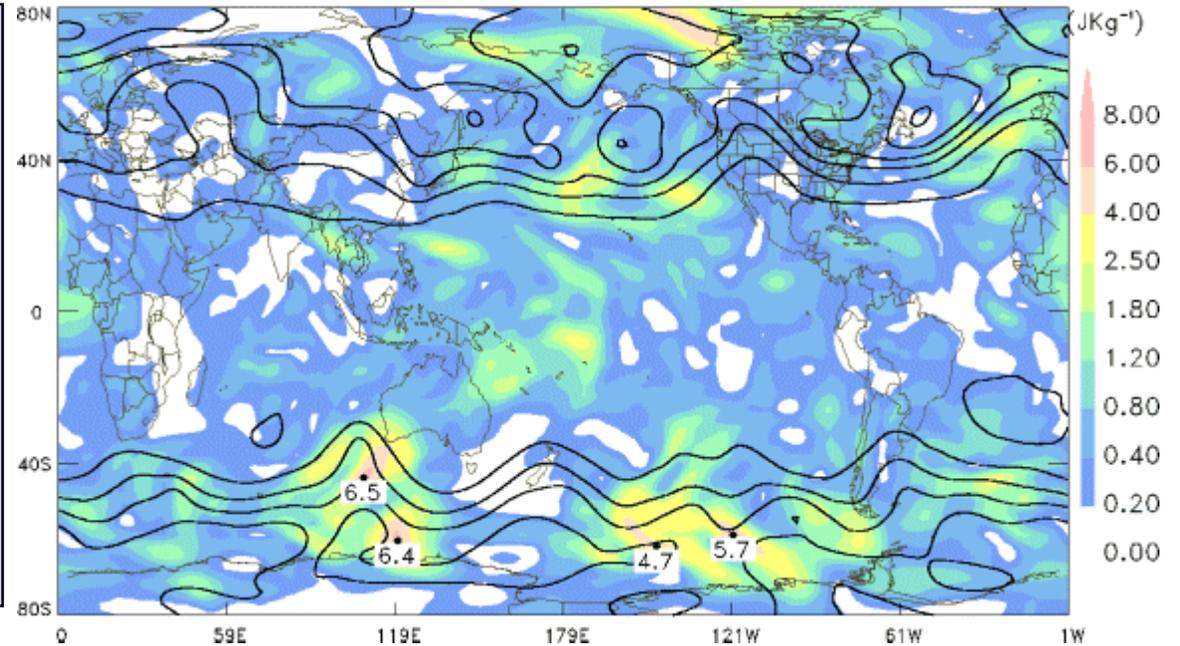


Cas du 28 mars 00Z

- Pas de temps (3600s)
- Fonction coût modifiée aux pôles
- Gradient modifié aux pôles
- Diffusion verticale minimale



-Pas de temps (3600s)



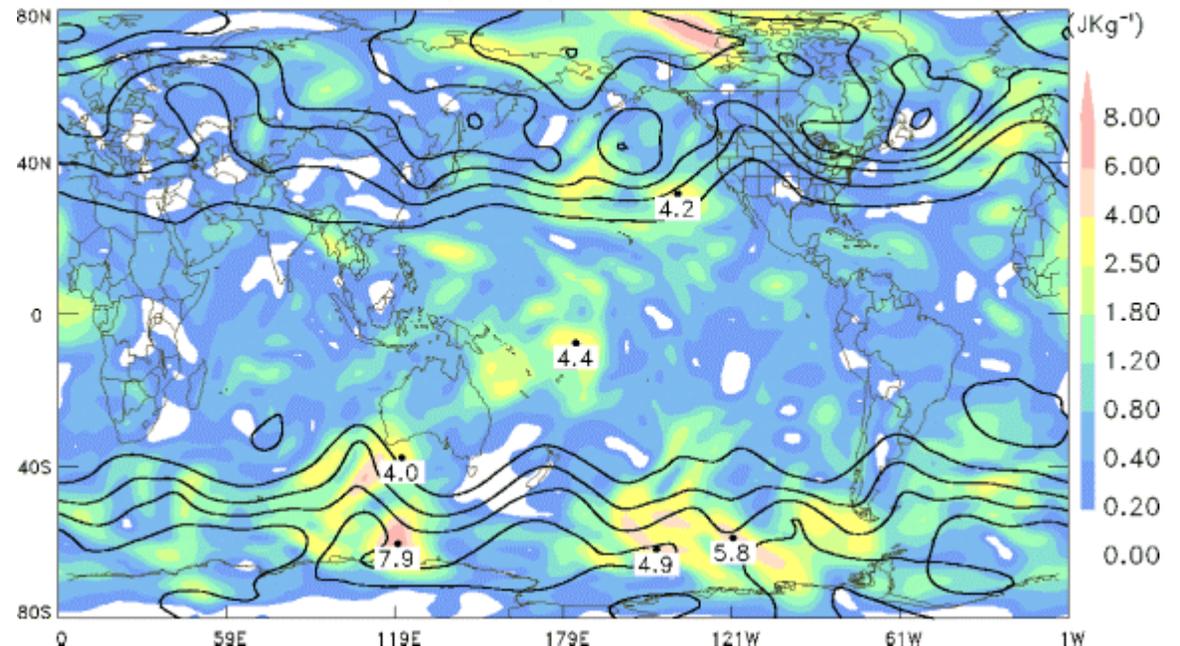
Cas du 21 janvier 00Z

-Pas de temps (3600s)

-Fonction coût modifiée
aux pôles

-Gradient modifié
aux pôles

-Diffusion verticale
minimale



En résumé

- Le problème aux pôles numériques dépend des conditions atmosphériques;
- Réduire le pas de temps est la solution la plus robuste (mais plus coûteuse);
- La robustesse peut être renforcée en modifiant le problème de minimisation;
- Une diffusion verticale minimale permet de contrôler les anomalies qui apparaissent près de la surface.

Travaux à venir

- Mieux comprendre la nature du problème;
- Introduire une diffusion horizontale plus adéquate;
- Examiner le comportement de la trajectoire près des pôles (i.e. CFL, critère de Lipschitz...);
- Etudier l'effet du processus d'interpolation haute-résolution \leftrightarrow basse-résolution.

Travaux à venir

- Généraliser le système en considérant d'autres contraintes a priori et a posteriori;
- introduire les autres composantes de la physique simplifiée (orographie sous-maille, condensation et convection);
- introduire les statistiques d'erreur d'analyse.

Merci!

et à l'automne prochain pour
une autre série de séminaires internes