

Rapport d'étape sur le développement de l'assimilation variationnelle 4D (4D-Var)

Séminaire présenté le 5 avril 2002/8/2002

Pierre Gauthier, Monique Tanguay, Simon Pellerin et Nils Ek
Collaboration: Stéphane Laroche, Josée Morneau et Ayrton Zadra

[Cliquez ici pour démarrer](#)

Table des matières

[Rapport d'étape sur le développement de l'assimilation variationnelle 4D \(4D-Var\)](#)

[Introduction](#)

[Opérations impliquées dans une itération interne du 4D-Var](#)

[Stratégie retenue](#)

[Avantages](#)

[Pseudo-code du 3D-Var](#)

[Pseudo-code du 3D-Var \(suite\)](#)

[Pseudo-code GEM-DM](#)

[Echange d'objets](#)

[Diapositive PPT](#)

[Expérimentation avec le 4D-Var](#)

[Vectorisation du modèle adjoint](#)

[Modifications à l'algorithme de l'adjoint](#)

[Coûts informatiques \(30 itérations\)](#)

[Optimisation possible](#)

[Assimilation d'une donnée](#)

[Incrément d'analyse obtenu du 3D-Var vs. 4D-Var](#)

[Coupe verticale de l'incrément d'analyse en réponse à une observation à la fin de la période d'assimilation](#)

[Expériences d'assimilation](#)

[Représentation schématique des fenêtres d'assimilation impliquées](#)

[Assimilation des observations au temps exact](#)

[Comparaison des écarts aux observations de température \(écarts-type\) \(AIREP/ACARS\)](#)

[Comparaison des écarts aux observations ATOVS](#)

[Forçages présentés au modèle adjoint](#)

[Expérience de minimisation 4D-Var](#)

[Incréments d'analyse 4D-Var et FGAT](#)

[Coupe verticale de l'incrément d'analyse](#)

[Aspects informatiques et techniques](#)

[Aspects scientifiques](#)

[Aspects scientifiques \(suite\)](#)

[Résumé](#)

[Conclusion](#)

[Fin...](#)

Rapport d'étape sur le développement de l'assimilation variationnelle 4D (4D-Var)

Pierre Gauthier

Monique Tanguay

Simon Pellerin

Nils Ek

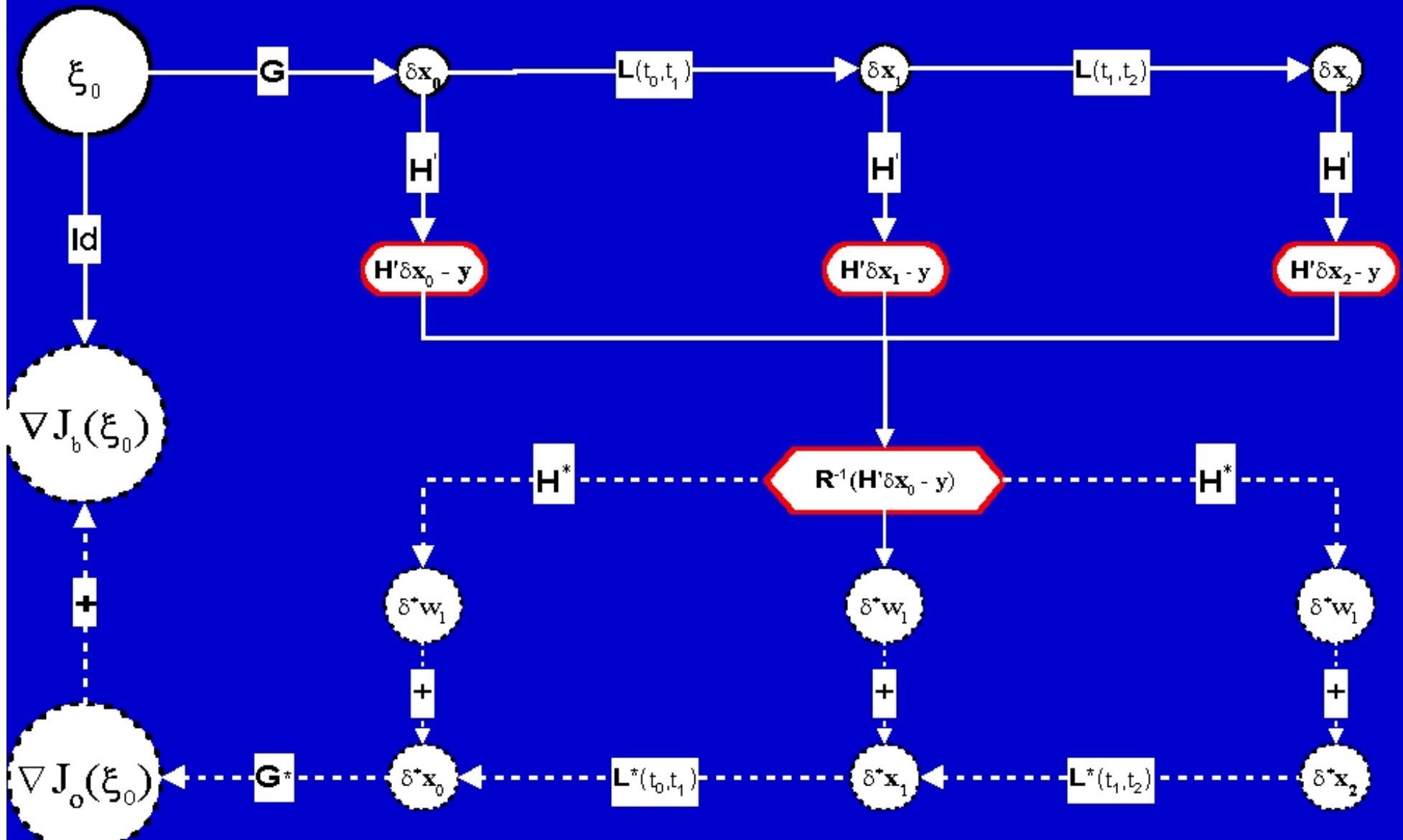
Participation spéciale:

Josée Morneau, Stéphane Laroche
et Ayrton Zadra

Introduction

- Séminaire précédent (6 octobre 2000)
 - Décomposition des algorithmes d'assimilation en opérations élémentaires
 - Approche modulaire au développement d'un 4D-Var
 - Couplage de ces modules assuré par un logiciel externe qui gère l'assignation des ressources informatiques (e.g., PALM)
- PALM (en développement)
 - Impose des contraintes sur le développement du 3D-Var et de GEM-DM

Opérations impliquées dans une itération interne du 4D-Var



Stratégie retenue

- Conserver le 3D-Var actuel qui agit comme contrôleur du processus de minimisation
- Effectuer des requêtes à GEM-DM
 - Intégration du modèle linéaire tangent (TLM)
 - Intégration du modèle nonlinéaire
 - Intégration à rebours du modèle adjoint
- Mécanismes similaires à ceux utilisés pour les systèmes couplés
 - Communication de type bitstream (bibliothèque Prof développée par Simon Pellerin)

Avantages

- Développement du 3D-Var peut se poursuivre (e.g., ajout de nouveaux types d'observations)
- Boucle d'évènements introduite dans GEM-DM
 - Réponse aux requêtes envoyées par le 3D-Var
 - Contrôle à haut niveau qui n'impose pas de contraintes sur le développement du modèle
- Exécution simultanée de GEM-DM et du 3D-Var

Pseudo-code du 3D-Var

Call CAIN

Call SPA2SP

Call SPGD; $\delta \mathbf{X} = \left(\delta \mathbf{u}^T \quad \delta \mathbf{v}^T \quad \delta \mathbf{T}^T \quad \delta \ln q^T \quad \delta p_s^T \right)^T$

if (4DVar)

 Call PutDx; Requête à GEM-DM: Intégration du TLM

 Retour: profils d'états-modèle aux points d'obs.

 Call GetProf; Mise en attente du 3D-Var pour la réception des états-profil (GOMOBS)

else

 Call Bilin

end if

Applications des opérateurs d'observation (sans égards au temps d'observation)

Adjoint des opérateurs d'observation

Pseudo-code du 3D-Var (suite)

if (4DVar)

 Call PutProf_Ad;

Requête à GEM-DM: Envoi de profils-adjoints
Intégration à rebours du modèle adjoint

 Call GetDx;

Mise en attente du 3D-Var pour la réception
de $\nabla_x J_o$

else

 Call Bilinad

end if

Call SPA2SPAD

Call CAINAD

Pseudo- code GEM-DM

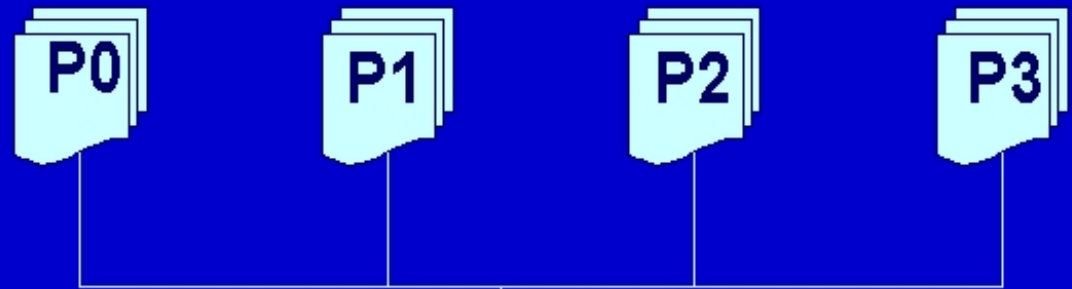
```
Event_Loop: do while(nstatus.eq.0)
  Call V4d_GetEvent(nevent,nstatus)
  Select Case (Nevent)
  Case(TLM_Event)
    CALL V4D_GETDX(NSTATUS)
    call gem_ctrl_tl()
    CALL V4D_PUTPROF(NSTATUS)
  Case(Adj_Event)
    CALL V4D_GETPROF(NSTATUS)
    call gem_ctrl_ad()
    call v4d_putdx(nstatus)
  Case (Nonlinear_Event)
    call v4d_getdx(nstatus)
    call gem_ctrl()
    CALL V4D_PUTPROF(NSTATUS)
  Case (End_Event)
    NSTATUS = -99
  End Select
End Do Event_Loop
```

Echange d'objets

- **V4d_GetDx**
 - passage de la Grille Gaussienne → Grille GEM
 - passage aux variables de GEM (sur la grille scalaire)
 - passage à la grille décalée pour les vents
- **V4d_PutProf**
 - A chaque temps d'observation,
 - conversion aux variables physiques sur la grille scalaire
 - interpolation horizontale (EZSCINT) aux points d'observation des états-modèle nécessaires à l'opérateur d'observation (e.g. T et ln q seulement pour les TOVS).
 - Envoi groupé à la fin de l'intégration directe (TLM ou nonlinéaire)
- **Adjoint de ces deux fonctions**

GEM-DM

(répartition par Proc. et
par temps)

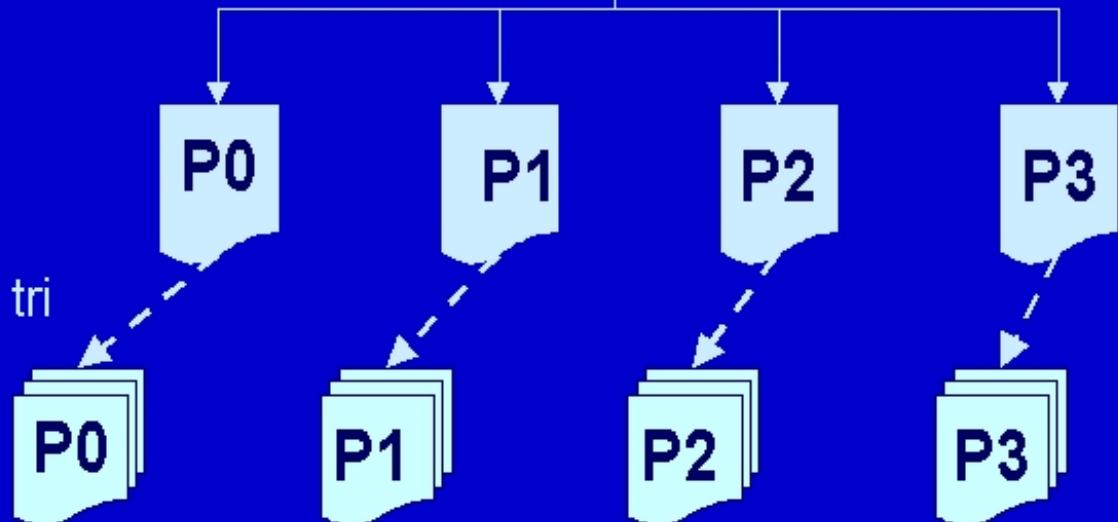


Réception 3D-Var

Tri par opérateurs d'obs 3D-Var

GEM-DM

(réception par Proc. et tri
temporel local)



Expérimentation avec le 4D-Var

- Description
 - Incréments produits sur une fenêtre d'assimilation de 6-h
 - Résolution ($240 \times 120 \times 28$) correspondant à celle des incréments du 3D-Var actuel
 - Toutes les observations actuellement utilisées (vers. 9.2.0 du 3D-Var)
 - GEM-DM (vers. 2.3.1)
- But:
 - Estimé des coûts informatiques
 - Test de l'impact de l'assimilation des observations au temps exact
 - Application sur un cas sensible aux conditions initiales (Laroche *et al.*, 2002)

Vectorisation du modèle adjoint

- Code direct peut très bien vectorisé
 - exemple: interpolation semi-lagrangienne 1D

```
DO J = 1, N
    K = KK(J)
    X5(J) = Y5(K)
           + W5(J) * (Y5(K+1) - Y5(K))
END DO
```

- Code linéaire tangent correspondant

```
DO J = 1, N
    K = KK(J)
    X(J) = Y(K)
           + W5(J) * (Y(K+1) - Y(K))
           + W(J) * (Y5(K+1) - Y5(K))
END DO
```

- Code adjoint

```
DO J = 1, N
    K = KK(J)
    W(J) = W(J) + (Y5(K+1) - Y5(K)) * X(J)
    Y(K) = Y(K) + (1 - W5(J)) * X(J)
    Y(K+1) = Y(K+1) + W5(J) * X(J)
END DO
```

Modifications à l'algorithme de l'adjoint

- Algorithme original

GEMDM	Time (sec)	Flops	Mflops/sec
Non-linéaire	7.512	16024947717	2133.194
LinéaireTangent	13.281	32059675285.	2414.010
Adjoint	137.923	50542604123.	366.455

- Nouvel algorithme (C. Temperton et M. Tanguay)

GEMDM	Time (sec)	Flops	Mflops/sec
Non-linéaire	7.483	16024947698	2141.523
LinéaireTangent	12.857	32059675286.	2493.452
Adjoint	39.848	50368462343.	1264.015

Coûts informatiques (30 itérations)

	USER	SYSTEM	TOTAL
3D-Var	346.9	110.5	457.4
Entrée de GEM (GEMNTR)	26.5	11.6	38.1
GEM (Proc #0)	1564.8	184.3	1749.1
GEM (Proc #1)	1601.4	42.3	1643.7
GEM (Proc #2)	1608.1	41.5	1649.6
GEM (Proc #3)	1588.7	42.3	1631
Total	6736.4	432.5	7168.9

- Temps d'exécution réel (temps de mur)

- $T_{\text{total}} = T_{\text{3D-Var}} + T_{\text{GEM-DM}}$

$$= 457.4 + 38.1 + 1749.1 = 2244.6$$

- Equivaut à 5 fois le temps d'exécution du 3D-Var

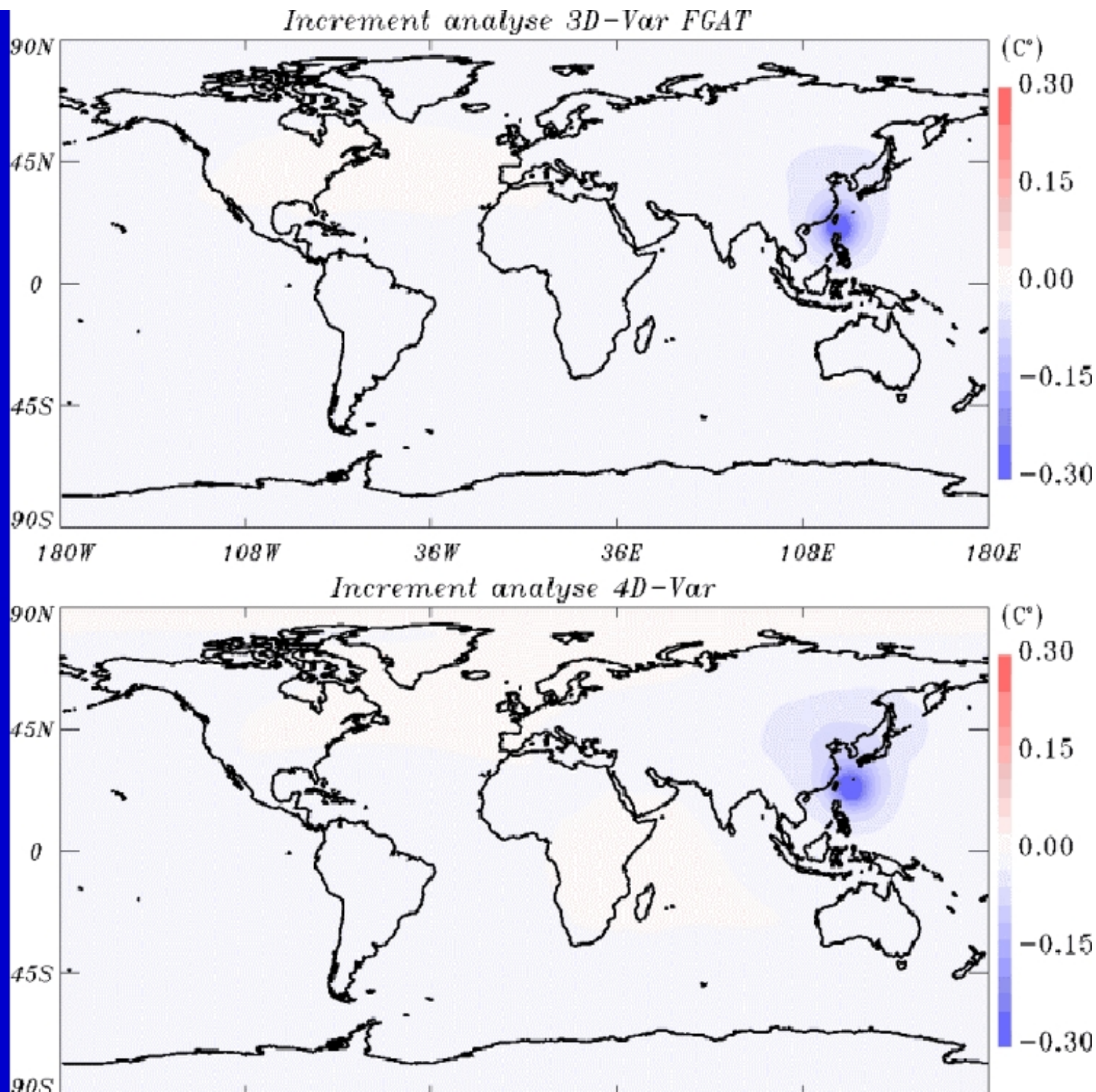
Optimisation possible

- Efficacité de l'adjoint
 - Réduction possible dans l'exécution du modèle adjoint
- Préconditionnement de la minimisation (Fisher et Courtier, 1995; Fisher et Andersson, 2001)
 - Estimation approximée de $J'' = P_a^{-1}$ fournie par l'algorithme de minimisation
 - Calcul des vecteurs singuliers dominants

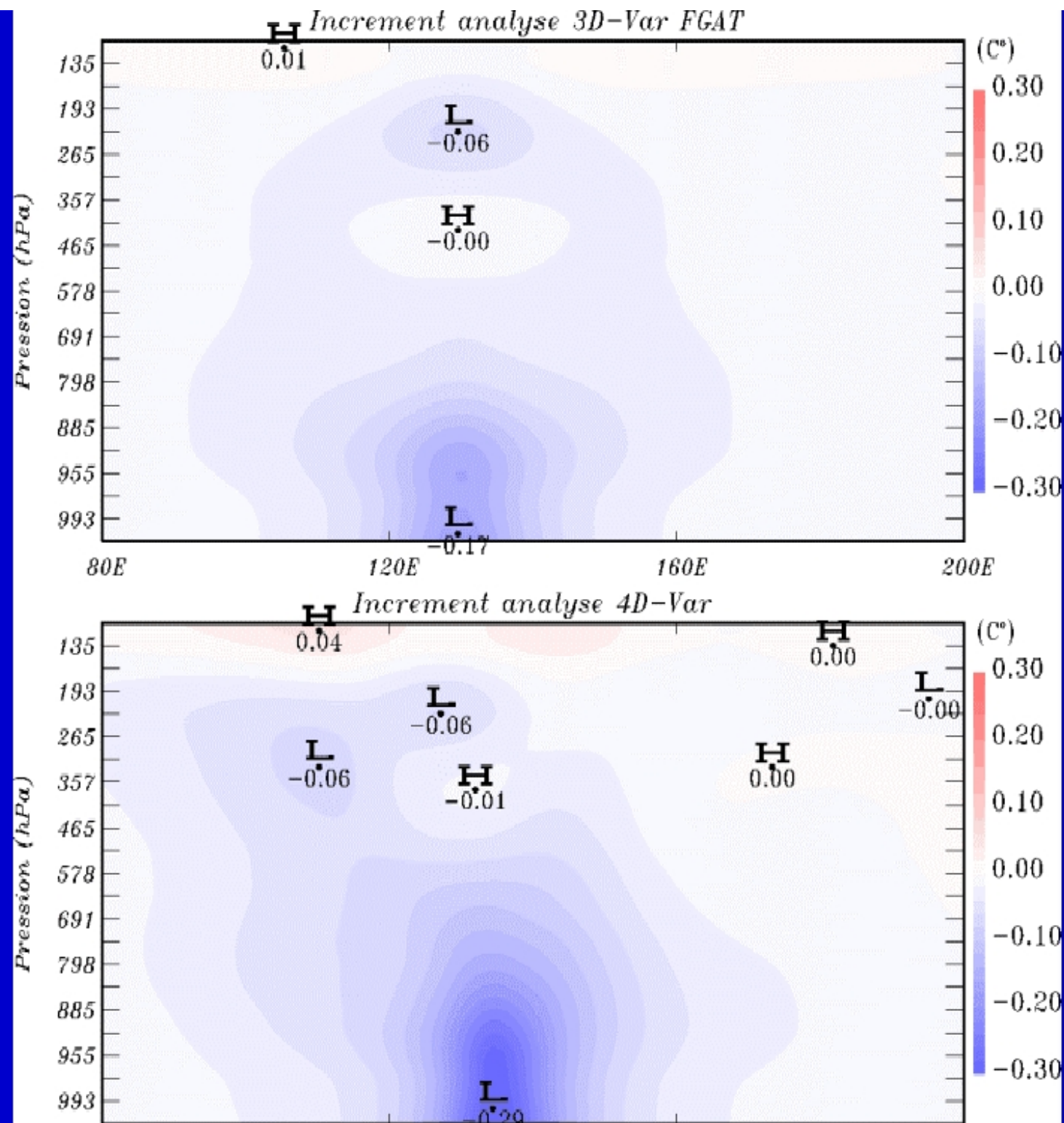
Assimilation d'une donnée

- Travail en cours
 - Comparaison des incréments 4D-Var 6h à ceux obtenus de l'étude de sensibilité (Laroche *et al.*, 2002)
 - Changements produits par l'analyse de sensibilité (0-24h) sur la prévision à 72h
- Comparaison des incréments 3D-Var et 4D-Var

Incrément d'analyse obtenu du 3D-Var vs. 4D-Var



Coupe verticale
de l'incrément
d'analyse en
réponse à une
observation à
la fin de la
période
d'assimilation



Expériences d'assimilation

- Assimilation 3D-Var avec calcul des innovations au temps 'exact'
 - "First-Guess at Appropriate Time" (FGAT) (Lönnerberg, 1988)
 - Incréments produits à l'heure synoptique
- Assimilation 4D-Var 6-h
 - ajustement effectué à $T - 3\text{-h}$
 - Analyse obtenue d'une intégration 6-h

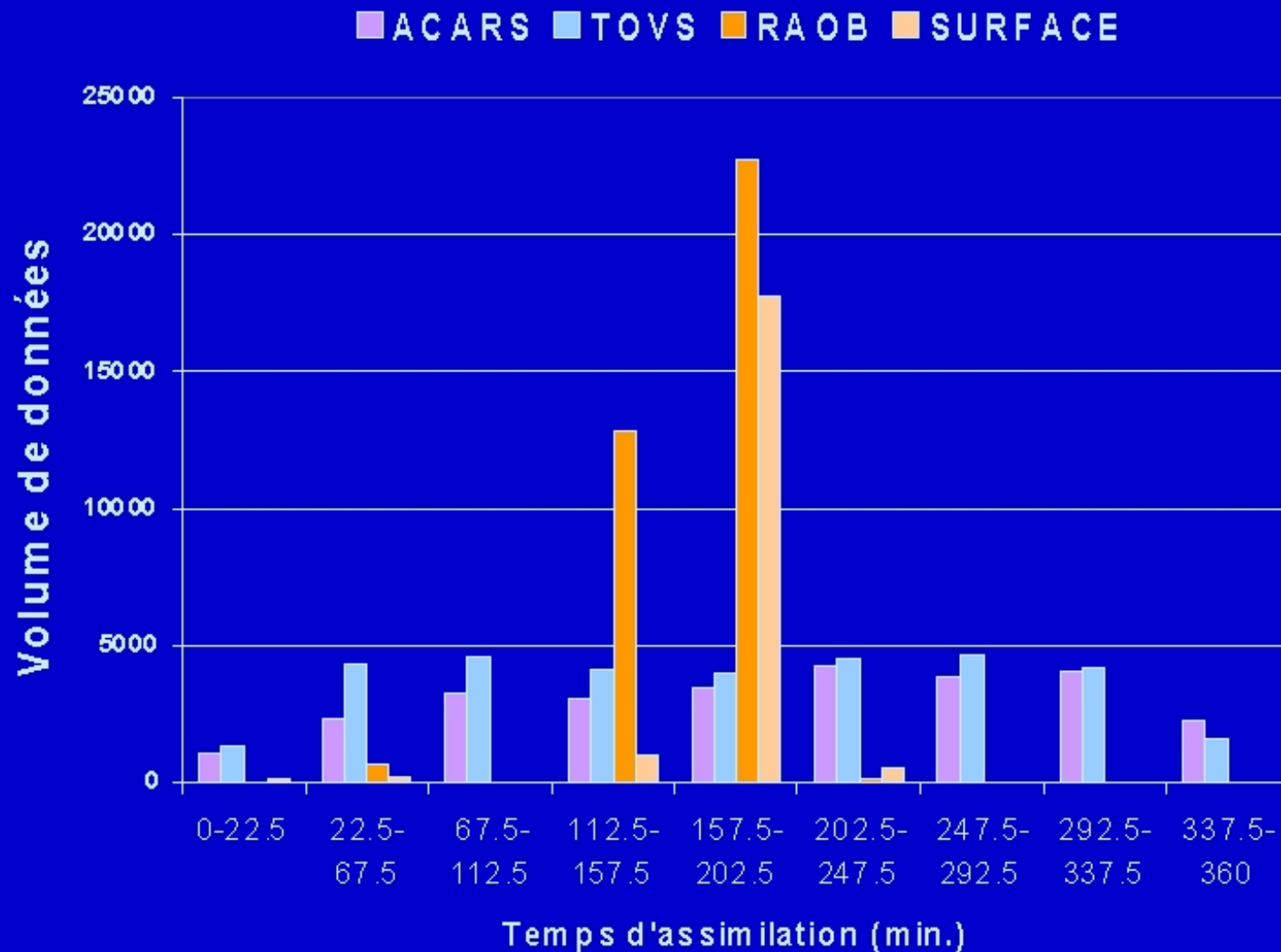
Représentation schématique des fenêtres d'assimilation impliquées



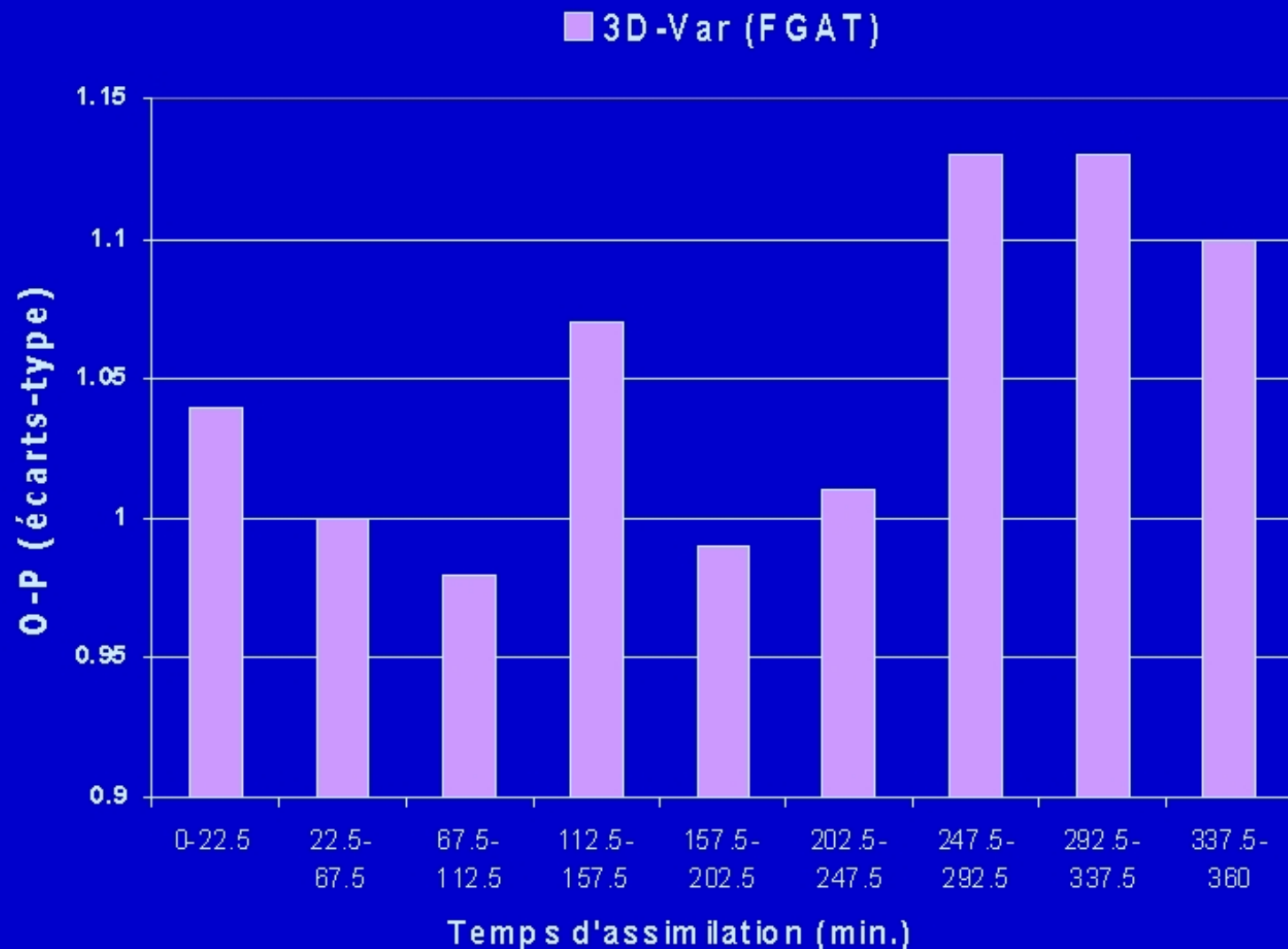
Fenêtre d'assimilation: $-3h < t < +3h$

Période de validation : $+3h < t < +9h$

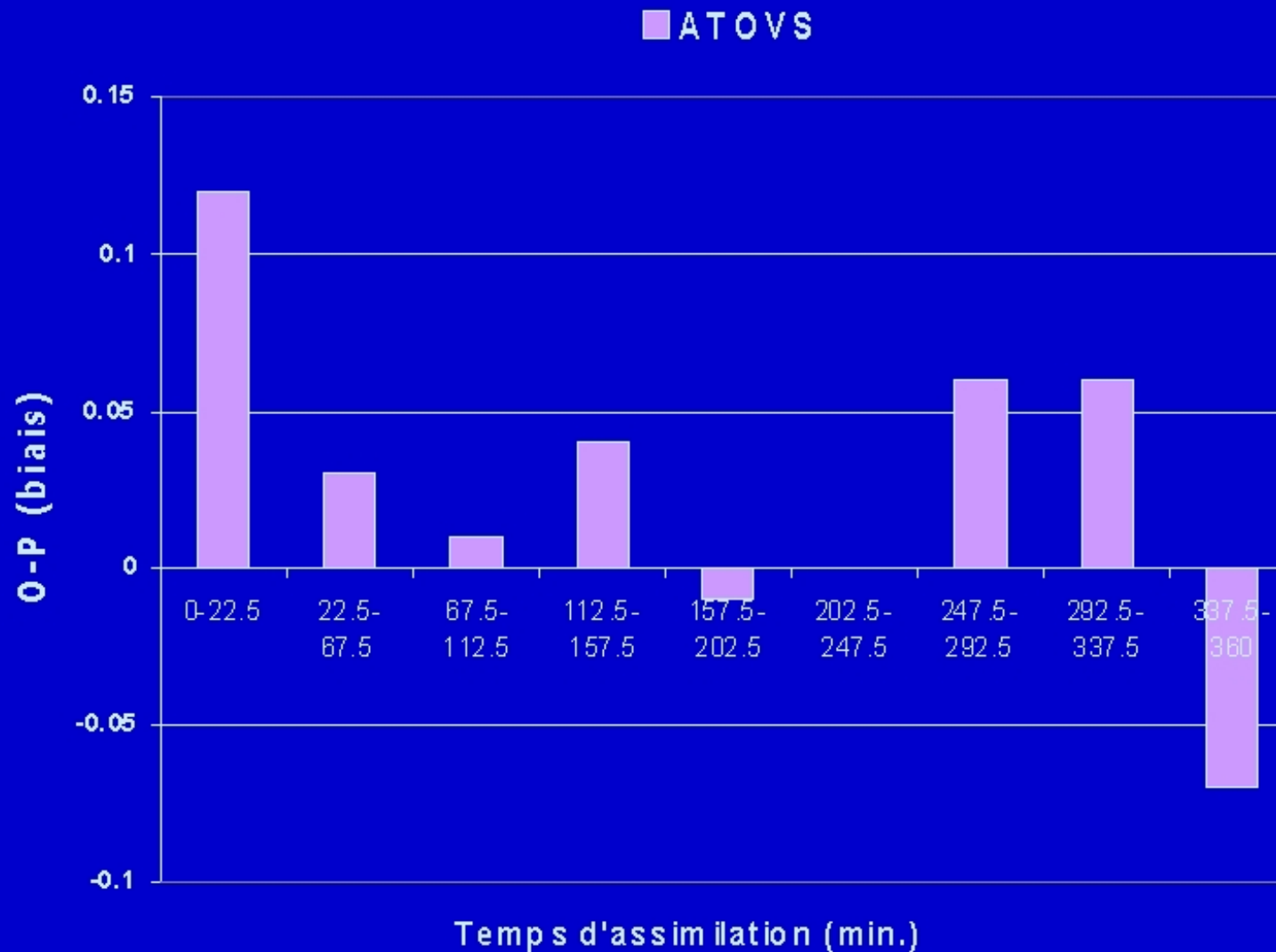
Assimilation des observations au temps exact



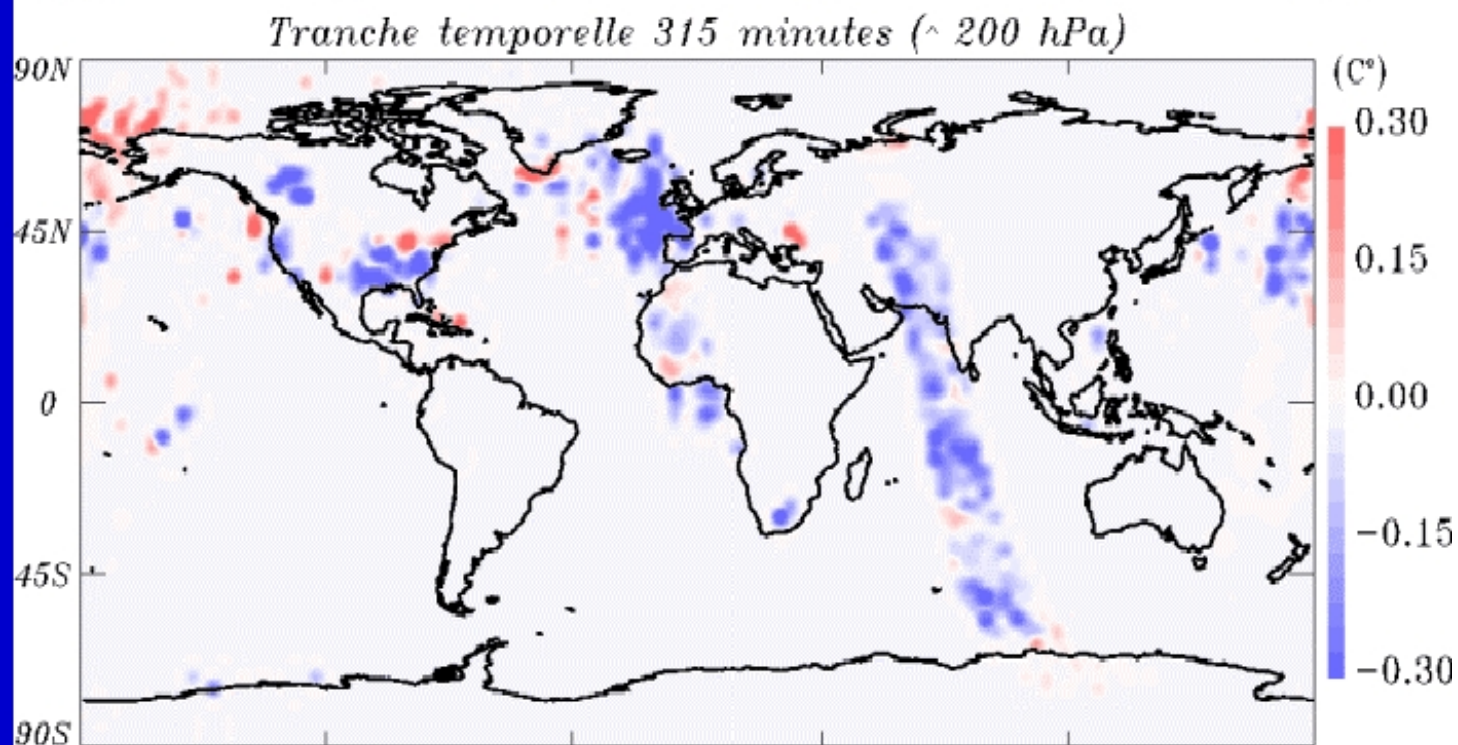
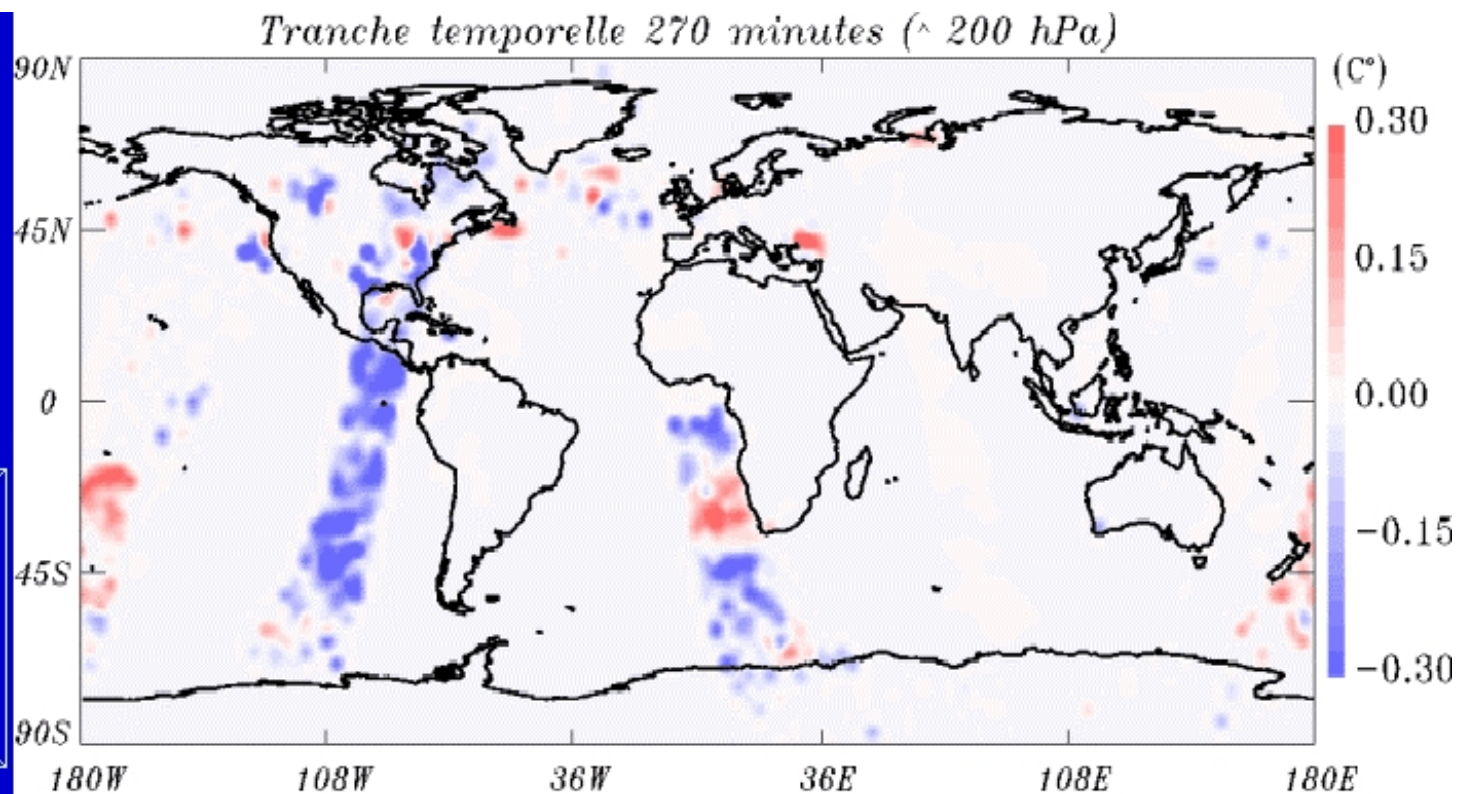
Comparaison des écarts aux observations de température (écarts-type) (AIREP/ACARS)



Comparaison des écarts aux observations ATOVS

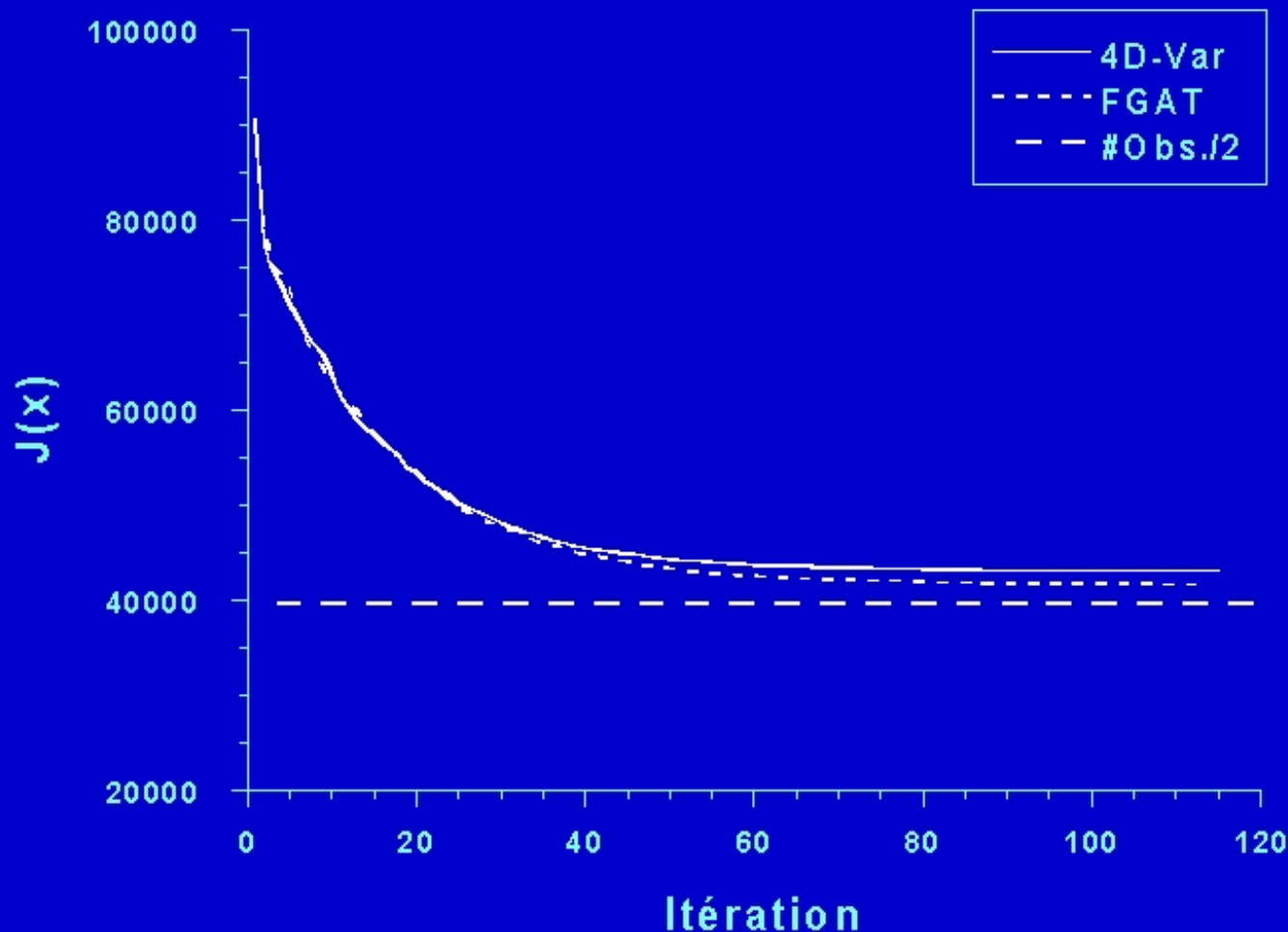


Forçages
présentés au
modèle adjoint



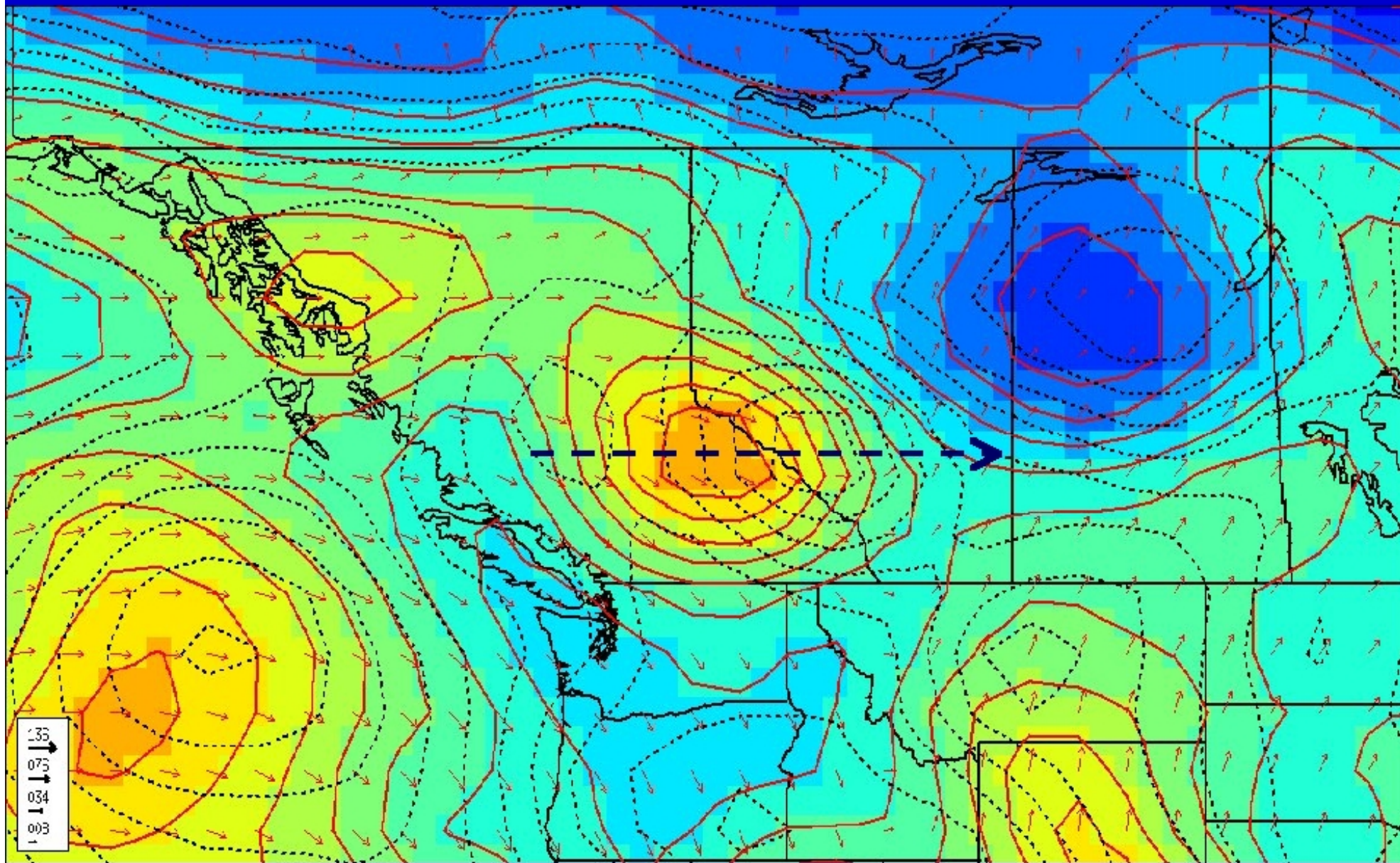
Expérience de minimisation 4D-Var

- ATOVS, SATWINDS et HUMSAT ont été exclues
- Comparaison avec une assimilation FGAT

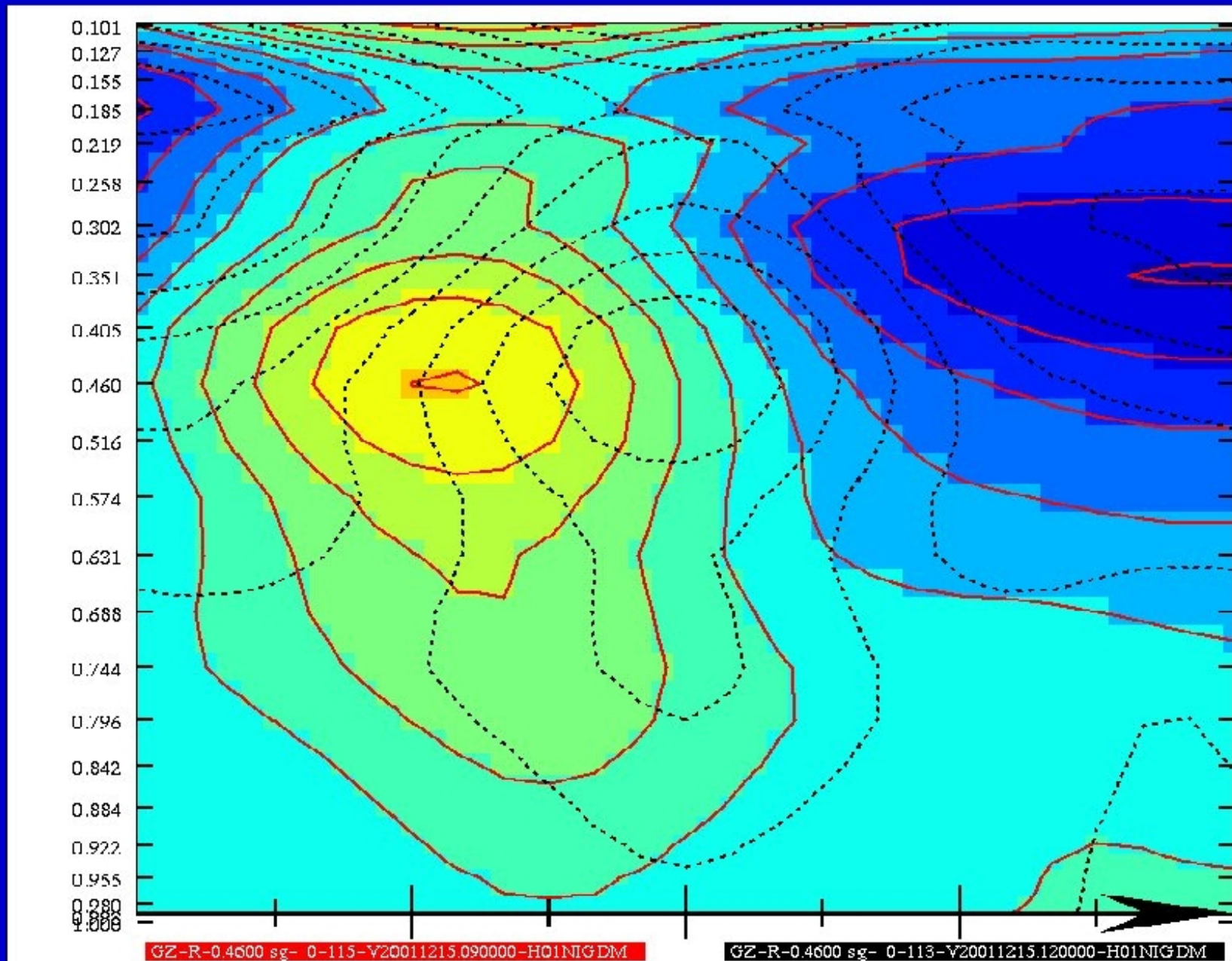


Incréments d'analyse 4D-Var et FGAT

4D-Var (rouge), 3D-Var (noir), Vents du champ d'essai



Coupe verticale de l'incrément d'analyse



Aspects informatiques et techniques

- Minimisation interne
 - combinaison du lanceur du 3D-Var (Felix) et de GEM-DM (Um_Launch)
 - Exécution simultanée de GEM-DM et du 3D-Var avec échange d'objets (mode couplé)
- Gestion complète du cycle
 - Adaptations à Kuklos ne requièrent que des interventions à certains modules
 - Inclusion des analyses de surface et redémarrage à chaud du modèle
- Implications pour la chaine opérationnelle

Aspects scientifiques

- Impact et rôle de la physique simplifiée utilisée dans la boucle interne
(Laroche, Zadra, Mahfouf et Fillion)
 - Diffusion verticale, gravity-wave drag et condensation stratiforme (GEM-DM 2.3.1)
- Configuration de la minimisation
 - Nombre d'itérations internes et externes
 - Exemple: première boucle comprenant 30 itérations, une mise-à-jour suivi de 20 itérations avec physique
- Impact de l'allongement de la période d'assimilation

Aspects scientifiques (suite)

- Estimation de P_a
 - Calcul des vecteurs singuliers dominants à l'aide d'un algorithme de Lanczos (M. Buehner)

$$\mathbf{P}_a^{-1} = \mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}$$

- Couplage au filtre de Kalman d'ensemble pour cycler le 4D-Var
- Application du 4D-Var à un modèle à aire limitée
 - TLM et adjoint peuvent être disponibles pour la version aire limitée de GEM

Conclusion

- Parachèvement du développement technique du 3D-Var
 - Synchronisation avec le développement du 3D-Var
 - Ajout de nouveaux types d'observation et parallélisation
 - Gestion automatisée des cycles du 4D-Var par Kuklos
- Réalisation de cycles d'assimilation complets
 - Réévaluation de l'impact de certains types d'observation dans un cadre 4D (e.g., QuickScat)

Fin...