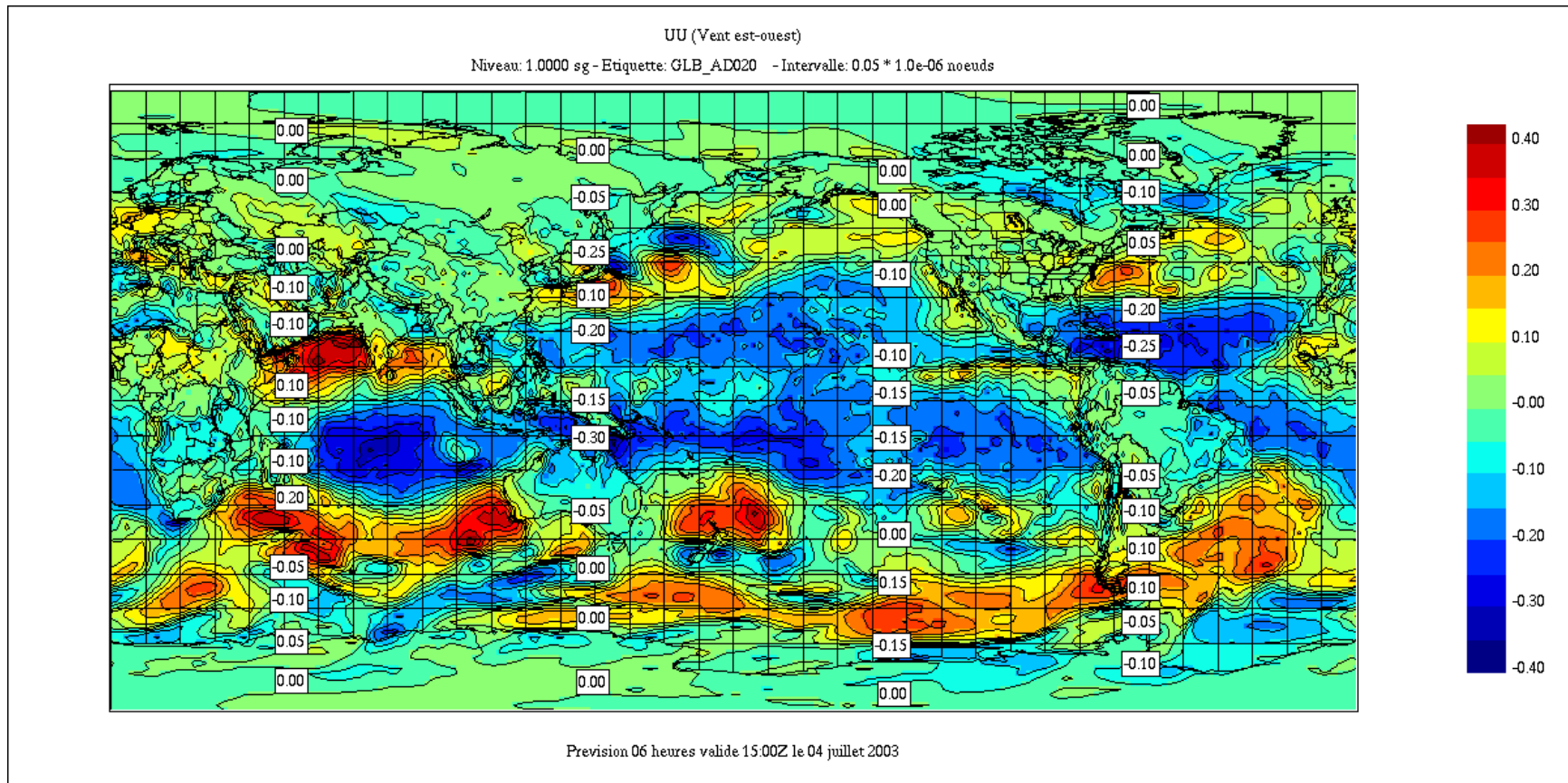


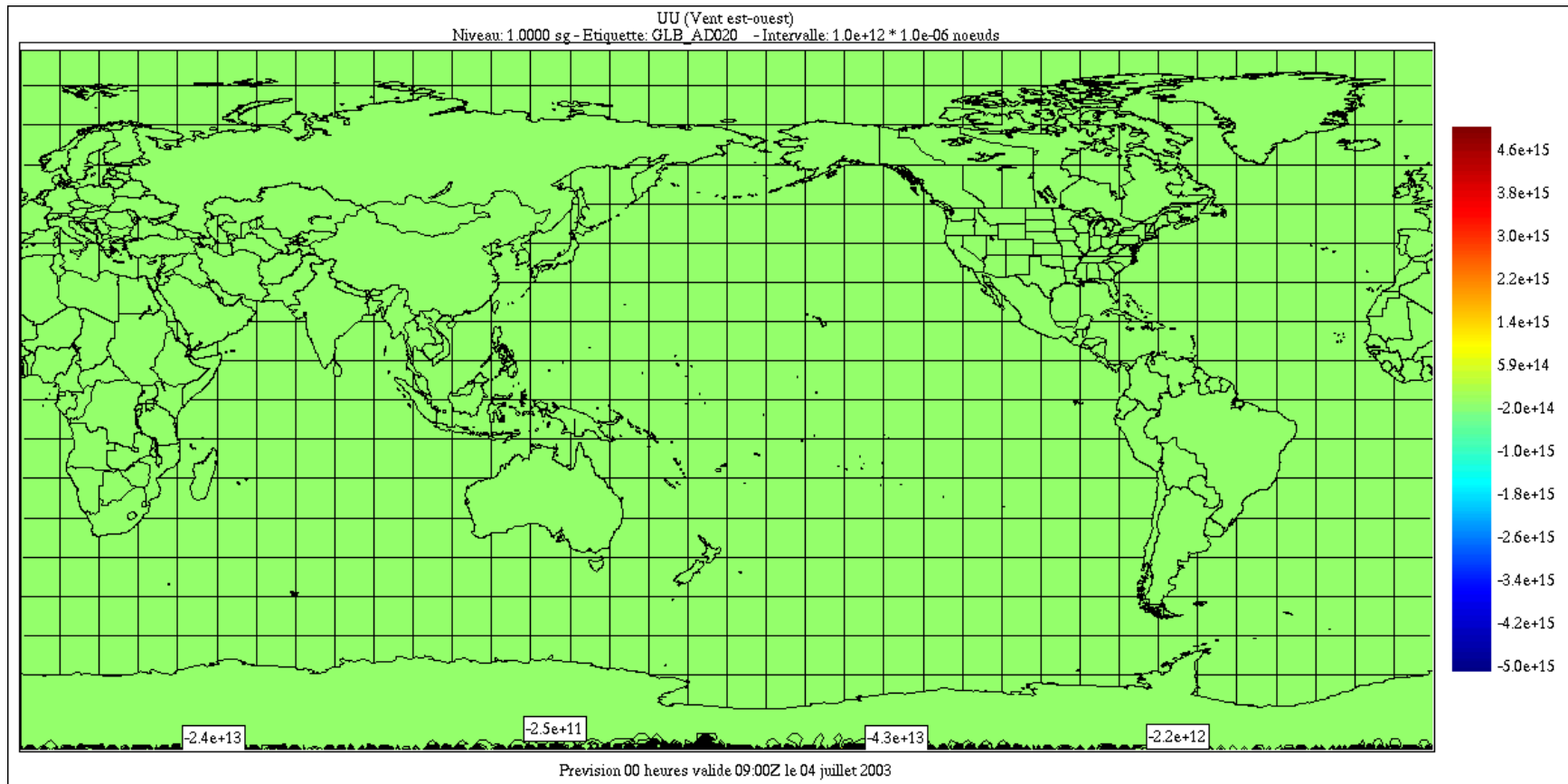
Réglages 4D-Var + LAM adjoint

- 1) *Contrôle d'un problème aux pôles*
- 2) *Efficacité OPENMP*
- 3) *Troncature multiple dans la fonction de coût*
- 4) *Minimiseur Gradient conjugué*
- 5) *LAM adjoint*

1) Contrôle d'un problème aux pôles



Adjoint GEM, t=6 hr, UU au sol



Adjoint GEM, t=0 hr, UU au sol

Variation du nombre de Courant:

Le modèle GEM étant un modèle à 2 pas de temps, les positions amont utilisées par l'interpolation semi-Lagrangienne sont calculées à partir du schéma itératif suivant:

NL

$$\alpha^{n+1} = \frac{\Delta t}{\Delta \lambda} \omega\left(\lambda - \frac{\alpha^n \Delta \lambda}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right)$$

où α^{n+1} est le nombre de Courant. Ce processus itératif converge si: $\left| \Delta t \frac{d\omega}{d\lambda} \right| < 2$
C'est le *critère de Lipschitz* associé au modèle à 2 pas de temps.

TL

$$\alpha^{n+1} = \frac{\Delta t}{\Delta \lambda} \omega\left(\lambda - \frac{\bar{\alpha}^n \Delta \lambda}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right) - \frac{\Delta t}{2} \frac{d\bar{\omega}}{d\lambda} \left(\lambda - \frac{\bar{\alpha}^n \Delta \lambda}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right) \alpha^n$$

S.Polavarapu and M.Tanguay, **Linearizing iterative processes**, 1998, QJRMS, 124,1715-1742:

<<Specifically, the linearization of the iteration for the mid-trajectory position for semi-Lagrangian advection was found to converge more slowly than the nonlinear iteration, for our choice of initial guess.>>

M.Tanguay and S.Polavarapu, **The adjoint of the semi-Lagrangian treatment of the passive trace equation**, *MWR*,127, 551-564, 1999.

NL

$$ip = i - INT(\alpha(i))$$

$$g(i) = a(i)f(ip - 1) + (1 - a(i))f(ip)$$

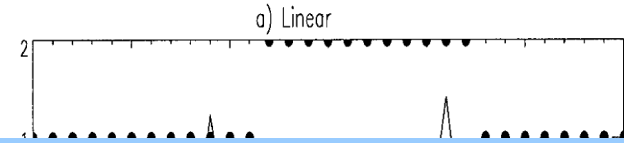
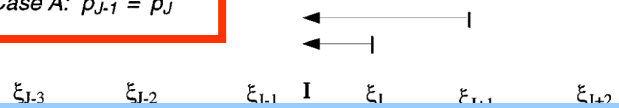
AD

$$ip = i - INT(\bar{\alpha}(i))$$

$$f(ip - 1) = \bar{a}(i)g(i) + f(ip - 1)$$

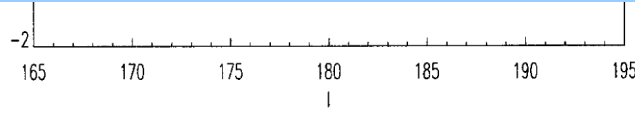
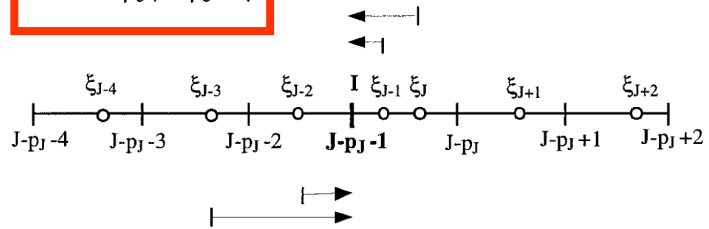
$$f(ip) = -\bar{a}(i)g(i) + f(ip)$$

Case A: $p_{J-1} = p_J$



<<..the accuracy of the numerical adjoint is found to be reduced when the upstream positions are irregularly distributed around the grid point at which the adjoint is evaluated. This irregular distribution follows an acceleration or a deceleration pattern and is a consequence of a discontinuity in the integer value of the Courant number.>>

Case B: $p_{J-1} = p_J - 1$



Case C: $p_{J-1} = p_J + 1$

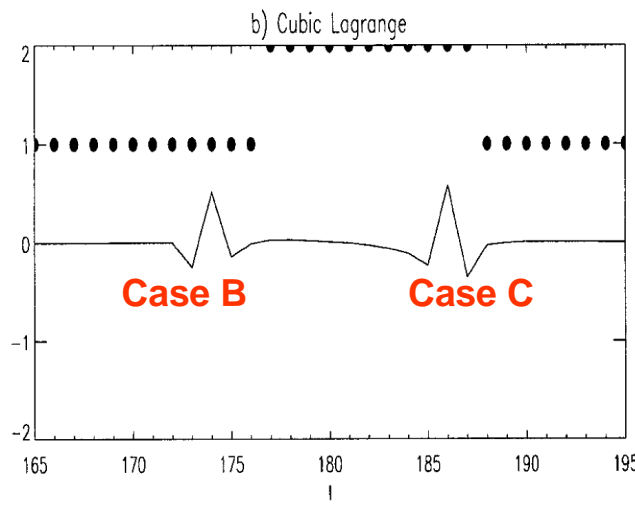
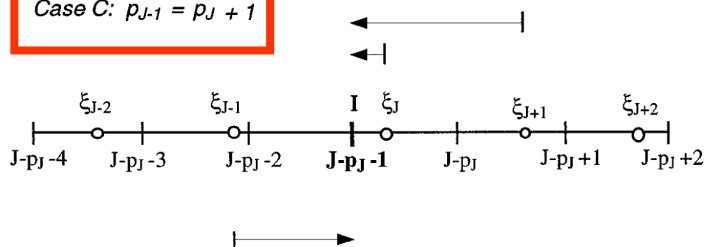
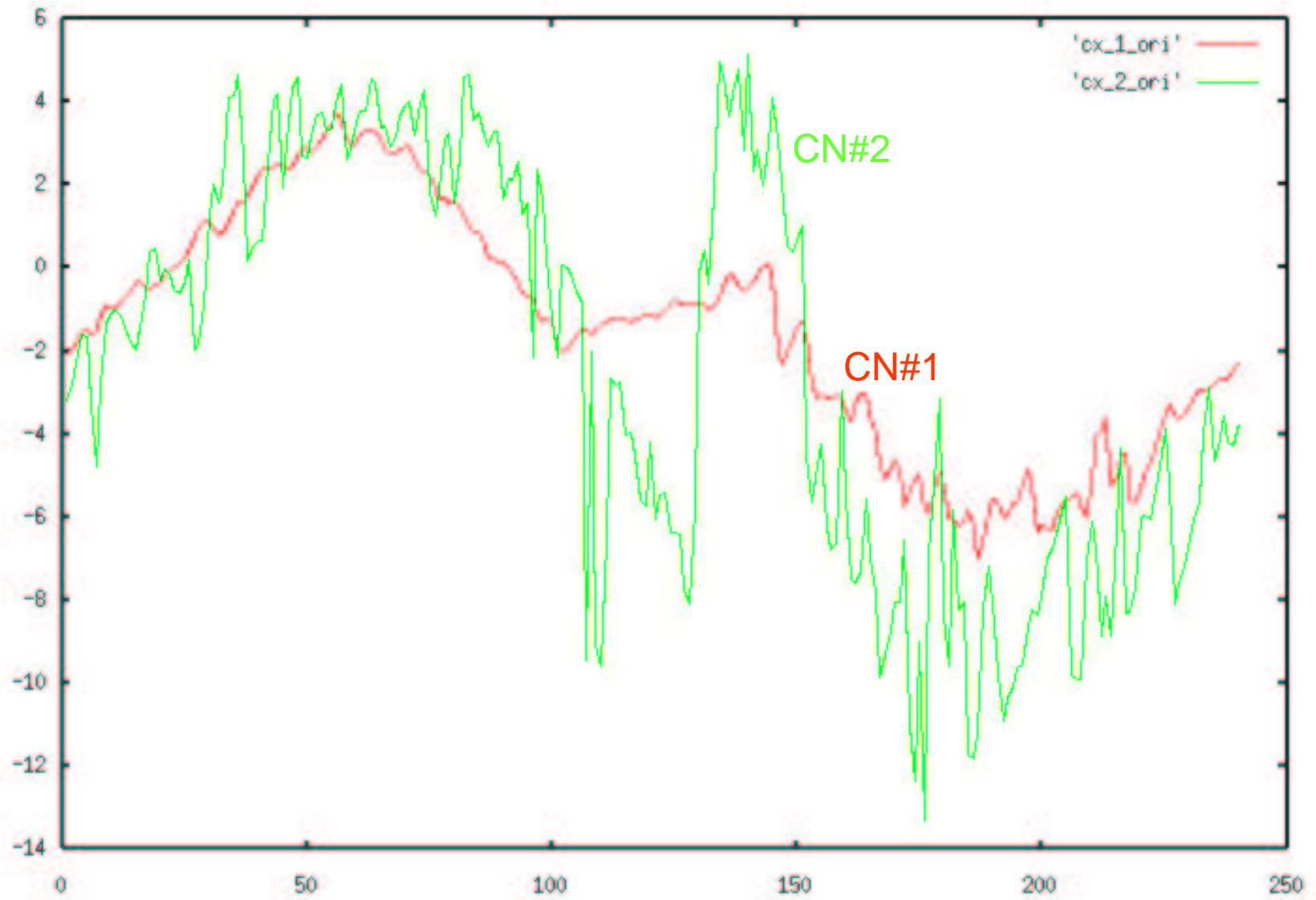
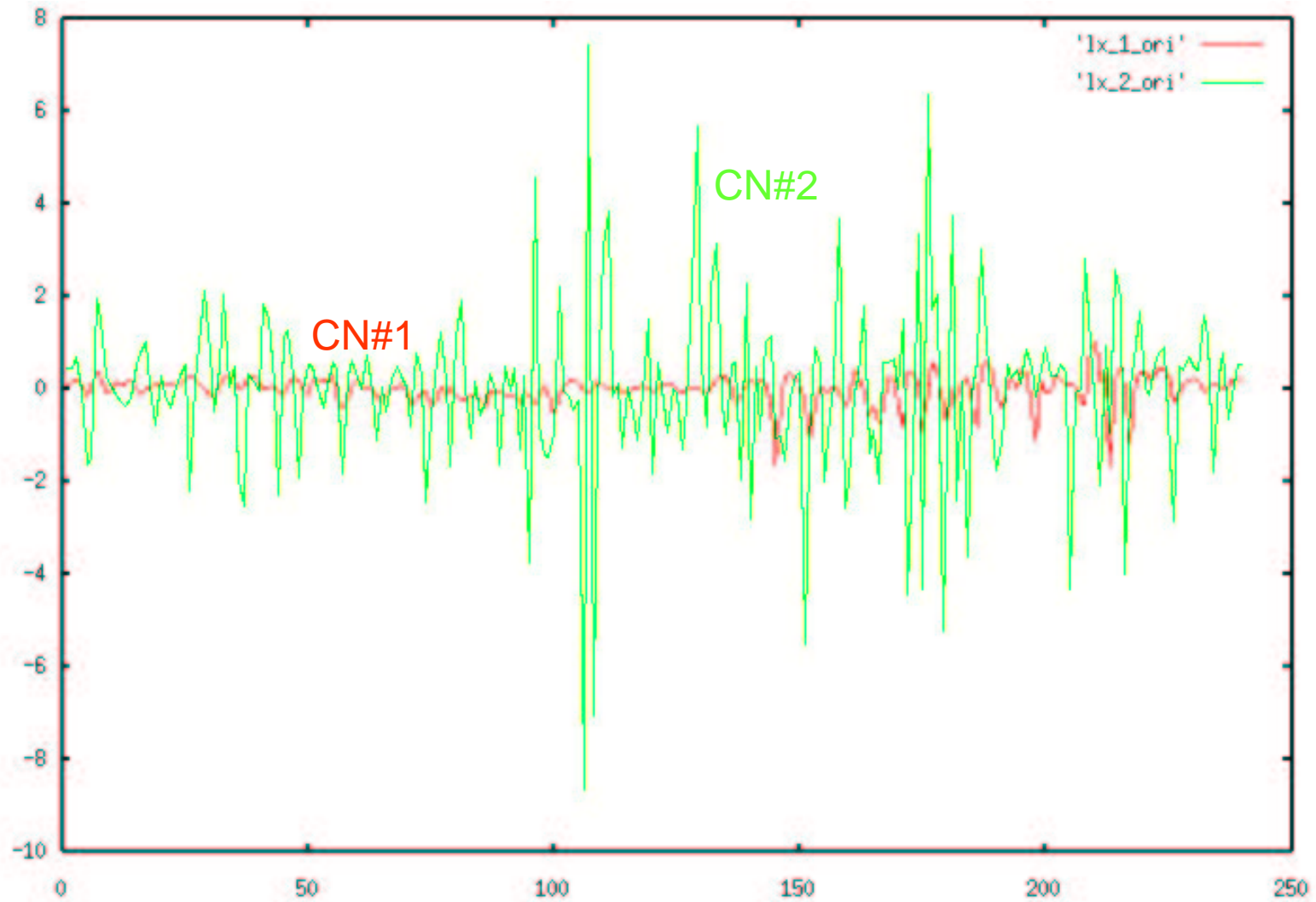


FIG. 1. Illustration of cases A, B, and C obtained by varying the relative location of the upstream positions (see text for details).

Nombre de Courant



Variation du nombre de Courant



Recette pour contrôler le problème aux pôles

CN#1 : Filtrer $\omega(t)$ avant d'utiliser

$$\omega\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) = \omega(t)$$

dans le calcul des positions amont.

CN#2: Filtrer $\omega(t + \Delta t)$ avant d'utiliser

$$\omega\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) = \frac{\omega(t) + \omega(t + \Delta t)}{2}$$

dans le calcul des positions amont.

Filtrage

La diffusion horizontale utilisée est une diffusion implicite d'ordre $m=6$ avec coefficient de diffusion variable et qui prend la forme:

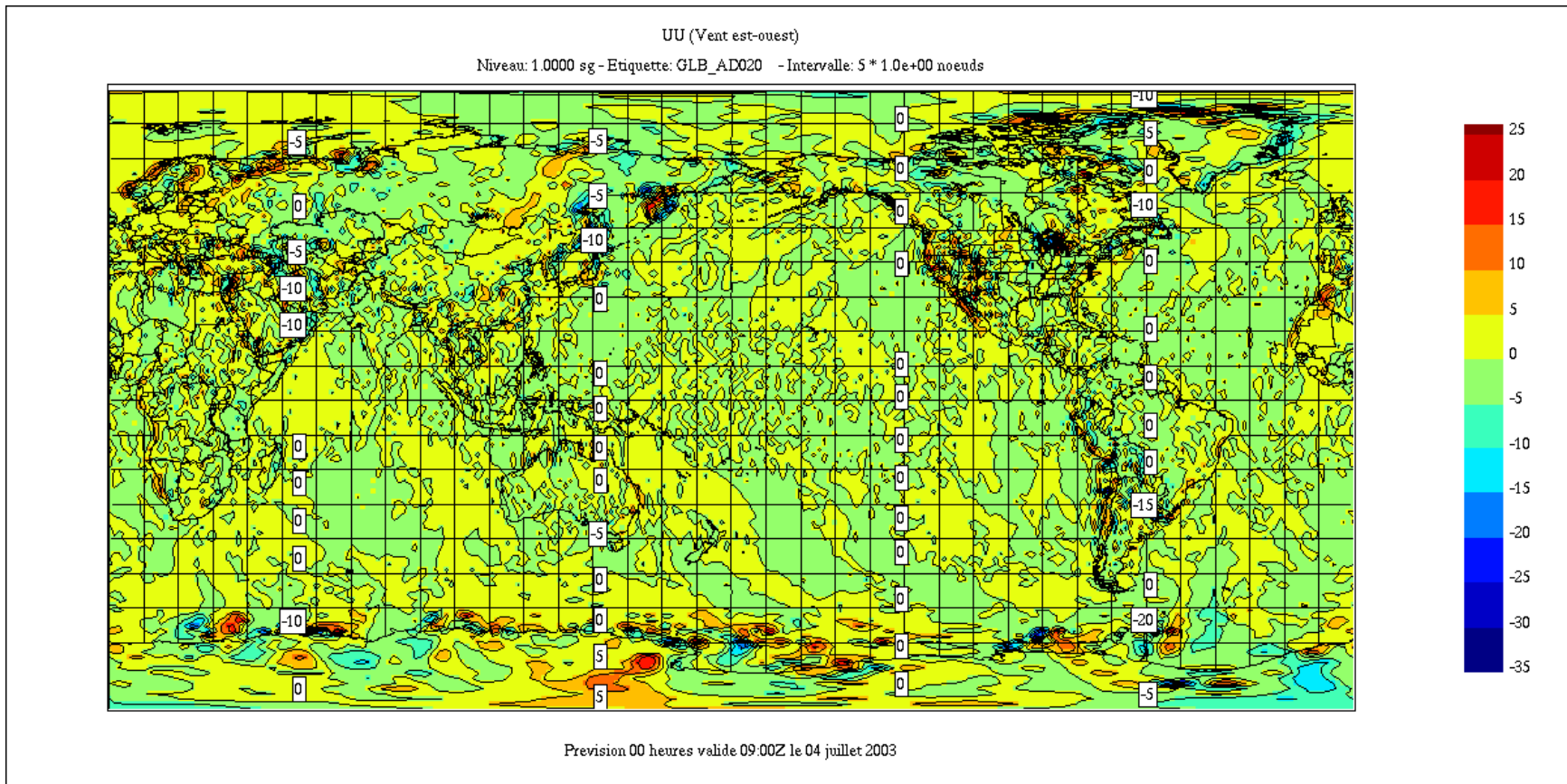
$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \mu (-1)^{\frac{m}{2} + 1} \nabla^m \phi$$

(A.Qaddouri, J.-P.Toviessi, J.Côté, 2004).

Elle est construite à partir d'une séquence d'équations impliquant le Laplacien sur la sphère:

$$\nabla^2 = \frac{1}{a^2 \cos^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} + \frac{1}{a^2 \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\cos \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right)$$

Diffusion 1D selon x



Adjoint GEM, t=0 hr, UU au sol

2) Efficacité OPENMP

Advection semi-Lagrangienne

```
!$omp parallel do
```

```
do i = 1, N
```

$$ip = i - INT(\alpha(i))$$

$$g(i) = a(i)f(ip - 1) + (1 - a(i))f(ip)$$

```
enddo
```

```
!$omp end parallel do
```

ADJOINT

Advection semi-Lagrangienne

```
!$omp parallel do
```

```
do i = 1, N
```

$$ip = i - INT(\bar{\alpha}(i))$$

$$f(ip - 1) = \bar{a}(i)g(i) + f(ip - 1)$$

$$f(ip) = -\bar{a}(i)g(i) + f(ip)$$

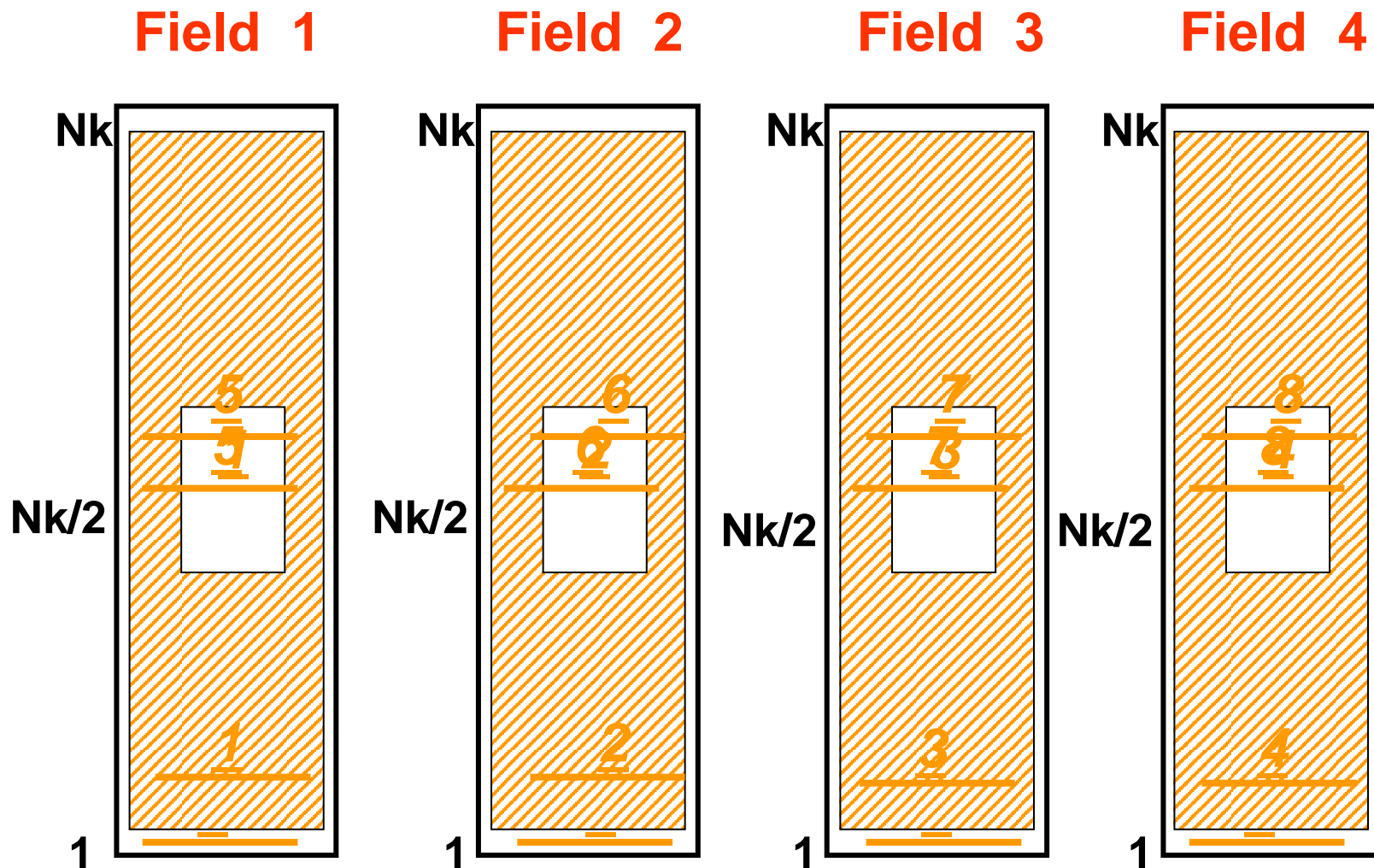
```
..
```

```
enddo
```

```
!$omp end parallel do
```

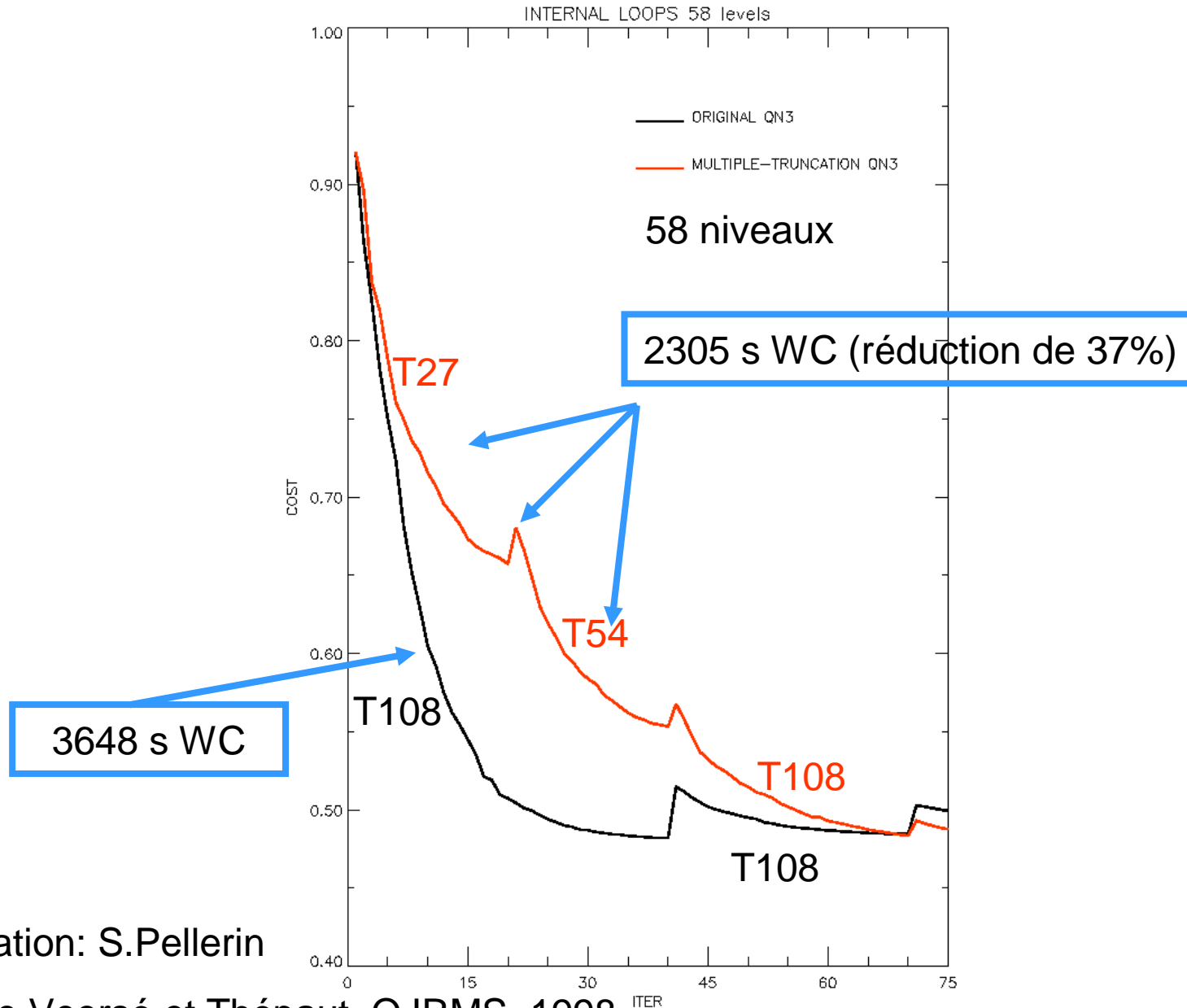
DANGER: $f(ip(i+1)) = f(ip(i))$

Comment faire travailler toutes les 8 tâches OPENMP simultanément?



Inspiré de Salmond, ECMWF, 2002

3) Troncature multiple dans la fonction de coût



Collaboration: S.Pellerin

Inspiré de Veersé et Thépaut, QJRMS, 1998

Détails d'implémentation

1) *Minimiser* J_{T27} *pour* ∂x :

$$J_{T27}(\partial x) = \frac{1}{2} \left\{ \partial x^2 + [\mathbf{M}\partial x - (y - M(x_b))]^2 \right\}$$

2) *Minimiser* J_{T54} *pour* $\partial \hat{x}$:

$$J_{T54}(\partial \hat{x}) = \frac{1}{2} \left\{ (\partial x_{T54} + \partial \hat{x})^2 + [\mathbf{M}\partial \hat{x} - (y - M(x_b + \partial x_{T54}))]^2 \right\}$$

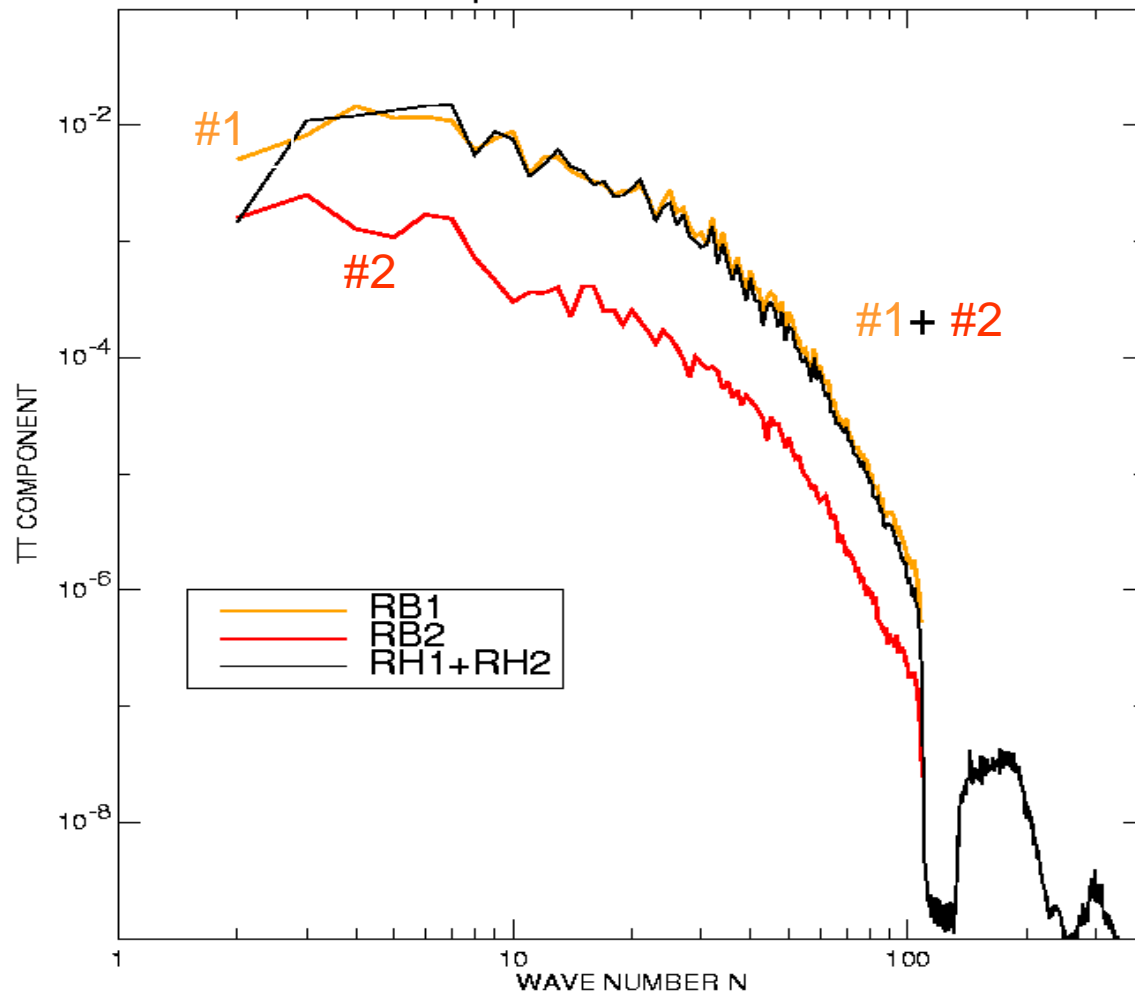
avec

a) $\partial x_{T54} = \partial x_{T27} + \text{ajout de } 0$

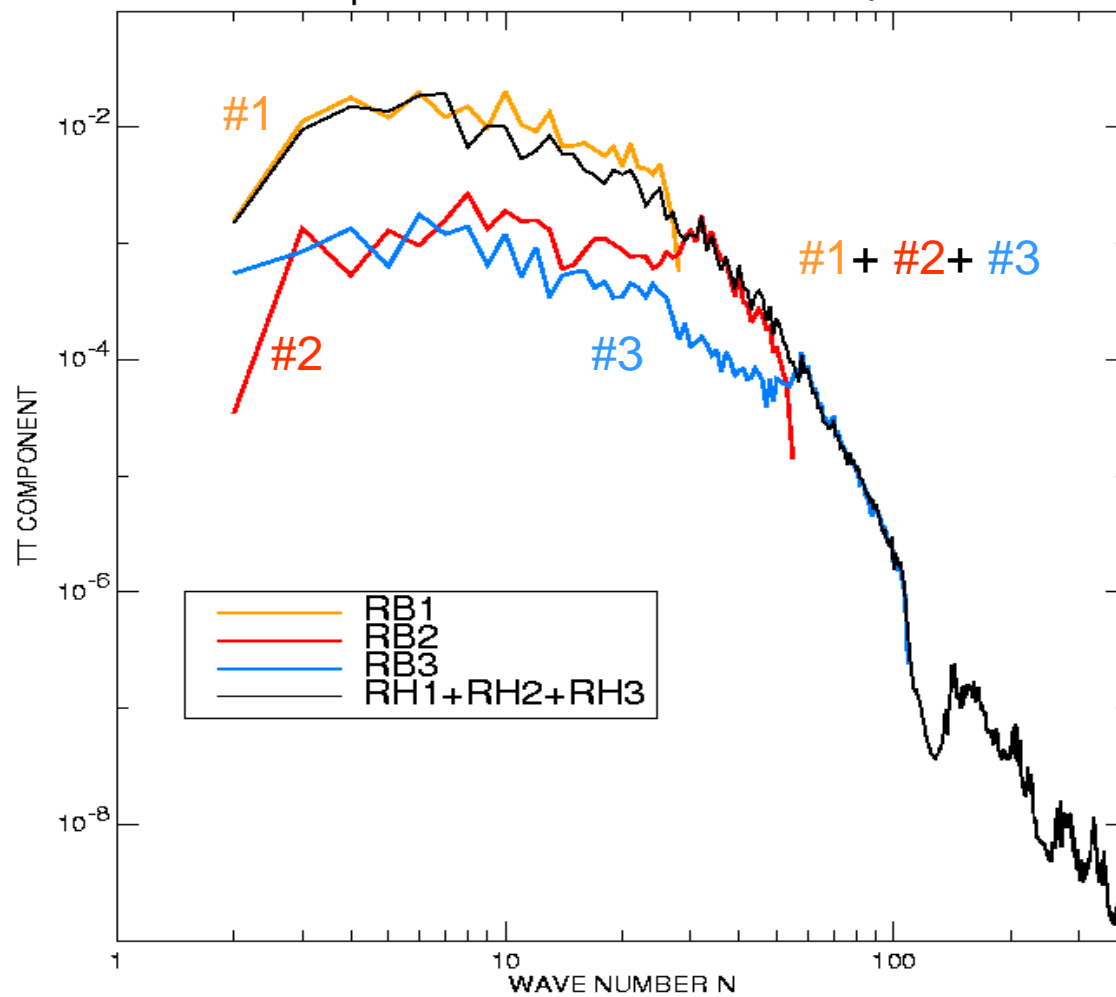
b) $\mathbf{Hessian}_{T54} = \mathbf{Hessian}_{T27} + \text{ajout de } \mathbf{Hessian}_{T108}$
(du cycle précédent)

etc..

Spectra ORIGINAL QN3



Spectra MULTIPLE-TRUNCATION QN3



4) Minimiseur Gradient conjugué

Le gradient conjugué converge plus rapidement qu'un algorithme quasi-Newton pour une fonction de coût quadratique.

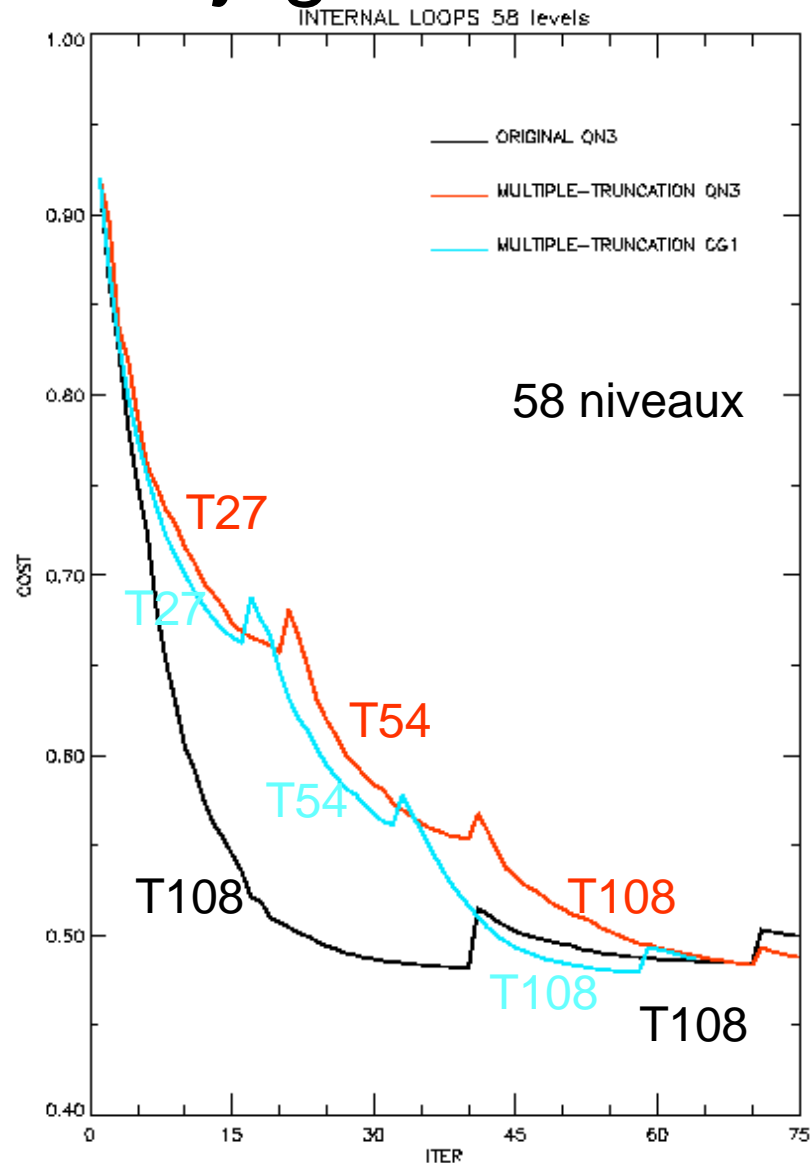
$$J(\partial x) = \frac{1}{2} \left\{ \partial x^2 + [\mathbf{M}\partial x - (y - M(x_b))]^2 \right\}$$

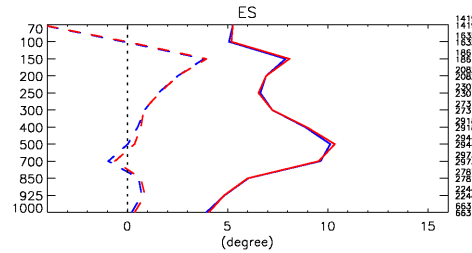
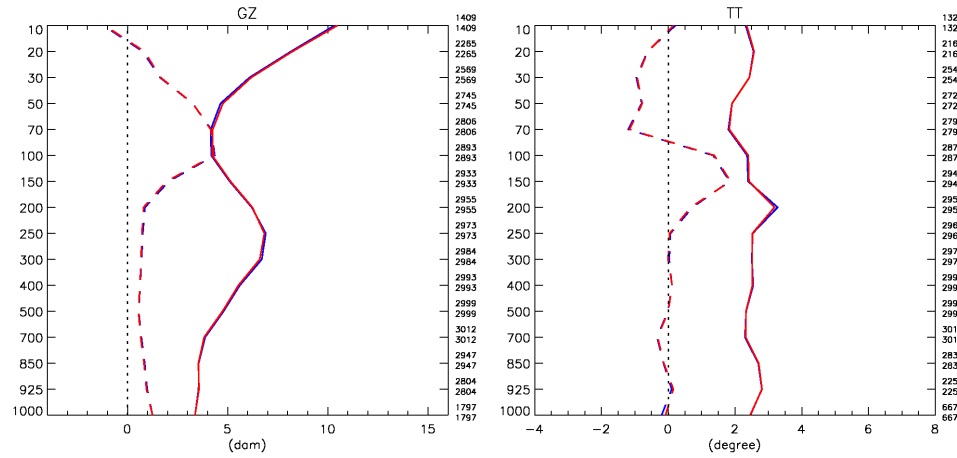
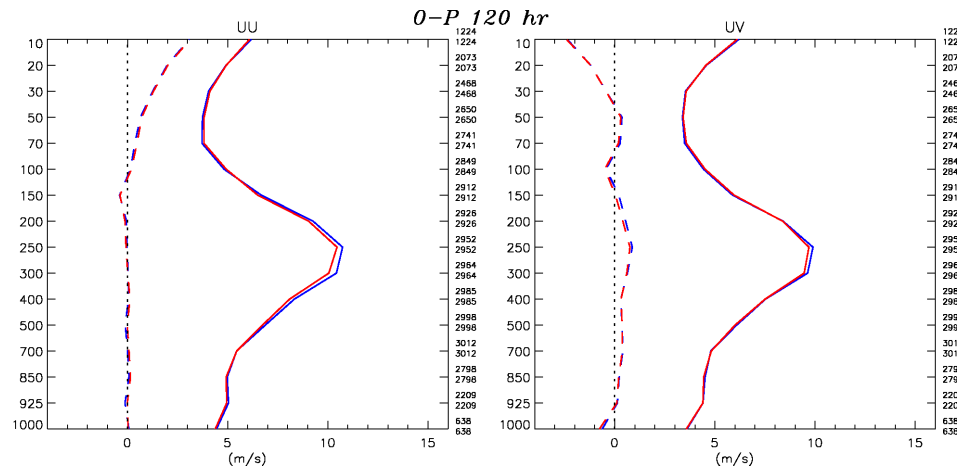
La fonction de coût incrémentale est quadratique (si QCVAR désactivé)

Troncature multiple	
N1QN3:	20 / 20 / 30
N1CG1:	15 / 15 / 25

Collaboration: S.Pellerin

Inspiré de Trémolet, ECMWF, 2002





58 niveaux

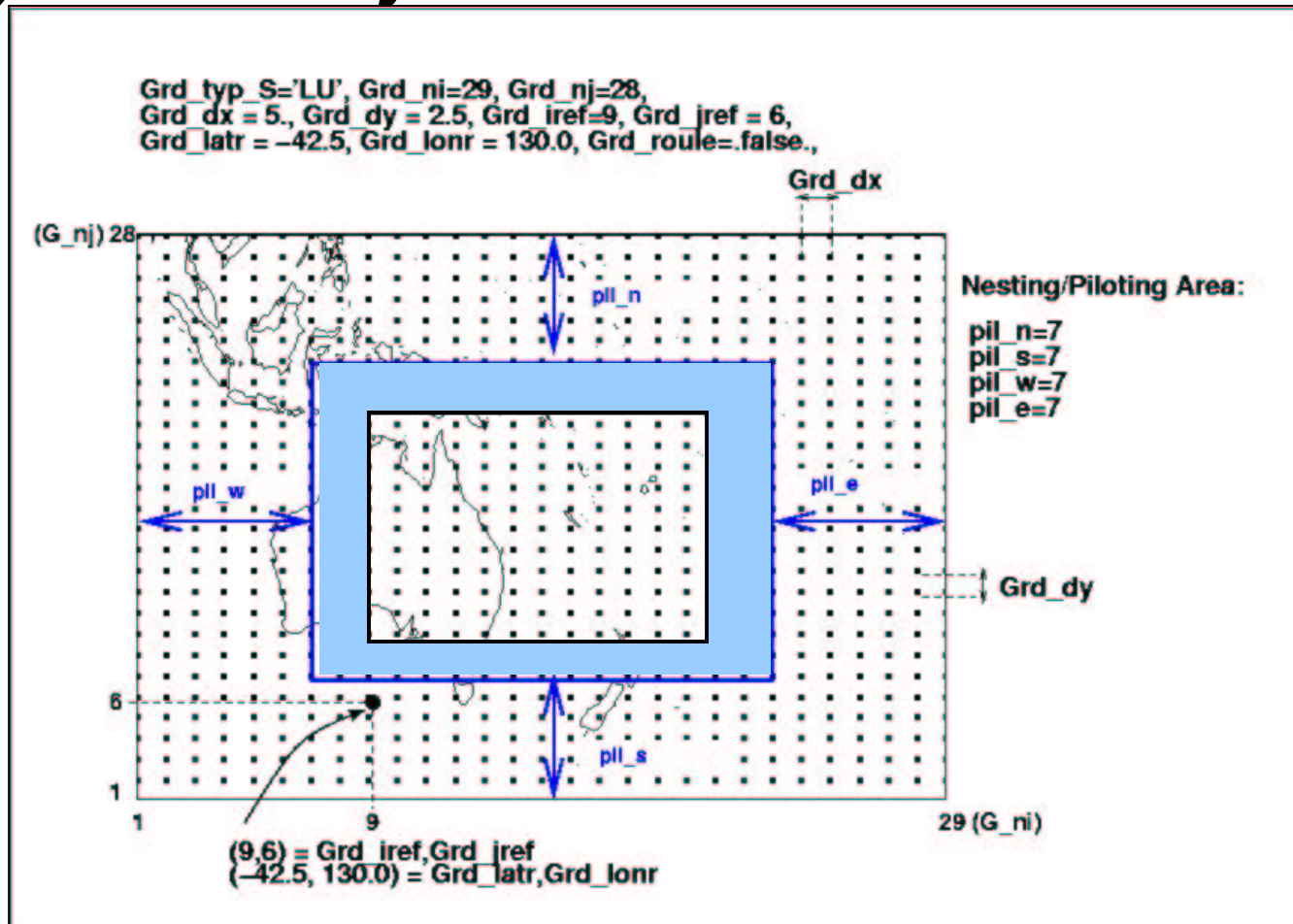
N1QN3 original (S.Laroche)

Versus

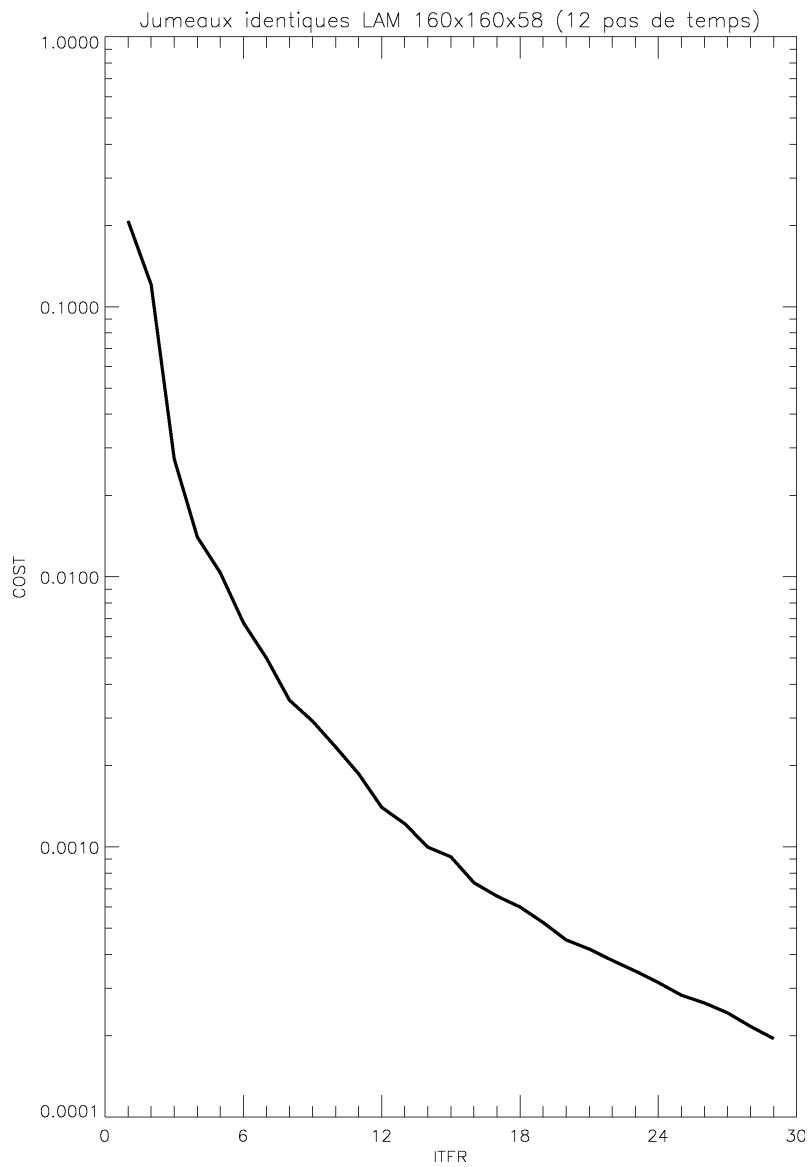
N1CG1 troncature multiple

◇	—	E-T m_uo040801_040805_120_k4de04mk (10)	Type : 0-P 120 hr
□	- - -	BIAIS m_uo040801_040805_120_k4de04mk	Region : Monde
◇	—	E-T m_uo040801_040805_120_k4de04cg (10)	Lat-lon: (90S, 180W) (90N, 180E)
□	- - -	BIAIS m_uo040801_040805_120_k4de04cg	Stat.

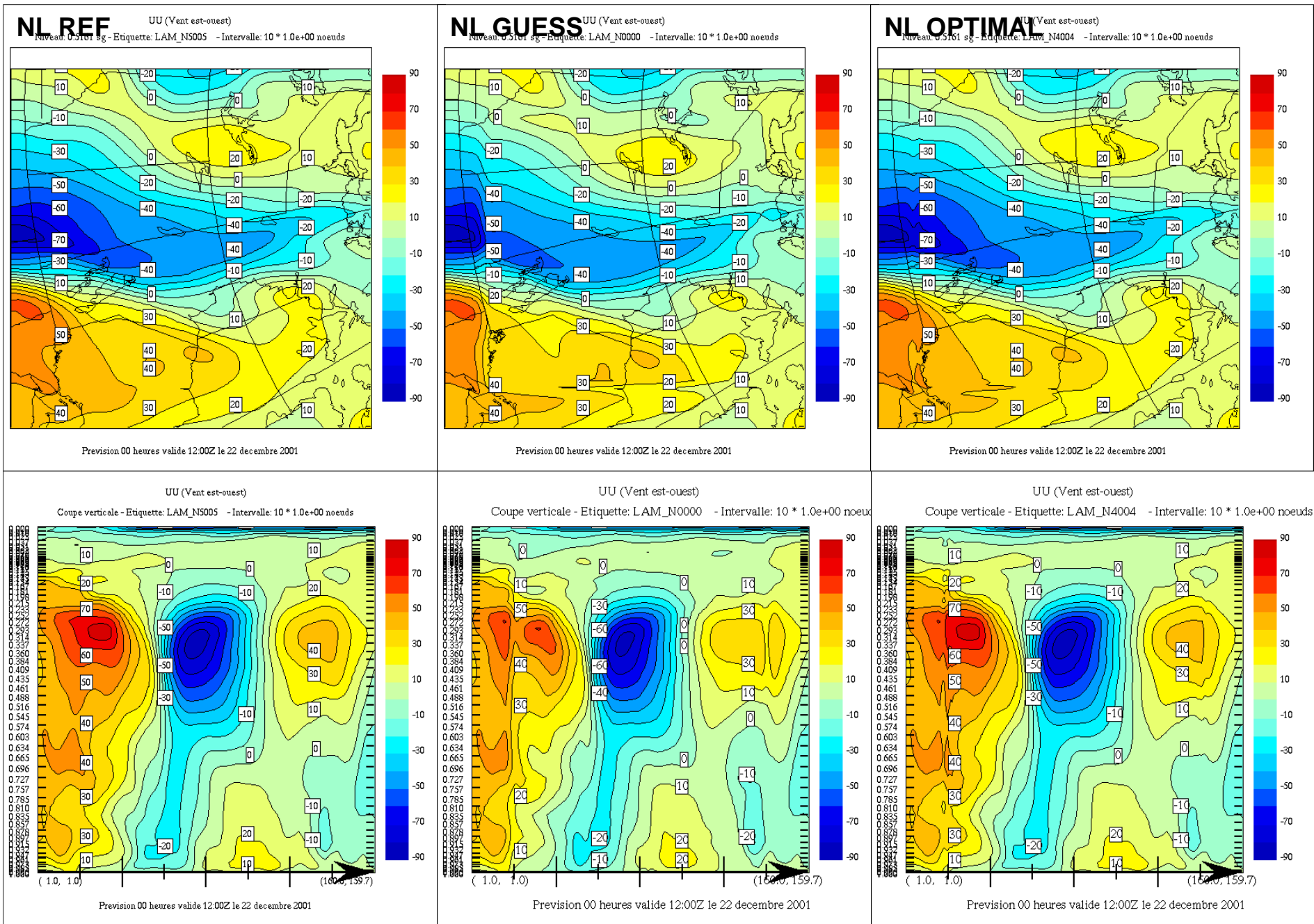
5) LAM adjoint



Commandité par M.Desgagné et V.Lee,
<http://notos.cmc.ec.gc.ca/mrb/rpn/eng/gemdm/gemdm.html>

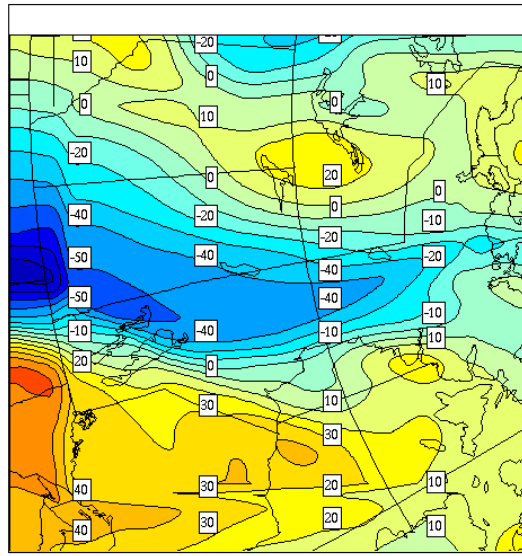


$$J(x_0) = \frac{1}{2} \sum_{t=0}^{t=T} [M(x_t) - M(x_t^{ref})]^2$$



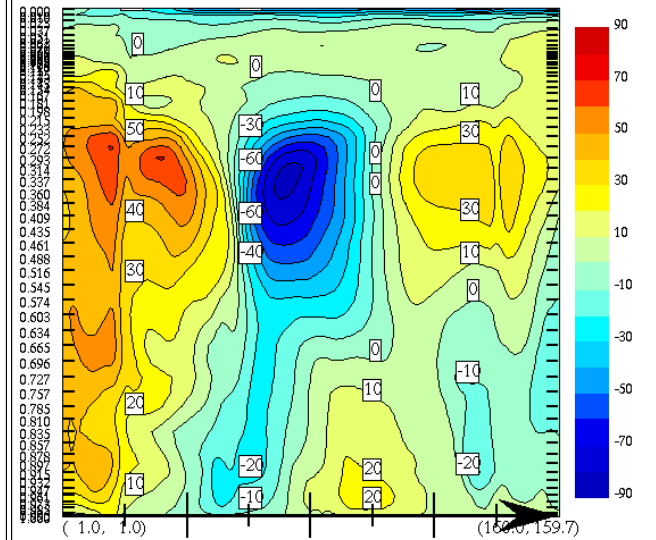
T=0

NL GUESS UU (Vent est-ouest)
 Niveau: 0.5161 sg - Etiquette: LAM_N0000 - Intervalle: 10 * 1.0e+00 noeuds



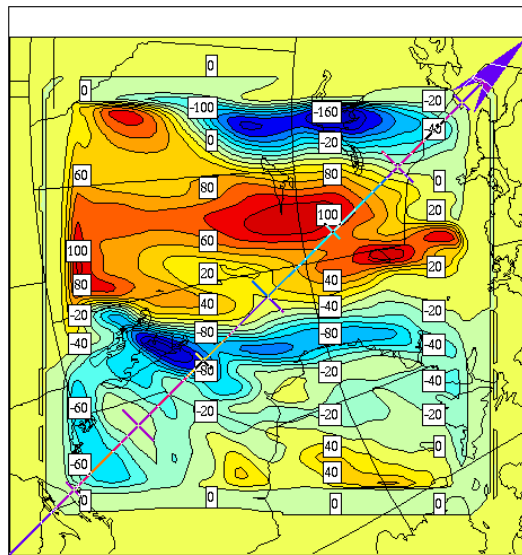
Prevision 00 heures valide 12.00Z le 22 decembre 2001

UU (Vent est-ouest)
 Coupe verticale - Etiquette: LAM_N0000 - Intervalle: 10 * 1.0e+00 noeuds



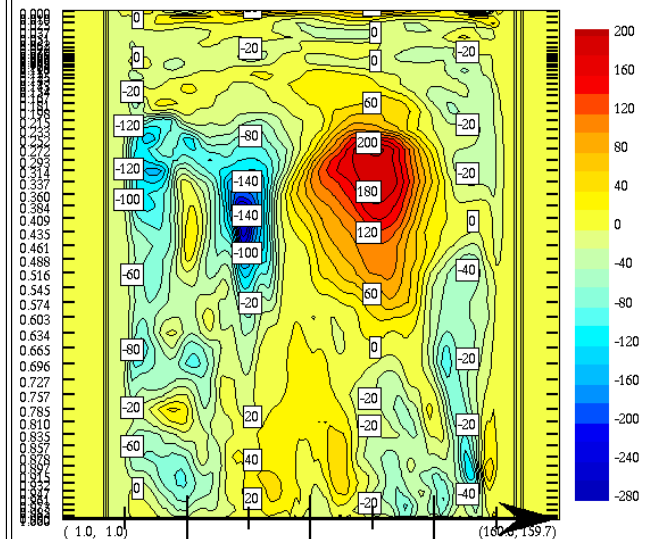
Prevision 00 heures valide 12.00Z le 22 decembre 2001

AD UU (Vent est-ouest)
 Niveau: 0.5161 sg - Etiquette: LAM_A0020 - Intervalle: 20 * 1.0e+00 noeuds



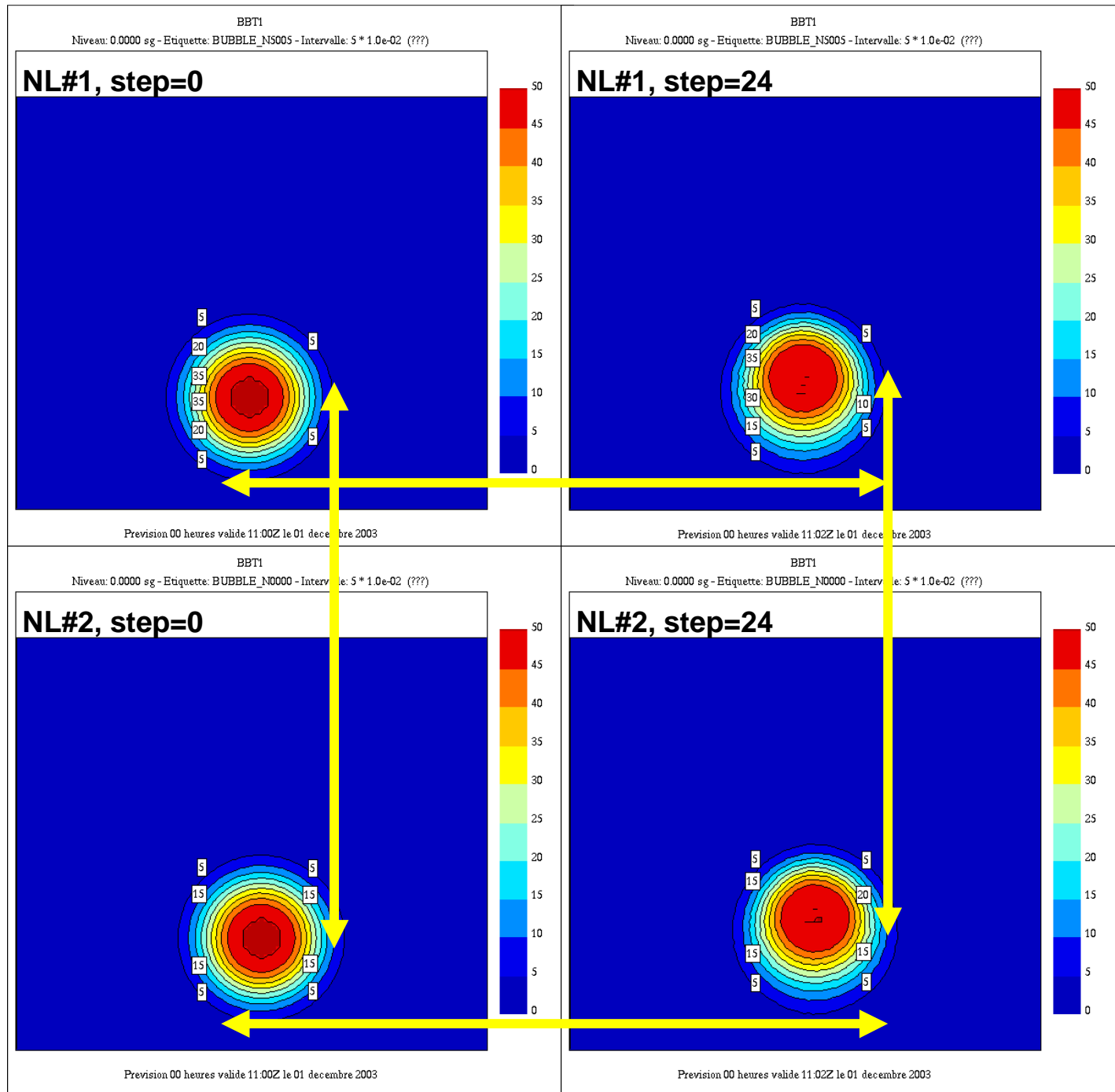
Prevision 00 heures valide 12.00Z le 22 decembre 2001

UU (Vent est-ouest)
 Coupe verticale - Etiquette: LAM_A0020 - Intervalle: 20 * 1.0e+00 noeuds



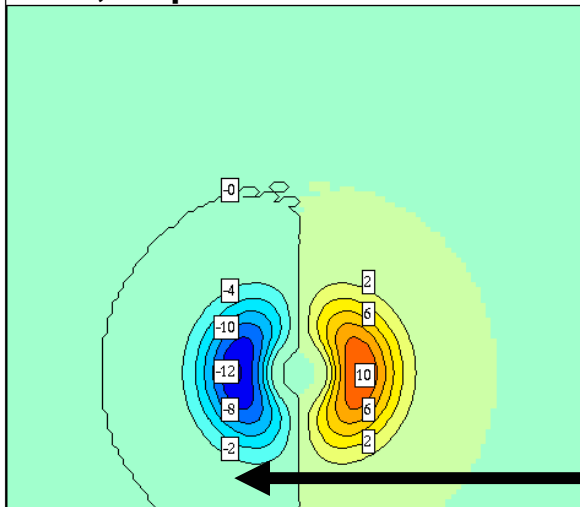
Prevision 00 heures valide 12.00Z le 22 decembre 2001

T=0



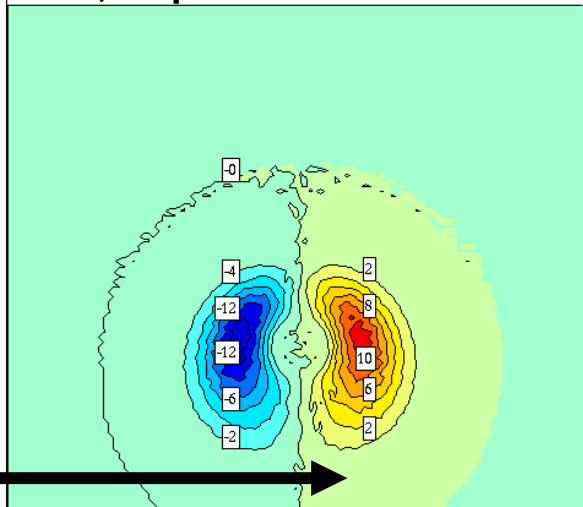
Collaboration: S.Gravel

DIFF, step=0



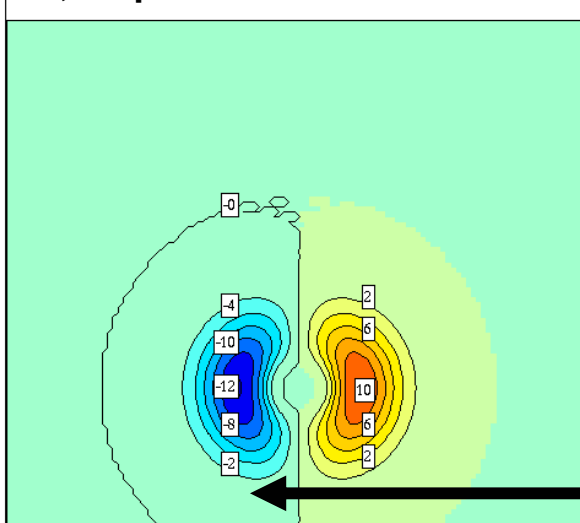
BBT1*P* 0.0000 sg 0* 0*V11.00Z 01 dec 2003*[BUBBLE_N0000-BUBBLE_N5005]

DIFF, step=24



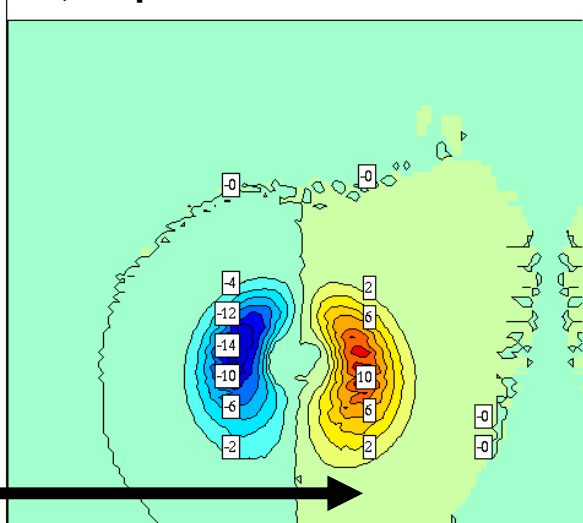
BBT1*P* 0.0000 sg 0* 24*V11.02Z 01 dec 2003*[BUBBLE_N0000-BUBBLE_N5005]

TL, step=0

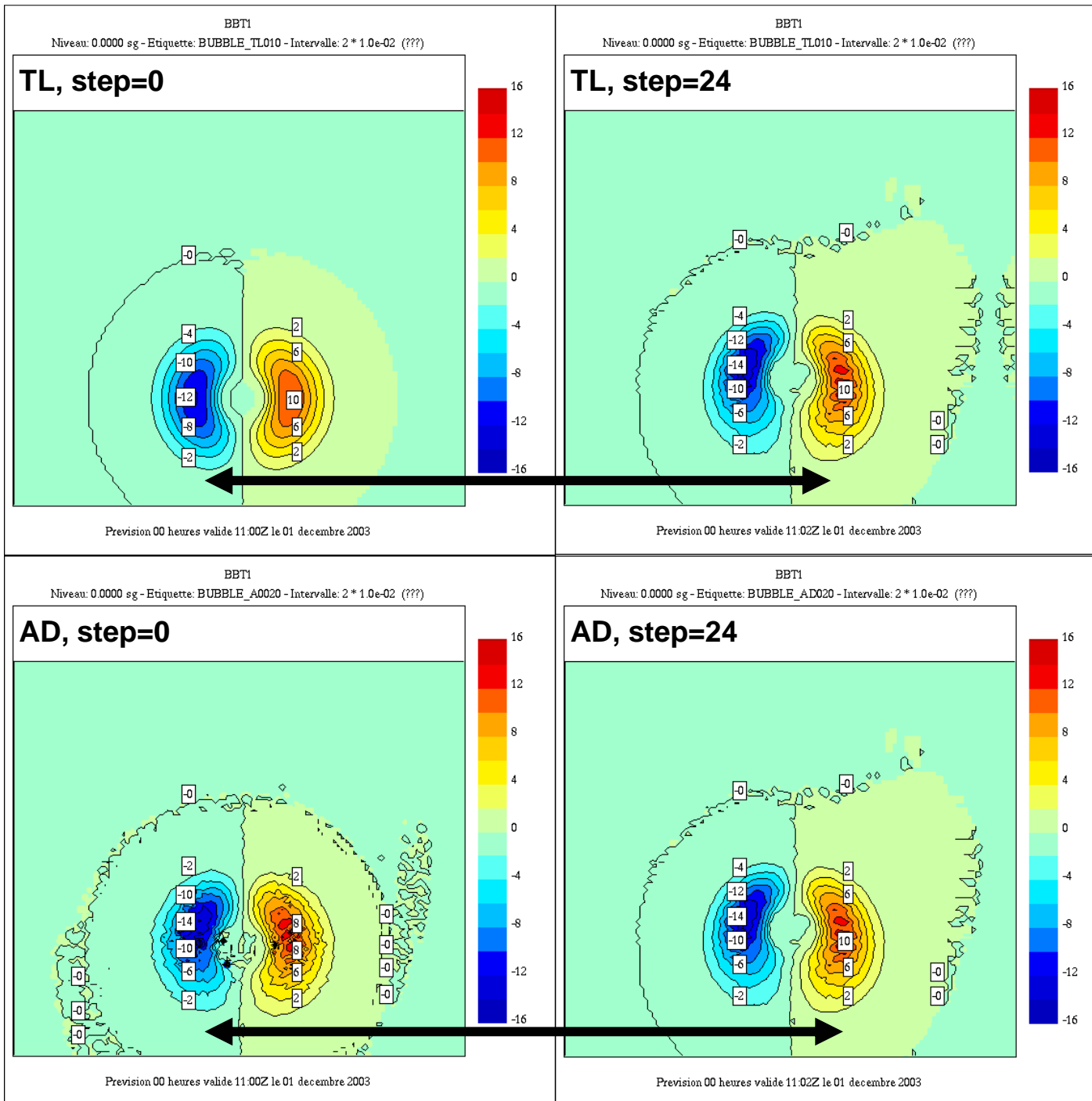


Prevision 00 heures valide 11.00Z le 01 decembre 2003

TL, step=24

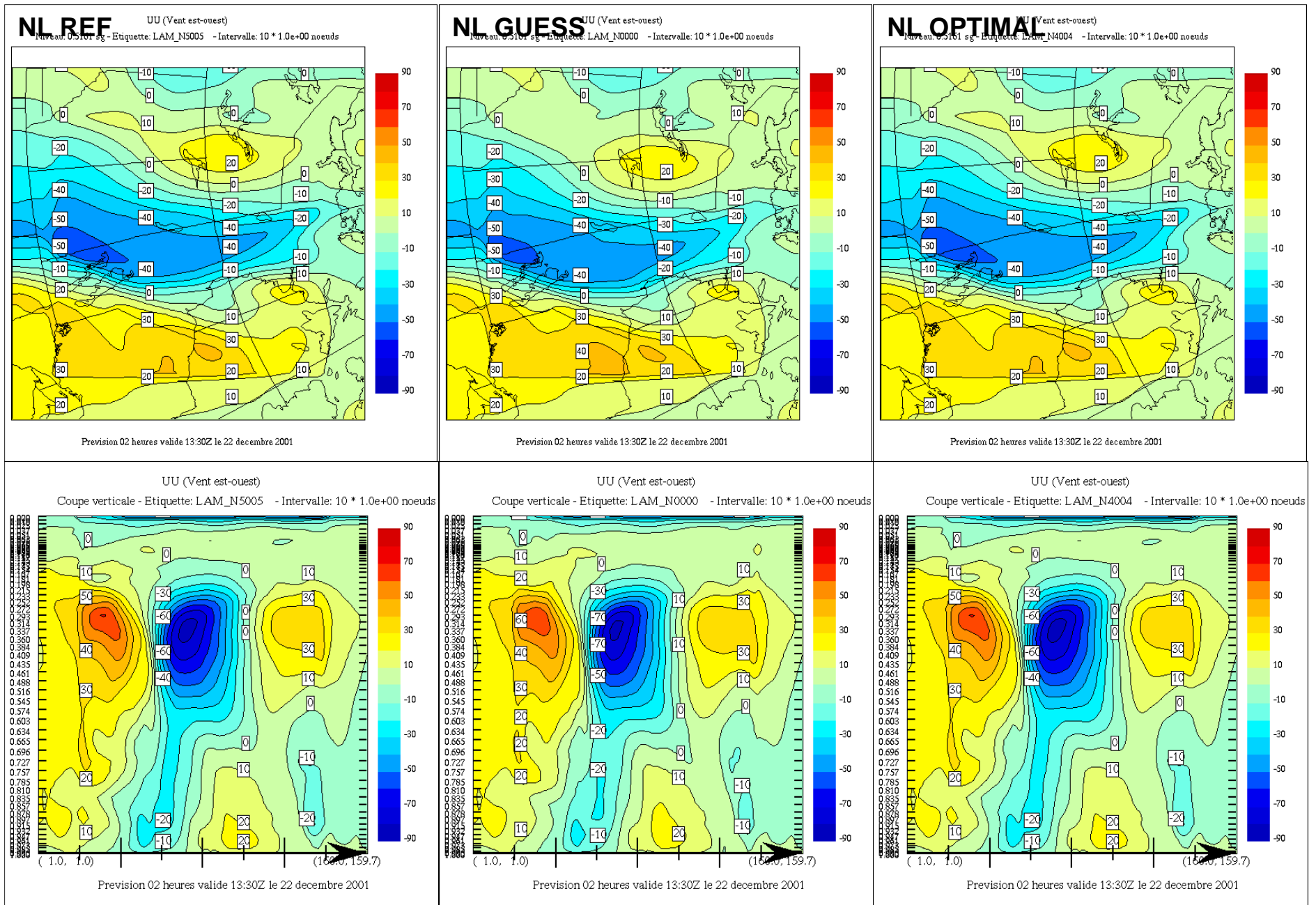


Prevision 00 heures valide 11.02Z le 01 decembre 2003

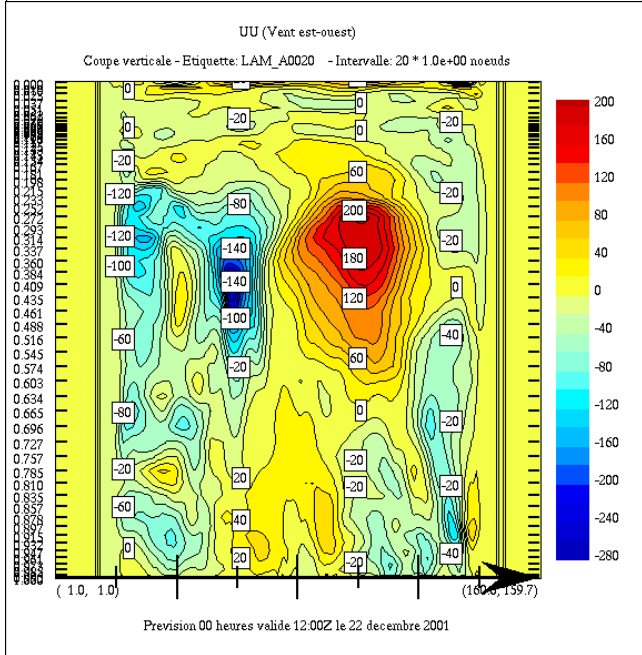
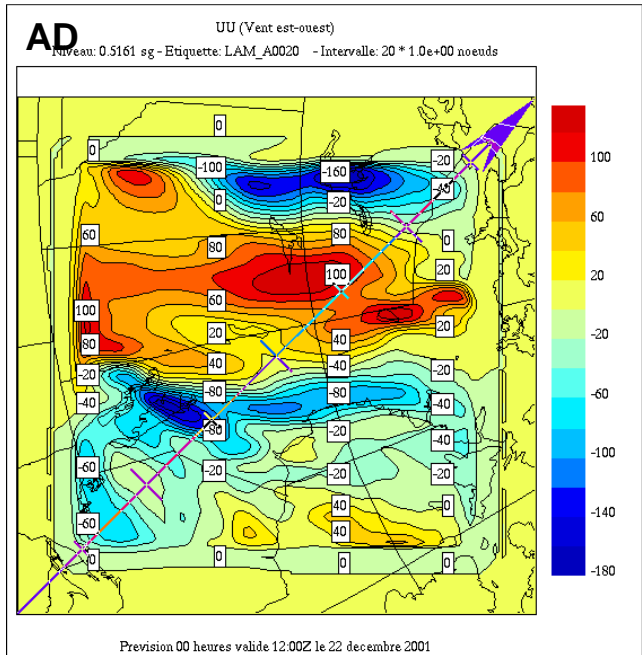


Conclusion

- 1) L'adjoint a été régularisé près des pôles en s'assurant que les vents milieux sont lisses avant leur utilisation dans la recherche des positions amont.
- 2) L'optimisation OPENMP de l'adjoint de l'advection semi-Lagrangienne a été illustrée.
- 3) La fonction de coût peut utiliser des boucles internes à troncature multiple. Cela permet un chemin plus rapide vers l'incrément optimal.
- 4) Un minimiseur Gradient conjugué converge mieux qu'un quasi-Newton pour une fonction quadratique.
- 5) L'adjoint a été étendu à la version LAM non-hydrostatique. Cela a été illustré pour le LAM standard et pour l'ascension d'une bulle. Pour la bulle, il faudra régulariser l'adjoint.



T=12 pas



T=0