

UNE QUESTION DE GRILLE à la verticale

- Remplacement d'une grille régulière par la grille de type **Charney-Phillips** pour la discrétisation verticale dans GEM
 - Discussion théorique
et résultats préliminaires

Principaux collaborateurs à ce jour:

André Plante, Sylvie Gravel, Claude Girard, Michel Desgagné, Jean Côté

- 1. Introduction:** Petite histoire des grilles à la verticale
- 2. La grille Charney-Phillips est unique**
- 3. Propriétés de dispersion, etc ...**
- 4. Présence de modes numériques**
- 5. Nouvelle Grille Verticale pour GEM** et résultats
- 6. Conclusions**



1. Introduction: Petite histoire des grilles à la verticale

“For modeling the 3-D atmosphere, the problem of vertical discretization can be even more important than that of horizontal discretization.” Arakawa & Moorthi, JAS, 1988

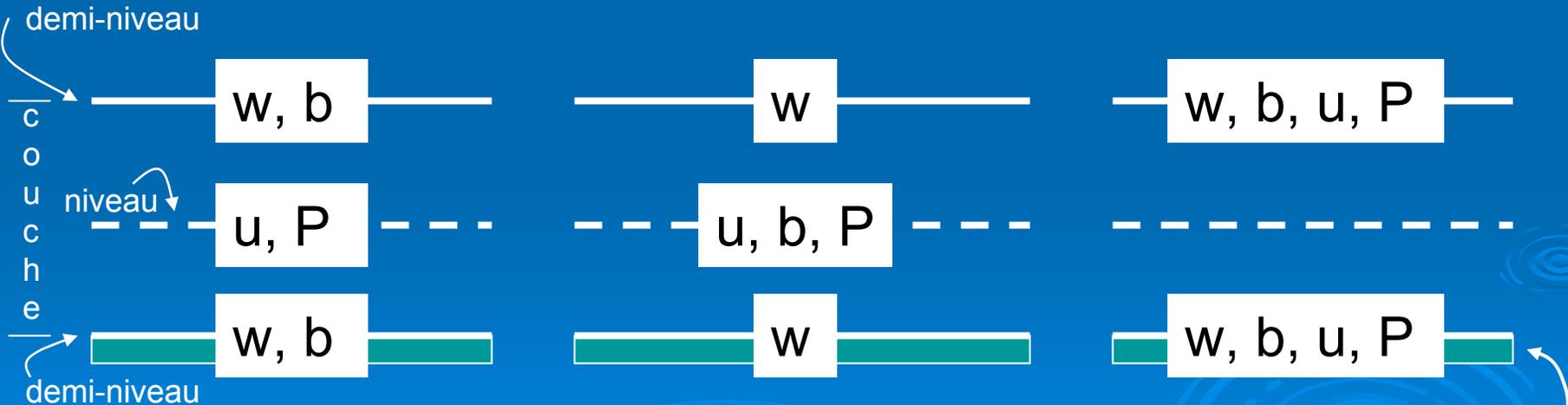
Historiquement, 3 types de grille sur 8 ont été principalement utilisés:

(4 variables: u, v, w, b, P ; 2 positions)

Charney-Phillips

Lorentz

Régulière



b : bouée (variations de température, densité ...)

P : pression généralisée (géopotential en coord. p)

La grille CP a été peu utilisée ... (équations primitives)

“...is not widely used in the primitive equation models because it is easier with the L grid to maintain some of the integral properties of the continuous system.”

Arakawa & Konor, MWR, 1996

Charney-Phillips	Lorentz	Régulière
Charney, Phillips 53 QG	Lorentz 60 B	
Robert et al. 72 P	Shuman, Hovermale 68 P	
*Daley et al. 76 SDF	Bourke 74 P	
	Arakawa, Lamb 77 P	Staniforth, Daley 77 SEF
	Simmons, Burridge 81 P	Staniforth, Daley 79 EFR
*Yakimiw, Girard 87 SEC	*Simmons et al. 89 P	
..... *Laprise, Girard 90 CCC		
Tanguay et al. 90 MC2	Bubnova et al. 95 E	
Arakawa, Konor 96 P		Côté et al. 98 GEM
Davies et al. 05 E		Yeh et al. 02 GEM
*Girard et al. 05 MC2		

QG: quasi-geostrophic B: balanced
P: primitive E: Euler
SDF, SEC, SEF, EFR, CCC, MC2, GEM: canadiens

La grille CP est encore peu utilisée ,

bien qu'elle présente des avantages ...

- propriétés de dispersion (?)
- absence de modes numériques (oui sûrement)

“For first-order averaging and differencing, this arrangement **avoids the computational mode** of the Lorentz staggering and thus gives better balanced structures...For the same reasons, ...(it is) **better at representing the dispersion properties of gravity waves...**”

Davies et al., QJRMS, 2005

... et la grille Régulière?

Elle a plusieurs caractéristiques **assez semblables à la grille L**,

lorsqu'il s'agit de l'application qui en est faite par **GEM** («pseudo-staggering»).

2. La grille Charney-Phillips est unique

Sur la grille, il y a des variables mais aussi des équations

Les équations météorologiques complètes ...

équations

M_{omentum}

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} + \frac{1}{\rho} \nabla p + f\mathbf{k} \times \mathbf{V} + \mathbf{g} = \mathbf{F}$$

T_{hermo}

$$\frac{dT}{dt} - \kappa T \frac{d \ln p}{dt} = \frac{Q}{c_p}$$

C_{ontinuité}

$$\frac{d \ln \rho}{dt} + \nabla \cdot \mathbf{V} = 0$$

E_{tat}

$$p = \rho RT$$

variables

V

T

ρ

p

... avec une variable thermodynamique en moins (simple élimination)
mais aussi sans Coriolis, sans frottement et sans sources de chaleur...

M

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} + RT\nabla q + \mathbf{g} = 0$$

V

T

$$\frac{dT}{dt} - \kappa T \frac{dq}{dt} = 0$$

T

C
ontinuité
modifiée

$$(1 - \kappa) \frac{dq}{dt} + \nabla \cdot \mathbf{V} = 0$$

q

$$q = \ln p$$

...la dynamique pure...

... linéarisées ...

~~$AB = A_*B_* + A_*B' + A'B_* + A'B'$~~

$RT_* \nabla q_* + \mathbf{g} = 0$

Pression généralisée

$$P = RT_* q'$$

$$b = g \frac{T'}{T_*}$$

bouée

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} + RT_* \nabla q' + RT' \nabla q_* = -RT' \nabla q'$$

$$\frac{dT'}{dt} - \kappa T_* \left(\frac{dq'}{dt} + w \frac{\partial q_*}{\partial z} \right) = +\kappa T' \frac{dq}{dt}$$

$$(1 - \kappa) \left(\frac{dq'}{dt} + w \frac{\partial q_*}{\partial z} \right) + \nabla \cdot \mathbf{V} = 0$$

équilibre isotherme

$\frac{d}{dt} \equiv \frac{\partial}{\partial t}$

$T_* = const$

$$\frac{\partial q_*}{\partial z} = -\frac{g}{RT_*}$$

... autour d'un état de base au repos et isotherme ...

... réduites à 2 dimensions et écrites sous forme généralisée ...

→ x: dimension horizontale

→ z: dimension verticale

pression généralisée

bouée

Mh

$$\frac{du}{dt} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

Mv

$$\frac{dw}{dt} + \frac{\partial P}{\partial z} - b = 0$$

T

$$\frac{db}{dt} - \gamma_* \frac{dP}{dt} + wN_*^2 = 0$$

C

$$\frac{1}{c_*^2} \frac{dP}{dt} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{g}{c_*^2} w = 0$$

$$P = RT_* q'$$

u

$$b = g \frac{T'}{T_*} \quad \gamma_* = \frac{g}{c_p T_*}$$

w

$$N_*^2 = \frac{g^2}{c_p T_*} = g \frac{\partial \ln \theta_*}{\partial z}$$

b

$$c_*^2 = \frac{RT_*}{1 - \kappa}$$

P

Fréquence de Brunt-Vaisälä

12 termes

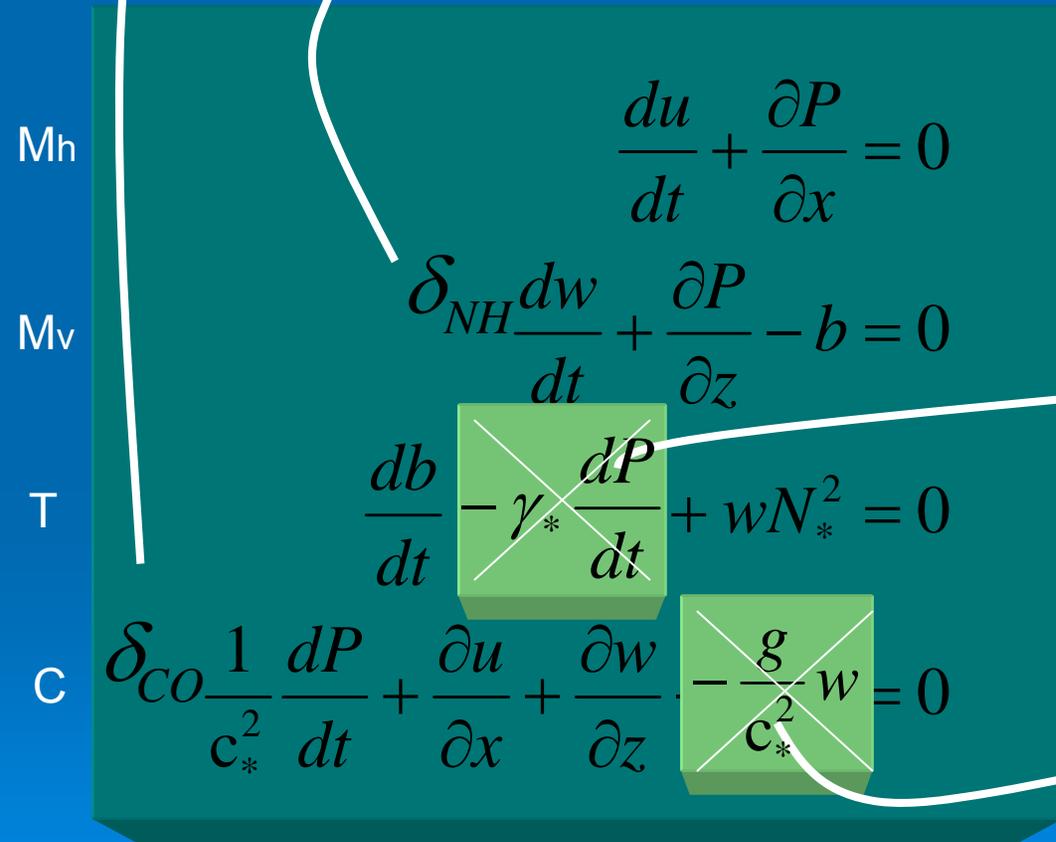
vitesse du son

...approximées (approximation de Boussinesq)...

Clé de compressibilité

Clé d'hydrostaticité

Fluide (air/eau) mince soumis à la gravité



effet de la pression dans la bouée

effet de la stratification dans la compression

8, 9 ou 10 termes

Côtés gauches de

GEM hydrostatique

$$P = \phi' + RT_* \frac{b}{Z} s; \quad X = \dot{Z} + \frac{b}{\tau} s$$

$$\delta_{NH} \frac{dw}{dt} + \frac{\partial P}{\partial z} - b = 0$$

$$\delta_{CO} \frac{1}{c_*^2} \frac{dP}{dt} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

8 termes

N.B. pas le même b !!!

$$\frac{u}{\tau} + \delta_X P = L_U$$

$$\frac{Z \delta_Z P}{RT_*} + \frac{T'}{T_*} = L_H$$

$$\frac{T'}{\tau T_*} - \kappa \frac{X}{Z} = L_T$$

$$\delta_X u + \delta_Z X = L_C$$

8 termes

... considérant des solutions
(modes propres)

à l'horizontale

et dans le temps

$$e^{i(kx + \nu t)}$$

$$i \nu u + ikP = 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} - b = 0$$

$$i \nu b + w N_*^2 = 0$$

$$iku + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Les opérateurs
sont remplacés
par leurs
valeurs propres
 ν et k

8 termes

équation de la structure verticale

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial z} - b &= 0 \\ i v b + w N_*^2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad N_*^2 w + i v \frac{\partial P}{\partial z} = 0$$

$$\left. \begin{aligned} i k u + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \\ i v u + i k P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad k^2 P + i v \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + n^2 P &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$e^{inz}$$

mode propres à la verticale

relation de dispersion



$$n^2 = k^2 N_*^2 / v^2$$

ondes de gravité

plus exacte



$$n^2 = \left(k^2 - v^2 / c_*^2 \right) \left(N_*^2 - v^2 \right) / v^2$$

ondes de gravité + son

$$\delta_{CO} = \delta_{NH} = 0$$

x

Discrétisation:

- différence finie de 2^{ème} ordre
- moyenne simple

a

b

1

$$i v u + i k P = 0$$

$$i v \bar{u} + i k P = 0$$

$$i v u + i k \bar{P} = 0$$

2

$$\delta_z P - b = 0$$

$$\delta_z \bar{P} - b = 0$$

$$\delta_z P - \bar{b} = 0$$

3

$$i v b + N_*^2 w = 0$$

$$i v \bar{b} + N_*^2 w = 0$$

$$i v b + N_*^2 \bar{w} = 0$$

4

$$\delta_z w + i k u = 0$$

$$\delta_z \bar{w} + i k u = 0$$

$$\delta_z w + i k \bar{u} = 0$$

Exemples: ▼

CP: 1x, 2x, 3x, 4x

L: 1x, 2b, 3b, 4x

R: 1x, 2b, 3x, 4b

Configurations: 8 cas

Possibilités: ▼

1 cas sans moyenne 1x1

6 cas avec 2 moyennes 6x4

1 cas avec 4 moyennes 1x16

Possibilités: 41

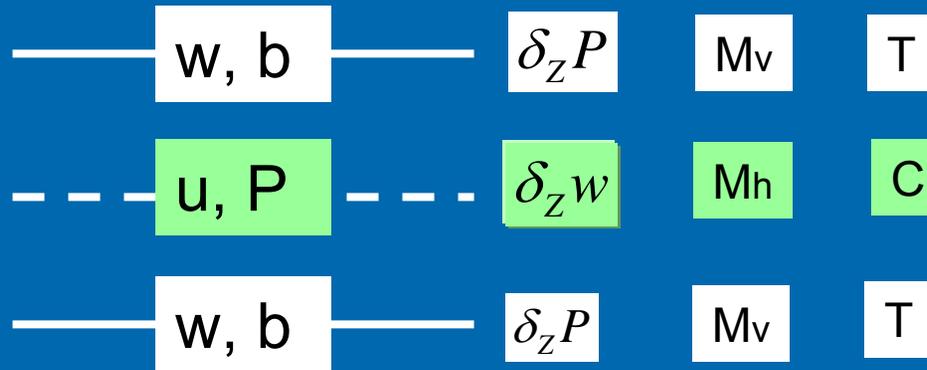
x: aucune moyenne

a: tendances moyennées,
dérivées non décalées

b: forçages moyennés,
dérivées décalées

Charney-Phillips

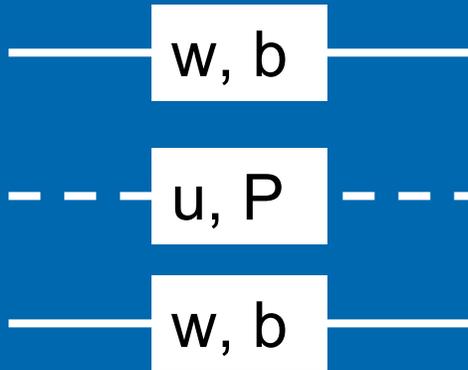
Il existe
une seule possibilité
 de **placer les variables**
 et
 de **choisir les équations**
 sans moyennage
 (approx. de Boussinesq
 non-hydrostatique)



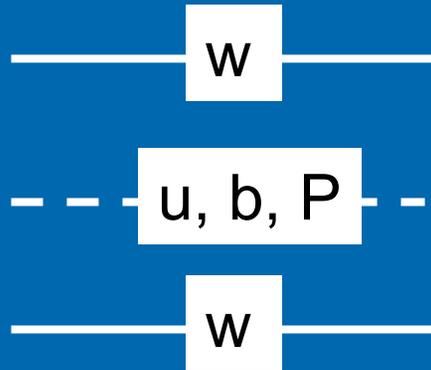
Mh	$iv u + ik P = 0$
Mv	$iv w + \delta_z P - b = 0$
T	$iv b + w N_*^2 = 0$
C	$\frac{iv}{c_*^2} P + iku + \delta_z w = 0$

3. Propriétés de dispersion, etc ...

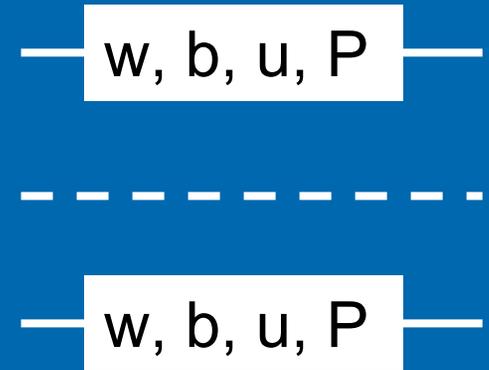
Charney-Phillips



Lorentz



R



1 $iwu + ikP = 0$

2 $\delta_z P - b = 0$

3 $ib + N_*^2 w = 0$

4 $\delta_z w + iku = 0$

1x, 2x, 3x, 4x

1 $iwu + ikP = 0$

2 $\delta_z P - \bar{b} = 0$

3 $ib + N_*^2 \bar{w} = 0$

4 $\delta_z w + iku = 0$

1x, 2b, 3b, 4x

1 $iwu + ikP = 0$

2 $\delta_z P - \bar{b} = 0$

3 $ib + N_*^2 w = 0$

4 $\delta_z w + iku = 0$

1x, 2b, 3x, 4b

Analytique

$$\left. \begin{array}{l} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \frac{\partial P}{\partial z} - b = 0 \\ i v b + w N_*^2 = 0 \\ i k u + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \\ i v u + i k P = 0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} N_*^2 w + i v \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \\ k^2 P + i v \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \end{array} \right\} \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + n^2 P = 0$$

Charney-Phillips

2x,3x,4x,1x

$$\left. \begin{array}{l} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \delta_z P - b = 0 \\ i v b + w N_*^2 = 0 \\ i k u + \delta_z w = 0 \\ i v u + i k P = 0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} N_*^2 w + i v \delta_z P = 0 \\ k^2 P + i v \delta_z w = 0 \end{array} \right\} \delta_{zz} P + n^2 P = 0$$

Lorentz

2b,3b,4x,1x

$$\left. \begin{array}{l} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \delta_z P - \overline{b} = 0 \\ i v b + N_*^2 \overline{w} = 0 \\ i k u + \delta_z w = 0 \\ i v u + i k P = 0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} N_*^2 \overline{w} + i v \delta_z P = 0 \\ k^2 P + i v \delta_z w = 0 \end{array} \right\} \delta_{zz} P + n^2 \overline{\overline{P}} = 0$$

R
2b,3x,4b,1x

$$\left. \begin{array}{l} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \delta_z P - \overline{b} = 0 \\ i v b + N_*^2 \overline{w} = 0 \\ i k u + \delta_z w = 0 \\ i v u + i k P = 0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} N_*^2 \overline{w} + i v \delta_z P = 0 \\ k^2 \overline{P} + i v \delta_z w = 0 \end{array} \right\} \delta_{zz} P + n^2 \overline{\overline{P}} = 0$$

opérateur
différence

opérateur
moyenne

$$F \approx e^{imz} \quad \leftarrow \text{modes propres numériques à la verticale}$$
$$\delta_z F / F = \frac{e^{im\Delta z/2} - e^{-im\Delta z/2}}{\Delta z} = i \frac{\sin(m\Delta z/2)}{\Delta z/2}$$
$$\overline{F} / F = \frac{e^{im\Delta z/2} + e^{-im\Delta z/2}}{2} = \cos m\Delta z/2$$

valeurs
propres
des
opérateurs

relations entre m et n (réponses numériques):

Charney -Phillips

$$\delta_{ZZ}P + n^2P = 0 \Rightarrow \sin^2(m\Delta Z/2) = (n\Delta Z/2)^2$$

Lorentz & GEM

$$\delta_{ZZ}P + n^2P = 0 \Rightarrow \tan^2(m\Delta Z/2) = (n\Delta Z/2)^2$$

ERRORS

Vitesses de phase

erreurs

- + Charney -Phillips
- Lorentz & R:GEM

Vitesses de groupe

erreurs

- Charney -Phillips
- + Lorentz & R:GEM

l'onde la plus courte

$$\lambda_{\min} = 2\Delta Z$$

$$m_{\max} = \frac{2\pi}{\lambda_{\min}} = \frac{2\pi}{2\Delta Z}$$

$$c_{ph}(m) = v_{num} / k = N_* / n$$

$$N_* \Delta Z / 2 / \sin(m \Delta Z / 2)$$

$$N_* \Delta Z / 2 / \tan(m \Delta Z / 2)$$

$$c_{ph}(m_{\max})$$

$$N_* \Delta Z / \pi$$

$$N_* \Delta Z / 2$$

$$0$$

$$\sin(\pi/2) = 1; \cos(\pi/2) = 0$$

$$c_{groupe}(m) = \frac{\partial v_{num}}{\partial m} = -\left(k N_* / n^2\right) \frac{\partial n}{\partial m}$$

$$-\left(k N_* \Delta Z^2 / 4\right) \cos(m \Delta Z / 2) / \sin^2(m \Delta Z / 2)$$

$$-\left(k N_* \Delta Z^2 / 4\right) / \sin^2(m \Delta Z / 2)$$

$$c_g(m_{\max})$$

$$-k N_* (\Delta Z / \pi)^2$$

$$0$$

$$-k N_* (\Delta Z / 2)^2$$

4. Présence de modes numériques

Charney-Phillips

$$\begin{aligned} \delta_z P - b &= 0 \\ i v b + N_*^2 w &= 0 \\ \delta_z w + i k u &= 0 \\ i v u + i k P &= 0 \end{aligned}$$

Lorentz

$$\begin{aligned} \delta_z P - \bar{b} &= 0 \\ i v b + N_*^2 \bar{w} &= 0 \\ \delta_z w + i k u &= 0 \\ i v u + i k P &= 0 \end{aligned}$$

R:GEM

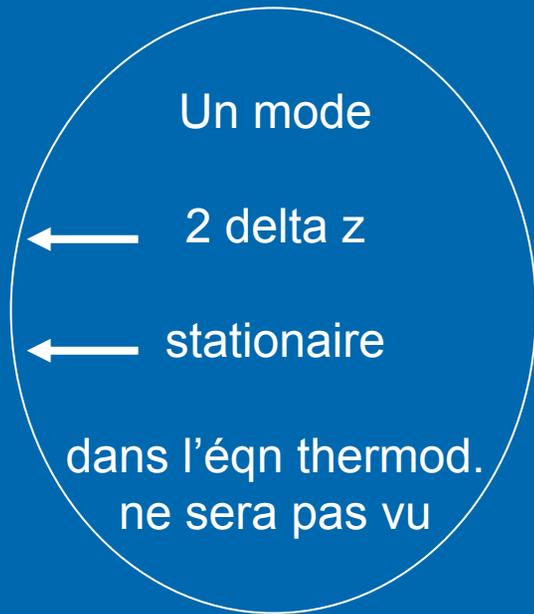
$$\begin{aligned} \delta_z P - \bar{b} &= 0 \\ i v b + N_*^2 w &= 0 \\ \delta_z w + i k \bar{u} &= 0 \\ i v u + i k P &= 0 \end{aligned}$$

Pour GEM, un autre mode 2 delta z stationnaire dans l'équation du mouvement

Tokioka, 1978

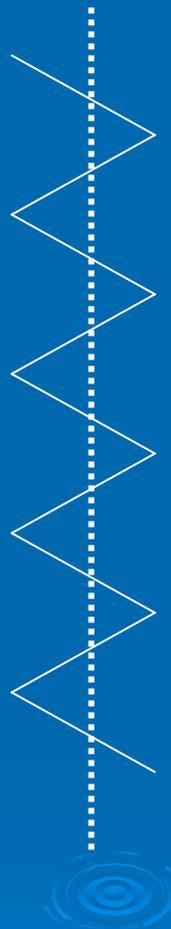
$$\begin{aligned} \bar{b} &= 0 \\ v &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{u} &= 0 \\ v &= 0 \end{aligned}$$



Arakawa 1988

« The existence of the computational mode is more or less common to any grid in which b and u are defined at the same level. ... an increase in vert. res. tends to increase the amplitude of the computational mode.»



Equations Quasi-Geostrophiques:

\mathcal{M}

$$\frac{d^g}{dt} (\zeta + f) - f_o \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

\mathcal{T}

$$\frac{d^g}{dt} \left(\frac{\partial \psi}{\partial p} \right) + \frac{S}{f_o} \omega = 0$$

\mathcal{M}_h

$$\frac{d^g}{dt} (\zeta + f) + f_o D = 0$$

\mathcal{M}_v

$$\frac{\partial \phi'}{\partial p} + \frac{\theta'}{\rho_o \theta_o} = 0$$

\mathcal{T}

$$\frac{d^g \theta'}{dt} + \omega \frac{\partial \theta_o}{\partial p} = 0$$

\mathcal{C}

$$D + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

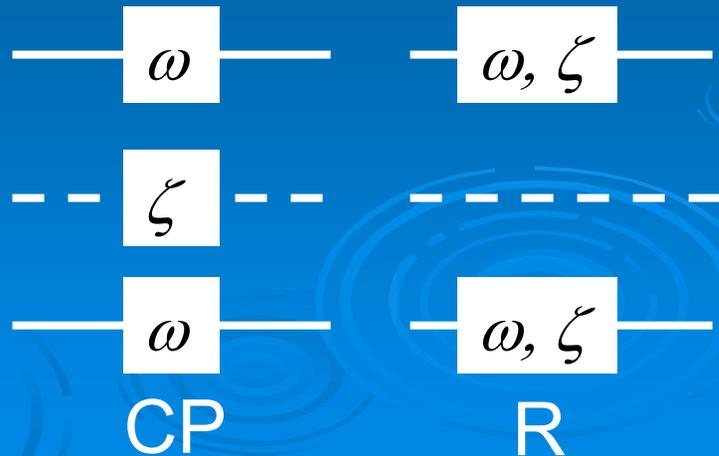
$$\frac{d^g}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla_p$$

$$\mathbf{V}_g = \mathbf{k} \times \nabla \psi$$

$$\zeta = \nabla^2 \psi$$

$$\psi = \phi' / f_o$$

$$S = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \ln \theta_o}{\partial p} = \frac{N_o^2}{g}$$



Equations Quasi-Geostrophiques discrétisées:

(2 couches, 3 demi-niveaux, 4 équations + 2 cond. limite, 6 variables)

$$\begin{aligned}
 \mathcal{M} \quad \frac{d^s}{dt} \left(\nabla^2 \frac{\psi_{\frac{1}{2}} + \psi_{\frac{3}{2}}}{2} + f \right) &= f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}} - \omega_{\frac{1}{2}}}{\Delta p} = +f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p} \\
 \mathcal{M} \quad \frac{d^s}{dt} \left(\nabla^2 \frac{\psi_{\frac{3}{2}} + \psi_{\frac{5}{2}}}{2} + f \right) &= f_o \frac{\omega_{\frac{5}{2}} - \omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p} = -f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p} \\
 \mathcal{T}_1 \quad \frac{d^s}{dt} \left(\frac{\psi_{\frac{3}{2}} - \psi_{\frac{1}{2}}}{\Delta P} \right) &= -\frac{S}{f_o} \frac{\omega_{\frac{3}{2}} + \omega_{\frac{1}{2}}}{2} = -\frac{S/2}{f_o} \omega_{\frac{3}{2}} \\
 \mathcal{T}_2 \quad \frac{d^s}{dt} \left(\frac{\psi_{\frac{5}{2}} - \psi_{\frac{3}{2}}}{\Delta P} \right) &= -\frac{S}{f_o} \frac{\omega_{\frac{5}{2}} + \omega_{\frac{3}{2}}}{2} = -\frac{S/2}{f_o} \omega_{\frac{3}{2}}
 \end{aligned}$$

R

$\omega_{\frac{1}{2}} = 0, \psi_{\frac{1}{2}}$

 \mathcal{M}, \mathcal{T}

$\omega_{\frac{3}{2}}, \psi_{\frac{3}{2}}$

 \mathcal{M}, \mathcal{T}

$\omega_{\frac{5}{2}} = 0, \psi_{\frac{5}{2}}$

- Comme s'il y avait une équation thermodynamique de trop ...
- La stabilité S semble être diminuée par un facteur 2 ...

Equations Quasi-Geostrophiques discrétisées:

En fait, on peut écrire:

3 équations
3 variables

$$\frac{d^s}{dt} \left(\nabla^2 \overline{\psi}_1 + f \right) = + f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p}$$

$$\frac{d^s}{dt} \left(\nabla^2 \overline{\psi}_2 + f \right) = - f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p}$$

$$\frac{d^s}{dt} \left(\frac{\overline{\psi}_2 - \overline{\psi}_1}{\Delta P} \right) = - \frac{S / 2}{f_o} \omega_{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$$

Clairement,
un degré de
liberté en trop

...
et

...
toujours S/2
?

Vrai des premier et dernier
niveaux
d'un modèle à N niveaux

Arakawa & Moorthi

Equations Quasi-Geostrophiques discrétisées:

CP

$$\frac{d^g}{dt} (\nabla^2 \psi_1 + f) = + f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p}$$

$$\frac{d^g}{dt} (\nabla^2 \psi_2 + f) = - f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p}$$

$$\frac{d^g}{dt} \left(\frac{\psi_2 - \psi_1}{\Delta p} \right) = - \frac{S}{f_o} \omega_{\frac{3}{2}}$$

3 équations
3 variables

R:GEM

$$\frac{d^g}{dt} (\nabla^2 \overline{\psi}_1 + f) = + f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p}$$

$$\frac{d^g}{dt} (\nabla^2 \overline{\psi}_2 + f) = - f_o \frac{\omega_{\frac{3}{2}}}{\Delta p}$$

$$\frac{d^g}{dt} \left(\frac{\overline{\psi}_2 - \overline{\psi}_1}{\Delta P} \right) = - \frac{S / 2}{f_o} \omega_{\frac{3}{2}}$$

Clairement,
un degré de
liberté en trop

...
et

...
toujours S/2
?

Vrai des premier et dernier
niveaux
d'un modèle à N niveaux

Arakawa & Moorthi

2000 \longrightarrow 2007

Thuburn, Woollings, JCP, 2005

But: “...seek the optimal overall configuration of vertical coordinate, predicted variables and grid.”

Critère: “...ability ... to simulate accurately the normal modes ...”

Arguments heuristiques:

- “For each mode, ... u and p have the same zeros
and ... w and θ have the same zeros.”
- “Inaccuracies ... introduced whenever a variable is averaged
... and whenever ... derivatives are approximated over ... $2\Delta z$...”

Tests: 3 coordonnées, 6 variables thermodynamiques, 8 configurations de grille

Résultats:

- \nearrow Catégorie 1: optimal, $w\theta/up$, unique, (absence de modes numériques, propriétés de dispersion distinctivement meilleures)
- CP \searrow Catégorie 2: near-optimal (pas de modes numériques, bonnes propriétés ...)
- L \rightarrow Catégorie 3: e.g. w/upT , 1 mode numérique
- Catégorie 4: e.g. $wu\theta/p$, modes inertiels dans u découplés de w
- R \rightarrow Catégorie 5: e.g. $wuzq/$, multiples modes numériques, modes instables

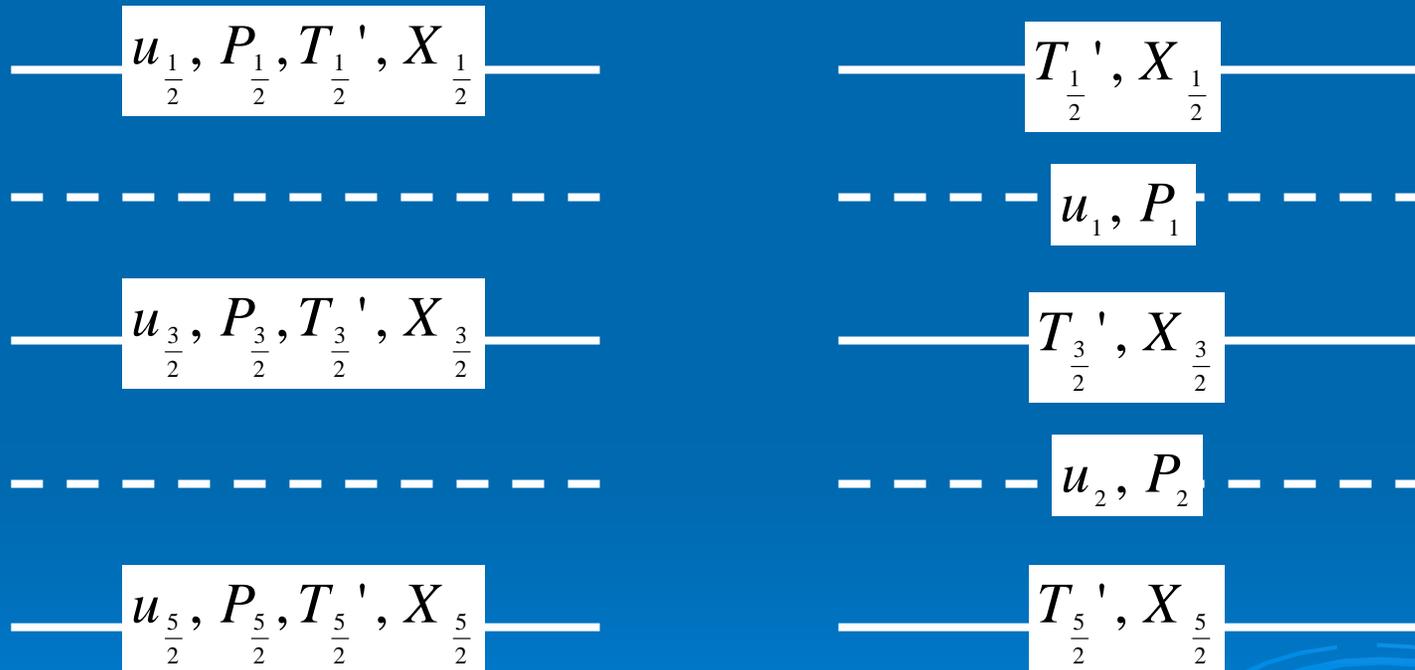
5. Nouvelle Grille Verticale pour GEM et résultats

GEM hydrostatique

R



CP



Placement des variables

N.B. Nouvelle grille,
même coordonnée,
mêmes variables,
mêmes équations

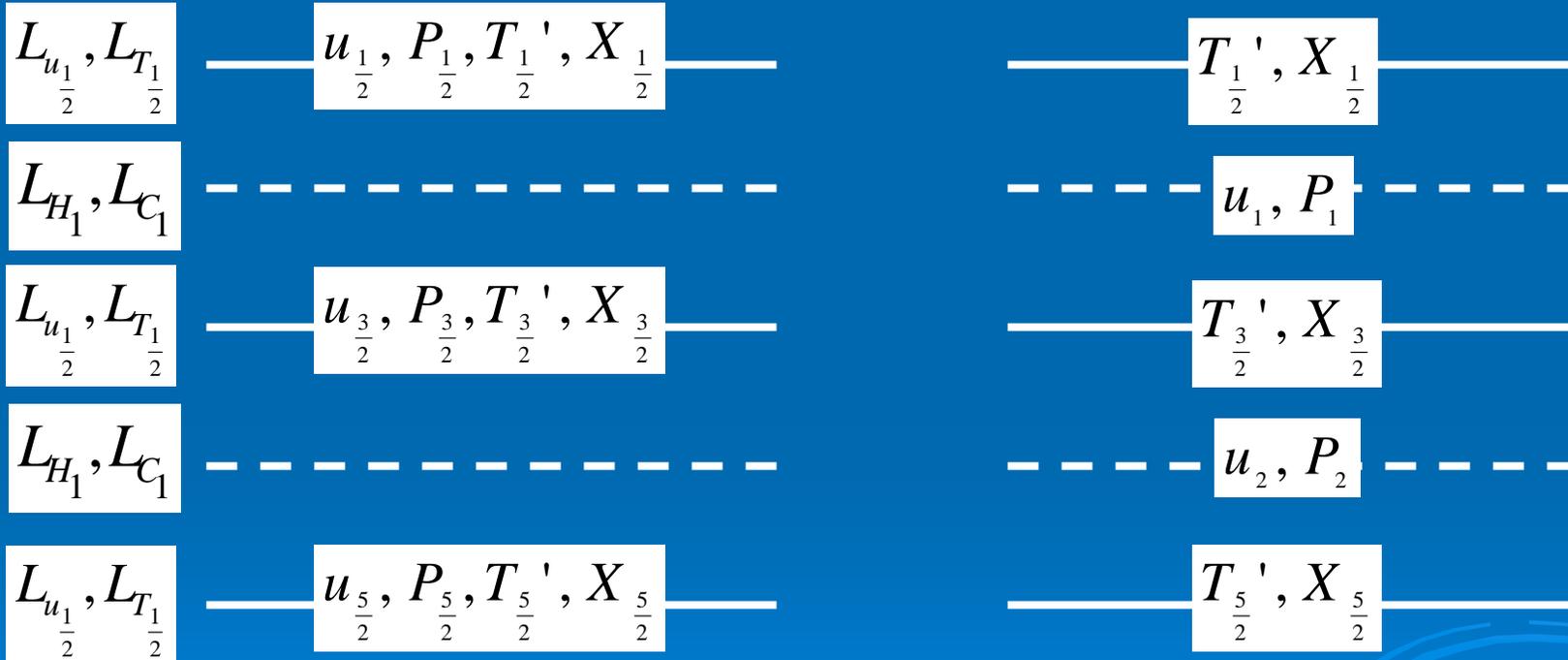
GEM hydrostatique

Pseudo-staggering

R



CP



Placement des équations

Placement des variables

GEM hydrostatique

Grille Régulière



Grille Charney-Phillips

$$\frac{u}{\tau} + \delta_X P = L_U$$

$$\frac{Z\delta_Z P}{RT_*} + \frac{T'}{T_*} = L_H$$

$$\frac{T'}{\tau T_*} - \kappa \frac{X}{Z} = L_T$$

$$\delta_X u + \delta_Z X = L_C$$

$$\frac{u}{\tau} + \delta_X P = L_U$$

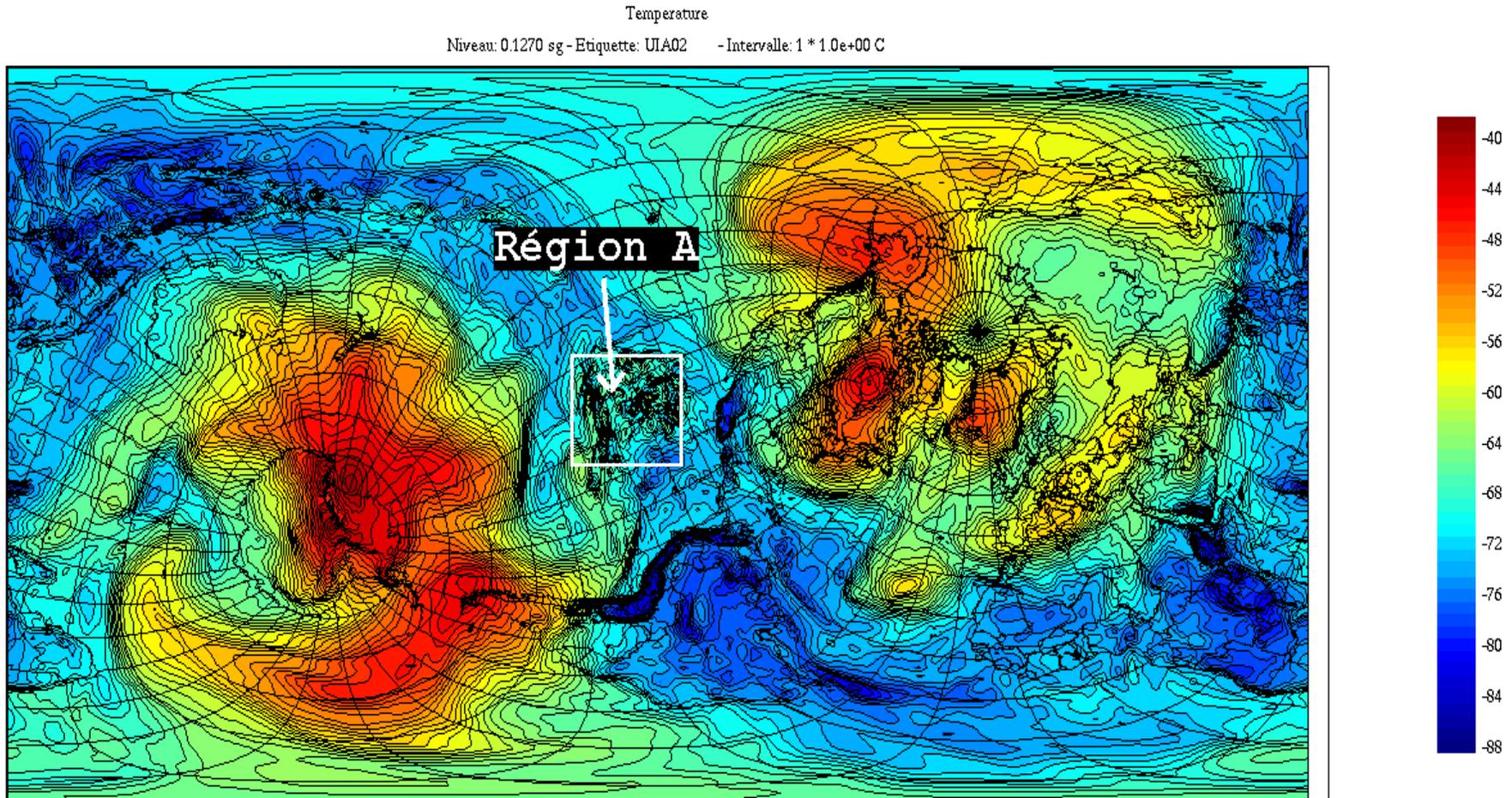
$$\frac{Z\delta_Z P}{RT_*} + \frac{T'}{T_*} = L_H$$

$$\frac{T'}{\tau T_*} - \kappa \frac{X}{Z} = L_T$$

$$\delta_X u + \delta_Z X = L_C$$

RÉSULTAT # 1:

MOINS DE BRUIT DANS LE CAS HYDROSTATIQUE



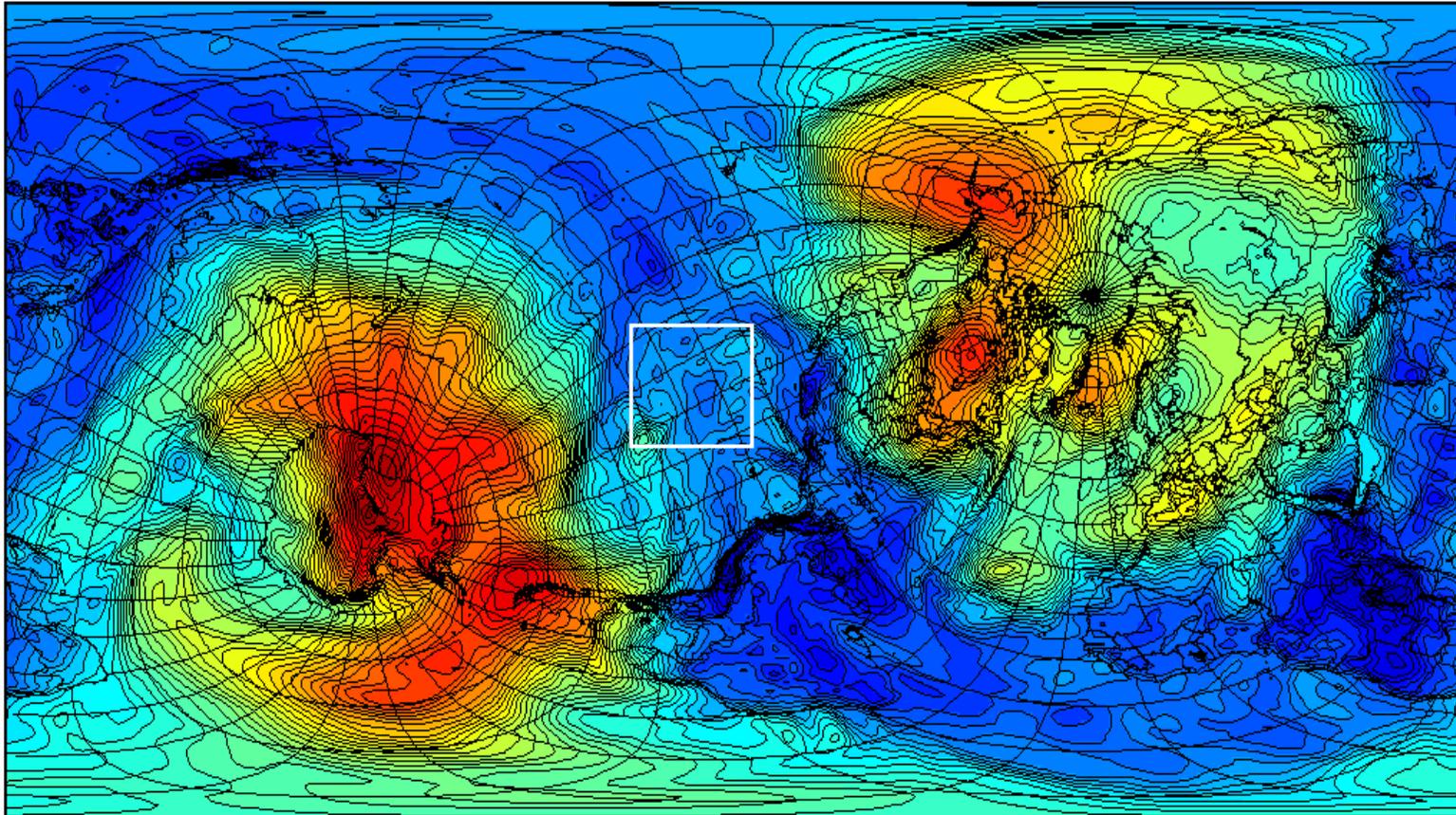
Prevision 24 heures valide 12:00Z le 23 novembre 2005

RÉSULTAT # 1:

MOINS DE BRUIT DANS LE CAS HYDROSTATIQUE

Temperature

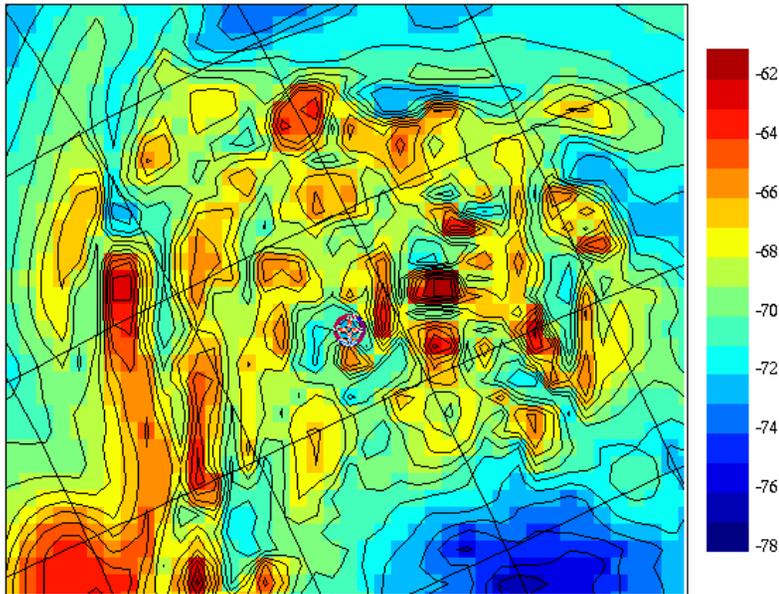
Niveau: 0.125075 sg - Etiquette: UJJ02 - Intervalle: 1 * 1.0e+00 C



Prevision 24 heures valide 12:00Z le 23 novembre 2005

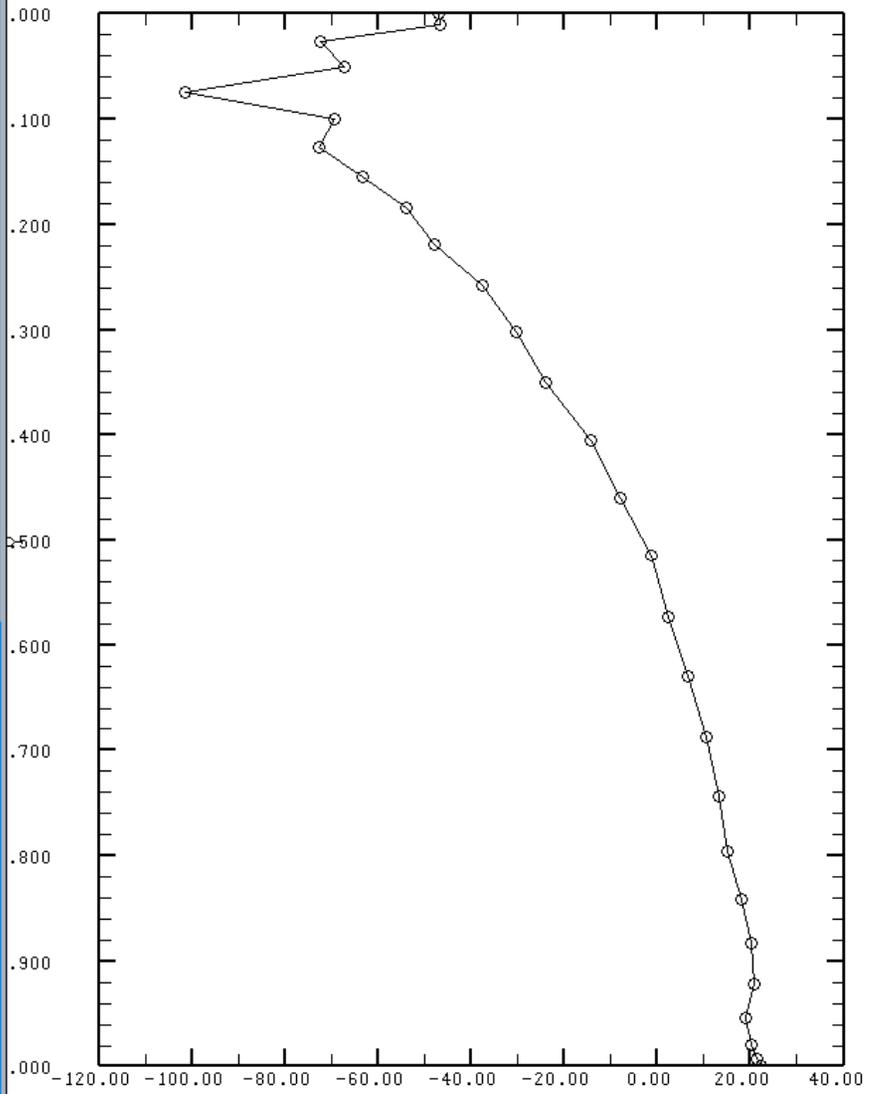
Temperature

Niveau: 0.1270 sg - Etiquette: UIA02 - Intervalle: 1 * 1.0e+00 C

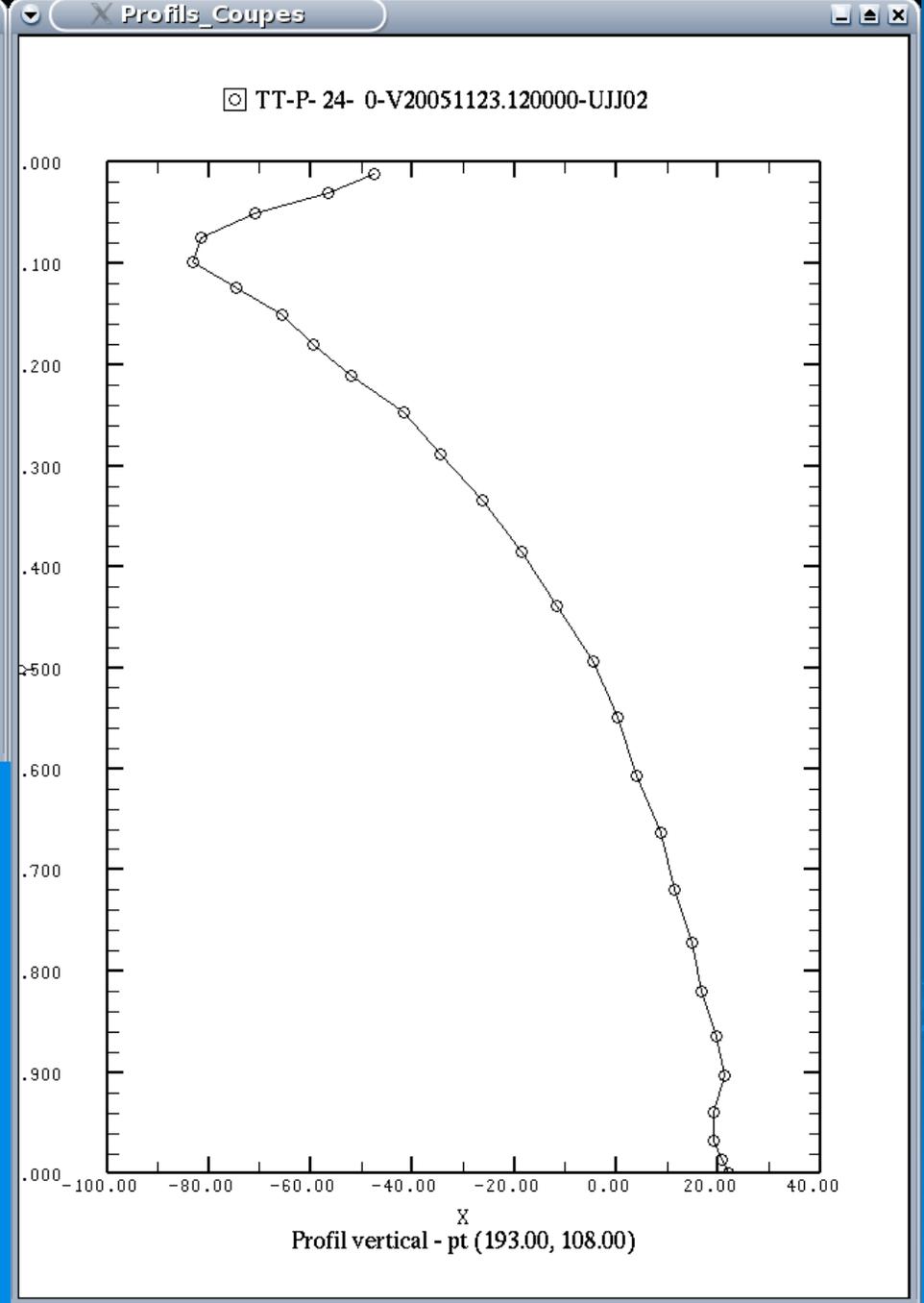
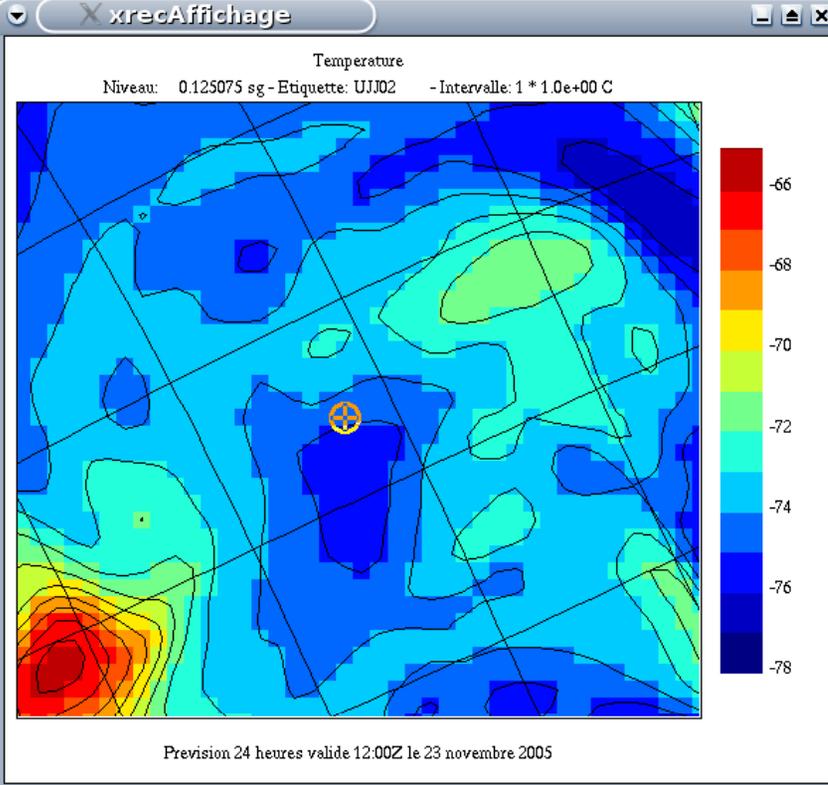


Prevision 24 heures valide 12.00Z le 23 novembre 2005

TT-P- 24- 0-V20051123.120000-UIA02



Profil vertical - pt (193.00, 108.00)

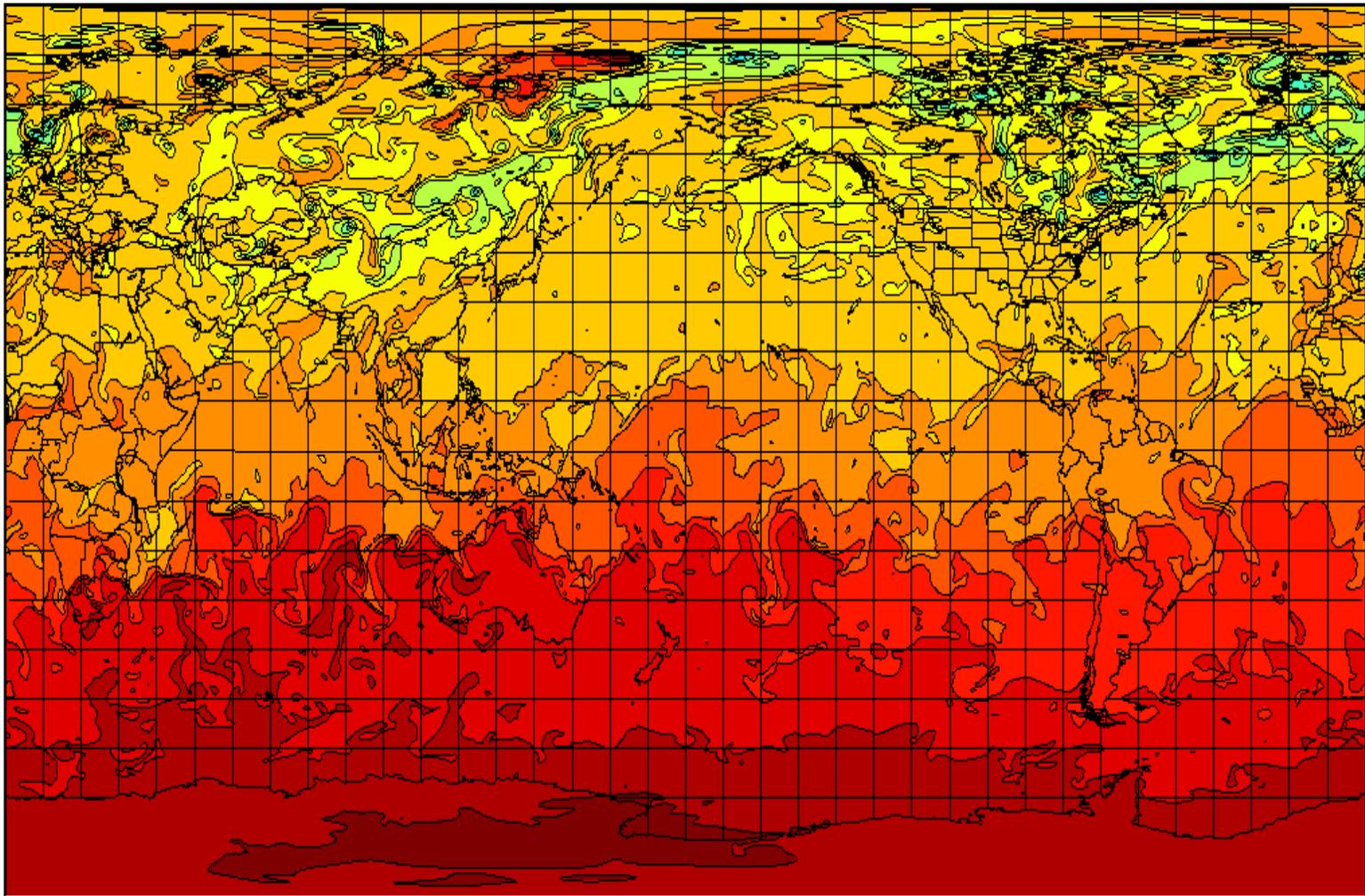


RÉSULTAT

ATTENDU!

Temperature

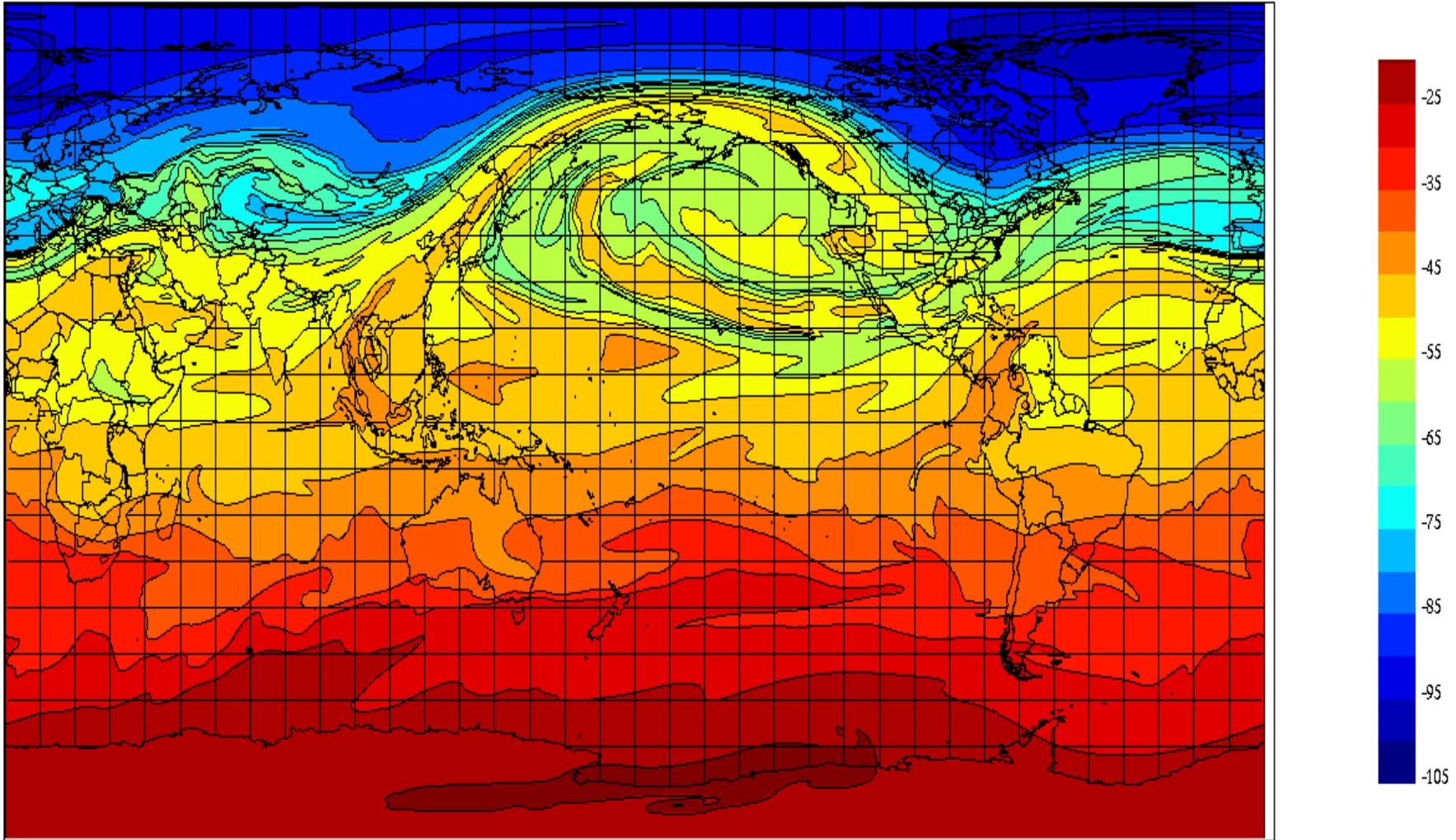
Niveau: 10 mb - Etiquette: MUQMM2 - Intervalle: 5 * 1.0e+00 C



Prevision 120 heures valide 00:00Z le 20 decembre 2004

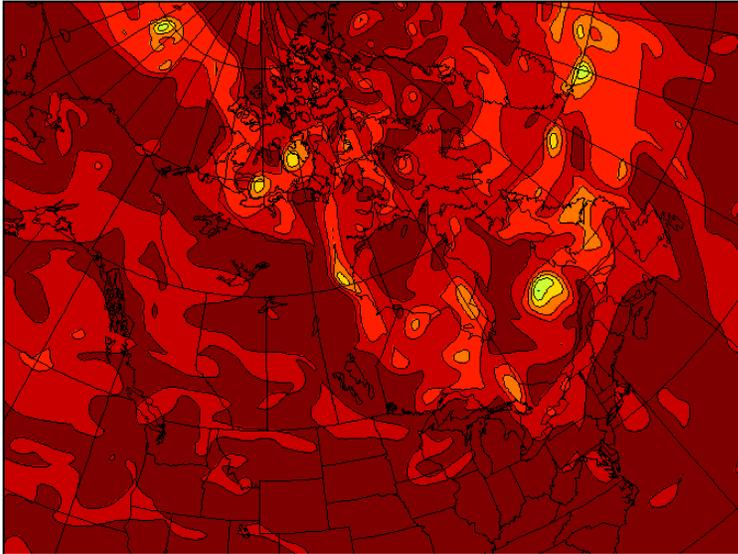
Temperature

Niveau: 10 mb - Etiquette: MXIFM57_1 - Intervalle: 5 * 1.0e+00 C



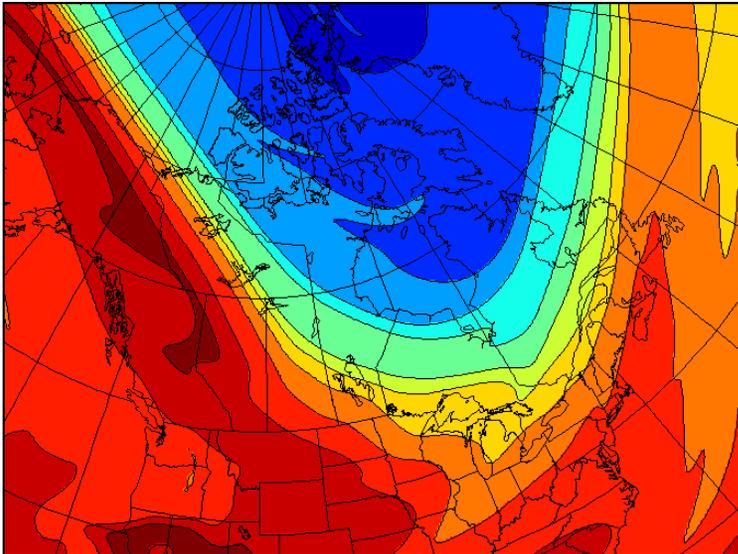
Prevision 120 heures valide 00:00Z le 20 decembre 2004

Temperature
Niveau: 10 mb - Etiquette: MUQMM2 - Intervalle: 5 * 1.0e+00 C



Prevision 120 heures valide 00:00Z le 20 decembre 2004

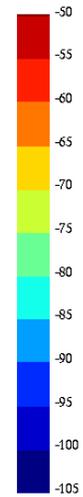
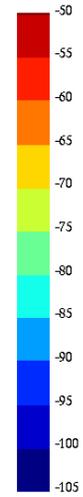
Temperature
Niveau: 10 mb - Etiquette: MXIFM57_1 - Intervalle: 5 * 1.0e+00 C



Prevision 120 heures valide 00:00Z le 20 decembre 2004

R
É
S
U
L
T
A
T

E
S
P
É
R
É



GEM non-hydrostatique

Grille Régulière

Grille Charney-Phillips

2 variables
 w, Q

et

2 équations

de plus

$$\begin{aligned} \frac{u}{\tau} + \delta_X P &= L_U \\ \frac{w}{\tau} - g\tau\delta_Z Q &= L_w \\ \frac{Z\delta_Z P}{RT_*} + \frac{T'}{T_*} - \tau\delta_Z Q &= L_H \\ \frac{T'}{\tau T_*} - \kappa \left(\frac{X}{Z} + \frac{Q}{Z} \right) &= L_T \\ \overline{\delta_X u} + \delta_Z X &= L_C \\ \frac{P}{\tau} - RT_* \left(\frac{X}{Z} + \frac{Q}{Z} \right) - gw &= L_P \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{u}{\tau} + \delta_X P &= L_U \\ \frac{w}{\tau} - g\tau\delta_Z Q &= L_w \\ \frac{Z\delta_Z P}{RT_*} + \frac{T'}{T_*} - \tau\delta_Z Q &= L_H \\ \frac{T'}{\tau T_*} - \kappa \left(\frac{X}{Z} + \frac{Q}{Z} \right) &= L_T \\ \delta_X u + \delta_Z X &= L_C \\ \frac{P}{\tau} - RT_* \left(\frac{X}{Z} + \frac{Q}{Z} \right) - gw &= L_P \end{aligned}$$

?
mauvais

16 termes

16 termes

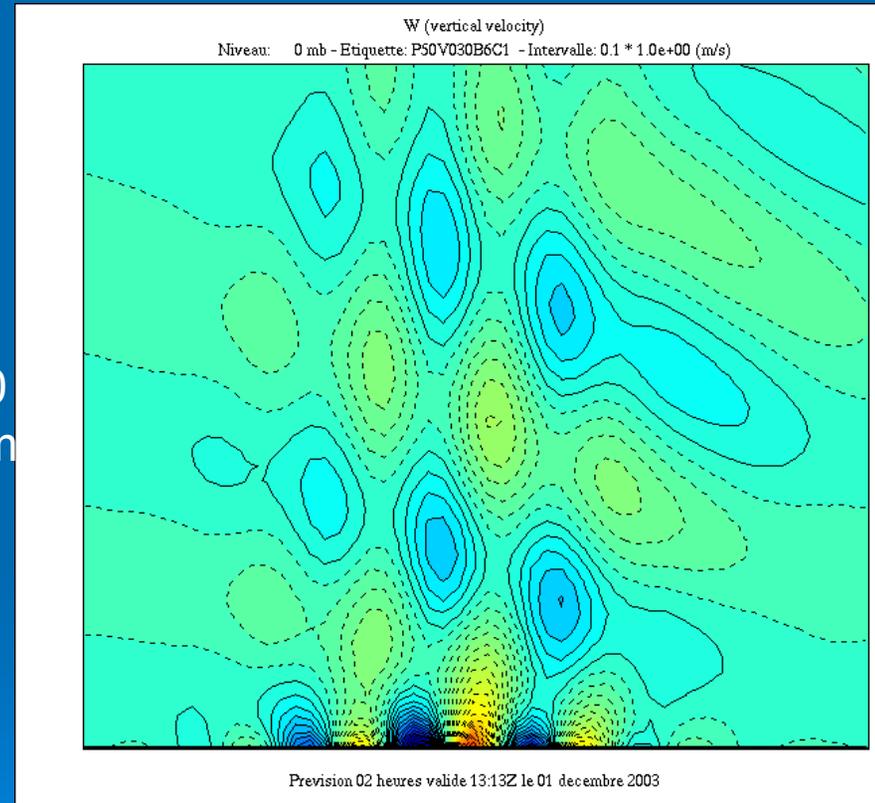
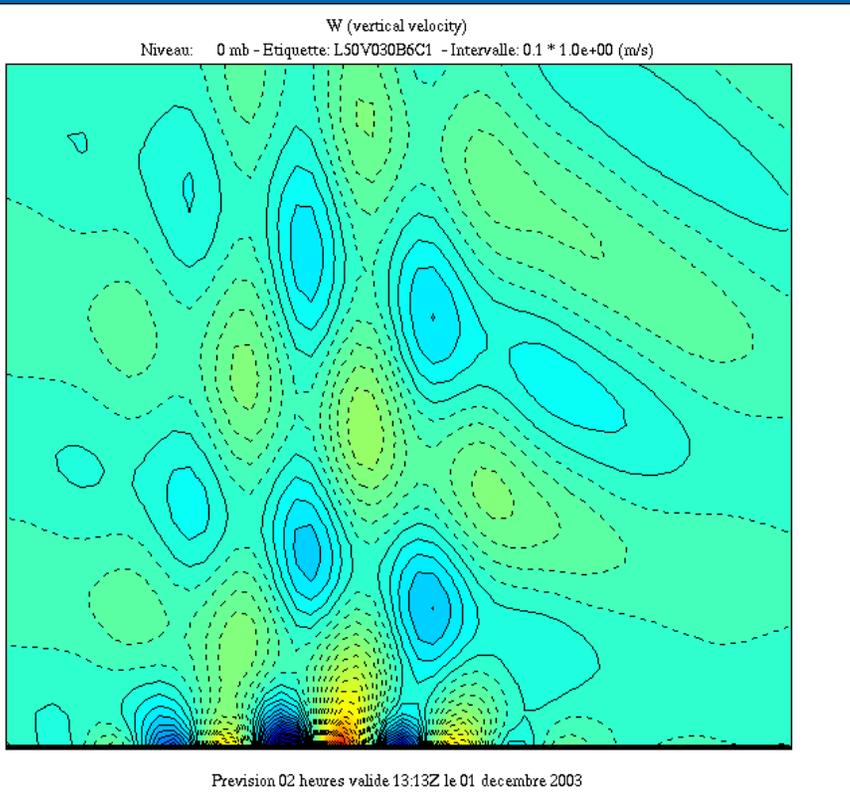
RÉSULTAT # 2:

DES RÉSULTATS **+** / **-** CORRECTS
DANS LE CAS NON-HYDROSTATIQUE

MONTAGNE DE SCHÄR:

250m

~ 60 km



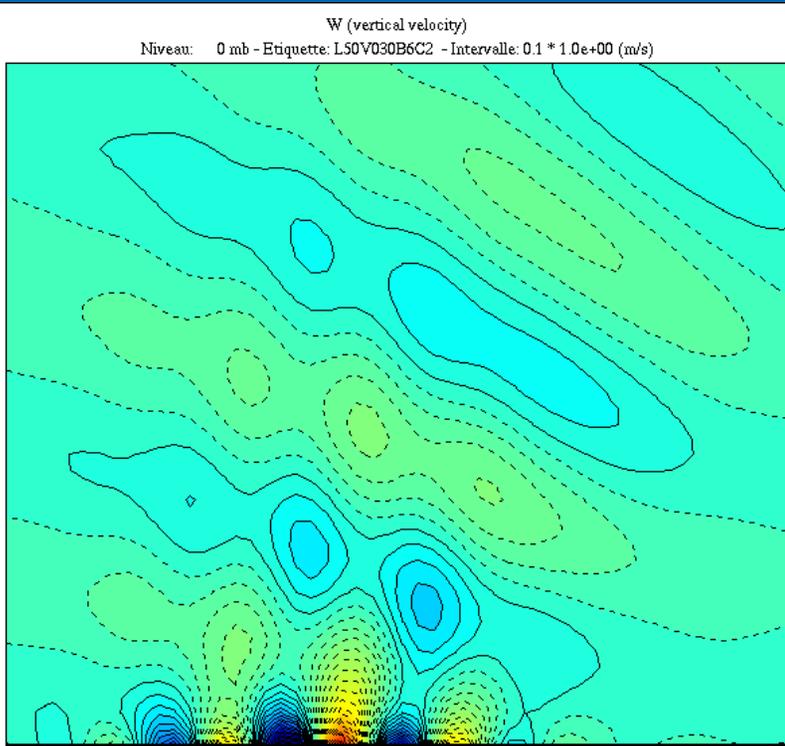
CP: $b = 0.6$; $r = 1$

R: $b = 0.6$; $r = 1$

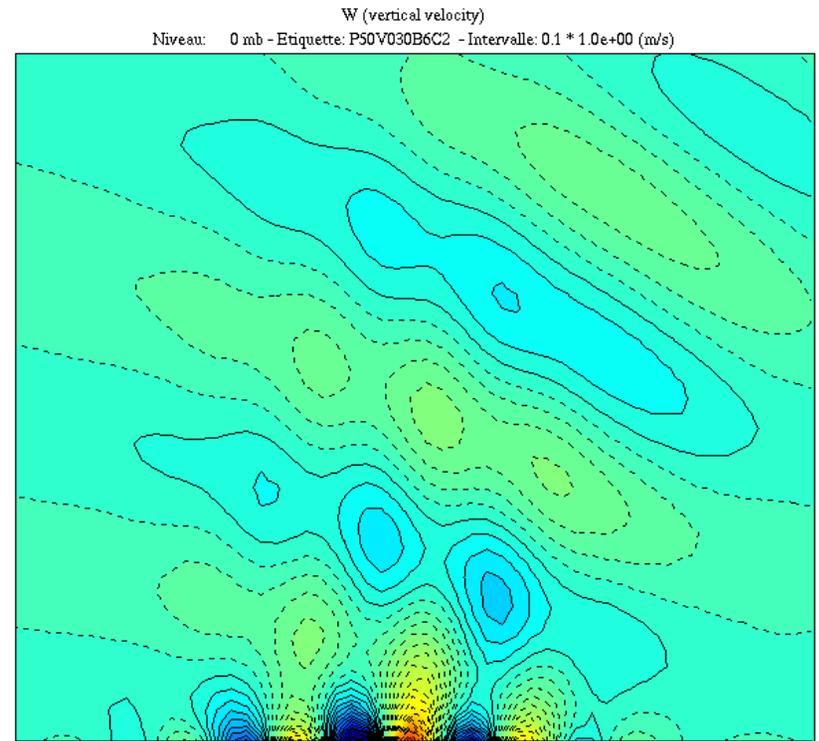
$b > .5 \rightarrow$ décentrage; $r > 1 \rightarrow$ coordonnée hybride

RÉSULTAT # 2:

DES RÉSULTATS **+** / **-** CORRECTS
DANS LE CAS NON-HYDROSTATIQUE



Prevision 02 heures valide 13:13Z le 01 decembre 2003



Prevision 02 heures valide 13:13Z le 01 decembre 2003

CP: $b = 0.6; r = 2$

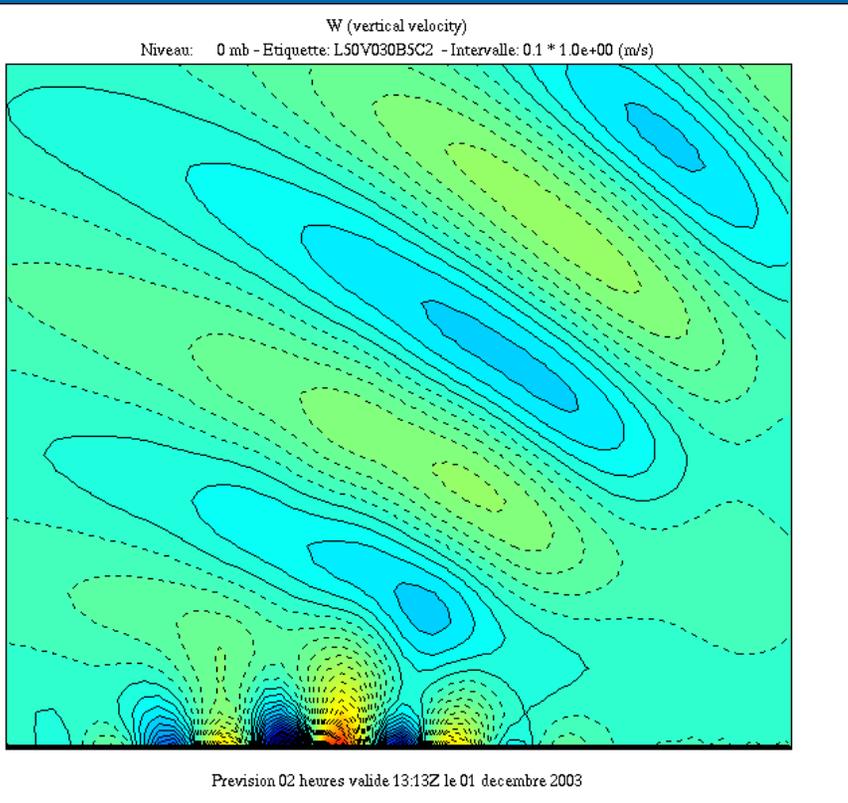
R: $b = 0.6; r = 2$

$b > .5 \rightarrow$ décentrage; $r > 1 \rightarrow$ coordonnée hybride

RÉSULTAT # 2:

DES RÉSULTATS **+ / -** CORRECTS
DANS LE CAS NON-HYDROSTATIQUE

presque parfait



RÉSULTAT
inESPÉRÉ

CP: $b = 0.5$; $r = 2$

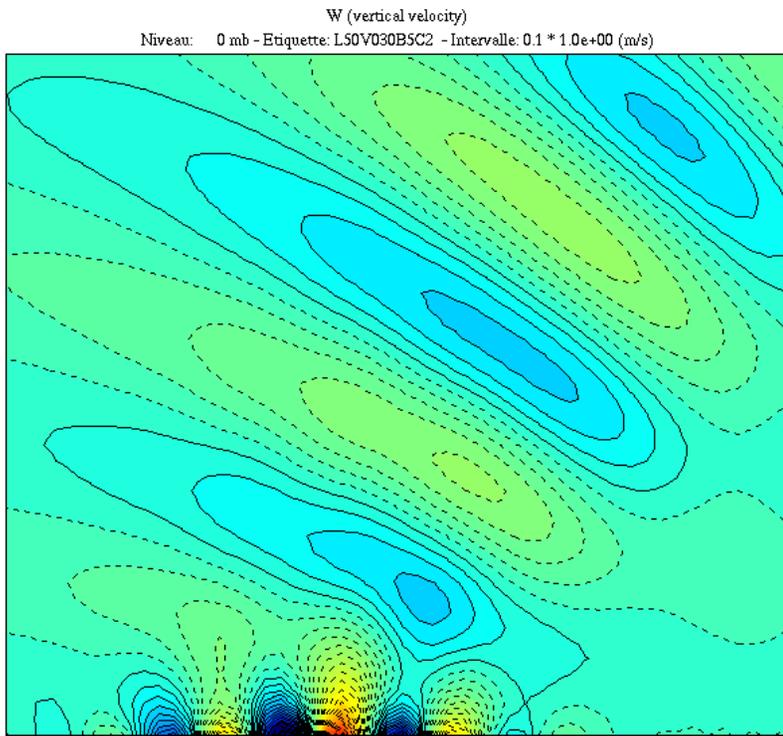
$b > .5$ → décentrage; $r > 1$ → coordonnée hybride

RÉSULTAT # 2:

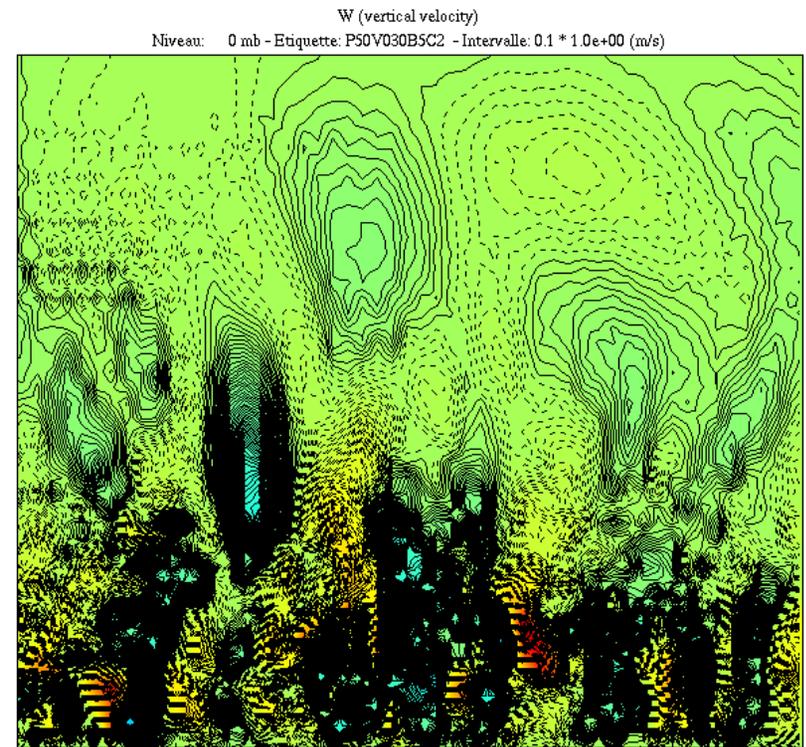
DES RÉSULTATS **+ / -** CORRECTS
DANS LE CAS NON-HYDROSTATIQUE

presque parfait

problématique



Prevision 02 heures valide 13:13Z le 01 decembre 2003



Prevision 02 heures valide 13:13Z le 01 decembre 2003

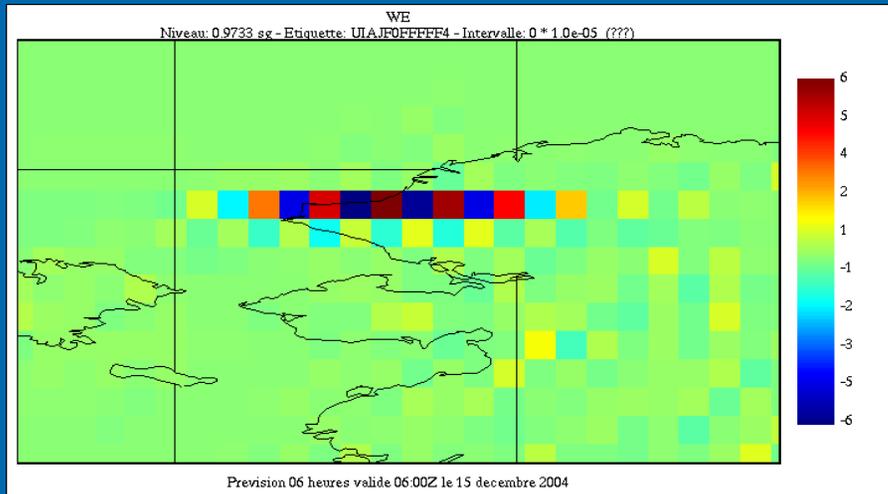
CP: $b = 0.5; r = 2$

R: $b = 0.5; r = 2$

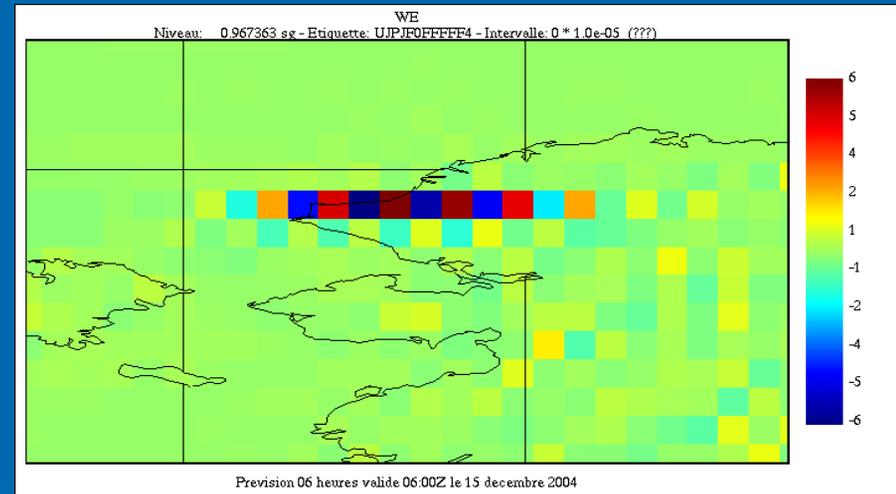
$b > .5 \rightarrow$ décentrage; $r > 1 \rightarrow$ coordonnée hybride

RÉSULTAT # 3:

DES RÉSULTATS ENCORE BRUYANTS
MÊME DANS LE CAS HYDROSTATIQUE
(mode numérique horizontale dans le SL?)

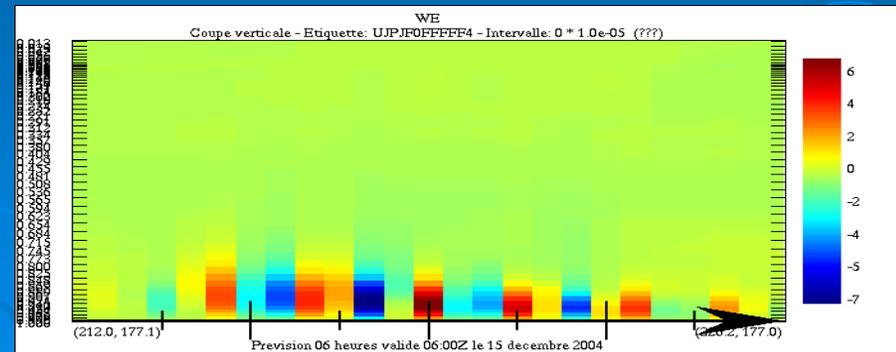
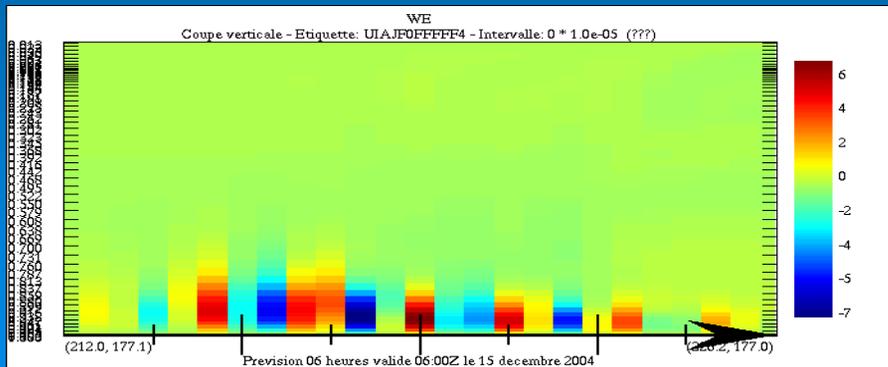


CP



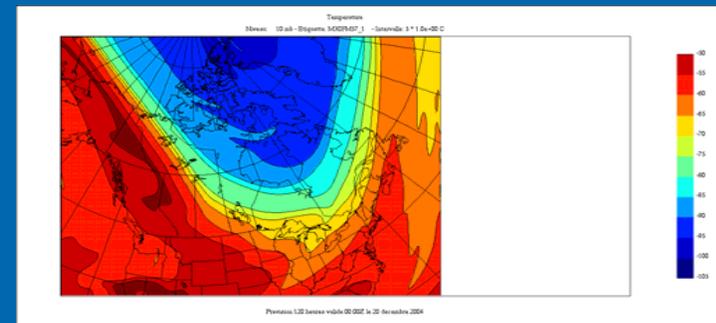
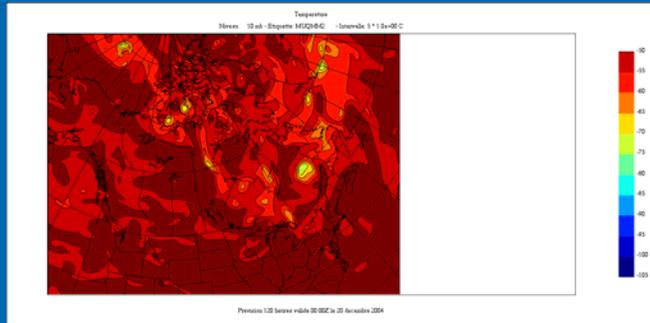
R

R

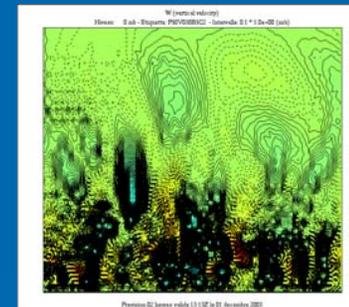
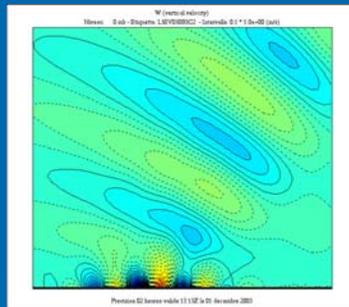


RÉSUMÉ des RÉSULTATS

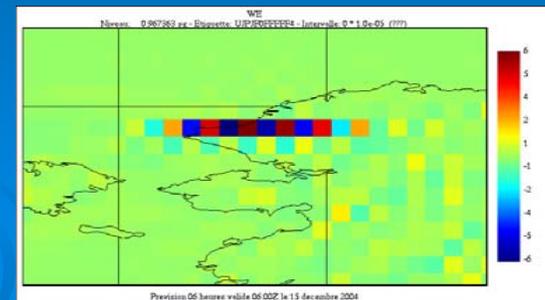
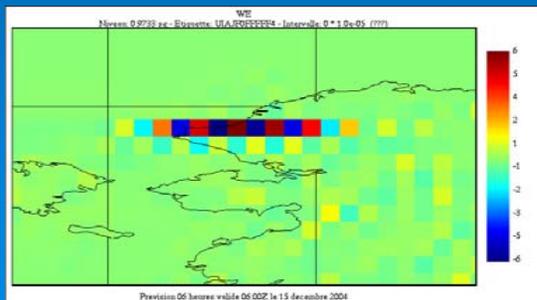
1 MOINS DE BRUIT dans le cas HYDROSTATIQUE



2 DES RÉSULTATS NON-HYDROSTATIQUES + / - CORRECTS bien que PLUS STABLE



3 DES RÉSULTATS HYDROSTATIQUES ENCORE BRUYANTS (mode numérique horizontale dans le SL?)



6. Conclusions

La grille CP est théoriquement supérieure à la grille R

- absence de modes numériques
- plus de précision



6. Conclusions

La grille CP est théoriquement supérieure à la grille R

- absence de modes numériques
- plus de précision

La grille CP est pratiquement (GEM) supérieure à la grille R

- diminution du bruit
- augmentation de la stabilité

6. Conclusions

La grille CP est théoriquement supérieure à la grille R

- absence de modes numériques
- plus de précision

+ La grille CP est pratiquement (GEM) supérieure à la grille R

- diminution du bruit
- augmentation de la stabilité

+ - D'autres problèmes ont été identifiés (et des solutions sont envisagées: suggestions)

- bruit potentiellement relié au SL
- bruit potentiellement relié à la formulation non-hydrostatique
- erreurs importantes dans le forçage topographique (haute rés.)

“...an accurate representation of **acoustic modes** is found to be a prerequisite for accurate representation of **inertia-gravity modes**, which, in turn, is found to be a prerequisite for accurate representation of **Rossby modes**.” Thuburn & Woollings

MERCI

CG

2 février 2006