

Caractérisation de l'état balancé dans les modèles numériques de prévisions de l'atmosphère à méso-échelle

Christian Pagé

Soutenance de thèse
présentée comme exigence partielle
du Doctorat en sciences de l'environnement

19 janvier 2006 / UQAM, Montréal, Canada

UQAM

Sujet de recherche : balance

- ▶ **Conditions initiales des simulations numériques.**
 - ▶ Rossby : oscillations lentes, énergie.
 - ▶ Conditions initiales mal posées : oscillations fictives.
- ▶ **Contrôle des ondes de gravité, covariances.**
 - ▶ Relations connues à l'échelle synoptique (maille ~ 50 km).
 - ▶ Modèles opérationnels : bientôt maille ~ 3 km.
- ▶ **Caractérisation, processus d'ajustements :**
 - ▶ Dans les modèles numériques ;
 - ▶ Focus sur la méso-échelle ;
 - ▶ Contexte théorique, d'assimilation de données variationnelle et d'initialisation.

Sujet de recherche : balance

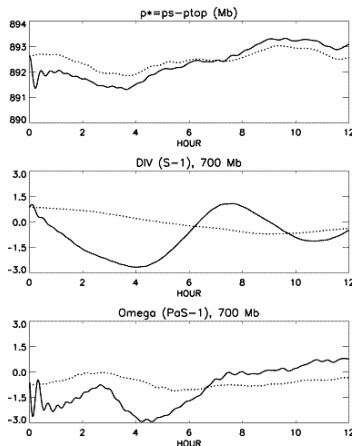
- ▶ **Conditions initiales des simulations numériques.**
 - ▶ Rossby : oscillations lentes, énergie.
 - ▶ Conditions initiales mal posées : oscillations fictives.
- ▶ **Contrôle des ondes de gravité, covariances.**
 - ▶ Relations connues à l'échelle synoptique (maille ~ 50 km).
 - ▶ Modèles opérationnels : bientôt maille ~ 3 km.
 - ▶ Existe-t-il une relation de balance à méso-échelle ?
 - ▶ Si oui, utilisable dans un contexte réaliste et d'assimilation de données ?
- ▶ **Caractérisation, processus d'ajustements :**
 - ▶ Dans les modèles numériques ;
 - ▶ Focus sur la méso-échelle ;
 - ▶ Contexte théorique, d'assimilation de données variationnelle et d'initialisation.

Sujet de recherche : balance

- ▶ **Conditions initiales des simulations numériques.**
 - ▶ Rossby : oscillations lentes, énergie.
 - ▶ Conditions initiales mal posées : oscillations fictives.
- ▶ **Contrôle des ondes de gravité, covariances.**
 - ▶ Relations connues à l'échelle synoptique (maille ~ 50 km).
 - ▶ Modèles opérationnels : bientôt maille ~ 3 km.
- ▶ **Caractérisation, processus d'ajustements :**
 - ▶ Dans les modèles numériques ;
 - ▶ Focus sur la méso-échelle ;
 - ▶ Contexte théorique, d'assimilation de données variationnelle et d'initialisation.

Problématique et pertinence I

- Problème de « spin-up » : contrôle des ondes rapides artificielles.



Fillion (2002)

Problématique et pertinence II

- ▶ Opérationnellement → **filtres digitaux** :
 - ▶ **Problèmes à méso-échelle** : recouplement des fréquences entre le signal météorologique et les ondes de gravité artificielles.
- ▶ Existence d'un **état balancé à méso-échelle** ?
- ▶ Peut-on utiliser une **relation diagnostique** afin de relier la dynamique à la microphysique (convection), en contrainte de balance ?

Problématique et pertinence III

- ▶ Au niveau **théorique** :
 - ▶ Importance d'étudier en détails les processus reliés à l'ajustement vers l'état balancé à méso-échelle.
- ▶ Au niveau **pratique** :
 - ▶ Problème important relié à l'**assimilation de données de précipitations**.

Objectifs à long terme

- ▶ Améliorer les prévisions à court terme des quantités de précipitation.
- ▶ Développer une méthodologie permettant d'utiliser les informations découlants d'un état balancé :
 - ▶ contraindre l'état initial d'un modèle numérique → balancé ;
 - ▶ récupérer des informations reliées à la dynamique des précipitations ;
 - ▶ contexte d'analyse variationnelle.

Objectifs à court terme

- ▶ Effectuer des **simulations numériques idéalisées** :
 - ▶ **caractériser un état balancé** à méso-échelle.
- ▶ Déterminer la **suite de processus physiques** :
 - ▶ processus d'**ajustements vers un état balancé** dans ces simulations numériques idéalisées.
- ▶ Caractériser le **type de balance dans une simulation réaliste** à une résolution horizontale de l'ordre de 3 *km*.
- ▶ Déterminer l'**impact sur la prévision** de précipitations, dans un cas réaliste, d'une **initialisation avec des vents divergents balancés** à méso-échelle.

Éléments conceptuels et théoriques

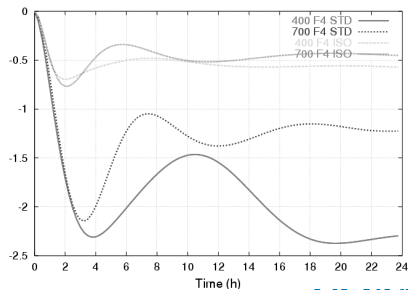
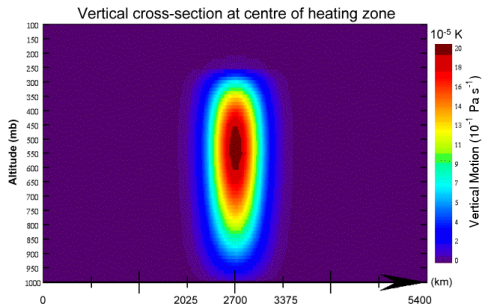
La thèse utilise une **approche expérimentale** (modélisation numérique), en utilisant :

- ▶ Théorie de la **balance non-linéaire** (Charney, 1955).
- ▶ **Équation diagnostique du mouvement vertical** qui incorpore cette relation de balance non-linéaire :

$$\begin{aligned}
 & \frac{R}{\rho} \nabla^2 S\omega + f(f + \zeta) \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} - f\omega \frac{\partial^2 \zeta}{\partial p^2} - f \frac{\partial}{\partial p} \left[\frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial p} - \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial p} \right] \\
 & = -\frac{R}{\rho} \nabla^2 \left[-\vec{V} \cdot \vec{\nabla} T \right] - \frac{R}{\rho} \nabla^2 \frac{\dot{q}}{c_p} - f \frac{\partial}{\partial p} \left[-\vec{V} \cdot \vec{\nabla} (f + \zeta) \right] \\
 & - f \frac{\partial}{\partial p} \left[\vec{k} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{F} \right] + \boxed{f \frac{\partial}{\partial p} \left[\frac{\partial \zeta_{ag}}{\partial t} \right]} \rightarrow \text{calculé avec bal. non-linéaire}
 \end{aligned}$$

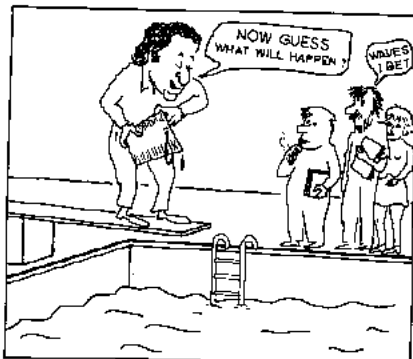
Méthodologie I - simulations idéalisés

- ▶ **Modèle MRCC** : partie dynamique seulement.
- ▶ Expérience similaire à celle de Thurre (1998) avec un **chauffage diabatique imposé** et constant tout au long de l'intégration.



Méthodologie II - simulations idéalisés

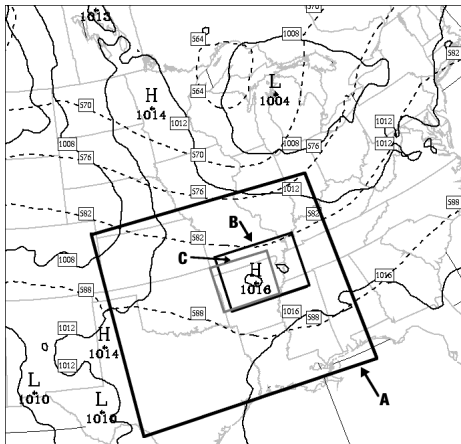
- ▶ **Influence sur un état balancé**, et l'**ajustement** vers celui-ci, de :
 - ▶ La **rotation** de la Terre (latitude).
 - ▶ La **taille d'un réchauffement** diabatique.
 - ▶ La **stabilité statique** de l'atmosphère.
 - ▶ La présence d'un **vent « background »**.



Méthodologie III - simulation réaliste

Approche expérimentale : état balancé dans un cas réaliste :

- ▶ Simulation GEM-LAM à 2.5 km.
- ▶ Cas de convection profonde d'été sud des É-U.



Méthodologie IV - simulation réaliste

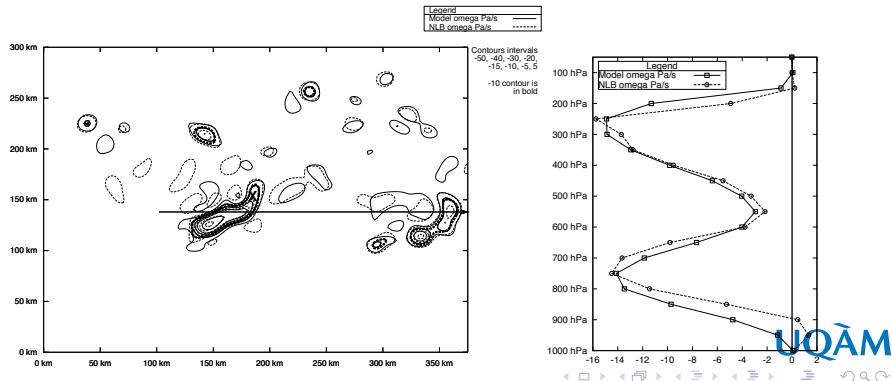
- ▶ **Essai expérimental** à cette **échelle** :
 - ▶ Forçage diabatique : tendances de température convectives du modèle.
 - ▶ **Valider** : **précision** des diagnostics.
 - ▶ **Comparer** : **filtre digital**.
- ▶ **Importance** de l'information : **vents divergents**.
 - ▶ Séries de simulations : conditions initiales.
 - ▶ **Vents divergents balancés diagnostiqués** ?

$$\begin{aligned}
 & \frac{R}{p} \nabla^2 S\omega + f(f + \zeta) \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} - f\omega \frac{\partial^2 \zeta}{\partial p^2} - f \frac{\partial}{\partial p} \left[\frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial p} - \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial p} \right] \\
 & = -\frac{R}{p} \nabla^2 \left[-\vec{V} \cdot \vec{\nabla} T \right] \boxed{-\frac{R}{p} \nabla^2 \frac{\dot{q}}{c_p}} - f \frac{\partial}{\partial p} \left[-\vec{V} \cdot \vec{\nabla} (f + \zeta) \right] \\
 & - f \frac{\partial}{\partial p} \left[\vec{k} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{F} \right] + f \frac{\partial}{\partial p} \left[\frac{\partial \zeta_{ag}}{\partial t} \right]
 \end{aligned}$$

Résultats I

Résultats les plus originaux → **simulation réaliste**.

- ▶ **Préalable : simulations idéalisées** nécessaires
- ▶ Simulation réaliste → équation diagnostique ω
 - ▶ Ensembles convectifs $\sim 15 - 20 \text{ km}$.
 - ▶ Forçage diabatique : schéma microphysique explicite.



Résultats II

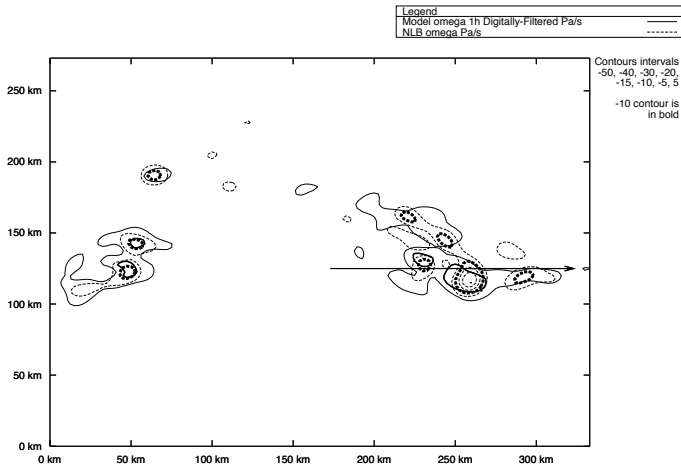
- ▶ Ordre de grandeur des termes équation ω dans les zones convectives :

$$\frac{R}{\rho} \nabla^2 S\omega \approx \frac{R}{\rho} \nabla^2 \frac{\dot{q}}{c_p} + \frac{R}{\rho} \nabla^2 \left[-\vec{V} \cdot \vec{\nabla} T \right] + f \frac{\partial}{\partial p} \left[\frac{\partial \zeta_{ag}}{\partial t} \right].$$

- ▶ Traitement particulier terme $f \frac{\partial}{\partial p} \left[\frac{\partial \zeta_{ag}}{\partial t} \right]$: **balance non-linéaire**.

Résultats III

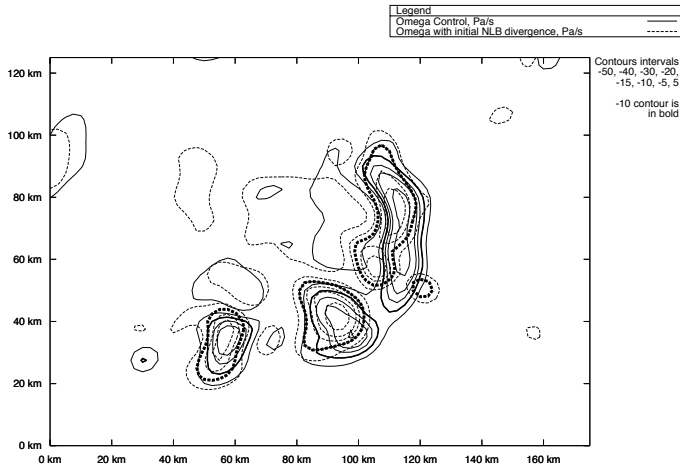
Filtre digital : Inadéquation de ce type d'approche.



Prévision 1h30

Résultats IV

Vents divergents initiaux : cruciaux pour les prévisions méso-échelle des précipitations. Approche balancée possible.



Prévision 45 min.



Conclusions et contributions principales

- ▶ Diagnostic ω balancé à méso-échelle (~ 15 km);
 - ▶ Forçage diabatique : schéma microphysique.
- ▶ Caractéristiques état balancé à méso-échelle;
- ▶ Comparaison avec approche opérationnelle : filtre digital.

- ▶ Prolongement des travaux de Fisher (2003) et Fillion *et al.* (2005).
- ▶ Poursuivre l'étude :
 - ▶ Autres types de simulations réalistes ;
 - ▶ Étendre à l'approche incrémentale dans un contexte d'analyse variationnelle (Fillion *et al.*, 2005).
- ▶ Perspectives opérationnelles : amélioration de la spécification des incréments de divergence.

Période de questions

Conclusions et contributions principales

- ▶ Diagnostic ω balancé à méso-échelle (~ 15 km);
 - ▶ Forçage diabatique : schéma microphysique.
- ▶ Caractéristiques état balancé à méso-échelle;
- ▶ Comparaison avec approche opérationnelle : filtre digital.
- ▶ Prolongement des travaux de Fisher (2003) et Fillion *et al.* (2005).
- ▶ Poursuivre l'étude :
 - ▶ Autres types de simulations réalistes;
 - ▶ Étendre à l'approche incrémentale dans un contexte d'analyse variationnelle (Fillion *et al.*, 2005).
- ▶ Perspectives opérationnelles : amélioration de la spécification des incréments de divergence.

Période de questions

Conclusions et contributions principales

- ▶ Diagnostic ω balancé à méso-échelle (~ 15 km);
 - ▶ Forçage diabatique : schéma microphysique.
- ▶ Caractéristiques état balancé à méso-échelle;
- ▶ Comparaison avec approche opérationnelle : filtre digital.
- ▶ Prolongement des travaux de Fisher (2003) et Fillion *et al.* (2005).
- ▶ Poursuivre l'étude :
 - ▶ Autres types de simulations réalistes;
 - ▶ Étendre à l'approche incrémentale dans un contexte d'analyse variationnelle (Fillion *et al.*, 2005).
- ▶ Perspectives opérationnelles : amélioration de la spécification des incréments de divergence.

Période de questions