



Environment  
Canada

Environnement  
Canada

# Sur les propriétés de balance dynamique propres aux régions de précipitation dans un système d'assimilation variationnelle de données

Jean-François Caron

Luc Fillion

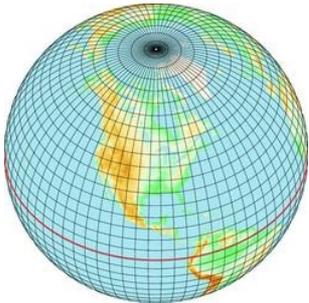
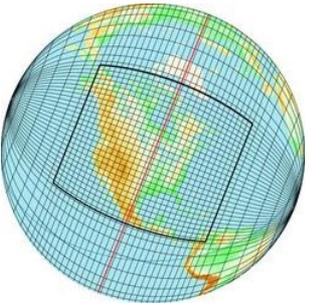
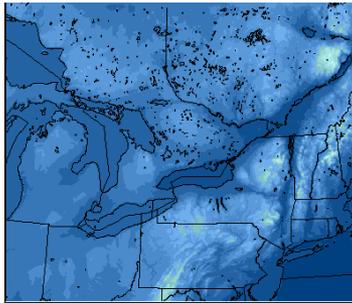
Section de l'assimilation de données et de météorologie satellitaire,  
Division de la recherche en météorologie, Environnement Canada

## Plan

- Systèmes de prévisions et d'assimilations (courants et futurs) à EC
- Traitement de la balance dans un système VAR
- Particularités de la balance dynamique en région de précipitation
- Un essai pour prendre en considération cette balance particulière
- Perspectives futures

# Actuellement: Assimilation à basse résolution

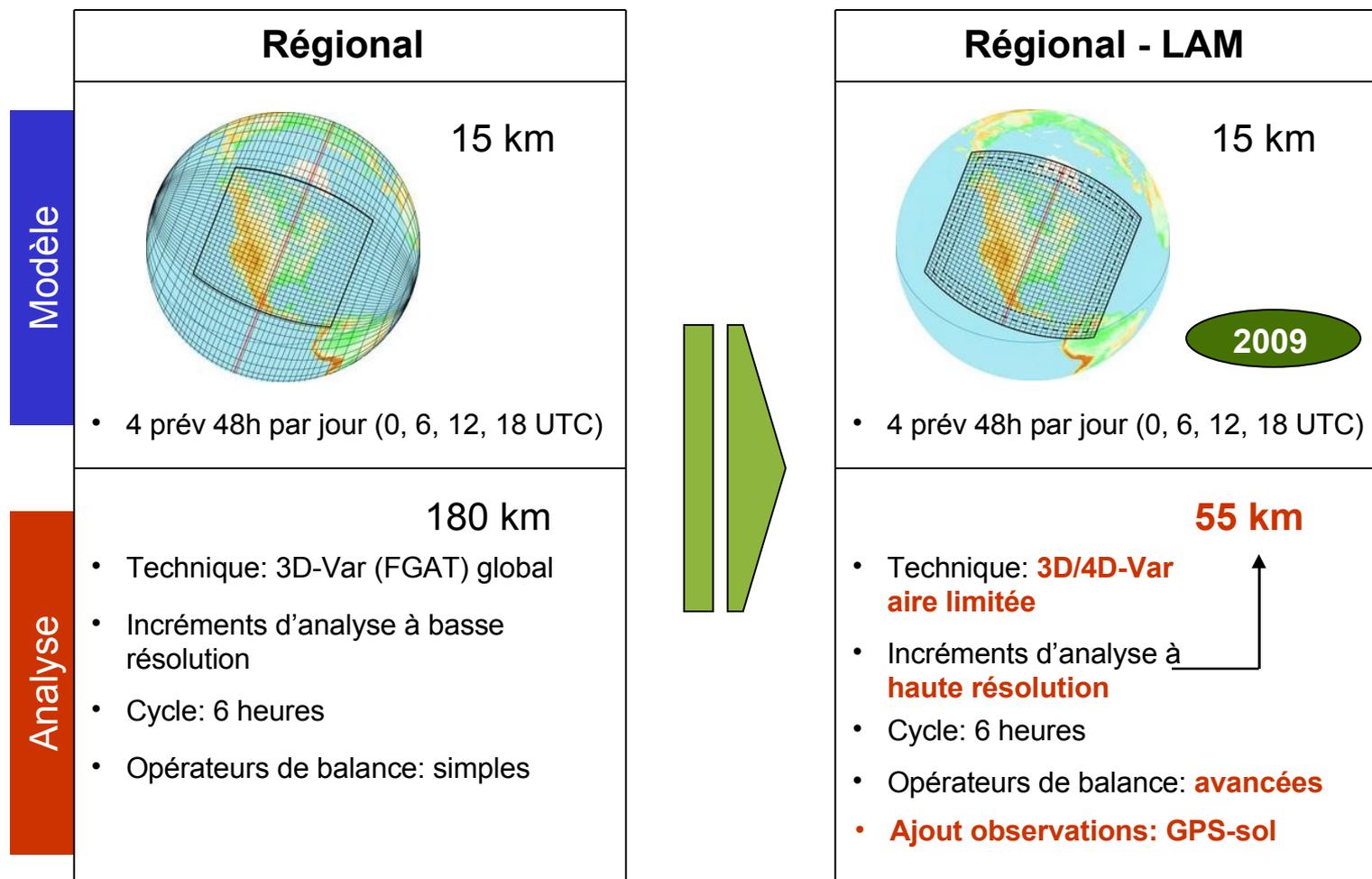
## Systemes de prévision atmosphérique à EC

	Global	Régional	Local (expérimental)
Modèle	 33 km <ul style="list-style-type: none"><li>• 2 prév +6 jours par jour (0, 12 UTC)</li></ul>	 15 km <ul style="list-style-type: none"><li>• 4 prév 48h par jour (0, 6, 12, 18 UTC)</li></ul>	 2,5 km <ul style="list-style-type: none"><li>• Une prévision 24h par jour (12 UTC)</li></ul>
Analyse	<ul style="list-style-type: none"><li>• Technique: 4D-Var</li><li>• Incréments d'analyse à basse résolution</li><li>• Cycle: 6 heures</li><li>• Opérateurs de balance: simples</li></ul> 180 km	<ul style="list-style-type: none"><li>• Technique: 3D-Var (FGAT)</li><li>• Incréments d'analyse à basse résolution</li><li>• Cycle: 6 heures</li><li>• Opérateurs de balance: simples</li></ul> 180 km	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aucune</li></ul> Conditions initiales tirées de l'analyse régionale

# En développement: Assimilation à Haute Résolution

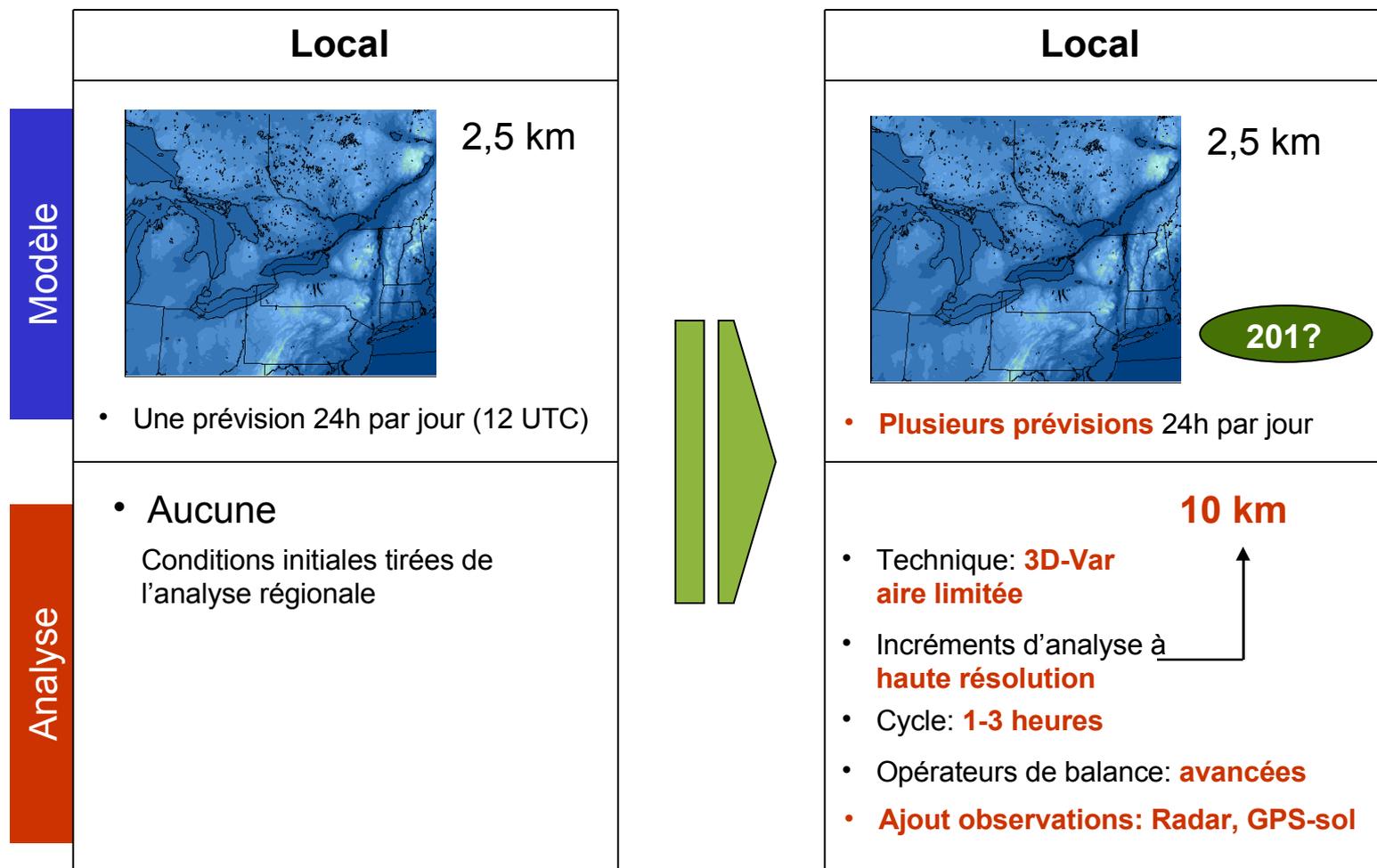
## Projet LAM4D Continental

Luc Fillion, Monique Tanguay, Bertrand Denis,  
Ervig Lapalme, Stephen Macpherson



## Projet LAM3D Local

Luc Fillion, Jean-François Caron



## Projet LAM3D Local

Prévisions très courtes échéances



Prévisions fiables en terme de précipitation (position et intensité)



2 éléments clés:

1. Régions de précipitation correctement localisées au temps initial
1. L'analyse doit contenir les ingrédients nécessaires afin que les régions de précipitation évoluent correctement au fil de l'intégration du modèle.

Un des ingrédients ...

Balance adéquate entre la masse et le vent en régions de précipitation

## Les objectifs de ce projet:

Déterminer si la balance en régions de précipitation diffère de celle des régions sèches ?

Tester une approche permettant à l'assimilation variationnelle de produire des incréments d'analyse reflétant les particularités de la balance en région de précipitation

# 1. Balance dans un système VAR

## Comment fonctionne un système VAR ?

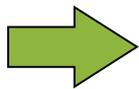
- Approche par moindres carrés

$X_b \rightarrow$  Champ d'essai  
(prévision court terme)

$y \rightarrow$  Observations

$\Delta X \rightarrow$  Corrections  
(incréments d'analyse)

$$J(\Delta X) = \left[ \frac{\text{Écart entre } (X_b + \Delta X) \text{ and } X_b}{\text{Erreurs statistiques de } X_b} \right]^2 + \left[ \frac{\text{Écart entre } (X_b + \Delta X) \text{ and } y}{\text{Erreurs statistiques de } y} \right]^2$$



Trouver les corrections au champ d'essai qui produisent un état atmosphérique qui concorde le plus avec les observations et les données modèle, tout en tenant compte de leurs erreurs statistiques respectives.

# 1. Balance dans un système VAR

## Représentation des incréments d'analyse

$$\begin{aligned} \Delta x &= (\Delta u, \Delta v, \Delta T, \Delta q, \Delta p_s) \xrightarrow{\text{Fonctions d'Helmholtz}} = (\Delta \psi, \Delta \chi, \Delta T, \Delta q, \Delta p_s) \\ &= \underbrace{(\Delta \psi, \Delta \chi_b, \Delta T_b, 0, \Delta p_{sb})}_{\text{Balancé}} + \underbrace{(0, \Delta \chi_u, \Delta T_u, \Delta q, \Delta p_{su})}_{\text{Non-Balancé}} \\ &\quad \text{(variables couplées)} \quad \text{(variables non-couplées)} \end{aligned}$$

Partition déterminée par les statistiques d'erreurs de prévisions

Les opérateurs de balance influencent les incréments de 2 façons:

- 1) Déterminent la relation entre les variables de la composante balancée
- 2) Déterminent la partition entre les composantes balancée et non-balancée

# 1. Balance dans un système VAR

## Couplage standard entre masse ( $T, p_s$ ) et vent rotationnel ( $\psi$ )

$$(\Delta T_b, \Delta p_{sb}) = V f \Delta \psi$$

$V \equiv$  un opérateur de balance obtenu par l'application d'une régression linéaire dans les échantillons d'erreurs de prévision

Construction de  $V$ : (1)  $\phi_b^i = f \psi^i$       (2)  $\phi_b^i \xleftrightarrow{V} (T^i, p_s^i)$

- $V$  modifie la balance linéaire vers une balance « observée »
- $V$  sert également d'opérateur hydrostatique

Traditionnellement, tous les points (secs et de précipitation) des échantillons d'erreurs de prévision sont utilisés pour construire  $V$

# 1. Balance dans un système VAR

## Opérateur de balance diabatique

Nouvelle approche testée: Utiliser seulement les points de précipitation pour bâtir un opérateur de balance diabatique par régression linéaire

Approche standard:  
1 opérateur

$V$

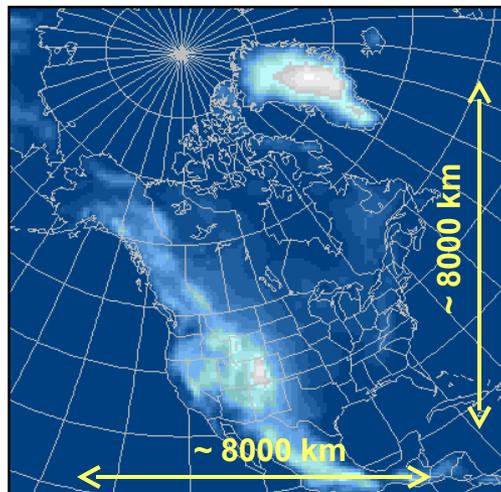
Nouvelle approche testée:  
4 opérateurs

$V_{\text{sec}}$ ,  $V_{\text{faible}}$ ,  $V_{\text{modérée}}$ ,  $V_{\text{forte}}$   
précipitation

## 2. Méthodologie

### Configuration du système VAR

- 3D-Var configuration continentale



$\Delta x = 55 \text{ km}$

**Pourquoi la configuration continentale plutôt que locale ?**

Grand domaine -> Grande richesse de régimes de précipitation

Familiarité avec le comportement du système 3D-Var dans cette config

### Échantillons d'erreurs de prévisions

Méthode NMC (Parrish et Derber, 1992): différences de prévisions décalées valide au même temps

Source	Différence de prévisions	Résolution (domaine)	Période	Membres
Global-GEM 33 km	48h – 24h	55 km (158x158)	Hiver (Déc.-Jan.)	100

## 2. Méthodologie

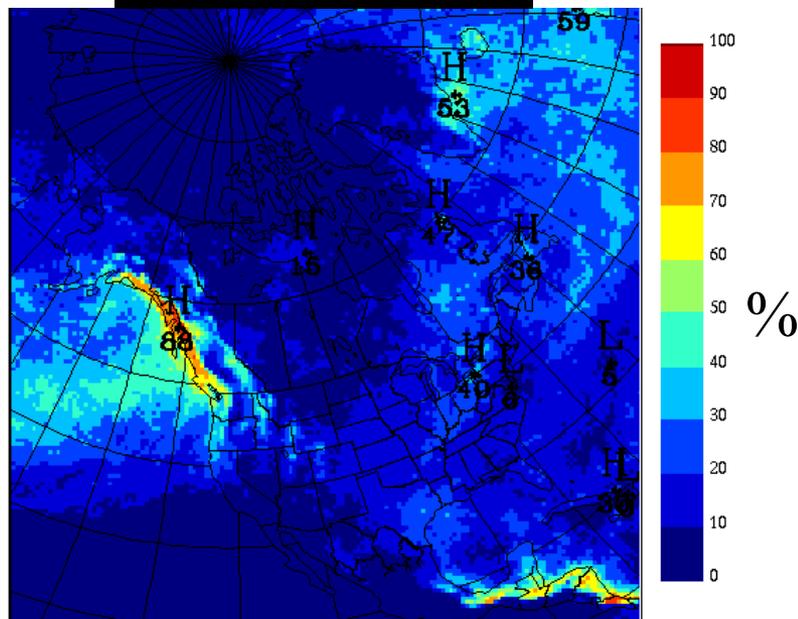
### Définition des régions de précipitation

Basée sur la moyenne des taux de précipitation instantanée (PR) des prévisions décalées



$$(\overline{PR_{48h}} + \overline{PR_{24h}}) \geq 0,1 \text{ mm/h}$$

Fréquence des points de précipitation



Classes de précipitations

Classes de précipitations	Taux de précipitation (mm/h)	Fraction des points de précipitation
Légère	$0.1 \leq PR < 0.5$	64%
Modérée	$0.5 \leq PR < 1.5$	27%
Forte	$PR \geq 1.5$	9%

15% de tous les points sont des points de précipitation

# 3. Balance dans les régions de précipitation

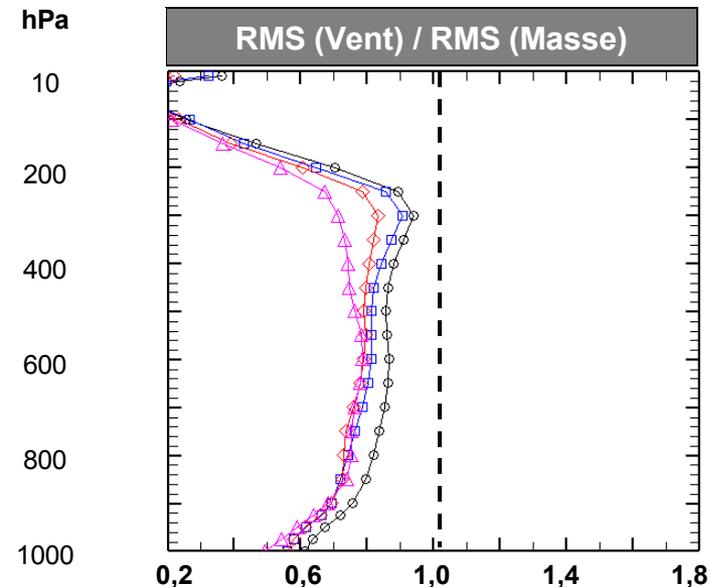
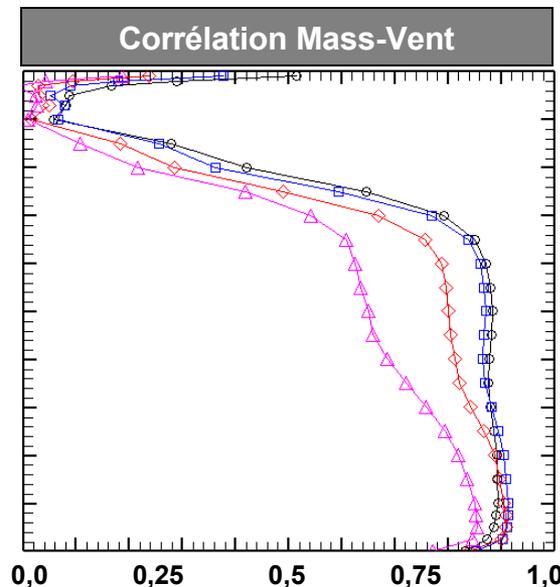
## Est-ce que la balance en régions de précipitation diffère de celle des régions sèches ?

Équation de balance linéaire pour des perturbations

$$\nabla^2 \phi' = f \zeta' \quad (\text{Équilibre géostrophique})$$

Masse

Vent

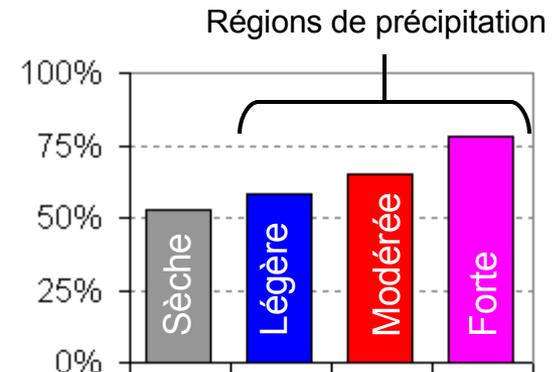


### 3. Balance dans les régions de précipitation

**Est-ce que la balance en régions de précipitation diffère de celle des régions sèches ?**

Écart normalisé avec la balance linéaire

$$\frac{\overline{\text{RMS}(\text{Masse-Vent})}}{\overline{\text{RMS}(\text{Masse}) + \text{RMS}(\text{Vent})}}$$



- L'écoulement perturbé est plus loin de l'équilibre géostrophique dans les régions de précipitation
- L'écart avec l'équilibre géostrophique est proportionnel avec l'intensité de la précipitation

# 4. Opérateur STANDARD vs DIABATIQUE

## a) Correspondance $T_b - T$ dans les échantillons NMC

Est-ce que les opérateurs diabatiques représentent mieux la température que l'opérateur de balance standard dans les régions de précipitation ?

Calcul de la partie balancée  
dans les échantillons

$$(T'_b, \rho'_{sb}) = V f \psi'$$

précip LÉGÈRE	$(T'_b)_{standard}$	$(T'_b)_{diabtique}$	VS	$T'$
précip MODÉRÉE	$(T'_b)_{standard}$	$(T'_b)_{diabtique}$	VS	$T'$
précip FORTE	$(T'_b)_{standard}$	$(T'_b)_{diabtique}$	VS	$T'$

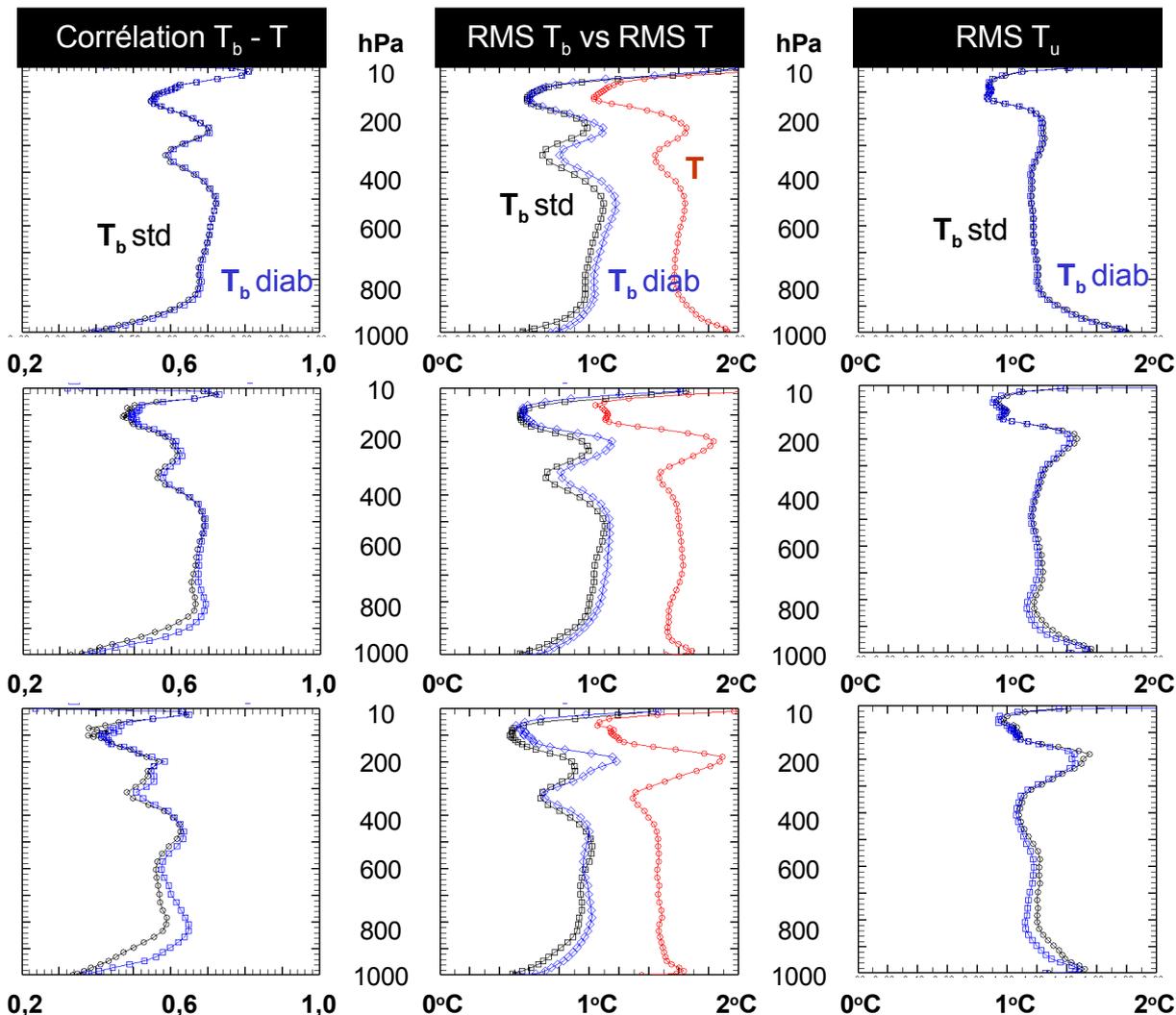
# 4. Opérateur STANDARD vs DIABATIQUE

## a) Correspondance $T_b - T$ dans les échantillons NMC

précip LÉGÈRE

précip MODÉRÉE

précip FORTE

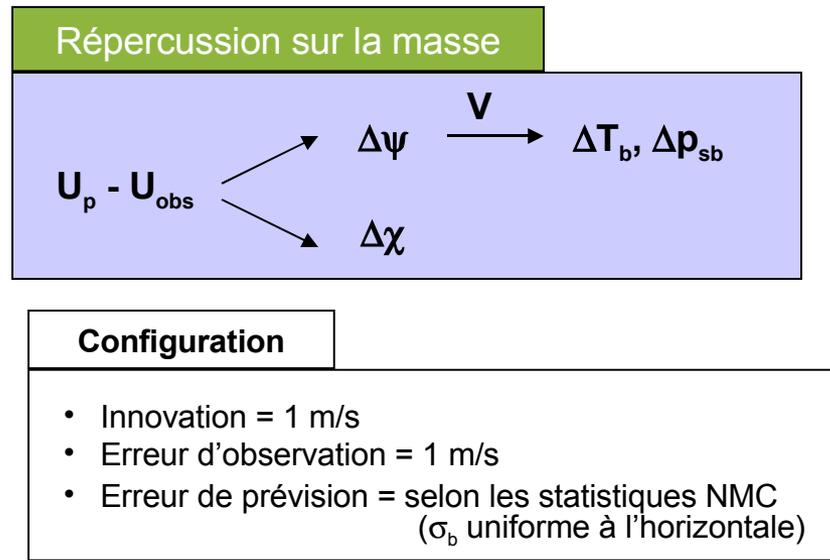


# 4. Opérateur STANDARD vs DIABATIQUE

Quel est l'impact des opérateurs diabatiques sur les incréments d'analyse ?

## b) Assimilations d'une seule observation - VENT

Donnée de vent zonal au centre du domaine mais à différentes hauteurs

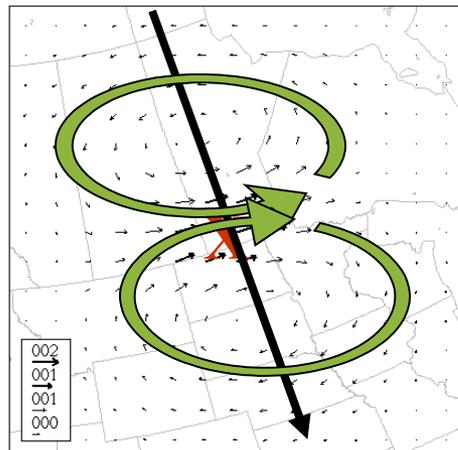


# 4. Opérateur STANDARD vs DIABATIQUE

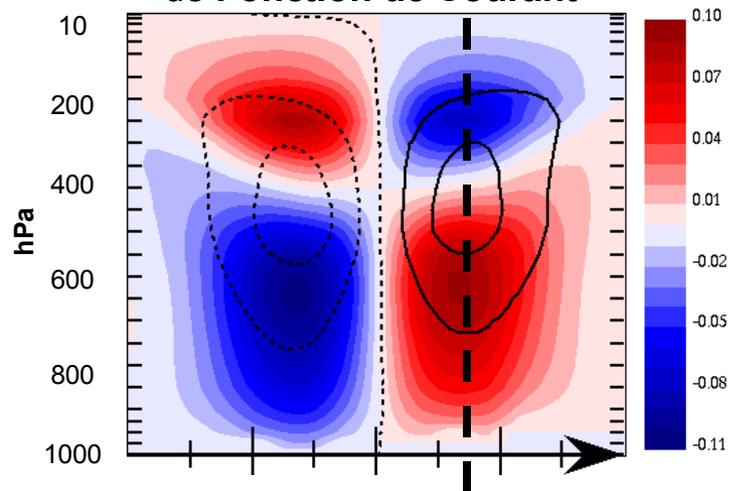
## b) Assimilations d'une seule observation - VENT

Exemple :  $y = u-500$  hPa avec Opérateur Standard

Incréments de Vent à 500 hPa



Incréments de **Température** et de **Fonction de Courant**



# 4. Opérateur STANDARD vs DIABATIQUE

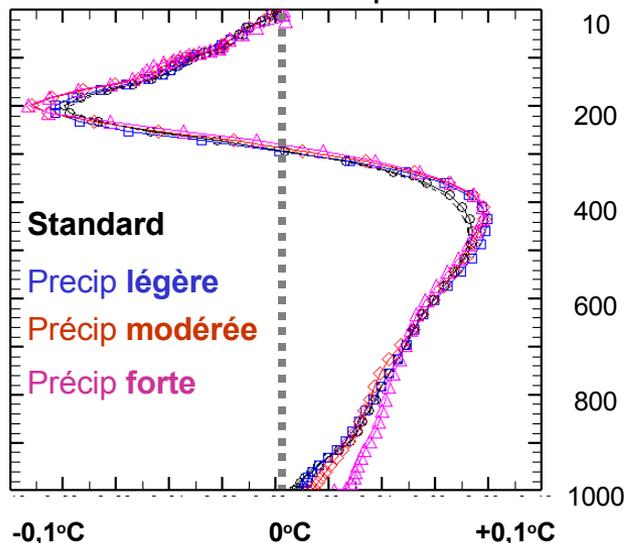
## b) Assimilations d'une seule observation - VENT

$y = u-250 \text{ hPa}$

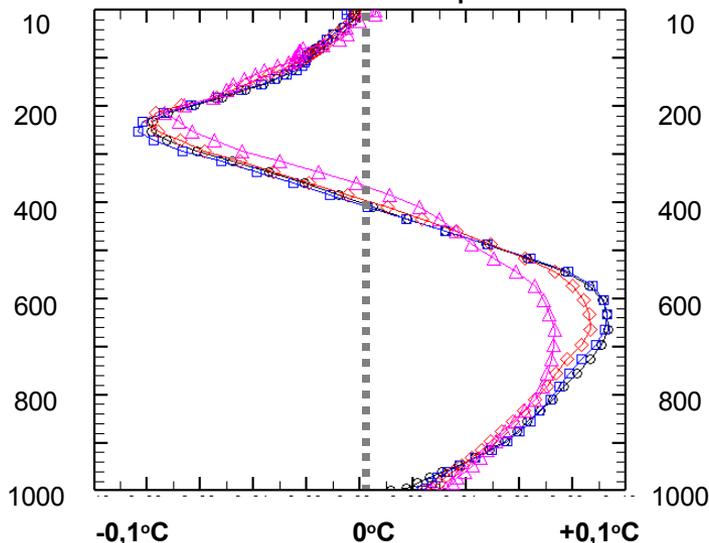
$y = u-500 \text{ hPa}$

$y = u-850 \text{ hPa}$

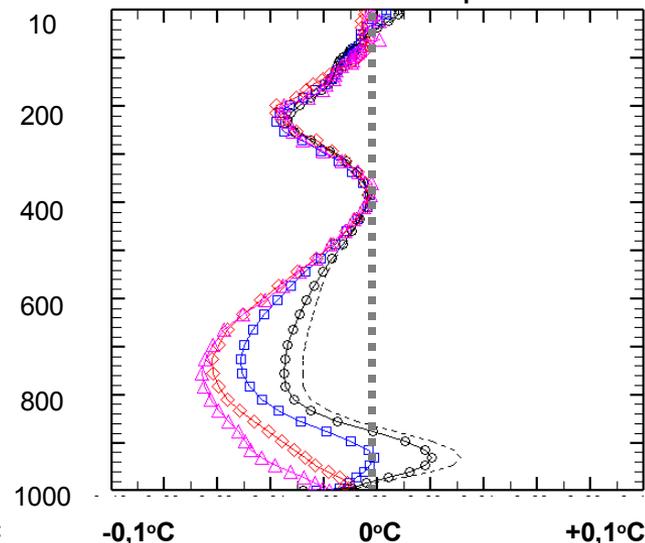
Incréments de Température



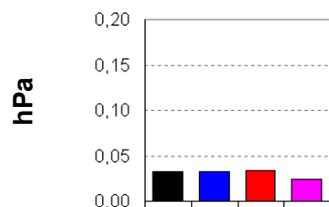
Incréments de Température



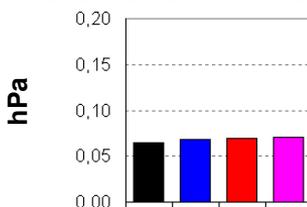
Incréments de Température



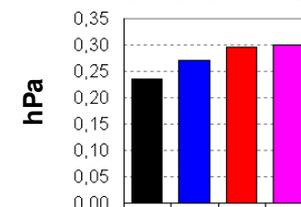
Incréments de Pression



Incréments de Pression



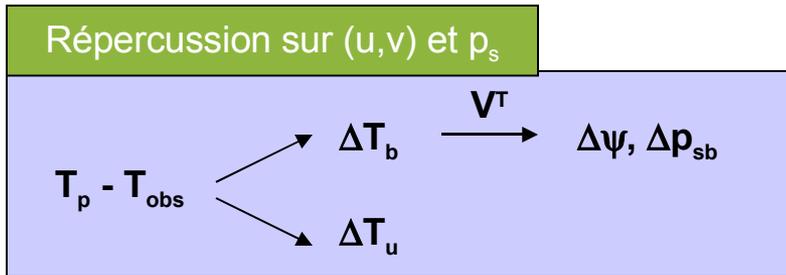
Incréments de Pression



# 4. Opérateur STANDARD vs DIABATIQUE

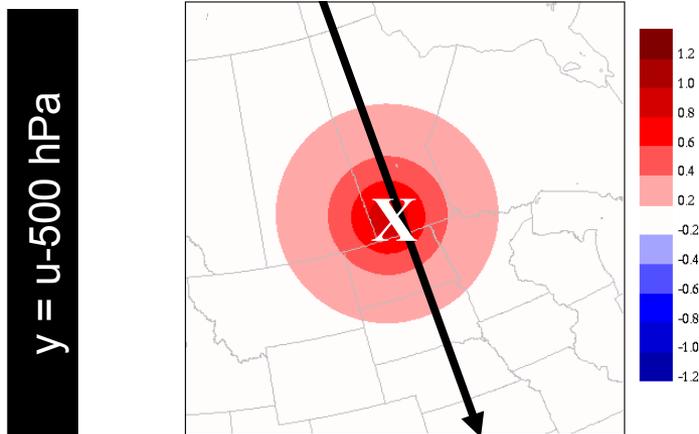
## b) Assimilations d'une seule observation – TEMPÉRATURE

Donnée de température au centre du domaine mais à différentes hauteurs

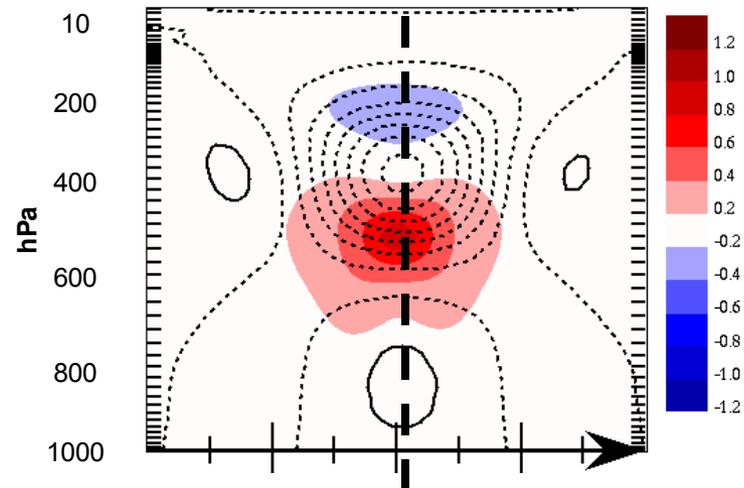


Configuration
<ul style="list-style-type: none"><li>• Innovation = 1 °C</li><li>• Erreur d'observation = 1 °C</li><li>• Erreur de prévision = selon les statistiques NMC (<math>\sigma_b</math> uniforme à l'horizontale)</li></ul>

Incréments de **Température** à 500 hPa



Incréments de **Température** et de **Tourbillon**

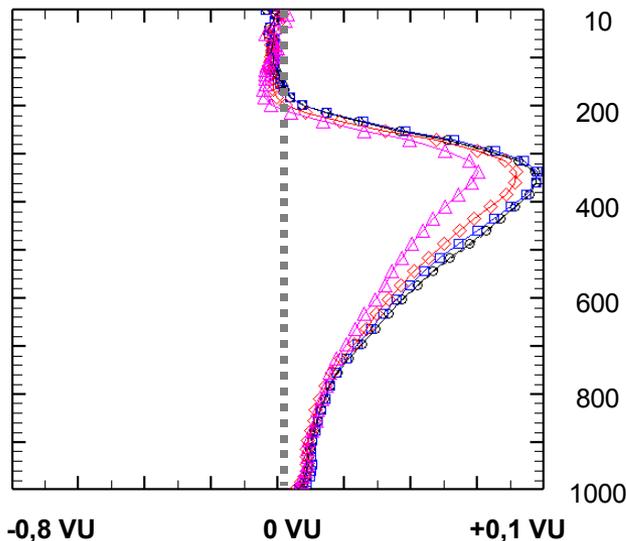


# 4. Opérateur STANDARD vs DIABATIQUE

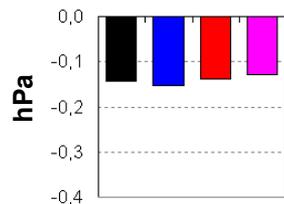
## b) Assimilations d'une seule observation - TEMPÉRATURE

$y = T-250 \text{ hPa}$

Incréments de Tourbillon

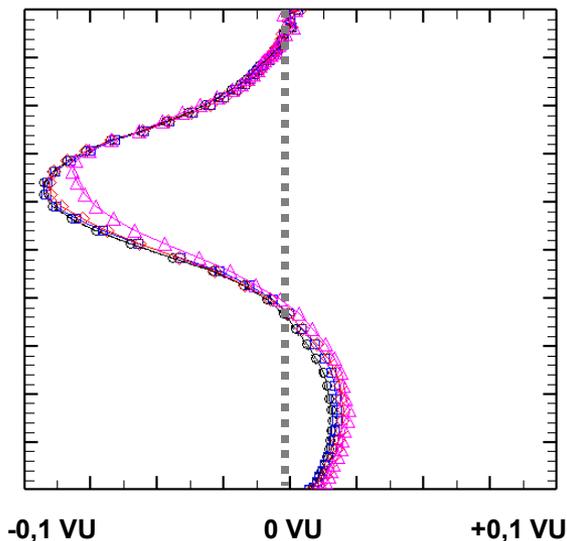


Incréments de Pression

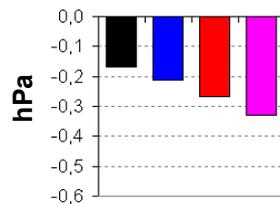


$y = T-500 \text{ hPa}$

Incréments de Tourbillon

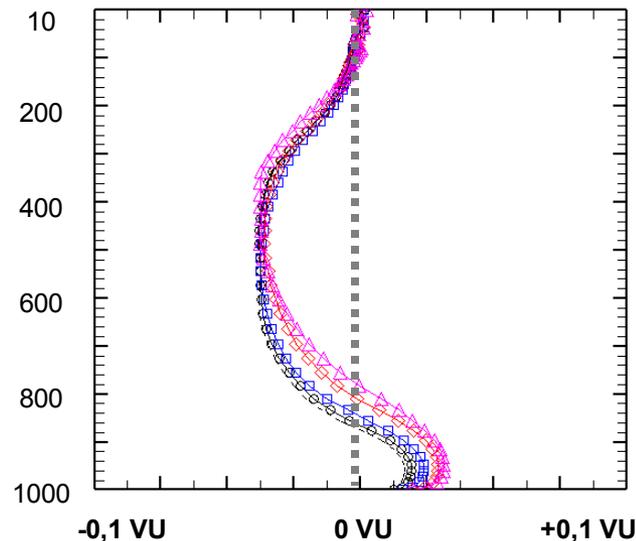


Incréments de Pression

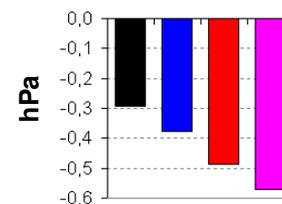


$y = T-850 \text{ hPa}$

Incréments de Tourbillon



Incréments de Pression



# 5. Résumé et Conclusions

## Ce que nous pouvons affirmer pour le moment ...

- Dans les échantillons NMC d'erreurs de prévisions, la balance (rotationnelle) des régions sèches et de précipitation diffère

Incitatif à modifier les opérateurs de balance de l'analyse variationnelle

- Les opérateurs diabatiques construits par régression linéaire:
  - a) Reproduisent légèrement mieux la température dans les échantillons NMC
  - b) Produisent des incréments d'analyse significativement différents pour des observations dans les bas niveaux.

Incitatif à poursuivre notre investigation sur la pertinence et la faisabilité de cette approche

## 6. Discussion et travaux futurs

- Comment implémenter une telle approche un système VAR complet ?

Comment déterminer la classe de précipitation correspondante (faible, modérée, forte) à chacun des points de la grille ?

Comment prévenir les discontinuités à l'horizontale liées aux sauts de classes ?

- Est-ce que l'approche des opérateurs diabatiques par régression linéaire améliore la prévision de la précipitation ?

- Étudier la balance et le comportement des opérateurs diabatiques pour un régime d'été

Modification des classes de précipitation ?

- Étendre l'application à la partie divergente des incréments d'analyse

- Comparer l'approche par régression linéaire avec d'autres approches pour améliorer la balance

Modes normaux implicites (Fillion et. al., 2007, ECMWF Workshop)

Opérateurs de balance à méso-échelle (Pagé et. al., 2007, MWR)

## 6. Discussion et travaux futurs

- Est-ce que les perturbation issues d'un filtre de Kalman d'ensemble exhibent les mêmes différences de balance dans les régions de précipitation ?
  - Les résultats sont-ils dépendant du schéma de convection ?
  - Pourquoi la balance diffère entre les régions sèches et humides ?  
*Dynamique et/ou Dégagement de chaleur latente ?*
  - Est-ce que la précipitation est la meilleur référence pour discriminer les régimes de balance ?
  - Étendre la partition sèche / précipitation aux autres statistiques d'erreurs de prévisions:  
*Corrélations horizontales et verticales*
-

# En développement: Assimilation à Haute Résolution

## Projet LAM4D Continental

Luc Fillion, Monique Tanguay, Bertrand Denis,  
Ervig Lapalme, Stephen Macpherson

### Caractéristiques du système VAR aire limitée

- Représentation spectrale Bi-Fourier
- Zone d'extension permettant des incréments d'analyse non-nuls aux frontières latérales
- Variables de contrôle en terme de fonctions d'Helmholtz ( $\psi$ ,  $\chi$ )
- Corrélations d'erreurs de prévisions non-séparables

