

SCA 7043 - Météorologie synoptique

Le concept du tourbillon potentiel

Le lundi 28 novembre 2016



Rappel : Le tourbillon absolu à l'échelle synoptique

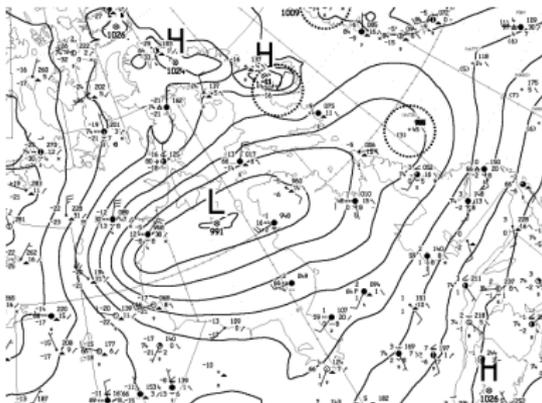
Tourbillon relatif

$$\zeta = \hat{k} \cdot (\nabla \times \vec{V}) = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Tourbillon planétaire

$$\frac{C_p}{A} = \frac{2\Omega \cdot A \cdot \sin \phi}{A} = 2\Omega \sin \phi$$

$$\Rightarrow f = 2\Omega \sin \phi$$



Tourbillon absolu : $\eta = \zeta + f$

Rappel : Le tourbillon absolu à l'échelle synoptique

Ainsi, à l'échelle synoptique, l'équation du tourbillon :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} + v \frac{\partial f}{\partial y} = -(\zeta + f) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

En terme du tourbillon absolu, $\eta = \zeta + f$, :

$$\frac{d\eta}{dt} = -\eta\delta$$

Rappel : Tourbillon potentiel

Suppositions :

- Homogène : $\rho = \text{constante}$ (incompressible). Donc, le terme de solénoïde est négligeable.
- Hydrostatique : u et v ne dépendent pas de z initialement et ne changent pas dans le temps. Donc, le terme de basculement de l'équation du tourbillon est négligeable.
- Frottement négligeable.

L'équation du tourbillon est ainsi réduite à :

$$\frac{d}{dt}(\zeta + f) = -(\zeta + f)\delta$$

Après manipulation, le tourbillon potentiel est

$$\frac{(\zeta + f)}{H} = \text{constante}$$

Le Tourbillon Potentiel d'Ertel

Suppositions :

- Homogène : $\rho = \text{constante}$ (incompressible)
- Hydrostatique : u et v ne dépendent pas de z
- Frottement négligeable.

Le tourbillon potentiel d'Ertel (PV) est défini par :

$$PV = \frac{1}{\rho} \vec{\eta} \cdot \nabla \theta$$

Sur une surface isentrope ($\theta = \text{cste}$),

$$PV = -g(\zeta_{a\theta}) \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

Le Tourbillon Potentiel d'Ertel

$$PV = -g(\zeta_{a\theta}) \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

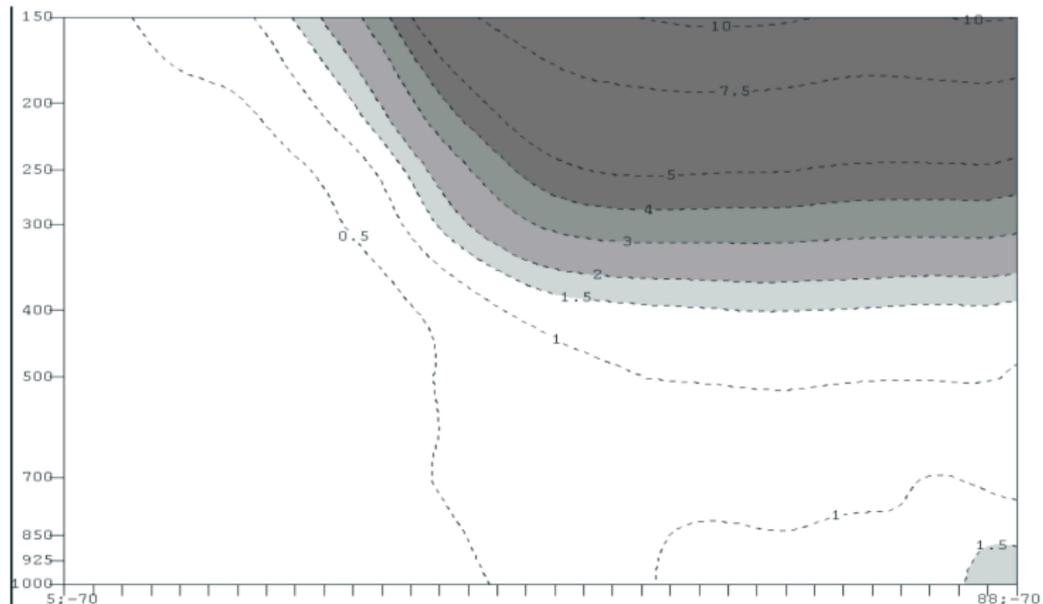
Propriétés :

- Conservation : PV est conservé lors d'une transformation adiabatique le long d'une surface isentrope
- Invertibilité : Connaissant P, on peut retrouver tous les champs thermodynamiques associés (Thorpe, 1985)
 - ▶ L'échelle horizontale L de l'anomalie $\tilde{P}(PV^+)$ influence l'intensité de la circulation induite : $U \sim (\sigma_{ref}^* \tilde{P})L$ (Bluestein, 1993)
- Dans le QG, $PV = q = \frac{1}{f_0} \nabla^2 \phi + f + \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{f_0}{\sigma} \frac{\partial \phi}{\partial p} \right)$ et $\frac{dq}{dt_g} = 0$

Climatologie du PV

$$PV = -g(\zeta_{a\theta}) \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

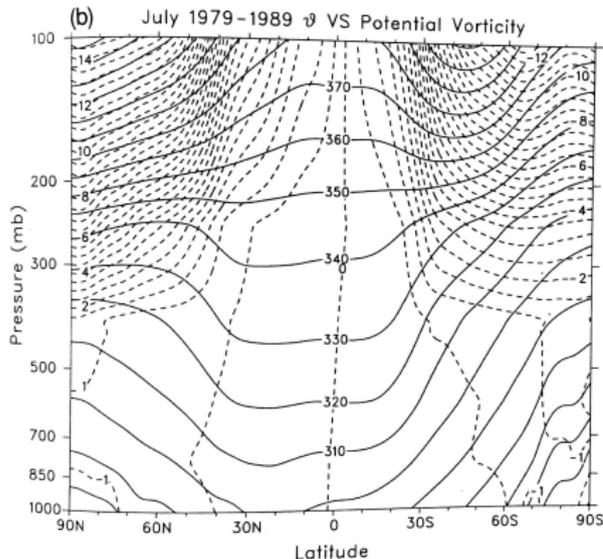
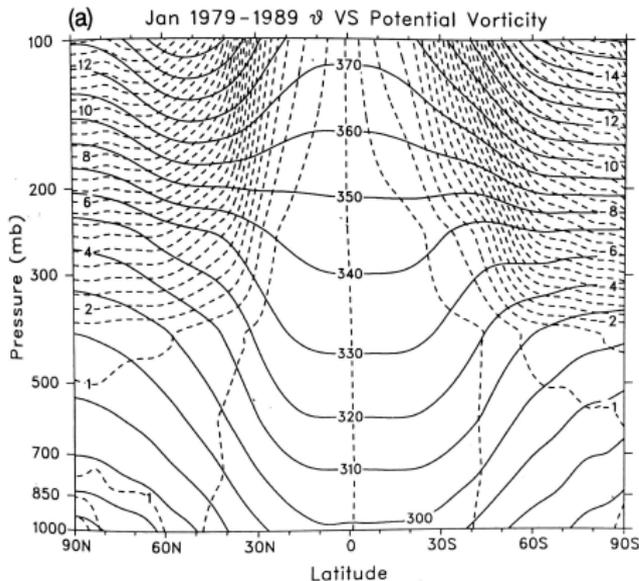
ECMWF, 10-yr January PV climatology (Lackmann, 2011)



Climatologie du PV

$$PV = -g(\zeta_{a\theta}) \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

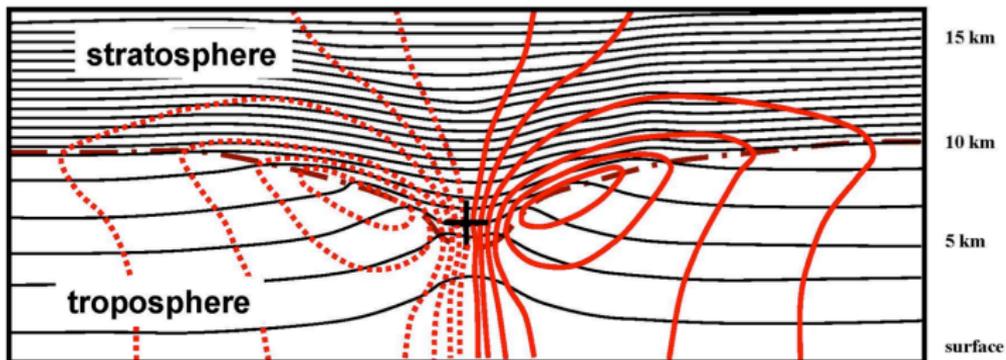
ECMWF, 10-yr PV climatology (Bluestein, 1993)



PV et inversion de champs dynamiques

$$PV = -g(\zeta_{a\theta}) \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

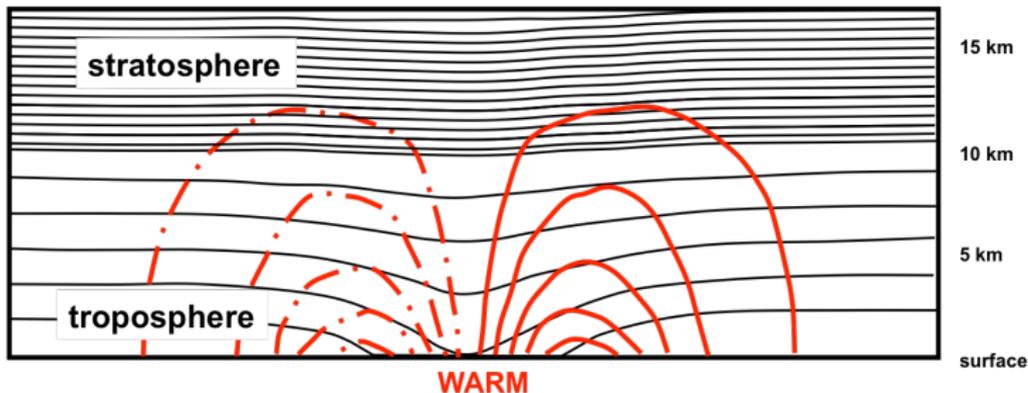
Profil de Vent zonal associé à une anomalie (stratosphérique) de PV



PV et inversion de champs dynamiques

$$PV = -g(\zeta_{a\theta}) \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

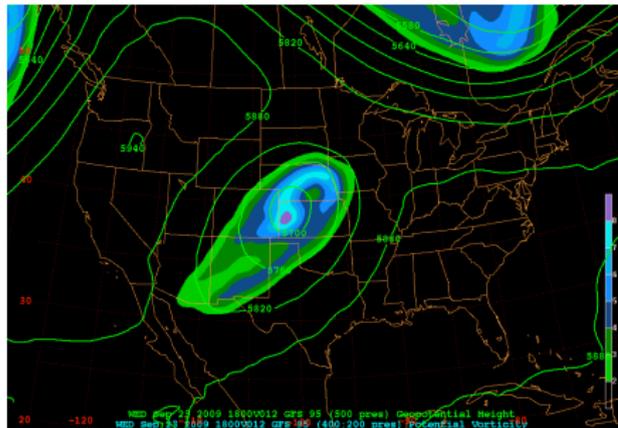
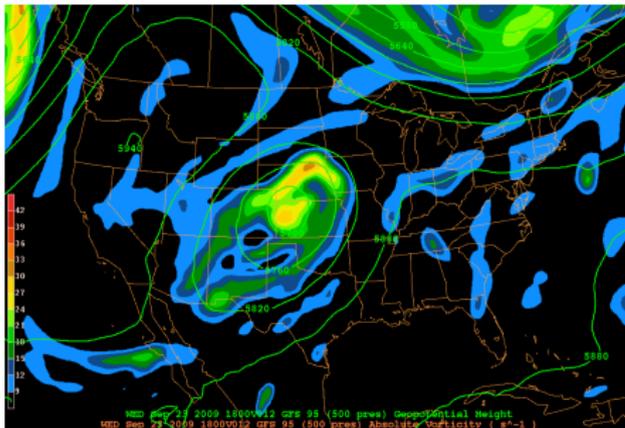
Profil de PV et de vent associé à une anomalie de température dans les basses couches



PV et tourbillon absolu

$$PV = -g(\zeta_{a\theta}) \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

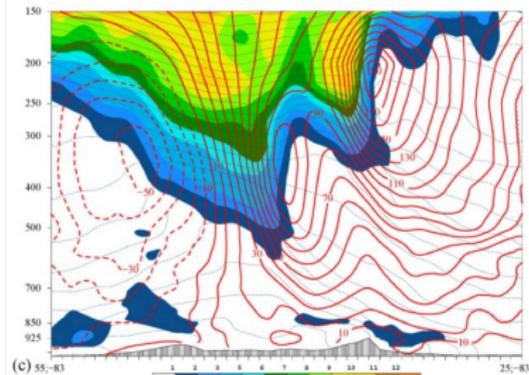
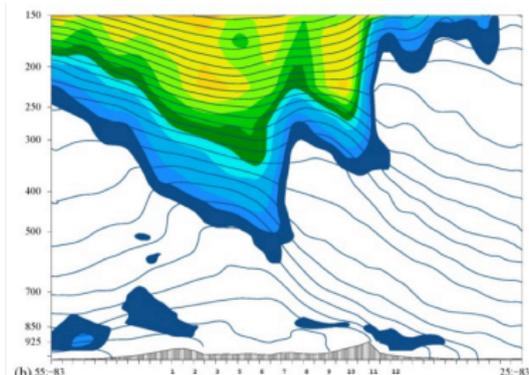
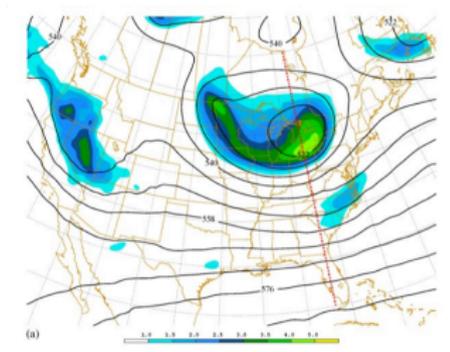
500 hPa : Tourbillon absolu et PV (23 Septembre 2009 à 18Z)



Analyse de la situation du 23 Septembre 2009

$$PV = -g(\zeta a \theta) \frac{\partial \theta}{\partial p}$$

PV et champs thermodynamiques

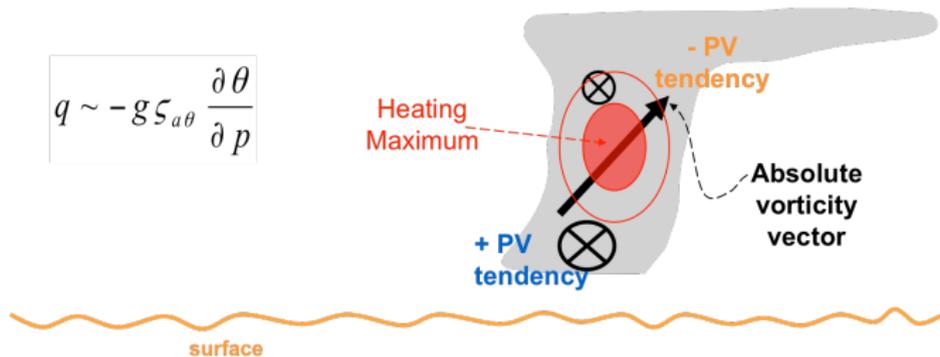


Equation de PV : $\frac{dq}{dt} = ?$

Dans le cas où des processus diabatiques entrent en jeu

On montre que (voir demo dans Lackmann, 2011, p84) :

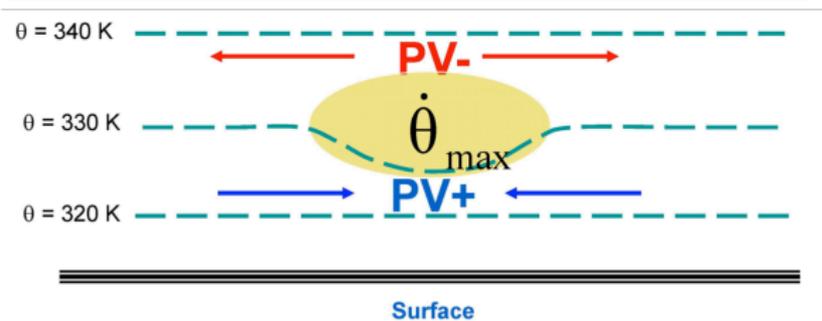
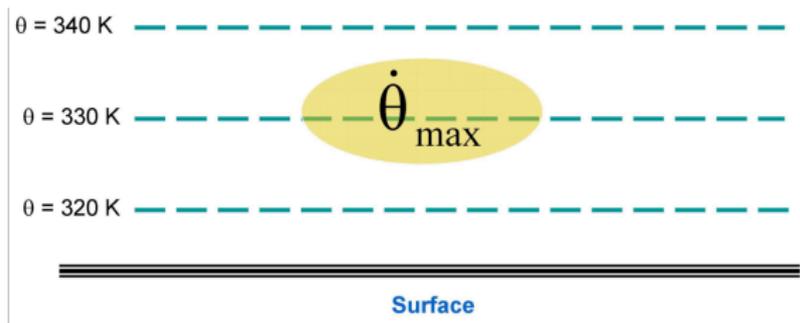
$$\frac{dq}{dt} = \sigma^{-1} (\vec{\eta} \cdot \nabla \theta) + \sigma^{-1} \vec{k} \cdot \nabla_x \vec{F}$$



Equation de PV : $\frac{dq}{dt} = ?$

Dans le cas où des processus diabatiques entrent en jeu
On montre que (voir demo dans Lackmann, 2011, p84) :

$$\frac{dq}{dt} = \sigma^{-1} \left(\vec{\eta} \cdot \nabla \dot{\theta} \right) + \sigma^{-1} \vec{k} \cdot \nabla_x \vec{F}$$



PV, QG et ω

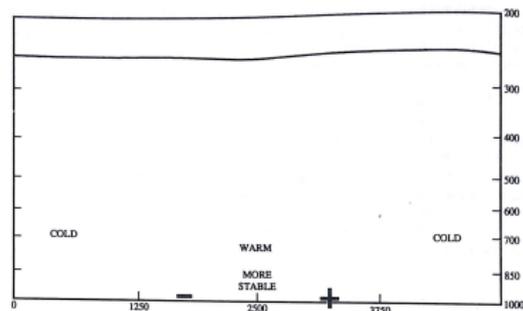
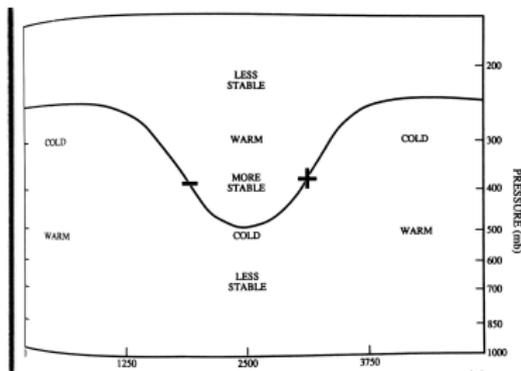
On veut diagnostiquer la vitesse verticale de ω :

Suppositions :

- On suppose une anomalie de PV^+ soit d'altitude ou de basse couche
- On suppose de plus que cette anomalie est stationnaire
- Au centre l'équation du tourbillon et de thermo s'écrivent respectivement :

$$\textcircled{1} \quad 0 = -\vec{V}_g \cdot \nabla(\eta_g + f) - \delta f_0$$

$$\textcircled{2} \quad 0 = -\vec{V} \cdot \nabla T - \omega \sigma \frac{p}{R} \text{ (adiabatique)}$$



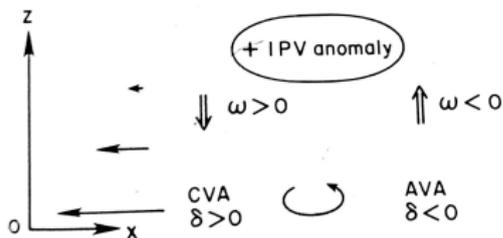
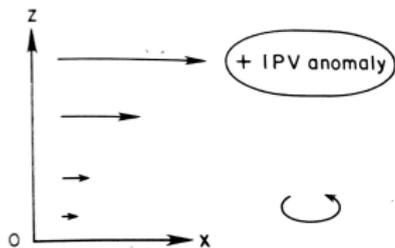
PV, QG et ω

On veut diagnostiquer la vitesse verticale de ω :

Suppositions :

- On suppose une anomalie de PV^+ soit d'altitude ou de basse couche
- On suppose de plus que cette anomalie est stationnaire
- Au centre l'équation du tourbillon :

$$\textcircled{1} \quad 0 = -\vec{V}_g \cdot \nabla(\zeta_g + f) - \delta f_0$$



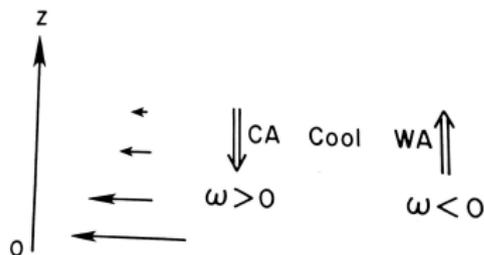
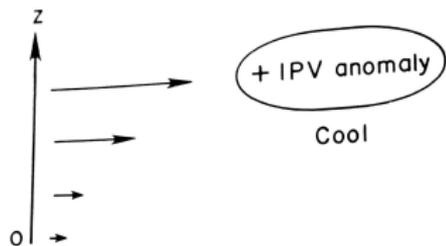
PV, QG et ω

On veut diagnostiquer la vitesse verticale de ω :

Suppositions :

- On suppose une anomalie de PV^+ d'altitude
- On suppose de plus que cette anomalie est stationnaire
- Au centre l'équation de thermo :

$$\textcircled{1} 0 = -\vec{V} \cdot \nabla T - \omega \sigma \frac{p}{R} \text{ (adiabatique)}$$



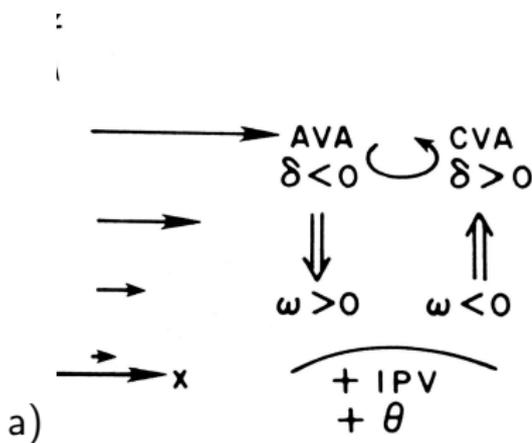
PV, QG et ω

On veut diagnostiquer la vitesse verticale de ω :

Suppositions :

- On suppose une anomalie de PV^+ de surface
- On suppose de plus que cette anomalie est stationnaire
- Au centre l'équation du tourbillon et de thermo :

$$\textcircled{1} \quad 0 = -\vec{V}_g \cdot \nabla(\zeta_g + f) - \delta f_0$$



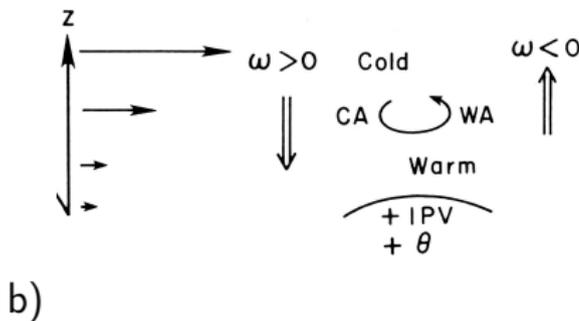
PV, QG et ω

On veut diagnostiquer la vitesse verticale de ω :

Suppositions :

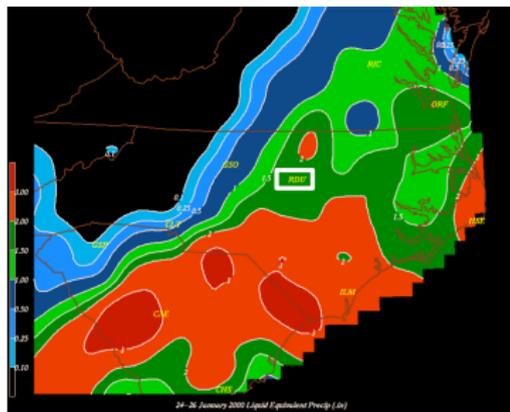
- On suppose une anomalie de PV^+ de surface
- On suppose de plus que cette anomalie est stationnaire
- Au centre l'équation du tourbillon et de thermo :

$$\textcircled{1} \quad 0 = -\vec{V} \cdot \nabla T - \omega \sigma \frac{p}{R} \text{ (adiabatique)}$$

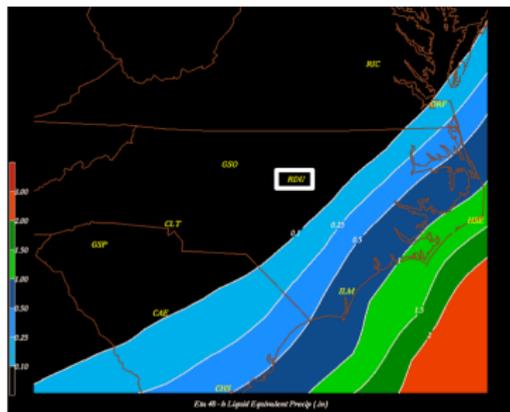


PV et prévision numérique du temps

Situation du 25 Janvier 2000 : Précipitation prévue (contour bleu) et observée (radar)



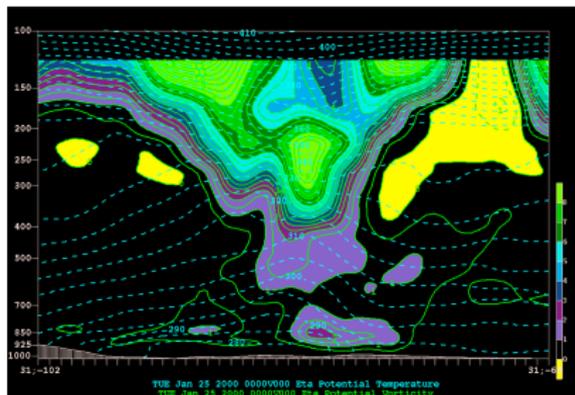
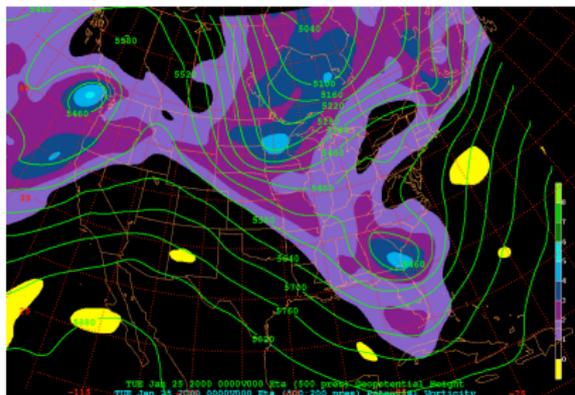
**Objective Analysis of
Observed Precip (.in)**
(NWS Co-op Network)



**48-h Eta forecast ending
26/00Z**

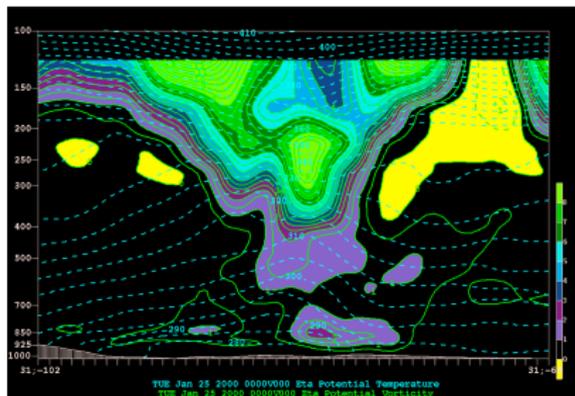
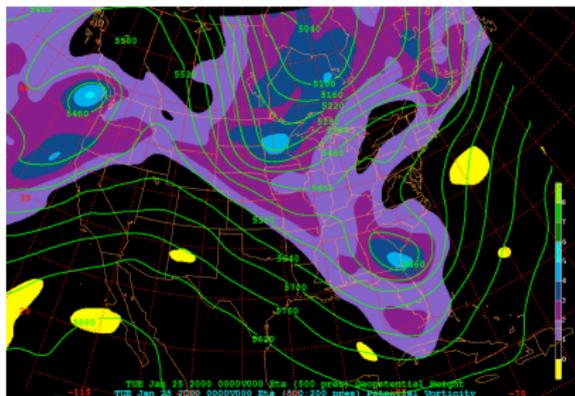
PV et prévision numérique du temps

Situation du 25 Janvier 2000 :PV prévu (contour bleu) et analysé



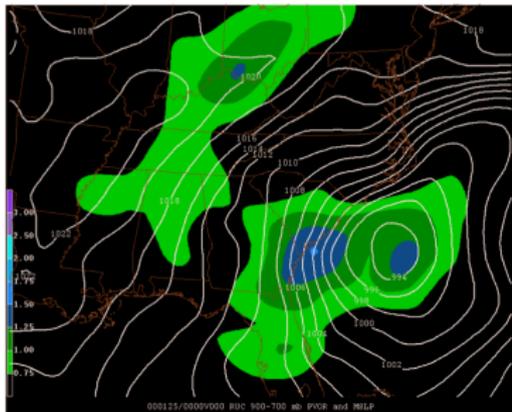
PV et prévision numérique du temps

Situation du 25 Janvier 2000 :PV prévu (contour bleu) et analysé



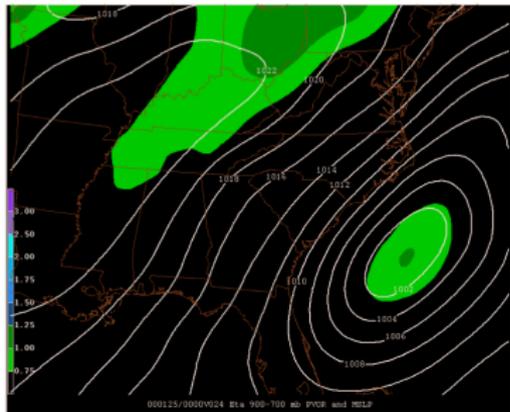
PV et prévision numérique du temps

Situation du 25 Janvier 2000 : MSLP prévue (contour bleu) et analysée (radar)



RUC Analysis

900-700 mb PV and MSLP



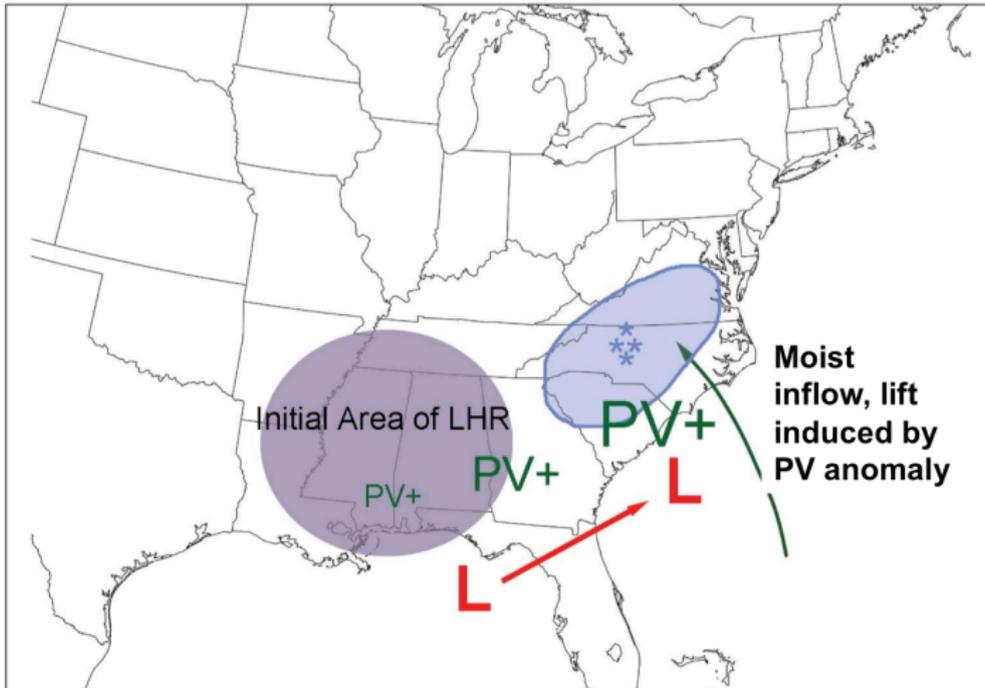
24-h Eta Forecast

900-700 mb PV and MSLP

Modèle conceptuel sur l'alimentation en PV sur la côte Est

Deux sources :

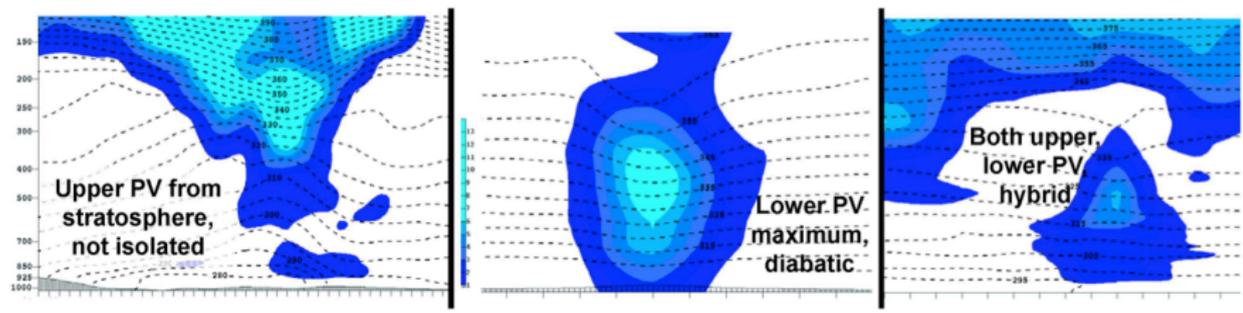
- 1 Le PV lié aux intrusions stratosphériques
- 2 Le PV lié aux chauffage diabatique dans les basses couches



Modèle conceptuel sur l'alimentation en PV sur la côte Est

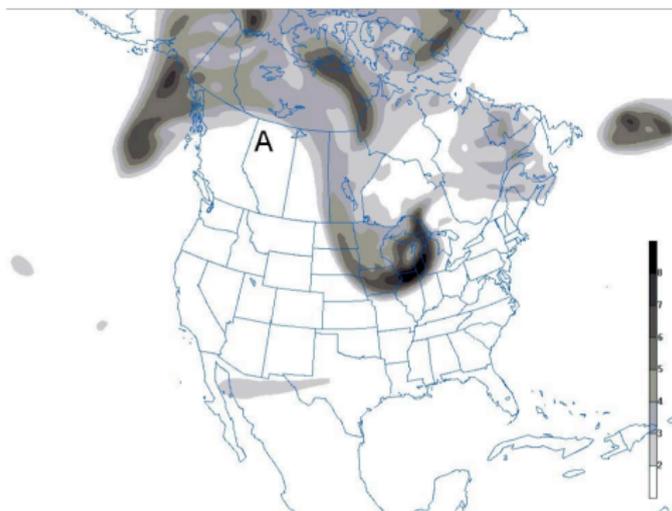
Deux sources :

- 1 Le PV lié aux intrusions stratosphériques
- 2 Le PV lié aux chauffage diabatique dans les basses couches



Pratique

Le PV moyen entre 400 et 200 hPa est donné sur la carte ci-dessous :



En s'appuyant sur vos connaissances du phasage vertical des systèmes, tracer les contours 546-dam et 570-dam de la surface 500 hPa.

La hauteur de la tropopause est-elle plus basse ou plus haute au point A par rapport à l'environnement autour ?