SCA 5622

Météorologie synoptique et laboratoire de météo

Le tourbillon

Le mercredi 5 mars 2014

UQÀM

Analyse dimensionnelle

Tourbillons **relatif** : $\zeta = \dfrac{\partial v}{\partial x} - \dfrac{\partial u}{\partial y} \sim \dfrac{U}{L} \sim 10^{-5}\ \mathrm{s}^{-1}$ et **planétaire** $f_0 = 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$

$$\Longrightarrow \frac{\partial \zeta}{\partial t} \sim \frac{U^2}{L^2} \sim 10^{-10}\ \mathrm{s}^{-2}$$

- Terme 1 : $u\dfrac{\partial \zeta}{\partial x}, v\dfrac{\partial \zeta}{\partial y} \sim \dfrac{U^2}{L^2} \sim 10^{-10}\ \mathrm{s}^{-2}$ et $w\dfrac{\partial \zeta}{\partial z} \sim \dfrac{WU}{HL} \sim 10^{-11}\ \mathrm{s}^{-2}$
- Terme 2 : $v\dfrac{\partial f}{\partial y} \sim U\beta \sim 10^{-10}\ \mathrm{s}^{-2}$
- Terme 3 : $-(\zeta + f)\delta \sim -f\delta \sim \dfrac{f_0 U}{L} \sim 10^{-9}\ \mathrm{s}^{-2}$
- Terme 4 : $\left(\dfrac{\partial w}{\partial x}\dfrac{\partial v}{\partial z} - \dfrac{\partial w}{\partial y}\dfrac{\partial u}{\partial z}\right) \sim 10^{-11}\ \mathrm{s}^{-2}$
- Terme 5 : $\dfrac{1}{\rho^2}\left(\dfrac{\partial \rho}{\partial x}\dfrac{\partial p}{\partial y} - \dfrac{\partial \rho}{\partial y}\dfrac{\partial p}{\partial x}\right) \sim 10^{-11}\ \mathrm{s}^{-2}$

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, $\eta = \zeta + f$, :

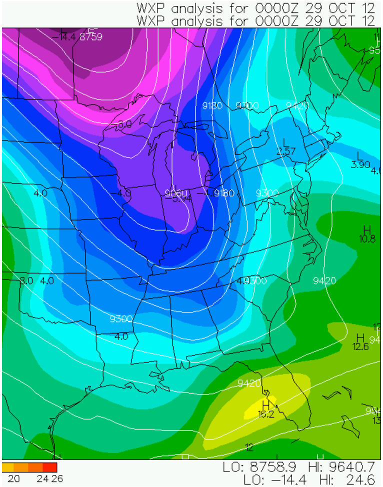
$$\frac{d\eta}{dt} = -\eta\delta$$

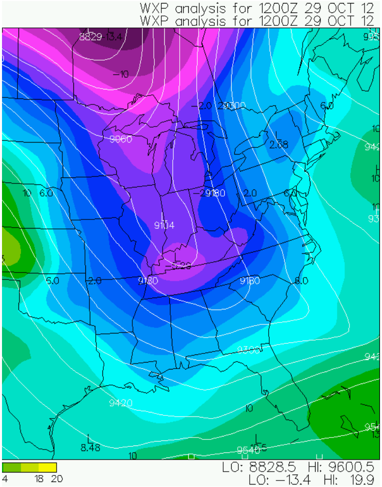
Interprétation :

- Point de vue Lagrangien : amplification des systèmes météo
- Point de vue Eulérien : propagation des systèmes météo

Quel est le mécanisme responsable de l'amplification d'un creux en altitude ?

Z à 300 hPa et T à 850 hPa





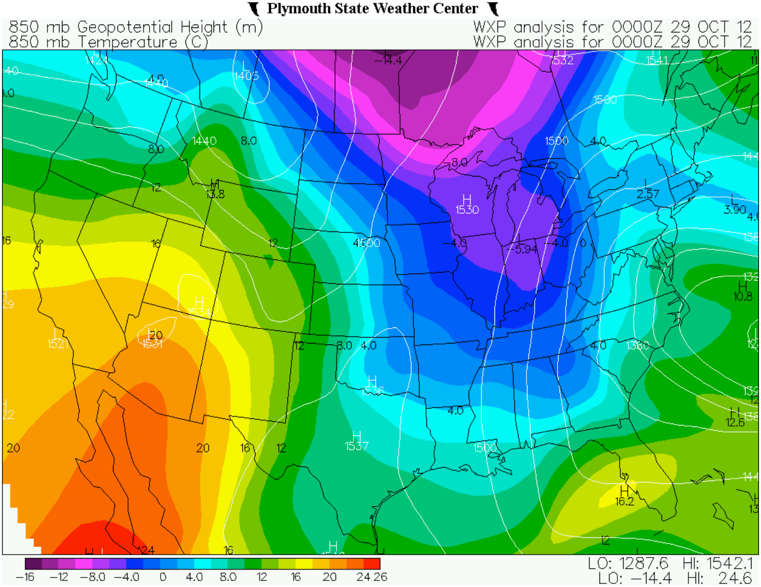
Hypothèse

Pour l'analyse, $\frac{d\zeta}{dt} = -\eta\delta$ car dans l'axe d'un creux v=0 donc, $\frac{df}{dt} = 0$:

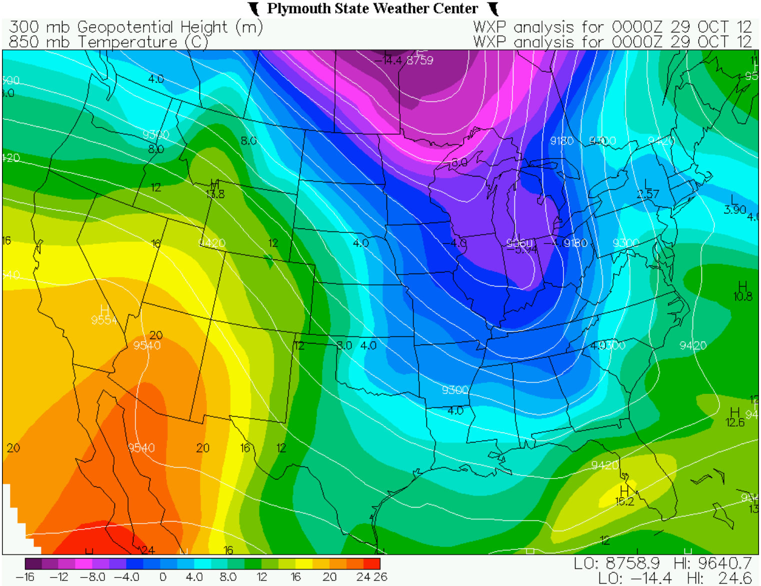
- L'amplification d'un creux est associée avec de la convergence en altitude : $\frac{d\zeta}{dt} > 0 \rightarrow \delta < 0$
- La convergence en altitude est reliée au mouvement vertical de l'air : $\delta < 0 \rightarrow \frac{\partial\omega}{\partial p} > 0 \rightarrow \omega > 0$
- Un mouvement vertical vers le bas associé avec l'advection de T froide : $\omega > 0 \rightarrow -\overrightarrow{v} \cdot \nabla T < 0$

Analyse :

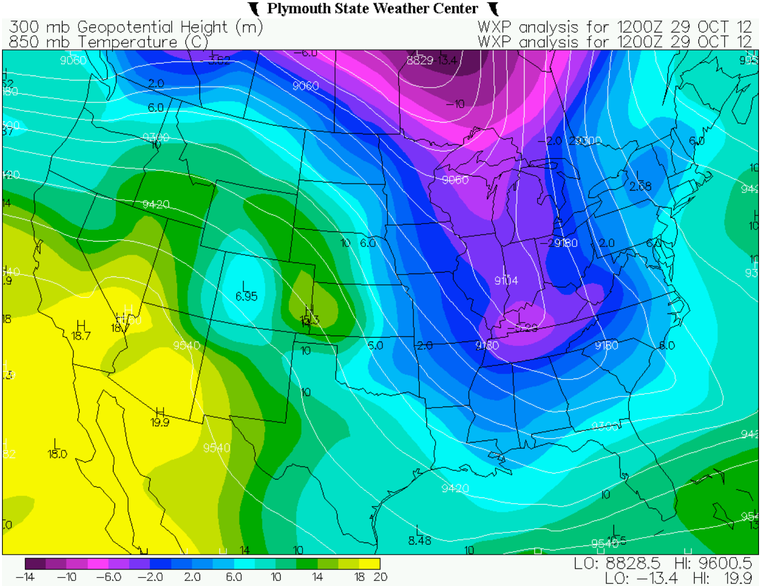
Advection de T



Comparer avec l'axe du creux



Creux 12 h plus tard

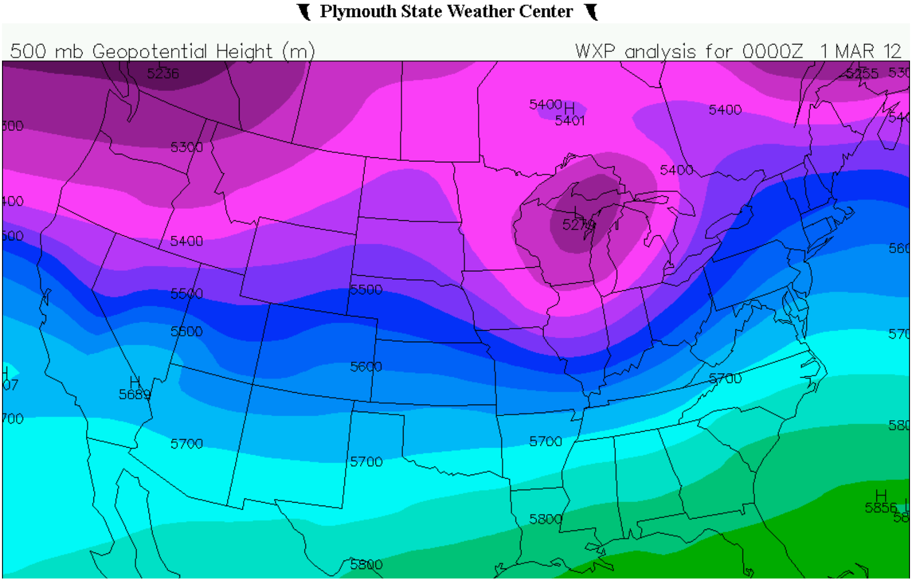


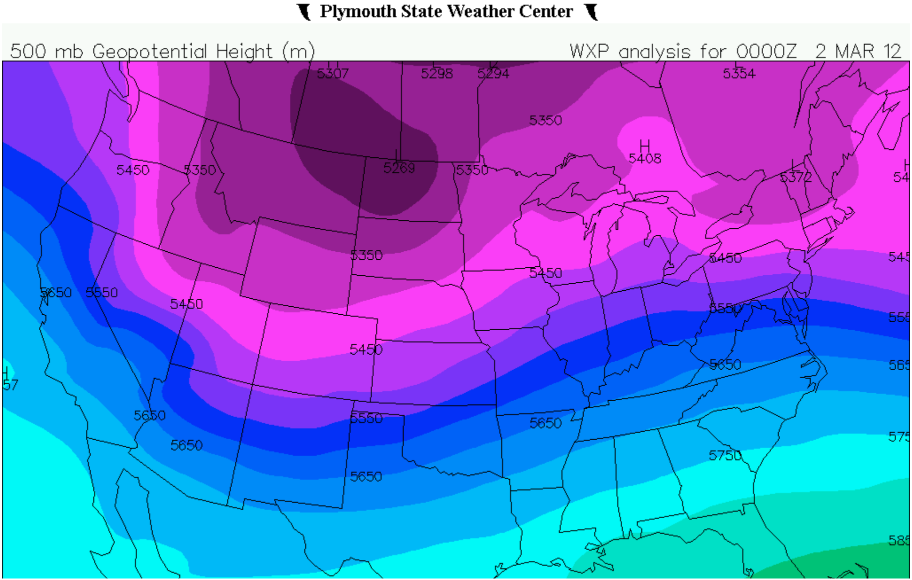
Conclusions

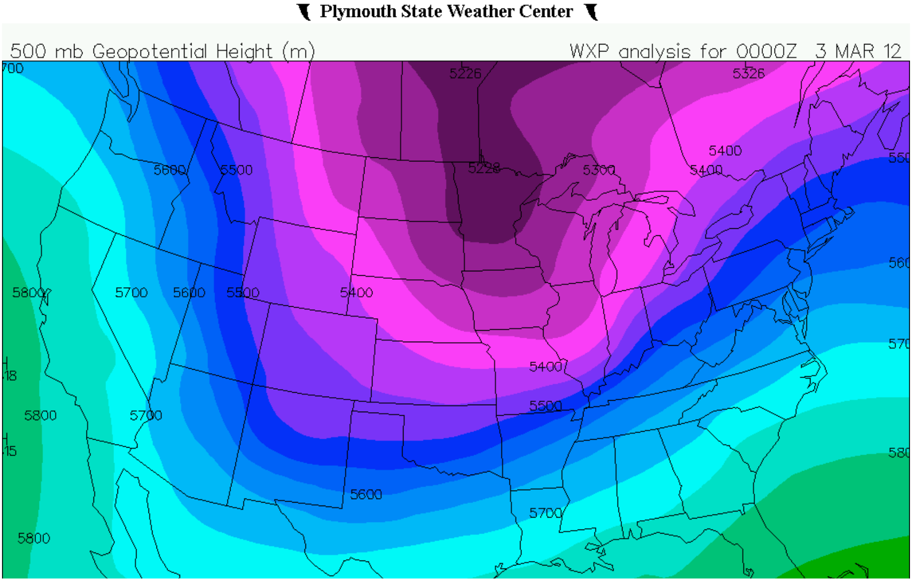
En combien de temps un creux traverse le continent Nord-Américain ?

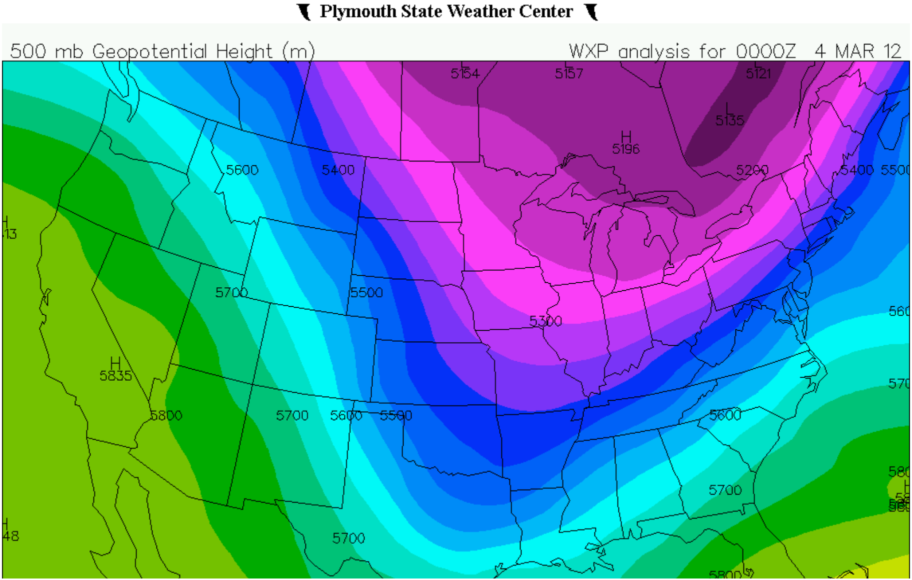
Hypothèse :

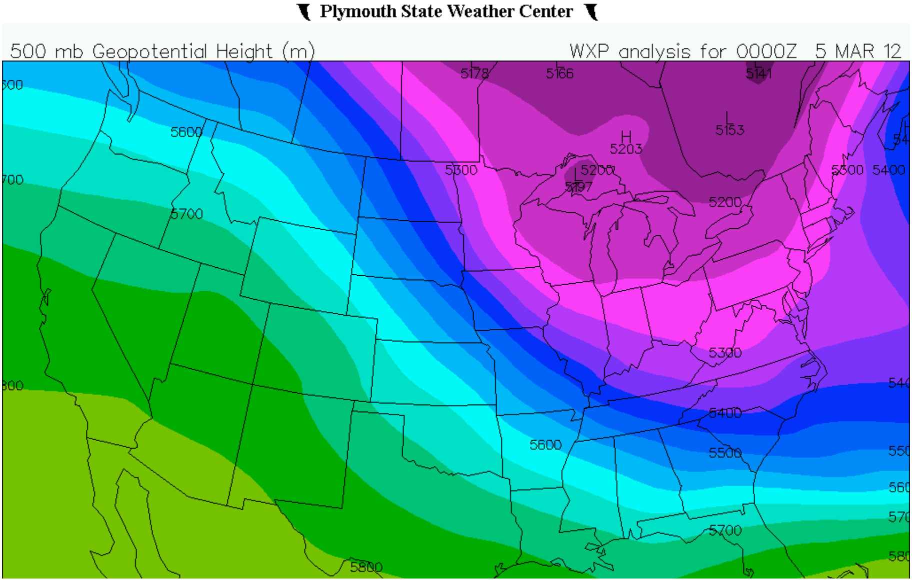
Analyse :

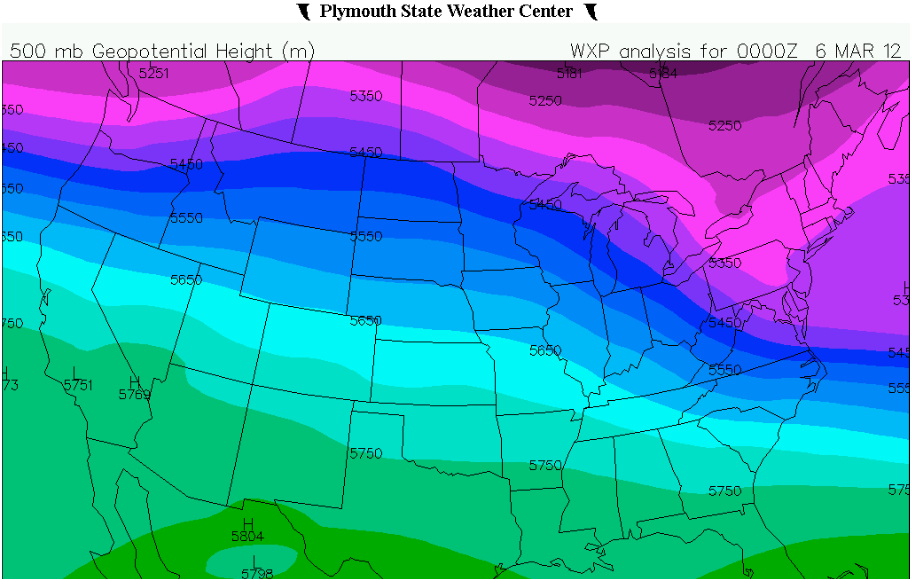

Plymouth State Weather Center
500 mb Geopotential Height (m)
WXP analysis for 0000Z 1 MAR 12
5236
5300
5400
5400
5401
5400
5400
5279
5500
5500
5600
5600
5689
5700
5700
5700
5700
5800
5800
5856


Plymouth State Weather Center
500 mb Geopotential Height (m)
WXP analysis for 0000Z 2 MAR 12
5307
5298
5294
5354
5350
5408
5450
5350
5269
5350
5372
5350
5450
5450
5650
5550
5450
5450
5550
5650
5650
5550
5650
5650
5750
5650


Plymouth State Weather Center
500 mb Geopotential Height (m)
WXP analysis for 0000Z 3 MAR 12
5226
5326
5228
5300
5400
5600
5500
5700
5800
5600
5700

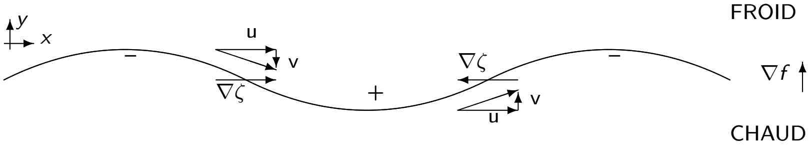

Plymouth State Weather Center
500 mb Geopotential Height (m)
WXP analysis for 0000Z 4 MAR 12
5154
5157
5121
5135
5196
5600
5400
5200
5400
5700
5500
5300
5835
5800
5700
5600
5500
5600
5700
5700
5800


Plymouth State Weather Center
500 mb Geopotential Height (m)
WXP analysis for 0000Z 5 MAR 12
5178
5166
5141
5153
5203
5600
5300
5200
5197
5500 5400
5700
5200
5300
5400
5600
5500
5700
5800


Plymouth State Weather Center
500 mb Geopotential Height (m)
WXP analysis for 0000Z 6 MAR 12
5251
5350
5181
5184
5250
5250
5450
5450
5450
5550
5550
5650
5650
5650
5350
5450
5550
5751
5769
5750
5750
5750
5804
5798

Explications

À p=500 hPa, $\delta \sim 0 \Longrightarrow \dfrac{d\eta}{dt} = 0 \Longrightarrow \dfrac{\partial \zeta}{\partial t} = -\overrightarrow{v} \cdot \nabla(\zeta + f)$:



1. Adv du tourbillon relatif : $-\vec{v} \cdot \nabla\zeta \rightarrow$ généralement selon x

$$
\begin{array}{c|c}
\text{u} > 0 \text{ and } \dfrac{\partial \zeta}{\partial x} > 0 & \text{u} > 0 \text{ and } \dfrac{\partial \zeta}{\partial x} < 0 \\
-u\dfrac{\partial \zeta}{\partial x} < 0 \rightarrow \dfrac{\partial \zeta}{\partial t} < 0 & -u\dfrac{\partial \zeta}{\partial x} > 0 \rightarrow \dfrac{\partial \zeta}{\partial t} > 0
\end{array}
$$

2. Adv du tourbillon planétaire : $-\vec{v} \cdot \nabla f \rightarrow$ toujours selon y

$$
\begin{array}{c|c}
\text{v} < 0 \text{ and } \dfrac{\partial f}{\partial y} > 0 & \text{v} > 0 \text{ and } \dfrac{\partial f}{\partial y} > 0 \\
-v\dfrac{\partial f}{\partial y} > 0 \rightarrow \dfrac{\partial \zeta}{\partial t} > 0 & -v\dfrac{\partial f}{\partial y} < 0 \rightarrow \dfrac{\partial \zeta}{\partial t} < 0
\end{array}
$$

Conclusions

Pour un système météo se déplaçant vers l'est, l'advection du tourbillon planétaire agit dans le sens opposé à l'advection du tourbillon relatif. C'est pour cette raison qu'un creux prend 4-5 jours pour traverser le continent au lieu de 2 jours.

Résumé

- L'amplification des systèmes météo est reliée à $\dfrac{d\zeta}{dt} = -\eta\delta$

- La propagation des systèmes météo est reliée à $\dfrac{\partial\zeta}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla(\zeta + f)$

Tourbillon potentiel

Suppositions :

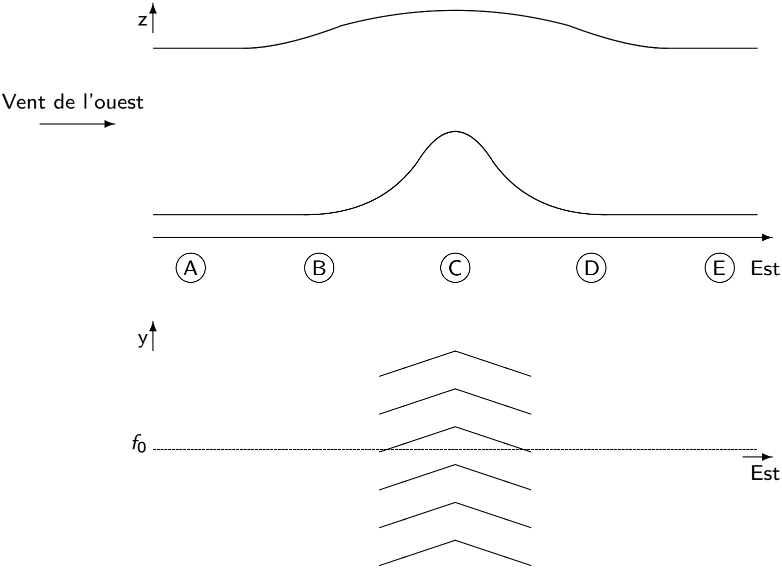
- Homogène : $\rho =$ constante (incompressible). Donc, le terme de solénoïde est négligeable.
- Hydrostatique : u et v ne dépendent pas de z initialement et ne changent pas dans le temps. Donc, le terme de basculement de l'équation du tourbillon est négligable.
- Frottement négligeable.

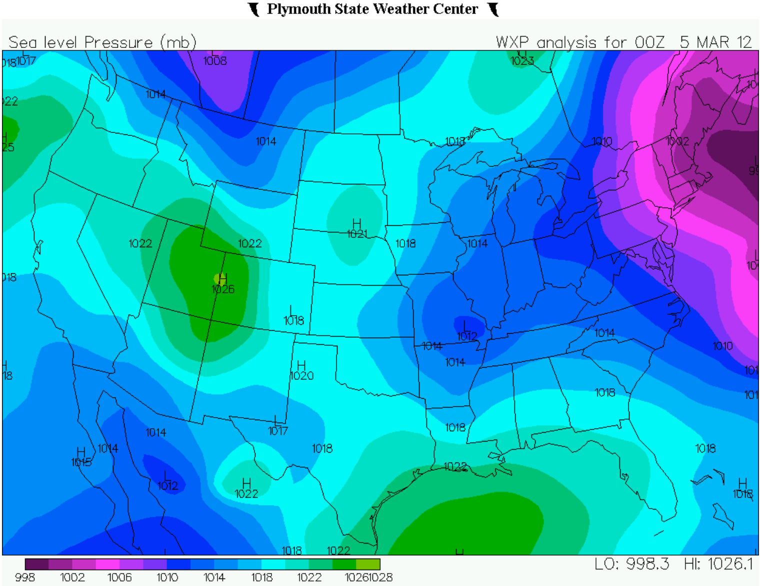
L'équation du tourbillon est ainsi réduite à :

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

Après manipulation, le tourbillon potentiel est

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


z
Vent de l'ouest
A
B
C
D
E
Est
y
f_0
Est


Plymouth State Weather Center
Sea level Pressure (mb)
WXP analysis for 00Z 5 MAR 12
LO: 998.3 HI: 1026.1
998
1002
1006
1010
1014
1018
1022
10261028