

SCA 5622
Météorologie synoptique et laboratoire de météo

Le tourbillon

Le mercredi 5 mars 2014


Analyse dimensionnelle

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

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

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

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

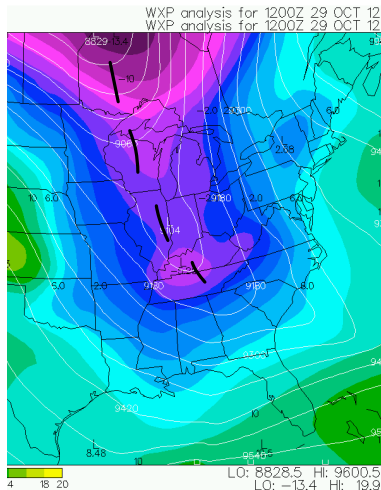
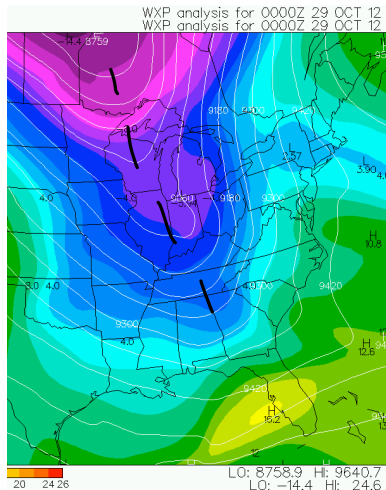
$$\frac{d\eta}{dt} = -\eta\delta$$

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 :

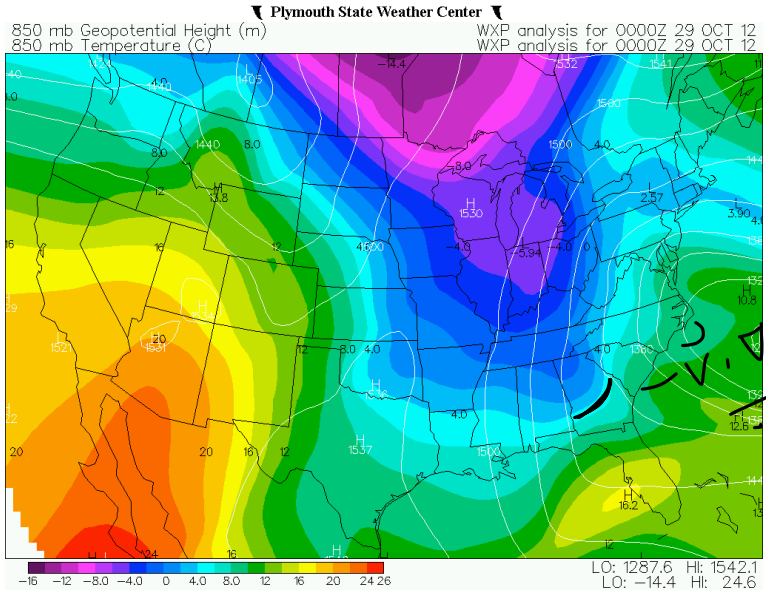
$$\delta < 0 \rightarrow \frac{\partial\omega}{\partial p} > 0 \rightarrow \omega > 0$$

- Un mouvement vertical vers le bas associé avec l'advection de T froide :

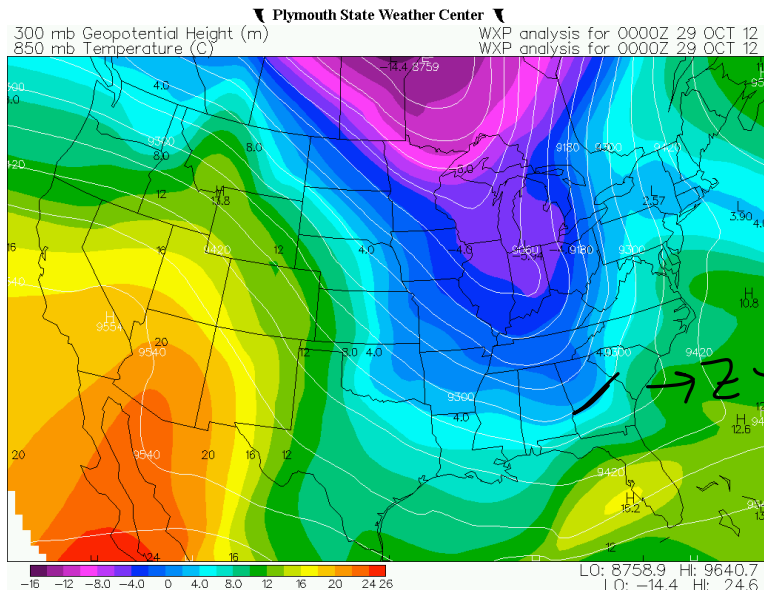
$$\omega > 0 \rightarrow -\vec{v} \cdot \nabla T < 0$$

Analyse :

Advection de T



Comparer avec l'axe du creux

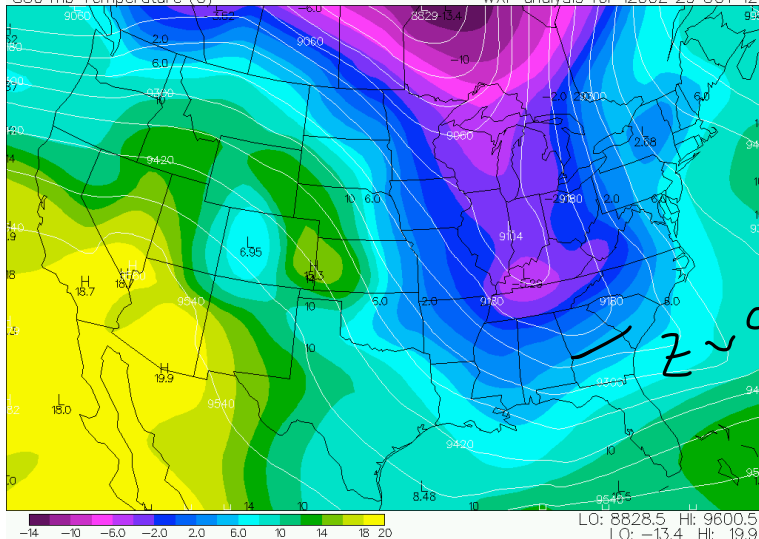


Creux 12 h plus tard

▼ Plymouth State Weather Center ▼

300 mb Geopotential Height (m)
850 mb Temperature (C)

WXP analysis for 1200Z 29 OCT 12
WXP analysis for 1200Z 29 OCT 12



Conclusions

Z_{300hPa} ont diminué
où il y a adv. de T froide

hypothèse OK.

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

Hypothèse :

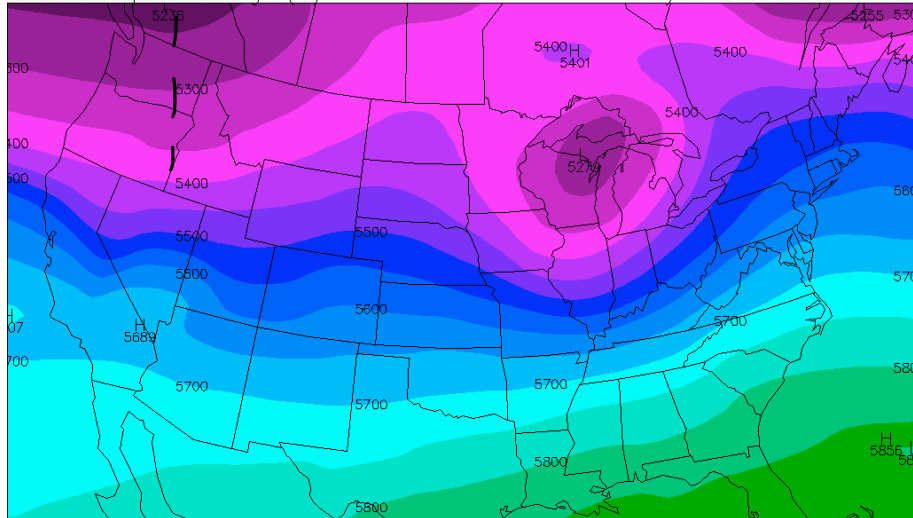
vitesse du vent $v = 100 \text{ km/h}$
 $\Delta x \text{ continent } 5000 \text{ km}$

$$\Delta t \sim 2 \text{ jrs}$$

Analyse :

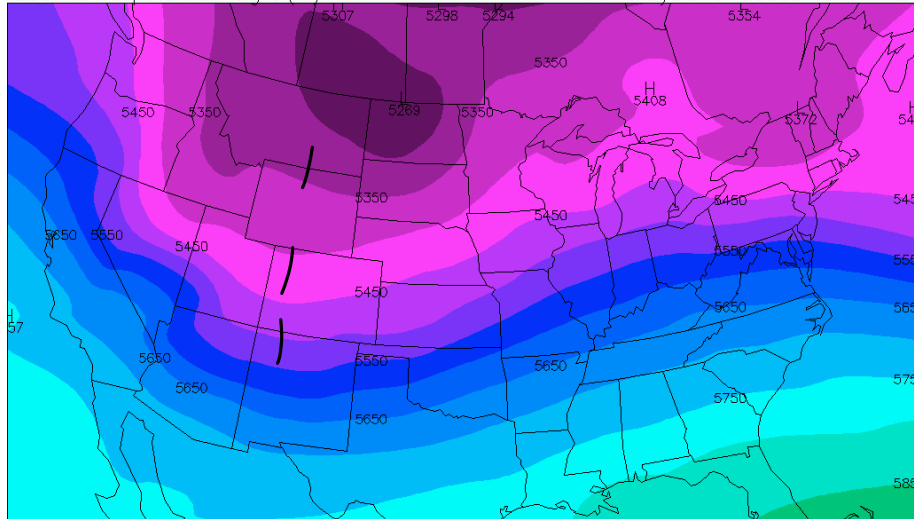
500 mb Geopotential Height (m)

WXP analysis for 0000Z 1 MAR 12



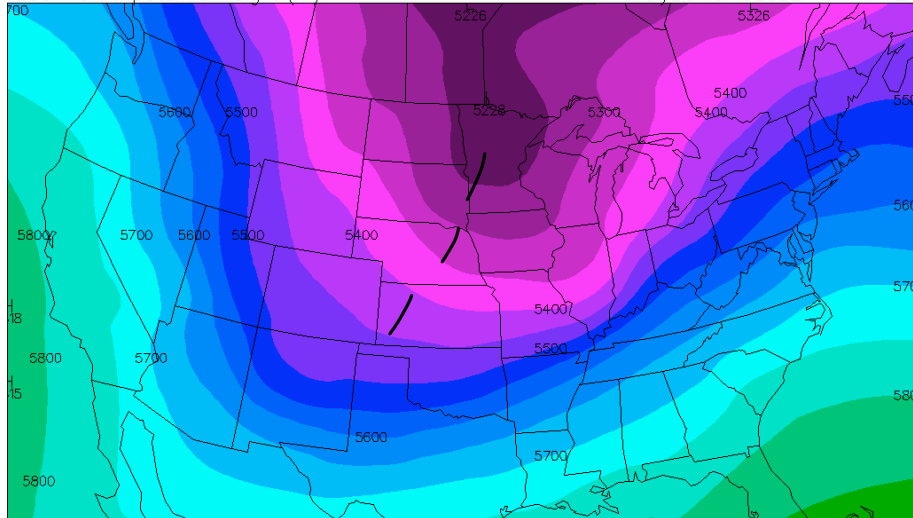
500 mb Geopotential Height (m)

WXP analysis for 0000Z 2 MAR 12



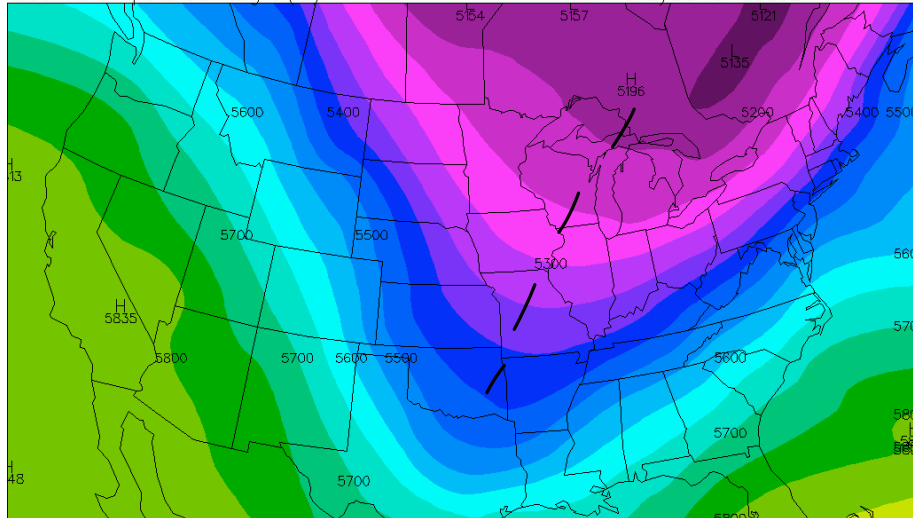
500 mb Geopotential Height (m)

WXP analysis for 0000Z 3 MAR 12



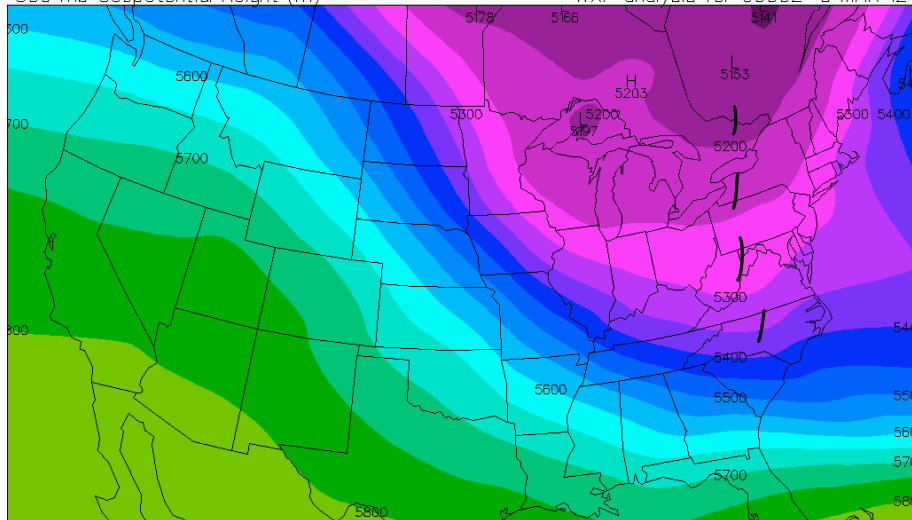
500 mb Geopotential Height (m)

WXP analysis for 0000Z 4 MAR 12



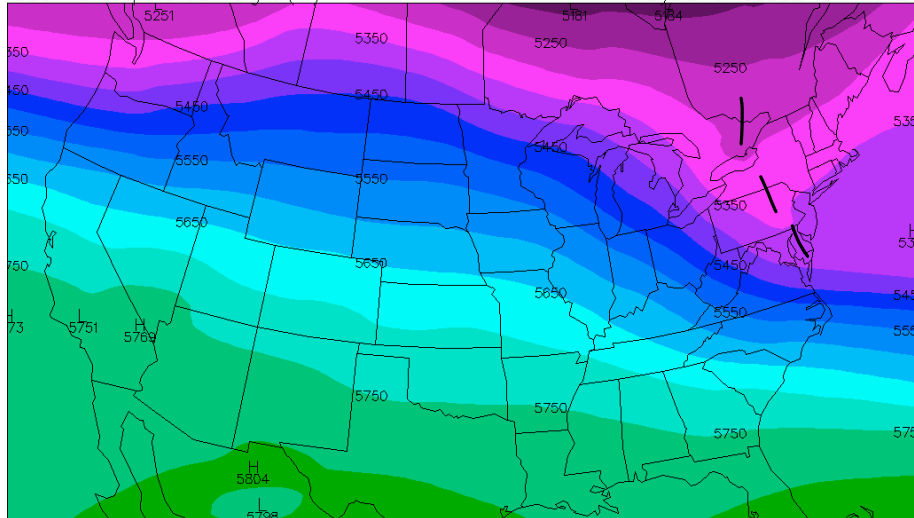
500 mb Geopotential Height (m)

WXP analysis for 0000Z 5 MAR 12



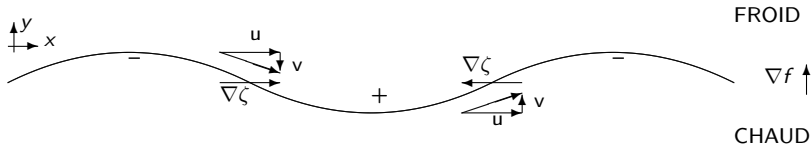
500 mb Geopotential Height (m)

WXP analysis for 0000Z 6 MAR 12



Explications

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



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

$u > 0 \text{ and } \frac{\partial \zeta}{\partial x} > 0$ $-u \frac{\partial \zeta}{\partial x} < 0 \rightarrow \frac{\partial \zeta}{\partial t} < 0$		$u > 0 \text{ and } \frac{\partial \zeta}{\partial x} < 0$ $-u \frac{\partial \zeta}{\partial x} > 0 \rightarrow \frac{\partial \zeta}{\partial t} > 0$
--	--	--

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

$v < 0 \text{ and } \frac{\partial f}{\partial y} > 0$ $-v \frac{\partial f}{\partial y} > 0 \rightarrow \frac{\partial \zeta}{\partial t} > 0$		$v > 0 \text{ and } \frac{\partial f}{\partial y} > 0$ $-v \frac{\partial f}{\partial y} < 0 \rightarrow \frac{\partial \zeta}{\partial t} < 0$
--	--	--

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

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

↑
point fixe.

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

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





Vent de l'ouest



(A)

(B)

(C)

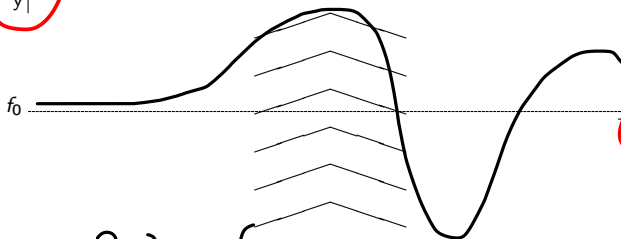
(D)

(E)

Est



f_0



Est

$$\frac{2w}{\partial p} = -\delta$$



pied des
montagnes.

Sea level Pressure (mb)

WXP analysis for 00Z 5 MAR 12

