

Plan de l'intervention

1. Portraits d'atmosphère
2. Les lois physiques qui régissent les mouvements atmosphériques
3. Les perturbations des moyennes latitudes
4. La convection

Les perturbations baroclines

- Introduction et illustrations
- Modèle simple d'onde de Rossby planétaire et d'échelle synoptique
- Le développement barocline des perturbations
- Etude d'une perturbation barocline

Quelques Images satellites

Le 31/12/2006 : 2 perturbations pour le réveillon !



Image composition colorée
le 31/12/2006 à 13h00

Le 19/06/2007 : belle perturbation abordant l'Europe



Image composition colorée le
19/06/2007 à 16h00

Le 10/10/2007 : perturbation tempétueuse

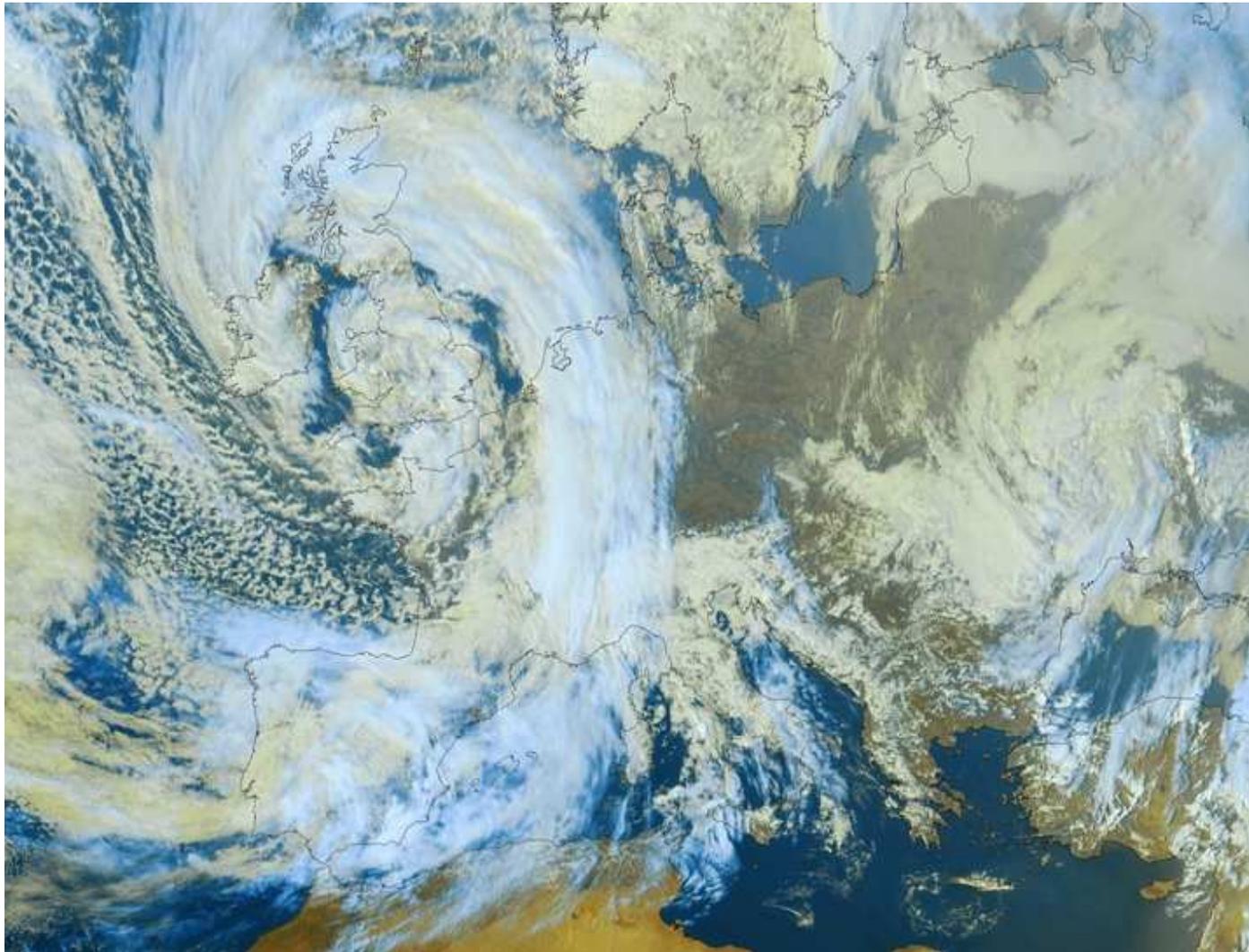
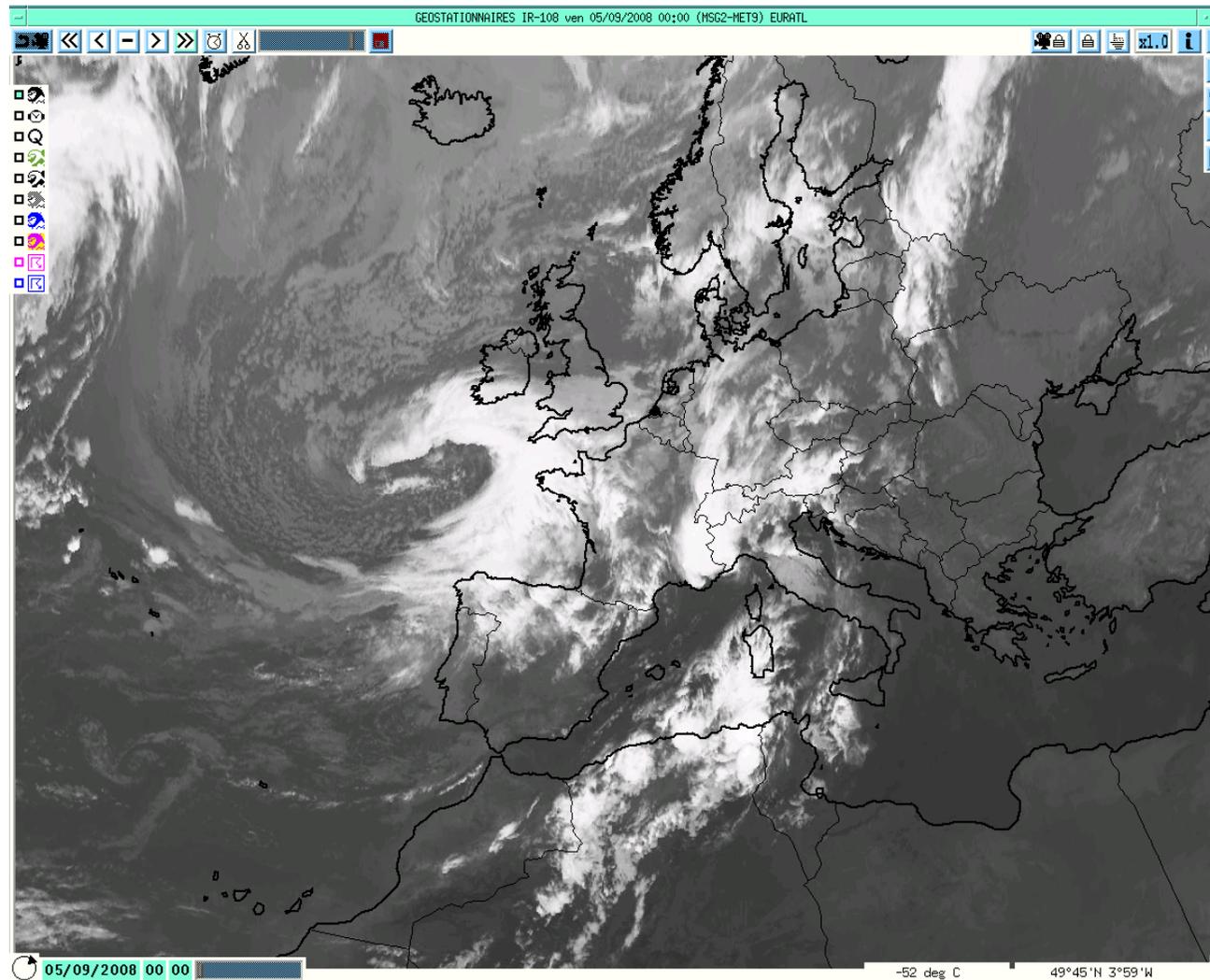


Image composition colorée
le 10/10/2007 à 16h00

Le 05/09/2008 : perturbation vers la France



Remarquer la rotation des nuages dans le sens inverse des aiguilles d'une montre

Animation d'images infra rouge le 05/09/2008 de 00 à 18 UTC

Le carburant des perturbations baroclines : Le courant jet

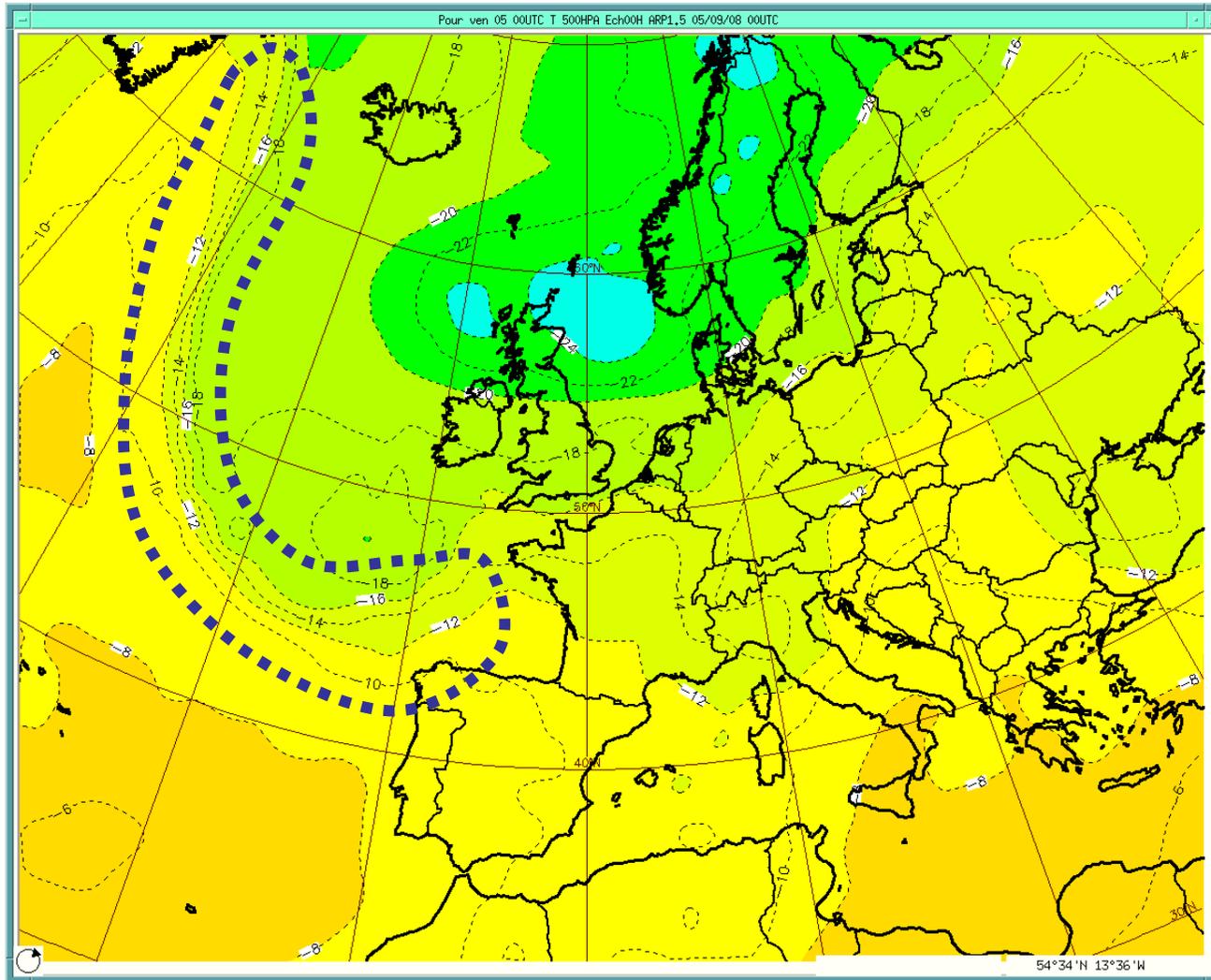
- Définition : le courant jet est un tube de vent fort que l'on retrouve au sommet de la troposphère (vers 10 km d'altitude), vers les moyennes latitudes
- Origine : sa vitesse est proportionnelle au contraste de température

Cf. relation du vent thermique :

$$\frac{\partial \vec{V}_g}{\partial z} = -\frac{g}{f \theta_0} \vec{k} \times \vec{\nabla}_h(\theta)$$

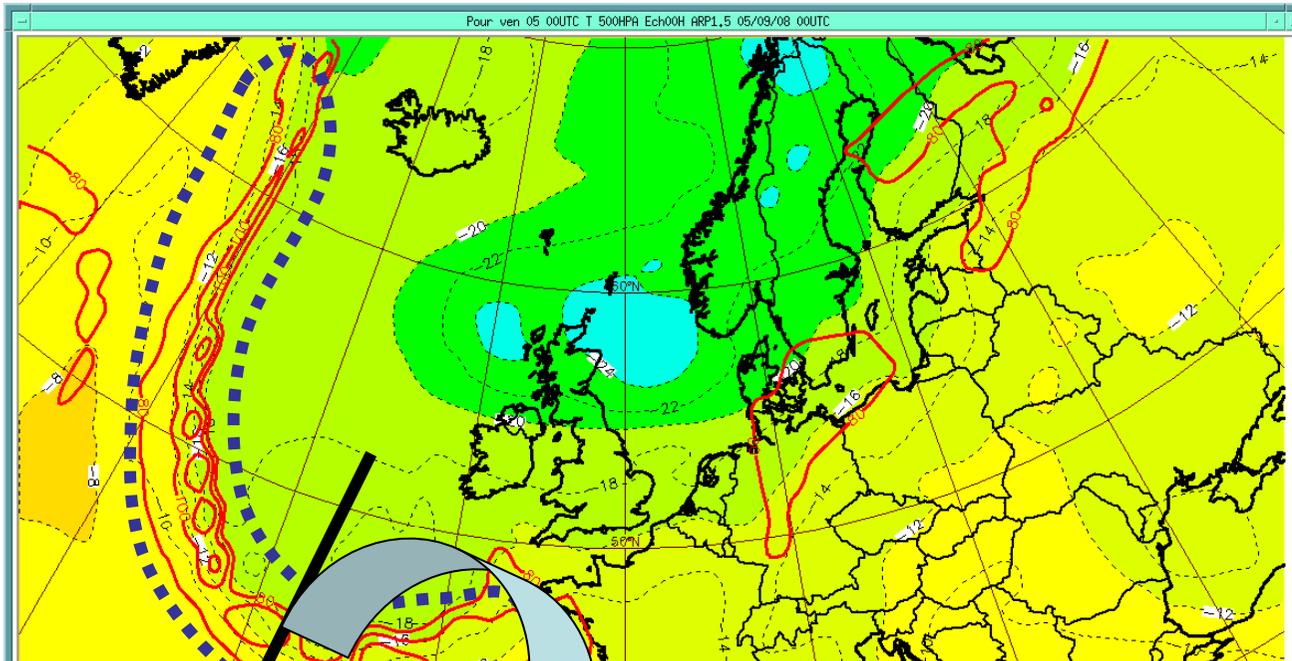
- Vitesse du vent : de l'ordre de 100 à 200 km/h. Il avait atteint 400 km/h lors des tempêtes de décembre 1999

Le courant jet : exemple



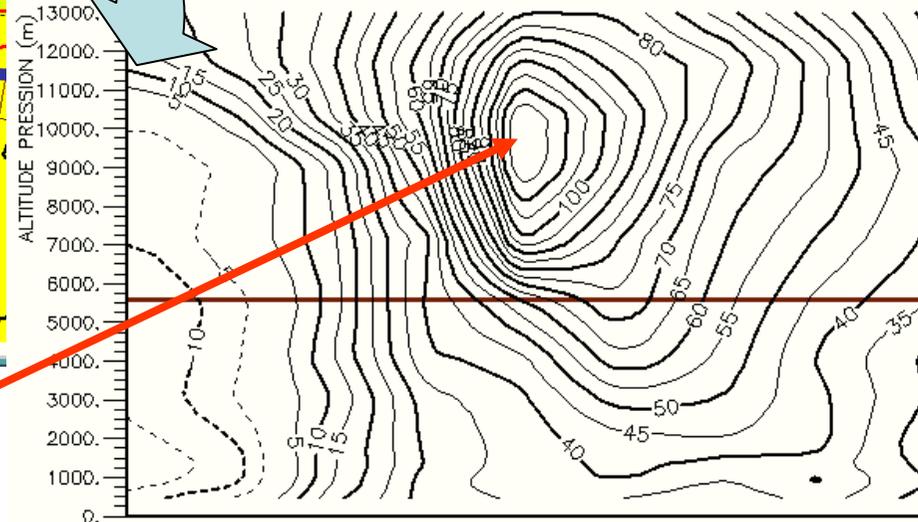
Température au milieu
de la troposphère :
remarquer la zone de
brusque variation
(en bleu)

Le courant jet : exemple



si on réalise une coupe
perpendiculaire...

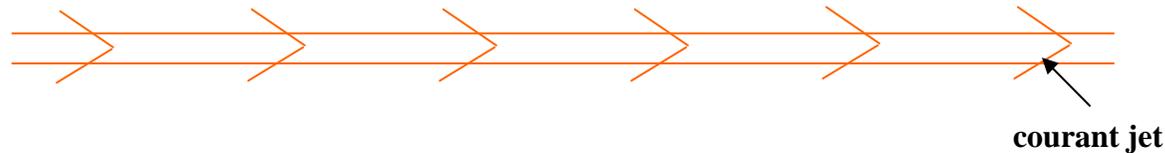
Le vent étant représenté
par ces isolignes d'égale
vitesse (isotaches), le jet
correspond effectivement
à tube de vent fort à
10 km d'altitude



Température au milieu
de la troposphère
(en couleurs)
+
Vent au sommet de la
troposphère de plus de
80 nœuds, soit 150 km/h
(isolignes rouges)

Remarquer la
correspondance entre le
maximum de vent
(présence d'un jet) et la
zone de brusque
variation de température
(en bleu)

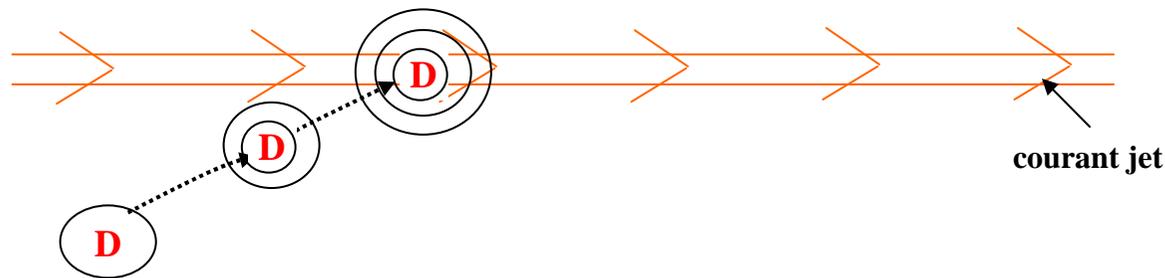
Comment se forme une dépression (1) ?



En simplifiant les mécanismes :

- Une dépression va généralement apparaître au niveau de la zone des forts contrastes thermiques, du côté droit du jet (là où est situé l'air chaud)
- Au fur et à mesure de son évolution, la dépression va se renforcer tout en se rapprochant du jet
- C'est lorsqu'elle passe du côté gauche du jet qu'elle est la plus creuse (elle peut quelquefois perdre 20 hPa en 24 heures)
- Puis, au fur et à mesure qu'elle s'éloigne du jet, la dépression va s'atténuer (se combler)

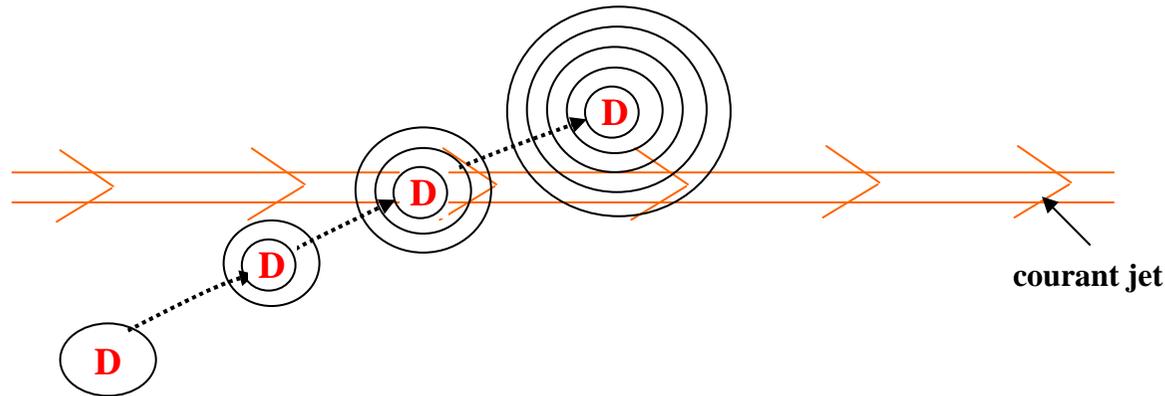
Comment se forme une dépression (2) ?



En simplifiant les mécanismes :

- Une dépression va généralement apparaître au niveau de la zone des forts contrastes thermiques, du côté droit du jet (là où est situé l'air chaud)
- Au fur et à mesure de son évolution, la dépression va se renforcer tout en se rapprochant du jet
- C'est lorsqu'elle passe du côté gauche du jet qu'elle est la plus creuse (elle peut quelquefois perdre 20 hPa en 24 heures)
- Puis, au fur et à mesure qu'elle s'éloigne du jet, la dépression va s'atténuer (se combler)

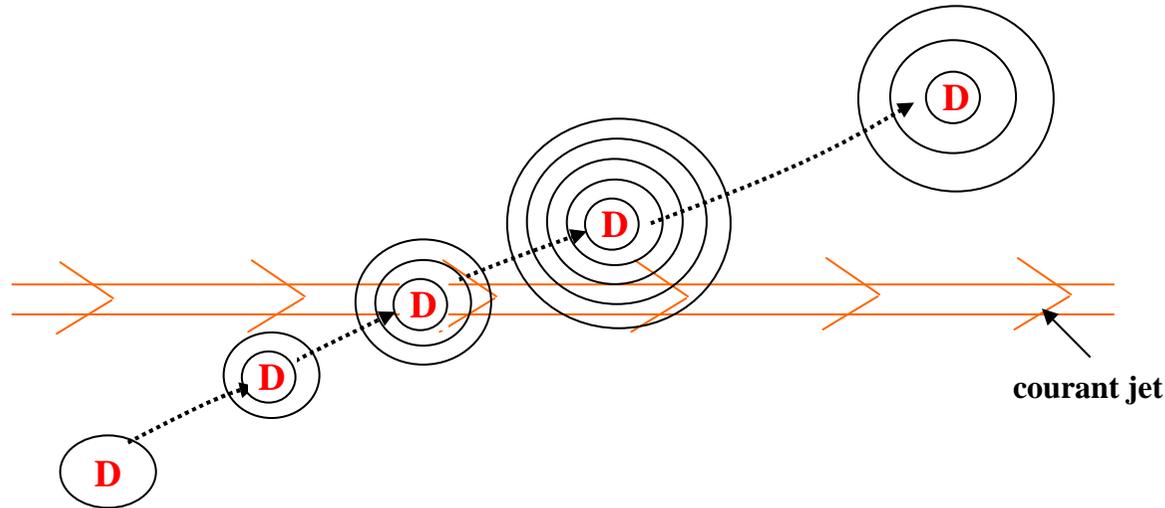
Comment se forme une dépression (3) ?



En simplifiant les mécanismes :

- Une dépression va généralement apparaître au niveau de la zone des forts contrastes thermiques, du côté droit du jet (là où est situé l'air chaud)
- Au fur et à mesure de son évolution, la dépression va se renforcer tout en se rapprochant du jet
- C'est lorsqu'elle passe du côté gauche du jet qu'elle est la plus creuse (elle peut quelquefois perdre 20 hPa en 24 heures)
- Puis, au fur et à mesure qu'elle s'éloigne du jet, la dépression va s'atténuer (se combler)

Comment se forme une dépression (4) ?



En simplifiant les mécanismes :

- Une dépression va généralement apparaître au niveau de la zone des forts contrastes thermiques, du côté droit du jet (là où est situé l'air chaud)
- Au fur et à mesure de son évolution, la dépression va se renforcer tout en se rapprochant du jet
- C'est lorsqu'elle passe du côté gauche du jet qu'elle est la plus creuse (elle peut quelquefois perdre 20 hPa en 24 heures)
- Puis, au fur et à mesure qu'elle s'éloigne du jet, la dépression va s'atténuer (se combler)

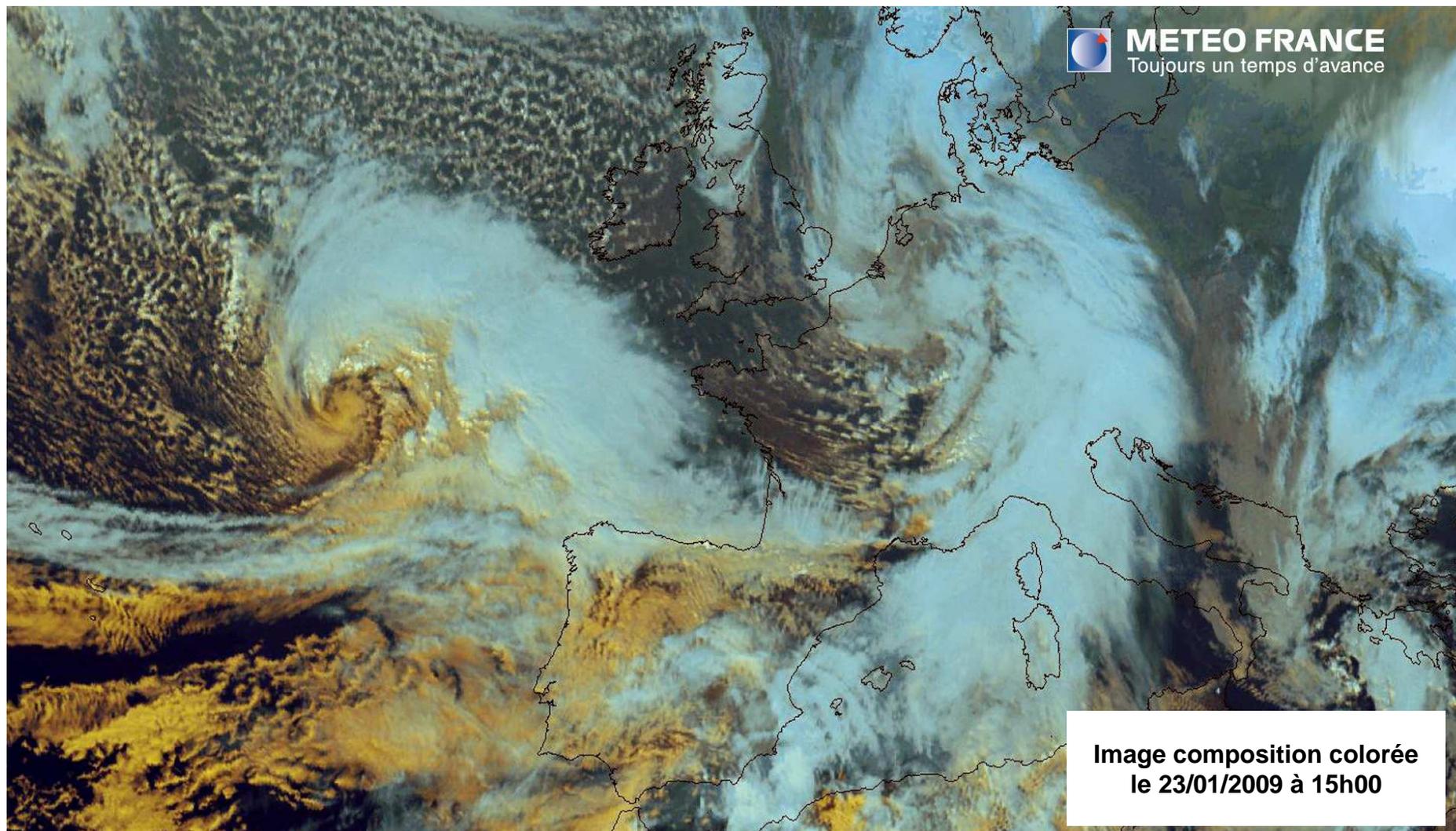
Comment se forme une dépression ?

L'intensité maximale de la dépression dépendra, entre autres :

- Du contraste de température (et donc de la vitesse du jet)
- De la position de la dépression par rapport au jet
- Des fluctuations du jet (en position et en intensité)
- Des frottements au sol (mer, continent, relief...)

Exemple de la tempête Klaus du 24 janvier 2009

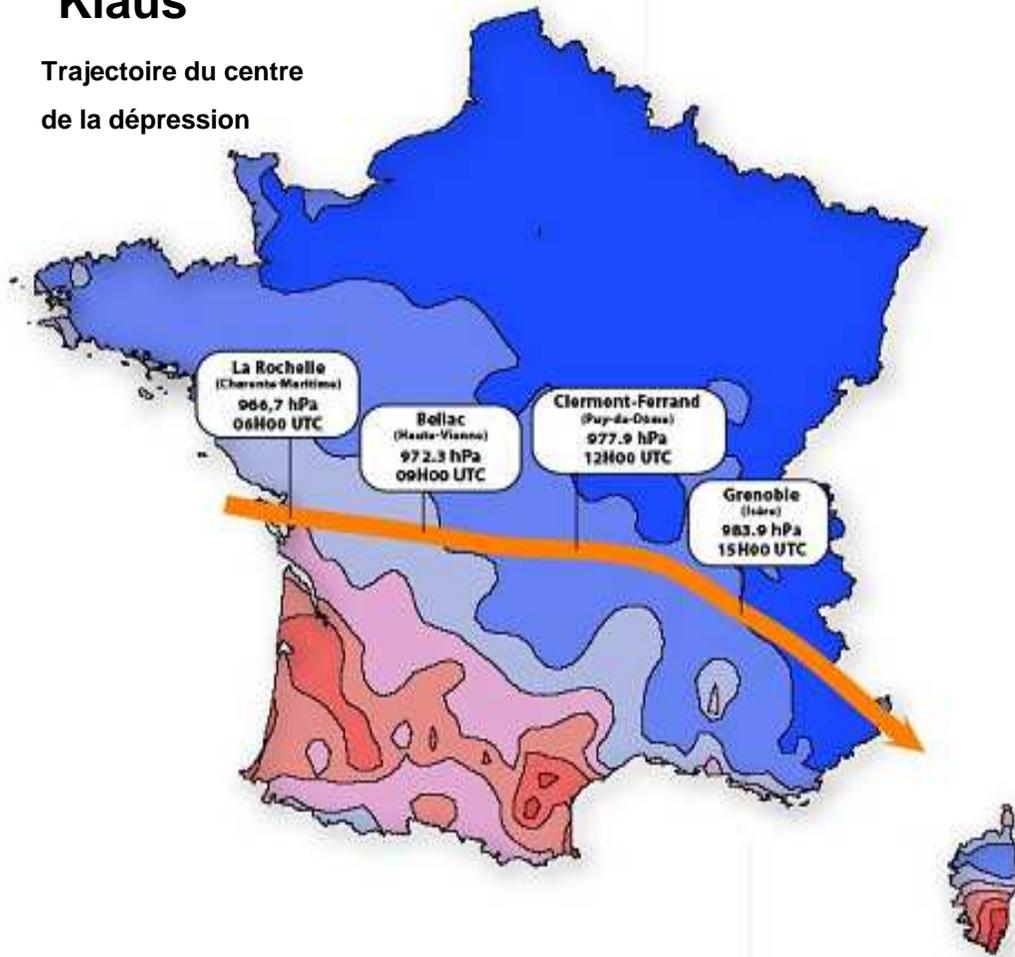
Le 23/01/2009 à 15h00 : la tempête Klaus se prépare à aborder la France



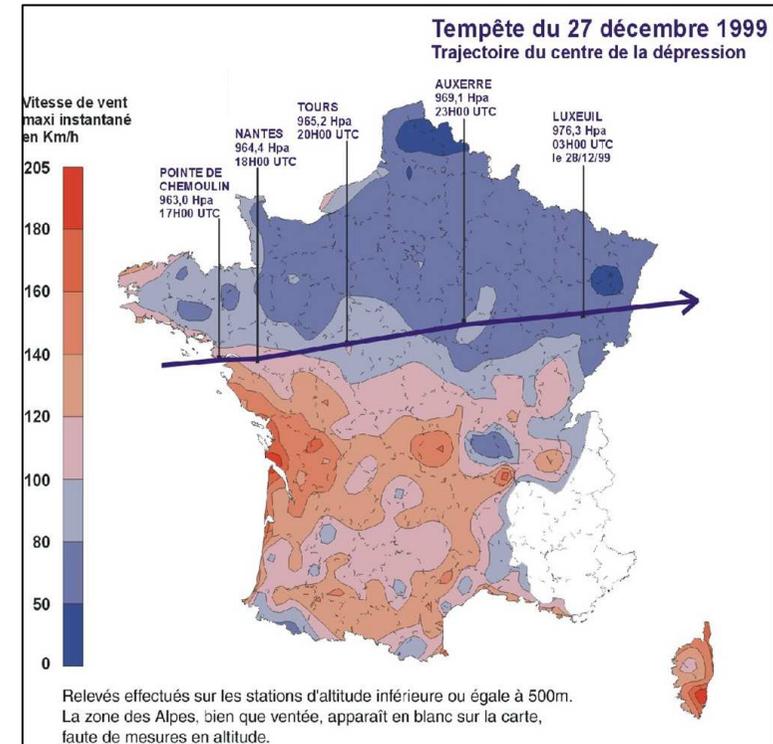
Trajectoire et chronologie

Klaus

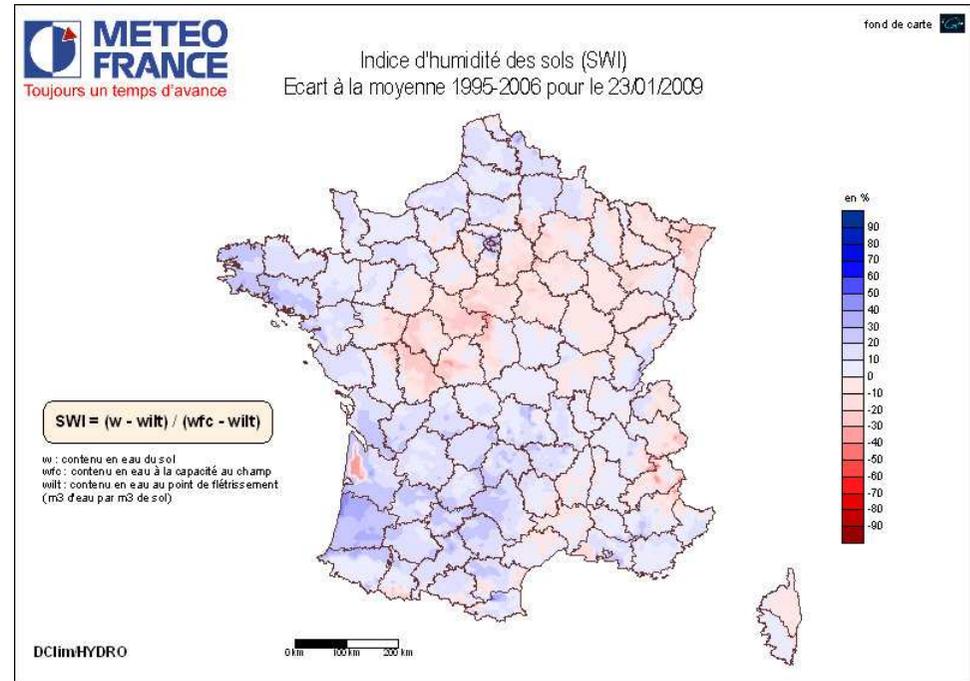
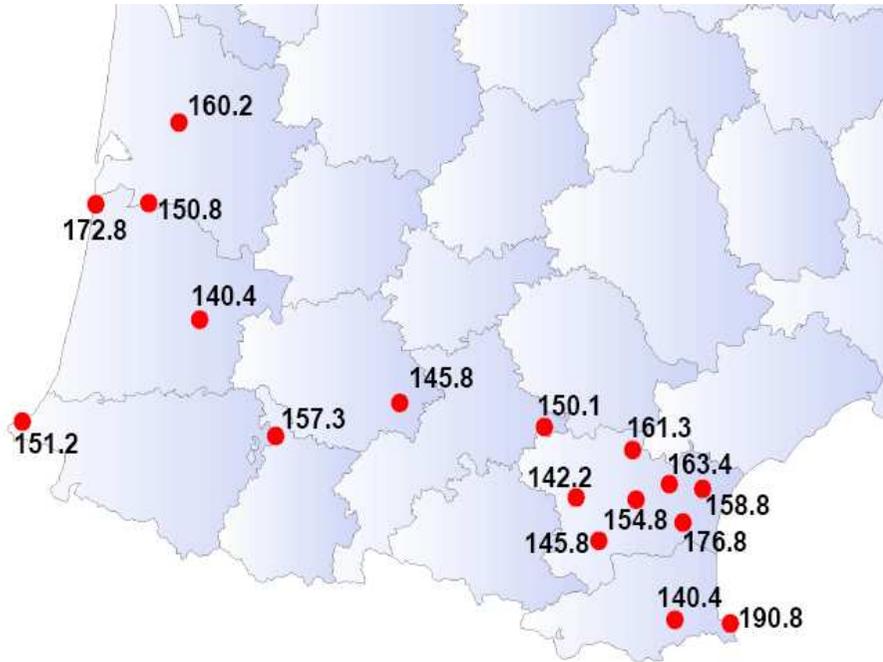
Trajectoire du centre de la dépression de la dépression



Martin

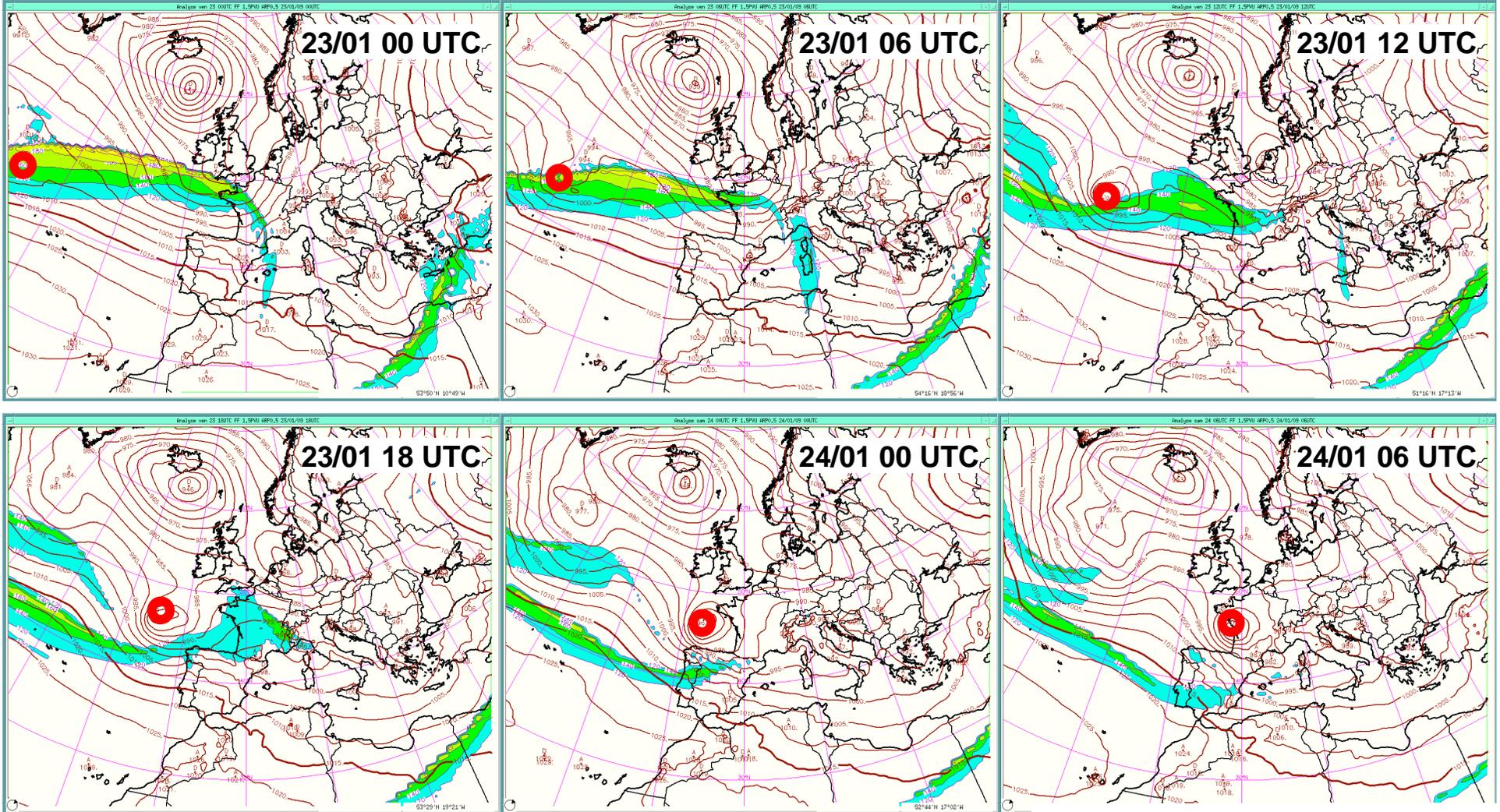


Rafales de vent et précipitations



Rafales exceptionnelles et sols largement saturés...

Retour sur l'interaction avec le courant-jet



Le 23 janvier à 00 UTC : Klaus (966 mb) a été très
 puissant, mais s'est affaibli et se déplace vers l'est
 (974 mb) à 06 UTC. Le 24 janvier à 00 UTC, Klaus
 est à 974 mb et se déplace vers l'est (974 mb) à 06 UTC.

Pression et position du courant jet



Les perturbations baroclines

- Introduction et illustrations
- Modèle simple d'onde de Rossby planétaire et d'échelle synoptique
- Le développement barocline des perturbations
- Etude d'une perturbation barocline

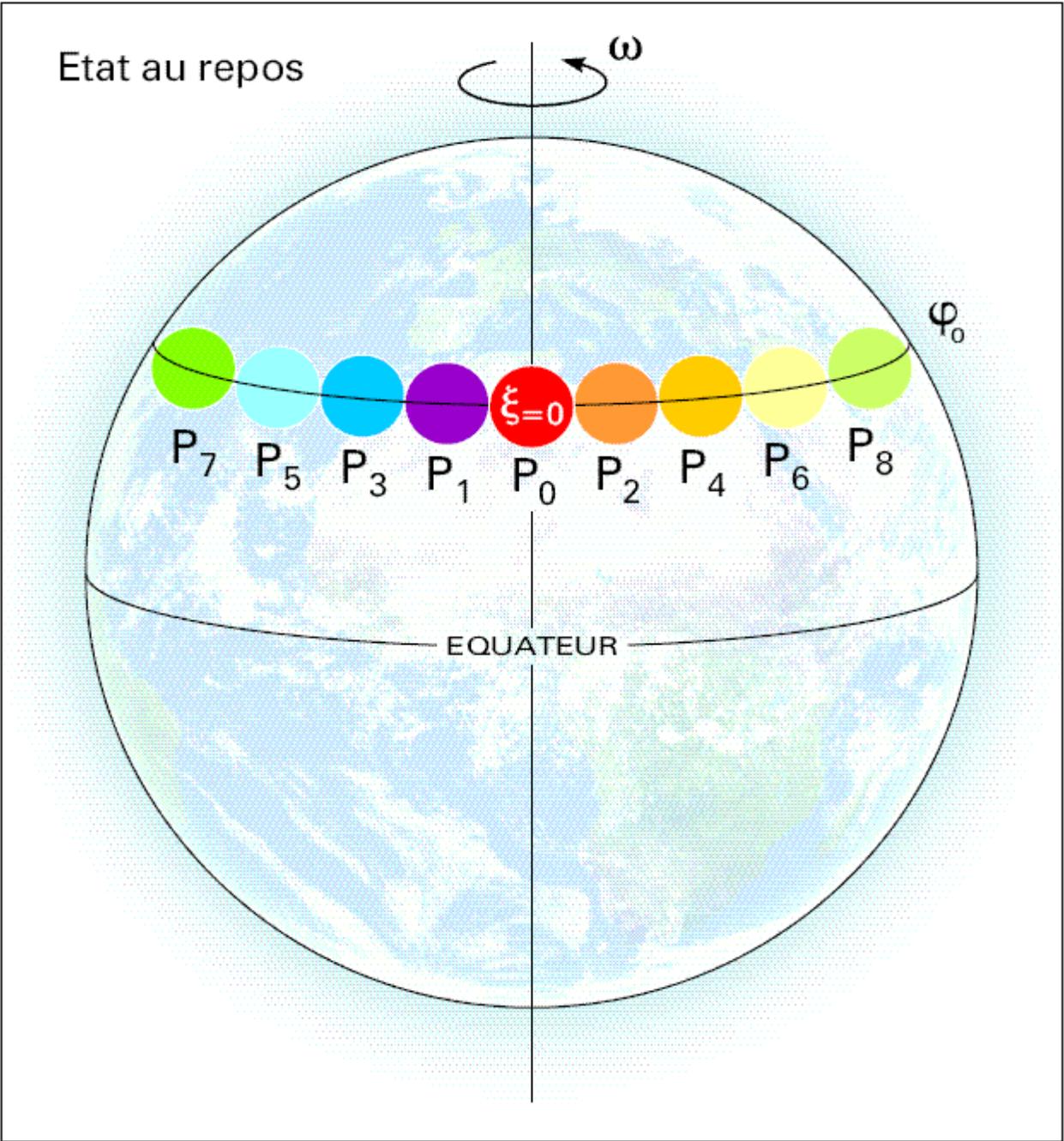
Modèle simple d'ondes de Rossby planétaires

Ces ondes ont une signature en tourbillon: les minima de pression (de géopotentiel) sont associés à des maxima de tourbillon et les maxima de pression (de géopotentiel) à des minima de tourbillon.

Comment une onde de tourbillon de grande échelle peut se propager dans un contexte idéalisé tel que les particules conservent leur tourbillon absolu?

Intéressons-nous à un ensemble de particules initialement au repos à une latitude φ_0



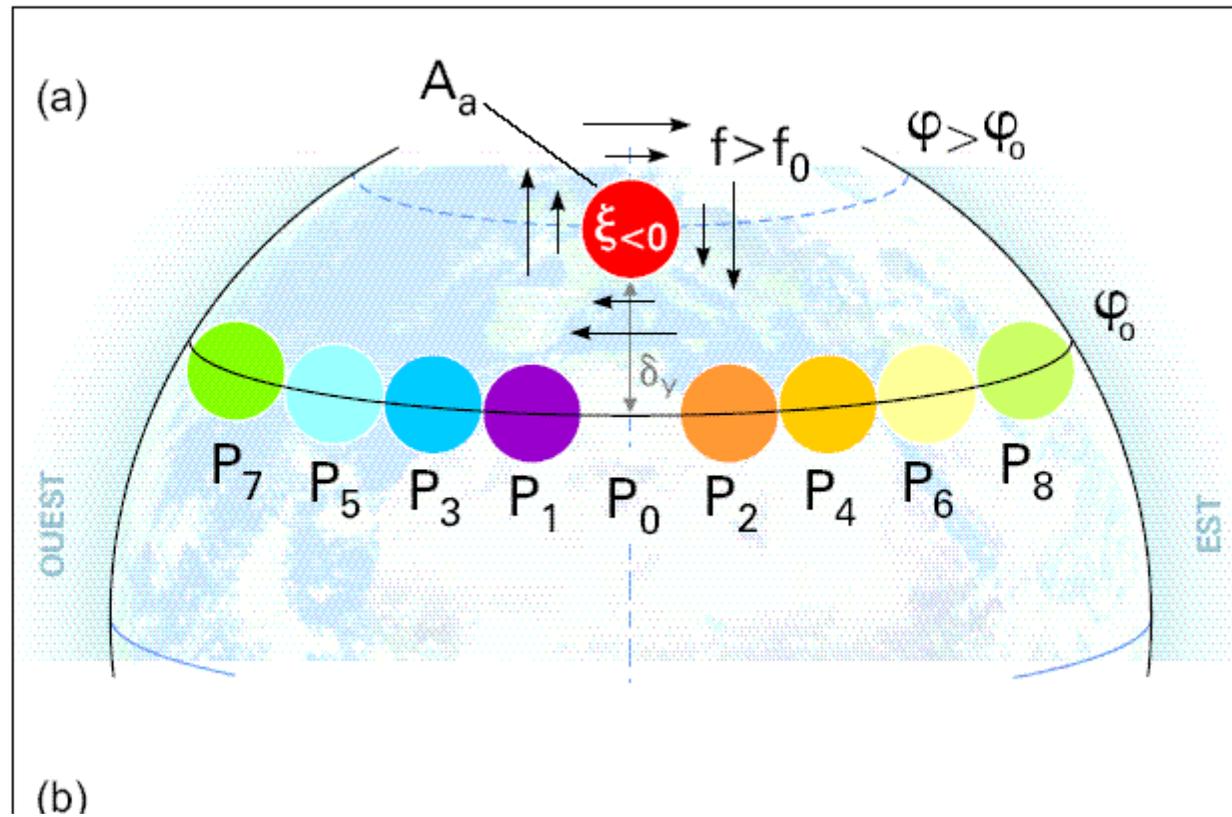


Supposons que la particule P0 subit un petit déplacement méridien vers le pôle. Le tourbillon planétaire f associé à la particule augmente avec la latitude. Donc, comme le tourbillon absolu est conservé par P0 (par hypothèse), le tourbillon relatif diminue et devient négatif:

$$\xi_a(t) = f(t) + \xi(t) = \xi_a(t_0) = f_0$$

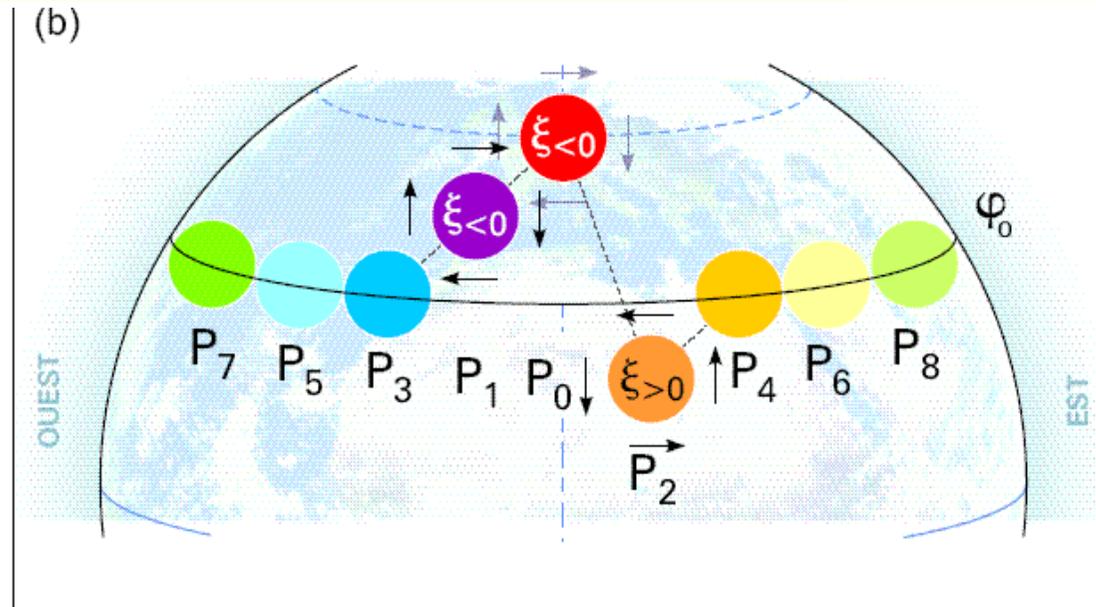
$$\xi(t) = f_0 - f(t) < 0$$

Au voisinage de P0, le tourbillon relatif négatif se traduit par un gradient zonal de vent méridien tel que P1 a une vitesse dirigée vers le nord par rapport à P0 et P2 une vitesse dirigée vers le sud.



(b)

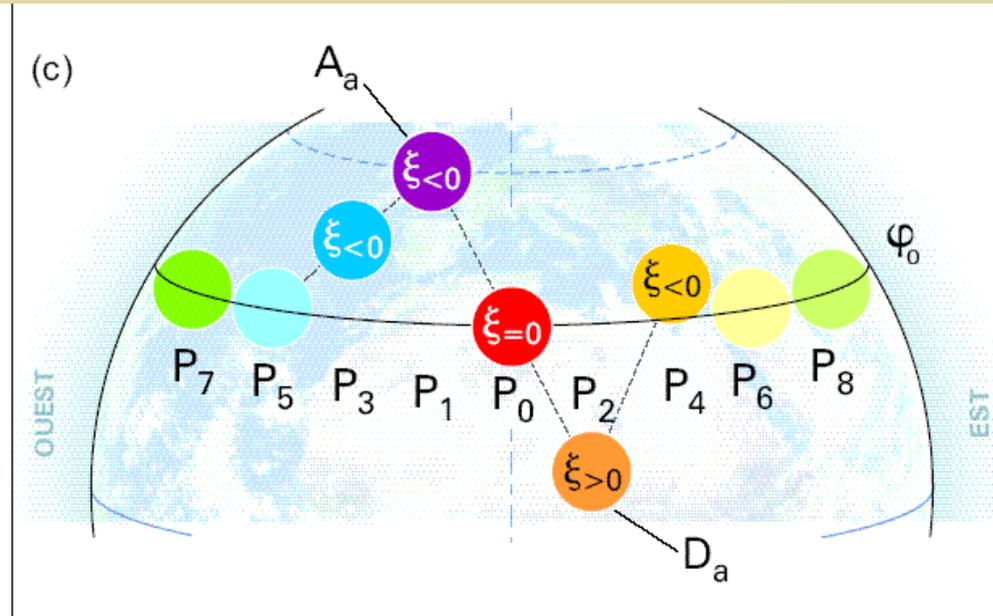
Propagation d'une perturbation, vitesse de phase



Lors du décalage de P_1 vers le nord sous l'effet du cisaillement de vent au voisinage de P_0 , P_1 acquiert un tourbillon relatif négatif. Donc P_3 est à son tour accélérée vers le pôle. Chaque particule contamine ainsi sa voisine plus à l'ouest. Le décalage vers le nord subi par P_0 se propage de proche en proche vers l'ouest (avec le minimum de tourbillon relatif).

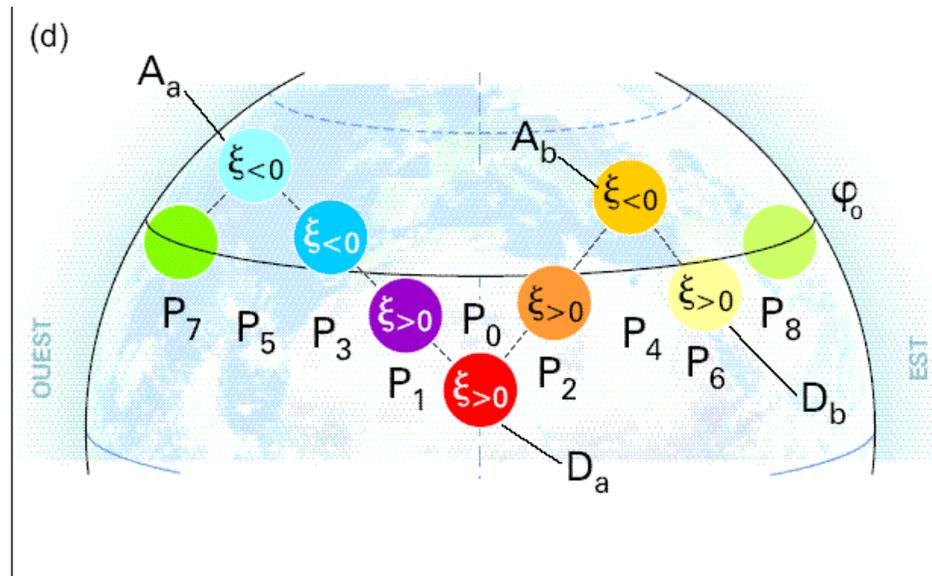
Propagation d'une onde de Rossby planétaire

Oscillation méridienne



- Le décalage de P1 vers le pôle se traduit par un cisaillement de vent tel que le vent ramène P0 vers sa position initiale avec une vitesse dirigée vers le sud. P0 continue son chemin vers l'équateur et son tourbillon relatif devient positif. La distribution de vent associée au tourbillon + de P0 ramène P1 vers sa position d'équilibre qu'elle dépasse (tourbillon relatif +); sous l'influence du vent associé au tourbillon + de P1, P0 revient vers sa position d'équilibre... Les particules oscillent autour de la latitude

Dispersion de l'énergie, vitesse de groupe



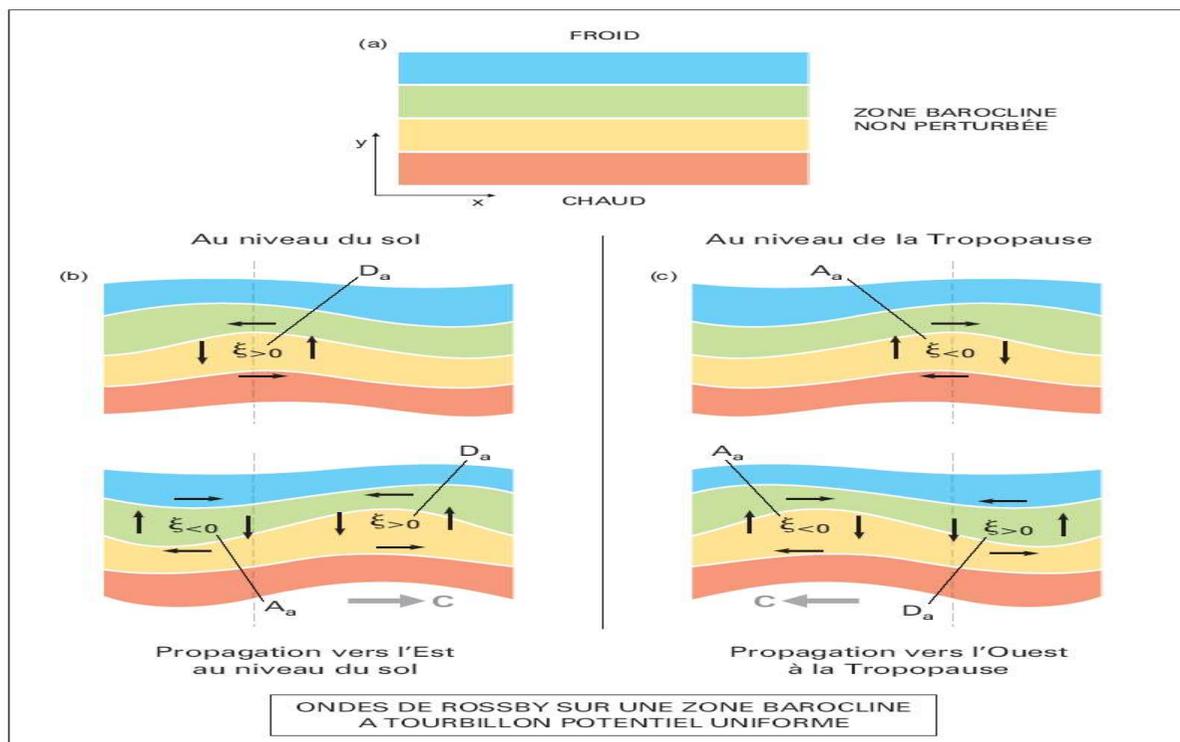
- A l'est de P_0 , lorsque P_0 est déplacée vers le nord, la particule P_2 est accélérée vers le sud, P_4 vers le nord, P_6 vers le sud...
- Ces nouveaux maxi/mini de tourbillon à l'est de P_0 traduit la dispersion de l'énergie de la perturbation initiale. Vitesse de propagation de l'énergie = vitesse de groupe.

Les perturbations baroclines

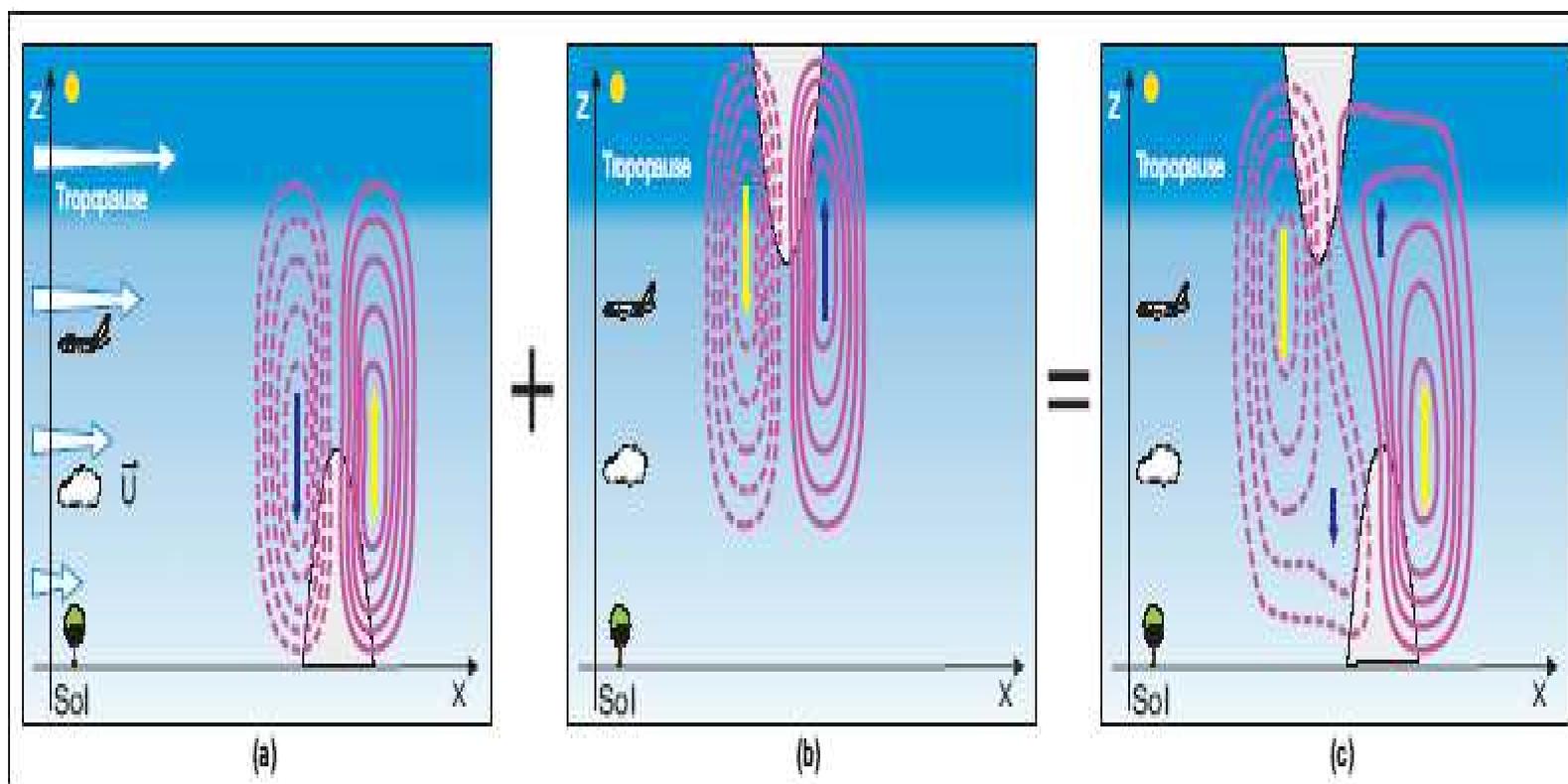
- Introduction et illustrations
- Modèle simple d'onde de Rossby planétaire et d'échelle synoptique
- Le développement barocline des perturbations
- Etude d'une perturbation barocline

Le développement barocline des perturbations

- En première approche, à l'échelle synoptique, la troposphère des moyennes latitudes se comporte comme si le tourbillon potentiel était uniforme
- Des ondes de Rossby peuvent néanmoins s'y propager
- En effet, dans une zone barocline de l'HN, le déplacement quasi-horizontale d'une particule vers le Nord est à l'origine d'une ondulation chaude, un déplacement vers le sud d'une ondulation froide



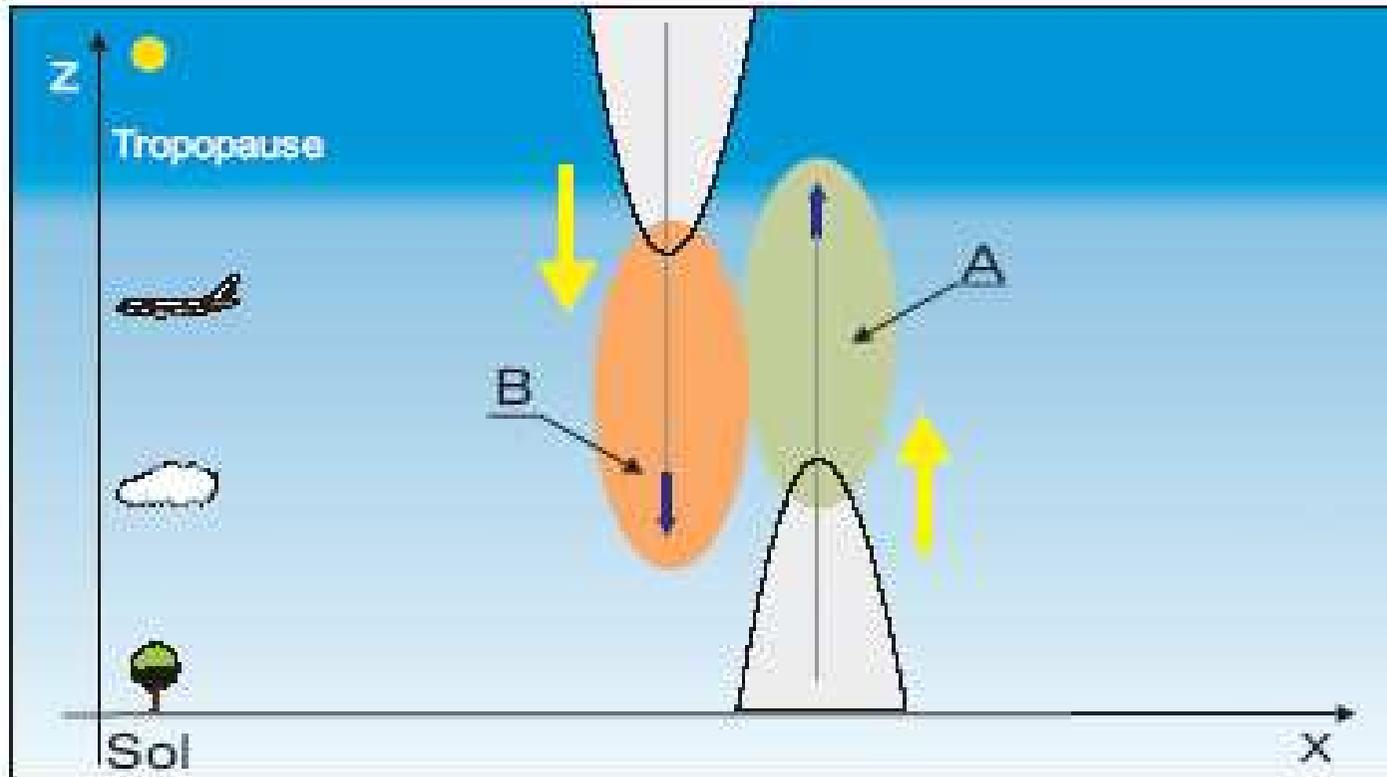
Vitesses verticales induites par des ondes de Rossby synoptiques



Le mécanisme de développement barocline

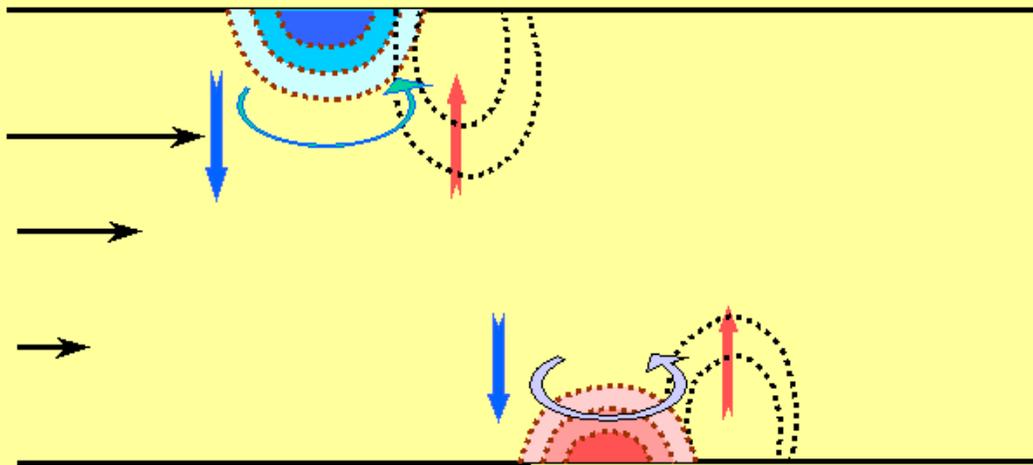
- Interaction entre deux ondes de Rossby synoptiques, l'une près du sol, l'autre près de la tropopause.
- Rétroaction positive: la croissance barocline
- Rétroaction négative: la mort barocline

Rétroaction positive: la croissance barocline

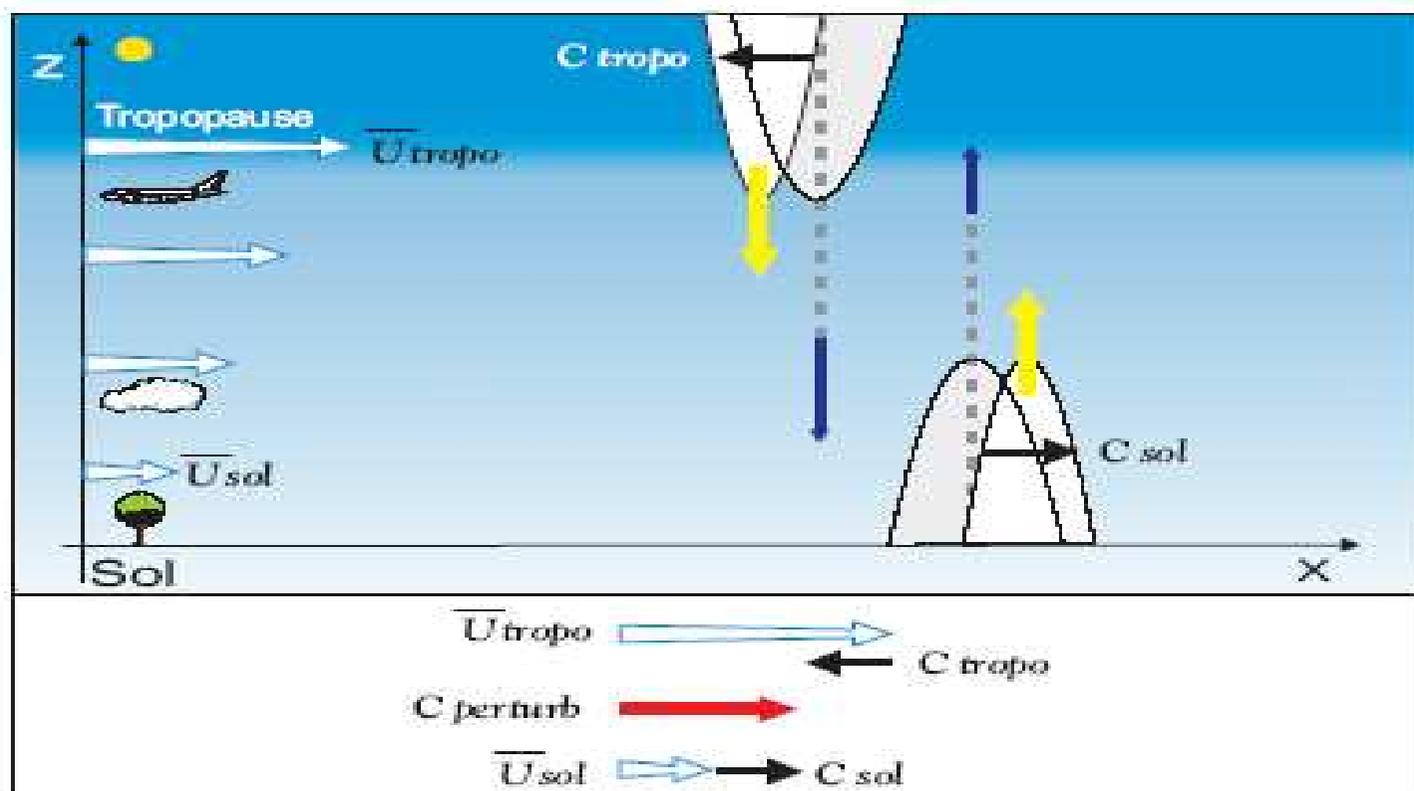


Rétroaction positive: la croissance barocline

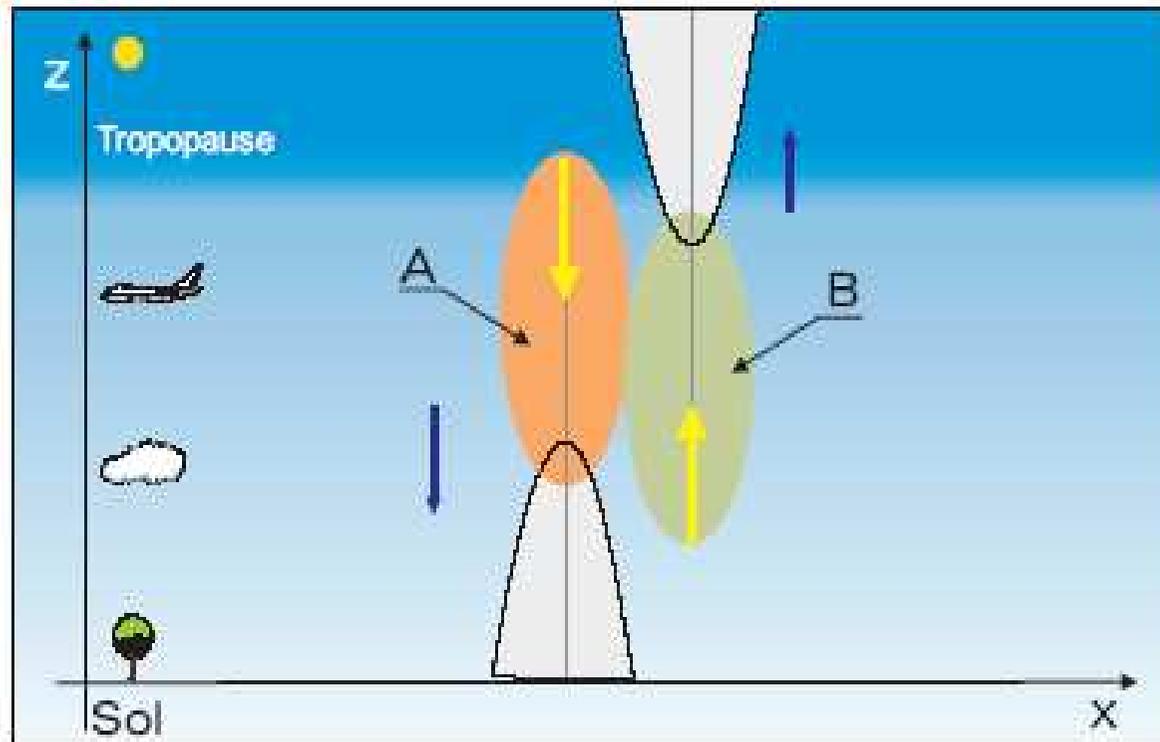
La cyclogénèse résulte de l'**interaction**
entre anomalies d'**altitude** et de **basse**
couche



Condition de verrouillage entre l'onde d'altitude et l'onde surface



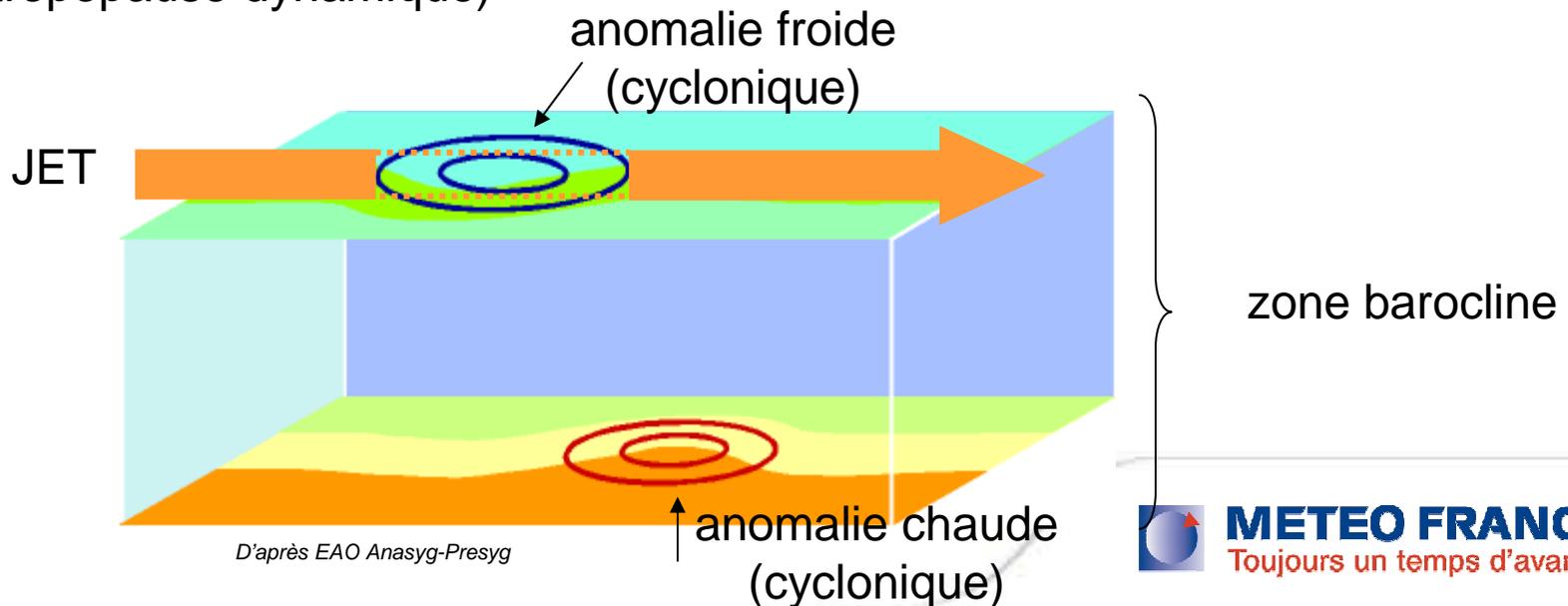
Rétroaction négative: la mort barocline



Cyclogénèse (ou interaction barocline)

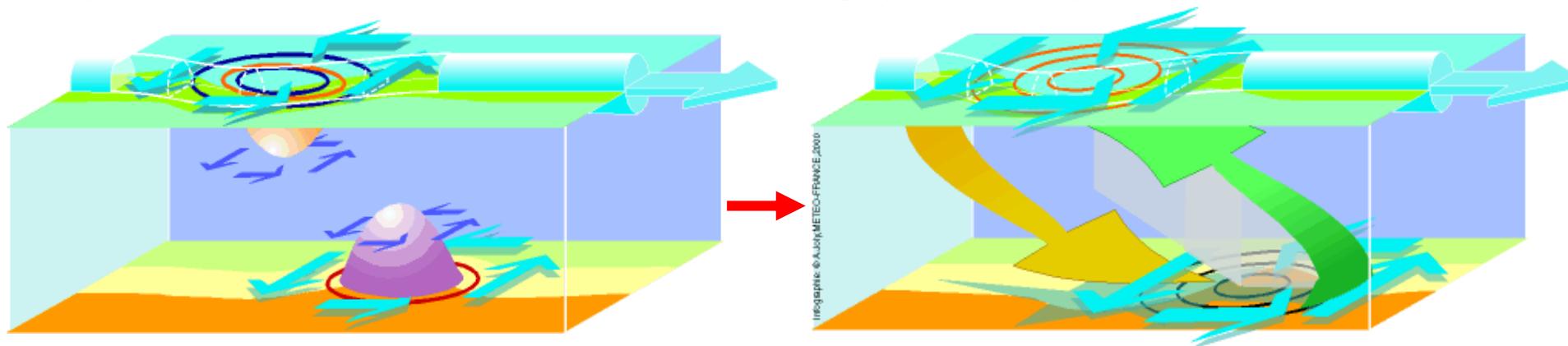
Les trois acteurs de l'interaction barocline sont les suivants :

- une zone barocline qui se manifeste par son gradient de température méridien et le courant-jet nécessairement associé
- une anomalie chaude dans les basses couches (correspondant à une petite dépression relative)
- une anomalie froide à la tropopause, située en amont de l'anomalie chaude de basses couches (correspondant à une anomalie de bas géopotentiel de la tropopause dynamique)



Cyclogénèse (ou interaction barocline)

La mise en phase des anomalies d'altitude et de surface va entraîner une rétroaction positive entre chacune des structures. Les perturbations vont donc se renforcer (anomalies d'altitude et de surface, courant jet). La cyclogénèse intervient donc.



A noter :

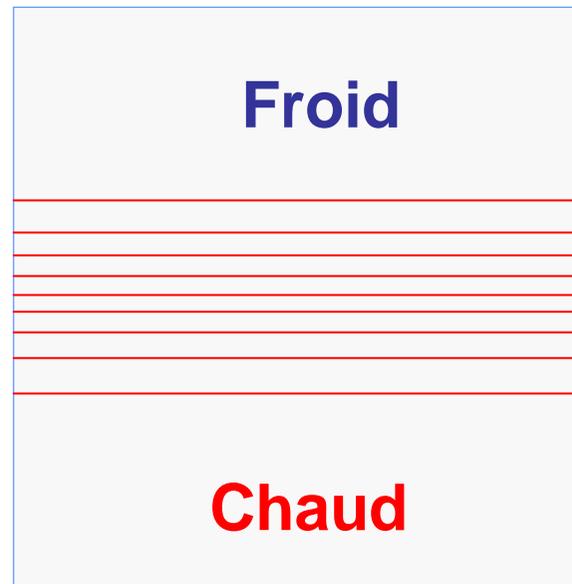
EAO Anasyg-Presyg

EAO Anasyg-Presyg

- **L'amplification dépend avant tout de la différence de phase le long du courant-jet, entre l'anomalie d'altitude et l'anomalie de surface. L'anomalie d'altitude doit être en amont de celle de surface.**
- L'interaction avec la haute altitude est indispensable pour générer des dépressions telles que nous connaissons.
- De nombreux autres facteurs jouent un rôle dans l'explication des scénarios de la cyclogenèse et de ses diverses modalités : les amplitudes et les phases initiales, les échelles spatiales, la distance entre anomalies, etc...

Introduction : frontogénèse

Le chauffage différentiel et la circulation générale induisent des zones de contraste thermique modéré,



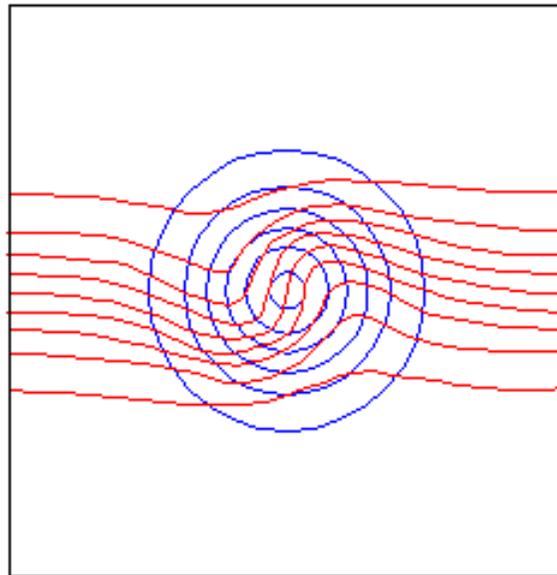
**Isothermes
en rouge**

EAO Anasyg-Presyg

Introduction : frontogénèse

Si on introduit un mouvement cyclonique (en bleu), alors

**Mouvement
cyclonique en bleu**



**Isothermes
en rouge**

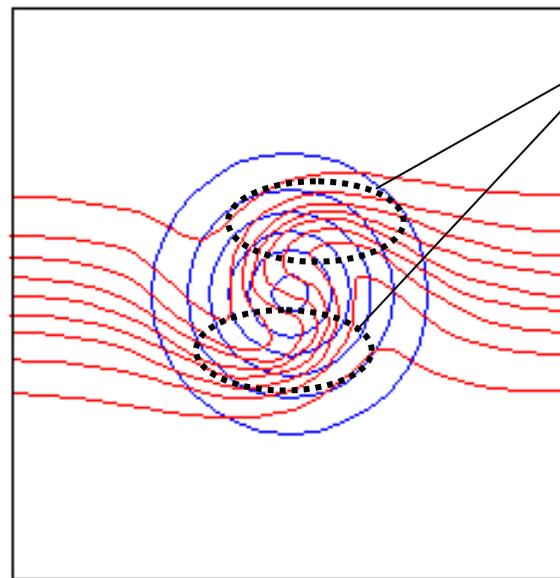
EAO Anasyg-Presyg

**Les isothermes pivotent
Elles se resserrent ou se desserrent suivant le quadrant**

Introduction : frontogénèse

Au NW et au SE de la dépression, le gradient thermique diminue
AU SW et au NE, le gradient thermique s'accroît

**Mouvement
cyclonique en bleu**



Augmentation du
gradient

**Isothermes
en rouge**

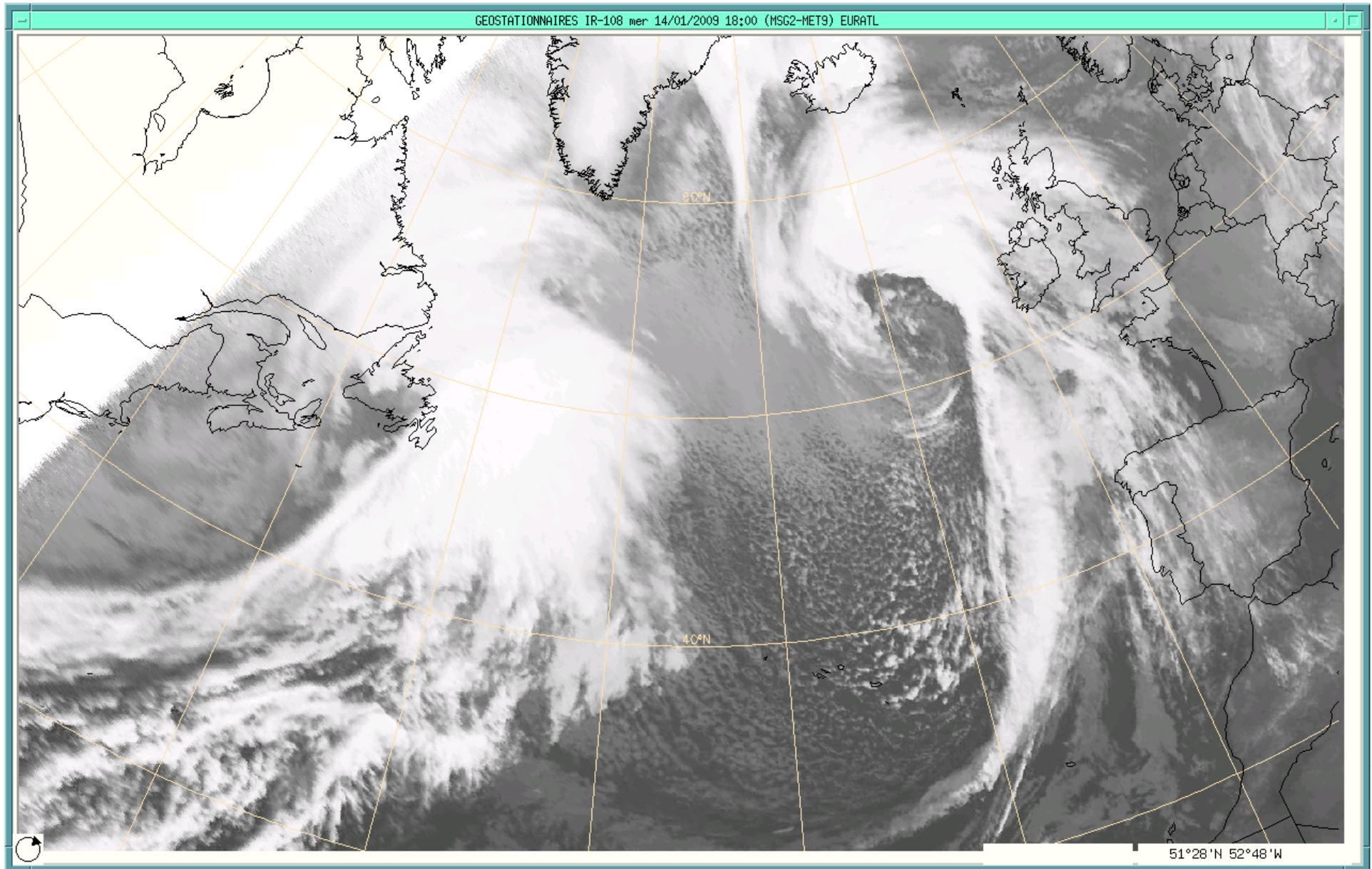
D'après EAO Anasyg-Presyg

Ainsi, la cyclogénèse précède la frontogénèse.

Les perturbations baroclines

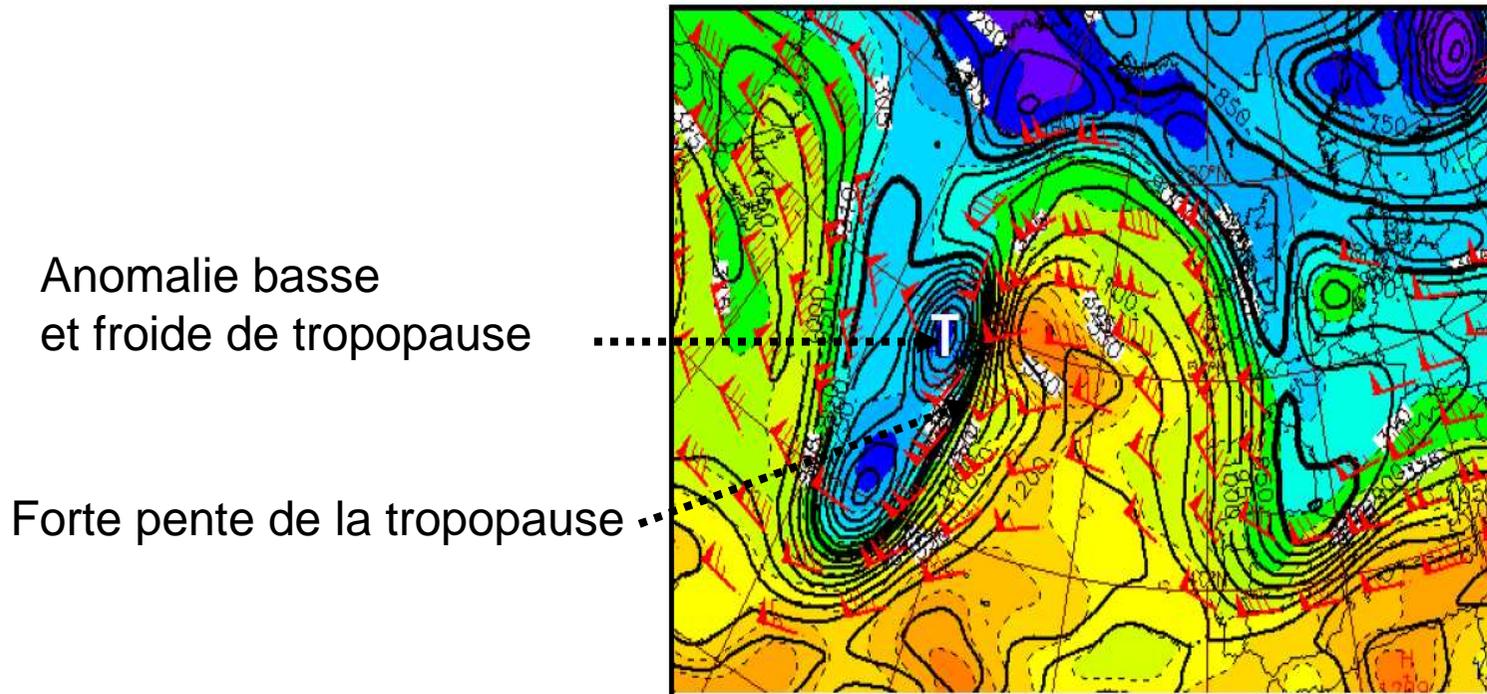
- Introduction et illustrations
- Modèle simple d'onde de Rossby planétaire et d'échelle synoptique
- Le développement barocline des perturbations
- Etude d'une perturbation barocline

Exemple de perturbation barocline



signature de la perturbation barocline en altitude

correspond à une anomalie de basse tropopause que l'on peut diagnostiquer notamment sur le champ $Z = 2$ PVU qui correspond à l'altitude à laquelle on trouve une valeur de 2 unités pour le tourbillon potentiel (valeur caractéristique de la tropopause dynamique)



Isolignes noires : altitude de la 2 PVU

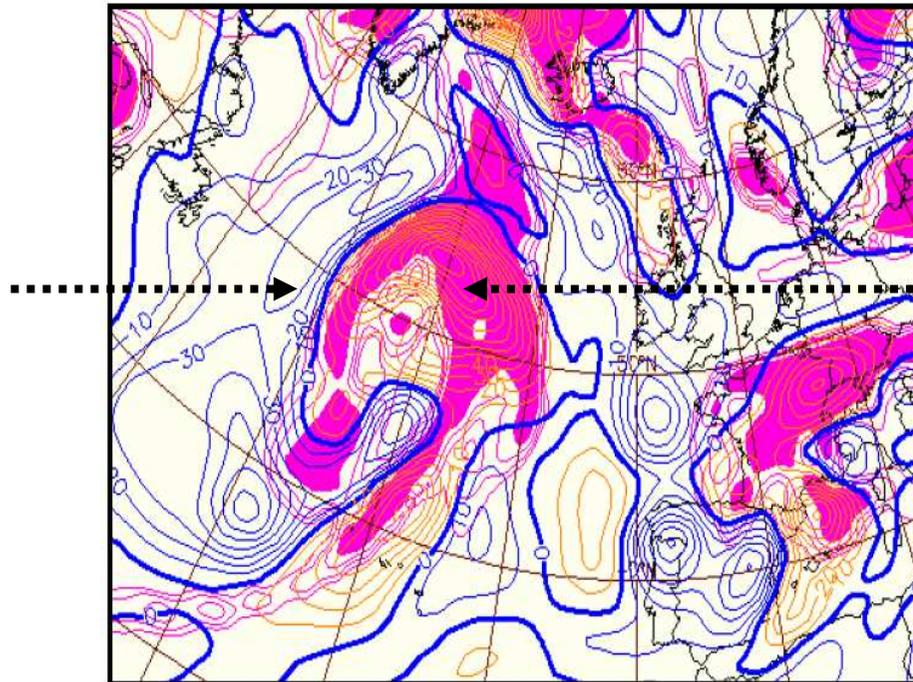
Flèches rouges : vent au niveau de la surface 2 PVU

Couleur : température au niveau de la surface 2 PVU

signature de la perturbation en moyenne tropopause

Ascendances maximales en moyenne troposphère et fortes humidités relatives

Subsidence
dans la traîne



Fortes ascendances et
humidité relative dans le
secteur chaud

Magenta : humidité relative à 700 hPa
Bleu/orange : vitesse verticale à 700 hPa
(subsidence en bleu/ascendance en orange)

Coupe verticale d'une perturbation barocline en phase de développement

L'intensité maximale de la perturbation est visible près du sol et au niveau de la tropopause

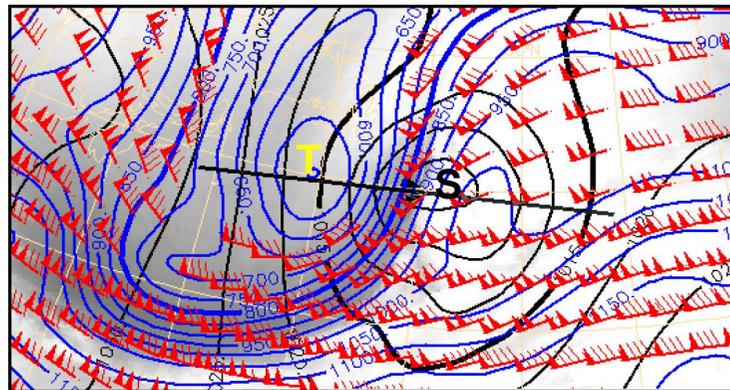
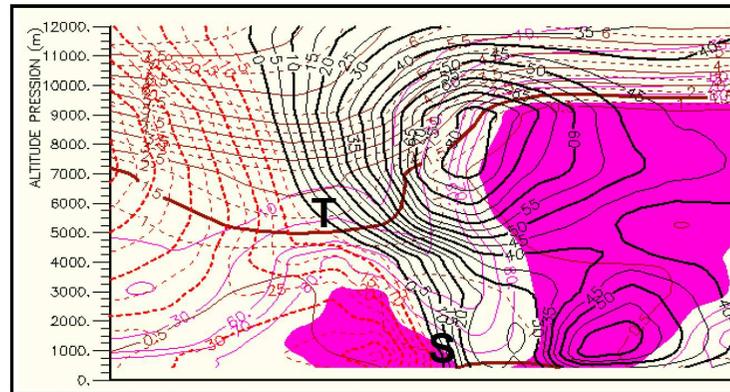


Image vapeur d'eau

Isolignes noires : Pmer
Isoligne bleu : Z1.5 PVU
Flèches : vent sur la 1.5 PVU



Coupe verticale
perpendiculaire à l'axe de coupe

Isolignes noires : vent « rentrant » et normal à la coupe
Isolignes pointillées rouges : Vent « sortant » et normal à la coupe
Magenta : humidité relative (renforcé si > 70%)
Marron : tourbillon potentiel, (renforcé =1.5 PVU)

Dans la phase de développement de la perturbation, la zone de basse tropopause est décalée vers l'Ouest par rapport à la zone dépressionnaire de basses couches

Coupe verticale d'une perturbation barocline en phase mature

L'intensité maximale de la perturbation est visible près du sol et au niveau de la tropopause

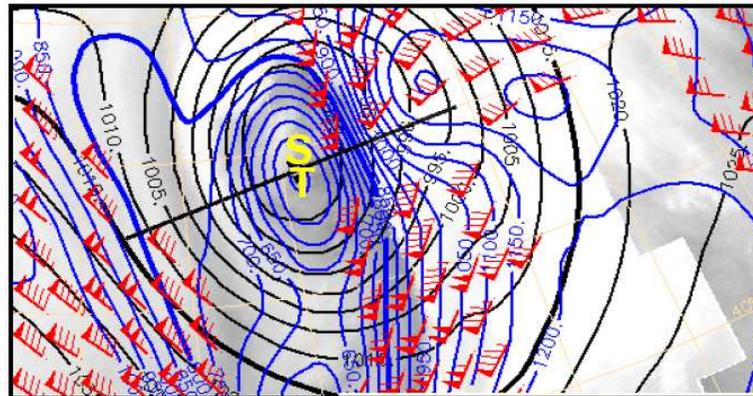
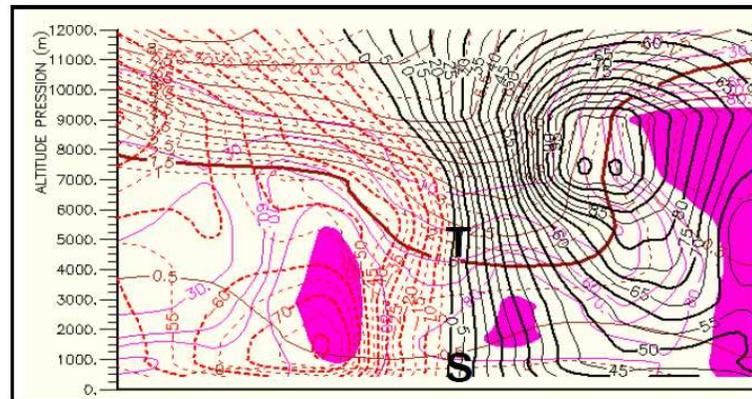


Image vapeur d'eau

Isolignes noires : Pmer
Isoligne bleu : Z1.5 PVU
Flèches : vent sur la 1.5 PVU



Coupe verticale perpendiculaire à l'axe de coupe

Isolignes noires : vent « rentrant » et normal à la coupe
Isolignes pointillées rouges : Vent « sortant » et normal à la coupe
Magenta : humidité relative (renforcé si > 70%)
Marron : tourbillon potentiel, (renforcé =1.5 PVU)

Dans la phase mature, la dépression de surface et l'anomalie de basse tropopause sont l'une au dessus de l'autre