



Introduction à la Météorologie SCA2611

Table des matières

11. Les tempêtes

a) aux latitudes moyennes (complément de la section 10)

- Cyclogenèse
- Les différentes étapes d'une onde cyclonique
- Régions favorables à la cyclogenèse en Amérique du nord
- Écoulement en altitude
 - Le courant-jet à 300 hPa
 - Les ondes de Rossby
 - L'advection de température à 500 hPa

Introduction à la Météorologie

SCA2611

Table des matières

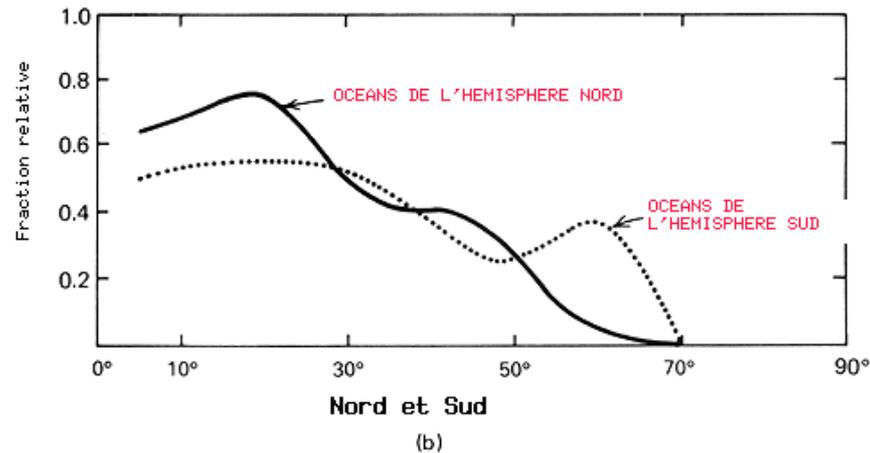
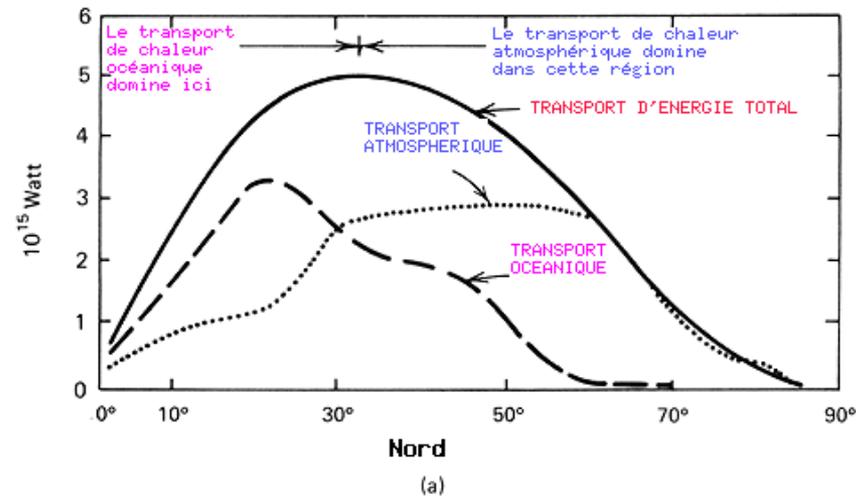
b) aux latitudes tropicales (ouragans)

- Les tempêtes et cyclones tropicaux
- Le développement des cyclones tropicaux
 - La température de la surface de la mer
 - Les perturbations dans l'écoulement
- La morphologie des cyclones tropicaux
- Les trajectoires des cyclones tropicaux
 - Leurs noms
- L'intensité des cyclones tropicaux
 - L'échelle de Saffir-Simpson
- Dissipation des cyclones tropicaux

Nos tempêtes aux latitudes moyennes

Transport de chaleur océanique et atmosphérique

- Les systèmes météorologiques aux latitudes moyennes jouent un rôle important dans le transport global de chaleur.



Les systèmes météorologiques aux latitudes moyennes

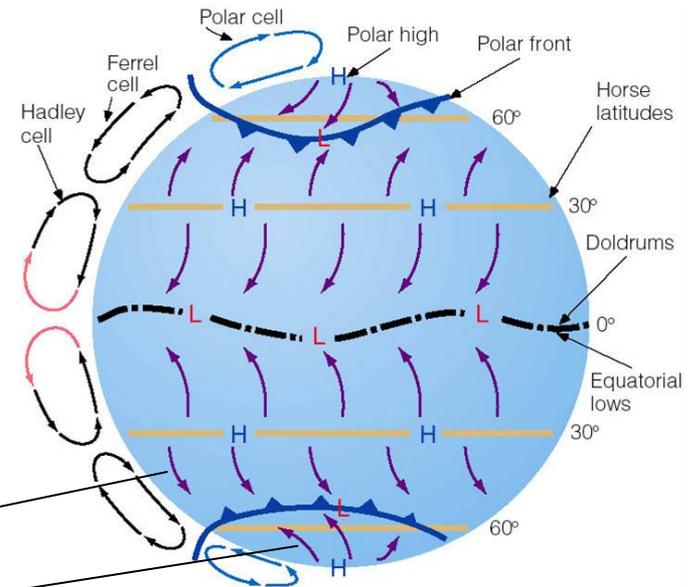
- Les systèmes météorologiques aux latitudes moyennes redistribuent/réduisent l'énergie dans l'atmosphère.
- Ils sont les principaux artisans de la météo.
- L'étude de ces systèmes météorologiques a vu le jour suite à un désastre maritime survenu lors de la guerre de Crimée (1854). Napoléon III demanda à l'astronome français si on aurait pu prévoir cette tempête.
- Ils ont été l'objet d'études extensives du groupe de scientifiques à Bergen, Norvège (Vilhelm et Jakob Bjerknes, Halvor Solberg, et Tor Bergeron).
- C'est dans les années 1920 que ce groupe de scientifiques développa la théorie du front polaire pour décrire la formation et l'évolution des systèmes aux latitudes moyenne.

Cyclogenèse

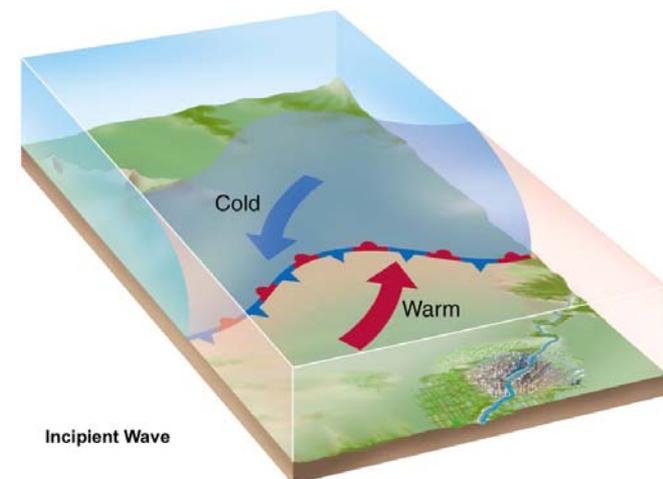
La théorie du front polaire

Une onde cyclonique (appelée fréquemment une onde frontale) se développe le long du front polaire.

a) Nous avons vu que les masses d'air n'avaient pas un mouvement purement zonal mais que l'air chaud tend à s'écouler vers le Pole et l'air froid vers l'Equateur.



b) La moindre perturbation (ondulation) qui se forme dans le front polaire peut représenter un cyclone en devenir.



Onde cyclonique en développement

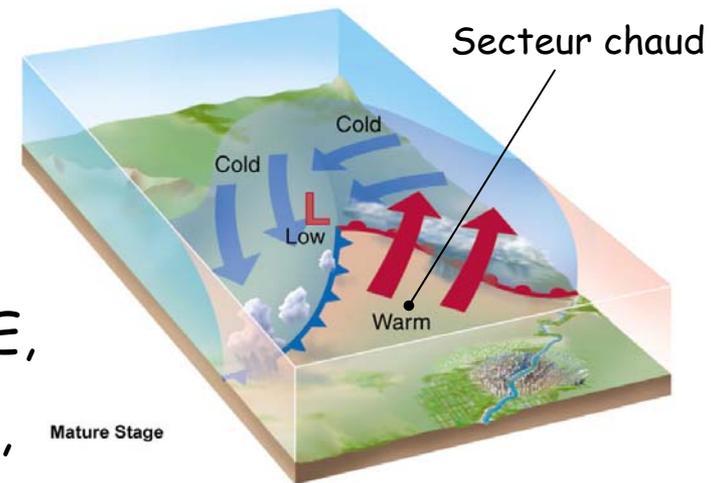
Cyclogenèse

La théorie du front polaire

c) Il faut entre 12 et 24 heures pour qu'une onde cyclonique se développe complètement.

Elle consiste de :

- un front chaud se déplaçant vers le N-E,
- un front froid se déplaçant vers le S-E,
- une région appelée le "secteur chaud" entre le front chaud et froid,
- un centre dépressionnaire dont la pression diminue d'avantage avec le temps,
- un chevauchement d'air chaud sur le front chaud,
- l'air froid qui déferle vers le sud derrière le front froid,



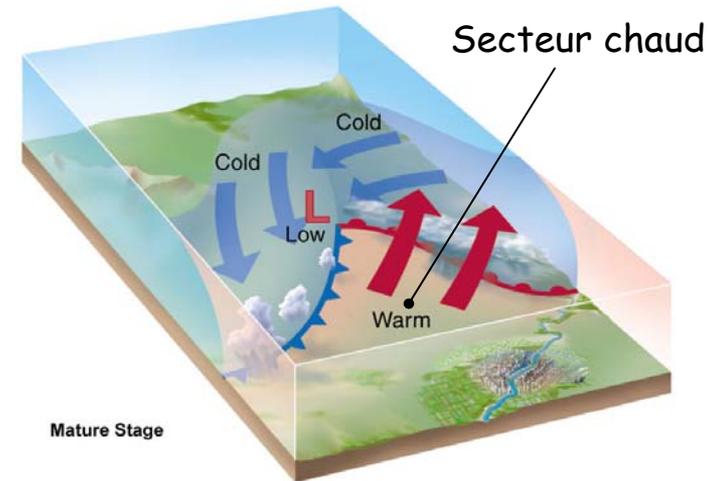
Onde cyclonique mature

Cyclogenèse

La théorie du front polaire

c) Elle consiste de (suite) :

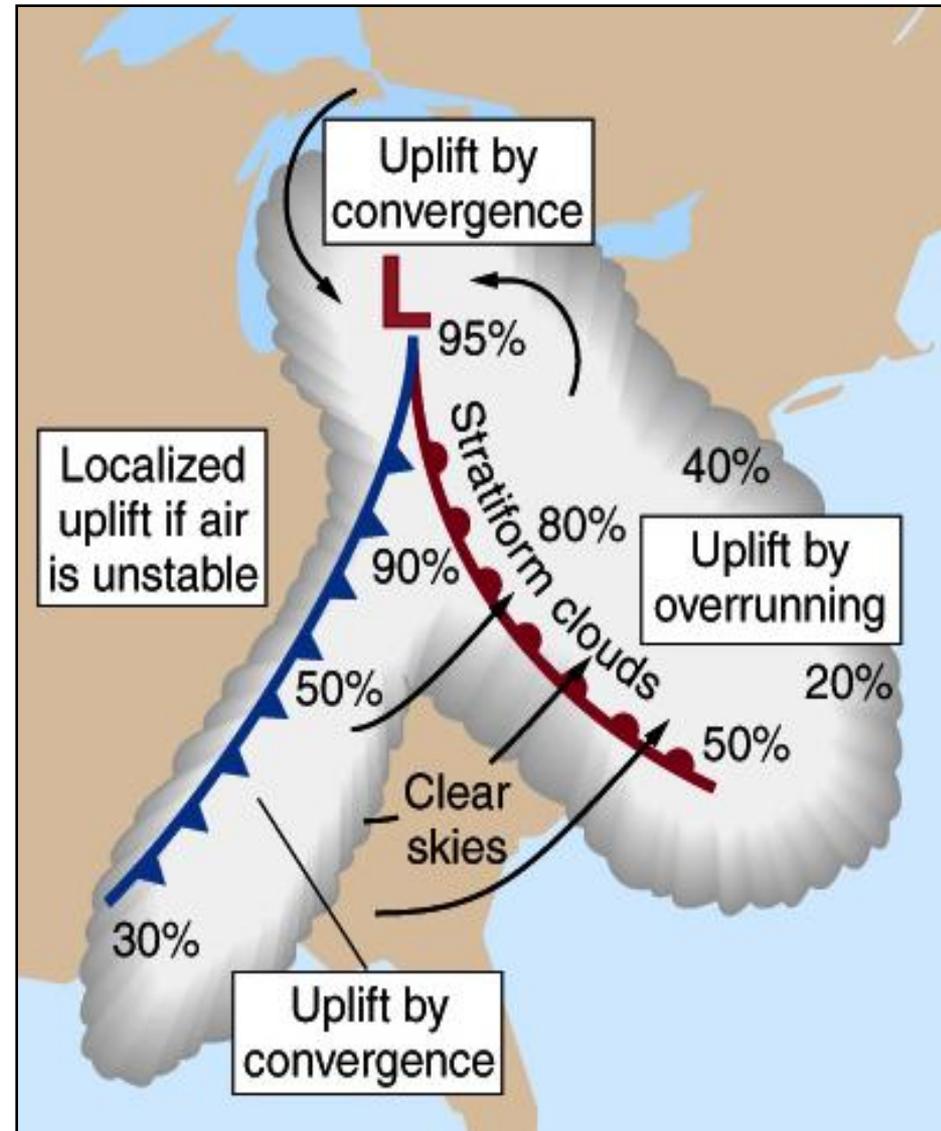
- précipitation étendue en avant du front chaud,
- une bande étroite de précipitation le long du front froid,
- la vitesse des vents qui augmente à mesure que la pression centrale diminue (l'énergie potentielle disponible se transforme en énergie cinétique) et
- la formation du nuage et de la précipitation qui génère aussi de l'énergie pour la tempête à mesure que la chaleur latente est dégagée.



Onde cyclonique mature

Onde cyclonique mature

- Les régions ombragées indiquent la présence d'un couvert nuageux et les raisons du soulèvement de l'air.
- Les chiffres donnent une probabilité approximative de précipitation.

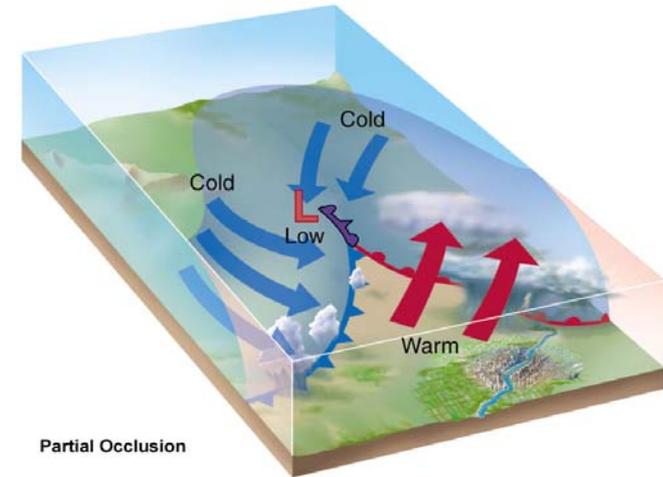


Cyclogenèse

La théorie du front polaire

d) Puisque le front froid se déplace rapidement vers l'est, le système commence à se refermer.

- C'est à ce moment que la dépression est dans la phase la plus intense.
- Un front occlus s'étire en surface à partir du centre de la dépression.
- On appelle "**point triple d'occlusion**" l'endroit où le front occlus rencontre les fronts froid et chaud.

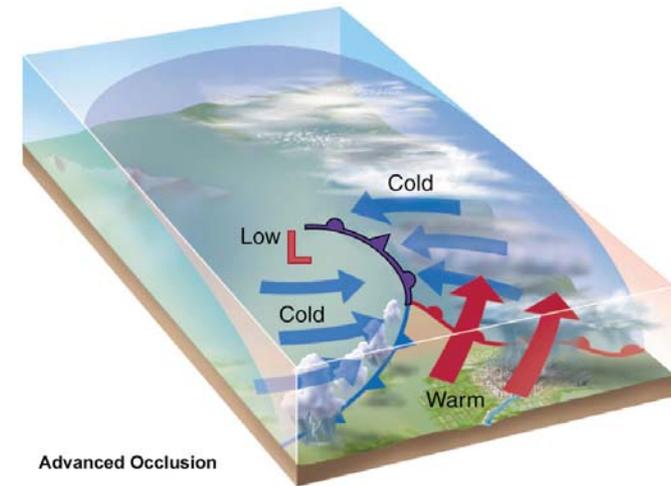


Occlusion partielle

Cyclogenèse

La théorie du front polaire

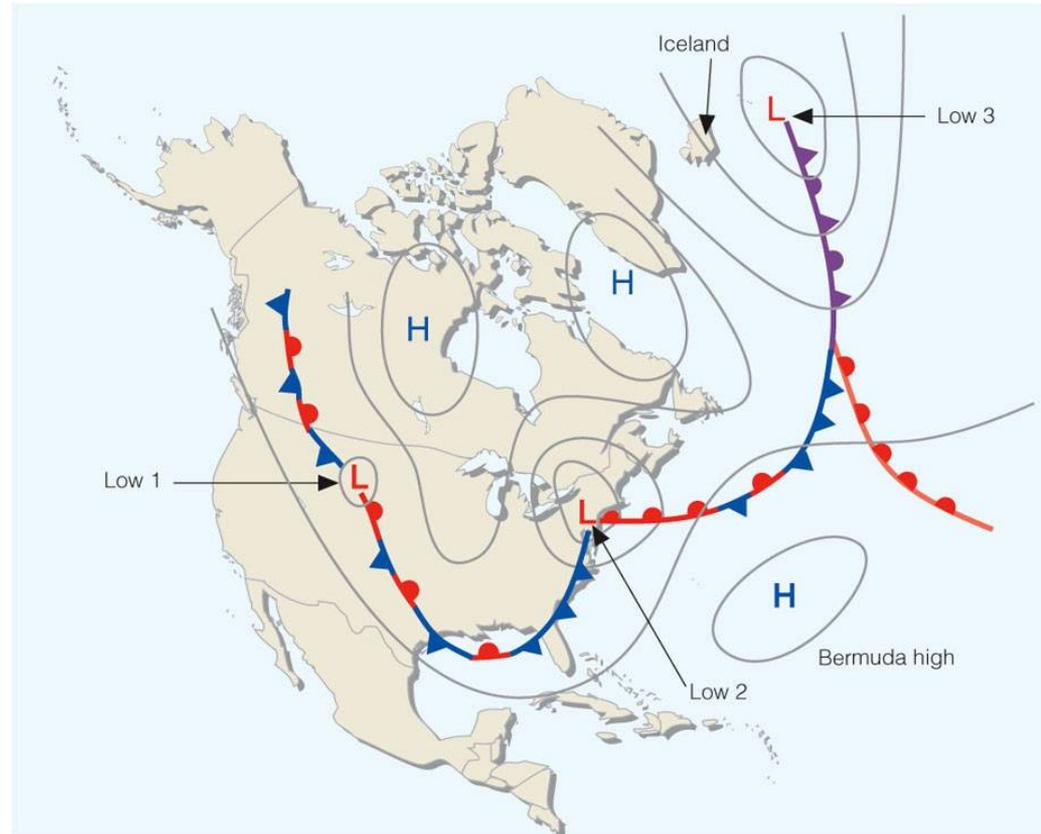
- e) Le secteur chaud se contracte à mesure que le système se ferme.
- La dépression a utilisé la majeure partie de l'énergie disponible et se dissipe.
 - Toute l'énergie potentielle disponible a été utilisée et l'énergie cinétique s'est dissipée en turbulence - la production de nuages et précipitation a diminué.
 - L'air du secteur chaud a été soulevé et l'air froid est en surface : la situation est devenue stable.



Occlusion avancée

Régions favorables à la cyclogenèse

- Plusieurs dépressions dans différentes phases d'évolution sont fréquemment observées le long du front polaire. Les régions en Amérique du nord qui manifestent une tendance favorable à la cyclogenèse sont :
 - La côte atlantique à l'est des Carolines
 - Le golfe du Mexique
 - Le versant est des Rocheuses
 - Le golfe de l'Alaska
- Des dépressions se creusent parfois très rapidement. Si le taux de creusage dépasse les 24 hPa dans 24 heures on parle de cyclogenèse explosive et le système est appelé une bombe.
- Des cyclogenèses explosives se produisent fréquemment en hiver juste à l'est du continent dans l'Atlantique.

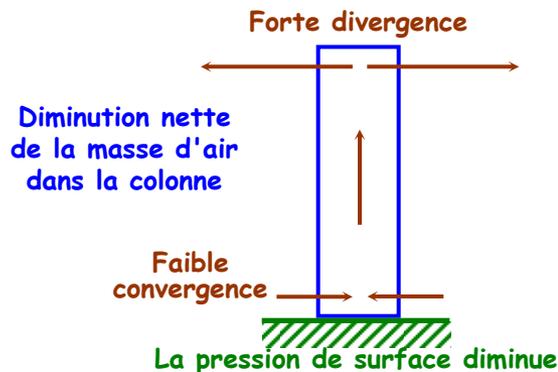


L'écoulement en haute altitude
Le courant jet à ~ 300 hPa (7-9 km)

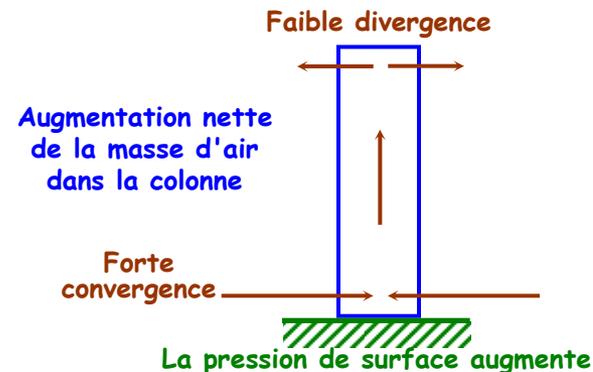
Étendue verticale

- Les systèmes météorologiques aux latitudes moyennes ont un fort développement vertical et s'étendent de la surface à la tropopause.
- Pour maintenir le développement de ces systèmes, il faut que la divergence et la convergence en altitude soient plus fortes qu'en surface.

Intensification de la
dépression en surface

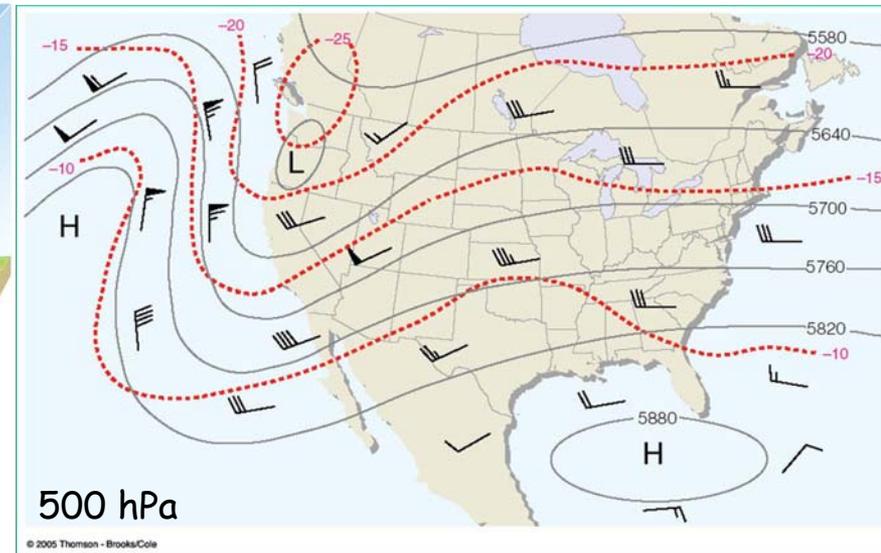
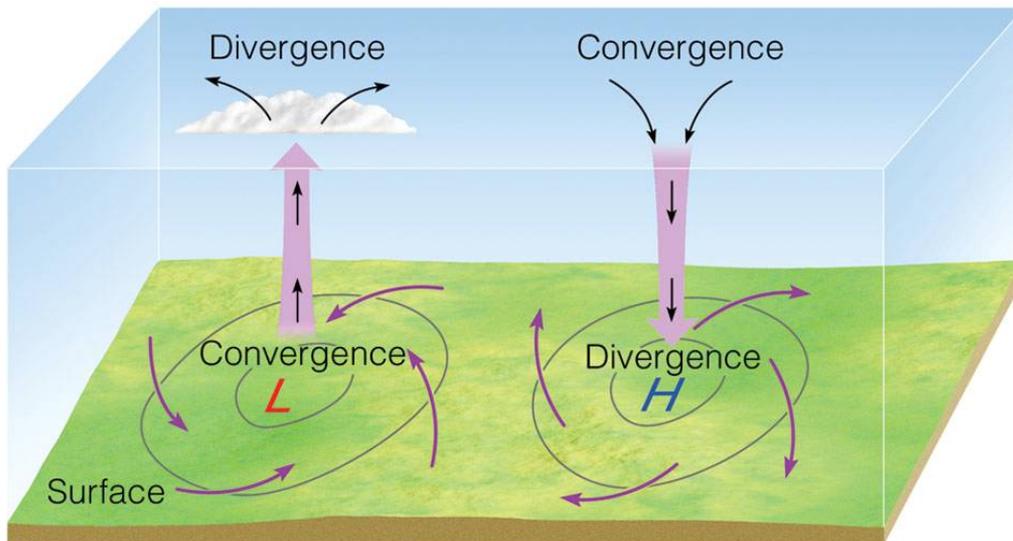


Affaiblissement de la
dépression en surface



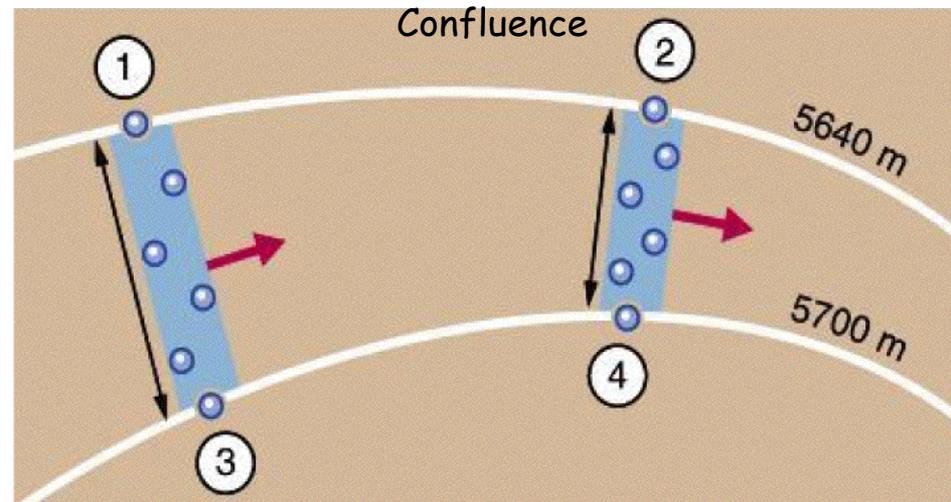
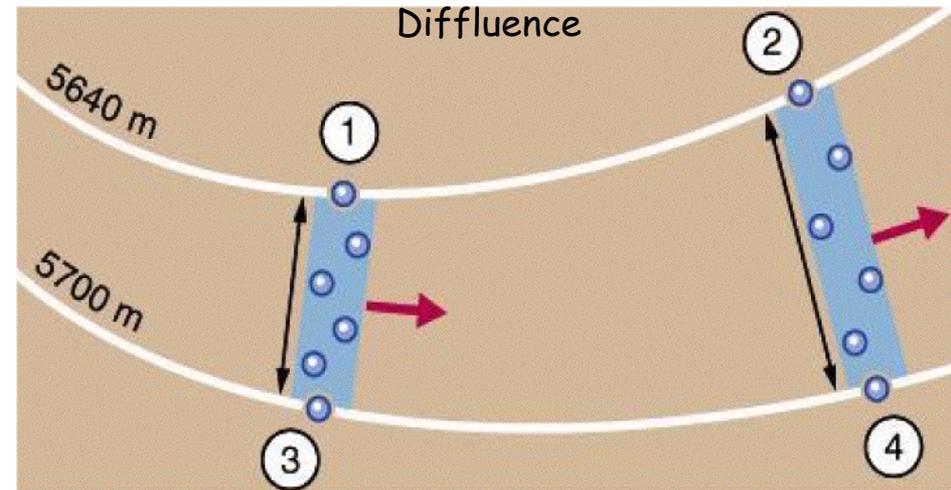
Convergence et divergence

- En surface, grâce à la friction la convergence et la divergence sont associées à l'écoulement autour des dépressions et des anticyclones.
- Mais, où trouve-t-on en altitude la divergence (développement des dépressions en surface) ou la convergence (développement des anticyclones en surface) dans un écoulement qui est parallèle aux isobares/isohypses?



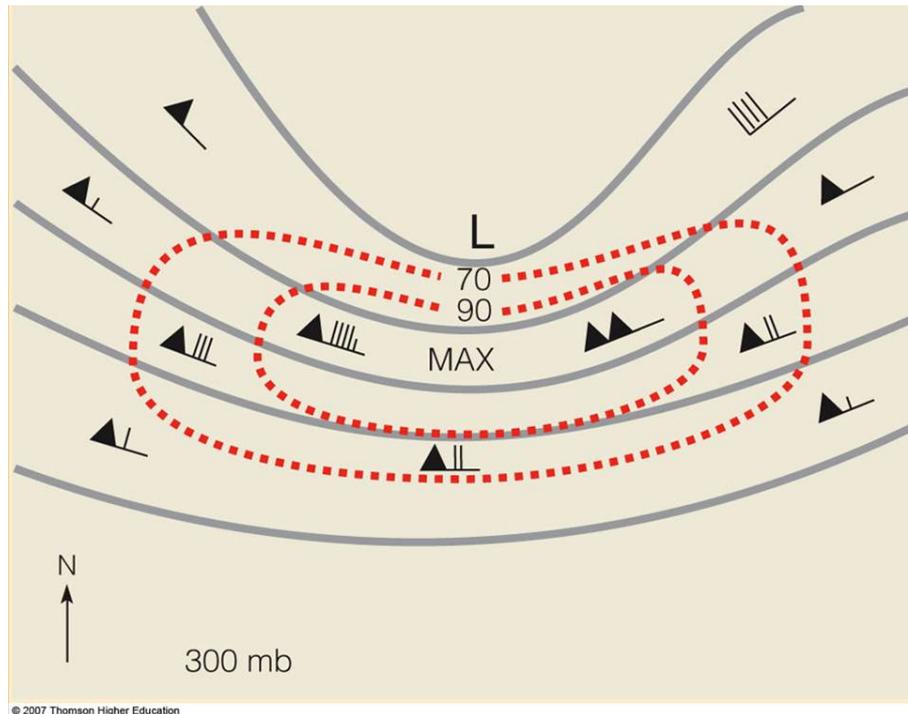
Confluence et diffluence

- La confluence et la diffluence se produisent lorsque l'air s'étire ou il se contracte à l'horizontale à cause des variations dans la direction du vent.
- ➔ Dans la figure en haut, la masse d'air comprise entre les points 1 et 3 occupe une plus grande surface horizontale lorsqu'elle se déplace entre les points 2 et 4. On parle dans ce cas de diffluence.
- ➔ La figure en bas montre une situation de confluence.

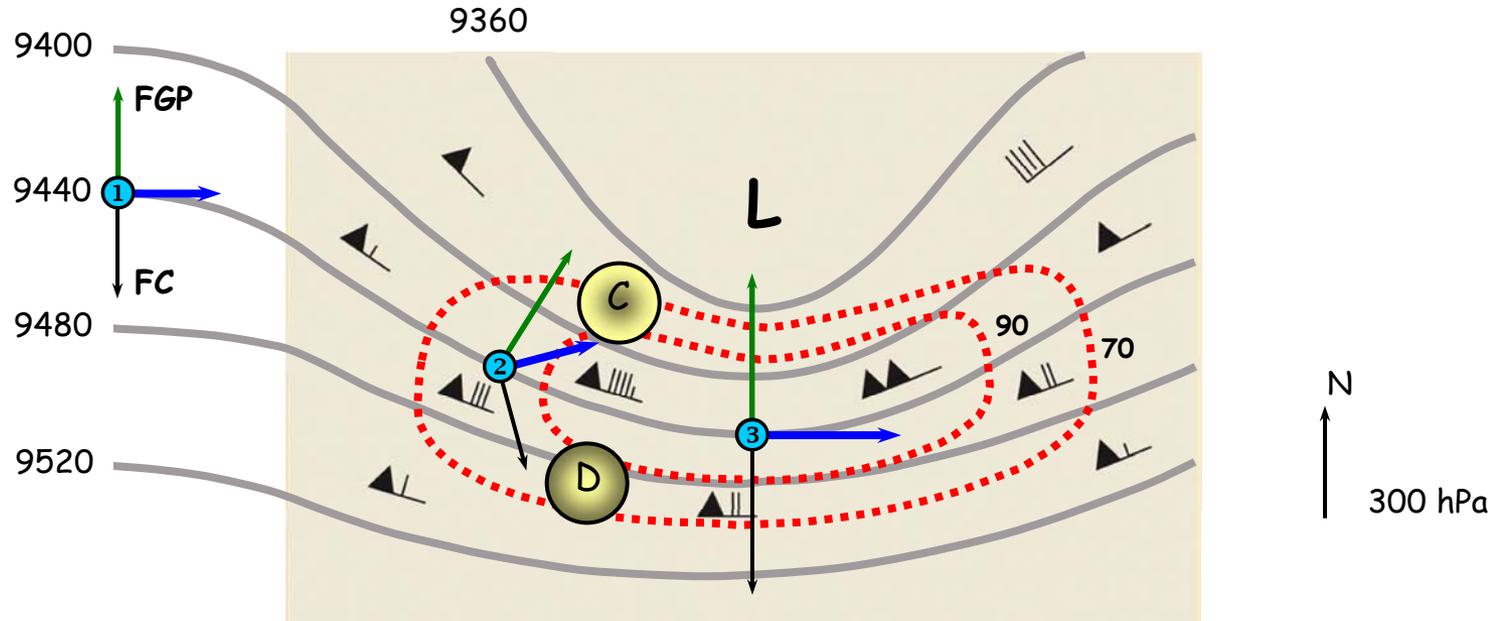


Le cœur du courant-jet

- C'est dans les régions de confluence et diffluence qu'on trouve en altitude les cœurs du courant-jet, généralement à la base des creux en altitudes.



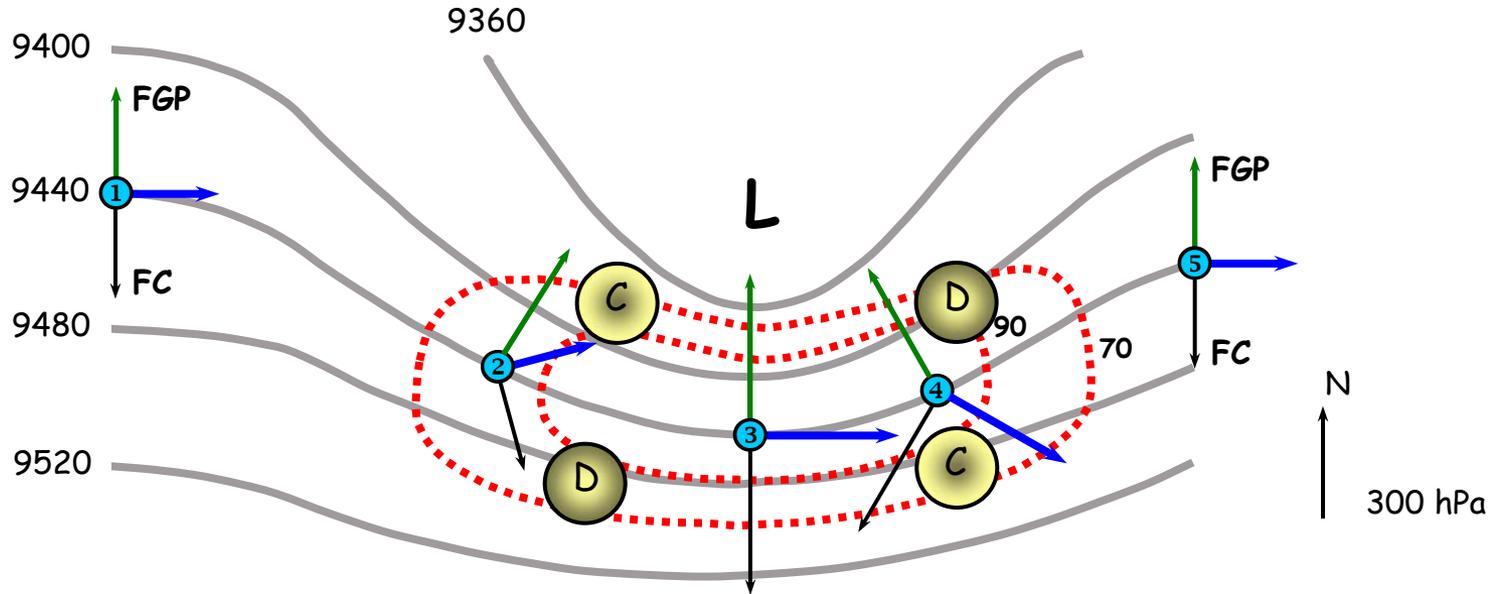
Convergence et divergence en altitude ★ ★ ★ 11-18



1. Les forces du gradient de pression et de Coriolis sont à l'équilibre.
2. Le gradient de pression augmente. La parcelle d'air accélère d'abord dans la direction du gradient de pression avant que la force de Coriolis puisse l'équilibrer.
 - Cela cause de la convergence (air qui descend*) à l'entrée gauche du cœur du courant-jet et de la divergence (air qui monte) à l'entrée droite.
3. À nouveau on atteint l'équilibre entre les forces du gradient de pression et de Coriolis.

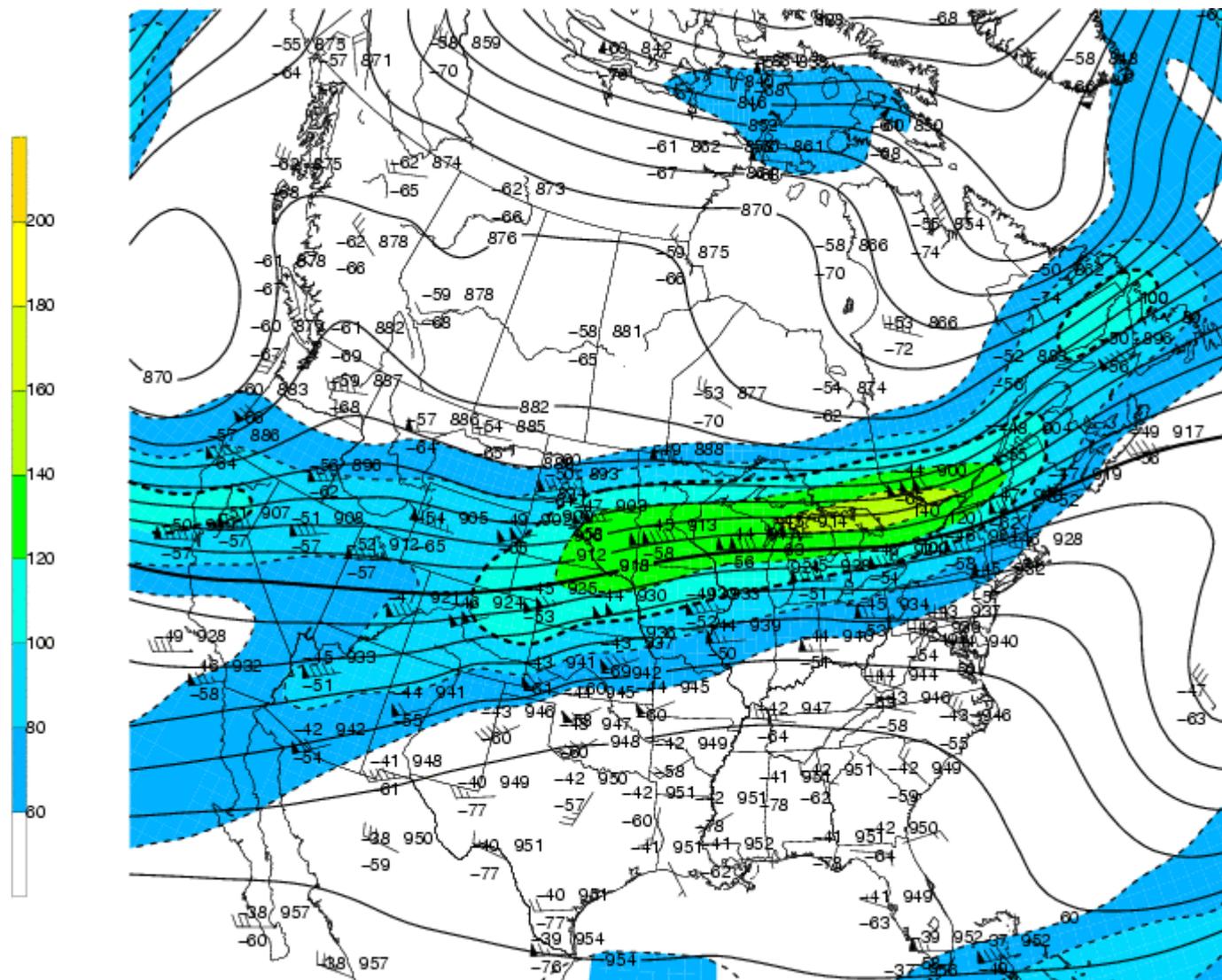
* La tropopause est juste au-dessus du niveau de courant-jet. De la convergence au niveau du courant-jet force l'air à descendre à cause de la grande stabilité thermique de la tropopause qui empêche à l'air de monter.

Convergence et divergence en altitude ★ ★ ★ 11-19



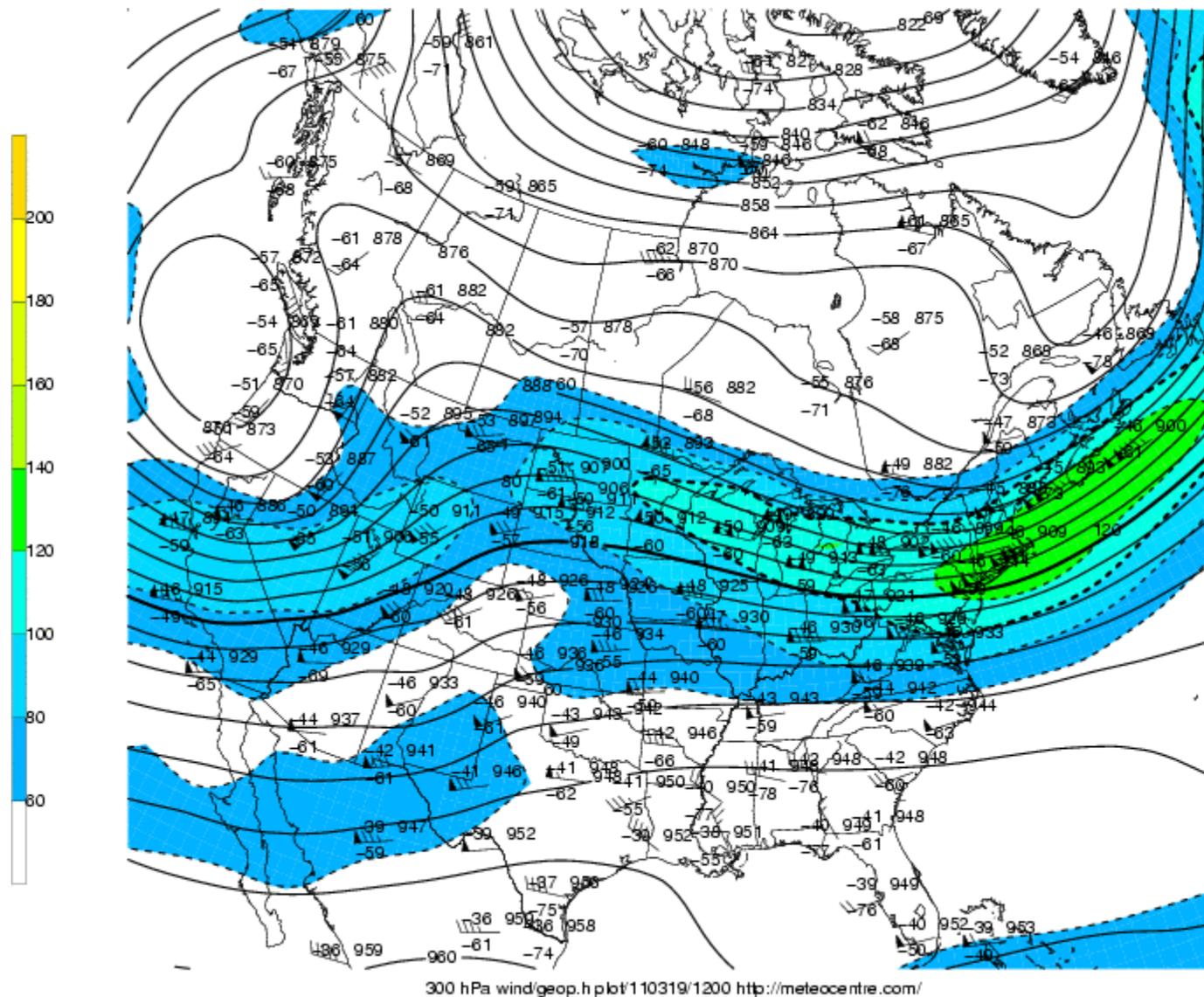
4. Lorsque le gradient de pression se relâche, la parcelle d'air commence à décélérer en déviant dans la direction de la force de Coriolis qui tarde à diminuer.
 - Ceci cause de la convergence (air qui descend*) à la sortie droite du cœur du courant-jet et de la divergence (air qui monte) à la sortie gauche.
5. À nouveau on atteint l'équilibre entre les forces du gradient de pression et de Coriolis.

Le courant jet - vendredi soir 18 mars 2011



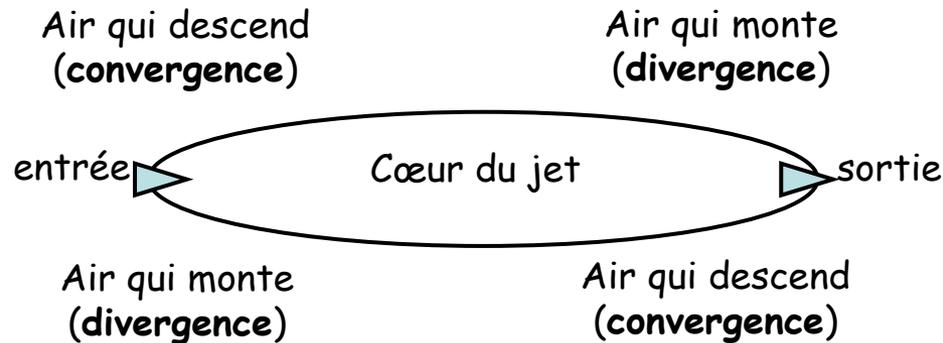
300 hPa wind/geop.h plot/110318/1200 <http://meteocentre.com/>

Le courant jet - samedi matin 19 mars 2011



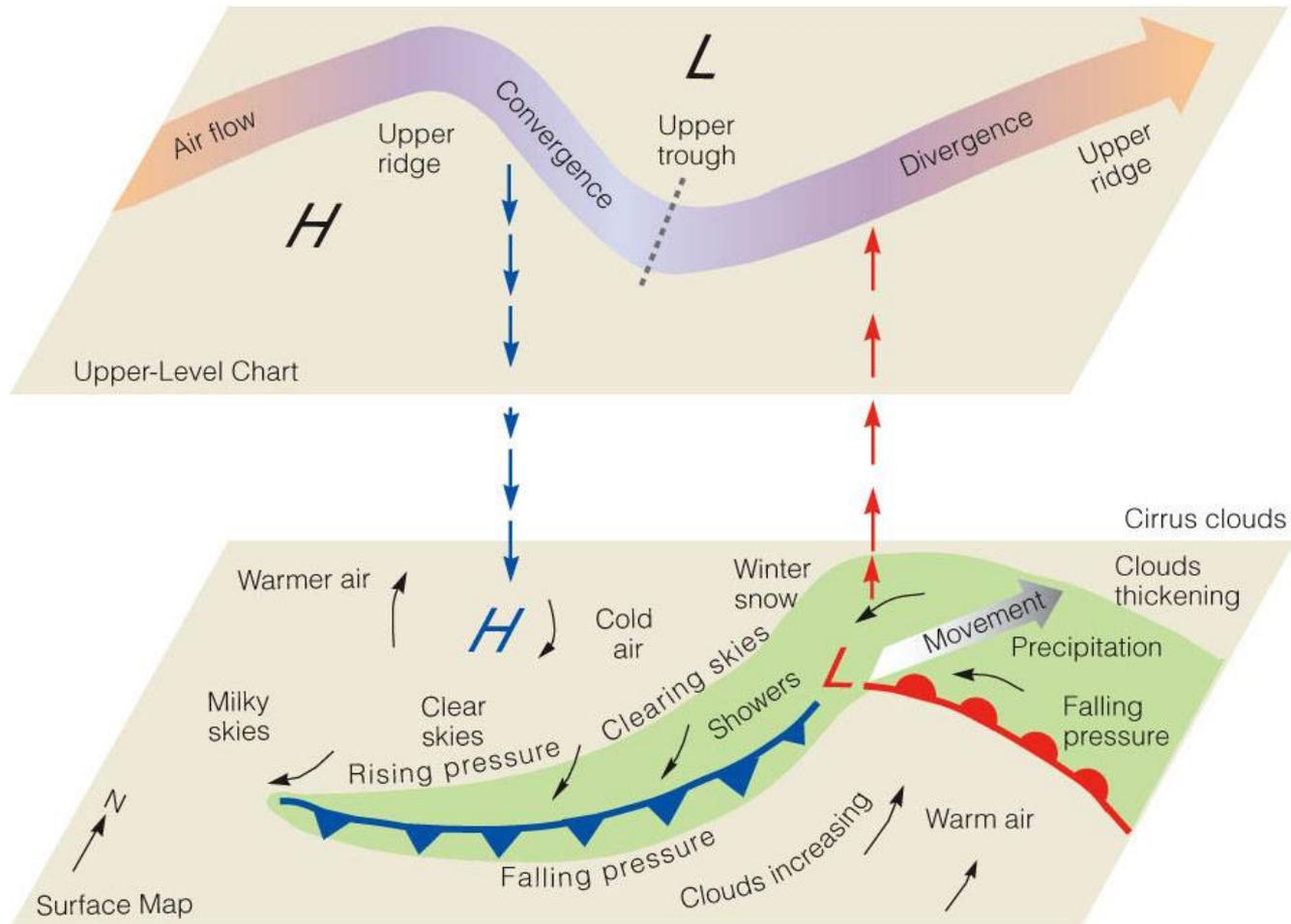
Convergence et divergence en altitude

- Par conséquent, de la convergence se développe généralement à l'entrée gauche et à la sortie droite des cœurs du courant-jet, lorsque de la divergence est à l'entrée droite et à la sortie gauche.



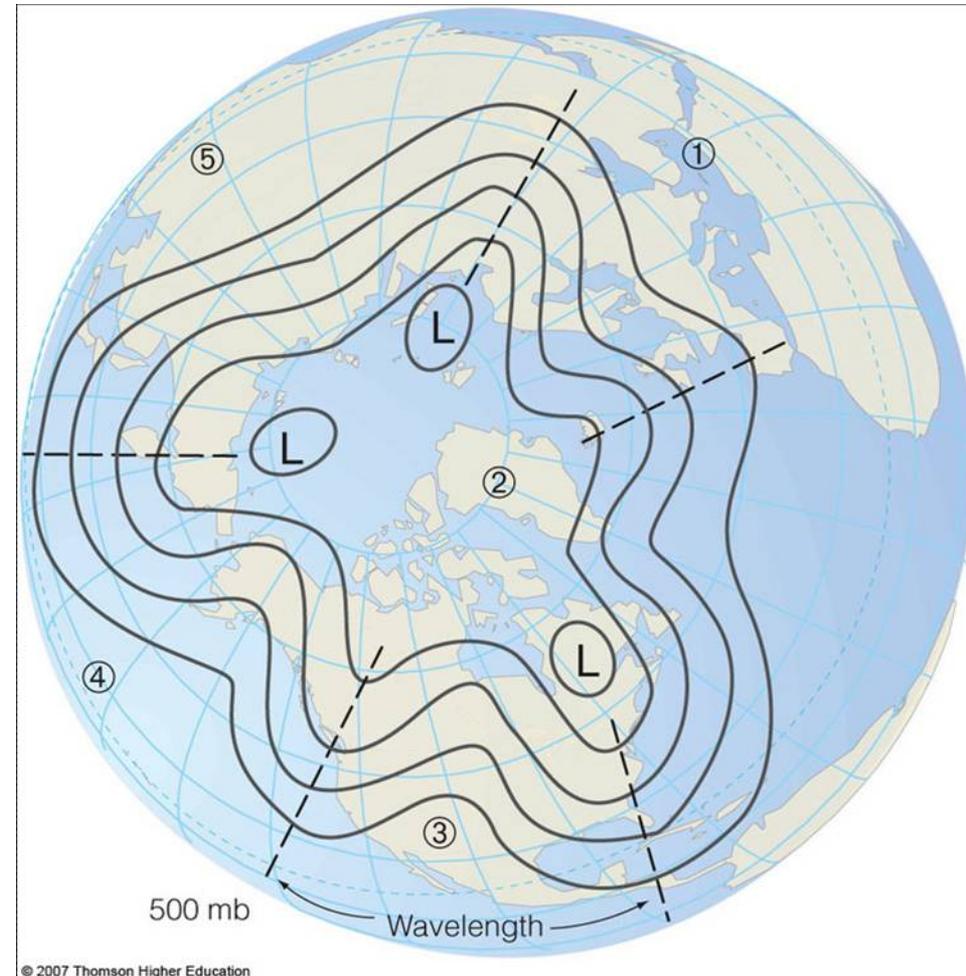
Structure verticale

- Pour qu'une dépression se développe, la dépression en altitude doit être au nord-ouest de la dépression en surface.



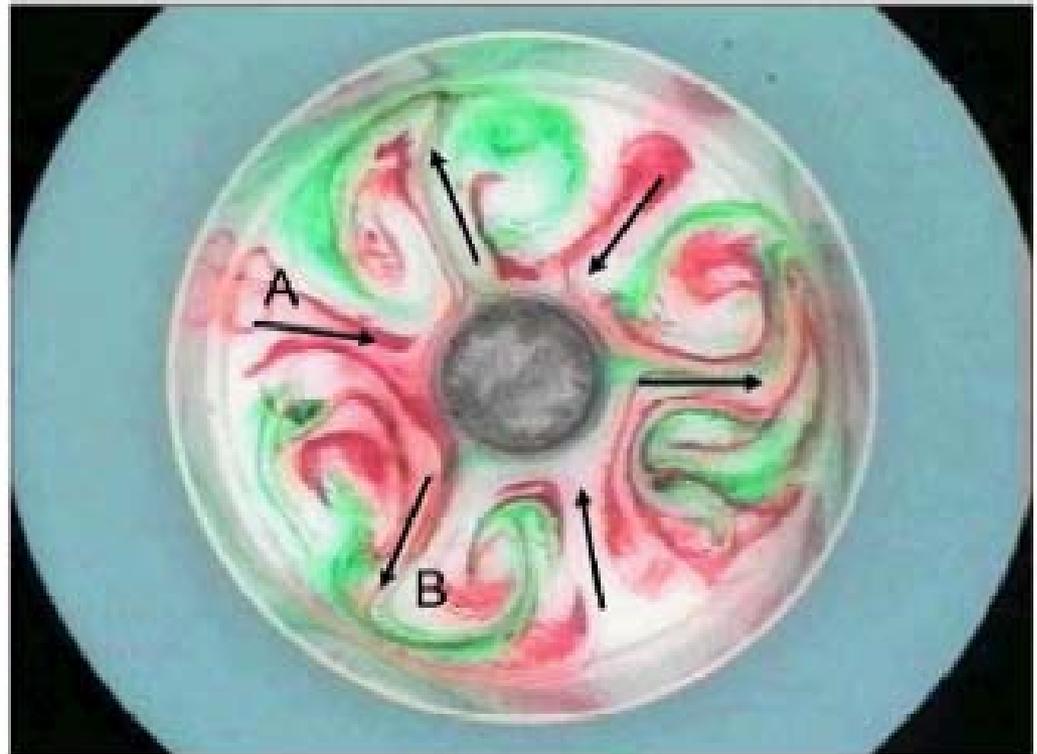
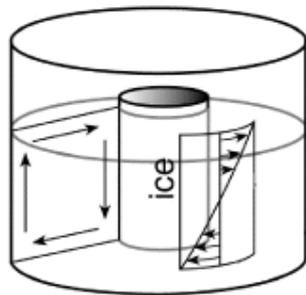
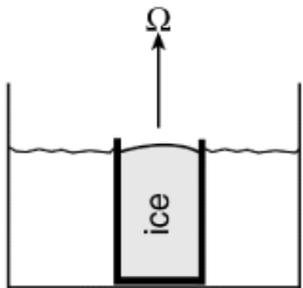
L'écoulement à 500 hPa

- La formation d'ondes longues en altitude est une caractéristique d'une planète en rotation, chauffée inégalement.
- Elles sont appelées ondes de Rossby.
- Habituellement de 4 à 6 ondes sont assez pour entourer le globe.
- La longueur d'onde varie entre 4000 et 8000 km.
- Elles sont presque stationnaires ou se déplacent très lentement vers l'est ou l'ouest.



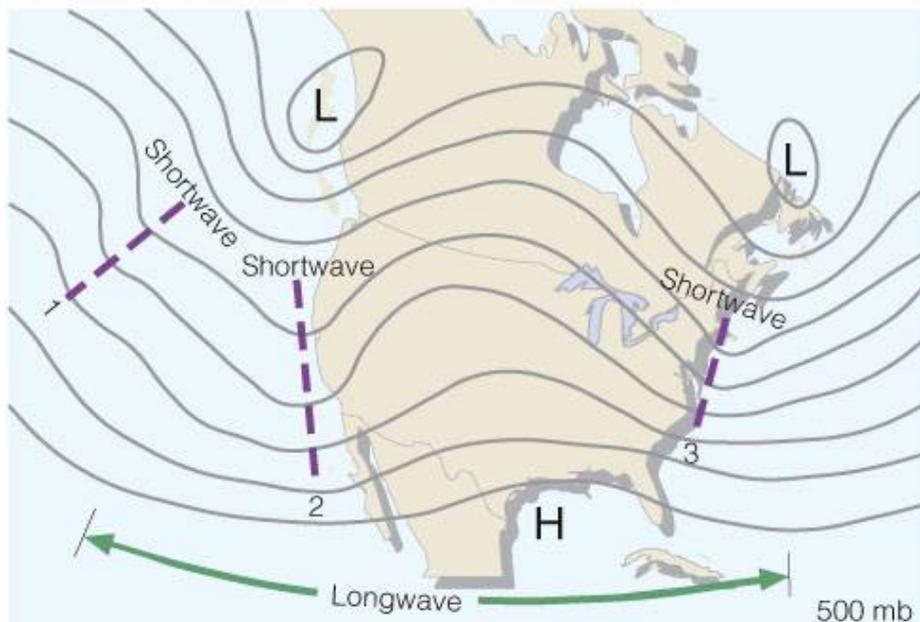
Les ondes de Rossby

- L'expérience du bassin tournant

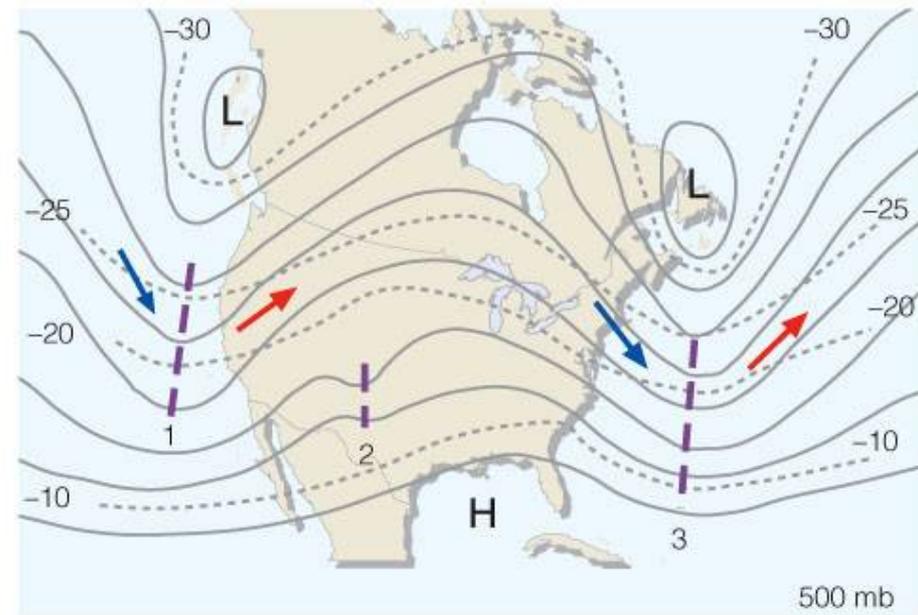


Les ondes courtes à 500 hPa

- Des creux d'onde courte sont enchâssés dans les ondes longues en altitude.
- Elles se déplacent rapidement vers l'est.
- Elles s'affaiblissent lorsqu'elles arrivent sur une crête d'onde longue.
- Elles le renforcent lorsqu'elles sont sur un creux d'onde longue.



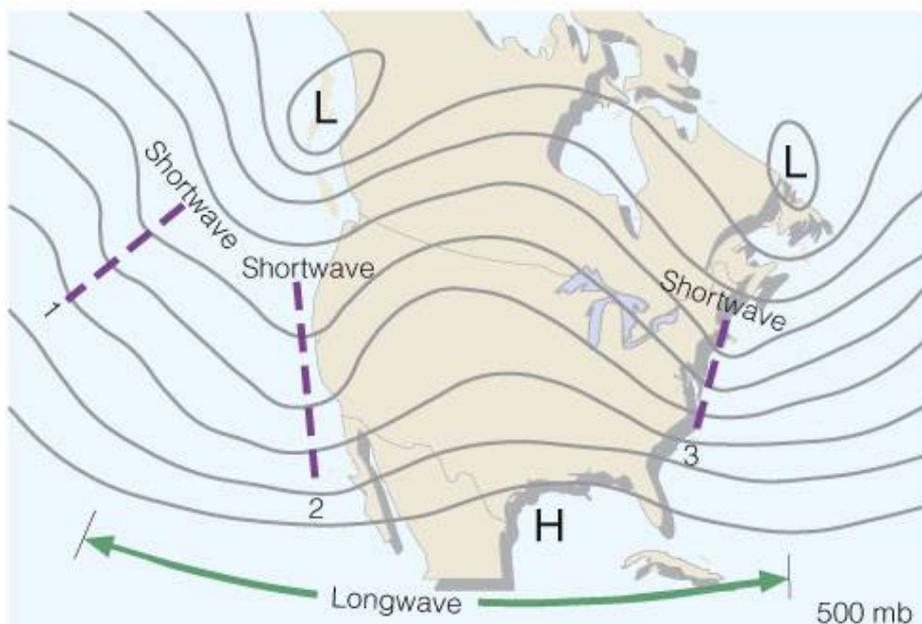
(a) Day 1



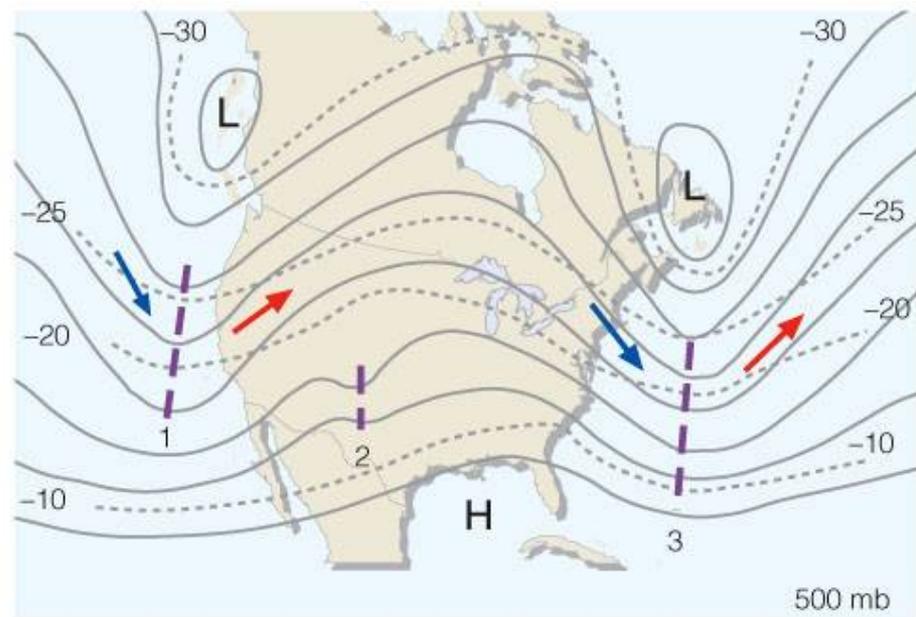
(b) Day 2 (24 hours later)

Les ondes courtes à 500 hPa

- On les observe facilement aux niveaux moyens dans l'atmosphère (Ex : 500 hPa).
- Elles constituent un ingrédient important pour le développement et l'intensification des systèmes météorologiques aux latitudes moyennes.



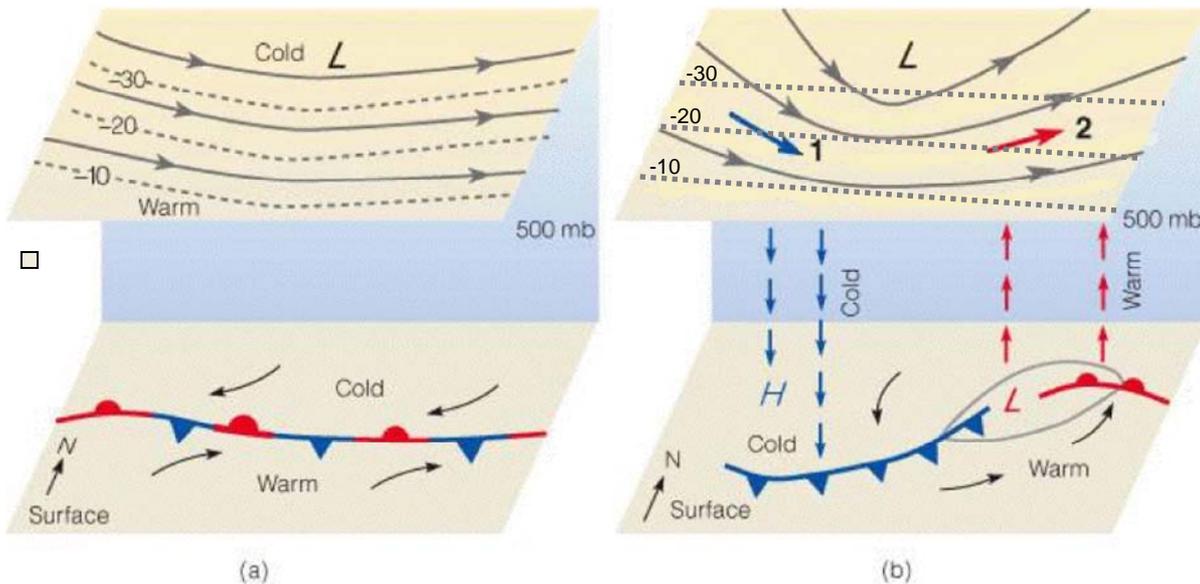
(a) Day 1



(b) Day 2 (24 hours later)

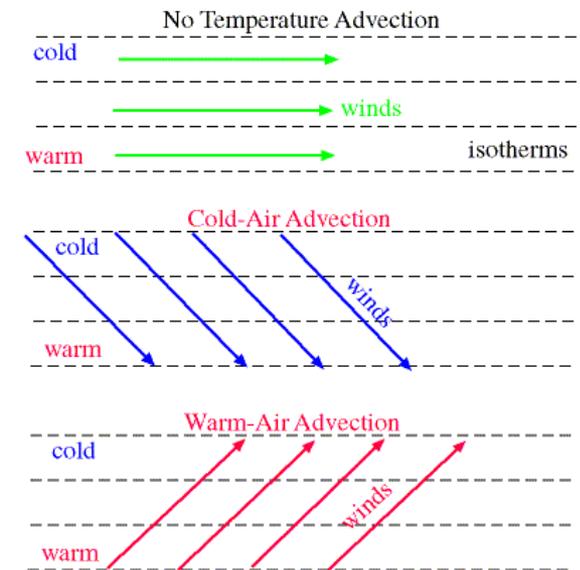
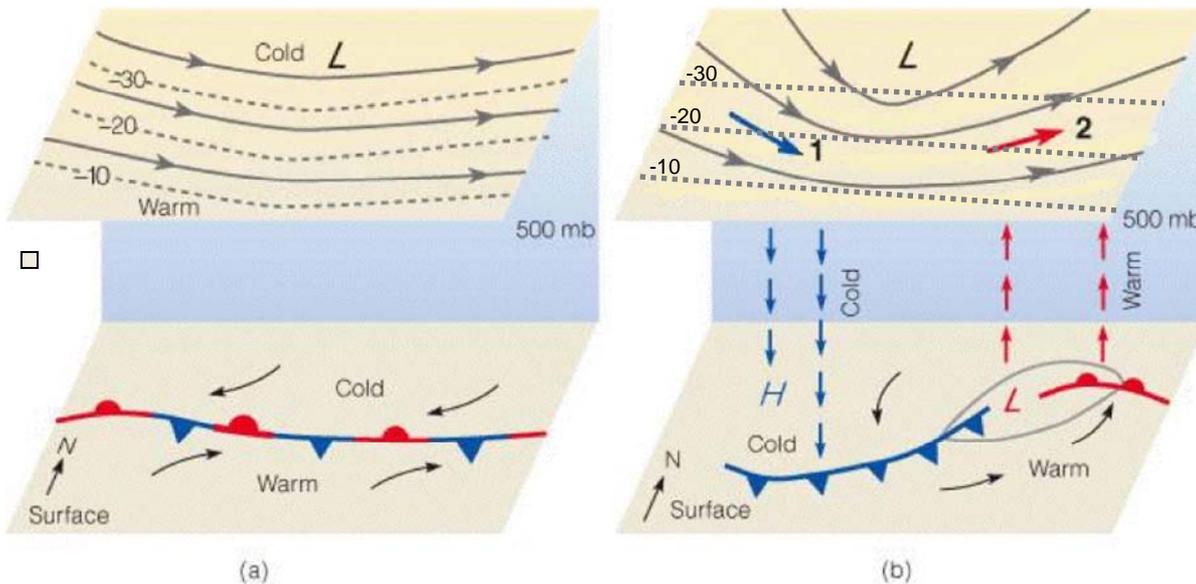
L'advection de température à 500 hPa ★ ★ 11-28

- Considérons un creux d'onde longue au-dessus d'un front stationnaire (a). Ensuite, une onde courte qui se déplace dans le creux et l'intensifie (b).
- Dans le cas (a), les isohypses et les isothermes sont parallèles - on dit alors que l'atmosphère est barotrope. (Les couches d'air sont empilées les unes par-dessus les autres de façon stable.)
- Dans le cas (b), l'onde courte a fait en sorte que les isohypses croisent les isothermes à l'ouest et à l'est du creux - on dit maintenant que l'atmosphère est barocline.



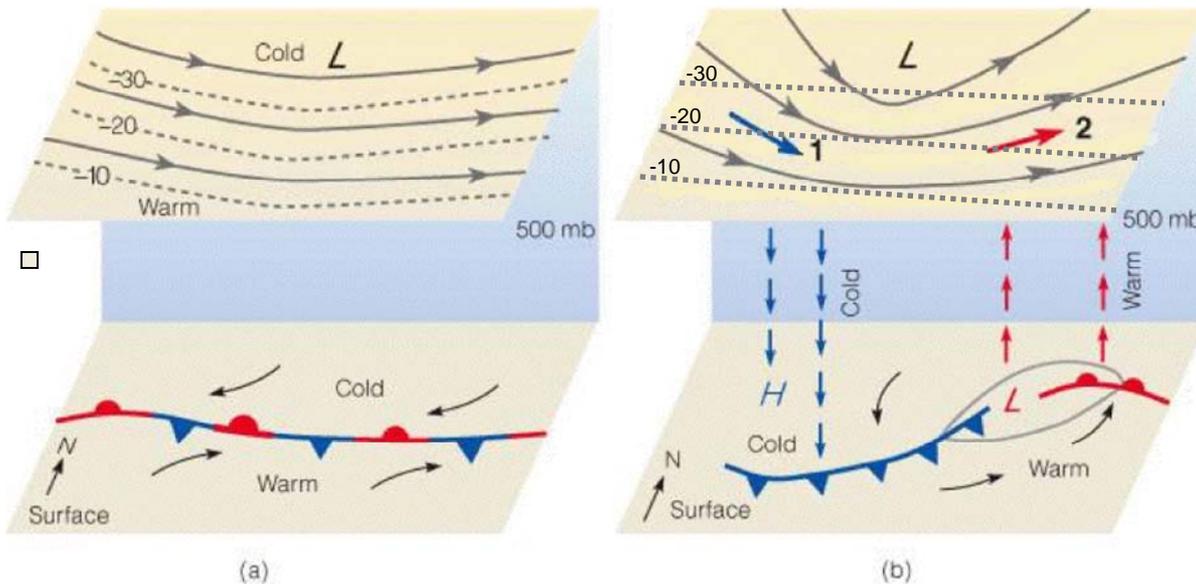
L'advection de température à 500 hPa

- Dans la région barocline à l'ouest du creux, il y a advection d'air froid.
- Dans la région barocline à l'est du creux, il y a advection d'air chaud.
- L'advection d'air froid à l'ouest du creux cause un mouvement descendant d'air froid jusqu'à la surface en arrière du front froid.
- L'advection d'air chaud à l'est du creux cause un mouvement ascendant de l'air près du centre de la dépression car l'air chaud monte.



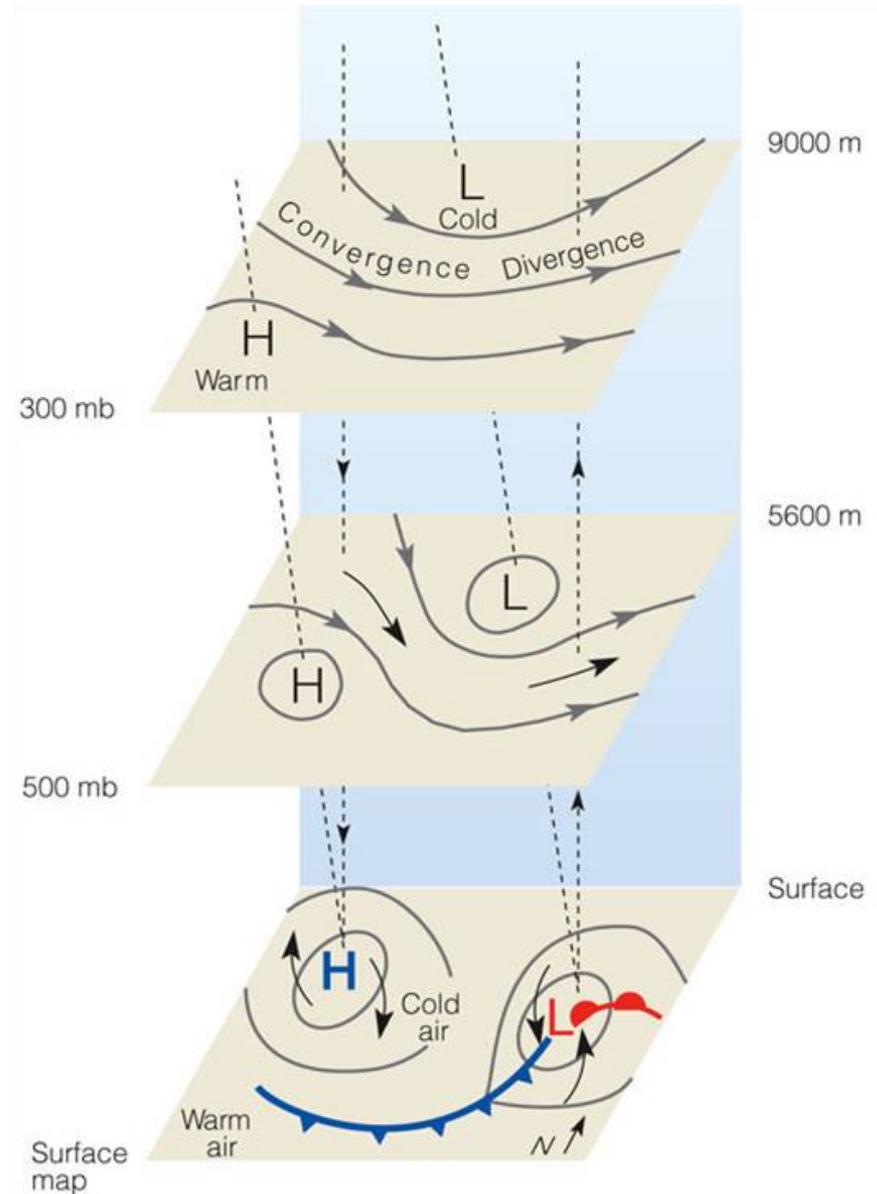
L'advection de température à 500 hPa ★ ★ 11-30

- La descente et montée d'air froid et chaud à cause de l'advection d'air froid et chaud est appelé "**instabilité barocline**".
- L'instabilité barocline est un ingrédient nécessaire pour le développement et l'intensification d'une dépression aux latitudes moyennes.



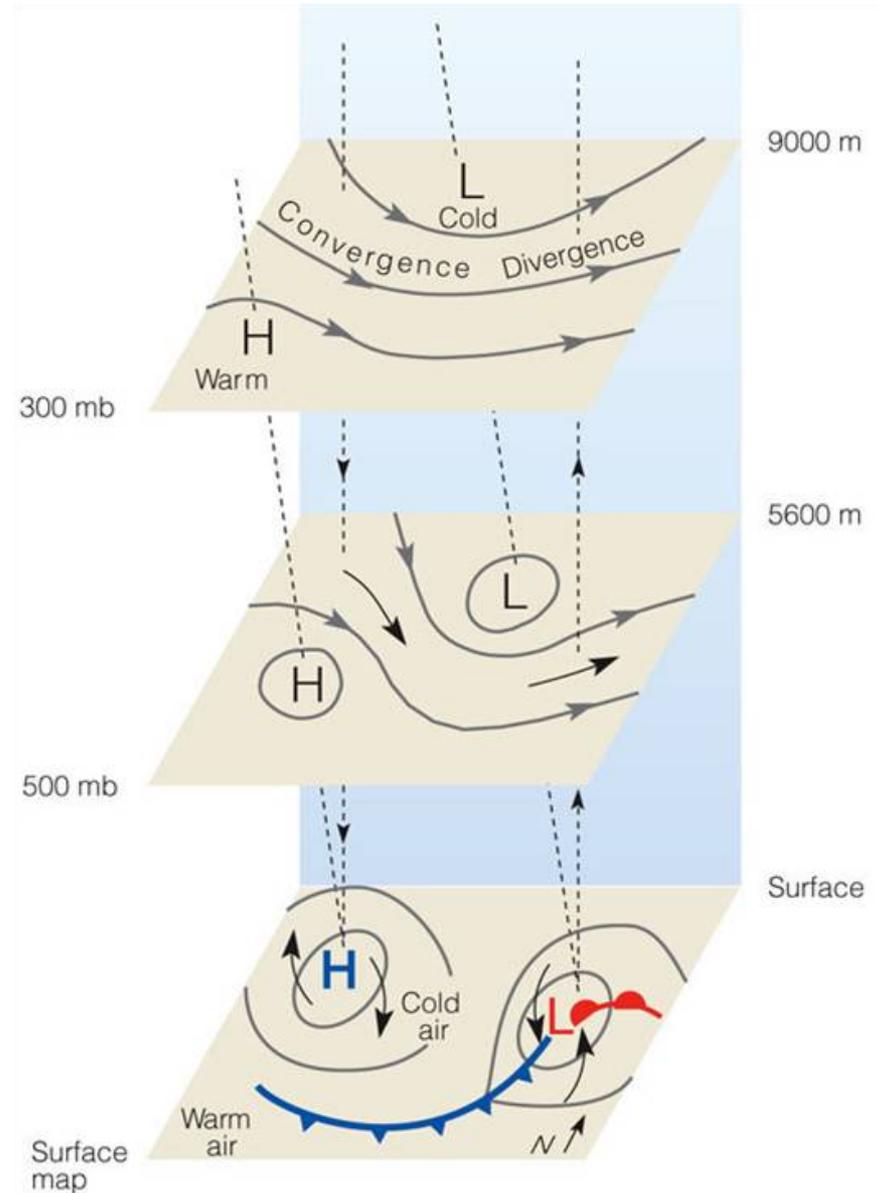
La structure verticale

- Le développement d'un système météorologique est influencé par l'écoulement de l'air en altitude.
- Pour qu'une dépression se développe, la dépression en altitude doit être au nord-ouest de la dépression en surface.



La structure verticale

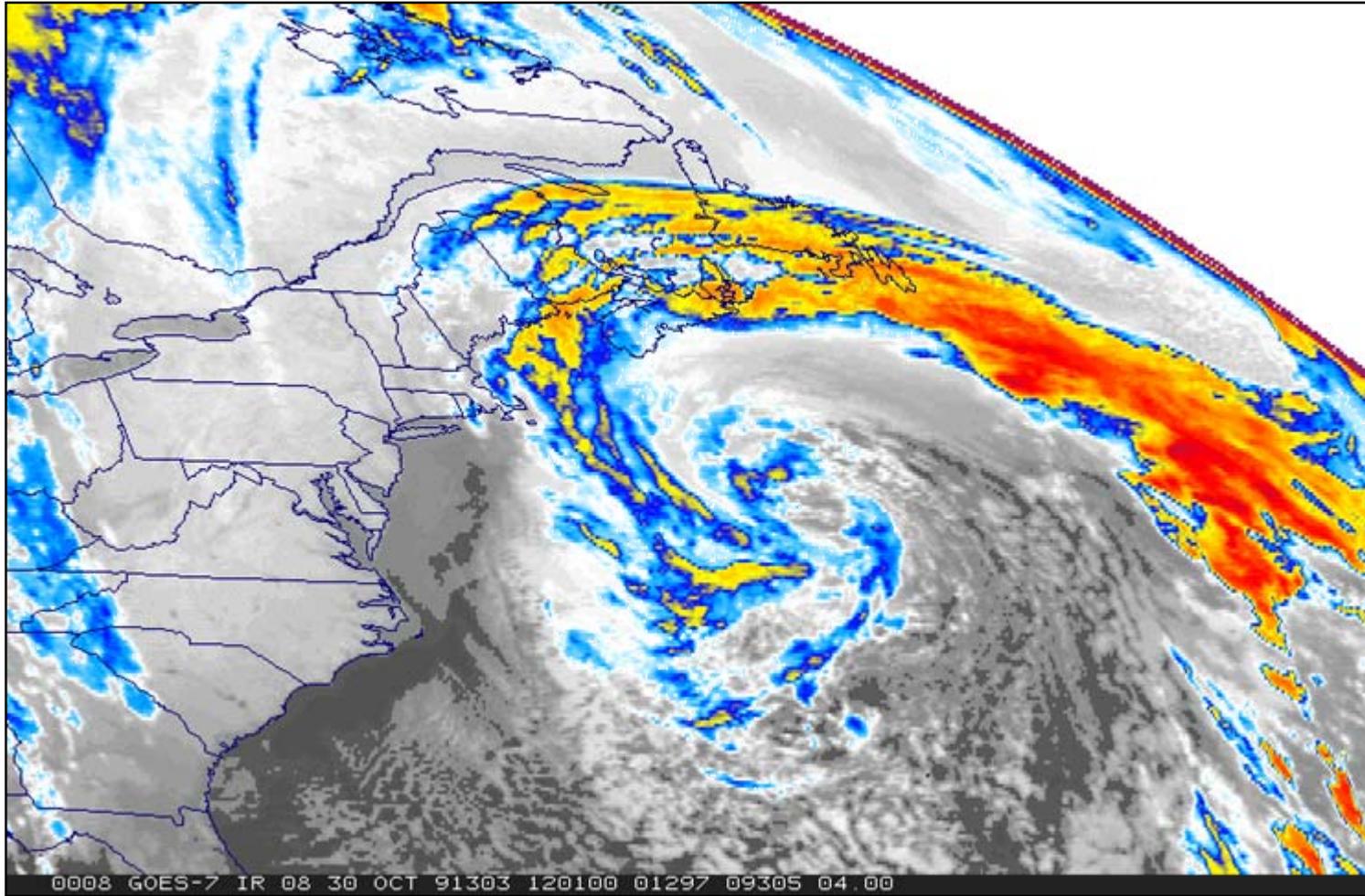
- La direction et la vitesse de déplacement d'une dépression sont étroitement liés à la vitesse et à la direction de l'écoulement à 500 hPa appelé "**niveau de guidage**" (steering level).
- Les dépressions se déplacent à une vitesse environ la moitié de la vitesse du vent à 500 hPa.
- La direction de déplacement est proche à celle de l'écoulement à 500 hPa.



Éléments clefs pour le développement d'une dépression ^{★★★}11-33

- En général on a besoin d'une perturbation en surface (baisse de pression) le long du front polaire et
- du support en altitude - une onde courte associée à une basse pression ou creux d'onde longue doit être au nord-ouest de la dépression en surface.
- L'onde courte génère de l'advection d'air chaud et froid à 500 hPa (advection différentielle de température)
- L'advection différentielle de température génère des mouvements ascendants et descendants
- Au niveau du courant-jet, les cœurs du courant-jet à la base des creux génèrent des régions de convergence à l'ouest du creux et de divergence à l'est.
- Sans du support en altitude, la perturbation à la surface ne peut pas s'intensifier.

The Perfect Storm



This GOES 7 color-enhanced infrared image (taken 1200 UTC October 30, 1991) shows an enormous mid-latitude cyclone that wreaked havoc along the entire Atlantic coast. This storm was called "the Perfect Storm" by the National Weather Service, and was the subject of a best-selling book. This storm is an excellent example of a "nor'easter," which is an extremely strong extratropical cyclone that may develop during the autumn along the east coast of the United States due, in part, to the contrast between continental polar (cP) air masses from Canada and milder, maritime air masses along the Atlantic coast. This storm developed along a cold front located off the east coast of the United States. A strong upper air low and remnant moisture from Hurricane Grace caused the storm to explosively intensify. During the storm, hurricane-force winds were reported on Cape Cod, Massachusetts, and flooding and record high tides occurred all along the mid-Atlantic and New England coastlines.

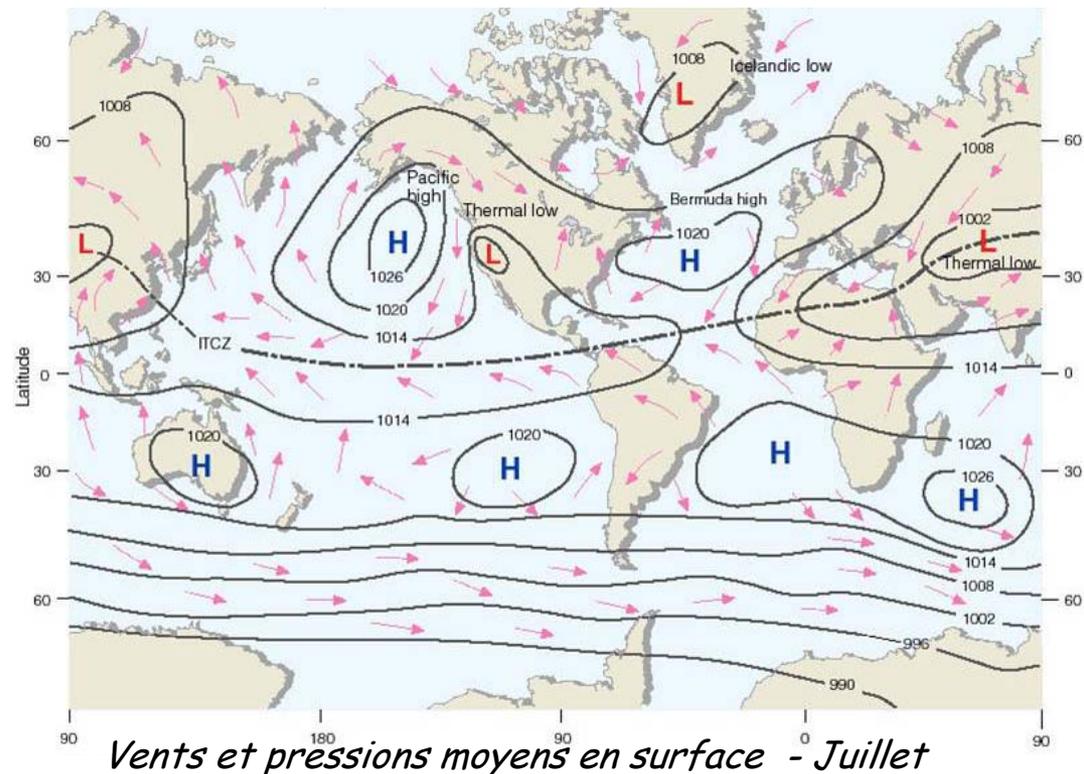
(This page is from *Understanding Weather and Climate* by E. Aguado and J.E. Burt, copyright 2001, by Prentice-Hall, Inc)

Les tempêtes tropicales

La circulation tropicale

- La région tropicale est comprise entre $23,5^{\circ}$ N et S de l'équateur.
- Le rayonnement solaire ne change pas beaucoup d'une saison à l'autre et est plutôt intense.
- Les vents sont :
 - généralement de N-E, E, ou S-E (les alizés) et
 - plutôt faibles.

(La circulation dans les tropiques est d'origine thermique (cellule de Hadley). Puisque les gradients horizontaux de température sont faibles, les vents en surface, les alizés, sont aussi généralement faibles et des conditions d'accalmie se produisent fréquemment.)



Les systèmes météorologiques

- Systèmes météorologiques dans les tropiques :
 - orages,
 - systèmes convectifs : ligne de grains, vortex convectifs de méso-échelle et
 - dépressions/tempêtes tropicales et ouragans
 - Les orages et les systèmes convectifs ont les mêmes caractéristiques que ceux qu'on a déjà considérés.
- Par contre, dans le développement des dépressions, tempêtes et cyclones tropicaux, les processus météorologiques associés aux gradients horizontaux de température (instabilité barocline) si importants aux latitudes moyennes sont insignifiants à cause des faibles gradients de température.

Les dépressions tropicales

- Une dépression tropicale
 - se développe dans les eaux tropicales ou subtropicales à partir d'une perturbation (**onde tropicale**) dans l'écoulement en surface,
 - a le centre de basse pression plus chaud que la périphérie,
 - n'a pas de fronts,
 - son énergie potentielle de développement provient des flux de chaleur latente et sensible à l'interface air-mer,
 - est constituée par un ensemble d'orages
(l'atmosphère est conditionnellement instable : stables pour les parcelles d'air sec, instable pour celles d'air saturé),
 - a une circulation organisée (au moins une isobare fermée) et
 - les vents de surfaces sont continus et varient entre 20 et 34 nœuds.

Les tempêtes et cyclones tropicaux

- Lorsque les vents en surface sont entre 35 et 64 nœuds on parle alors de tempête tropicale mais s'ils dépassent les 64 nœuds on a un cyclone tropical qu'on appelle :
 - Ouragans dans l'océan Atlantique et dans l'est du Pacifique
 - Typhons dans l'ouest du Pacifique
 - Cyclones dans l'océan indien

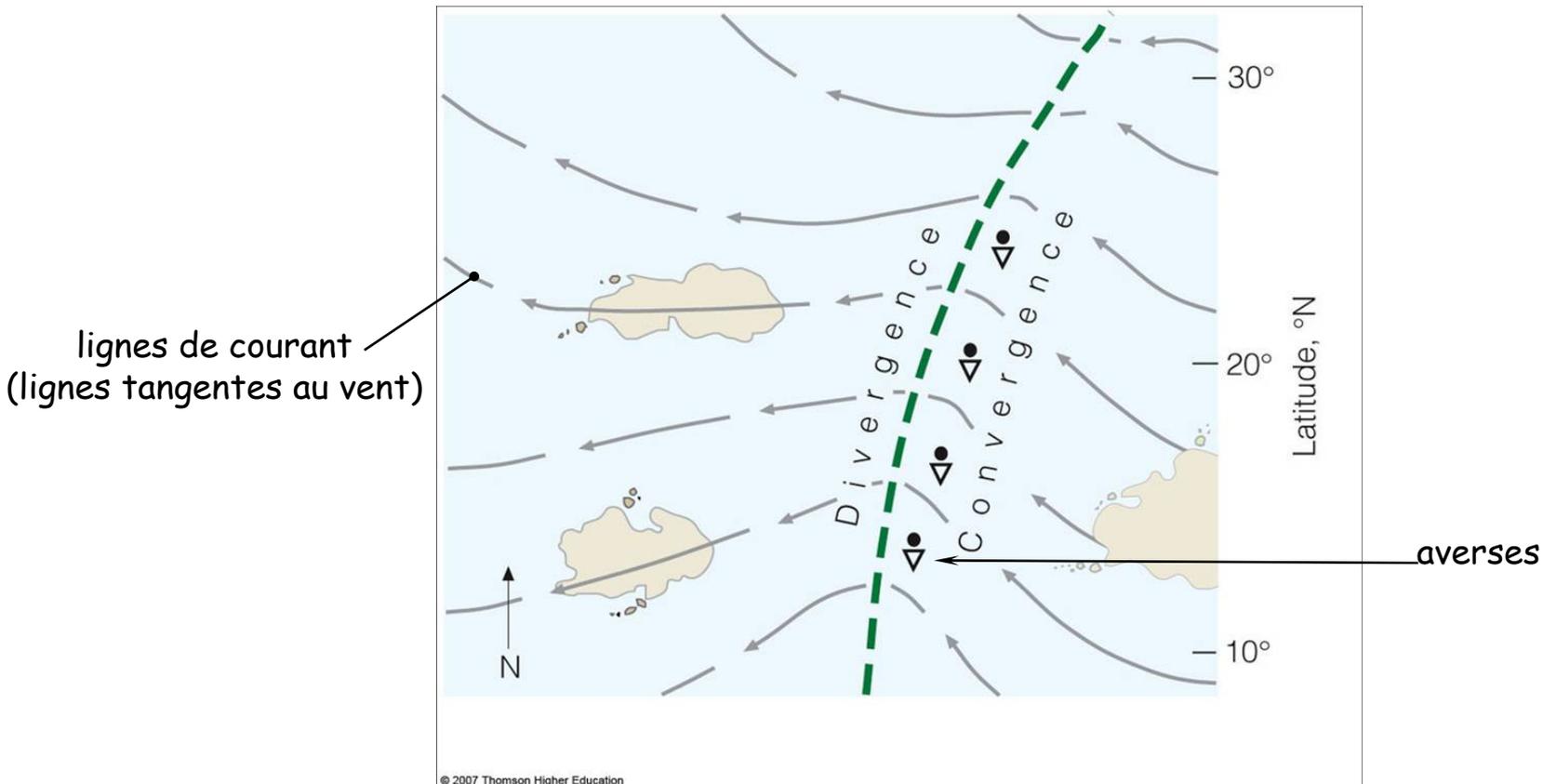
Ondes tropicales atlantiques

- Une onde tropicale est une perturbation dans l'écoulement de l'air en surface, sous la forme d'un creux de basse pression accompagné d'averses et d'orages.
- Les ondes tropicales atlantiques prennent naissance d'une instabilité du courant-jet subtropical en relation aux forts contrastes thermiques entre le désert du Sahara et le golfe de Guinée..



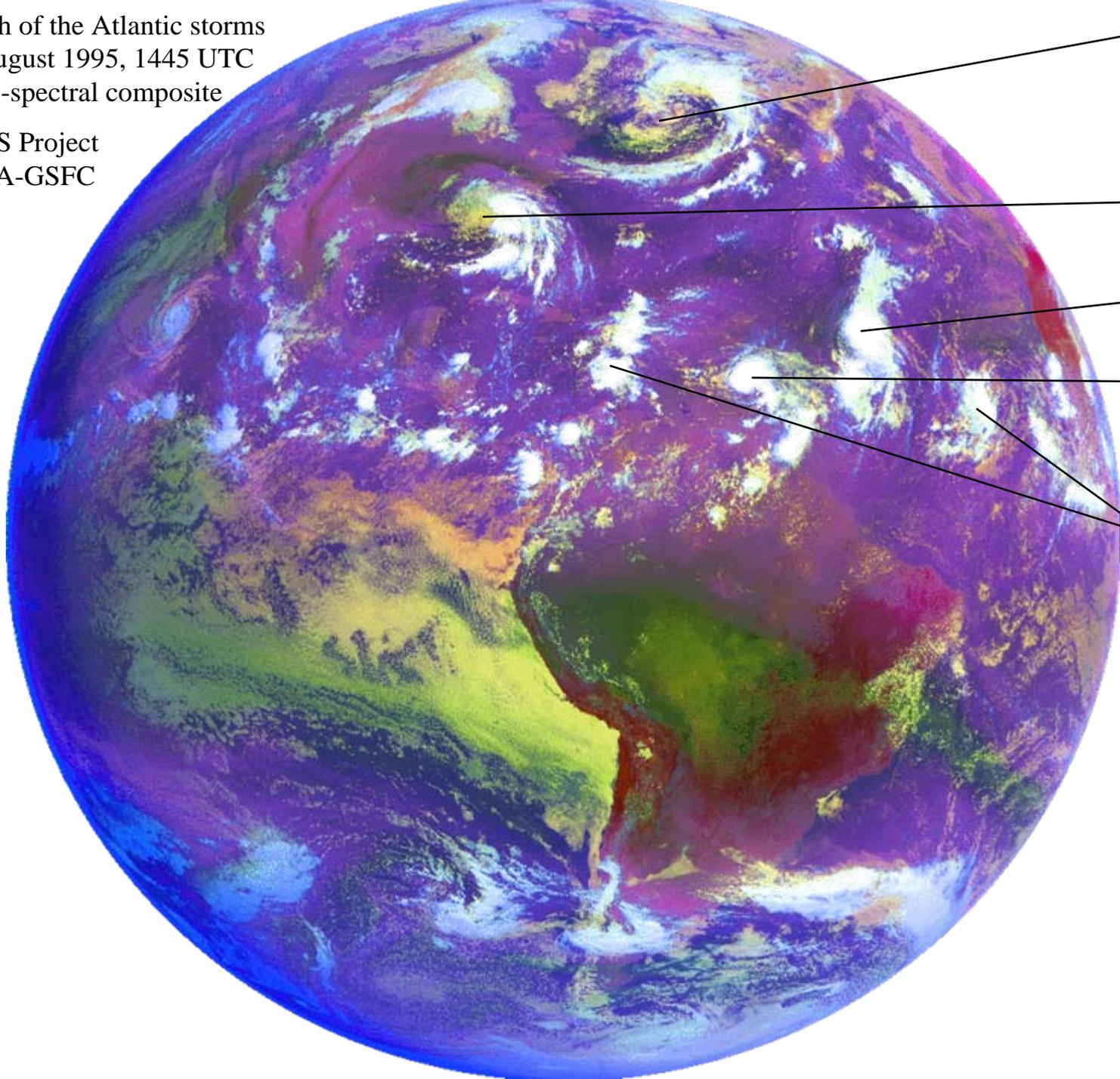
Ondes tropicales atlantiques

- Elles sont aussi appelées ondes de l'est.
- Elles présentent
 - de la convergence (mouvement ascendant) du côté est de la perturbation,
 - de la divergence (mouvement descendant) du côté ouest et
 - se déplacent vers l'ouest à 10-20 nœuds.



March of the Atlantic storms
25 August 1995, 1445 UTC
Multi-spectral composite

GOES Project
NASA-GSFC



Hurricane Felix
is in mid-north
Atlantic,

Tropical storm
Jerry is raining
on Florida, and

Hurricanes Iris
and
Humberto
are in mid-
south Atlantic,

along a string
of tropical
depressions.

Le développements des cyclones tropicaux

Cyclones tropicaux

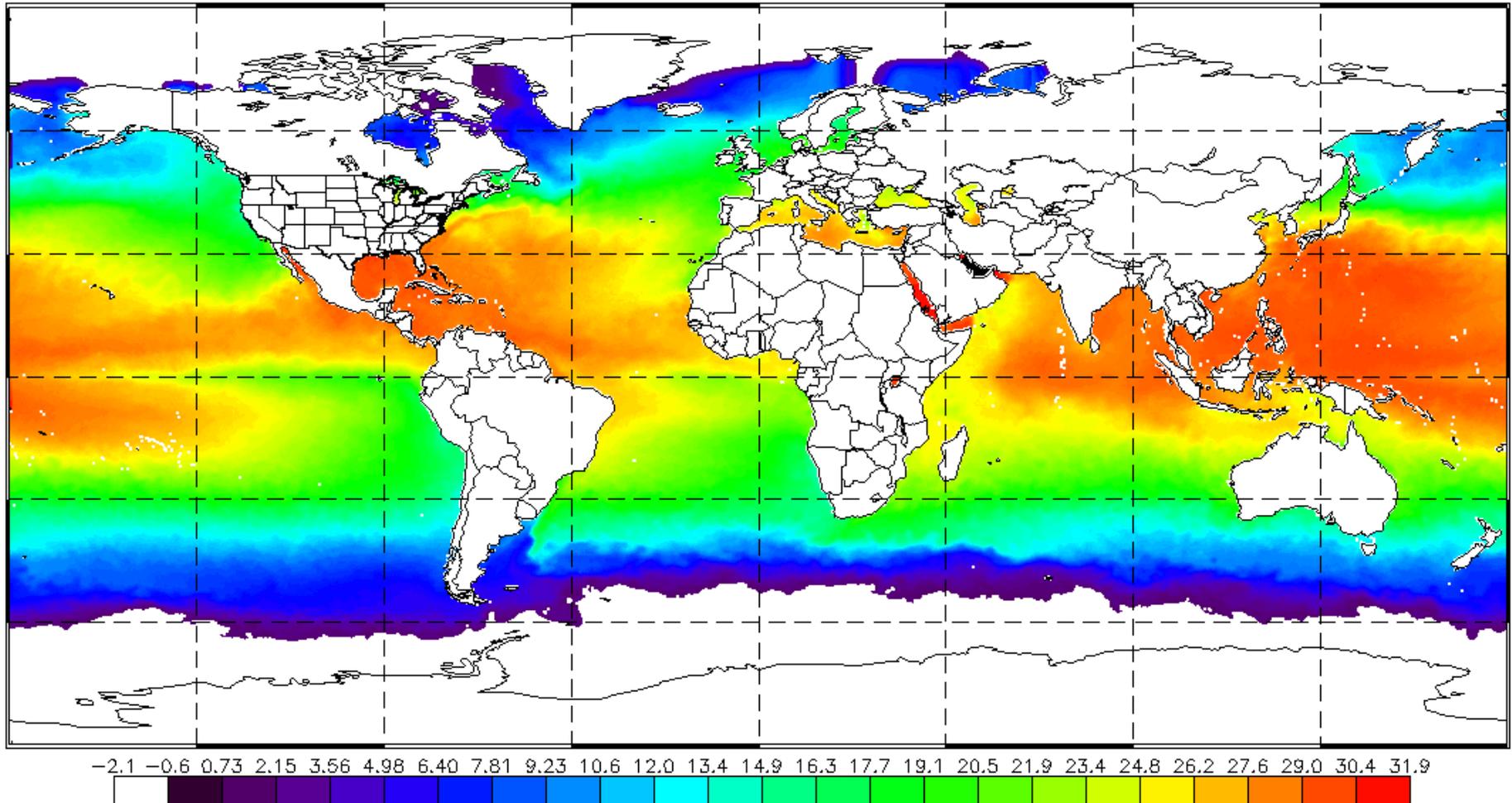
- Seulement environ 10 % des dépressions tropicales deviennent des cyclones tropicaux.
- Les conditions environnementales pour qu'un cyclone tropical puisse se développer sont :
 - des eaux chaudes (au moins 27°C) dans la couche de surface océanique (les premiers 45 m d'océan),
 - de l'air plutôt humide dans la basse et mi-troposphère (jusqu'à 5 000 m) (La forte humidité réduit l'évaporation dans les nuages et maximise le réchauffement par dégagement de chaleur latente et la formation de précipitation),
 - une distance d'au moins 500 km de l'équateur et
 - un faible cisaillement vertical du vent.
- Les cyclones tropicaux s'affaiblissent rapidement lorsqu'ils arrivent sur les terres ou des eaux froides à cause du manque de chaleur et d'humidité.

Cyclones tropicaux

- Les conditions environnementales qui empêchent la formation d'un cyclone tropical sont :
 - des basses températures de la surface de la mer,
 - de l'air sec dans les bas niveaux,
 - des forts mouvements descendants
(dans l'Atlantique, ils sont associés à l'anticyclone des Bermudes) et
 - des forts vents en altitude.

Température de surface de la mer

Monthly Mean Satellite-only Nighttime SST for August, 1995



Régions de formation des cyclones tropicaux

- Vu que les eaux de surface doivent être au moins 27°C, c'est naturel que les cyclones tropicaux se forment près de l'équateur.
- Sauf des rares exceptions, ils ne se forment pas à moins de 5° de latitude de l'équateur car l'effet de Coriolis serait insuffisant pour leur donner un mouvement de rotation.

Atlantic basin
North Atlantic Ocean, the Gulf of Mexico, and the Caribbean Sea

Northeast Pacific basin
Mexico to about the dateline

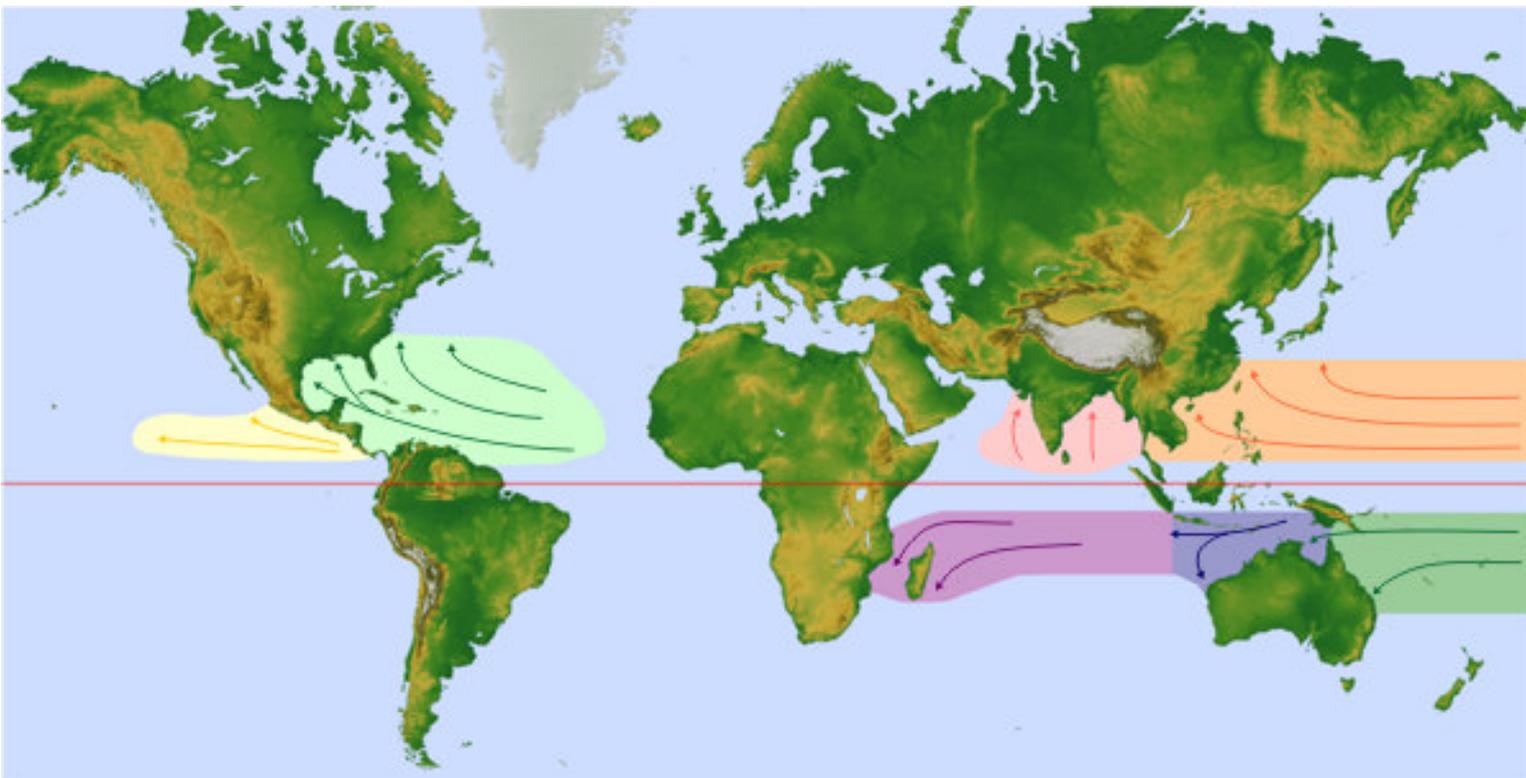
Northwest Pacific basin
From the dateline to Asia including the South China Sea

North Indian basin
Including the Bay of Bengal and the Arabian Sea

Southwest Indian basin
From Africa to about 100°E

Southeast Indian/Australian basin
100°E to 142°E

Australian/Southwest Pacific basin
142°E to about 120°W



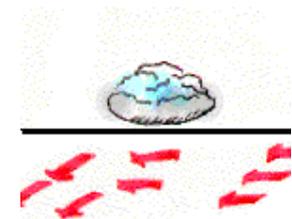
Phases de développement des cyclones tropicaux - Un résumé

Phases de développement des cyclones tropicaux

- Perturbations dans l'écoulement

- Une faible circulation se forme autour d'une région de basse pression sans que des isobares soient fermées.
- Elles sont courantes dans l'écoulement des alizés et sont fréquemment accompagnées de nuages, averses et orages.

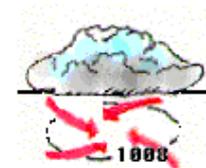
Perturbation



- Dépression tropicale

- Si des vents continus d'au moins 20 nœuds se développent, une perturbation est promue à dépression tropicale.
- Les vents de surfaces varient entre 20 et 34 nœuds.
- Une dépression tropicale a au moins une isobare fermée qui accompagne la diminution de pression au centre du système.

Dépression

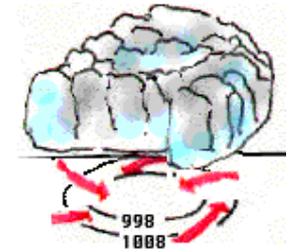


Phases de développement des cyclones tropicaux

- Tempête tropicale

- Si les vents continus dépassent les 35 nœuds, une dépression tropicale est promue à tempête tropicale.
- Les vents en surface sont compris entre 35 et 64 nœuds et le système devient plus organisé.
- La circulation des tempêtes tropicales est intense et ressemble à celle des cyclones tropicaux.

Tempête tropicale



- Cyclone tropical

- À mesure que la pression en surface diminue, les vents continus dépassent les 64 nœuds et une tempête tropicale devient un cyclone tropical.
- Une rotation prononcée se développe autour du noyau central à mesure que des lignes d'orages tournent autour de l'oeil du cyclone.
- Les précipitations plus fortes et les vents plus violents sont associés au mur de l'oeil du cyclone.

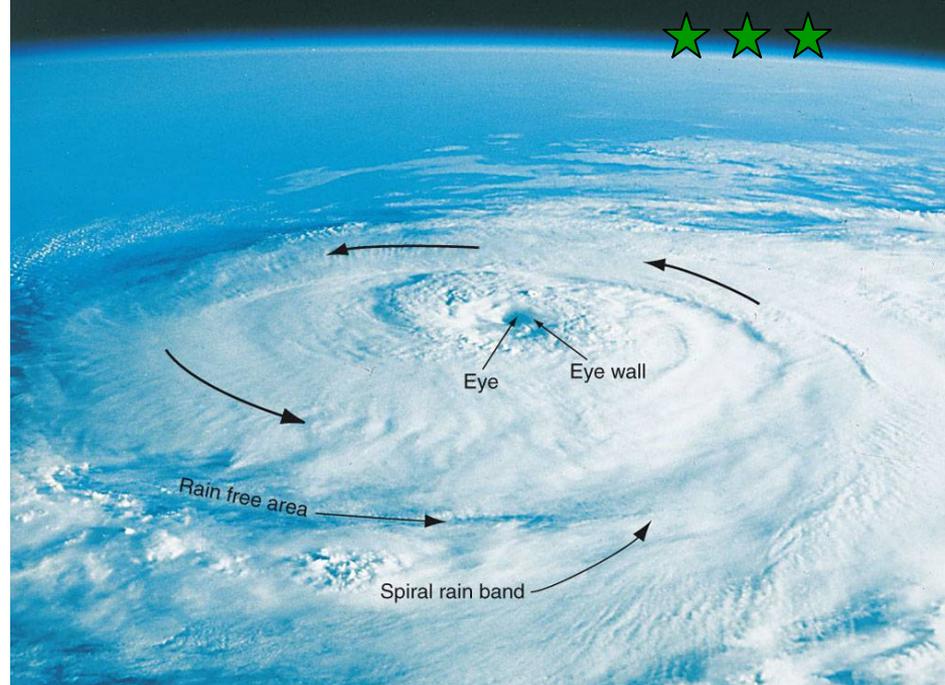
Cyclone tropical



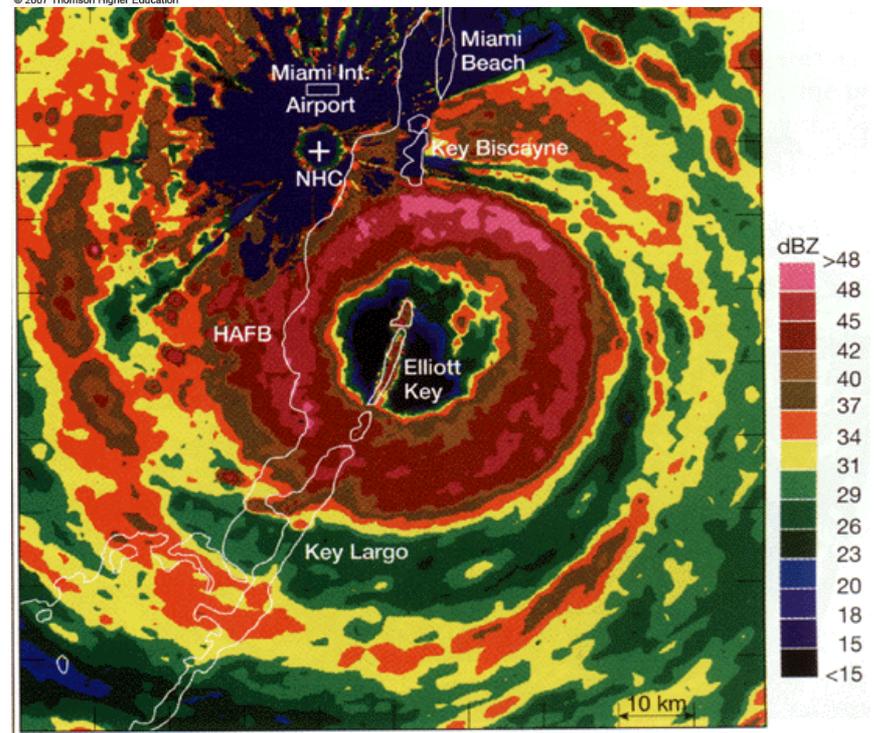
Morphologie des cyclones tropicaux

Morphologie des cyclones tropicaux

- Étendu nuageux : 500-600 km de diamètre
- Oeil : 20-50 km de diamètre
 - Vents faibles
 - Clair ou nuages épars
 - Basse pression en surface
- Mur autour de l'oeil
 - Vents très forts
 - Bandes d'orages très intenses, précipitation sous forme de pluie



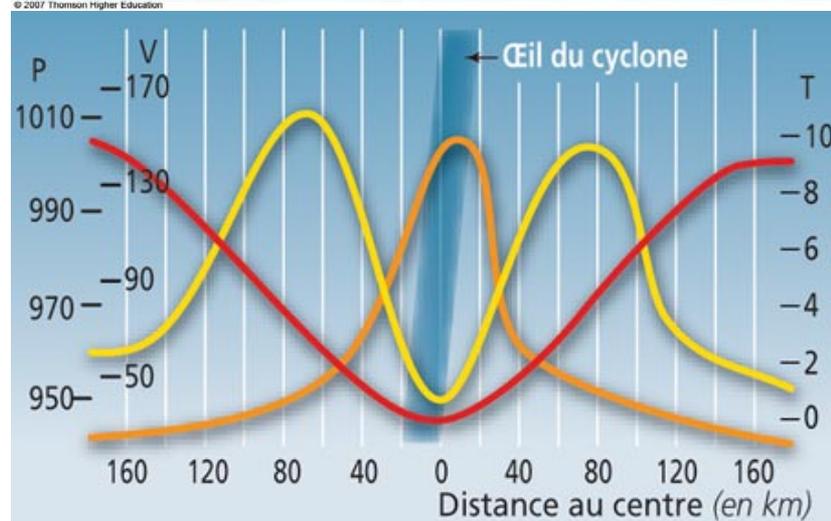
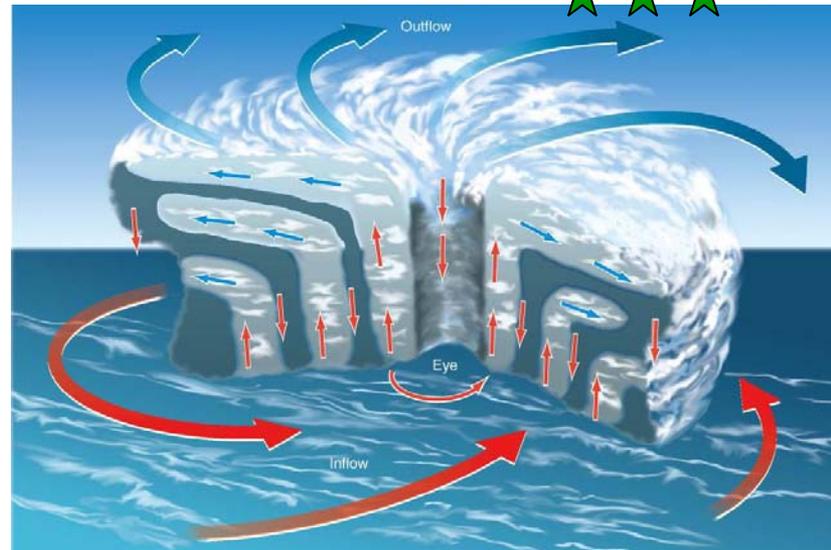
© 2007 Thomson Higher Education



Radar image of Hurricane Andrew's eyewall - the red donut - coming ashore in South Florida Aug. 24, 1992.

Morphologie des cyclones tropicaux

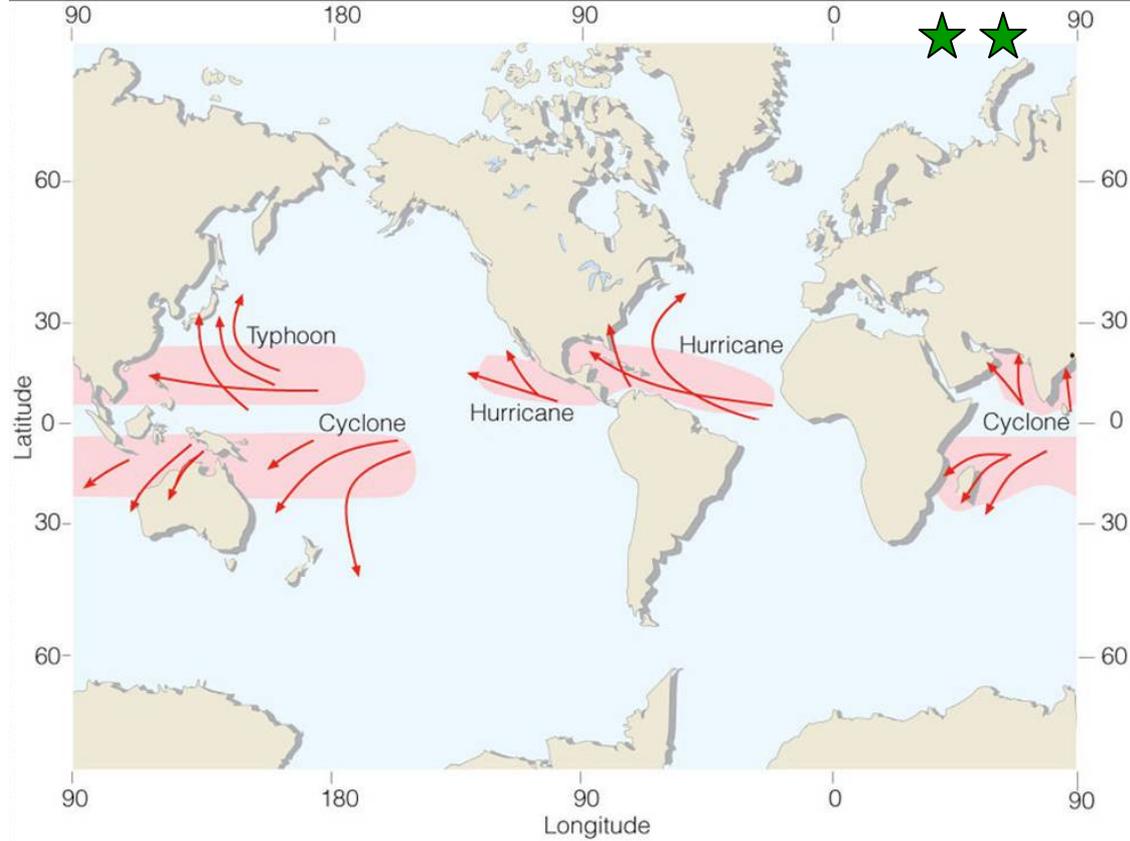
- Vue en coupe verticale
 - En surface, l'écoulement est cyclonique et convergent vers le centre du système
 - À la tropopause, l'écoulement est anticyclonique et divergent.
 - Le mouvement est descendant dans l'oeil et ascendant dans le mur d'orage tout autour de l'oeil.
 - Il y a de la subsidence au bord externe du système.
 - Il y a des bandes de précipitation.



— Pression en surface (échelle des pressions en hPa)
— Vent en surface (échelle des vents en km/h)
— Température en surface (échelle des températures à 5 000 m en °C)

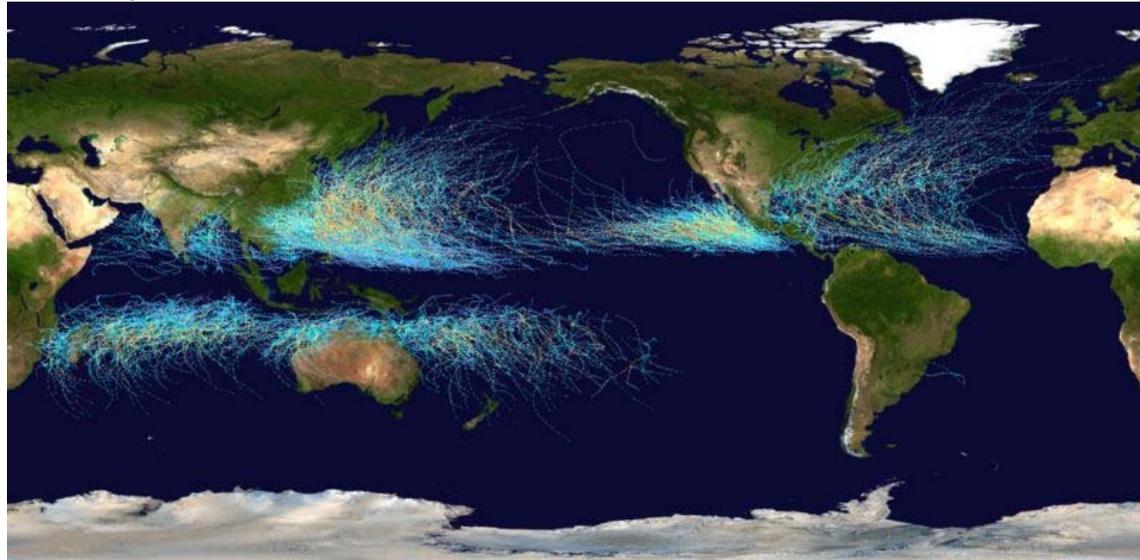
Trajectoires des cyclones tropicaux

Trajectoires des cyclones tropicaux



© 2007 Thomson Higher Education

Map of the cumulative tracks of all tropical cyclones during the 1985–2005 time period. The Pacific Ocean west of the International Date Line sees more tropical cyclones than any other basin, while there is almost no activity in the Atlantic Ocean south of the Equator.



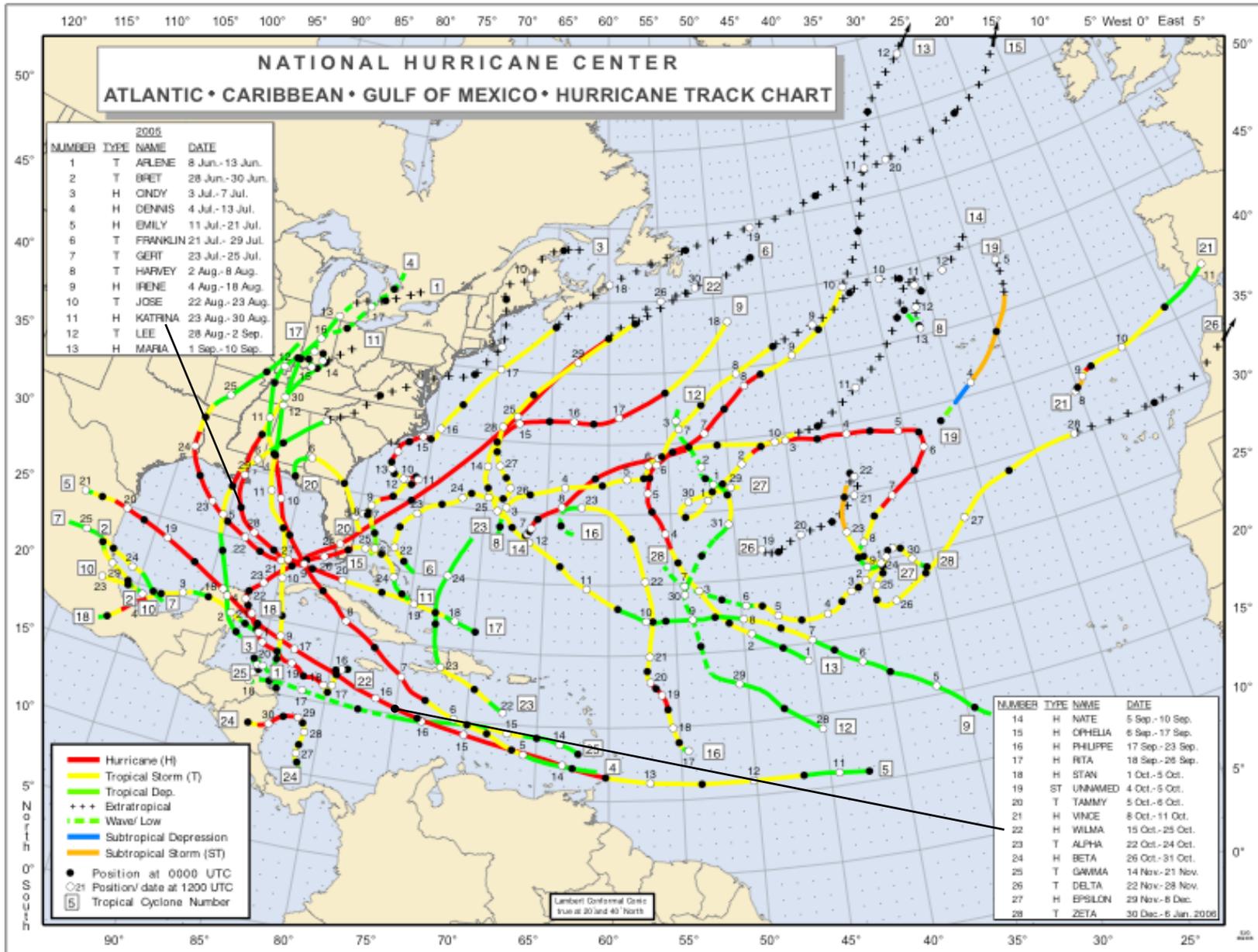
Le nom des ouragans

National Hurricane Center

<http://www.nhc.noaa.gov/aboutnames.shtml>

2007	2008	2009	2010	2011
Andrea	Arthur	Ana	Alex	Arlene
Barry	Bertha	Bill	Bonnie	Bret
Chantal	Cristobal	Claudette	Colin	Cindy
Dean	Dolly	Danny	Danielle	Don
Erin	Edouard	Erika	Earl	Emily
Felix	Fay	Fred	Fiona	Franklin
Gabrielle	Gustav	Grace	Gaston	Gert
Humberto	Hanna	Henri	Hermine	Harvey
Ingrid	Ike	Ida	Igor	Irene
Jerry	Josephine	Joaquin	Julia	Jose
Karen	Kyle	Kate	Karl	Katia
Lorenzo	Laura	Larry	Lisa	Lee
Melissa	Marco	Mindy	Matthew	Maria
Noel	Nana	Nicholas	Nicole	Nate
Olga	Omar	Odette	Otto	Ophelia
Pablo	Paloma	Peter	Paula	Philippe
Rebekah	Rene	Rose	Richard	Rina
Sebastien	Sally	Sam	Shary	Sean
Tanya	Teddy	Teresa	Tomas	Tammy
Van	Vicky	Victor	Virginie	Vince
Wendy	Wilfred	Wanda	Walter	Whitney

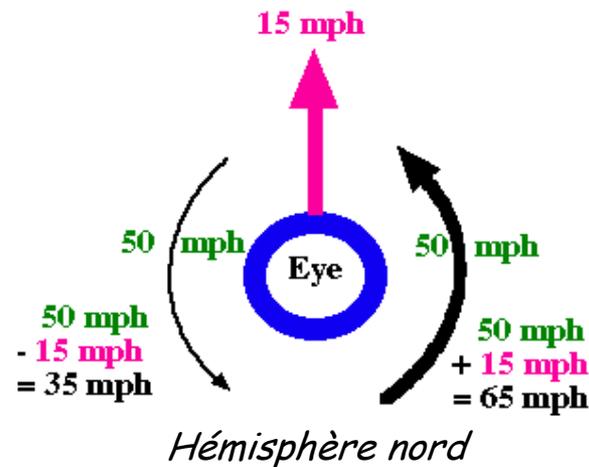
Ouragans Katrina et Wilma 2005



★ ★ 12-59 Dommages causés par les cyclones tropicaux

- Vents

- Les vents autour d'un cyclone sont plus forts d'un côté que de l'autre.
- Les cyclones tropicaux peuvent produire des tornades.
- Les tornades sont plus probables dans le secteur à l'avant du cyclone où les vents sont plus forts.



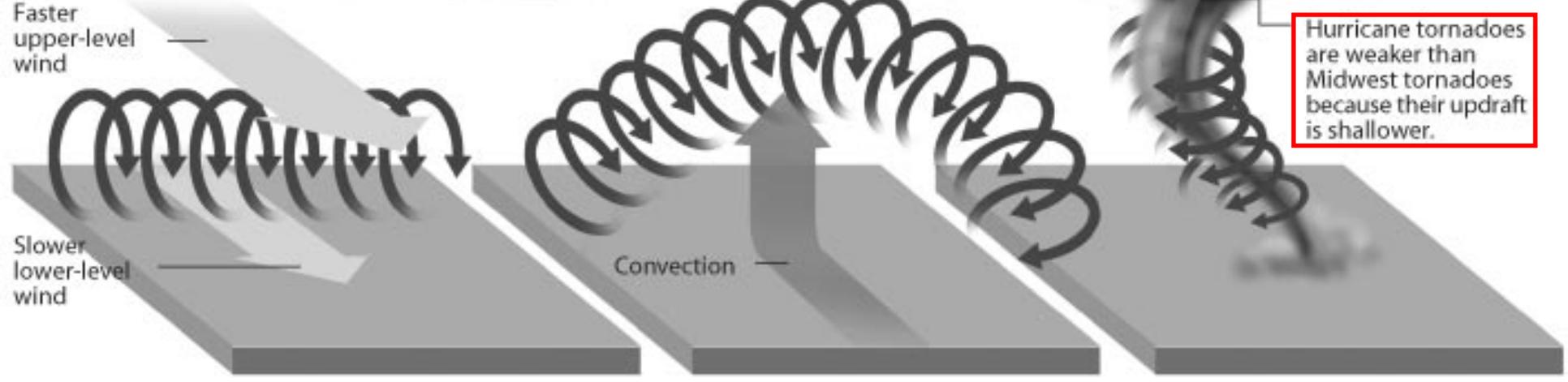


Hurricane tornadoes

Tornadoes require a combination of horizontal winds and warm air rising from land. Rain bands from hurricanes help form tornadoes. Such was the case when Ivan hit the Florida Panhandle.



Hurricane tornadoes are more frequent than classic Midwest tornadoes because there is more rotation in the hurricane environment for tornadoes to draw upon.



1. Hurricanes produce high and low-level winds. These winds begin to spin the air in between.

2. As those winds reach land, warm, moist air lifts the tube of spinning air.

3. The tube begins to spin about a vertical axis and soon becomes a tornado.

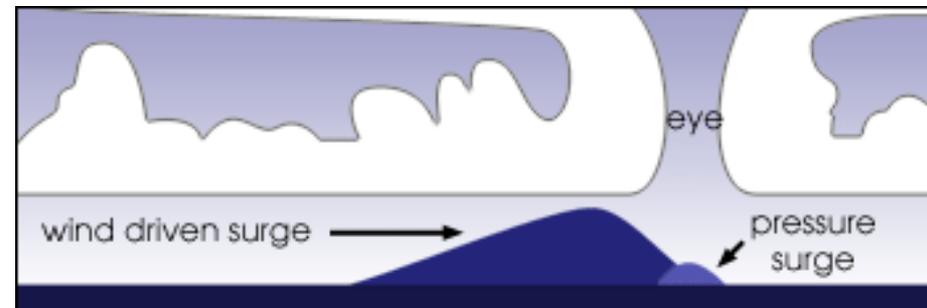
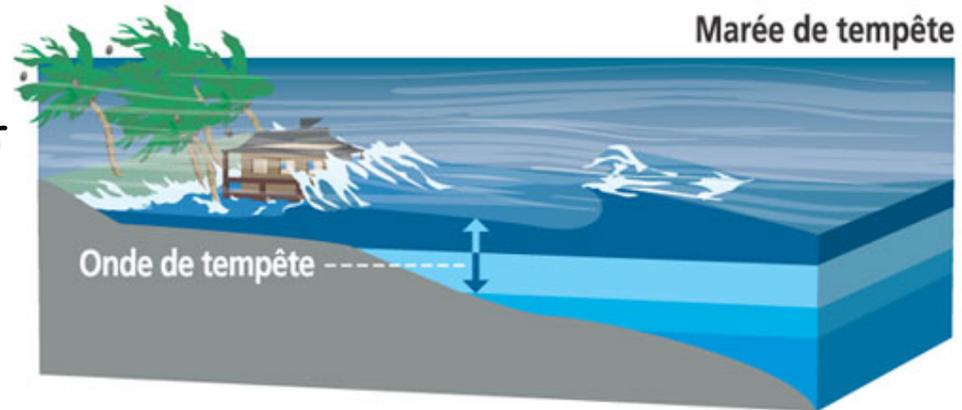
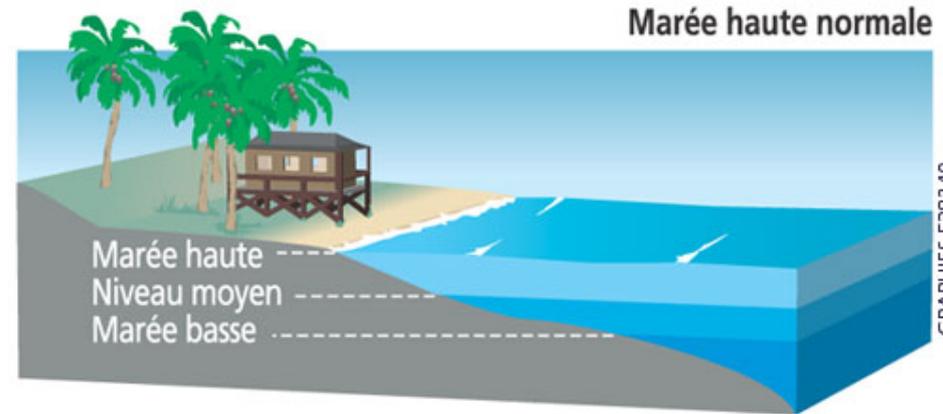
Sources: The Weather Book, National Center for Atmospheric Research and GFDL NOAA research laboratory

Times graphic — JEFF GOERTZEN

★ ★ 12-61 Dommages causés par les cyclones tropicaux

- Marée de tempête

- Les forts vents gênèrent des vagues jusqu'à 10 m (30 pieds) de haut!
- En combinaison avec la basse pression à la surface de l'océan, les forts vents provoquent une augmentation anormale du niveau de la mer.
- Le niveau de la mer anormalement élevée peut provoquer des inondations dans les régions côtières.
- Le plus grand nombre de victimes causées par les cyclones tropicaux est en relation à la marée de tempête.



L'intensité des cyclones tropicaux

Échelle de Saffir-Simpson

Catégorie	Vents soutenus	Pression centrale	Impacts potentiels
	33 à 42 m/s 118 à 153 km/h 74 à 95 mi/h 64 à 82 nœuds	980 hPa Marée de tempête 1,2 à 1,8 mètres 4 à 5 pieds	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu ou pas de dommages aux habitations. ▪ Dommages limités aux maisons mobiles, à la végétation et aux panneaux de signalisation. ▪ Inondations côtières ▪ Dommages légers aux quais et jetées.
	43 à 49 m/s 154 à 177 km/h 96 à 110 mi/h 83 à 95 nœuds	965-979 hPa Marée de tempête 1,8 à 2,7 mètres 6 à 8 pieds	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dommages possibles aux toitures, portes et fenêtres des habitations. ▪ Dommages importants aux maisons mobiles. ▪ Les panneaux de signalisation sont arrachés. ▪ Dommages importants à la végétation. Les petits arbres sont déracinés. ▪ Les routes et les plaines basses sont inondées avant l'arrivée de l'ouragan. ▪ Dommages importants aux quais et jetées. ▪ Les petites embarcations sont arrachées de leurs amarres. ▪ Évacuation des habitations longeant les côtes.

Échelle de Saffir-Simpson

Catégorie	Vents soutenus	Pression centrale	Impacts potentiels
	50 à 58 m/s 178 à 210 km/h 111 à 130 mi/h 96 à 113 nœuds	945-964 hPa Marée de tempête 2,7 à 4,0 mètres 9 à 12 pieds	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dommages à la structure des bâtiments non-renforcés. ▪ Les maisons mobiles sont détruites. ▪ Dommages importants à la végétation. Les grands arbres sont déracinés. ▪ Inondations importantes sur les terrains côtiers à moins de 1,50 mètres au-dessus du niveau de la mer, jusqu'à plus de 15 km dans les terres. ▪ Les habitations côtières sont endommagées par les vagues et les débris. ▪ Évacuation des habitations situées dans les terres basses.
	59 à 69 m/s 210 à 249 km/h 131 à 155 mi/h 114 à 135 nœuds	920-944 hPa Marée de tempête 4,0 à 5,5 mètres 13 à 18 pieds	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dommages importants à la structure des bâtiments non-renforcés. ▪ Dommages importants au rez-de-chaussée des habitations dus aux inondations. ▪ Inondations importantes sur les zones côtières à moins de 3 mètres au-dessus du niveau de la mer, jusqu'à plus de 9 km dans les terres. ▪ Érosion importante sur les plages. ▪ Évacuation des plein-pieds dans un rayon de 400 mètres des côtes, des habitations d'un étage dans un rayon de 3,2 km et des rivages.

Échelle de Saffir-Simpson

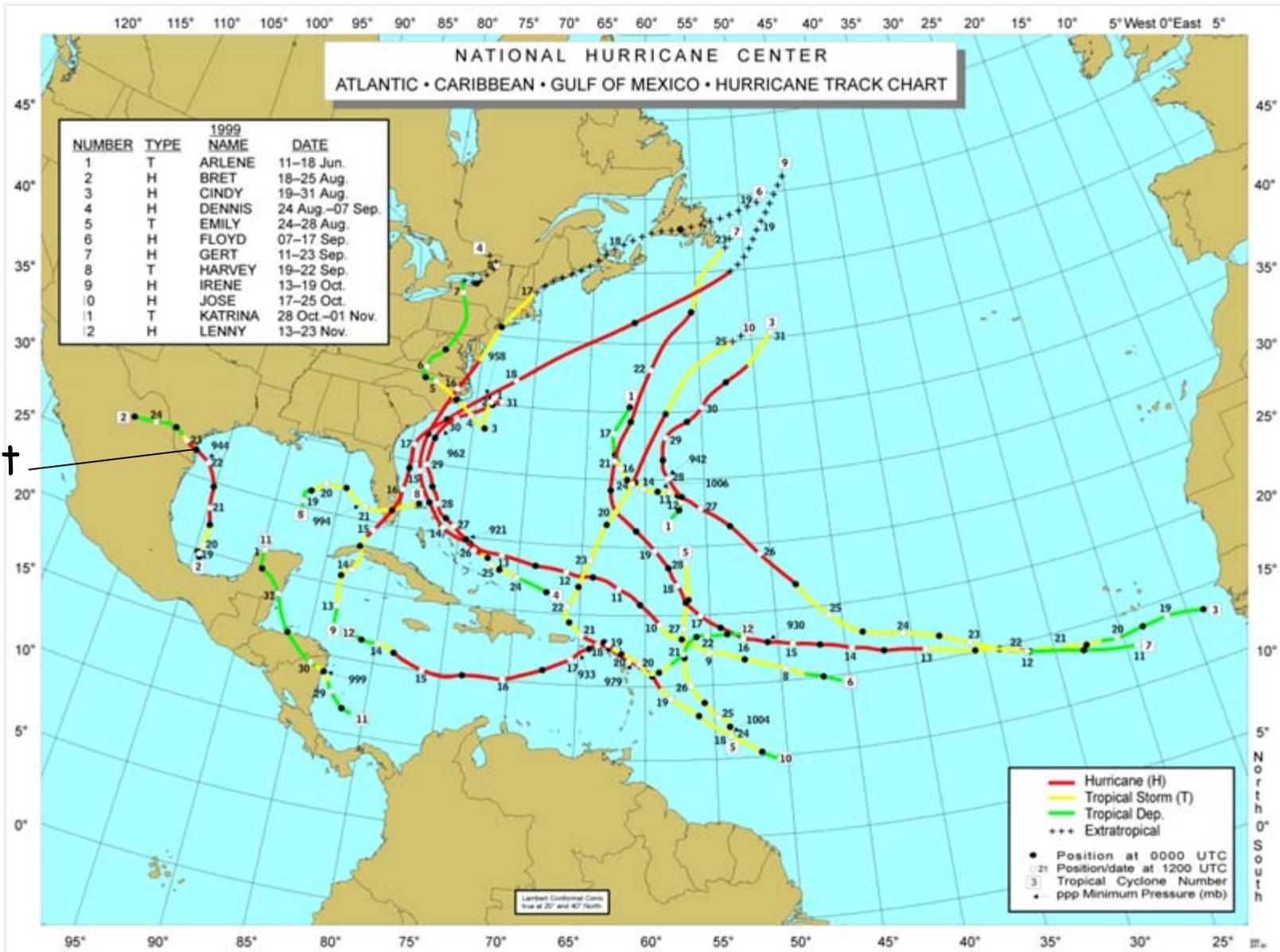
Catégorie	Vents soutenus	Pression centrale	Impacts potentiels
	Plus de 69 m/s Plus de 249 km/h Plus de 155 mi/h Plus de 135 nœuds	Moins de 920 hPa Marée de tempête Plus de 5,5 mètres Plus de 18 pieds	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Destruction des toitures, des portes et des fenêtres. ▪ Dommages importants aux charpentes des bâtiments renforcés. ▪ Destruction de certaines habitations non-renforcées. ▪ Dommages importants aux premiers étages des habitations à moins de 500 mètres du rivage dus aux inondations. ▪ Évacuation des maisons dans un rayon de 8 à 16 km des côtes.

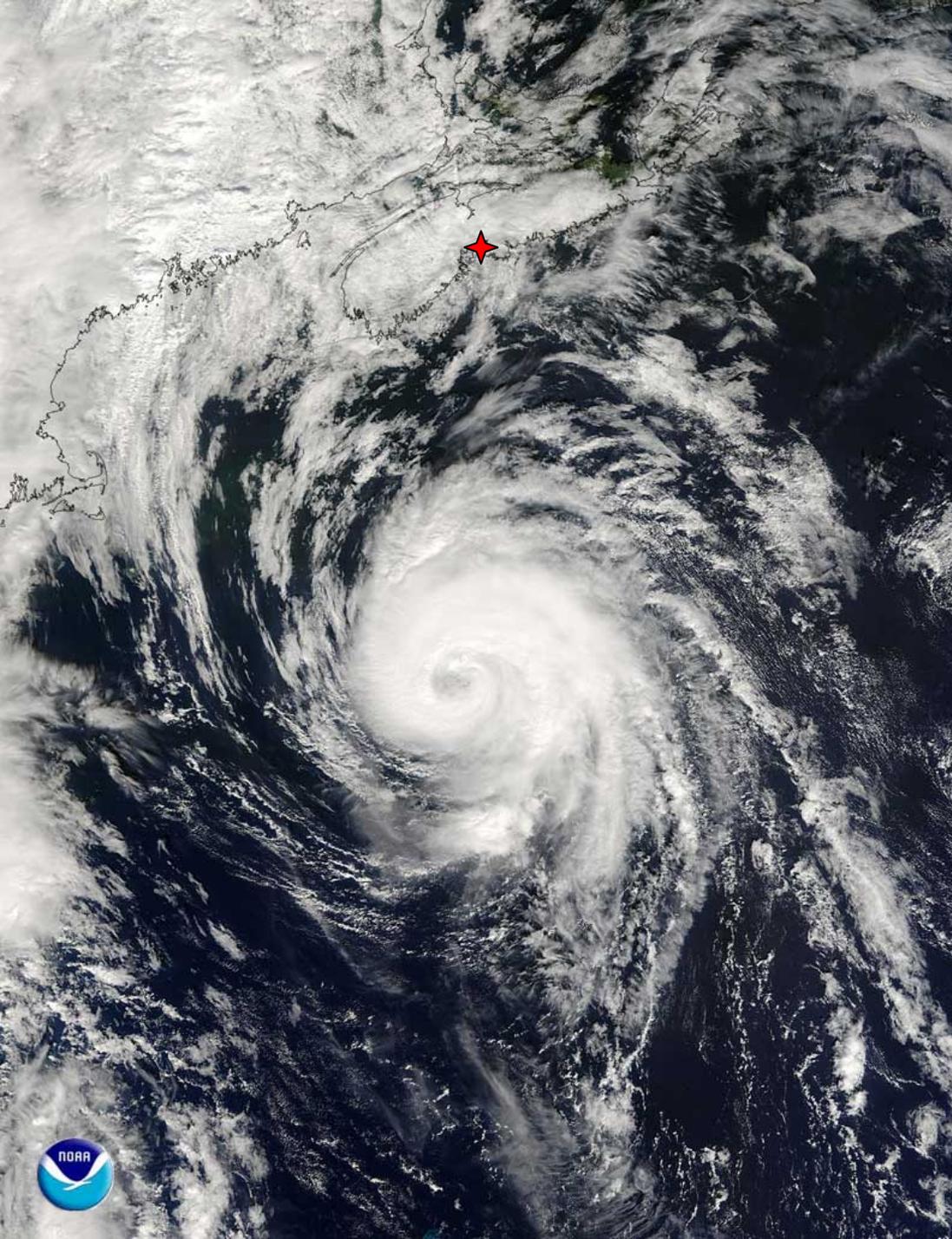
Dissipation des cyclones tropicaux

- Rappel : Les cyclones tropicaux s'affaiblissent rapidement lorsqu'ils arrivent sur les terres ou des eaux froides à cause du manque de chaleur et d'humidité.

Ouragan Bret 1999

Bret





This is a visual satellite image of Hurricane Juan, taken September 28, 2003, when Juan was well over 600 km south of Halifax, (◆) packing sustained winds near 160 km/h and moving north about 33 km/h.