

Devoir 4**À remettre le 18 avril****Question 4.1**

Quand un front froid passe au-dessus d'une station situé dans l'hémisphère nord, le vent tourne dans le sens horaire. Comment tourne le vent pendant le passage d'un front au-dessus d'une station située dans l'hémisphère sud ? Justifiez votre réponse avec un schéma représentant les isobares et les vents associés au front froid dans l'hémisphère sud.

Schéma d'un cyclone dans l'hémisphère sud :

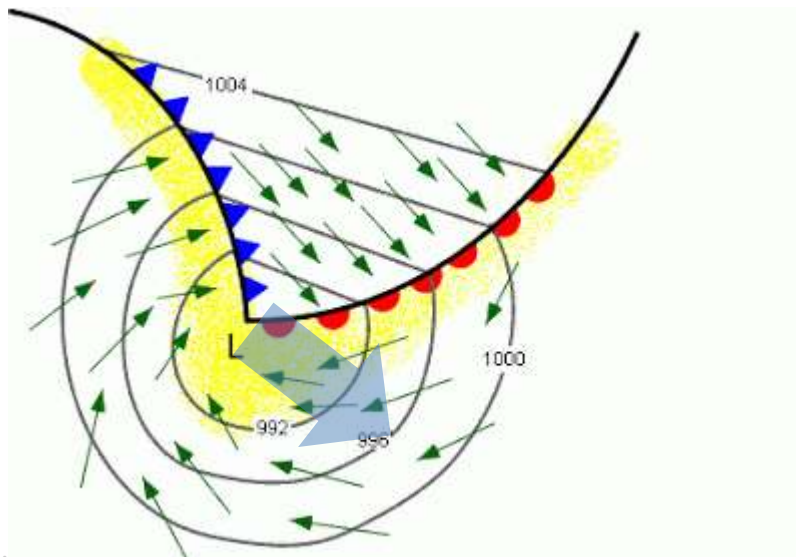


Diagramme de la structure d'un cyclone extratropical dans l'hémisphère sud. Source : the South African Climate Systems Analysis group. La flèche bleue pâle indique la direction théorique de la dépression.

Comme montre le diagramme, les vents changent dans le sens antihoraire, c'est-à-dire, ils passent de Nord-ouest à ouest et sud-ouest au passage du front froid.

Question 4.2

De quel côté d'une montagne les brises de vallée sont les plus fortes (toute autre condition étant égale), du côté sud ou du côté nord ? Et les brises de montagne ? Justifiez.

REP : Les brises de vallée sont dues au réchauffement des flancs des montagnes. Alors le côté sud sera favorisé. Les vents de montagne sont favorisés par le refroidissement des flancs des montagnes. Ils seront probablement plus forts du côté nord puisque ces pentes ont reçu pendant le jour moins d'énergie solaire.

Question 4.3

Pourquoi les terrains montagneux ne sont pas des sources de masses d'air ?

REP : Comparés aux terrains plats, les terrains montagneux ont des plus forts gradients de

température et d'humidité. Or, la formation d'une grande masse d'air de caractéristiques uniformes requiert des propriétés de surface uniformes.

Question 4.4

La pluie verglaçante est associée plus souvent à quel type de front? Pourquoi?

REP : La pluie verglaçante est associée plus souvent au front chaud. La pluie verglaçante a lieu en présence d'une forte inversion de température qui caractérise une couche d'air proche de la surface. Les températures dans cette couche d'inversion augmentent d'une température inférieure au point de congélation à des températures supérieures à 0°C. La couche d'air proche de la surface dont les températures sont inférieures à 0°C est assez mince. Au-dessus de l'inversion, les températures décroissent rapidement. Ainsi, les conditions de gel existent à la surface et au-dessus de de l'inversion, et de la précipitation solide traverse la couche d'air où la température est supérieure à 0°C. Ce profil de température décrit bien le profil de température juste avant le passage du front chaud, où l'air mT est au-dessus de l'air froid proche de la surface et en présence de précipitation continue. Un front froid a une pente plus proche de la verticale. Dans l'air mT devant le front, les températures inférieures au point de congélation et l'inversion de température à la surface sont peu probables. Derrière le front froid, la température est plus basse mais la précipitation est rare. De plus, même si la surface refroidit au-dessous du point de congélation, la même chose arrive avec l'air au-dessus de la surface. Il n'y aura donc pas de couche d'air proche de la surface où les températures sont supérieures à 0°C.

Exercice 4.5

Quelle est la caractéristique principale partagée par les circulations à l'origine des cellules de Hadley, des moussons et des brises de mer (et de terre)? *R : Toutes ces circulations sont des circulations thermiques, c'est-à-dire, sont la conséquence des gradients horizontaux de température.*

Exercice 4.6

En volant à un niveau de pression constant (dans l'hémisphère nord), un pilote de brousse constate une forte dérive vers la gauche. Pour continuer à voler au même niveau de pression, l'avion doit-il prendre de l'altitude ou descendre? Expliquez pourquoi. *R : L'avion doit prendre de l'altitude. Si le vent fait dériver l'avion vers la gauche, la pression atmosphérique est plus élevée en avant de l'avion qu'en arrière. Pour que le vol se réalise à pression constante, le pilote doit monter.*

Exercice 4.1

La figure 4.1 montre le météogramme à Pittsburg, PA, pour une période de 24 h, commençant à 000Z le 24 novembre 2003.

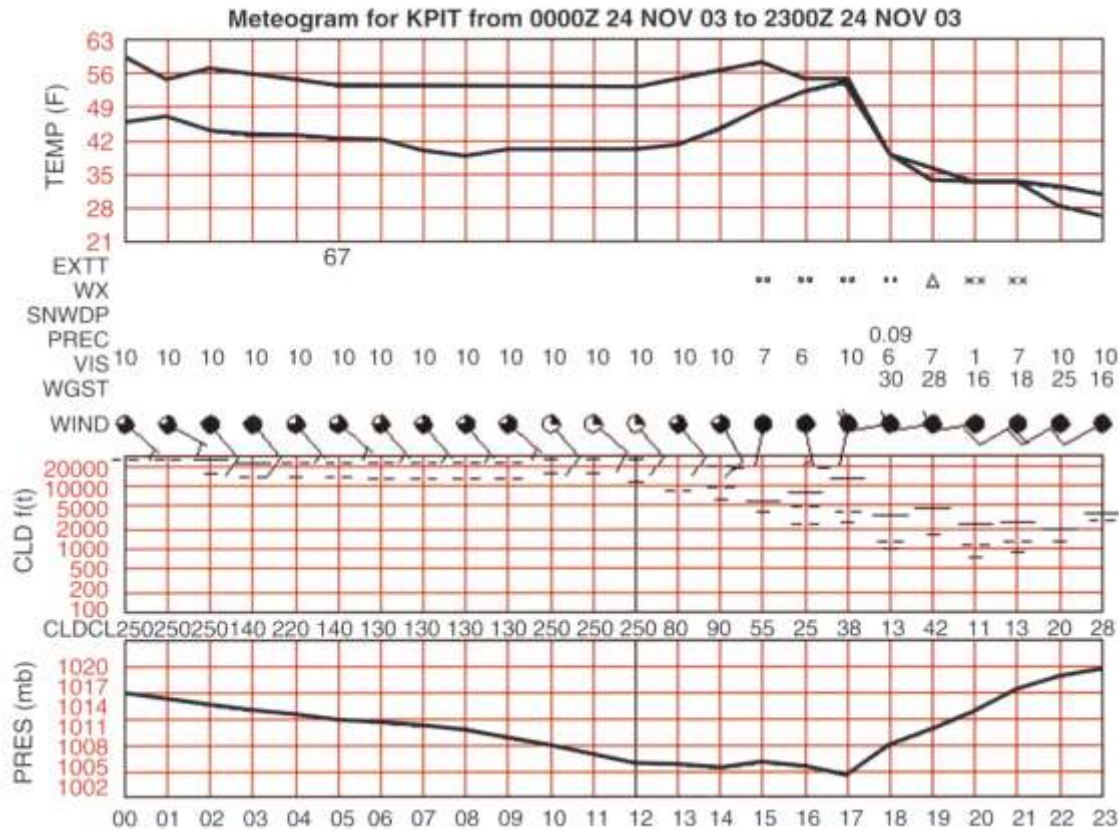
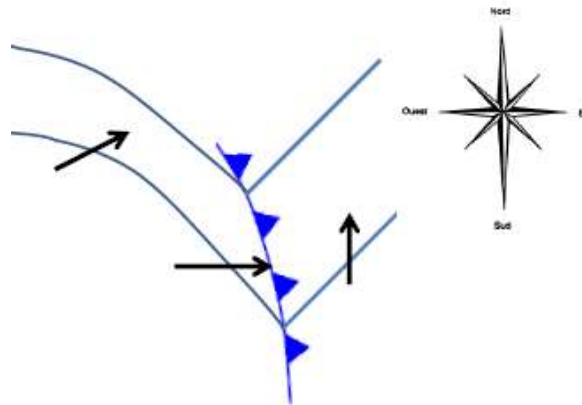


Figure 4.1 – Météogramme pour Pittsburg, PA, le 24 novembre 2003. Courtoisie de Plymouth State Weather Center.

- À quelle heure le front froid passe à Pittsburg? Justifiez votre réponse en utilisant seulement les données de pression atmosphérique. *Réponse : 1700Z : au passage du front froid, on note une hausse soudaine de la pression, caractéristique du front froid (passage rapide du creux)*
- Comment varient les vents à l'approche, à l'arrivée et au passage du front froid? Faites un schéma du champ de pression associé au front qui explique le comportement du vent.

Réponse : Puisque le vent suit les isobares (en les croisant plus ou moins fortement selon la force de frottement), il subira toujours un changement brusque de direction au passage du front, à cause du creux. Le vent passe brusquement du secteur sud (ou sud-ouest) au secteur ouest (ou sud-ouest). Le météogramme montre que le vent passe de sud à ouest en augmentant d'intensité. Après le passage du front, le vent maintient une

forte composante ouest, sa vitesse est de modéré à forte et il souffle avec des rafales; ceci est dû à la déstabilisation de l'air froid en contact avec la surface chaude.



Les flèches noires représentent la direction du vent et les lignes bleues les isobares, c'est-à-dire, le champ de pression.

- c. Citez deux autres caractéristiques des données fournies par le météogramme qui corroborent fortement le passage du front à l'heure que vous avez donné en a. Justifiez brièvement vos réponses.

Réponse :

- 1) La température est un des éléments les plus marqués par le passage du front. Le front étant une zone plus ou moins large, la diminution de température se fait sentir progressivement.*
- 2) La température du point de rosée diminue, montrant le passage d'une masse d'air chaude et humide à une masse d'air froide et plus sèche. La précipitation humidifie l'air jusqu'à la saturation.*
- 3) L'humidification de l'air fait baisser le plafond des nuages.*
- 3) La pluie et la neige diminuent la visibilité juste avant et pendant le passage du front.*

Exercice 4.2

La figure 4.2 montre les températures à 700 hPa, le 23 mars 2008 à 1200Z (à gauche), ainsi que les températures moyennes climatologiques à 700 hPa le même jour. Les figures 4.3 (a et b) sont des images satellitaires prises le même jour à 1531Z et 2031Z respectivement. On peut supposer que la température à 700 hPa ne varie pas de façon significative pendant la journée.

- a. Comparez les températures mesurées le 23 mars à 700 hPa dans la région des Grands Lacs avec les températures climatologiques dans la même région.

Réponse : Une masse d'air froid est sur la région des grands lacs. Les températures à 700 hPa sont très inférieures aux températures normales pour la journée.

- b. Étudiez l'image satellitaire visible à 1531Z. Identifiez la bande blanche qui s'étend d'ouest en est. Explicitez votre raisonnement en utilisant les caractéristiques radiatives de la surface et le principe de mesure du radiomètre qui nous donne l'image.

Réponse : La bande blanche correspond à une région couverte de neige. On arrive à cette conclusion en sachant que le radiomètre dont les données construisent l'image satellitaire visible mesure le rayonnement visible réfléchi par les surfaces. Il mesure donc l'albédo des surfaces. Cette bande blanche a un albédo élevée par rapport aux surfaces voisines. Elle peut être une bande de neige ou une bande de nuages. La comparaison des deux images prises à des moments différents nous montre cependant que les limites et la texture de la surface ne changent pas. On conclut que c'est de la neige accumulée au sol. Un autre indice c'est la fin abrupte de cette bande au-dessus du lac Michigan.

- c. À 2031Z, on note la présence de nuages de type cumulus dans une grande partie de la région couverte par l'image, ainsi que son absence dans la région de la bande blanche. Expliquez la présence et l'absence de cumulus dans les diverses régions montrées dans l'image en utilisant vos connaissances sur la formation de ce type de nuage, et en intégrant dans votre réponse les conclusions tirées en a. et b. *Réponse : Pendant la journée, la surface qui n'est pas couverte de neige se réchauffe et comme l'air en altitude est très froid, l'atmosphère devient instable, ce qui est propice à la formation de cumulus. Au-dessus de la bande de neige, la surface ne se réchauffe pas significativement, d'une part à cause de l'albédo élevé de la surface, d'autre part à cause de la fonte de neige. Le peu d'énergie solaire absorbée est employée à réchauffer la neige jusqu'à 0°C. Quand cette température est atteinte, elle reste constante jusqu'à ce que toute la neige soit fondue. Il s'établit alors une circulation thermique entre la zone couverte de neige et la surface non couverte, comme entre le lac et la terre solide. On peut voir que les vents sont divergents à la surface couverte d'eau et de neige. Divergence en surface signifie qu'il y a de la subsidence (courant descendant), donc absence de nuages.*

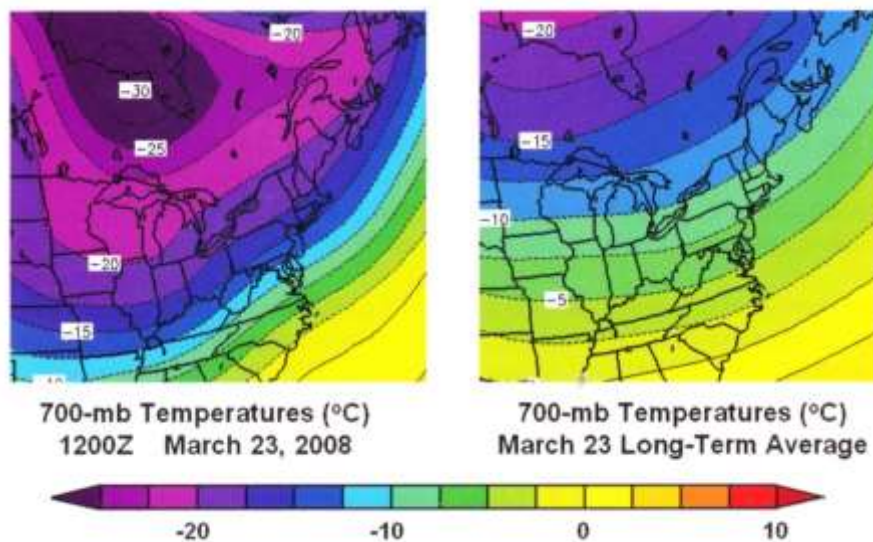


Figure 4.2 – À gauche : le champ de température à 700 mb à 1200Z le 23 mars 2008 ; à droite : le champ de température climatologique pour le 23 mars 2008.

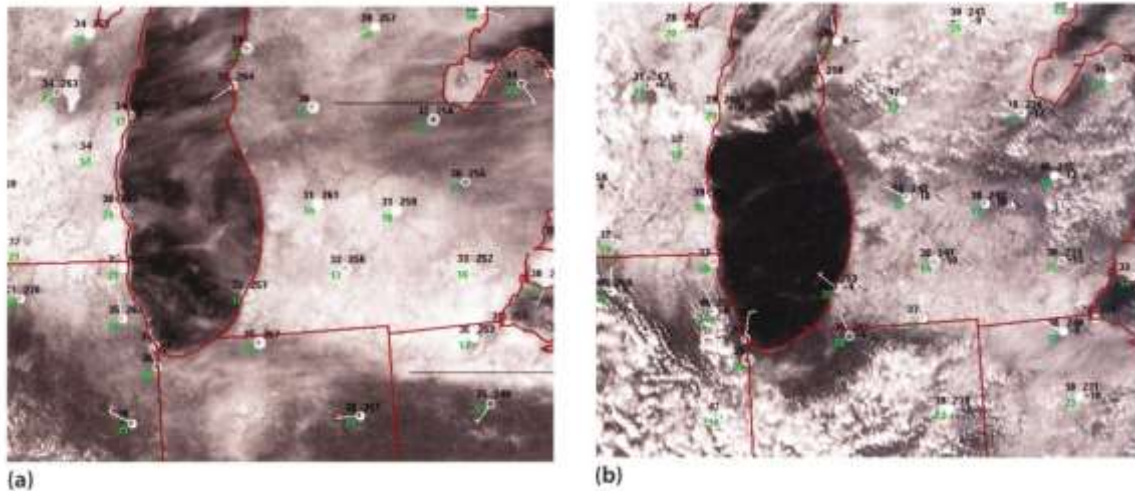


Figure 4.3 – Images satellitaires VIS, le 23 mars 2008 : (a) à 1531Z ; (b) à 2031Z.

Exercice 4.3

Le 9 octobre 2007 à 12Z, une dépression extratropicale mature était localisée sur l'océan Pacifique à l'ouest de l'état de Washington. La figure 4.4a) montre les isohypses à 500 mb (en mètres) à ce moment et la figure 4.4b) les isobares au niveau moyen de la mer (en mb). La figure 4.4c) montre l'image satellite infrarouge correspondante.

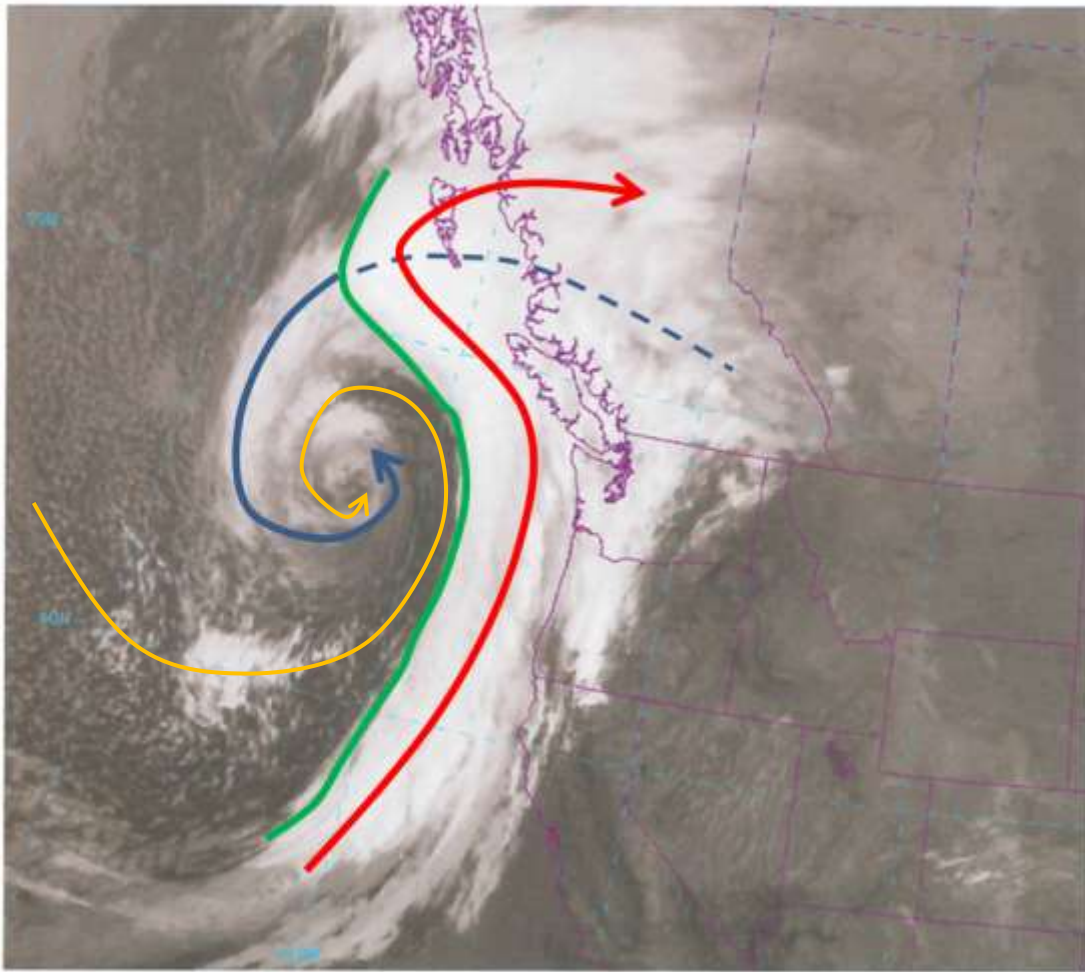
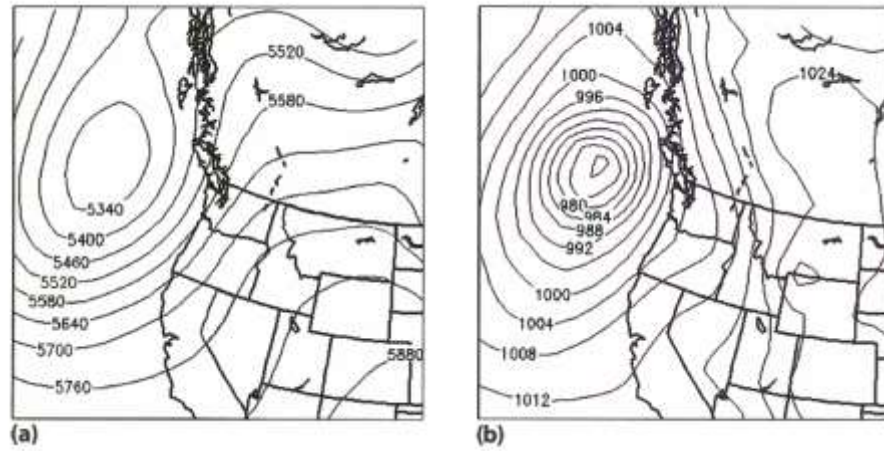
- a. À quelle étape de son développement est le cyclone (onde ouverte, maturité ou occlusion)? Justifiez votre réponse en utilisant la localisation du creux à 500 mb par rapport au centre de la dépression à la surface.

Réponse : le creux (cut-off low) en altitude est aligné avec le centre de la dépression à la surface. Le cyclone est en occlusion.

- b. À la lumière de votre réponse en a. pensez-vous qu'à cette étape de développement, les trois convoyeurs de la dépression ont eu le temps de se former?

Réponse : oui

- c. Utilisez des crayons de couleur différente pour tracer dans l'image satellitaire les axes des convoyeurs existants (rouge pour le chaud, bleu pour le froid et jaune pour le sec).
- d. Tracer une ligne verte indiquant la limite ouest du convoyeur chaud.



(c)

Figure 4.4: Imagerie et analyse d'un cyclone extratropical sur l'océan pacifique le 9 octobre 2007 à 12Z : a) isohypses à 500 mb (étiquetées en m); b) isobares au niveau moyen de la mer (étiquetées en mb); image IR (gracieuseté de la NOAA)

Exercice 4.4

Dans cet exercice, on étudie la naissance et la mort d'un cyclone appelée la tempête du siècle (XX^{ème} siècle) qui a eu lieu entre le 12 et le 13 mars 1993. Le but de cet exercice est de comprendre mieux le comportement du cyclone et les difficultés de prévoir, entre autres, la quantité et le type de précipitation.

Les cyclones extratropicaux se forment et se développent le long du front polaire. Le contraste de température en Amérique du Nord, en hiver, est créé essentiellement par la rencontre d'une masse d'air arctique ou polaire continentale, froide et sèche, avec une masse d'air maritime tropicale, chaude et humide, provenant du courant du Golfe du Mexique.

L'évènement que nous allons étudier a eu lieu à la mi-mars, 1993. Il a été appelé la «La Tempête du siècle».

Le 12 mars, une pression récemment formée se déplace vers une région barocline sur le Golfe du Mexique et commence à s'intensifier rapidement.

Le cyclone en développement se dirige initialement vers l'est, et après vers le NO, où il atteint le continent au niveau de la côte de Floride. À ce moment, la Floride a été frappée par du temps violent. On estime le nombre de tornades à 15 et le nombre de morts à 44. Une marée de tempête de 12 pieds a été observée à Taylor County, Floride, provoquant la mort de 7 personnes. Plus de 30 cm de neige (12 pouces) sont tombés dans le «panhandle» de Floride, le long de la trajectoire de la tempête.

Le 13 mars, au début de la journée, des chutes de neige, de modérées à fortes, sont observées de l'Alabama à New York. Des records de basse pression ont été enregistrés le long de la Côte Est. À cause du grand gradient de pression, on observe des vents violents, entre autres des pics de vents à 144 mph au Mont Washington, New Hampshire. La combinaison de forts vents et de la neige a forcé la fermeture des aéroports de la Côte Est.

Le 14 mars, on a enregistré 70 records de pression minimale, et 75 records le jour suivant.

Partie 1 – Cyclogenèse : une vue de surface

La figure A4.1, en annexe, montre des cartes de surface à plusieurs moments pendant l'événement. Le cyclone en étude naît sur le golfe du Mexique et se propage vers le nord-est, le long de la Côte Est des États-Unis, tout en s'intensifiant fortement.

1. Les zones baroclines sont caractérisées par des forts gradients de température. En examinant la carte 4.5 le 3/13 00Z, identifiez sur celle-ci une zone barocline. **Réponse :** N'importe quelle région contenant un gradient de température et dont les isobares croisent les isothermes. La zone entourée dans la figure montre les régions où la baroclinicité est très importante, là où l'advection de température est la plus importante (les isothermes et les isobares sont serrées, c'est-à-dire les losanges formés par des isothermes et deux isobares consécutives sont petits).

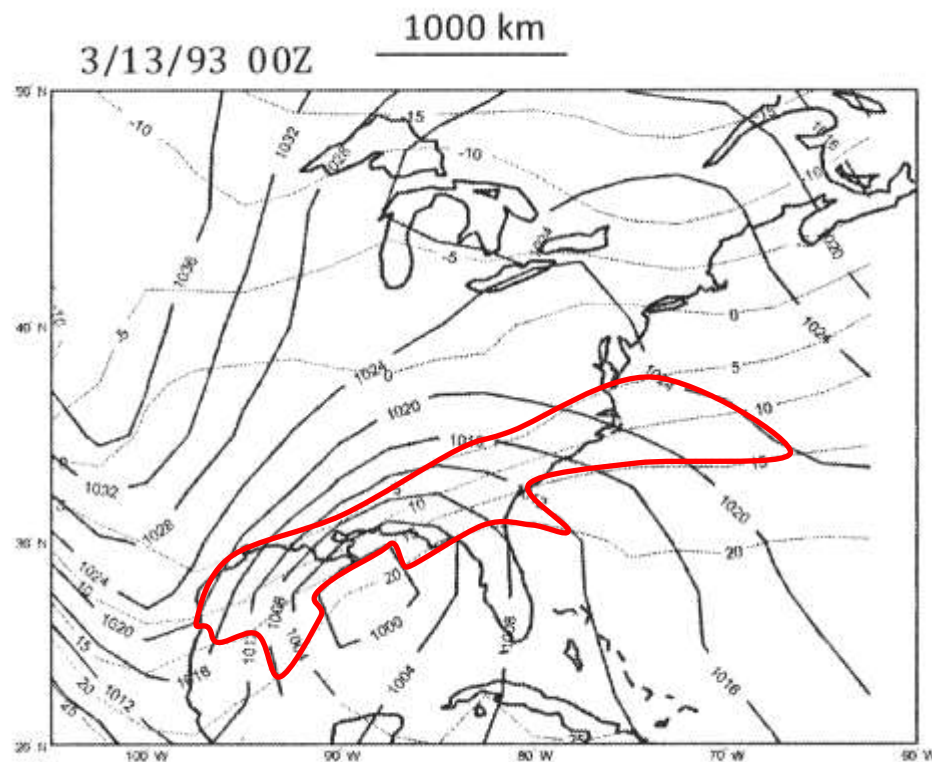


Figure 4.5 – Carte de surface. Les lignes continues sont les isobares et les lignes pointillées sont les isothermes.

2. Dans le chapitre 7, on a parlé de la force de gradient de pression. Le vent est le résultat direct de cette force.
 - a. En utilisant l'échelle spatiale en haut de la figure A4.1 (en annexe), déterminer le vent géostrophique le 13 mars à 18Z dans la station marquée par un cercle noir dans la carte respective. Quelle est la direction de ce vent?
Le paramètre de Coriolis est $f_c = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, la densité de l'air $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$.

Solution :

Échelle : 14 mm/ 1000 km = $14 \cdot 10^{-6}$ mm/m

$\Delta p = 4 \text{ hPa} = 400 \text{ Pa}$

$d = 1 \text{ mm} / \text{échelle} = (1/14) \cdot 10^6 \text{ m}$

$$|\vec{V}_g| = \left| -\frac{1}{\rho \cdot f_c} \cdot \frac{\Delta p}{d} \right|$$

$$|\vec{V}_g| = \frac{400}{10^{-4} \cdot (1/14) \cdot 10^6} = 56 \text{ m/s}$$

La direction = NE

3. Une quantité importante qu'on aimerait connaître, c'est la vitesse verticale qui, ascendante, est à l'origine des nuages et de la précipitation. Dans les cyclones, une des raisons du mouvement ascendant, c'est l'advection d'air chaud. L'advection d'air chaud est proportionnelle au gradient de température, à la vitesse du vent et à l'angle entre la direction du vent et les isothermes. Le maximum de vitesse ascendante se situe là où l'advection de l'air chaud est maximum.
 - a. Localiser les zones d'advection d'air chaud et d'air froid les plus importantes dans la carte de surface du 14 mars à 00Z (figure 4.6). **Réponse : Les deux régions encerclées. En rouge : de l'advection d'air chaud; en bleu : de l'advection d'air froid.**

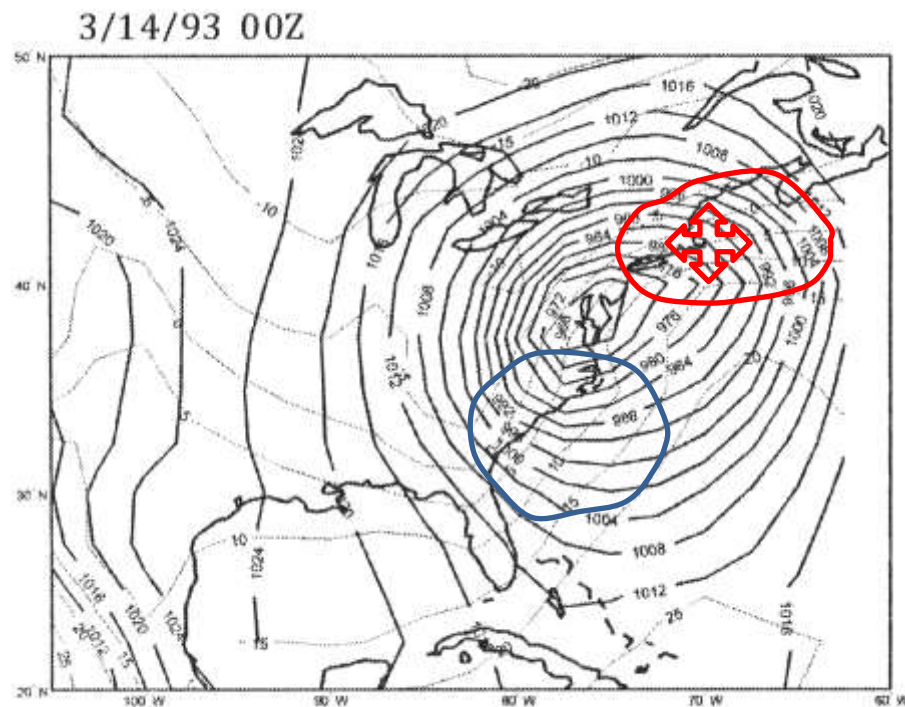


Figure 4.6 – carte de surface. Les isobares et les isothermes sont respectivement les lignes continues et les lignes pointillées.

- b. Où se situent les vents verticaux ascendants les plus intenses (faites une croix sur la carte)? **Réponse : Là où l'advection d'air chaud est plus intense.**

4. Tracez graphiquement l'évolution temporelle de la pression au centre du système dans la figure 4.7.

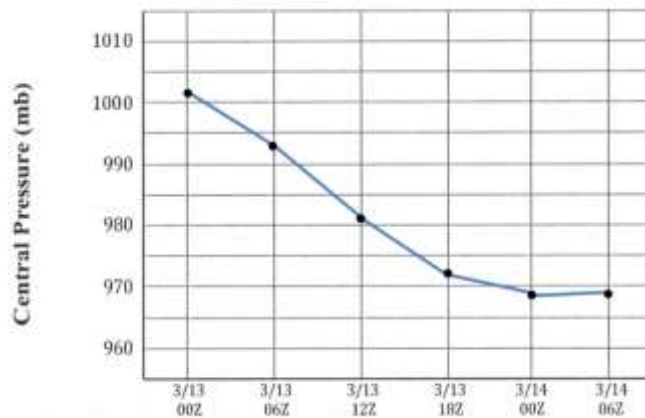


Figure 4.7 – Évolution temporelle de la pression au centre de la dépression.

5. Estimez la vitesse du cyclone en m/s

Solution :

$$d \text{ (m)} = 30 \text{ mm} \times (1000/14 \text{ km/mm}) \times 10^3 \text{ m/km} = (3/14) \times 10^7 \text{ m}$$

$$t = 30 \text{ hr} = 30 \times 3600 \text{ s} = 1,08 \times 10^5 \text{ s}$$

$$v_{\text{dep}} = d / t = 20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$$

Partie 2 – Perspective de l'atmosphère supérieure

Les cyclones ne sont pas de purs phénomènes de surface. Il existe une interaction constante entre l'atmosphère proche de la surface et la troposphère (spécialement à la tropopause). Les figures A4.2 (en annexe) montrent les champs des isohypses à 500 hPa et son évolution pour la même période. Le phénomène le plus important est la formation et l'intensification d'un creux à ce niveau de pression.

6. En utilisant l'échelle de la figure A4.2, calculer la grandeur et la direction du vent géostrophique dans le point indiqué par le cercle noir (Floride).

Solution :

$$|V_g| = \left| \frac{g \cdot \Delta Z}{f \cdot d} \right|$$

$$f = 2 \cdot \Omega \cdot \sin \varphi, \varphi(\text{Floride}) \cong 28^\circ \text{ N}$$

$$f = 6,85 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta Z = 5640 - 5480 = 160 \text{ m}$$

$$d = 4 \text{ mm} \times (1000/14) \times 1000 \text{ m}$$

$$G = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$|V_g| = \left| \frac{g \cdot \Delta Z}{f \cdot d} \right| = \left| \frac{9,81 \cdot 160}{6,85 \cdot 10^{-5} \cdot (4/14) \cdot 10^6} \right| = 80,2 \text{ m/s}$$

$$V_g = 80 \text{ m/s, direction : ouest-sud-ouest}$$

7. Utiliser les cartes de surface et d'altitude du 14 mars pour déterminer la position relative de la dépression de surface et du creux en altitude (distance et direction).
 Rép : La dépression se situe entre le creux (à ouest) et la crête (à l'est), très proche de la crête.
8. La hauteur de 5400 mètres nous donne une indication sur le type de précipitation. Les régions où les hauteurs de la pression de 500 hPa sont inférieures à 5400 m auront des températures < 0°C, et celles où les hauteurs sont > 5400 m ont probablement des températures > 0°C.
 - a. Colorier l'isohypse 5400 m dans la carte du 14 mars 00Z
 Voir en annexe
 - b. Colorier la région où l'advection d'air chaud est maximale
 Voir annexe (ellipses en gris)
 - c. Encercler la région où la précipitation est probablement sous forme de neige.
 Région au nord de l'isohypse 5400 m. Voir en annexe

Annexes

Les cartes

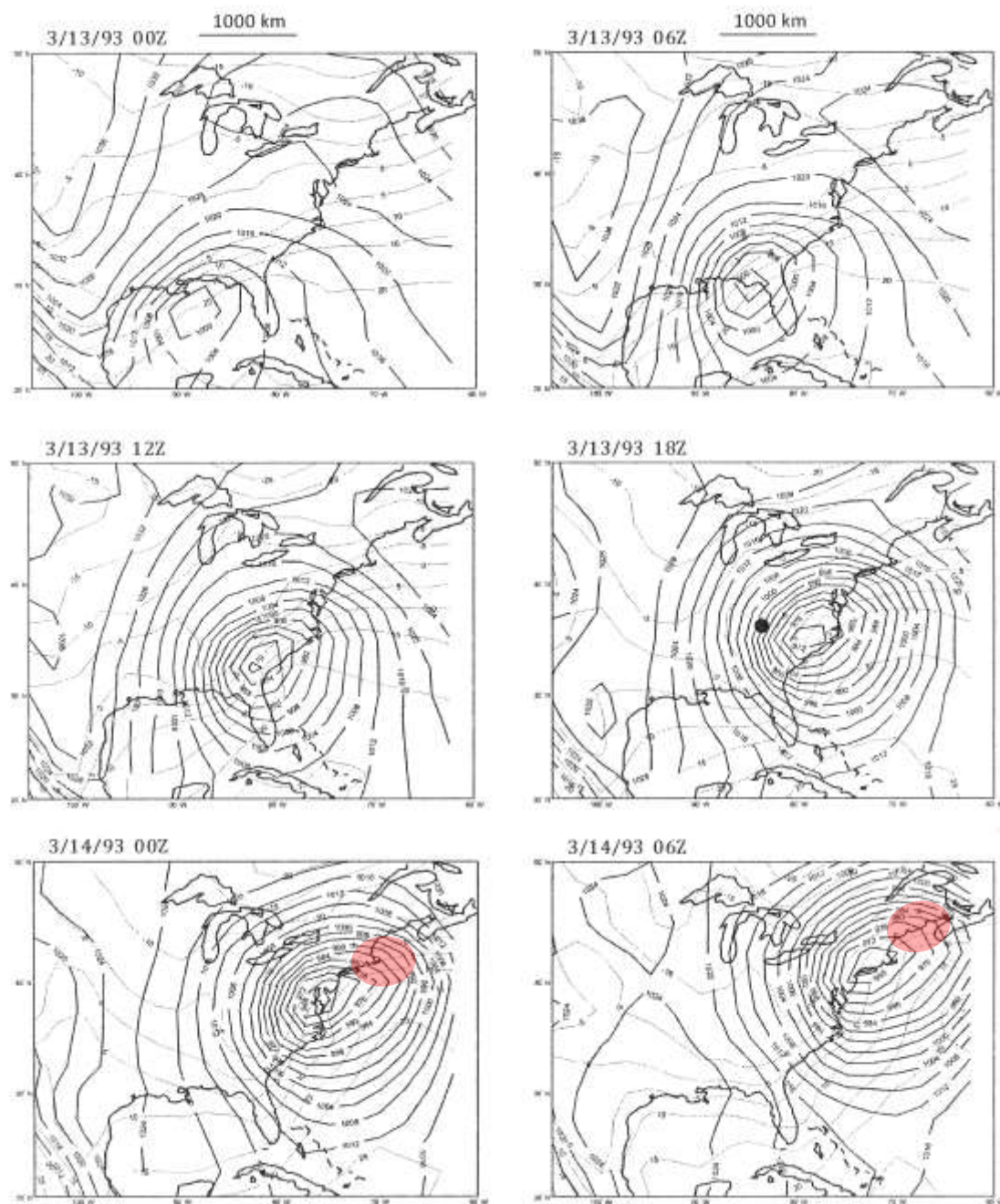


Figure A4.1 – cartes de surface au niveau moyen de la mer.

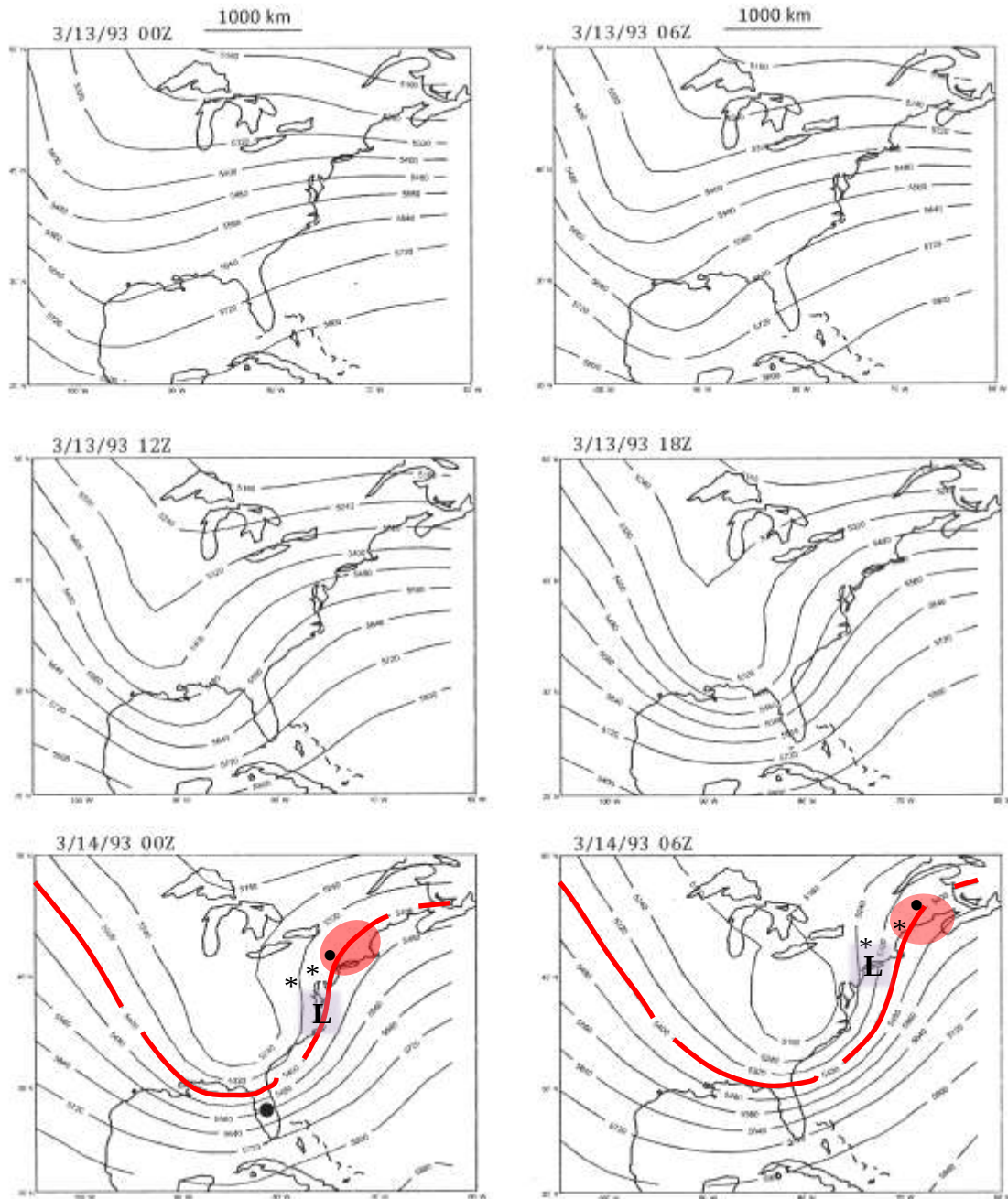


Figure A4.2 – cartes en altitude au niveau de pression de 500 hPa

Épaisseur de 5400 mètres en rouge ; en rouge la région d'advection positive de température ; la précipitation en neige est associée à l'advection positive de température et à la convergence au tour du centre de basse pression (L) et du front froid : on aura probabilité de neige du côté froid où les épaisseurs < 5400 mètres (neige, *, ou mélange neige et pluie, * •).

