Analyse de surface

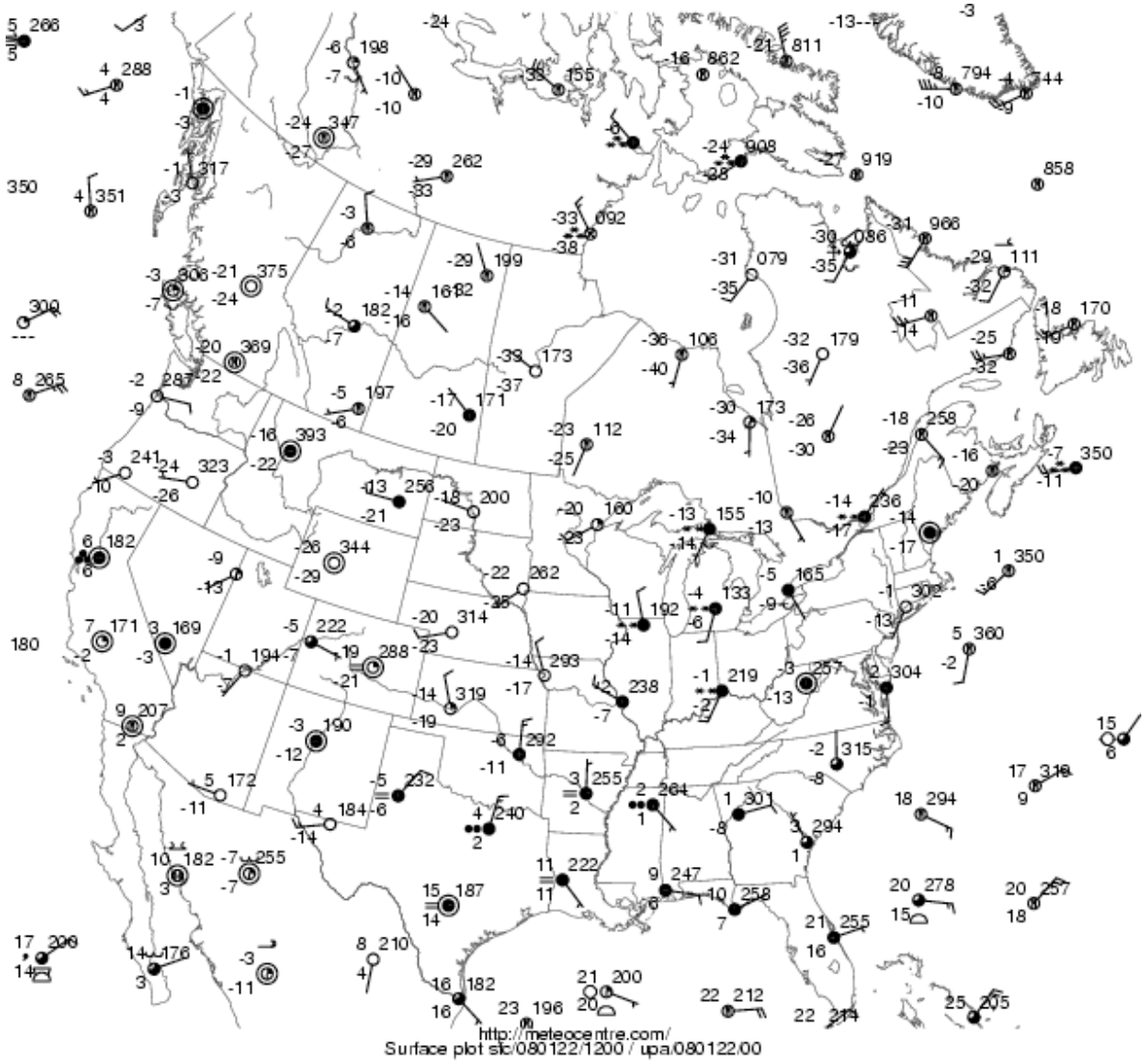


TABLE DES MATIÈRES

Analyse des isobares....2
Analyse des isothermes....7
Analyse des isallobares....10
Prévision....12

Analyse des isobares

Le but de l'analyse isobarique est d'illustrer les configurations du mouvement de l'air à la surface de la terre, sous réserve de l'exactitude des mesures de pression. Étant donné un certain nombre de chiffres disposés au hasard sur une carte, il y a une infinité de solutions quant au traçage d'isolignes de la quantité chiffrée. Cependant, diverses règles ou notions physiques peuvent nous aider à tracer la solution la plus probable. Une connaissance empirique des champs tracés est encore plus utile.

Le champ de pression à la surface est un champ relativement lisse où les détails relèvent autant de bruits et d'erreurs que de phénomènes significatifs Une courbe de barographe de n'importe quelle station peut vous en convaincre. Les variations de pression les plus grandes, qui montrent les amplitudes les plus fortes, sont de l'ordre de l à 2 jours. On peut donc supposer qu'entre deux stations il y a, sinon linéarité, du moins une courbe lisse décrivant l'allure de la pression. Voici une liste d'erreurs que l'on peut cependant rencontrer dans la pression d'une station.

1. Réduction au niveau de la mer
2. Erreur humaine d'observation
3. Erreurs dues à l'heure d'observation
4. Erreur de codage
5. Erreur de transmission
6. Erreur de décodage
7. Erreur de pointage

L'erreur due à la réduction au niveau de la mer croit avec la hauteur. Elle sera d'autant plus grande que la distribution des températures est anormale, par exemple, une couche résiduelle d'air froid dans une vallée.

Il est donc normal en montagne d'avoir des valeurs de pression plus variables dans l'espace, puisque c'est la pression réduite au niveau de la mer qui est pointée et analysée.

Les autres erreurs sont généralement diagnostiquées par le fait que la donnée analysée ne montre pas de continuité spatiale avec les données avoisinantes. La donnée rejetée doit être biffée. Souvent l'erreur ne consistera qu'à l'interversion de 2 chiffres que vous pourrez corriger.

Comme nous le disions plutôt, entre deux stations, la linéarité est souvent la meilleure méthode, mais les vents entre les autres données sont d'un précieux secours.

Vent Géostrophique

En première approximation, le vent est géostrophique surtout en altitude où le frottement est faible.

$$\vec{V}_g = \frac{1}{\rho f}\vec{k} \times \vec{\nabla}_h p$$

$$f = 2\Omega \sin \Phi$$

$$\left|\vec{V}_g\right| \approx \frac{1}{\rho f}\frac{\Delta p}{\Delta n}$$

$\vec{V}_g$: Vent géostrophique
ρ : Densité de l'air
f : Paramètre de Coriolis
p : Pression
n : Distance dans la direction perpendiculaire aux isobares.

En réalité le frottement est important à la surface et le vent réel est V_g X 40% sur terre et V_g X 70% sur l'eau. Aussi le vent croisera les isobares vers les basses pressions de 30° en moyenne sur terre et de 15° sur l'eau. On peut donc, connaissant cela, se servir du vent de surface pour estimer l'allure et l'espacement des isobares, surtout dans les régions où les données sont éparses. I1 y a cependant

certaines conditions qui rendent l'utilisation du vent de surface indésirable; citons par exemple:

1. Erreur de pointage
2. Courbure cyclonique ou anticyclonique trop forte des isobares (vent gradient)
3. V_g ~ l0kt
4. Effet local, ex.: effet de vallée
5. Orage près de la station.

La figure 1 montre un abaque pour mesurer le vent géostrophique.

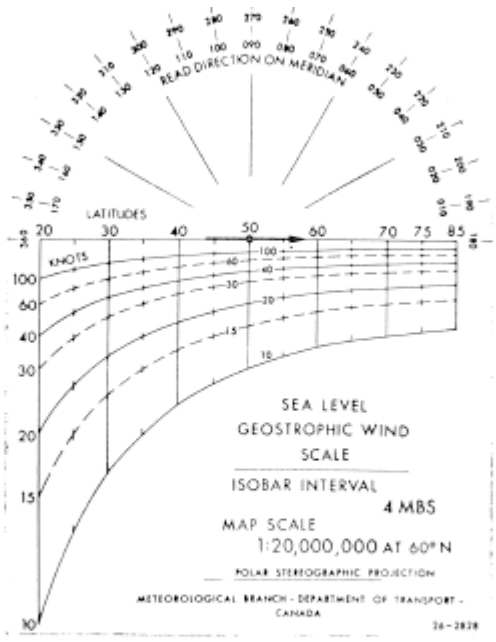


Figure 1 : Abaque permettant le calcul du vent géostrophique.

Voici comment s'en servir : Placer la ligne des latitudes (avec la flèche) le long d'une isobare ou parallèlement à sa tangente au point en question et à la bonne latitude. On descend alors les yeux jusqu'à ce qu'on rencontre la prochaine isobare et on lit la valeur sur l'abaque, selon la graduation du côté. Cet abaque est valable pour une résolution 1: 20,000,000. Si on utilise une carte de 1: 10,000,000, alors le vent géostrophique désiré sera le vent géostrophique mesuré avec l'abaque et multiplié par 2, et ainsi de suite. Pour ce qui est de la direction du vent, il s'agit de lire l'échelle sur la bordure arrondie, où elle coïncide avec la longitude de la station. I1 y a bien 2 lectures possible (+ 180°)! Laquelle choisir? Cela dépend du sens du gradient de pression. Si la pression baisse en allant vers l'intérieur de l'abaque, alors on choisit l'échelle intérieure, vice-versa. Cependant, en général, le choix est évident.

Pratiquez vous sur ce petit exemple au point A:

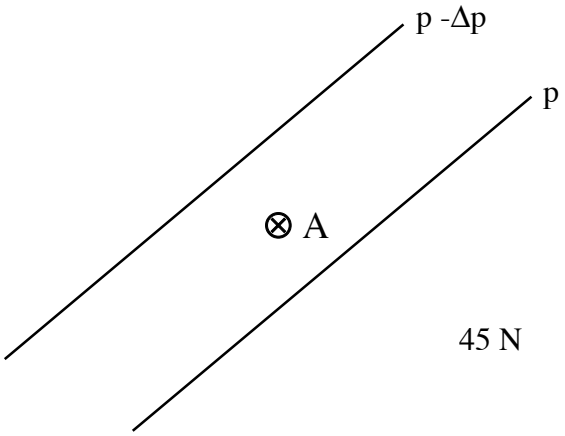


Figure 2 : Exercice d'application de l'abaque de la figure 1. La réponse est un V_g = ??kts (noeuds) du sud-ouest (250°).

Temps universel

Les symboles Z ou TU ou UTC ou GMT réfèrent au temps universel qui est l'heure locale à 0 longitude. Pour avoir l'heure locale à Montréal, il faut enlever 5 heures en hiver (heure normale) et 4 heures en été (heure avancée).

Avant de passer à l'analyse proprement dite, voyons les conventions et symboles de l'analyse.

Symboles

1. À moins d'avis contraire, tous les symboles doivent être inscrits en lettres moulées, parallèlement aux longitudes.

2. La première page qui traite de l'orientation des symboles ne s'applique pas seulement aux H, L, etc., mais aussi à tous les symboles météorologiques et à toutes les cotes des isolignes. De plus, même si l'on recommande que ceux-ci soient parallèles aux lignes de longitude, il sera accepté qu'on les inscrive parallèlement aux rebords de la carte, pourvu que cela soit fait de façon consistante sur toute la carte.

3. Toutes les cartes devront comporter des indications quant à la date, l'heure et le genre de carte. Ces indications devront être effectuées en lettres et chiffres de 25mm approximativement.

Isobares

1. Les isobares doivent être tracées à intervalles de 4hPa à partir de l'isobare de l000 hPa.

2. Les isobares sont tracées en lignes noires continues.

3. Les isobares doivent être cotées d'une inscription complète le long des bords de la carte, ainsi que sur leur tracé, là où les données ne seront pas oblitérées par l'inscription. Si le gradient est très serré, ne coter qu'à tous les deux ou trois isobares. Les inscriptions doivent être de dimension convenable, mais pas trop grandes.

4. Le centre de la dépression (point de la plus basse pression) sera marqué, au crayon noir du symbole

⊗ ainsi que de la valeur de la pression à ce point et d'un L majuscule. Le centre de l'anticyclone (point de la plus haute pression) sera également marqué, en noir, du symbole ⊗ ainsi que de la valeur de la pression à ce point et d'un H majuscule.

5. Des isobares intermédiaires peuvent être tracées, à la discrétion de l'analyste, à l'aide de longs traits noirs discontinus quand le gradient de pression est très faible, et la préférence devrait être accordée à celles exprimées en nombres pairs. Ces isobares doivent également être cotées de leurs valeurs appropriées.

6. Les creux (thalwegs) significatifs seront identifiés d'une ligne noire grasse discontinue et seront cotés de l'inscription "TROUGH" ou "CREUX". Les crêtes (ou dorsales) significatives seront identifiées par une ligne noire ondulée et grasse.

7. Une pression à la station, rejetée durant l'analyse, devra être soit biffée en noir ou corrigée.

L'analyse doit être faite le plus proprement possible et représenter la solution la plus vraisemblable pour être professionnelle. Une première analyse au crayon effaçable est préférable; ensuite on la finalise au propre tout en faisant du modelage.

Un col barométrique se compare à un col en topographie ou à une selle de cheval. Dans une direction, on retrouve un maximum, et dans une autre, un minimum.

Un marais barométrique est une région où la pression montre des gradients faibles et des petits maxima et minima locaux. C'est surtout dans ces régions que l'on analysera des isobares intermédiaires.

Quand on analyse le champ de pression à la surface, on peut s'imaginer celui-ci comme étant la troisième dimension où les H sont des pics, les L des trous et les creux des vallées, etc. (voir la figure 3)

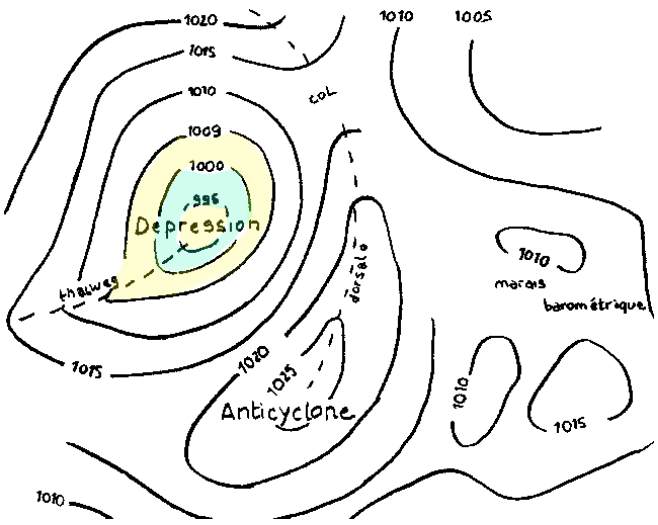


Figure 3 : On note dans cette figure la topographie du champ de pression : Entre autres les creux ou thalwegs, les crêtes ou dorsales, les cols et les marais barométriques.

La figure 4 montre une carte de surface émise par environnement Canada.

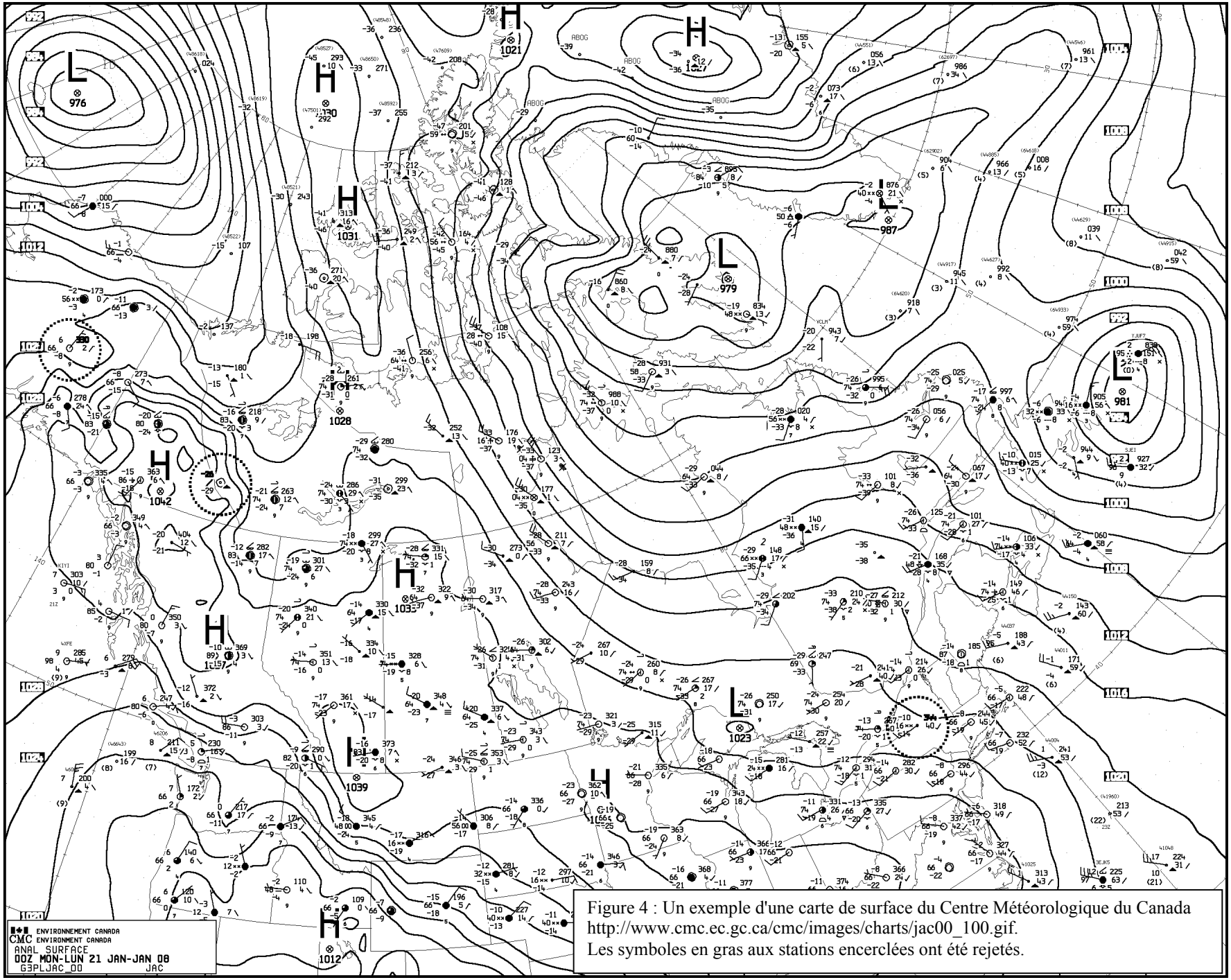


Figure 4 : Un exemple d'une carte de surface du Centre Météorologique du Canada http://www.cmc.ec.gc.ca/cmc/images/charts/jac00_100.gif.
Les symboles en gras aux stations encerclées ont été rejetés.

Analyse des isothermes

La température est un élément du temps qui est important pour la population. On s'intéresse aux maximums pour s'avoir comment s'habiller, aux températures minimums pour savoir s'il y a risque de gel, etc. Les lignes d'égale température ou isothermes sont analysées automatiquement sur certaines cartes en altitude (850 hPa et 700 hPa) et souvent en surface pour évaluer le potentiel de convection.

Sur les cartes, on notera des régions de faible gradient de températures (voir nul) qui correspondent à des régions barotropes ou masse d'air. Dans ces régions, les masses d'air sont souvent en équilibre avec la surface sous-jacente. D'autre part entre ces masses d'air barotropes, on notera des zones de transition où les gradients de températures sont plus forts. Dans certaines conditions, ces transitions sont fortes et accompagnées de nuages et de précipitation et on les appellera fronts.

À priori, vu l'ensoleillement qui décroît du nord au sud, on doit s'attendre à observer un gradient nord-sud de températures. Cependant plusieurs facteurs peuvent modifier cet état.

Premièrement, il y a beaucoup d'effets locaux reliés à des échanges de chaleur ou d'humidité associés à des sources ponctuelles ou étendues : présence d'océans, de lacs, de montagnes. Ainsi en hiver, les températures au-dessus des Grands Lacs seront généralement plus élevées que dans les secteurs terrestres avoisinants.

Deuxièmement, comme le montre la figure 5, les dépressions et anticyclones, par les circulations qu'ils engendrent autour d'eux, perturbent le champ de température est-ouest. Ainsi, derrière une dépression, les isothermes plongent vers le sud alors que devant elles montent vers le nord. Tout système météorologique peut être vu comme un opérateur de vents opérant sur les gradients de températures, entre autre. Derrière la dépression, où les vents font descendre les températures, on dit que c'est une région d'advection froide (négative) alors que devant c'est une région d'advection chaude (positive) de température.

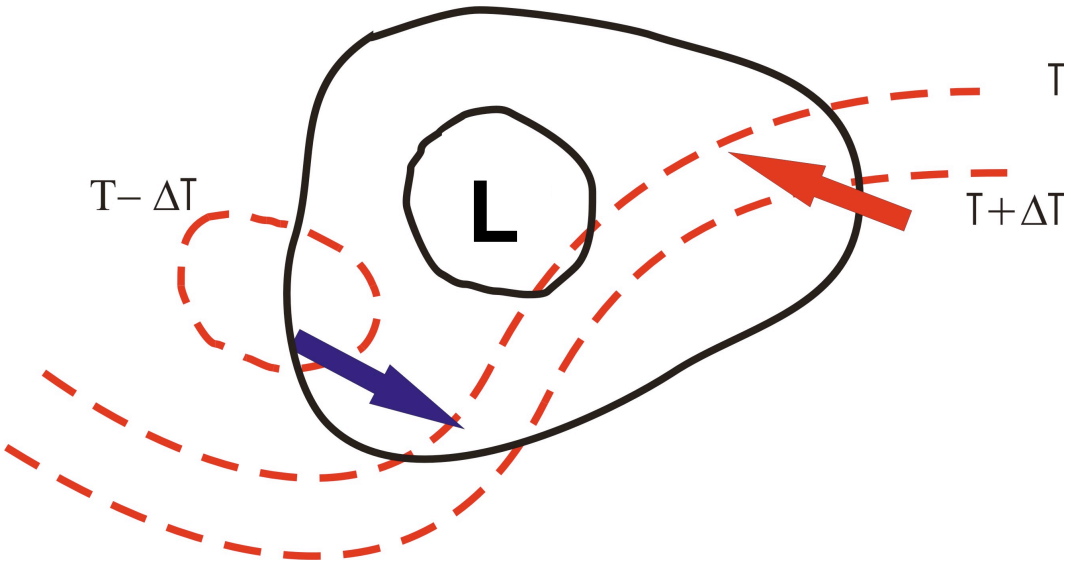


Figure 5 : Dans la figure les lignes continues sont des isobares et les lignes en tirets sont des isothermes. À cause des structures du champ de température et du champ de pression, dans une dépression dans l'hémisphère nord on observe de l'advection froide à ouest (flèche bleu) de la dépression et de l'advection chaude à l'est (flèche rouge).

L'équation de la tendance locale de température

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\vec{V} \cdot \vec{\nabla}_h T - \omega \frac{\partial T}{\partial p} + \frac{\dot{Q}}{c_p}$$

indique que la température en un point varie, entre autres, à cause de l'advection horizontale de la température, représenté dans l'équation par le terme $-\vec{V} \cdot \vec{\nabla}_h T$. Ce terme est le produit scalaire entre le vent, $-\vec{V}$, et le gradient de température ,$\vec{\nabla}_h T$ (produit de la composante du vent parallèle au gradient de température par celui-ci). Graphiquement il peut être représenté comme dans la figure 6 (nb: le vecteur gradient se dirige vers les valeurs plus élevées):

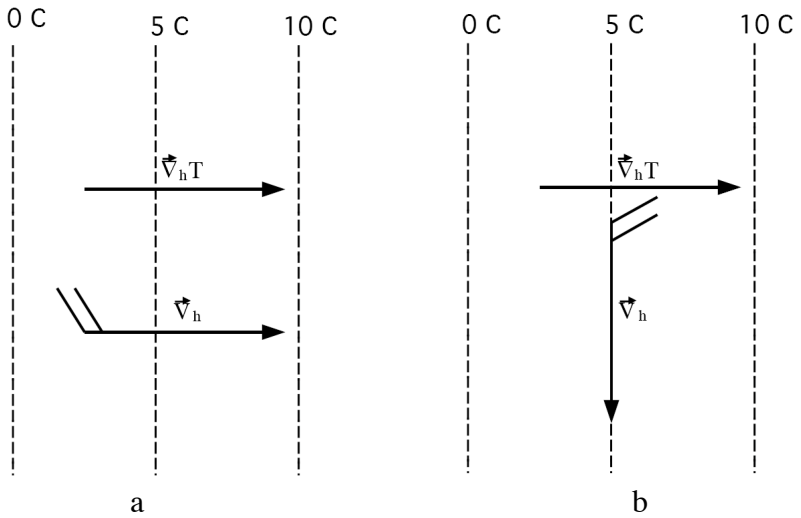


Figure 6 : Advection horizontale de la température. a : advection froide; b : advection nulle.

Dans figure 6a, le vent est dirigé dans la même direction que le gradient de température. Ceci fait en sorte que le produit $\vec{V} \cdot \vec{\nabla}_h T$ est positif. Par contre, puisque le vent souffle des basses températures vers les hautes températures, il y a une advection froide (négative) de températures qui est quantifiée par le terme $-\vec{V} \cdot \vec{\nabla}_h T$. Sur la figure 6a, l'advection de température est minimale puisque le vent et le gradient de température sont parallèles et de même direction. Par contre, dans la figure 6b, l'advection de température est nulle puisque le vent souffle parallèle à une isotherme et donc, les vecteurs du vent et du gradient de température sont perpendiculaires (le produit scalaire est nul).

Le champ de température est un champ assez bruyant. De plus, puisque les températures sont pointées à l'unité près, il arrive souvent dans les régions barotropes d'observer des températures identiques. Il ne s'agit pas alors de relier tous les points de même valeur mais de passer une isotherme les contenant. Aussi, à cause des effets locaux, il faudra assez souvent faire des poches isolées d'air chaud ou froid. La température montre une forte dépendance diurne et l'analyse des isothermes varie conséquemment au cours de la journée. En altitude, le champ sera beaucoup plus lisse dans le temps et l'espace. Voici les standards d'analyse pour les isothermes.

Isothermes

1. Les isothermes doivent être tracées à intervalles de 5 ˚C à partir de l'isotherme 0 ˚C.

2. Les isothermes sont tracées en lignes rouges en tirets sauf pour l'isotherme 0 ˚C qui est tracée en

ligne rouge continue.

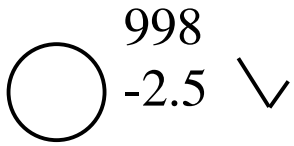
3. Les isothermes doivent être cotées d'une inscription complète le long des bords de la carte ainsi que sur leur tracé là où les données ne seront pas oblitérées par l'inscription. Si le gradient est très serré ne coter qu'à tous les deux ou trois isothermes. Les inscriptions doivent être de dimension convenable, mais pas trop grandes.

4. Si on veut indiquer les régions d’advection sur la carte, on doit ombrager les régions d’advections chaudes en rouge et les régions d’advections froides en bleu.

Analyse des isallobares

L'analyse des isallobares, lignes d'égale tendance de pression, est faite et utilisée quotidiennement dans les bureaux de prévision. Ce champ est moins lisse que celui des pressions de surface et montre surtout des détails synoptiques. Plusieurs techniques de prévision à court terme demandent qu'on l'utilise, et il est donc important d'y porter un soin particulier. Si la pression égale le poids total de l'air au-dessus d'un point, la tendance de pression représente la perte de poids en trois heures donc la divergence de masse dans la colonne au-dessus. Ainsi ce champ témoigne de ce qui se passe dans la colonne d'air au-dessus du point de mesure. Le diagnostic des tendances peut donc nous indiquer où les dépressions se forment, ou si elles se comblent ou se creusent et vice versa pour les anticyclones. De même, les tendances de pressions nous indiquent vers où se déplacent les systèmes de pression. Une dépression qui se dirige vers l'est laissera une hausse de pression en arrière et devant sa course les pressions seront à la baisse. En réalité, ce ne sont pas les dépressions qui causent les tendances de pression mais bien les tendances de pression qui font foi du déplacement de celles-ci.

La tendance de pression est pointée juste sous la pression comme illustrée ci-dessous. La valeur est au dixième de hPa près et un signe à droite de cette valeur indique le signe de la tendance.



baisse de 2.5 hPa en 3 heures

Figure 7 : pointage des grandeurs reliées au champ de pression. En haut la valeur 998 représente la pression mesurée à la station (999,8 hPa). Au centre la valeur -2.5 que la pression a diminué (signe -) de 2.5 hPa les dernières 3 heures. Le symbole à droite du chiffre –2.5 montre que, au cours de 3 dernières heures il a une basse de pression suivie d'une tendance à la hausse dans le même intervalle de temps (3 heures).

Isallobares

1. La ligne de changement de pression nulle sera tracée d'un trait violet continu.

2. Les isallobares seront tracées à intervalles de 1,0 hPa jusqu'à 2 hPa et à intervalles de 2 hPa pour les changements de plus de 2 hPa. Les hausses seront tracées en lignes bleues continues et les baisses en lignes rouges continues.

3. Toutes les isallobares devront être cotées, de façon à ne pas oblitérer les données, à un ou plusieurs points de leur tracé. Les inscriptions devront être de dimension convenable sans être trop grandes.

4. Les centres de hausse seront marqués d'un H majuscule bleu, et la valeur suivant la plus haute valeur du changement sera inscrite au centre (en hPa).

Les centres de baisse seront marqués d'un B majuscule rouge, et la valeur suivant la valeur la plus basse sera inscrite au centre (en hPa), par exemple B6, H7. La figure 8 montre un exemple d'analyse des isallobares.

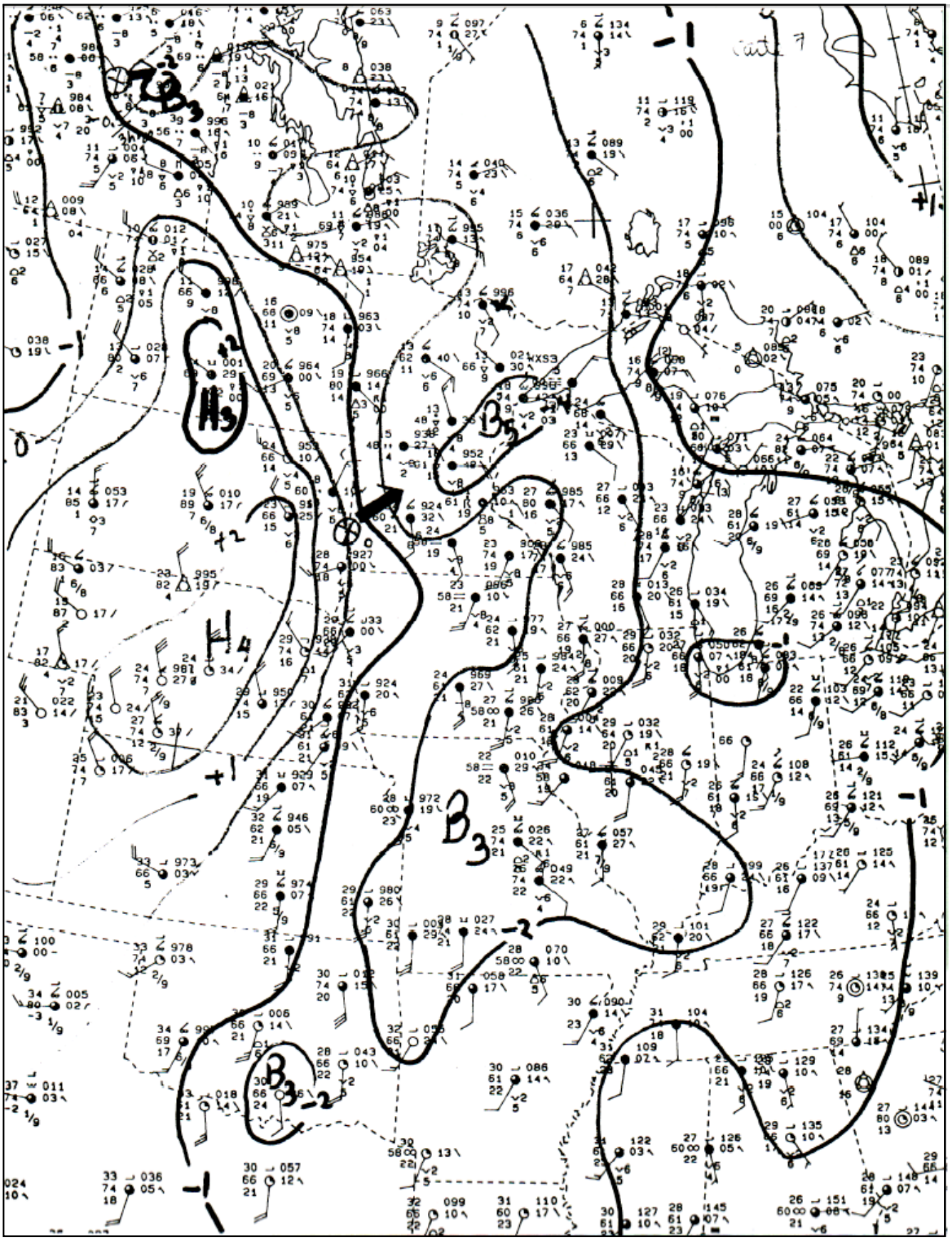


Figure 8 : exemple d'une analyse des isallobares.

Prévision

Pour prévoir la direction du déplacement des dépressions, anticyclones, creux et crêtes on tient compte des faits suivants :

- Les dépressions et les creux s'éloignent des hausses et se déplacent vers les chutes de pression (1'inverse est vrai pour les anticyclones et les crêtes).

- Les patrons circulaires se déplacent parallèlement au gradient des isal1obares.

- Les patrons allongés se déplacent dans une direction intermédiaire entre l'axe de symétrie du creux ou dépression le plus long et le gradient des isallobares.

Pour estimer la vitesse de déplacement exprimée en °lat/3 h, *C*, à partir de la formule de Petterssen:

$$C = \frac{\partial^2 p / \partial x \partial t}{\partial^2 p / \partial x^2} = -L \frac{\left(\Delta p / 3hres\right)_{L/2} - \left(\Delta p / 3hres\right)_{-L/2}}{p_L + p_{-L} - 2p_0}$$

où L, en °lat, est approximativement la distance entre un maximum, H ou un minimum, B, de tendance de pression et le centre de la dépression. Notons que le dénominateur s'applique strictement à t_0 - 1.5 h mais que l'erreur fait en utilisant la pression à t_0 doit être négligeable.

$$C \cong -L \frac{\mathcal{T}_d - \mathcal{T}_b}{p_e + p_a - 2p_c} \quad \text{où} \quad \mathcal{T} = \left(\Delta p / 3\text{hres}\right)$$

$$C \simeq -L \frac{(-2.5) - (1.5)}{998 + 998 - 2 \times 988}$$

si $L = 3$ °lat

$C \simeq 12$ noeuds

N.B. : pression centrale = 988 hPa

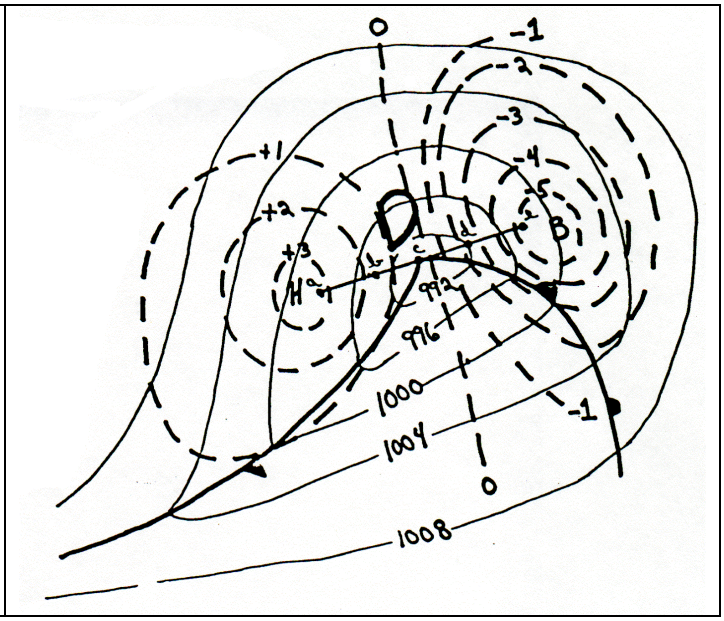


Figure 9 : estimation de la vitesse de déplacement de la dépression, *C*.

Intensification (pression) des dépressions et des anticyclones

La prévision de l'évaluation de la pression au centre d'une dépression/anticyclone peut être faite en utilisant la valeur de l'isallobare (corrigée pour tenir compte des tendances diurnes) passant par le centre de la dépression/anticyclone. Cette valeur est interprétée comme le taux instantané de creusage/remplissage du système et extrapolée pour le futur. Il faut noter qu'en fait c'est la position de la dépression à t_0-1.5 h qui devrait être utilisée; cependant, l'erreur est généralement contenu dans

l'intervalle d'incertitude de l'analyse des isallobares.

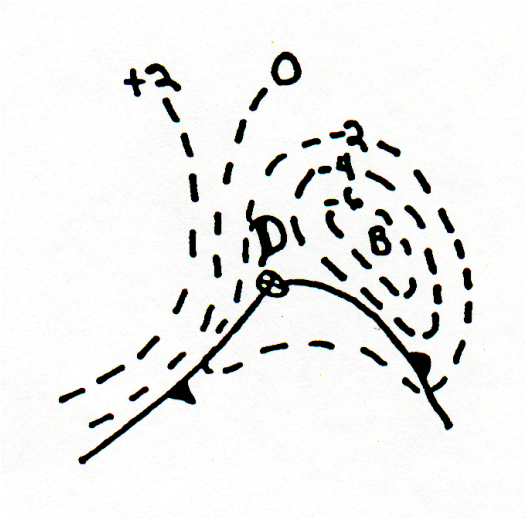


Figure 10 : Selon les isallobares, la pression au centre de la dépression, D, diminue de 2,5 hPa / 3h.

Dans la figure 10 la tendance de pression, $\partial p/\partial t$, au centre de la dépression est à peu près -2.5 hPa/3hres. Supposons aussi que la tendance diurne à ce moment (mois, heure) est de -0.5 hPa/3hres. On a donc comme extrapolation une tendance de -2.0 hPa/3hres, ce qui suggère une tombée de 8 hPa de la pression centrale au cours des 12 prochaines heures.

Intensité/circulation des entités de pression de surface

L'analyse des isallobares peut aussi être utilisée et elle s'avère particulièrement utile si le pronostic est pour une courte période et s'applique à une entité particulière (on suppose ici qu'on a accordé peu d'attention aux anticyclones qui précèdent et suivent notre dépression ou qu'on ne peut juger de la contribution qu'ils apporteront au gradient de pression).

Une intensification / diminution des vents de même qu'un changement de direction peuvent être prévus en relation avec les positions relatives des isobares et isallobares. Ici, on utilise la formulation suivante du vent géostrophique (vent qui produit un équilibre entre la force de Coriolis et la force de gradient de pression):

$$\vec{V}_g = -\frac{1}{\rho f}\vec{\nabla}_h p \times \vec{k}$$

où ρ est le volume spécifique et les autres symboles ont leur signification habituelle.

Ainsi, on a : $\dfrac{\partial \vec{V}_g}{\partial t} = -\dfrac{1}{\rho f}\vec{\nabla}_h\left(\dfrac{\partial p}{\partial t}\right)\times \vec{k}$

Vous trouverez dans la série de figures 11a-f quelques exemples d'évolution du champ de pression. Les hausses (H) et les baisses (B) sont exprimées en hPa/3hres.

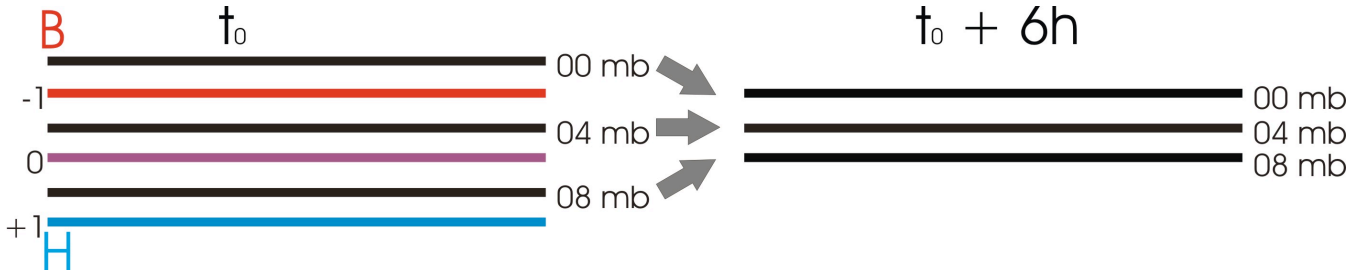


Figure 11a : le patron des isallobares montre que la distribution de masse en hauteur est telle que au nord de l'isobare de 1004 hPa la pression diminue et au sud la pression augmente. Les isobares se serrent autour de l'isobare 1004 hPa. Le vent géostrophique augmente sans changer de direction.

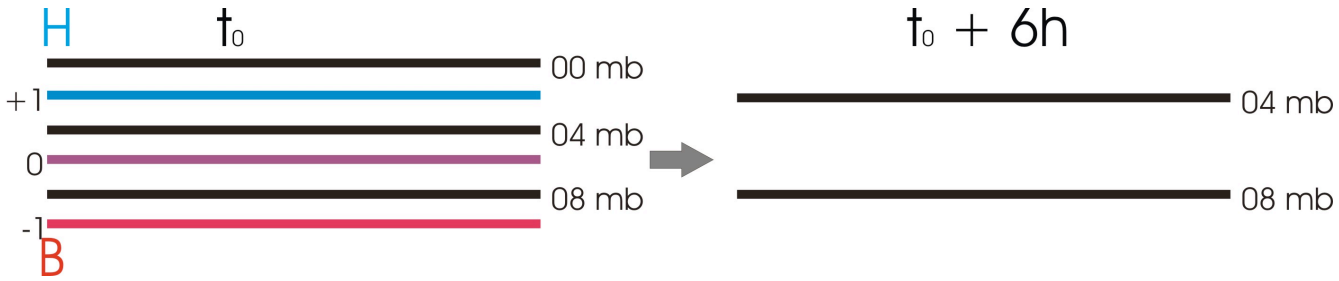


Figure 11b : Le patron de isallobares est tel que les pressions augmentent au nord de l'isobare 1008 hPa et diminuent au sud. Le patron des isobares se relâche autour de l'isobare 1008 hPa. Le vent géostrophique diminue sans changer de direction.

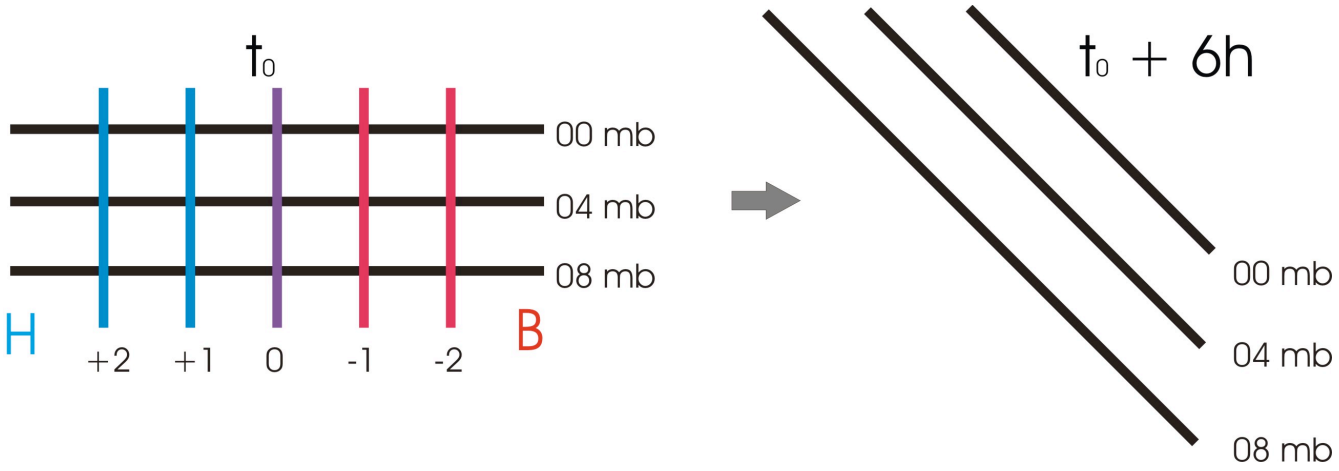


Figure 11c : La distribution de masse en altitude a comme conséquence une augmentation de la pression à gauche de la figure et une diminution à la droite. Les isallobares sont perpendiculaires aux isobares. Ce fait provoque un changement de la direction des isobares tout en maintenant la distance entre celles-ci. En conséquence le vent géostrophique passe d'est à nord-est, toute en maintenant son intensité.

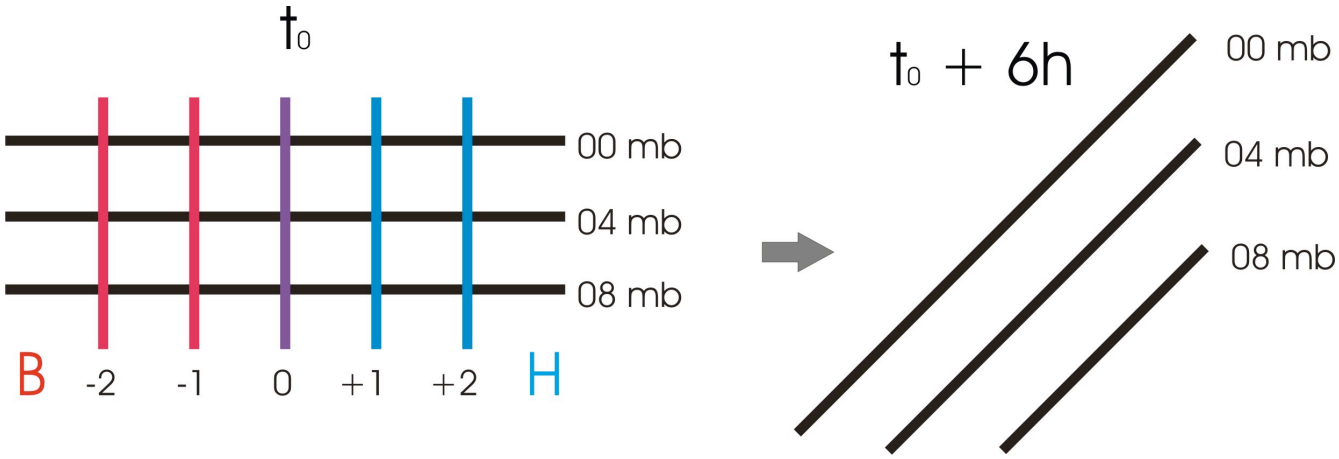


Figure 11d : Le patron des isallobares étant le miroir de celui représenté dans la figure 10c. Le vent géostrophique sera de sud-ouest dans 6h, tout en maintenant son intensité.

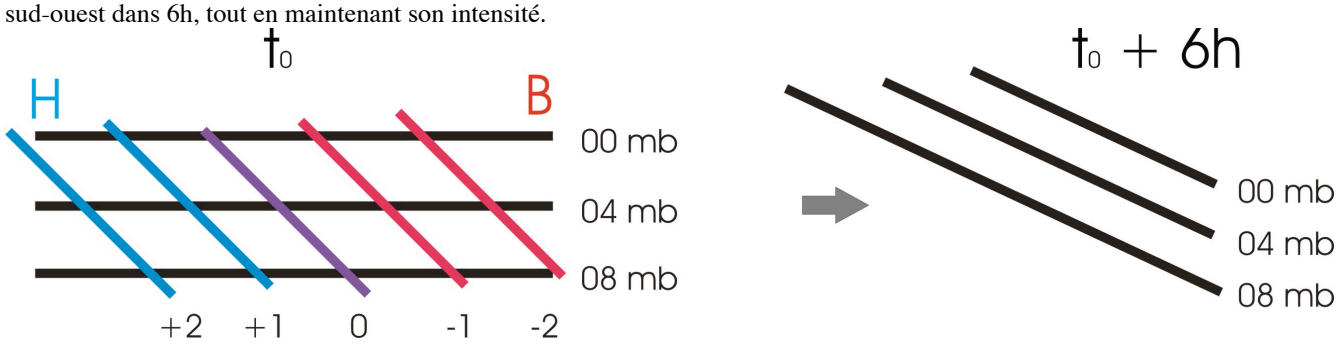


Figure 11e : il existe un angle de -45 degrés entre les isallobares et les isobares. La pression augmentera à gauche et diminuera à droite. Les isobares s'approchent et le vent géostrophique changera de direction (ouest-nord-ouest) et augmentera en intensité.

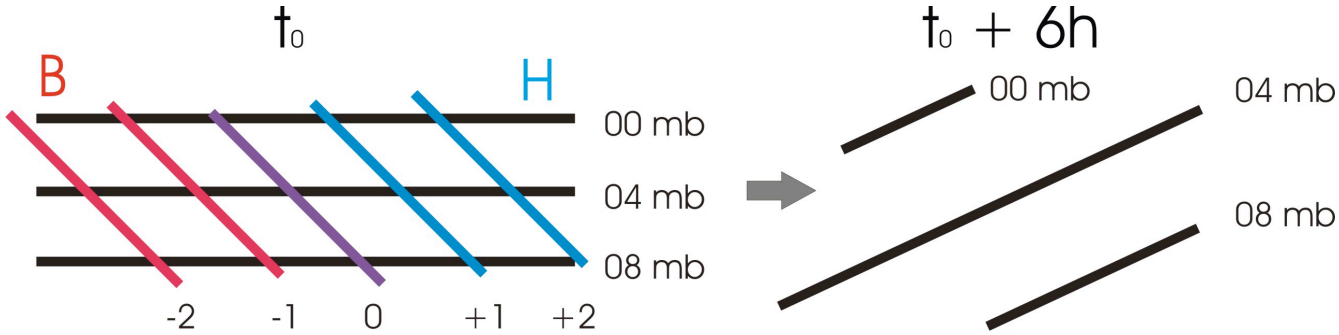


Figure 11f : il existe un angle de 45 degrés entre les isallobares et les isobares. La pression augmentera à droite et diminuera à gauche. Les isobares s'éloignent et le vent géostrophique changera de direction (ouest-sud-ouest) et diminuera en intensité.

L'intensification d'un système de pression ∂I/∂t peut être mesurée en calculant le laplacien des tendances de pression autour du système $\nabla^2\left(\partial p/\partial t\right)$. Sous la forme des différences finies, le laplacien peut être estimé en connaissant la tendance de pression, T, à quatre points entourant le centre de la dépression : $\nabla^2\mathcal{T} = \dfrac{\mathcal{T}_1 + \mathcal{T}_2 + \mathcal{T}_3 + \mathcal{T}_4 - 4\mathcal{T}_0}{L^2}$ où $\mathcal{T} = \Delta p/3\text{hres}$. Ici, on s'intéresse principalement au signe (ou à l'asymétrie dans le patron des isallobares). Vous trouverez un exemple à la figure 12.

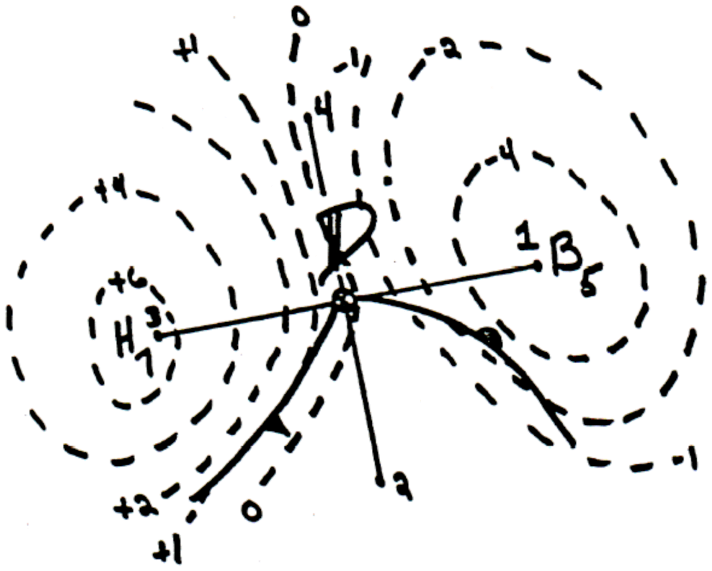


Figure 12 : Calcul du laplacien de la tendance de pression au point D. T_1~-5.0 hPa/3h; T_2~-0.5 hPa/3h; T_3~6.75 hPa/3h; T_4~-0.25 hPa/3h et T_D~0.25 hPa/3h. $\nabla^2\mathcal{T} = \frac{-5.0 - 0.5 + 7.0 - 0.5 - 4 \times 0.25}{L^2} = 0$. L'intensité de la dépression est stationnaire.

Informations fournies par les isobares et les isallobares

- Tout d'abord, la pression au sol correspond au poids de la colonne d'air au-dessus. Donc, la pression au sol nous informe sur la distribution de la masse de l'air.
- En ce qui concerne la tendance de pression au sol, elle donne le taux de changement de la masse d'air dans la colonne donc, la divergence de la masse d'air dans la colonne.
- La distribution de pression quant à elle détermine le vent qui est antihoraire dans les dépressions et horaire dans les anticyclones. À cause de la friction au sol, on a :
    - de la convergence sur le plan horizontal dans les dépressions. Cette convergence crée un mouvement ascendant. Lorsque que l'air monte, il se refroidit et condense, ce qui provoque la formation de nuage et de précipitation.
    - de la divergence horizontale dans les anticyclones. Cette divergence crée de la subsidence et donc du beau temps.
- À partir des vents (donc de la distribution horizontale de pression) et des isothermes, on peut déterminer l'advection horizontale de température.
- Le champ des isallobares permet la prévision du déplacement des systèmes météorologiques :
    - Les dépressions se déplacent vers les régions où la chute de pression est la plus intense (minimum de tendance de pression, B).
    - Les centres de haute pression se déplacent vers les régions où taux d'augmentation de la pression est la plus élevée (maximum de tendance de pression, H).