

Formation des tempêtes hivernales

1. Les tempêtes hivernales sont des perturbations à grande échelle associées à des centres dépressionnaires appelées cyclones de latitude moyenne.
2. Si on observe les choses d'en haut (dans l'hémisphère Nord), les vents soufflent dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour du centre du système dépressionnaire.
3. Les tempêtes hivernales surviennent lorsque de l'air chaud et humide interagit avec de l'air plus froid le long du front séparant les deux masses d'air. Les deux masses d'air contrastantes fournissent l'énergie qui permet à la tempête de prendre de l'ampleur.
4. La vitesse des vents augmente à mesure que la tempête s'intensifie. L'air chaud et humide est soulevé vers le haut, ce qui donne des zones étendues de nébulosité et des précipitations le long des surfaces frontales situées à proximité du cyclone en développement.
5. La durée de vie habituelle d'un cyclone hivernal est d'environ trois à cinq jours.
6. Poussées par l'air en mouvement dans les couches supérieures, les tempêtes hivernales se déplacent généralement d'ouest en est.
8. Une température froide le paraît beaucoup plus lorsqu'il y a du vent. L'indice de refroidissement éolien combine les effets de la température et du vent et permet d'établir le taux de refroidissement et la température équivalente sans vent.
9. Environnement Canada avise le public de l'approche de tempêtes hivernales en émettant des veilles et des avertissements de conditions météorologiques hivernales dangereuses.
10. Les dangers que comportent les tempêtes hivernales sont ceux associés au fait de rester à l'extérieur à la merci des éléments, à l'effondrement des systèmes de transport à cause des accidents et à la perte de l'accès aux biens et services de première nécessité.

Dangers associés aux tempêtes hivernales

7. Les tempêtes hivernales sont accompagnées de vents forts, de précipitations abondantes (pluie, pluie verglaçante ou neige) et de températures froides. La pluie verglaçante, la neige, le blizzard et les températures extrêmement froides sont des phénomènes météorologiques hivernaux dangereux.

EXPOSÉ**Les tempêtes hivernales****Qu'est-ce qu'une tempête hivernale ?**

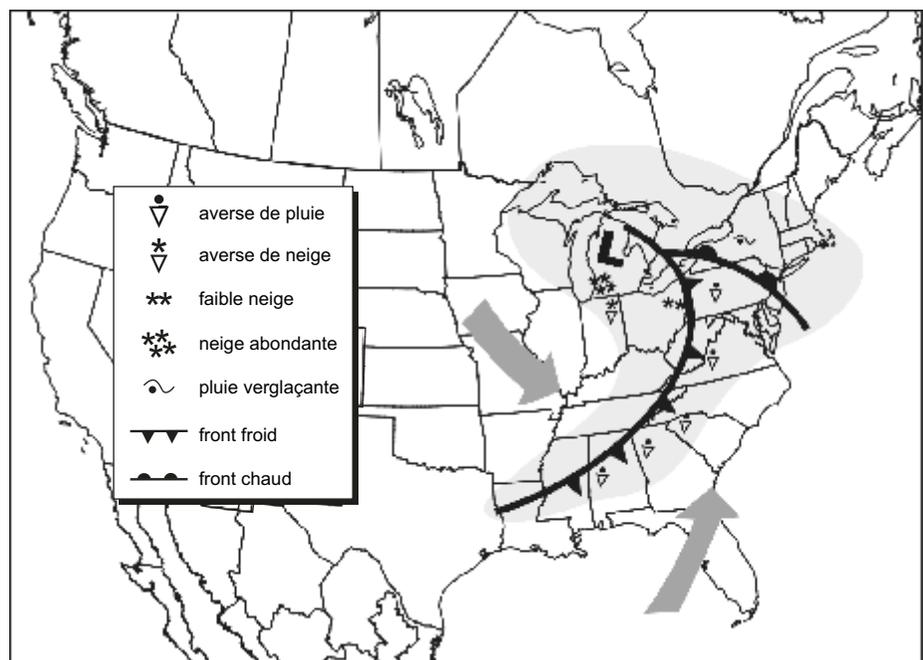
Une tempête hivernale est une perturbation à grande échelle, souvent de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre, associée à un système dépressionnaire (appelé cyclone) qui se développe le long d'un front pendant les mois les plus froids de l'année. Les tempêtes hivernales sont souvent accompagnées de vents forts, de précipitations abondantes (pluie, pluie verglaçante, grésil ou neige) et de températures froides.

Qu'est-ce qui cause les tempêtes hivernales ?

Les tempêtes hivernales surviennent lorsque de l'air humide et relativement chaud interagit avec de l'air plus froid le long du front séparant les deux masses d'air. Au départ, le front se déplace lentement ou il est stationnaire. La formation et l'évolution d'un centre dépressionnaire creux et de la giration associée s'appellent cyclogenèse. Il s'agit d'un processus complexe mettant en jeu une divergence en altitude ainsi que des phénomènes se déroulant à proximité du sol. Les deux masses d'air contrastantes fournissent de l'énergie à ce système giratoire, et permettent à la tempête de gagner en intensité avec le temps. La vitesse des vents augmente à mesure que la tempête prend de l'ampleur. L'air chaud et humide est soulevé vers le haut, donnant naissance à des zones étendues de nébulosité et provoquant des précipitations le long des surfaces frontales à proximité du cyclone en développement.

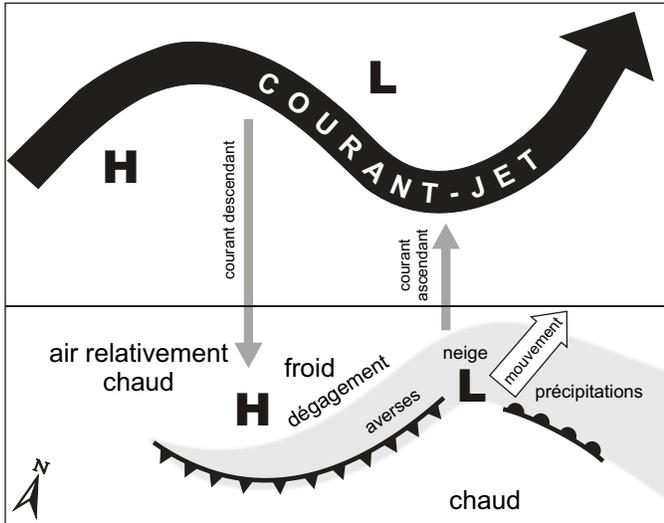
Structure et mouvement d'une tempête hivernale

La figure de la page 23 montre la structure d'une tempête hivernale parvenue à maturité. On y voit ses principales caractéristiques au niveau du sol et



Système de tempête hivernale montrant le centre dépressionnaire (« L »), les fronts froid et chaud, ainsi que les conditions météorologiques associées (voir légende pour le décodage des symboles).

en altitude (6 à 10 km). La tempête primaire est associée à la position au niveau du sol du centre dépressionnaire (« L ») et des fronts froid et chaud qui l'accompagnent. En altitude, la tempête est normalement marquée par une fosse, une zone de dépression qui forme une « pince » méridionale distincte dans l'écoulement d'air et qui est habituellement en retard sur le centre dépressionnaire situé au niveau du sol. L'anticyclone au sol (« H ») situé derrière le front froid amène avec lui des températures plus froides, un ciel dégagé et du beau temps. Le système de tempête se déplace selon la flèche marquée « mouvement », suivant les vents dominants en altitude (indiqués par la flèche du courant-jet).



Représentation de la structure verticale d'une tempête hivernale. La partie inférieure de l'illustration fait voir les structures au niveau du sol, tandis que la partie supérieure montre les caractéristiques du système en altitude (adapté d'Ahrens)

Phénomènes météorologiques accompagnant les tempêtes hivernales

Phénomènes météorologiques violents observés dans les zones de tempête hivernale :

Neige abondante — les chutes de neige dépassant les 15 cm en 12 heures causent habituellement des problèmes considérables.

Chasse-neige élevée — neige portée par les vents qui réduit la visibilité et accompagnée d'une grande poudrière.

Blizzard — vents dépassant les 50 km/h accompagnés de neige et soufflant de la neige; visibilité presque nulle et indice de refroidissement éolien élevé.

Bourrasques de neige — chutes de neige très abondantes en bandes étroites soufflant des Grands Lacs, du golfe du Saint-Laurent et d'autres plans d'eau. Habituellement caractérisées par de la neige abondante et une visibilité presque nulle.

Grésil — gouttes de pluie qui se congèlent avant d'atteindre le sol. On observe le grésil en général lorsque de la pluie formée le long d'un front chaud tombe en traversant une couche d'air dont la température est tout juste inférieure au point de congélation.

Pluie verglaçante — pluie qui tombe à travers une couche d'air ou sur une surface dont la température est tout juste inférieure au point de congélation, ce qui provoque la formation d'une couche de glace superficielle.

Les phénomènes météorologiques violents associés aux tempêtes hivernales surviennent le plus souvent à proximité des centres dépressionnaires ou le long des systèmes frontaux. De l'air plus chaud et plus humide est soulevé le long des systèmes frontaux, créant des zones étendues de nébulosité et de précipitations. On observe souvent de la pluie verglaçante immédiatement devant un front chaud, quand la pluie, en tombant, traverse une masse d'air froid. Plus au nord de la zone de pluie verglaçante et notamment dans la zone située au nord du cyclone, là où les précipitations, en tombant, traversent une couche d'air plus froid plus épaisse, on obtient de la neige. Les conditions les plus favorables à la constitution de blizzard se trouvent à proximité du cyclone, là où les chutes de neige sont souvent abondantes et où des vents forts tournent autour du centre de la tempête.

Avis et avertissements de temps hivernal

Environnement Canada avise le public de l'approche d'une tempête hivernale en émettant des bulletins, des avis, des veilles et des avertissements météorologiques.

Un bulletin météorologique spécial ou un avis de temps hivernal est émis lorsqu'on s'attend à ce que les conditions météorologiques hivernales causent des inconvénients considérables.

Une veille de tempête hivernale nous prévient de l'imminence d'une tempête hivernale violente.

Un avertissement de tempête hivernale est émis lorsque les conditions météorologiques hivernales ont déjà commencé à se mettre en place ou lorsqu'elles sont sur le point de le faire dans une zone particulière.

Un avertissement de blizzard est émis lorsque de la neige et des vents forts sont sur le point de se combiner pour produire de la neige aveuglante (visibilité presque nulle), de la forte poudrière et un indice de refroidissement éolien mettant la vie en péril.

Qu'est-ce que le refroidissement éolien? Quel est l'indice de refroidissement éolien?

Le refroidissement éolien est l'effet de refroidissement du vent combiné à de basses températures. Quand il vente, nous *ressentons* davantage le froid parce que la température de notre peau baisse. Cette *sensation* de froid est ce que l'indice de refroidissement éolien quantifie. C'est pourquoi l'indice n'est pas une vraie température et s'exprime sans unités, bien qu'il soit basé sur l'échelle de température Celsius.

L'indice de refroidissement éolien d'Environnement Canada estime la température qui, avec un vent d'environ 5 km/h, donnerait à votre figure une sensation de froid semblable à celle causée par la combinaison de la vraie température et du vent. Le refroidissement éolien estime aussi votre risque de gelure grave (une blessure sérieuse causée par le froid) selon les seuils approximatifs suivants :

- Refroidissement éolien d'au moins -25 : risque de gelure grave en cas d'exposition prolongée.

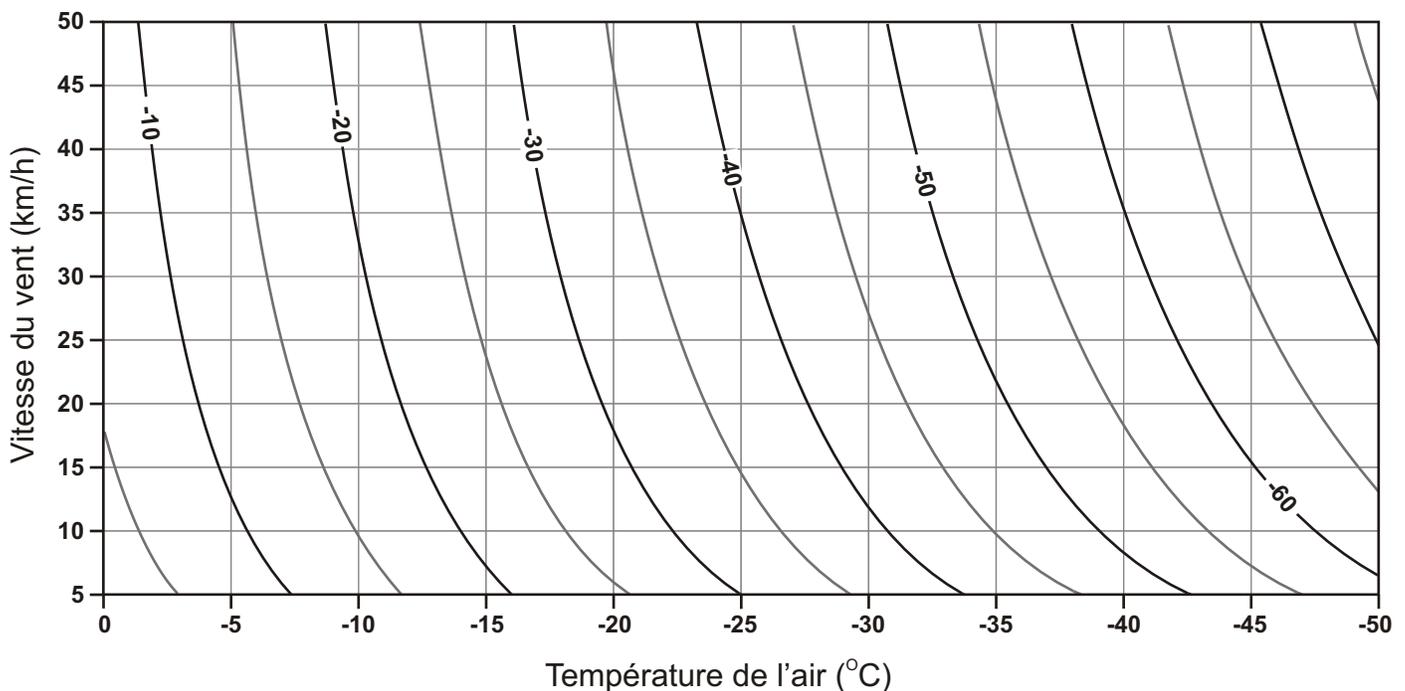
- Refroidissement éolien de -35 : gelure grave possible en 10 minutes (avec peau chaude soudainement exposée; plus courte durée si peau froide au départ)
- Refroidissement éolien de -60 : gelure grave possible en moins de 2 minutes (avec peau chaude soudainement exposée; plus courte durée si peau froide au départ)

Principaux risques pour la santé

Les principaux risques pour la santé associés aux tempêtes hivernales sont la surexposition au froid et le surmenage. On parle de surexposition lorsque certaines parties du corps ne sont pas suffisamment protégées du froid ou du vent, ce qui entraîne des engelures et de l'hypothermie.

Le surmenage survient lorsqu'on travaille trop fort à basse température, ce qui est susceptible de déclencher une défaillance cardiaque.

Refroidissement éolien



ACTIVITÉ**Grandes tempêtes hivernales**

Après avoir fait cet exercice, vous devriez être en mesure :

- d'analyser les propriétés de la chute de neige d'une tempête hivernale;
- de suivre la trajectoire du cyclone;
- d'établir la relation entre la grande tempête et les phénomènes météorologiques violents qui l'ont accompagnée.

Introduction

Du 25 au 27 janvier 1987, une tempête hivernale a traversé les états de la bande centrale des États-Unis qui bordent l'Atlantique. Cette tempête a déversé d'importantes chutes de neige dans ces régions. Washington a ainsi reçu environ 25 cm (10 po) de neige.

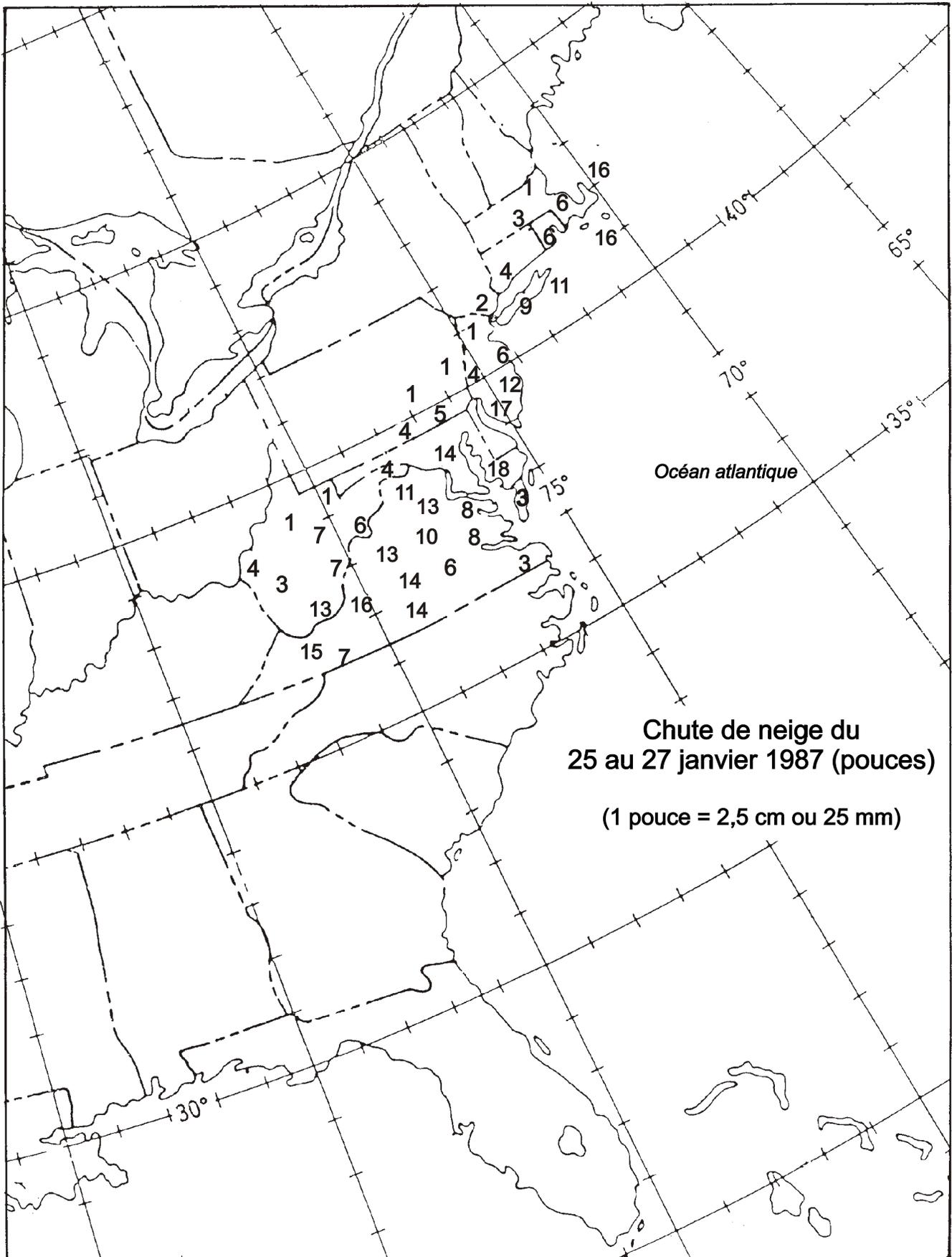
Les grandes tempêtes de neige sont habituellement associées à des systèmes de tempête hivernale qui se déplacent au-dessus de la terre ferme. L'objectif de cet exercice est d'illustrer la relation entre les régions ayant reçu des chutes de neige abondantes et la trajectoire du cyclone hivernal.

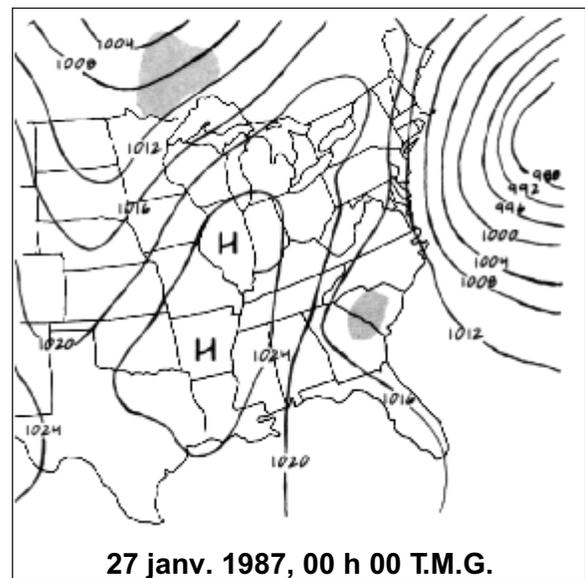
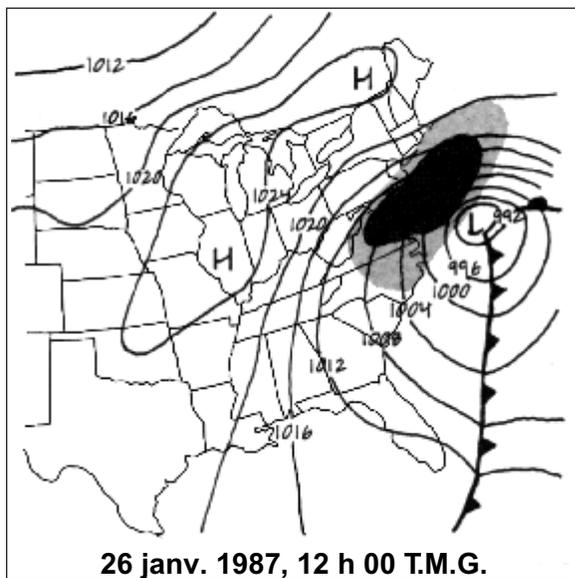
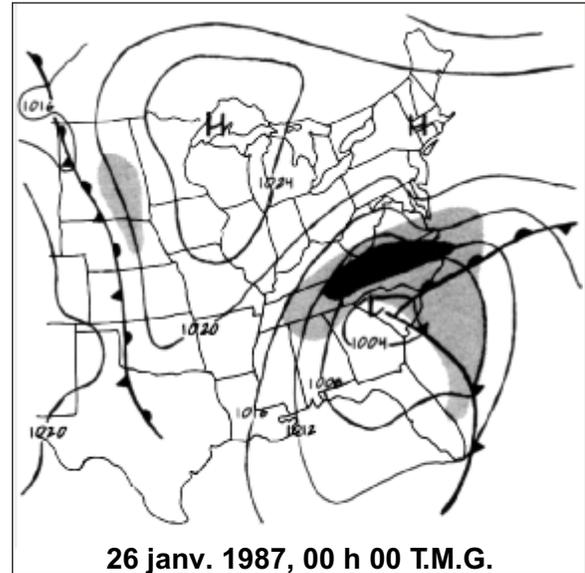
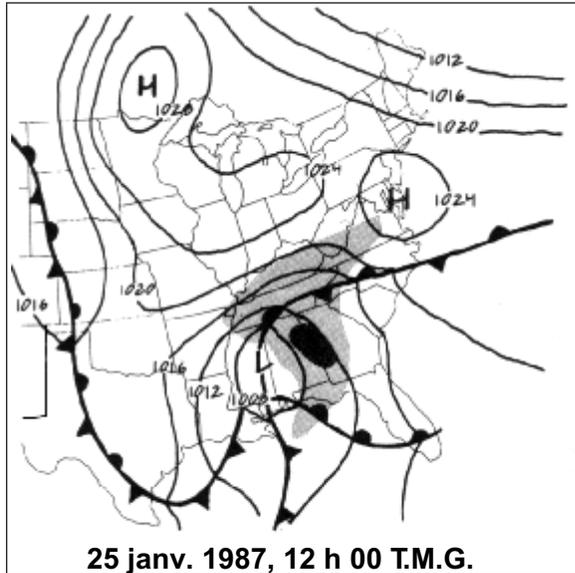
Activité

1. Sur la carte, tracez une ligne reliant les points ayant reçu 5 pouces de neige. Si le chiffre « 5 » n'apparaît pas, tracez la ligne en interpolant entre les valeurs indiquées. Tracez ensuite la ligne reliant les points correspondant à une chute de 10 pouces de neige, puis faites de même pour les points ayant reçu 15 pouces de neige.
2. Considérez les trois isolignes tracées correspondant à des incréments de 5 pouces de l'exercice précédent et notez les zones qui ont reçu les chutes de neiges les plus abondantes. Notez aussi les variations importantes entre des lieux très rapprochés.

(Songez à ces bulletins météorologiques qui prévoyaient pour votre région une chute de neige abondante, mais où vous n'avez reçu qu'une fine couche de neige. Toutefois, à quatre-vingts kilomètres de chez vous, il est fort possible que la neige ait été abondante !)

3. Examinez les quatre cartes d'analyse de conditions météorologiques au sol de la page 27. Sur chacune des cartes, repérez la position des centres dépressionnaires au sol (L). Sur la carte des chutes de neige, indiquez la position de chaque centre dépressionnaire en inscrivant un « L », avec la date et l'heure.
4. Quelle relation établissez-vous entre la trajectoire du centre du cyclone et l'abondance des chutes de neige ? Pourquoi peut-on s'attendre à cette relation ? Rappelez-vous les conditions qui doivent être réunies pour la constitution d'une chute de neige.





Quatre cartes analytiques des conditions météorologiques prévalant au sol lors de la tempête hivernale du 27 janvier 1987 (adapté de Kocin et Uccellini)

ACTIVITÉ**Opération Verglas**

Après avoir fait cet exercice, vous devriez être en mesure :

- de décrire les conditions atmosphériques susceptibles de produire de la pluie verglaçante;
- de suivre le processus de congélation des gouttes de pluie.

Introduction

En janvier 1998, une série de tempêtes a traversé l'est de l'Ontario, le sud du Québec et le nord-est des États-Unis. En six jours, la pluie verglaçante a provoqué une accumulation de cinq à dix centimètres de glace sur tous les objets. Des millions d'arbres, des milliers de poteaux de téléphone et des dizaines de pylônes électriques se sont effondrés sous le poids de la glace. Des millions de personnes se sont retrouvées sans électricité pendant des périodes prolongées, parfois pendant plusieurs semaines dans certaines régions rurales. Personne n'est près d'oublier la grande tempête de verglas de 1998.

Une tempête de verglas survient lorsqu'une constellation unique de températures atmosphériques et de conditions hygrométriques se trouvent réunies pour produire de la pluie verglaçante. La pluie verglaçante diffère de la pluie ordinaire sous un aspect très important. Lorsque des gouttes de pluie verglaçante frappent une surface, une partie de leur eau congèle immédiatement. La pluie verglaçante a tôt fait de rendre la chaussée et les trottoirs glissants et dangereux. Des couches de glace s'accumulent lentement sur les objets, ce qui en augmente le poids. Petit à petit, les branches des arbres et les fils électriques ploient sous ce fardeau. Si l'accumulation de glace se poursuit, les branches d'arbre se cassent et les fils électriques ou téléphoniques se rompent. L'électricité est coupée, les chauffages cessent de fonctionner et de nombreuses personnes se retrouvent dans une situation dangereuse.

Les données atmosphériques utilisées dans la présente activité pour étudier la pluie verglaçante ont été recueillies par des instruments de mesure

météorologiques amenés dans la haute atmosphère par des ballons. Ces appareils, appelés radiosondes, s'élèvent dans l'atmosphère et mesurent la température, l'humidité et d'autres données. Les mesures sont ensuite retransmises sur terre. La mesure hygrométrique relevée est indiquée en tant que point de rosée. Le point de rosée est la température à laquelle l'air doit être refroidi pour être saturé en vapeur d'eau. Lorsque la température de l'air et le point de rosée ont la même valeur, l'air est saturé. La saturation est une condition nécessaire à la formation de nuages. De même, la présence de nuages est une condition nécessaire à la survenue de précipitations.

Activité

Les données fournies par la radiosonde apparaissant à la page 30 sont représentatives des conditions atmosphériques qui régnaient durant la tempête de verglas de janvier 1998. Reportez les valeurs sur le graphique d'accompagnement. Placez un point « . » pour montrer la température à une altitude donnée. Utilisez un « x » pour indiquer le point de rosée à la même altitude. Si la température et le point de rosée coïncident, tracez un petit cercle autour du point « ⊙ ». Après avoir reporté les données sur le graphique, reliez les températures adjacentes par des lignes pleines pour faire ressortir le schéma de variation de la température en fonction de l'altitude, et reliez les valeurs de point de rosée adjacentes par une ligne en trait tireté. La combinaison des schémas thermométrique et hygrométrique qui en ressort s'appelle « radiosondage ». Le radiosondage rend compte des conditions atmosphériques qui prévalaient au-dessus de la station météorologique au moment où les données ont été recueillies.

Répondez aux questions suivantes en vous aidant du graphique contenant les données reportées :

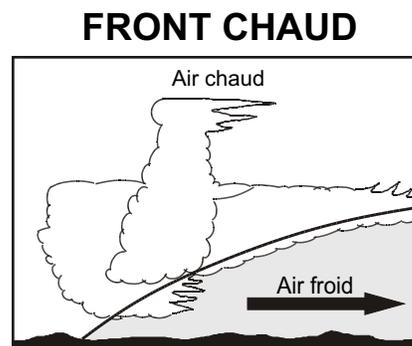
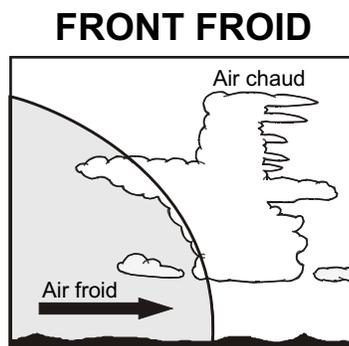
1. Y avait-il des nuages au-dessus de la région au moment où ces données ont été recueillies ? Quelle supposition devez-vous faire dans l'interprétation des données pour répondre à

cette question ? Si vous avez besoin d'aide pour répondre à cette question, reportez-vous à l'introduction.

- Repérez le sommet et la base de toute couche de nuage. Tracez sur le graphique des lignes horizontales traversant le sondage au niveau le plus élevé et au niveau le plus bas auquel de l'air saturé a été mesuré, c'est-à-dire aux points pour lesquels la température et le point de rosée ont la même valeur. Sachant que les précipitations tombent en général de couches nuageuses relativement épaisses, mesurant au moins quelques centaines de mètres, est-ce que les nuages étaient suffisamment épais pour produire des précipitations ?
- Au crayon, ombrez légèrement la zone comprise entre la ligne verticale zéro degré du graphique et la partie du sondage correspondant aux températures égales ou supérieures à zéro. La zone ombrée correspond à une couche d'air dans laquelle les

températures sont supérieures au point de congélation. Identifiez la couche avec le mot « CHAUD ». Décrivez dans vos propres mots les conditions prévalant au-dessus de la zone en ce qui a trait à la température des couches d'air par rapport au point de congélation.

- Supposez que des précipitations se sont constituées sous forme de particules de glace dans les parties supérieures de la couche nuageuse existante. Qu'est-ce qui empêchera ces particules d'atteindre le sol sous forme de neige ?
- Pour que survienne de la pluie verglaçante, comme ce fut le cas dans l'est de l'Ontario au moment de l'observation, les gouttes de pluies, en tombant, doivent traverser une couche d'air froid relativement mince située immédiatement au-dessus de la surface terrestre. Selon le tableau de données que vous avez en main, quelle était l'épaisseur de cette couche d'air au-dessus de l'Est ontarien ?

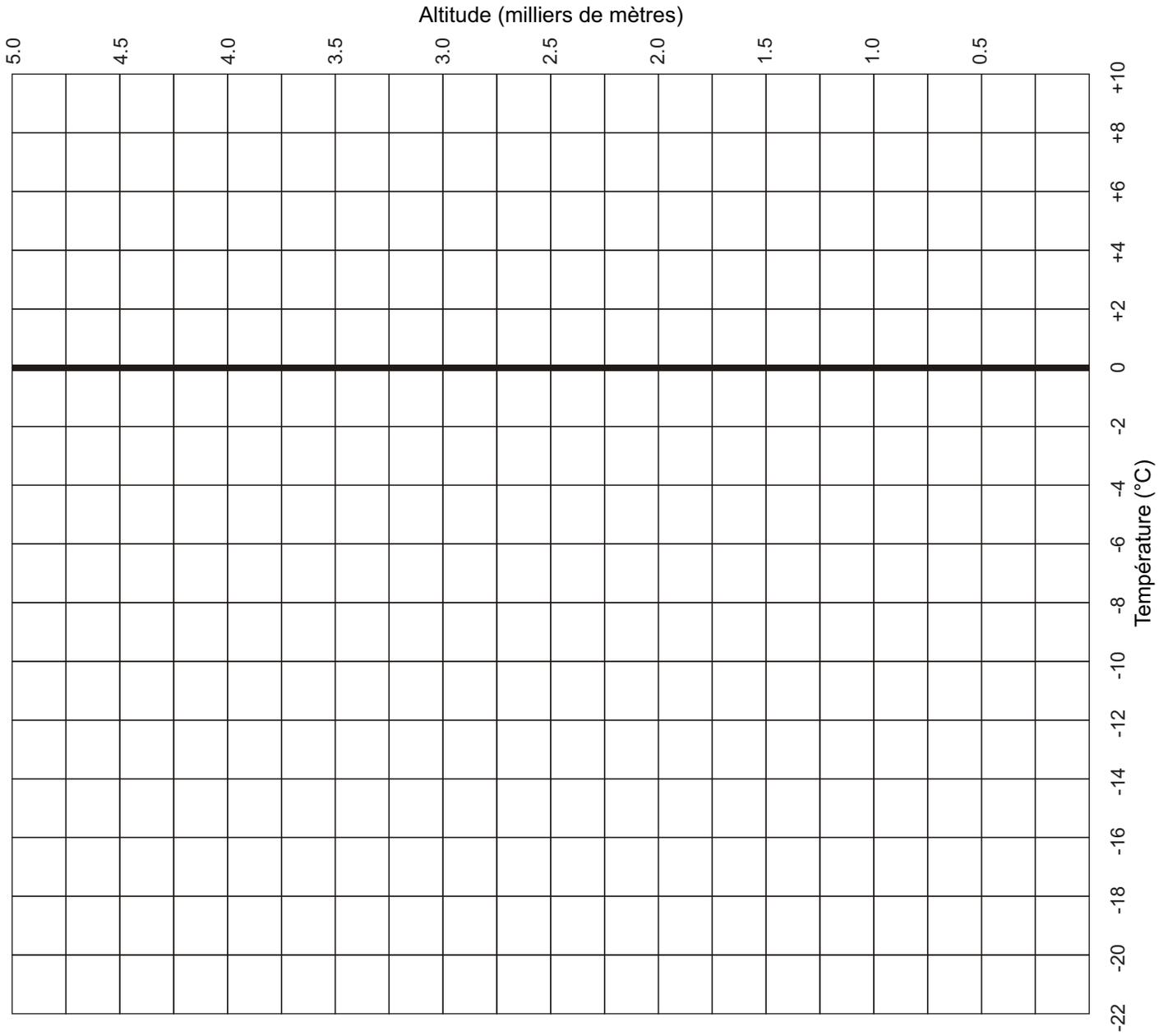


La pente d'un front froid est plus raide que celle d'un front chaud à cause de la friction entre l'air froid et la surface terrestre.

Clé de correction

- On doit postulé que des nuages sont présents lorsque les données aérologiques indiquent la présence d'air saturé en altitude (des couches ou la température et le point de rosée ont la même valeur). Les données indiquent clairement de la saturation en altitude, et donc des nuages.
- Le données aérologiques indiquent que les nuages avaient une épaisseur d'environ 3 km, et ainsi étaient nettement assez profonds pour produire des précipitations.
- L'air saturé était sous le point de congélation au dessus de 2.2 km, de même que sous .4 km. Entre ces deux niveaux, la température était au dessus du point de congélation.
- Quand ces cristaux de glace tombent et atteignent la couche d'air au dessus du point de congélation, ils se fondent pour se changer en pluie.
- La couche d'air était sous le point de congélation de la surface jusqu'à 500 mètres.

Diagramme température - altitude



Est de l'Ontario et Sud du Québec
7 janvier 1998

Altitude (km)	Température (°C)	Point de rosée (°C)
5,0	-16,5	-19,5
4,2	-9,5	-11,8
3,0	-3,5	-3,5
2,0	+0,4	+0,4
1,5	+4,2	+4,2
0,9	+6,4	+6,4
0,6	+3,8	+3,8
0,4	-0,5	-0,5
0,2	-0,1	-0,1
0,1	-2,1	-2,1
0 (sol)	-3,5	-4,8