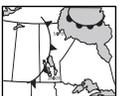


ANNEXE 16 : Les courants de convection dans l'air – Renseignement pour l'enseignant

La source de chaleur réchauffe l'air qui se trouve directement au-dessus d'elle. Les molécules d'air chaud sont moins denses que les molécules d'air froid et elles se déplacent plus rapidement. Elles montent et sortent par la cheminée. Au moment de rejoindre l'extérieur de la boîte, elles se refroidissent, deviennent plus denses et retournent dans la boîte par la deuxième cheminée. Les molécules d'air froid sont maintenant attirées vers la chandelle où elles sont réchauffées à nouveau. Le cycle continue tant que la différence de température persiste.

1. L'air chaud monte.
2. L'air froid descend.
3. Les diagrammes vont varier.
4. L'air chaud est moins dense que l'air froid.
5. Les molécules d'air chaud bougent plus rapidement que les molécules d'air froid.
6. Les réponses vont varier.



ANNEXE 17 : L'effet de Coriolis – Renseignements pour l'enseignant

Nom : _____

Date : _____

On trouve, dans l'atmosphère et les océans, de nombreux cas de mouvements s'effectuant à l'horizontale suivant des trajectoires incurvées. Les vents de surface s'engouffrent dans les zones de basse pression atmosphérique ou s'échappent des zones de haute pression en tourbillonnant. Les courants océaniques se déplacent en immenses tourbillons quasi circulaires dont le diamètre atteint plusieurs milliers de kilomètres. **Partout sauf à l'équateur**, les objets qui se déplacent horizontalement et librement à la surface terrestre, comme les avions et les bateaux, suivent des trajectoires incurvées. Dans l'hémisphère Nord, les objets dévient vers la droite par rapport à la direction du mouvement, tandis que dans l'hémisphère sud, ils dévient vers la gauche. Cette déviation est appelée **effet de Coriolis**, d'après le scientifique Gaspard Gustave de Coriolis.

Pourquoi cette incurvation des trajectoires? Les objets qui se déplacent à l'horizontale « librement » (sans subir de contraintes) ne sont-ils pas censés suivre une trajectoire rectiligne? Comme le décrit la première loi de Newton, un objet qui se déplace poursuit sa trajectoire suivant une ligne droite jusqu'à ce qu'une force extérieure agisse sur lui. Cependant, il n'existe pas de force horizontale agissant sur un objet se déplaçant librement à la surface terrestre qui provoquerait une déviation de sa trajectoire vers la gauche ou vers la droite. Néanmoins, sauf à l'équateur, la trajectoire de l'objet subit bel et bien une telle déviation. Si aucune force horizontale ne s'exerce pour provoquer cette déviation, il doit bien y avoir une autre explication. Cette explication existe, et elle s'appelle la rotation de la terre.

Tout mouvement doit être mesuré par rapport à un certain système de référence; en général, c'est la terre qui nous sert de système de référence. La terre est tellement grande que nous la percevons comme stationnaire. Des objets qui se déplacent sans contrainte, tels que l'air, les courants océaniques et les avions, semblent se déplacer en suivant une trajectoire incurvée même s'ils voyagent actuellement en ligne droite. En fait, c'est la Terre qui tourne pendant que l'objet progresse. Puisque le mouvement se mesure par rapport à la terre, il paraît suivre une trajectoire incurvée.

Par exemple, si un avion part de Winnipeg et voyage en direction franc sud, il déviara vers l'ouest.

après 1 heure :



après 2 heures :



après 3 heures :

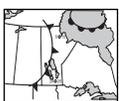


après 4 heures :



L'effet de la rotation de la terre sur les objets qui se déplacent horizontalement est à son maximum aux pôles. L'effet de Coriolis décroît avec la latitude et devient nul à l'équateur. Dans l'hémisphère nord, la terre tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (en voyant les choses du pôle Nord). Les objets qui se déplacent dans l'hémisphère nord paraissent donc toujours dévier vers la droite par rapport à la direction du mouvement. Dans l'hémisphère sud, c'est l'inverse qui se produit, car la rotation de la terre s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre, si nous voyons les choses du pôle Sud. Là, les objets qui se déplacent à l'horizontale semblent dévier vers la gauche par rapport à la direction du mouvement.

Tiré de *Projet Atmosphère Canada*, par Environnement Canada. Reproduction autorisée par Environnement Canada et la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie. Tous droits réservés.



ANNEXE 17 : L'effet de Coriolis – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Étant donné qu'à l'équateur, il n'y a pas de rotation de la surface de la terre (sens de la rotation) sous un objet se déplaçant horizontalement et librement, on n'observe pas d'incurvation de la trajectoire par rapport à la surface terrestre. La trajectoire de l'objet est rectiligne, elle ne présente donc pas d'effet de Coriolis.

Pour expliquer l'effet de Coriolis, les scientifiques ont inventé une force imaginaire appelée **force de Coriolis**. On a procédé ainsi afin de pouvoir appliquer les lois de Newton aux mouvements mesurés par rapport à la surface terrestre. La force de Coriolis, en agissant en conjonction avec des forces réelles, telles que la friction ou la force due au gradient de pression, détermine les mouvements des objets selon les lois de Newton. Par définition, la force de Coriolis s'exerce toujours perpendiculairement à la direction du mouvement : vers la droite dans l'hémisphère nord, ce qui explique la déviation vers la droite, et vers la gauche dans l'hémisphère sud, ce qui rend compte de la déviation vers la gauche. Tout ceci à cause de la rotation de la terre!

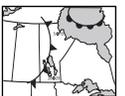
Applications à l'atmosphère et aux océans

Les masses d'air se déplaçant horizontalement dans l'hémisphère nord sont constamment attirées vers la droite par la force de Coriolis. Ce phénomène pousse l'air, qui subit des forces de pression horizontales, à virer vers la droite au lieu de s'écouler directement vers la zone de pression atmosphérique moindre. Autour des centres de basse pression, la combinaison des forces donne des mouvements circulaires dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, si l'on contemple les choses d'en haut. Autour des centres de haute pression, l'air qui s'écoule vers l'extérieur est aussi poussé vers la droite, ce qui produit des mouvements circulaires dans le sens des aiguilles d'une montre.

Le rôle de l'effet de Coriolis prend de l'ampleur à mesure qu'augmente la superficie sur laquelle il s'exerce. L'effet de Coriolis est négligeable sur les mouvements qui se déroulent à très petite échelle, comme dans le tourbillon que forme l'eau qui s'écoule d'un évier. Les systèmes orageux, comme les cyclones à ondulation des latitudes moyennes et les ouragans, présentent des mouvements soumis à la force de Coriolis. Ces systèmes ne peuvent exister à l'équateur et ils ne peuvent passer de l'hémisphère nord à l'hémisphère sud et vice versa, car ils ne peuvent exister sans l'effet de Coriolis.

Dans l'hémisphère sud, la traction continue vers la gauche exercée par la force de Coriolis produit une circulation dans le sens des aiguilles d'une montre autour des centres de basse pression et des mouvements dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour des centres de haute pression. À l'échelle planétaire, la force de Coriolis contribue au maintien des zones de vents et des courants aériens en haute altitude, dont les courants jets.

Les eaux de surface mises en mouvement par le vent sont déviées par l'effet de Coriolis, vers la droite du vent dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud. Poussés par les vents dominants, les grands systèmes de courants plus ou moins circulaires, appelés tourbillons océaniques, tournent dans le sens des aiguilles d'une montre (vu d'en haut) dans les bassins océaniques de latitudes moyennes de l'hémisphère nord, et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère sud.



ANNEXE 18 : Les vents dominants – Renseignements pour l'enseignant

Nom : _____

Date : _____

L'atmosphère qui entoure la Terre est toujours en mouvement. L'énergie solaire est la principale cause du mouvement de l'air (le vent). Le vent peut être un phénomène localisé, mais il existe aussi des vents au niveau mondial.

L'énergie venant du Soleil n'est pas répartie également sur la surface de la Terre. À cause de ce réchauffement inégal, il y a des zones de haute pression et des zones de basse pression à différents endroits, causant des vents dominants. La rotation de la Terre a aussi un effet sur la circulation générale de l'air dans l'atmosphère.

Le Soleil réchauffe la Terre avec une intensité maximale dans les régions près de l'équateur. L'air réchauffé devient moins dense et se met à monter jusqu'à ce qu'il atteigne la troposphère, puis commence à se déplacer vers le nord et vers le sud. (Afin de simplifier les explications, seulement le mouvement de l'air au nord de l'équateur sera décrit.) Ce mouvement de convection crée une zone de basse pression dans la région équatoriale. À environ 30° de latitude au nord de l'équateur, l'air est refroidi, devient plus dense et descend vers la surface de la Terre. Une zone de haute pression est donc créée à cette latitude. Une partie du vent qui descend vers la surface de la Terre est aussi déviée vers le nord.

Puisque l'air se déplace d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression, des vents soufflant vers le sud sont formés. À cause de la rotation de la terre, l'air est dévié vers la droite dans l'hémisphère Nord. Ces vents dominants se rendant vers l'équateur soufflent donc du nord-est. On les nomme les **alizés du nord-est**.

L'air de la région polaire reçoit peu d'énergie solaire. Cet air froid et dense voyage vers le sud et rencontre l'air venant de la zone de haute pression à 30° de latitude. L'air plus chaud venant du sud commence donc à monter pour créer une zone de basse pression. Cette zone se situe environ à 60° de latitude et crée des vents dominants se déplaçant vers le nord. Encore une fois, l'effet de Coriolis dévie ces vents vers la droite pour causer les **vents d'ouest dominants**. Ces vents d'ouest dominants expliquent pourquoi la plupart des systèmes météorologiques au Canada se déplacent d'ouest en est.

Les vents qui se déplacent de la zone de haute pression proche du pôle Nord vers la zone de basse pression à 60° de latitude se font dévier vers la droite à cause de l'effet de Coriolis. Ils sont connus du nom de **vents d'est polaires**.



ANNEXE 19 : Le courant-jet – Renseignements pour l'enseignant

Nom : _____

Date : _____

Caractéristiques du courant-jet du front polaire

Les courants-jets sont des vents d'ouest-en-est relativement concentrés en courants étroits à des altitudes de 9 à 14 kilomètres au-dessus du niveau de la mer. Ces « rivières d'air » serpentent autour du globe en segments de milliers de kilomètres de long, de centaines de kilomètres de large et de plusieurs kilomètres d'épaisseur.

Deux jet-streams de haute altitude affectent la météo de latitudes moyennes ; ce sont : le courant-jet subtropical et le courant-jet du front polaire. Le courant-jet subtropical est situé entre les circulations atmosphériques tropicales et de moyenne latitude. Bien qu'il ne soit pas relié nettement aux caractéristiques météorologiques de surface, il s'étend parfois aussi au nord que le sud des États-Unis. C'est un important transporteur d'humidité dans les systèmes de tempêtes.

Le courant-jet se produit au-dessus du front polaire, où l'air relativement froid aux altitudes plus élevées entre en contact avec de l'air chaud des altitudes plus basses, et près de la tropopause. Cela présente un intérêt particulier pour les météorologues à cause de son influence sur le développement et le maintien de systèmes de tempêtes de latitude moyenne qui se développent où les masses d'air chaud et froid se rencontrent.

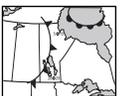
Le courant-jet du front polaire est incorporé à la circulation générale de la haute atmosphère dans les latitudes moyennes où les vents soufflent généralement de l'ouest vers l'est avec de vastes mouvements vers le nord et le sud. Vus d'en haut, ces vents présentent une gigantesque configuration ondulée autour du globe. Les vitesses de vent maximales dans le courant-jet du front polaire peuvent atteindre 400 kilomètres à l'heure.

La position moyenne du courant-jet du front polaire change avec les saisons. Sa position hivernale tend à se situer à une altitude plus faible et à une latitude plus basse qu'au cours des mois d'été. Parce que les contrastes de température nord-sud sont plus grands l'hiver qu'au cours de l'été, les vents du courant-jet du front polaire sont plus rapides en hiver qu'en été. De petits segments du courant-jet du front polaire où les vents atteignent les plus grandes vitesses sont généralement connus comme le maximum local du courant-jet. Un ou deux de ces segments sont habituellement présents dans le courant-jet du front polaire qui traverse l'Amérique du Nord.

Qu'est-ce qui cause le courant-jet du front polaire ?

La propriété physique voulant que l'air chaud soit moins dense que l'air froid quand les deux sont à la même pression est fondamentale à la formation du courant-jet du front polaire. Le front polaire représente la limite entre l'air froid des altitudes plus élevées et l'air chaud des altitudes plus basses. Ce contraste de température s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à l'altitude où se trouve le courant-jet du front polaire.

Tiré de *Projet Atmosphère Canada*, par Environnement Canada. Reproduction autorisée par Environnement Canada et la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie. Tous droits réservés.



ANNEXE 19 : Le courant-jet – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Aux environs du courant-jet du front polaire, la pression de l'air tombe plus rapidement avec un accroissement de l'altitude dans l'air froid plus dense que dans l'air chaud moins dense.

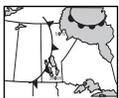
L'effet de la température sur la densité de l'air se traduit par une pression d'air qui, à toute altitude donnée, est plus élevée sur le côté chaud (en direction de l'équateur) du front polaire que sur le côté froid (en direction du pôle). Quand l'air froid et chaud se situent côte à côte, plus l'altitude est élevée, plus la différence de pression est grande entre l'air froid et l'air chaud à la même altitude.

Sur l'ensemble du front polaire, aux niveaux supérieurs (y compris l'altitude du courant-jet), les différences de pressions horizontales obligent l'air à s'écouler du côté air chaud du front vers le côté air froid du front. Dès que cet air est en mouvement, il est dévié par la rotation de la Terre (appelé effet de Coriolis) sans s'écouler directement de haute à basse pression. De l'air de haute altitude qui circule en direction du pôle à partir de pressions plus élevées vers des pressions plus basses est dévié vers la droite dans l'hémisphère Nord (ou vers la gauche dans l'hémisphère Sud). Le flux qui en découle produit un courant-jet se déplaçant généralement vers l'est, parallèlement à et au-dessus du front polaire.

Relations entre le courant-jet du front polaire et notre météo

Le courant-jet du front polaire existe le long de la région où des masses d'air polaire froid et d'air chaud entrent en contact. Donc, la météo est relativement froide quand le courant-jet du front polaire est au sud d'un endroit précis et relativement chaud quand le courant-jet est au nord de cet endroit.

Le courant-jet du front polaire peut favoriser l'intensification de tempêtes. Les tempêtes sont le plus susceptibles de s'intensifier sous un segment de maximum local du courant-jet. Comme composante de la circulation prédominante de l'ouest à l'échelle planétaire, le courant-jet du front polaire dirige les tempêtes à travers l'Amérique du Nord, généralement de l'ouest à l'est.



ANNEXE 20 : Exercice – À cause de la rotation de la Terre

Nom : _____

Date : _____

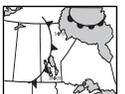
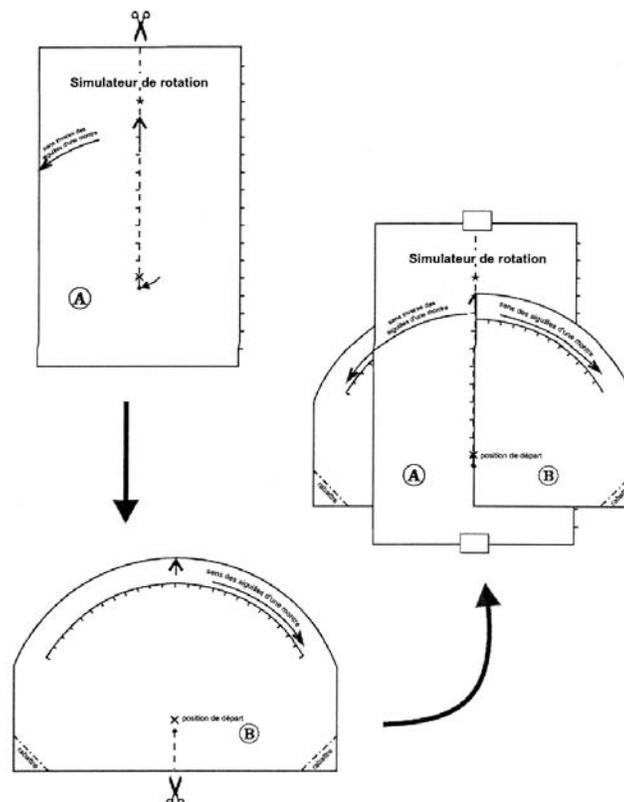
Introduction

Presque partout sur terre (sauf à l'équateur), les objets qui se déplacent horizontalement et librement (sans contrainte) à la surface de la terre décrivent des trajectoires incurvées. Les objets tels que les avions, les bateaux, les balles de fusil, les masses d'air et d'eau tournent vers la droite ou la gauche par rapport à un point d'observation situé sur la terre. L'activité proposée ici se penche sur les raisons qui expliquent cette déviation, phénomène connu sous le nom d'effet de Coriolis.

Méthode

Il faut d'abord construire le **Simulateur de rotation**. Découpe les deux grands morceaux, marqués A et B, ainsi que la « règle ». Entaille les systèmes A et B en suivant la ligne pointillée et sans dépasser les points. Amène le système A à coïncider avec le système B, comme le montre l'illustration, en t'assurant que le point en A recouvre le point en B. Place l'assemblage à plat devant toi sur le pupitre, l'extrémité coupée du système A en avant de toi. Colle maintenant le système A à ton pupitre aux deux endroits indiqués, aux points intermédiaires des bords rapprochés et éloignés de A, en veillant à ce que le système B puisse pivoter librement. Rabat les deux coins inférieurs du système B comme le fait voir l'illustration. En le prenant par un coin, exerce-toi à faire tourner le système B de manière à ce que les deux points coïncident en tout temps. Remarque l'échelle rectiligne sur le bord coupé du système A et l'échelle incurvée sur le bord du système B.

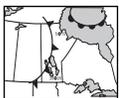
L'illustration suivante t'aidera à construire ton **Simulateur de rotation**.



ANNEXE 20 : Exercice – À cause de la rotation de la Terre (suite)

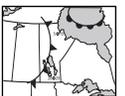
1. Oriente le système B en position « croix » comme le montre le dessin. S'il est bien placé, une flèche droite devrait pointer vers l'étoile \star . Place la pointe de ton crayon au centre de la Position de départ X. Trace soigneusement une ligne sur le système B suivant le bord coupé, directement vers l'étoile \star . La ligne que tu as tracée représente une trajectoire [(rectiligne) (incurvée)].
2. Étudie maintenant comment la rotation influe sur la trajectoire des lignes tracées au crayon. Encore ici, commence avec le système B en position « croix », la flèche pointant en direction de l'étoile \star . En tirant sur le coin inférieur gauche, fait progresser le système B dans le sens inverse des aiguilles d'une montre d'une division sur l'échelle incurvée (sur le système B). Fait un point au crayon sur le système B au bord de l'échelle rectiligne à une division d'échelle au-dessus de la Position de départ X. Continue à faire tourner le système B dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, une division à la fois, suivant l'échelle incurvée, en arrêtant à chaque division pour faire un point au crayon sur le système B à chacune des divisions successives sur l'échelle rectiligne. Répète ces étapes jusqu'à ce que tu aies atteint la fin de l'échelle incurvée. En commençant à X, relie les points entre eux par une courbe. Place une pointe de flèche à la fin de la ligne pour indiquer la direction du mouvement. La ligne que tu as tracée sur le système B est [(rectiligne) (incurvée)].
3. En réalité, tu as déplacé la pointe du crayon suivant une trajectoire à la fois rectiligne et incurvée! Ce phénomène est rendu possible parce que le mouvement est mesuré par rapport à un système de référence (la rose des vents, les axes est-ouest, nord-sud et haut-bas sont des systèmes de référence bien connus). Dans cet exercice, tu as utilisé deux systèmes de référence, l'un fixe et l'autre en rotation. Lorsque le mouvement décrit par la pointe du crayon a été observé par rapport au système A fixe et à l'étoile, sa trajectoire était [(rectiligne) (incurvée)]. Lorsque la trajectoire du crayon a été considérée relativement au système B, qui tournait, la trajectoire était [(rectiligne) (incurvée)].
4. Recommence avec le système B en position « croix » et la flèche pointant vers l'étoile \star . En tirant sur le coin inférieur droit, fait pivoter le système B dans le sens des aiguilles d'une montre, d'une division de l'échelle incurvée et fait un point au crayon sur le système B au bord de l'échelle rectiligne à une division d'échelle au-dessus de la Position de départ X. Continue comme tu l'as fait précédemment au parag. 2 pour déterminer la trajectoire de la pointe du crayon en mouvement. La trajectoire était rectiligne lorsque le mouvement de la pointe du crayon était observé par rapport au système [(A) (B)]. La trajectoire était incurvée lorsque le mouvement du crayon était mesuré par rapport au système [(A) (B)].

Tiré de *Projet Atmosphère Canada*, par Environnement Canada. Reproduction autorisée par Environnement Canada et la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie. Tous droits réservés.



ANNEXE 20 : Exercice – À cause de la rotation de la Terre (suite)

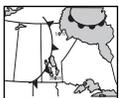
5. Imagine-toi rapetissé et placé au point X, en train de regarder l'étoile ★. Tu observes les trois situations décrites plus haut (c'est-à-dire l'absence de mouvement du système B, la rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et la rotation dans le sens des aiguilles d'une montre). De ta position au point de départ X, la pointe du crayon s'est déplacée dans les trois cas vers l'étoile ★ suivant une trajectoire [(rectiligne) (incurvée)]. **Le mouvement de déviation apparent d'une trajectoire droite dans un système de coordonnées en rotation est appelé effet de Coriolis, d'après Gaspard Gustave de Coriolis (1792-1843) qui, le premier, a fourni une explication mathématique de ce phénomène. Comme la terre tourne, les objets qui se déplacent librement à sa surface (sauf à l'équateur), présentent une trajectoire incurvée.**
6. En observant le même mouvement sur le système B, la trajectoire du crayon était rectiligne en l'absence de toute rotation. Toutefois, la trajectoire du crayon s'incurvait vers la [(droite) (gauche)] lorsque le système B était tourné dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Lorsque la rotation s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre, la trajectoire du crayon s'incurvait vers la [(droite) (gauche)].
7. Imagine-toi **placé bien au-dessus du pôle Nord**, en train de regarder la terre située tout en bas. Imagine que le système B du Simulateur de rotation représente la terre. Vue sur l'arrière-plan des étoiles, la terre tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. De ton point de vue, un objet se déplaçant librement à la surface de la terre suivrait une trajectoire [(rectiligne) (incurvée)] par rapport à l'arrière-plan étoilé (représenté par l'étoile ★ sur le Simulateur de rotation). Imagine-toi maintenant au pôle Nord, à la surface de la terre, à la position du point, en train d'observer le même mouvement. Dans cette perspective, tu observes le mouvement de l'objet relativement à la surface de la terre. Tu vois l'objet se déplacer suivant une trajectoire [(rectiligne) (s'incurvant vers la droite) (s'incurvant vers la gauche)].
8. Imagine-toi placé bien au-dessus du pôle Sud, en train de regarder la terre située tout en bas. Imagine que le système B du Simulateur de rotation représente la terre. Vue sur l'arrière-plan des étoiles, la terre tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. Le sens de la rotation est maintenant inversé par rapport au pôle Nord, parce que tu contemples la terre dans l'autre sens. Un objet se déplaçant librement à la surface de la terre semblerait se mouvoir suivant une trajectoire [(rectiligne) (incurvée)] par rapport à l'arrière-plan étoilé. Vois-toi, maintenant, sur la surface de la terre au pôle Sud, à la position du point, en train d'observer le même mouvement. Dans cette perspective, tu observes le mouvement de l'objet relativement à la surface de la terre. Tu vois l'objet se déplacer suivant une trajectoire [(rectiligne) (s'incurvant vers la droite) (s'incurvant vers la gauche)].
9. Bref, l'effet de Coriolis fait en sorte que la trajectoire des objets se déplaçant horizontalement et librement à la surface de la terre s'incurve vers la [(droite) (gauche)] dans l'hémisphère nord et vers la [(droite) (gauche)], dans l'hémisphère sud.



ANNEXE 20 : Exercice – À cause de la rotation de la Terre (suite)

Autres investigations

1. Ici encore, commence avec le système B en position de « croix ». Crée des trajectoires qui partent de l'échelle rectiligne à une division sous l'échelle incurvée et progresse vers la Position de départ (X). Accomplis ceci pour le système B en le tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, puis dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Nous avons constaté plus tôt qu'une déviation vers la droite était associée à une rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et qu'une déviation vers la gauche survenait avec une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans ces cas, les mêmes associations entre la déviation et la direction de la rotation [(existent) (n'existent pas)].
2. Essaie de te déplacer sur le système B pendant qu'il tourne, en guidant le crayon sur la « règle rectiligne ». Oriente la « règle rectiligne » à angle droit de manière à faire intersection avec le système A environ à mi-chemin entre X et l'étoile ★, puis colle ses extrémités à l'aide de ruban gommé de manière à ce que le système B puisse tourner librement. Tout en faisant tourner le système B dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, trace de gauche à droite une ligne longue de plusieurs unités d'échelle, en commençant au bord coupé. Reprend le processus en faisant tourner le système B dans le sens des aiguilles d'une montre. La trajectoire s'incurve vers la [(droite) (gauche)] avec une rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et vers la [(droite) (gauche)] avec une rotation dans les sens des aiguilles d'une montre.
3. Étudie les changements de vitesse de rotation relative et la courbure en te déplaçant d'une division suivant l'échelle rectiligne pour deux divisions sur l'échelle incurvée ou de deux divisions sur l'échelle rectiligne pour une division sur l'échelle incurvée. Est-ce que la direction de la courbure change? Est-ce que la courbure s'accroît?



ANNEXE 21 : Expérience – Les courants de convection dans l'eau

Nom : _____

Date : _____

Matériel

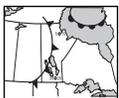
eau chaude	5 verres en polystyrène
eau froide	compte-gouttes
colorant alimentaire rouge	plateau en plastique ou en verre transparent
colorant alimentaire bleu	(un plat de cuisson 8 sur 8 ou 8 sur 12)

Méthode

1. Remplis d'eau froide le plat de cuisson transparent. Place le plat sur quatre verres inversés en veillant à ce que le plat soit bien appuyé et stable.
2. Remplis d'eau chaude le cinquième verre et glisse-le sous le plat, jusqu'au centre.
3. Dépose quelques gouttes de colorant alimentaire rouge au fond du plat par-dessus la source de chaleur (le cinquième verre).
4. Dépose quelques gouttes de colorant bleu au fond du plat, mais en bordure cette fois.
5. Observe sur une période de 5 à 10 minutes.

Questions

1. Quelle est la direction du mouvement de l'eau tiède?
2. Quelle est la direction du mouvement de l'eau froide?
3. Illustre tes observations au moyen d'un diagramme.
4. a) L'eau tiède est-elle plus dense ou moins dense que l'eau froide?
b) Les molécules d'eau tiède bougent-elles plus rapidement ou moins rapidement que les molécules d'eau froide?
5. Où retrouve-t-on des courants de convection?
6. Qu'arriverait-il si le plat contenait de l'eau chaude, et le verre, de l'eau glacée. Illustre tes observations au moyen d'un diagramme.

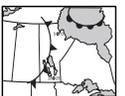


ANNEXE 22 : Les courants de convection dans l'eau – Renseignements pour l'enseignant

La source de chaleur réchauffe l'eau qui se trouve directement au-dessus. Les molécules d'eau tiède sont moins denses que les molécules d'eau froide et elles se déplacent plus rapidement. Elles montent à la surface et sont poussées en direction le bord du plat par les molécules qu'elles précèdent. Au moment de rejoindre le bord du plat, elles se refroidissent, deviennent plus denses, s'enfoncent, sont attirées vers le centre et se réchauffent de nouveau. Le cycle continue tant que la différence de température persiste.

Questions

1. Les molécules d'eau tiède montent à la surface.
2. Les molécules d'eau froide s'enfoncent vers le bas du plat.
3. Les diagrammes vont varier.
4. a) L'eau tiède est moins dense que l'eau froide.
b) Les molécules d'eau tiède bougent plus rapidement que les molécules d'eau froide.
5. Les réponses vont varier.
6. Le verre d'eau glacée refroidirait l'eau qui se trouve directement au-dessus. Les molécules d'eau froide s'enfonceraient alors au fond du plat et pousseraient les molécules d'eau chaude vers le bord du plat et ensuite vers le haut.



ANNEXE 23 : Exercice – Anticyclones et dépressions

Nom : _____

Date : _____

Introduction

L'atmosphère et les océans de la Terre sont en mouvement continu. Ce mouvement est le résultat d'une distribution inégale de l'énergie au sein du système terre-atmosphère. Des forces résultent de cette distribution non uniforme et travaillent à déplacer la chaleur et l'énergie des zones plus chaudes vers celles plus froides (par exemple, des tropiques vers des latitudes moyennes et élevées). Le mouvement est engendré par des différences dans la pression (la pression est la quantité de force appliquée à une unité de surface). La pression atmosphérique est la force exercée sur un objet ou une personne par le poids de l'air qui est au-dessus d'eux. Les experts en sciences atmosphériques et les océanographes font le suivi de la pression dans leur étude de la dynamique de l'atmosphère et des océans de la Terre.

La force de gravité attire les molécules et les particules dans l'atmosphère vers le centre de la Terre. Le poids qui résulte de l'air qui pousse sur lui-même et sur la surface de la planète crée la pression atmosphérique. L'air est considéré comme étant un fluide dans l'étude des dynamiques de l'atmosphère. Nous savons que, dans un fluide, la pression n'agit pas uniquement vers le bas mais dans toutes les directions. Tous les côtés d'un objet sont donc soumis à environ la même pression. Par exemple, la pression atmosphérique d'un seau d'eau est communiquée également aux parois du seau et est équilibrée par la même pression agissant sur ses parois extérieures.

Au Canada, le kilopascal (kPa) est l'unité de pression atmosphérique la plus souvent mentionnée dans les bulletins météorologiques. La pression moyenne exercée par l'atmosphère au niveau de la mer est un kilogramme par centimètre carré ou 101,325 kPa. L'encyclopédie Britannica définit un pascal (Pa) comme étant « la pression d'un newton (l'unité de base de la force) par mètre carré », appelé ainsi d'après le mathématicien et physicien du 17^e siècle, Blaise Pascal. Celui-ci démontra que la pression atmosphérique diminuait avec l'altitude. Parce qu'un pascal est une si petite unité de pression, le kilopascal, qui est égal à 1000 newtons par mètre carré, est plus largement utilisé.

En étudiant les concepts de pression dans la haute atmosphère, l'unité commune devient alors l'hectopascal (hPa) qui est simplement 10 fois le kilopascal ou 10 000 Pa. Les scientifiques impliqués dans la mesure et l'analyse de la pression atmosphérique pourront également utiliser l'expression millibar comme unité de pression atmosphérique. Un millibar est égal à un hectopascal.

La pression atmosphérique peut également être exprimée en d'autres unités telles « livres par pouce carré » et « pouces de mercure » qui se réfèrent à l'utilisation historique du baromètre de mercure pour mesurer la pression de l'air. Pour fins de conversion, une livre par pouce carré est égale à 6,895 kPa et un pouce de mercure est égal à 3,386389 kPa.

L'analyse de la distribution de la pression sur une carte météorologique à la surface se fait en traçant une série de lignes nommées isobares qui relient des points de même pression. La carte météorologique bien connue, avec ses zones de haute et basse pression, prend forme lorsque l'analyse isobare est terminée.



ANNEXE 23 : Exercice – Anticyclones et dépressions (suite)

Haute et basse pression

« Quelle est la météo ? » et « Que sera la météo ? » sont des questions que les gens posent souvent parce que la météo et ses changements influencent fortement nos activités et nos vies. Quand nous sommes au courant de la météo courante et anticipée, nous pouvons faire des choix éclairés, depuis le choix de vêtements appropriés pour la journée à ceux qui sont en rapport au travail et aux loisirs. Moins fréquentes, mais non moins importantes, les décisions et les actions que nous prenons peuvent réduire le niveau des dégâts matériels ainsi que le nombre de blessures et de mortalités attribuables à des conditions météorologiques dangereuses.

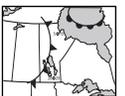
Des réponses adéquates à nos questions concernant la météo peuvent se trouver sur la carte météorologique quotidienne. Bien en évidence sur les cartes qui apparaissent à la télé et dans les journaux sont les mots anticyclone et dépression ou les lettres A et D. Il s'agit des symboles pour les centres de systèmes de pression à grande échelle. Avec leurs emplacements, ils sont la clé de la description et de la compréhension des conditions météorologiques probables pour l'ensemble de la région comprise sur la carte.

Les anticyclones et les dépressions ou les A et les D sur les cartes représentent les centres de grandes régions de pression atmosphérique relativement haute ou basse à la surface. Ils fournissent également des renseignements qui permettent aux météorologues de prédire les possibilités des conditions atmosphériques jusqu'à une journée ou plus en avance. Les anticyclones et les dépressions gouvernent les conditions atmosphériques sur toute leur étendue. Les anticyclones sont généralement des systèmes de beau temps. On associe généralement des nuages très étendus et des conditions de tempêtes aux dépressions.

Les anticyclones et les dépressions de latitudes moyennes tendent à se déplacer de l'ouest vers l'est, modifiant la météo le long de leur parcours. Dans l'Hémisphère Nord, la latitude moyenne ou tempérée est la zone entre le tropique du Cancer, à la latitude 23,5 degrés nord, et le cercle de l'Arctique, latitude 66,5 degrés Nord. Les anticyclones suivent les dépressions et les dépressions suivent les anticyclones dans une procession sans fin. Il n'existe pas d'anticyclones ou de dépressions qui soient identiques, mais ils ont suffisamment de caractéristiques communes pour que des modèles descriptifs puissent être utilisés pour comprendre la météo.

L'objectif de cet exercice est de t'initier à la pression atmosphérique et aux modèles descriptifs des anticyclones et des dépressions. Lorsque tu auras terminé cet exercice avec succès, tu seras en mesure de résumer en termes généraux des modèles descriptifs des anticyclones et des dépressions et la météo qui leur est associée. Tu seras également en mesure d'appliquer ces modèles pour interpréter des cartes météorologiques et décrire la météo probable, courante et future, à divers endroits sur une carte météorologique.

Tiré de *Projet Atmosphère Canada*, par Environnement Canada. Adaptation autorisée par Environnement Canada et la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie. Tous droits réservés.



ANNEXE 23 : Exercice – Anticyclones et dépressions (suite)

Configuration de la pression en surface

Lorsque tu auras complété cette activité, tu devrais être en mesure de :

- Dessiner des lignes d'égalité de pression (isobares) pour présenter la configuration de pression d'air en surface sur une carte météorologique.
- Localiser des régions de pression atmosphérique relativement élevée ou basse sur une carte météorologique de surface.
- Localiser des régions sur une carte météorologique de surface faisant état de changements de pression atmosphérique relativement importants sur de courtes distances horizontales ainsi que de grandes surfaces ayant une pression atmosphérique qui varie graduellement.

Matériel

- Crayon

Introduction

La pression de l'air est déterminée par le poids de l'air sus-jacent et varie d'un endroit à l'autre et dans le temps. La pression de l'air en surface est la force exercée par unité de superficie sur un objet à la surface de la Terre par l'air sus-jacent, soit environ 100 000 newtons par mètre carré ou 100 kilopascals.

Des variations de pression occasionnent des mouvements qui préparent la voie à une bonne partie des conditions atmosphériques que nous connaissons. La connaissance des configurations de la pression est fondamentale à la compréhension des conditions atmosphériques que nous connaissons et ce qu'elles sont susceptibles d'être où tu vis.

Les pressions couramment présentées sur des cartes météorologiques de surface sont des valeurs « ajustées » au niveau de la mer. C'est dire que les lectures de la pression d'air sont ajustées à ce qu'elles seraient si les stations d'observations étaient de fait situées au niveau de la mer. L'ajustement des lectures de pression d'air à une élévation commune (le niveau de la mer) élimine les influences du relief terrestre (topographie) sur les lectures de pression d'air. Cet ajustement permet de comparer les différences de pression horizontale qui peuvent permettre de distinguer les conditions météorologiques.

On révèle les zones de pression horizontales sur une carte météorologique en traçant sur cette carte des lignes qui rejoignent des points de pression égale, ou qui représentent une pression égale. Ces lignes sont nommées isobares parce que chaque point sur une ligne donnée a la même valeur de pression d'air. Chaque isobare sépare les stations où les valeurs de pression sont élevées, de celles où les valeurs de pressions sont inférieures à cette isobare.



ANNEXE 23 : Exercice – Anticyclones et dépressions (suite)

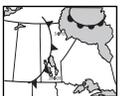
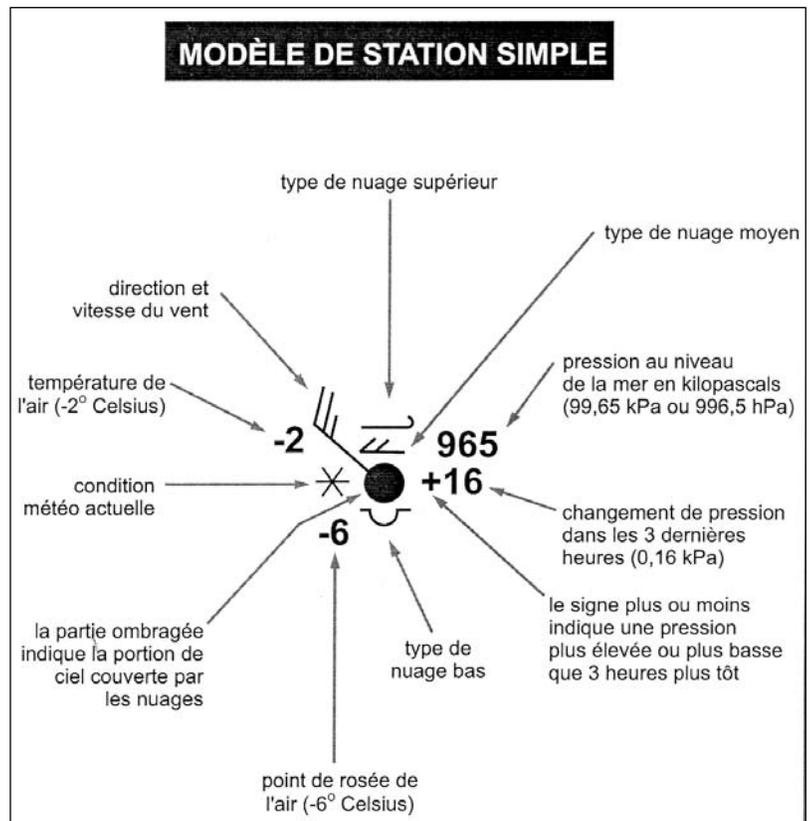
Pointage et analyse de la pression aux stations sur cartes météorologiques

Le kilopascal (kPa) est l'unité de mesure standard de la pression atmosphérique à la surface de la Terre. Les baromètres contemporains lisent la pression de la station avec précision à deux points décimaux près ; par exemple, 101,25 kPa.

Il est de pratique courante, en effectuant les relevés de cartes météorologiques, **de laisser tomber les points décimaux** sur la carte pour en faciliter la lisibilité, pour éviter la confusion avec les symboles des stations. Sur une carte météo, le relevé indique la pression d'une station de 101,25 kPa comme étant simplement « 125 » (ou les trois derniers chiffres de la valeur de pression) tel que présenté sur le modèle de relevé de station ci-dessous.

Question de commodité, sur la plupart des cartes météorologiques, on laisse tomber le 10 initial, ou le 9 dans le cas de pressions de moins de 100 kPa. Puisque la plupart des pressions au niveau de la mer se situent entre 970 et 1050 hPa, il n'y a que peu de chances de confusion.

Par convention, les isobares sur les cartes météorologiques de surface sont habituellement dessinées en utilisant des intervalles standards. En se souvenant que 100,0 kilopascals est la force approximative exercée par unité de surface sur un objet à la surface de la Terre par l'air sus-jacent, une valeur de 100 kilopascals (kPa) ou de 1000 hectopascals (hPa) devient une valeur de référence facilement reconnaissable. Encore une fois, se rappelant que le recours au point décimal pour le pointage des cartes est évité lorsque possible, **la valeur de 1000 hectopascal (hPa) devient une référence pour l'analyse isobare.**



ANNEXE 23 : Exercice – Anticyclones et dépressions (suite)

Activité 1

La figure 1 représente un tracé de carte de surface qui indique la pression d'air en hectopascals (hPa) à divers endroits. (Aux seules fins de cet exercice, l'exemple utilise des nombres entiers et non le traditionnel format de tracé de station.) Chaque mesure de pression est placée à l'endroit qu'elle représente. On a dessiné sur cette carte une isobare de 1012-hPa qui encercle la station qu'elle représente. Complète l'isobare 1008-hPa qu'on a déjà commencé. Finalement, dessine l'isobare 1004-hPa. Marque chaque isobare en écrivant la valeur de pression appropriée à son extrémité.

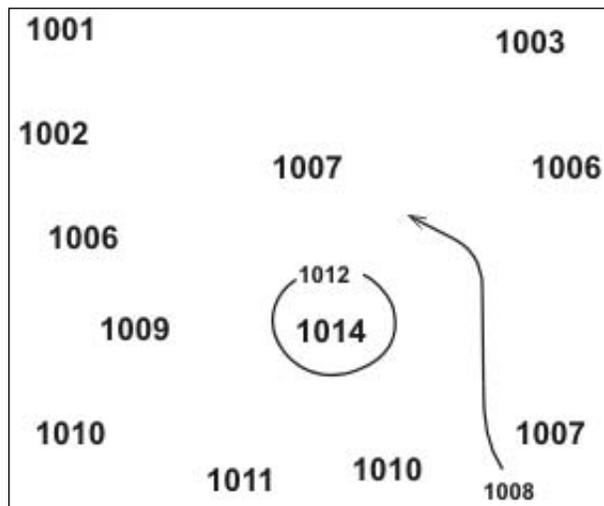


Figure 1 – Échantillon de valeurs de pression de surface en hectopascals (hPa) à diverses stations. (Aux seules fins de cet exercice, l'exemple utilise des nombres entiers et non le traditionnel format de tracé de station.)

Conseils pour dessiner des isobares :

- Dessine toujours une isobare de telle manière que les lectures de pression d'air supérieures à la valeur de l'isobare soient constamment d'un côté de l'isobare alors que les valeurs inférieures soient de l'autre côté.
- En positionnant des isobares, suppose un changement régulier de pression entre les stations avoisinantes. Par exemple, on dessinerait une isobare de 1012-hPa à environ un tiers de la distance entre les notations de 1013 hPa et de 1010 hPa.
- Les isobares adjacentes ont tendance à suivre la même configuration, L'isobare que tu dessines aura tendance à suivre en parallèle les courbes de ses voisines car les changements d'air horizontaux d'un endroit à l'autre sont habituellement graduels.
- Continue à dessiner une isobare jusqu'à ce qu'elle atteigne la limite des données pointées ou « se ferme » pour former une boucle en retournant à son point de départ.
- Les isobares ne s'arrêtent ou ne se terminent jamais au sein d'un champ de données, et elles ne bifurquent jamais ni ne se touchent ou ne se croisent les unes les autres.
- On ne peut sauter des isobares si leurs valeurs se situent à l'intérieur de la gamme de pression de l'air présentées sur la carte. Les isobares doivent toujours paraître en séquence, par exemple il doit toujours y avoir une isobare 1000-hPa entre des isobares de 996-hPa et de 1004-hPa.
- Indique toujours la valeur d'une isobare.



ANNEXE 24 : Exercice – Cartes météorologiques et symboles météorologiques

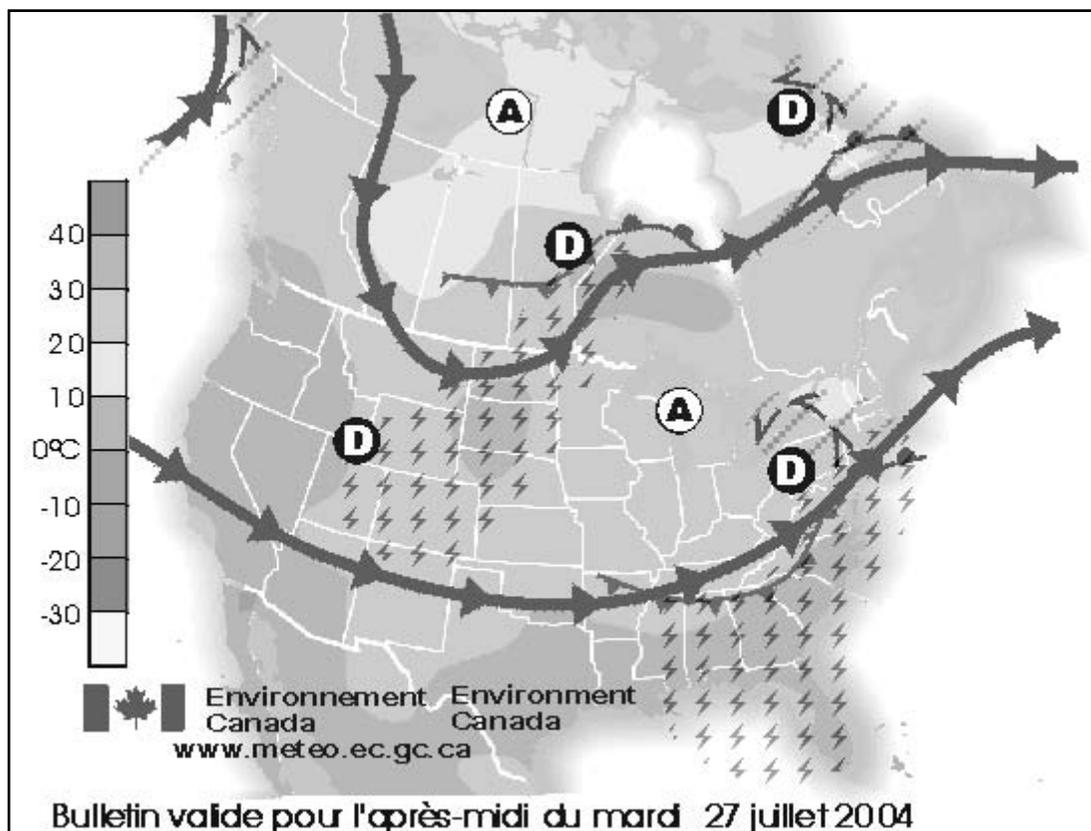
Nom : _____

Date : _____

Introduction

Cette série de cartes météorologiques avec questions a été conçue pour te donner une introduction à l'obtention de données à partir d'une carte météorologique. Lorsque tu auras complété cette activité, tu devrais être en mesure de comprendre des cartes plus complexes que celles typiques d'un reportage à la télévision.

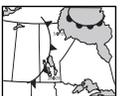
Voici une carte qu'on pourrait trouver dans Internet ou dans un reportage télédiffusé. L'exemple est tiré du site d'Environnement Canada. Une légende est incluse pour t'aider à interpréter la carte.



Légende

	Anticyclone		Courant-jet
	Dépression		Pluie
	Front chaud		Pluie verglaçante
	Front froid		Neige
	TROWAL - Langue d'air chaud en altitude		Orages

* Graphique tiré de http://meteo.ec.gc.ca/jet_stream/index_f.html et reproduit avec la permission d'Environnement Canada.

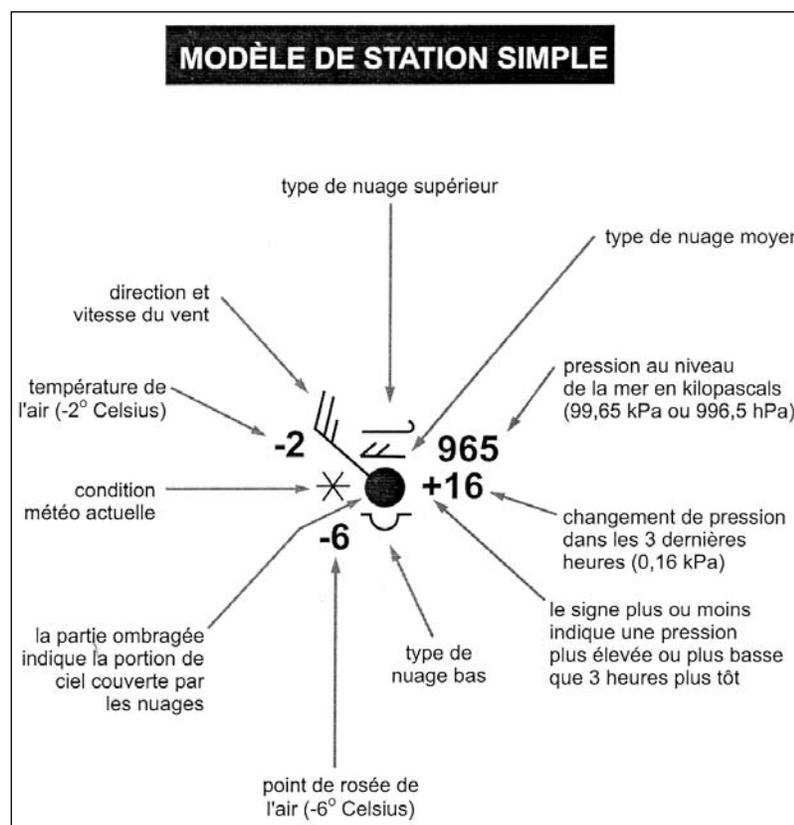


ANNEXE 24 : Exercice – Cartes météorologiques et symboles météorologiques (suite)

La série de cartes qui suit a été préparée pour t'aider à te familiariser avec les symboles météorologiques ainsi que l'interprétation des cartes. Pour mieux comprendre les phénomènes météorologiques tels que les blizzards, les ouragans et les orages et être en mesure d'analyser les conditions avant, pendant et après un phénomène météorologique important, il faut avoir une bonne compréhension des cartes.

Éléments présentés sur un relevé de station météorologique

Il est important de bien comprendre les données sur un relevé de station météorologique. Voici un modèle représentatif.



La série qui suit comprend des cartes établies à des intervalles de 12 heures et couvre une période de 60 heures allant de 19 h, heure normale de l'Est (c'est-à-dire 18 h, heure normale du Centre), le 27 septembre, jusqu'à 7 h, heure normale de l'Est (6 h, heure normale du Centre), le 30 septembre.

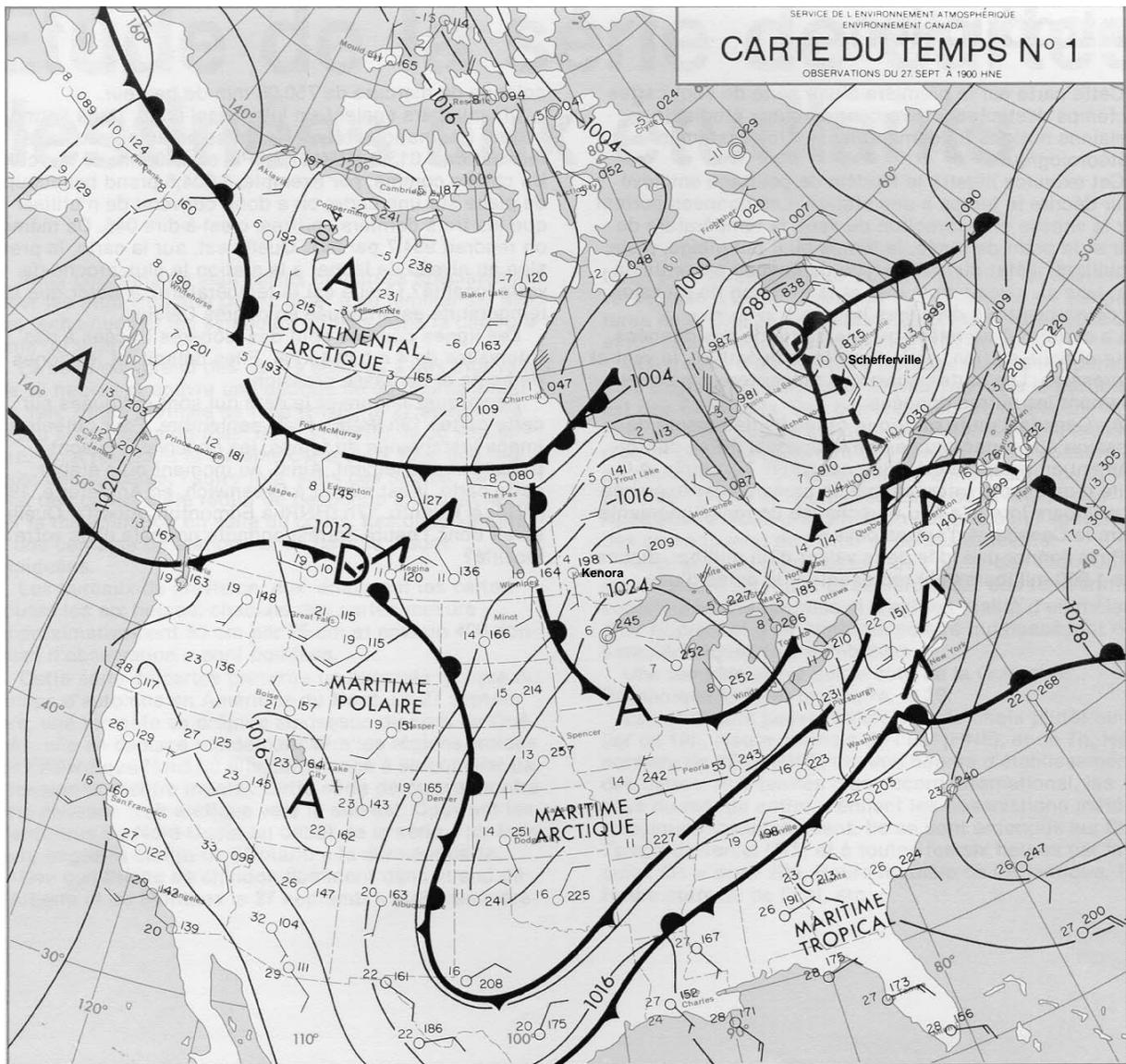
Cette série de cartes présente un exemple typique du temps d'automne en Amérique du Nord. Essaie de repérer les conditions suivantes sur la carte n° 1 :

- une tempête au-dessus du nord du Québec;
- de l'air frais arctique couvrant les Territoires du Nord-Ouest;
- un chinook dans le sud de l'Alberta et du Montana;
- des températures supérieures à la normale dans la partie sud-ouest des États-Unis;
- des vents élevés en Nouvelle-Écosse et au nord du Québec.

Tiré de *Cartographie de la météo*, Environnement Canada. Adaptation autorisée par Environnement Canada.

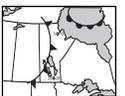


ANNEXE 24 : Exercice – Cartes météorologiques et symboles météorologiques (suite)

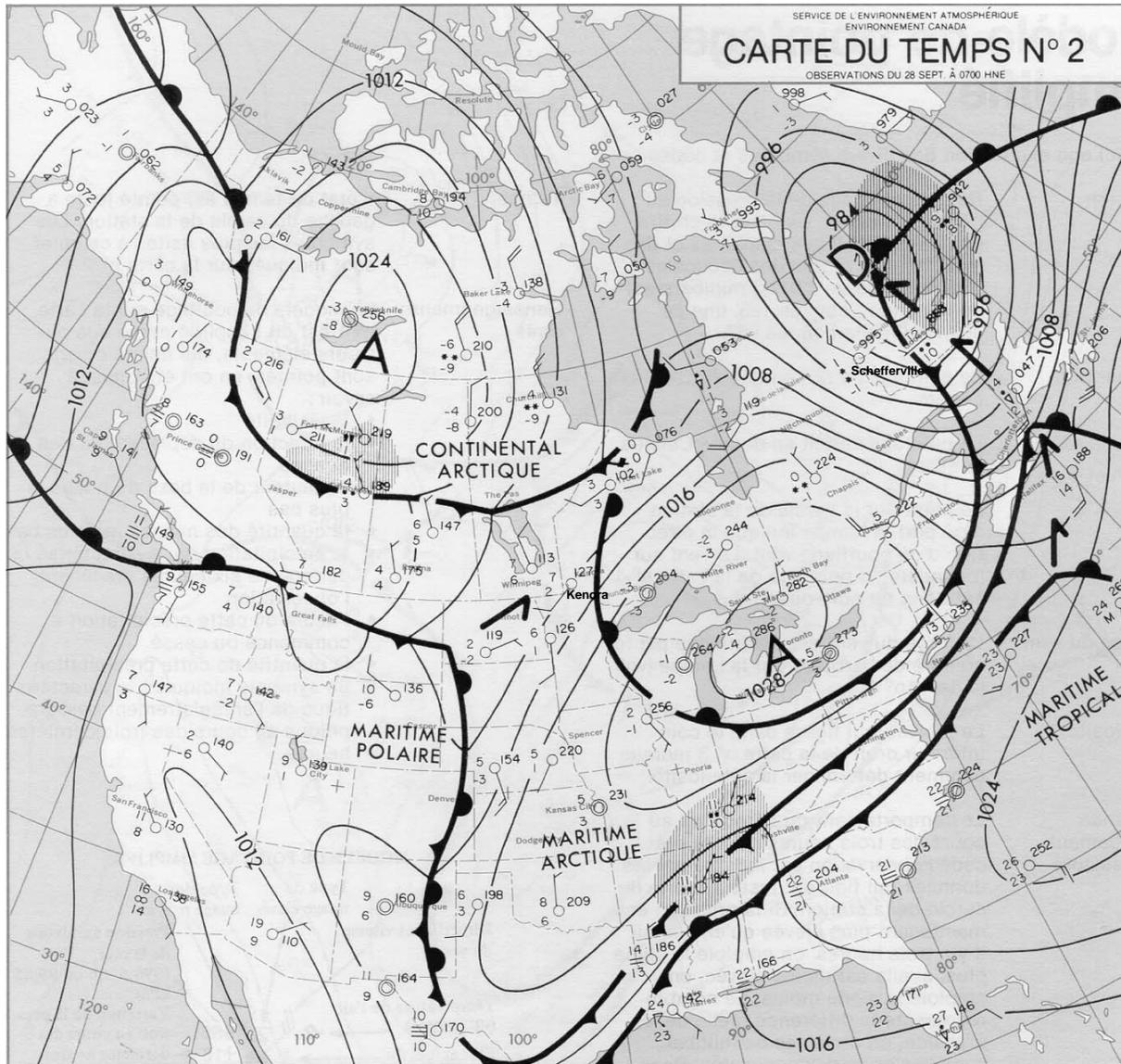


Questions

1. Dans ta localité, les températures étaient-elles au-dessus du point de congélation ou en dessous?
2. Quelle heure est-il au Manitoba?
3. Crois-tu que la température descendra en dessous du point de congélation pendant la nuit dans une partie quelconque du sud du Canada? Si oui, dans quelle région?
4. Étudie les vents en surface au voisinage de la zone de basse pression au nord du Québec. Avec un crayon, dessine des flèches d'une longueur de 2 cm, environ, qui démontrent la direction des vents. Qu'est-ce que tu remarques?
5. Étudie les vents en surface au voisinage de la zone de haute pression au sud-ouest des Etats-Unis. Avec un crayon, dessine des flèches d'une longueur de 2 cm, environ, qui démontrent la direction des vents. Qu'est-ce que tu remarques?

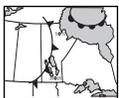


ANNEXE 24 : Exercice – Cartes météorologiques et symboles météorologiques (suite)

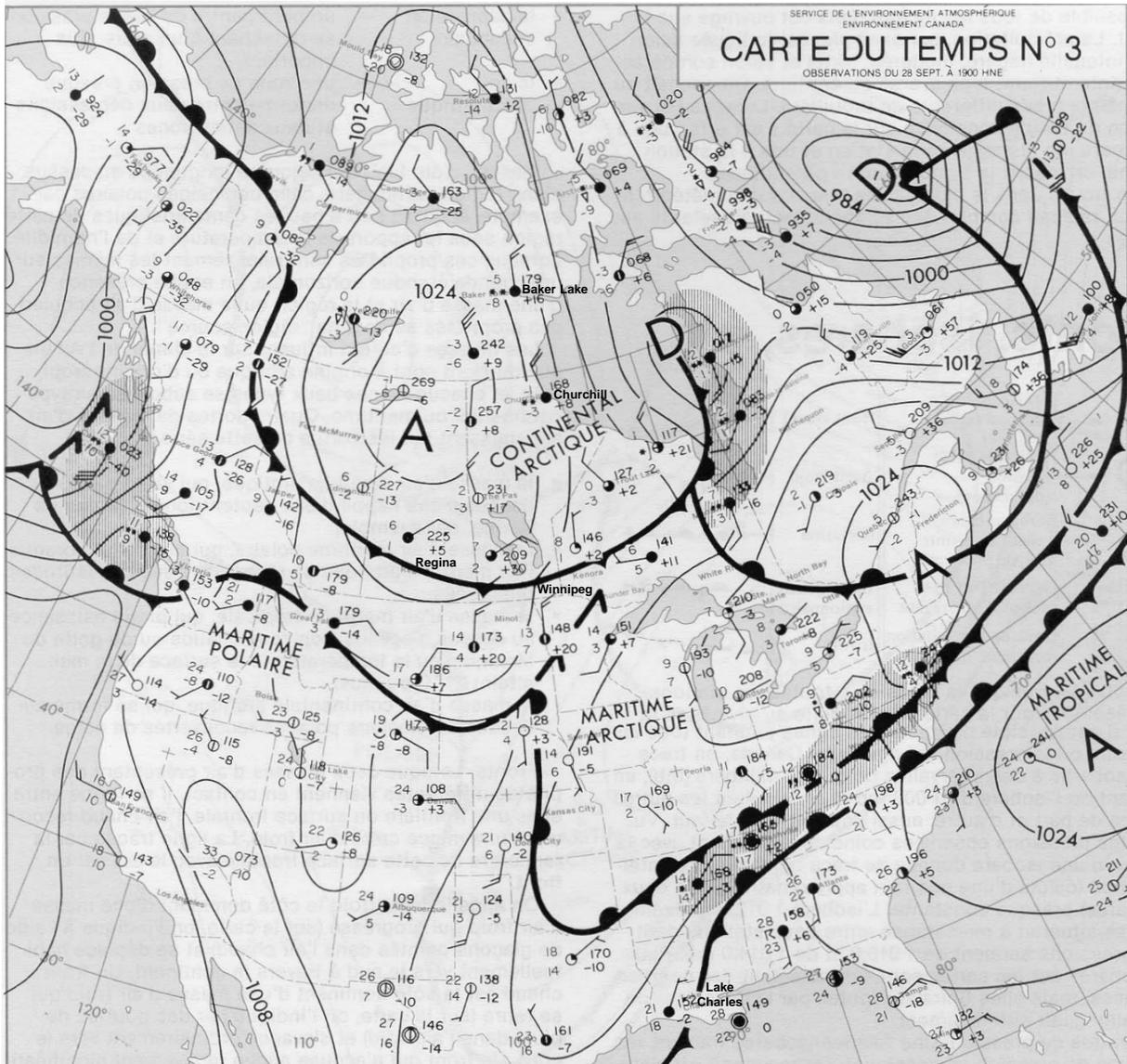


Questions

1. Remarque que les vents soufflent encore autour des cyclones et des anticyclones dans les mêmes directions que sur la carte précédente. Y a-t-il exception à cette règle dans une certaine région?
2. Quelle variation de température est survenue au cours des 12 dernières heures à Schefferville (Québec)? À Kenora?

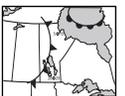


ANNEXE 24 : Exercice – Cartes météorologiques et symboles météorologiques (suite)



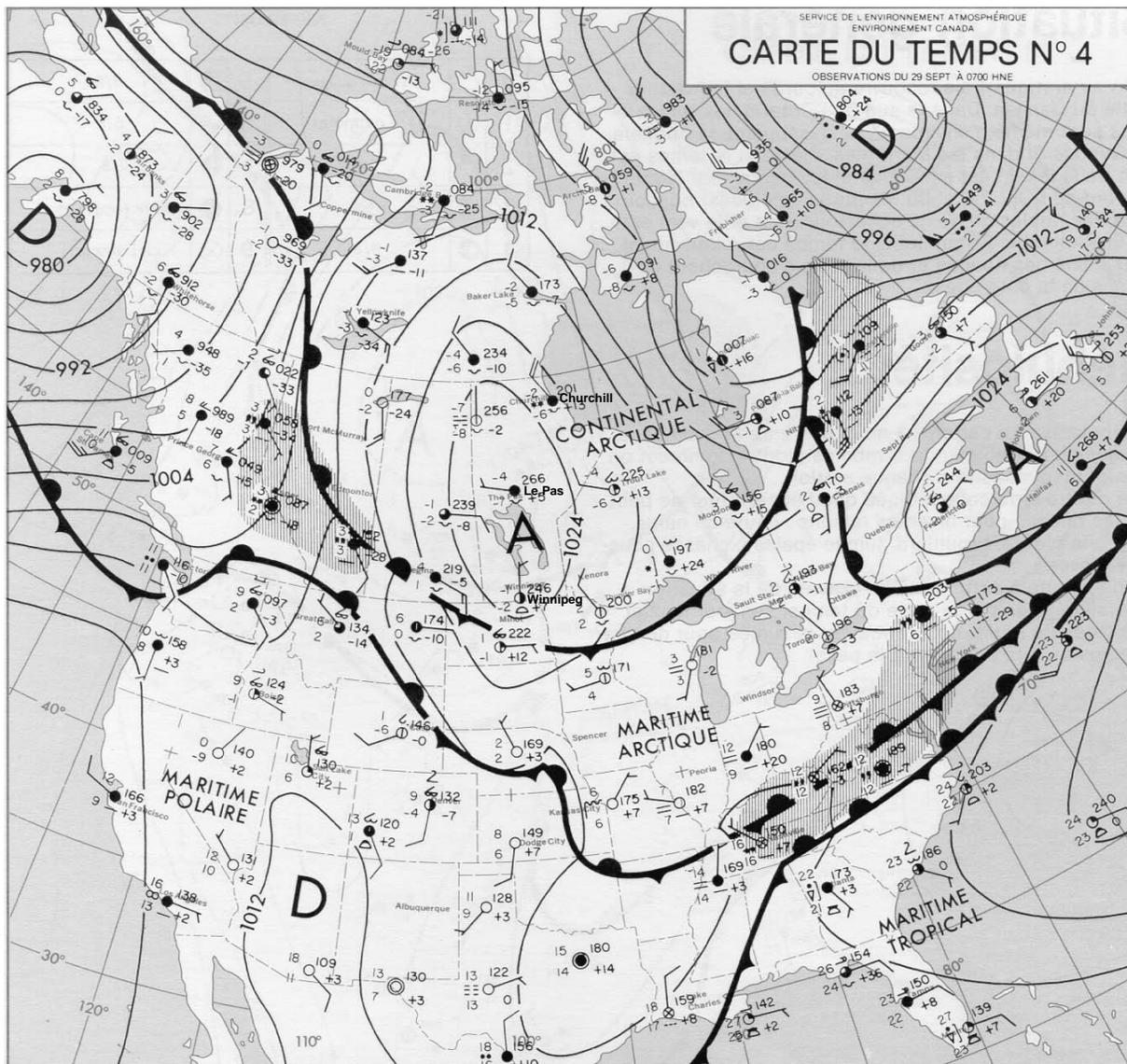
Questions

1. Les isobares délimitent deux types de systèmes de pression, la zone de haute pression et la zone de basse pression. Ces zones se déplacent-elles? Trouve le point où se trouve la zone de pression maximale dans le nord-ouest du Canada le 27 septembre à 19 h. Porte ce point sur la carte de 19 h du 28 septembre. De même, trouve la zone de haute pression à 7 h le 28 septembre et porte-la sur la carte n° 3 du 28 septembre. Dans quelle direction se déplace-t-elle? À quelle vitesse en 24 heures? Un degré de latitude correspond à 110 km environ. Ainsi, Sept-Îles est environ à 480 km au sud de Schefferville.
2. Quelle distance approximative sépare Churchill de Baker Lake (Territoires du Nord-Ouest)?
3. Quelle distance approximative sépare Winnipeg de Regina (Saskatchewan)?
4. Procède de la même façon pour la zone de basse pression au nord du Québec, le 27 septembre. À quelle vitesse se déplace-t-elle? Dans quelle direction?



ANNEXE 24 : Exercice – Cartes météorologiques et symboles météorologiques (suite)

5. Cette carte comprend les symboles de nébulosité. En général, trouve-t-on un ciel nuageux ou un ciel clair dans les zones de basse pression? Qu'arrive-t-il dans les zones de haute pression? Quel est l'aspect du ciel dans les zones de précipitation?
6. Quel effet a exercé sur la température et le point de rosée à Lake Charles (en Louisiane) le passage du front froid à l'est de la station? Compare ce rapport avec le rapport précédent du 27 septembre. Qu'est-il arrivé au vent à cette station?
7. Quels changements sont survenus au Pas sur 24 heures? Pourquoi?



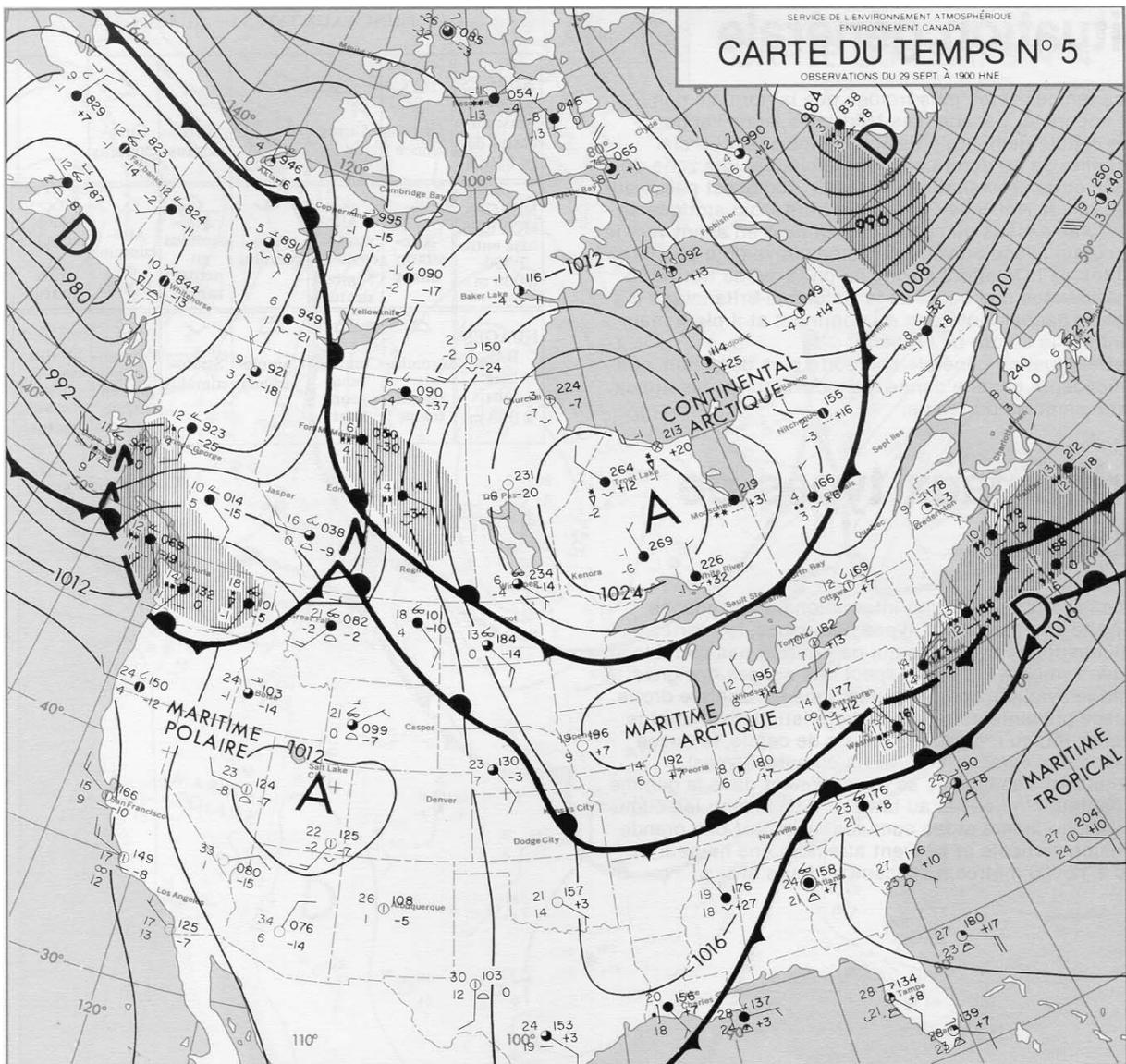
Questions

1. Remarque la zone de précipitation dans l'est de la Colombie-Britannique et dans l'ouest de l'Alberta. Sur quelle distance cette zone s'est-elle déplacée au cours des 12 dernières heures? Où peut-on s'attendre à retrouver cette zone pluvieuse dans 12 heures?



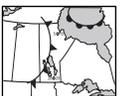
ANNEXE 24 : Exercice – Cartes météorologiques et symboles météorologiques (suite)

- As-tu observé le mouvement de la zone de haute pression qui se trouve maintenant au-dessus du Manitoba? Où la retrouvera-t-on dans 12 heures? Dans 24 heures?
- À l'aide des symboles sur cette carte, décris le temps dans les trois endroits suivants (inclure le % du ciel couvert de nuages, la température, la vitesse et la direction du vent) :
 - Winnipeg
 - Le Pas
 - Churchill

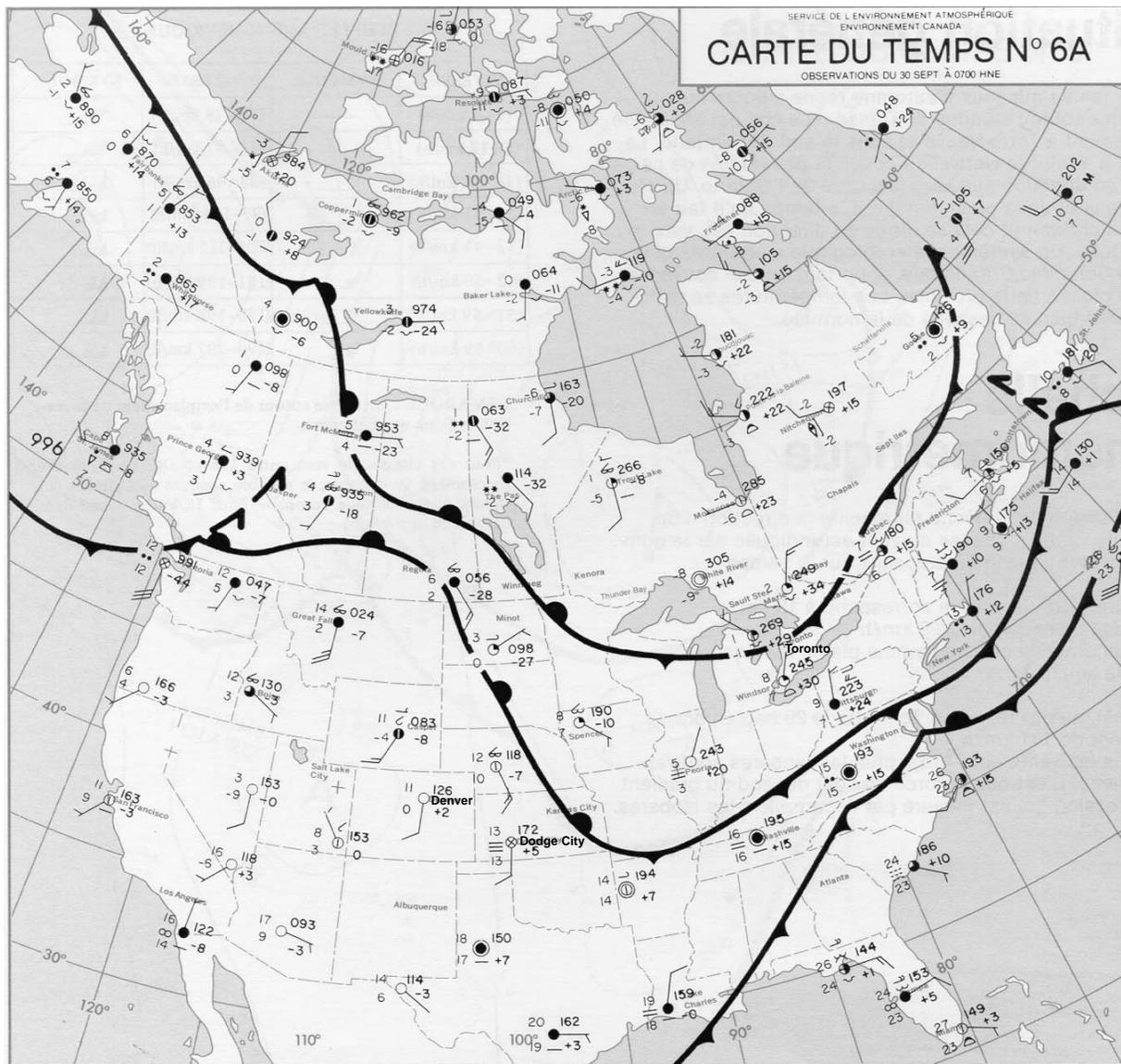


Questions

- Note l'association des zones de précipitation et des systèmes de pression. Quel type de système (haute pression ou basse pression) semble être associé à la précipitation?
- Le système de haute pression sur le Manitoba s'est-il déplacé selon tes prévisions?

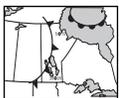


ANNEXE 24 : Exercice – Cartes météorologiques et symboles météorologiques (suite)



Questions

1. Remarque les deux villes suivantes : Dodge City (Kansas) et Denver (Colorado).
 - a) Quelle est l'humidité relative à Dodge City (compare la température et le point de rosée)?
 - b) Explique pourquoi le brouillard s'est formé à Dodge City et non pas à Denver.
2. Examine les températures de l'air arctique derrière le front froid qui se trouve au-dessus du nord-est de l'Ontario et du Québec. Examine ensuite cette masse d'air 48 heures auparavant, alors que l'anticyclone était centré au-dessus du Grand lac des Esclaves. Ces températures ont-elles subi un changement? Explique ta réponse.
3. Le front froid arctique s'approchant de Toronto s'est déplacé sans cesse vers le sud-est pendant la période étudiée dans cette série de cartes. Quelle distance a-t-il parcouru depuis 7 h (HNE) le 28 septembre? Quelle est sa vitesse moyenne en kilomètres à l'heure? Le front se déplace-t-il encore à cette vitesse? Vérifie en mesurant la vitesse pour les 24 heures écoulées depuis 7 h (HNE) le 29 septembre.



ANNEXE 25 : Cartes météorologiques et symboles météorologiques – Corrigé

Nom : _____

Date : _____

Carte n° 1

1. Au Manitoba, les températures sont au-dessus du point de congélation.
2. Il est 18 h au Manitoba.
3. Les températures sont près du point de congélation en Ontario et elles descendront probablement en dessous du point de congélation pendant la nuit.
4. Dans une zone de basse pression, les vents soufflent dans le sens contraire au mouvement des aiguilles d'une montre et forment un faible angle de pénétration vers le centre de la zone.
5. Dans une zone de haute pression, les vents soufflent dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre autour du centre, dont ils s'éloignent quelque peu en formant un angle faible.

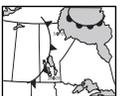
Carte n° 2

1. Dans les régions montagneuses, la direction des vents en surface ne correspond pas nécessairement à la règle. Il y a aussi exception dans les centres de haute pression et le long des crêtes de haute pression où les vents sont faibles et variables.
2. À Schefferville (Québec), la température est passée de 10 °C à 0 °C. À Kenora en Ontario, la température est passée de 4 °C à 7 °C.

Carte n° 3

1. Les zones de haute et de basse pression se déplacent. L'anticyclone se déplace vers le sud-est et parcourt environ 925 km en 24 heures.
2. La distance approximative entre Churchill et Baker Lake est de 550 km.
3. La distance approximative entre Winnipeg et Regina est de 550 km.
4. La zone de basse pression se déplace presque franc est et parcourt 1100 km en 24 heures.
5. En règle générale, le ciel est nuageux dans les zones de basse pression et clair dans les zones de haute pression. Dans les zones de précipitation, il est couvert.
6. Bien que la température de 21 °C à Lake Charles soit plutôt élevée, un front froid a passé à cette station. Hier, à la même heure, Lake Charles avait une température de 27 °C et un point de rosée de 24 °C. Le vent est plutôt léger, mais il a tourné du sud-est au nord-est.
7. Il y a 24 heures, une masse d'air maritime arctique enveloppait Le Pas; la température était de 8 °C et on notait un léger vent de l'ouest. À l'heure où la carte a été dressée, une masse d'air continental arctique de 2 °C baigne l'endroit et le vent, provenant du nord, est plus fort que la veille.

Tiré de *Cartographie de la météo*, Environnement Canada. Adaptation autorisée par Environnement Canada.



**ANNEXE 25 : Cartes météorologiques et symboles météorologiques – Corrigé
(suite)**

Carte n°4

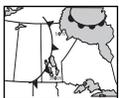
1. La zone de précipitation s'est déplacée de 8 degrés, environ, donc de 890 km en 12 heures. Si la même activité se poursuit les 12 prochaines heures, la pluie atteindra presque la frontière entre le Manitoba et la Saskatchewan.
2. L'anticyclone semble accélérer puisqu'il s'est déplacé de 650 km en 12 heures. Dans 12 heures, on le retrouvera au nord de Thunder Bay; dans 24 heures, il devrait atteindre Sault Ste. Marie.
3. a) À Winnipeg, le ciel est couvert à 50 %, la température est de -1 °C et le vent souffle du nord à une vitesse de 5 à 13 km/h.
b) Au Pas, le ciel est couvert à 100 %, la température est de -4 °C et le vent souffle de l'ouest à une vitesse de 5 à 13 km/h.
c) À Churchill, le ciel est couvert à 100 %, la température est de -2 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 32 à 41 km/h.

Carte n° 5

1. Un système de basse pression semble être associé à la précipitation.
2. Les élèves devraient remarquer que les prévisions de 24 heures ne se sont pas réalisées alors que celles de 12 heures étaient relativement justes.

Carte n° 6a

1. a) L'humidité relative à Dodge City est de 100 %.
b) À Denver, le point de rosée n'est que 0 °C, ce qui indique que l'air est très sec. Il n'y a donc pas de brouillard. À Dodge City, le point de rosée a la même valeur que la température de l'air, donc l'air est très humide (100 %) et il y a formation de brouillard.
2. Les températures au nord-est de l'Ontario et du Québec se situent maintenant entre -2 °C et 2 °C. Elles étaient plus basses deux jours précédents. La masse d'air s'est déplacée au-dessus d'une étendue d'eau plus chaude (baie d'Hudson), donc la température a monté.
3. Le front froid semble s'être déplacé de 1445 km en 48 heures, donc à une vitesse moyenne de 30 km/h. Dans les 24 heures, il ne s'est déplacé que de 550 km, ayant ralenti à 23 km/h, environ.



ANNEXE 26 : Liste de phénomènes météorologiques violents au Canada

Nom : _____

Date : _____

Tornades

Regina – juin 1912
Portage-la-Prairie – juin 1922
Windsor – juin 1946
Barrie (Ontario) – mai 1985
Edmonton – juillet 1987
Pine Lake (Alberta) – juillet 2000

Ouragans

Hazel (Sud ontarien) – octobre 1954
Freda (Colombie-Britannique) – octobre 1962
Beth (Nouvelle-Écosse) – août 1971

Tempête de pluie verglaçante

Québec – janvier 1998

Blizzards et tempêtes de neige

Sud de la Saskatchewan – février 1947
St. John's – février 1959
Sud du Manitoba – mars 1966, novembre 1968, avril 1997
Victoria – décembre 1996
Toronto – décembre 1998 et janvier 1999

Tempêtes de grêle

Calgary – juillet 1981
Morden, Pilot Mound (Sud du Manitoba) – juin 1992
Winnipeg – juillet 1996
Okanagan – juillet 1997

Inondations

Fraser River – printemps 1948
Red River – printemps 1950 et printemps 1997
Rivière Saguenay – juillet 1996

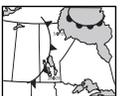
Sécheresse et chaleur extrême

Prairies – de 1933 à 1937 – La période des cratères de poussière.
Manitoba et Ontario – du 5 au 17 juillet 1936 – La vague de chaleur la plus meurtrière de l'histoire. Des températures dépassant 44 °C tuent 1 180 Canadiens et Canadiennes
Midale et Yellowgrass (Saskatchewan) – 5 juillet 1937 – Le jour le plus chaud des annales. Le mercure monte à 45 °C.
Prairies – 1961 : L'Ouest connaît son année la plus sèche des annales.

Froid extrême

Snag (Yukon) – 3 février 1947 – La plus basse température en Amérique du Nord. La température tombe à -63 °C.
Pelly Bay (Territoire du Nord-Ouest) – 28 janvier 1989 – Refroidissement éolien record. La température est tombée à -51 °C, mais en tenant compte du facteur de refroidissement éolien, il faisait -91 °C.

Adapté de La Voie verte [feuillet d'information] – Les phénomènes météorologiques les plus importants du XX^e siècle http://www.ec.gc.ca/press/vote20_f_f.htm.



ANNEXE 27 : Liste de vérification – Recherche

Nom : _____

Date : _____

Nom des membres du groupe _____, _____, _____.

1^{re} étape, brouillon à remettre le _____.

	le groupe	l'enseignant(e)
Nous avons choisi un phénomène météorologique.		
Nous avons pris en note l'information nécessaire pour notre recherche.		
Nous avons trouvé une carte météorologique ou image satellite de notre phénomène.		
Nous avons noté les références bibliographiques.		

2^e étape, brouillon à remettre le _____.

	le groupe	l'enseignant(e)
Nous avons rédigé un scénario pour notre présentation.		
Nous avons joint une bibliographie.		

3^e étape, brouillon à remettre le _____.

	le groupe	l'enseignant(e)
Nous avons réparti les rôles pour la présentation.		
Nous avons préparé des cartes où figure l'information suivante : formation et dynamique du phénomène météorologique, conséquences économiques, sociales et environnementales du phénomène météorologique.		
Nous avons préparé un support visuel qui illustre la formation de notre phénomène météorologique.		



ANNEXE 28 : Satellites météorologiques – Renseignements pour l'élève

Nom : _____

Date : _____

Introduction

Nous voyons tous les jours l'atmosphère en regardant de bas en haut et tout autour. Notre champ de vision est limité du fait que la plupart d'entre nous ne pouvons voir qu'à quelques kilomètres dans n'importe quelle direction. Toutefois, les systèmes qui dominent notre météo peuvent s'étaler sur des centaines et même des milliers de kilomètres. Les cartes météorologiques et le radar ont élargi notre champ de vision mais c'est le satellite météorologique qui nous offre une perspective complètement différente de la météo. Les satellites orbitaux sont des plates-formes à partir desquelles l'atmosphère et les surfaces sous-jacentes peuvent être observées de l'extérieur.

En considérant la météo d'en haut, nous pouvons constater que le beau temps et les tempêtes sont en quelque sorte reliés. Des régions claires et des tourbillons géants de nuages se marient. Dans l'atmosphère en changement continu, nous pouvons observer des preuves de prévisibilité dans l'ordre et l'évolution des systèmes météorologiques.

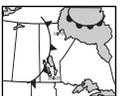
Avec le lancement de TIROS-1 en 1960, nous avons obtenu nos premières vues globales des configurations de nuages qui accompagnent les systèmes dépressionnaires et les fronts. Les régions de haute pression et de beau temps sont également devenues évidentes par leur absence générale de nuages. Le lancement de TIROS couronna une longue évolution de progrès technologiques en électronique et en exploration de l'espace. L'utilisation de l'électronique pour les détecteurs, l'entreposage de données et les transmissions à la Terre reposait sur la plus récente technologie de transistors.

Les détecteurs eux-mêmes se fiaient à la recherche en télévision pour leurs images. Les détecteurs subséquents ont dépassé ce stade pour aboutir à des extensions transistorisées où le rayonnement thermique et la lumière de la Terre pouvaient être mesurés.

Finalement, les signaux mesurés électroniquement sont convertis en valeurs digitales pour entreposage et seront transmis plus tard à la Terre. C'est là qu'on produit les images visuelles qui nous sont familières. Cette dernière étape dépend largement de la technologie informatique pour l'assemblage, l'organisation et l'interprétation des données.

Nous avons maintenant deux types de base de systèmes de satellites. Les descendants de TIROS sont des satellites à trajectoire polaire. Ils tournent autour de la Terre à relativement de faibles altitudes, soit à environ 800 kilomètres (500 milles) au-dessus des régions polaires alors que la Terre tourne en dessous d'eux. Il faut environ 100 minutes pour réaliser une telle orbite. La plupart des endroits sont balayés deux fois par jour, une fois à la lumière du jour et une fois en période de noirceur. Des vues à grande échelle sont réalisées à partir de composites de plusieurs bandes orbitales d'une largeur de 1 900 kilomètres (1 200 milles).

Tiré de *Projet Atmosphère Canada*, par Environnement Canada. Adaptation autorisée par Environnement Canada et la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie. Tous droits réservés.



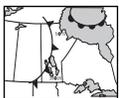
ANNEXE 28 : Satellites météorologiques – Renseignements pour l'élève (suite)

Les images par satellites le plus souvent présentées à la télé et dans les journaux sont prises par des orbiteurs géostationnaires appelés satellites géostationnaires de l'environnement (GOES). Les images aujourd'hui proviennent généralement de GOES 8 et de GOES 10 et les premières images ont été reçues du GOES-11 le 17 mai 2000. À 35 800 kilomètres (22 300 milles) au-dessus de l'Équateur, de tels satellites effectueront une révolution en 24 heures. Parce qu'il s'agit de la même durée qu'une rotation de la Terre, et que le satellite tourne dans la même direction que celle de la rotation de la terre, un tel satellite demeure au-dessus du même endroit de la surface équatoriale. On peut obtenir des vues successives provenant du même satellite géostationnaire pour observer le développement de systèmes d'orage. Les détails ne sont pas aussi bien rendus que par les satellites à trajectoire polaire plus proches, mais ils produisent des images plus fréquentes, à chaque demi-heure, des mêmes surfaces de la Terre.

Les détecteurs à bord des satellites réagissent à deux types d'énergie rayonnante de base. Le Soleil produit la lumière visible qui est réfléchiée par les surfaces de la Terre et les nuages et est retournée au satellite. Ces images ressemblent aux images de la télévision en noir et blanc. Tous les nuages paraissent blancs aux détecteurs comme ils le paraissent à nos yeux. Les surfaces de terrain plus foncées et des plans d'eau dans les régions claires reflètent peu de soleil vers l'espace et apparaissent donc comme foncées, grises ou noires. Les images visibles des satellites météorologiques géostationnaires actuelles peuvent voir des objets tels que des nuages qui sont aussi petits qu'un kilomètre de largeur.

Le deuxième type principal de détecteur décèle l'énergie infrarouge ou thermique émanant de surfaces dont les températures se situent à l'intérieur de la gamme de celles des surfaces terrestres et aquatiques de la Terre et des sommets de nuages. L'intensité de l'énergie infrarouge est reliée à la température spécifique de la surface qui l'émet. De cette façon, les images infrarouges (IR) sont des cartes de température vues de la Terre. Des images infrarouges sont toujours disponibles puisque la Terre et l'atmosphère émettent de la chaleur nuit et jour. Le détecteur infrarouge sur les satellites météorologiques peut distinguer des régions aussi petites que quatre kilomètres de largeur.

Lorsqu'elles contiennent une portion de la moitié ensoleillée du globe, les images de lumière visible présentent les nuages comme étant d'un blanc uniforme, qu'ils soient à l'étage inférieur, moyen ou supérieur dans l'atmosphère. Les détails de surface de la Terre sont habituellement foncés. À l'opposé, les images infrarouges peuvent fournir une information continue, jour et nuit, parce que toutes les surfaces émettent de la chaleur, jour et nuit. Les surfaces d'eau et de terre sont habituellement chaudes et donc représentées en foncé. Les surfaces plus froides sont généralement présentées en gris, paraissant plus claires au fur et à mesure qu'elles se refroidissent. De cette façon, les nuages bas et chauds apparaîtront en contraste avec les nuages élevés et froids. Les variations de température entre les surfaces de terre plus chaudes et d'eau plus froides peuvent être vues, comme peut l'être également le cycle de température sur terre où le réchauffement du jour fait place au refroidissement du soir.



ANNEXE 28 : Satellites météorologiques – Renseignements pour l'élève (suite)

La variation de température au-dessus de la terre et de l'eau est un facteur majeur dans le développement des systèmes météorologiques. Ces variations de température sont également en évidence dans les caractéristiques de nuages associés à des conditions météorologiques particulièrement mauvaises. Il s'est donc avéré utile de mettre en valeur ou de traiter les images infrarouges pour accentuer les variations de température en faisant ressortir les divers tons de gris ou en ayant recours au codage couleur. La disponibilité 24 heures sur 24 et le codage couleur rendent l'imagerie infrarouge idéale pour présenter aux bulletins météos à la télé en enchaînant les vues successives en projections animées des mouvements des nuages.

L'eau à l'état solide et liquide qui se trouve dans les nuages est très bien suivie par les images visibles et infrarouges de satellites météorologiques. Il est plus difficile de détecter l'existence de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Une connaissance des configurations de vapeur d'eau est très importante pour la compréhension des systèmes météorologiques. La vapeur d'eau est l'élément de base servant à la création de nuages et de précipitation, mais elle est invisible à l'œil et uniquement mesurée par des instruments à des endroits très dispersés. Heureusement, une gamme spécifique de longueurs d'onde d'énergie infrarouge interagit avec la vapeur d'eau. Le détecteur d'infrarouge finement ajusté placé sur les satellites géostationnaires peut produire des images, et des séquences, d'emplacements de nuages et de régions à grand contenu de vapeur d'eau dans des régions libres de nuages à des altitudes situées entre 3 et 7 km. L'imagerie actuelle de la vapeur d'eau peut voir des régions jusqu'à des largeurs de huit kilomètres. Des images de vapeur d'eau sont particulièrement utiles dans la détection des configurations de circulation atmosphérique qui aboutissent plus tard à la formation de dépressions et les formes de nuages qui leur sont associées.

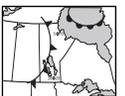
La combinaison de types de satellites fournit beaucoup de données utiles concernant la Terre. En plus d'assurer un suivi des systèmes météorologiques, les satellites fournissent d'autres données, y compris des profils verticaux de température et des mesures d'humidité.

Pour visionner les images satellitaires, tu peux visiter le site Internet d'Environnement Canada : <http://meteo.ec.gc.ca>

Navigue jusqu'à la page « Satellite ». Le menu offre un certain nombre de choix, tels que :

GOES-Est – L'Est du Canada
IR (infrarouge : 10,7 μm)
Visible & topographie
IR + Visible

NOTA : 10,70 μm (micron) est une image infrarouge (IR) image où 10,70 microns se réfère simplement à la longueur d'onde infrarouge utilisée pour cette image spécifique.



ANNEXE 28 : Satellites météorologiques – Renseignements pour l'élève (suite)

Notions élémentaires au sujet des images satellites

Caractéristiques des satellites météorologiques

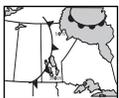
1. Les satellites météorologiques sont des plates-formes en orbite à partir desquelles des instruments peuvent détecter la lumière et l'énergie thermique de l'atmosphère et des surfaces sous-jacentes.
2. Parce que les satellites météorologiques peuvent voir une grande superficie à la fois, partout sur terre, ils fournissent des renseignements météorologiques au-dessus de l'océan et de régions terrestres peu densément peuplées.
3. Les photos de satellites météorologiques se composent de minuscules blocs (appelés pixels) d'intensités variables d'énergie, souvent représentés en tons de gris ou en couleur. La superficie de chaque bloc détermine à quel point l'image peut être détaillée. Plus le bloc est petit, plus le niveau de détail de l'image sera grand dans une image satellite.
4. En plus de renvoyer des images vers la Terre, les satellites météorologiques peuvent déterminer la température et le contenu de vapeur d'eau à diverses altitudes dans l'atmosphère. Ils peuvent aussi surveiller la couche d'ozone et détecter des particules d'énergie dans l'environnement de l'espace.

Satellites météorologiques à trajectoire polaire

5. Un type d'orbite de satellite météorologique passe près des pôles de la Terre dans des trajets nord et sud à une altitude d'environ 800 kilomètres.
6. Les satellites en orbite polaire peuvent balayer une bande de la Terre, en prenant moins de 2 heures pour compléter une orbite. À chaque passe ils examinent une bande d'une largeur d'environ 1900 kilomètres qui se situe plus à l'ouest à cause de la rotation de la Terre vers l'est. Plusieurs heures s'écoulent entre les passes au-dessus du même endroit de moyenne ou de basse latitude.
7. Ces satellites nous fournissent des renseignements sur l'état du « trou » dans la couche de l'ozone et des photos composites de la couverture de neige et des températures à la surface de l'océan.

Satellites météorologiques géostationnaires

8. Un deuxième type de satellite météorologique est situé à 35 800 kilomètres directement au-dessus de l'équateur. En se déplaçant dans le même sens que celui de la rotation de la Terre, ces satellites effectuent une révolution dans le même temps qu'il en faut à la Terre pour faire une rotation. Ils se maintiennent ainsi au même endroit à l'équateur, ayant l'apparence d'être stationnaires, d'où leur nom, satellites géostationnaires de l'environnement (GOES).
9. Il y a normalement deux satellites géostationnaires qui couvrent le Canada et les États-Unis, un pour la portion est et l'autre pour la côte ouest et l'Océan Pacifique. Chacun a un champ de vision couvrant environ un tiers de la surface de la Terre.
10. La vue de chaque satellite demeure la même, si bien que des images en séquence peuvent être visionnées en succession rapide pour illustrer le développement et le mouvement de systèmes météorologiques.



ANNEXE 28 : Satellites météorologiques – Renseignements pour l'élève (suite)

Images satellites visibles

11. Les images satellites visibles sont des vues produites à partir de la lumière solaire. Ces photos ressemblent donc à des photos réalisées avec un appareil photo ordinaire.
12. Les nuages paraissent blancs et les surfaces de terre et d'eau sont gris foncé et noires sur l'imagerie satellitaire visible. Puisque cette imagerie est produite par la lumière solaire, elle est disponible uniquement au cours des heures du jour.
13. On peut habituellement distinguer les nuages bas et le brouillard des terres voisines. De plus, on peut suivre de près les conditions brumeuses associées à la pollution de l'air.
14. On peut apercevoir les ombres de nuages d'orage projetées sur des nuages plus bas en fin d'après-midi. On peut faire le suivi de l'enneigement parce que la neige ne se déplace pas comme le font les nuages. Des caractéristiques terrestres, telles que les cours d'eau, peuvent être visibles.

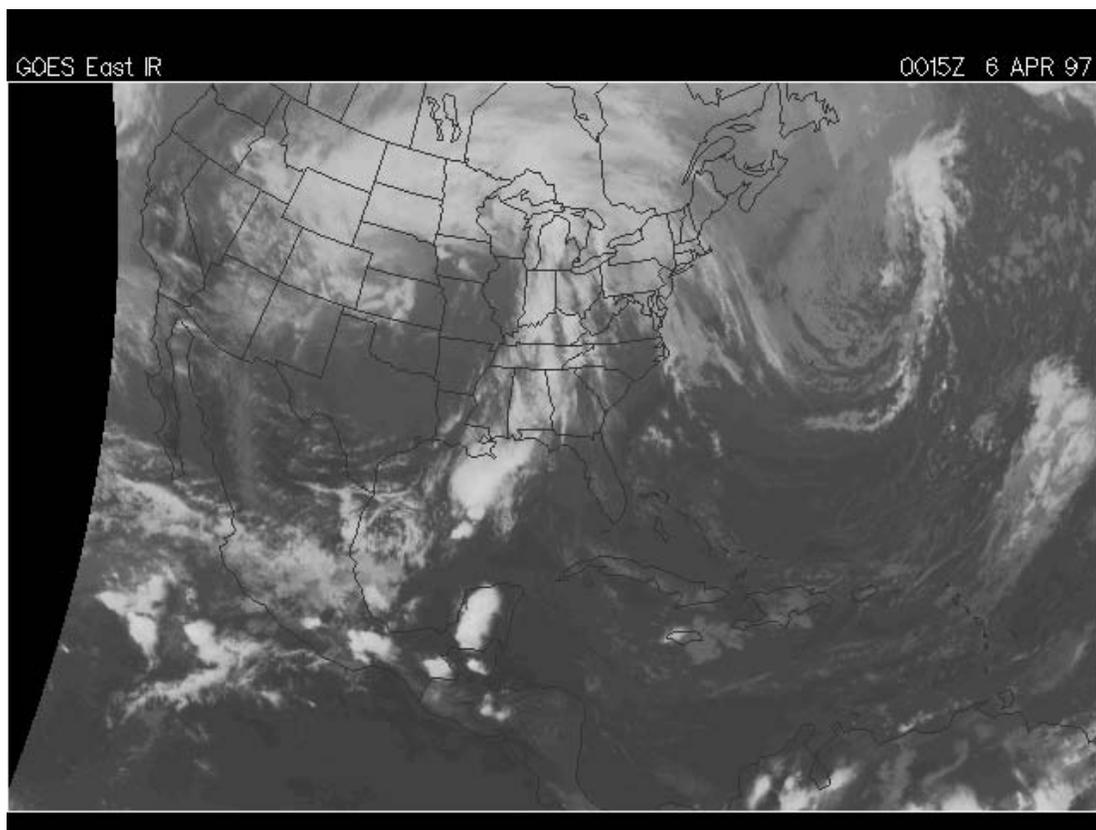
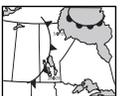


Figure 1 : Image du blizzard en avril 1997, qui a précédé l'inondation.

Des images satellites infrarouges

15. Les images satellites infrarouges sont produites par l'énergie infrarouge (chaleur) que la Terre rayonne dans l'espace. Puisque la Terre rayonne toujours de la chaleur (énergie), les images infrarouges sont disponibles jour et nuit.



ANNEXE 28 : Satellites météorologiques – Renseignements pour l'élève (suite)

16. La terre chaude et les surfaces d'eau paraissent gris foncé ou noires sur les images infrarouges. Les sommets froids de nuages élevés sont blancs, et, parce qu'ils sont plus chauds, les nuages plus bas sont gris. Il est difficile de détecter les nuages bas et le brouillard en infrarouge quand leurs températures sont presque identiques à celles des surfaces terrestres voisines.
17. Un avantage additionnel de l'imagerie infrarouge tient au fait qu'elle peut être traitée pour produire des images améliorées. Les données des images infrarouges habituelles sont traitées spécialement pour faire ressortir des détails de température ou de structure en assignant des tons contrastants de gris ou de couleur à des gammes de températures. On voit régulièrement ce genre d'imagerie dans les bulletins météo à la télé et dans des présentations à l'ordinateur.
18. Les images améliorées rendent possible le suivi de températures de surfaces terrestres et océaniques. Ces températures de surface jouent des rôles importants au niveau des conditions météorologiques et de leur modification. On peut également facilement faire le suivi des nuages élevés et froids associés au mauvais temps.
19. Les images améliorées peuvent être interprétées pour produire des prévisions de taux de précipitations. Ces renseignements sont utilisés dans la prévision de crues éclair.

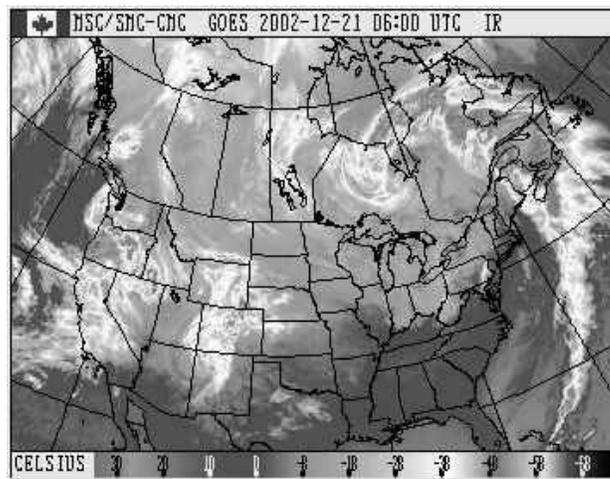


Figure 2 : image infrarouge de l'Amérique du Nord le 21 décembre 2002.
Remarque la tempête dans l'Est du Canada, avec les nuages en forme de virgule.

Images de vapeur d'eau

20. Des gammes spécifiques d'énergie infrarouge interagissent avec les états solide, liquide et de vapeur de l'eau. Des détecteurs spécialement ajustés de satellites géostationnaires peuvent, en plus des nuages, déceler de la vapeur d'eau dans l'atmosphère.
21. Les détecteurs de vapeur d'eau à bord de satellites météo révèlent des régions de grande concentration de vapeur d'eau atmosphérique dans la troposphère entre les altitudes de 3 et 7 km. On peut voir ces régions, évoquant parfois de gigantesques tourbillons ou panaches, se mouvoir à l'intérieur et à travers de configurations météorologiques à grande échelle.
22. Des études récentes portent à croire qu'à tout moment on peut trouver de la vapeur d'eau atmosphérique formant l'équivalent de « rivières dans le ciel ».

ANNEXE 28 : Satellites météorologiques – Renseignements pour l'élève (suite)

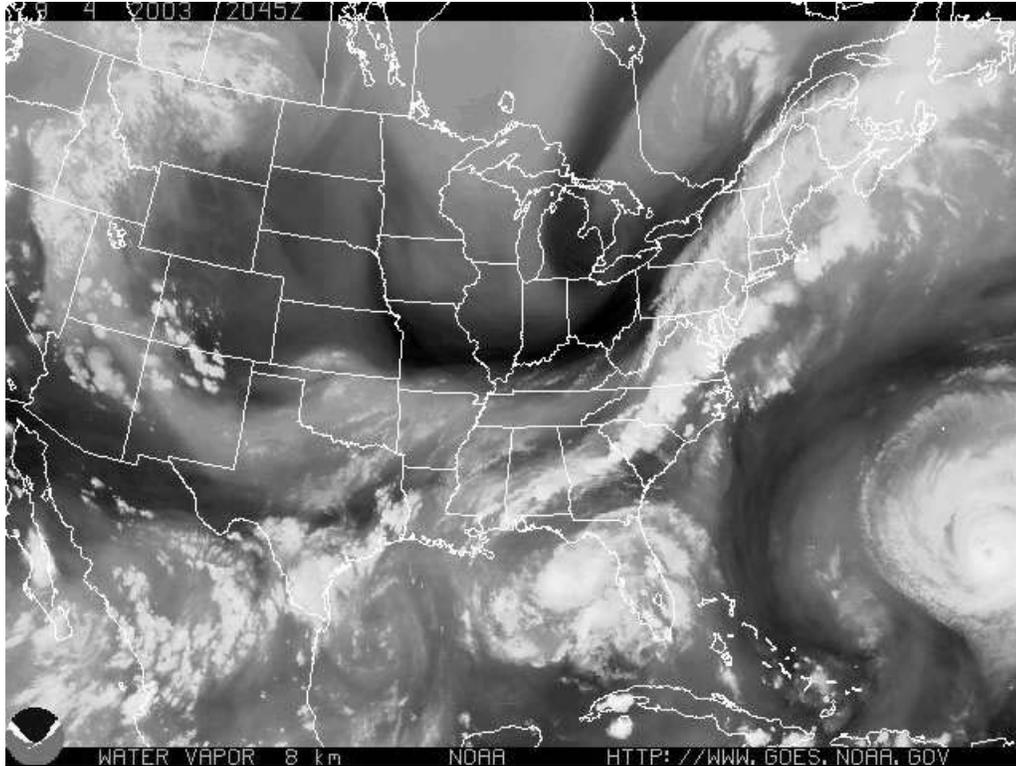
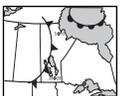


Figure 3 : Vapeur d'eau dans la région des caraïbes. Les régions foncées représentent de l'air sec tandis que les régions blanches représentent de l'air saturé d'eau (par exemple des nuages).

Caractéristiques météorologiques dans l'imagerie satellitaire

23. Les ouragans ressemblent à des girations de nuages. Plus souvent qu'autrement, on décèle la naissance d'ouragans à partir d'images satellitaires parce qu'elles se produisent au-dessus de grandes étendues d'océans.
24. De grands boucliers de nuages en forme de virgules donnent naissance aux systèmes de basse pression de latitudes moyennes.
25. Des nuages d'où tombe la pluie peuvent avoir l'apparence de grains de sable. Les orages ressemblent à des « taches » ou à des « séries de taches ». Leurs sommets élevés s'en détachent en s'étalant sous le vent sous forme de traînées nuageuses de Cirrus. Il peut y avoir des nuages avoisinants à plus basse altitude présentant l'allure de petites « queues » recourbées vers le sud-ouest. Des telles « queues » peuvent aussi être des indicateurs de la possibilité de tornades.
26. Des mouvements de configurations de nuages décelés en visionnant des images satellitaires séquentielles indiquent les circulations de systèmes météorologiques à grande échelle. On peut estimer la vitesse des vents à différents niveaux et on peut même identifier des courants à grande vitesse en haute atmosphère.



ANNEXE 28 : Satellites météorologiques – Renseignements pour l'élève (suite)

27. Les météorologues utilisent des images par satellites pour déterminer la forme, les hauteurs et le type des nuages. Des changements dans ces propriétés des nuages, de même que leur mouvement, fournissent de précieux renseignements aux spécialistes des prévisions météorologiques pour déterminer ce qui se produit et ce qui est susceptible de se produire au niveau de la météo au cours des heures et jours à venir.
28. L'imagerie satellitaire visible, infrarouge et de vapeur d'eau se complètent l'une et l'autre. Il y a des caractéristiques météorologiques que l'on peut voir nettement dans un type d'image qui sont difficiles à voir dans les autres.

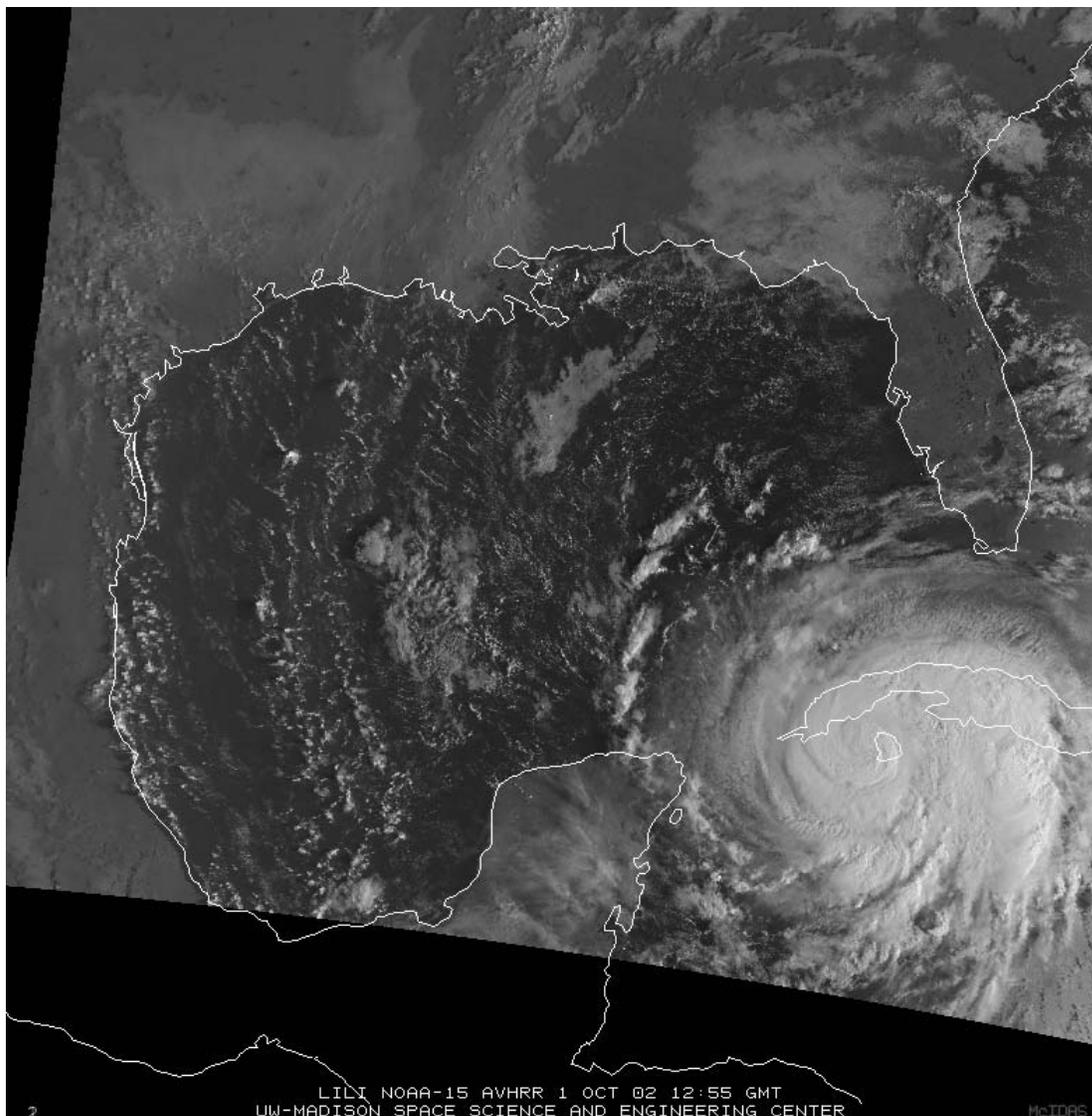


Figure 4 : image satellite de l'ouragan Lili. L'œil de l'ouragan se situe dans la région ouest du Cuba (octobre 2002).



LA DYNAMIQUE DES PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES

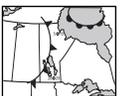
Sciences de la nature
Secondaire 2
Regroupement 4

ANNEXE 29 : Grille d'évaluation de la présentation audiovisuelle

Nom : _____

Date : _____

Présentation	1 très faible	2 faible	3 moyen	4 très bon	5 super
• Déroulement de la démonstration					
• Pertinence de la démonstration					
• Originalité de la présentation					
• Clarté de la narration					
• Qualité de la conception audiovisuelle					
• Respect des consignes concernant la durée de la présentation					



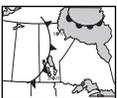
ANNEXE 30 : Questions de recherche – Le changement climatique

Nom : _____

Date : _____

Voici quelques questions qui peuvent te guider au cours de ta recherche. Réponds sommairement à la plupart d'entre elles.

1. Qu'est-ce que le climat?
2. Qu'est-ce que l'effet de serre?
3. Quels sont les gaz à effet de serre?
4. Qu'est-ce que le changement climatique?
5. Est-ce que le changement climatique est un processus naturel?
6. Comment sait-on qu'il y a eu des changements climatiques naturels dans le passé?
7. Qu'est-ce qui provoque les changements climatiques?
8. De quelle façon la concentration des gaz à effet de serre a-t-elle changé au cours des dernières années?
9. Quel rôle l'activité humaine joue-t-elle dans le changement climatique?
10. Comment la déforestation peut-elle contribuer au changement climatique?
11. Comment les éruptions de volcans peuvent-elles causer un changement climatique?
12. Quelles seraient des conséquences possibles d'une augmentation de gaz à effet de serre?
13. Quelles sont des conséquences possibles d'un réchauffement climatique
 - a) au niveau mondial?
 - b) au Canada?
 - c) au Manitoba?
14. Nomme des enjeux associés au changement climatique.



ANNEXE 31 : Les éruptions volcaniques et leurs effets sur le climat – Renseignements pour l'enseignant

Éruptions volcaniques et refroidissement du globe

On attribue aux éruptions volcaniques les périodes de refroidissement du globe qui persistent quelques années après une éruption importante. Le degré et l'étendue du refroidissement dépendent de l'intensité de l'éruption et, peut-être, de la latitude du volcan. L'éruption du mont Pinatubo, en juin 1991, illustre bien que la projection d'une grande quantité de gaz volcaniques dans la stratosphère peut produire un refroidissement généralisé de la surface de la Terre. Son effet a pu être ressenti pendant quelques années et servir à contrebalancer temporairement le réchauffement de la planète issu de l'effet de serre.

Les volcans en éruption rejettent dans l'atmosphère d'immenses nuages de poussières et de gaz, y compris de l'anhydride sulfureux. En effet, des mégatonnes d'anhydride sulfureux peuvent se retrouver dans la stratosphère à la suite d'une éruption majeure. Cette molécule réagit avec l'eau pour former des aérosols d'acide sulfurique persistants qui réfléchissent le rayonnement solaire, empêchant ainsi le soleil de réchauffer la Terre.

Les périodes de froid généralisé correspondent souvent à des éruptions volcaniques majeures. Surnommée « l'année sans été », l'année 1816 a été remarquable à cet égard. La Nouvelle-Angleterre et l'Europe de l'Ouest étaient aux prises avec des perturbations météorologiques importantes tandis que le Canada et le restant des États-Unis recensaient des gelées meurtrières en plein été. On attribue directement l'étrange « été noir » à l'intense éruption volcanique du Tambora en Indonésie, en 1815. La couche d'aérosols formée d'anhydride sulfureux éjecté dans la stratosphère a donné des couchers de soleil spectaculaires pendant plusieurs années, visibles dans le monde entier.

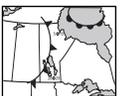
Malgré les témoignages historiques, l'on questionne que des poussières volcaniques soient à l'origine de refroidissements. Deux éruptions récentes apportent à cet égard des données contradictoires. D'abord, celle du mont Agung, en 1963, qui a apparemment causé une diminution des températures sur presque toute la Terre. Ensuite, celle d'El Chichon, en 1982, qui semble avoir eu peu d'effet, peut-être en raison de sa position géographique ou en raison d'El Niño, phénomène météorologique qui sévissait dans le Pacifique la même année. Ayant des répercussions sur la variabilité du temps à l'échelle mondiale, El Niño a peut-être contrebalancé les effets de l'éruption d'El Chichon.

Éruptions volcaniques et appauvrissement de l'ozone

Les éruptions volcaniques peuvent aussi causer la diminution de la quantité d'ozone stratosphérique. Les scientifiques avancent maintenant que des particules de glace contenant de l'acide sulfurique à la suite des déjections volcaniques jouent un rôle déterminant dans la perte d'ozone. En présence de particules de sulfate, les produits chlorés dans la stratosphère, issus de la désintégration de chlorofluorocarbures, sont transformés en une substance qui peut réduire l'ozone encore plus rapidement.

Suivi des éruptions volcaniques

Même à proximité d'un volcan en éruption, il est impossible de mesurer l'ampleur des déjections gazeuses à défaut d'avoir une vue d'ensemble du nuage de poussières volcaniques. L'avion ne nous sert à rien, car son altitude de vol est trop basse et les risques sont trop grands. Mais grâce aux mesures du spectromètre imageur d'ozone total TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*) de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), nous apprenons davantage sur la quantité d'anhydride sulfureux émise dans l'atmosphère au cours d'éruptions volcaniques majeures. Les images issues des mesures effectuées après l'éruption du mont Pinatubo illustrent la dispersion de l'anhydride sulfureux au-dessus de l'océan Pacifique.



ANNEXE 31 : Les éruptions volcaniques et leurs effets sur le climat – Renseignements pour l'enseignant (suite)

Après plusieurs semaines, le nuage gazeux entoure la Terre, comme nous le permet de constater les données relevées par l'antenne micro-onde MLS (*Microwave Limb Sounder*) à partir de la satellite de recherche sur la haute atmosphère UARS (*Upper Atmosphere Research Satellite*) de la NASA.

En plus de détecter l'anhydride sulfureux issu du mont Pinatubo, le spectromètre TOMS a permis de faire des observations semblables à l'endroit de plus de 100 éruptions volcaniques, y compris l'éruption majeure du Cerro Hudson au Chili, en 1991. Par ailleurs, le satellite russe Météor-3 s'est muni d'un TOMS en 1991, tout comme le satellite Earth Probe de la NASA, en 1994, et le satellite japonais du système avancé d'observation de la Terre ADEOS (*Advanced Earth Observing System*), en 1996. Il est prévu que l'exploitation du spectromètre dans l'étude des effets d'éruptions volcaniques se poursuivra au XXI^e siècle.

Les données recueillies à bord du satellite d'étude du bilan radiatif de la Terre (*NASA Earth Radiation Budget Satellite*) au cours de l'expérience sur les aérosols et les gaz stratosphériques SAGE II (*Stratospheric Aerosol and Gas Experiment*) ont permis de démontrer que, pendant les cinq premiers mois suivant l'éruption du mont Pinatubo, l'épaisseur optique des aérosols stratosphériques a augmenté d'un facteur 100 à certains endroits. L'épaisseur optique atmosphérique est une mesure générale de la capacité qu'a l'atmosphère d'empêcher le passage de la lumière visible. Ainsi, plus l'épaisseur optique est grande, moins il y a de lumière. L'énergie solaire qui parvient à la surface de la Terre pour la réchauffer est donc considérablement diminuée.

Les observations de l'effet sur le climat planétaire qu'ont eu les aérosols projetés par le mont Pinatubo ont servi à renforcer chez les scientifiques la compréhension du changement climatique et la capacité de faire des prévisions météorologiques à long terme. Les scientifiques de l'institut Goddard de la NASA (*Goddard Institute for Space Studies*), à New York, appliquent le modèle de circulation générale à l'étude du climat planétaire. Ils ont réussi à prédire correctement un refroidissement de la surface de la Terre sous l'effet des aérosols de sulfate provenant du mont Pinatubo.

Étude des volcans au moyen de missions exploratoires

Le premier lancement d'une série de satellites dotés du système d'observation de la Terre EOS (*Earth Observing System*), dans le cadre de l'étude sur les processus environnementaux terrestres du programme Mission Terre MTPE (*Mission to Planet Earth*) de la NASA, a eu lieu en 1998.

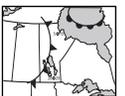
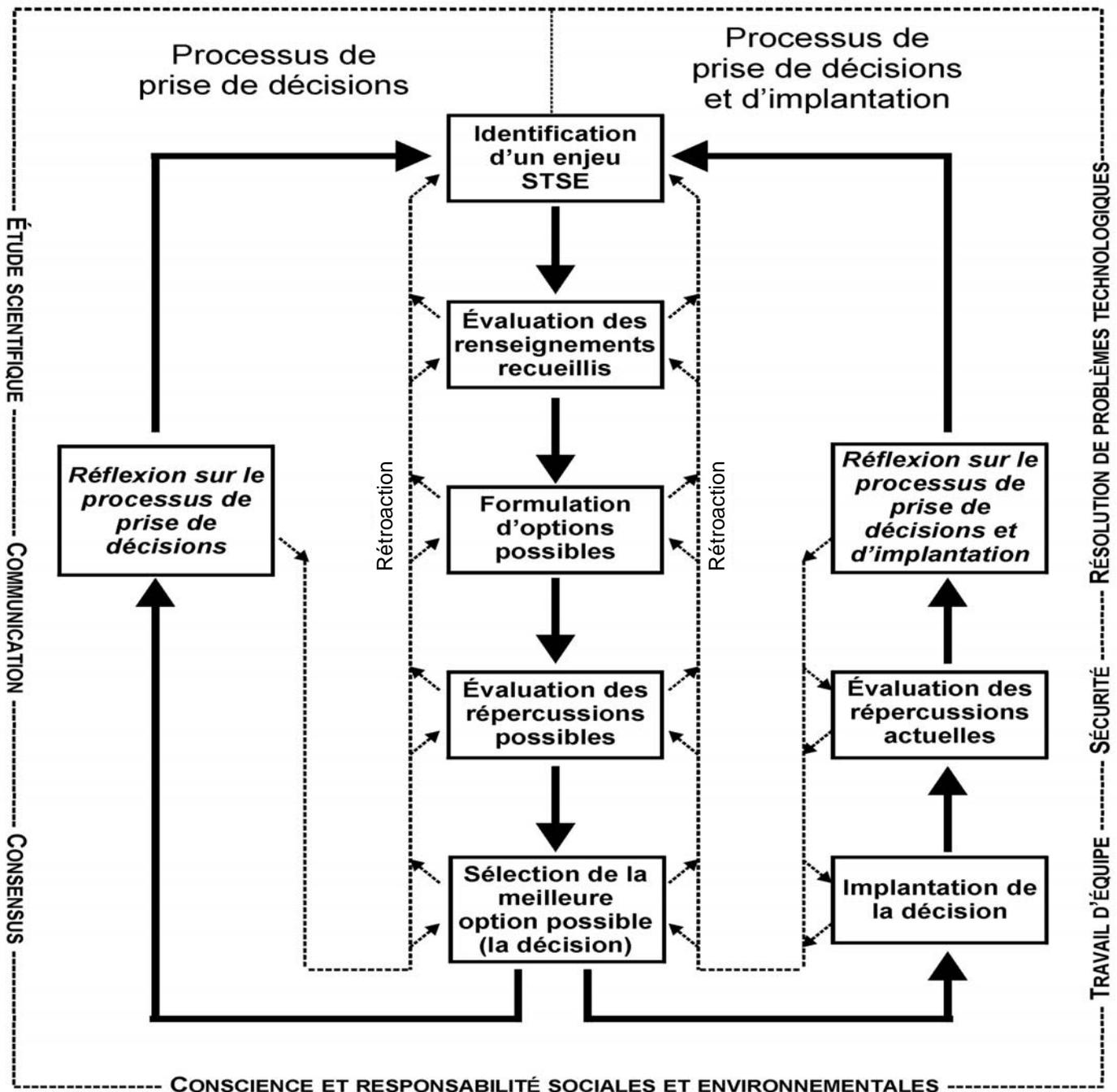
Le radiomètre infrarouge à haute résolution HRIR (*High Resolution Infrared Radiometer*), étreigné en 1964 à bord du satellite Nimbus-1 de la NASA, sert à observer les volcans en activité et les volcans en sommeil. En 1966, le radiomètre à bord du satellite Nimbus-2 a détecté de l'activité volcanique à énergie variable à Surstey, en Islande. Le scanneur multispectral MSS (*Multispectral Scanner*) et l'instrument de cartographie thématique TM (*Thematic Mapper*) à bord du satellite LANDSAT ont fourni une grande série d'images de l'activité volcanique, p. ex. le déchargement des gaz, la chute des cendres volcaniques et les coulées de lave.

Le programme exploitant le système d'observation de la Terre EOS sera constitué d'instruments techniquement avancés, embarqués dans une série de satellites, et fournira sur une durée prolongée des données précises et autoconsistantes sur bien des aspects des caractéristiques de l'atmosphère terrestre, du sol et des océans. Cette information contribuera à parfaire la connaissance scientifique des liens qu'il y a entre les volcans et le climat.



ANNEXE 32 : Processus de prise de décisions

COMMENT ABORDER UN ENJEU STSE



ANNEXE 33 : Grille d'accompagnement – Bulletin d'information

Nom : _____

Date : _____

Membres du groupe : _____

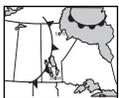
Description de notre enjeu

Dans la conception de notre bulletin d'information

- Nous avons énoncé clairement les intervenants ou des groupes d'intérêt liés à notre enjeu.
- Nous avons résumé l'information scientifique nécessaire à une décision bien fondée.
- Nous avons disposé le contenu de notre bulletin de façon attrayante et pratique.
- Nous avons proposé trois options possibles pour enfin arriver à une décision.
- Nous avons tenté de prédire les conséquences possibles pour chacune des options.
- Nous avons créé un formulaire qui permet aux lecteurs de choisir la meilleure option.
- Nous avons décrit un mécanisme pour recueillir les formulaires de notre sondage.
- Nous avons précisé quand et comment les lecteurs pourront se renseigner sur notre décision.

Voici nos sources d'information :

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____



LA DYNAMIQUE DES PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES

Sciences de la nature
Secondaire 2
Regroupement 4

ANNEXE 34 : Compte rendu de la présentation d'un enjeu et d'une décision STSE

Nom : _____

Date : _____

Compte rendu du travail de (nom des élèves) _____

Quel est l'enjeu STSE?	Quels sont les intervenants?
Quels sont les renseignements dont il faut tenir compte si on veut prendre une décision?	
Quelle est l'option 1 qui a été proposée?	Quelle est l'option 2 qui a été proposée?
Quelle est l'option 3 qui a été proposée?	Quels ont été les résultats du sondage?
Quelle a été la décision du groupe? Pourquoi?	
Le groupe a-t-il bien présenté son enjeu et sa décision?	
Quelle est mon opinion face à cet enjeu et à la solution choisie? Pourquoi?	

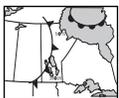


ANNEXE 35 : Grille d'évaluation critériée pour la prise de décisions

Nom : _____

Date : _____

Critères	Niveaux de rendement			
	1	2	3	4
Identification d'un enjeu STSE	<input type="checkbox"/> L'élève ne réussit pas à identifier un enjeu STSE sans aide.	<input type="checkbox"/> L'élève saisit qu'un enjeu STSE pourrait avoir des répercussions, mais il ne différencie pas les quatre dimensions S, T, S et E.	<input type="checkbox"/> L'élève comprend bien les liens qui existent entre un enjeu STSE et ses répercussions. <input type="checkbox"/> L'élève laisse entrevoir une réaction personnelle à l'enjeu.	<input type="checkbox"/> L'élève comprend en profondeur les liens qui existent entre un enjeu STSE et ses répercussions. <input type="checkbox"/> L'élève démontre un certain degré de responsabilité sociale.
Évaluation des renseignements liés à un enjeu STSE	<input type="checkbox"/> L'élève trouve quelques renseignements actuels sur l'enjeu STSE, mais il n'évalue pas ces renseignements. <input type="checkbox"/> L'élève ne passe pas en revue les répercussions de décisions déjà prises relativement à l'enjeu.	<input type="checkbox"/> L'élève réussit à distinguer les points de vue qui émanent des renseignements recueillis sur l'enjeu, mais il ne les évalue pas explicitement. <input type="checkbox"/> L'élève prend connaissance des répercussions de décisions déjà prises relativement à l'enjeu.	<input type="checkbox"/> L'élève recueille une gamme de renseignements qui ne sont pas exhaustifs, mais qui délimitent clairement des points de vue différents sur l'enjeu. <input type="checkbox"/> L'élève discerne les répercussions de décisions antérieures qui peuvent influencer sur l'enjeu actuel. <input type="checkbox"/> L'élève énonce des opinions personnelles sur l'enjeu, mais il n'évalue pas le point de vue des autres.	<input type="checkbox"/> L'élève recueille des renseignements actuels et pertinents qui mettent en évidence une variété de perspectives. <input type="checkbox"/> L'élève parvient à pondérer la pertinence des répercussions de décisions antérieures en rapport avec l'enjeu actuel. <input type="checkbox"/> L'élève saisit avec justesse les perspectives variées sur l'enjeu et il peut évaluer ces perspectives.
Formulation d'options possibles	<input type="checkbox"/> L'élève ne réussit pas à formuler adéquatement des options possibles liées à l'enjeu STSE. <input type="checkbox"/> L'élève formule des options qui ne sont pas clairement liées à l'enjeu.	<input type="checkbox"/> L'élève peut formuler au moins une option réalisable liée à l'enjeu. <input type="checkbox"/> Les autres options de l'élève ne sont pas clairement liées à l'enjeu.	<input type="checkbox"/> L'élève élabore au moins deux options réalisables et cohérentes qui portent sur l'enjeu. <input type="checkbox"/> L'élève reconnaît que certaines options ne seront pas retenues.	<input type="checkbox"/> L'élève présente plusieurs options réalisables et cohérentes dont la complexité dépasse les attentes du projet. <input type="checkbox"/> Les options proposées par l'élève ont chacune de fortes chances d'être adoptées.
Identification et évaluation des répercussions possibles	<input type="checkbox"/> L'élève n'est pas capable de prévoir les répercussions possibles des options liées à l'enjeu STSE. <input type="checkbox"/> L'élève ne semble avoir qu'une perception naïve des répercussions possibles de l'option.	<input type="checkbox"/> L'élève prévoit de façon vague et non fondée certaines répercussions possibles des options liées à l'enjeu STSE. <input type="checkbox"/> L'élève comprend qu'il y a des répercussions associées à chaque option.	<input type="checkbox"/> L'élève identifie de façon organisée les répercussions possibles associées à des options. <input type="checkbox"/> L'élève est conscient des répercussions pour chacune des options proposées, tant positives que négatives.	<input type="checkbox"/> L'élève réussit à élaborer une analyse des coûts, des bénéfices et des risques pour chacune des options proposées. <input type="checkbox"/> L'élève produit un rapport bien organisé qui cerne et qui analyse clairement chacune des options.

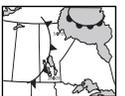


LA DYNAMIQUE DES PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES

Sciences de la nature
Secondaire 2
Regroupement 4

ANNEXE 35 : Grille d'évaluation critériée pour la prise de décisions (suite)

Critères	Niveaux de rendement			
	1	2	3	4
Sélection de la meilleure option (la décision)	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'élève ne réussit pas à prendre une décision liée directement à l'enjeu. <input type="checkbox"/> L'élève a besoin d'aide pour sélectionner une meilleure option. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'élève réussit à identifier une option réalisable en rapport avec l'enjeu, mais il a du mal à énoncer un plan d'action préliminaire qui soit cohérent. <input type="checkbox"/> L'élève hésite encore à prendre sa décision, il a besoin d'aide pour énoncer un plan d'action. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'élève réussit clairement à sélectionner une option faisable et à énoncer un plan d'action préliminaire en rapport avec l'enjeu. <input type="checkbox"/> L'élève ne réussit pas à convaincre l'ensemble de ses collègues sur le mérite de l'option qu'il a choisie. <input type="checkbox"/> L'élève reconnaît certains dangers que sa décision peut poser pour sa sécurité et celle des autres. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Une analyse exhaustive et coopérative des options possibles mène à la sélection d'une décision. <input type="checkbox"/> La décision s'appuie sur une recherche équilibrée et des explications solides et elle comprend un plan d'action préliminaire qui est cohérent et perspicace. <input type="checkbox"/> L'élève reconnaît la plupart des dangers que sa décision peut poser pour sa sécurité et celle des autres.
Réflexion sur le processus de prise de décisions	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'élève n'a qu'une notion élémentaire de l'importance de l'évaluation de son processus de prise de décision liée à l'enjeu STSE. <input type="checkbox"/> L'élève se montre peu disposé à évaluer de nouveau sa décision ou son plan d'action préliminaire. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'élève réfléchit au processus qu'il a suivi pour en arriver à sa décision et il communique bien sa réflexion. <input type="checkbox"/> L'élève reconnaît des forces et des lacunes dans sa décision ainsi que dans le processus qu'il a employé pour y arriver. <input type="checkbox"/> L'élève accepte la critique constructive de sa décision, mais n'en tient pas compte. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'élève réfléchit au processus qu'il a suivi pour en arriver à sa décision et il communique bien sa réflexion. <input type="checkbox"/> L'élève reconnaît des forces et des lacunes dans sa décision ainsi que dans le processus qu'il a employé pour y arriver. <input type="checkbox"/> L'élève accepte la critique constructive de sa décision et en tient compte. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'élève réfléchit en profondeur sur le processus qu'il a suivi pour en arriver à sa décision et il communique clairement son analyse. <input type="checkbox"/> L'élève reconnaît des forces et des faiblesses de sa décision et du processus employé pour y arriver, et il propose des améliorations pertinentes. <input type="checkbox"/> L'élève apprécie la critique constructive et l'incorpore concrètement dans son analyse. <input type="checkbox"/> L'élève manifeste un intérêt profond et continu pour l'enjeu qu'il a examiné, et il apprécie l'importance des décisions avisées.



PORTFOLIO : Table des matières

Nom : _____

Date : _____

PIÈCE*	TYPE DE TRAVAIL	DATE	CHOISIE PAR
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			

* Chaque pièce devrait être accompagnée d'une fiche d'identification.



PORTFOLIO : Fiche d'identification

Nom : _____

Date : _____

Fiche d'identification

Nom de la pièce : _____

Apprentissage visé (connaissances, habiletés, attitudes) : _____

Remarques et réflexions personnelles au sujet de ce travail : _____

Ton niveau de satisfaction par rapport à ce travail :

1	2	3	4	5
pas satisfait(e) du tout				très satisfait(e)

