

Projet Atmosphère Canada



MODULE

7

Les nuages

Manuel du maître



Canadian Meteorological
and Oceanographic
Society

La Société Canadienne
de Météorologie et
d'Océanographie



Environnement
Canada

Environment
Canada

Canada

Projet Atmosphère Canada

Né d'une initiative et de la collaboration entre Environnement Canada et la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie (SCMO), le « Projet Atmosphère Canada (PAC) » s'adresse aux enseignants du niveau primaire et secondaire partout au Canada. Ce projet est conçu pour stimuler l'intérêt des jeunes en regard de la météorologie ainsi que pour favoriser et encourager l'enseignement des sciences de l'atmosphère et de celles qui s'y rattachent, au niveau primaire et secondaire, au Canada.

Toute matière adaptée ou reproduite du « Project ATMOSPHERE teacher's guides », est présentée avec l'autorisation de la « American Meteorological Society (AMS) »

Remerciements

Le Service météorologique du Canada, avec la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie, expriment leur gratitude à l'« American Meteorological Society » pour le soutien et l'aide reçus dans la préparation de cet ouvrage.

Un projet tel que le PAC ne se réalise pas du jour au lendemain. Depuis la transcription électronique à partir des exemplaires de l'AMS en passant par la révision, rédaction, examen critique, traduction, conception graphique et enfin par la mise en page définitive, il aura fallu des jours, des semaines, voir même des mois d'un effort soutenu pour en arriver au produit final. Je voudrais souligner la contribution importante apportée tant par le personnel d'Environnement Canada que par les membre de la SCMO d'un bout à l'autre du pays, ainsi que par le milieu scientifique global qui a autorisé l'utilisation de ses travaux dans le PAC, « manuels du maître ».

Au nom d'Environnement Canada et de la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie :
Eldon J. Oja
Chef de projet - Projet Atmosphère Canada

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, stockée dans un système de recherche informatique ou transmise, sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit (électronique, mécanique, par photocopie, enregistrement ou autre), sans l'assentiment écrit préalable de l'éditeur. L'autorisation est donnée, par les présentes, de reproduire, sans la modifier, la matière contenue dans cette publication, à des fins pédagogiques non commerciales, à condition que la source de la matière soit indiquée. Cette autorisation ne s'applique pas aux transmissions par voie électronique.

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2001

Publié par Environnement Canada
Number de cat. : En56-172/2001F-IN
ISBN 0-662-86593-6

Table des matières

Notions élémentaires	2
Exposé des faits	5
Activité	15

MODULE 7

Les nuages

Notions élémentaires	Exposé des faits	Activité
Page 2	Page 5	Page 15

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES

1. Les nuages sont des collections de petites gouttelettes d'eau et/ou de cristaux de glace dans l'atmosphère en concentrations assez grandes pour être visibles.
2. Les nuages présentent l'évidence visuelle des déplacements de l'air.
3. Les nuages sont des composantes atmosphériques essentielles du cycle de l'eau, produisant la pluie et la neige qui retournent l'eau à la surface de la Terre.

Formation des nuages

4. Les nuages se forment quand l'air est refroidi à des températures auxquelles une partie de la vapeur d'eau dans l'atmosphère se condense en liquide ou se sublime en glace. Cela se produit parce que, au fur et à mesure que la température d'une particule d'air diminue, il y a une diminution correspondante de la quantité de vapeur d'eau qu'elle peut contenir.
5. La majeure partie de la formation et de la croissance des nuages est le résultat du refroidissement qui se produit à cause de l'expansion de l'air ascendant.
6. Des particules de nuage se forment quand la vapeur d'eau se condense sur de minuscules particules de sel, poussière ou autres, dans l'atmosphère .
7. Les particules de nuages peuvent être composées de gouttelettes liquides ou de cristaux congelés, ou les deux. Les nuages peuvent contenir des gouttelettes liquides à travers une gamme étendue de températures situées sous le point de congélation.
8. Le brouillard est un nuage en contact avec la surface de la terre.

Mouvements d'air et températures

9. L'air ascendant rencontre des pressions atmosphériques plus basses. Ceci permet une expansion qui se traduit par une diminution des températures à l'intérieur de l'air qui se déplace vers le haut.
10. Tant qu'il n'est pas complètement saturé de vapeur d'eau, l'air ascendant se refroidit par expansion à raison de 10 degrés Celsius pour chaque gain d'un kilomètre en altitude.
11. La condensation commencera quand la température de l'air ascendant chutera au point de rosée et continuera à se refroidir au delà de cette température. L'altitude à laquelle l'air devient saturé déterminera la hauteur de la base du nuage.
12. L'air ascendant, lorsque saturé de vapeur d'eau, se refroidit à un rythme plus lent que l'air qui n'est pas saturé de vapeur d'eau. La libération de chaleur latente au cours du processus de condensation dans l'air ascendant saturé diminue le rythme de refroidissement de la particule à 5 degrés Celsius par kilomètre.
13. L'air qui s'abaisse progressivement rencontre des pressions d'air plus fortes et se réchauffe par effet de compression. Le réchauffement mène à l'évaporation entière ou partielle de tout nuage existant.

Formes des nuages et mouvements d'air

14. Les formes des nuages sont des indices clés pour déterminer les conditions et les mouvements atmosphériques.

15. Des nuages étendus, lisses et en nappe sont généralement des indicateurs de mouvements d'air plutôt horizontaux que verticaux. Ils indiquent une atmosphère stable.
16. L'air est stable lorsque, s'il est obligé de monter, son refroidissement produira des températures plus basses que celles de l'air ambiant aux mêmes niveaux. L'air soulevé, parce plus frais, est plus dense que l'air qui l'entoure et s'abaissera à son niveau original et ne continuera son ascension que s'il est poussé à le faire par d'autres forces.
17. Des nuages en « bosses » ou en « tas » se forment lorsque de forts mouvements verticaux existent dans l'atmosphère. Ils laissent entrevoir des conditions atmosphériques instables qui peuvent présager des tempêtes et du mauvais temps.
18. L'air est instable quand, s'il est forcé de s'élever, ses températures seront plus élevées que celles de l'air ambiant aux mêmes altitudes. L'air qui monte, étant maintenant relativement plus chaud et moins dense, accélère vers le haut en produisant des tourbillons de turbulence et de forts mouvements verticaux.
19. Le réchauffement local de surface les jours ensoleillés peut produire des nuages ayant une large extension verticale. Les nuages se forment là où l'air monte et ils sont séparés par des régions claires où l'air s'abaisse progressivement.
20. Les dessus des nuages dominants penchent vers l'aval quand les vents en altitude sont plus rapides que ceux des niveaux inférieurs. Les enclumes d'orages sont des exemples de telles configurations de vents de haute altitude.

Nuages et précipitations

21. Les particules de nuages, gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace doivent être grossies considérablement afin d'atteindre des tailles assez grandes pour tomber sous forme de pluie ou de neige. Généralement, il faut près d'un million de gouttelettes de nuage pour fournir assez d'eau pour chaque goutte de pluie.
22. La précipitation à des moyennes et hautes latitudes commence habituellement dans les nuages où coexistent des cristaux de glace et des gouttelettes d'eau surfondues. L'eau surfondue est de l'eau liquide dont la température est inférieure au point de congélation (0 degrés Celsius) tout en demeurant dans un état liquide. De telles gouttelettes d'eau surfondues dans des nuages peuvent exister à des températures aussi froides que moins 17 degrés Celsius. De petites gouttelettes d'eau pure peuvent demeurer dégelées à des températures encore plus froides. À des températures inférieures à 0 degrés Celsius, les cristaux de glace se développent aux dépens de gouttelettes d'eau environnantes. Au fur et à mesure que les cristaux grossissent, ils tombent plus rapidement à travers le nuage.
23. Des cristaux de glace qui chutent à travers un nuage peuvent croître en adhérant à d'autres cristaux ou en accumulant des gouttelettes d'eau surfondues qui s'y gèlent. Ces particules de nuages pourront devenir assez grosses pour surmonter la poussée des courants d'air ascendant et tomber vers la terre sous forme de précipitations.
24. Quand des températures inférieures au point de congélation existent jusqu'à la surface de la terre, les cristaux de glace qui tombent parviennent au niveau du sol sous forme de neige. Si la température se réchauffe au-dessus du point de

congélation au cours de la chute des cristaux de glace, ils fondront pour tomber sous forme de gouttes de pluie.

Occasionnellement, une couche d'air peu profonde, au-dessous du point de congélation et près de la surface de la terre, fera surfondre les gouttes d'eau qui gèleront au contact avec la surface, produisant ainsi de la pluie verglaçante dangereuse. Mais si cette deuxième couche de gel est assez épaisse, les gouttelettes gèleront et formeront des granules de glace.

25. Une précipitation peut commencer comme de la pluie dans les nuages dont les températures sont entièrement au-dessus du point de congélation. Dans ce cas, des gouttelettes de plusieurs dimensions différentes tombent à des rythmes différents, amenant ainsi les gouttelettes plus grosses à intercepter et à capturer les plus petites. Suite à plusieurs de ces collisions, des gouttes de pluie assez grosses se forment pour tomber vers la terre.
26. D'importantes variations dans la dimension des gouttes de pluie peuvent résulter de la force des mouvements ascendants à l'intérieur des nuages. Les gouttes les plus importantes sont formées dans de puissants mouvements ascendants qui peuvent les maintenir en altitude plus longtemps. On associe généralement les gouttes plus petites à des mouvements ascendants plus faibles dans les nuages.
27. Les hauteurs des bases des nuages indiquent les conditions d'humidité de l'atmosphère et la probabilité de précipitations. Des nuages ayant des bases de faible altitude se forment facilement dans l'air humide et les précipitations sont possibles. Des nuages ayant des bases élevées signifient de l'air plus sec qui a dû monter plus haut pour atteindre la saturation, la probabilité qu'une précipitation se rende jusqu'au sol est moindre.
28. Des orages violents formés dans des conditions atmosphériques instables, peuvent produire des pluies intenses et des inondations localisées, des éclairs fréquents, de la grêle, des vents destructifs et des tornades.

EXPOSÉ DES FAITS

Nuages

Introduction

Les nuages constituent une caractéristique toujours présente de l'atmosphère de la Terre. On voit chaque jour plusieurs différents types de nuages dans les cieux autour de la planète. Nous observons souvent les nuages au-dessus de nous et nous essayons d'imaginer les formes et les silhouettes auxquelles ils ressemblent. Mais les nuages nous disent beaucoup plus. Ils sont la signature visible des mouvements et des conditions de l'air dans lequel ils existent.

Les nuages consistent en de minuscules gouttelettes d'eau liquide ou de cristaux de glace, ou les deux. Parce que ces particules sont si petites, même de faibles remous de mouvements d'air peuvent les garder suspendues indéfiniment. C'est la multitude de minuscules particules d'eau, sous forme liquide ou de glace, qui interagit avec des rayons de lumière pour rendre les nuages visibles.

Vapeur d'eau et nuages

Si vous avez déjà été dans un brouillard (littéralement) ou vu votre respiration par une froide journée, ou encore si vous avez volé à travers les nuages dans un avion, vous avez fait l'expérience directe des nuages. Pour faire un nuage, il suffit que l'air soit refroidi au point de saturation et au-delà. Qu'est-ce que cela signifie ?

L'atmosphère contient un mélange de gaz invisibles, surtout de l'azote et de l'oxygène. Une petite portion de ce mélange est toujours sous forme de vapeur d'eau, quoique la quantité puisse varier considérablement. La vapeur d'eau est le seul gaz atmosphérique qui puisse changer d'état de gaz à liquide ou à solide sous des conditions de température et de pression qui se produisent naturellement dans l'atmosphère. Lorsque refroidie suffisamment, la vapeur d'eau invisible se transformera en une forme visible, des gouttelettes d'eau et des cristaux de glace, formant ainsi des nuages et du brouillard.

Il y a des limites à la quantité de vapeur d'eau qui peut être présente dans l'air. La température est le facteur qui se rapporte le mieux au maximum

de la quantité de vapeur d'eau qui peut exister. Habituellement, le montant de vapeur d'eau dans une masse d'air est inférieur au maximum possible. Nous décrivons ce genre d'air comme étant non saturé.

Si nous ajoutions plus de vapeur à cette même masse d'air, nous pourrions atteindre la capacité maximum pour sa température particulière. Au fur et à mesure que la température d'une particule d'air diminue, il en va de même pour la quantité éventuelle de vapeur d'eau qui peut s'y trouver. En conséquence, le refroidissement d'une particule d'air réduira finalement sa capacité de vapeur d'eau jusqu'à ce qu'elle soit égale au montant de vapeur d'eau effectivement présent. L'air est alors saturé. La température à laquelle la saturation est atteinte par refroidissement se nomme température du point de rosée, ou simplement point de rosée.

La plupart des nuages sont produits par le refroidissement de l'air qui, pour une raison ou autre, se déplace vers le haut dans l'atmosphère. L'air d'une surface frontale peut se déplacer vers le haut par ascension, du flanc d'une montagne ou par réchauffement solaire du sol. Le refroidissement se produit quand l'air ascendant rencontre des pressions atmosphériques plus faibles et des altitudes plus élevées et qu'en conséquence, il se dilate. Cette dilatation refroidit l'air non saturé de 10 degrés Celsius par kilomètre d'ascension. Le refroidissement s'accompagne d'une plus faible capacité pour contenir de la vapeur d'eau. La poursuite du refroidissement entraîne tôt ou tard la saturation, suivie de la condensation de la vapeur d'eau en gouttelettes de nuage. La chaleur qui, à l'origine, était requise pour faire évaporer l'eau et qui était entreposée comme chaleur latente dans la molécule de vapeur d'eau, est libérée au début de la condensation. La libération de chaleur latente dans l'air compense une partie du refroidissement causé par l'expansion et en conséquence, le taux de refroidissement de l'air saturé ascendant baisse à 5 degrés Celsius par kilomètre.

Réciproquement, une particule d'air plongeant à travers l'atmosphère est comprimée et ainsi réchauffée. L'air non saturé se réchauffe de 10

degrés Celsius pour chaque baisse d'un kilomètre. Cependant, quand les gouttelettes de nuages s'évaporent au sein de l'air qui s'abaisse progressivement, l'air se réchauffe à un rythme plus lent parce que le processus d'évaporation requiert de l'énergie thermique pour transformer le liquide à l'état de vapeur (la chaleur latente de l'évaporation). Les nuages peuvent (et cela se produit souvent) se dissiper entièrement par l'évaporation de leurs gouttelettes d'eau dans l'air qui plonge.

Formation des nuages

Le processus de formation des nuages est de fait très complexe. D'abord, des particules sur lesquelles l'eau peut se condenser, nommées noyaux de concentration, doivent être présentes dans l'air. Heureusement, il y a presque toujours assez de particules y compris des sels marins, de la fumée et des particules d'émissions d'automobiles pour servir de noyaux de concentration.

Ensuite, nous devons avoir un mouvement ascendant dans l'air. Ces mouvements ascendants peuvent être le résultat de courants d'air au-dessus d'un terrain en relief, le long d'un front atmosphérique, ou du réchauffement de l'air par des surfaces chaudes. S'il existe des conditions atmosphériques instables, les mouvements ascendants pourront être accélérés. Quand la condensation commence, la libération de chaleur latente par les gouttelettes en formation aidera également l'air à continuer son ascension. Des cristaux de glace pourront se former si l'ascension se poursuit jusqu'à des altitudes où les températures sont assez froides. Les mouvements ascendants doivent être suffisamment persistants pour continuellement fournir un excès de vapeur à des gouttelettes en expansion.

Convection et nuages

Le soleil, en traversant l'atmosphère, frappe la surface de la terre où une portion de son énergie rayonnante est absorbée pour chauffer la surface. L'air situé juste au-dessus de la surface chauffée est alors réchauffé par contact direct, un transfert d'énergie nommé conduction. L'air réchauffé se dilate et devient moins dense que l'air sus-jacent plus froid. Des variations dans l'échauffement de la surface du sol et d'autres

facteurs causent l'air ambiant plus frais et plus dense à pousser l'air plus léger et plus chaud vers le haut. Ce mouvement de l'air, résultant dans le transport et le mélange de ses propriétés, se nomme convection. La convection est un important procédé de transport pour l'énergie thermique et la vapeur d'eau dans l'atmosphère.

Des courants d'air ascendant, nommés courants thermiques, sont produits par chauffage solaire tout au cours de l'année, mais ils sont particulièrement forts au cours du printemps jusqu'à l'automne quand l'énergie du soleil est à son plus puissant. Les oiseaux qui planent et les pilotes de planeurs recherchent ces courants pour gagner de l'altitude et planer sur de longues distances en pleine nature. Si un courant thermique demeure plus chaud que ses environs, il pourra peut-être grimper assez haut pour se refroidir jusqu'à son point de saturation. Les courants thermiques nous font généralement sentir leur présence en produisant des nuages appelés Cumulus au sommet de la colonne atmosphérique ascendante. De tels nuages sont connus comme des nuages de convection. Les diverses formes de nuages Cumulus — depuis des petites bouffées de Cumulus de beau temps jusqu'aux imposants Cumulonimbus sont tous des nuages de convection.

Les courants thermiques peuvent également être produits quand l'air froid se déplace au-dessus de surfaces relativement chaudes comme de vastes étendues d'eaux libres. Ce phénomène est particulièrement répandu au-dessus des grandes étendues comme les Grands Lacs en automne et en début d'hiver parce que les lacs se refroidissent beaucoup plus lentement que les superficies de terres adjacentes. Les Cumulus, qui se forment dans l'air froid de l'Arctique alors qu'il traverse une étendue d'eau beaucoup plus chaude, deviennent souvent très hauts en s'alimentant de la chaleur et de l'humidité fournie par le lac.

Nuages et mouvements d'air

La forme, le nombre, la taille et le mouvement des nuages qui en résultent donnent des indices quant aux propriétés de l'air ambiant et invisible et ce qu'il est en train de faire. Alors que l'air ascendant non saturé se refroidit au rythme de 10 degrés Celsius par kilomètre (ou à un rythme plus

faible à l'intérieur d'un nuage saturé), il pourra être plus chaud ou plus frais que ses environs parce que la température de l'air ambiant varie aussi en fonction de l'altitude au-dessus du sol. Le graphique qui décrit le changement de température en fonction de l'altitude se nomme la courbe du profil de la température et au Canada, le profil de température est souvent représenté sur un formulaire nommé téphigramme.

Quand une particule d'air est plus fraîche que l'air ambiant, elle est plus « lourde » et tend à s'abaisser à un niveau plus bas. On parle alors d'air stable. Les nuages formés dans l'air stable ont tendance à produire des couches de nuages longs et plats, de type stratiforme (pour « strate »). La circulation de l'air dans les nuages Stratus est généralement douce et la précipitation qui y est associée, s'il y en a, est légère et régulière.

L'air stable est aussi susceptible d'être présent en période de beau temps. Ces configurations thermiques verticales qui stabilisent l'air peuvent également mener à des épisodes de pollution atmosphérique. Quand les conditions sont stables, les panaches de fumée provenant de cheminées domestiques et industrielles ne se répandent pas facilement. En conséquence, les concentrations de polluants nocifs qu'ils contiennent peuvent demeurer élevées et causer des situations potentiellement nuisibles pour la santé.

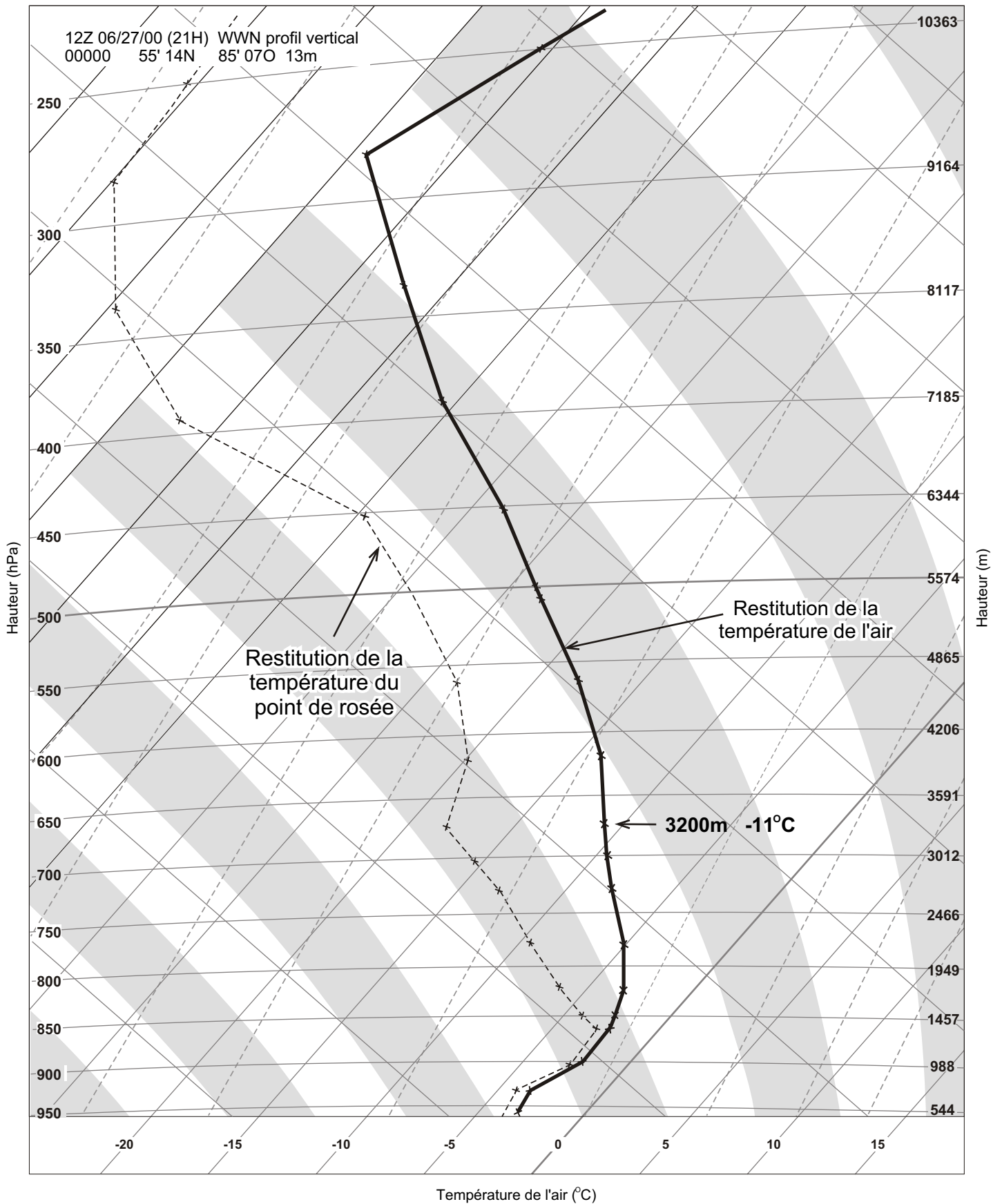
D'autre part, l'air ascendant, même en se refroidissant, peut néanmoins demeurer relativement plus chaud que l'air ambiant à travers lequel il grimpe. L'air ascendant est ainsi plus léger que son environnement et gagne en altitude comme une montgolfière. Des courants d'air verticaux qui montent, appelés courants ascendants, sont typiques de l'air instable. Les courants ascendants peuvent produire des remous et des tourbillons turbulents sur leurs pourtours. Pareille turbulence est une autre caractéristique d'air instable et peut être aperçue dans l'apparence « bosselée » de nuages formés dans l'air instable.

Des nuages « en bosses » et « en tas », formés dans des conditions instables, sont classés comme des nuages de type cumulus. Le

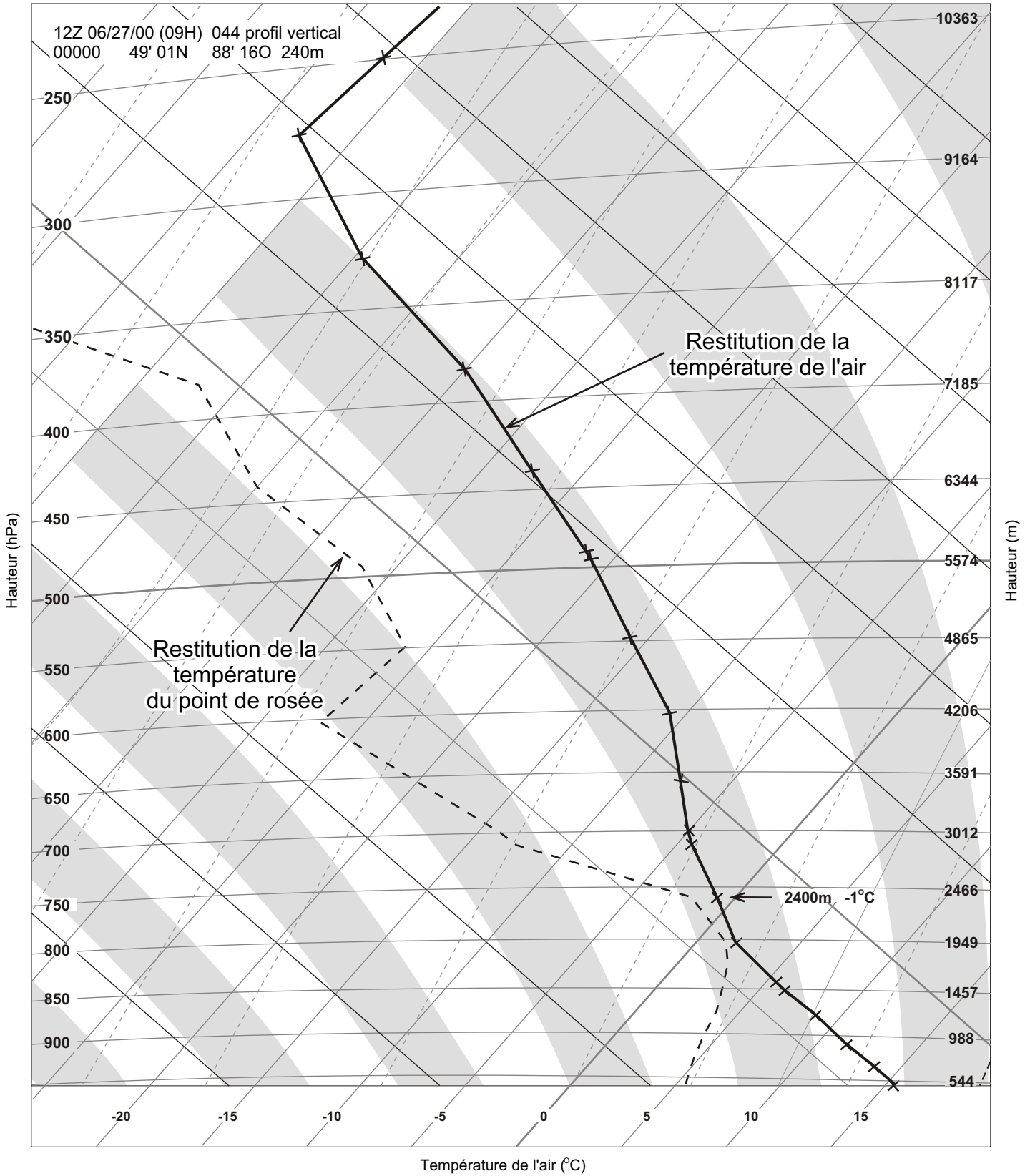
chauffage solaire du sol durant des conditions météorologiques claires, peut produire des courants ascendants localement au-dessus desquels des nuages Cumulus de beau temps se développent alors que des mouvements d'abaissement progressif d'air entre eux entourent le Cumulus de ciels bleus. Des conditions instables fortes et étendues mènent au développement d'impressionnants nuages Cumulonimbus qui produisent des orages et des phénomènes météorologiques violents. Des averses et des conditions météorologiques qui changent rapidement accompagnent habituellement les plus importants nuages Cumulus.

Chaque variation de nuage Cumulus a des propriétés qui caractérisent le milieu dans lequel il se forme. Les jours très venteux, les Cumulus de beau temps peuvent être démembrés et dispersés, alors que les jours plus calmes produisent les « balles de coton » classiques qui semblent suspendues immobiles dans le ciel. Des vents forts à des altitudes plus élevées peuvent faire basculer les sommets de nuages par rapport à leurs bases. On voit l'exemple le plus saisissant de l'impact de tels vents lorsque les sommets des orages prennent les formes classiques de « l'enclume » quand on les aperçoit d'une certaine distance. Des configurations de vagues peuvent même se former sur le dessus des nuages ou dans les bandes nuageuses quand l'air monte et descend tout en se déplaçant. On peut souvent voir ces configurations dans l'air qui traverse les montagnes ou des caractéristiques topographiques semblables.

La figure qui accompagne ce texte présente le système de classification de base pour des configurations de nuages en fonction de leur apparence et leur processus de formation. Les nuages de type Cirrus sont toujours composés de cristaux de glace, alors que la plupart des autres types de nuages peuvent être entièrement composés de gouttes de liquides ou d'un mélange de cristaux de glace et de gouttelettes d'eau. Des nuages de moyenne altitude ont des noms commençant par alto (signifiant « milieu »). On appelle Nimbus (signifiant « pluie ») les nuages desquels tombe de la précipitation. Avec Cumulus (en amas) et Stratus (en couches), les divers termes de base peuvent être combinés pour décrire dix formes générales de nuages.



Une restitution sous forme de tépigramme de profils verticaux de l'air (ligne solide) dans l'air stable et du point de rosée (ligne pointillée) dans l'air stable. Les hauteurs présentées sur le tépigramme sont des valeurs au-dessus du niveau moyen de la mer.



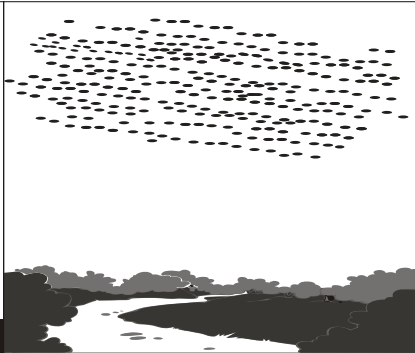
Une restitution sous forme de téphigramme de profils verticaux de l'air (ligne solide) dans l'air stable et du point de rosée (ligne pointillée) dans l'air instable. Les hauteurs présentées sur le téphigramme sont des valeurs au-dessus du niveau moyen de la mer.

Types de nuages

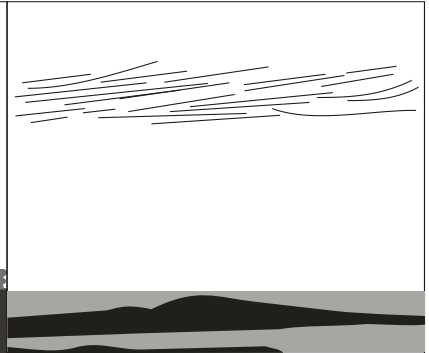
Nuages élevés



Cirrus (Ci)

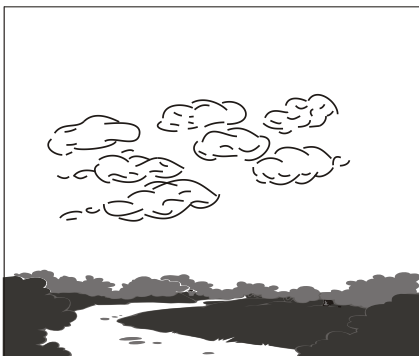


Cirrocumulus (Cc)

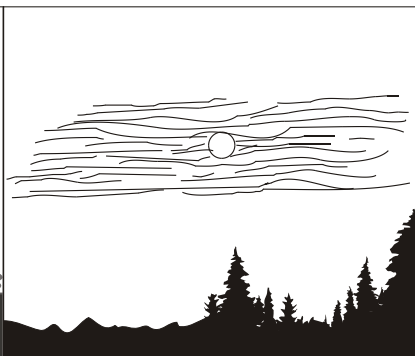


Cirrostratus (Cs)

Nuages moyens

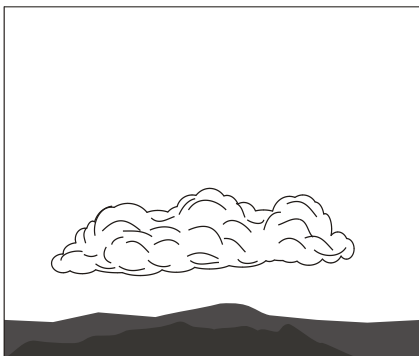


Altocumulus (Ac)



Altostratus (As)

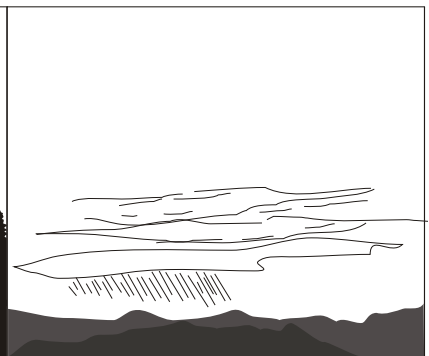
Nuages bas



Strato-cumulus (Sc)



Stratus (St)

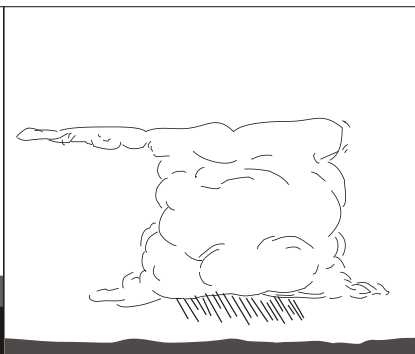


Nimbostratus (Ns)

Nuages à développement vertical



Cumulus (Cu)



Cumulonimbus (Cb)

Références à des pages Web pour renseignements additionnels sur les types de nuages et photos :

A cloud boutique Plymouth State College au New Hampshire
<http://vortex.plymouth.edu/clouds.html>

Types de nuages, University of Illinois
[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/cld/cldtyp/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/cld/cldtyp/home.rxml)

Cloudman's (Dr John Day) Gallery of Clouds
<http://www.cloudman.com/index.htm>

Wolken - Der Karlsruher Cloud Atlas
<http://www.wolkenatlas.de/>

The Weather Doctor (Dr. Keith Heidorn) - Cloud Atlas
<http://www.islandnet.com/~see/weather/eyes/cloudatlas.htm>

Nuages et précipitations

À une exception près, les nuages sont nécessaires pour que la précipitation puisse se produire ; cependant tous les nuages ne produisent pas de la pluie ou de la neige. En fait, la précipitation est un événement relativement rare quand on considère à quel point les nuages sont répandus. Pour qu'une précipitation se produise, les conditions à l'intérieur du nuage doivent comprendre un mouvement ascendant suffisant pour créer assez de condensation. Aussi, il doit y avoir assez de vapeur d'eau qui alimente les nuages pour assurer la croissance des particules de nuages. Un nombre de procédés doivent fonctionner à une très grande échelle pour rassembler le nombre considérable de particules de nuages requis pour provoquer une précipitation. En moyenne, un million de gouttelettes doivent se combiner pour former une goutte de pluie typique. Une fois formés, les gouttes de pluie ou les cristaux de glace doivent croître et prendre assez de poids pour l'emporter sur le courant ascendant de l'air dans lequel ils se sont formés avant de pouvoir tomber vers le sol. Finalement, ils doivent survivre à l'évaporation alors qu'ils chutent vers la surface.

La seule exception, signalée antérieurement, est une forme de précipitation sans nuages, appelée cristaux de glace, qui se produit quand l'humidité se sublime en minuscules particules de glace dans l'air très froid près de la surface. Ces très petites particules de glace peuvent tomber d'un ciel sans nuage et souvent tombent si lentement qu'elles semblent être suspendues dans l'air. Parce qu'ils scintillent au soleil, on nomme souvent « poussière de diamant » la précipitation de cristaux de glace. Ce type de précipitation est plus fréquent dans les régions polaires puisqu'elle ne se produit qu'à de très basses températures et dans l'air stable, mais elle peut aussi se produire dans plusieurs autres régions du Canada dans des conditions très froides.

Les nuages se forment généralement d'abord sous forme de gouttelettes d'eau ou de gouttes d'eau en surfusion dans des mouvements d'air ascendant. Des gouttes d'eau en surfusion sont simplement de petites gouttelettes d'eau qui se maintiennent dans leur état liquide à des températures bien en dessous du point de congélation. Plus il y a de vapeur d'eau dans l'air, plus tôt l'air pourra être refroidi jusqu'au point de saturation et plus d'humidité deviendra disponible pour la croissance des gouttelettes. La poursuite

du mouvement ascendant et du refroidissement condensera plus d'eau en gouttelettes nuageuses, mais des cristaux de glace sont habituellement requis pour amorcer la précipitation. À des températures inférieures au point de congélation où des cristaux de glace et des gouttelettes liquides co-existent, les cristaux de glace se développent plus rapidement que les gouttelettes de vapeur d'eau ambiante. Les cristaux de glace s'entrechoquent ou entrent en collision avec des gouttelettes qui gèlent sur eux, les grossissant davantage. Quand de grandes particules de glace se forment, elles pourront plus facilement avoir raison des courants ascendants des nuages que les gouttelettes liquides plus petites. La grande quantité de vapeur d'eau dans les orages d'été, alliée à des courants ascendants très forts, pourra produire d'importantes particules de glace qui plongeront au sol sous forme de grêlons.

Le genre de précipitation qui parvient au niveau du sol est intimement lié aux conditions atmosphériques dans lesquelles elle se forme et qu'elle finit par traverser. Si la température demeure sous le point de congélation depuis le nuage jusqu'au sol, la précipitation atteint le sol sous forme de neige. Quand ces mêmes particules de glace chutent à travers une couche d'air dont les températures sont au-dessus de 0°C, elles fondent dans l'air plus chaud pour se transformer en pluie. Lorsque les températures de surface se maintiennent aux environs du point de congélation, la précipitation pourra tomber sous forme de types variés.

Quand de multiples couches de températures sont présentes, d'autres formes de précipitations pourront tomber, dont certaines peuvent être particulièrement dangereuses. La neige traversant une couche chaude pourra fondre en pluie, mais pourra se refroidir suffisamment en tombant à travers une deuxième couche épaisse d'air froid près de la surface pour geler à nouveau en granules de glace. Cependant, si la pluie tombe à travers une mince couche d'air en

dessous du point de congélation près de la surface, elle pourra demeurer liquide tout en étant surfondue, prête à se solidifier en pluie verglaçante au contact du sol.

Phénomènes météorologiques locaux violents

De grands nuages de convection peuvent produire du mauvais temps au niveau local. Le mauvais temps local est habituellement confiné à une région relativement petite, à l'opposé de phénomènes météorologiques violents produits par des configurations météorologiques synoptiques à grande échelle telles que des ouragans et des formes de tempêtes d'hiver décrites dans le module "Temps Violent".

Les formes les plus communes de mauvais temps local au Canada sont le résultat d'orages et de rafales de neige à effet de lac.

Orages violents

Le mauvais temps local se développe le plus souvent à partir d'énormes nuages Cumulonimbus, ou « enclumes », qui donnent lieu à des orages d'intensité variable. La plupart des orages violents se produisent quand la température de l'air est au-dessus de 20°C. Donc, pour la majeure partie du Canada, ils se produisent à partir du milieu du printemps jusqu'à la fin de l'été.

Le Service météorologique du Canada maintient des centres météorologiques dans l'ensemble du pays. Ces derniers suivent de près les conditions météorologiques locales qui pourraient dégénérer en mauvais temps et publient des veilles et alertes météorologiques lorsque justifié. Quand les conditions semblent favorables au développement d'orages violents, le Service météorologique du Canada publie une veille d'orage violent, habituellement un certain nombre d'heures avant que l'orage potentiel ne

se produise. Quand des orages violents sont imminents, le Service météorologique du Canada publie une alerte d'orage violent. Des orages violents peuvent produire des éclairs fréquents, de la pluie abondante, des vents puissants, de la grêle et même des tornades.

On retrouve les conditions idéales pour le développement d'orages violents quand la partie la plus basse de l'atmosphère, sur environ deux kilomètres est très chaude et humide. De l'air chaud et humide pourra résulter d'un fort réchauffement solaire et d'évaporation au sol, ou du courant vers le nord de l'air tropical provenant du Golfe du Mexique sous des conditions atmosphériques à grande échelle. Le développement d'orages violents est grandement accru quand il y a une couche d'air frais et sec au-dessus de l'air chaud et humide de la basse atmosphère. Cet air frais et sec — quelques kilomètres au-dessus de la surface — circule généralement depuis les chaînes de montagnes de l'ouest et traverse vers l'est la région des grandes plaines des États-Unis ainsi que les Prairies.

La formation d'orages violents locaux se déroule habituellement de la façon suivante. Au fur et à mesure que la journée avance, un soleil puissant réchauffe l'air près du sol. Quand des particules d'air deviennent assez chaudes, des courants thermiques se forment et commencent leur ascension. En grimpant, les courants thermiques atteignent finalement le niveau où leur air devient saturé. À cette altitude, un nuage Cumulus commence à se former. Si l'air au-dessus du courant thermique est assez frais et sec, l'air chaud ascendant demeure beaucoup plus léger que ses alentours, et le courant thermique ainsi que le nuage qui le chapeaute peut s'élever des douzaines de kilomètres dans le ciel, souvent à une vitesse explosive. Dans ces conditions très instables et convectives, d'énormes nuages cumulonimbus se forment. Ces nuages peuvent produire de puissants orages et des pluies abondantes, des éclairs ainsi que des vents en rafales. S'il y a assez d'instabilité et les

configurations appropriées des vents au sein des orages, des tornades peuvent aussi être engendrées.

Bien que les dégâts matériels causés par les tornades puissent coûter des millions de dollars annuellement aux Canadiens, les fatalités attribuables à des tornades sont peu fréquentes dans ce pays. La plupart des années passent sans qu'il n'y ait la moindre fatalité résultant d'une tornade. Cependant, le Canada n'est pas entièrement à l'abri : entre les années 1985-2000, le Canada a connu 3 des 5 tornades les plus meurtrières depuis plus d'un siècle.

Au Canada, le dommage causé au cours d'orages violents est plus généralement occasionné par des rafales descendantes ou par des microrafales et non par des tornades. Des rafales descendantes et des microrafales sont de puissants courants descendants qui atteignent des vitesses supérieures à 100 km/h. Quand ces rafales descendantes touchent le sol, elles se dispersent en éventail au niveau ou juste au-dessus de la surface. Les résultats sont des vents à trajectoire rectiligne de puissance suffisante pour arracher des toits sur des bâtiments et déraciner des arbres. À cause de leur nature destructive, on confond souvent les rafales descendantes et les microrafales avec des tornades.

La foudre, par contre, tue une moyenne de sept personnes chaque année dans ce pays et plus de 100 personnes en Amérique du Nord. La foudre est responsable de 40 % des feux de forêt du Canada, coûtant des milliards de dollars chaque année à l'économie nationale.

Dans l'ensemble du continent, la grêle occasionne aussi des centaines de millions de dollars de dégâts chaque année, surtout aux récoltes et aux biens. Des récoltes entières peuvent être détruites en l'espace de minutes quand une tempête de grêle balaye une région. Le « couloir de grêle » du Canada, situé dans les hautes plaines entre Edmonton et Calgary, détruit en moyenne chaque année environ 3 % de la récolte totale de cette région.

Rafales de neige résultant d'un effet de lac

Le changement de saisons amène une menace différente et dangereuse en provenance des nuages de convection : les rafales de neige à effet de lac. De vastes étendues d'eau comme celle des Grands Lacs se refroidissent lentement à partir de leurs températures d'eau maximales de l'été, et en conséquence, à l'automne et au début de l'hiver elles peuvent être plusieurs degrés plus chaudes que les régions de terres adjacentes.

L'air frais qui se déplace au-dessus d'un si grand réservoir de chaleur et d'humidité recevra une augmentation de la température et de l'humidité de sa plus basse couche d'air. C'est ainsi que des

courants thermiques ascendants se développent dans l'air maintenant devenu instable (air chaud dessous, air froid au-dessus). Des nuages Cumulus très élevés se formeront pendant que cet air se déplace au-dessus du lac. Au moment où l'air rejoint le rivage sous-le-vent, il pourra y avoir de la neige prête à tomber sous forme d'averses ou de rafales de neige ; plus la trajectoire de l'air froid au-dessus du lac chaud sera longue, plus grande sera la probabilité de rafales de neige abondante. Des vents puissants à basse altitude canalisent ces rafales en rangées ou "streamers" qui arrivent au rivage en bandes nuageuses, entraînant des rafales soudaines de neige abondante et une visibilité presque nulle. Des accumulations de 25 cm de neige en 12 heures ne sont pas rares dans les « ceintures de neige » sur le côté sous-le-vent de grands lacs durant des rafales de neige incessantes.