

Projet Atmosphère Canada



MODULE

12

La vapeur d'eau et le cycle de l'eau

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

Introduction	2
Notions élémentaires	3
Exposé des faits	6
Activité	13

MODULE 12

La vapeur d'eau et le cycle de l'eau

Introduction Page 2	Notions élémentaires Page 3	Exposé des faits Page 6	Activité Page 13
-------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------

INTRODUCTION

La substance que l'on connaît comme étant de l'eau possède un ensemble unique de propriétés chimiques et physiques. Parmi ces propriétés inhabituelles, on retrouve la capacité d'exister à l'état solide, liquide ou de vapeur aux températures et aux pressions existant à la surface et près de la surface de la Terre. C'est ce qui permet à l'eau de circuler dans l'atmosphère, les océans et sur la terre ferme, formant ainsi des cycles sans fin qui sont connus collectivement comme étant le cycle hydrologique ou cycle de l'eau. La vapeur d'eau joue un rôle clé dans le cycle de l'eau tout en agissant comme une petite mais critique composante de l'atmosphère. Ce module examine le rôle de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ; d'où elle vient, où elle va, comment la mesurer et comment on peut détecter sa présence.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES

La substance eau

1. L'eau est une substance unique, essentielle à la vie et un ingrédient clé de notre système météorologique et climatique.
2. L'eau est la seule substance d'origine naturelle qui se retrouve en quantité importante soit à l'état solide (glace), liquide (eau) ou gazeux (vapeur), aux températures et pressions existant à la surface et près de la surface de la Terre.
3. La substance eau modifie son état relativement aisément à la surface et près de la surface de la Terre et elle est en mouvement continuels vers, passant à travers et revenant de l'atmosphère.
4. Conjuguée avec la vapeur d'eau jouant un rôle important, l'atmosphère maintient le cycle hydrologique (cycle de l'eau) en redistribuant l'eau issue des réservoirs terrestres et des océans partout sur la Terre, y compris aux lieux les plus élevés.
5. L'énergie thermique (appelée chaleur latente) est absorbée (libérée) en grande quantité lorsque l'eau change de l'état de vapeur à liquide à solide (solide à liquide à vapeur). L'énergie absorbée ou dégagée au cours de ces changements d'état dans l'atmosphère a un impact important sur la météo et le climat.
7. L'atmosphère globale contient seulement 0,001 % de l'eau existant près de la surface de la Terre ; les autres réservoirs d'importance sont les océans (97 %), les calottes glacières et les glaciers (2 %), la nappe d'eau souterraine (0,6%), et les lacs et rivières (0,01%).
8. En comparaison à tous les autres réservoirs d'eau, le temps de séjour de la substance eau dans l'atmosphère est très court. À tous les dix jours, le montant d'eau qui passe à travers l'atmosphère est égal à son contenu global d'eau à tout moment donné.
9. L'eau pénètre dans l'atmosphère par évaporation. Les mouvements atmosphériques transportent la vapeur d'eau ailleurs et, éventuellement, elle se condense et peut revenir à la surface de la Terre sous forme de précipitation.
10. La composante atmosphérique du cycle de l'eau est la seule où l'eau « ne suit pas une pente ». Le transfert de la vapeur par l'entremise de l'atmosphère constitue la principale source d'eau des précipitations.
11. Alors qu'il y a autant de vapeur d'eau qui entre globalement dans l'atmosphère qu'il y en a qui la quitte, un tel équilibre n'existe pas dans la plupart des endroits particuliers.

Le cycle de l'eau (cycle hydrologique)

6. On appelle le cycle de l'eau l'ensemble des transformations de l'eau dans tous ses états dans l'atmosphère, dans les océans et sur la Terre.
12. Le montant de vapeur d'eau dans l'air peut varier de près de zéro à environ 4 % par volume.
13. Comme la substance eau peut exister sous différents états dans les écarts de température et de pression de l'atmosphère, il y a des limites maximales à

La vapeur d'eau

la concentration de la phase vapeur d'eau dans l'air. La capacité maximale de vapeur d'eau d'un volume d'air dépend entièrement de la température, et elle augmente au fur et à mesure que la température augmente.

14. La capacité maximale de vapeur d'eau d'un volume double approximativement à chaque 10° Celsius d'augmentation de température. De façon similaire, chaque baisse de température de 10 degrés réduit de moitié la capacité d'un volume de contenir de la vapeur d'eau.
15. L'humidité absolue est une mesure de la quantité de vapeur d'eau effectivement dans l'air. L'humidité absolue est la masse de vapeur d'eau dans une unité de volume (il s'agit de densité de vapeur d'eau, habituellement mesurée sous forme de grammes de vapeur d'eau par mètre cube). Une autre façon d'exprimer l'humidité absolue est le rapport de mélange, qui est le rapport de la masse de vapeur d'eau à la masse d'air sec dans l'atmosphère, habituellement exprimé en grammes (g) de vapeur d'eau par kilogramme (kg) d'air sec. Des rapports de mélange typiques varient entre 1,5-15,0 g kg⁻¹ près de la surface de la Terre à 0,3-3,0 g kg⁻¹ à 500 hPa (~5,5 km ASL).
16. L'humidité relative est exprimée en pourcentage et est le rapport de la quantité de vapeur d'eau effectivement présente dans l'air à sa capacité maximale à cette température, multipliée par 100.
17. Le point de rosée (ou la température du point de rosée) est la température à laquelle l'air doit être rafraîchi (à pression constante) sans changer la quantité de vapeur d'eau, de sorte que la quantité de vapeur d'eau effectivement dans l'air est

égale à la quantité maximale pouvant être dans l'air à cette température.

Saturation et précipitation

18. On dit qu'un volume plein à capacité de vapeur d'eau est saturé. Lorsque l'air est saturé, son humidité relative est de 100 % et son point de rosée est le même que sa température.
19. L'eau sous forme liquide et la glace peuvent se transformer en vapeur à toute température à laquelle elles existent. De tels changements d'état apparaîtront lorsque l'environnement au-dessus de l'eau ou de la glace n'est pas saturé de vapeur d'eau.
20. Si l'air saturé est rafraîchi, il se produira suffisamment de condensation pour maintenir la saturation. Les nuages dans l'atmosphère ou la formation de brouillard au sol naissent de ce processus.
21. La formation de nuages peut mener à des précipitations. Les précipitations se composent d'une ou de toutes formes de particules d'eau, liquides ou solides, qui tombent des nuages au sol. Ces formes comprennent la neige, la pluie, la bruine et la grêle.

Observation de vapeur d'eau

22. Qu'elle soit sous une forme invisible de vapeur ou sous une forme visible de particules de nuages, l'eau est transportée à travers toute l'atmosphère par les vents et les mouvements verticaux.
23. Même si elle est transparente à la lumière visible, la vapeur d'eau peut être détectée par des satellites météorologiques car elle absorbe et ré-émet de manière efficace certaines longueurs d'ondes de radiations infrarouges.

24. Les capteurs infrarouges spéciaux à bord des satellites météorologiques ont révélé des régions de concentration accrue de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Ces régions ressemblant parfois à de gigantesques tourbillons ou panaches, peuvent être aperçues circulant à l'intérieur de configurations atmosphériques à grande échelle.
25. La recherche actuelle suggère qu'à tout moment, on peut trouver de la vapeur d'eau atmosphérique, concentrée dans plusieurs grands courants en mouvement et formant l'équivalent de « rivières dans le ciel ».

EXPOSÉ DES FAITS

L'eau et la vapeur d'eau

L'eau à l'état liquide recouvre plus des deux tiers (71 %) de la surface de notre planète tout en constituant plus de la moitié de la masse du protoplasme, la substance de toute matière vivante. La glace recouvre près de 10 % de la surface terrestre sous forme de glaciers et de nappes de glace. La vapeur d'eau atmosphérique est le parent des nuages et des précipitations tout en jouant un rôle important dans le transport d'énergie à l'échelle globale. Dans l'environnement terrestre, l'eau possède la propriété remarquable d'être la seule substance existant naturellement en grande quantité dans ses trois états : solide (glace), liquide (eau) et gaz (vapeur), aux températures et pressions existant à la surface et près de la surface de la Terre.

Invisible à l'œil nu, la vapeur d'eau est une composante atmosphérique extrêmement importante. C'est d'abord à l'état gazeux que la substance eau est transportée d'un endroit à l'autre dans l'air, à l'échelle globale. Lorsqu'elle se condense, il y a formation de nuages qui, à leur tour, amènent des précipitations. L'atmosphère transporte d'immenses quantités d'eau (vapeur) et d'énergie (chaleur latente) et les redistribue de manière à garder l'équilibre d'eau et d'énergie

autour de la Terre. Aussi, la vapeur d'eau absorbe continuellement les radiations infrarouges (chaleur), ce qui complique l'équilibre énergétique de la Terre.

La vapeur d'eau dans le cycle de l'eau

Le cycle hydrologique ou cycle de l'eau nous donne une vue d'ensemble du mouvement et des échanges de la substance eau dans l'atmosphère, les océans et sur Terre. Un courant continu de la substance eau est maintenu dans l'atmosphère alors que l'énergie solaire évapore d'énormes quantités d'eau provenant des surfaces terrestres et des océans. Les vents transportent l'air humidifié vers d'autres régions où la vapeur d'eau se condense pour former des nuages dont certains produisent de la pluie ou de la neige. Lorsque les précipitations tombent dans l'océan, l'eau est prête à entreprendre son cycle à nouveau. Lorsque l'eau tombe au sol, elle peut être évaporée à nouveau vers l'atmosphère ou commencer ce qui peut être un voyage de retour complexe vers l'océan.

Bien que l'ensemble du cycle de l'eau soit très complexe, le segment qui nous intéresse le plus ici est celui dans lequel la substance eau voyage de

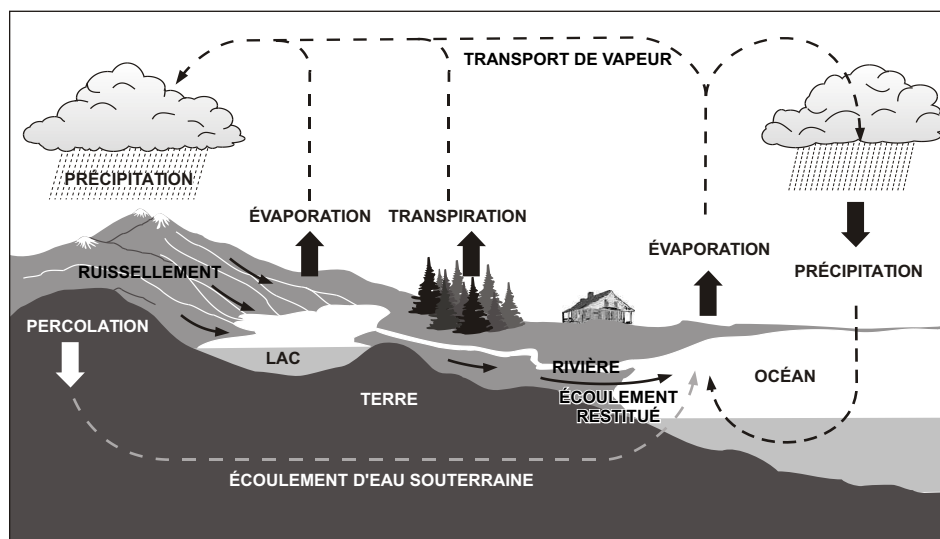


Illustration de certaines des complexités du cycle de l'eau

l'océan vers l'atmosphère, passe à travers l'atmosphère puis retourne à la surface de la Terre. Ce cycle amène des précipitations ainsi que l'eau douce nécessaire à la vie au-delà des océans. Ce n'est que la portion atmosphérique du cycle de l'eau qui peut restaurer la substance eau, sous forme de vapeur, et l'amener au niveau où elle pourra reprendre son courant descendant vers l'océan, complétant ainsi son cycle.

À tout moment, on ne retrouve que 0,001 % de l'eau de la Terre dans l'atmosphère alors qu'il y en a 97 % dans tous les océans du monde. De plus, environ 2 % se trouve dans les champs de glace et les glaciers, 0,6 % dans les eaux souterraines et 0,01 % dans les lacs et les rivières.

Alors que 24 % de toutes les précipitations à l'échelle globale retombe au sol, l'évaporation des surfaces terrestres ne compte que pour environ 15 % du total de la vapeur d'eau qui entre dans l'atmosphère. Ce déséquilibre est comblé par l'évaporation des océans : ces derniers perdent plus d'eau par évaporation qu'ils n'en reçoivent directement par les tempêtes. Autrement dit, les océans sont à la source des gains nets d'eau des surfaces terrestres. Cependant, ces gains nets d'eau sont éventuellement retournés aux océans par l'écoulement des ruisseaux et par les eaux souterraines pour maintenir un équilibre global de l'eau.

Les océans recouvrent plus de 70 % de la surface terrestre jusqu'à une profondeur moyenne d'environ 4 000 mètres. Au cours de chaque année, il y a évaporation vers l'atmosphère d'une couche d'environ un mètre de la surface des océans. Un montant égal est retourné vers les océans au moyen de précipitations et de ruissellement. À tout moment, la masse totale d'eau emmagasinée dans l'atmosphère suffirait à ne couvrir la Terre entière que d'une couche d'eau liquide de seulement 2,5 cm de profondeur. Cela équivaut à l'approvisionnement en précipitations d'un peu plus d'une semaine dans le monde entier. Ainsi, l'eau réside dans l'atmosphère environ une dizaine de jours. À titre

de comparaison, l'eau réside dans les océans pour une période de 4 000 ans (la profondeur de 4 000 mètres divisée par le taux d'évaporation d'un mètre par année).

Au cours des ans, les montants annuels de précipitation mesurés dans des milliers de lieux autour du monde ont été remarquablement stables. Il n'y a pas eu de changements dramatiques à court terme dans le niveau global de l'eau de la mer ni dans la quantité de glace bloquée dans les nappes glaciaires et les glaciers. Les mesures atmosphériques (selon une moyenne globale) indiquent aussi un contenu d'eau assez constant. Puisqu'aucun réservoir d'eau ne change de façon importante (du moins en autant que nous puissions le mesurer avec certitude) nous pouvons conclure que le cycle global de l'eau est essentiellement en équilibre.

Alors qu'il existe un équilibre mondial dans le montant des précipitations et de l'évaporation, aucun équilibre local n'existe dans la plupart des endroits sur Terre. Ces déséquilibres se reflètent dans les types de climats observés. Les climats humides (tel celui des forêts tropicales) se trouvent là où les précipitations dépassent la quantité d'évaporation, tandis que les climats secs (les déserts) existent là où l'évaporation est plus grande que les précipitations.

Même les climats tempérés des latitudes moyennes comportent des déséquilibres locaux. On n'a qu'à se rappeler les périodes de plusieurs jours de beau temps suivis d'un jour pluvieux ou deux. L'évaporation dominait les temps ensoleillés tandis que les précipitations dépassaient de beaucoup l'évaporation pendant les orages. Au même moment, les latitudes moyennes reçoivent l'humidité transportée par l'atmosphère en provenance des latitudes plus basses.

L'évapotranspiration et la vapeur d'eau

La vapeur d'eau atteint l'atmosphère principalement au moyen de l'évapotranspiration d'une source d'eau à la

surface de la Terre. L'évapotranspiration comprend l'évaporation d'eaux libres (de l'océan, d'un lac, d'une rivière ou d'une autre surface de cours d'eau), la sublimation de l'eau solide (une surface de glace ou de neige) qui passe directement à l'état de vapeur, ou la transpiration de l'eau à partir de la végétation. La transpiration représente généralement la source la plus élevée de vapeur provenant des surfaces terrestres, tout simplement parce que les surfaces d'eau constituent une plus petite proportion de l'espace terrestre des continents ; d'où l'utilisation du terme d'évapotranspiration pour englober les trois formes d'évaporation. Un quatrième processus d'évaporation, relativement moins important que les trois premiers, se passe dans l'atmosphère elle-même, et c'est l'évaporation à partir des précipitations qui tombent, à laquelle les observateurs de météo ont donné le nom de virga.

On trouve la vapeur d'eau dans l'air en quantités variables, allant de près de zéro jusqu'à environ 4 % par volume, dépendant à la fois de la température et de la disponibilité de l'eau. Le contenu le plus élevé de vapeur d'eau se trouve au-dessus de surfaces chaudes et mouillées. Le plus bas se trouve là où les températures sont les plus basses ou dans les zones désertiques où il y a très peu de sources d'eau de surface. Il est important de se rappeler que la masse totale d'eau dans l'atmosphère, à tout moment, ne suffirait qu'à couvrir la Terre d'une couche d'eau de 2,5 cm de profondeur si elle tombait toute en même temps.

À n'importe quelle température donnée, il y a une quantité maximum de vapeur d'eau qui peut exister dans un volume d'air. Cela se produit à cause de la coexistence possible des états de vapeur, de liquide et de solide à l'intérieur des écarts de température et de pression qui existe dans l'atmosphère. Une fois que la concentration maximale de vapeur d'eau est atteinte pour une température, toute vapeur additionnelle passera à l'état liquide ou solide (pluie ou neige).

Plus la température est élevée, plus un volume d'air est capable de contenir de vapeur d'eau. Ainsi, tout changement de température modifie la capacité d'un volume de contenir de la vapeur d'eau. Lorsque l'air se réchauffe, la capacité de retenir de la vapeur d'eau augmente et lorsque l'air se rafraîchit, la capacité diminue.

La capacité maximale qu'a un volume d'air de contenir de la vapeur d'eau augmente à un taux croissant au fur et à mesure que la température augmente. Quant à la gamme des températures qu'on retrouve normalement près de la surface de la Terre, cette capacité double approximativement à chaque 10° C de réchauffement. Inversement, un refroidissement de 10° C réduit de presque la moitié la capacité d'un volume à retenir la vapeur d'eau.

Température (°C)	Capacité de vapeur (g/m ³)
-20	1,1
-15	1,6
-10	2,3
-5	3,4
0	4,8
5	6,8
10	9,4
15	12,9
20	17,3
25	23,2
30	30,5

Comment la capacité de vapeur d'eau varie selon la température près du niveau de la mer (saturation d'humidité absolue)

La vapeur d'eau se comporte comme les autres composants gazeux de l'air aussi longtemps que sa concentration maximale n'est pas atteinte.

Lorsque de la vapeur d'eau est ajoutée à un volume d'air sans changement de température ni de pression, la densité du volume diminue. Lorsqu'un mélange de gaz (tel que l'air) est gardé à la même température et à la même pression, le nombre total de molécules demeurera constant dans un volume donné. Si on ajoute des molécules d'eau plus légères, cela forcera l'air plus lourd à sortir du volume, résultant en un volume plus léger.

GAZ	POIDS		NOMBRE D'ATOMES	=	POIDS MOLÉCULAIRE		POURCENT PAR VOLUME	=	POIDS RELATIF
Oxygène	16	x	2	=	32	x	21%	=	7
Azote	14	x	2	=	28	x	78%	=	22
Poids moléculaire de l'air sec									= 29
Vapeur d'eau (H₂O) (2x1) + 16									18

L'air humide est moins dense que l'air sans vapeur d'eau

L'humidité est la mesure du contenu en vapeur d'eau de l'air. Le terme humidité est utilisé de façon générale pour signifier diverses manières de spécifier le contenu atmosphérique de vapeur d'eau. On peut parler d'humidité absolue ou relative, ou encore d'une température reflétant le contenu d'humidité, comme le point de rosée. On peut la mesurer avec une variété d'instruments, incluant les psychromètres, les hygromètres et les cellules détectrices du point de rosée.

L'humidité absolue est une des mesures de la quantité de vapeur d'eau effectivement dans l'air. L'humidité absolue est constituée de la masse de vapeur d'eau dans une unité de volume, ou la densité de vapeur d'eau, habituellement mesurée en grammes de vapeur d'eau par mètre cube.

On utilise habituellement l'humidité relative comme mesure de la vapeur d'eau atmosphérique. Exprimée en pourcentage, l'humidité relative est la quantité de vapeur d'eau effectivement présente dans l'air en comparaison avec sa capacité maximale à cette température. L'humidité relative est alors dépendante de la température puisque le montant maximal de vapeur d'eau contenu dans un volume d'air est fonction de la température. En conséquence, les valeurs de l'humidité relative d'une journée typique diminuent au cours de la journée alors que les températures augmentent ;

elles augmentent la nuit quand la température diminue. Cependant, l'humidité absolue ne change pas à moins qu'on ajoute ou qu'on enlève de la vapeur.

Le point de rosée, ou température du point de rosée, constitue une autre mesure habituelle d'humidité.

C'est la température à laquelle l'air doit être refroidi à une pression constante (sans changer le contenu de vapeur d'eau) afin que le montant réel de vapeur d'eau dans l'air soit égal au montant maximal qui pourrait être dans l'air à cette température. Des points de rosée élevés indiquent un contenu élevé de vapeur d'eau atmosphérique. Des points de rosée peu élevés indiquent un contenu peu élevé. L'addition de vapeur d'eau dans l'air augmente le point de rosée alors que l'extraction de vapeur d'eau l'abaisse.

La vapeur d'eau est extrêmement importante pour la météo. Elle se condense pour former des particules de nuage, lesquelles peuvent entraîner des précipitations. Elle relâche de grandes quantités de chaleur latente au moment de se transformer de l'état de vapeur à l'état liquide ou

de glace ; cette chaleur latente est utilisée comme source importante d'énergie pour les tempêtes variant en importance depuis l'orage à l'ouragan à de grands systèmes météorologiques extra-tropicaux. De plus, la vapeur d'eau absorbe fortement et irradie à nouveau les radiations infrarouges (chaleur) à ondes longues, ce qui en fait ainsi le gaz à effet de serre le plus important dans l'équilibre entre chaleur et énergie de la planète.

(Nota : pour un exercice simple démontrant la relation entre la température, le contenu de vapeur d'eau et le point de rosée, voyez la section Activité : investigation de la vapeur d'eau).

Saturation, condensation et précipitation

On dit d'un volume d'air rempli de vapeur d'eau à capacité qu'il est saturé. La saturation peut être obtenue de plusieurs façons. Lorsqu'un volume d'air se refroidit, sa capacité de retenir la vapeur d'eau diminue. Lorsque l'air est refroidi, il arrive à saturation lorsque sa capacité est réduite jusqu'à égaler le montant de vapeur d'eau qu'il contient. On peut aussi obtenir la saturation si on ajoute de la vapeur d'eau à un volume d'air jusqu'à ce qu'il soit plein à capacité. Lorsque l'air est saturé, son humidité relative est de 100 % et, par définition, son point de rosée et sa température doivent être les mêmes.

La vaporisation peut se produire lorsque la région au-dessus d'une surface d'eau ou de glace n'est pas saturée de vapeur d'eau. L'évaporation augmente le contenu en vapeur d'eau dans la région (à moins que la vapeur n'en soit retirée de quelque façon). L'addition de vapeur peut mener à la saturation. Si la région au-dessus de l'eau ou de la glace est renfermée, elle deviendra éventuellement saturée.

On parle généralement de condensation pour désigner le changement d'état de vapeur à celui de liquide ou de glace. Cela se produira si une

région saturée est refroidie et qu'il existe une surface sur laquelle la condensation peut commencer à se former. Il ne se produira que la condensation nécessaire pour maintenir les conditions de saturation. Il y a condensation à chaque fois que des nuages et du brouillard se forment. (Note : curieusement, les météorologues appellent sublimation le changement d'état de vapeur directement vers la glace, ou de la glace vers la vapeur).

L'air ascendant se refroidit par expansion. Lorsqu'un volume d'air se refroidit, il perd de sa capacité de retenir l'humidité et parviendra éventuellement à saturation. Si le refroidissement se maintient, la vapeur d'eau se condensera sur de petites particules présentes dans l'air pour former de minuscules gouttelettes d'eau ou des cristaux de glace solides. C'est ainsi que les nuages sont le plus souvent formés. On retrouve les bases de nuages aux élévations auxquelles la saturation se produit en premier. Un refroidissement et une condensation additionnels amènent ces petites gouttelettes ou cristaux de glace à se multiplier puis, éventuellement, à se rassembler pour former de plus grandes particules de précipitation. Ces dernières atteignent la surface de la Terre soit sous forme de neige, de pluie, de bruine ou de grêle.

L'air peut être refroidi d'autres façons jusqu'à saturation. L'une d'elles est d'amener de l'air chaud et humide au-dessus d'une surface plus froide. L'air est alors refroidi par contact (conduction) et la saturation qui en résulte est appelée brouillard d'advection, un événement courant au-dessus des eaux côtières du Canada. La perte de chaleur par radiation est une autre méthode fréquente de refroidissement de l'air humide. Ce phénomène se produit au-dessus de surfaces terrestres pendant la nuit alors que le ciel est clair ; l'air est ainsi refroidi par contact direct jusqu'à saturation, produisant ainsi un brouillard de rayonnement.

Il peut aussi y avoir saturation s'il y a ajout de vapeur d'eau à de l'air déjà humide. Il se formera

ainsi suffisamment de condensation pour maintenir les niveaux de saturation de la vapeur d'eau. Cela est visible parfois lorsque l'air froid se déplace au-dessus d'une surface plus chaude et mouillée, causant de l'évaporation qui, à son tour, produit une saturation appelée brouillard d'évaporation. Cela se produit souvent au-dessus des plans d'eau côtiers et intérieurs à l'automne, alors que l'air frais passe au-dessus d'une surface d'eau encore relativement chaude. Encore une autre manière d'arriver à la saturation-condensation, est par le truchement de la pluie qui s'évapore dans un air déjà humide, produisant ainsi un brouillard préfrontal.

Observation de la vapeur d'eau

Le réchauffement inégal de l'atmosphère associé à d'autres facteurs fait en sorte que des mouvements se développent, allant de mouvements

microscopiques à des configurations de circulation à grande échelle planétaire. L'eau, en s'évaporant de la surface des océans, libère de l'énergie qui aide à maintenir la circulation générale de l'atmosphère. C'est par cette circulation, que l'eau, sous forme de vapeur et des nuages, est transportée par le vent et des mouvements verticaux à travers l'ensemble de l'atmosphère.

Les instruments à bord des satellites météorologiques permettent de suivre à l'échelle globale les mouvements de l'eau à travers tous ses états au niveau de l'atmosphère. L'imagerie visible et

infrarouge des nuages, utilisée pour les bulletins quotidiens de la météo à la télévision, nous permet d'observer le mouvement de l'eau à l'état liquide et solide. Tel n'est pas le cas pour l'état invisible de vapeur d'eau.

Bien qu'elle soit transparente à la lumière visible, la vapeur d'eau absorbe et émet très bien les radiations infrarouges à certaines longueurs d'ondes. Cette propriété permet aux capteurs spéciaux à l'infrarouge à bord des satellites météorologiques de détecter la vapeur d'eau atmosphérique.

Les deux images satellites (figures 1 et 2) démontrent des perspectives très nettement différentes de l'atmosphère. L'image visible (figure 1) montre la Terre et l'atmosphère comme l'œil humain peut les voir. Les nuages sont des surfaces qui reflètent et ils apparaissent comme étant gris ou d'un blanc éclatant sur l'image. L'image de

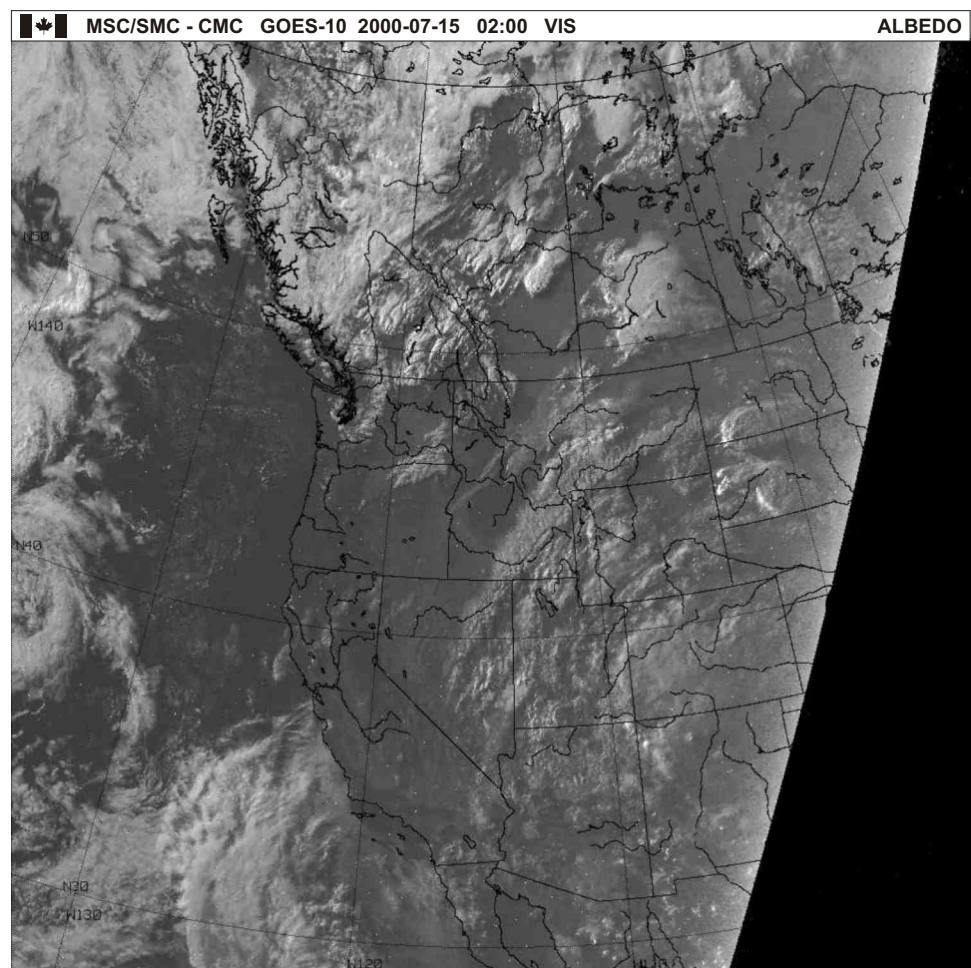


Figure 1 - Image satellite visible

vapeur d'eau (figure 2) présente les nuages (l'eau condensée) et la vapeur d'eau (un gaz invisible à l'œil nu) qui se trouvent dans les parties moyenne et élevée de la troposphère (spécialement 500 - 200 hPa).

Les types de nuages élevés sont d'un blanc éclatant sur l'image de vapeur d'eau et aussi très apparents sur l'image visible. Les nuages plus bas peuvent aussi être vus sur l'image visible mais ne sont pas détectables dans l'image de vapeur d'eau. La différence la plus intéressante, cependant, c'est que les régions qui contiennent plus de vapeur d'eau (non condensée sous forme de nuage) apparaissent d'un blanc laiteux dans l'image de vapeur d'eau mais n'apparaissent pas sur l'image visible (puisque la vapeur d'eau est un gaz invisible).

Ce n'est que récemment que la relation a été établie entre les caractéristiques de l'image de vapeur d'eau et de leurs mouvements et changements dans le temps et les systèmes et processus de circulation atmosphérique.

L'imagerie de vapeur d'eau devient un outil précieux servant à confirmer, modifier ou changer les prévisions météorologiques de manière importante.

Les améliorations récentes dans l'imagerie par satellite en provenance de l'espace ont révélé des régions concentrées de vapeur d'eau atmosphérique dans les niveaux moyens de l'atmosphère. On donne le nom de panache à ces traînées de vapeur d'eau vues dans l'imagerie à cause de leur ressemblance à

des panaches de fumée. Prenant leur origine dans les tropiques, ces panaches ont été observés en mouvement, distribuant de la vapeur d'eau autour de la Terre. Leur influence sur les modèles météorologiques s'étend de l'orage local jusqu'à l'échelle globale.

L'imagerie par satellite révèle qu'à tout moment, environ une demi-douzaine de courants de vapeur existent dans chaque hémisphère. Chacun de ces panaches mesure plusieurs centaines de kilomètres en largeur et des milliers de kilomètres en longueur. Le montant total de vapeur dans un de ces panaches équivaudrait au contenu en eau d'une grande rivière sur Terre. Ces « rivières dans le ciel » semblent associées aux provisions d'humidité des ouragans, aux concentrations importantes d'orages d'été et aux tempêtes d'hiver des latitudes moyennes. Il semble que ce soit de cette manière que la vapeur d'eau atteint de hautes latitudes pour alimenter une grande partie des précipitations du cycle de l'eau.

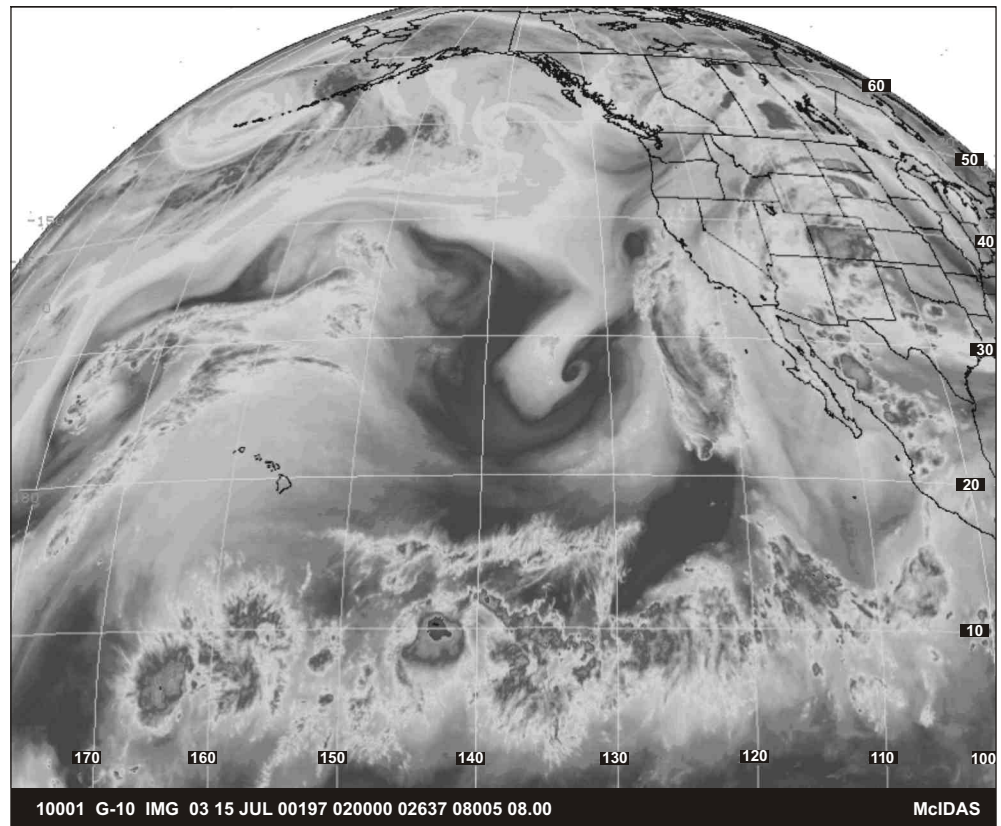


Figure 2 - Image satellite de vapeur d'eau