



Photo : George Huard
Le 10 janvier 2018, 8h30

Météorologie générale

Cours1 - Introduction

Professeure

Eva Monteiro

Tél. : 987-3000 (# 6807)

Courriel : monteiro.eva_rosa@uqam.ca

Local : PK-7340

Monitrice

Vanessa McFadden

Courriel : mcfadden.vanessa@courrier.uqam.ca

Objectif du cours

Décrire de façon phénoménologique les événements météorologiques en se rapportant aux lois de la physique et développer les habilités scientifiques de base qui permettent une description quantitative des phénomènes météorologiques.

Évaluation (avec minitests)

Devoirs (4)	15 %
Minitests (4)	10 %
Mini-présentation dans le cadre des midis-atmosphériques	10 %
Examen intra :	30 %
Examen final (toute la matière):	35 %

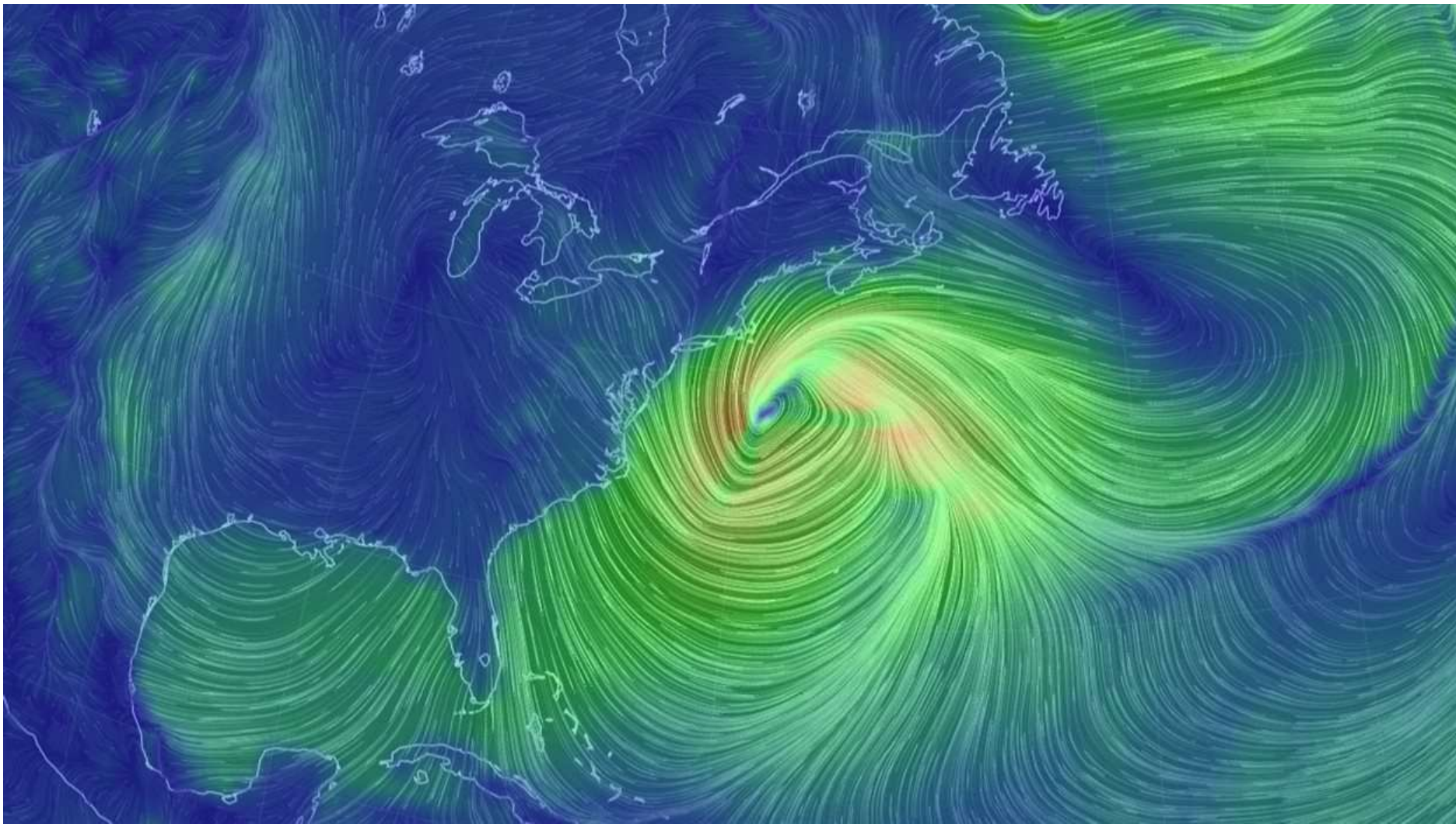
Minitests – 6 minitests, chaque deux semaines, matin après la pause (10h40).
Durée 15 minutes. Évaluation : les 4 meilleurs sur les 6.

Évaluation (sans minitests)

Pour ceux que ne peuvent pas faire les minitests : les 10 points seront alloués aux deux examens :

Devoirs (4)	15 %
Mini-présentation dans le cadre de midis-atmosphériques	10 %
Examen intra :	35 %
Examen final (toute la matière):	40 %

Phénomène météorologique du début de l'année dans tous les médias :
La bombe météorologique



<https://earth.nullschool.net/>

Documentation

Notes de cours : présentations + travaux pratiques

Livres recommandés

Ahrens, C. Donald, 2009 : *Météorology Today*, 9th Edition, Brooks/Cole, 549 p. ISBN-10 : 0-495-11558-4

Lee M. Grenci and Jon M. Nese, 2010. *A Wold of Weather. Fundamentals of Meteorology*, Fifth edition, Kendall Hunt publishing company, 795 p.
ISBN : 978-0-7575-5893-1.

Autres

Stull, R. B., 2000: *Meteorology for Scientists and Engineers*, 2nd Edition, Brooks/Cole, 502 p. ISBN-10 : 0-534-37214-7

Wallace, John M. and Peter V. Hobbs, 2006 : *Atmospheric Science – An Introductory Survey*, 2nd Edition, ELSEVIER, 438 p. ISBN-10 : 0-12-73295-1

Caractéristiques de l'atmosphère et les outils d'observation et d'analyse

- Les sciences de l'atmosphère
 - Météorologie versus climatologie
 - Composition de l'atmosphère
 - L'air est un mélange de gaz parfaits
 - Les variables météorologiques
 - La densité
 - Loi de gravitation de Newton : masse d'air dans le champ gravitationnel terrestre : équilibre hydrostatique
 - La pression
 - La température
- Principes fondamentaux de la mesure
 - Échelles spatiales
 - Les projections cartographiques
 - Échelles temporelles
 - Échelles de température

Les outils d'observation et d'analyse

- L'analyse météorologique
 - Les outils spatiaux
 - Le modèle de la station
 - Les isolignes
 - Notion de gradient
 - Les outils temporels
 - Les météogrammes

Les sciences de la Terre et de l'atmosphère

- Les sciences de l'atmosphère
 - Climatologie
 - Météorologie
-



- Atmosphère
- Lithosphère
- Biosphère
- Hydrosphère
- Cryosphère
- Anthroposphère

Géosphère

Les sciences de l'atmosphère

Météorologie et climatologie

Citation : «**Climate** is what you expect, **weather** is what you get», Robert Heilein, écrivain (fiction scientifique).

Le **climat** est ce qu'on s'attend. Le **temps** est ce qu'on obtient.



Source : <http://actualite.lachainemeteo.com/actualite-meteo>

Les sciences de l'atmosphère

Météorologie et climatologie

- La **météorologie** a pour objet l'étude et la connaissance des **phénomènes atmosphériques** et des lois qui les gouvernent. C'est une discipline fondée sur des observations scientifiques précises qui reposent sur les lois de la physique et de la chimie.
 - Le **temps** (ou **la météo**) réfère aux conditions atmosphériques à **un moment précis** et en un lieu donné.
 - La **climatologie** est l'étude de la **statistique** des phénomènes atmosphériques à l'échelle d'une région, d'un pays, ou de la planète entière. Pour cela, elle utilise des observations météorologiques sur une période d'au moins **trente ans**.
 - Le **climat** réfère aux conditions météorologiques **moyennes** en un lieu donné soit pour une année, une saison, ou une journée **typiques**.
-

Bulletin météorologique

www.meteo.gc.ca

ENVIRONNEMENT CANADA

Prévisions émises à : 11h30 HNE le mercredi 13 janvier 2010

Aujourd'hui:

Faible neige intermittente cessant tard cet après-midi. Nuageux par la suite.
Maximum moins 10.

Ce soir et cette nuit:

Passages nuageux. Minimum moins 13.

Jeudi:

Nuageux avec percées de soleil. Maximum moins 3.

Vendredi:

Alternance de soleil et de nuages avec 30 pour cent de probabilité d'averses de neige. Minimum moins 2. Maximum plus 2.

- On s'habille tous les jours en fonction de la météo...

Données climatologiques

- ... mais on consulte les données climatiques pour renouveler sa garde-robe, ou pour planifier des vacances.

<http://meteocentre.com/climate-monitoring/radial.php?city=mtl&year=2018&lang=fr>

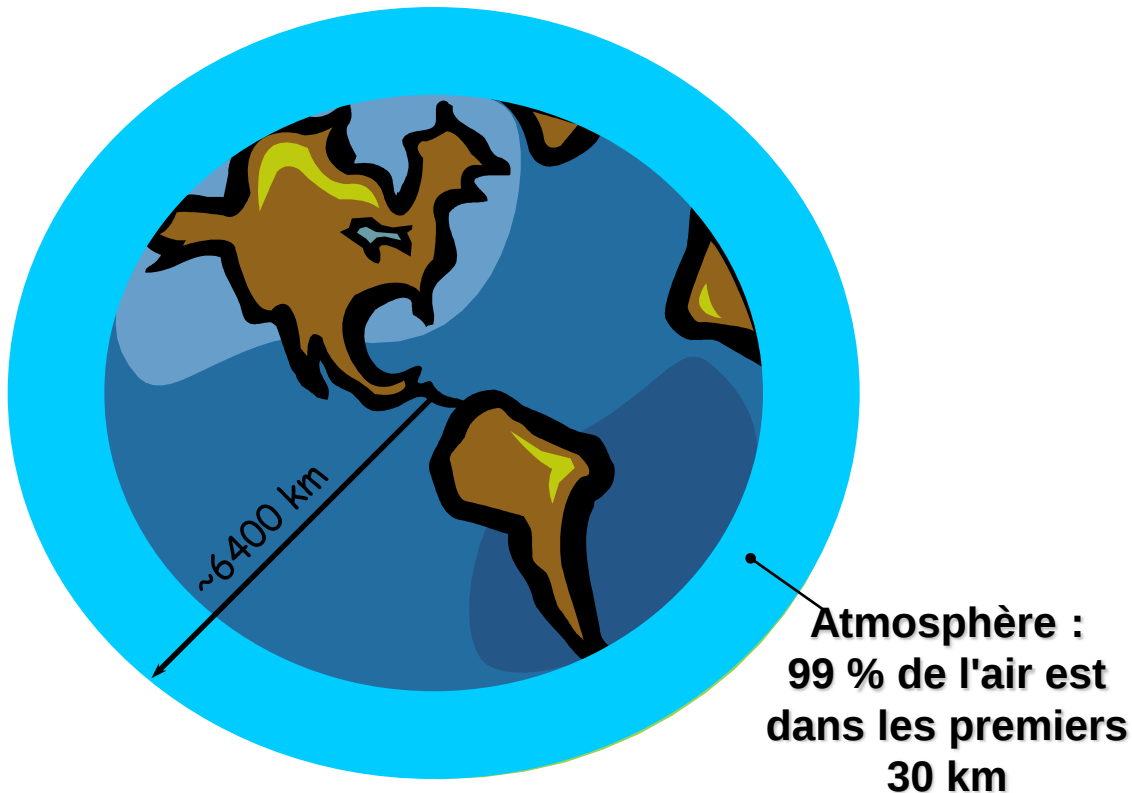
Suivi du climat

L'atmosphère

COMPOSITION

L'atmosphère, une fine enveloppe

- 99 % de l'atmosphère est dans les premiers 30 km
- Le rayon de la Terre est d'environ 6400 km, l'épaisseur de l'atmosphère est donc $\sim 0,5$ % du rayon de la Terre.



Principaux gaz qui composent l'atmosphère en dessous de 100 km

Air sec

Gaz constituants	Fraction molaire	
	(%)	(ppm)
Azote (N ₂)	78.084	
Oxygène (O ₂)	20.946	
Argon (Ar)	0.934	
Néon (Ne)	0.00182	18.2
Hélium (He)	0.000524	5.24
Méthane (CH ₄)	0.00015	1.5
Krypton (Kr)	0.000114	1.14
Hydrogène (H ₂)	0.00005	0.5
Xénon(Xe)	0.0000087	0.087

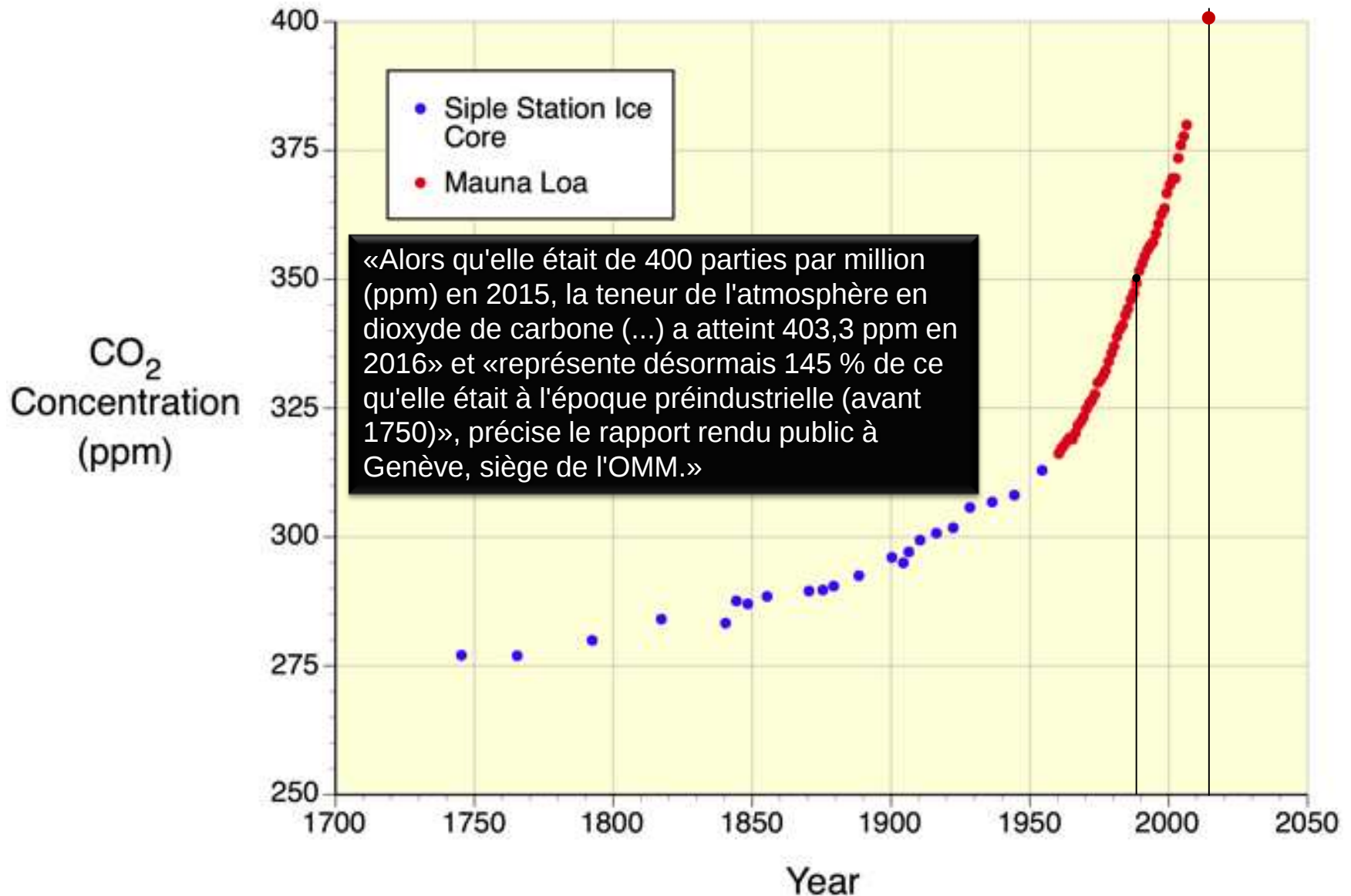
Principaux gaz à concentration variable

Vapeur d'eau (H ₂ O)	0-3	
Dioxyde de carbone (CO ₂)*	0.0400	400
Monoxyde de carbone (CO)		< 100
Dioxyde de soufre (SO ₂)		0 - 1
Dioxyde d'azote (NO ₂)		0 - 0.2
Ozone (O ₃)		0 - 2

* Concentration de dioxyde de carbone en 2015

Atmospheric Concentration of Carbon Dioxide (1744-2005)

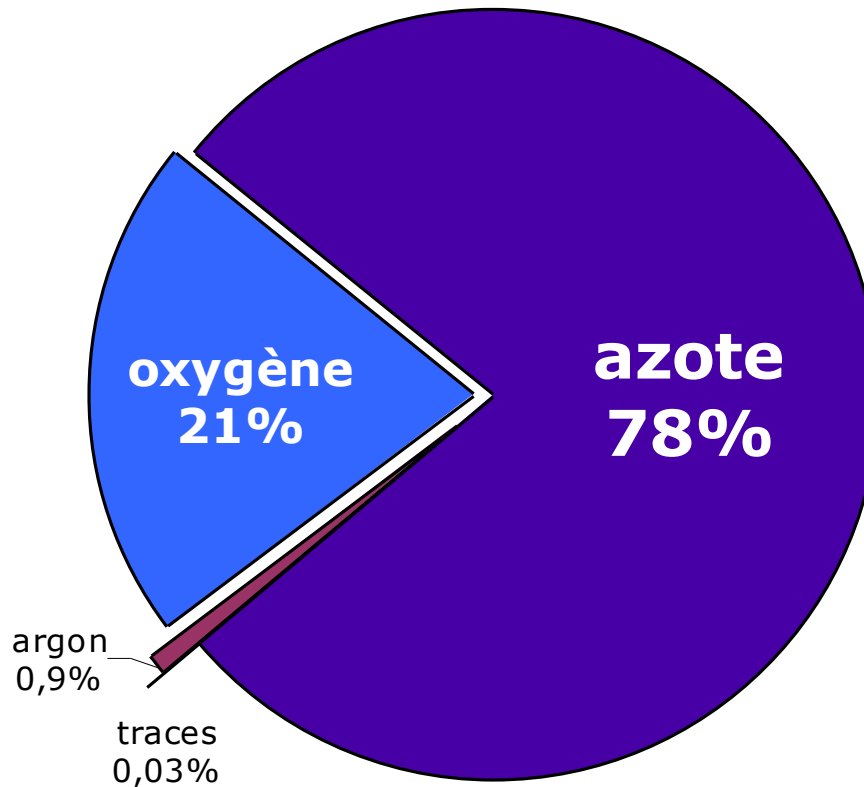
1-20



Suivi des concentrations de CO₂ : <https://www.co2.earth/>

Composition de l'air sec dans les premiers 100 km de l'atmosphère

Air sec : par définition, l'air sec est le gaz atmosphérique, au dessous de l'altitude de 100 km, dont la fraction molaire est invariable dans le temps et dans l'espace



*Nombres arrondis afin d'être concis. Voir tableau.

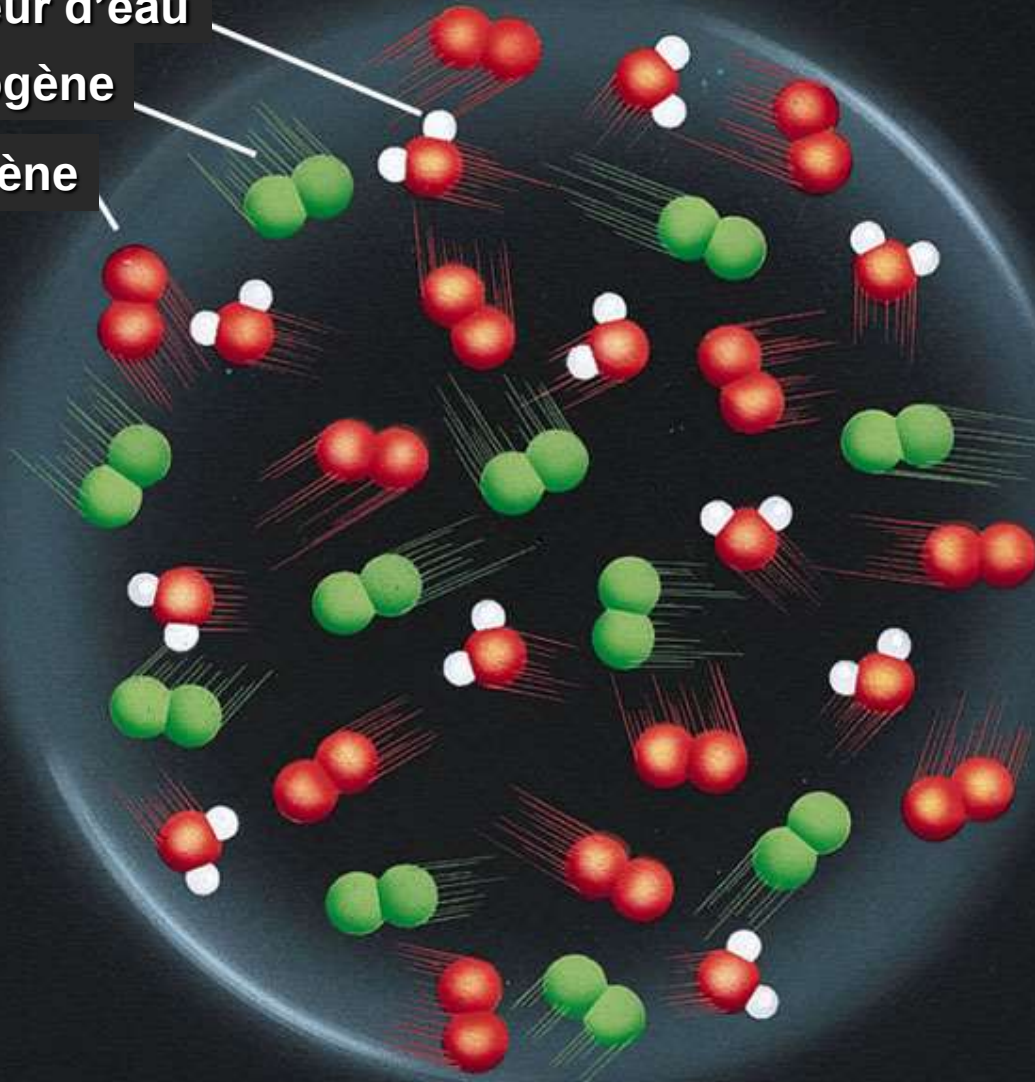
L'état de l'atmosphère

LES VARIABLES D'ÉTAT

Vapeur d'eau

Nitrogène

Oxygène



Parcelle d'air humide

- 1) L'air atmosphérique est un mélange de gaz parfaits.
- 2) Un gaz parfait obéit à l'équation d'état des gaz parfaits :

$$p \cdot V = n \cdot R^* \cdot T,$$

où n est le nombre de moles, R^* est la constante des gaz parfaits, p la pression, V le volume et T la température.

Équation des gaz parfaits

$$p \cdot V = n \cdot R^* \cdot T$$

Où V est le volume,

n est le nombre de moles et

$R^* = 8,3143 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ est la constante universelle des gaz.

Soit M la masse molaire du gaz, alors :

$$p \cdot V = n \cdot R^* \cdot T = \frac{m}{M} \cdot R^* \cdot T = m \cdot R \cdot T$$

$$n = \frac{m}{M}$$

et

$$R = \frac{R^*}{M}$$

où m est la masse du gaz, R est la constante spécifique des gaz pour l'espèce considérée.



Formes de l'équation d'état pour un gaz parfait

p : pression, [Pa]

V : volume, [m³]

T : température [K]

m : masse [kg]

M : masse molaire [kg mol⁻¹]

$n = m/M$: nombre de moles [mol]

R^* : constante universelle, [J mol⁻¹ K⁻¹]

$R = R^*/M$: constante spécifique, [J kg⁻¹ K⁻¹]

$\alpha = 1/\rho$: volume spécifique [m³ kg]

$\rho = m/V$: densité de l'air [kg m⁻³]

$$p \cdot V = n \cdot R^* \cdot T = m \cdot R \cdot T$$

$$\frac{pV = m \cdot R \cdot T}{m} \Rightarrow p \cdot \alpha = R \cdot T$$

$$\frac{p \cdot V = m \cdot R \cdot T}{V} \Rightarrow p = \rho \cdot R \cdot T$$



Mélange de gaz parfaits

Dans un mélange idéal de gaz parfaits, les molécules de gaz s'ignorent mutuellement: elles se comportent comme si elles étaient toutes seules dans le volume.

On définit alors la **pression partielle**, p_i , d'un gaz i dans un mélange de volume V par :

$$p_i \cdot V = n_i \cdot R^* \cdot T$$

La pression partielle du gaz i est la pression qu'exercerait ce gaz s'il était seul dans le volume V occupé par le mélange.

La pression totale d'un mélange idéal de gaz parfaits est égale à la somme des pressions partielles des différents constituants. C'est la loi de Dalton



Pression partielle et pression atmosphérique

- La **pression atmosphérique** est la force par unité de surface exercée par le poids de l'air au-dessus de la surface.
- La **pression partielle** est la pression qu'exerce une seule espèce gazeuse du mélange air atmosphérique.
 - Exemple : Sachant que l'air sec est essentiellement composé d'azote (~78%), d'oxygène (~21%) et argon (~1%), on sait qu'à la pression standard, soit 1013,25 hPa, la répartition des pressions partielles est :

AZOTE (N₂)

~ 790 hPa

OXYGÈNE (O₂)

~ 213 hPa

ARGON (Ar)

~ 10 hPa

Dans l'homosphère, les pressions partielles de l'azote, de l'oxygène et de l'argon dépendent uniquement de la pression totale puisque leur proportion en volume (fraction molaire) est constante.

Mélange de gaz parfaits

Pour chaque espèce du mélange, on a que $p_i \cdot V = n_i \cdot R^* \cdot T$

En appliquant la **loi de Dalton**, on obtient que

$$\sum p_i \cdot V = \sum n_i \cdot R^* \cdot T = n \cdot R^* \cdot T = m \cdot \frac{n}{m} \cdot R^* \cdot T$$

ou **m** est la masse totale du mélange. Or, si on définit

$$\bar{M} = \frac{m}{n} = \frac{\sum m_i}{n} = \frac{\sum n_i \cdot M_i}{n} = \sum \chi_i \cdot M_i \quad \leftarrow m_i = n_i M_i$$

comme étant la masse molaire moyenne et $\chi_i = n_i/n$ la fraction molaire de chaque espèce du mélange, on obtient l'équation d'état pour un mélange de gaz parfaits.

$$p \cdot V = m \cdot \bar{R} \cdot T \quad \leftarrow pV = m \frac{R^*}{\bar{M}} T$$





Mélange de gaz parfaits

Équation d'état :

$$p \cdot V = m \cdot \bar{R} \cdot T = n R^* T \quad \leftarrow \quad pV = m \frac{R^*}{\bar{M}} T$$

Masse molaire moyenne :

$$\bar{M} = \sum \chi_i \cdot M_i$$

Constante spécifique moyenne :

$$\bar{R} = \frac{R^*}{\bar{M}}$$

Fraction molaire :

$$\chi_i \equiv \frac{n_i}{n} = \frac{p_i}{p} = \frac{V_i}{V}, \quad \chi_i (ppm) = 10^6 \chi_i$$

Fraction massique :

$$x_i \equiv \frac{m_i}{m} = \frac{n_i M_i}{n \bar{M}} = \chi_i \frac{M_i}{\bar{M}}$$

L'air sec : celui que ne contient pas de vapeur d'eau

Gaz	M_i (g mol ⁻¹)	χ_i	$\chi_i M_i$ (g mol ⁻¹)
Azote (N ₂)	28.013	0.7808	21.873
Oxygène (O ₂)	31.999	0.2095	6.704
Argon (Ar)	39.948	0.0093	0.372
Dioxyde de carbone (CO ₂)	44.010	0.0003	0.013
etc...	...	...	...

Masse molaire moyenne :

$$M_d = 28,964 \text{ g mol}^{-1}$$

Constante spécifique moyenne :

$$R_d = \frac{R^*}{M_d} = 287,05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Équation d'état :

$$p_d \cdot \alpha_d = R_d \cdot T$$

$$\alpha_d = \frac{V}{m_d} = \frac{1}{\rho_d}$$

La densité ou masse volumique

La **densité** ou **masse volumique**, ρ , est une caractéristique d'un matériau. Elle est donnée par le rapport

$$\rho = \frac{m}{V}$$

de la masse m d'une substance homogène, emplissant un volume V de cette substance. L'unité de mesure de ρ est kg m^{-3} .

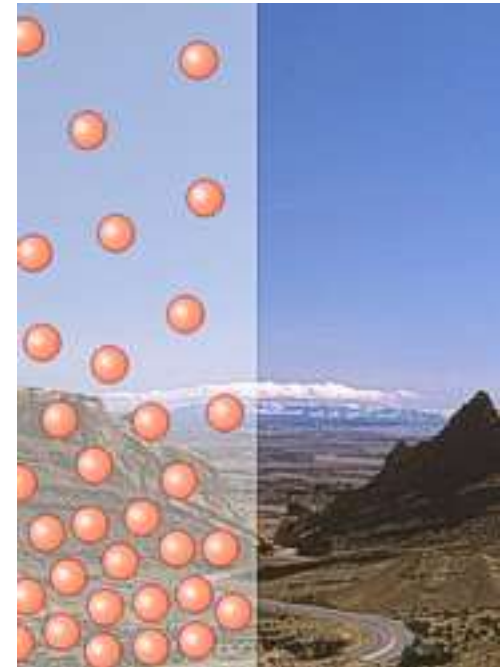
L'air sec (composition constante) est un mélange de gaz parfaits. Dans le cas des gaz parfaits :

$$\rho_d = \frac{p}{R_d \cdot T}$$

p = pression en Pa

T = température en K

$R_d = 287 \text{ J}/(\text{kg.K})$ = constante spécifique de l'air sec



La pression

- La **pression est la force par unité de surface** appliquée à un objet dans une direction perpendiculaire à la surface.

$$p = \frac{F}{A}$$

- L'unité de mesure de la pression est le pascal, Pa.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2} = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

C'est une unité plutôt petite. On utilise plus souvent utilisée le kilo pascal, kPa = 1000 Pa.

- **La pression exercée par un fluide est isotrope**, c'est-à-dire elle est d'intensité égale dans toutes les directions. Sa valeur est indépendante de la direction. Elle est une **quantité scalaire**.

Température

- La **température** est une mesure de l'énergie cinétique moyenne de translation des particules qui constituent la matière.

$$E = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle \propto T$$

où $\langle v^2 \rangle$ est la vitesse quadratique moyenne (de translation, rotation et vibration) et m est la masse des particules.

- Pour attribuer une valeur à la température, il faut définir une échelle de mesure. La graduation et le choix des points de références permettent de définir l'échelle de mesure :

Fahrenheit : 0°F (~ congélation de l'eau de mer) et 96°F (~ température corporelle)

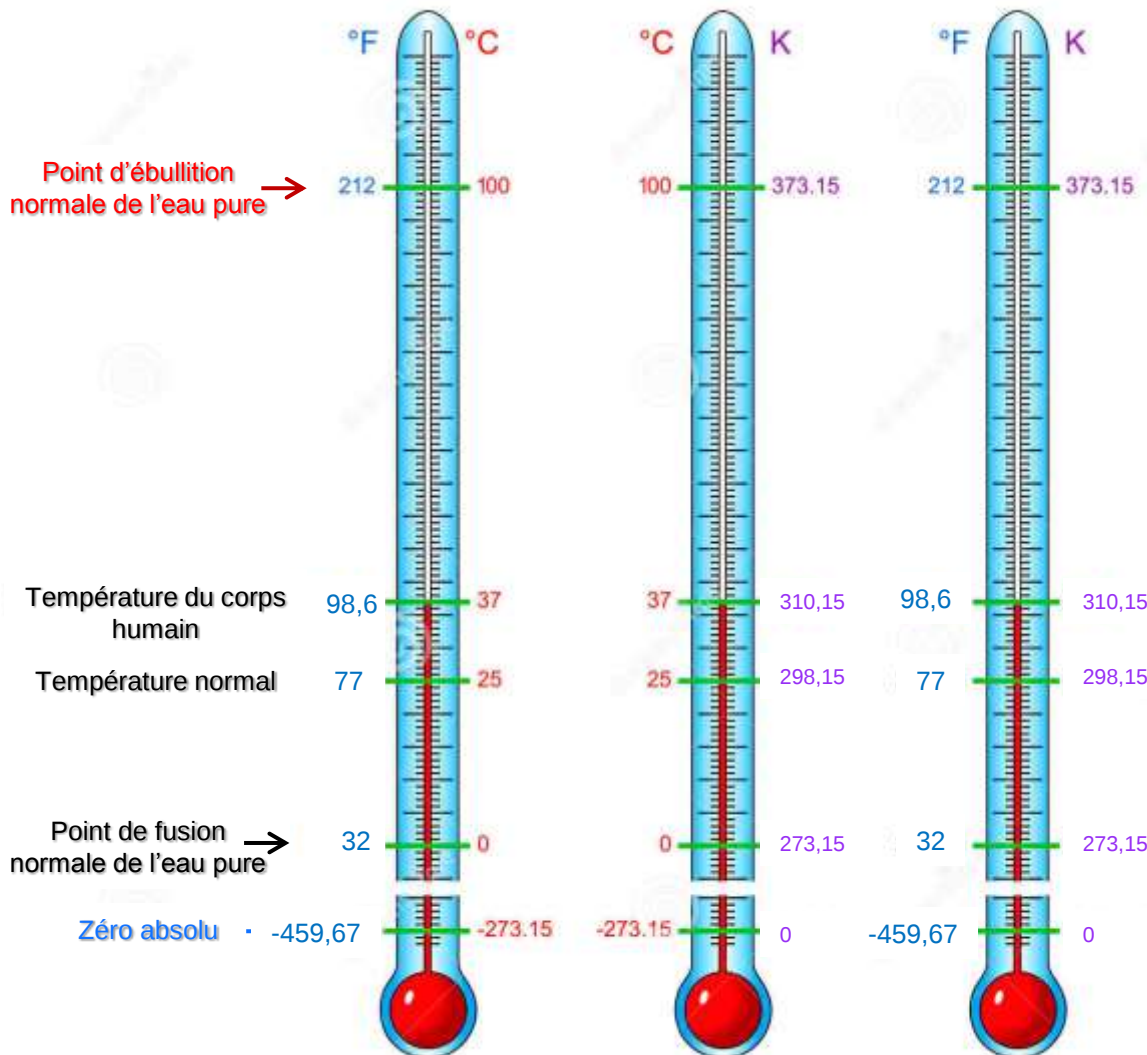
Celsius : 0°C (congélation de l'eau pure) et 100°C (point d'ébullition de l'eau pure)

Kelvin : 273,16 K (point triple de l'eau) avec la même graduation qu'en Celsius (À la température de 0 K les particules de la matière atteignent le minimum absolu de mouvement.)

Échelles de température

$$^{\circ}\text{F} = 1,8 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$



Le **kelvin** (symbole **K**, du nom de William Thomson, Lord Kelvin) est l'unité SI de température thermodynamique aussi connue sous le nom de température absolue.

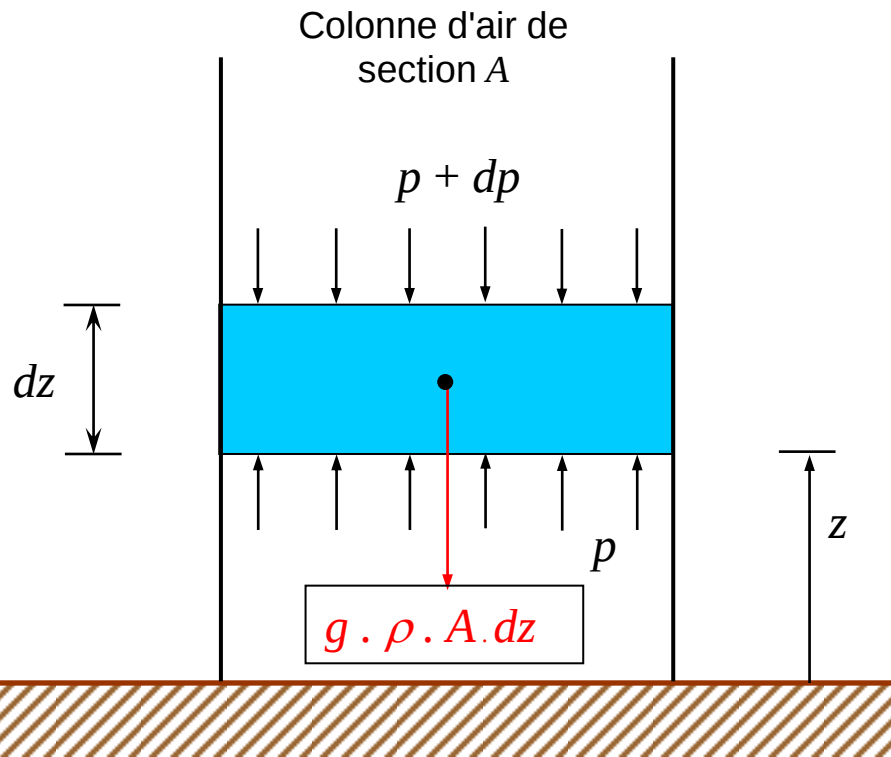
Le **degré Fahrenheit** (symbole : **°F**) unité de mesure de la température, proposée par le physicien allemand Daniel Gabriel Fahrenheit en 1724. Dans cette échelle, le point de solidification de l'eau est de 32 degrés et son point d'ébullition de 212 degrés.

Le **degré Celsius** (symbole **°C**) est l'unité de l'échelle de température Celsius. Son nom est une référence à l'astronome et physicien suédois Anders Celsius, inventeur en 1742 d'une des premières échelles centigrades de température.

Équilibre hydrostatique

L'air atmosphérique est en permanence sous l'action du champ de gravitation terrestre qui exerce une force sur l'air proportionnelle à sa masse. Pourquoi les molécules d'air ne tombent pas? Malgré ses mouvements continuels, l'atmosphère dans la verticale est presque à l'équilibre. Quelle est la force qui équilibre la force de gravité?

C'est la force créée par les variations de pression ou force de gradient de pression. On appelle cet équilibre, l'équilibre hydrostatique.



$$\rho = \frac{m}{V} : \text{densité ou masse volumique}$$

m : masse; V : volume

$$\alpha = \frac{1}{\rho} : \text{volume massique ou spécifique}$$

$$\underbrace{p \cdot A - (p + \delta p) \cdot A}_{\text{Force due au gradient de pression vertical}} + \underbrace{-g \cdot \rho \cdot A \cdot dz}_{\text{Force de gravité (poids)}} = 0$$

$$-dp - g \cdot \rho \cdot dz = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp}{dz} &= -\rho \cdot g \\ \alpha dp &= -gdz \end{aligned} \right\} \text{Équation hydrostatique}$$

Équilibre hydrostatique versus pression

$$\left. \begin{array}{l} \frac{dp}{dz} = -\rho g \\ p = \rho R_d T \end{array} \right\} \rightarrow dp = -\frac{p}{R_d T} g dz$$

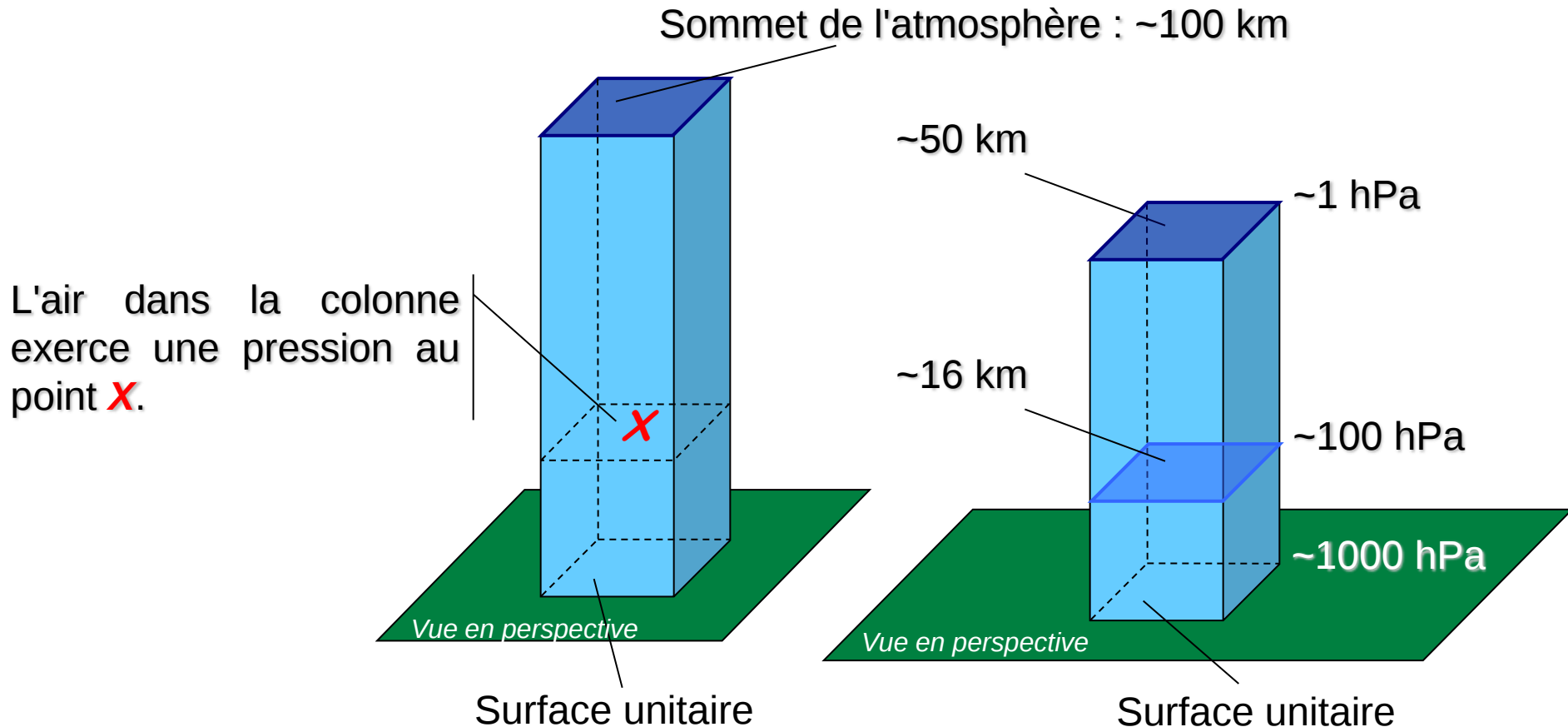
$$\left. \begin{array}{l} \frac{dp}{p} = -\frac{g}{R_d T(z')} dz' \\ \int_{p_0}^{p(z)} \frac{dp}{p} = \int_0^z -\frac{g}{R_d T(z')} dz' \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = \int_0^z -\frac{g}{R_d \cdot T(z')} dz' \\ p = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{g}{R_d} \cdot \int_0^z \frac{dz'}{T(z')}\right) \end{array}$$



Interprétation du résultat :

Dans une atmosphère à l'équilibre hydrostatique la pression atmosphérique diminue exponentiellement avec la hauteur. Le taux de diminution dépend de la température. Plus la température est élevée, moins rapide est la diminution de la température avec l'altitude.

La pression atmosphérique



- La **pression atmosphérique** en **X** est égale à la force par unité de surface exercée par le poids de l'air au-dessus de la surface. Au point **X** la pression augmente ou diminue en fonction du poids de la colonne d'air au-dessus.
- L'air étant compressible, la gravité comprime la majeure partie de la masse atmosphérique près de la surface de la Terre.

Échelle d'hauteur de l'atmosphère

On définit une échelle de hauteur, H , de l'atmosphère comme la hauteur, z , à laquelle la pression est égale à une fraction, $e^{-1}=0,368$, de la pression au niveau de la mer ($z' = 0$ m) :

$$\frac{p}{p_0} = e^{-1} \Rightarrow \frac{g}{R_d} \cdot \int_0^z \frac{dz'}{T(z')} = 1 \Rightarrow \frac{g}{R_d \cdot T_{\text{moy}}} \cdot z \cong 1 \Rightarrow H \cong \frac{R_d \cdot T_{\text{moy}}}{g}$$

$$H \cong R_d \cdot T_{\text{moy}} / g$$



Interprétation du résultat :

La hauteur à laquelle la pression p est égale à p_0/e dépend de la température. Si p_0 est la même, plus la température est élevée, plus il faut monter dans l'atmosphère pour obtenir la même réduction de pression.

Profil vertical de la densité et de la pression

Plus de 99,999 % de l'air atmosphérique sont compris dans les premiers 100 km.

Jusqu'à environ 100 km de hauteur

$$p(z) = p_0 \cdot e^{-\frac{z}{H}}$$

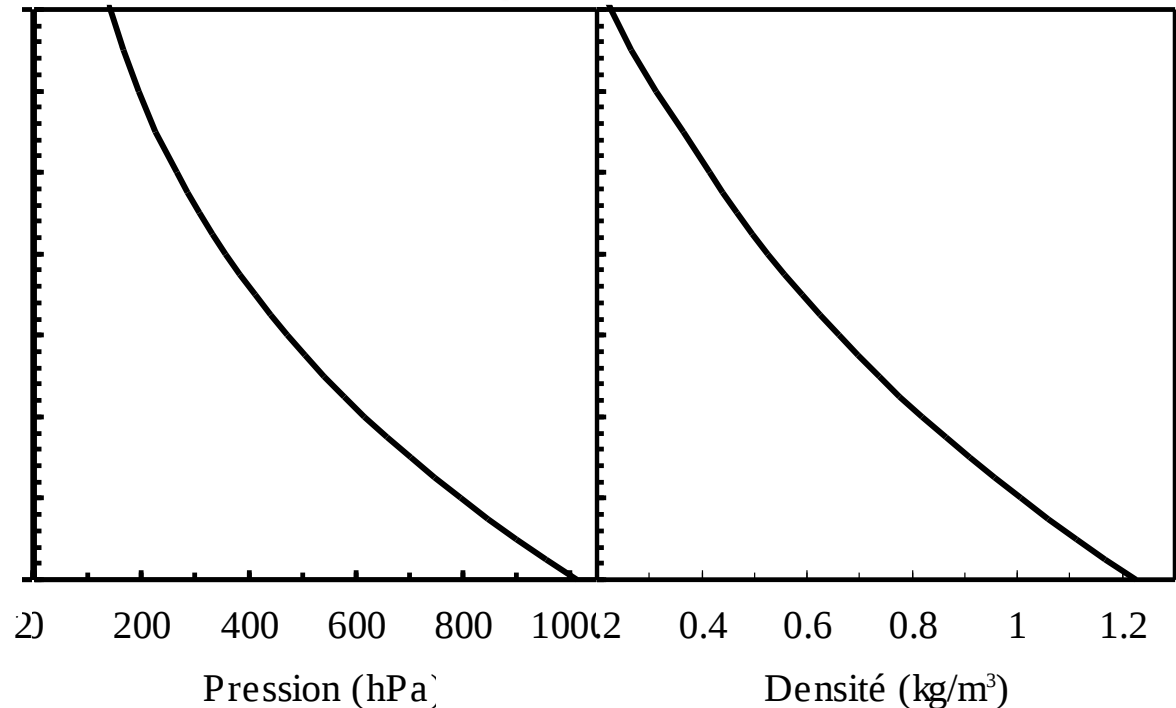
$$\rho(z) = \frac{p}{R_d \cdot T} \cong \rho_0 \cdot e^{-\frac{z}{H}}$$

où

$$\begin{aligned} \rho_0 &\cong 1 \text{ kg m}^{-3}, \\ p_0 &\cong 1013 \text{ hPa et} \\ H &\cong R_d \cdot T_{\text{moy}} / g \\ g &\cong 9,8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

(km)

Atmosphère standard



La densité de l'air dépend de la pression et de la température. Dans l'atmosphère standard la densité de l'air diminue avec la hauteur à un taux semblable à la pression. Serait-il possible que la densité de l'air augmente avec la hauteur? Si oui, est-ce que ce profil de densité se maintiendrait longtemps?

La masse de l'atmosphère

La **pression standard au niveau moyen de la mer** (MSL) est :

$$\Rightarrow \quad \mathbf{p_{MSL} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 1013,25 \text{ hPa} = 1013,25 \text{ mb}}$$

Équivalent à plus de 10 tonnes par mètre carré !

La **pression moyenne à la surface de la Terre** est : **$p_s = 985 \text{ hPa}$**

$$p_s \cong \frac{M_A \cdot g_0}{4\pi \cdot R_T^2} \quad \Rightarrow \quad M_A \cong \frac{4\pi \cdot R_T^2 \cdot p_s}{g_0}$$

ou : $g_0 \cong 9,8 \text{ m s}^{-2}$

Accélération de gravité

$R_T \cong 6,37 \times 10^6 \text{ m}$

Rayon moyen de la Terre

$$\mathbf{M_A \cong 5.14 \times 10^{18} \text{ kg}}$$

L'atmosphère standard ou normalisée

- Définition : **L'atmosphère normalisée** définit des « température et pression normales » (**TPN**) qui permettent de s'affranchir des variations de ces deux paramètres selon le lieu et le temps considérés. Ici, le terme « normal » renvoie à « norme » (valeur arbitraire de référence acceptée par consensus), et non pas à « habituel ». Au niveau de la mer, l'air est « normalement » à 15 °C et à 1 013,25 hPa.

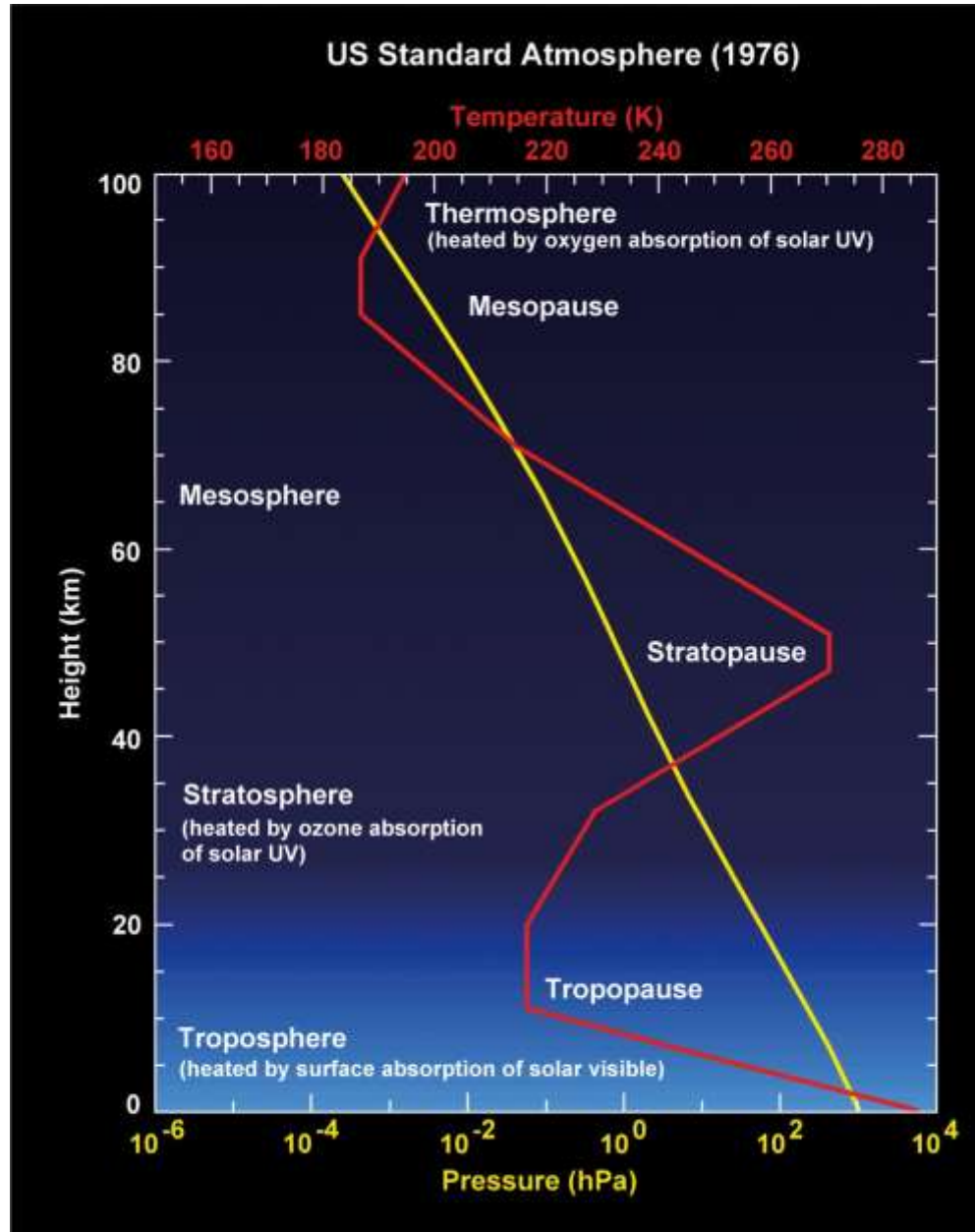


L'atmosphère standard

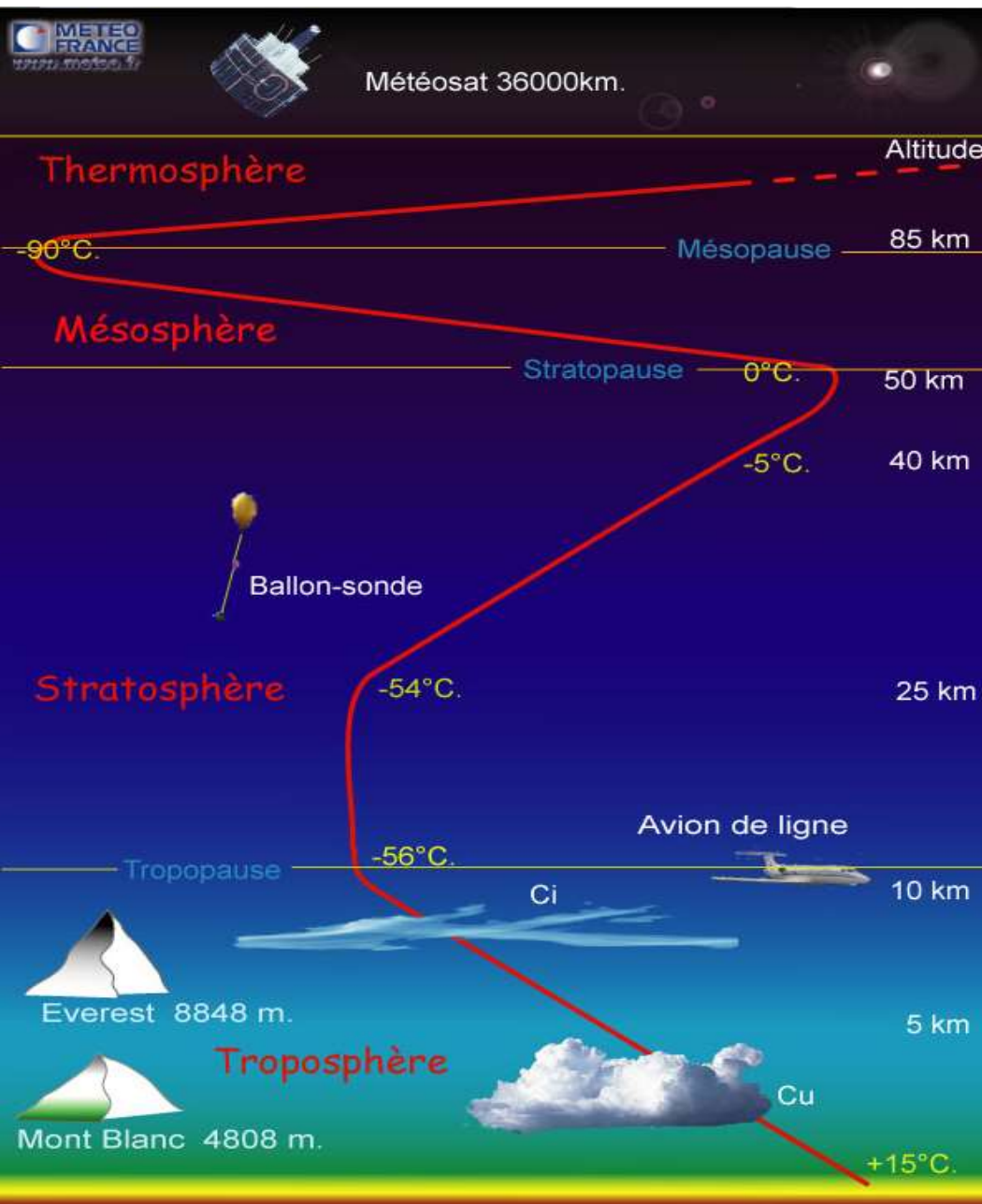
L'«**Organisation internationale de normalisation**» divise l'atmosphère en couches où la température varie linéairement.

<i>Nom de la couche</i>	<i>z (km)</i>	<i>$\frac{dT}{dz}$ (°C/km)</i>	<i>T_{Base} (°C)</i>	<i>p (hPa)</i>
Troposphère	0.0	-6.5	+15.0	1013.25
Tropopause	11.0	0.0	-56.5	226.32
Stratosphère	20.0	+1.0	-56.5	54.749
Stratosphère	32.0	+2.8	-44.5	8.6802
Stratopause	47.0	0.0	-2.5	1.1091
Mésosphère	51.0	-2.8	-2.5	0.66939
Mésosphère	71.0	-2.0	-58.5	0.039564
Mésopause	84.852		-86.2	0.003734

L'atmosphère standard



Profil vertical de la température



Troposphère

La température décroît avec l'altitude car l'atmosphère est presque transparente au rayonnement solaire. C'est le domaine de la Météorologie.

Stratosphère

La température augmente avec l'altitude car il y a de l'ozone qui absorbe une partie du rayonnement solaire ce qui fait augmenter la température.

Mésosphère

Pas grand chose à dire à part que la température diminue.

Thermosphère

La température augmente et dépend de l'activité solaire.

Que se passe-t-il au dessus de 100 km ?

La composition verticale de l'atmosphère est déterminée par :

- i) La diffusion moléculaire
- ii) Le mélange turbulent

La diffusion moléculaire produirait une atmosphère stratifiée avec les gaz plus denses en bas et ceux moins denses en haut. Par contre, le mélange turbulent produirait une atmosphère bien mélangée. Il se trouve qu'en bas de 100 km, la turbulence mécanique et la convection thermique assurent un mélange vigoureux des constituants atmosphériques.

Couches atmosphériques

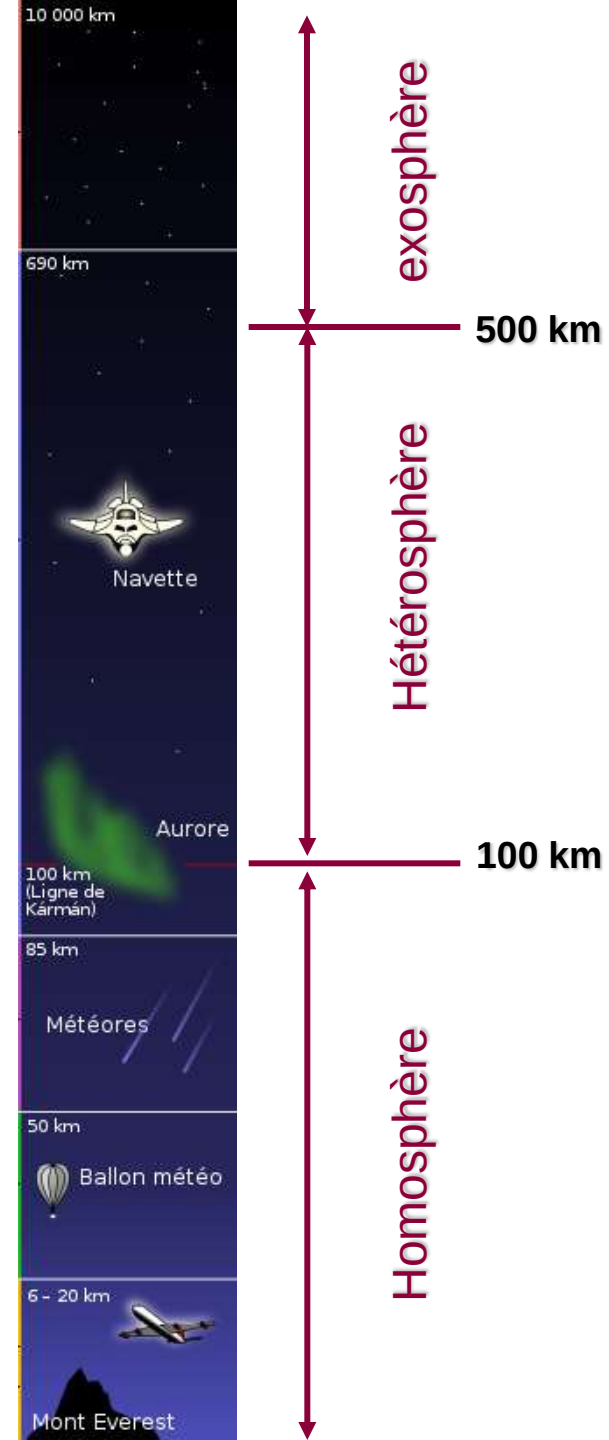
Le mélange turbulent entraîne une composition uniforme et stable du mélange de gaz :

l'**homosphère**.

Autour de $z = 100$ km, la diffusion moléculaire et le mélange turbulent sont à peu près en équilibre (**turbopause**)

Au-delà de 100 km, la diffusion moléculaire domine, c'est l'**hétérosphère**.

Au dessus d'environ 500 km, l'**exobase**, on rentre dans l'**exosphère** où les particules plus légères échappent à la pesanteur et sont attirées vers l'espace intersidéral.



Atmosphère standard jusqu'à 300 km

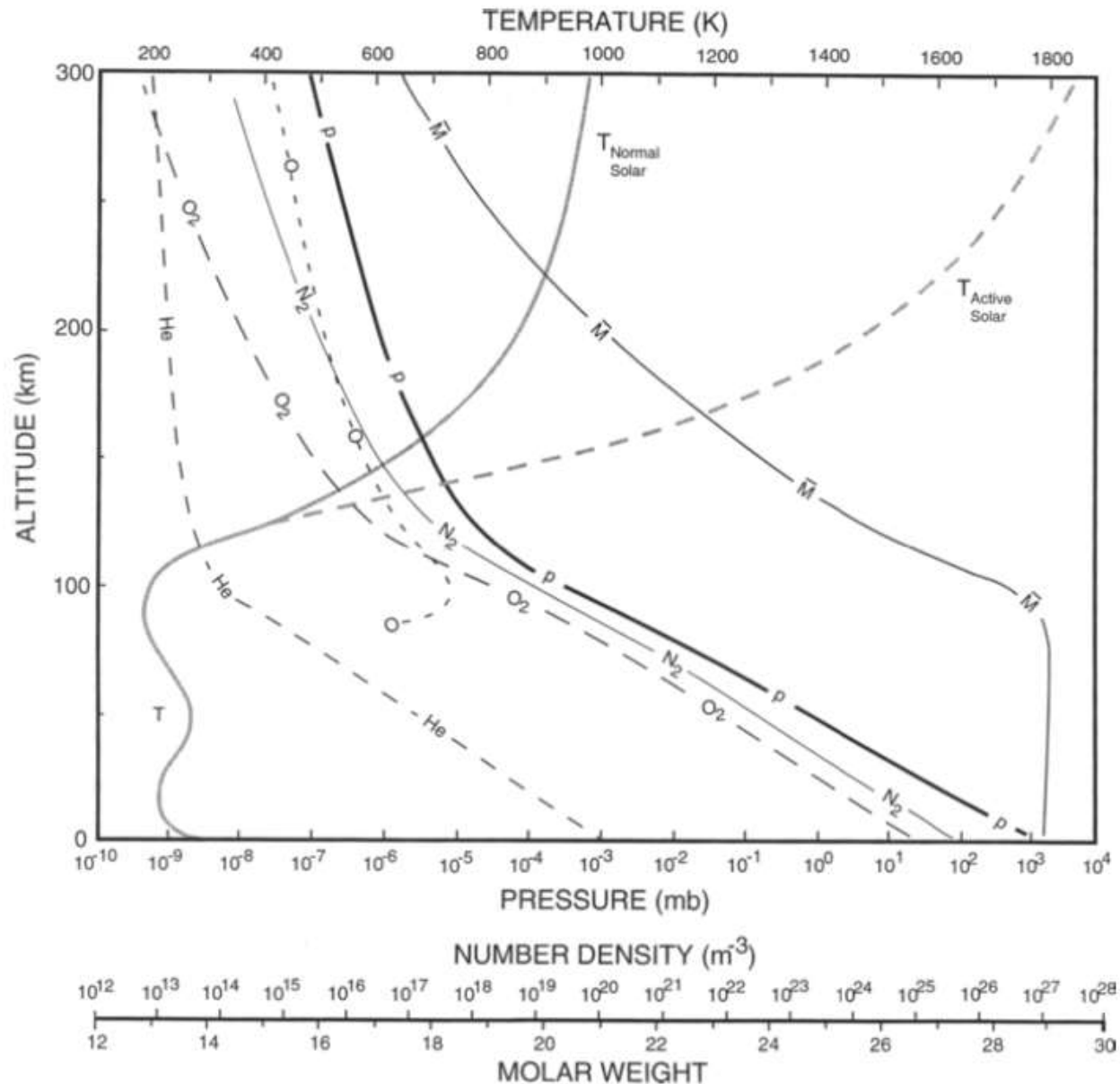
Profils verticaux

Courbe épaisse et noire : pression atmosphérique moyenne

Courbe grise : Température moyenne

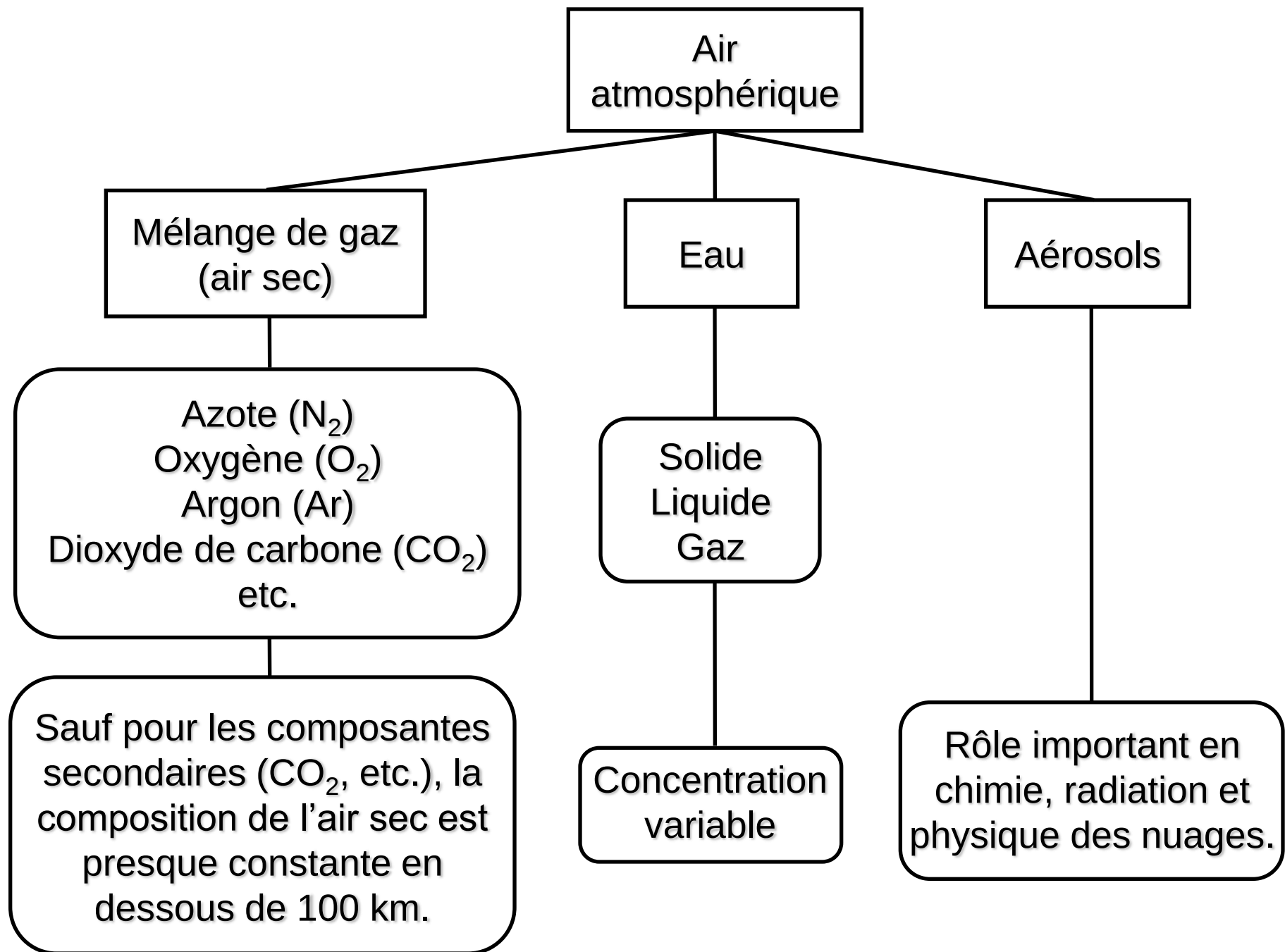
Autres : divers constituants atmosphériques

Source : «US standard atmosphere (1976)»



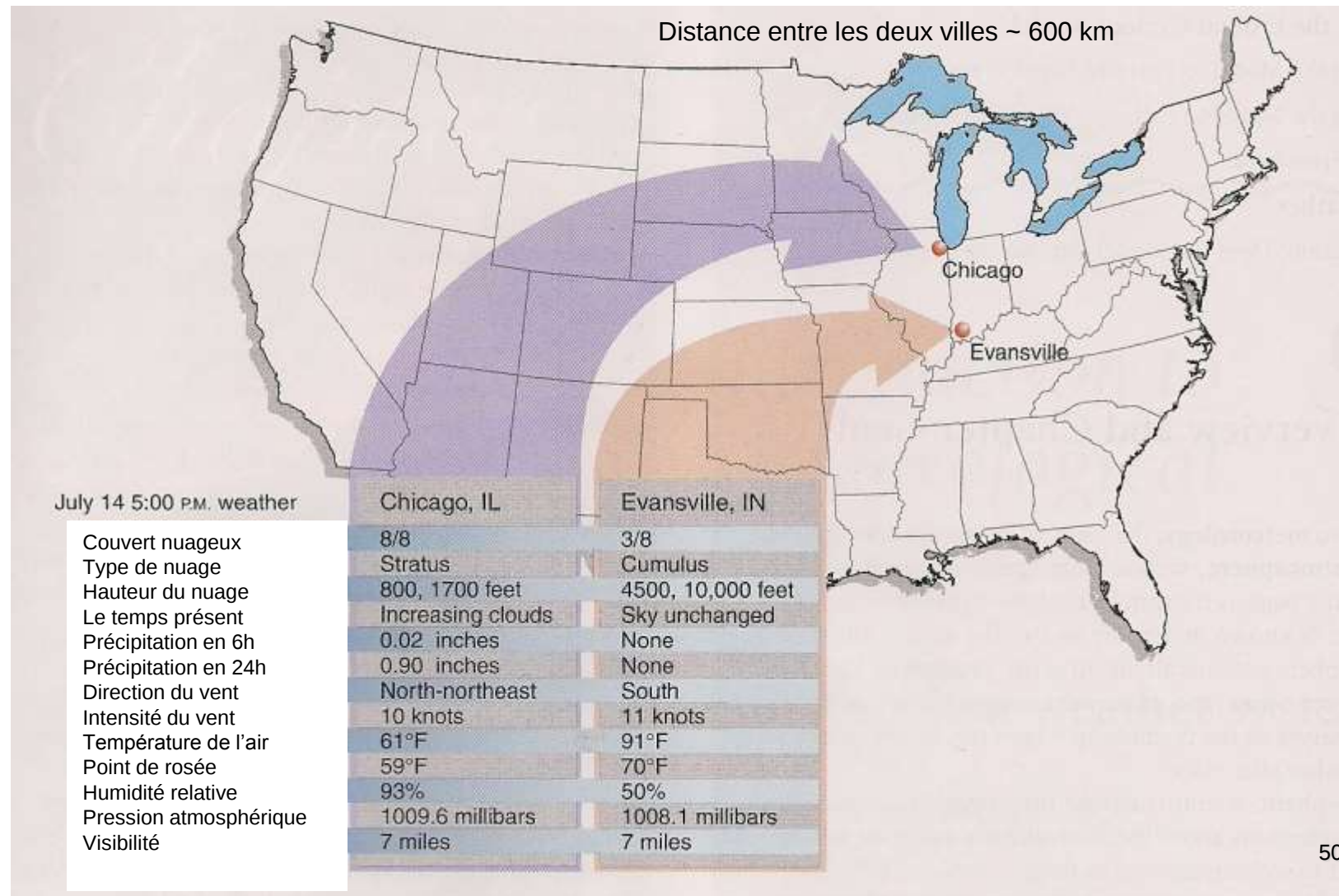
L'atmosphère réelle

LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE ATMOSPHÈRE CHANGEANTE

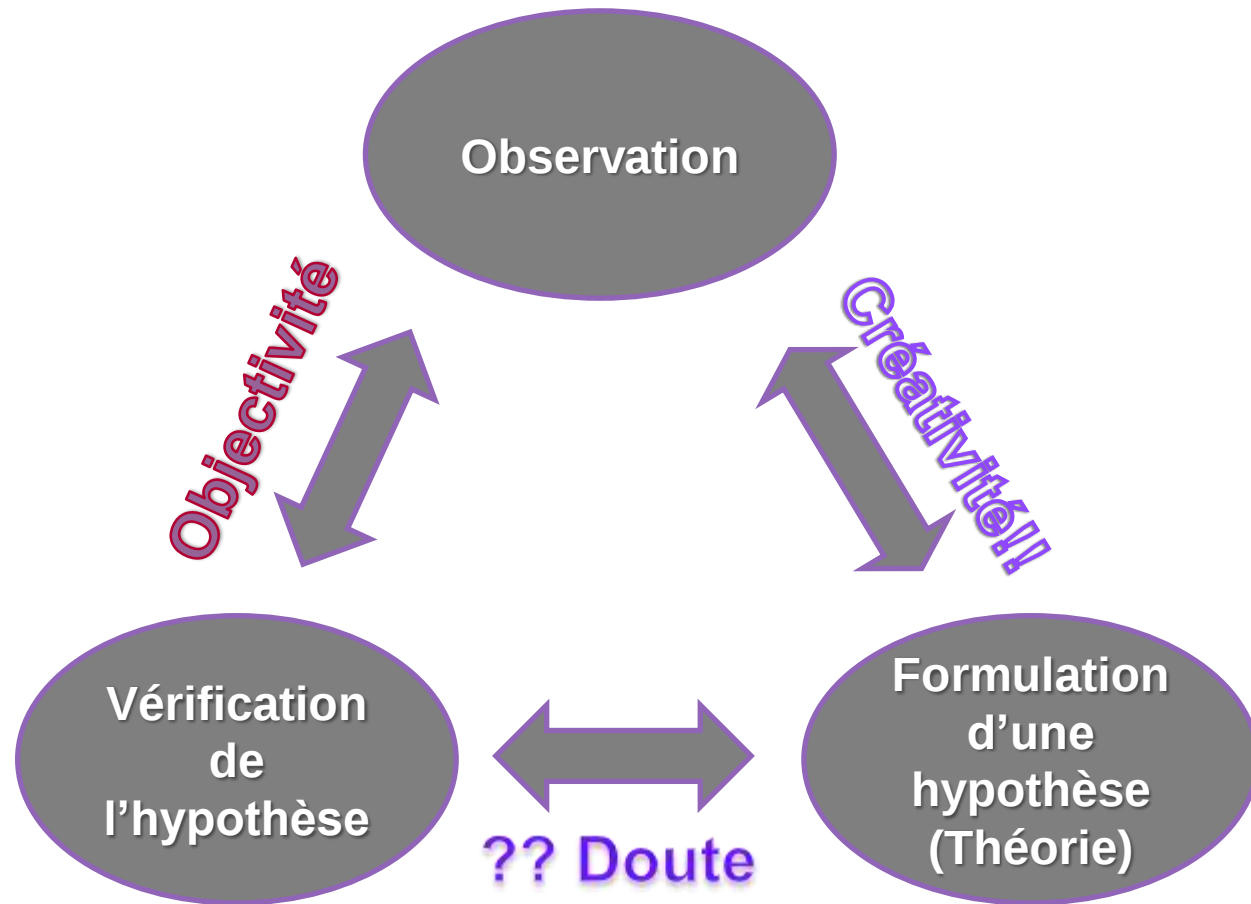


Le casse-tête météorologique

http://meteo.gc.ca/canada_f.html



À la recherche de réponses. La méthode scientifique



Les données d'observation météorologique en sciences de l'atmosphère

■ Observations

- Description expérimentale et phénoménologique des processus météorologiques
- Cartographie : Analyse subjective
- Moyennes Climatiques
- Prévision météorologique : méthodes empiriques

■ Observations et lois de la physique

- Description quantitative des processus météorologiques
- Cartographie : analyse objective
- Prévisions météorologiques : prévision numérique du temps
- Prévisions climatiques

Les sciences de l'atmosphère

Le but de la science c'est de comprendre la nature pour pouvoir prédire son comportement.

Les sciences de l'atmosphère visent la prévision du comportement de l'atmosphère. Avant de prédire il faut connaître l'état présent.

Les principales grandeurs d'état de l'atmosphère ou variables météorologiques sont :

- La pression : force par unité de surface
- La température : énergie cinétique moyenne des molécules
- L'humidité : proportion de vapeur d'eau dans l'air
- Le vent : l'air en mouvement

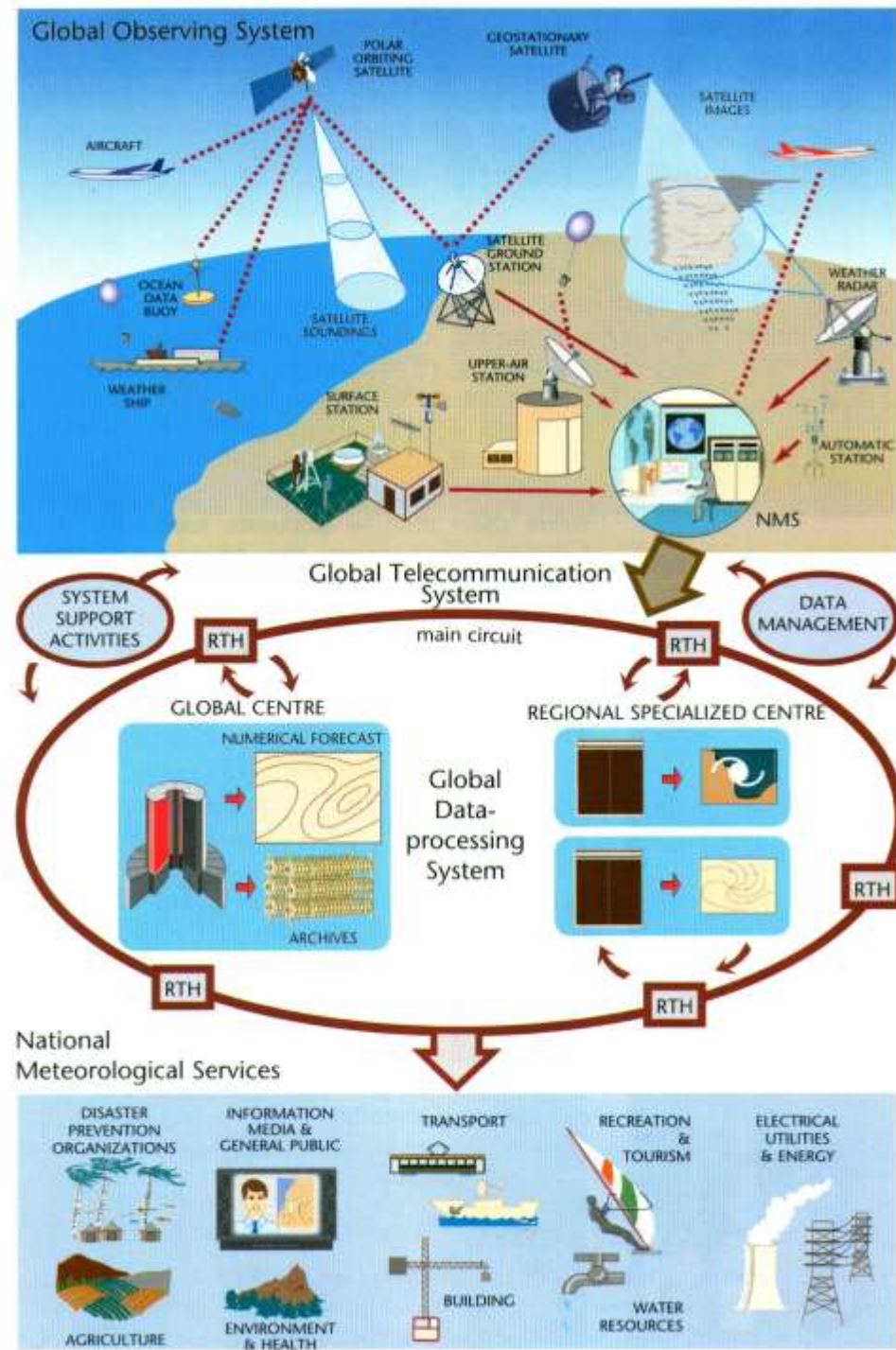
La météorologie

Le système mondial d'observation

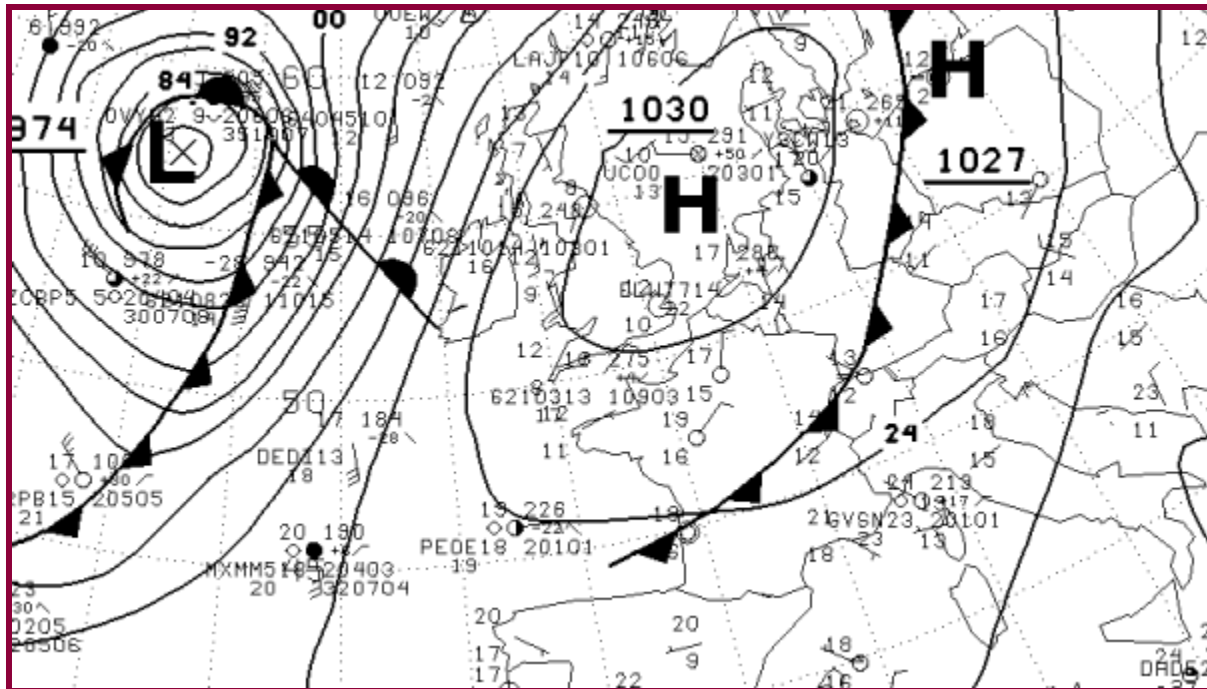
<http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/GOS.html>

- Tous les jours, 187 Services nationaux de météorologie et d'hydrologie (SNMH) contribuent au système mondial d'observation.
- Le système comporte 3 centres mondiaux de météorologie (Melbourne, Washington et Moscou) et 40 Centres régionaux spécialisés (Montréal, ...).
- Les SNMH livrent les données et donnent les premiers services d'avertissements météo.

*RTH : Regional Telecommunication Hubs

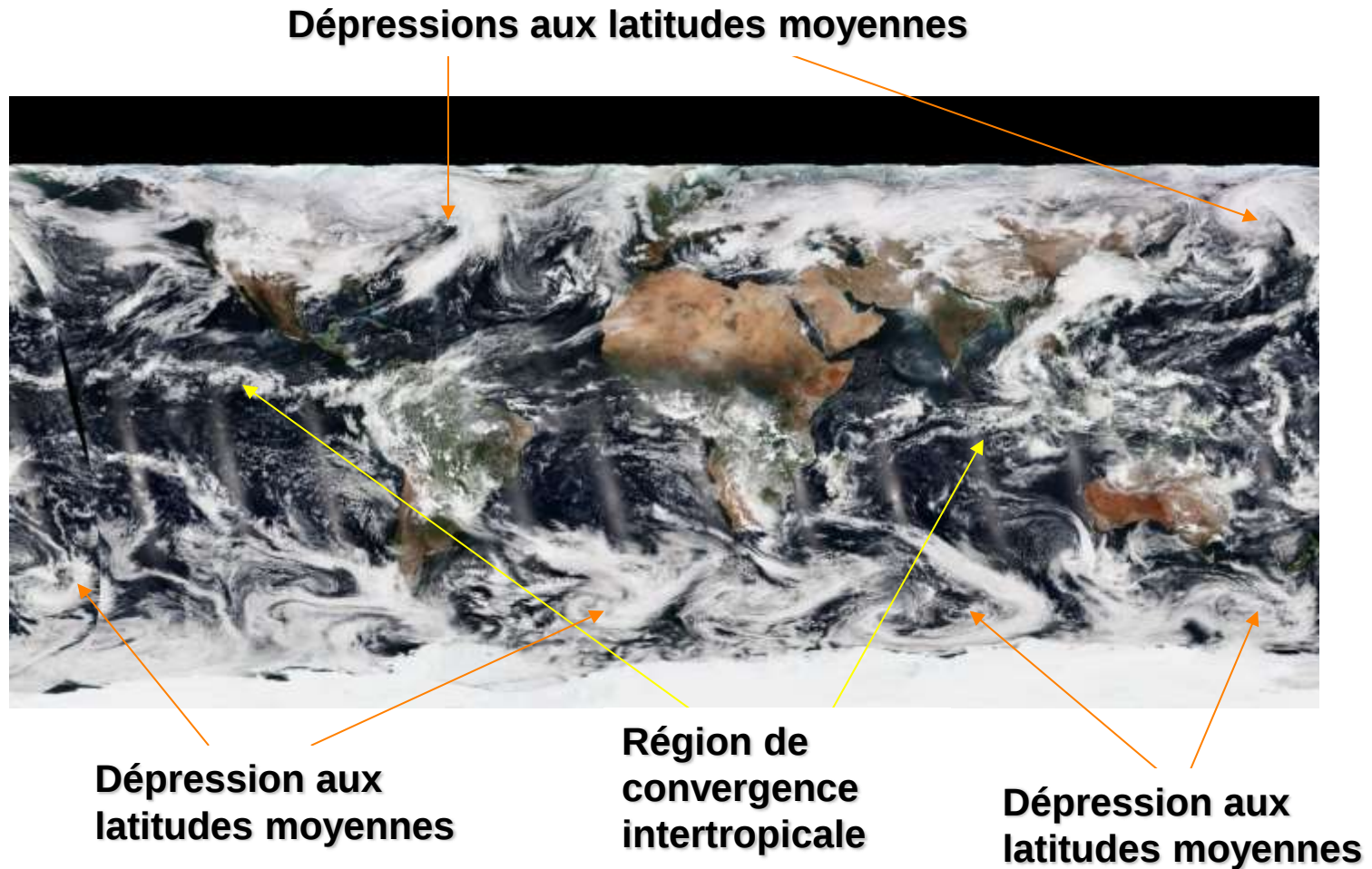


Carte d'analyse



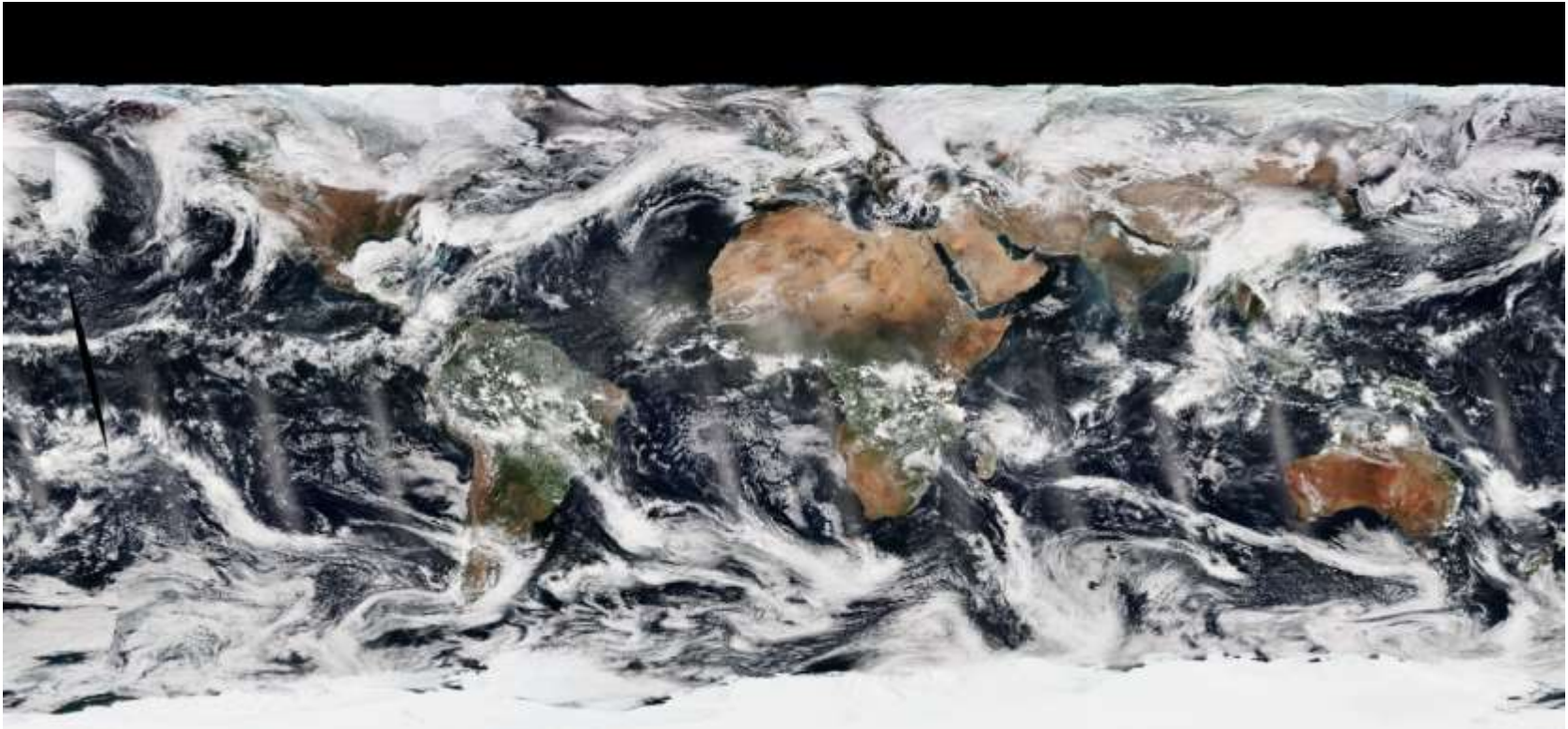
Carte de données d'observations à la surface à 00 UTC. (Environnement Canada)
Carte analysée à 00 UTC (Environnement Canada)

Image satellitaire : vendredi le 6 janvier 2017 à 11h



Source : <https://www.nesdis.noaa.gov/content/imagery-and-data>

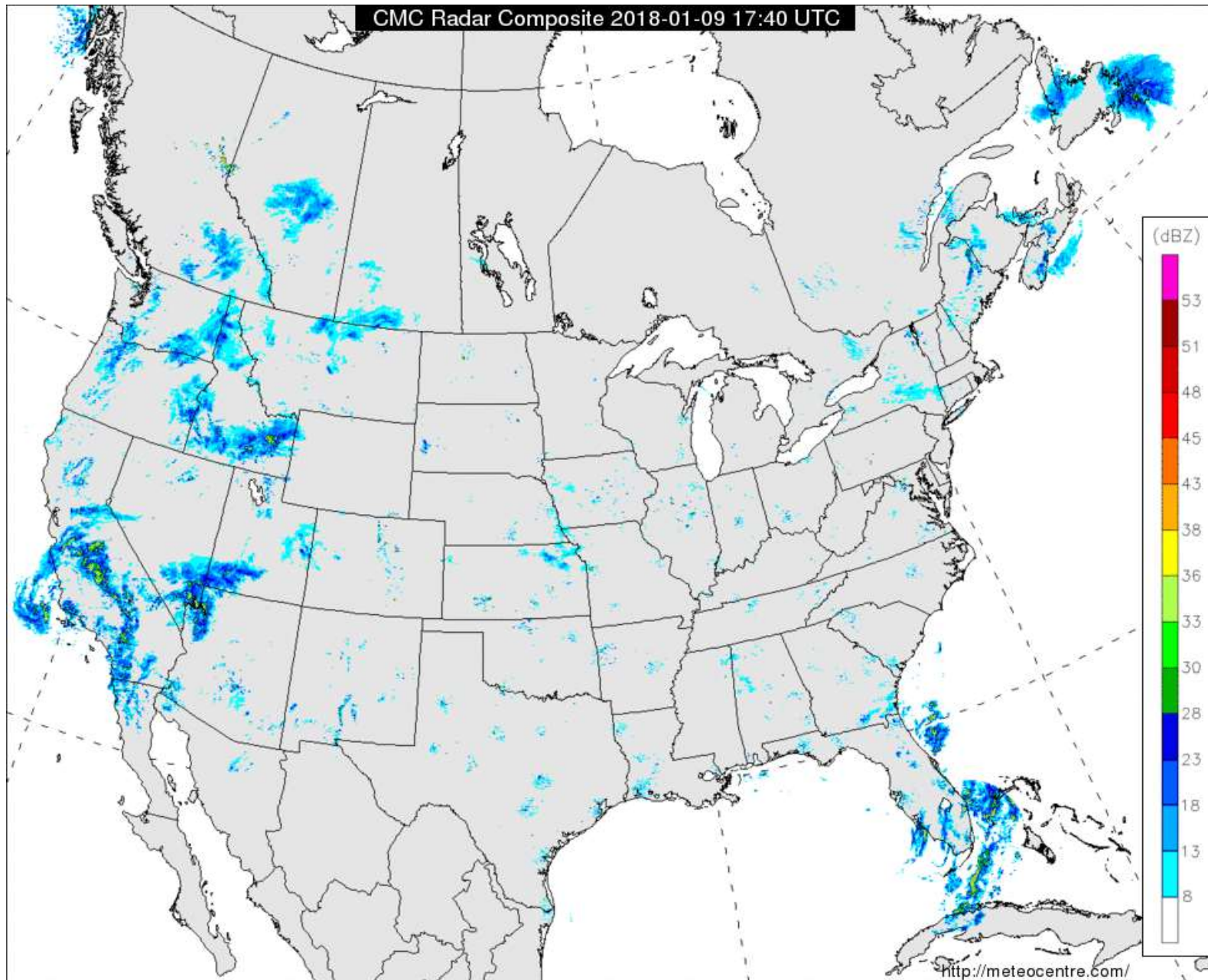
Image satellitaire : vendredi le 5 janvier 2018 à 20 h



Source : <https://www.nesdis.noaa.gov/content/imagery-and-data>

Aujourd'hui : <http://www.keraunos.org/temps-reel/les-orages-aux-usa/observations-satellite-suivi-orages-tornades-usa.html>

Radar



L'analyse des données

LA MESURE : QUAND ET OÙ

Échelles spatiales

En météorologie la structure physique de la surface (l'orographie) est importante parce qu'elle influence fortement l'écoulement de l'air.

Le temps est affecté par la présence des surfaces d'eau, des montagnes et aussi par les forêts, les cultures et les villes.

Il est très important de connaître la localisation et la morphologie des Rocheuses, des Appalaches, des Grands Lacs, de la vallée du St Laurent et d'autres caractéristiques locales ou régionales pour bien prédire le climat.

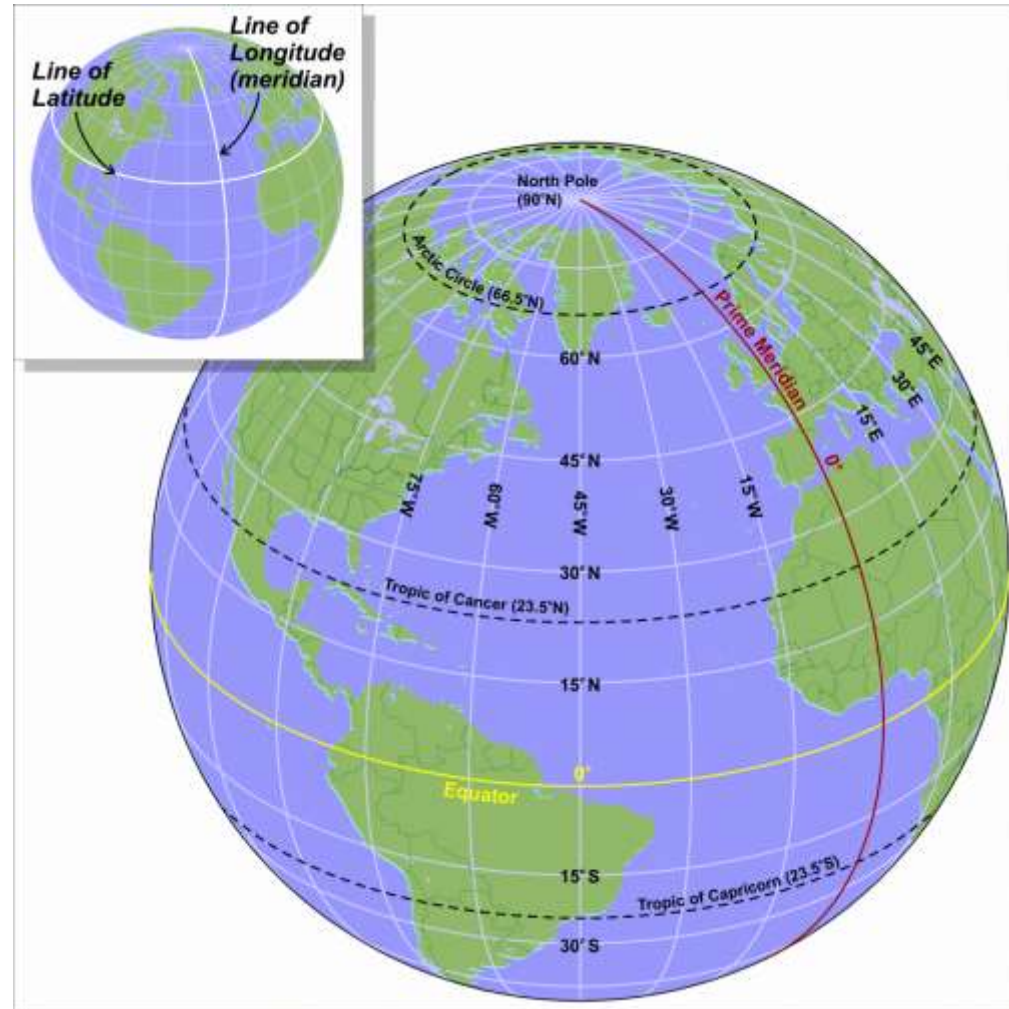


Localisation spatiale

On utilise la longitude et la latitude (cordonnées angulaires) et l'altitude pour se localiser sur le globe terrestre.

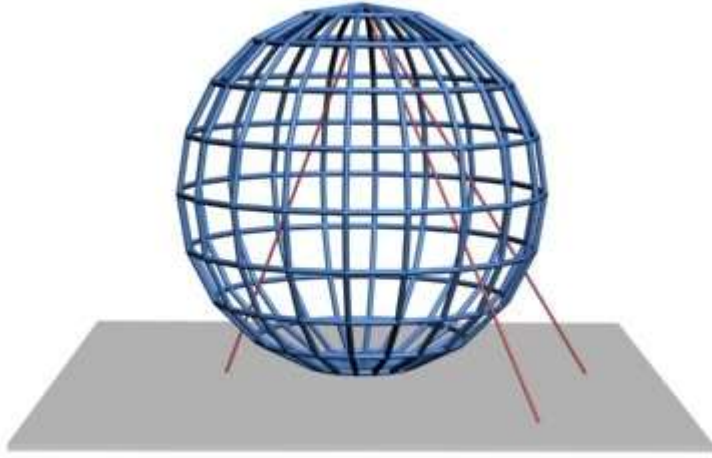
Ligne de latitude : un cercle qui relie les points situés à égale distance de l'équateur (0°). La latitude varie de -90° à 90° . La latitude de l'équateur est égale à 0° , la latitude du pôle Sud est égale à -90° ou 90°S , la latitude du pôle Nord est égale à 90° ou 90°N .

Ligne de longitude ou méridiens : une demi ellipse imaginaire tracée sur le globe terrestre reliant les pôles géographiques. La longitude est comptée à partir du méridien de Greenwich et varie de -180° (180°O) à 180° (180°E).



L'altitude au dessus du niveau de la mer est une mesure de la hauteur d'une situation géographique.

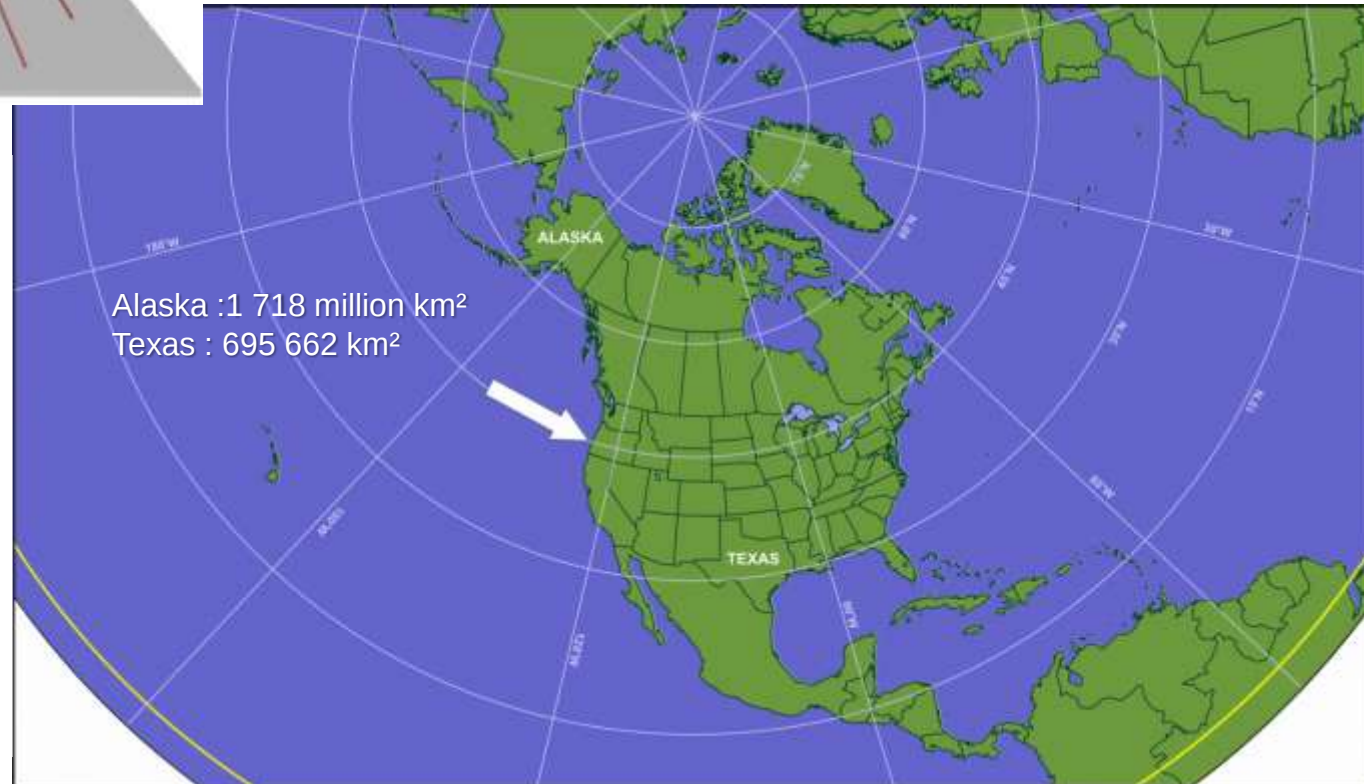
Les projections cartographiques : projection polaire stéréographique



Deux propriétés importantes :

- tout **cercle** sur la sphère sera transformé en un autre cercle dans le plan équatorial ;
- les **angles** sont conservés pendant la transformation.

Inconvénient : **déformation des surfaces : quel des deux états à la surface la plus grande, l'Alaska ou le Texas?**



Si la flèche blanche représente la direction du vent dans la carte ci-contre, le vent vient du

- N
- NO**
- O
- NE
- E

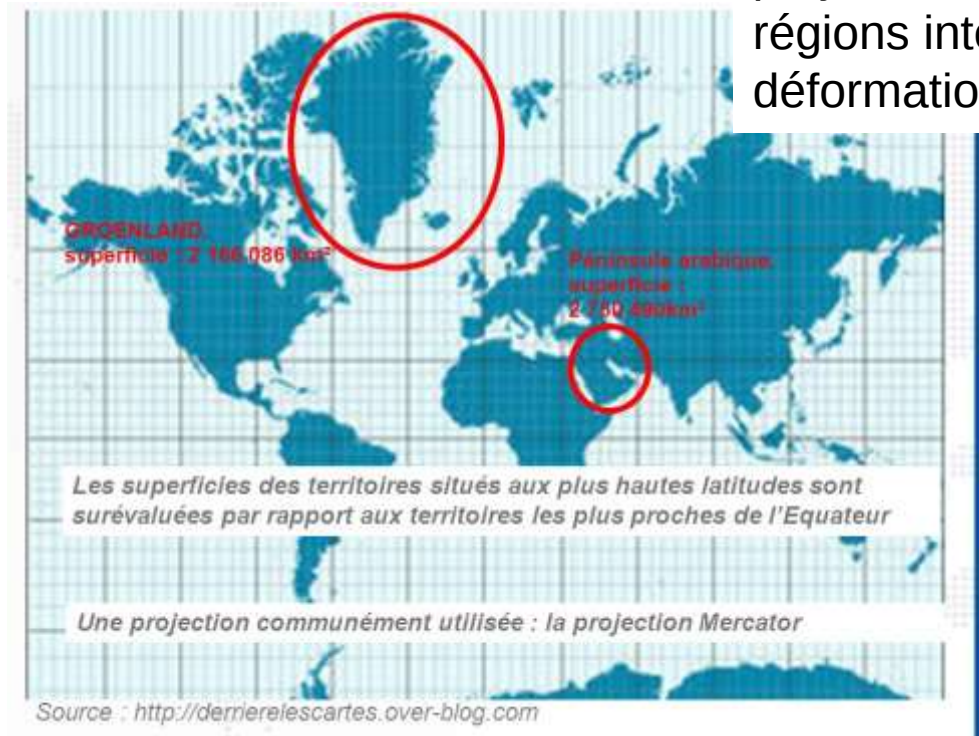


Les projections cartographiques : projection Mercator



<http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/Mercator/69402>

La projection cylindrique de Mercator, si elle respecte les angles, présente, en revanche, une échelle variable avec la latitude. À 75° de latitude, les surfaces se trouvent exagérées de seize fois par rapport à celles situées à l'équateur, ce qui explique que cette projection soit surtout utilisée pour les régions intertropicales, où la déformation est minime.

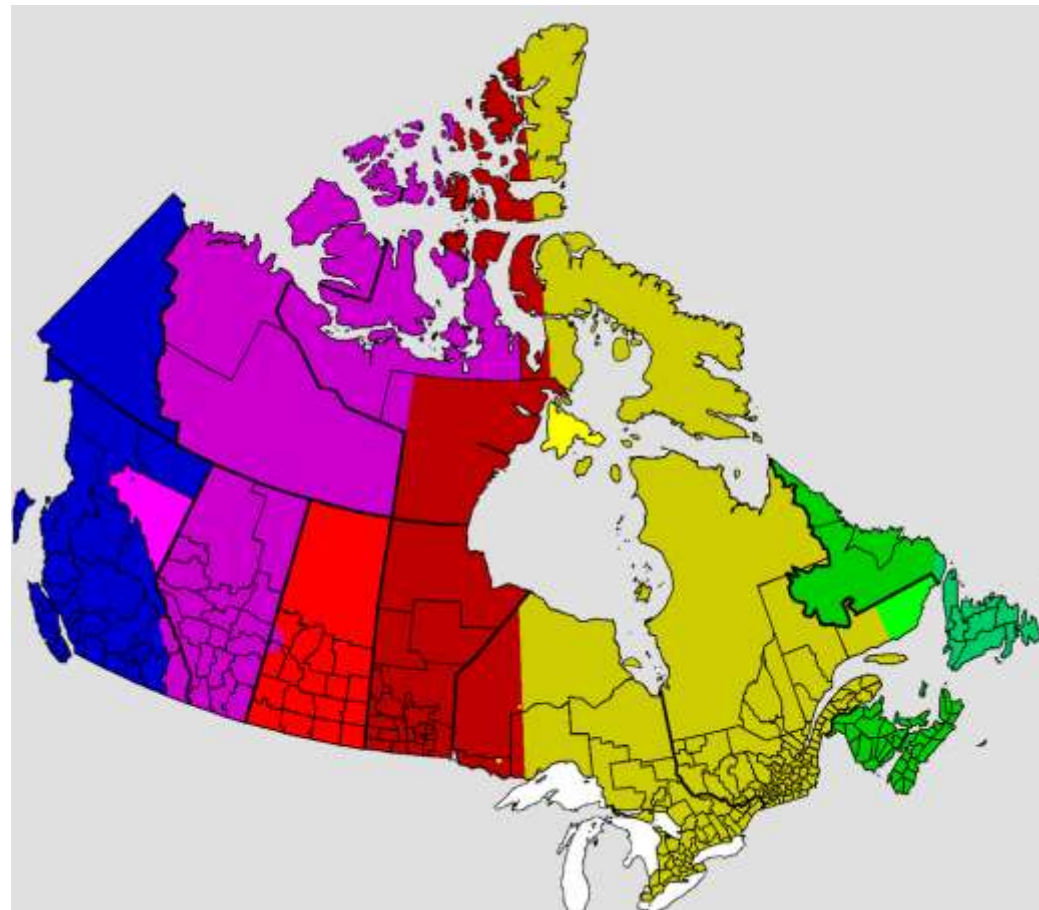


Localisation temporelle : le temps universel coordonné (UTC)



Le Temps universel coordonné (UTC) est l'échelle de temps légale internationale. Il est issu du Temps Atomique Internationale (TAI – horloges atomiques) fabriqué par le BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) et du temps UT1 (quasars intergalactiques) obtenu par l'IERS (Service International de la Rotation de la Terre et des Systèmes de référence) à l'Observatoire de Paris.

Le temps local et universel coordonné au Canada.



	Normale	Avancée	Nom du fuseau horaire
	UTC-03:30	UTC-02:30	Terre-Neuve
	UTC-04:00	UTC-03:00	Atlantique
	UTC-04:00		Atlantique
	UTC-05:00	UTC-04:00	Est
	UTC-05:00		Est
	UTC-06:00	UTC-05:00	Prairies
	UTC-06:00		Prairies
	UTC-07:00	UTC-06:00	Rocheuses
	UTC-07:00		Rocheuses
	UTC-08:00	UTC-07:00	Pacifique

Au Canada, on change l'**heure** deux fois par année : en mars et en novembre.
 Prochain changements d'heure : on avance l'heure dans la nuit du 10 au 11 mars 2018

Affichage des données

LES CARTES MÉTÉOROLOGIQUES

La cartographie

La météo affecte les opérations maritimes et aériennes ainsi que les activités menées dans d'autres domaines.

Les prévisionnistes et les consommateurs d'informations météorologiques doivent pouvoir anticiper comment les conditions changent et quelles situations pourraient être attendues à court terme ou à plus long terme.

Pour aider à trouver ces réponses, les cartes météorologiques ou les diagrammes fournissent une vue des conditions et des modèles à travers de plus grandes échelles spatiales.

La cartographie des changements de pression, de température, de vent et d'autres paramètres météorologiques à travers les zones fournit des informations sur les systèmes météorologiques et comment ils se déplacent ou évoluent.

La capacité de lire et d'interpréter avec précision ces tableaux fait partie intégrante du processus de prévision météorologique.

Types d'observations



Les informations météorologiques actuelles pour un lieu incluent les observations enregistrées par les humains par observation visuelle, par des systèmes automatisés tels que des capteurs dans les aéroports, ou par une combinaison de données humaines et automatisées.

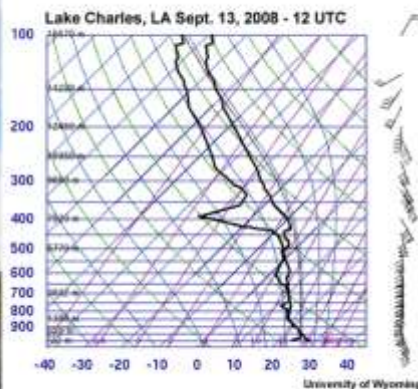
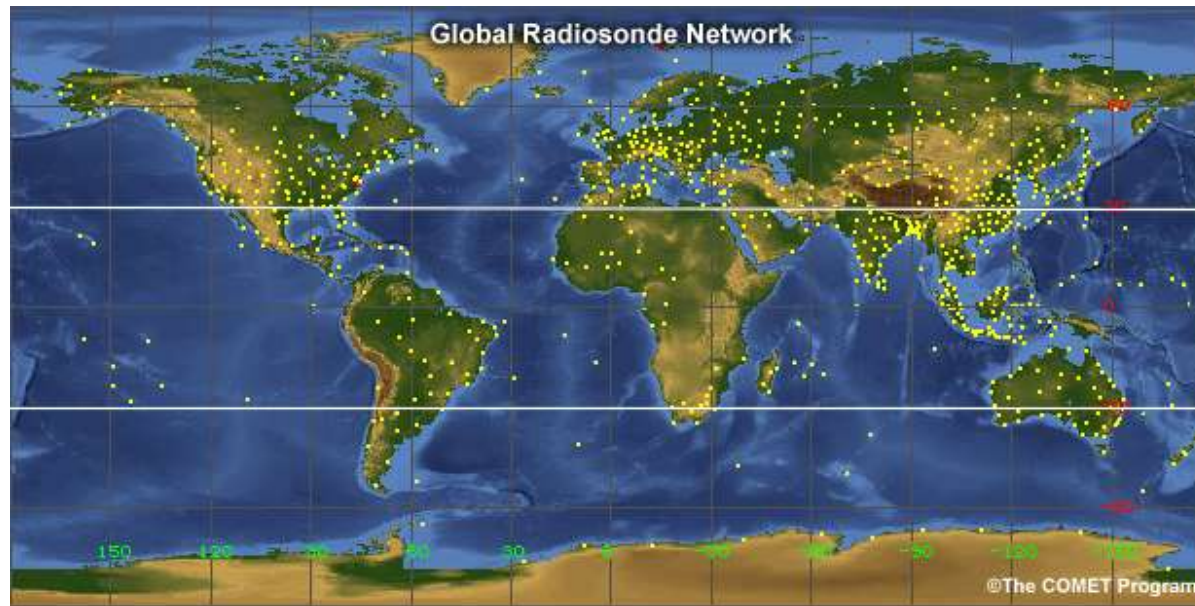


Station météo automatique

Global Synoptic Surface Observation Network



Types d'observations



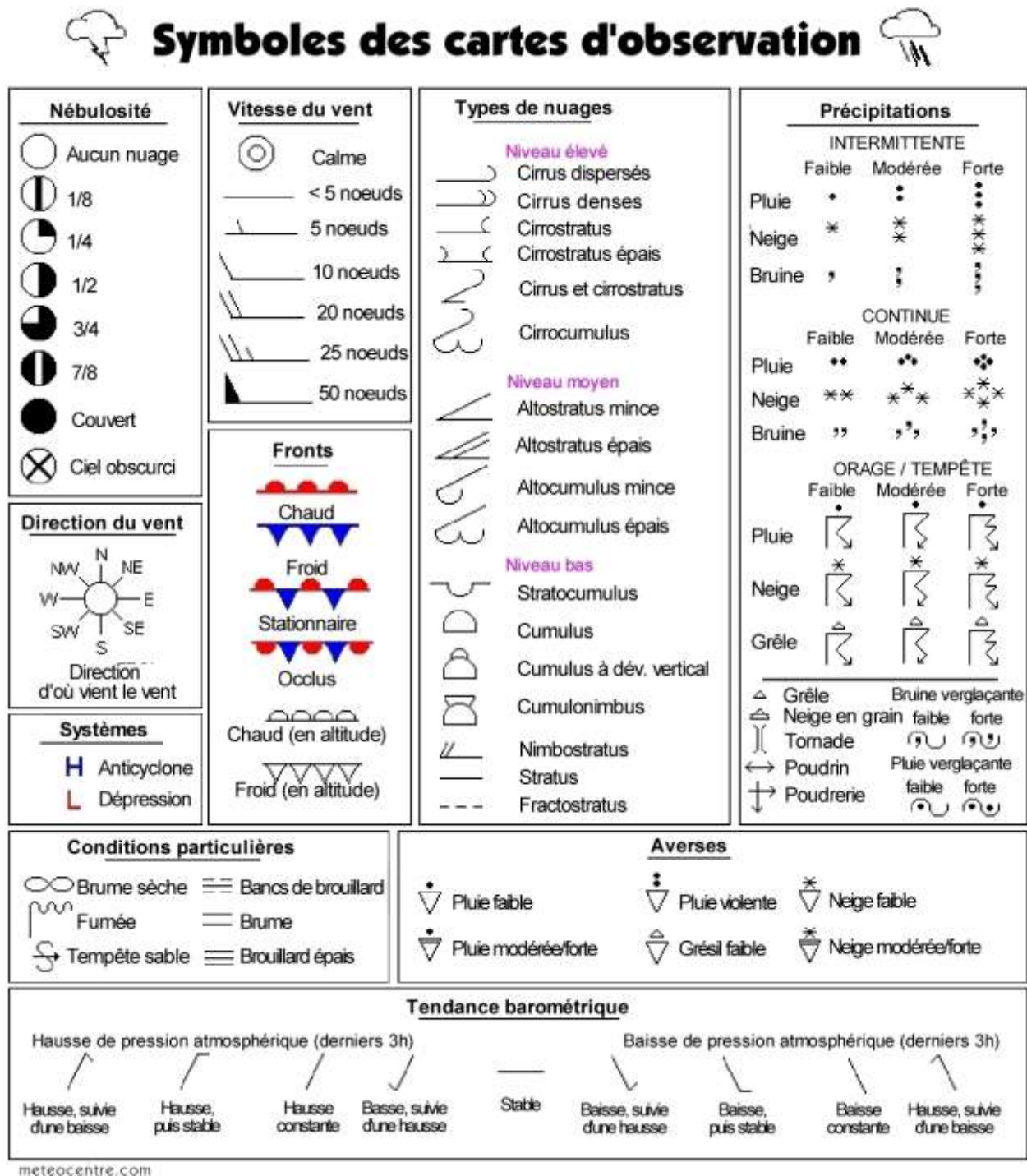
Une fois collectées, les observations des sources de données humaines et automatisées sont signalées à l'aide de symboles, de codes et de textes écrits. Ils peuvent ensuite être tracés sur des cartes pour une vue des conditions et des motifs à travers différentes échelles spatiales.

Station aérologique

Le modèle de pointage

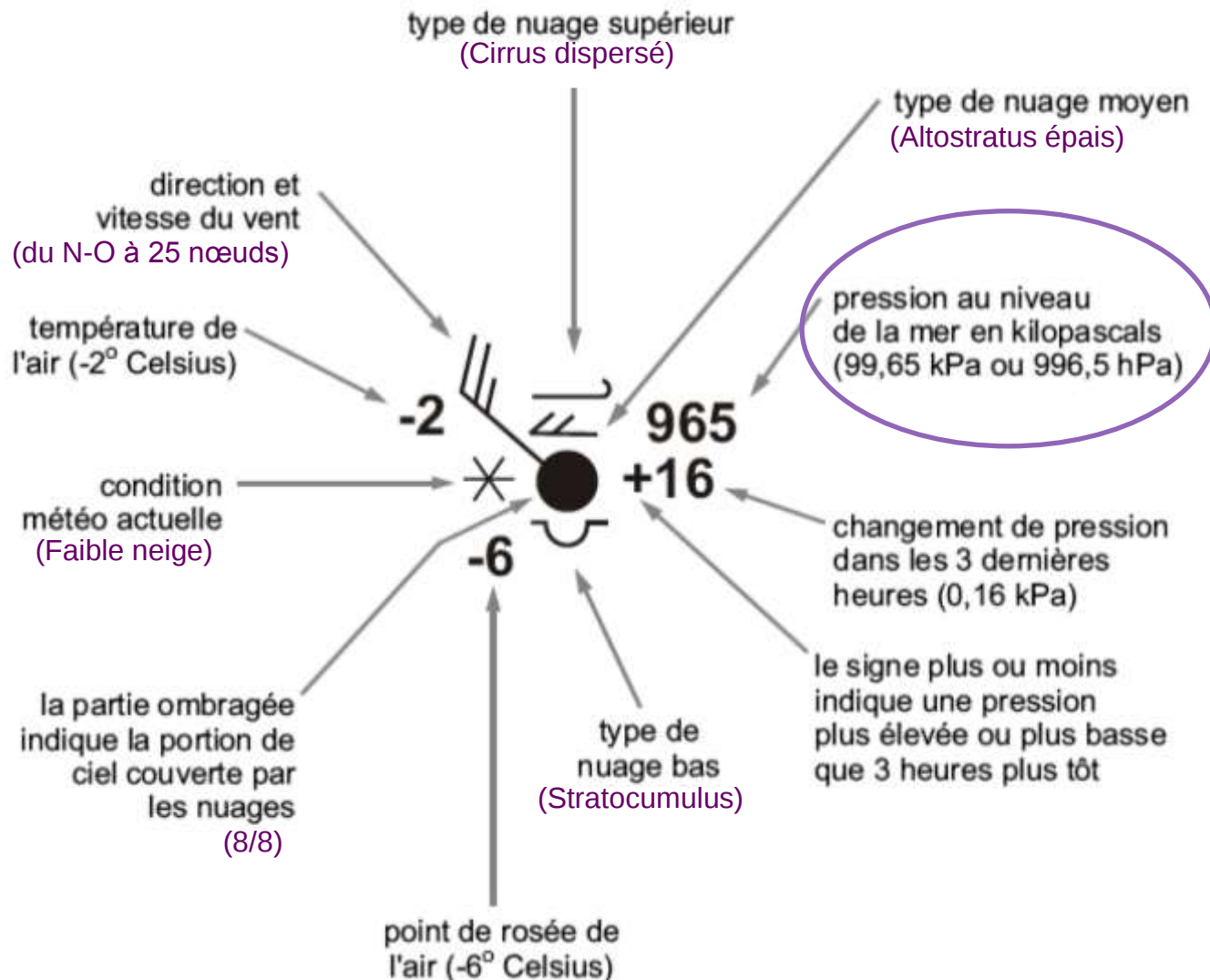
Les modèles de pointage sont un moyen de montrer l'information dans un petit espace sans mots.

Des symboles spécifiques sont utilisés pour représenter la couverture nuageuse, la vitesse du vent et d'autres variables météorologiques.

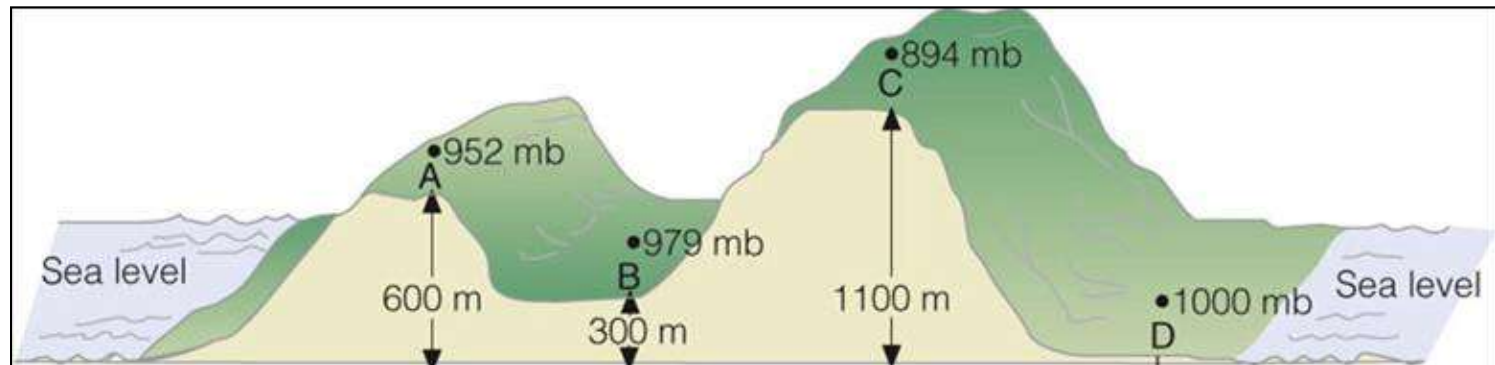


Modèle de pointage (surface)

Le cercle, ●, est placé où est située la station de mesure.



La pression au niveau moyen de la mer (MSL)



- Si on produisait en surface une analyse de la pression mesurée, une source importante d'**erreur d'interprétation** des isobares serait liée au fait que peu de stations de mesure sont au niveau de la mer.
- La pression décroît en fonction de la hauteur, pour cela, beaucoup de données de pression de surface contiennent des écarts dus à l'élévation* des stations de mesure.
- * L'**élévation d'une station, H_a** , est la distance verticale au-dessus du **MSL** (moyen sea level, niveau moyen de la mer) qui est adoptée comme point de repère pour toutes les mesures météorologiques courantes d'une station.

Réduction de la pression au niveau moyen de la mer (MSL)

Pour cela, les mesures de la pression de surface, p_s , sont toujours réduites au **MSL** en supposant **une couche d'air isotherme à la température virtuelle de la station***, T_{vS} .

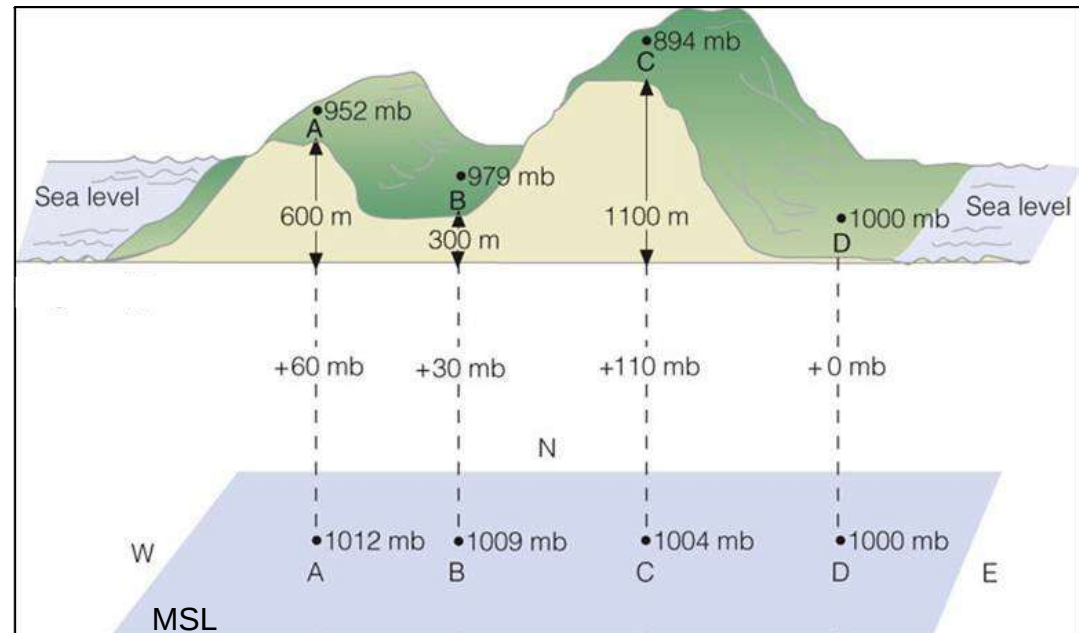
$$\left. \begin{array}{l} \frac{dp}{dz} = -\rho g \\ p = \rho R_d T_v \\ T_v = T_{vS} \end{array} \right\} \rightarrow dp = -\frac{p}{R_d T_{vS}} g dz \quad \Rightarrow \quad p_0 = p_s \exp \left\{ \frac{g_0}{R_d T_{vS}} H_a \right\} = p_s \exp \left\{ \frac{H_a}{H} \right\}$$

où H_a est l'élévation de la station, $H = R_d T_{vS}/g_0$ est l'échelle de hauteur et $g_0 = 9,80665 \text{ m s}^{-2}$ est la moyenne globale de l'accélération de gravité au **MSL**.

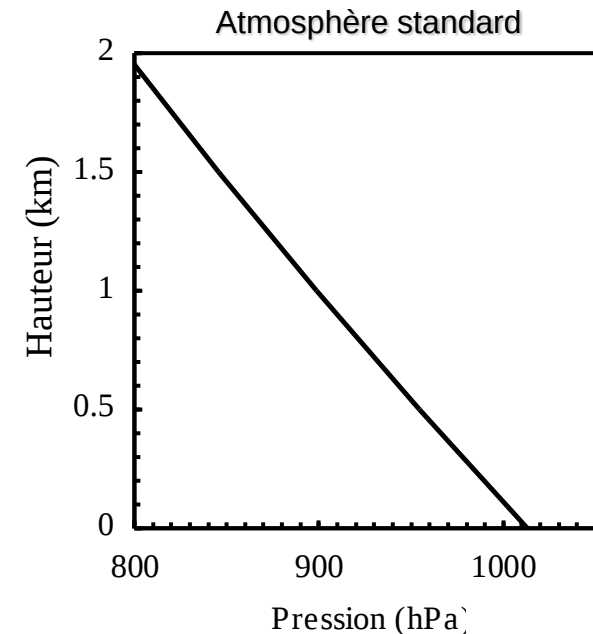
* La **température virtuelle** tient compte du changement de la densité de l'air causé par la présence de la vapeur d'eau.

La pression au MSL

$$\begin{cases} p_0 = p_s \exp\left\{\frac{H_a}{H}\right\} \\ H = \frac{R_d T_{vS}}{g_0} = 29.27 \times T_{vS} \end{cases}$$



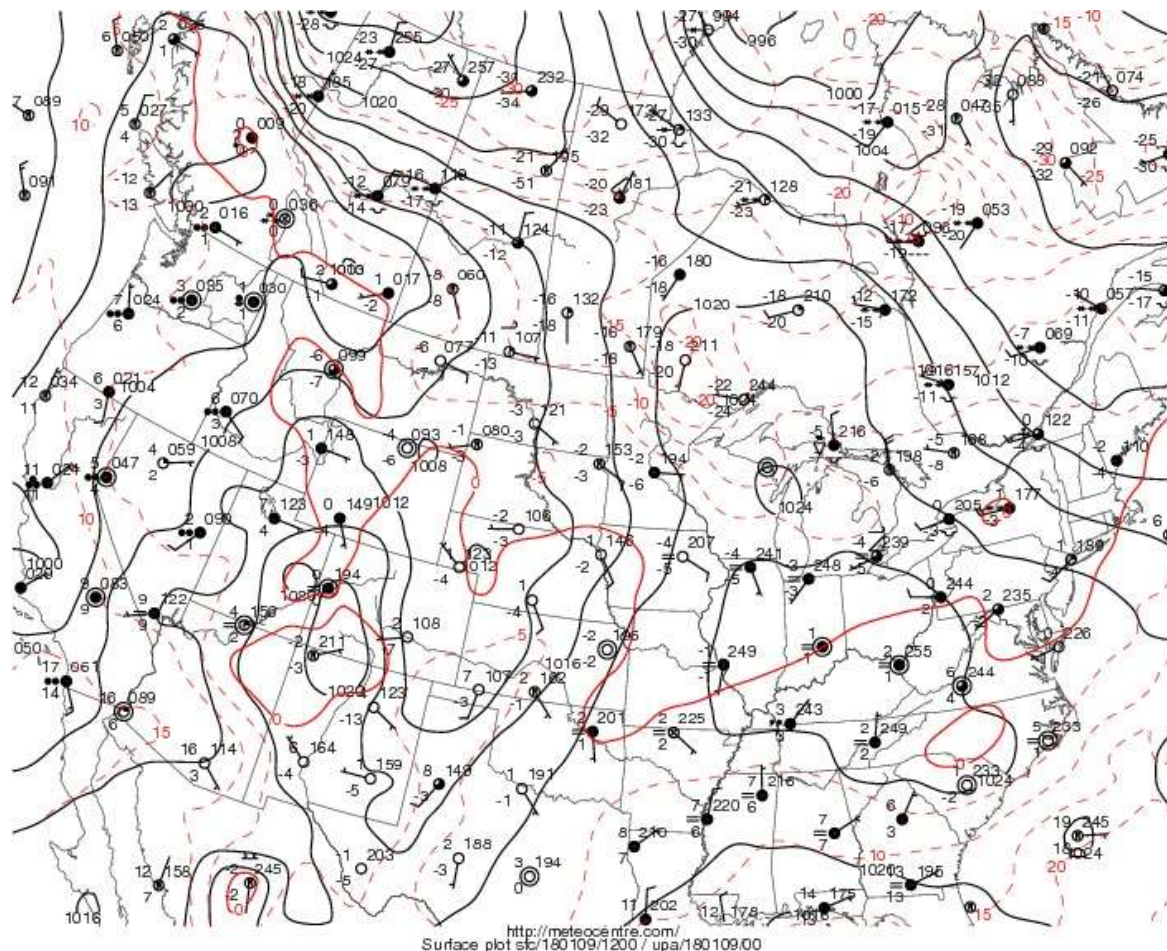
De façon approchée, dans la partie inférieure de l'atmosphère, la pression varie d'environ 10 hPa à tous les 100 m d'élévation.



Analyse des données

Un seul modèle de station montre ce qui se passe à un endroit, mais pour savoir ce qui se passe dans une région ou dans le monde entier, il est utile d'observer plusieurs observations simultanément.

Les lignes de contour sur une carte offrent une manière de voir collectivement les observations individuelles en décrivant des zones de valeurs égales. Contourner les informations fournies par les modèles de stations multiples simplifie l'information et aide l'utilisateur à se concentrer sur des aspects particuliers de la carte. Des cartes analysées facilitent la lecture et le diagnostic des caractéristiques météorologiques.



Les isolignes

De nombreux paramètres météorologiques différents peuvent être représentés en utilisant des contours sur une carte. Les contours connectent des valeurs égales, et les lignes elles-mêmes sont désignées sous le nom d'isobares, d'isothermes ou par d'autres noms en fonction du paramètre analysé. Gardant à l'esprit que "iso" signifie égal, ci-dessous sont quelques paramètres météorologiques généralement représentés sur les cartes météo.

Isobare : Une ligne de pression égale

Isohauteur / isohypses: Une ligne de hauteur égale

Isotherme : Une ligne de température égale

Isodrosotherme : Une ligne de point de rosée égal

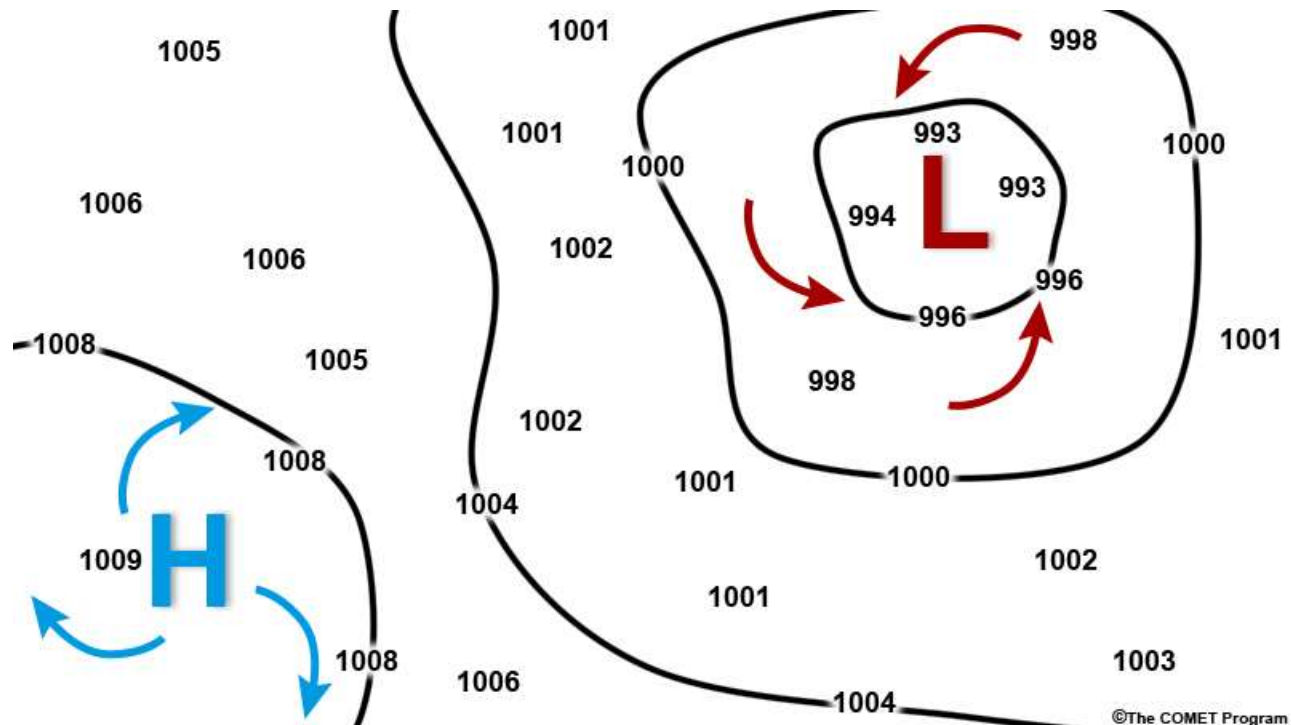
Isotache : Une ligne de vitesse de vent égale

Isohyète : Une ligne d'accumulation de précipitation égale (liquide et congelée)

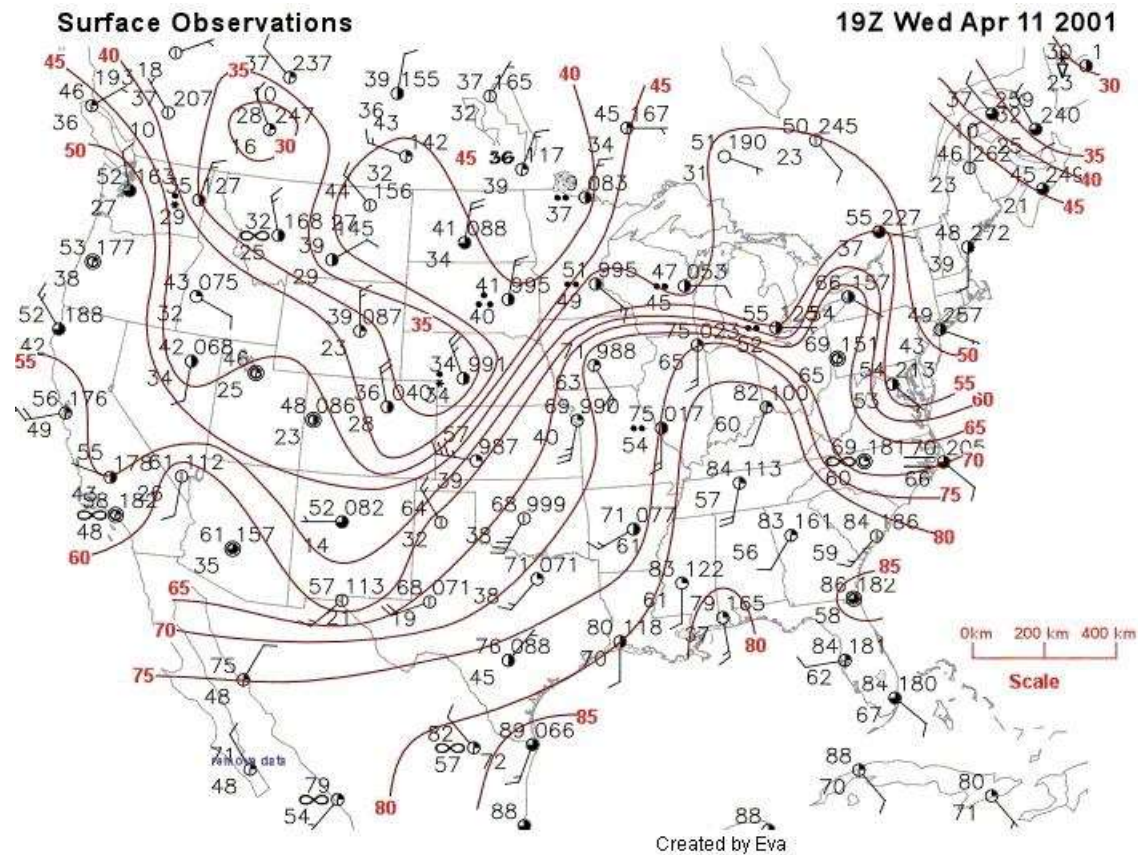
Isonèphe : Une ligne de nébulosité égale

Isohaline : Une ligne de salinité égale (salinité dans l'océan)

Exemple - isobares



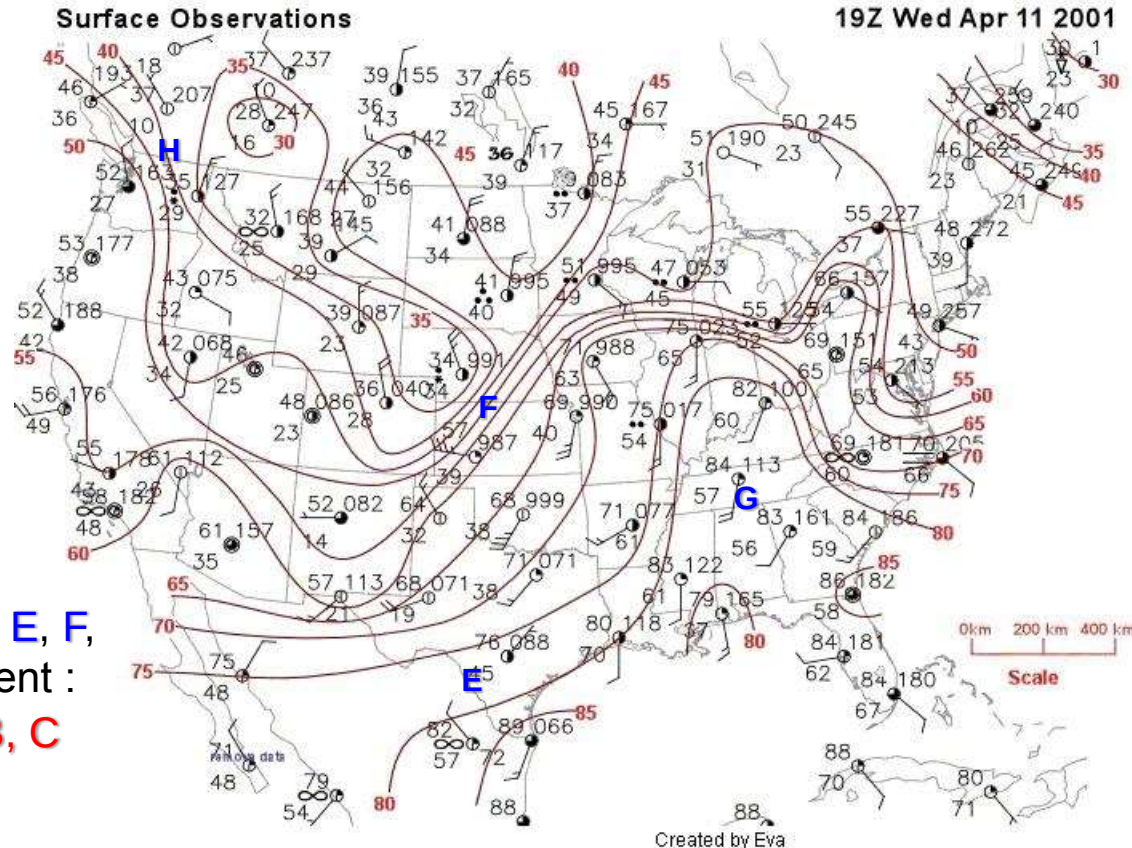
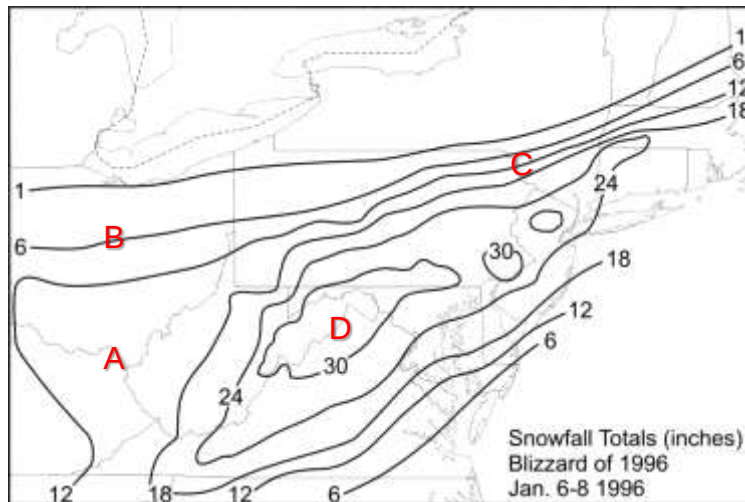
Exemple - isothermes



Les gradients $\text{grandeur du gradient de } X = |\nabla X| = \frac{\Delta X}{d}$

Prudence! Des forts gradients en vue. Les conditions météorologiques peuvent changer rapidement.

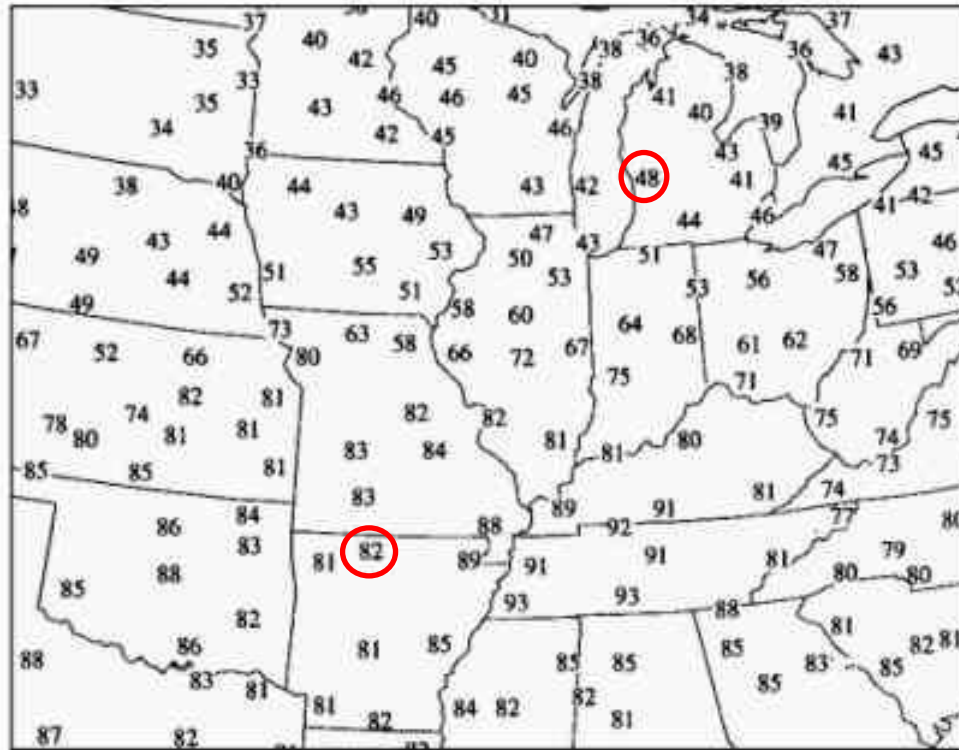
Le terme de « *gradient* » est employé pour qualifier la variation d'une grandeur dans l'espace. Les grands changements sur des distances relativement petites peuvent être diagnostiqués par la proximité des isolignes dans certaines régions :



Ordonnez les localisations **A, B, C, D, E, F, G, H** selon l'ordre croissante du gradient :

1. d'accumulation de neige : **D, A, B, C**
2. de température : **G, E, H, F**

Surface Temperature



La distance entre les deux villes encerclées est de 425 km, Déterminez le gradient de température avec une précision de deux décimales.

Donnez les résultats en °F/km et en °C/km

Afficher tous vos calculs.



Solution : Gradient = changement de la température / distance

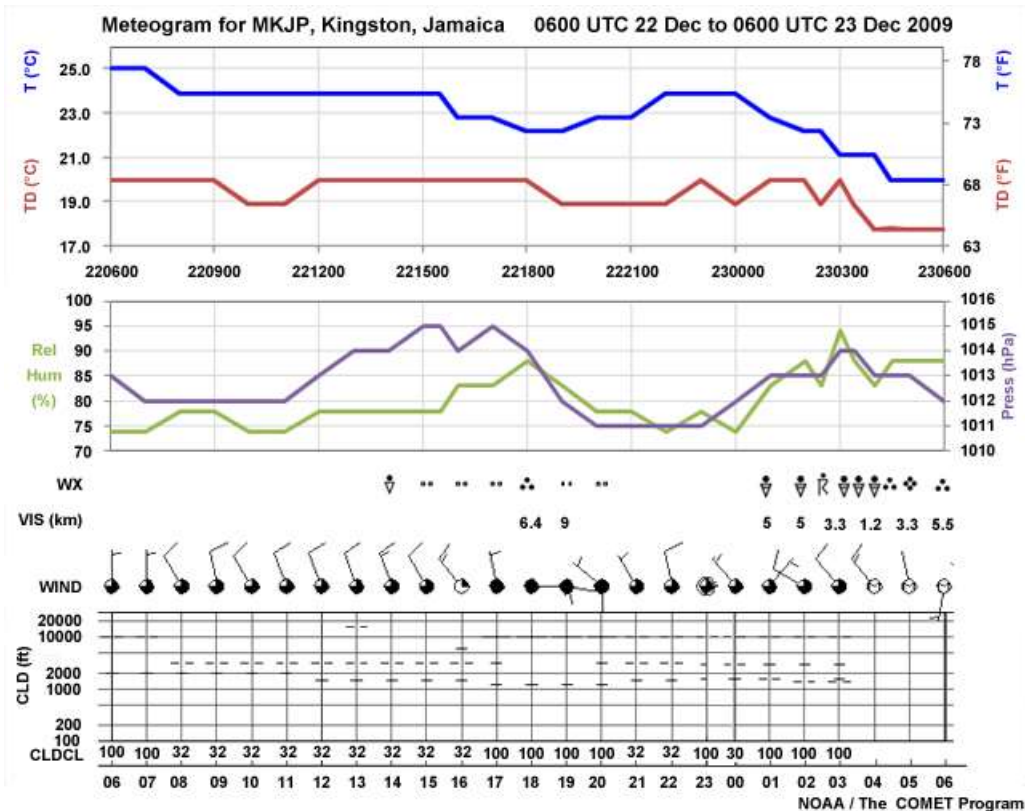
$$\text{Gradient (°F/km)} = \Delta T/d = (82 - 48) / 425 = 34/425 = 0.08 \text{ °F/km}$$

$$T(^{\circ}F) = 1,8 \cdot T(^{\circ}C) + 32 \Rightarrow \Delta T(^{\circ}F) = 1,8 \cdot \Delta T(^{\circ}C)$$

$$\Delta T(^{\circ}C) = \Delta T(^{\circ}F) / 1,8$$

$$\text{Gradient (°C/km)} = \Delta T/d = (34/1,8)/425 = 0,04 \text{ °C/km}$$

Les météogrammes : la météo heure par heure



Les observations de surface montrent que l'aéroport a connu plusieurs heures de pluie légère et une période de pluie modérée pendant la journée, entre 1400 et 2000 UTC, le 22 décembre. La pluie modérée a abaissé la visibilité à 6,4 km et abaissé la température et la température du point de rosée de 1 ° C. Les vents sont devenus de l'est brièvement et il est resté nuageux pendant les quatre prochaines heures mais sans pluie.

Après 0100 UTC (2000 LT) 23 décembre, des averses modérées à fortes ont commencé. La visibilité a été réduite à moins de 5 km. Des averses orageuses et une visibilité aussi basse que 1,2 km ont été observées. La température a baissé de 4 ° C entre 0000 et 0430 UTC et l'humidité relative (proportionnelle à $T - TD$) a augmenté.

À 0300 UTC (2200 LT), on observe de fortes averses de pluie, une visibilité de 3,3 km et un plafond (hauteur de la base des nuages les plus bas) de 1400 pieds avec quelques nuages à plusieurs niveaux. (CLDCL : veut dire que l'échelle du plafond est logarithmique).

Attention! Le format et style trouvés sur internet peuvent être très différentes, mais vous avez les outils pour les interpréter...

Codes des météogrammes

TEMP - temperature and dewpoint chart: This shows temperature as the top line and dewpoint as the bottom line.

EXTT - extreme temperature: The maximum or minimum temperatures are plotted below the chart at specific reporting times. 12Z and 18Z are generally low temperatures and 0Z and 6Z are high temperatures.

WX - present weather data: This shows the present weather plotted as a weather symbol.

SNOW - snow cover: This shows reported snow cover in inches.

PREC - precipitation: This shows precipitation totals in inches. The values are 24 hour totals generally at 12Z, 6 hour totals at 0Z, 6Z and 18Z, 3 hour totals elsewhere.

VIS - visibility: This shows the horizontal visibility in miles.

WGST - wind gusts: This reports wind gusts in knots if reported.

WIND - winds and cloud cover: This plots the standard wind barb and cloud cover symbol. Up is north.

CLD - Cloud chart: This chart gives cloud layer information. The vertical axis is a logarithmic scale of the cloud base height in feet ranging from the 100 to 50,000 feet. Each cloud layer base is plotted as horizontal lines. Clear skies are plotted as a 'C'. Scattered cloud layers (1/8th to 3/8th coverage) are plotted as a single short dash "-". Broken cloud layers (4/8th to 7/8th coverage) are plotted as two short dashes "- -". Overcast layers are plotted as a single long dash "—". The actual cloud ceiling is displayed below the chart in 100s of feet if the ceiling is below 10,000 feet.

PRALT - Pressure chart: This chart plots sea level pressure (or altimeter setting if pressure not reported) in millibars.

Time: This is the report hour in universal time. The actual time range is displayed above the plot.

Notions importantes

- Climatologie
- Météorologie
- Composition de l'atmosphère
 - Couches atmosphériques classées selon la composition : homosphère, hétérosphère, exosphère.
- Les variables d'état
 - Pression
 - Température
 - Densité
 - Équation des gaz parfaits
- Atmosphère standard ou normalisée
 - Équilibre hydrostatique (TP1)
 - Profils de pression, densité et température (TP1)
 - Couches atmosphériques classées selon le profil de température : troposphère, stratosphère, mésosphère et thermosphère.
- Se repérer dans l'espace et dans le temps
 - Longitude, latitude, altitude
 - L'heure UTC (TP2)
- Échelles de température
 - Kelvin, Celsius, Fahrenheit (TP1)
- Projections cartographiques
 - Stéréographique polaire, Mercator
- Affichage des données
 - Modèle de pointage (TP1)
 - Symboles météorologiques (TP1)
 - Pression au niveau de la mer (TP1)
- Analyse des données
 - Les contours (TP2)
 - Isobares, isothermes, ...
 - Les gradients (TP1)

À venir...

Comment le rayonnement du Soleil contrôle la météorologie et les climats terrestres.

