



SCA 7146
INSTRUMENTATION ET TRAVAUX
PRATIQUES

1-1

Table des matières

1. Introduction

- Les sciences de l'atmosphère
- Bref historique
- Origine, évolution et composition de l'atmosphère
- Les caractéristiques de l'atmosphère
 - Les grandeurs d'état de l'atmosphère
 - La pression
 - La température
 - L'humidité
 - Le vent
 - Les conditions atmosphériques

Les sciences de l'atmosphère

Météorologie et climatologie

1-2

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



Illustration: Jacques Goldstyn

Les sciences de l'atmosphère

Météorologie et climatologie

1-3

- 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 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.

Bulletin météorologique

www.meteo.gc.ca

1-4

ENVIRONNEMENT CANADA

Montréal métropolitain-Laval

Prévisions pour l'ouest du Québec émises par Environnement Canada à 5h00 HNE le **vendredi 5 décembre 2003** pour aujourd'hui et samedi.

Prochaines prévisions émises à 11h30.

AUJOURD'HUI :

Ensoleillé. Maximum moins 8.

CE SOIR ET CETTE NUIT :

Dégagé. Vents du nord-est de 20 km/h. Minimum moins 15.

SAMEDI :

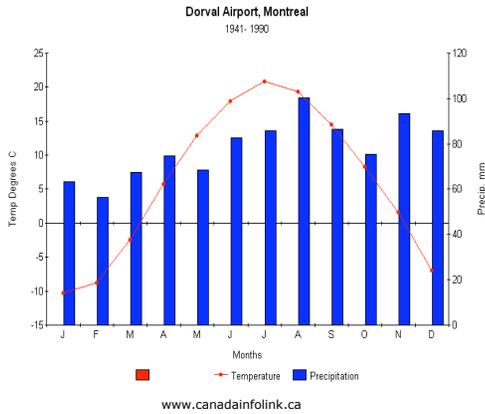
Ensoleillé avec passages nuageux. Vents du nord-est de 30 km/h. Maximum moins 8.

DIMANCHE :

Ensoleillé. Minimum moins 11. Maximum moins 6.

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

Données climatiques



Montréal, QC, Canada

MOIS	Max	Min	Précipitation
Décembre	-7	-18	40 cm neige
Janvier	-10	-22	60 cm neige
Février	-8	-21	50 cm neige
Mars	-1	-14	50 cm neige
Avril	7	-4	30 cm neige
Mai	16	2	60 mm pluie
Juin	21	8	90 mm pluie
Juillet	23	11	90 mm pluie
Août	21	10	100 mm pluie
Septembre	16	5	100 mm pluie
Octobre	9	0	70 mm pluie
Novembre	0	-7	30 mm pluie

www.forestel.ca

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

Données climatiques (suite)

Température:	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	année	code
Moyenne quotidienne (°C)	-10,2	-8,4	-2,3	5,7	13,4	18,2	20,9	19,6	14,6	8,1	1,6	-6,3	6,2	A
Écart type	2,9	3	2,3	1,7	1,7	1,2	1	1,1	1,4	1,6	1,6	3,2	0,9	A
Maximum quotidien (°C)	-5,7	-3,9	2,2	10,7	19	23,6	26,2	24,8	19,7	12,7	5,3	-2,2	11,1	A
Minimum quotidien (°C)	-14,7	-12,9	-6,7	0,6	7,7	12,7	15,6	14,3	9,4	3,4	-2,1	-10,4	1,4	A
Maximum extrême (°C)	13,9	15	25,6	30	33,9	35	35,6	37,6	33,5	28,3	21,7	18		
Date (aaaa/jj)	1950/25	1981/22	1945/28	1990/27	1962/19	1964/30	1953/17+	1975/01	1999/04+	1968/02	1948/06	2001/06		
Minimum extrême (°C)	-37,8	-33,9	-29,4	-15	-4,4	0	6,1	3,3	-2,2	-7,2	-19,4	-32,4		
Date (aaaa/jj)	1957/15	1943/15	1950/04	1954/04	1974/02	1995/05	1982/03	1957/28+	1951/30	1972/20	1949/27	1980/25		
Précipitation:														
Chutes de pluie (mm)	27,2	19,8	35,8	63,9	76,1	83,1	91,3	92,7	92,6	75,4	71,2	35,1	763,8	A
Chutes de neige (cm)	52,5	43,3	36	13,1	0,2	0	0	0	0	2,2	21,9	48,3	217,5	A
Précipitation (mm)	78,3	61,5	73,6	78	76,3	83,1	91,3	92,7	92,6	77,8	92,6	81,3	978,9	A
Moyenne couv. de neige (cm)	15	18	13	1	0	0	0	0	0	0	1	8	5	A
Médiane couv. de neige (cm)	15	18	12	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	A
Couv. de neige, fin de mois (cm)	17	17	3	0	0	0	0	0	0	0	3	13	4	A
Extrême quot. de pluie (mm)	46,6	31,5	32,4	48,2	45,6	66,5	63,6	73,8	81,9	80,5	93,5	51,2		
Date (aaaa/jj)	2006/18	1961/25	1998/09	2006/23	2006/19	1997/21	2005/05	2005/31	1979/14	1995/06	1996/08	2003/11		
Extrême quot. de neige (cm)	35,8	39,4	43,2	33,9	21,8	0	0	0	6,1	21,2	30,5	41,2		
Date (aaaa/jj)	1999/15	1954/16	1971/04	2000/09	1963/10	1942/01+	1942/01+	1942/01+	1946/30	1988/22	1944/30	2005/16		
Extrême quot. de préc. (mm)	47	39,4	42,8	48,2	45,6	66,5	63,6	73,8	81,9	80,5	93,5	51,4		
Date (aaaa/jj)	2006/18	1954/16	2001/22	2006/23	2006/19	1997/21	2005/05	2005/31	1979/14	1995/06	1996/08	2003/11		
Extrême quot. couv. de neige (cm)	61	91	102	44	8	0	0	0	0	15	33	64		
Date (aaaa/jj)	1959/17+	1958/22+	1971/12	2001/01	1963/11	1955/01+	1955/01+	1955/01+	1955/01+	1962/29	1965/22	1970/24		

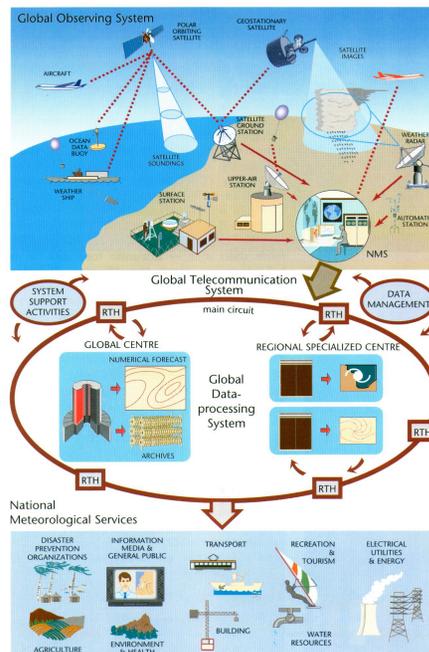
www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca

- Pour un suivi quotidien du climat, voir le CRIACC:
www.criacc.qc.ca/climat/suivi/suiv_qtd_f.html

La météorologie*

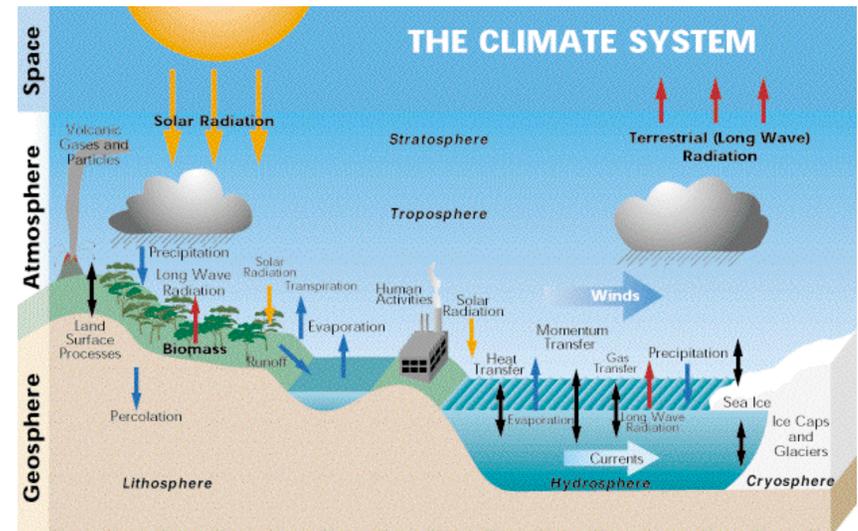
Le système mondial d'observation

- 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.



*Mot dérivé du grec "meteoros" qui signifie "élevé dans les airs"

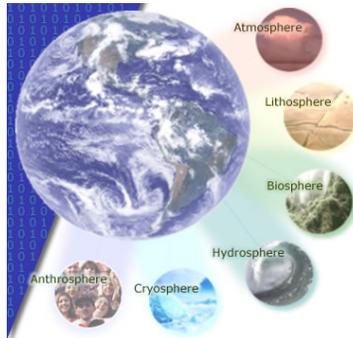
Le système climatique



Les sciences de l'atmosphère

La météorologie

- Atmosphère



La climatologie

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

} Géosphère



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

➤ Observations

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

➤ Observations et lois de la physique

- Description quantitative des processus météorologiques
- Cartographie : Analyse objective
- Préviation météorologique : Préviation numérique du temps
- Préviation climatiques



Bref historique

<http://en.wikipedia.org/wiki/User:Deditos/hom>
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Météorologie>
<http://earthobservatory.nasa.gov/Library/WxForecasting/>

L'antiquité

(de 3500 av. J.-C. à 476)

- **3500 av. J.-C. à 1700 av. J.-C.** : **En Égypte pharaonique**, on associe les pluies, vents et autres phénomènes aux ébats amoureux ou aux colères de dieux et déesses!
- **3000 av. J.-C.** : **Nei Tsing Sou Wen** en Chine écrit le premier ouvrage sur la météorologie qui comprend également des prévisions.
- **2000 av. J.-C.** : **En Mésopotamie** (le Sud de l'Irak actuel), les Babyloniens gardent des données qualitatives de précipitation et de vent. Des tablettes en pierre mentionnent explicitement l'existence de la **girouette** (direction du vent).
- **1400 av. J.-C.** : **En Chine**, on fait des relevés d'humidité et d'accumulation de neige. On explique les causes de la météo par la mythologie et la théorie des six éléments (le bois, l'air, la terre, le feu, l'eau et le métal).



Râ - Dieu Soleil

L'antiquité

(de 3500 av.J.-C. à 476)

- **650 av. J.-C.** : **Les Babyloniens** essayent de prédire les changements du temps à courte échéance en se basant sur l'apparence des nuages et des phénomènes optiques comme les halos.
- **500 av. J.-C.** : **En Grèce**, on a le premier enregistrement connu de la quantité de précipitation.
- **400 av. J.-C.** : **En Inde**, la mousson mène aux premières mesures avec des bols de la quantité de précipitation tombée ainsi qu'à des prévisions.
- **340 av. J.-C.** : **Aristote** est le premier à tenter d'expliquer les phénomènes météo (brise de mer, grêle, nuages, etc.) sans faire recours à la mythologie. Il écrit *Meteorologica* le premier traité sur la météorologie. Aristote accepte aussi que la matière soit constituée de quatre éléments : terre, eau, air et feu.

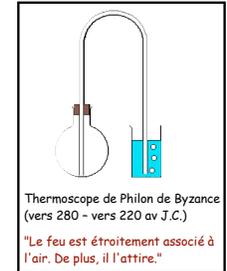


Aristote

L'antiquité

(de 3500 av.J.-C. à 476)

- **Avant 300 av. J.-C.** : **Les Chinois** développent un calendrier qui divise l'an en 24 périodes associées à du temps différent.
- **300 av. J.-C.** : **Théophraste**, Grèce, publie «*Signes du beau temps*», le premier ouvrage de prévision météorologiques en Europe.
- **280 av. J.-C.** : **Philon de Byzance**, Grèce, invente le **thermoscope** (température) sans vraiment comprendre ce qu'il avait conçu.



Thermoscope de Philon de Byzance (vers 280 - vers 220 av J.C.)

"Le feu est étroitement associé à l'air. De plus, il l'attire."



- **50 av. J.-C. à 476** : **Les Romains** n'avancent guère en ce domaine et se fient plutôt aux écrits d'Aristote.

Le Moyen Âge

(de 476 à 1492)

- Dans le **monde chrétien**, la description d'Aristote de la météorologie perd de faveur car elle ne laisse pas de place à Dieu. La météo est délaissée au profit des prédictions des sorciers et sorcières!

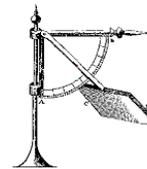


- **1031-1095** : **Shen Kuo** en Chine donne plusieurs descriptions de tornades. Il appuie aussi la théorie de Sun Sikong qui explique que les arcs-en-ciel sont formés par la lumière du soleil qui rencontre les gouttes de pluie en accord avec les principes scientifiques modernes.

Le Moyen Âge

(de 476 à 1492)

- **1441** : Le premier usage d'un **pluviomètre** (quantité de précipitation) par **Jang Yeong-Sil** en Corée. Des sources suggèrent que Cheugugi construisit le premier pluviomètre et que Yeong-Sil améliora un pluviomètre déjà existant.



Anémomètre par Hook (1635-1703)

- **1450** : **Leon Battista Alberti** invente l'**anémomètre** (vitesse des vents).

- **1450** : **Nicholas Cusa** invente l'**hygromètre** (humidité).

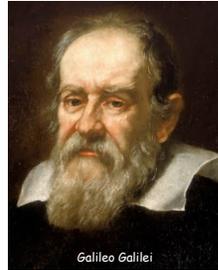


Anémomètre par Da Vinci (1452-1519)

La Renaissance

(de 1492 à 1650)

- **1592** : **Galileo Galilei** réinvente le thermoscope (Philon de Byzance, 280 av. J.-C.), précurseur du **thermomètre** (température). Cet instrument contribue à faire changer la pensée du temps, puisqu'il mesure les variations de ce que Aristote croyait un des éléments immuables : le feu.



Galileo Galilei

Mais c'est au 17^e siècle que la méthode scientifique s'affirme. L'instrumentation est inventée ou réinventée et se développe.



Le 17^e siècle

- **1637** : **René Descartes** publie «*Les Météores*» ou il rejette les explications d'Aristote. Il introduit des mathématiques dans ses explications.
- **1639** : **Benedetto Castelli** disciple de Galilée "invente" le **pluviomètre**.



René Descartes



Fig. 115. — Baromètre
L'ordin.

- **1643** : **Evangelista Torricelli** invente le **baromètre à mercure** (pression atmosphérique). Sans savoir, **Gasparo Berti** l'avait déjà inventé quelques années plutôt.
- **1648** : **Blaise Pascal** découvre que la pression diminue avec l'altitude et déduit qu'il y a un vide au-delà de l'atmosphère.
- **1650** : **Otto von Guericke** étudie la force de pression de l'air.



Pluviomètre par Castelli, en 1639

Le 17^e et 18^e siècle

- **1662** : **Christopher Wren** développe le premier **pluviomètre à bascule**.
- **1686** : **Edmond Halley** cartographie les alizés et en déduit que les changements atmosphériques sont causés par le réchauffement solaire. Il confirme ainsi les découvertes de Pascal.
- **1714** : **Gabriel Fahrenheit** établit une échelle fiable pour la mesure de la température avec les **thermomètres à mercure**.
- **1731** : **René-Antoine Ferchault de Réaumur** propose une échelle basée sur les propriétés de l'eau. Il subdivise la variation de température entre le point de congélation et d'ébullition de l'eau en 80 intervalles.



Anders Celsius

- **1742** : **Anders Celsius** propose l'échelle centigrade basée sur les mêmes propriétés de l'eau.
- **1752** : **Benjamin Franklin** à l'aide d'un cerf-volant découvre que la foudre est un phénomène électrique.



Lavoisier (chimiste) en 1760

(200 ans avant son temps ?)

"La *prédiction des changements* qui doivent arriver au temps est un art qui a ses principes et ses règles, qui exige une grande expérience et l'attention d'un *physicien* très exercé. Les *données nécessaires* pour cet art sont : l'observation habituelle et journalière des variations de la hauteur du mercure dans le baromètre, la force et la direction du vent à différentes élévations, l'état hygrométrique de l'air. Avec toutes ces données, il est presque toujours possible de prévoir un jour ou deux à l'avance, avec une très grande probabilité, le temps qu'il va faire:..."

...on pense même qu'il ne serait pas impossible de publier tous les matins un journal de prédictions qui serait d'une très grande utilité pour la société."

(Lavoisier, Oeuvres, III, p. 771)

Le 18^e et 19^e siècle

1-21

- **1783** : **Horace Bénédict de Saussure** présente dans «*Essai sur l'hygrométrie*» l' **hygromètre à cheveu** et décrit aussi ses expériences sur les mesures météorologiques de surface.
- **17??** : **L'académie royale de France** et la **Royal Society** échouent dans leurs projets de collecte de données météorologiques à l'échelle continentale.
- **1803** : **Luke Howard** publie «*Essay on the Modification of Clouds*» où présente la classification des nuages utilisée encore aujourd'hui.
- **1837** : **Samuel Morse** développe le télégraphe.
- **1849** : **Joseph Henry** du Smithsonian Institution inaugure le premier réseau télégraphique d'observateurs météo.
- **1854** : Premier réseau d'observation météorologique de surface en Europe. Il compte 59 stations en 1865.

Le 19^e siècle

1-22

- Premières cartes de pression de surface.
- Premières prévisions en utilisant la technique d'extrapolation.
- Intérêt grandissant pour la météo (lié au transport maritime et aux guerres) menant à des recherches sur la circulation atmosphérique à grande échelle.



The Great Eastern, 1865

Le 20^e siècle

1-23

- Base de la prévision numérique au début du siècle.
 - Les modèles de prévision numérique sont complexes et demandent une quantité phénoménale de calculs mathématiques pour être exécutés.
 - Richardson produit une prévision en intégrant manuellement ces équations
 - Il produit une prévision de 6 heures en 6 semaines.

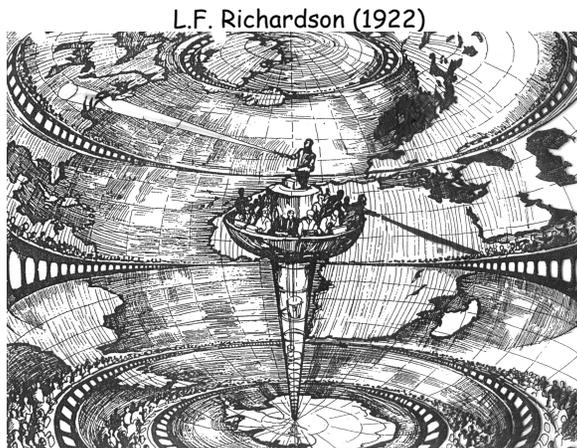


Figure 24 : L'usine à prévision de Lewis Fry Richardson.
(Source : J. C. André, « Pour demain, la prévision du temps et du climat », *Cahiers du MURS*, 1^{er}-2^e trimestres 1991, p. 27-49.

Le 20^e siècle

1-24

- Développement du radar
- Lancement de satellites
- Utilisation de la prévision numérique dès l'apparition des ordinateurs
 - Première prévision numérique du temps (von Neumann, Charney et Fjörtoft, 1950)
- Augmentation rapide des connaissances dans le domaine (circulation générale, nuages, précipitation, orages, tornades, etc.)



CloudSat, NASA

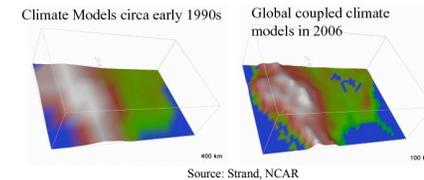
Et aujourd'hui...



- La climatologie prend de plus en plus d'importance.
- L'économie et le bien-être des sociétés dépendent largement de la météo présente et future.
- Satellites, modèles numériques, techniques d'assimilation, physique atmosphérique.
- De plus en plus d'argent est investi par les gouvernements occidentaux dans la recherche.
- L'ONU fonde l'Organisation météorologique mondiale (ang. *WMO*). Traités internationaux et effort commun.

Le futur...

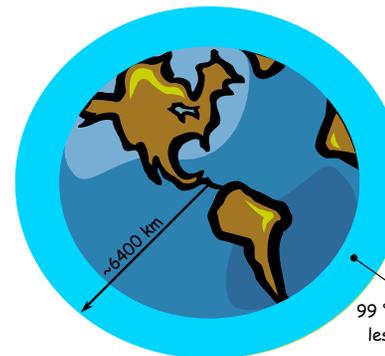
- Prévisions climatologiques de plus en plus précises
- Prévisions de l'évolution de la biosphère (biométéorologie)
- Prévision météo à 5 jours de plus en plus précise
- Multiplication des satellites météorologiques
- Prévisions à des échelles spatiales de plus en plus fines



L'atmosphère : origine, évolution et 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.



Atmosphère :
99 % de l'air est dans
les premiers 30 km



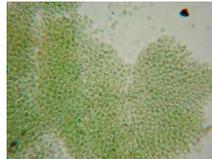
Vue de la navette spatiale

Comment s'est formée l'atmosphère?

- Big Bang (15 000 000 000 années)
- Formation de la Terre (4 500 000 000 années)
 - la planète était en fusion
 - les gaz abondants (H_2 , Ne, He, etc.) s'échappent vers l'espace
- Refroidissement graduel de la Terre et formation de la croûte
- Activité volcanique
- Formation de mers
- Les algues bleues produisent l'oxygène (O_2) à partir du gaz carbonique (CO_2) (3 500 000 000 années)



Formation de la Terre



Microcystis aeruginosa 100X

Proportion des gaz émis par les volcans d'Hawaii.

Gaz	Proportion (%)
Vapeur d'eau (H_2O)	79.3
Dioxyde de carbone (CO_2)	11.6
Dioxyde de soufre (SO_2)	6.5
Azote (N_2)	1.3
Hydrogène (H_2)	0.6
Autres	0.7
Total	100.0

Source : Anthes (1992), p. 3

Note : La proportion est en fraction molaire (%)



Kilauea, volcan actif en Hawaii

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

Gaz constituants	Proportion (%)	Concentration (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

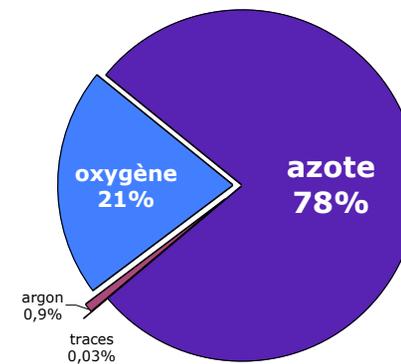
Principaux gaz à concentration variable

Vapeur d'eau (H_2O)	0-3	
Dioxyde de carbone (CO_2)	0.0350	350
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

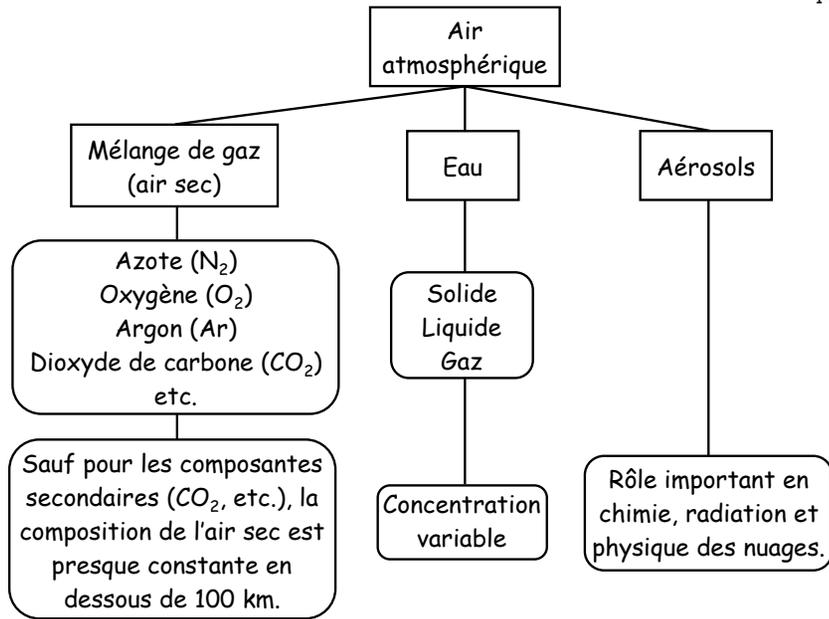
*Concentrations en 1988.

Note : Concentrations molaires.

Principaux gaz qui composent l'air sec



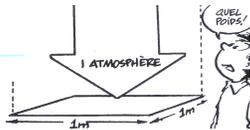
*Nombres arrondis afin d'être concis. Voir tableau.



Les caractéristiques d'une atmosphère changeante

Les grandeurs d'état de l'atmosphère

Pression



Température



Humidité



Vent

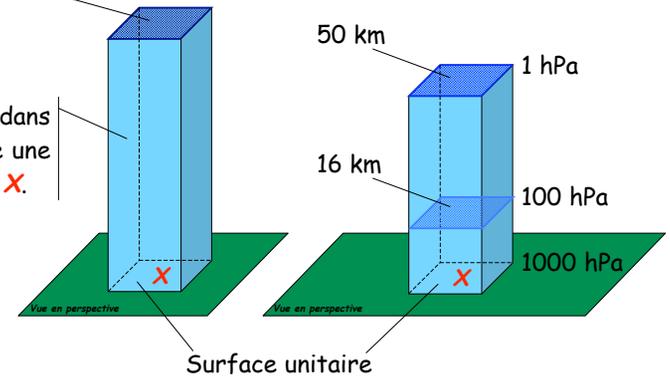


Illustrations: Jacques Goldstyn

La pression

Sommet de l'atmosphère

Le poids de l'air dans la colonne exerce une pression au point X.



- La **pression atmosphérique** est 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.

La pression

- La pression ne dépend pas de l'orientation de la surface où se trouve le point de mesure.
- L'unité de mesure de la pression est le Pascal [Pa]. C'est une unité plutôt petite plus souvent utilisée en tant que kilo Pascal [kPa].

Pression au niveau moyen de la mer :

$$101,325 \text{ kPa} = 1013,25 \text{ hPa} = 1013,25 \text{ mb}$$

équivalent à 10 tonnes (2 éléphants empilés) par mètre carré!

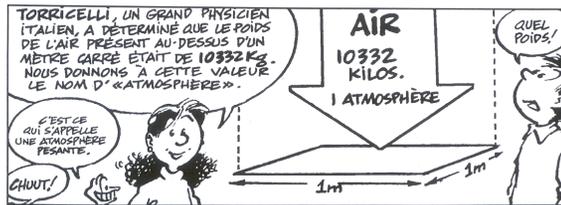


Illustration: Jacques Goldstyn

La température

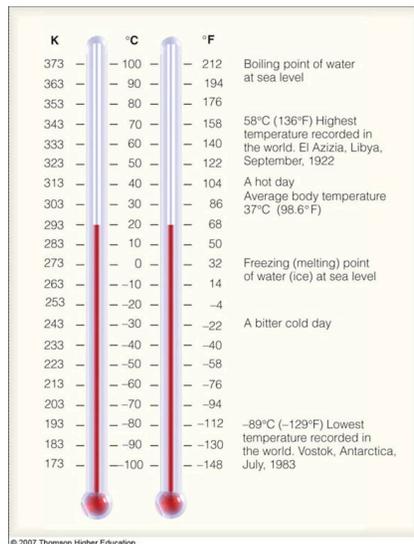
- La **température** est une mesure de la **quantité de chaleur par unité de masse**.
- Pour attribuer une valeur à la température, il faut définir une échelle de mesure. La graduation et le choix des points de références permettent de définir l'échelle de mesure :

Fahrenheit : 0°F (~ congélation de l'eau de mer) et 100°F (~ température corporelle)

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

Kelvin : 0 K (température du zéro absolu à laquelle il n'y a aucun mouvement moléculaire)

Échelles de température



© 2007 Thomson Higher Education

➤ Conversion Fahrenheit → Celsius

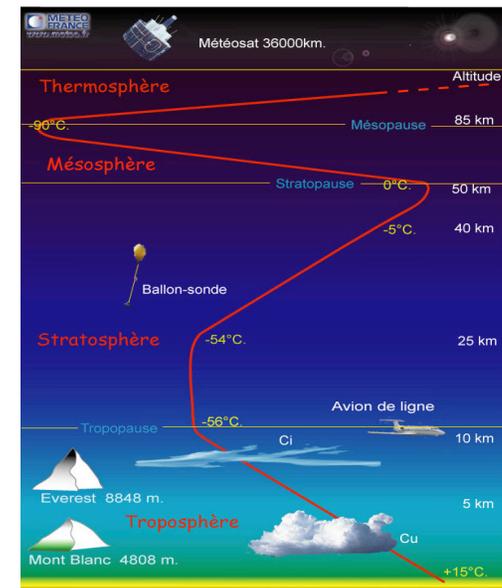
$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9} [T(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

$$T(^{\circ}\text{C}) \approx \frac{T(^{\circ}\text{F})}{2} - 15$$

➤ Conversion Celsius → Kelvin

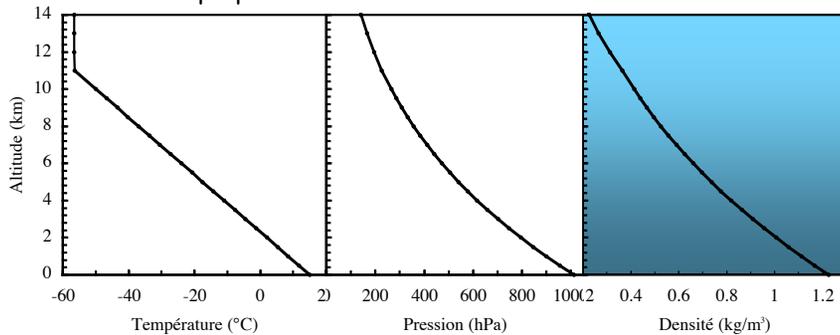
$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

Profil vertical de la température



L'atmosphère standard

- Profils standards de température, pression et densité de l'air dans la troposphère :



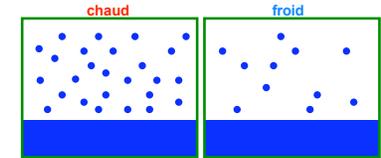
- Les circuits à Denver sont des ballons à New York à cause de la densité de l'air !

<http://profhorn.meteor.wisc.edu/wxwise/baseball/homerun.html>



L'humidité

- L'air humide se comporte comme un mélange de deux gaz parfaits : air sec et vapeur d'eau. L'**humidité** représente la **quantité de vapeur d'eau présente dans l'air**.



- La quantité maximale de vapeur d'eau présente dans un volume est limitée, et cette quantité dépend de la **température**.

Par exemple, s'il fait 25°C, on peut trouver jusqu'à 23 g de vapeur d'eau dans un mètre cube d'air. Cependant si la température baisse à 20°C en soirée, on peut trouver seulement jusqu'à 17 g de vapeur d'eau dans un mètre cube d'air.

- Lorsque la quantité de vapeur d'eau a atteint sa **valeur maximale** (correspondant à une certaine température), le volume est alors **saturé**.

L'humidité relative

- C'est le rapport de la **quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume** sur la **quantité maximale que ce volume peut contenir**.
- Elle est exprimée en pourcentage (%).
- Pour une même quantité de vapeur d'eau, l'**humidité relative** varie en fonction de la température.
ex.: En soirée, la température diminue, mais la quantité d'eau dans l'air reste la même; il y a donc une augmentation de l'humidité relative. Quand elle atteint 100%, la **rosée** commence à se déposer.

Température du point de rosée

- C'est la température à laquelle l'air doit être refroidi afin que le volume devienne saturé.
(à pression constante)



Le vent - l'échelle de Beaufort

- Si la vitesse du vent peut être mesurée avec une bonne précision à l'aide d'un anémomètre exprimant une valeur en nœuds ou en kilomètres par heure, c'est pratique de savoir évaluer cette vitesse par la seule observation des effets du vent sur l'environnement.



Force	Termes	Vitesse en nœuds	Vitesse en km/h	État de la mer	Effets sur terre
0	Calme	moins de 1	moins de 1	Miroir	La fumée monte verticalement
1	Très légère brise	1 à 3	1 à 5	Quelques rides	La fumée indique la direction du vent. Les girouettes ne s'orientent pas.
2	Légère brise	4 à 6	6 à 11	Vaguelettes ne déferlant pas	On sent le vent sur la figure, les feuilles bougent.
3	Petite brise	7 à 10	12 à 19	Apparition de moutons	Les drapeaux flottent bien. Les feuilles sont sans cesse en mouvement.
4	Jolie brise	11 à 16	20 à 28	Petites vagues, de nombreux moutons	Les poussières s'envolent, les petites branches plient.
5	Bonne brise	17 à 21	29 à 38	Vagues modérées, moutons, embruns	Les petits arbres balancent. Les sommets de tous les arbres sont agités.

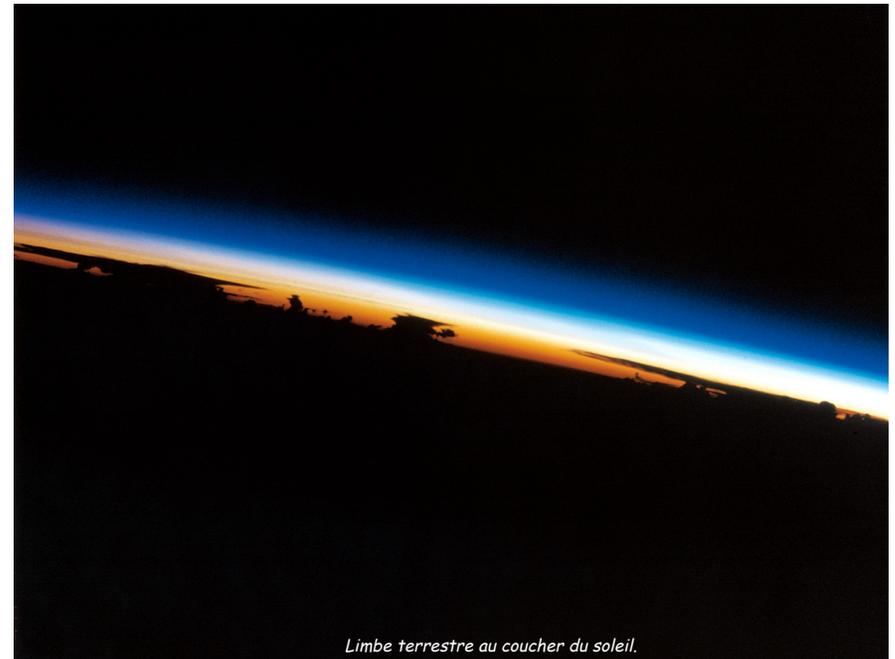
Échelle de Beaufort (suite)

Force	Termes	Vitesse en nœuds	Vitesse en km/h	État de la mer	Effets à terre
6	Vent frais	22 à 27	39 à 49	Crêtes d'écumes blanches, lames, embruns	On entend siffler le vent.
7	Grand frais	28 à 33	50 à 61	Traînées d'écumes, lames déferlantes	Tous les arbres s'agitent.
8	Coup de vent	34 à 40	62 à 74	Tourbillons d'écumes à la crête des lames, traînées d'écumes	Quelques branches cassent.
9	Fort coup de vent	41 à 47	75 à 88	Lames déferlantes grosses à énormes, visibilité réduite par les embruns	Le vent peut endommager les bâtiments.
10	Tempête	48 à 55	89 à 102	Conditions exceptionnelles	Gros dégâts.
11	Violente tempête	56 à 63	103 à 117	Conditions exceptionnelles	Gros dégâts.
12	Ouragan	supérieur à 63	supérieur à 118	Conditions exceptionnelles	Gros dégâts.

Les conditions atmosphériques

Les conditions atmosphériques

- En plus des grandeurs d'état de l'atmosphère, les conditions météorologiques comportent l'observation de :
 - Nuages
 - L'étendue nuageuse, le genre et la hauteur des nuages
 - Visibilité : La plus grande distance à laquelle un objet noir de dimensions appropriées peut être vu et identifié sur le ciel à l'horizon.
 - Précipitations
 - Type, intensité et évolution dans le temps



Limbe terrestre au coucher du soleil.