

# Climat, météo et atmosphère

*Cahier pédagogique*

*Janvier 2014*



## Table des matières

Introduction.....	4
Contexte et structure de ce cahier.....	4
Quelle est la différence entre climat et météo ? .....	4
Pourquoi mesure-t-on l'environnement ? .....	4
Incertitudes de la mesure .....	5
Station de mesure, que mesure-t-elles ? .....	5
Principe de mesure GLOBE .....	5
Atmosphère terrestre.....	6
Définition .....	6
Structure et composition .....	6
Effet de serre, définition .....	7
Les gaz à effet de serre .....	7
Température.....	8
Définition et unités .....	8
Mesure et historique .....	8
Evolution spatiale et temporelle, tendance.....	9
Mesure de la température par GLOBE.....	10
Quelles questions puis-je poser à mes élèves ? .....	11
Le saviez-vous ? .....	11
Précipitations.....	12
Définition et unité.....	12
Mesure et historique .....	12
Evolution spatiale et temporelle, tendance.....	13
Mesure des précipitations par GLOBE .....	14
Quelles questions puis-je poser à mes élèves ? .....	14
Le saviez-vous ? .....	14
Humidité relative.....	15
Définition et unités .....	15
Mesure et historique .....	15
Evolution spatiale et temporelle, tendance.....	15
Mesure de l'humidité relative par GLOBE.....	16
Quelles questions puis-je poser à mes élèves ? .....	16
Le saviez-vous ? .....	16
Pression .....	17
Définition et unités .....	17
Haute pression et basse pression .....	17
Mesure et historique .....	17
Evolution spatiale et temporelle, tendance.....	18
Mesure de la pression par GLOBE.....	19
Quelles questions puis-je poser à mes élèves ? .....	19
Le saviez-vous ? .....	19
Nuages.....	20
Formation et rôle.....	20
Mesure de la pression par GLOBE.....	20
Quelles questions puis-je poser à mes élèves ? .....	20
Le saviez-vous ? .....	20
Vent .....	21
Définition et unités .....	21
Formation du vent .....	21
Mesure et historique .....	21
Evolution spatiale et temporelle, tendance.....	22
Mesure de vent par GLOBE.....	22

Quelles questions puis-je poser à mes élèves ? .....	22
Le saviez-vous ? .....	22
Radiations solaires .....	23
Introduction et contexte .....	23
Définition et unités .....	23
Mesure et historique .....	24
Evolution spatiale et temporelle, tendance .....	24
Mesure de vent par GLOBE .....	25
Quelles questions puis-je poser à mes élèves ? .....	25
Le saviez-vous ? .....	25
Changements climatiques .....	26
Définition .....	26
Variation de la température au cours du temps .....	26
Variation du climat .....	27
Quelles sont les conséquences probables du réchauffement climatique ? .....	27
Comment peut-on agir pour limiter le réchauffement climatique? .....	28
Le saviez-vous ? .....	28
Prévisions météorologiques .....	29
Définition .....	29
Historique .....	29
Front, formation, type et importance pour les prévisions .....	29
Quelles sont les méthodes utilisées pour prévoir le temps ? .....	30
Incertitudes des prévisions météorologiques .....	31
Conclusion .....	32
Bibliographie .....	32
Annexe 1 : Description du site de mesures .....	33
Annexe 2 : Quand prendre les mesures ? Heure solaire et heure universelle .....	34
Annexe 3 : Installation de la station de mesure .....	35
Annexe 4 : Protocole relatif à la température maximale, minimale, et courante .....	36
Annexe 5 : Calibration du thermomètre .....	37
Annexe 6 : Protocole relatif aux précipitations .....	38
Annexe 7 : Protocole de mesure de l'humidité relative .....	39
Annexe 8 : Protocole relatif à la pression .....	40
Annexe 9 : Fiche de relevé de données GLOBE atmosphère, 1 jour .....	41
Annexe 10 : Fiche de relevé de données GLOBE atmosphère, 7 jours .....	42
Annexe 11 Observation des Nuages : Fiche de relevé de données – 1 jour .....	44
Annexe 12 Observation des Nuages : Fiche de relevé de données sur 7 jours .....	46

### **Impressum**

Elaboration: Vincent Luyet, Juliette Vogel, GLOBE Suisse  
 © GLOBE Suisse 2013

## Introduction

### Contexte et structure de ce cahier

Le cahier pédagogique a pour objectif de fournir aux enseignants des informations autant bien théoriques que pratiques au sujet des principaux paramètres environnementaux à mesurer sur le terrain dans le cadre du programme GLOBE atmosphère.

Après une brève introduction expliquant l'importance de mesurer l'environnement, un chapitre sera consacré à l'atmosphère puisque c'est dans cette couche que la plupart des processus météorologiques/climatiques ainsi que l'effet de serre prennent place. Ensuite, chaque paramètre récolté par le programme GLOBE international (température, précipitation, humidité relative, pression et nuage) sera disséqué fournissant entre autre des informations quant à sa mesure, sa variation spatiale et temporelle, ses tendances ainsi que les protocoles de mesure GLOBE international. Même si la mesure de vent et du rayonnement solaire ne font pas partie du programme GLOBE international, ils seront décrits afin d'avoir une vision globale des paramètres météorologiques. Finalement, ce cahier se focalisera sur les prévisions météorologiques et le changement climatique.

### Quelle est la différence entre climat et météo ?

La météorologie ou météo est l'étude des phénomènes atmosphériques (température, précipitation, vent, radiation solaire, ...) permettant de prévoir le temps à court terme (généralement quelques jours). Si la météo se soucie du temps qu'il fait ou qu'il fera en un lieu et à un moment précis, la climatologie étudie la distribution de ces mêmes conditions atmosphériques mais pour une région donnée et sur une longue période. La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes annuelles et mensuelles sur 30 ans au minimum. Par conséquent, lorsque l'on parle de météorologie, on parle de valeurs instantanées et locales qui se distinguent des valeurs moyennes établies sur des décennies et sur des zones géographiques plus importantes qu'utilise la climatologie.

Le climat de la Suisse n'est pas uniforme. Au Nord des Alpes, l'influence océanique joue un rôle modérateur sur les températures (rafraîchissement en été et réchauffement en hiver). Alors qu'au Sud des Alpes, c'est l'influence méditerranéenne qui prédomine. De plus, il existe des micro-climats secs dans les vallées alpines protégées (Valais ou Engadine).

### Pourquoi mesure-t-on l'environnement ?

Quel temps faisait-il à pareille date il y 10 ans ? Fait-il plus chaud à Berne ou à Sion ? En 2003, quelle température faisait-il en été ? Quand est-ce qu'une commune doit fermer une route à cause des dangers naturels ? Quelle est l'épaisseur d'isolation optimale pour une maison ?

La réponse à toutes ces questions doit se baser sur des faits et non pas sur des avis « subjectifs » ou sur « la mémoire populaire ». Mesurer, c'est observer objectivement, c'est pouvoir comparer et analyser l'évolution dans le temps et l'espace. Ainsi, par exemple, pour déceler une évolution climatique, une série de données suffisamment longue est nécessaire (en général, de plus de 50 ans). Les mesures représentent donc un outil pertinent afin de comprendre notre environnement.

Mesurer permet aussi de comprendre et de prévoir. L'analyse des conditions passées et présentes est à la base de toutes prédictions. Tous les modèles de prédiction tels que le bulletin météo, les cartes de danger pour des crues et les scénarios de changements climatiques se basent sur des mesures. Les mesures représentent donc un outil pertinent afin de prévoir notre environnement.

Finalement, mesurer fournit également tout une série d'informations pratiques très utiles. Par exemple, il est obligatoire de connaître la vitesse du vent afin de fermer ou non les télésièges de nos stations de ski. La connaissance des températures d'une région permet de dimensionner de manière optimale l'isolation d'une

maison. Ou plus simplement, la mise en place du goudron des routes ne peut s'effectuer uniquement si la température est supérieure à 15°C.

### Incertitudes de la mesure

Lorsqu'on parle de mesure, il faut être attentif aux incertitudes ou imprécisions liées à celle-ci. En effet, si l'on mesure plusieurs fois le même phénomène, on peut obtenir des résultats légèrement différents. Ceci est dû à des phénomènes perturbateurs comme par exemple les imprécisions de l'instrument de mesure, les imprécisions liées à la calibration des appareils de mesure, les imprécisions liées à l'installation de la station de mesure (emplacement, ...) et les imprécisions de lecture des données par l'observateur. Il est très important d'être conscient de ces incertitudes.

### Station de mesure, que mesure-t-elles ?

Actuellement, il existe deux sortes de stations de mesure : les manuelles et les automatiques. Ces dernières sont munies d'un boîtier qui enregistre, stocke et envoie les mesures via le réseau mobile à une base de données. Alors que pour les stations manuelles, un observateur vient lire la mesure et la retranscrit ensuite dans une base de donnée.



Figure 1 : Exemple de stations de mesure a) automatique et b) manuelle

Les paramètres récoltés dépendent des instruments installés. Actuellement, il existe une pléthore de capteurs mesurant d'innombrables paramètres. Cependant, les principaux paramètres environnementaux mesurés sont la température de l'air, les précipitations, l'humidité relative, la pression atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, l'enneigement et les radiations solaires.

### Principe de mesure GLOBE

Le programme GLOBE atmosphère comprend de nombreux paramètres ([www.globe.gov](http://www.globe.gov)). Les enseignants ne doivent pas tous les mesurer. Ils choisissent les paramètres qu'ils veulent étudier.

Les appareils de mesure sont placés dans un abri météo. L'annexe 3 fournit toutes les indications pour localiser de manière optimale cet abri.

Les élèves doivent mesurer les paramètres à plus ou moins une heure autour du midi solaire. L'annexe 2 indique comment calculer le midi solaire. Une fois mesurés, ces paramètres seront introduit dans la base de donnée internationale Tous les protocoles de mesure se trouvent sur le site GLOBE international ([www.globe.gov](http://www.globe.gov)).

L'annexe 1 permet de décrire le site de mesure.

## Atmosphère terrestre

### Définition

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse entourant la Terre. Près de la moitié de sa masse est contenue dans les 5000 premiers mètres. C'est bien peu, comparé aux 6'400'000 mètres du rayon terrestre. En comparaison, si la Terre avait la taille d'une orange, l'épaisseur de l'atmosphère serait équivalente à celle d'une feuille de papier. Et pourtant, c'est l'atmosphère qui crée les conditions favorables à l'épanouissement de la vie à la surface de notre planète. C'est dans l'atmosphère que l'on rencontre les principaux phénomènes influençant la météo et le climat sur Terre.

### Structure et composition

En fait, notre atmosphère est divisée en plusieurs couches caractérisées entre autres par leur profil vertical de température. Ainsi, le domaine de la basse atmosphère s'identifie à la troposphère, riche en vapeur d'eau et en nuages, au sein de laquelle la température décroît dans l'ensemble assez régulièrement avec l'altitude. L'épaisseur de cette troposphère varie sous les effets de la rotation du système Terre-Lune et les interférences gravitationnelles de la Lune et du Soleil. Elle se réduit à 7 kilomètres aux pôles alors qu'elle frôle la vingtaine au-dessus de la zone équatoriale. C'est aussi au sein de la troposphère que se trouve la couche limite. C'est la couche de la troposphère directement influencée par la surface terrestre où l'écoulement de l'air est turbulent.

Vient ensuite le domaine de la moyenne atmosphère, qui superpose la stratosphère (jusqu'à une cinquantaine de kilomètres d'altitude) et la mésosphère. C'est dans la stratosphère à environ 25 km d'altitude que se situe la couche d'ozone. Ce sont d'ailleurs les réactions photochimiques induites par la présence d'ozone qui fournissent à l'air un apport de chaleur, de sorte que lorsqu'on s'élève dans la stratosphère, la température devient d'abord constante, puis se met à croître. Au-delà de la moyenne atmosphère débute le domaine de la haute atmosphère (thermosphère), où la température croit considérablement avec l'altitude

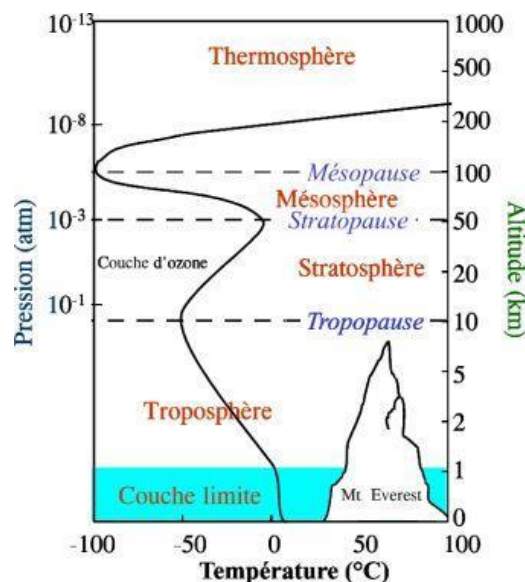


Figure 2 : Structure verticale de l'atmosphère ([www.atmo-franche-comte.org](http://www.atmo-franche-comte.org))

Les principaux gaz composant l'atmosphère sont : azote (N<sub>2</sub> représentant 78,08 % de l'atmosphère), oxygène (O<sub>2</sub>, 20,95 %), argon (Ar, 0,93 %), dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, 0,039 %), ozone (O<sub>3</sub>, entre 0,000 001 et 0,000 007 %), méthane (CH<sub>4</sub>, 0,0001745 %). Azote, oxygène, argon et autres gaz rares sont en proportions très stables dans l'atmosphère. Seules les teneurs en gaz liés à l'activité humaine (gaz carbonique, ozone, etc) et la vapeur d'eau sont variables.

L'atmosphère terrestre a permis l'apparition et le maintien de la vie, mais en retour, la présence de la vie a fortement modifié la composition de l'atmosphère. À titre d'exemple, l'activité humaine contribue à modifier la composition de l'atmosphère en y accroissant, par émission, l'importance de certaines substances (ex : le gaz carbonique) et en y injectant de nouvelles.

### Effet de serre, définition

À la distance qui la sépare du Soleil, la Terre devrait être une planète de glace (-18°C). Pourtant, la température moyenne à la surface du globe est de +15°C. Pourquoi ? Parce que l'atmosphère qui nous enveloppe joue le rôle d'une vitre, à travers laquelle le Soleil réchauffe le sol et qui empêche cette énergie de repartir dans l'espace. C'est cela, l'effet de serre.

Plus précisément, on peut quantifier les échanges d'énergie. La Terre reçoit de l'énergie (environ 340 W/m<sup>2</sup>) du Soleil sous forme d'ondes électromagnétiques. Alors qu'une partie de ce rayonnement est réfléchi par les nuages (65 W/m<sup>2</sup>) et les constituants atmosphériques (15 W/m<sup>2</sup>) vers l'espace, le reste est absorbé pour un tiers (80 W/m<sup>2</sup>) par l'atmosphère et ses gaz à effet de serre (vapeur d'eau, méthane, dioxyde de carbone) et pour les deux tiers par la surface terrestre. L'albédo moyen de la surface terrestre renvoie environ 50 W/m<sup>2</sup> qui se répartissent entre 20 W/m<sup>2</sup> définitivement renvoyés vers l'espace et 30 W/m<sup>2</sup> retournant à la surface terrestre. L'effet de serre est donc un phénomène naturel, qui favorise le développement de la vie sur Terre.

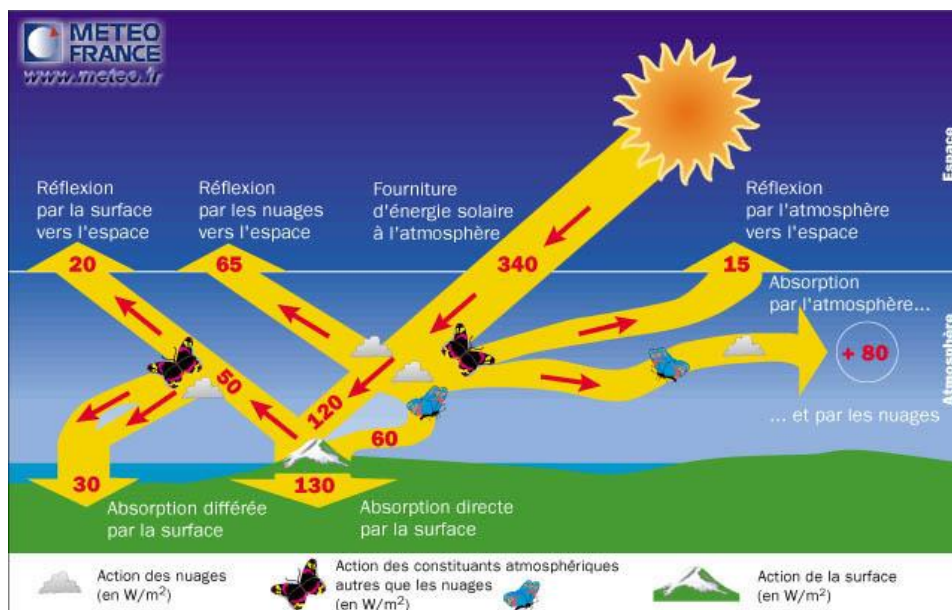


Figure 3 : L'effet de serre ( www.meteo.fr )

### Les gaz à effet de serre

Le tableau ci-dessous présente les principaux gaz à effet de serre et leur origine. Il faut savoir que la vapeur d'eau est responsable des deux tiers de l'effet de serre et que certains gaz (CO<sub>2</sub>, méthane, ozone, CFC, ...) même présents en très faible quantité, participent aussi à cet effet.

Gaz à effet de serre	Origine
vapeur d'eau (H <sub>2</sub> O)	évaporation des plantes, des sols, des cours d'eau et des océans et volcans.
gaz carbonique (CO <sub>2</sub> )	origine naturelle (respiration, éruption volcanique, ...) ou anthropique (industrie, voitures, ...)
méthane (CH <sub>4</sub> )	décomposition des matières organiques en milieu privé d'oxygène (marais, mangroves, sols dégelés, fonds marins, digestion les animaux, éruptions volcaniques)
ozone (O <sub>3</sub> )	origine naturelle (incendie) ou anthropique (industrie, ...)
protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	transformation des nitrates par les bactéries du sol

## Température

### Définition et unités

La température est considérée comme une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. La température est la manifestation, à l'échelle macroscopique, du mouvement des atomes et molécules. Ainsi une température élevée signifie une grande « agitation » atomique.

L'unité internationale de température est le Kelvin (K). Le degré Celsius (°C) est une autre unité très répandue en Europe. Certains pays anglo-saxons et les Etats-Unis utilisent une autre unité : le degré Fahrenheit (°F). La plus basse température du système Celsius est -273,15 °C correspondant à 0 K. Les formules de transformations d'unités sont :  $C = 0,55 \times (F - 32)$  ;  $K = °C + 273,15$  ;  $°F = 32 + (1,8 \times °C)$ .

### Mesure et historique

Tous les appareils mesurant la température fonctionnent sur un principe similaire. Un élément de référence possède des caractéristiques connues qui varient selon la température. Dans le cas du thermomètre à mercure, c'est la dilatation des corps (solides, liquides ou gazeux). Cependant, il peut également s'agir de toute autre propriété physique comme la variation électrique dans le cas de thermocouple ou de la couleur d'émission de la lumière pour les senseurs infrarouges. La localisation (ombre, soleil) du thermomètre peut avoir une influence directe sur les mesures.

Les premières mesures de la température à la surface du globe ont démarré en 1856 sur l'impulsion de la société météorologique britannique. Afin de connaître la température avant cette date, les scientifiques ont mis au point des méthodes de mesure « indirecte » permettant de reconstituer la température jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années. Par exemple, les arbres produisent un anneau de croissance par année dont l'épaisseur dépend de la température et de l'aridité. Connaissant la largeur, la densité du bois, la composition chimique des anneaux de croissance et les caractéristiques du site, il est possible d'estimer les températures passées. De même, on peut utiliser les cernes des coraux formés de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>). Comme il existe une relation entre la température locale et le rapport des isotopes O<sub>16</sub> et O<sub>18</sub> de la glace permanente des pôles, il est possible de reconstituer le climat de jadis.

Le thermomètre à air de Santorre Santorio (1561-1636), est le premier appareil mesurant la température. Cet appareil indique trois températures : air refroidi par la neige, air réchauffé par la flamme d'une bougie et le point médian.

1641 : les premiers thermomètres à tube scellé contenant du liquide voient le jour et les études sur le choix du liquide thermométrique le plus adapté débutent. Ainsi, le mercure remplace progressivement l'eau et l'alcool.

Début XVIII<sup>ème</sup> siècle : Daniel Fahrenheit est l'auteur de la plus ancienne échelle de température encore employée de nos jours. Il fixe à 0° la température d'un mélange d'eau, de glace, de sel de mer et de sel d'ammoniac, à 32° celle d'un mélange d'eau et de glace, à 96° celle du corps d'une personne en bonne santé et à 180° celle de l'eau bouillante.

1742 : l'astronome suédois Anders Celsius, qui a donné son nom à l'échelle centésimale publie un article dans lequel il présente un thermomètre pour lequel 0° est le point d'ébullition de l'eau et 100°, le point de congélation. C'est le Lyonnais Jean Pierre Christin qui construit un thermomètre à mercure dont l'échelle centésimale correspond à l'échelle actuelle.



Fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle: des thermomètres biméalliques utilisant la déformation des métaux par la chaleur, et des thermomètres enregistreurs à tube de Bourdon, aussi appelés thermographe, sont inventés. Un thermographe est un instrument de mesure composé d'un stylet qui enregistre mécaniquement les variations de température sur un diagramme.

1848 : à la suite de la découverte de l'équivalence entre la chaleur et le travail, l'anglais William Thomson (Lord Kelvin) introduit une échelle absolue de température. Par la suite, la théorie cinétique établit que la température absolue quantifie l'agitation moléculaire qui est continue au sein d'un gaz et que la valeur 0 correspond à un état dans lequel toutes les particules seraient immobiles.



Figure 4 : Exemples de thermomètre à métal (a) de 1841 et à alcool (b) de 1589 (source : météo France, www.meteo.fr)

### Evolution spatiale et temporelle, tendance

La course de la Terre autour du Soleil et son inclinaison (23°27', c'est d'ailleurs la latitude des tropiques) influencent grandement la température et plus particulièrement sa variation au cours du temps et dans l'espace. L'orientation des rayons solaires varie au cours de l'année selon la latitude. La figure ci-dessous donne un exemple de la répartition mondiale des températures pour un jour donné.

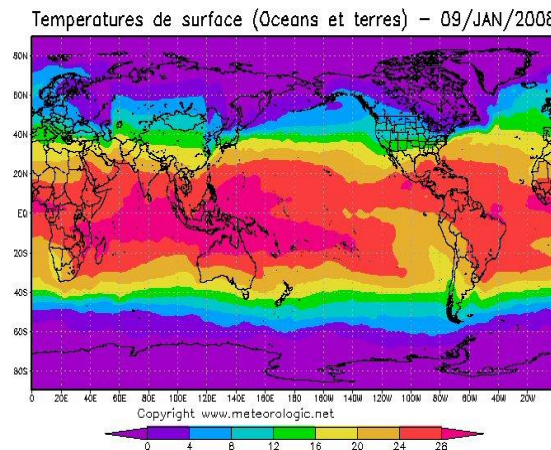


Figure 5 : Distribution de température mondiale le 9 janvier 2008 (<http://www.meteorologic.net/>)

L'altitude influence également la température. On estime en Europe une diminution de 0,65 °C par 100 mètres d'altitude. Bien entendu ce gradient de température est une approximation qui ne tient pas compte des variations d'humidité, de pression et d'autres phénomènes physiques complexes.

La température varie également dans le temps. En Suisse, lors d'un cycle journalier, il faut généralement le plus chaud en début d'après-midi. L'aube représente la période de la journée où il fait le plus froid comme le montre la figure ci-dessous.

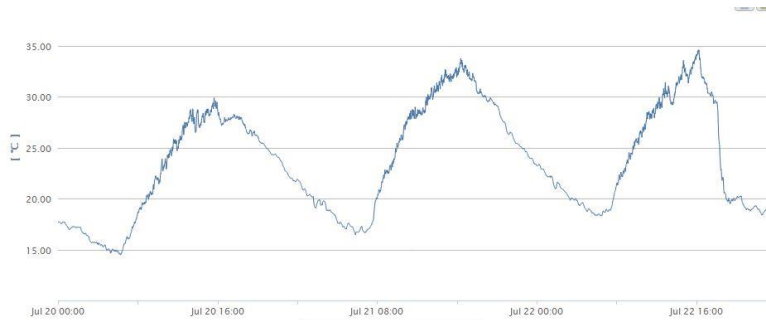


Figure 6 : Evolution de la température à Sion du 20 au 22 juin 2013 (source : climatscope et GLOBE)

Finalement, il faut préciser que la couverture du sol influence également la température. Généralement, les villes sont plus chaudes que les régions agricoles compte tenu de leur béton et de leur surface goudronnée.

D'après le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la température sur la Terre s'est réchauffée d'environ 0,6 °C au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. La figure ci-dessous localise les variations, au niveau mondial, de la température au cours du 20<sup>ème</sup> siècle.

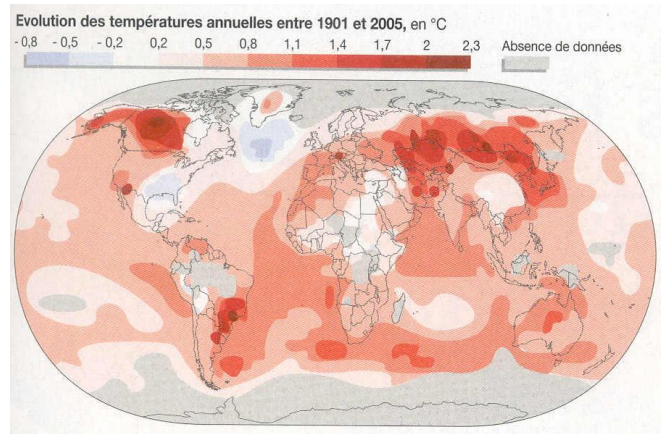


Figure 7 : Evolution de la température au cours du 20<sup>ème</sup> siècle (www.ipcc.ch/)

Selon les scientifiques du GIEC, le réchauffement de la planète va s'accroître au 21<sup>ème</sup> siècle. De 1990 à 2100, la température moyenne globale devrait augmenter de 1,4 °C à 5,8 °C. Cette fourchette de températures provient des différents modèles climatiques, ainsi que des scénarios d'émission qui prennent en considération tous les développements plausibles de la population, de l'économie et de la technologie.

En Suisse, les températures ont augmenté de manière significative depuis 1970. Les moyennes annuelles sur cinq ans relevées récemment sont de 1,5 °C supérieures à celles mesurées il y a 30 à 40 ans dans toutes les régions du pays. Le scénario « Suisse 2050 » prévoit une augmentation d'environ 2 °C en automne, hiver et printemps et de presque 3 °C en été. Il est à noter que compte tenu des incertitudes, ces augmentations devraient osciller dans une fourchette de 1 à 4 °C.

### Mesure de la température par GLOBE

Dans le cadre de GLOBE, c'est la température moyenne, maximale et minimale de l'air qui est mesurée. Le protocole de mesure de la température est décrit en annexe

3.

Selon le programme GLOBE, les mesures de température se prennent avec un thermomètre manuel ou numérique placés dans un abri météo à une hauteur de 1,5 mètre de haut. Cet abri doit être situé dans un lieu dégagé (pas de bâtiment et d'arbres aux alentours).

Le thermomètre à maxima et minima permet de mesurer la température maximale et minimale sur une période de temps. Le thermomètre à maxima/minima est un tube en U rempli de liquide avec deux indicateurs qui montrent les températures maximale et minimale atteintes depuis la dernière initialisation.

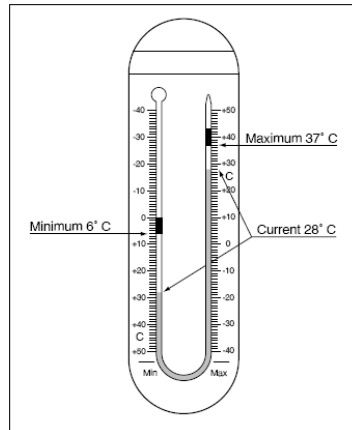


Figure 8 : Fonctionnement du thermomètre à maxima et minima.

### Quelles questions puis-je poser à mes élèves ?

- Durant une journée, quand est-ce qu'il fait le plus chaud et le plus froid ? Pourquoi ?
- Durant une année, quand est-ce qu'il fait le plus chaud et le plus froid ? Pourquoi ?
- Où se situent les endroits les plus chaud sur la Terre et pourquoi ?
- A quoi sert l'effet de serre ?
- Comment la végétation de votre région réagit-elle aux variations de température ?
- Quels sont les imprécisions d'une mesure de température ?

### Le saviez-vous ?

- La température la plus élevée jamais mesurée : 57,3° C (13.9.1922) à Al Aziziyah en Lybie. La température la plus basse jamais enregistrée : -89,2 °C (21.7.1983) à Vostok en Antarctique.
- En Suisse les records de température sont les suivants : température la plus élevée: 41,5 °C à Grono (GR) (11.8.2003) et température la plus froide: - 41,8 °C à la Brévine (NE) (12.1.1987).
- Sans atmosphère, il ferait 100 °C le jour et – 150 °C la nuit, ce sont les températures qui règnent sur la Lune.
- Quelle est la différence entre température et chaleur ? La température mesure l'état d'excitation atomique d'un système à un instant donné. Par exemple un objet est à 20 °C. La chaleur c'est l'énergie, se mesurant en Joules, qu'il faut apporter ou enlever au système pour le faire changer de température.

## Précipitations

### Définition et unité

Les précipitations sont les eaux qui tombent sur la surface de la Terre, tant sous forme liquide (brume, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) ou déposée (rosée, gelée, givre, ...).

Quelle que soit la forme de la précipitation, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement soit en millimètres (mm), soit en litres par mètre carré (l/m<sup>2</sup>). 1 mm de précipitations correspond à 1 l d'eau par m<sup>2</sup>. L'intensité de la pluie est la hauteur d'eau précipitée par unité de temps (généralement en mm/h).

Les deux principales représentations graphiques des précipitations sont l'histogramme des précipitations par intervalles de temps permettant d'observer la structure des averses et la courbe des précipitations cumulées permettant de quantifier la quantité d'eau tombée en un laps de temps.

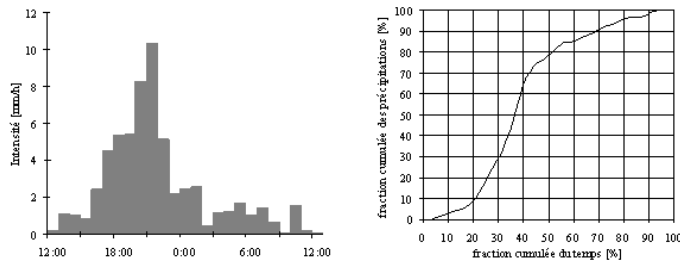


Figure 9 : Histogramme et de courbe cumulée (source : [echo.epfl.ch/e-drologie](http://echo.epfl.ch/e-drologie))

### Mesure et historique

Le pluviomètre recueille la quantité d'eau totale précipitée à l'intérieur d'un récipient calibré dans un intervalle de temps séparant deux relevés. Les radars (RADio Detection And Ranging) météorologiques envoient des ondes radios qui sont réfléchies par les pluies présentes dans l'atmosphère. Les informations reçues en « écho » permettent de localiser les précipitations en temps réel et de mesurer leur intensité. MétéoSuisse récolte les données de précipitation de plus de 400 stations et trois radars répartis sur tout le territoire helvétique.

Même si le principe de fonctionnement des pluviomètres est assez simple, il existe de nombreuses causes d'erreurs de mesures. Dès le XVII<sup>ème</sup> siècle, on a remarqué qu'un pluviomètre placé sur le toit d'un édifice enregistrait des précipitations nettement inférieures à celles d'un pluviomètre placé près du sol. Ceci provient des effets du vent, plus fort en hauteur. Les pluviomètres sont installés dans des sites bien dégagés, à une distance suffisante de tout obstacle pour éviter les turbulences. Généralement on estime que l'erreur de mesure sur les précipitations avoisine les 30%. La quantité de précipitations reçue au sol peut être très variable sur une zone géographique de taille réduite.

D'après un manuscrit rédigé en sanscrit, la quantité de pluie est mesurée dans plusieurs régions de l'Inde dès le quatrième siècle avant Jésus-Christ. En Palestine, à partir du II<sup>ème</sup> siècle avant J-C. des écrits religieux mentionnent la mesure des pluies pour des besoins agricoles.

a)



b)



Figure 10 : Pluviomètre coréen datant du 15<sup>ème</sup> siècle (a) et pluviographe du 20<sup>ème</sup> siècle (b) (source : météo France, www.meteo.fr))

1441 : le plus ancien pluviomètre retrouvé en Corée et conçu en bronze. Un réseau de mesures des précipitations couvrait alors toute la Corée.

1663 : Christopher Wren construit le premier météographe. Cet appareil enregistre plusieurs paramètres météorologiques. Son pluviomètre était constitué d'un entonnoir récepteur et de trois compartiments qui récupèrent chaque heure à tour de rôle les précipitations. Wren présente le principe des augets à basculement, dont le principe est encore actuellement utilisé.

Bien que les principes de construction n'aient pas beaucoup évolué, seules la forme et la dimension du cône de réception ont changé selon les pays et les époques.

### Evolution spatiale et temporelle, tendance

Les précipitations varient dans le temps et l'espace. La quantité totale d'eau accumulée durant une année représente un bon indicateur afin de comparer différents lieux. Ainsi si la moyenne suisse des précipitations annuelles est d'environ 1'000 mm, il existe certaines régions où il pleut moins (Sion, 600 mm) et d'autres où il pleut plus (Lugano : 1300mm).

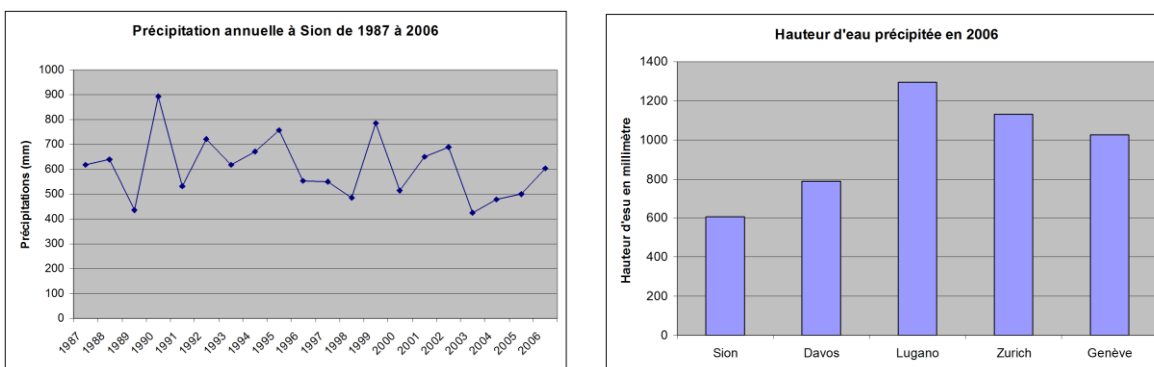


Figure 11 : Evolution des précipitations annuelles à Sion et précipitation 2006 pour différentes villes de Suisse (source : MétéoSuisse)

Au niveau mondial, il existe certains endroits comme les déserts où il pleut moins de 100 mm d'eau par an. A l'opposé, les précipitations peuvent atteindre des milliers de mm par an dans les forêts tropicales par exemple.

La répartition mensuelle des pluies, couplée avec la hauteur d'eau tombée par année permet de décrire le régime des précipitations et ainsi de classer des régions du globe ayant les mêmes caractéristiques. En région tempérée, il pleut tous les mois de l'année. En Suisse, à l'exception d'une partie de la vallée du Rhône, il pleut partout davantage en été qu'en hiver. Dans la région méditerranéenne par contre, les étés sont secs et les hivers relativement pluvieux. A certains endroits du globe, il y a une saison sèche et une saison humide comme le montre la figure ci-dessous.

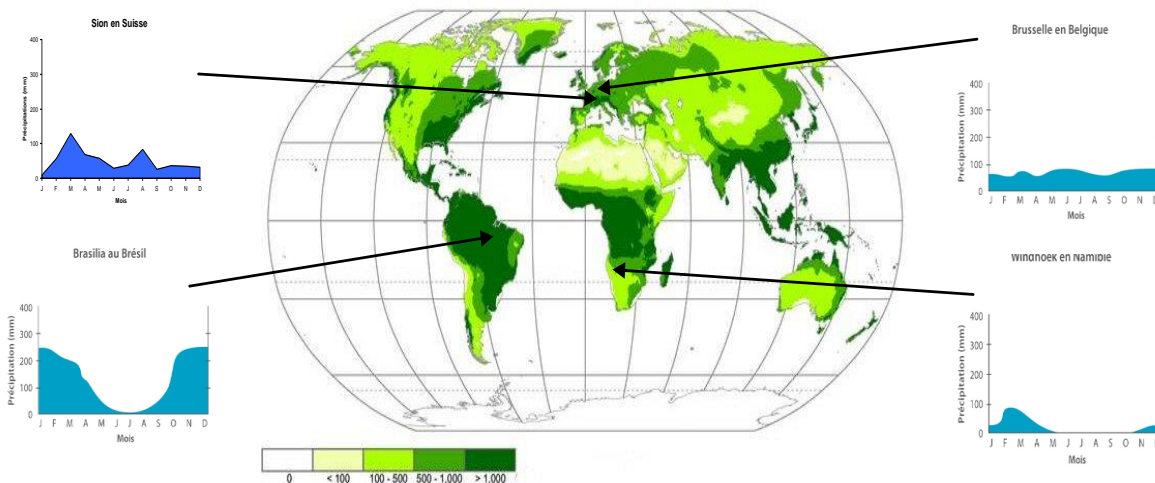


Figure 12 : Répartition des précipitations annuelles et variations mensuelles pour 4 villes (<http://drinking-water.org>)

Selon MétéoSuisse, durant le 20<sup>ème</sup> siècle en Suisse, il y a eu une augmentation des précipitations hivernales et extrêmes (tempêtes, ...). En été, les précipitations n'ont, par contre, pas évoluées. En se basant sur les modèles de prévision du GIEC, la Suisse devrait voir les précipitations augmenter de 20 % en hiver et diminuer de 20 % en été. Parallèlement, il faudra compter sur une augmentation des événements extrêmes. Les modèles actuels ne localisent pas les futures précipitations et ont de grandes incertitudes lorsqu'il s'agit de prévoir les précipitations automnales et printanières.

## Mesure des précipitations par GLOBE

Dans le cadre de GLOBE atmosphère, les précipitations liquides et solides sont mesurées. Ces mesures se feront au moyen d'un pluviomètre placé à une hauteur de 1 mètre pour la pluie et d'une planche à neige pour cette dernière. Ces mesures se feront directement sur le terrain dans un lieu dégagé de tout obstacle. Il est également possible de mesurer le pH de ses précipitations.

Tous les protocoles de mesure des précipitations ainsi que de la mesure du pH sont en annexe.

## Quelles questions puis-je poser à mes élèves ?

- Durant une année, quand est-ce qu'il pleut le plus dans votre région ?
- Que se passerait-il s'il ne pleuvait seulement la moitié de la quantité normale pendant une année ?
- La quantité de précipitations à votre école est-elle semblable des quantités mesurées par les écoles GLOBE les plus proches ? Quelles sont les origines de ces différences ou similitudes ?

## Le saviez-vous ?

- Dans le désert d'Atacama au Chili, il n'est tombé que quelques millimètres de pluie au cours des 100 dernières années !
- Les cyclones produisent des quantités gigantesques de précipitations. Par exemple, entre le 7 et 8 janvier 1966, il est tombé 1'825 mm de pluie à la Réunion.
- Pourquoi la neige ? Lorsqu'il fait froid, la vapeur d'eau contenue dans l'air condense directement en cristaux de glace sur les particules présentes dans l'air. Ces cristaux ne fondent pas en tombant, mais s'agglutinent en formant des branches appelées flocons.
- C'est en 1864 que les premiers relevés de pluie ont eu lieu en Suisse.

## Humidité relative

### Définition et unités

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative et l'humidité absolue. L'humidité relative joue un rôle sur la formation du brouillard, de la rosée et des nuages.

En général, quand on parle de mesure d'humidité, on fait allusion à l'humidité relative exprimée en %. L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température et pression. Ce rapport changera si on change la température ou la pression. L'humidité relative est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. L'humidité relative suit une échelle allant de 0 à 100 %. A 0% l'air est absolument sec et ne contient aucune trace d'eau. A partir de 100 % la vapeur d'eau commence à condenser. La pression de vapeur saturante et l'humidité relative dépendent de la température. Plus la température de l'air est élevée, plus il peut contenir de vapeur d'eau.

On définit l'humidité absolue comme le rapport de la masse de vapeur d'eau, généralement en grammes sur le volume d'air humide en m<sup>3</sup> à la pression et la température considérées.

### Mesure et historique

L'hygrométrie, c'est-à-dire la mesure de l'humidité de l'air, est un domaine où les progrès ont été très lents en raison des difficultés rencontrées pendant des siècles pour comprendre la nature exacte de la vapeur d'eau. La mesure de l'humidité relative peut se faire grâce à deux types d'instrument : l'hygromètre et le psychromètre. L'hygromètre utilise la propriété d'un élément (cheveux, boyau, crin de cheval, ...) de s'allonger ou se raccourcir lorsque l'humidité varie. Le principe du psychromètre est le suivant : deux thermomètres permettent de mesurer l'humidité relative ; un thermomètre mesure la température de l'air ambiante ; l'autre mesure la température du thermomètre mouillé parce que la sonde est trempée dans de l'eau. Plus les 2 températures se rapprochent, plus l'humidité relative est élevée.

Milieu du XV<sup>ème</sup> siècle : les ancêtres des hygromètres utilisaient les propriétés hygroscopiques de certaines substances organiques (la laine ou l'éponge par exemple), qui lorsqu'elles absorbent de la vapeur d'eau, changent de masse, de forme, de longueur ou de couleur.

1781 : Horace Bénédict de Saussure met au point le premier hygromètre à cheveu de l'histoire. L'aiguille, reliée au cheveu, se déplace devant un cadran gradué.

1825 : Ernst Ferdinand August donne le nom de psychromètre à un nouvel instrument d'hygrométrie reposant sur le principe d'évaporation de l'eau. Pendant très longtemps, le psychromètre reste l'instrument de mesure de l'humidité utilisé dans l'abri météorologique.

Actuellement, suite à l'essor des sondes électroniques, il existe des hygromètres à sondes capacitatives dont les propriétés diélectriques varient en fonction de l'humidité de l'air.

### Evolution spatiale et temporelle, tendance

L'humidité relative est étroitement liée à d'autres grandeurs physiques, telles que la température et la pression. Plus il fait chaud et plus l'humidité relative sera importante comme le montre le graphique ci-dessous.

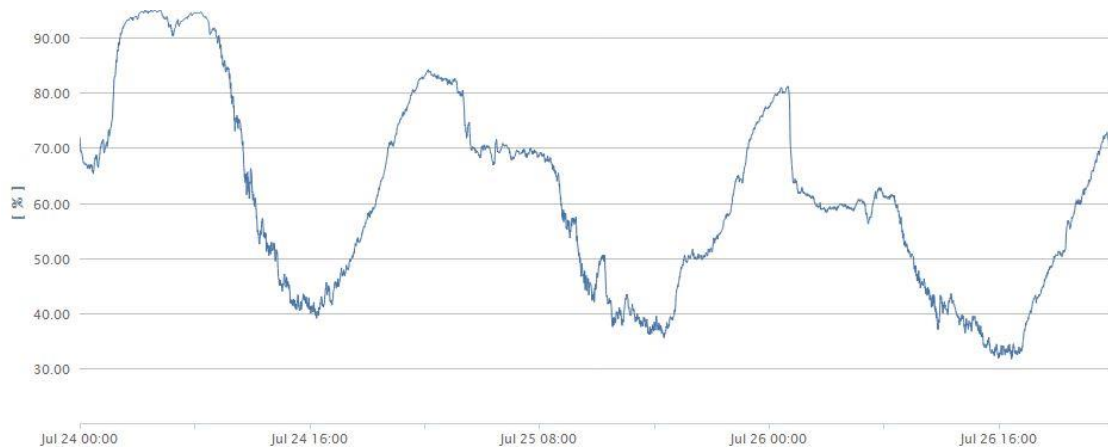


Figure 13 : Evolution de l'humidité relative entre le 24 et le 26 juillet 2013 à Sion (source : climAtscope)

Il est difficile de quantifier ces variations et ses tendances. Cependant, la plupart des modèles numériques qui prédisent le climat donnent à penser qu'une augmentation de la température entraînerait, entre autre, une croissance de l'évaporation au-dessus des océans. Par conséquent il y aurait une augmentation de l'humidité disponible dans l'air.

### Mesure de l'humidité relative par GLOBE

Selon le programme GLOBE atmosphère, les mesures d'humidité relative se prennent avec un hygromètre manuel ou électronique placé dans l'abri météo (à une hauteur de 1,5 mètre dans un lieu dégagé). Cette mesure se fera sur le lieu d'observation.

Tous les protocoles de mesure de l'humidité relative sont en annexe.

### Quelles questions puis-je poser à mes élèves ?

- Quels sont les paramètres environnementaux influençant l'humidité relative ?
- A quel moment de la journée l'humidité relative atteindra son maximum ? son minimum ?

### Le saviez-vous ?

- Pour que des nuages se forment, et qu'il y ait des précipitations, l'air doit atteindre une humidité relative légèrement supérieure à 100% dans le voisinage des gouttelettes qui se forment. Cette sursaturation est nécessaire pour vaincre la tension de surface des molécules d'eau et ainsi qu'elles s'unissent sur une poussière servant de noyau de condensation.
- Le point de rosée de l'air est la température à laquelle la pression partielle de vapeur d'eau est égale à sa pression de vapeur saturante. Concrètement, si l'air humide est progressivement refroidi, la température au point de rosée correspond à l'apparition d'eau sous phase liquide.



## Pression

### Définition et unités

La pression atmosphérique correspond au poids exercé par une colonne d'air sur une surface donnée. La pression atmosphérique se mesure généralement à l'aide d'un baromètre. Elle a été longtemps mesurée en millimètre de mercure (mm Hg) en raison de l'utilisation courante de baromètres à colonne de mercure. Depuis l'adoption du pascal comme unité de pression, les météorologues utilisent un multiple de cette unité, l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa). La pression atmosphérique mesurée au niveau de la mer varie autour d'une valeur moyenne de 1 013 hPa.

En météorologie, on parle souvent de champ de pression. On parle aussi de gradient de pression. En pratique, il est matérialisé sur une carte par les lignes d'isobares représentant les lignes d'égale pression. Plus les isobares sont serrées plus le gradient de pression sera élevé et plus les vents souffleront fort dans cette région.

### Haute pression et basse pression

Un anticyclone est une zone de circulation atmosphérique autour d'un centre de haute pression (plus de 1013 hPa, notée A). Leur sens de rotation est lié à la force de Coriolis. Les anticyclones généralement apportent du beau temps et des ciels clairs car l'air descendant d'un anticyclone a un effet de dissipation sur les nuages. A l'opposé, on trouve une dépression (moins de 1013 hPa, notée D). On associe les dépressions au mauvais temps, car la dynamique qui entoure une dépression présuppose l'existence de courants ascendants qui augmentent l'humidité relative pour atteindre le point de condensation provoquant nuages et précipitations. Une des conséquences de ce différentiel de pression est le vent. En effet, le vent est de l'air qui se déplace des anticyclones (hautes pressions) vers les dépressions (basses pressions).

Pour bien comprendre les mouvements d'air, il faut savoir que l'air converge, en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère Nord, dans une dépression. Le vent au sol entre dans une dépression, s'élève selon une spirale de plus en plus étroite et s'échappe vers le haut. A l'opposé, l'air diverge dans un anticyclone, c'est à dire que le courant descend sous la forme d'une spirale de plus en plus large en tournant lentement dans le sens des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère Nord. L'air s'étale donc au sol.

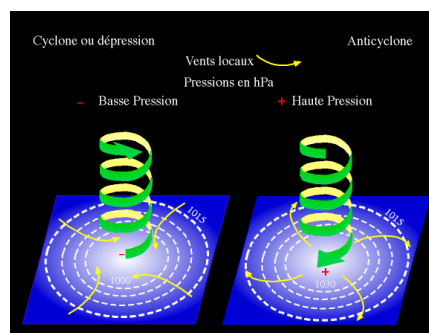


Figure 14 : Anticyclone et dépression dans l'hémisphère Nord ([www.cifen.ulg.ac.be](http://www.cifen.ulg.ac.be))

### Mesure et historique

Le baromètre mesure la pression atmosphérique. Il peut, de façon secondaire, servir d'altimètre pour déterminer, de manière approximative, l'altitude. Il existe différents type de baromètres. Le baromètre à mercure où la pression atmosphérique est équilibrée par une colonne de mercure surmontée d'un espace clos et vide. Le principe de mesure du baromètre anéroïde est basé sur la déformation d'une capsule anéroïde, membrane métallique élastique dont une face est en contact avec le vide et l'autre avec l'air atmosphérique. La capsule est déformable mais l'écrasement est empêché par la forme de la capsule agissant comme un ressort. Un système mécanique permet d'amplifier les mouvements qui résultent des variations de pression pour les rendre visibles

sur un cadran ou les enregistrer sur une bande de papier millimétré. Finalement, les baromètres électroniques traduisent en valeurs numériques les déformations d'une capsule à vide.

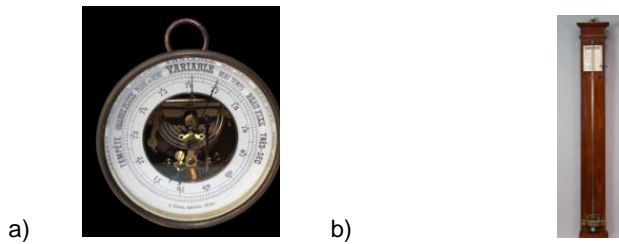


Figure 15 : Exemples de baromètre anéroïde (a) et à mercure (b) (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Barom%C3%A8tre>)

1643 : le premier baromètre a été inventé par Torricelli. Voulant mesurer les variations du poids de l'air, Torricelli remplit de mercure un tube de verre d'un mètre de long, fermé à une extrémité. Il le retourne et le plonge dans une cuvette remplie de mercure. Il constate alors que le niveau de mercure dans le tube s'abaisse, laissant un espace de vide au-dessus de lui. Il vient de découvrir la pression atmosphérique.

1647 : Descartes ajoute une échelle graduée au tube de Torricelli.

1648 : Pascal et son beau-frère Florin Périer confirment les variations de la pression atmosphérique avec l'altitude. Ils mesurent en effet la hauteur de mercure dans un tube de Torricelli à Clermont-Ferrand et au sommet du Puy de Dôme et constatent la baisse de pression avec l'altitude.

1843 : l'ingénieur Lucien Vidie construit le premier baromètre anéroïde.

### Evolution spatiale et temporelle, tendance

La pression varie verticalement et horizontalement. Toutefois la variation verticale est de loin la plus importante. Alors qu'il suffit de s'élever de quelques mètres pour que la pression baisse de 1 hPa, il faut parcourir parfois plusieurs dizaines de kilomètres pour observer la même variation dans le plan horizontal. La pression atmosphérique diminue avec l'altitude comme le montre la figure ci-dessous.

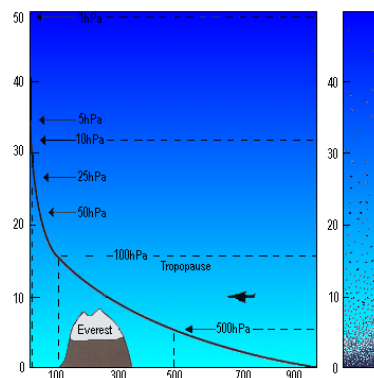


Figure 16 : Variation de la pression atmosphérique et de la température en fonction de l'altitude (<http://chez.mana.pf/~pascalrene/autrpara.html>)

Il n'existe pas de rapport montrant une tendance d'évolution quant à la répartition horizontale et verticale de pression. Des études récentes démontrent que le nombre de cyclones reste stable mais que leur puissance globale augmente depuis un demi-siècle. En revanche, le nombre de cyclones de catégorie 4 ou 5 a augmenté de 57 % entre 1970 et 2004 (source : [www.cite-sciences.fr](http://www.cite-sciences.fr)).

## Mesure de la pression par GLOBE

Selon le programme GLOBE atmosphère, les mesures de pression se prennent avec un baromètre anéroïde manuel ou électronique placé dans l'abri météo (à une hauteur de 1,5 mètre dans un lieu dégagé). Afin de pouvoir comparer les mesures de pression entre elles. Cette mesure est généralement rapportée au niveau de la mer.

Tous les protocoles de mesure de la pression sont en annexe.

Sur le baromètre anéroïde, il y a généralement deux échelles : une en millibars (ou hectopascals) et une en millimètres de mercure. Toutes vos mesures pour GLOBE doivent être rapportées en millibars ou hectopascals. Il y a une aiguille qui peut être fixée sur la lecture du jour – vous devez le faire chaque jour, après la prise de mesure. Quand vous prendrez la mesure le lendemain, l'aiguille fixée du baromètre vous indiquera la mesure de la veille, et vous pourrez instantanément comparer les deux valeurs.



Figure 17 : Baromètre anéroïde.

## Quelles questions puis-je poser à mes élèves ?

- Quels sont les paramètres influençant le plus la pression ?
- Quelle est la relation entre haute et basse pression et le temps qu'il fait ? Quand y a-t-il plus de nuages ? Lors d'une haute pression ou lors d'une basse pression ?

## Le saviez-vous ?

- Le plus souvent, au niveau de la mer, la pression atmosphérique varie en moyenne entre 1'040 et 970 hPa, mais il lui arrive de connaître des fluctuations plus importantes, par exemple à l'intérieur d'un cyclone. Ce fut notamment le cas lors du typhon Tip dont la pression au centre atteignit 870 hPa dans la mer des Philippines, le 12 Octobre 1979, pression la plus basse enregistrée à ce jour, au niveau de la mer. A l'autre extrême, à Agata, en Sibérie, on a enregistré une pression de 1'084 hPa, en Décembre 1968.
- En aéronautique, la décroissance de la pression avec l'altitude est utilisée pour permettre au pilote de connaître son altitude à tout moment, et notamment lors de la phase d'atterrissage.

## Nuages

### Formation et rôle

La vapeur d'eau, forme gazeuse de l'eau, peut se transformer en gouttelettes liquides ou en fins cristaux de glace dans des conditions favorables de température et de pression. Lorsque ces gouttelettes se trouvent en grandes quantités, elles perturbent suffisamment le passage de la lumière pour nous permettre de les apercevoir : elles produisent des nuages. La forme des nuages est modelée par les vents verticaux, alors que les vents horizontaux les déplacent.

Les nuages nous renseignent sur la température, les conditions de vent, les mouvements des masses d'air et sur l'humidité présente dans l'atmosphère. Leur observation est ainsi très utile pour prévoir le temps. Les nuages jouent également un rôle complexe dans le système climatique. Ils sont la source de précipitations et influencent la quantité d'énergie solaire qui atteint la surface de la Terre.

Bien sûr, les conditions régnant sur un endroit donné de la Terre influencent la quantité et le type de nuages qui se forment au-dessus de cet endroit. Les activités humaines peuvent aussi influencer les conditions nuageuses. Un exemple typique est la formation de traînées de condensation linéaires dues aux avions.

Il existe trois grandes familles de nuages : les cumulus ou cumulo de forme bouffie ou gonflée, les stratus ou strato qui sont des nappes étendues et les cirrus ou cirro, toujours situés en haute altitude.



Figure 18 : Trois sortes de nuages a) stratus, b) cumulus et c) cirrus ( source :GLOBE)

### Mesure de la pression par GLOBE

Selon le programme GLOBE atmosphère, l'observation des nuages se fait à l'extérieur par les élèves. Le pourcentage de couverture nuageuse ainsi que le type de nuage présent doivent être observés. Une aide à la détermination du type de nuage se trouve en annexe, tout comme le protocole de mesure.

### Quelles questions puis-je poser à mes élèves ?

- Est-ce que la présence de nuage varie au cours de l'année ?
- Quel rôle joue les nuages dans l'effet de serre ?
- Quelle information sur le temps sont fournies par les nuages ?

### Le saviez-vous ?

- Des scientifiques ont calculé que si les nuages ne s'étaient jamais formés dans l'atmosphère terrestre, notre planète serait en moyenne plus chaude de 20 °C.
- C'est en 1902, après plus de 200 lâchers de ballons, souvent effectués de nuit pour éviter l'effet de radiation du soleil, que Léon Teisserenc de Bort découvrit la tropopause. Il en conclut que l'atmosphère terrestre se composait de deux couches : la troposphère et la stratosphère.

## Vent

### Définition et unités

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements de l'air. Il naît de la différence de pression entre deux masses d'air. Le vent se déplace des hautes pressions (anticyclones) vers les basses pressions (dépressions).

Direction et vitesse du vent sont des grandeurs mesurables dont la connaissance est nécessaire à l'étude de la dynamique des masses d'air. La direction indique d'où souffle le vent. Ses unités sont soit les points cardinaux (N, S, E, O) ou les degrés angulaires. Un "vent de sud-ouest" signifie que l'air est en mouvement du sud-ouest vers le nord-est. La vitesse s'exprime soit en mètre par seconde (m/s), soit en kilomètre par heure (km/h) soit en nœud (kt, 1 nœud correspond à une distance de 1 mille nautique parcouru en 1 heure, soit 1,852 km/h).

### Formation du vent

Il est impossible de parler de vent sans parler de pression. En effet, l'origine des vents est liée à la différence de distribution de la pression atmosphérique. Ces variations sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire reçue à la surface de la Terre, et aux différences dans les propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans. Plus la différence de pression sera grande, plus le vent soufflera fort.

Si la Terre ne tournait pas sur son axe, la circulation serait directe (en ligne droite) entre les centres des hautes et des basses pressions. Cependant, la rotation de la Terre dévie l'air vers la droite de son propre mouvement dans l'hémisphère nord (vers la gauche dans l'hémisphère sud). On nomme cet effet force de Coriolis. Elle est proportionnelle à la distance entre les hautes et basses pressions ainsi qu'à la latitude. Elle est nulle à l'Equateur et augmente avec la latitude. Il faut ajouter l'effet du frottement de la surface pour aboutir à la direction des vents réelle.

### Mesure et historique

Pour mesurer la vitesse du vent on se sert d'un anémomètre. Cet instrument se compose de petites coupelles hémisphériques, disposées à l'extrémité de bras métalliques. Un compteur relié à l'axe de rotation permet de lire la vitesse et de l'enregistrer.

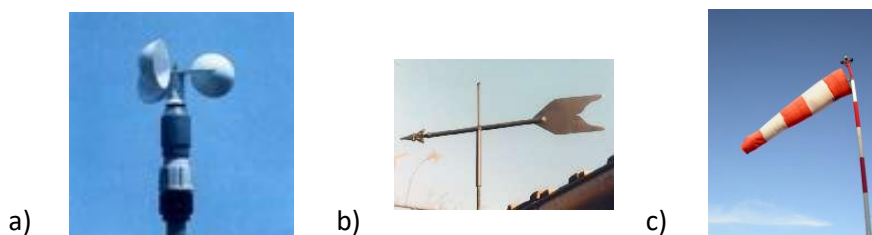


Figure 19 : Exemples d'anémomètre (a), de girouette (b) et de manche à air (c) ([www.meteole.net](http://www.meteole.net))

La direction du vent est exprimée comme un point de la boussole d'où le vent souffle. Elle peut également être exprimée en degrés (pour un vent de Sud-Ouest : 220°). Pour connaître la direction des vents on se sert soit d'un manche à air, soit d'une girouette, souvent associée à l'anémomètre.

1673 : le premier anémomètre à rotation (la vitesse du vent est déduite de la vitesse de rotation d'un moulinet ou d'une hélice) est décrit dans un livre qui semble être l'œuvre de René Grillet.

1806 : l'amiral anglais sir Francis Beaufort introduit une échelle numérique de la force du vent, de 0 à 12, en utilisant comme référence la voilure d'une frégate à trois mâts.

1835 : c'est dans un article « Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps » que Gaspard-Gustave Coriolis décrit mathématiquement la force qui porte son nom.

## Evolution spatiale et temporelle, tendance

Toutes les données météorologiques confirment que la circulation de l'air autour du globe est très variable. Elle est influencée par la nature même de la surface terrestre (continents ou océans) et les chaînes de montagne. Cependant, il existe certaines situations caractéristiques. Par exemple, entre le Tropique du Cancer et l'Equateur, les vents de l'hémisphère Nord sont déviés vers l'est, devenant les célèbres alizés du nord-est. C'est dans cette zone que se développent les cyclones tropicaux.

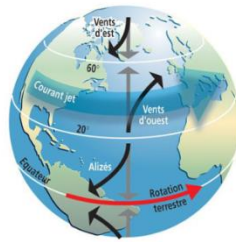


Figure 20 : Principaux vents au niveau mondial (www.prim.net)

Sur Terre, plusieurs régions ont des vents locaux caractéristiques auxquels les populations ont donné des noms particuliers. En voici quelques-uns : bise, föehn, joran, mistral, sirocco.

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ainsi que le rapport Suisse 2050 prévoient la possibilité d'une augmentation des événements extrêmes tels que la tempête Vivian ou Lothar.

## Mesure de vent par GLOBE

Ce paramètre ne fait pas partie du programme GLOBE international.

### Quelles questions puis-je poser à mes élèves ?

- Quels sont les vents les plus importants de votre région ?
- Pourquoi le vent est-il mesuré ?

### Le saviez-vous ?

- La valeur maximale enregistrée (vent instantané) pour un vent de surface est de 416 km/h à la station de Peak Gust au sommet du mont Washington (Etats Unis).
- En Suisse, les trois dernières tempêtes se nommaient Vivian (février 1990, 160 km/h à Zurich et 268 km/h au Gd-St-Bernard), Lothar (décembre 1999 : 180 km/h à Brienz) et Kyrill (janvier 2007 : 132 km/h à Zurich). En Italie, un vent de 161 km/h le 26 janvier 1994 a été mesuré au Monte Fraiteve.
- Le Jet Stream ou courant jet est un courant de vent fort (de 300 à 400 km/h) situé à plus de 10 000 mètres d'altitude faisant le tour de la Terre d'Ouest en Est. L'existence du courant jet fut découverte en 1926 et fut la cause de nombreux accidents d'avion.
- Un cyclone est une très forte dépression qui prend naissance au-dessus des eaux chaudes des océans de la zone intertropicale, et qui s'accompagne de vents très violents et de pluies torrentielles. Il est nommé ouragan s'il se forme dans la mer des Caraïbes de l'Atlantique et typhon s'il traverse l'ouest du Pacifique ou la mer de Chine.

## Radiations solaires

### Introduction et contexte

Le soleil est la principale source d'énergie naturelle de la Terre. La fusion nucléaire s'opérant dans le cœur du Soleil libère une énergie colossale qui nous parvient quelques minutes plus tard (vitesse de la lumière dans le vide : 300'000 km/s) sous forme d'ondes électromagnétiques. Ces ondes que l'on appelle aussi rayonnement solaire émettent plusieurs types de rayons, en fonction de leur longueur d'onde que l'on exprime en nanomètre (nm avec 1 nm = 1 milliardième de mètre). On peut les regrouper en trois grandes familles.

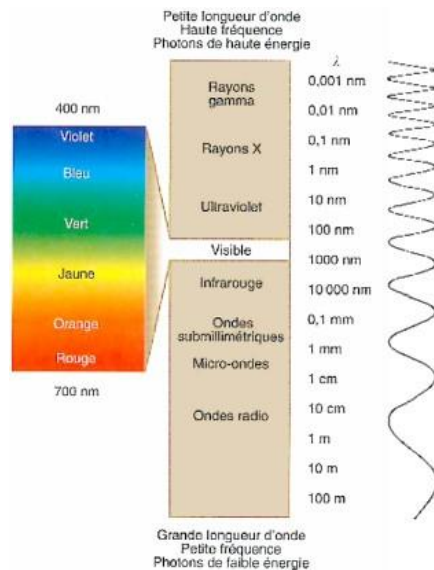


Figure 21 : Longueur d'onde et décomposition du rayonnement solaire ([www.ccrs.nrcan.gc.ca](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca))

- Les rayons à longueur d'ondes courtes, invisibles pour notre œil, comprennent les rayons gamma de la radioactivité (entre 0,001 et 0,01 nm), les rayons X utilisés lors des radiographies (entre environ 0,1 et 10 nm) et les rayons ultraviolets (UV) responsables de notre bronzage (entre 10 et 400 nm). Ils ne représentent qu'environ 6 % de l'énergie totale émise par le soleil. Les rayons gamma et X sont extrêmement dangereux, mais heureusement ils sont bloqués par l'atmosphère de la Terre. Quant aux rayons UV, ils sont partiellement filtrés par la couche d'ozone.
- La lumière visible représente environ 46 % de l'énergie totale émise par le soleil et dont les longueurs d'onde s'étendent d'environ 380 nm à 780 nm. Entre 450 et 500 nm, c'est le bleu alors que la longueur d'onde du rouge varie entre 620 et 700 nm.
- Les rayons à longueur d'ondes longues, également invisibles à l'œil humain comprenant les rayons infrarouges (entre 1'000 et 300'000 nm), les micro-ondes (entre 3 et 10 cm) et les ondes radio (> 10 cm). Ils représentent environ 48 % de l'énergie totale émise par le soleil. Ces rayons sont perçus sous forme de chaleur.

### Définition et unités

Le rayonnement solaire est un flux d'énergie, provenant du soleil, sous forme d'onde. Son unité est le Watts par mètre carré (W/m<sup>2</sup>).

Grâce au rayonnement solaire il est possible de produire de l'énergie solaire soit sous forme de chaleur, soit sous forme d'électricité. Cette énergie renouvelable possède un fort potentiel d'expansion puisque le soleil rayonne

chaque année 40 000 fois les besoins énergétiques que l'humanité consomme. En cas d'excès ou de protection insuffisante, les ultraviolets sont nocifs pour la santé humaine. Ils peuvent provoquer des cancers cutanés, un vieillissement prématuré de la peau (rides), des brûlures (coup de soleil) et des cataractes. Par ailleurs, ces rayons ont une forte influence sur la végétation. En outre, les effets des UV peuvent se faire sentir jusqu'à 20 m en dessous de la surface de l'eau claire où ils endommagent les formes de vie microscopiques comme le plancton, les larves de poisson, les crevettes, les crabes et les algues marines.

Lorsque l'altitude augmente, la couche d'atmosphère à traverser est plus réduite : dans les sites de montagne, l'intensité du rayonnement augmente car les rayons solaires sont moins filtrés. Ainsi, altitude et latitude influencent la quantité d'énergie reçue.

### Mesure et historique

En fonction de longueurs d'ondes observées et du lieu d'observation (Terre ou espace), il existe différents appareils de mesure. L'héliographe fut inventé par Campbell vers 1853, puis modifié par Stokes en 1879. L'héliographe est une sphère de verre constituant une lentille convergente qui concentre les rayons du Soleil sur une bande de mesure (bande de carton, cellules photovoltaïque) permettant d'estimer la durée d'insolation. Un grand nombre d'appareils, aux dénominations très variées, mesurent les différentes composantes du rayonnement solaire intéressant la météorologie. Le pyranomètre mesure le rayonnement solaire global, provenant du Soleil et de la totalité de la voûte céleste. Le pyréliomètre, ou actinomètre, mesure le rayonnement solaire direct, provenant seulement du disque solaire. Différents principes ont été utilisés, revenant dans la plupart des cas à mesurer la température d'un récepteur traité de façon à se comporter comme un corps noir. La tension électrique délivrée est proportionnelle au rayonnement reçu.

### Evolution spatiale et temporelle, tendance

Comme déjà mentionné dans le chapitre consacré à la température, c'est l'inclinaison de la Terre qui est responsable des variations saisonnières. L'énergie solaire reçue par mètre carré est plus faible aux pôles qu'à l'équateur. Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du Soleil. Aux équinoxes de printemps et d'automne (21 mars, 21 septembre), à midi, le rayonnement est perpendiculaire à l'équateur (latitude 0°). Au solstice d'été (21 juin), les rayons solaires sont perpendiculaires au tropique du Cancer (latitude 23° 27' N). Ainsi pendant nos mois d'été, l'hémisphère nord est tourné vers le Soleil. Les jours sont alors plus longs que les nuits. De plus, le soleil ne se couche jamais dans les régions du globe situées à l'intérieur du cercle arctique. Au solstice d'hiver (22 décembre), c'est le tropique du Capricorne (latitude 23° 27' S) qui bénéficie d'un rayonnement perpendiculaire.

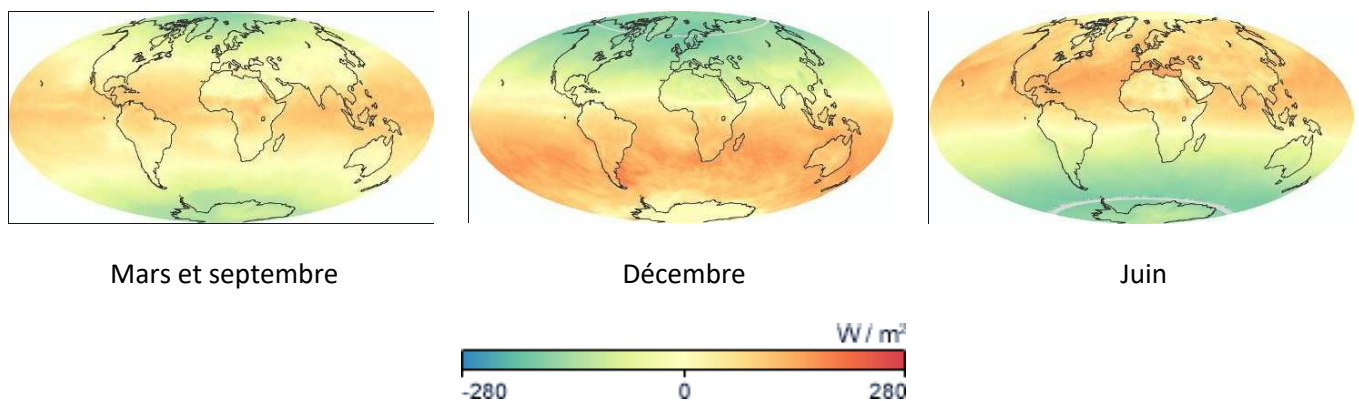


Figure 22 : Rayonnement net mensuel en  $W/m^2$  (<http://earthobservatory.nasa.gov>)



En moyenne sur l'année, il y a un excédent net d'énergie à l'équateur et un déficit net d'énergie aux pôles. Ce déséquilibre énergétique est le principal moteur de la circulation atmosphérique et océanique.

Les mesures effectuées par les sondes spatiales depuis 1980 montrent que l'intensité du rayonnement solaire reste relativement stable, elle fluctue d'environ 0,15% en suivant un cycle solaire de 11 ans.

L'ozone, O<sub>3</sub>, est un gaz toxique pour nos poumons. Heureusement, il y en a très peu au niveau du sol. Dans la stratosphère (10-30 km d'altitude), la couche d'ozone filtre et stoppe une grande partie des rayons ultra-violet (UV) du soleil. Depuis 1980, on observe un amincissement de la couche d'ozone en raison de l'utilisation de certains produits chimiques (les CFC). Sous nos latitudes, l'affaiblissement de la couche d'ozone a eu pour effet une augmentation du rayonnement UV-B. Ce rayonnement intense peut affecter la santé humaine (coups de soleil, cancers de la peau, affections oculaires). Le Protocole de Montréal est un accord international visant à réduire et, à terme, éliminer complètement les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Aujourd'hui 191 pays sont signataires du Protocole de Montréal.

## Mesure de vent par GLOBE

Ce paramètre ne fait pas partie du programme GLOBE international.

## Quelles questions puis-je poser à mes élèves ?

- Quand est ce qu'il fait le plus chaud dans ta région ?
- En quoi la mesure du rayonnement solaire est importante ?
- Pourquoi le rayonnement solaire est-il mesuré ?

## Le saviez-vous ?

- Pourquoi les nuages sont blancs ? Ils sont blancs parce que toutes les couleurs de la lumière sont diffusées par les gouttelettes d'eau des nuages. Le mélange de toutes ces couleurs reconstitue la lumière blanche.
- Pourquoi le ciel est-il bleu ? Les facteurs les plus importants pour comprendre les couleurs du ciel sont l'épaisseur d'atmosphère que le rayonnement doit traverser et l'inclinaison des rayons du soleil qui est fonction de la latitude. L'atmosphère absorbe et diffuse d'autant plus la lumière visible qu'elle est plus épaisse et plus dense. Ainsi le bleu du ciel est le résultat de la diffusion de la lumière solaire par l'atmosphère, composée de molécules d'air, d'eau et de poussières. Si l'atmosphère n'existait pas, on verrait une voûte céleste toute noire et les étoiles seraient visibles en plein jour. Quand les rayons solaires entrent dans l'atmosphère, ils rencontrent les atomes, les molécules d'air, les gouttes d'eau et la poussière. Les molécules d'air ont la bonne dimension pour diffuser les plus courtes longueurs d'ondes de la lumière, les violet, indigo et bleu en l'occurrence ; les longueurs d'ondes plus longues, tel que le rouge, ne sont à peu près pas diffusées par ces molécules d'air. C'est donc un mélange de violet, d'indigo, de bleu, de vert et une petite fraction des autres couleurs qui, étant diffusées dans tout le ciel, lui confère ce bleu que l'on connaît bien.

## Changements climatiques

### Définition

Le climat de la Terre varie naturellement. Ses changements sont principalement dus à la variation de l'orbite de la Terre autour du soleil, à l'inclinaison de l'axe terrestre, à la dérive des continents, aux fluctuations de l'activité solaire et aux éruptions volcaniques. L'échelle temporelle de ses changements varie de quelques centaines à des dizaines de milliers d'années.

Les changements climatiques sont l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps. Il peut s'agir d'un réchauffement ou d'un refroidissement. Les mesures indirectes décrites au chapitre sur la température ont permis aux scientifiques de mettre en évidence les températures du passé et d'étudier son évolution à travers le temps.

### Variation de la température au cours du temps

Les premiers milliards d'années du climat terrestre sont moins bien connus. On pense que la Terre était plus chaude, grâce à une très grande quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, et le Soleil moins puissant que de nos jours. Dans les 650'000 dernières années, il y a eu sept cycles d'expansion et de retrait glaciaire, avec une fin très rapide du dernier âge de glace il y a environ 20'000 ans qui a marqué le début du climat actuel et de l'expansion humaine. La plupart de ces changements sont attribués à de très petites variations de l'orbite terrestre qui ont alors modifié la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre.

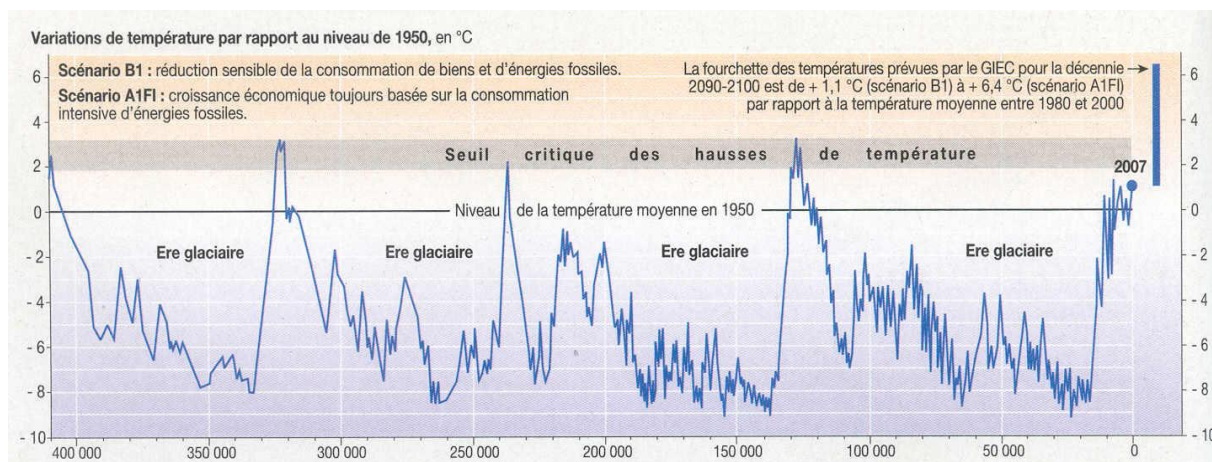


Figure 23 : Variation de la température par rapport à 1950 depuis 400 000 ans ([www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/))

La figure ci-dessus illustre la variation de température lors des 400'000 dernières années. En observant ce graphique, on s'aperçoit qu'il y a déjà eu des températures similaires (mais pas avec de telles concentrations de CO<sub>2</sub>). Et c'est bien cette augmentation exponentielle de concentration de gaz carbonique actuelle qui laisse présager une élévation des températures.

En effet, nous avons vu que l'effet de serre était un phénomène naturel de l'atmosphère qui permet de vivre sur Terre. Cet effet est dû principalement aux gaz à effet de serre. Ainsi, il existe une relation entre gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, méthane, ...) et changement climatique. En effet, si la concentration de gaz à effet de serre augmente, ils vont retenir plus d'énergie et la température va augmenter, provoquant ainsi un réchauffement climatique. Le problème c'est, comme le montre la figure ci-dessous, que jamais, depuis des centaines de milliers, voire des millions d'années, la concentration de CO<sub>2</sub> n'a été si élevée qu'actuellement.



Figure 24 : Evolution de la concentration de gaz carbonique à travers les âges (source : atlas environnement)

Depuis le début de l'ère industrielle (1750), la combustion des ressources fossiles (pétrole, charbon, gaz), la déforestation et les pratiques agricoles ont augmenté la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. A cette production « humaine » s'ajoute une production naturelle (respiration et décomposition des êtres vivants, éruptions volcaniques, ...). A l'opposé, une grande partie de ces gaz à effet de serre et notamment le CO<sub>2</sub> atmosphérique est absorbée de manière naturelle par les plantes lors de la photosynthèse et par les océans. Aujourd'hui, cet équilibre entre gaz à effet de serre produit et absorbé se modifie. La quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère augmente trop rapidement pour que les puits naturels de carbone (l'océan surtout), puissent réguler cette évolution. Selon les projections du GIEC, la concentration de gaz carbonique risque de dépasser un seuil critique vers 2030, entraînant des conséquences désastreuses. Or le CO<sub>2</sub> émis dans l'atmosphère y reste pour 100 ans et plus. Il est donc urgent de réduire nos émissions de gaz à effet de serre.

## Variation du climat

Les tendances des températures ont déjà été discutées dans ce rapport. Les précipitations vont augmenter en hiver de 20 à 30 % et diminuer en été. De plus, le réchauffement de la surface terrestre, des océans et des lacs, provoquera une évaporation plus forte. En parallèle avec des sécheresses plus fréquentes, ceci augmentera probablement la quantité totale d'eau présente dans l'atmosphère et la nébulosité deviendra plus importante. Par contre, de nombreuses questions restent encore en suspens comme par exemple le fait de savoir si l'augmentation du nombre de nuages se fera plutôt à haute ou à basse altitude.

## Quelles sont les conséquences probables du réchauffement climatique ?

En se basant sur des modèles de prévision, le GIEC a déterminé les principaux changements annoncés :

- la montée du niveau des océans et des mers entraînant par là des modifications des côtes et des risques d'inondations. Le niveau mondial des océans a augmenté d'environ 17 centimètres au cours du dernier siècle. L'élévation du niveau moyen des mers est la conséquence de deux phénomènes : la dilatation de l'eau due à son réchauffement et la fonte de la glace,
- l'augmentation de l'intensité et du nombre d'événements climatiques extrêmes tels que vague de chaleur, pluie extrême et sécheresse. La canicule 2003 a clairement montré qu'un réchauffement du

climat pourrait aussi avoir des incidences sur la santé. L'institut pour l'atmosphère et le climat de l'école polytechnique fédérale de Zurich en Suisse a calculé que des conditions comparables pourraient s'instaurer un été sur deux vers la fin du 21<sup>ème</sup> siècle,

- l'augmentation des risques naturels, tels que les inondations et glissements de terrain, due à l'évolution du cycle de l'eau et de la fonte des sols gelés (permafrost ou pergélisol)
- le déplacement de certains types de végétation. Par exemple, en milieu alpin, une ascension de la limite de la forêt, de l'ordre de 100 mètres tous les 10 ans, devrait se produire. La propagation de plantes subtropicales des jardins et des parcs en est un autre exemple,
- la disparition de certaines espèces animales et végétales. Par exemple, l'habitat et la nourriture de l'ours polaire sont grandement menacés par la fonte des glaces,
- la réduction de la couverture neigeuse des stations de montagne,
- la réduction de la sécurité d'approvisionnement en eau avec l'augmentation des sécheresses et l'évolution du cycle de l'eau,
- la diminution, voire la disparition de glaciers. La perte moyenne cumulée d'épaisseur de glace relevée depuis 1967 sur neuf glaciers des Alpes étudiés en détail est de près de 18 mètres. Si cette tendance continue ou si elle s'accélère, trois glaciers sur quatre auront disparu d'ici le milieu du 21<sup>ème</sup> siècle dans les Alpes.

Compte tenu de ces conséquences probables, certains systèmes naturels seront plus affectés que d'autres par le réchauffement planétaire. Les systèmes les plus sensibles seront les glaciers, les récifs coralliens, les forêts boréales et tropicales ainsi que les écosystèmes polaires, alpins et côtiers.

### **Comment peut-on agir pour limiter le réchauffement climatique?**

Afin de diminuer la production des gaz à effet de serre et plus particulièrement le CO<sub>2</sub>, il existe des solutions. Elles peuvent être classées en trois grandes catégories : les solutions techniques, législatives et l'économie d'énergie.

La production d'énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien, la géothermie, le stockage de CO<sub>2</sub> dans le sol ou l'optimisation de l'isolation des bâtiments peuvent être cités comme solutions techniques pouvant réduire la consommation d'énergies fossiles et donc de production de gaz à effet de serre.

Dans le même ordre d'idée, les instruments étatiques comme les taxes, les lois et les accords internationaux, peuvent jouer un rôle important en vue de diminuer nos émissions et de trouver des solutions adaptées. Par exemple, en Suisse, au premier janvier 2010, une taxe de 36 francs suisse, soit environ 20 euros par tonne de CO<sub>2</sub> émis est perçue. Un autre exemple est le protocole de Kyoto. La Suisse s'est engagée dans le cadre du Protocole de Kyoto à diminuer de 8 % ces gaz à effet de serre entre 2008 et 2012 par rapport aux émissions de 1990.

Au quotidien, on peut économiser l'énergie par de petits gestes simples. Acheter des produits locaux, éteindre les appareils électriques en veille, utiliser les transports publics, faire du covoiturage ou ne pas laisser couler l'eau inutilement permettraient d'économiser des millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par année. Il est donc important d'agir maintenant et chaque fois que l'on peut.

### **Le saviez-vous ?**

- Pour permettre une stabilisation du climat, il faudrait diviser les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> par 2 et celles des pays industrialisés par 4 d'ici 2050.
- Pour éviter des concentrations trop problématiques de gaz à effet de serre, il faudrait réduire les émissions des pays développés de 25 à 40 % d'ici 2020.

## Prévisions météorologiques

### Définition

Les prévisions météorologiques sont une application de la météorologie. Leur but est de prévoir l'état de l'atmosphère à un temps ultérieur. Ces prévisions se basent sur les données météorologiques mesurées et sur l'utilisation de modèles numériques qui simulent le devenir des masses d'air. Ces simulations résolvent les équations régissant le comportement du fluide air dans l'atmosphère et en particulier dans la couche limite (couche mince allant de 0 à 500 mètres d'altitude généralement) puisque c'est là que les principaux échanges de chaleur, d'humidité et de particules se produisent.

L'histoire de la prévision du temps remonte aux temps immémoriaux avec les oracles et devins. Mais elle s'est affirmée depuis la deuxième guerre mondiale avec l'entrée en jeu des moyens techniques comme le radar, les communications modernes et le développement des ordinateurs.

### Historique

300 av. J.-C. : le philosophe Théophraste publie « Les signes du temps », premier ouvrage de prévisions météorologiques en Europe.

1031-1095 : Shen Kuo un lettré ayant vécu durant la dynastie des Song, en Chine, a travaillé entre autres choses en météorologie. Il a écrit plusieurs descriptions de tornades.

1735 : George Hadley est le premier à prendre en compte la rotation de la Terre pour expliquer les alizés. Bien que son explication ait été incorrecte, prédisant les vents de moitié moins forts que la réalité, son nom a été donné à la circulation dans les tropiques comme cellules de Hadley.

1873 : l'Organisation météorologique internationale est fondée à Vienne par les pays ayant un service météorologique. Le principal promoteur fut l'américain Matthew Fontaine Maury.

1919 : les météorologues norvégiens, sous la direction de Vilhelm Bjerknes, développent l'idée des masses d'air se rencontrant le long de zones de discontinuité qu'on nomma les fronts.

Années 1950 : le développement des ordinateurs mènera l'informatique à résoudre les équations météorologiques. C'est le début de la prévision numérique du temps.

1951 : l'organisation météorologique mondiale (OMM) est fondée par l'ONU en remplacement de l'organisation météorologique internationale.

Années 1960 : TIROS-1 est le premier succès de lancement d'un satellite météorologique. Celui-ci marque le début de la prise de données météorologiques depuis l'espace à une résolution supérieure aux stations terrestres en plus de sonder des endroits peu ou pas couverts antérieurement comme les océans, les déserts et les Pôles.

### Front, formation, type et importance pour les prévisions

Un front météorologique est une surface de discontinuité étendue, qui sépare deux masses d'air ayant des propriétés physiques différentes (ex : température, humidité, pression). Le concept a été développé au début du 20<sup>ème</sup> siècle par les météorologues norvégiens pour expliquer le comportement de l'atmosphère dans les latitudes moyennes terrestres : la formation des nuages, des précipitations, des dépressions et des anticyclones ainsi que leur déplacement. Le développement de la météorologie depuis ce temps a permis de démontrer que les fronts sont une conséquence des forces en jeu plutôt que leur cause mais la représentation est maintenant tellement répandue qu'ils sont toujours largement utilisés dans les présentations météo. Il existe trois principaux types de fronts : les fronts chauds, les fronts froids et les fronts occlus. La limite entre les deux masses d'air (air chaud et air

froid), appelée surface frontale, est une zone souvent météorologiquement active à laquelle sont associés nuages et précipitations. En fait, les fronts ne sont que le résultat des mouvements de l'atmosphère et non leur cause.

Un front chaud se définit comme une masse d'air chaud s'élevant au-dessus de la masse d'air froid provoquant la formation de nuages, le plus souvent des nimbostratus. Dans la situation de fronts froids, la masse d'air froid soulève la masse d'air chaud provoquant la formation de nuages, le plus souvent des cumulus. Le front occlus se forme à cause de la différence de vitesse entre le front froid et le front chaud. En effet, les fronts froids sont plus rapides tandis que les fronts chauds sont plus lents. La masse d'air froid soulève la masse d'air chaud et celle-ci finit par ne plus être en contact avec le sol. Il se produit alors des précipitations régulières suivies en général d'éclaircies.

Les fronts sont représentés de la manière suivante sur les cartes. Les fronts froids sont les lignes avec des triangles bleus. Les fronts chauds sont les lignes avec des demi-cercles rouges. Les fronts occlus sont les lignes avec des triangles et des demi-cercles violets.

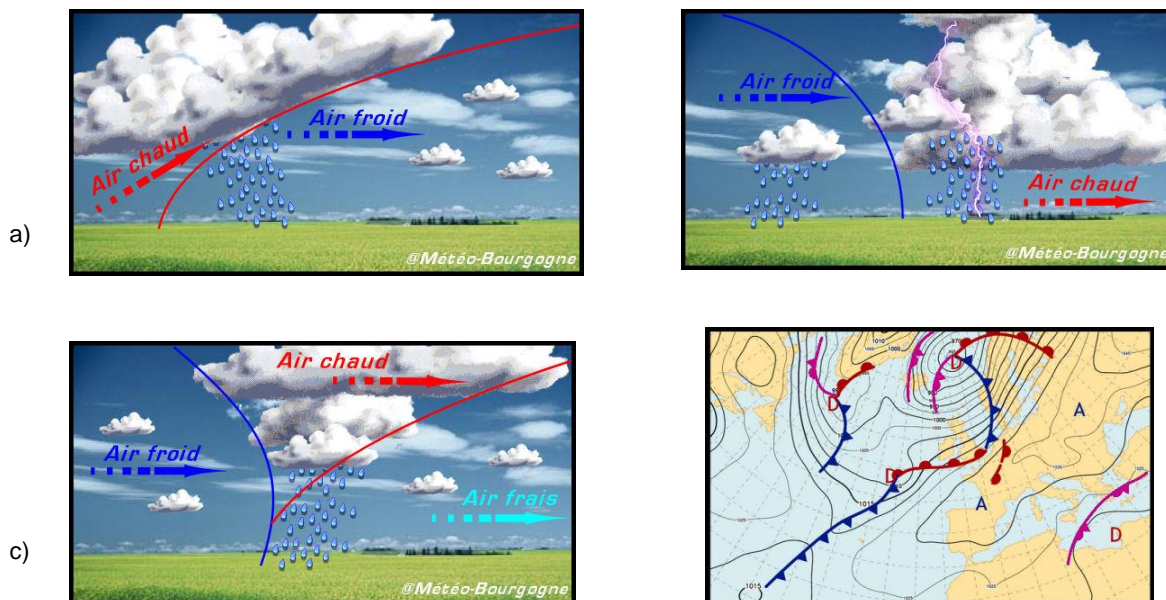


Figure 25 : Front chaud (a), front froid (b), front occlus (c) et leur représentation (d) (Source : [www.meteo-bourgogne.com](http://www.meteo-bourgogne.com))

## Quelles sont les méthodes utilisées pour prévoir le temps ?

Il existe différentes méthodes pour prévoir le temps : les plus utilisées étant les prévisions numériques et l'observation d'éléments particuliers tels que les nuages, la pression ou les fronts. A côté de ces approches scientifiques on en trouve plusieurs empiriques permettant de prévoir le temps. Par exemple en observant les plantes ou les animaux, ou en se basant sur les prédictions des almanachs.

La méthode la plus utilisée reste celle des prévisions numériques. Les lois régissant le comportement de l'atmosphère sont dérivées de la mécanique des fluides. En particulier, les équations de Navier-Stokes, équations aux dérivées partielles non-linéaires, décrivent le mouvement des fluides dans un milieu continu. Elles gouvernent ainsi les mouvements de l'air de l'atmosphère. On peut grâce à des modèles mathématiques les résoudre.

Pratiquement, pour effectuer des prévisions météo, il faut résoudre, des équations mêlant la pression, la température, la densité de l'air, la teneur en eau de l'atmosphère dans les trois dimensions (x, y et z). Il faut donc dans un premier temps connaître la valeur de ces inconnues pour un moment donné. Pour cela, on utilise les

données généralement fournies par les stations de mesure météo situées à différentes altitudes, par les radars ou les satellites. Ensuite, il faut résoudre les équations suivantes :

- les trois équations de Navier-Stokes de quantité de mouvement reliant les forces de pression et de Coriolis selon les trois dimensions
- la loi des gaz parfaits reliant pression et température
- l'équation hydrostatique reliant la pression et l'altitude
- l'équation de continuité de masse reliant la variation de la masse dans un volume d'air et sa forme dans le temps
- l'équation de composition reliant le contenu en eau de l'air et sa variation dans l'espace.

Toutes ces équations doivent en outre tenir compte des changements de phase de l'eau. Au final, ce sont des ordinateurs très puissants qui résolvent ces équations. Il existe différents logiciels pour ce faire à travers le monde. Il arrive souvent que différents modèles suggèrent différentes solutions. Cela est dû à la façon dont les équations de l'atmosphère sont intégrées dans un modèle, à sa résolution et à l'état de l'atmosphère qui est parfois très instable et susceptible de grands changements à partir de petites variations de l'analyse initiale. C'est à ce moment-là qu'intervient le prévisionniste. L'expérience des effets locaux, l'observation des fronts et du comportement récent de l'atmosphère permet au prévisionniste d'affiner la prévision à court et moyen terme.

Un autre moyen de prévoir le temps localement et à court terme est l'observation des nuages qui sont souvent la résultante des fronts. Certains nuages se forment uniquement par beau temps, tandis que d'autres amènent des averses ou des orages. Les différents types nuageux peuvent indiquer une tendance dans l'évolution du temps. Des altocumulus, par exemple, sont souvent les premiers signes indicateurs que des averses se dérouleront plus tard dans la journée. Aux latitudes moyennes, on voit souvent la progression d'un front chaud en observant le changement de type nuageux de cirrus à cirrostratus. Lorsque le front se rapproche, les nuages s'épaississent s'abaissent, devenant des altostratus. Au début des précipitations, les altostratus se transforment en nimbostratus. Les nuages sont souvent les premiers signaux indicateurs de l'arrivée d'une perturbation, mais tous les nuages ne sont pas signe de mauvais temps.

## Incertitudes des prévisions météorologiques

Résoudre les équations régissant les mouvements dans l'atmosphère n'est pas facile car elles comportent de nombreux termes qui n'agissent pas tous à la même échelle. De plus, l'atmosphère est un système où les variables changent de valeur en chaque point. Il n'est pas possible de la sonder avec une résolution qui nous permettrait de parfaitement définir son état initial. C'est pourquoi les premiers météorologues ont d'abord développé des modèles empiriques pour expliquer le comportement de l'atmosphère. Les fronts, creux barométriques et autres termes si bien connus dans le vocabulaire des présentateurs météo proviennent de ces premières explications du temps. Par la suite, les théories de la dynamique de l'atmosphère et les données obtenues par les radiosondages ont permis de développer des modèles mathématiques en utilisant seulement les termes les plus importants dans les équations et en simplifiant la structure de l'atmosphère. Avec l'avènement de l'informatique, les termes négligés ont pu être graduellement introduits bien qu'on ne soit pas encore parvenu à les incorporer tous. Toutefois, la météorologie est encore handicapée par la très faible densité de données disponibles. Les stations de sondage sont éloignées de plusieurs centaines de kilomètres les unes des autres et même si des capteurs à distance tels les satellites et les radars augmentent la définition de l'analyse, toutes ces informations comportent des imprécisions assez grandes. Pour résumer, plus l'échelle est petite, plus des phénomènes locaux peuvent jouer un rôle prépondérant et donc augmenter les incertitudes des prévisions. De même, les indices de fiabilité des prévisions illustrent la précision d'une prévision. Ainsi, une prévision à deux jours sera plus précise qu'une prévision à cinq jours.

## Conclusion

L'objectif de ce document est de fournir de manière appropriée les informations nécessaires à la compréhension des grands principes de la météorologie. Nous nous sommes intéressés aux paramètres environnementaux mesurés, à leur signification, importance et tendance ainsi qu'aux processus associés à ces paramètres environnementaux comme l'effet de serre, les changements climatiques et les prévisions météorologiques. L'équipe GLOBE espère que vous avez trouvé la réponse à vos nombreuses questions lors de votre lecture. Sur le site Internet du projet (<http://www.globe-swiss.ch>) vous trouverez ce document, des activités pédagogiques clé en main et vous avez la possibilité de nous contacter afin de poser vos questions.

## Bibliographie

- L'Atlas environnement, analyses et solutions. Hors-série du monde diplomatique
- Techniguide de la météo, Jean-Louis Vallée, éditions Nathan
- La Suisse se réchauffe, Effet de serre et changement climatique, Martine Rebetez, éditions PPUR
- La Suisse en 2050, rapport de l'office fédéral de l'environnement, OFEV, Suisse
- La revue durable
- Environnement Suisse, rapport de l'office fédéral de l'environnement, OFEV, Suisse
- [www.globe.gov](http://www.globe.gov)
- [www.globe-swiss.ch](http://www.globe-swiss.ch)
- [www.education21.ch](http://www.education21.ch)
- [www.meteofrance.ch](http://www.meteofrance.ch)
- [www.globe-swiss.ch](http://www.globe-swiss.ch)
- [www.defipourlaterre.org](http://www.defipourlaterre.org)
- <http://cpo.noaa.gov/OutreachandEducation/ClimateLiteracy.aspx>
- [www.fondation-nicolas-hulot.org](http://www.fondation-nicolas-hulot.org)
- [www.meteosuisse.ch](http://www.meteosuisse.ch)
- [www.futura-sciences.com/fr/comprendre](http://www.futura-sciences.com/fr/comprendre)
- [www.greenfacts.org/fr/](http://www.greenfacts.org/fr/)
- [www.planete-sciences.org/meteo](http://www.planete-sciences.org/meteo)
- [www.educnet.education.fr](http://www.educnet.education.fr)
- <http://drinking-water.org/html/fr/Sources/Variability-Reliability.html>
- <http://eolemag.free.fr/>
- <http://www.wsl.ch/land/products/klimaanimation/>
- <http://www.climate-change.ch/>
- <http://www.myclimate.org/index.php>
- <http://www.wetternetz.ch/>



## Annexe 1 : Description du site de mesures

### Généralités

Nom de l'école : \_\_\_\_\_ Nom de la classe ou du groupe \_\_\_\_\_

Noms des élèves renseignant la fiche de définition du site \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_ Cochez :  nouveau site  réactualisation

Nom du site (donner à votre site un nom unique) \_\_\_\_\_

Localisation : Latitude : \_\_\_\_\_ °  N ou  S Longitude : \_\_\_\_\_ °  E ou  O

Altitude : \_\_\_\_\_ mètres

Source des données de localisation (cocher) :  GPS  Autre \_\_\_\_\_

Obstacles (cocher) :  Aucun obstacle  Obstacles (décrivez-les ci-dessous)

(les obstacles sont les arbres, les bâtiments, se trouvant à l'intérieur d'un rayon de 10 mètres)

Description : \_\_\_\_\_

**Nombre de photo et orientation**

### Abri météo

Hauteur du haut du pluviomètre : \_\_\_\_\_ cm

Hauteur du capteur ou du thermomètre à maxima/minima : \_\_\_\_\_ cm

Type de surface sous l'abri météo. (cocher une réponse) :  Trottoir/goudron  Terre nue

Herbe rase (< 10 cm)  Herbe Longue (> 10cm)  Sable  Toit (décrivez ci-dessous)

Autre (décrivez ci-dessous)

Description : \_\_\_\_\_

Remarques complémentaires sur le site : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Annexe 2 : Quand prendre les mesures ? Heure solaire et heure universelle

### But

Savoir quand mesurer les températures dans le programme GLOBE.

Traduire les heures suisses en heures universelles.

### Quand mesurer les températures ? Heure solaire.

Les mesures du programme GLOBE atmosphère se prennent lorsque le soleil est à son zénith, c'est-à-dire à son point le plus haut. On définit cette heure par le midi solaire. Le programme GLOBE accepte une tolérance de plus ou moins une heure.

Pour connaître le midi solaire, il suffit de prendre la moyenne de l'heure du lever et du coucher du soleil. Ces informations se trouvent très facilement soit dans le journal soit sur des sites Internet (exemple : <http://www.web-calendar.org/fr/world/europe/switzerland>). Le tableau suivant illustre ce calcul pour Sion et Zurich.

15 août 2013	Sion	Zurich
Heure du lever du soleil	6h28	6h21
Heure du coucher du soleil	20h41	20h38
Midi solaire	$(6h28+20h41)/2=13h34$	$(6h21+20h38)/2=13h29$
Mesure GLOBE possible entre	12h34 et 14h34	12h39 et 14h39
Heure universelle (GMT) au midi solaire	$13h34 - 2h=11h34$	$13h29 - 2h=11h29$

### Heure universelle

L'heure moyenne de Greenwich, en anglais Greenwich Mean Time (GMT) est l'heure solaire moyenne traversant l'observatoire royal de Greenwich, près de Londres en Angleterre. Cette heure est également nommée temps universel coordonné (UTC) depuis 1972. Cette heure a servi de référence temporelle dans le monde entier pour la désignation des fuseaux horaires.

Greenwich est situé dans le fuseau horaire « Western European Time ». La Suisse se trouve dans un autre fuseau horaire, il s'agit de « Central European Time ». Cela signifie qu'il y a un décalage d'une heure en hiver et de deux heures en heure d'été. Par exemple, à l'heure où j'écris ces lignes, il est 11h15, le 15 août 2013, en Suisse. Cela signifie que l'heure GMT est 9h15.

## Annexe 3 : Installation de la station de mesure

### But

Choisir de manière optimale le lieu d'installation de la station de mesure.

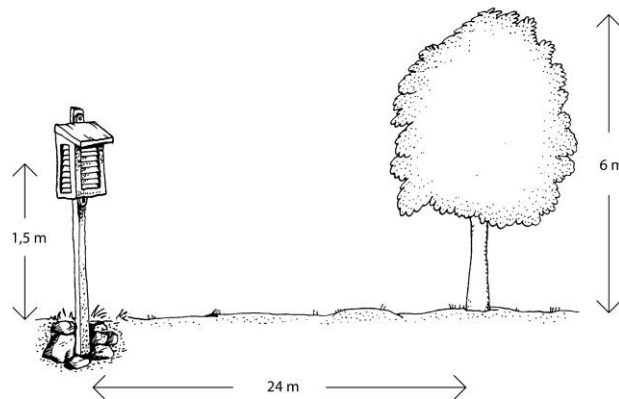
### Ce dont vous avez besoin

- Un abri météo permettant de protéger les instruments de mesure
- Un thermomètre mesurant la température maximale et minimale
- Un thermomètre de référence
- Un pluviomètre

### Localisation de l'abri météo

L'abri météo ne devra pas être situé à proximité de bâtiments et des arbres. Il devra être localisé sur un terrain plat, avec un sol naturel (pas de béton) et dégagé de tout obstacle.

Généralement, il faut mesurer la hauteur de l'obstacle le plus proche et installer l'abri météo à 4 fois cette distance. Le but étant de diminuer l'impact des obstacles sur les mesures.



La porte de l'abri météo devra s'ouvrir vers le Nord. Le thermomètre devra se situer à 1,5 m de hauteur. La porte de l'abri météo aura des ouvertures afin de permettre la ventilation des instruments. Fixer l'aimant permettant la remise à niveau du thermomètre à maximal et minimal à une corde à l'intérieur de l'abri météo.

Vérifie avec ton maître que les thermomètres ont été calibrés. Cela signifie qu'ils ont été contrôlés pour s'assurer de leur précision.

Le pluviomètre devrait être surélevé du sol, pour qu'il soit facile de lire les mesures. Il ne doit rien y avoir qui puisse abriter l'appareil de la pluie. Evite aussi d'installer le pluviomètre dans un endroit très venté.

## Annexe 4 : Protocole relatif à la température maximale, minimale, et courante

### But

Mesurer la température de l'air (et éventuellement du sol) dans un délai d'une heure autour du midi solaire, ainsi que les températures maximale et minimale de l'air atteintes au cours des 24 heures précédant l'expérience

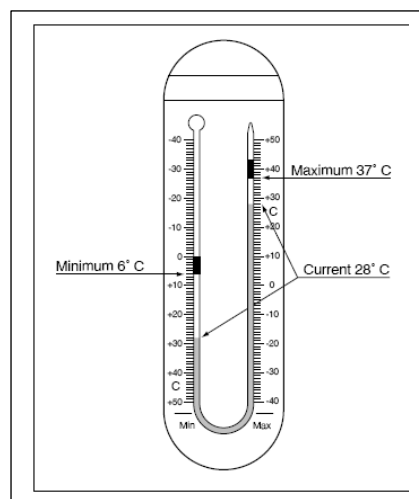
Réinitialiser les indicateurs maximum et minimum pour commencer les mesures des prochaines 24 heures.

### Ce dont vous avez besoin

- Un abri à instruments météo bien situé
- Un thermomètre à max/min correctement calibré et installé
- Fiche de Relevé de Données Atmosphériques
- Un stylo ou un crayon

### Sur le terrain

1. Notez l'heure et la date sur votre *Fiche de Données* en heure locale et en heure universelle (UT).  
**Remarque :** l'heure rapportée sur le site Web de GLOBE devrait être l'heure UT.
2. Ouvrez l'abri météo en faisant attention à ne pas toucher ou souffler sur le thermomètre.
3. Placez-vous de manière à avoir les yeux bien en face du niveau de mercure du thermomètre.
4. Relevez le niveau de mercure du côté maximum du thermomètre, en arrondissant au 0,5° C le plus proche. Vérifier qu'elle correspond à celle inscrit côté minimum.
5. Notez cette température comme température courante.
6. Relevez la température max correspondant à la partie supérieure de l'indicateur du côté maximum, en arrondissant au 0,5° C le plus proche.
7. Notez cette température comme température maximale.
8. Relevez la température correspondant à la partie supérieure de l'indicateur du côté minimum, en arrondissant au 0,5° C le plus proche.
9. Notez cette température comme température minimale.
10. Utilisez l'aimant pour délicatement descendre les indicateurs de minimum et maximum jusqu'à ce qu'ils touchent le mercure.
11. Refermez l'abri météo.



## Annexe 5 : Calibration du thermomètre

### *But*

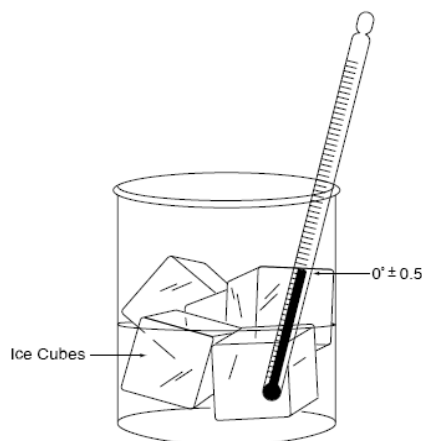
Vérifier la calibration du thermomètre.

### *Ce dont vous avez besoin*

- Un thermomètre de calibration
- Un récipient propre de 250 ml ou plus
- De la glace pilée
- De l'eau (distillée de préférence, mais l'essentiel est que l'eau ne soit pas salée)

### *Dans la classe*

1. Préparez un mélange d'eau fraîche et de glace pilée, avec plus de glace que d'eau dans votre récipient.
2. Plongez le thermomètre de calibration dans le bain d'eau glacée. L'ampoule du thermomètre doit être entièrement dans l'eau.
3. Laissez reposer pendant 10 à 15 minutes.
4. Tournez délicatement le thermomètre dans le mélange eau-glace de manière à ce qu'il soit refroidi uniformément.
5. Lisez la valeur indiquée par le thermomètre. Si cette valeur est comprise entre  $-0,5^{\circ}\text{C}$  et  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , le thermomètre est bien calibré.
6. Si le thermomètre indique plus que  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , vérifiez qu'il y a plus de glace que d'eau dans votre récipient.
7. Si le thermomètre indique moins que  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , vérifiez qu'il n'y a pas de sel dans votre bain d'eau glacée.
8. Si votre thermomètre n'indique toujours pas une valeur comprise entre  $-0,5^{\circ}\text{C}$  et  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , remplacez ce thermomètre. Si vous avez utilisé ce thermomètre pour des mesures, signalez-le à GLOBE.



## Annexe 6 : Protocole relatif aux précipitations

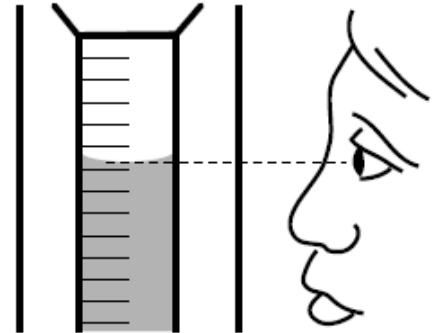
### But

Mesurer la quantité de pluie accumulée dans votre pluviomètre dans un délai d'une heure autour du midi solaire.

Préparer le pluviomètre pour recueillir plus de pluie.

### Ce Dont Vous Avez Besoin

- Un pluviomètre placé et monté convenablement
- Feuille de Données d'Etude de l'Atmosphère
- Un stylo ou un crayon



### Sur le Terrain

1. Lisez le niveau d'eau dans votre pluviomètre; assurez-vous que vos yeux sont à niveau avec l'eau contenue dans le cylindre gradué. Lisez le niveau au pied du ménisque.

2. Relevez la pluviométrie au dixième de millimètre près.

S'il n'y a pas d'eau dans le pluviomètre, indiquez 0.0 mm

S'il y a moins de 0.5 mm, indiquez « T » comme traces.

Si vous renversez de l'eau avant de mesurer la quantité de pluie, indiquez « M » comme manquant pour la quantité. (Si vous avez uniquement renversé un petit peu d'eau, indiquez la quantité non renversée dans les métadonnées)

3. Versez l'eau dans le bocal d'échantillonnage et refermez-le pour les mesures de pH.

4. S'il y a de l'eau dans le tube de débordement :

- a. Retirez le cylindre gradué du tube de débordement.
- b. Lisez le niveau d'eau dans le cylindre gradué en le tenant de telle manière que vos yeux soient à niveau avec le ménisque.
- c. Relevez la quantité au dixième de millimètre près.
- d. Versez l'eau du cylindre gradué dans le bocal pour la mesure du pH.
- f. Répétez les étapes b jusqu' e jusqu'à ce que le tube de débordement soit vide.
- g. Additionnez vos mesures et prenez le total pour la quantité de pluie.

5. Relevez le nombre de jours pendant lesquels la pluie s'est accumulée. (Le nombre de jours écoulé depuis la dernière fois où le pluviomètre a été vérifié et vidé)

7. Séchez le pluviomètre et remettez-le en place.

## Annexe 7 : Protocole de mesure de l'humidité relative

### *But*

Déterminer l'humidité relative en utilisant un hygromètre digital une fois par jour dans un délai d'une heure autour du midi solaire.

### *Ce dont vous avez besoin*

- Un hygromètre digital
- Une montre ou un minuteur.
- Une feuille de mesure Atmosphère
- Un thermomètre correctement installé dans son abri à instruments météo.

### *Dans le laboratoire :*

1. Placer l'hygromètre dans l'abri météo. (à moins que ce soit très sec, NE LAISSEZ PAS l'hygromètre dans son abri toute une nuit).
2. Après avoir attendu au moins 30 minutes, lire l'humidité relative et noter quel instrument de mesure a été utilisé.
3. Lire la température à ce moment-là (si votre lecture ne correspond pas au moment de la journée où la température est à son maximum, minimum ou si elle a déjà été relevée).
4. Rapporter l'hygromètre dans la classe et ranger le dans un endroit sec.

## Annexe 8 : Protocole relatif à la pression

### But

Mesurer la pression barométrique une fois par jour dans un délai d'une heure autour du midi solaire. Toutes vos mesures pour GLOBE doivent être rapportées en millibars ou hectopascals (souvenez-vous, ces deux unités sont équivalentes).

Réinitialiser l'aiguille fixée du baromètre à la valeur de pression barométrique du jour.

### Ce dont vous avez besoin

- Un baromètre anéroïde ou un altimètre correctement calibré au niveau de la mer. Il est conseillé de placer l'instrument dans la classe. L'humidité à l'extérieur peut provoquer des valeurs non correctes.
- La feuille de mesure
- Un stylo ou un crayon.

### Dans la classe

1. Relever le jour et l'heure sur la feuille de mesure Atmosphère.
2. Donner doucement des petits coups sur la partie en verre du baromètre anéroïde pour stabiliser l'aiguille.
3. Lire le baromètre au 0.1 millibars (ou hectopascal) près.
4. Noter cette mesure en tant que pression du jour.
5. Fixer « l'aiguille fixe » du baromètre sur la pression relevée.

GLOBE demande d'introduire la pression barométrique au niveau de la mer. Vérifiez bien que ce que vous lisez est exprimé au niveau de la mer. La base de donnée GLOBE transformera automatiquement la pression au niveau de la mer pour votre station. Si l'unité de la pression qui est lue n'est pas le millibar ou l'hectopascal, vous aurez besoin de convertir votre mesure.

Pour information, la relation entre pression au niveau de la mer et à l'altitude de la station est la suivante :

$$\text{Pression}_{\text{de la station}} = \text{Pression}_{\text{au niveau de la mer}} \times e^{-\text{altitude} / (\text{température} \times 29.263)}$$

ou

Pression en station = la pression barométrique à votre altitude en millibars (hectopascals)

Pression au niveau de la mer = la pression équivalente au niveau de la mer en millibars (hectopascals)

Altitude = l'altitude de votre station en mètres

Température = la température en degrés Kelvin (°K) (température (°K) = température (°C) + 273.15)

La constante 29.263 est en mètre par degré Kelvin (m/°K)



## Annexe 9 : Fiche de relevé de données GLOBE atmosphère, 1 jour

Nom de l'école : \_\_\_\_\_ Noms des observateurs : \_\_\_\_\_

Date : Jour \_\_\_\_ Mois \_\_\_\_ Année \_\_\_\_ Site d'étude : - \_\_\_\_\_

Heure locale (h : mn) : \_\_\_\_\_ Heure universelle (h : mn) : \_\_\_\_\_

### Pression barométrique

Pression barométrique (mbar) : \_\_\_\_\_  pression au niveau de la mer  pression de la station

Heure locale (h : mn)\* : \_\_\_\_\_ Heure universelle (h : mn)\* : \_\_\_\_\_

### Humidité relative

Température du thermomètre sec\* (°C) : \_\_\_\_\_

Température du thermomètre mouillé\* (°C) : \_\_\_\_\_

Humidité relative (%) : \_\_\_\_\_

### Précipitations

Nombre de jours d'accumulation des eaux de pluie : \_\_\_\_\_

Hauteur d'eau dans le pluviomètre (mm)\* : \_\_\_\_\_

\* Rappel : notez 0,0 si aucune pluie n'est tombée.

notez "M" si la mesure est manquante, perdue ou irréalisable pour cette journée

notez "T" (trace) si la hauteur pluviométrique est inférieure à 0,5 mm.

### Neige

Quotidiennement : nombre de jour d'accumulation de la neige sur la table à neige : \_\_\_\_\_

Epaisseur de neige fraîche sur la table à neige :

Mesure 1 : \_\_\_\_\_ Mesure 2 : \_\_\_\_\_ Mesure 3 : \_\_\_\_\_

\* Rappel : notez 0,0 si aucune neige n'est tombée.

notez "M" si la mesure est manquante, perdue ou irréalisable pour cette journée

notez "T" (trace) s'il n'y a pas assez de neige à mesurer.

### Température courante, maximale et minimale

Température courante de l'air : (°C) \_\_\_\_\_

Température maximale de la journée de l'air : (°C) \_\_\_\_\_

Température minimale de la journée de l'air : (°C) \_\_\_\_\_

Remarques (conditions exceptionnelles) :

---

---

---

---

## Annexe 10 : Fiche de relevé de données GLOBE atmosphère, 7 jours

Nom de l'école : \_\_\_\_\_ Site d'étude : \_\_\_\_\_

Jour de la semaine							
Date							
Heure locale							
Heure universelle							
Noms des Observateurs							

### Pression barométrique

pression au niveau de la mer

pression de la station

Pression barométrique (mbar)							
Heure locale							
Heure universelle							

### Humidité relative

Température du thermomètre sec* (°C)							
Température du thermomètre mouillé* (°C)							
Humidité relative (%)							

\* psychromètre à fronde

### Précipitations

Nombre de jours d'accumulation des eaux de pluie							
Hauteur d'eau dans le pluviomètre (mm)*							

\* Rappel : notez 0,0 si aucune pluie n'est tombée.

notez "M" si la mesure est manquante, perdue ou irréalisable pour cette journée

notez "T" (trace) si la hauteur pluviométrique est inférieure à 0,5 mm.

**Neige**

Epaisseur totale de neige accumulée sur le sol (mm) :

Mesure 1 (mm)							
Mesure 2 (mm)							
Mesure 3 (mm)							

**Température courante, maximale et minimale**

Température de l'air : (°C)							
Température maximale de la journée de l'air : (°C)							
Température minimale de la journée de l'air : (°C)							

\* note : pour la mesure journalière de la température du sol utilisez un thermomètre à maxima/minima équipé d'une sonde de sol.

Remarques (conditions exceptionnelles – datez vos commentaires) :

---



---



---



---

## Annexe 11 Observation des Nuages : Fiche de relevé de données - 1 jour

### Observation des nuages

Ecole / Nom de l'observateur : \_\_\_\_\_ Lieu : \_\_\_\_\_

Date (p.ex. 2017-01-13) : \_\_\_\_\_

Heure locale (p.ex. 14:26) : \_\_\_\_\_ Heure universelle (UT) : \_\_\_\_\_

#### 1. Que vois-tu dans le ciel ?

##### Couverture nuageuse (nuages, trainées)

Obscurcissement du ciel

Aucun nuage

Clair (<10%)



Isolés (10-25%)



Epars (25-50%)



Fragmentés (50-90%)



Couvert (90-100%)



Brouillard



Bruine/embruns



Forte pluie



Fumées



Chutes de neige



Poussières



Tempête de neige



Brume



Sable



Cendres volcaniques



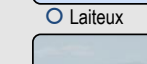
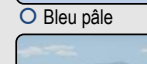
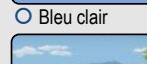
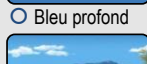
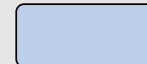
\*Si tu aperçois la couleur du ciel ou qu'il y a une certaine visibilité, remplis le point 2

**Va au point 6**

#### 2. Couleur des nuages et visibilité

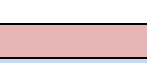
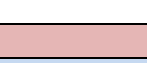
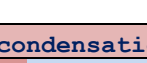
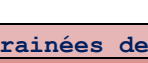
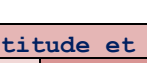
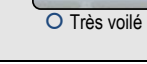
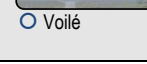
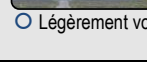
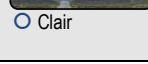
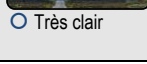
##### Couleur

Le ciel n'est pas visible



##### Visibilité

Le ciel n'est pas visible



#### 3. Nuages de haute altitude et trainées de condensation

Pas de nuage de haute altitude

**Va au point 4**

##### Types de nuages :

Trainées de condensation (nombre)



Cirrus



Cirrocumulus



Cirrostratus



Ephémères



Persistantes non étalées



Persistantes étalées

##### Couverture nuageuse :

Clair (<10%)

Isolés (10-25%)

Epars (25-50%)

Fragmentés (50-90%)

Couvert (90-100%)

##### Opacité des nuages :

Opaques



Translucides



Transparents



#### 4. Nuages de moyenne altitude

Pas de nuages de moyenne altitude

**Va au point 5**

##### Types de nuages :

Altostratus



Altocumulus



##### Couverture nuageuse :

Clair (<10%)

Isolés (10-25%)

Epars (25-50%)

Fragmentés (50-90%)

Couvert (90-100%)

##### Opacité des nuages :

Opaques



Translucides




Transparents





**5. Nuages de basse altitude**


Pas de nuage de basse altitude  
**Va au point 6**


**Types de nuages :**


Brouillard 

Nimbostratus 

Cumulonimbus 

Stratus 


Cumulus 


Stratocumulus 


**Couverture nuageuse :**

Clair (<10%)  
 Isolés (10-25%)  
 Epars (25-50%)  
 Fragmentés (50-90%)  
 Couvert (90-100%)

**Opacité des nuages :**







Opaques 

Translucides 

Transparents 

**6. Conditions au sol**

**Obligatoire**

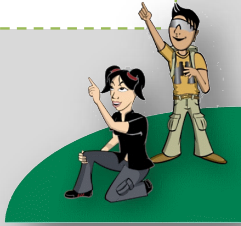
	Oui	Non		Oui	Non
Neige / Glace 	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Terrain sec 	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eau stagnante 	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Feuilles sur les arbres 	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Boueux 	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Il pleut / neige 	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Facultatif**

Température : \_\_\_\_\_ °C

Pression : \_\_\_\_\_ mb

Humidité relative : \_\_\_\_\_ %



**7. Commentaires**

## Annexe 12 Observation des Nuages : Fiche de relevé de données sur 7 jours

Nom de l'école : \_\_\_\_\_ Site d'étude : ATM- \_\_\_\_\_

Jour de la semaine							
Date							
Heure locale							
Heure universelle							
Noms des Observateurs							

### Type de nuages (cocher tous les types observés)

Cirrus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cirrocumulus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cirrostratus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altostratus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alto cumulus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cumulus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nimbostratus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stratus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stratocumulus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cumulonimbus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Type de traînée de condensation (reporter le nombre de chaque type observé)

Traces éphémères							
Traces persistantes, non étalées							
Traces persistantes étalées							

### Couverture nuageuse (cocher si le ciel n'est pas obscurci)

Aucun nuage (0%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clair (0%-10%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nuages isolés (10%-25%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nuages épars (25%-50%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nuages fragmentés (50%-90%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Couvert (> 90%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ciel obscurci	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Taux de couverture des traînées de condensation (cocher si le ciel n'est pas obscurci)

Aucune	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0-10%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10-25%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25-50%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> 50%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Si le ciel est obscurci

Brouillard	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fumées	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brume	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cendres volcaniques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poussières	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bruine/embruns	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Forte pluie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chute de neige	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tempête de neige	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Commentaires :

---



---



---