

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF1**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**Département des Sciences Agronomiques**

# **Polycopiés de cours**

**BIOCLIMATOLOGIE**

**Niveau : 3<sup>ème</sup> ANNEE**

**Élaboré par : Dr ROUABHI Amar**

## Table de matières

1- Climatologie générale.....	3
1.1 Météorologie et climatologie .....	3
1.1.1 La météorologie.....	3
1.1.2. La climatologie et la bioclimatologie .....	4
1.2 Types de temps et excès climatiques .....	4
1.2.1 Les types de temps d'un climat méditerranéen.....	4
2. Les principaux facteurs du climat .....	5
2.1 Mesures climatiques dans les stations conventionnelles .....	5
2.2 Station automatique de mesure .....	5
2.3 Mesures en surface .....	6
2.3.1. Précipitations.....	6
2.3.1.1 Les fronts .....	8
2.3.2. Températures .....	9
2.3.3 Pression atmosphérique .....	10
2.3.4. Humidité relative de l'air .....	12
2.3.5 Ensoleillement .....	14
2.3.6 Nébulosité .....	15
2.3.7 Vent .....	16
3. Mécanismes de la circulation générale des systèmes de vents (Alizés).....	18
3.1 Centres d'action : Anticyclone et dépression.....	18
3.1.1 Anticyclone .....	18
3.1.2 Dépression.....	18
3.2 Composition chimique et structure de l'atmosphère .....	19
3.3 Circulation troposphérique.....	21
3.4 Direction des vents de surface.....	23
4. Adaptation des plantes aux conditions climatiques .....	23
4.1 Les plantes adaptées à la sécheresse (plantes xérophytes).....	24
4.2 Les plantes adaptées au froid et à l'altitude .....	24
4.3. Les plantes adaptées à la lumière .....	25
4.3.1. Besoin de lumière des Sciaphytes et des Héliophytes .....	25
4.3.3. Action de la lumière sur le développement : le photopériodisme .....	28
4.3.4. La photo-réception .....	29

4.4 Plantes Adaptées Aux Milieux Salés (Plantes Halophytes).....	29
4.5 Plantes adaptées aux milieux aquatiques (plantes hydrophytes).....	30
5. Adaptation des animaux.....	30
5.1 Adaptation animale au froid .....	30
5.2 Adaptation animale aux fortes températures et à la sécheresse .....	30

## **Préambule**

### **Etude du climat et son évolution dans le temps**

*Le climat est la résultante des états de l'atmosphère (précipitation, température, vent, ensoleillement, vent...etc) en un lieu donné pendant une période définie (mois, année, décennie...). Le terme climat du latin **clima**, inclinaison, emprunté du grec, désignant l'angle entre les rayons du soleil et la surface de la terre. La climatologie est la science de l'atmosphère qui a pour objectif la description synthétique, le classement et l'explication de la répartition des différents types de climats dans un cadre géographique. Les observations météorologiques archivées constituent le matériel statistique grâce auquel la climatologie étudie l'état physique de l'atmosphère et ses variations . Dégageant aussi, les causes de leur évolution dans le temps. Jusqu'à la fin des années 1950, les objectifs étaient essentiellement descriptifs ; après cette date, ils se sont surtout orientés vers l'explication du temps et des phénomènes atmosphériques, et, depuis le début des années 1980, vers l'analyse et la prévision des changements climatiques. La bioclimatologie se définit comme une branche de l'écologie qui étudie les relations entre les êtres vivants et les caractéristiques physiques du milieu ambiant. Ces caractéristiques sont liées à des phénomènes énergétiques de nature climatique tels que les facteurs radiatifs, thermiques, hydriques.*

## **1- Climatologie générale**

### **1.1 Météorologie et climatologie**

**La météorologie**, science qui étudie les phénomènes atmosphériques, a récemment acquis son statut de discipline scientifique. En effet, le temps qu'il fait ou qu'il fera a toujours été l'objet des préoccupations humaines. **La climatologie** est moins connue du grand public, mais son importance n'en est pas moins grande car elle s'intéresse aux phénomènes météorologiques caractéristiques d'une région pendant une longue période et permet de construire des hypothèses et des perspectives à long terme sur le devenir de la planète.

#### **1.1.1 La météorologie**

La météorologie est une discipline scientifique qui s'occupe de la prévision de l'état du temps à différentes échelles temporelles, ses sources d'informations sont issues de mesures et de statistiques portant sur des grandeurs climatiques et physiques, les prévisions météorologiques sont examinées de manière vigilante que ce soit pour les activités courantes du grand public ou pour organiser et programmer les activités économiques à grande échelle. En effet, les agriculteurs sont très particulièrement attentifs aux conditions atmosphériques dans l'exercice de leur métier tout comme les marins, routiers etc. Par ailleurs, la prévision météorologique présente un système d'alerte, s'agissant des fortes pluies ou le passage d'un cyclone. Cela va permettre d'alerter les populations concernées afin de limiter les dégâts matériels et surtout d'éviter les pertes humaines. Un nouvel usage de la météorologie a fait son apparition depuis quelques années, lorsque les hommes ont pris conscience de l'importance de la qualité de l'air. Des conditions météorologiques particulières empêchent la dispersion des polluants : conditions anticycloniques, inversion de température, absence de vent. La météorologie n'a cessé de progresser depuis ses réels débuts vers le milieu du XIXe siècle jusqu'à nos jours, à travers l'amélioration des techniques de mesures, de transmission

et de traitement de l'information (utilisation de satellites météorologiques et d'ordinateurs puissants). La météorologie est une science à part entière, reconnue de tous, De par la diversité des relevés qu'elle génère, les tracés de graphes, les exploitations de données statistiques, la météorologie met en groupe un nombre de disciplines : mathématiques, physique, chimie, technologie, géographie. Son importance dans la gestion de l'environnement et des cultures permet aux sciences de la vie et de la Terre d'y trouver matière à exploitation.

### **1.1.2. La climatologie et la bioclimatologie**

La climatologie se penche sur l'étude d'un passé relativement récent des données climatiques, qui tourne autour de 30ans selon les normes de l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM). Depuis 150 ans, les archives enregistrent les données météorologiques, ce qui permet de connaître l'évolution en un lieu donné de des différents paramètres climatiques. Ces études historiques ont une grande importance dans les programmes étatiques de planification, la sécurité civile et même les compagnies d'assurances ont recours régulièrement aux statistiques climatologiques.

Les évolutions constatées des climats - attribuées notamment à l'effet de serre – sont indispensables pour anticiper des phénomènes ayant un impact direct sur la faune, la flore et même les populations : désertification, élévation du niveau de la mer, inondation ou sécheresse et incendies liés au phénomène climatiques extrêmes. La biométéorologie ou bioclimatologie est une science qui étudie les interactions entre les phénomènes atmosphériques et les êtres vivants ; La bioclimatologie examine les effets des variations du temps sur les plantes et les animaux. La bioclimatologie examine plus précisément le comportement des plantes et des animaux.

## **1.2 Types de temps et excès climatiques**

Le climat est un état moyen de l'atmosphère, mais c'est aussi la succession d'états, ordinaires ou exceptionnels. Ces situations atmosphériques peuvent revêtir l'aspect de contraintes climatiques, dont la fréquence ou la gravité déterminent le caractère attractif ou répulsif d'un climat donné.

### **1.2.1 Les types de temps d'un climat méditerranéen**

Les états successifs de l'atmosphère se rattachent toujours à un petit nombre de types de temps caractéristiques ; ainsi, on en distingue :

#### **1.2.1.1 Les beaux temps :**

- ⇒ beau temps froid d'hiver, à ciel clair et basses températures ;
- ⇒ beau temps chaud d'été ;
- ⇒ très chaud quand le vent souffle du sud.

#### **1.2.1.2 Les mauvais temps**

- ⇒ mauvais temps d'hiver, avec de la pluie et des températures clémentes ;
- ⇒ mauvais temps d'hiver, froid et neigeux ;
- ⇒ mauvais temps des saisons intermédiaires ;
- ⇒ temps « pourri » d'été, froid et pluvieux (inexistant en Algérie) ;
- ⇒ temps orageux d'été, généralement passager.

## 2. Les principaux facteurs du climat

### 2.1 Mesures climatiques dans les stations conventionnelles

Les mesures au niveau du sol de grandeurs météorologiques telles que la température ou l'humidité donnent des résultats différents relativement à l'environnement des instruments de ces mesures : par exemple, un thermomètre non protégé du soleil donnera des valeurs erronées. Pour éviter ces imperfections de mesures, on place les instruments à l'intérieur d'un abri météorologique (fig.1), l'abri de STEVENSON (du nom de son inventeur en 1864). C'est une boîte en bois qui minimise au maximum la transmission de chaleur, placée à 1,5 m du sol. Les parois de l'abri sont faites de lattes blanches pour réfléchir le rayonnement solaire et laisser passer l'air. Les lattes de l'abri permettent la circulation de l'air. La couleur blanche de l'abri sert à réfléchir les rayons du soleil, ce qui empêche que l'abri se réchauffe et que les données soient faussées.

Actuellement, les paramètres atmosphériques sont mesurés dans des conditions strictes à des pas de temps variables (de la seconde à la journée). Ces critères physiques de l'atmosphère correspondent principalement à des mesures de températures, précipitations, ensoleillement, humidité de l'air et vent.



Figure 1. Abri météorologique de STEVENSON

### 2.2 Station automatique de mesure

Ce genre de stations météorologiques est spécialement conçu pour être installé en pleine nature ou dans les zones difficilement accessibles, ces dernières sont munies d'un système photovoltaïque (panneau solaire) qui fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de la

station. Les principaux paramètres climatiques sont mesurés et enregistrés en respectant les normes de l'OMM comme la température, l'humidité relative, la vitesse et direction du vent, les précipitations ou encore le rayonnement solaire et le rayonnement ultraviolets. Egalement, la station est capable de calculer quelques paramètres agro climatiques, tels que l'ETP, le point de rosée etc. Les données relevées par la station météorologique sont stockées localement dans un premier temps, un simple appel téléphonique sur le réseau GSM ou un transfert par satellite permet la récupération de l'intégralité des données et leur stockage dans un ordinateur (fig.2).



**Figure 2. Station météo autonome avec transmission par GSM DATA**

## **2.3 Mesures en surface**

### **2.3.1. Précipitations**

Les précipitations regroupent les différentes formes sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se dépose à la surface du globe (Tab.1) . Le refroidissement de l'air entraîne une augmentation de l'humidité. Au fur et à mesure que l'air s'élève, l'humidité augmente. Lorsque l'air est saturé d'eau, il doit se débarrasser de cet excès. Le phénomène de condensation commence. Les noyaux de condensation

amorcent la formation des gouttelettes d'eau. Ils peuvent être d'origines très différentes comme les particules de sel marin, la fumée d'industries chimiques, la poussière... etc. Les gouttelettes d'eau se forment par condensation de vapeur d'eau autour du noyau. Elles croient ensuite par collision les unes avec les autres. Lorsqu'elles sont suffisamment lourdes, elles tombent vers le sol. Elles augmentent en taille lorsqu'elles rencontrent d'autres gouttelettes sur leur passage, elles deviennent des gouttes de pluie. Le diamètre d'une gouttelette dans un nuage est d'environ 10 microns et de 3 mm pour les gouttes de pluie. La formation de grêlons dépend de la présence de forts courants d'air ascendants. Les gouttelettes de pluie qui commençaient à tomber sont alors renvoyées dans le nuage. Ces dernières vont alors geler et se recouvrir d'un revêtement de vapeur d'eau gelée. On peut trouver simultanément dans un nuage des gouttelettes d'eau et des cristaux de glace, même à une température négative. Lorsque le cristal croit, sa masse augmente. Lorsqu'il devient assez lourd pour vaincre les mouvements ascendants, il tombe vers le sol et capture à son passage d'autres cristaux. C'est le flocon de neige. Formées à partir d'un noyau glacogène, les particules de neige ont leur structure qui évolue en fonction de la température. La pluviosité est mesurée par différents types de pluviomètres (fig.3). Le pluviomètre à lecture directe est formé de deux parties en matière plastique s'emboîtant l'une dans l'autre : une partie supérieure opaque, en forme d'entonnoir à fond perforé, sert à recueillir la pluie sur une surface de 400 cm<sup>2</sup> et une partie inférieure transparente, qui emmagasine l'eau recueillie et indique la hauteur d'eau tombée par lecture directe sur une échelle graduée. Le Pluviomètre sans fil peut avoir une longue portée de 100 m entre l'afficheur et le collecteur de pluie, il affiche le cumul total et le cumul quotidien simultanément. Il comporte de nombreuses autres fonctions : alarme pluie, historique, température intérieure, etc.

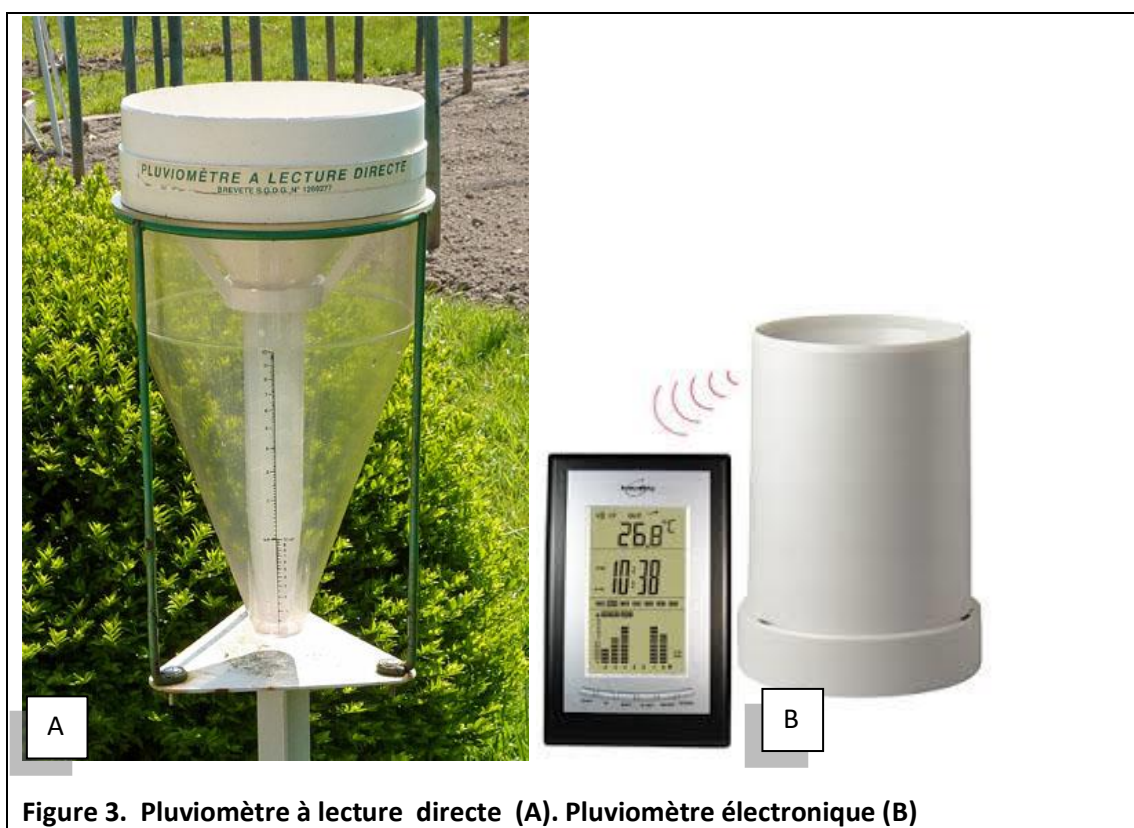


Figure 3. Pluviomètre à lecture directe (A). Pluviomètre électronique (B)



<b>Tableau 1. Taille des éléments constituant les différents types de précipitations (modifié d'après De Parcevaux et al., 1990 ; Beltrando et Chémery 1995)</b>	
<b>Type de précipitation</b>	<b>taille des "éléments"</b>
Pluie	0,5 à 6 mm
Bruine	< 0,5 mm
Grêle	5 à 50 mm
Grésil	particules de glace (< 5 mm)
Neige	taille variable ; 1 cm de neige fraîche = 1 mm de pluie

Généralement, les pluies caractérisent un phénomène discontinu : les périodes pluvieuses alternent avec les périodes sans pluie, sans qu'il soit possible de préciser ni leur durée ni la façon dont elles se répartissent au cours de l'année. Les expressions météorologiques de « mois sec » ou de « mois pluvieux », fondées uniquement sur la considération des moyennes pluviométriques doivent être considérées avec précautions quand on s'intéresse à des processus biologiques. Le mois constitue également une unité de temps arbitraire qui ne cadre pas forcément avec la répartition inégale des pluies au cours de l'année. De plus, pour un même total annuel, des pluies régulièrement réparties sur l'ensemble de l'année auront des répercussions très différentes sur le comportement des essences que des précipitations soudaines très abondantes sur une courte période. Ainsi, outre les totaux mensuels ou annuels, il est également important en écologie de considérer le nombre de jours de pluie (pluie > 0,1 mm), la durée des précipitations (jours, heures, minutes) et l'intensité (en mm d'eau par heure).

### **2.3.1.1 Les fronts**

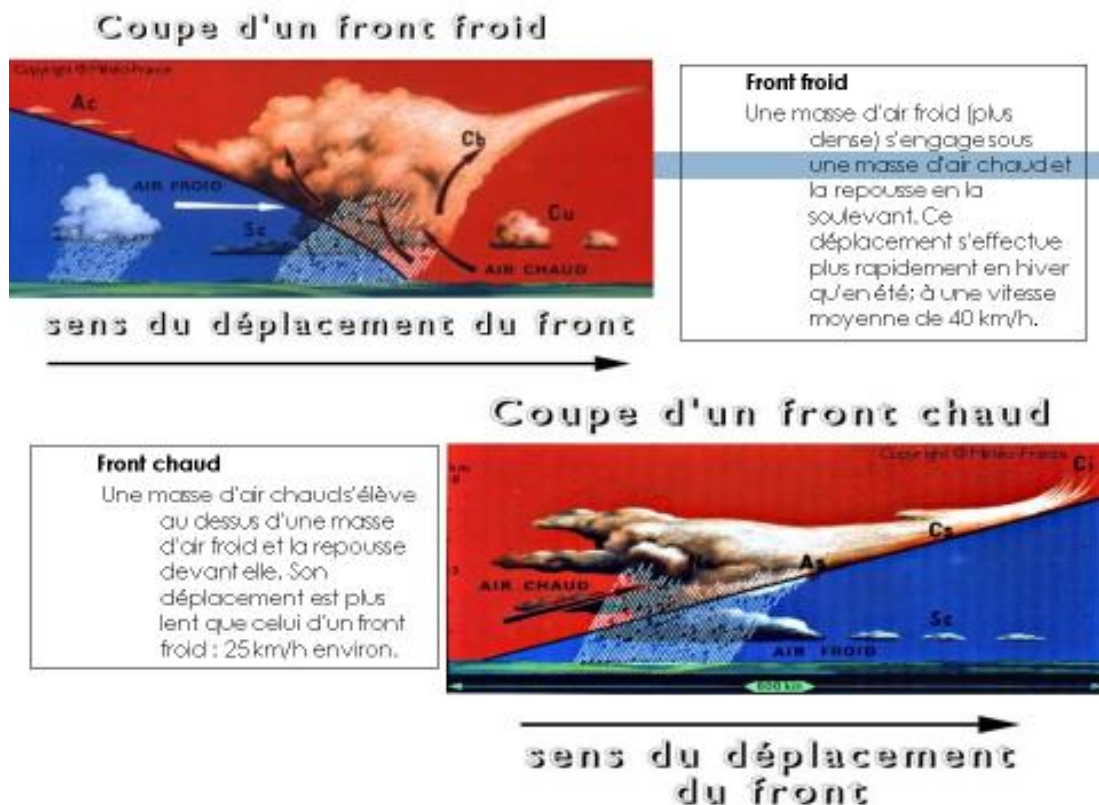
Deux masses d'air de température différente qui se rencontrent, ne se mélangent pas, car les différences de températures conduisent à des différences de densité. La ligne de rencontre entre ces deux masses d'air s'appelle un **front**.

**Fronts froids** : Si une masse d'air froid suit une masse d'air chaud et que la première se déplace plus vite que la seconde, elle s'introduit sous la masse d'air chaud, l'élève et forme le front. L'air froid descendant donc au sol, il force l'air chaud, plus léger, à s'élever en hauteur. En s'éloignant de la terre, l'air chaud se refroidit et ne peut plus retenir autant de vapeur. Cet air chaud étant chargé d'humidité, il se formera alors des nuages et l'humidité retombera sous forme de pluie, neige ou grêle. Ce type de front donne souvent des orages et des averses brusques. Après son passage, de l'air froid et dense envahit la région, la pression monte donc, la température se refroidit et le ciel s'éclaircit.

**Fronts chauds** : Ce type de front est créé chaque fois qu'une masse d'air chaud, se déplaçant plus rapidement qu'une masse d'air froid, chasse cette dernière. L'air chaud étant plus léger, il a moins de force et se superpose donc à la masse d'air froid (i.e. il glisse au-dessus et l'utilise peu à peu). Au fur et à mesure que l'air chaud s'élève, il se décharge de son humidité: des nuages apparaissent... Le passage d'un front chaud occasionne la formation progressive de nuages bas et s'accompagne d'une pluie fine qui tombera pendant plusieurs heures ou, en hiver, il est responsable des bonnes chutes de neige. Après cette pluie, le ciel s'éclaircit de nouveau et l'arrivée d'air chaud entraîne une baisse de pression et une hausse de la

température. Les changements associés aux fronts chauds se font plus graduellement que lors du passage des fronts froids.

**Fronts occlus :** quand une masse d'air chaud écartée par la rencontre de deux masses d'air froid qui la soulève.



### 2.3.2. Températures

C'est le paramètre le plus crucial qui conditionne toutes les activités physiologiques et les réactions chimiques. La température de l'air dépend du rayonnement solaire, de la pression de l'atmosphère, de sa composition en gaz. Les variations de la température de l'air sont fortement tamponnées par l'humidité atmosphérique et c'est en zone aride que les plus fortes amplitudes thermiques journalières sont observées. Les mesures thermiques sont fonction de facteurs environnementaux stricts (cités ci-dessus). A cet effet, il faut faire attention à ce que ces mesures ne soient pas influencées par d'autres facteurs tel que le rayonnement solaires incident réfléchi par le sol. La température est exprimée en Degrés absolu (°K) ou en degré Celsius (°C) ou encore degrés Fahrenheit (°F), les règles de conversion sont les suivantes :

$$\text{°K} = 273,15 + \text{°C}$$

$$\text{°F} = (1,8 * \text{°C}) + 32$$

$$\text{°C} = 0,56 * (\text{°F} - 32)$$

La température et sa variation diurne varient en fonction du lieu de l'observation : Latitude, stations maritimes ou continental, hauteur de la station, nébulosité. Outre les mesures de températures maximale et minimale. La température la plus élevée (57,8°C) a

été enregistrée en Libye le 13 septembre 1922. Cependant, la température la plus basse (moins 89,2°C) a été enregistrée en Antarctique le 21 juillet 1983.

Le thermomètre est l'instrument météorologique le plus utilisé. Le principe de fonctionnement d'un thermomètre utilise la propriété qu'ont certains corps de se dilater ou de se contracter selon la température. Il existe des thermomètres à alcool pour les mesures des extrêmes (max et min), le thermomètre à mercure, et enfin, les thermomètres électroniques (fig.4). Les thermographes furent utilisés pour suivre l'évolution des températures au cours d'une période donnée et pour enregistrer les max et les min, il comporte un système mécanique d'enregistrement sur un ruban de papier. Actuellement, ces instruments sont rarement utilisés à cause des thermomètres plus sophistiqués. Autrefois, les températures journalières étaient obtenues par le calcul de la moyenne arithmétique de la température max et min. Actuellement, au niveau des stations automatiques, elles sont calculées en rapport avec huit mesures tri-horaires obtenues chaque 24h.

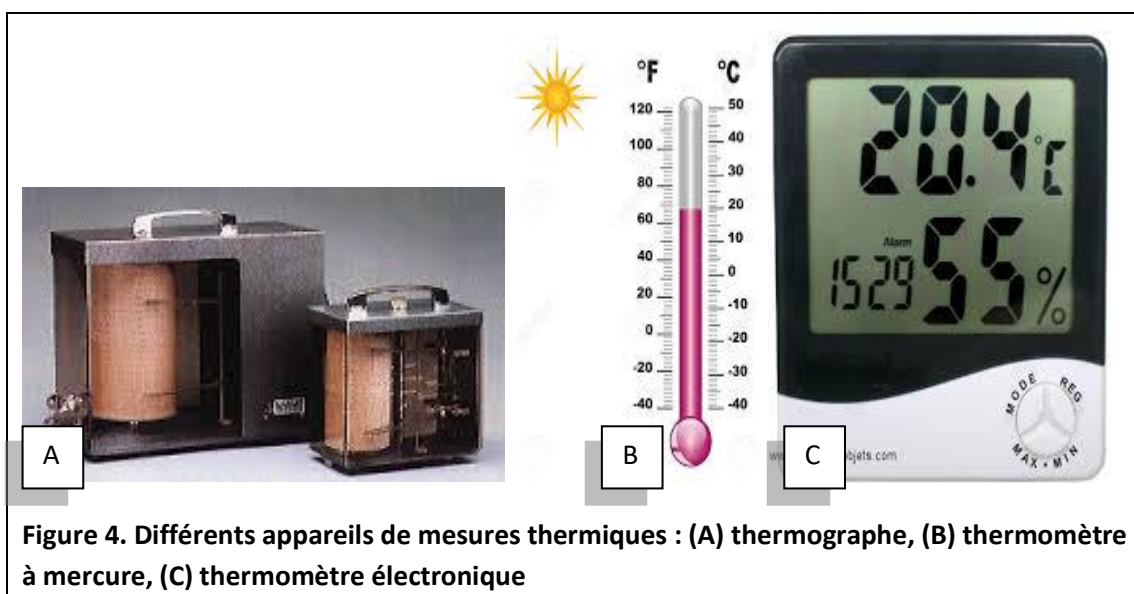


Figure 4. Différents appareils de mesures thermiques : (A) thermographe, (B) thermomètre à mercure, (C) thermomètre électronique

### 2.3.3 Pression atmosphérique

La pression atmosphérique correspond au poids exercé par une colonne d'air sur une surface donnée, Ainsi, une colonne d'air de section de 1 m<sup>2</sup>, du sol jusqu'au sommet de l'atmosphère, pèse environ 10000 kg. La pression atmosphérique est mesurée en hectopascal (hPa). Autrefois, on employait le millibar (mb) ou encore le millimètre de mercure (mmHg). L'instrument de mesure de la pression atmosphérique est le baromètre. Les pressions atmosphériques mesurées en un lieu donné sont ramenées au niveau de la mer et les baromètres sont calés pour indiquer la pression au niveau de la mer. Cette correction revient à ajouter le poids de la colonne d'air manquante entre l'altitude du point de mesure et le niveau de la mer. Les cartes détaillant la pression atmosphérique régnant sur une région à un moment donné décrivent la situation atmosphérique au niveau du sol ou plutôt à un géopotential de zéro mètres d'altitude. Il s'agit en fait de la situation qui serait observée si tous les points d'analyse de cette région étaient ramenés au niveau de la mer. Cela permet de pouvoir comparer des choses comparables puisque la pression varie fortement en fonction de l'altitude de l'observation. C'est la raison pour laquelle on parle

toujours de « **pression réduite au niveau de la mer** ». Il faut d'ailleurs veiller à régler son baromètre en fonction de l'altitude du lieu où l'observation est réalisée et ceci en tenant compte de la baisse de la pression en fonction de l'altitude.

### 2.3.3.1 Isobares

L'illustration ci-dessous, présente des lignes fermées autour d'un centre d'action et identifiée par un nombre de référence. Ce sont des lignes reliant les points de même pression (ramenée au niveau de la mer) et appelées **isobares** (fig.5).

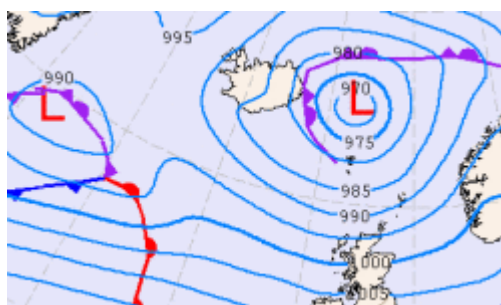


Figure 5. Lignes isobares

### 2.3.3.2 Baromètre.

Il existe plusieurs types de baromètres, parmi les plus utilisés on site :

- Le baromètre à mercure : de plus en plus rare du fait de la législation sur le mercure ; indique la pression exacte du lieu. Il faut corriger cette pression de l'altitude pour obtenir la pression au niveau de la mer.
- Le baromètre anéroïde contient une ou plusieurs capsules à vide (capsule de Vidie) qui s'écrase plus ou moins en fonction de la pression. Cette variation est amplifiée par un mécanisme déplaçant une aiguille sur un cadran (fig.6). Le barographe est un baromètre affichant, sur écran ou sur papier millimétré pour les anciens modèles (fig.7), la courbe de la pression en fonction du temps.

C'est à partir de mesures simples de la pression atmosphérique que sont établies les prévisions fiables à 80%. Les stations météo ne se basent quant à elles que sur les variations de pression à la fois des dernières 24 heures et des dernières 6 heures pour afficher l'icône correspondant au temps prévu. Ainsi par exemple, une diminution constante de la pression atmosphérique annoncera de la pluie tandis qu'une diminution plus importante en peu de temps annoncera l'arrivée d'une tempête, de vents violents ou d'un orage.



Figure 6. Baromètre anéroïde



Figure 7. Barographe

### 2.3.3.4 Variation de la pression atmosphérique

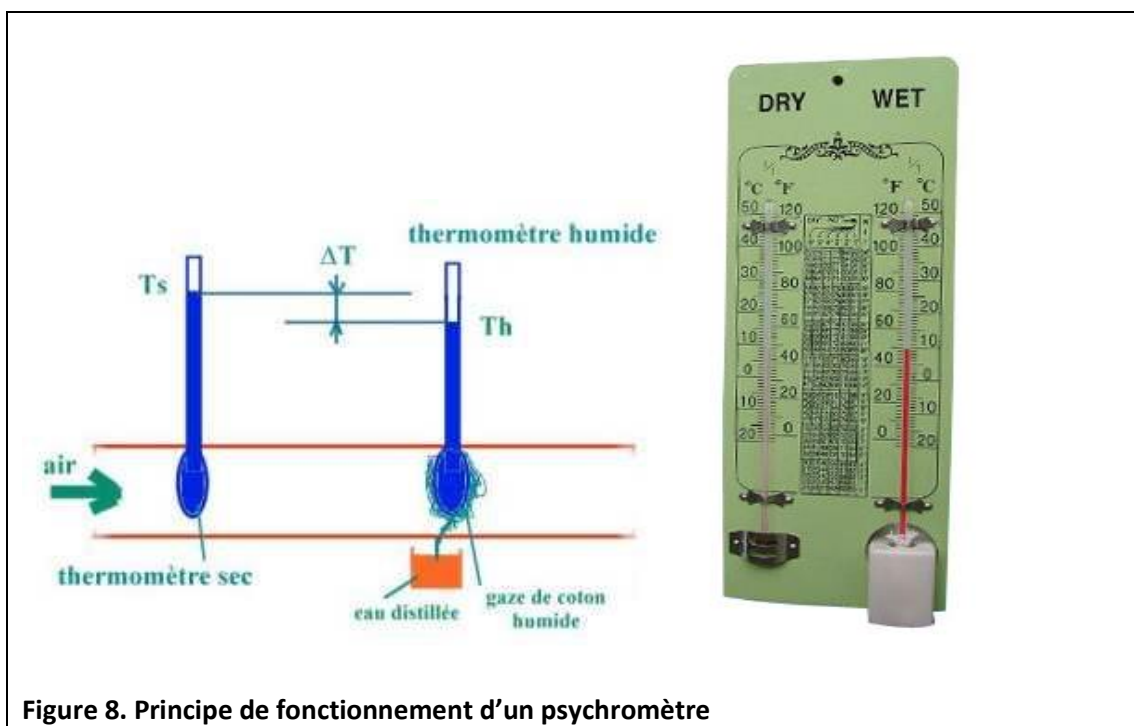
Au niveau de la mer, la pression moyenne est de 1 013,25 hPa. 1 013,25 hPa = 1013,25 mb = 760 mmHg. Généralement, la pression ramenée au niveau de la mer varie au cours du temps. En météorologie, on appelle dépression un centre de basse pression et anticyclone un centre de haute pression. Plus on s'élève en altitude, moins il y a d'air au-dessus de nos têtes et donc plus la pression baisse. En moyenne, la pression atmosphérique diminue de 1 hPa tous les 8 mètres.

### 2.3.4. Humidité relative de l'air

L'humidité de l'air est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air atmosphérique. La tension de la vapeur d'eau ( $e$ ), mesurée en Pascal (Pa), représente la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air considéré comme un mélange gazeux. A une température donnée, cette quantité ne peut dépasser une valeur déterminée, d'autant plus élevée que la température est elle-même plus élevée. Cette valeur pour laquelle l'air est saturé est appelée tension maximum de la vapeur d'eau ( $e_w$ ) pour cette température. La différence ( $e_w - e$ ) est le déficit de saturation de l'air. A chaque instant, le rapport de la tension de la vapeur d'eau ( $e$ ), réellement observée à cet instant, à la tension maximum de la vapeur d'eau ( $e_w$ ), correspondant à la température de l'air et à la pression atmosphérique au même moment, représente l'humidité relative ( $U$ ) ou degré hygrométrique de l'air. L'humidité relative compare donc la quantité d'eau présente dans l'air à la quantité qu'il faudrait pour saturer cet air à une température donnée. Par exemple, si l'humidité relative est de 50 %, cela signifie que l'air contient la moitié de la quantité maximale de vapeur d'eau qu'il peut contenir. L'humidité relative de l'air est la grandeur la plus utilisée en climatologie car c'est elle qui renseigne le plus sur l'éloignement de l'air de son point de saturation et correspond aux impressions courantes d'humidité et de sécheresse. D'une façon générale, on considère qu'un air est sec quand son humidité relative est inférieure à 35% et qu'il est humide quand celle-ci est supérieure à 70%. En effet, la tension de vapeur d'eau ( $e$ ) est sensiblement constante au sein d'une masse d'air. En revanche, la tension maximale ( $e_w$ ) est une fonction croissante de la température. Plus la température de l'eau est élevée, plus il doit y avoir de molécules d'eau dans l'air pour que la saturation soit atteinte. Ce qui veut dire que, pour une même quantité de vapeur d'eau dans l'air, l'humidité relative sera plus grande si la température est basse. Le rapport  $e/e_w$  est donc minimal au moment du maximum de température et maximal au moment du minimum de température. 1 m<sup>3</sup> d'air peut contenir au maximum environ : 1 g d'eau à -20 °C, 5 g d'eau à 0 °C, 18 g d'eau à 20°C, 30 g d'eau à 30 °C, avec une température de 5°C, l'air qui contiendrait 6 g/m<sup>3</sup> de vapeur d'eau nous paraîtrait très humide car la saturation à cette température se fait à 6,8 g/m<sup>3</sup> et le rapport  $e/e_w$  serait donc égal à 88 %. Par contre à 22,5°C, l'air ayant le même degré hygrométrique serait ressenti comme extrêmement sec, puisque la tension maximale ne serait atteinte qu'à 20 g/m<sup>3</sup>. Le rapport  $e/e_w$  serait alors seulement de 30 %. Il est encore une donnée intéressante à connaître, à l'époque des gelées de printemps notamment : c'est la température du point de rosée, température jusqu'à laquelle l'air doit s'abaisser pour que la quantité de vapeur d'eau qu'il contient devienne saturante. A ce moment, toute nouvelle baisse de température, sous l'action du rayonnement nocturne par exemple, provoque la condensation de la vapeur d'eau en excès : on observe sur les plantes de la

rosée (ou de la gelée blanche, si la température est suffisamment basse), d'où l'expression de « point de rosée ».

La mesure de l'humidité relative de l'air s'effectue sous abri, généralement à l'aide d'un psychromètre. Cet appareil comporte un thermomètre entouré d'une mousseline mouillée en permanence (Température humide) et un thermomètre sec (Température sèche). Le thermomètre mouillé indique normalement une température plus basse que celle du thermomètre sec. C'est que de l'eau s'évapore du coton imbibé et on sait que l'évaporation produit un refroidissement. À cause de l'évaporation, l'eau qui reste dans le coton se refroidit et le thermomètre indique une température plus basse que le thermomètre sec (fig.8).



**Figure 8. Principe de fonctionnement d'un psychromètre**

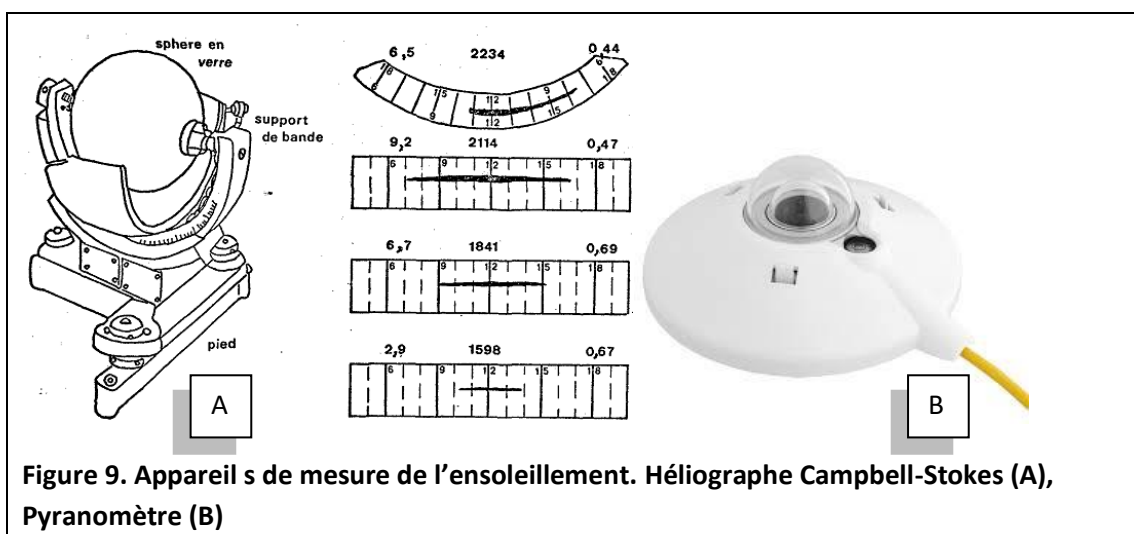
Plus l'air est sec, plus il y a d'eau qui s'évapore du coton et plus la température du thermomètre mouillé est basse. La différence de température entre les deux thermomètres est donc d'autant plus grande que l'air est sec. Au contraire, si l'air est très humide, peu d'eau s'évaporera du coton et la température du thermomètre mouillé diminuera moins. Lorsque l'air est saturé (100 % d'humidité relative), il n'y a pas d'évaporation et le thermomètre mouillé indique la même température que le thermomètre sec. On détermine à partir de tables, la valeur de l'humidité. Par exemple, une  $T$  sèche de  $2^{\circ}\text{C}$  et une  $T$  humide de  $1^{\circ}\text{C}$  correspond à une humidité relative (=degré hygrométrique) de 82% ( $\text{dif} = 2 - 1 = 1^{\circ}\text{C}$ ) (Tab.2).

**Tableau 2. Table psychrométrique**

T° sèche (°C)	Humidité relative (%)					
	Différence entre T° sèche et T° humide (°C)					
	0	0.5	1	1.5	2	2.5
-5	100	87	74	61	48	35
-4	100	87	75	63	51	38
-3	100	88	76	65	53	42
-2	100	89	78	68	56	45
-1	100	89	79	68	58	48
0	100	90	80	70	60	50
1	100	90	81	71	62	53
2	100	91	82	73	64	55
3	100	91	83	74	65	57
4	100	92	83	75	67	59
5	100	92	84	76	68	61
6	100	92	85	77	70	62
7	100	93	85	78	71	64

### 2.3.5 Ensoleillement

L'ensoleillement est la durée pendant laquelle un lieu subit le rayonnement direct du soleil. Il dépend de la position géographique du lieu (latitude) et de la nébulosité. Le climat lumineux d'un lieu dépend de la durée, de l'horaire de distribution, de l'intensité et de la qualité de l'insolation. La durée d'insolation se mesure généralement à l'aide d'un héliographe (fig.9). Cet instrument enregistre la durée d'insolation, c'est-à-dire les intervalles de temps pendant lesquels le soleil est visible ou pendant lesquels le rayonnement solaire atteint une intensité suffisante pour produire des ombres portées sur le sol ; cette intensité correspond à un éclairage énergétique égal ou supérieur à  $120 \text{ W.m}^{-2}$ . l'héliographe Campbell-Stokes est une sphère de verre à la surface focale de laquelle on place une bande de carton de couleur et de texture définies. L'effet thermique du rayonnement solaire direct concentré par la sphère produit une brûlure, un brunissement ou une décoloration du carton suivant l'intensité du rayonnement. La somme de ces traces permet d'estimer la durée réelle d'insolation. La durée maximale théorique d'insolation (par ciel clair) est le temps compris entre le lever et le coucher du soleil. La fraction d'insolation est le rapport de la durée effective à la durée maximale théorique.



Les mesures de Rayonnement Global ( $R_g$ ) ou mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière visible, reçue au sol (en  $\text{W.m}^{-2}$ ), sont réalisées à l'aide de pyranomètre. En fait, récemment les pyranomètres peuvent jouer aussi le rôle d'un héliographe et de quantifier également la durée d'insolation.

### 2.3.6 Nébulosité

Selon les conditions atmosphériques, la condensation de la vapeur d'eau peut former des ensembles d'aspects très divers. On peut établir une classification de ces types de nébulosité selon leur altitude et leur développement (fig.10). Près du sol, on a des brouillards et des brumes, loin du sol on distinguera des nuages formant principalement des couches, à différentes altitudes, et des nuages se développant verticalement. Les termes utilisés pour décrire les nuages proviennent du latin et se rapportent à leur forme (stratus : en couche ; cumulus : accumulation ; cirrus : formant des cheveux ; nimbus : nuage).

#### 2.3.6.1 Nuages bas (base typiquement au-dessous de 2 km)

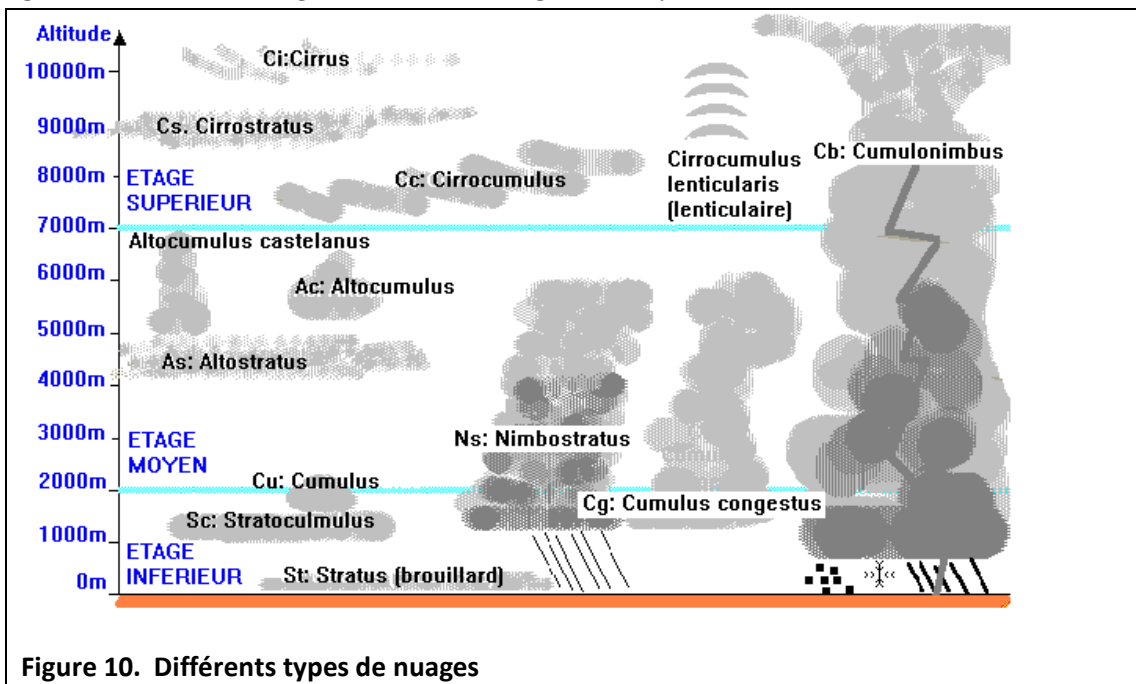
Les stratus, ne se distinguent guère d'un brouillard que par leur altitude. D'ailleurs un brouillard matinal peut évoluer en stratus. Les stratocumulus sont des stratus à structure globulaire, souvent à arrangement régulier. Les nimbostratus sont des nuages bas, épais, sombres, à aspect déchiré, générateurs de pluies continues.

#### 2.3.6.2 Nuages d'altitude moyenne (base typiquement entre 2 et 7 km)

Les altostratus sont des nuages étendus, gris, peu denses, à aspect souvent fibreux, générateurs de pluies fines et continues. Les altocumulus ressemblent à des altostratus, mais montrent une structure globulaire.

#### 2.3.6.3 Nuages de haute altitude (base typiquement entre 5 à 14 km)

Les cirrus, sont des nuages peu épais, clairs, très bien caractérisés par un aspect fibreux. Ils sont signe de beau temps s'ils sont peu serrés et détachés les uns des autres. Les cirrostratus, sont des voiles blanchâtres étendus donnant au ciel un aspect laiteux. Le soleil peut y montrer un halo. Ils annoncent du mauvais temps. Les cirrocumulus sont des groupes de petits nuages globulaires, assemblés généralement en alignements parallèles.



La nébulosité correspond à la quantité de nuages. Elle est déterminée par observation au sol, et est renseigné en nombre de huitièmes de ciel couvert par chaque couche nuageuse et par l'ensemble des nuages (il s'agit donc de diviser mentalement le ciel en huit quadrants, et d'estimer le nombre de parties couvertes par des nuages).

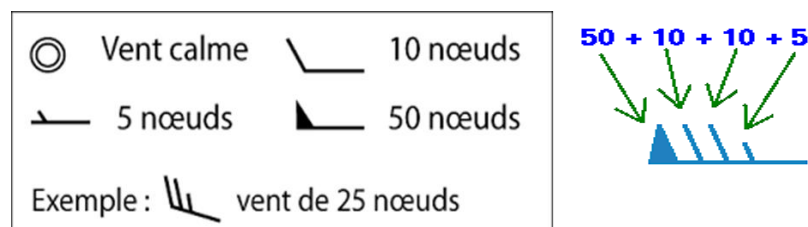


### 2.3.7 Vent

Le vent est la conséquence du déplacement de l'air. C'est la résultante des forces de pression. Il est caractérisé par sa vitesse, exprimée généralement en kilomètre par heure (km/h), ou en nœuds, et sa direction ou provenance, indiquée en degré par rapport au Nord ou à l'aide d'une rose des vents. L'appareil de mesure de la vitesse du vent est un anémomètre. Sa direction est déterminée à l'aide d'une girouette ou d'une manche à air. Selon la convention internationale, on mesure la vitesse et la direction du vent sur une tour à 10 mètres au-dessus du sol. L'anémomètre est constitué de trois coupelles en forme de demi-sphères orientées dans le même sens et qui sont libres de tourner. La plupart des anémomètres modernes (fig. 11) comprennent un système électronique interne qui calcule le nombre de tours que font les coupelles ou les hélices pendant un temps précis. Le vent peut avoir une action mécanique (érosion du sol, déformation des arbres...) ou physiologique. Le vent exerce sur toute surface fixe située dans l'atmosphère une force de pression dynamique proportionnelle au carré de sa vitesse et fonction de sa direction par rapport à cette surface. Pour une paroi perpendiculaire à la direction du vent, les pressions exercées sont présentées ci-dessous (Tab.3).

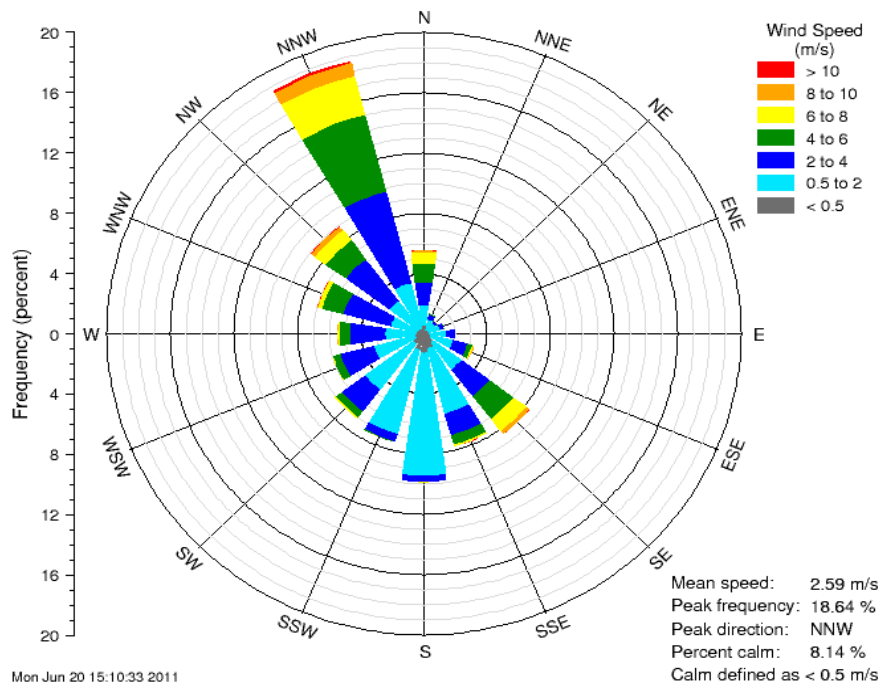
Force Beaufort	Echelle de couleurs	Termes descriptifs français ( <i>english</i> )	Vitesse du vent	
			Nœuds	km/h
0		calme ( <i>calm</i> )	< 1	< 1
1		très légère brise ( <i>light air</i> )	1 - 3 Nds	1 - 5 km/h
2		légère brise ( <i>light breeze</i> )	4 - 6 Nds	6 - 11 km/h
3		petite brise ( <i>gentle breeze</i> )	7 - 10 Nds	12 - 19 km/h
4		jolie brise ( <i>moderate breeze</i> )	11 - 15 Nds	20 - 28 km/h
5		bonne brise ( <i>fresh breeze</i> )	16 - 20 Nds	29 - 38 km/h
6		vent frais ( <i>strong breeze</i> )	21 - 26 Nds	39 - 49 km/h
7		grand vent frais ( <i>moderate gale</i> )	27 - 33 Nds	50 - 61 km/h
8		coup de vent ( <i>fresh gale</i> )	34 - 40 Nds	62 - 74 km/h
9		fort coup de vent ( <i>strong gale</i> )	41 - 47 Nds	75 - 88 km/h
10		tempête ( <i>storm</i> )	48 - 55 Nds	89 - 102 km/h
11		violente tempête ( <i>violent storm</i> )	56 - 63 Nds	103 - 117 km/h
12		Ouragan ( <i>hurricane</i> )	> 64 Nds	> 118 km/h

Sur une carte de vents un bâtonnet indique la force moyenne et la direction du vent. La **force** est donnée par les petites barres qui l'accompagnent sur une des extrémités. Une petite barre indique 5 nœuds, une grande barre indique 10 nœuds. Une fois arrivé à 50 nœuds, le tout est remplacé par un triangle plein. La **direction** est donnée par l'autre extrémité du bâtonnet. Il est possible de trouver le vent à différentes altitudes



## La rose des vents

Les roses des vents sont des graphiques qui caractérisent la vitesse et la direction des vents à un endroit donné. Présenté dans un format circulaire, la longueur de chaque "rayon" autour du cercle indique la fréquence temporelle que le vent souffle d'une direction particulière (direction dominante). Les couleurs le long des rayons indiquent les catégories de vitesse du vent.



### 3. Mécanismes de la circulation générale des systèmes de vents (Alizés)

#### 3.1 Centres d'action : Anticyclone et dépression

##### 3.1.1 Anticyclone

Un anticyclone est une zone fermée de haute pression atmosphérique ou centre d'action des courbes de hautes pressions supérieures à 1.013,25 hPa. Dans les zones de hautes pressions, des masses d'air froides descendent et s'assèchent (fig.12). Il n'y a donc pas de précipitations sous un anticyclone.

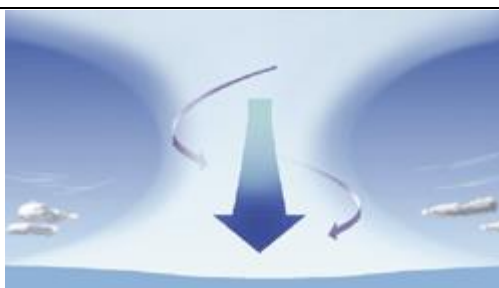


Figure 12. Déplacement de l'air descendant dans un anticyclone

Les vents sont plus faibles sous un anticyclone avec pour conséquence qu'une situation anticyclonique peut donner lieu à des pics de concentration de polluants, surtout en hiver où l'air est plus froid donc plus stable. En effet, les anticyclones sont plus persistants en été.

##### 3.1.2 Dépression

Les centres d'action des courbes de basses pressions à savoir inférieures à 1.013,25 hPa sont appelés dépressions. Les précipitations ont généralement lieu dans des zones de basses pressions car dans celles-ci, l'air chaud et humide monte et, en se refroidissant, devient rapidement saturé en humidité (fig.13). La quantité de vapeur d'eau qui peut se trouver dans une masse d'air étant proportionnelle à sa température, lorsque cet air monte et se refroidit, il arrive un moment où la quantité de vapeur d'eau devient trop importante pour la température. On parle alors d'humidité relative de 100%. Il en résulte une condensation, d'abord sous forme de nuages et ensuite sous forme de précipitations.



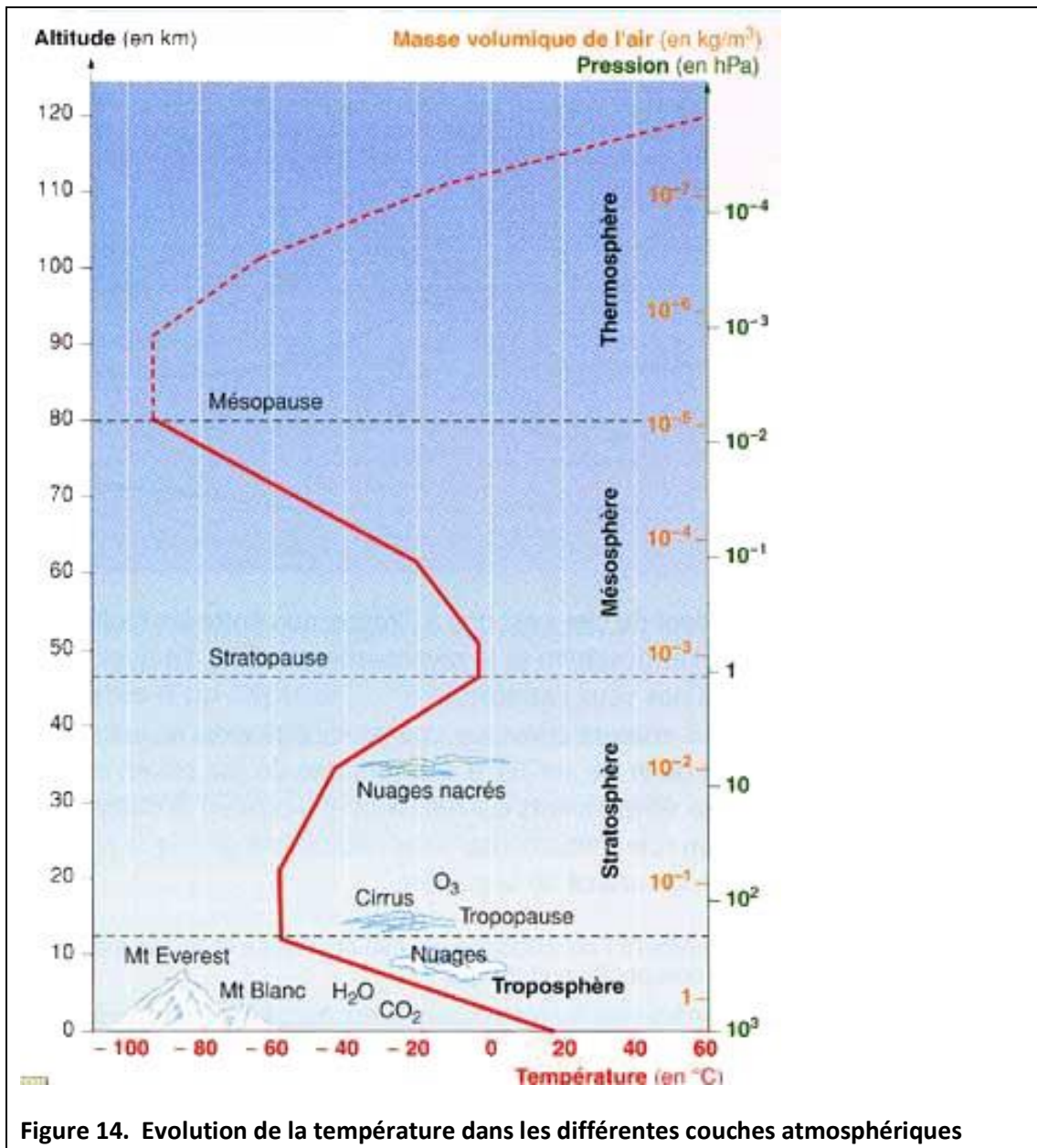
Figure 13. Déplacement de l'air ascendant dans une dépression

### 3.2 Composition chimique et structure de l'atmosphère

L'atmosphère est un mélange stable d'un nombre important de gaz d'origine variée. A l'exclusion de la vapeur d'eau, les constituants gazeux de l'atmosphère sont l'azote (78%), l'oxygène (21%), et l'argon (0.9%) (Tab.4). D'autres gaz, sont présents mais à l'état de traces.

<b>Tableau 4. Constitution de l'atmosphère terrestre</b>	
<b>Gaz</b>	<b>% en volume</b>
Diazote (N <sub>2</sub> )	78.084
Dioxygène (O <sub>2</sub> )	20.948
Argon (Ar)	0.934
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	0.035
Néon (Ne)	0.002
Hélium (He)	0.0005
Méthane (CH <sub>4</sub> )	0.0002
<b>Constituants dont la composition varie</b>	
<b>Gaz</b>	<b>% en volume</b>
Eau (H <sub>2</sub> O)	0 à 7
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	0 à 0.0001
Ozone (O <sub>3</sub> )	0 à 0.00001

La vapeur d'eau constitue un cas particulier car sa proportion est extrêmement variable et peut atteindre 3% des gaz atmosphériques. Elle est essentiellement présente en dessous de 10 km d'altitude. D'autre part, l'ozone est en permanence formée et détruite vers 30 km d'altitude en moyenne et sa concentration peut atteindre 0.0001%. Les molécules d'ozone interagissent fortement avec le rayonnement solaire en absorbant certaines de ses longueurs d'onde.

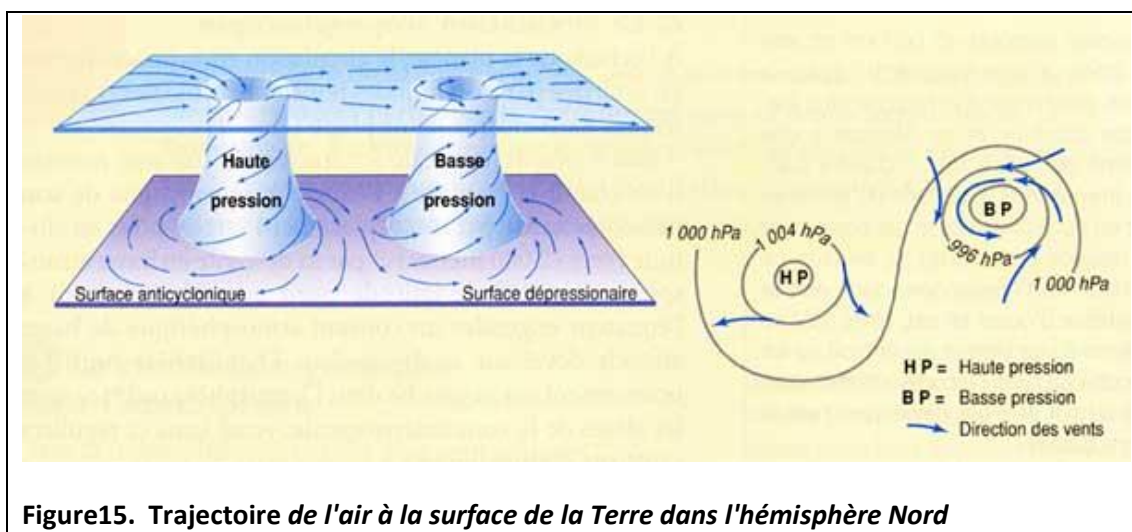


**Figure 14. Evolution de la température dans les différentes couches atmosphériques**

La troposphère est la couche d'air comprise entre la surface de la Terre et les autres couches de l'atmosphère (fig.14) : c'est l'air que nous respirons. Elle est caractérisée par la présence des nuages et des phénomènes climatiques (précipitations, etc). Cette couche contient 99% de la vapeur d'eau de l'atmosphère et la température y diminue de 6,5°C par kilomètre. La limite supérieure de la troposphère varie en fonction des latitudes. La stratosphère est la seconde couche principale de l'atmosphère, située au-dessus de la troposphère. La mésosphère et la thermosphère sont les couches dites " supérieures ". L'augmentation de température dans la thermosphère est due à l'absorption du rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde (rayons X et UV) par le dioxygène. L'atmosphère de la Terre est animée de mouvements permanents, notamment dans sa partie la plus basse, la troposphère. Dans cette couche de l'atmosphère, les masses d'air sont animées de courants horizontaux et verticaux, de direction latitudinale et/ou méridienne. Les vents peuvent toutefois être modifiés et varient avec les saisons. Si ces mouvements concernent surtout la troposphère, il existe aussi des mouvements horizontaux dans la stratosphère.

### 3.3 Circulation troposphérique

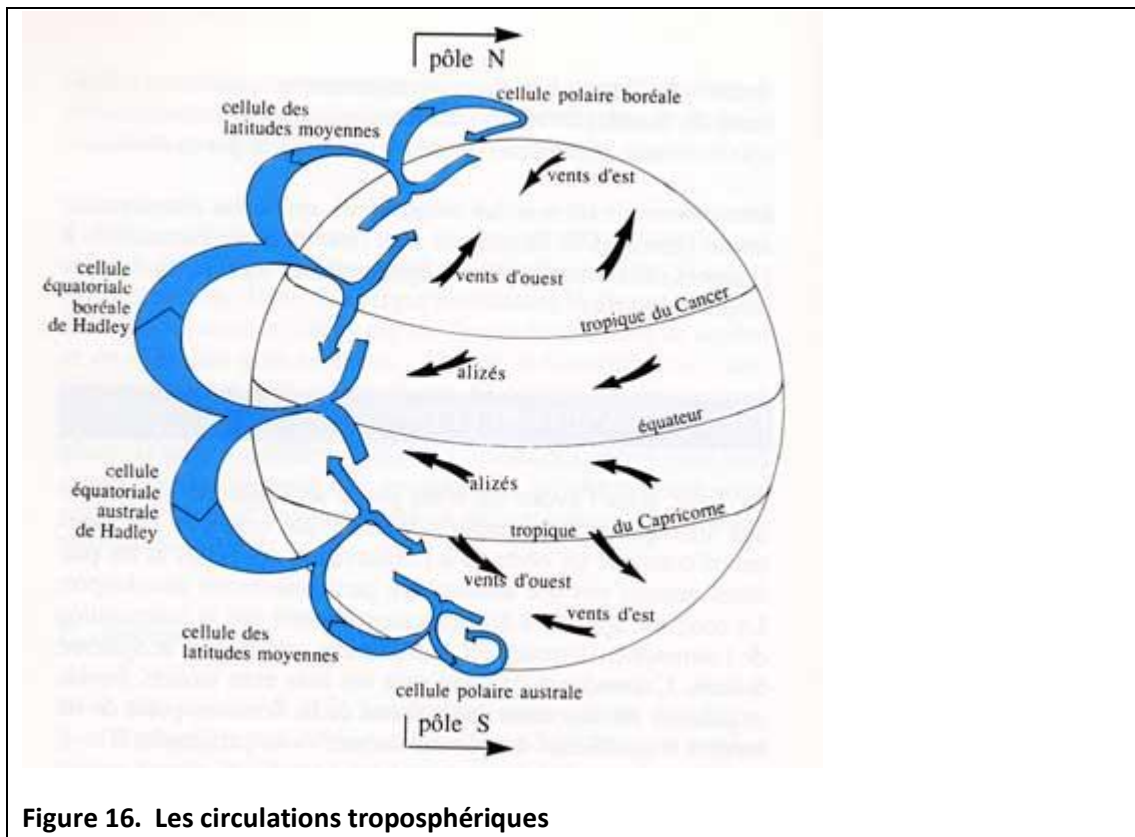
Les masses d'air atmosphériques sont animées par des mouvements importants. Ces "circulations" atmosphériques résultent de l'inégale répartition de l'énergie solaire arrivant à la surface de la terre et de sa rotation sur elle-même. C'est au niveau de la troposphère que naissent les vents de surface qui permettent d'homogénéiser la température à la surface du globe. Les mouvements dans la troposphère sont de nature convective (mouvement ascendant) et peuvent être turbulents. Les déplacements des masses d'air s'effectuent généralement des zones de haute pression (anticyclones) vers les zones de basse pression (dépressions) (fig.15). La **force de Coriolis** dévie ensuite les masses d'air vers la droite (par rapport au sens du mouvement) dans l'hémisphère Nord, et vers la gauche dans l'hémisphère Sud.



**Figure15. Trajectoire de l'air à la surface de la Terre dans l'hémisphère Nord**

Dans l'hémisphère nord, l'air s'éloigne des zones anticycloniques en effectuant une spirale descendante tournant dans le sens des aiguilles d'une montre et se rapproche des dépressions où il s'enroule en une spirale ascendante tournant dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Dans les zones anticycloniques de l'hémisphère nord, l'air décrit une spirale descendante tournant dans le sens des aiguilles d'une montre pour s'éloigner et rejoindre une zone dépressionnaire dans laquelle il monte en une spirale tournant dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (fig.15). Ces mouvements d'enroulement en sens inverse pour un même hémisphère s'expliquent par la combinaison de la force de Coriolis, des forces d'expulsion anticycloniques et des forces d'aspiration dépressionnaires.

A l'échelle de la planète, la circulation troposphérique est caractérisée par trois grandes boucles hélicoïdales et symétriques dans chaque hémisphère (fig.16).



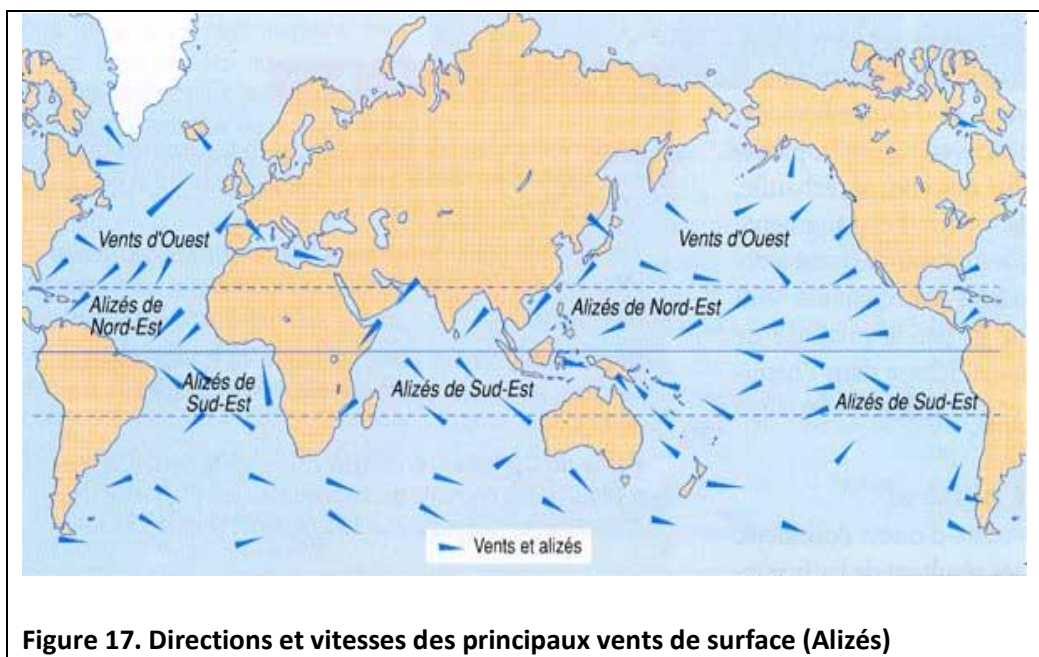
**Figure 16. Les circulations troposphériques**

Les circulations troposphériques s'organisent en trois boucles symétriques dans chaque hémisphère. En raison de la force de Coriolis, les vents de surface sont déviés dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens contraire dans l'hémisphère sud ; aussi les boucles thermiques forment-elles une spirale continue dans chaque bande de latitude.

- Une boucle "**tropicale**", caractérisée par une montée d'air chaud et humide à l'équateur (la cheminée équatoriale) accompagnée de son refroidissement, par son déplacement vers les pôles en altitude (vers 12 000 mètres) et par sa descente en basse atmosphères vers 30° de latitude nord ou sud. Le retour à l'équateur engendre un courant atmosphérique de basse altitude dévié sur sa droite dans l'hémisphère nord (et inversement sur sa gauche dans l'hémisphère sud) : ce sont les *alizés* de la zone intertropicale, vents lents et réguliers soufflant d'est en ouest,
- Une boucle "**tempérée**" avec ascendance d'un air tiède et tempéré vers 60° de latitude et descente en zone tropicale (30° de latitude nord ou sud). Le retour de la masse d'air, à basse altitude, vers la latitude de 60° est associé aux vents d'ouest caractéristiques des zones tempérées,
- Une boucle "**polaire**" associée à cette même montée d'air tiède et tempéré à 60° nord ou sud, mais avec une descente d'air froid aux pôles. Dans ces hautes latitudes s'établissent des vents d'est, froids et secs.

### 3.4 Direction des vents de surface

L'étude des cartes météorologiques montre que les vents, le déplacement des nuages ... et le temps qu'il fait, peuvent être corrélés à des différences de pression atmosphérique entre deux régions. Les mouvements des masses d'air s'effectuent des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions. Ce déplacement des nuages et la direction des vents sont influencés par la force de Coriolis, conséquence de la sphéricité de la Terre et de sa rotation sur elle-même, d'ouest en est. A l'échelle globale, les zones d'ascendance d'air (équateur et 60° de latitude) sont des zones de basse pression. A l'inverse, la descente d'air froid est génératrice de hautes pressions (tropiques et pôles). Ainsi les alizés sont dirigés des tropiques vers l'équateur, soufflant d'est en ouest en raison de la force de Coriolis (fig.17). De la même manière, le domaine tempéré est affecté de vents soufflant des hautes pressions tropicales vers les basses pressions situées vers 60° de latitude, mais déviés vers l'est par la force de Coriolis.



### 4. Adaptation des plantes aux conditions climatiques

Les plantes sont présentes presque partout à la surface de la terre et même dans les milieux hostiles à la vie tels que le désert, sous l'eau ou au-delà du cercle polaire en Arctique. La distribution des espèces végétales sur la planète bleue n'est cependant pas aléatoire mais principalement en lien avec les **conditions climatiques**.

La classification des climats la plus connue est celle du climatologue et botaniste allemand Wladimir Köppen (1846-1940) dont la version finale a été publiée en 1936. Elle comprend cinq groupes de climats correspondant à des régions différentes :



- les **régions tropicales** où est située 45 % de la surface globale des forêts. La végétation correspondante est la **forêt tropicale** ou la **savane** ;
- les **régions sèches et désertiques** essentiellement caractérisées par la présence d'arbustes et d'herbes ;
- les **régions tempérées** allant en Europe de la **forêt méditerranéenne** à la **forêt boréale** entre 40° et 55° nord ;
- les **régions froides et subarctiques** entre 55° et 70° possédant deux grands types de végétation : la **toundra**, dominée par des herbes et des mousses souvent associées à divers arbustes, et la **taïga**, forêt boréale de grands conifères, typiques de la Sibérie et du Canada et très réduite dans l'hémisphère sud ;
- les **régions polaires et de hautes montagnes**.

#### 4.1 Les plantes adaptées à la sécheresse (plantes xérophytes)

Les plantes vivant dans les régions sèches et désertiques ont dû développer des mécanismes et stratégies permettant de gérer cette ressource naturelle parfois très rare qu'est l'eau.

Différentes modalités existent :

1. **Adaptation du cycle de végétation à la saison des pluies** : plantes annuelles qui survivent sous forme de graines en saison sèche ou qui entrent en dormance durant l'été ;
2. **Stockage d'eau et de nourriture** (principalement hydrates de carbone) pendant de longues périodes dans des tiges souterraines ou des racines profondes et épaisses. L'appareil racinaire peut correspondre à environ 10 fois la masse des parties aériennes. L'harpagophytum poussant dans le désert du Kalahari en est un bel exemple dont on utilise en thérapeutique la racine secondaire tubérisée.
3. **Ralentissement de l'évapotranspiration par différents mécanismes** :
  - a. réduction du nombre de stomates (responsables lors de la photosynthèse et l'évacuation de l'eau) se concentrant sur la face inférieure des feuilles moins exposées au soleil ;
  - b. couverture des feuilles par de longs poils d'aspect laineux (trichomes) réfléchissant la lumière, limitant l'échauffement et conservant l'humidité (**lavandes, sauges ou thyms**) ;
  - c. réduction de la taille des feuilles comme chez la **bruyère, l'astragale** ou l'**asperge** ;
  - d. enroulement plus ou moins important de la feuille en fonction de son état d'hydratation (**romarin**) ;
  - e. épiderme recouvert d'une couche imperméable à l'eau (l'**olivier, l'arbousier, le pistachier** ou les succulentes qui stockent l'eau dans leurs feuilles telles les plantes de la famille des crassulacées dont l'**orpin rose** *Rhodiola rosea* L. et la **joubarbe**) ;

#### 4.2 Les plantes adaptées au froid et à l'altitude

Les plantes de montagne et celles vivant dans la toundra ont, quant à elles, développé plusieurs stratégies pour faire face à un milieu où la neige persiste longtemps au sol, où il y a une courte saison végétative, une forte sécheresse, du vent, de fortes amplitudes thermiques, etc. Parmi les adaptations développées afin d'éviter le froid et en limiter les effets peuvent être citées :

- la réduction de taille permettant de profiter de la chaleur du sol et de disposer d'une protection contre le vent par le manteau neigeux ;
- la croissance de certains arbres à l'horizontale et non à la verticale comme chez le **bouleau** ou le **saule** dans la toundra ;
- le développement en coussinet qui réduit l'évaporation et qui emprisonne la chaleur des rayons du soleil ;
- la présence de feuilles réduites, épaisses et à surface cireuse empêchant la perte d'eau par des vents desséchants ;
- la présence d'un cycle de reproduction rapide.

### 4.3. Les plantes adaptées à la lumière

#### 4.3.1. Besoin de lumière des Sciaphytes et des Héliophytes

Les besoins de lumière des jeunes plantes sont très variables or le rayonnement solaire agit par son intensité, par sa qualité et par sa durée, sur la morphogenèse et la croissance de l'individu ; par sa durée il intervient sur les processus de mise à fleur et constitue un facteur important du développement de l'organisme. La plupart des plantes ont des cycles de reproduction et de nutrition qui sont fonction de l'intensité de la lumière et de l'obscurité, ou encore du changement des saisons provoqué par le mouvement planétaire. Le besoin de lumière des plantes vertes étant variable, Wiesner distinguait 3 groupes d'espèces en fonction de leurs exigences vis à vis de la lumière :

Il y a des espèces que l'on rencontre exclusivement dans les stations découvertes et ensoleillées, et pour lesquelles le besoin de lumière est de 100 % : ces **héliophytes obligatoires** sont les plantes des déserts, des toundras, des hautes montagnes et des steppes.

- Il y a des espèces qui peuvent vivre avec 100 % de la lumière du jour mais qui peuvent tolérer aussi un certain ombrage. A cette limite, l'individu étioilé peut fleurir ou être stérile. Ce sont les **sciaphytes facultatives** parmi lesquelles on trouve des "mauvaises herbes" (*Matricaria discoides* : 100-50% ; *Sedum acre* : 100-48%...etc.
- Il y a des espèces qui dans la nature ne sont jamais à la lumière du jour directe, ce sont les **sciaphytes obligatoires**. L'intensité lumineuse optimale est plus petite que pour les plantes précédentes, mais cet optimum ne peut pas être très petit, tandis que le minimum peut être très bas. Exemples : *Corydalis cava* (50-25%), *Anemone nemorosa* (40-20%).

Les plantes vertes ne peuvent donc fleurir que si elles reçoivent une quantité suffisante d'énergie lumineuse, appelée le minimum trophique de lumière ou d'éclairement.

Il correspond à la durée minimale de lumière pour assurer à la plante par la photosynthèse une nutrition suffisante susceptible de permettre la croissance végétative de l'individu et son accession à la maturité de floraison. Ainsi, les différences de floraison ou de feuillaison sont exclusivement reliées à la longueur du jour et à l'intensité lumineuse, aux différentes périodes de l'année.

Dans l'hémisphère Nord, ces valeurs sont comprises entre un maximum (solstice d'été) et un minimum (solstice d'hiver).

#### 4.3.1.1. Adaptation des plantes sciaphiles aux faibles éclairagements

L'adaptation des sciaphytes aux faibles éclairagements relève de mécanismes d'évitement, ou de mécanismes de compensation de la diminution d'énergie lumineuse. Dans des conditions limitantes d'éclairagement, la faculté d'absorption d'énergie peut être augmentée par :

- La diminution du pouvoir réfléchissant des feuilles (cuticule mince, absence de couche de cire ou de poils).
- La présence de chloroplastes dans les cellules épidermiques.
- Une augmentation de la teneur en chlorophylle ou d'autres pigments, ce qui permet d'absorber l'énergie apportée par des radiations de longueur d'onde différentes.
- Une augmentation de la surface foliaire pour compenser la faible activité photosynthétique (due à la faible luminosité) : cette augmentation de surface est toutefois compatible avec la transpiration.

Cette plasticité de la surface foliaire implique une réduction du tissu palissadique à une seule assise chez les feuilles ombrées (au lieu de 2-3).

L'arrangement et l'espacement des feuilles individuelles le long de la tige sont réglés de façon à permettre l'exposition maximale à la lumière et à l'absorption maximale de CO<sub>2</sub> : les feuilles peuvent alterner le long de la tige, être opposées par paires, émerger graduellement en spirale, ou être sous forme de rosettes planes (pour les plantes prostrées sur le sol).

#### 4.3.1.2. Adaptation des héliophytes au fort éclairement

##### a. Les adaptations morphologiques

Les individus développés aux forts éclairagements diffèrent des individus développés à l'ombre par une taille basse, un port rampant, une disposition des feuilles en rosettes ou en coussins, des tiges plus ramifiées avec des entre-nœuds plus courts, des organes souterrains plus importants, des feuilles plus épaisses de dimension plus faibles et moins intensément colorées. Avec des protections périphériques (épiderme, cuticule, pilosité) plus importantes, un parenchyme palissadique plus développé, une floraison et une fructification généralement plus abondantes et plus précoces, des feuilles plus grandes aux coloris plus intenses...

##### b. Les effets nocifs d'une lumière intense

La quantité importante d'infrarouge accompagnant des insulations intenses provoque la fanaison avec une élévation, anormale de la température des organes.

L'excès de lumière peut déterminer 2 sortes de lésions, soit directes, soit indirectes.

Les lésions directes s'observent sur les enzymes de la membrane (intervenant dans le transport actif) qui subissent des dommages par photo-oxydation.

Les tissus profonds des héliophytes sont protégés, contrairement aux sciaphytes, de l'irradiation directe par de nombreuses protections périphériques : membranes, couche de cire ou de subérine, pilosité, présence d'anthocyanes dans les cellules épidermiques évitant l'échauffement excessif des tissus sous-jacents.

##### c. Les adaptations physiologiques

Les héliophytes développent des protections contre les effets directs des radiations UV : inhibition de la respiration chez certaines algues, destruction du cytochrome A, de la cytochrome oxydase de la levure et du cytochrome A3 des mitochondries ; ces protections produisent des pigments flavonoïdes qui absorbent les UV et minimisent les dommages.

D'autre part, 3 fonctions sont sensibles à l'intensité lumineuse : la respiration, la photosynthèse et la transpiration.

Des modifications physiologiques profondes vont alors influencer la croissance et la morphogenèse de l'individu pour conduire à des types biologiques parfaitement adaptés aux conditions du milieu.

L'évolution de l'activité photosynthétique d'une plante chlorophyllienne est étroitement liée à la quantité d'énergie lumineuse reçue ; la mesure de l'activité assimilatrice peut se faire par la mesure de la quantité de CO<sub>2</sub> absorbée ; mais du fait de la simultanéité des processus respiratoires et photosynthétiques, il y a lieu de distinguer :

- La photosynthèse brute qui correspond à la réduction totale du CO<sub>2</sub>.
- La photosynthèse nette, qui correspond au gain de CO<sub>2</sub>, avec déduction de la perte de CO<sub>2</sub> par (photo)respiration et par diverses carboxylations non dépendantes de la photosynthèse (PEPCase).

Pour une valeur d'éclairement, la quantité de CO<sub>2</sub> fixé peut égaler la quantité de CO<sub>2</sub> produit par la respiration : la photosynthèse apparente est alors nulle, les échanges gazeux de la respiration et de la photosynthèse s'équilibrent : c'est le point de compensation. Deux groupes de plantes ont été définis chez les Graminées où le phénomène est en rapport avec la structure anatomique des feuilles.

Chez les Poacées (ex : Blé), où l'assimilation du carbone génère une molécule de type C<sub>3</sub> : aldéhyde phosphoglycérique), le phénomène de la saturation lumineuse est particulièrement net.

Chez d'autres Graminées (Maïs, Sorgho, Canne à sucre des panicoides), où le cycle d'assimilation du carbone fait intervenir des molécules en C<sub>4</sub>, le phénomène de la saturation lumineuse n'est pratiquement pas décelable. La distinction entre plantes en C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub> n'est pas absolue, car il existe des types intermédiaires de métabolisme : chez *Atriplex*, on connaît des espèces de type C<sub>3</sub> et des espèces de type C<sub>4</sub>, et leur croisement aboutit à des intermédiaires.

Il y a un autre type de métabolisme, le métabolisme CAM des Crassulacées et des Cactées qui se comportent comme les plantes en C<sub>3</sub> le jour et comme les plantes en C<sub>4</sub> durant la nuit (la fixation du CO<sub>2</sub> est nocturne et le CO<sub>2</sub> est libéré le jour pour la photosynthèse).

Du point de vue écologique, les plantes en C<sub>4</sub> et les plantes CAM semblent être particulièrement bien adaptées aux climats fortement ensoleillés et aux faibles latitudes ; ils constituent une évolution, car ces métabolismes sont inconnus chez les Algues et chez les Végétaux Inférieurs.

#### **4.3.2. Le besoin de lumière pour les différentes espèces**

Les besoins en lumière conditionnent la répartition des espèces : les espèces héliophiles fuient les endroits ombrés, les espèces sciaphiles préférant les sous-bois. Il se constitue alors dans la nature des groupements pluristrates dans lesquels on a essentiellement une strate arborescente et une strate herbacées ou arbustive. La strate arborescente intercepte une quantité d'énergie et exerce un effet de filtration sélectionnant des radiations lumineuses, modifiant quantitativement et qualitativement l'éclairement sous-jacent. La strate herbacée réagit de plusieurs manières aux variations de l'intensité d'éclairement. Dans les bois ou forêts à feuilles caduques, un 1er groupe d'espèces accomplit son cycle de développement avant la feuillaison de la strate arborescente : ce sont les espèces à feuillaison printanière. Ces plantes se développent dans un sous-bois très ensoleillé ; ce sont des plantes

héliophiles normales, leur cycle de développement court leur permettant une croissance avant que le sous-bois ne devienne ombrageux.

Pour la strate arborescente, les plantes héliophiles captent le rayonnement solaire direct. Quand ces espèces sont serrées, on constate que la lumière détermine une croissance rapide : tronc élancé, élagage naturel des branches car ces plantes ne reçoivent pas la quantité de lumière voulue.

Le renouvellement de cette strate se fait par des graines ; les plantules issues de ces graines subissent des conditions d'éclairement de strate herbacée, il peut y avoir alors sélection des espèces dont les plantules sont les plus sciaphiles.

### **4.3.3. Action de la lumière sur le développement : le photopériodisme**

L'action du rapport entre la durée du jour et de la nuit est un facteur prépondérant dans l'élaboration des ébauches florales. Cette action fut découverte par Garner et Allard sur une variété de Tabac : en été la plante pousse sans fleurir, et si elle fleurit, cette floraison est très tardive (automne).

Cultivée en hiver à même température qu'en été, la floraison est rapide et se fait après une croissance réduite. Si dans la serre, on maintient une lampe allumée en permanence ou pendant quelques heures, la floraison n'a pas lieu. Inversement, si en été, on place la plante à l'obscurité pendant une partie du jour, la floraison et la formation des graines s'effectuent normalement.

Le photopériodisme désigne alors l'ensemble des réactions des êtres vivants vis à vis d'un mode défini d'alternance de lumière et d'obscurité.

La photopériode est l'ensemble des 2 temps qui alternent régulièrement : un temps d'éclairement (héméropériode) et un temps obscur (nyctipériode).

En conditions naturelles, la durée du cycle photopériodique est de 24 heures avec des valeurs variables pour la nyctipériode et l'héméropériode : sous les tropiques, il y a égalité alors que des modifications par un temps de lumière ou d'obscurité.

#### **4.3.3.1. Comportement des plantes vis à vis du photopériodisme**

Au point de vue photopériodisme, on distingue 3 catégories essentielles de plantes :

- Les plantes indifférentes : ce sont des plantes capables de former leurs ébauches florales à partir d'une graine ou d'un tubercule sans influence de la durée relative des périodes d'obscurité ou d'éclairement, pourvu que leur minimum trophique d'éclairement soit respecté. Ce sont des plantes pourvues en général de réserves importantes, capables d'une longue survie sans photosynthèse : Arachide (déjà dans la plantule apparaît une ébauche de bouton floral), la Pomme de terre (les pousses étiolées présentent parfois des ébauches florales), la Narcisse (le bulbe assez gros peut donner une plante qui fleurit même à l'obscurité)...
- Les plantes de jour long ou plantes héméropériodiques : la mise à fleur des héméropériodiques absolues (exemple : *Anagallis arvensis*) est d'autant plus précoce que la durée quotidienne d'éclairement augmente ; c'est pratiquement sous éclairement continu que la mise à fleur est la plus rapide. Par contre, leur floraison devient impossible si la durée de l'éclairement est inférieure à la photopériode critique ou héméropériode critique.
- Les plantes de jour court ou plantes nyctipériodiques : On trouve comme précédemment des préférantes et des absolues. Les absolues ne forment jamais d'ébauches florales au-dessous d'une certaine nyctipériode critique, pourvu que le minimum trophique soit

satisfait (exemple : *Nicotinia tabaccum Maryland mammoth*), les plantes nyctipériodiques sont ainsi incapables de fleurir si la durée quotidienne d'éclairement excède un tant soit peu la photopériode critique.

#### 4.3.3.2. Rôle du photopériodisme dans la répartition des espèces

La réaction photopériodique des espèces végétales est une propriété d'origine génétique qui est toujours adaptée aux conditions du milieu d'origine d'où provient l'espèce considérée. Les caractères de la photopériode interviennent ainsi d'une manière importante sur la répartition des espèces. En particulier, l'extension naturelle en latitude des plantes à fleurs qui présentent des exigences photopériodiques est souvent limitée de façon absolue par le régime saisonnier de la durée du jour.

La flore des régions de latitude moyenne (zones tempérées) compte beaucoup de plantes indifférentes au photopériodisme, mais le développement est par contre sensible à la température (vernalisation).

Beaucoup sont des espèces annuelles qui fleurissent pendant la belle saison durant laquelle la température leur particulièrement favorable. A côté de ces espèces, on trouve d'assez nombreuses plantes de jour long qui sont mises à fleur dans le courant du printemps par la durée croissante des jours ; elles prolongent leur floraison jusqu'en automne ou ne fleurissent qu'en ce moment-là, soit parce que leur état floral se poursuit, soit parce que la mise à fleur exige un très grand nombre de jours longs.

En régions de basse latitude (pays tropicaux et surtout équatoriaux), il existe aussi quelques plantes indifférentes au photopériodisme : elles sont souvent vivaces et ligneuses ; leur floraison dépend surtout de petits incidents météorologiques (petites alternances de température, de pluie, de sécheresse). Mais le fond de la flore est constitué d'espèces de jour court.

Les besoins photopériodiques des espèces végétales ont de nombreuses incidences pratiques. Par exemple, lorsque la Betterave est déplacée vers les latitudes élevées, son cycle de développement se trouve modifié ; de bisannuelle la plante devient annuelle, ce qui a pour effet de réduire considérablement son rendement. De telles modifications sont parfois recherchées en agronomie.

#### 4.3.4. La photo-réception

L'organe de perception (œil) n'est pas individualisé chez les plantes, mais on constate une réaction de croissance directionnelle (tropisme ou tactisme ou taxie).

Une des réactions les plus caractéristiques des plantes est le phototropisme positif qui est la tendance d'une plante à répondre à une source directionnelle d'illumination en croissant vers elle.

#### 4.4 Plantes Adaptées Aux Milieux Salés (Plantes Halophytes)

Parmi les plantes halophytes les plus connues on trouve la **criste marine** des côtes maritimes et la **salicorne** des pré-salé. On peut aussi citer le **palétuvier** présent dans la mangrove en zone tropicale. Deux problèmes se posent à ces plantes, d'une part le sel contrarie leur approvisionnement en eau et, d'autre part, elles doivent contrôler leur contenu en sel qui ne peut dépasser un seuil toxique.

Pour que l'eau soit absorbée par les racines d'une plante il faut que ses cellules aient une salinité plus élevée que le milieu extérieur, le déplacement de l'eau s'effectuant naturellement du milieu le plus dilué vers le plus concentré en sels minéraux et solutés organiques (c'est ce que l'on nomme le **phénomène d'osmose**). Ainsi, des **adaptations anatomiques et physiologiques** sont présentes pour gérer l'excès de sels et économiser de l'eau :

1. **réduction de la transpiration** : diminution de la taille de l'appareil aérien, feuilles souvent modifiées en aiguilles ou écailles, cuticule épaisse recouverte d'une couche cireuse ;
2. **constitution de réserves d'eau** : organes aériens souvent succulents ou charnus comme chez les végétaux vivant dans des milieux arides ;
3. **contrôle de l'entrée des sels** : sélectivité de la perméabilité membranaire, présence de glandes dans l'épiderme chargées de l'excrétion des sels, surtout le chlorure de sodium, ou stockage de ceux-ci dans des vacuoles ou perte d'organes chargés en sel.

#### **4.5 Plantes adaptées aux milieux aquatiques (plantes hydrophytes)**

L'ensemble de l'appareil végétatif des hydrophytes est en contact avec l'eau. La concentration du dioxygène dans ce milieu n'étant pas la même que celle de l'air, ces plantes ont développé des stratégies d'acquisitions. Entre autres, elles possèdent un tissu parenchymateux comportant de larges espaces intercellulaires remplis d'air, servant à transporter le dioxygène des parties hors de l'eau vers celles sous l'eau. De plus, ces plantes absorbent l'eau directement du milieu extérieur grâce à la surface de leur feuille qui n'est pas ou peu cutinisée.

### **5. Adaptation des animaux**

#### **5.1 Adaptation animale au froid**

- Certains animaux continuent à avoir une vie active : Le Renard a une fourrure plus épaisse. Les hirondelles, les cigognes, les oies cendrées... échappent au froid en migrant vers des régions plus chaudes et où la nourriture est plus abondante.
- D'autres ont une vie ralentie : Certains mammifères (animaux à température constante) tels le Hérisson, la Marmotte, entrent dans un sommeil profond et leur température interne baisse : on dit qu'ils hibernent. Les animaux à température variable passent l'hiver engourdis dans un abri (serpents, grenouilles ...) : c'est l'hivernation

#### **5.2 Adaptation animale aux fortes températures et à la sécheresse**

Différentes stratégies sont utilisées par le monde animal pour parvenir à survivre en cas de sécheresse : des adaptations éthologiques, des adaptations morphologiques et des adaptations physiologiques.

##### **Les adaptations éthologiques**

La première méthode utilisée et la plus évidente pour résister à la chaleur est un changement du comportement. Certaines espèces évitent les fortes chaleurs en se cachant dans le sol ou dans des terriers pendant le jour, comme les gerboises. La température dans ces terriers peut chuter de 10°C par rapport à la température extérieure. Ces animaux ont des modes de vie nocturnes et évitent ainsi la chaleur du jour.

### **Les adaptations morphologiques**

D'autres ont une morphologie adaptée pour supporter la chaleur. Les scorpions ont un épiderme dur et imperméable. Certains ne boivent jamais et trouvent l'eau nécessaire à leur survie dans les graines et les plantes qu'ils consomment comme les rats-kangourous ou les gerbilles. Ces animaux ont également des touffes de poils ou des coussins sur leurs pattes qui les isolent. Les fennecs ont développé des oreilles allongées pour dissiper la chaleur, ainsi que le mimétisme de la couleur du poil. Beaucoup de petits habitants du désert, avant de rejeter l'air de la respiration, le rafraîchissent dans leurs narines et condensent ainsi l'eau qu'il contient. Le diable épineux ou moloch a une stratégie assez impressionnante pour récupérer l'humidité présente dans le sol. Des rigoles entre les écailles de sa peau permettent d'acheminer l'eau par capillarité jusqu'à sa bouche. En résumé, il peut boire par ses pattes.

### **Les adaptations physiologiques**

Le moloch possède aussi une bosse graisseuse à l'arrière de la tête, comme le dromadaire. Elle lui sert de réserve d'eau pendant les longues sécheresses. L'oryx peut minimiser les pertes en eau en augmentant sa température corporelle afin d'atteindre un maximum plus élevé que la température ambiante. Pour compenser la perte de l'eau par la transpiration, la respiration et l'excrétion d'urine, les animaux des déserts se sont adaptés. La plupart des animaux désertiques, comme les insectes, les reptiles et les oiseaux, produisent des excréments très concentrés sous forme d'acide urique solide, une manière de réduire l'eau dans les pertes urinaires.

### **Références bibliographiques**

#### **Ouvrages :**

- Alain Foucault, 2009, Climatologie et Paléoclimatologie. Dunod Paris 308 pages.
- Beltrando G., Chémery L., 1995. Dictionnaire du climat. Edition Larousse Références. 344 pages.
- De Parcevaux S., Payen D., Brochet P., Samie Ch., Hallaire M., Mériaux S., 1990. Dictionnaire encyclopédique d'Agrométéorologie. Edition Météo-France, INRA, 323 pages
- IRD, 2013. Flux de l'eau dans le système sol-plante –atmosphère/ problème de l'échelle.
- Monteny, B, A. Lhomme, J, P. 1980. ELEMENTS DE BIOCLIMATOLOGIE. Office de la recherche scientifique et technique outre mer. 90 pages.
- Munns R, Termaat A. Whole plant responses to salinity. Aust J Plant Physiol. 1986;13:143-60.
- Parida AK, Das AB. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicol Environ Saf. 2005;60:324-49.

#### **Sites internet :**

- <http://climatologie-petiville-76.e-monsite.com/pages/menu/la-station-meteorologique.html>
- <http://www.davis-meteo.com/PDF/Station-autonome-GSMDATA.pdf>
- <http://www.unesco.org/mab/doc/ekocd/fr/chapter4.html>
- <http://www.meteobelgique.be/>
- [http://galileo.cyberscol.qc.ca/Intermet/instrument/page\\_instrument.htm](http://galileo.cyberscol.qc.ca/Intermet/instrument/page_instrument.htm)