

République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Centre universitaire Nour Bachir, El-Bayadh

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المركز الجامعي نور بشير - البيض

معهد علوم الطبيعة والحياة

# ***Cours de Bioclimatologie***

Niveau : 3<sup>ème</sup> Année licence / Spécialité : Ecologie et Environnement

Filière : Ecologie et Environnement / Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie



Elaboré par : Dr. Boukaya Nassira

Année Universitaire : 2024-2025



## Avant-propos

Ce support de cours, destiné aux étudiants de la **licence Ecologie et Environnement**, vise à offrir une introduction complète aux concepts fondamentaux de la **bioclimatologie**. À travers ce document, l'étudiant pourra :

- se familiariser avec le vocabulaire spécifique à la bioclimatologie et comprendre l'impact des **paramètres climatiques** sur les organismes vivants,
- explorer la structure et la dynamique de l'atmosphère, notamment la **stratification des couches atmosphériques**, la **circulation générale**, le **bilan radiatif** et les systèmes de **classification climatique**,
- développer des compétences pratiques dans le calcul et l'application des **indices bioclimatiques**, l'élaboration d'un **bilan hydrique**, ainsi que l'analyse et l'interprétation des données climatiques.
- Conçu comme un outil d'apprentissage clair et progressif, ce polycopié met l'accent sur la compréhension des mécanismes climatiques et leurs implications pour l'environnement et la gestion des ressources naturelles.



## Table des matières

Intitulé	N° Page
Introduction .....	03
Chapitre 1. Climatologie générale .....	05
Chapitre 2. Les données climatologiques .....	08
Chapitre 3. Mécanismes de la circulation générale des systèmes de vents .....	19
Chapitre 4. L'air et la structure et dynamique des couches .....	23
Chapitre 5. Bilan thermique à la surface de la terre .....	28
Chapitre 6. Classification climatique physique .....	33
Chapitre 7. L'Aridité .....	39
Chapitre 8. Hydrologie .....	46
Chapitre 9. Les bilans hydriques .....	51
Chapitre 10. Méthodes de caractérisation du climat méditerranéen .....	56
Chapitre 11. Utilisation des synthèses bioclimatiques à des problèmes d'écologie appliquée .....	60
Chapitre 12. Relations végétation climat .....	65
Chapitre 13. Classification biologique des climats .....	66
Chapitre 14. Cartographie climatique et bioclimatique .....	67

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	Autres			Continu (40%)	Examen (60%)
UE fondamentales									
UEF 3.1.1(O/P) Mésologie (Caractérisation du milieu)						5	10		
Matière 1 : Bioclimatologie	45h00	1h30	1h30		30h00	2	4	X	X
Matière 2 : Ecopédologie	67h30	3h00	1h30		45h00	2	4	X	X
Matière 3 : Géomorphologie	22h30	1h30	-		15h00	1	2	X	X
UEF 3.1.2(O/P) Pathologies des écosystèmes						6	8		
Matière 1 : Pollution de l'environnement	45h00	1h30	1h30		30h00	3	4	X	X
Matière 2 : Analyse et protection de l'environnement	45h00	1h30	1h30		30h00	3	4	X	X
UE méthodologique									
UEM 3.1.1 (O/P) Analyse du milieu						4	8		
Matière 1 : Ecophysiologie végétale	37h30	1h30	1h00		25h00	2	4	X	X
Matière 2 : Eco physiologie animale	45h00	1h30	1h30		30h00	2	4	X	X
UE découverte									
UED 3.1.1 (O/P) Procédés d'échantillonnage						2	4		
Matière 3 : Méthodologies d'échantillonnage et SIG	67h30	1h30		3h00	45h00	2	4	X	X
Total Semestre 5	375h00	13h30	8h30	3h00	250h00	17	30		



## Introduction & Définitions

La climatologie, la météorologie et la bioclimatologie sont des disciplines scientifiques étroitement interconnectées. Ces dernières s'appuient toutes sur l'exploitation des données et des enregistrements météorologiques. Une collaboration étroite entre le météorologiste, le climatologue et le bioclimatologue s'avère essentielle afin de relier les observations météorologiques aux analyses climatologiques et aux interprétations bioclimatiques.

### 1. Climat

Le climat est défini comme la résultante des états de l'atmosphère (précipitation, température, ensoleillement, vent, etc.) en un lieu donné pendant une période définie (mois, année, décennie, etc.). Le terme « climat » trouve son origine étymologique dans le mot latin « clima », qui se traduit par « inclinaison ». Cette notion a été empruntée au vocabulaire grec ancien et désigne l'angle entre les rayons du soleil et la surface de la Terre.

Le terme « climat » désigne la synthèse des phénomènes météorologiques observés sur une période suffisamment longue (30 ans pour les précipitations et une dizaine pour les températures) pour permettre l'établissement de propriétés statistiques d'ensemble. Il est impératif de fournir une définition exhaustive et méticuleuse.

Dans son ouvrage, Max Sorre définit le climat comme « la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle ». L'analyse du climat s'effectue en recourant aux indicateurs climatiques à long terme, à savoir les paramètres météorologiques tels que la température et les précipitations.

### 2. Climatologie

La climatologie, en tant que discipline scientifique, est l'étude de l'atmosphère avec pour finalité la description synthétique, le classement et l'explication de la répartition des différents types de climats dans un contexte géographique donné. Les observations météorologiques archivées sont les données empiriques utilisées par la climatologie pour étudier l'état physique de l'atmosphère et ses variations. Il convient également de mettre en lumière les facteurs explicatifs de leur progression temporelle. Jusqu'à la fin des années 1950, les objectifs des recherches en météorologie étaient essentiellement descriptifs. À partir de cette date, ils se sont orientés vers l'explication du temps et des phénomènes atmosphériques.





Depuis le début des années 1960, les objectifs de la recherche en météorologie ont donc évolué. Au cours des années 1980, les recherches se sont orientées vers l'analyse et la prévision des changements climatiques.

### 3. Bioclimatologie

La bioclimatologie, en tant que discipline scientifique, est l'étude des interactions entre les organismes vivants et les caractéristiques physiques de leur environnement. Ces caractéristiques sont associées à des phénomènes énergétiques de nature climatique, notamment les facteurs radiatifs, thermiques et hydriques. La bioclimatologie est une discipline qui vise à étudier les interactions entre le climat et la plante, et inversement.

### 4. Météorologie et Temps

L'étymologie du terme « météorologie » provient du mot grec « météos », qui se traduit par « haut dans l'air ». La météorologie, en tant que discipline scientifique, se consacre à l'étude du temps. Elle mobilise les acquis de la physique de l'atmosphère pour expliquer et comprendre les phénomènes météorologiques. En somme, la science météorologique se consacre à l'étude des mécanismes et des lois physiques régissant les variations du temps. Le météorologue remplit deux fonctions principales :

1/ Dans le cadre de la recherche atmosphérique, il est impératif d'observer avec précision l'atmosphère et de mesurer les variables qui lui sont associées. Ces variables comprennent les précipitations, la pression atmosphérique, la vitesse du vent, l'ensoleillement, l'humidité de l'air et les températures.

2/ Dans le cadre de la prévision météorologique, il est impératif de prendre en compte les mesures effectuées afin d'évaluer avec précision les conditions atmosphériques. Cette tâche, bien que complexe, est confiée à des professionnels hautement qualifiés, tels que les météorologues, dont la mission principale réside dans l'analyse des systèmes météorologiques et l'identification des centres d'action.



## Chapitre 1. Climatologie générale : Météorologie et Climatologie & Temps.

La climatologie et la météorologie sont des disciplines scientifiques étroitement liées par l'utilisation des mêmes données : enregistrements quantitatifs de variables mesurées, interprétation de bulletins météorologiques quotidiens ou de coupes verticales de l'atmosphère appelées émagrammes.

La climatologie se distingue de la météorologie par une approche à long terme, s'intéressant aux dynamiques et aux tendances sur des périodes prolongées, tandis que la météorologie se concentre principalement sur les événements futurs très proches. En outre, la climatologie implique une démarche de spatialisation, c'est-à-dire une représentation cartographique des phénomènes atmosphériques et leurs variations sur une échelle spatiale. Cependant, ces deux sciences présentent des complémentarités. La connaissance de l'atmosphère s'appuie sur trois notions précises : le temps, les saisons et le climat. Le concept de temps est relatif à un état atmosphérique changeant. Cette notion est étroitement liée à la combinaison d'éléments atmosphériques spécifiques, en fonction d'un lieu et d'un moment définis.

### 1.2. Le temps et les types de temps

#### A. Définition

L'atmosphère, cette enveloppe gazeuse qui entoure la Terre, est un élément essentiel à la compréhension des conditions météorologiques. En effet, elle se caractérise par des variations constantes et continues, qui peuvent être considérées comme l'état de l'atmosphère à un instant donné. La définition de cet état est établie sur la base de plusieurs paramètres météorologiques, notamment la température, les précipitations (sous forme de pluie ou de neige), l'humidité, la direction et la force du vent, ainsi que la couverture nuageuse. L'observation systématique et régulière du temps est effectuée de manière autonome par les stations météorologiques, ainsi que de façon autonome par les satellites.

Le temps peut être défini comme l'ensemble des conditions physiques des basses couches de l'atmosphère à un instant donné et en un point spécifique. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons aux conditions météorologiques qui sont communément associées au temps. Ces dernières peuvent être directement ressenties, comme l'ennuage ou le rayonnement solaire, la température, le vent, les précipitations et également la visibilité. L'étude et la prévision des phénomènes atmosphériques sont désignées sous le terme de «météorologie ».



Quatre éléments physiques, à savoir la pression atmosphérique, la température, l'hygrométrie et la vitesse du vent, interagissent pour produire le temps. Ces facteurs sont, à leur tour, influencés par cinq autres facteurs : la latitude, l'altitude, la végétation, les courants marins et la répartition terre-mer.

Les phénomènes météorologiques à l'origine des variations du temps peuvent se manifester à diverses échelles temporelles et spatiales. Pour illustrer cette idée, on peut établir une comparaison entre un orage d'été, de durée limitée, et une tempête des latitudes moyennes, qui s'étend sur des milliers de kilomètres carrés et s'éternise. Il convient de noter que l'ensemble de ces phénomènes sont intrinsèquement liés à l'énergie solaire, qui en constitue la source primordiale.

Le climat peut être défini comme l'ensemble des conditions atmosphériques et climatiques d'une région à un moment donné. Selon la définition communément admise par la communauté scientifique, le climat d'un espace donné est déterminé par la moyenne des conditions atmosphériques sur une période d'au moins trente ans. Ces conditions incluent les températures, les précipitations, la pression atmosphérique, ainsi que les vents dominants.

Le temps météorologique est une notion directement sensible, tandis que le climat est une notion relativement abstraite. Cependant, il convient de noter que l'intégration du facteur climatique, tel qu'exprimé par la température moyenne de 15 °C qui est perçue comme un seuil de fraîcheur en juillet et de chaleur en janvier, est une réalité empirique. Par ailleurs, il est observé que l'adaptation du monde végétal aux conditions météorologiques à long terme, c'est-à-dire au climat, s'effectue de manière progressive et continue. En outre, il convient de noter que le temps météorologique et le climat obéissent aux mêmes lois physiques.

## B. Types de temps et excès climatiques

Les types de temps sont définis comme des périodes d'association plus ou moins durables, s'étendant de quelques heures à quelques jours, d'éléments atmosphériques sensiblement identiques sur une échelle régionale à locale. La répartition spatiale, la fréquence, la durée et la succession des types de temps permettent de saisir concrètement la réalité des conditions atmosphériques au-dessus d'un lieu et d'en envisager les conséquences sur l'espace géographique. Les types de temps peuvent ainsi être considérés comme la manifestation, à échelle locale, des faits de circulation atmosphérique de large échelle. La circulation



atmosphérique est un phénomène qui implique le déplacement des masses d'air sur de vastes étendues spatiales.

### ✚ Les types de temps d'un climat méditerranéen

Il est essentiel de comprendre les différents types de temps qui caractérisent ces régions. En effet, les états successifs de l'atmosphère se rattachent à un nombre restreint de types de temps bien définis. Ainsi, on peut distinguer les principaux types de temps suivants :

#### 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.

#### 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.





## Chapitre 2. Les données climatologiques

### 2.1. Mesures en surface

#### 2.1.1. Pluviosité

##### a) Définition

Les précipitations correspondent aux différentes formes sous lesquelles l'eau, solide ou liquide, contenue dans l'atmosphère se dépose à la surface du globe (voir tableau 1). Le refroidissement de l'air a pour conséquence directe une augmentation de l'humidité. En conséquence, l'air s'élève et l'humidité atmosphérique croît. Lorsque la capacité d'absorption de l'air ambiant est saturée, un processus de libération de l'excès d'humidité s'enclenche, conduisant à la formation de gouttelettes d'eau à la surface des objets. Ce phénomène, connu sous le nom de condensation, est la manifestation physique de la capacité de l'air à atteindre un équilibre dynamique entre sa capacité d'absorption et la pression atmosphérique.

Il a été observé que les noyaux de condensation sont à l'origine de la formation des gouttelettes d'eau. Ces particules peuvent avoir des origines diverses, telles que les particules de sel marin, les émanations d'industries chimiques ou la poussière, pour n'en citer que quelques-unes. La concentration de ces éléments est sujette à des variations d'un contexte géographique à un autre. Il a été observé que la concentration de cette substance peut atteindre 10 000 parties par  $\text{cm}^3$  sur les continents, tandis qu'elle se situe dans une fourchette de 100 à 1 000 parties par  $\text{cm}^3$  au niveau des océans.

Il a été observé que les noyaux de condensation sont à l'origine de la formation des gouttelettes d'eau. Ces dernières se forment par condensation de vapeur d'eau autour du noyau. Dans un second temps, les cellules entrent en contact les unes avec les autres, un processus que l'on nomme la « collision ». Lorsqu'elles atteignent un poids suffisant, elles chutent vers le sol, malgré les courants ascendants de l'air. Il a été observé que la taille des gouttes de pluie augmente lorsqu'elles rencontrent d'autres gouttelettes sur leur parcours. Dans le contexte de la météorologie, le diamètre d'une gouttelette de vapeur d'eau dans un nuage, ou de gouttelettes de pluie, est d'environ 10 micromètres.

La formation de grêlons est étroitement liée à la présence de courants d'air ascendants d'une forte intensité. Les gouttelettes de pluie, dans leur phase initiale de condensation atmosphérique, sont par la suite redirigées vers le nuage d'où elles proviennent. Ces dernières vont alors geler et se recouvrir d'un revêtement de vapeur d'eau gelée.



Il a été observé que des gouttelettes d'eau et des cristaux de glace peuvent coexister dans un nuage à des températures inférieures à zéro, suggérant une compatibilité entre ces deux phases dans des conditions atmosphériques extrêmes. Lorsqu'un cristal croît, sa masse augmente. Lorsqu'il atteint une masse suffisante pour surmonter la force des mouvements ascendants, il chute vers le sol, entraînant dans sa chute d'autres cristaux. Cette figure est communément associée à celle du flocon de neige. Les particules de neige, ou cristaux de glace, sont formées à partir d'un noyau glaçogène, également appelé glaciogène ou glacigène. Leur structure subit des transformations en fonction de la température ambiante. Lorsqu'une descente atmosphérique s'accompagne d'une élévation de la température au-dessus du point de congélation, il se forme des gouttelettes de pluie qui atteignent le sol.

### b) Mesure de la pluviosité

La pluviosité, quant à elle, est mesurée par différents types de pluviomètres (voir figure 1, A et B). Le pluviomètre à lecture directe se compose de deux parties en matière plastique s'emboîtant l'une dans l'autre. La partie supérieure, opaque, est formée d'un entonnoir à fond perforé dont la surface de collecte est de 400 cm<sup>2</sup>. La partie inférieure, transparente, a pour fonction d'emmagasiner l'eau recueillie. Elle indique la hauteur d'eau tombée par lecture directe sur une échelle graduée.

Le pluviomètre sans fil est un appareil qui permet de mesurer les précipitations atmosphériques. Il est équipé d'un afficheur qui indique le cumul total des précipitations sur une période donnée. En outre, il peut également afficher le cumul quotidien, permettant ainsi de surveiller les tendances météorologiques. Sa portée sans fil, pouvant atteindre jusqu'à 100 mètres entre l'afficheur et le collecteur de pluie, garantit une installation flexible et adaptée à différentes configurations. Cet appareil dispose de multiples fonctionnalités supplémentaires, parmi lesquelles on peut citer les alarmes de pluie, le suivi des historiques, ou encore la mesure des températures intérieures.

**Tableau 01.** Taille des éléments constitutifs des différents types de précipitations.

Types de précipitations	Taille des éléments
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



**Figure 1.** Pluviomètre à lecture directe (A). Pluviomètre électronique (B).

### 2.1.2. Températures

#### a) Définition

Il s'agit du paramètre le plus crucial, conditionnant l'ensemble des activités physiologiques et des réactions chimiques. La température de l'air est soumise à des variations qui sont déterminées par le rayonnement solaire.

La pression de l'atmosphère est déterminée par la composition de ses gaz. Les fluctuations de la température de l'air sont considérablement atténuées par l'humidité atmosphérique. En conséquence, les écarts thermiques journaliers les plus significatifs sont enregistrés dans les régions arides. Dans le cadre de la mesure de la température, trois systèmes de représentation sont couramment utilisés : le degré absolu ( $^{\circ}\text{K}$ ), le degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) et le degré Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Les conversions entre ces unités de mesure sont déterminées par des règles suivantes :

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

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

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



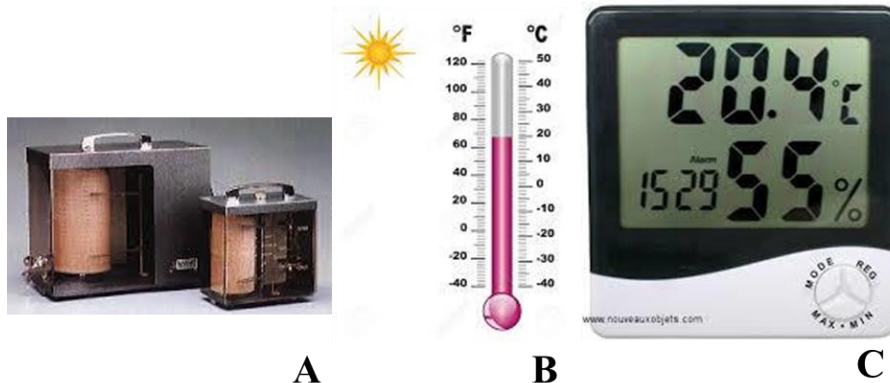
La température de l'air est influencée par un ensemble de facteurs, parmi lesquels on peut citer le rayonnement solaire incident, le rayonnement émis par le substrat, les apports potentiels liés à la mobilité de l'air, la densité de l'air, ainsi que la quantité d'énergie consommée pour l'évapotranspiration.

La température et ses fluctuations diurnes sont tributaires de divers facteurs environnementaux, notamment la latitude, la localisation de la station (en mer ou sur le continent), l'altitude de la station, ainsi que le degré de couverture nuageuse. En sus des mesures de température maximale et minimale, il conviendrait de prendre en considération d'autres éléments. Selon les données enregistrées, le pic de température le plus élevé, avec une valeur de 57,8 °C, a été observé en Libye le 13 septembre 1922. Cependant, la température la plus basse enregistrée (moins 89,2°C) a été observée en Antarctique le 21 juillet 1983.

### **b) Mesure de la température**

Le thermomètre, instrument météorologique par excellence, est l'outil le plus fréquemment employé. Le fonctionnement d'un thermomètre repose sur le principe de la dilatation ou de la contraction des corps selon leur température. Il existe plusieurs types de thermomètres : les thermomètres à alcool pour les mesures des extrêmes (maximum et minimum), le thermomètre à mercure, et enfin, les thermomètres électroniques (cf. figure 2, A, B et C). Dans le cadre de la surveillance des variations de température sur une période définie, le recours aux thermographes s'est avéré une méthode efficace. Ces appareils, dotés d'un système mécanique d'enregistrement sur un ruban de papier, ont permis de documenter avec précision les valeurs maximales et minimales des températures. Il convient de noter que ces instruments sont actuellement rarement utilisés, en raison de la prépondérance des thermomètres plus sophistiqués sur le marché. Dans le contexte historique, la détermination des températures journalières s'effectuait par le calcul de la moyenne arithmétique des valeurs maximales et minimales enregistrées. À l'heure actuelle, les stations automatiques sont calculées en fonction de huit mesures tri-horaires obtenues chaque 24 heures.





**Figure 2.** Différents appareils de mesures thermiques : (A) thermographe, (B) thermomètre à mercure, (C) thermomètre électronique.

### 2.1.3. Pression atmosphérique

#### a) Définitions

La pression atmosphérique correspond à la force exercée par la colonne d'air située au-dessus de l'emplacement de mesure. Cependant, il convient de noter que la pression ne se mesure pas uniquement de haut en bas, mais dans toutes les directions.

La pression atmosphérique correspond à la pression exercée par le mélange gazeux constituant l'atmosphère d'un lieu donné (sur Terre, il s'agit d'air) sur une surface quelconque en contact avec cette atmosphère.

La pression atmosphérique est définie comme le poids exercé par une colonne d'air sur une surface donnée. Ainsi, une colonne d'air dont la section est égale à 1 mètre carré, allant du sol jusqu'au sommet de l'atmosphère, possède une masse d'environ 10 000 kilogrammes. La pression atmosphérique est quantifiée en hectopascal (hPa). Dans le passé, la pratique courante était l'utilisation du millibar (mb) ou du millimètre de mercure (mmHg) pour quantifier la pression artérielle.

#### b) Mesure de la pression atmosphérique

NB : Il convient de noter que la pression atmosphérique décroît rapidement avec l'altitude, en particulier aux basses couches de l'atmosphère. En effet, une variation altitudinale infime induit une altération notable de la pression atmosphérique. En effet, l'atmosphère, maintenue par la force de gravité, exerce une pression sur toute la surface du globe terrestre. Ainsi, la pression peut être définie comme la force par unité de surface.

- La pression standard est de :  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1000 \text{ mbar} = 1000 \text{ hPa}$ .





- Au niveau de la mer, la force est le poids de 1kg d'air pour chaque m<sup>2</sup>.

La pression atmosphérique est principalement mesurée à l'aide d'un baromètre. Il convient de noter l'existence de plusieurs types de baromètres. Parmi les plus couramment utilisés, on peut citer :

- Le baromètre à mercure est un instrument de mesure qui permet de déterminer avec précision la pression atmosphérique. Il est impératif de corriger cette pression de l'altitude afin d'obtenir la pression atmosphérique standard, soit la pression au niveau de la mer.
- Le baromètre anéroïde est constitué d'une ou plusieurs capsules à vide. Celles-ci s'écrasent plus ou moins en fonction de la pression exercée. Cette variation est amplifiée par un mécanisme composé d'un déplacement d'une aiguille sur un cadran, tel qu'illustré à la figure 3.
- Le barographe, instrument de mesure de la pression atmosphérique, se présente sous la forme d'un baromètre. Il affiche, sur un écran ou sur papier millimétré pour les modèles anciens (cf. figure 4), la courbe de la pression en fonction du temps.
- Il convient de noter que la baisse continue de la pression atmosphérique est un indicateur de pluie imminente, tandis qu'une diminution plus marquée sur une courte période est un signal d'alerte pour l'arrivée imminente d'une tempête, de vents violents ou d'un orage.



**Figure 3.** Baromètre anéroïde (A) et Barographe (B).

#### 2.1.4. Humidité relative

##### a) Définition

L'humidité relative de l'air se définit comme étant la quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue dans l'air. Cette quantité est fonction des conditions de température et de pression atmosphériques. Il a été démontré que l'élévation de la température de l'air favorise la dissolution d'une quantité d'eau plus importante.

L'humidité relative est définie comme le rapport entre la masse d'eau dissoute dans l'air et la masse maximale d'eau que l'on peut y dissoudre.



Lorsqu'un air ambiant est saturé en vapeur d'eau, on parle de situation de saturation. Dans cette éventualité, des formations nuageuses ou brumeuses peuvent se développer en fonction des conditions atmosphériques. Ainsi, comme l'ont démontré de nombreuses études, l'humidité relative permet aux météorologues de prévoir les formations nuageuses, et ce, même en ce qui concerne le type de nuages et les risques de précipitations.

### b) Mesure de l'humidité relative de l'air

La mesure de l'humidité relative s'effectue à l'aide d'instruments spécialisés tels que l'hygromètre ou le psychromètre, représentés dans la figure 4. Dans la plupart des cas, cette dernière se note HR. Il convient de garder à l'esprit que :

\*L'humidité peut être définie comme la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

\*En effet, il a été démontré que l'air chaud est en mesure de retenir une quantité d'eau supérieure à celle de l'air froid.

\*En effet, l'air froid sec est caractérisé par une teneur en humidité proche de 0 %.

Dans les régions tropicales, caractérisées par un climat chaud et humide, l'air peut présenter un taux d'humidité oscillant entre 4 et 5 %.

\*Nous avons établi la liste suivante :

-L'humidité absolue (HA) est quantifiée comme la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air humide à une température et une pression données. L'unité usuelle de mesure est le gramme par mètre cube, symbolisé par le sigle « g/m<sup>3</sup> ».

-L'humidité saturante (HS) correspond à la quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir un volume d'air à une température donnée. L'unité usuelle de mesure est le gramme par mètre cube, symbolisé par le sigle « g/m<sup>3</sup> ».

-L'humidité relative (HR) est définie comme le rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air à une température donnée et la quantité maximale de vapeur d'eau que ce même volume d'air peut contenir à la même température. La mesure est exprimée en pourcentage.



Figure 4. Psychromètre.



### 2.1.5. Ensoleillement

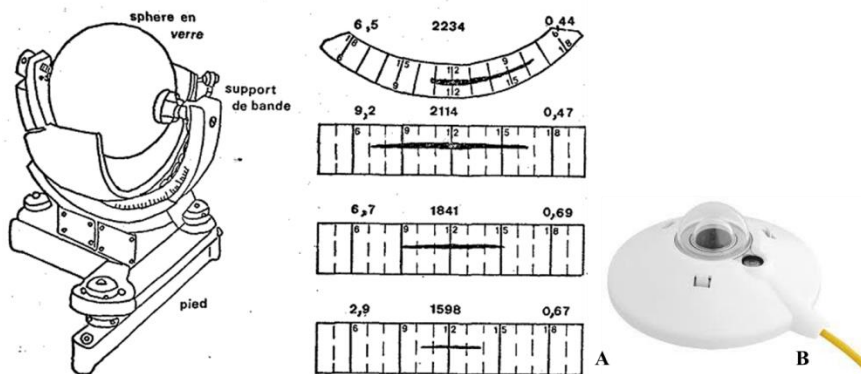
#### a) Définition

L'ensoleillement, également désigné par le terme « insolation », correspond à la mesure du rayonnement solaire reçu par une surface pendant une durée définie. Cette mesure est exprimée en mégajoules par mètre carré, MJ/m<sup>2</sup>, conformément aux recommandations de l'Organisation météorologique mondiale, ou en watts-heures par mètre carré, Wh/m<sup>2</sup>, selon les pratiques de l'industrie solaire. Cette mesure, obtenue en divisant la puissance par le temps d'enregistrement, permet de calculer la densité de puissance, également appelée «éclairage énergétique» ou «irradiance». Cette dernière est exprimée en watts par mètre carré (W/m<sup>2</sup>).

#### b) Mesure d'ensoleillement

Bien que la mesure de la radiation et des bilans d'énergie ne fasse pas encore partie des pratiques courantes, en dehors du cadre de la recherche scientifique, l'analyse de la durée d'insolation, ou héliophanie, est, en revanche, systématiquement effectuée par toutes les stations météorologiques à l'aide d'un héliographe, comme l'illustre la figure 5.

Les mesures de rayonnement global (R<sub>g</sub>), ou mesures de la quantité d'énergie solaire en lumière visible reçue au sol (en W.m<sup>-2</sup>), sont réalisées à l'aide d'un pyranomètre. Il a été récemment établi que les pyranomètres sont également aptes à remplir la fonction d'héliographe, permettant ainsi de quantifier la durée de l'insolation.



**Figure 5.** Appareils de mesure de l'ensoleillement. Héliographe Campbell-Stokes (A), Pyranomètre (B).



### 2.1.6. Nébulosité

#### a) Définition

La nébulosité, quant à elle, correspond à la fraction du ciel couverte par les nuages. Ce concept est un élément qui intéresse les botanistes, les agronomes, les forestiers, les architectes, les ingénieurs et de nombreuses autres personnes dont les travaux sont en relation avec l'ensoleillement. L'observation visuelle de la nébulosité peut être considérée comme une méthode d'investigation élémentaire, ne requérant pas l'utilisation d'instruments spécialisés.

#### b) Mesure de la nébulosité

La nébulosité est communément évaluée visuellement par l'observation de la fraction du ciel couverte par les nuages, exprimée en dixièmes de la superficie visible du firmament. Ainsi, le chiffre 00 indique un ciel parfaitement dégagé, tandis que le chiffre 10 correspond à un ciel complètement couvert. Par ailleurs, le terme « 05 » traduit un ciel à demi couvert.

La nébulosité, quant à elle, est évaluée à l'aide d'observations visuelles réalisées à trois reprises par jour dans les stations météorologiques. Cette échelle de mesure, qui va de 0 à 8, est communément appelée « échelle d'octaves ».

### 2.1.7. Vent

#### a) Définition

La formation du vent est attribuable à des variations de la pression atmosphérique, lesquelles sont elles-mêmes engendrées par des zones de réchauffement distinctes. Ainsi, le vent se propage de manière systématique des zones de haute pression vers les zones de basse pression. En effet, il a été démontré que l'intensité du vent est proportionnelle à la différence de pression atmosphérique entre les deux systèmes.

Dans le cadre de cette étude, il sera question d'analyser l'impact du vent sur les ambiances climatiques.

Dans le cadre de l'étude des paramètres climatiques, la température est un facteur déterminant. Les vents, tels que le sirocco et le mistral, jouent un rôle crucial dans la régulation thermique, apportant des conditions de chaleur ou de fraîcheur en fonction de leur direction et de leur force.

Dans le contexte des précipitations atmosphériques, l'humidité peut être influencée par des facteurs tels que les vents, qu'ils soient secs ou humides. Ces derniers, en effet, peuvent induire des pluies sur le relief, en fonction de leur capacité à générer de l'humidité atmosphérique.





### b) Mesure du vent

**Appareils :** Anémomètre à coupelles, Girouette moderne, Mât de mesure, Bouée, Ballon sonde, ... etc (**Figure 6**).

La vitesse du vent est quantifiée par l'utilisation d'un instrument spécifique dénommé « anémomètre ». L'appareil se compose de petites spatules fixées autour d'un axe vertical. Il est impératif que le matériau en question présente une sensibilité optimale, lui permettant de détecter la plus infime des brises. En outre, il doit démontrer une résistance à toute épreuve, afin de résister aux assauts répétés des éléments. Sa conception vise à assurer une rotation des coupelles proportionnelle à la vitesse du vent, permettant une mesure précise de la force aérodynamique.

La direction du vent est quant à elle donnée par une girouette qui s'oriente dans le sens du vent. Lorsqu'il est question de la direction d'un vent, il s'agit de la direction depuis laquelle il souffle. Par conséquent, un flux d'air en provenance de l'est se déplacera de l'est vers l'ouest.

Dans le cadre des mesures météorologiques, l'anémomètre et la girouette sont des instruments de mesure qui sont fixés sur les mâts de mesure et les bouées. Ces instruments sont positionnés à une hauteur de dix mètres au-dessus du sol, une mesure mise en œuvre dans le but de minimiser l'impact de la topographie et de la présence d'obstacles. La vitesse moyenne du vent peut être déterminée par la réalisation d'une série de mesures sur une durée de dix minutes.



**Figure 6.** Appareils de mesure du vent.





## 2.2. Mesures en altitude

### 2.2.1. Pression atmosphérique

Dans le cadre des mesures altimétriques, l'utilisation d'un ballon-sonde s'avère être une méthode de référence. Dans le cadre de l'étude de la pression atmosphérique, le baromètre, équipé d'un ballon sonde, joue un rôle essentiel.

### 2.2.2. Vent

La vitesse et la direction du vent d'altitude sont calculées en fonction de la trajectoire du ballon, laquelle est suivie par radar. L'objet de cette étude est un ballon équipé d'un parachute et d'un réflecteur radar.

La localisation de ces ballons est effectuée à l'aide de radars ou du système GPS. L'analyse de l'évolution de leur trajectoire permet ensuite de déterminer la vitesse et la direction du vent dans la zone concernée.

### 2.2.3. Température

Dans le cadre de la mesure de la température atmosphérique, les satellites ne réalisent pas eux-mêmes les relevés de température. Ces derniers sont dotés de capteurs (radiomètres) sensibles à la luminance de l'atmosphère et de la mer dans le domaine des infrarouges. Les données issues des satellites couvrent pratiquement l'intégralité du globe terrestre avec une précision remarquable. Il convient de noter que les latitudes supérieures à 85 degrés nord et sud présentent une carence en données, attribuable à l'angle rasant de ces régions pour les satellites géostationnaires et à la moindre fréquence du passage des satellites à orbite polaire.

La radiosonde est un instrument de mesure qui permet de déterminer les paramètres atmosphériques, à savoir la pression, la température et l'humidité de la masse d'air. Elle est utilisée pour des mesures à des altitudes comprises entre 0 et 25 kilomètres. Ces mesures sont effectuées à une fréquence de 20 secondes. Dans le cadre de la transmission des données, le processus se déroule par voie de radio, permettant ainsi leur transfert vers le système de traitement dédié. Dans l'espace, les mesures sont effectuées par des satellites.



## Chapitre 3. Mécanismes de la circulation générale des systèmes de vents.

Dans le cadre de l'étude des phénomènes atmosphériques, il est essentiel de comprendre les mécanismes qui sous-tendent la circulation atmosphérique. À l'échelle planétaire, les principaux facteurs déterminant cette circulation sont le gradient de pression, la force de pesanteur, la rotation de la Terre et les processus de dissipation, tels que le frottement.

Il existe trois catégories de vents dans chaque hémisphère : les vents alizés, les vents d'ouest et les vents polaires. En outre, les systèmes de vents, communément appelés « moussons », trouvent leur origine dans les variations annuelles de température entre les surfaces continentales et maritimes.

En outre, il convient de mentionner l'existence de régimes de vents spécifiques dans les zones montagneuses et vallonnées, ainsi que de brises diurnes et nocturnes le long des littoraux.

### 3.1. Vents Alizés

Les vents alizés sont des courants aériens qui se caractérisent par leur force faible et leur régularité. Ils sont engendrés par la différence de pression atmosphérique entre la ceinture de hautes pressions subtropicale et la ceinture de basse pression équatoriale. Ces courants aériens sont prédominants dans les basses latitudes, où ils soufflent à une vitesse comprise entre 15 et 35 kilomètres par heure, et jusqu'à 45 kilomètres par heure.

Dans l'hémisphère Nord, le vent qui souffle du nord vers l'équateur est dévié vers l'ouest en raison de la rotation de la Terre. Dans l'hémisphère Sud, le vent soufflant du Sud est dévié de la même façon vers l'Est.

L'alizé, caractérisé par sa direction régulière d'est en ouest au sein d'un corridor atmosphérique délimité par les deux tropiques, constitue un phénomène météorologique significatif dans le contexte des dynamiques climatiques régionales. Ce phénomène est causé par la différence de pression atmosphérique entre la zone intertropicale, caractérisée par une basse pression, et les zones subtropicales, où la pression atmosphérique est élevée.

Il s'agit d'un flux de masse d'air à basse altitude, dont la hauteur varie entre 0 et 1 500 mètres environ. À une altitude d'environ 6 000 mètres, on observe la présence de vents frais qui s'orientent en sens opposé et se déversent au-dessus de la zone subtropicale. Le phénomène météorologique étudié, caractérisé par des basses pressions intertropicales, provoque un déplacement des vents vers l'ouest, en raison de la rotation de la Terre.



### 3.2. Vent d'Ouest

Les vents d'ouest, quant à eux, trouvent leur origine dans les régions subtropicales avant de se diriger vers les zones de basses pressions subarctiques. Dans les zones de latitude moyenne, les perturbations atmosphériques cycloniques et anticycloniques ont un impact significatif sur le climat. Ces perturbations modifient de manière notable la direction des vents journaliers, ce qui affecte les conditions atmosphériques et les conditions environnementales.

Les vents d'ouest les plus forts sont enregistrés à des altitudes comprises entre 20 et 30 kilomètres. Ils présentent une tendance à se concentrer dans une ceinture relativement étroite, désignée sous le nom de « courant-jet ». Ces vents soufflent à des vitesses et dans des directions déterminées, donnant naissance à des systèmes de dépressions mobiles.

### 3.3. Vents polaires

Les vents polaires sont caractérisés par des masses d'air froid qui se propagent depuis les zones de hautes pressions polaires et arctiques. Il a été constaté que leur direction générale est le Sud-ouest dans l'hémisphère Nord et le Nord-ouest dans l'hémisphère Sud.

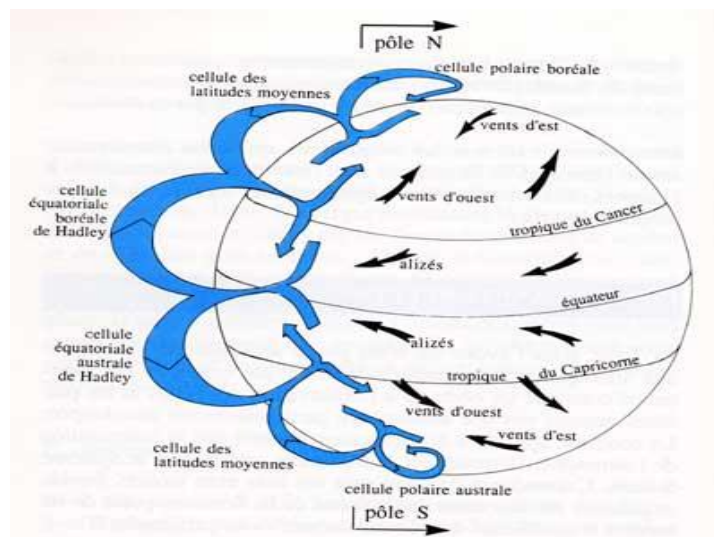


Figure 7. Types du vent.

### 3.4. Circulation générale et climat global

#### A. Définition.

La circulation générale des masses d'air résulte de deux principaux facteurs : la rotation de la Terre, qui atteint 1 670 km/h, et le déséquilibre énergétique entre les pôles et la zone intertropicale.



L'atmosphère, loin d'être immobile, se caractérise par des mouvements d'air qui circulent autour du globe. L'air surchauffé de l'équateur se déplacera pour réchauffer l'air des pôles, qui a perdu de sa chaleur.

Dans les régions polaires, situées entre  $60^\circ$  et  $90^\circ$  de latitude, les vents soufflent de secteur Est (nord-est dans l'hémisphère Nord et sud-est dans l'hémisphère Sud).

Dans la zone tempérée, située entre  $60^\circ$  de latitude nord (correspondant à une dépression subpolaire) et  $30^\circ$  de latitude sud (correspondant à un anticyclone subtropical), les vents d'ouest sont les plus fréquents (sud-ouest dans l'hémisphère nord, nord-ouest dans l'hémisphère sud). Cette zone est propice au développement des perturbations.

Des zones de calme atmosphérique sont observées au niveau des anticyclones des Açores ( $30^\circ\text{N}$ ) et de Sainte-Hélène ( $30^\circ\text{S}$ ). Ces dernières sont désignées sous le nom de « Horses latitudes ».

Dans la zone intertropicale, située entre les anticyclones subtropicaux (Anticyclone des Açores et Anticyclone de Sainte-Hélène) et l'équateur, la circulation atmosphérique se caractérise par une permanence de la direction est-ouest. Cette zone se caractérise par des vents de secteur Est, nommés alizés, et par la présence de cumulus. Il est à noter que dans cette zone, des cyclones se développent régulièrement en fin d'été.

Dans l'hémisphère Nord, les alizés sont de secteur nord-est, tandis que dans l'hémisphère Sud, ils sont de secteur sud-est. Cette variation de direction est due à la force de Coriolis.

La force de pesanteur, quant à elle, est induite par la rotation terrestre et est nulle à l'équateur. Cette propriété physique est particulièrement notable aux pôles, où elle atteint des valeurs maximales.

La zone de rencontre des alizés du nord-est et du sud-est engendre une vaste zone nuageuse désignée sous le nom d'« équateur météorologique », caractérisée par une zone de basse pression.

Dans le cadre de l'étude des dynamiques énergétiques planétaires, il est essentiel de considérer les régions du globe qui présentent des contrastes significatifs en termes de bilan thermique. Les régions équatoriales, par exemple, enregistrent un excédent d'énergie, ce qui conduit à un réchauffement climatique. En revanche, les régions polaires, caractérisées par un déficit énergétique, subissent un refroidissement. Cette dichotomie entre les zones de chaleur et de froid extrêmes est un sujet d'étude crucial pour la compréhension des processus



énergétiques à l'échelle planétaire. Le mécanisme des saisons exerce une influence significative sur la distribution de l'énergie solaire.

Les variations de la durée quotidienne d'ensoleillement sur un lieu donné à la surface de la Terre permettent de délimiter des zones spécifiques.

Une zone polaire se caractérise par une situation géographique au-delà du 60<sup>e</sup> parallèle nord et sud, et est systématiquement défavorisée sur le plan énergétique. Dans cette zone, les jours et les nuits peuvent s'étirer sur plusieurs mois, en fonction des saisons.

Une zone tempérée peut être définie comme une région située entre les parallèles 30°N et 60°N ou 30°S et 60°S, caractérisée par un régime intermédiaire et des variations saisonnières marquées.

Une zone intertropicale, définie comme une région de la planète située entre les latitudes 30° de latitude sud et 30° de latitude nord, se caractérise par une forte et constante luminosité solaire.

Dans le cadre de l'analyse des images obtenues par télédétection par infra-rouge, l'échelle colorimétrique constitue un outil essentiel pour la distinction des différentes zones de température au niveau du sol et des océans. Dans le cadre de l'étude des nuages, il est important de noter que la couleur de ces formations atmosphériques est déterminée par l'altitude respective de leurs sommets. Autrement dit, plus les nuages se trouvent à une altitude élevée, plus leur couleur est susceptible de paraître bleu. Il est important de noter que les nuages les plus élevés sont les plus froids.

Les océans couvrent 70 % de la surface terrestre, ce qui en fait une part substantielle de notre planète. En outre, ces organismes jouent un rôle crucial dans le transfert d'énergie depuis les zones équatoriales vers les pôles, un processus qui est étudié par la communauté scientifique.

L'atmosphère tire son énergie des océans, où la condensation de la vapeur d'eau, issue de l'évaporation de l'eau de mer, joue un rôle crucial.

La conduction thermique, qui correspond en l'occurrence au réchauffement de l'air contenu dans les basses couches par contact avec la surface de l'océan, joue également un rôle dans ces transferts.





## Chapitre 4. L'air et la structure et dynamique des couches

### 4.1. L'atmosphère

L'atmosphère correspond à la couche gazeuse qui entoure la Terre. Cette dernière est composée d'un mélange d'air sec et de vapeur d'eau.

L'air qui constitue l'atmosphère est un mélange complexe de gaz et de particules solides ou liquides. Ces éléments sont concentrés dans la troposphère, la couche de l'atmosphère où s'exerce la pression atmosphérique. Cette dernière est la pression exercée par les molécules d'air sur la surface terrestre. La pression atmosphérique est une grandeur physique qui varie de manière non uniforme sur la surface de la Terre. Il existe des secteurs où prédomine une basse pression atmosphérique et des secteurs où prédomine une haute pression atmosphérique.

L'air sec se caractérise par une composition gazeuse qui demeure pratiquement constante au niveau du sol.

La proportion en volume des différents gaz est la suivante : L'analyse chimique de l'air a révélé la présence d'azote, d'oxygène, d'argon et de gaz carbonique. Les quantités respectives de ces éléments chimiques sont les suivantes : 78,09 % d'azote, 20,95 % d'oxygène, 0,93 % d'argon et 0,03 % de gaz carbonique. En outre, la présence de trace de néon, hélium, krypton, hydrogène, xénon, ozone et radon a été détectée dans l'air, bien que dans des quantités infimes.

Des particules de dimension microscopique (débris minéraux et végétaux, particules de sel marin, bactéries) sont présentes en suspension dans l'air. Ces particules vont servir de support à la condensation de la vapeur d'eau.

### 4.2. Les couches atmosphériques

L'atmosphère est composée de couches dont la disposition est verticale. Chaque couche se distingue par ses caractéristiques propres. Une division est opérée sur la base de la variation de température.

L'atmosphère est composée de cinq couches atmosphériques (Figure 8) dont les épaisseurs sont inégales. Ces couches sont nommées respectivement troposphère, stratosphère, mésosphère, thermosphère et exosphère.

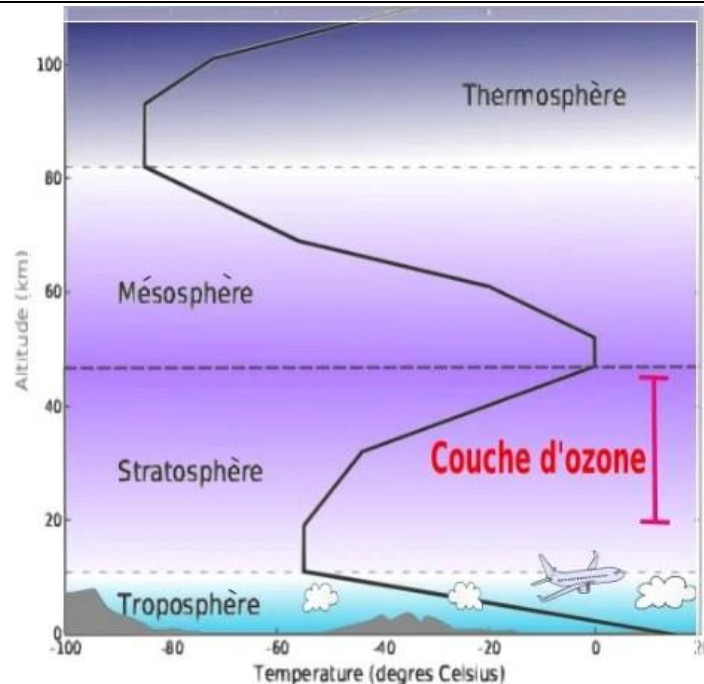


Figure 8. Couches atmosphériques

### A) Troposphère

La troposphère correspond à la couche atmosphérique la plus proche du sol terrestre. L'épaisseur de la couche nuageuse est sujette à des variations, avec une hauteur de 7 kilomètres au-dessus des pôles, 18 kilomètres au-dessus de l'équateur et environ 13 kilomètres, selon les saisons, dans la zone tempérée. Il est établi que cette substance représente approximativement 90 % de la masse totale de l'atmosphère. C'est dans cette couche que se produit la majorité des phénomènes météorologiques.

En s'élevant dans la troposphère, la température décroît de manière régulière d'environ  $0,6^{\circ}\text{C}$  tous les 100 mètres jusqu'à atteindre  $-56^{\circ}\text{C}$  au niveau de la tropopause, qui correspond à la zone séparant la troposphère de la stratosphère. Il a été démontré que la température de l'air est plus élevée au niveau du sol qu'en altitude. Cette différence s'explique par le fait que la surface terrestre agit comme un radiateur, réchauffant ainsi la couche d'air située à proximité.

### B) Stratosphère

Dans la stratosphère, au-dessus de la tropopause, la température s'accroît avec l'altitude. L'inversion du gradient thermique induit une fermeture presque complète de la tropopause, ce qui limite considérablement le transfert de matière entre la troposphère et la stratosphère.



Néanmoins, il est important de souligner que certains échanges sont rendus possibles grâce à des phénomènes dynamiques à grande échelle.

L'élévation de la température dans la stratosphère contribue à la stabilité dynamique de cette couche de l'atmosphère. Comme le suggère son appellation, elle présente une stratification. La stratosphère, composée de couches successives, abrite notamment la couche d'ozone dont le maximum de concentration est observé à une altitude de 25 km.

Cette couche est essentielle à la vie sur Terre, car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets, qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption induit un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. Cette augmentation de la température est due à l'élévation de la couche d'ozone, qui agit comme un filtre pour les rayons ultraviolets provenant du soleil.

### C) Mésosphère

La mésosphère est située dans la partie supérieure de la stratosphère. Dans l'étude des couches de l'atmosphère, il est important de distinguer la mésosphère, qui s'étend de 50 à 80 kilomètres d'altitude, des deux couches qui la jouxtent. La stratopause, située à environ 80 kilomètres d'altitude, et la mésopause, qui se trouve à environ 80 kilomètres d'altitude, marquent respectivement les frontières de la mésosphère. Dans cette couche, la température décroît à nouveau avec l'altitude, pour atteindre environ -80 degrés Celsius à une altitude d'environ 80 kilomètres.

Les poussières et particules d'origine spatiale, communément appelées « météores », subissent une combustion lorsqu'elles pénètrent dans la mésosphère, en raison de la friction de l'air. Ce phénomène céleste, qui s'observe souvent sous la forme d'« étoiles filantes », est un exemple éloquent de la beauté et de la puissance du cosmos.

Dans le cadre de ce cours, nous nous penchons sur le rôle crucial joué par cette substance dans le contexte de l'interaction de ses molécules avec les rayons. Cette interaction donne lieu à une ionisation significative, qui, à son tour, induit des réactions chimiques notables. La mésosphère, située à des altitudes comprises entre 50 et 80 kilomètres, contient les mêmes gaz que la troposphère, à savoir principalement de l'azote et de l'oxygène, ainsi que d'autres composés mineurs tels que l'ozone. L'effet de serre de l'ozone est maximal à la base de la mésosphère. La diminution de la concentration de l'ozone atmosphérique induit une baisse correspondante de la température mésosphérique.



## D) Thermosphère / Ionosphère

Cette couche est la plus externe. La couche atmosphérique étudiée est celle où se forment les aurores boréales et australes, phénomène optique de la haute atmosphère. En outre, il convient de noter que la température s'accroît avec l'altitude, pouvant culminer à environ 100 degrés Celsius. L'objet en question est capable d'atteindre des altitudes de l'ordre de milliers de kilomètres, avant de disparaître progressivement dans l'espace. La thermosphère devient pratiquement inexistante et la présence de molécules d'air devient extrêmement rare.

Cette couche est caractérisée par une concentration relativement forte en ions et en électrons dans l'air. Au-delà de 80 km d'altitude, cette couche s'étend jusqu'à une altitude de 640 km.

Cette ionisation est un phénomène déterminant pour les télécommunications, car les ondes radioélectriques, qu'elles soient courtes ou longues, sont réfléchies par les différentes couches de l'atmosphère.

Cette division de l'atmosphère peut être considérée comme une superposition de deux dimensions. D'une part, une division en fonction de ses propriétés électriques, et d'autre part, une division en fonction de l'altitude. Il convient de noter que l'ionosphère débute dans la mésosphère, c'est-à-dire la portion de l'atmosphère située entre 60 et 85 kilomètres d'altitude. Elle se prolonge dans l'exosphère, la couche située entre 80 et 1 000 kilomètres d'altitude.

## E) Exosphère

Cette couche atmosphérique, la plus externe, s'étend jusqu'à des altitudes de plus de 600 kilomètres.

### \*Remarque :

\*La séparation entre la mésosphère et la thermosphère est désignée sous le terme de «mésopause».

\*La séparation entre la troposphère et la stratosphère est désignée par le terme de «tropopause».

Il convient de noter que la couche thermosphère et la couche ionosphère sont identiques. Cette similitude est justifiée par la terminologie scientifique, où la première est désignée par le terme « thermosphère » en raison de la température la plus élevée, tandis que la seconde est désignée par le terme « ionosphère » en raison de la charge en ions.



**Tableau 2 :** Résume les différentes couches de l'atmosphère (Ce découpage est fonction de la variation de la température avec l'altitude).

<i>Couche atmosphérique</i>	<i>Troposphère</i>	<i>Stratosphère</i>	<i>Mésosphère</i>	<i>Thermosphère</i>	<i>Exosphère</i>
<i>Altitude base</i>	Sol	13 Km	50 Km	85 Km	500 Km
<i>Température base</i>	15°C	- 56°C	0°C	- 90°C	500°C
<i>Altitude sommet</i>	13 Km	50 Km	85 Km	500 Km	
<i>Température sommet</i>	- 56°C	0°C	- 90°C	500°C	
<i>Moyens d'observation</i>	Station terrestre	Ballon sonde	/	/	Satellite
	Bouée / Bateau	(jusqu'à 25 Km d'altitude)			





## Chapitre 5. Bilan thermique à la surface de la terre

### 5.1. Le bilan énergétique de la terre

Dans le cadre de l'étude de la dynamique agroclimatique, le bilan énergétique de la Terre se révèle être un facteur prépondérant. En effet, le rayonnement solaire pénètre dans l'atmosphère terrestre où il subit des interactions avec les différentes sphères, à savoir l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère, entre autres. Une fraction de l'énergie rayonnante est réfléchiée par l'atmosphère, puis se propage à nouveau dans l'espace sous forme de rayonnement infrarouge.

Une autre partie sera absorbée par les composants de l'atmosphère. Il a été démontré que la partie du rayonnement qui atteint le sol est en partie absorbée et réfléchiée.

La quantité d'énergie reçue par la haute atmosphère sur une surface de  $1 \text{ m}^2$  est de  $342 \pm 20$  Watts. Cette constante est désignée par le terme « constante solaire ». Ainsi, la Terre reçoit une quantité d'énergie solaire qui lui est propre. Cette énergie, véhiculée par un rayonnement électromagnétique, est convertie en chaleur. Dans la suite de ce document, nous allons exposer les phénomènes qui sont fondamentaux pour le fonctionnement du système climatique (Figure 09).

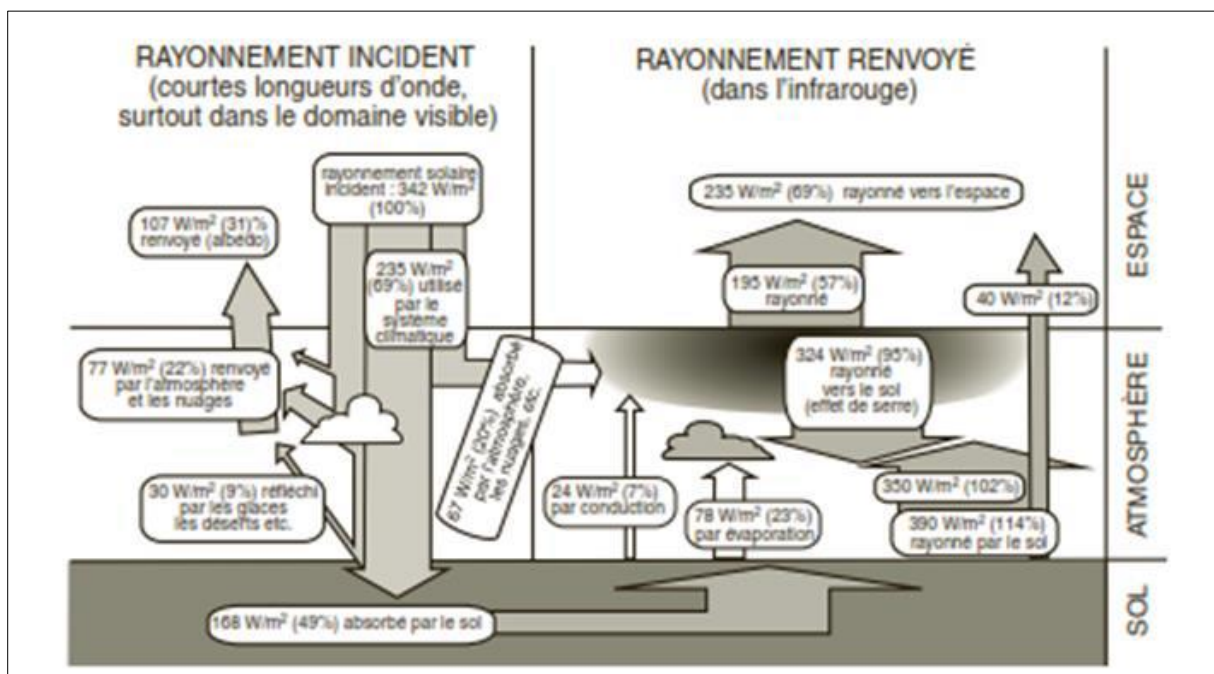


Figure 09. La trajectoire des rayonnements solaires dans le système espace-atmosphère-sol.



## 5.2. Bilan thermique à la surface du sol

Il est établi que l'énergie disponible à la surface de la Terre provient exclusivement de l'énergie transmise par rayonnement du Soleil. Parmi les facteurs climatiques, le rayonnement d'origine solaire est le plus déterminant, dans la mesure où il influence l'ensemble des autres paramètres. Du point de vue de la physique et de la chimie du végétal, son action principale est le contrôle de la température et de l'évapotranspiration. Cependant, une fraction (de l'ordre de 1 %) exerce une action déterminante sur les plantes. Elle permet la fixation du dioxyde de carbone présent dans l'air et sa transformation en matière glucidique : ce processus est connu sous le nom de photosynthèse. Par ailleurs, il a été démontré que le cycle nyctéméral peut avoir une incidence sur le processus de développement, un phénomène que l'on nomme communément le photopériodisme.

## 5.3. Rayonnement net à la surface de la terre

Le rayonnement net correspond au bilan des différents échanges d'énergie radiative de la surface du sol et s'écrit :

$$Rn = (1 - \alpha) Rg + Ra - Rs.$$

***Rg*** : rayonnement global, somme des rayonnements direct et diffus d'origine solaire reçus par une surface horizontale. Le rayonnement solaire recouvre une gamme assez large de longueurs d'onde, depuis les ondes radio (longueurs d'onde élevées) jusqu'aux rayons X (longueurs d'onde faibles). Il présente un maximum vers 410 nm. L'œil humain n'est cependant sensible qu'à une petite partie du spectre solaire : le rayonnement visible est compris entre 400 et 800 nm (du violet au rouge) (voir la figure 11).

***α*** : albédo de la surface du sol (dans son sens large, c'est-à-dire sol et végétation).

L'albédo est la réflectance moyenne du sol pour l'ensemble du spectre solaire. Selon les surfaces éclairées, il peut varier considérablement. Voici quelques valeurs moyennes : neige fraîche : 0,85 ; nuages : 0,6 à 0,9 ; glace : 0,4 ; sable et champs : 0,2 ; forêts et eaux : 0,1.

Notons que seuls les nuages et les surfaces enneigées ou engelées ont un albédo supérieur à la moyenne planétaire.

$$\alpha = R. \text{réfléchi} / R. \text{incident}$$

***Ra*** : rayonnement atmosphérique ; les gaz et les aérosols de l'atmosphère rayonnent dans l'infrarouge thermique. L'ensemble des processus d'émission et d'absorption atmosphériques produit un flux de rayonnement qui serait émis par un corps noir fictif ayant une température



appelée « température radiative de l'atmosphère » et notée  $T_a$ . Le rayonnement atmosphérique est lié à  $T_a$  par la relation :

$$Ra = \sigma T_a^4 ; T_a ; \text{exprimé en } K^\circ \text{ (température absolue).}$$

$\sigma$  : la constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.K^{-4}$ ) ;

$Rs$  : rayonnement du sol. La surface terrestre rayonne dans l'infrarouge thermique (99 % de l'énergie émise correspondent à des longueurs d'onde comprises entre 4 et 120  $\mu\text{m}$ , avec un maximum d'émission centré sur 10,5  $\mu\text{m}$ ). Le flux de rayonnement émis par le sol est donné par :  $Rs = \epsilon \sigma T_s^4$ ,

avec  $\epsilon$  : émissivité de la surface du sol ( $\epsilon = 0,98$ ).

$T$  : température de la surface du sol ;

#### 5.4. Flux solaire, albédo et bilan radiatif

La surface du Soleil présente une température d'environ 6 000  $K^\circ$ . L'objet en question émet des radiations dont la longueur d'onde est sujette à variation, avec un spectre s'étendant de 0,2 à 4  $\mu\text{m}$ . Cela correspond, pour information, à des longueurs d'onde comprises entre l'ultraviolet et le proche infrarouge. En moyenne, la valeur 342  $\text{W/m}^2$  représente la valeur moyenne du flux solaire à la surface du globe. Dans le cadre de cette étude, il a été établi que 30 % du flux est réfléchi ou diffusé vers l'espace (par les nuages et la surface de la Terre). En outre, il a été constaté que 70 % est absorbé par l'atmosphère et par la surface de la Terre et transformé en chaleur. Cette énergie solaire convertie en chaleur est à l'origine des mouvements des masses d'air et d'eau à la surface du globe, et par conséquent des climats de la Terre. En retour, le soleil émet un flux d'infrarouges de forte longueur d'onde (de 3 à 30  $\mu\text{m}$  environ).

La partie gauche de la figure 11 représente le rayonnement incident reçu sur Terre. Les recherches effectuées ont révélé que 31 % des individus concernés ont fait l'objet d'un renvoi.

Il a été observé que, dans un environnement donné, 49 % de la lumière solaire sont absorbés par le sol, induisant une augmentation de sa température.

Par ailleurs, il est à noter que 20 % de ces particules sont absorbés par l'atmosphère, comme l'illustre la figure 11.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons à la partie droite de la figure. Comme le révèlent les pourcentages, le rayonnement incident total est restitué par la Terre et l'atmosphère vers l'espace sous forme d'infrarouges. Ce rayonnement est égal à celui qui a été reçu, soit 69%. Cependant, il convient de prendre en compte l'effet de serre dans le cadre de cette analyse.



L'atmosphère est caractérisée par une absorption d'énergie équivalente à 164 % du rayonnement incident total, avec une contribution de 20 % attribuable à ce dernier.

Il a été constaté que l'absorption de la vapeur d'eau par les surfaces était de 7 %, la conduction thermique de 23 %, et l'évaporation suivie de condensation de 23 %.

Comme le démontre la figure 11, la quantité d'eau se trouve majoritairement émise sous forme de rayonnement infrarouge, avec 114 % du total, tandis que 95 % du rayonnement est renvoyé au sol.

### 5.5. Bilan radiatif moyen

Il a été constaté que l'albédo, qui correspond à la capacité d'un milieu à réfléchir la lumière solaire, s'établit à 30 % dans les conditions mentionnées. Par conséquent, 70 % du rayonnement solaire est absorbé et converti en énergie thermique.

Il a été démontré que les rayons ultraviolets sont absorbés par les molécules d'ozone de la stratosphère. Dans le cadre de l'étude des processus atmosphériques, il est important de comprendre le rôle des infrarouges dans la troposphère. En effet, ces rayonnements sont absorbés par la vapeur d'eau et le gaz carbonique présents dans cette couche de l'atmosphère. Par la suite, les infrarouges sont émis vers le sol et vers l'espace, ce qui contribue à la circulation énergétique dans l'atmosphère.

Comme le démontre la figure 10, le visible et le proche infrarouge atteignent la surface.

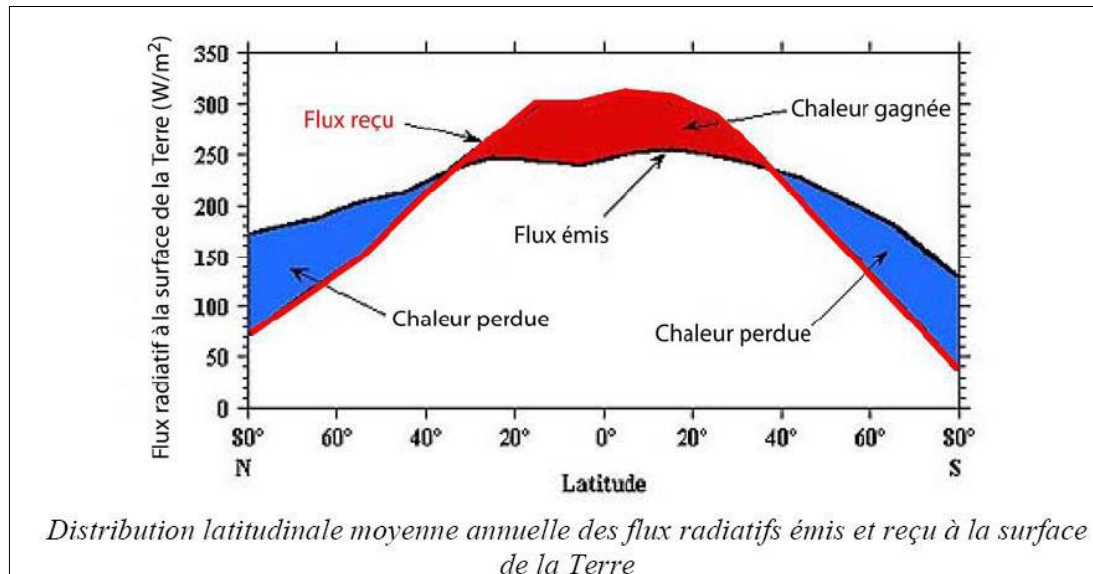
À l'échelle globale et sur une année, le bilan radiatif s'établit à un équilibre, marquant l'absence d'un apport ou d'un prélèvement net de rayonnement. Il convient de noter, en revanche, que ce paramètre est sujet à des variations, que celles-ci soient spatiales ou saisonnières. Le flux solaire incident subit des variations en fonction de la latitude, de la saison et de l'heure. L'analyse des données annuelles révèle une tendance positive pour l'Équateur, tandis que les pôles enregistrent un résultat négatif. Cette observation met en évidence une disparité dans la distribution latitudinale moyenne annuelle de l'insolation reçue par la Terre.

En effet, la région s'étendant de 400 degrés de latitude nord à 400 degrés de latitude sud reçoit une quantité d'énergie significativement supérieure à celle des zones situées au-delà de ces latitudes (Figure 11). Ces fluctuations sont attribuables à la valeur de l'angle d'incidence des rayonnements solaires sur la surface terrestre. En effet, aux pôles, la quantité d'énergie reçue est inférieure en raison de la plus grande surface de réception d'une quantité donnée de radiations aux pôles et à l'équateur (Figure 11).

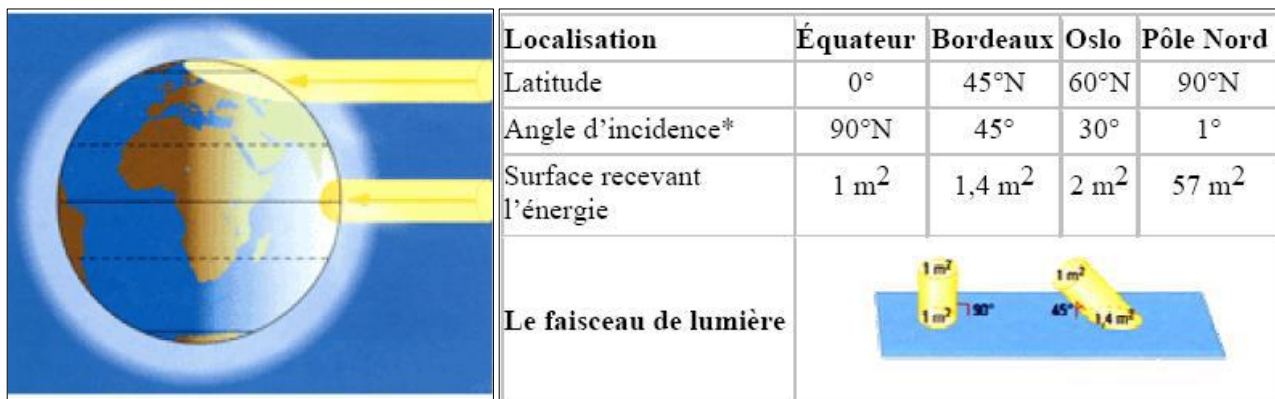




Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons à la trajectoire des rayonnements solaires dans le système espace-atmosphère-sol. Cette figure 9 illustre de manière schématique la circulation des rayonnements à travers les couches de l'atmosphère et du sol.



**Figure 10.** Effet de la latitude sur le bilan radiatif



**Figure 11.** Effet de l'angle d'incidence sur l'énergie par le globe





## Chapitre 6. Classification climatique physique

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période de temps donnée. Cette approche se distingue de la météorologie, qui se concentre sur les prévisions à court terme et sur des zones géographiques spécifiques.

La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques et annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales telles que la température, les précipitations, l'ensoleillement, l'humidité et la vitesse du vent. En outre, la récurrence des phénomènes et les événements exceptionnels sont également pris en compte dans cette analyse.

Il existe plusieurs systèmes de classification des climats. Certains se réfèrent aux latitudes, d'autres prennent en considération les vents dominants, la pluviosité ou l'altitude. L'un des chercheurs a établi une classification des climats en cinq grandes catégories : tropicale, subtropicale, tempérée, steppique et polaire. À ces catégories s'ajoute celle du climat de montagne, qui dépend de l'altitude. La diversité des climats et le nombre de facteurs intervenant dans leur définition rendent toute tentative de classification nécessairement imparfaite. Le choix des observateurs est déterminé par les objectifs qui leur sont assignés. Parmi les classifications les plus notables figure la classification de Köppen.

### 6.1. Classification climatique physique basée sur la température

#### → Climat tropical

Le climat tropical est un type de climat que l'on retrouve entre le tropique du Cancer et le tropique du Capricorne, soit entre  $25^{\circ}$  de latitude sud et nord, sur la ligne imaginaire correspondant à la division de la Terre en deux hémisphères (la région équatoriale). Il convient de noter que, tout au long de l'année, la température moyenne mensuelle ne descend pas en dessous de  $18^{\circ}\text{C}$ . Il est établi que les radiations solaires atteignent le sol quasiment verticalement à midi durant presque toute l'année. En conséquence, les régions concernées sont soumises à des températures élevées. En effet, les températures élevées induisent une augmentation de l'évaporation de l'eau, ce qui confère à l'air une humidité significative.

La couverture nuageuse, souvent dense et fréquente, a pour effet de réduire l'effet des radiations solaires sur les températures au sol.



Dans le cadre de l'étude des climats tropicaux, il est courant de distinguer deux types de climats :

**\*Climat tropical humide**, caractérisé par la présence de deux saisons marquées.

a) La saison humide, caractérisée par des températures élevées et des précipitations abondantes, est marquée par la présence de la mousson. Cependant, le volume de précipitations diminue à mesure que l'on se déplace vers les latitudes équatoriales.

b) La saison sèche, caractérisée par des températures plus basses et des précipitations quasi inexistantes, s'étend sur une durée considérablement plus longue lorsque l'on se déplace vers des latitudes plus australes, avec une durée allant de 7 à 10 mois.

**\*Climat équatorial**, il est essentiel de comprendre les caractéristiques de la saisonnalité des précipitations. Cette région se distingue par l'existence d'une saison des pluies qui s'étend sur l'ensemble de l'année, avec des périodes de précipitations fréquentes et intenses. Les points culminants de cette saison des pluies se situent aux équinoxes, aux alentours des mois de mars et de septembre, où l'intensité des précipitations atteint son apogée. Les relevés météorologiques indiquent que les températures sont élevées, avec une moyenne d'environ 27°C. La pression atmosphérique demeure constamment faible.

### → Climat sec ou aride

Dans un environnement caractérisé par un climat sec, on observe une stabilité atmosphérique remarquable. Cette stabilité induit une faible occurrence, voire une absence, de précipitations.

Ce climat, caractérisé par des températures modérées et des précipitations suffisantes, s'étend sur un territoire compris entre 10 et 35 degrés de latitude nord et sud.

Ces régions sont caractérisées par une faible humidité, ce qui se traduit par une intensification de l'effet des radiations. Il ressort de cette analyse que la majorité des zones désertiques de la planète se situent dans cette région spécifique. Durant la saison hivernale, les régions concernées sont soumises à une baisse significative des radiations, pouvant engendrer des conditions climatiques rigoureuses et humides de manière temporaire.

Il convient de distinguer deux types de climat sec :

**\*Régions désertiques telles que le Sahara**, le désert d'Australie ou la péninsule d'Arabie, le climat est aride, c'est-à-dire caractérisé par une faible pluviosité et des températures élevées.

Une analyse des données météorologiques révèle que, tout au long de l'année, les températures diurnes atteignent des valeurs élevées, tandis que les températures nocturnes se



sistent, de manière récurrente, en dessous d'un certain seuil. Ces fluctuations thermiques, parfois accompagnées de gelées, induisent des écarts significatifs entre les valeurs enregistrées le jour et celles mesurées la nuit. Ces écarts peuvent atteindre des valeurs comprises entre 20°C et 30°C, voire, dans certains cas, dépasser 50 °C. Cette dynamique s'inscrit dans un contexte où la pluviométrie annuelle est inférieure à l'évaporation, conduisant à un déficit hydrique.

**\*Le climat semi-aride**, également désigné comme climat de steppe, se distingue par une saison sèche qui prédomine de manière significative et une saison humide qui vient compléter cette période. Les précipitations sont caractérisées par une faible pluviosité, avec une moyenne annuelle qui oscille entre 250 et 500 millimètres. De plus, ces précipitations sont réparties de manière inégale tout au long de l'année.

### → Climat tempéré

Le climat tempéré, caractérisé par des températures modérées tout au long de l'année, se situe entre les latitudes 30° et 50° de l'hémisphère Nord et Sud. Il se distingue par la présence de deux saisons marquées : la saison froide, également appelée hiver, et la saison chaude, communément désignée comme l'été.

En effet, les rayons solaires sont absorbés par l'atmosphère à un angle plus réduit, ce qui engendre des températures moyennes bien plus basses que dans les régions subtropicales. Il est important de noter que les saisons et la longueur des jours subissent des variations notables tout au long de l'année. Le climat se distingue par une diminution de la fréquence des événements extrêmes et par une répartition plus homogène des précipitations sur l'année.

Il convient de distinguer plusieurs types de climats tempérés :

**\*Le climat océanique**, caractérisé par des précipitations abondantes et des températures douces tout au long de l'année, prédomine sur les côtes occidentales des continents. Il est particulièrement présent sur le Nord-Ouest des États-Unis, les îles Britanniques, le littoral atlantique de la France autour de la mer du Nord et de la Manche, ainsi que sur le littoral atlantique Nord-Ouest du Maroc. L'influence du climat est attribuable à la proximité des océans situés à l'ouest du continent. Cette proximité induit des étés frais et des hivers doux et humides.

**\*Le climat humide subtropical**, également connu sous le climat chinois, se distingue par des étés caractérisés par des températures élevées et une forte humidité, ainsi que par des hivers qui se prêtent à des conditions plus fraîches. Ce climat, caractérisé par des conditions météorologiques spécifiques, se manifeste dans une région spécifique de l'écliptique, s'étendant



entre 30° et 50° de latitude. Il est localisé dans les régions orientales des continents, couvrant ainsi des zones spécifiques aux États-Unis, en Amérique du Sud, en Asie et en Australie.

**\*Le climat méditerranéen** se distingue par des étés caractérisés par des températures élevées et une faible pluviosité, des hivers doux et humides, et des précipitations intenses au printemps et en automne. Ce climat, caractérisé par des températures douces et des précipitations abondantes, est typique des régions littorales de la mer Méditerranée. Toutefois, il est également présent dans d'autres zones du globe, telles que les littoraux de la Californie, de l'Afrique du Sud et du sud de l'Australie, offrant des conditions climatiques similaires.

### → Climat continental

Le climat continental, caractérisé par des températures moyennes, est présent dans les zones situées aux latitudes moyennes, loin des côtes. Il convient de distinguer deux types de climat continental :

**\*Le climat continental humide** se distingue par des étés caractérisés par des températures élevées et des hivers marqués par des basses températures. Les écarts saisonniers des températures sont importants. En effet, ces dernières sont comprises entre 15 et 22 °C, mais peuvent monter jusqu'à 33 °C. Il a été démontré que la variation des températures entre l'été et l'hiver est d'autant plus importante que la zone est éloignée des océans.

**\*Le climat subarctique** se distingue par des étés doux où les températures peuvent atteindre des valeurs supérieures à 30 °C. Cependant, cette saison est relativement courte et les hivers sont d'une rigueur extrême, avec des minima pouvant descendre jusqu'à -40 °C. Ce climat, caractérisé par des températures comprises entre 50° et 70° de latitude nord, s'étend sur une vaste région couvrant une partie de l'Asie et le nord de l'Amérique du Nord.

### → Climat polaire

Le climat polaire est une caractéristique des régions situées aux hautes latitudes, c'est-à-dire entre 60° et 90° de latitude nord. En effet, les pôles reçoivent une chaleur inférieure en raison de la faible inclinaison du Soleil par rapport à l'écliptique. Cette variation est attribuable aux changements de l'angle de l'axe de la Terre par rapport au Soleil. Ainsi, c'est dans cette zone que la longueur des jours subit les variations les plus significatives. Durant la saison estivale, les jours polaires sont observés. La végétation ne s'observe que sur une période limitée de l'année, souvent de manière sporadique et éparse. Les conditions de vie dans ces régions sont extrêmement précaires. Il convient de distinguer deux types de climat polaire :



**\*Le climat des calottes glaciaires polaires** se distingue par des températures glaciales tout au long de l'année, avec des valeurs particulièrement basses en hiver, qui se situent en dessous de  $-40^{\circ}\text{C}$ . Les vents, caractérisés par leur force et leur régularité, sont un élément déterminant de cette dynamique. Durant la saison estivale, la moyenne des températures enregistrées est inférieure à  $0^{\circ}\text{C}$ . Les précipitations sont rares et se manifestent exclusivement sous forme de tempêtes de neige. Il a été observé que le sol ne subit jamais de dégel et qu'aucune végétation ne pousse sur cette zone.

**\*La toundra** désigne une zone climatique boréale caractérisée par une végétation rase et une topographie majoritairement plane. Elle se situe à la limite de la calotte glaciaire dans l'hémisphère Nord. Les hivers sont caractérisés par leur longueur et leur rigueur, avec une température moyenne s'établissant autour de  $-28^{\circ}\text{C}$ , et des vents fréquents et intenses, communément appelés « blizzards », qui viennent renforcer le froid. Les étés sont caractérisés par leur brièveté et leur fraîcheur.

### → Climat montagnard

Le climat montagnard est une caractéristique des régions montagneuses. Il a été démontré que les paramètres climatiques, à savoir les températures, la pression atmosphérique et la densité de l'air, subissent une baisse avec l'altitude. Cette diminution est estimée à environ  $0,5^{\circ}\text{C}$  tous les 100 mètres. La région est caractérisée par des températures fraîches en hiver et des températures fraîches et humides en été. En effet, il a été constaté que les précipitations sont plus importantes en altitude.

## 6.2. Classification climatique physique basée sur la température et la pluviosité (la classification de Köppen)

La classification de Köppen constitue un système de classification des climats fondé sur les précipitations et les températures. C'est Wladimir Peter Köppen qui l'a inventée dans les années 1920.

Cette classification, élaborée par Rudolf Geiger en 1961, est la plus répandue dans le domaine de la climatologie. Il convient de noter que de nombreuses études climatiques et publications ont adopté l'une des versions de ce système. La carte de Köppen-Geiger est considérée comme une référence incontestée dans les domaines de l'hydrologie, de la





géographie, de l'agriculture, de la biologie et de la climatologie, grâce à ses mises à jour fréquentes et à ses recherches approfondies sur l'évolution des climats.

Ce système de classification est à l'origine d'autres classifications qui reflètent de manière plus fidèle les variations des biomes observés. C'est le cas de la classification de Trewartha, qui s'appuie sur des variables empiriques. Cependant, ces classifications sont moins utilisées dans la pratique.

Selon cette classification, le climat est caractérisé par un code alphanumérique comprenant deux ou trois lettres.

**Tableau 03.** Grands types de climats de Köppen-Geiger selon M. Kottek, J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf et F. Rubel, 2006. Meteorol. Z., 15, 259-263.

Types de climat	Sous-types de climat	Caractéristiques
<b>A : climats équatoriaux</b> ( $T_{min} \geq +18^{\circ}\text{C}$ )	Af : forêt humide équatoriale Am : mousson équatoriale As : savane équatoriale à été sec Aw : savane équatoriale à été humide	$P_{min} \geq 60 \text{ mm}$ $P_{ann} \geq 25(P_{min})$
<b>B : climats arides</b> $P_{ann} < 10 P_{th}$	BS : climat de steppe BW : climat de désert	$P_{ann} > 5 P_{th}$ $P_{ann} \leq 5 P_{th}$
<b>C : climats tempérés</b> $-3^{\circ}\text{C} < T_{min} < +18^{\circ}\text{C}$	Cs : climats tempérés à été sec Cw : climats tempérés à hivers sec Cf : climats tempérés toujours humides (ni Cs ni Cw)	$P_{smin} < P_{wmin}$ , $P_{wmax} > 3$ $P_{smin}$ and $P_{smin} < 40 \text{ mm}$ $P_{wmin} < P_{smin}$ and $P_{smax} > 10 P_{wmin}$
<b>D : climats neigeux</b> $T_{min} \leq -3^{\circ}\text{C}$	Ds : climats neigeux à été sec Dw : climats neigeux à hivers sec Df : climats neigeux toujours humide (ni Ds ni Dw)	$P_{smin} < P_{wmin}$ , $P_{wmax} > 3$ $P_{smin}$ and $P_{smin} < 40 \text{ mm}$ $P_{wmin} < P_{smin}$ and $P_{smax} > 10 P_{wmin}$
<b>E : climats polaires</b> $T_{max} \leq +10^{\circ}\text{C}$	ET : climat de toundra EF : climat des glaces	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{max} < +10^{\circ}\text{C}$

Abréviations. P : précipitations en mm, avec  $P_{min}$  (précipitations du mois le plus sec),  $P_{ann}$  (cumul annuel),  $P_{smin}$  (précipitations du mois le plus sec du semestre estival),  $P_{wmin}$  (idem pour le semestre hivernal),  $P_{smax}$  (précipitations du mois le plus humide du semestre estival),  $P_{wmax}$  (idem pour le semestre hivernal) ; T : températures en  $^{\circ}\text{C}$ , avec  $T_{ann}$  (température moyenne annuelle),  $T_{max}$  : température moyenne du mois le plus chaud,  $T_{min}$  : température moyenne du mois le plus froid.  $P_{th}$  (th pour *threshold*, seuil) est égal à  $2 \times T_{ann}$  si au moins les 2/3 des précipitations annuelles ont lieu en hiver,  $2 \times T_{ann} + 28$  si au moins les 2/3 des précipitations annuelles ont lieu en été,  $2 \times T_{ann} + 14$  dans les autres cas.



## Chapitre 7. L'Aridité

### 7.1. Définition

L'aridité est un phénomène climatique caractérisé par une pluviométrie faible et un déficit hydrique permanent affectant une région. Cette propriété physique ne semble pas être influencée par les variations de température. En effet, il existe des zones désertiques et froides, comme les pôles, où cette propriété persiste. Dans les régions soumises à des conditions climatiques arides ou sèches, les précipitations atmosphériques sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP). L'aridité, en tant que concept spatial, ne s'applique pas à une période spécifique, mais à une région donnée. Cette dernière est d'ailleurs présente sur environ 30 % des terres continentales, bien que répartie sur diverses latitudes.

Le degré d'aridité d'une région est évalué à l'aide de l'indice d'aridité, qui représente la différence entre l'évapotranspiration potentielle et la pluviosité.

L'aridification correspond à l'évolution du climat, qu'elle soit graduelle ou brusque, aboutissant à une condition d'aridité.

### 7.2. Différents indices d'aridité

Le calcul d'un indice d'aridité, de même que la classification des climats, a toujours été un sujet de recherche en climatologie. Il existe une multitude d'indices et de formules, dont certaines sont basées sur des critères climatologiques, tandis que d'autres sont fondées sur des considérations biogéographiques. Parmi la multitude d'indices recensés, les plus notables sont ceux d'Emmanuel de Martonne (1926-1941), de Charles Warren Thornthwaite (1948) et de Bagnouls et Gaussen (1953-1957).

#### ❖ Indice de Gaussen

Selon Gaussen, un mois est dit aride, quand :  $p < 2t$

(P : précipitations totales en millimètres sur 1 mois, T : température moyenne en °C sur le même mois).

Cet indice est très utile quant à l'utilisation d'un diagramme ombrothermique, ce dernier toujours construit sur le modèle d'échelle :  $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 2\text{mm}$ .



### ❖ Indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité de De Martonne, noté I, cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

Pour le calculer, on utilise la formule  $I = P / (T+10)$

Où : P : les précipitations totales annuelles ; T : la température moyenne annuelle.

Pour un mois :  $I = 12p / (t+10)$

Où : p : les précipitations totales mensuelles ; t : la température moyenne mensuelles.

Formule : Indice annuel :  $I = P \text{ (mm)} / T \text{ (°C)} + 10$     Indice mensuel :  $I = 12 * p \text{ (mm)} / t \text{ (°C)} + 10$ .

### 7.3. Évolution d'aridité

Nous allons aborder les facteurs humains et naturels qui influencent l'évolution du climat. Les activités anthropiques, à savoir l'exploitation de combustibles fossiles et la modification de la couverture terrestre, constituent les principaux facteurs de changement environnemental. Dans le cadre de cette étude, l'accent sera mis sur les concentrations globales de dioxyde de carbone.

### 7.4. Régions arides dans le Monde, en Afrique, au Maghreb

Les zones arides, caractérisées par une faible pluviosité et une faible productivité végétale, couvrent approximativement 43 % de la surface terrestre, ce qui équivaut à environ 6,45 milliards d'hectares. Ces zones se situent dans 100 pays et affectent environ 900 millions d'individus, soit environ 20 % de la population mondiale.

Les régions sèches ou arides se caractérisent par :

- \*Les précipitations sont rares et faibles.
- \*Les sols présentent une faible teneur en matière organique.
- \*Végétaux et des animaux qui sont adaptés à ces conditions.
- \*Une pénurie d'eau propre à la consommation.

### \* La diversité des paysages en zones arides

Les ergs ; Les regs ; Les Hamadas ; Les Djebels ; Les oasis.



Le monde a été divisé en

### A. Zones de climat semi-aride

Les régions désertiques sont entourées de zones steppiques. Les régions concernées sont les suivantes : le Sahara, qui s'étend du nord au sud, avec les plateaux de l'Atlas au nord et le Sahel au sud ; le désert somalien, situé à l'ouest et au sud ; et le Kalahari, qui borde le nord et l'est. La région se caractérise par une pluviosité rare, irrégulière et relativement faible, avec un total annuel inférieur à 500 mm. De plus, les précipitations se produisent sur une période restreinte de l'année, ce qui confère à ce milieu une aridité significative. Il convient de noter que les températures enregistrées à la fin de la saison sèche peuvent atteindre des valeurs très élevées.

### B. Zones de climat aride (déserts)

Trois régions principales sont soumises à un climat désertique : le Sahara au nord, la Corne de l'Afrique pour une grande partie de son territoire, et la région du Kalahari et du Namib. La pluviosité y est très faible (moins de 100 mm par an), et les températures très élevées (jusqu'à 50°C).

### C. Zones de climat tempéré (de type méditerranéen chaud)

Les deux zones tempérées, dont la largeur avoisine les cinquante kilomètres, sont localisées respectivement sur les rives de la mer Méditerranée au nord et sur l'extrémité australe du continent africain au sud. La région bénéficie d'un climat continental avec des étés chauds et secs et des hivers frais et humides.

## 7.5. Répartition des zones arides

### 7.5.1. Dans le monde

Il est essentiel de comprendre que les zones arides à l'échelle mondiale sont classées en fonction de critères d'ordre structurel, climatique ou géographique.

#### \* Les régions arides subtropicales ou désertes zonaux

Ces zones arides, résultant de la circulation atmosphérique générale, se caractérisent par une distribution zonale nette, centrée sur chacun des deux tropiques. Ces dernières se subdivisent en deux grandes zones distinctes.

Dans l'hémisphère nord, on distingue plusieurs zones désertiques : la ceinture désertique du Sahara, de l'Arabie, de l'Iran, du Turkestan, du Gobi et des déserts nord-américains. Dans



l'hémisphère sud, on observe des zones désertiques telles que la ceinture Namib, Kalahari, Australie, Atacama au Chili et le Sertão brésilien. Il a été constaté que chacune correspond au domaine des vents alizés. La région bénéficie d'un ensoleillement conséquent, avec plus de trois mille heures d'insolation par an, et des hivers relativement doux. Ces conditions climatiques induisent de grands contrastes de température entre le jour et la nuit. Les températures enregistrées ont atteint des valeurs exceptionnelles, avec des pics de plus de 50°C à l'ombre à Tamanrasset, 52,5°C dans le désert de Thar et jusqu'à 48,5°C en Australie. Cependant, il est à noter que la température peut chuter en dessous de 0°C une quinzaine de jours par an.

#### \* Les zones arides côtières ou désertes littorales

Il s'agit de zones littorales où la pluviosité est réduite, voire quasi nulle. Cependant, ces régions sont caractérisées par une certaine humidité, attribuable à la présence de courants océaniques froids, comme en témoignent les exemples de la Namibie, de l'Atacama au Chili, de la Mauritanie et de la Basse Californie. Dans le contexte météorologique actuel, les variations de température sont peu marquées, avec des amplitudes thermiques inférieures à 10 °C. Cette faible amplitude s'explique par la fraîcheur de l'air, dont la température oscille entre 13 et 22 °C, et par un taux d'humidité élevé aux abords du rivage, due à la condensation de la vapeur d'eau. Les brouillards sont fréquents dans cette région désertique, mais ils disparaissent brusquement dans l'intérieur des terres dès que la température de l'air atteint un seuil suffisant pour dissiper les brumes, ce qui entraîne la vaporisation des gouttelettes d'eau en suspension dans l'air.

L'air humide, caractéristique des zones où la végétation est abondante, joue un rôle essentiel dans le maintien de cette dernière.

#### \*Les chaînes de montagne ou déserts d'abri

Les déserts d'abri se caractérisent par leur position à l'abri ou en contrebas des hautes chaînes de montagnes. Ces dernières jouent un rôle d'écran pour la circulation des nuages et interceptent l'air humide d'un vent dominant. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons à plusieurs zones géographiques caractérisées par des caractéristiques communes, à savoir : le piémont oriental des Rocheuses aux États-Unis, la Pampa, le Gran Chaco et la Patagonie argentins, ainsi que le désert de Lout en Iran.





### \* Les zones arides intracontinentales ou désertes continentaux

L'aridité des déserts continentaux est attribuable à leur position géographique au centre des continents, les éloignant de l'influence des océans et des courants marins qui apportent des précipitations. C'est notamment le cas des déserts d'Asie centrale, qui, en raison de leur latitude, sont classés dans la zone climatique tempérée (comme le Gobi, le Taklamakan ou le Shamo), mais qui, en raison de températures hivernales extrêmement basses, sont considérés comme des déserts froids. Cela ne les empêche pas de connaître des étés torrides à basse altitude. Dans cette région, les écarts de température atteignent des valeurs maximales, avec des pics pouvant culminer à 50 °C durant la saison estivale. En revanche, la période de gelée s'étend sur une durée de cinq à sept mois. Ainsi, la végétation est soumise à une double contrainte, hydrique et thermique. Ces déserts, où le gel est actif, sont caractérisés par une forte présence de pierres.

### \* Les hautes altitudes et latitudes ou déserts froids

Les déserts froids, caractérisés par des températures exceptionnellement basses, sont présents à l'étage supérieur des très hautes montagnes tropicales, formant ainsi le désert d'altitude, ainsi qu'aux hautes latitudes, où ils sont connus sous le nom de désert polaire. En haute altitude, la raréfaction de l'air induit une diminution de la pluviosité, des températures basses et une faible quantité de précipitations.

Dans les régions polaires, les précipitations sont rares et l'intensité du froid, comparable à celle de l'absence d'eau, a des effets significatifs sur les écosystèmes. Cette dernière ne fait pas défaut, mais elle se présente sous un aspect solide une grande partie de l'année : glace, eau congelée, neige.

### 7.5.2. Classement en fonction du rapport (P/ETP).

Il existe un autre classement selon le critère d'aridité, on trouve les catégories suivantes :

#### \*Régions sub-humides sèches (P/ETP 0.65-0.50)

Dans le contexte de la gestion des ressources hydriques, les zones concernées par ce problème sont caractérisées par un régime pluviométrique saisonnier qui permet et encourage la pratique de l'agriculture pluviale. Cependant, ces régions sont également exposées à une aridification progressive, un phénomène attribuable aux activités anthropiques.



### \*Régions semi arides (P/ETP 0.50-0.20)

La pluviométrie annuelle moyenne s'établit à 500 mm. Cette région est caractérisée par un paysage de steppes buissonnantes, où la présence de graminées pérennes est relativement constante. Dans le cadre de cette étude, il est intéressant de constater que les régions propices à l'élevage et à l'agriculture sédentaires présentent des caractéristiques spécifiques.

### \*Régions arides (P/ETP 0.05-0.20)

Dans les régions où les précipitations annuelles sont inférieures à 200 mm, la végétation naturelle est caractérisée par une faible densité, avec une prédominance d'espèces épineuses ou succulentes. Dans le contexte actuel, l'élevage sédentaire demeure une pratique viable. Cependant, il est important de reconnaître que l'agriculture sans irrigation ne peut être considérée comme une option viable.

### \*Régions hyper arides (P/ETP <0.05)

Cette région est caractérisée par un climat désertique, avec des périodes de sécheresse qui peuvent s'étendre sur plus de douze mois. La productivité biologique y est extrêmement réduite, et l'activité économique principale réside dans le pastoralisme nomade. La végétation spontanée se développe principalement le long des cours d'eau.

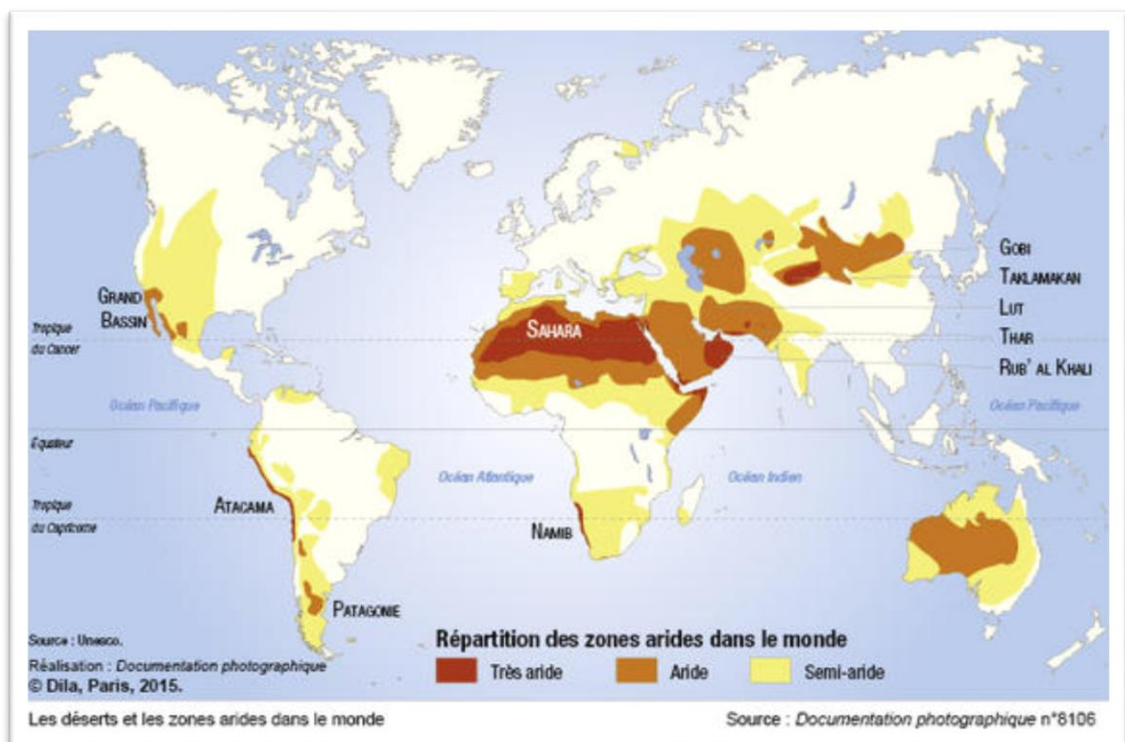


Figure 12. Carte de répartition des zones arides dans le Monde



### 7.5.2. En Afrique et au Maghreb

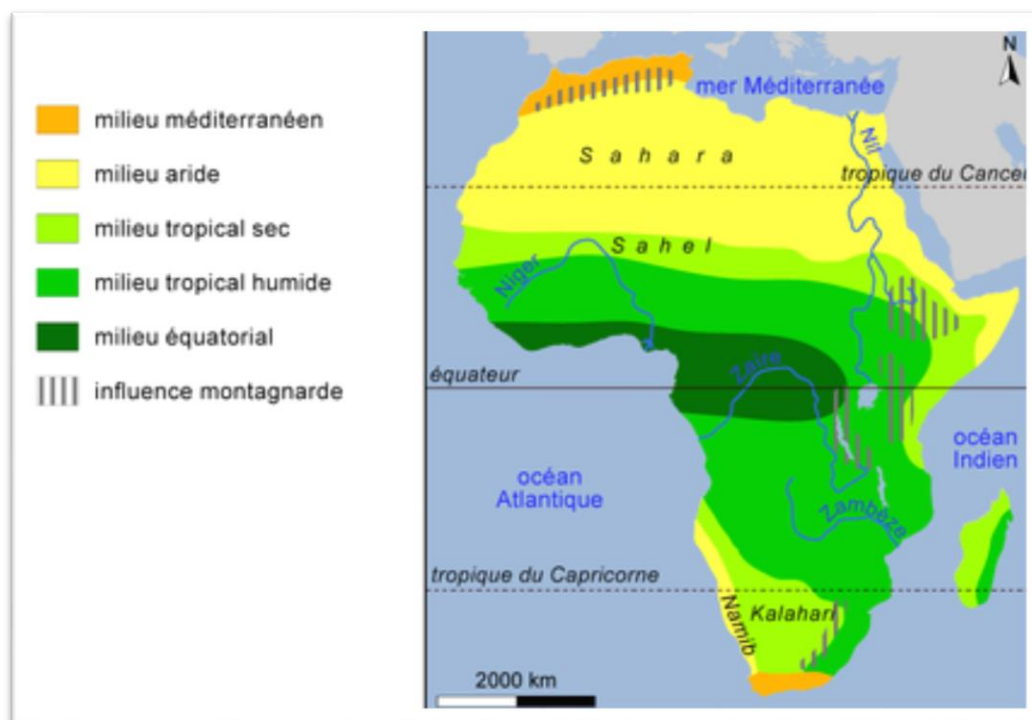


Figure 13. Carte de répartition des zones arides/climatiques en Afrique et au Maghreb



## Chapitre 8. Hydrologie

L'hydrologie, en tant que discipline scientifique, se concentre sur l'aspect terrestre du cycle de l'eau, c'est-à-dire les flux d'eau entre l'atmosphère, la surface terrestre et le sous-sol. L'hydrosphère désigne la partie de la planète dans laquelle l'eau se trouve. En ce qui concerne la météorologie, il s'agit de l'étude des phénomènes atmosphériques relatifs à la circulation de l'eau sous forme de vapeur, constituant ainsi un aspect essentiel du cycle hydrologique. Ces deux branches du cycle de l'eau contribuent à maintenir un état d'équilibre presque parfait du système climatique.

### 8.2. Hydrologie de surface

L'hydrologie de surface, en tant que discipline scientifique, se consacre à l'étude du ruissellement, des phénomènes d'érosion, des écoulements et du stockage des eaux, aussi bien sur la terre ferme que dans l'écosystème océanique. La répartition de l'eau à l'échelle planétaire s'établit comme suit :

- Eaux du sol et souterraines : 1,69 % ;
- Glaciers et couverture neigeuse permanente : 1,74 % ;
- Eaux douces accessibles (lacs, cours d'eau, marais, etc.) : 0,0076 % ;
- Eaux océaniques : 96,54 % ;
- Eaux atmosphériques : 0,0009 %.

### 8.3. Hydrologie souterraine

L'hydrologie souterraine, ou plus précisément l'hydrogéologie, est la science qui concerne les ressources du sous-sol, leur captage, leur protection et leur renouvellement.

### 8.4. Bilans de l'eau

L'eau est communément considérée comme la source primordiale et originelle de toute forme de vie. Cette substance se manifeste dans la nature sous trois formes distinctes : ce phénomène peut être caractérisé par la solidité de la neige et de la glace.

Le liquide peut être défini comme suit : il s'agit d'un fluide, c'est-à-dire d'un corps qui se meut, et de matière, c'est-à-dire d'une substance qui occupe un espace. Il peut être liquide en raison de sa composition, de sa structure ou de son environnement. Ainsi, l'eau, par exemple, peut être considérée comme un liquide chimiquement pur ou chargé en solutés.





Le gaz se présente sous la forme d'un fluide à différents degrés de pression et de saturation. Le changement de phase de l'eau, qui correspond à sa transition entre les états liquide, solide et gazeux, est influencé par plusieurs facteurs. En effet, ce processus est principalement déterminé par la température et la pression du milieu, ainsi que par le degré de pollution atmosphérique.

Le cycle de l'eau est un sujet d'étude complexe et varié. Parmi les processus qu'il englobe, on peut citer les précipitations, l'évaporation, la transpiration des végétaux, l'interception, le ruissellement, l'infiltration, la percolation, l'emmagasinement et les écoulements souterrains. Ces derniers constituent les principaux phénomènes étudiés en hydrologie. Ces divers mécanismes sont rendus possibles par un élément moteur, le soleil, organe vital du cycle hydrologique.

L'eau, dans son état naturel, se présente sous trois formes distinctes dans l'atmosphère terrestre. Il convient de noter que les eaux sont en constante circulation sur la Terre et subissent des changements d'état. L'importance de ces modifications confère à l'eau le rôle d'agent de transport prédominant d'éléments physiques, chimiques et biologiques. L'ensemble des processus de transformation et de transfert de l'eau constitue le cycle hydrologique.

Les mouvements de l'eau dans la nature sont régis par plusieurs mécanismes, dont l'énergie thermique solaire, la gravité, l'attraction solaire et lunaire, la pression atmosphérique, les forces intermoléculaires, les réactions chimiques, nucléaires et biologiques, ainsi que les activités humaines. L'énergie thermique du Soleil induit une circulation de l'air dans l'atmosphère, en raison de réchauffement inégal de la surface terrestre. La force de gravité, paramètre essentiel de la physique, est à l'origine de divers phénomènes naturels, tels que les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et le courant de convection. L'attraction solaire et lunaire est la force motrice à l'origine des marées et des courants marins. Dans le cadre de l'étude des phénomènes atmosphériques, il est essentiel de comprendre que les variations de pression atmosphérique induisent des mouvements horizontaux de l'air. Les vents jouent un rôle déterminant dans la dynamique des couches superficielles des lacs et des océans. Les forces intermoléculaires présentes dans le sol sont à l'origine des phénomènes capillaires et de la viscosité, qui, par conséquent, influencent la vitesse d'écoulement. L'eau est un composé chimique qui joue un rôle essentiel dans de nombreuses réactions chimiques, qu'elles soient organiques ou inorganiques. Une autre forme de transformation de l'eau se produit dans l'organisme animal, au cours de processus physiologiques. En conclusion, l'intervention humaine sur les processus de mouvement et de transformation de l'eau s'avère être un facteur déterminant. L'impact de





cette action peut se révéler bénéfique en termes de gestion de la ressource naturelle en question. Néanmoins, il convient de noter que cette action peut également engendrer de multiples problèmes, notamment en perturbant le cycle hydrologique, tant au niveau quantitatif que qualitatif.

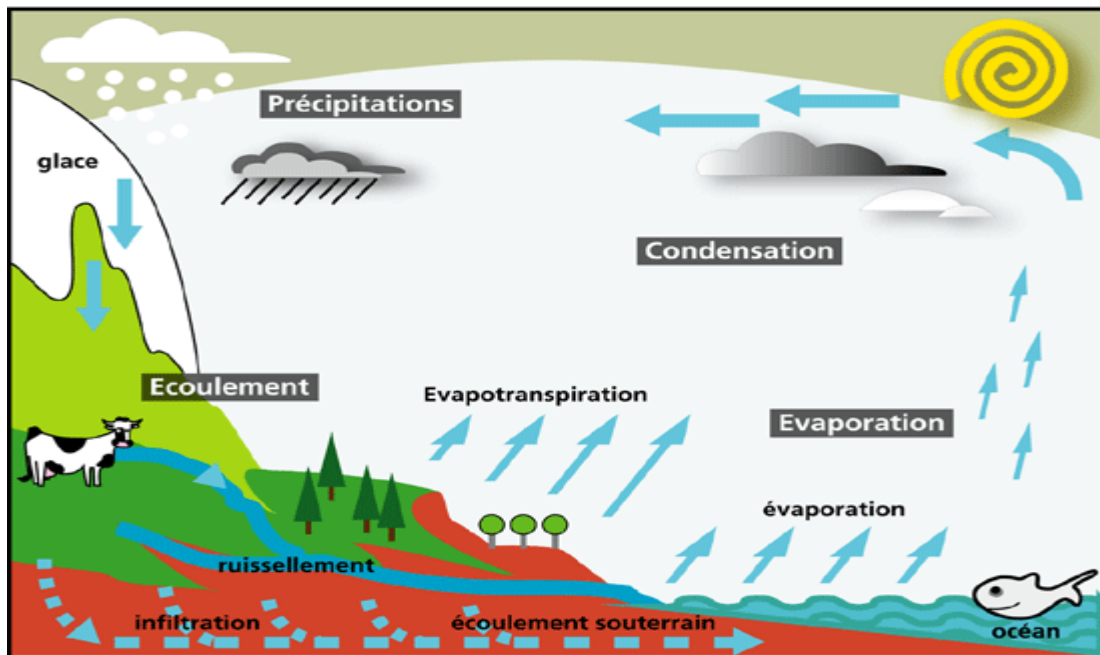


Figure 14. Le cycle de l'eau.

#### 8.4.1. Problèmes spécifiques aux forêts

Il convient de souligner que la forêt est un écosystème aux multiples fonctions et aux effets considérables sur l'environnement. Ces effets concernent notamment la qualité de l'eau, le climat, la pédologie, la faune et la flore.

Dans le cadre de cette étude, nous nous penchons sur les impacts de la forêt et des activités forestières sur l'eau. À l'échelle du cours d'eau, l'action de la forêt se révèle bénéfique.

La diversité des milieux et des habitats inféodés à la forêt est un facteur déterminant dans l'explication de ce phénomène.

La régulation de la température des eaux est obtenue par un dosage du couvert adapté. Il convient de noter les aspects négatifs suivants :

Dans le cadre de la gestion forestière, les enrésinements, qui correspondent au reboisement d'un terrain avec des arbres résineux, peuvent avoir des conséquences sur la qualité de l'eau. En effet, lorsque ces enrésinements se font sur des massifs sans conservation de ripisylve, comme



le ghabat nahrya, ils peuvent acidifier et ombrager les cours d'eau, ce qui peut avoir un impact négatif sur la biodiversité aquatique.

Il convient de noter que les berges ont subi une dégradation, et que la continuité des ruisseaux a été interrompue.

Il convient de noter que ces pollutions peuvent être de nature mécanique, c'est-à-dire liées à l'action de divers agents physiques, ou chimiques, c'est-à-dire résultant de l'intervention d'éléments chimiques.

Cette situation est attribuable à une consommation excessive d'eau, que ce soit par interception des précipitations ou par évapotranspiration.

Dans un environnement forestier, il a été observé que près de 80 % des précipitations annuelles se réintègrent dans l'atmosphère sous forme de vapeur. Ce phénomène est principalement attribuable à l'évaporation de l'eau interceptée par les végétaux et le sol, ainsi que par la transpiration des plantes. Durant la saison de végétation, la sylviculture est caractérisée par une émission de vapeur d'eau qui s'élève en moyenne entre 20 et 40 mètres cubes par hectare et par jour. En effet, il a été constaté qu'un volume moyen de 150 mètres cubes d'eau est nécessaire pour produire un mètre cube de bois.

#### 8.4.2. Problèmes spécifiques aux steppes

Les steppes, en tant qu'écosystèmes, se caractérisent par leur grande sensibilité à la désertification.

La vulnérabilité du système climatique humain est un concept qui requiert une analyse approfondie et rigoureuse.

Le climat de la région est caractérisé par une aridité et une semi-aridité principales. Il convient de noter que ces écosystèmes sont limités dans leur extension. En effet, au nord, ils sont restreints par l'isohyète 400 mm, qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières. Au sud, ils sont limités par l'isohyète 100 mm, qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa.

Il est observé une variabilité interannuelle significative de la pluviosité moyenne annuelle. La présence d'une sécheresse plus marquée a été observée.

Au cours du dernier siècle, des observations ont révélé une baisse significative du paramètre P mm, ainsi qu'une extension notable de la saison sèche, avec une durée additionnelle de deux mois.



### **\*Les facteurs de dégradation des écosystèmes steppiques :**

-Facteurs naturels : Sécheresse ; Erosion éolienne ; Ensablement.

- Facteurs anthropiques (humains) : Le surpâturage, Défrichement et extension de la céréaliculture, Eradication des espèces ligneuses comme combustibles.

Il convient de noter que, jusqu'à ce jour, l'eau souterraine du Sahara était considérée comme « les fossile », c'est-à-dire non renouvelable, à l'instar du charbon ou du pétrole que l'homme extrait et utilise jusqu'à épuisement.

Les précipitations atmosphériques dans la région en question étaient jugées insuffisantes pour permettre une recharge significative des nappes phréatiques profondes, en raison d'une évapotranspiration jugée excessive.

En conclusion, il ressort de cette analyse que les trois écosystèmes en question sont les plus sensibles aux problèmes liés à la gestion de l'eau, en raison de leur importance écologique et économique. Dans la plupart des cas, les problèmes rencontrés peuvent être résumés comme suit :

Il est à noter que les réserves hydriques sont actuellement limitées, une situation qui a été significativement exacerbée par les épisodes de sécheresse survenus au cours des dernières décennies.

Il a été démontré que la désertification et la dégradation des ressources naturelles ont un impact négatif sur la réduction des puits de carbone.

Dans les régions sèches, les émissions de carbone sont devenues significatives et exercent ainsi une influence directe sur le processus de réchauffement planétaire.

Il est indéniable que les écosystèmes font face à une pression humaine et animale en constante augmentation, exacerbée par une sécheresse de plus en plus sévère.



## Chapitre 9. Les bilans hydriques

### 9.1. Bilan hydrique du sol

L'eau est un élément essentiel à la vie des plantes. Cependant, il est intéressant de noter que l'eau absorbée par les plantes est principalement éliminée sous forme de vapeur d'eau par les stomates, ce qui représente plus de 99 % du processus. Une faible proportion de cette eau est utilisée pour maintenir l'hydratation des cellules et une quantité encore plus réduite est transformée en matière organique. L'évacuation de la vapeur d'eau par les stomates est désignée sous le terme de « transpiration ». Ce processus physiologique, essentiel à la régulation thermique du corps humain, est induit par des stimuli climatiques et est régulé par la présence des stomates. L'ouverture de ces petites ouvertures est indispensable à la pénétration du gaz carbonique, un élément crucial pour la photosynthèse. Lors de la transition vers une échelle champêtre, la transpiration végétale ne constitue pas l'unique source de perte hydrique, le sol lui-même étant sujet à son propre processus d'évaporation. Dans un contexte naturel, chaque présence de végétation, qu'elle soit continue ou discontinue, induit une consommation d'eau, désignée par le terme d'évapotranspiration. Ce concept englobe à la fois la transpiration des plantes et l'évaporation du sol. Cette notion est communément désignée par le terme « réponse de la végétation aux conditions climatiques naturelles ». Elle se caractérise par sa relation avec les propriétés physiologiques de la plante et ses ressources en eau.

#### 9.1.1. Evapotranspiration réelle

En effet, la mesure de l'évapotranspiration réelle (ETR) avec une précision adéquate représente un défi commun aux divers acteurs de la gestion des ressources en eau, tels que les agronomes, les hydrologues et les météorologistes. Ces professionnels s'intéressent aux liens entre la consommation d'eau, le développement du couvert végétal et la dépendance de l'ETR aux facteurs climatiques et aux caractéristiques de régulation des plantes.

La détermination des besoins hydriques des cultures (ETR) s'effectue, dans la pratique, par l'évaluation de la variation de la teneur en eau du sol sur une période définie. Cette approche méthodologique, historiquement employée par la communauté scientifique, a consisté à étudier les échantillons de sol ainsi que les analyses gravimétriques. Cependant, la méthode de détermination de l'évapotranspiration réelle (ETR) s'avère trop complexe dans ce contexte.



### 9.1.2. Calcul du bilan hydrique du sol

Le calcul du bilan hydrique est une étape fondamentale pour la gestion des ressources hydriques. En effet, il permet de déterminer des repères essentiels pour la compréhension des flux et des quantités d'eau présentes dans le sol. Parmi les principaux éléments qui peuvent être évalués, on peut citer :

1/ Dans le cadre de l'étude des épisodes de déficit hydrique, il s'avère nécessaire de mettre en exergue les périodes concernées, en précisant leur durée et leur intensité. À cette fin, il conviendra de représenter l'ETR (évapotranspiration réelle) et la réserve utile (RU), ou l'ETP (évapotranspiration potentielle). Le bilan hydrique se révèle être une approche bien plus exhaustive que le diagramme ombrothermique. En effet, il prend en compte les spécificités du sol ainsi que les caractéristiques du couvert végétal.

2/ Il a été observé que la période sèche se caractérise par l'épuisement de la réserve vide, laissant ainsi la réserve utile inexploitée.

3/ Dans le cadre de l'établissement d'un bilan hydrique, il est impératif de se pencher sur plusieurs éléments essentiels. Tout d'abord, il convient d'identifier la période sèche, en déterminant sa durée et son intensité. Il est également crucial de s'interroger sur l'existence d'une éventuelle période de recharge de la réserve, et d'évaluer si celle-ci est complète. De plus, il est nécessaire de surveiller tout écoulement de surface en amont du bilan hydrique. Pour ce faire, il est essentiel de se référer aux notions fondamentales suivantes :

#### 9.1.2.1. Notions d'évapotranspiration réelle et potentielle

Ce processus, qui peut être défini comme l'ensemble des phénomènes d'évaporation et de transfert d'eau vers l'atmosphère par la transpiration des plantes, est essentiel à la photosynthèse. Cette capacité est déterminée par le débit maximal de l'eau dans la plante et par le potentiel évaporatoire de l'air ambiant. L'évapotranspiration est par conséquent la quantité d'eau cédée à l'atmosphère. Dans le cadre du bilan hydrique, cette donnée est communément exprimée en millimètres, à l'instar des précipitations. Dans le cadre de cette étude, il est essentiel de comprendre la définition de l'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>). Cette notion représente l'ensemble des pertes en eau par évaporation d'une surface de gazon de hauteur uniforme, s'élevant à quelques centimètres, et bénéficiant d'un apport hydrique conséquent.





Dans le cadre de l'étude de la hydrologie, l'évapotranspiration potentielle (ETP) représente une estimation théorique qui permet de calculer la quantité d'eau qui pourrait être évaporée par un milieu donné, en l'absence d'un apport hydrique extérieur. Cette valeur représente le flux maximal par rapport aux conditions climatiques prévalant à l'instant de référence. L'ETP est un indicateur qui permet de mesurer l'écart entre la demande et l'offre de transport. Plus précisément, il permet de déterminer le déficit climatique, soit  $D = ETP - P$ .

Lorsque l'ETP est supérieur à P, on parle de déficit climatique. L'ETP joue ainsi un rôle crucial en tant que mesure de l'offre climatique et de la demande biologique.

L'évapotranspiration réelle, ou ETR, correspond à la perte d'eau par évaporation et transpiration de la surface des plantes. Cette approche permet de mesurer l'efficacité hydrique du climat, en calculant la quantité d'eau réellement évapotranspirée par une surface végétale pendant une période définie. L'ETR prend en compte la réserve utile (Figure 15).

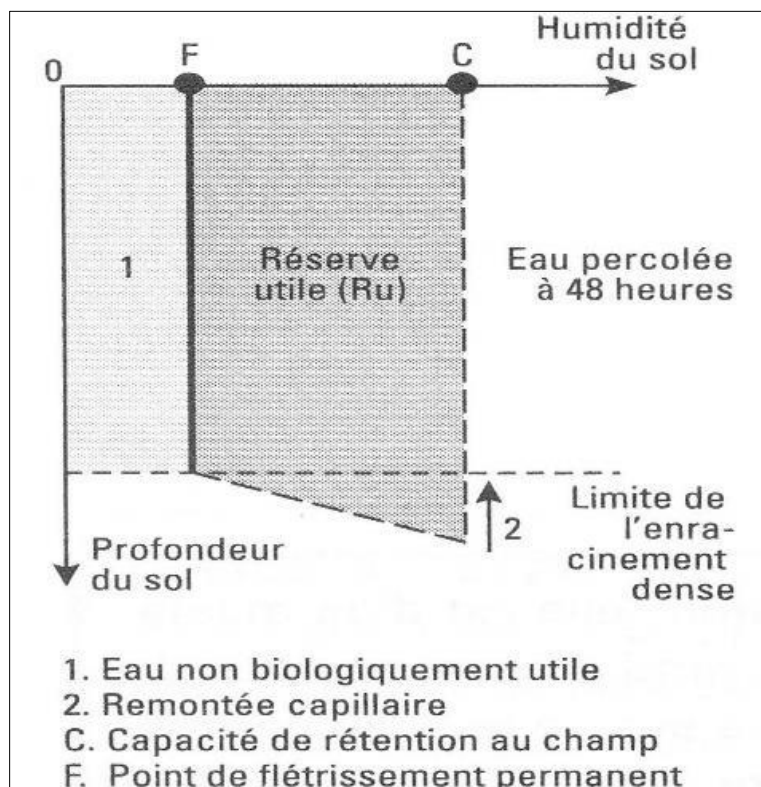


Figure 15. Réserve utile du sol.

#### 9.1.2.2. Notion de réserve utile

Le volume d'eau stocké dans le sol est évalué quarante-huit heures après un épisode pluvieux, soit après le dessèchement complet du sol ; on parle alors de capacité au champ. Cette capacité au champ est fonction du type de sol. Les sols argileux, caractérisés par une texture sableuse,



présentent une forte rétention hydrique, tandis que les sols sableux, composés de particules plus grosses, possèdent une capacité de rétention nettement inférieure. Les limons, sols à la texture intermédiaire, présentent un équilibre plus marqué. La texture du sol influe également sur la capacité d'absorption d'eau par les plantes, en fonction de la densité de leur système racinaire. Cette capacité est désignée comme la réserve utile. Lorsque la capacité d'absorption d'eau par les plantes dépasse un certain seuil, celles-ci ne disposent plus de l'énergie nécessaire pour maintenir l'eau contenue dans les pores les plus fins de leur réservoir. Ce phénomène conduit à un état de flétrissement, marqué par une déperdition irréversible de la turgescence des tissus. Le point de flétrissement, caractéristique physiologique végétale déterminant la turgescence des tissus, varie selon la plante considérée. Il est plus bas pour les plantes sclérophylles et les xérophytes, qui sont adaptées à la sécheresse.

#### 9.1.2.3. Différence entre évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle

L'évapotranspiration potentielle, ou perte potentielle d'eau par évaporation de l'air, est une mesure qui tient compte exclusivement des conditions climatiques. Elle suppose que l'alimentation en eau de la plante est assurée, ce qui permet à cette dernière d'exercer une activité photosynthétique intense. L'évapotranspiration réelle ne correspond pas nécessairement à l'évapotranspiration mesurée. En effet, elle prend en compte les réserves en eau de la plante, qu'elles soient issues des précipitations ou de la réserve utile. En effet, il est essentiel pour la plante de réguler les pertes hydriques lorsque la réserve utile atteint un seuil critique. Lorsque l'accès à l'eau est restreint ou inexistant, les plantes mettent en œuvre des mécanismes d'adaptation pour minimiser leur évapotranspiration, ce qui se traduit par une réduction de leur activité physiologique.

#### 9.1.2.4. Différence entre déficit climatique et déficit hydrique

Le concept de déficit climatique se définit comme suit : il est caractérisé par une évapotranspiration potentielle (ETP) supérieure aux précipitations (P). La capacité d'évapotranspiration maximale d'une plante est limitée par la disponibilité de l'eau atmosphérique. En l'absence de précipitations suffisantes, les plantes sont contraintes de puiser dans leurs réserves internes pour satisfaire leurs besoins en eau. La notion de déficit climatique ne prend en compte que les précipitations atmosphériques, négligeant ainsi les réserves en eau du sol. Le concept de déficit hydrique, tel qu'entendu dans le contexte de l'étude, se définit comme la situation où le rapport entre le volume de l'eau prélevée (ETP) et le volume de l'eau



disponible (ETR) est inférieur à une valeur seuil prédéfinie. Par ailleurs, il a été observé que l'évapotranspiration des plantes est réduite par le manque d'eau. Dans ce contexte, le déficit hydrique est compensé par l'utilisation de la réserve utile. Dans l'éventualité où cette dernière serait épuisée, les formations végétales entreraient alors dans une période de stress hydrique.

Dans le cadre de l'étude des caractéristiques hydriques du milieu méditerranéen, il a été établi que la saison hivernale se distingue par un bilan positif, marqué par des précipitations supérieures à la moyenne pluriannuelle. En revanche, durant la saison estivale, le bilan s'avère négatif, avec une pluviométrie élevée, mais des précipitations extrêmement faibles, voire absentes. Ainsi, la réserve utile du sol ne permet que partiellement de compenser le déficit hydrique qui s'étend jusqu'en novembre, période durant laquelle la réserve peut se reconstituer.



## Chapitre 10. Méthodes de caractérisation du climat méditerranéen

### 10.1. Notion d'une région climatique

Dans le cadre de la théorie d'Emberger, la région climatique se caractérise par une vaste étendue où prédominent des caractéristiques climatiques uniformes. Dans le cadre de l'étude des caractéristiques climatiques de la région méditerranéenne, Emberger propose une définition écologique du climat méditerranéen. Celui-ci est décrit comme un climat de type tempéré, caractérisé par un photopériodisme quotidien et saisonnier, ainsi qu'une pluviosité constante durant la période froide ou relativement froide. L'été, quant à lui, se distingue par une aridité persistante.

Il est possible d'observer des variations par rapport aux données pluviothermiques dans chaque partie de la région. De nombreux facteurs agissent sur les conditions climatiques, conduisant à la distinction de climats secondaires, sous-régionaux, qu'il est possible d'analyser.

Parmi les facteurs étudiés, nous retrouvons le degré de continentalité, qui correspond à la proximité ou à l'éloignement des mers. L'orotopographie, qui se réfère à la topographie des régions, ainsi que le contact avec d'autres zones climatiques, sont également des éléments pris en compte dans l'analyse. Ainsi, le climat général d'une région se caractérise par une série de climats dont les divers termes établissent la liaison avec les climats des régions voisines. Afin d'illustrer cette théorie, considérons un exemple concret. Le climat général de la région méditerranéenne est le climat méditerranéen. Ce dernier se caractérise par une mosaïque de cinq climats sous-régionaux, à savoir :

#### \*Climat méditerranéen aride.

Le climat méditerranéen semi-aride est caractérisé par des précipitations annuelles dont la quantité est inférieure à 500 mm et par une aridité qui atteint son paroxysme durant les mois d'été.

Le climat méditerranéen, caractérisé par des températures douces et des précipitations réparties tout au long de l'année, est un environnement propice à la végétation.

#### \*Climat méditerranéen humide (dans les zones de haute montagne).

### 10.2. Caractéristiques climatiques et végétales d'une région.

Il convient de noter qu'il existe une possibilité pour deux climats d'afficher des effets identiques sur la végétation, malgré des composantes différentes (quantitativement différentes). Par exemple, le chêne-liège (*Quercus suber*) requiert un minimum de 600 mm de précipitations



par an en Algérie, tandis que cette valeur est de 400 mm au Maroc. En somme, il s'avère nécessaire de déterminer la résultante utile des climats. Cette notion peut être exprimée mathématiquement par le quotient des trois principaux facteurs climatiques, à savoir : La précipitation, la température et l'évaporation sont des facteurs clés qui déterminent la sécheresse du climat. En effet, la capacité de la vie végétale en pays méditerranéen à prospérer est étroitement liée à ces paramètres climatiques. Les auteurs ont cherché à exprimer cette résultante en fonction de ces trois facteurs, car ils sont les facteurs climatiques disponibles dans les stations météorologiques.

Dans le cadre de ce cours, nous nous intéressons à la végétation en région méditerranéenne et plus particulièrement aux variations qu'elle subit. Notre objectif est de trouver une formulation qui rend compte de ces variations. L'objectif est de trouver une expression claire, concise et épurée, tout en respectant les principes de rigueur et d'exhaustivité. Le choix des moyennes revêt une importance capitale, car il permet de prendre en compte deux éléments essentiels. En premier lieu, il est nécessaire de considérer les limites extrêmes entre lesquelles la vie végétale oscille. En second lieu, il est crucial de prendre en considération la périodicité des phénomènes climatiques.

### 10.3. Méthodes de caractérisation originelles.

#### 10.3.1. Le quotient pluviothermique d'Emberger.

C'est une mesure empirique de la capacité d'un milieu à stocker l'eau de pluie. Dès l'amorce de ses recherches, Emberger (1930) s'est intéressé à la quête d'une expression synthétique du climat méditerranéen, avec pour objectif de modéliser la sécheresse. Dans l'écosystème des plantes, la distribution des températures est caractérisée par deux axes principaux, le premier étant la moyenne des minimas du mois le plus froid ( $m$ ) et le second étant la moyenne des maximas du mois le plus chaud ( $M$ ). Par conséquent, une station méditerranéenne est classifiée comme sèche si le rapport

$$P / (12 \times (M + m))$$

est inférieur à un certain seuil. Comme le démontre Emberger dans ses travaux, l'amplitude thermique extrême ( $M-m$ ) a été introduite. L'introduction de ( $M-m$ ) présente l'avantage de permettre l'intervention de ( $M-m$ ).





Dans le quotient, le degré de continentalité et l'humidité atmosphérique, qui sont des facteurs déterminants dans le processus d'évaporation, exercent une influence corrective sur la signification indicatrice du quotient. Le quotient pluviothermique est donc calculé comme suit:

$$P(M+m2)(M-m) \quad (1)$$

Dans le cadre de la représentation des températures, il est usuel d'employer des degrés absolus, où 0,0 °C correspond à 273,2 °K. Cette convention permet d'établir l'expression suivante :  $Q2 : (M+m2)(M-m) \times 1000$  ou  $2000 PM2 - m2 \quad (2)$ .

En effet, il a été démontré que, de manière générale, un climat méditerranéen est d'autant moins sec que le quotient est plus grand. Il convient de noter que l'expression de Q2 s'écrit, dans le cas d'une préférence pour les températures en degrés Celsius, qui facilite la manipulation, comme suit :  $Q2=2000 (M+m+546,)(M-m) \quad (3)$ .

### 10.3.2. Le climagramme d'Emberger.

C'est une représentation graphique des données climatiques qui permet de visualiser les variations du climat sur une période donnée.

Le quotient pluviothermique (Q2) ne permet pas de rendre compte de l'ensemble des données et doit être complété. En effet, il ne prend pas en considération la valeur de la température minimale du mois le plus froid. Dans l'éventualité où les valeurs du Q2 s'avèreraient identiques, le bioclimat pourrait être différent.

### 10.3.3. Variantes thermiques.

Dans le cadre de l'analyse des données climatiques, la prise en compte de la moyenne des minimums mensuels du mois le plus froid s'avère une méthode efficace pour distinguer clairement les différents bioclimats, malgré l'égalité de leur quotient pluviothermique. Cette approche a été mise en lumière dans le cas d'étude mentionné précédemment. En effet, cette méthode a permis de souligner l'importance d'une expression synthétique des résultats obtenus.

Comme l'a souligné Emberger (1966), la notion de variante climatique thermique a été proposée, en adoptant des valeurs discriminantes précises. Ces dernières correspondent aux variantes thermiques suivantes :

Dans le cas d'un hiver chaud, la température moyenne sur une période de trois mois consécutifs supérieure à 7 degrés Celsius, on parle de variante à hivers chauds.



**\*Variante à hivers tempérés** est définie comme une zone où la température moyenne annuelle est comprise entre 3 et 7 degrés Celsius.

Dans le cas d'un hiver dont la température est inférieure à 0 °C, mais supérieure à 3 °C, on parle de variante à hivers frais.

**\*Variante à hivers froids**, dont la température est comprise entre 10 et 0 degrés Celsius. Dans le contexte d'un hiver particulièrement rigoureux, avec des températures inférieures à -10 degrés Celsius, une variante spécifique peut être mise en œuvre.

L'analyse détaillée des valeurs mensuelles de température révèle que, dans la première catégorie ( $m > 7$ ), aucune occurrence de gelée n'est observée durant la saison hivernale. En revanche, dans la deuxième catégorie ( $3 < m < 7$ ), les gelées, bien que faibles en intensité, se manifestent de manière régulière. De plus, leur fréquence s'accroît lorsque  $m$  est compris entre 0 et 3, et atteint un niveau particulièrement élevé lorsque  $m$  est inférieur à zéro.



## Chapitre 11. Utilisation des synthèses bioclimatiques à des problèmes d'écologie appliquée.

### 11.1. Notion d'Échelle

Le concept d'échelle renvoie à l'idée de « domaines d'observations » incommensurables, car les voies d'accès à ces domaines diffèrent radicalement. Ainsi, le choix des échelles caractéristiques implique la détermination préalable d'unités spatiales d'observation spécifiques, ou de domaines.

### 11.2. Classement d'échelle

Il convient de noter qu'une taxinomie des phénomènes atmosphériques a été élaborée en fonction de leur échelle spatio-temporelle.

\*Nous définissons les circulations planétaires comme des mouvements qui s'opèrent sur des distances s'étendant de 10 000 km, soit l'ordre de grandeur du rayon de la Terre, et dont la durée excède la durée d'une semaine, pouvant s'étendre sur plusieurs années.

\*Nous définissons une échelle synoptique, selon laquelle la taille caractéristique est estimée à mille kilomètres et la durée à quelques jours. Cette classe spécifique inclut notamment les dépressions et les anticyclones qui se manifestent principalement aux latitudes moyennes.

\*Le terme « meso-échelle » fait référence à une échelle de temps située entre une centaine d'années et une journée. Cette échelle temporelle est caractérisée par des temps caractéristiques d'une heure à une journée.

\*Dans le cadre de l'étude des phénomènes météorologiques, l'échelle aérologique est un concept essentiel. Elle s'étend de 10 kilomètres à quelques centaines de mètres et englobe les orages isolés, les tornades et les thermiques purs.

\*À la micro-échelle, les phénomènes dont la dimension est de l'ordre du mètre, tels que les tourbillons de poussière et les rafales, sont classés dans cette catégorie.

\*Dans le cadre de l'échelle microscopique, les processus de formation des gouttes de nuage et de pluie, ainsi que des cristaux de glace, sont étudiés. Cette échelle est communément appelée «microscopique».

### 11.3. Autre classification

On trouve des échelles selon deux critères : Temporelle et Spatiale

\**Temporelle* : Géologique : Historique (1000 ans), Contemporaine (depuis 150 ans).

\* et *Spatiale*.



Dans le cadre de l'étude du macroclimat, il est établi qu'à l'intérieur de chaque zone climatique, l'on peut identifier la présence de plusieurs régions climatiques distinctes. Cette région climatique se distingue par un climat régional spécifique, désigné sous le terme de « macroclimat », qui trouve son origine dans l'interaction entre la situation géographique ou topographique et les conditions atmosphériques.

Dans le cadre de l'étude des zones climatiques, la région méditerranéenne, caractérisée par un macroclimat dit méditerranéen, se distingue comme un exemple pertinent dans les zones climatiques tempérées.

La répartition mondiale des macroclimats inclut les climats de montagne, les climats polaires, les climats océaniques, les climats continentaux, les climats méditerranéens et chinois, les climats arides, les climats tropicaux secs, les climats tropicaux humides et les climats équatoriaux.

Le terme « mésoclimat » fait référence à un climat spécifique à une région naturelle de petite étendue, telle qu'une vallée ou une forêt. Il se situe à l'échelle intermédiaire entre le microclimat, qui est le climat d'une petite région, et le macroclimat, qui est le climat d'une grande région.

Chaque région climatique ou macroclimat peut être subdivisée en plusieurs localités ou secteurs définies par un climat local appelé méso-climat. Dans le cadre des climats méditerranéens, il est à noter que les méso-climats peuvent subir des variations en fonction des situations locales, topographiques ou géographiques. Ces variations peuvent ainsi engendrer les climats humides, subhumides, semi-arides, arides et sahariens.

Le concept de microclimat est une approche scientifique qui étudie les conditions climatiques locales, souvent caractérisées par des variations de température et de précipitations, qui peuvent être attribuées à des facteurs topographiques et atmosphériques.

Dans le cadre de l'étude des microclimats, il est essentiel de comprendre la complexité des méso-climats. En effet, au sein de chaque méso-climat, on observe la présence d'une multitude de microclimats, qui sont tributaires des stations.

Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé le climat d'une forêt de pins d'Alep. Nos recherches ont révélé que le climat varie en fonction de l'emplacement de la forêt, que ce soit au niveau du milieu, du bas ou du haut du versant.

Dans le langage courant, les termes « topo-climats » et « microclimats » sont souvent utilisés de manière interchangeable.



Il est essentiel de comprendre les distinctions entre microclimat et topoclimat pour appréhender avec précision les variations climatiques.

Le concept de microclimat désigne une zone climatique de très petite échelle, souvent inférieure à un mètre. Les microclimats, par exemple, peuvent être observés dans des contextes aussi divers qu'une flaque d'eau, un nid d'oiseau ou encore l'intérieur d'un appareil électrique. Ces climats font l'objet d'études menées par des zoologues, des naturalistes ou des spécialistes divers. Toutefois, ils ne suscitent qu'un intérêt limité de la part des climatologues, qui privilégient l'analyse des topo-climats.

Le terme « topo-climat » désigne un climat local spécifique, caractérisé par des variations topographiques qui peuvent influencer les conditions climatiques.

#### 11.4. Ecologie appliquée

##### A. Définition

L'écologie appliquée est une discipline qui se concentre sur l'étude et la gestion des interactions entre les organismes vivants et leur environnement, en tenant compte des interactions entre les êtres humains et leur milieu naturel.

Dans le cadre de cours, il est nécessaire de procéder à la définition du concept. L'objectif est d'analyser les changements qui s'opèrent dans l'environnement au fil du temps, et par extension, d'évaluer l'impact de l'activité humaine sur son milieu de vie.

Il s'agit de présenter les principes fondamentaux et les limites des lois écologiques, afin de permettre une utilisation optimale de ces lois dans le cadre de l'exploitation et de l'aménagement du territoire. L'objectif de ce programme est de faciliter la transition entre la théorie et la pratique en biologie. Il permet aux étudiants d'identifier les attentes spécifiques de la profession de biologiste lorsqu'il s'agit de relever des défis écologiques, tout en reconnaissant les complexités inhérentes à cette discipline.

L'utilisation des notions fondamentales de l'écologie est essentielle pour parvenir à un aménagement et à une exploitation rationnelle des ressources naturelles. Dans le cadre de cette étude, une analyse approfondie sera conduite afin d'évaluer les implications environnementales des déséquilibres engendrés par une gestion déficiente. Il convient de mettre en exergue les réalités locales et régionales, en illustrant le propos par des exemples concrets.

**B.** Dans le cadre de l'évaluation des impacts environnementaux, le concept d'aridité, associé à la dégradation anthropique, constitue un sujet d'étude d'une importance capitale.





L'aridité est un phénomène complexe qui ne saurait être défini par des précipitations moyennes annuelles insuffisantes. Elle doit également être considérée à la lumière de l'irrégularité de ces précipitations dans l'espace et dans le temps, ainsi que dans le contexte d'une forte évapotranspiration. Dans les régions soumises à un climat aride, les jours où les précipitations se limitent à des précipitations non mesurables, c'est-à-dire inférieures à 5 mm, peuvent être 3 à 4 fois plus nombreux que les jours où les précipitations sont mesurables. En outre, il a été observé que ces jours où les précipitations sont inférieures à 5 mm peuvent être encore plus nombreux dans les régions où l'aridité est élevée.

La dégradation anthropique, ou altération de l'environnement par l'action humaine, constitue un sujet d'étude majeur dans le domaine de l'écologie.

Des études ont démontré que des exemples de cette nature semblent être des causes anthropiques, c'est-à-dire causées par l'homme. Ces causes influencent la dégradation de l'environnement et du milieu, et ont pour effet d'augmenter le phénomène d'aridité.

Dans le contexte contemporain, la pression démographique, caractérisée par l'augmentation de la population, constitue un phénomène préoccupant.

Dans le cadre de cette étude, nous nous penchons sur deux axes principaux de réflexion. Le premier concerne les pratiques agropastorales, c'est-à-dire l'association de l'élevage et de l'agriculture au sein d'un même territoire. Le second axe porte sur la surexploitation des ressources forestières, c'est-à-dire l'utilisation excessive de ces ressources naturelles à long terme.

L'exploitation des ressources forestières et environnementales peut être qualifiée d'irrationnelle lorsque les pratiques s'effectuent de manière non soutenable et non durable.

La déforestation est un phénomène environnemental majeur qui a des conséquences sur la biodiversité et le climat.

Il est observé une augmentation des zones de culture. Les techniques culturales employées s'avèrent inadaptées.

Le terme « surpâturage » fait référence à une pratique d'élevage consistant à fournir aux animaux une quantité excessive de fourrage, entraînant des conséquences néfastes sur leur santé et leur bien-être.

Le concept de désertification est un phénomène socio-économique qui se manifeste par la dépopulation et la dégradation des infrastructures d'une région, entraînant une diminution de l'activité économique et une détérioration du cadre de vie.



La végétation naturelle se raréfie, tandis que les sols se couvrent d'un limon épais et compact.  
Il convient de mentionner, en premier lieu, l'érosion des sols, ainsi que le transport des particules solides et la pollution des eaux de surface.



## Chapitre 12. Relations végétation climat

Les plantes constituent un indicateur fiable des conditions climatiques d'une région. Leur développement est étroitement lié à la distribution saisonnière des températures, à la luminosité et à l'humidité. Cependant, il a été démontré que les plantes sont capables de tolérer des variations significatives de facteurs climatiques tels que la température, l'humidité ou le froid.

En effet, la végétation est un indicateur du climat global plutôt que des conditions météorologiques ponctuelles.

Afin de reconstituer les climats du passé à partir de la végétation, il est impératif de prendre en compte les affinités climatiques des espèces végétales présentes aux différentes époques étudiées.

À titre d'illustration, considérons le cas suivant :

**\*La Steppe :** Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons à deux espèces végétales : la première est l'Alfa, ou *Stipa tenacissima*, et la seconde est le *Lygeum spartum*, également appelé Sparte. L'espèce végétale dont il est question ici est appelée « *Aristida pungens* » ou « Drinn ».

Dans le contexte désertique du Sahara, les oasis, où prédominent les palmiers dattiers, offrent un exemple remarquable d'adaptation au milieu aride.



## Chapitre 13. Classification biologique des climats

Un bioindicateur, ou bio-indicateur, est un indicateur constitué par une espèce végétale, fongique ou animale, ou par un groupe d'espèces (groupe éco-sociologique) ou groupement végétal dont la présence ou l'état renseigne sur certaines caractéristiques écologiques (c'est-à-dire physico-chimiques, microclimatiques, biologiques ou fonctionnelles) de l'environnement ou sur l'incidence de certaines pratiques.

Dans le cadre de l'étude de l'écologie végétale, les plantes indicatrices sont définies comme étant des espèces qui se développent à un moment spécifique dans un environnement donné. Leur présence est un indicateur clé de la qualité et de la santé du sol, car elles jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre écologique. Selon la géologie, les aléas climatiques et les pratiques humaines, ces solutions permettent de remédier aux déséquilibres de la vie microbienne et de rétablir la porosité des sols.

À titre d'illustration, considérons le cas suivant :

\*Les milieux de vie sont caractérisés par une diversité qui dépend des climats. Dans l'écosystème de la toundra boréale, on observe la présence d'une végétation caractérisée par une rareté spécifique d'espèces herbacées. La rareté de la végétation est attribuable aux conditions climatiques rigoureuses, caractérisées par un froid, une neige et une glace abondants.

\*Dans la zone chaude, la végétation est soumise à des variations liées à la disponibilité hydrique. En effet, il a été démontré que la végétation est plus abondante dans des environnements caractérisés par une chaleur et une humidité élevées.

\*Dans les zones équatoriales caractérisées par un climat très arrosé, on observe la présence de forêts denses où la végétation reste verdoyante tout au long de l'année.

\*Dans les zones tropicales caractérisées par une saison sèche, la végétation haute de la savane constitue un élément écologique prépondérant.

\*Dans les régions arides, l'absence de précipitations pluvieuses induit une carence en végétation.

\*Dans les zones à climat tempéré, on retrouve une diversité culturelle significative.



## Chapitre 14. Cartographie climatique et bioclimatique

### 1. Introduction

Les cartes se révèlent d'une grande utilité et jusqu'alors, elles n'avaient jamais été publiées par un si grand nombre de moyens de diffusion. La carte se présente comme un moyen de communication efficace entre un producteur et un utilisateur. Grâce au GPS, un grand nombre de données peuvent être localisées sur une carte.

Durant une période significative, le papier a constitué le principal matériau employé pour la fabrication des cartes. Dans le contexte contemporain, la production de cartes est principalement assurée par l'utilisation de logiciels cartographiques spécialisés. Ces cartes sont ensuite diffusées sur Internet. Cependant, il est important de noter que les normes et les protocoles cartographiques restent en vigueur.

Il convient de noter que les modalités de diffusion n'affectent pas les caractéristiques fondamentales de l'objet étudié.

### 2. Les différents types de cartes

La carte traite deux informations fondamentales : la position et l'information qui y est rattachée. Dans le cadre de notre étude, nous avons pu constater que les informations rattachées, communément appelées attributs, peuvent revêtir plusieurs formes. Il peut s'agir d'un nombre, d'une activité, d'un taux ou d'une quantité. Il est à noter que ces informations sont susceptibles d'évoluer avec le temps.

Dans le cadre de cette étude, nous avons pu établir que la combinaison de la position et de l'information sémantique permet d'obtenir des données telles que la distance, la répartition spatiale, la direction et la variation. En outre, l'analyse conjointe de ces deux types d'informations nous a également permis d'obtenir des renseignements supplémentaires, comme le revenu moyen par habitant ou le niveau d'instruction en différents lieux.

Il convient de noter que la diversité des cartes disponibles permet de présenter un éventail d'informations de manière tangible. Ces dernières remplissent ainsi la fonction de mettre en lumière les faits d'une manière réalisable. Il convient de noter que la classification des cartes peut varier en fonction de divers critères, tels que l'échelle, l'usage ou le contenu. En effet, ces éléments permettent de les regrouper selon la typologie suivante :

**1/ Les cartes topographiques** se distinguent comme des outils essentiels pour appréhender les relations spatiales qui s'établissent entre différents objets géographiques. Ces relations, qui peuvent prendre la forme de bâtiments, de routes, de frontières ou de cours d'eau, sont





représentées sur ces cartes avec une précision et une exactitude remarquables. Les cartes topographiques officielles sont réalisées par les organismes cartographiques nationaux.

Il est à noter que la plupart des communes procèdent également à la production de plans de ville. Il convient de noter que les cartes topographiques sont également disponibles pour la randonnée et les activités nautiques. De nombreux systèmes de navigation routière ainsi que des services internet fournissent également des cartes topographiques. En outre, les cartes topographiques fournissent un fondement essentiel pour l'information foncière et la conception des cartes décrivant l'aménagement territorial.

**2/ Les cartes spéciales** occupent une place prépondérante. Elles se classent notamment en deux catégories : les cartes maritimes et les cartes aéronautiques. Ces cartes sont destinées à un usage professionnel et sont conformes aux normes établies par l'Organisation des Nations Unies. En outre, des cartographies spécifiques à la navigation de plaisance ainsi que des cartes dédiées à l'orientation, définies par la Fédération internationale de course d'orientation, ont été élaborées. Le plan du métro londonien se distingue par ses caractéristiques spécifiques.

**3/ Les cartes thématiques** (Figure 16) offrent une représentation visuelle des phénomènes géographiques, tels que la géologie (notamment le sol et le substrat rocheux), l'occupation du sol ou la végétation. Les cartes statistiques sont également considérées comme faisant partie de la catégorie des cartes thématiques. Ces dernières présentent les caractéristiques suivantes :

### 3. Les règles cartographiques

#### 3.1 La conception d'une carte

Dans le cadre de tout processus de production, il est impératif de concevoir les cartes à l'avance, avant leur mise en œuvre concrète. Le processus de conception est itératif et s'initie par l'établissement d'un bon de commande qui spécifie le thème et la finalité de la carte.

Par la suite, le cartographe élabore une proposition qui est alors soumise à une évaluation selon les critères préalablement définis.

Lorsque les exigences sont satisfaites, il est alors possible de procéder à la production de la carte. Le processus de conception d'une carte est illustré par la figure 17.

#### 3.2 La symbolisation

La symbolisation est un processus qui implique l'utilisation de symboles, c'est-à-dire d'images ou de représentations graphiques, pour représenter des objets ou des concepts de manière imagée. Dans le cadre de l'analyse sémiotique des cartes, il est essentiel de considérer l'intégration de divers symboles et de différentes écritures.



Dans le cadre de la représentation cartographique, les symboles remplissent une fonction descriptive du terrain réel, tandis que les écritures se révèlent plus détaillées et permettent une analyse plus approfondie des objets représentés sur la carte.

Du point de vue de la géométrie, il existe trois catégories de symboles : les points, les lignes et les surfaces. Pour illustrer cette classification, la légende de la carte topographique présentée en annexe fournit des exemples de symboles ponctuels, linéaires et surfaciques.

Les habitations sont symbolisées par des points, les voies de circulation par des lignes et l'utilisation des sols par des surfaces.

En outre, il est important de noter que les symboles peuvent varier en fonction de leur niveau d'abstraction. Les symboles les plus élémentaires sont de nature purement géométrique. Ces derniers représentent les objets réels avec une précision géométrique et topographique remarquable. Ainsi, une route est représentée par une ligne et un lac par un polygone. Il est également possible de fournir des informations supplémentaires.

En modifiant les propriétés chromatiques et topologiques des symboles, on peut obtenir des représentations suggérant des forêts composées d'arbres de différentes essences ou des routes de divers types. Dans le cadre de l'implantation ponctuelle de symboles abstraits, il est possible de recourir à des symboles figuratifs ou des icônes. Ces symboles se révèlent d'une grande utilité pour les plans de ville et les cartes touristiques.

La consultation de l'ouvrage de Bertin permet d'obtenir des informations supplémentaires au sujet des graphiques et de la symbolisation. Cette étude, bien que complexe, offre une opportunité précieuse pour quiconque aspire à une analyse exhaustive des problèmes de graphiques liés à la cartographie.

### 1.3.3 Les écritures

Les écritures, qui représentent une part substantielle de la carte, jouent un rôle crucial dans la facilitation de sa compréhension. Le respect des règles typographiques est essentiel pour garantir la lisibilité d'une carte. La typographie englobe le choix des polices d'écriture, des tailles, des couleurs et du positionnement.

Il existe un éventail de polices d'écriture à la disposition des utilisateurs, bien que l'on recommande de restreindre leur utilisation à un nombre limité sur une carte. Il est essentiel que la taille de la police d'écriture soit d'au moins six points pour garantir la lisibilité du texte. La couleur est un élément sémiotique qui permet de distinguer les différentes sortes d'objets. En effet, le noir est utilisé pour les lieux-dits, le bleu pour les cours d'eau et le vert pour la nature.



Dans le cadre d'un cours d'eau, la disposition du texte s'effectuera le long de la rive. Il est possible de représenter l'étendue d'un océan par le tracé d'une courbe. En outre, le positionnement peut fournir des indications sur la localisation de l'objet. Dans le cadre de la nomenclature, il est essentiel de distinguer le nom d'une commune, qui devra être décalé au-dessus de la surface administrative, et celui d'un lac, qui sera disposé à l'intérieur de la surface hydrologique.

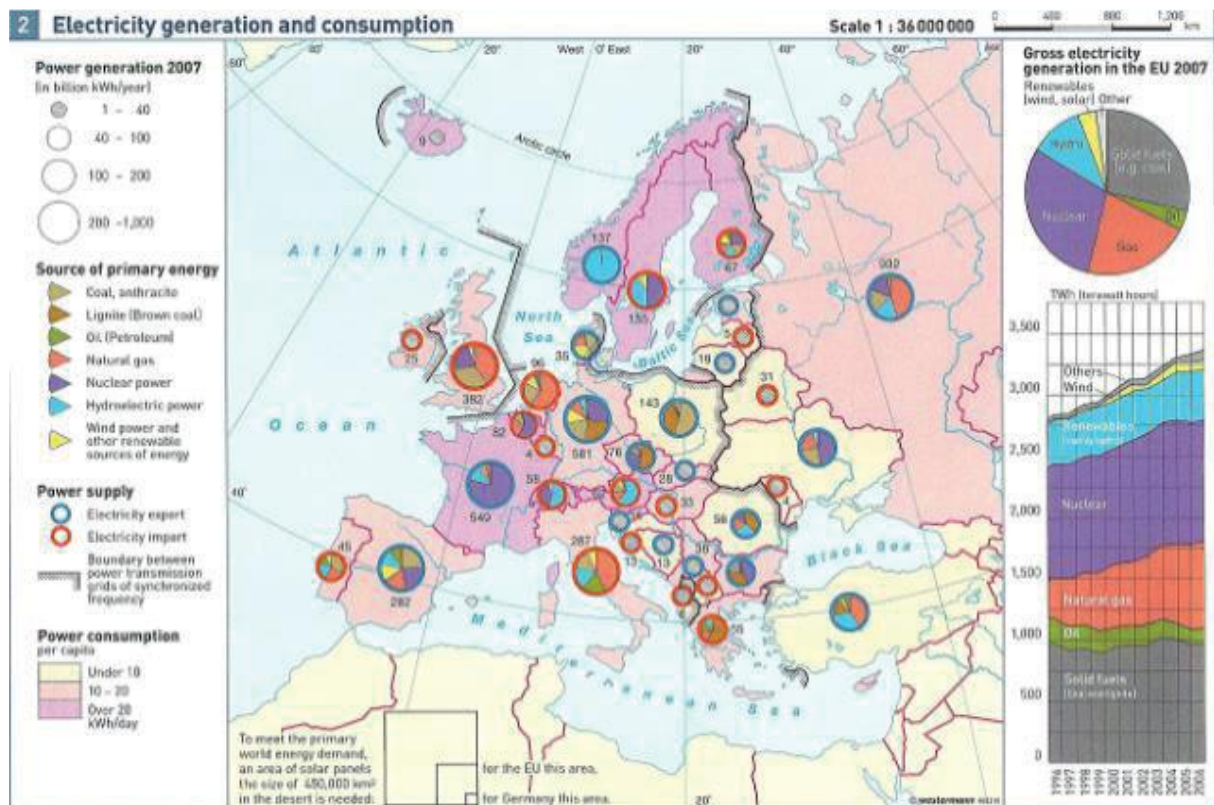
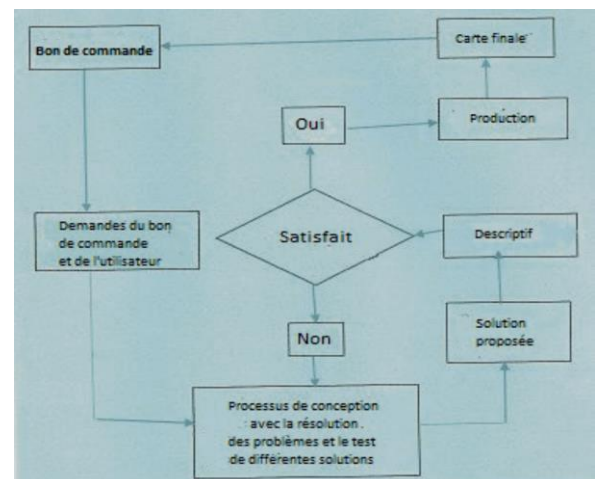


Figure 17. Le processus de conception démarre avec le bon de commande.

Figure 16. Carte thématique avec courbes et diagrammes circulaires.







### Exemples de cartes des zones climatiques.

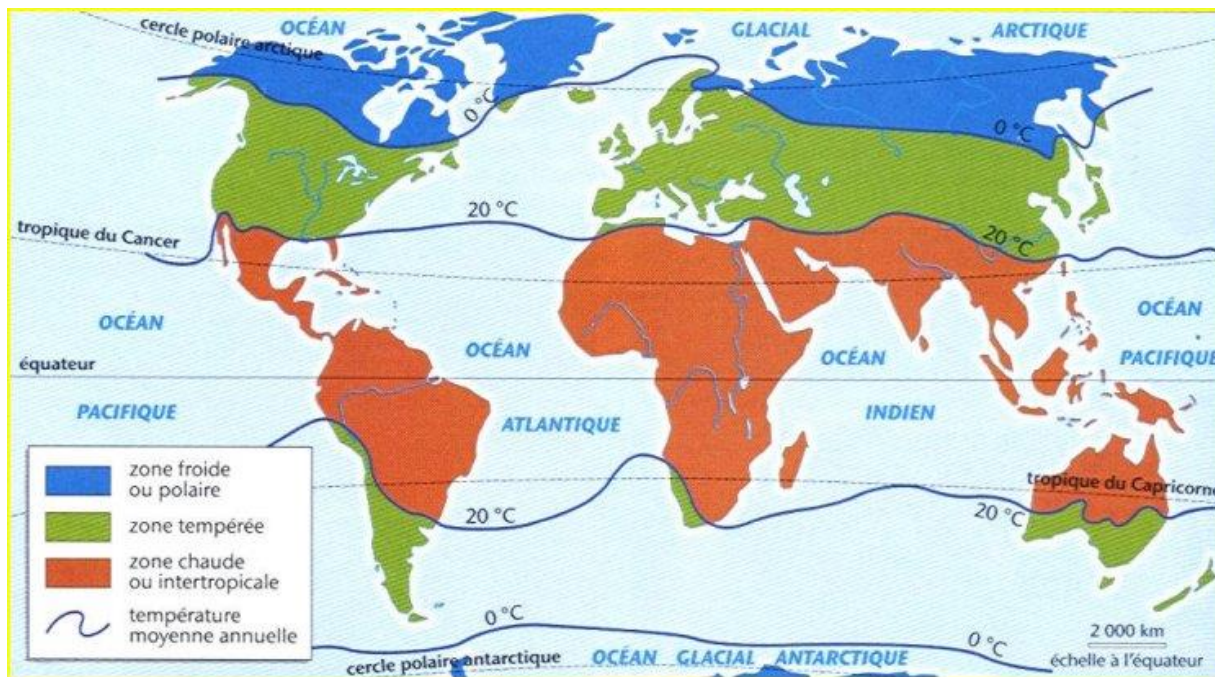


Figure 18. Carte des zones climatiques du monde.

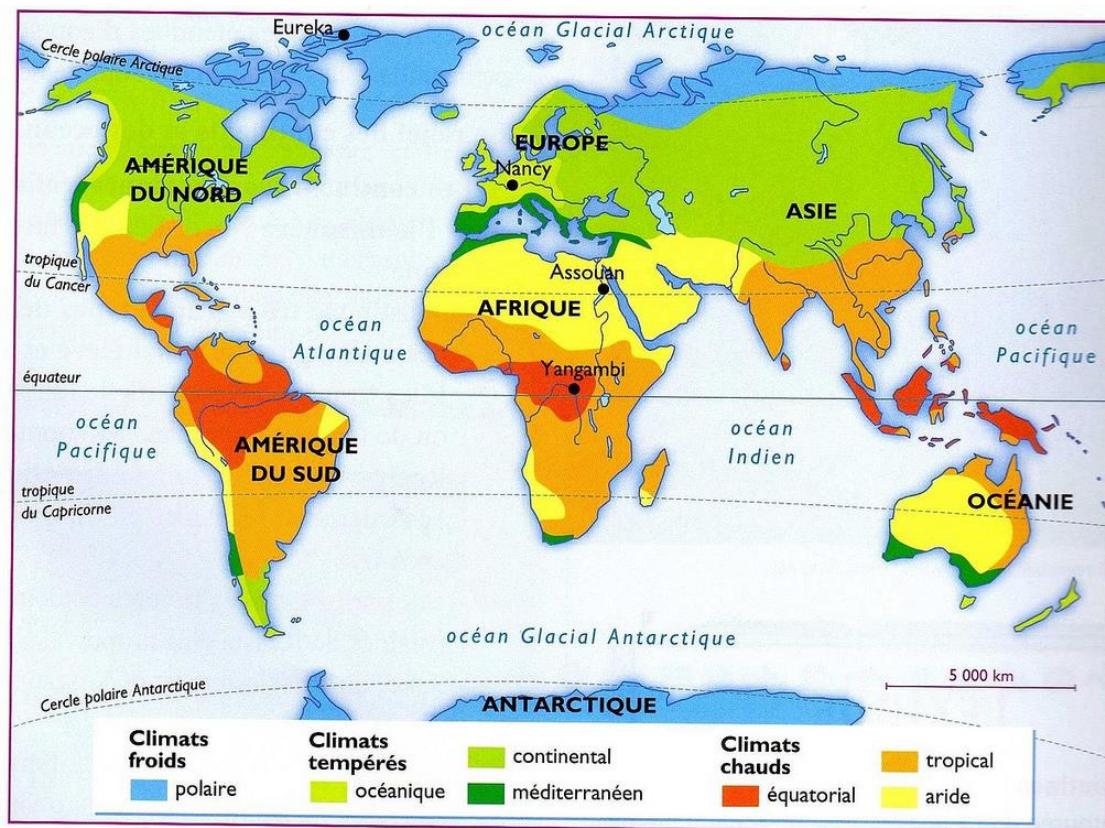


Figure 19. Carte des zones climatiques du monde.



## Références bibliographiques.

- Adli Benziane. Cours de Bioclimatologie (2019). Université Ziane Achour Djelfa
- Bagnouls F. et Gaussen H., 1957- Les climats biologiques et leur classification.
- Bengt Rystedt. Chapitre 1 Cartographie. (2014). Suède. Traduction par Laurent Benosa et Dominique Gresle-Pouligny, Relecture d'harmonisation par Felix de Montety.
- Chaumont M. et Paquin C., 1971- pluviosité en Algérie.
- Christian Piedallu, Jean-Baptiste Richard, Vincent Perez, Thomas Villiers, Jean-Daniel Bontemps, et al.. Cartographie de l'évolution du stock d'eau disponible pour la végétation des sols forestiers lorrains, dans un contexte de changement climatique.. 2014. <hal-00976603>
- Emsalem R. Climatologie générale (Tomes 1 et 2).
- François Lebourgeois et ChristianPiedallu , 2005. Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques. in Revue Forestiere Francaise, volume 4, pp 331- 356· DOI: 10.4267/2042/5055
- François Lebourgeois et Pierre Mérian 2011. La sensibilité au climat des arbres forestiers a-t-elle changé au cours du XXe Siècle. in Revue Forestiere Francaise, volume 1 · pp 17-32.DOI: 10.4267/2042/43091.
- Le Houérou, H.N., Claudin, J., Pouget, J.C.M., 1977. Etude bioclimatique des steppes algériennes. Bul. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord 49p.
- Rouabhi Amar. Polycopiés de cours Bioclimat et changement climatique. Université Ferhat Abbas – Setif 1.
- Site internet : [https://www.notre-planete.info/terre/climatologie\\_meteo/changement-climatique-consequences.php](https://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/changement-climatique-consequences.php)