

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mohammed Boudiaf-M'sila
Faculté des sciences
Département des sciences agronomiques
Master I : Protection des végétaux (PTV)



Matière : Agrométéorologie (UET)

Coefficient : 01 Crédit : 01



AGROMETEOROLOGIE

Responsable da matière :

Dr. BEDDAL Dalila

Année universitaire : 2021/2022

Chapitre II : Eléments climatiques

Introduction

Le climat est la combinaison des états de l'atmosphère (Précipitation, température, vent, ensoleillement, vent,...) en un lieu donné et sur une période définie (moi, année, décennie).

II.1 Définition d'éléments du climat

Ils sont les différentes grandeurs physiques mesurables qui sont utilisées à caractériser les conditions du milieu. Exemple : température de l'air, précipitations, évaporation, vitesse du vent,... Ces éléments du climat représentent l'état d'atmosphère.

Remarque : d'autres éléments ne font pas l'objet de relevés systématiques dans les stations climatiques, exemple : champ électrique de l'atmosphère, radioactivité de l'air mais ils interviennent dans la caractérisation climatique.

II.2 Facteurs climatiques

Les facteurs climatiques sont les différentes causes qui agissent sur les éléments du climat pour les faire varier. Ces facteurs peuvent être :

- ✓ Des facteurs géographiques : l'effet de l'altitude, de la position par rapport à la mer, la topographie.
- ✓ Des facteurs pédologiques : la nature du sol.
- ✓ Des facteurs agronomiques : la couverture végétale, stade de développement végétatif.
- ✓ Des facteurs anthropiques : parmi les quels le rejet de gaz carbonique dans l'atmosphère.

II.3 Le système climatique

Est l'ensemble des interactions entre l'atmosphère, l'océan, la cryosphère, la lithosphère et la biosphère de la Terre, qui détermine le climat de la planète sous l'effet du rayonnement solaire.

Le système climatique est composé de :

a- L'atmosphère : constituée par l'enveloppe gazeuse (air sec, vapeur d'eau, impuretés et autres gaz).

b- L'hydrosphère : qui correspond à toutes les étendues liquides (océans, mer, cours d'eau).

c- La cryosphère : l'enveloppe glaciaire ou neigeuse (calottes glaciaires, polaires).

d- La lithosphère : éléments de l'enveloppe corticale rocheuse (masses continentales).

e- La biosphère : l'ensemble des êtres vivants (couvert végétal, monde animal, activités humaines).

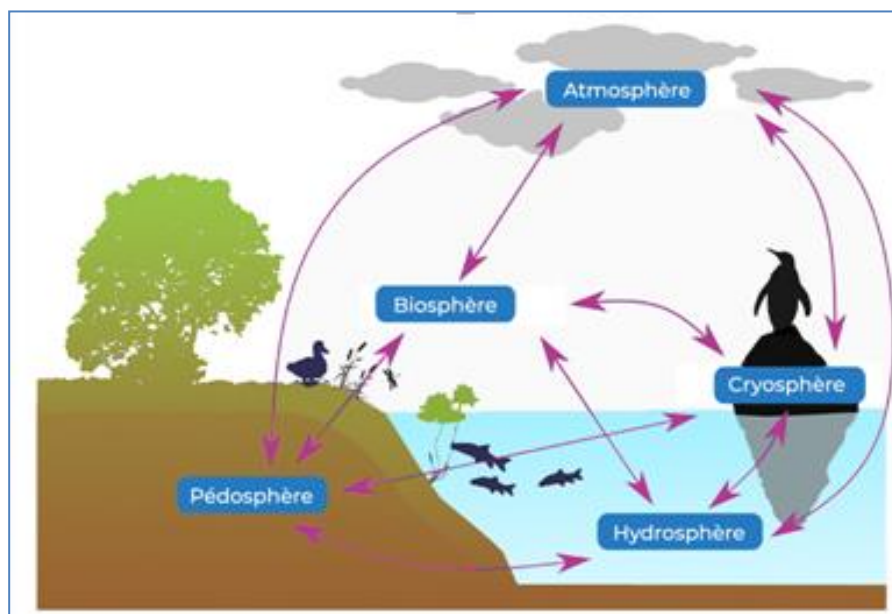


Figure 1 : Composante du système climatique

II.4 Grandeurs mesurées et appareils de mesure

Les grandeurs suivantes caractérisent le climat et qui sont les plus importants en bioclimatologie:

- La température.
- Les précipitations.
- Le vent.
- L'humidité atmosphérique et au sol.
- Le rayonnement incident et émis.

II.4.1 La température de l'air

II.4.1.1 Définition

C'est un paramètre essentiel qui conditionne toutes les activités physiologiques et les réactions chimiques (l'inhibition de la photosynthèse...). La température de l'air dépend : du rayonnement solaire, de la pression de l'atmosphère et de sa composition en gaz.

La température est mesurée à l'ombre, dans un abri météorologique (Fig.2) à une altitude de 1m 50cm. Le choix de ce niveau revient au fait que l'air s'échauffe en contact direct avec le sol. Ainsi, la température est max près du sol, elle s'affaiblie en altitude avec un gradient fort près du sol. Ce gradient devient nul près de 1m50. La température est un paramètre incontournable ayant un grand impact sur le climat car il entre dans l'évapotranspiration et l'estimation du bilan hydrique.

L'abri météorologique de STEVENSEN (Fig.2) est une boîte en bois ou en métal, qui ne conduit pas la chaleur, placée à 1,5 m du sol. Les parois de l'abri sont faites de lattes blanches pour réfléchir le rayonnement solaire et laisser passer l'air.

- Les lattes de l'abri permettent la circulation de l'air.
- La couleur blanche de l'abri sert à réfléchir les rayons du soleil, ce qui empêche que l'abri se réchauffe et que les données soient faussées.
- Aussi, l'ouverture de l'abri est orientée vers le nord puisque les rayons du soleil ne proviennent jamais de cet endroit.

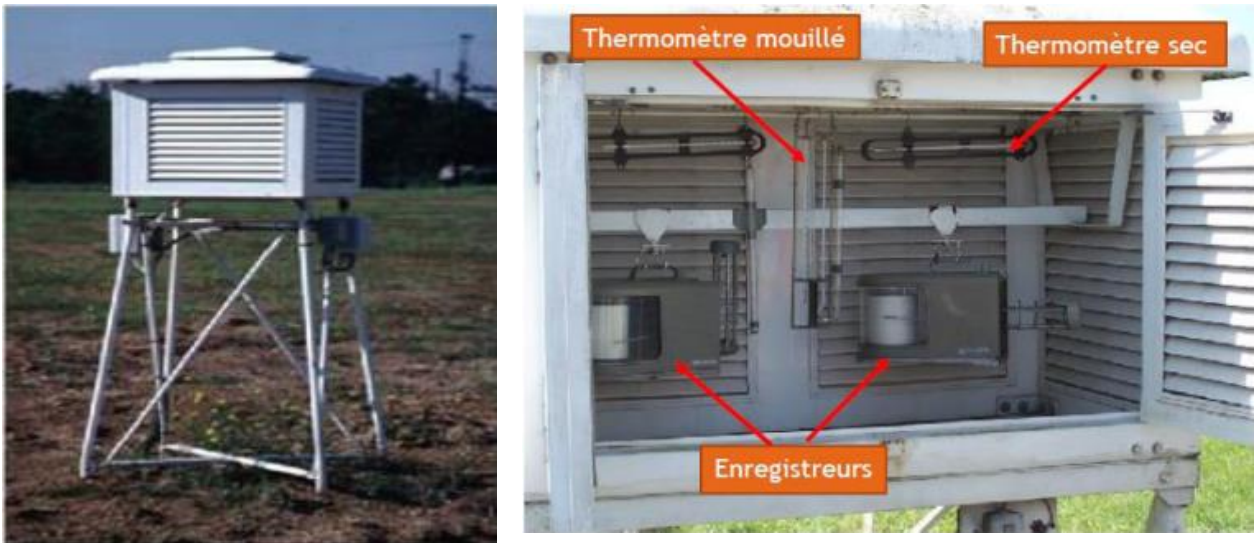


Figure 2 : Abri météorologique de STEVENSEN (1864)

II.4.1.2 Types de température

- La température minimale (Tmin) qui se produit vers le levé du soleil.
- La température maximale (Tmax) qui se produit vers le midi-soleil.
- La température moyenne journalière (Tmoy) : elle est prise comme la moyenne de la température maximale Tmax diurne et de la température minimale nocturne Tmin : $T_{moy} = (T_{max} + T_{min}) / 2$.

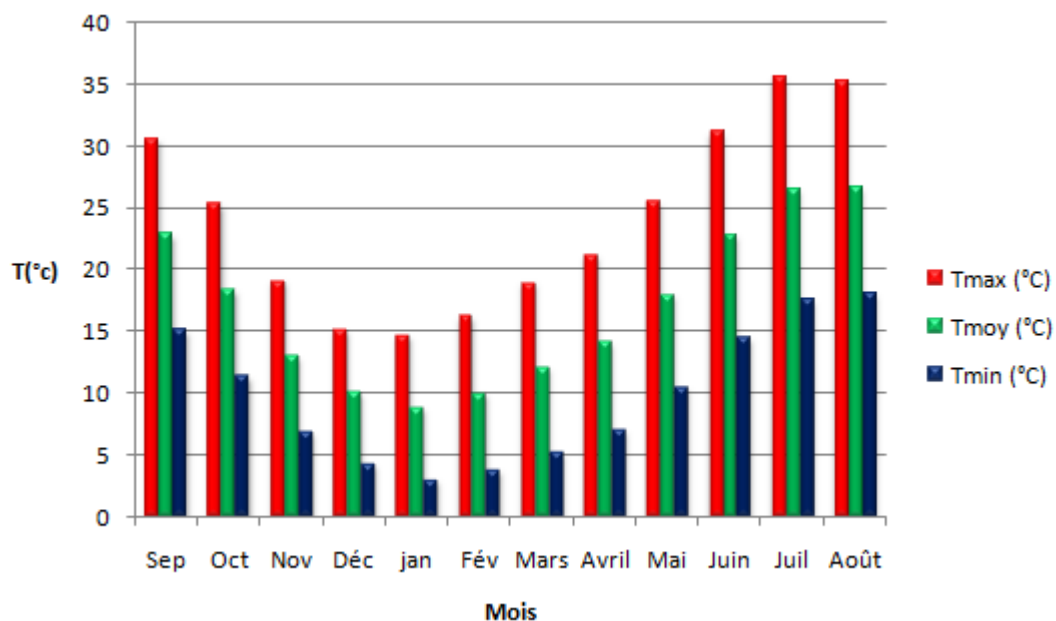


Figure 3 : Représentation des valeurs de température

II.4.1.3 Appareil de mesure

La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre qui utilise le plus souvent la dilatation d'un corps placé dans un tube fin (qui amplifie l'effet de dilatation). Il existe des thermomètres à alcool pour les mesures des extrêmes (max et min), le thermomètre à mercure, et enfin, les thermomètres électroniques.

II.4.1.4 Unités de mesure

La température est généralement mesurée en degré Celsius (°C). Alors que dans le système international des unités, l'unité de température est le Kelvin (K). D'autres unités sont utilisées comme le degré Fahrenheit (°F) aux Etats-Unis.

Les règles de conversion sont les suivantes :

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

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

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

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \times \text{K} - 459.67$$

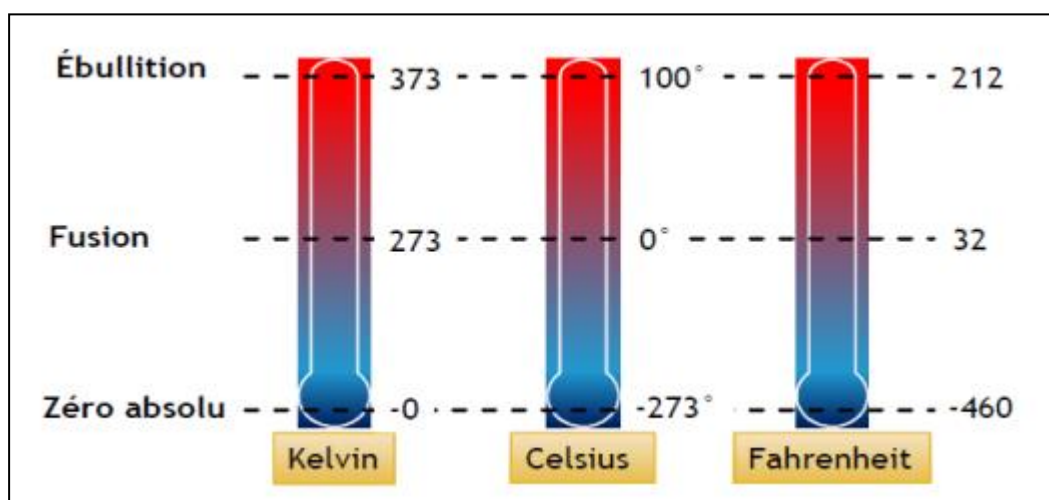


Figure 4 : Différents unités de mesure de la température

Remarque :

D'autres températures que celles de l'air sont classiquement mesurées en météorologie particulièrement en agrométéorologie afin de mieux cerner les phénomènes énergétiques de surface. Ce sont les températures de surfaces; en

particulier la température de la couche de surface du sol (-5 cm) est une donnée fort utile pour apprécier les vitesses de germination ou de croissance des jeunes plantules.

II.4.2 Les précipitations

II.4.2.1 Définition

Les précipitations désignent toutes les eaux météorologiques solides et liquides qui tombent sur une surface horizontale. Ils sont ramenés à la lame d'eau en mm.

Les précipitations et la température sont les éléments les plus importants qui définissent le climat d'un lieu donné.

II.4.2.2 Nature des précipitations

Les précipitations peuvent se présenter sous forme :

- Précipitations liquides: pluies, bruine.
- Précipitations verglaçantes: pluie verglaçante, bruine verglaçante.
- Précipitation solide: neige, grésil, givre, grêle.



Figure 5 : Nature des précipitations

II.4.2.3 Caractéristiques

Les précipitations sont caractérisées non seulement par leur quantité, mais aussi par leur **nature physique** (pluie, neige, grêle,...), leur **fréquence** (exemple : une fois par an ou 100 fois par an), leur **durée de chute** (exemple : 10 mn ou 24 H), leur **intensité** (exemple : 10 mm/h ou 100 mm/h), leur **répartition dans le temps** (exemple : jours successifs), et dans **l'espace**.

Cet ensemble de caractéristiques influence sur l'absorption du sol, le drainage, les crues des cours d'eau, l'utilité agricole,...

Remarque :

- La quantité des précipitations augmentent en se rapprochant de la mer.
- Elles augmentent avec l'altitude.
- Au relief, les versants exposés au vent sont plus arrosés que les versants sous le vent pour des pentes assez élevées.

Tableau 1 : Taille des éléments constituant les différents types de précipitations

Type	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

II.4.2.4 Appareil de mesure

- ✓ Pluviomètre non enregistreur (pluviomètre);
- ✓ Pluviomètre enregistreur (pluviographe);
- ✓ Les nivomètres;
- ✓ Les radars;

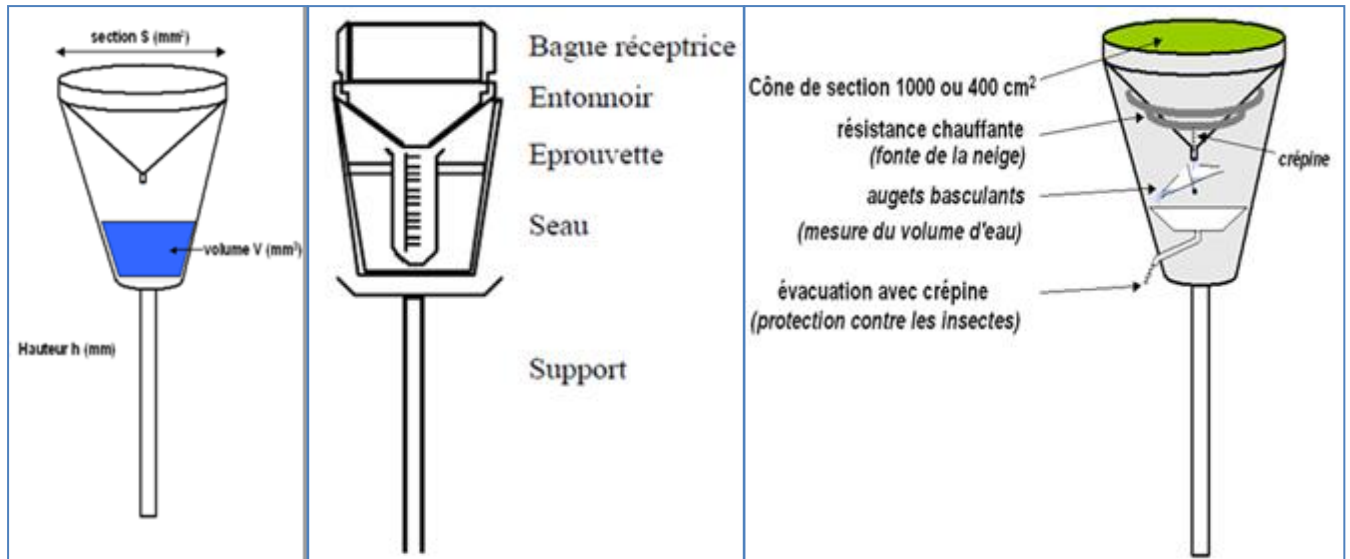


Figure 6 : Pluviomètre

Figure 7 : Pluviographe

II.4.2.5 unité de mesure

Les précipitations liquides et solides sont ramenées à la lame d'eau en **mm** sur une surface horizontale. **1mm sur 1 ha = 10 m³ d'eau.**

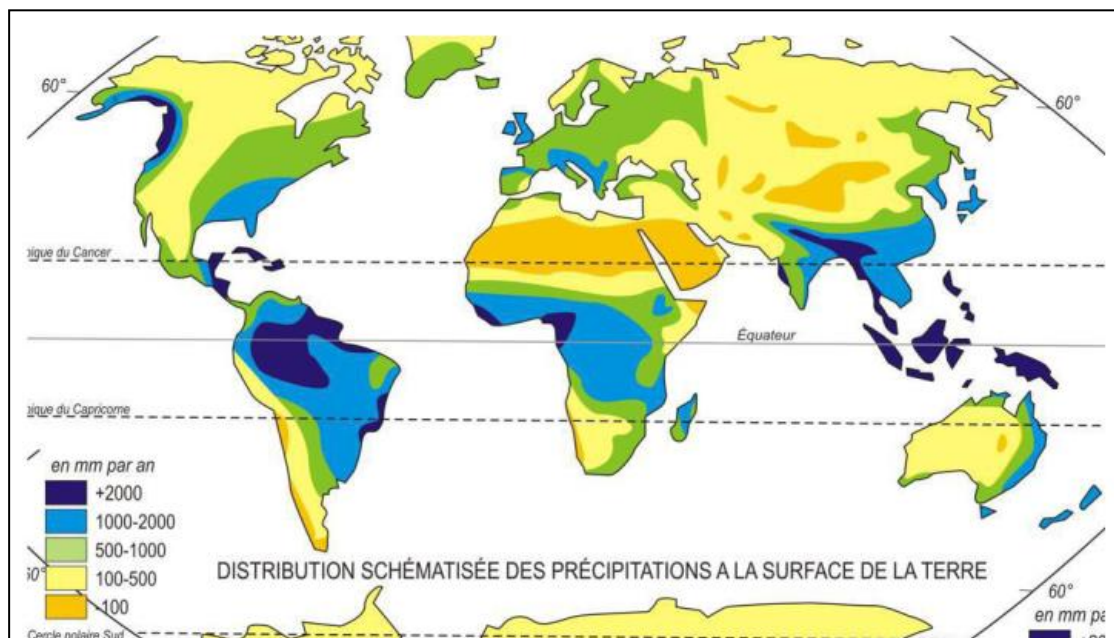


Figure 8 : Distribution schématisée des précipitations à la surface de la terre

II.4.2.6 Types de précipitation

- ✓ Précipitations journalières (P_j)
- ✓ Précipitations hebdomadaire (semaine).
- ✓ Précipitations décadaire (10 jours).
- ✓ Précipitations mensuelles (P_{mens})
- ✓ Précipitations saisonnières.
- ✓ Précipitations annuelles (P_{an})
- ✓ Précipitations interannuelles (P_{intan})

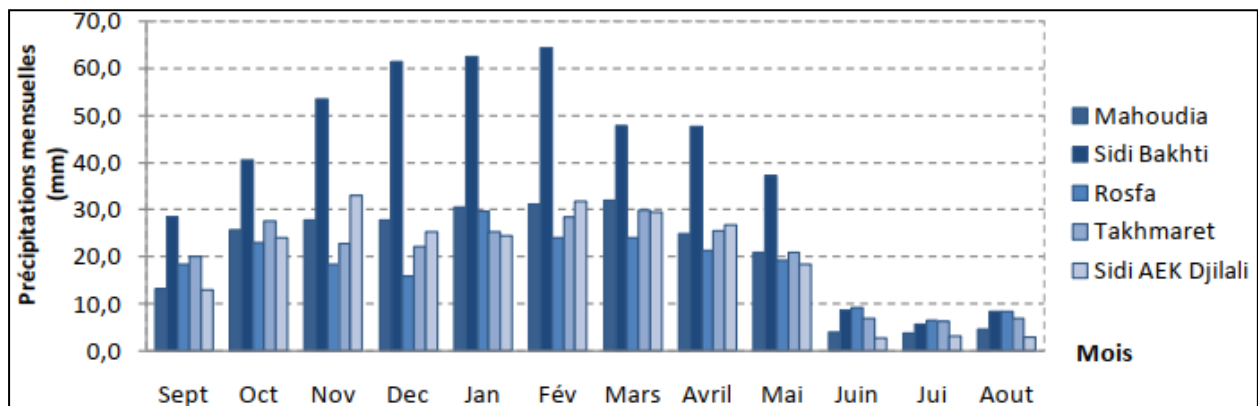


Figure 9 : Pluies mensuelles P_{mens} des stations du bassin versant de l'oued Mina

II.4.3 Le vent

II.4.3.1 Définition

Est le résultat de la différence de pression entre 02 zones voisines qui crée un mouvement d'air vers les basses pressions (Fig.10). Ce mouvement qui provoque le déplacement des masses d'air au dessus des surfaces et transporte ainsi les caractères climatiques.

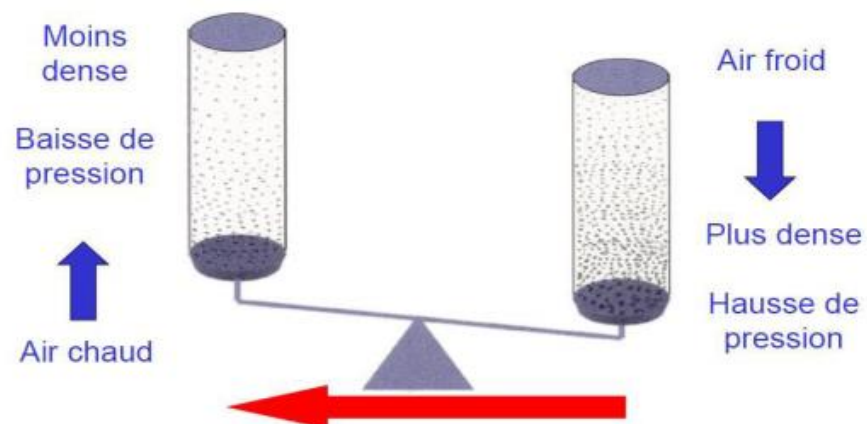


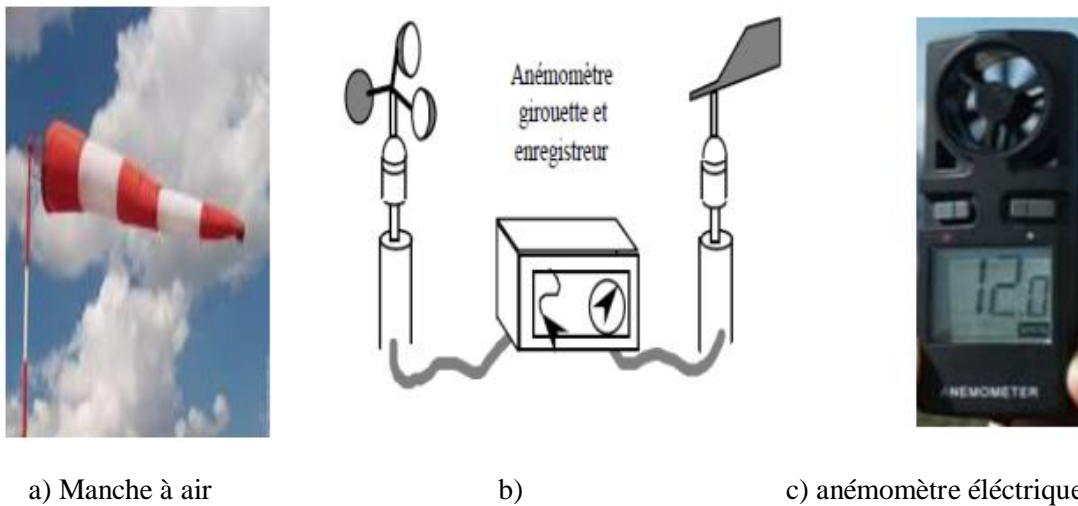
Figure 10 : Principe de création du vent

Exemple : en Algérie, les forces éoliennes ne dépassent pas les 120 km/h. Au Sud, Ils déplacent chaque année entre 60 et 200 millions de tonnes de poussières dans l'air. Ils soulèvent de 10 à 20 millions de tonnes de sable¹⁴. En été, le sirocco, un vent très sec et très chaud (dit le Chehili ou chili), se dirige du sud vers le nord.

II.4.3.2 Appareil et unité de mesure

Les appareils de mesure sont : l'anémomètre à 03 coupelles fournissant des indications suffisantes sur la vitesse moyenne journalière du vent. Sa direction est déterminée à l'aide d'une girouette ou d'une manche à air (Fig.11).

Les unités de mesure sont : Km.h^{-1} , m.s^{-1}



a) Manche à air

b)

c) anémomètre électrique

Figure 11 : appareils de mesure de la vitesse du vent

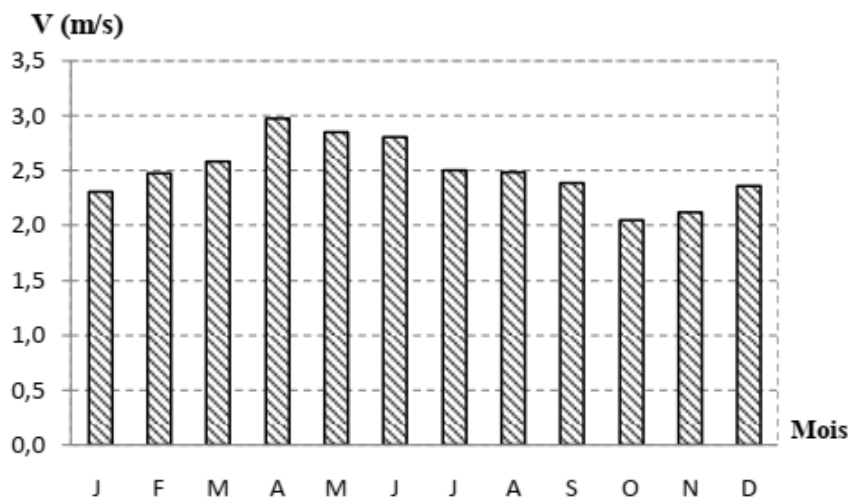


Figure 12 : Moyenne mensuelle des vitesses du vent moyen de la station X

II.4.4 L'évaporation

II.4.4.1 Définition

Est l'ensemble des processus physique de transformation de l'eau liquide et solide en vapeur. L'évaporation dépend essentiellement de 02 facteurs : la quantité de chaleur disponible (le rayonnement solaire) et la capacité de l'air à stocker de l'eau.

En général, on utilise le terme d'évapotranspiration qui prend en compte la combinaison de l'évaporation directe à partir des surfaces d'eau libre et des sols nus et de la transpiration végétale.

II.4.4.2 Processus physique de l'évaporation

C'est par le mouvement des molécules d'eau que débute l'évaporation. A l'intérieur d'une masse d'eau liquide, les molécules vibrent et circulent de manière désordonnée et ce mouvement est lié à la température ; plus elle est élevée, plus le mouvement est amplifié permettant à certaines molécules de s'échapper et d'entrer dans l'atmosphère.

On appelle évapotranspiration (ET) la combinaison de l'évaporation (E) de l'eau à partir des étendues d'eau liquides et du sol ainsi que la transpiration végétale (T) qui se produit dans certaines conditions climatiques (Fig13).

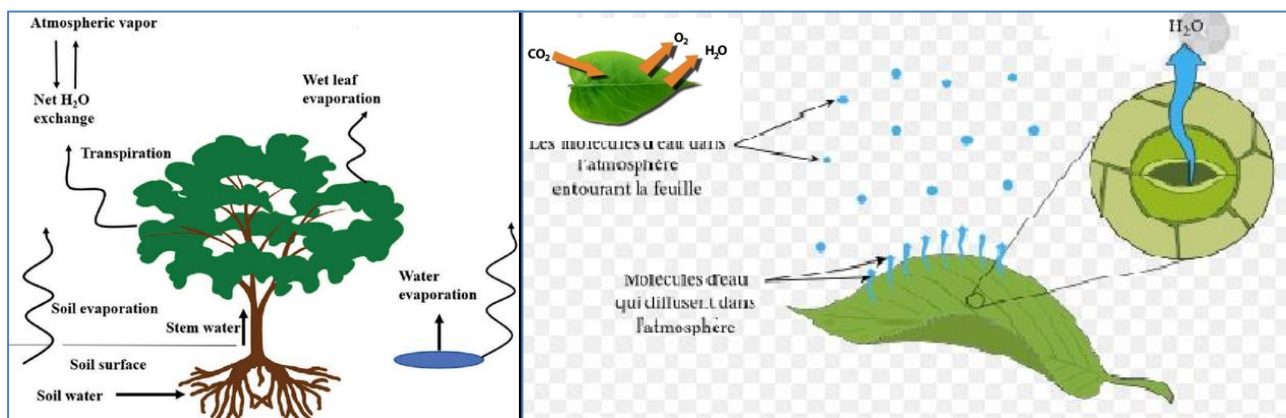


Figure 13 : Schématisation du processus d'évapotranspiration

II.4.4.3 Unité de mesure

L'unité de mesure de l'évapotranspiration est le mm/unité de temps (j, mois, année).

II.4.4.4 Appareils de mesure

a- L'évaporomètre de PICHE

Est un instrument météorologique qui permet de mesurer la quantité d'eau s'évaporant dans l'atmosphère pendant un intervalle de temps donné. Le PICHE permet aussi d'estimer l'évapotranspiration des plantes.

C'est une éprouvette renversée de 20 à 30 cm de long et de diamètre 12,4/14,8 mm, est fermée à sa base par une rondelle de papier buvard de 3 cm de diamètre retenu par une pince à travers lequel se fait l'évaporation. Le principe est l'évaporation progressive d'une colonne d'eau à travers une rondelle de buvard. L'évaporation à la surface externe du papier est constamment remplacée par l'eau provenant du tube ce qui laisse un espace vide du côté scellé. L'opérateur peut alors mesurer la perte de liquide par unité de temps en suivant la descente du liquide.

Les agriculteurs combinent le PICHE et un lysimètre (taux d'humidité dans le sol) pour déterminer les besoins en irrigation des sols en culture.

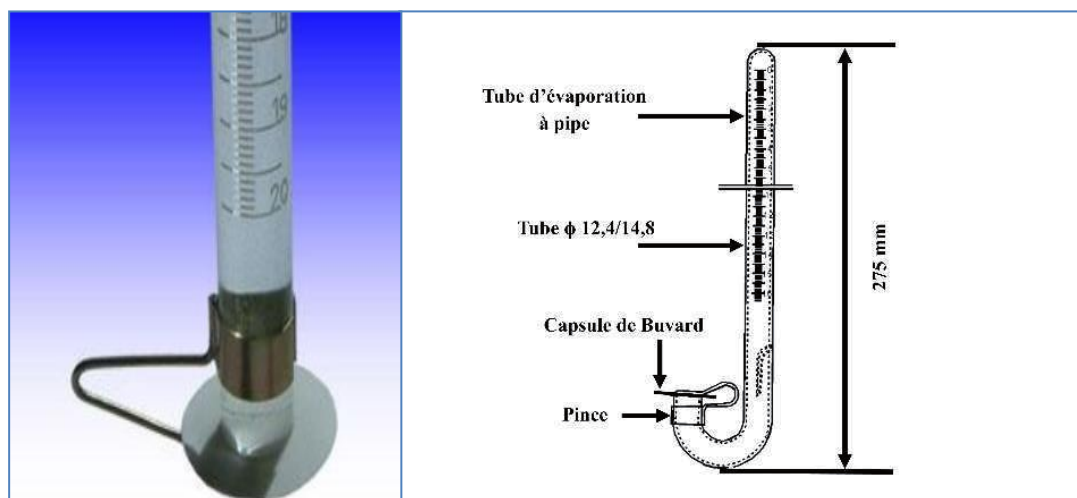


Figure 14 : Evaporomètre de PICHE

b- Les bacs d'évaporation

b-1 Le bac COLORADO

Du nom de la station expérimentale du COLORADO qui a recommandé son emploi agricole. Le bac a une section de 1 m² et rempli d'eau et ayant une profondeur de 0,5 m dont le niveau est établi chaque jour (fig.15). Il est enterré de

50 cm. Cette méthode donne une mesure directe assez juste de l'évapotranspiration lorsque le sol est totalement couvert par la végétation et régulièrement arrosé.

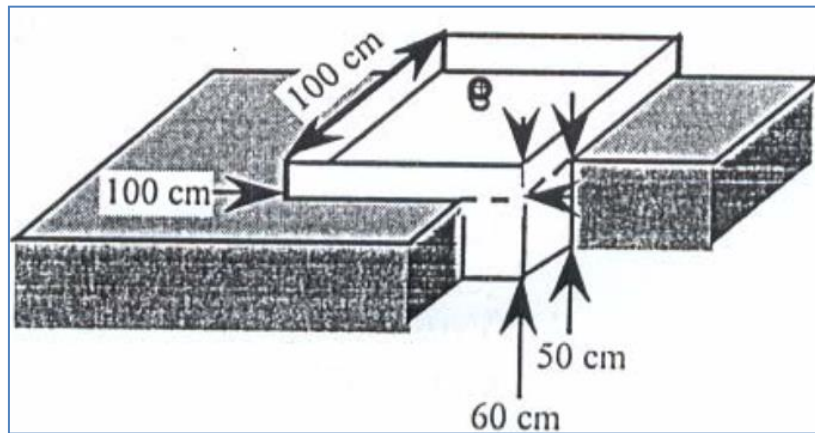


Figure 15 : Bac d'évaporation COLORADO

b-2 Le bac classe A

De forme circulaire de diamètre de 121,9 cm, haut de 25,4 cm et posé sur un support en bois à 15 cm au dessus du sol. On maintient une épaisseur d'eau de 17,5 à 20 cm (Fig.16). On applique un coefficient de corrélation entre l'évaporation au bac classe A et l'évaporation d'une retenue d'eau.

$$E_{retenue} = 1,664 (E_{bacA})^{0,602}$$

Formule de PAYAUD (mm/j)

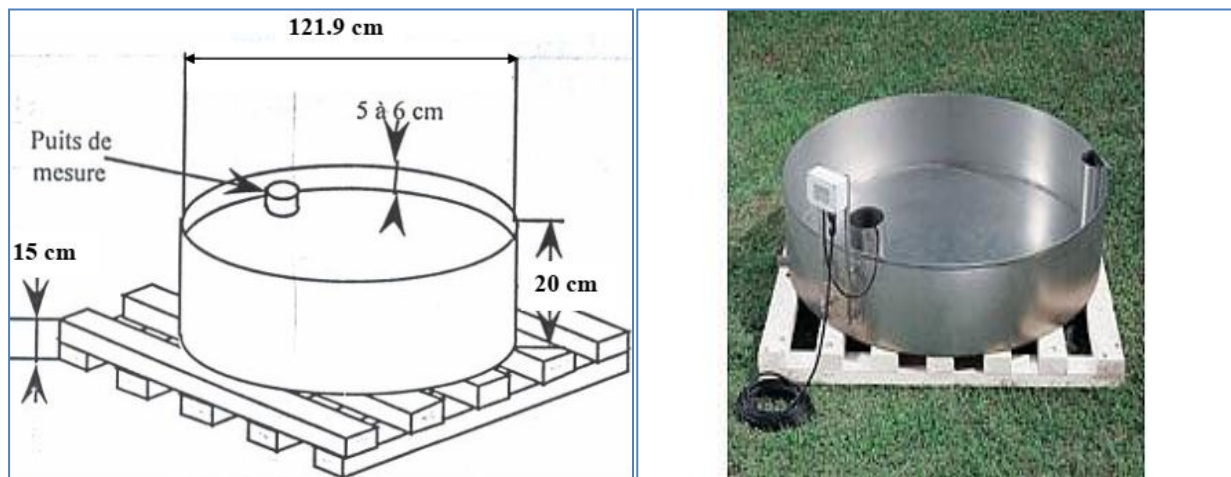


Figure 16 : Bac d'évaporation classe A

b-3 Le limnimètre

Le lac du barrage est l'objet d'intenses évaporations où on mesure la baisse de hauteur d'eau à l'aide d'une échelle graduée qui s'appelle le limnimètre.



Figure 17 : Echelle limnimétrique

b-4 Les cases d'évapotranspiration

Ils sont utilisés par les stations de recherche bioclimatiques. Ces cases reproduisent avec exactitude la réalité. Il s'agit d'un cylindre de terre contenu dans un bac métallique affleurant la surface du sol dans lequel est implantée la même végétation qu'à la périphérie. La terre du bac étant évidemment la même que celle du champ. Ce bac est monté sur un dispositif de pesée avec transmission des données dont le bac subit des variations de poids en fonction de la pluviométrie et de l'évaporation ; l'eau de percolation est également recueillie.

II.4.4.5 Types d'évapotranspiration

On peut distinguer 03 types d'évapotranspiration :

- ❖ **L'évapotranspiration potentielle (ETP)** : est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau et dont le couvert végétal qui est le gazon est réparti régulièrement en pleine période de croissance (Fig 18). Elle est dite aussi l'évapotranspiration de référence ETo.

- ❖ **L'évapotranspiration réelle (ETR)** : est la quantité d'eau réellement évaporée du sol et transpirée par le couvert compte tenu de l'eau disponible.
 Si l'eau est disponible en excès alors $ETR=ETP$
 Si l'eau est insuffisante alors $ETR<ETP$
- ❖ **L'évapotranspiration maximale (ETM)** : elle est fonction du stade végétatif de la culture, lorsque l'eau est en quantité suffisante et que les conditions agronomiques sont optimales (sol fertile,...) (Fig.18)

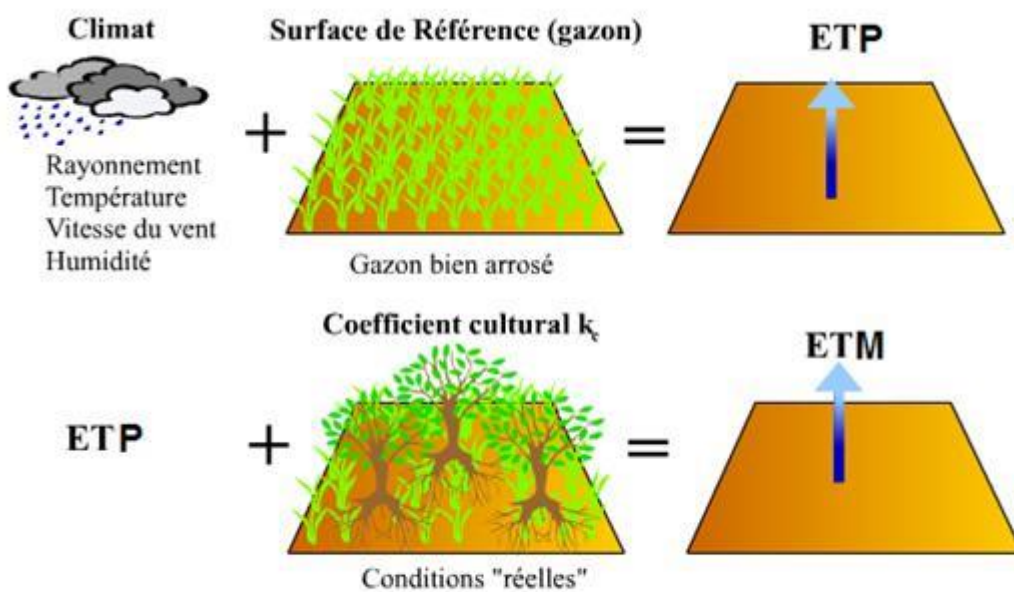


Figure 18 : schématisation simplifiée de l'ETP et ETM (FAO, 1998)

II.4.4.6 Formules de calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Plusieurs formules permettent de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP à partir des mesures climatologiques.

a- Formule de Turc

Elle dérive de la simplification de la formule de Penman dont son expression est la suivante :

$$ETP = 0,4 \cdot \frac{t}{t+15} \cdot (I_g + 50) \cdot k$$

Avec :

ETP : L'évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

t : Température moyenne mensuelle (°C).

I_g : radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (cal/cm²/j).

k : coefficient en fonction de l'humidité relative *h_r* Si *h_r* ≥ 50% alors *k*=1

$$h_r < 50\% \text{ (généralement sous nos climat)} \quad k = 1 + \frac{50 - h_r}{70}$$

b- Formule de THRONTHWAITE

Elle s'écrit sous l'expression suivante :

$$ETP = 16. \left(10. \frac{t}{I} \right)^a . F(\lambda)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514},$$

$$a = 0,49 + (1,79 \times 10^{-2}) \cdot I - (7,71 \times 10^{-5}) \cdot I^2 + (6,75 \times 10^{-7}) \cdot I^3$$

Avec :

ETP : L'évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

t : Température moyenne mensuelle (°C).

i : indice thermique mensuel.

I : indice thermique annuel.

a : fonction complexe de l'indice *I*

F(λ) : Facteur correctif qui est fonction de la latitude du lieu et du mois considérés
(ci-joint le tableau des valeurs de *F(λ)*).

c- Formule de Penman

Elle est la plus complète et la plus complexe, est basée sur la notion du bilan énergétique dont son expression est comme suite :

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{cste}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

$$\Delta = \frac{4098 e_{sat}(T)}{(T+237,3)^2}, \gamma = 0,665 \cdot 10^{-3}, P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26}$$
$$e_{sat}(T) = 0,6108 e^{\frac{17,27 T}{T+237,3}}$$

Avec :

ET_o : évapotranspiration de référence (mm/j).

R_n : rayonnement global en MJ/m²/j

G : flux de chaleur dans le sol par conduction en MJ/m²/j.

Δ et γ : constante en Kpa/°c

C_{ste} = 900 pour un pas de temps journalier et 37 pour un pas de temps horaire.

T : température en °c

P : pression atmosphérique en Kpa.

z : l'altitude par rapport la mer (m)

e_s = e_{sat} : la pression de vapeur saturante (kpa).

e_a : pression de vapeur actuelle en Kpa e_a = humidité relative.e_s /100

u₂ : vitesse du vent à 2m du sol en (m/s)

Ayant la vitesse du vent à 10m du sol nous utiliserons la formule suivante, avec z l'altitude à laquelle la vitesse est mesurée (ici 10 mètres).

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)}$$

II.4.5 L'humidité atmosphérique

II.4.5.1 Définition

La teneur en humidité influence fortement les êtres vivants. Lorsque l'air ne contenant aucune trace d'humidité, il est appelé "air sec", à l'inverse un air contenant 100 % d'humidité est appelé "air saturé".

II.4.5.2 Importance

- ✓ Demande évaporative : gradient d'humidité entre le sol et l'air.
- ✓ Ouverture stomatique et production des plantes.
- ✓ Absorption du rayonnement, effet de serre.

- ✓ L'évaporation de l'eau utilise presque 76% de l'énergie du rayonnement solaire.

II.4.5.1 L'humidité absolue

Est la quantité en grammes de vapeur d'eau [g vapeur/kg air sec] présente dans un volume d'air sec donné (1m^3) et sa valeur reste constante même si la température de l'air varie en restant supérieure à la température du point de rosée (c'est la température où la vapeur d'eau contenue dans l'air commence à se condenser dans l'air). La vapeur contenue dans une masse d'air est invisible, mais si on sature d'humidité de l'air sec au-delà d'une certaine limite on voit apparaître du brouillard et de la condensation, l'eau forme alors des gouttelettes en suspension dans l'air, on dit alors que l'air est saturé.

II.4.5.2 L'humidité relative (*Hr*)

Elle s'exprime en pourcentage (%) et correspond au rapport, entre la quantité d'eau que contient l'air (humidité absolue) et la quantité maximale qu'il peut contenir pour une température donnée et ceci avant de se condenser. Les variations de la température influencent directement l'humidité relative, de sorte que l'humidité relative baisse quand la température s'élève et vis versa.

$$Hr = 100 \frac{e_a}{e(T_a)}$$

e_a : tension de vapeur (pression partielle de la vapeur d'eau).

$e(T_a)$: tension de vapeur saturante à T_a

$$e(T) = 6.1078 * \exp\left(17.269 * \frac{T}{237.3 + T}\right)$$

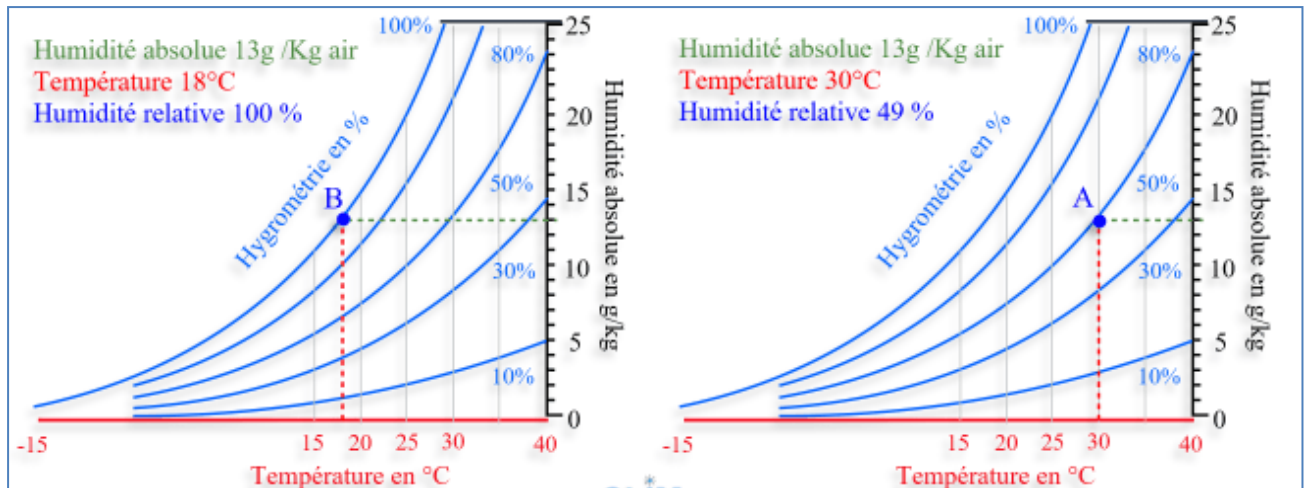


Figure 19 : variation de l'humidité en fonction de la température

II.4.5.3 Appareil de mesure

Plusieurs types d'appareils s'appelant l'hygromètre sont utilisés pour connaître l'humidité relative de l'air, à savoir :

a- Psychromètre à deux thermomètres

Le psychromètre comporte deux thermomètres, que l'on place dans un courant d'air, un thermomètre est maintenu au sec ; il indique la température sèche de l'air, l'autre thermomètre est entouré d'un coton hydrophile humide pour indiquer la température humide (Fig.20). La différence de ces deux températures permet de connaître l'humidité relative de l'air considéré.

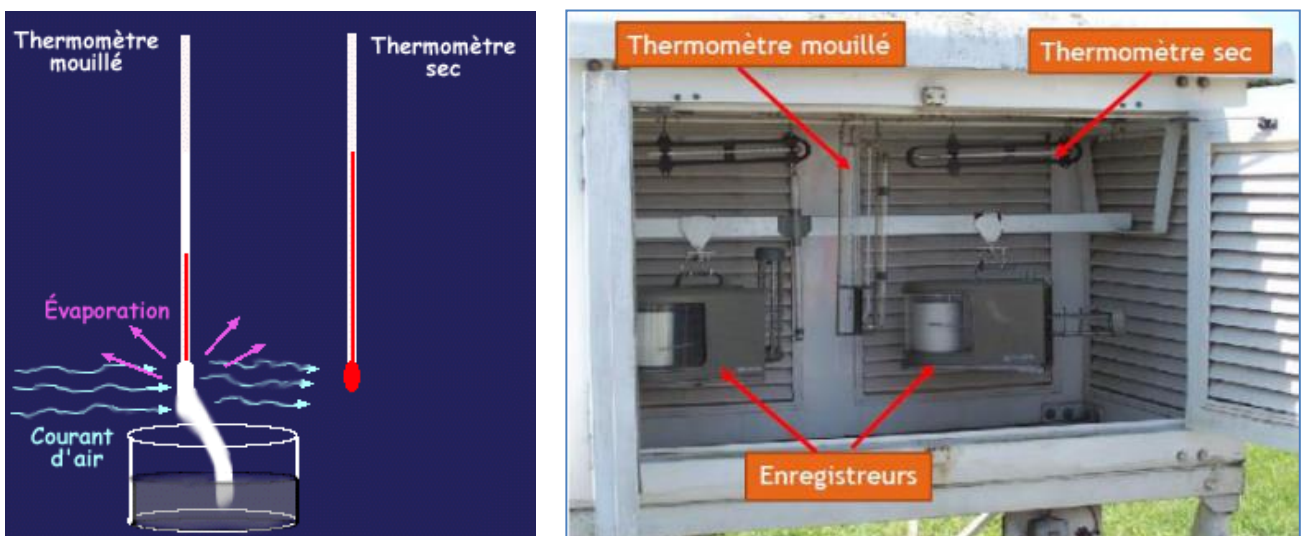


Figure 20 : Psychromètre à deux thermomètres

À cause de l'évaporation, l'eau qui reste dans le coton se refroidit et le thermomètre indique une température plus basse que le thermomètre sec. Plus l'air est sec, plus il y a d'eau qui s'évapore du coton et plus la température du thermomètre mouillé est basse. La différence de température entre les deux thermomètres est donc d'autant plus grande que l'air est sec. Au contraire, si l'air est très humide, peu d'eau s'évaporera du coton et la température du thermomètre mouillé diminuera moins. Lorsque l'air est saturé (100 % d'humidité relative), il n'y a pas d'évaporation et le thermomètre mouillé indique la même température que le thermomètre sec.

b- Hygromètre à cheveux

Le principe repose sur le fait que le taux d'humidité dans l'air provoque une variation de la longueur de cheveux qui est transmise par un mécanisme à un cadran à aiguille (cheveux humains = élément sensible).

c- Hygromètre capacitif

L'élément sensible de cet hygromètre est un condensateur dont le diélectrique est constitué d'un polymère très hygroscopique de quelques micromètres d'épaisseur qui absorbe les molécules d'eau contenues dans l'air. Les informations de cette sonde sont converties en signaux numériques, puis affichés sur un écran digital. La performance de ce type d'appareil est bonne (2% erreur).

d- Hygromètre résistif

Le capteur de résistance au chlorure de lithium est utilisé qui a la propriété d'avoir une grande résistance lorsqu'il est sec et une faible résistance lorsqu'il est humide. Il est moins fiable que l'hygromètre capacitif ($\pm 5\%$).

II.5 La station automatique de mesure

Un ensemble d'instrument mesurant les éléments climatiques en un milieu donné dans des conditions uniformes et bien définies s'appelle **une station climatologique**. Cette station peut être automatique, conçue spécialement pour être installée en pleine nature ou dans les zones difficilement accessibles. Les principaux paramètres climatiques sont mesurés et enregistrés en respectant les normes de l'office mondial de météorologie (OMM) comme la température, l'humidité relative, la vitesse et direction du vent, les précipitations ou encore le rayonnement solaire et le rayonnement ultraviolets. De plus, la station est capable de calculer quelques

paramètres agro climatiques, tels que l'ETP, le point de rosée etc. Les données relevées par la station météorologique sont stockées localement dans un premier temps, un simple appel téléphonique sur le réseau GSM ou un transfert par satellite permet la récupération de l'intégralité des données et leur stockage dans un ordinateur.



Figure 20 : Station climatique automatique

Un ensemble de station mesurant les éléments climatiques des diverses régions d'un même pays s'appelle **un réseau climatologique**. En Algérie, le réseau météorologique est géré par l'office national de météorologie (ONM).

Conclusion

Les observations météorologiques archivées sur le plus grand nombre possible de sites géographiques (en surface et en altitude), et d'années pour chaque site, constituent le matériel statistique grâce auquel la climatologie étudie l'état physique moyen de l'atmosphère et ses variations dans le temps et dans l'espace