

**Département des Sciences Géologiques**  
**Programme des unités optionnelles**  
**L3 Semestre : 6 « Hydrogéologie »**  
**Enseignant : Mr BOULIFA**

**Unité d'enseignement UEO64: Hydrologie et climatologie**

**Matière 1: O641 Climatologie**

L'objectif de cet enseignement est d'acquérir des connaissances **des facteurs climatiques** : précipitation, température, humidité, vent... et les **différentes méthodes de mesure et d'estimation des composantes du cycle hydrologique**.

**Chapitre 1 : L'atmosphère**

Notre système solaire compte 8 planètes. La plupart d'entre elles, dont la Terre, sont entourées d'une enveloppe de gaz en mouvement permanent : **une atmosphère**.

Trois éléments caractérisent notre atmosphère et expliquent la plupart de ses phénomènes :

sa composition, sa pression et sa température.

**La planète bleu** est très particulière. Tous les organismes vivants se trouvent à l'intérieur d'une **mince couche** (d'environ 15 km d'épaisseur)

- **La biosphère** composée d'air, d'eau et de terre
- **L'atmosphère** (l'air)
- **L'hydrosphère** (l'eau)
- **La lithosphère** (le sol).

L'atmosphère sert de bouclier contre les rayonnements solaires.

Elle protège la Terre, nous devons la protéger.

**L'atmosphère** c'est l'enveloppe gazeuse qui entoure la Terre. Elle est composée de **quatre couches** (Fig. 1) :

- La troposphère qui se situe de 0 à 10 km (13 Km)
- La stratosphère qui se situe de 10 à 50 km (couche d'ozone : O<sub>3</sub>).
- La mésosphère qui se situe de 50 à 80 km.
- La thermosphère qui se situe de 80 à environ 450 à 650 km.

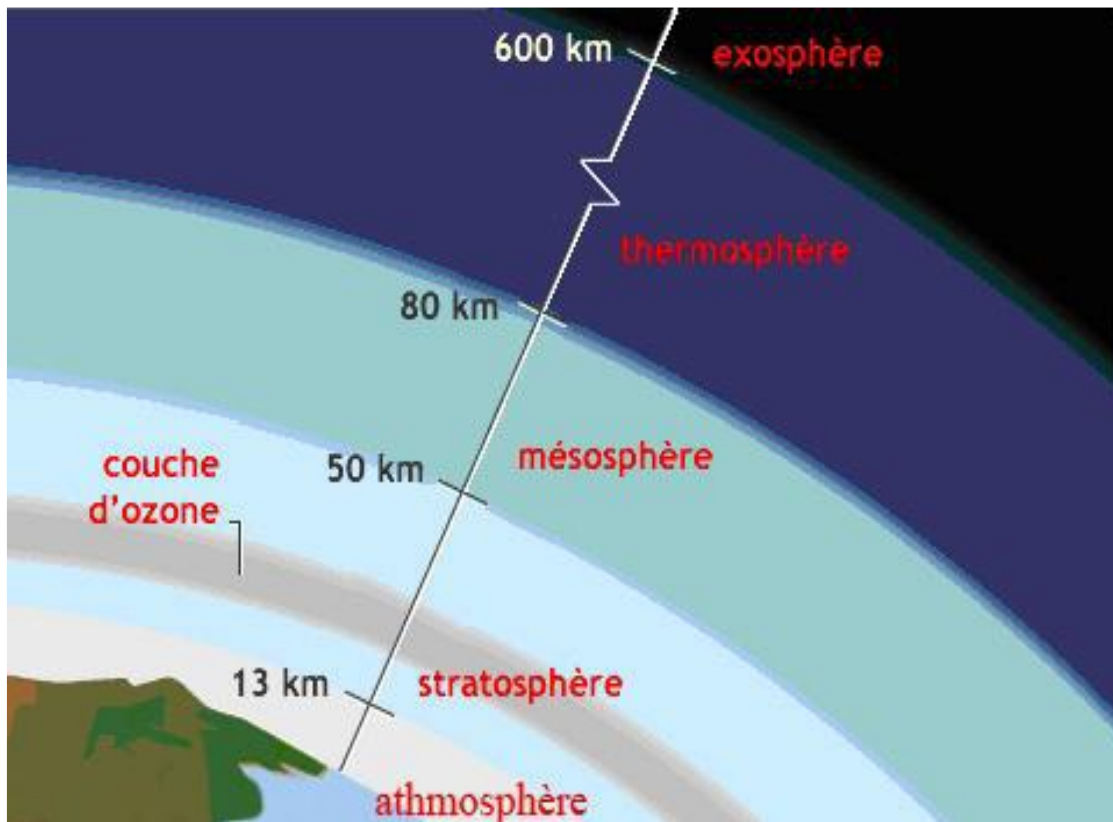
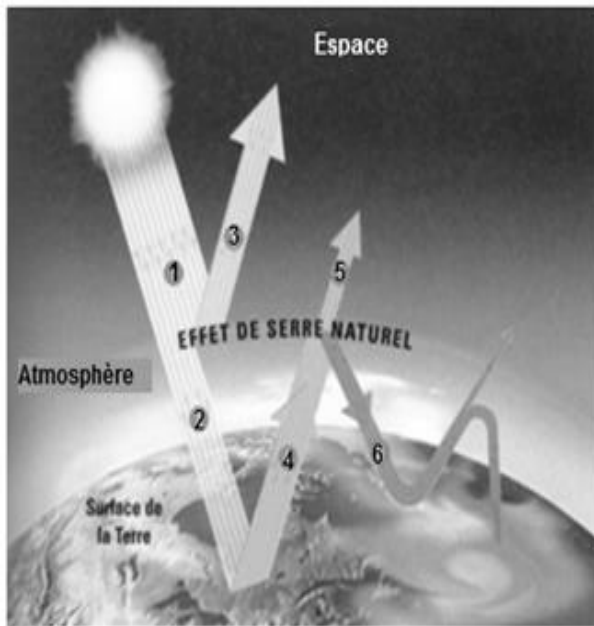


Fig. 1 Différentes couches de l'atmosphère (qui entourent la Terre)

L'atmosphère joue un rôle essentiel dans l'apparition de phénomènes hydrologiques. L'atmosphère constitue un stock d'air et d'eau (vapeur, liquide, solide).

La terre est soumise à des échanges continuels d'énergie avec l'espace.

L'atmosphère constitue un **collecteur de chaleur** provenant soit du **soleil**, soit du **sol**



- 1 La Terre reçoit de l'énergie solaire
- 2 Une partie du rayonnement solaire est absorbée par l'atmosphère et atteint la surface terrestre
- 3 Une partie du rayonnement solaire est réfléchi par l'atmosphère vers l'espace
- 4 L'énergie du rayonnement solaire réchauffe le sol. Celui-ci émet des rayons infrarouges (chaleur) vers l'atmosphère
- 5 Une partie des rayons infrarouges traverse l'atmosphère et atteint l'espace
- 6 Le reste des rayons infrarouges est emprisonné dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre

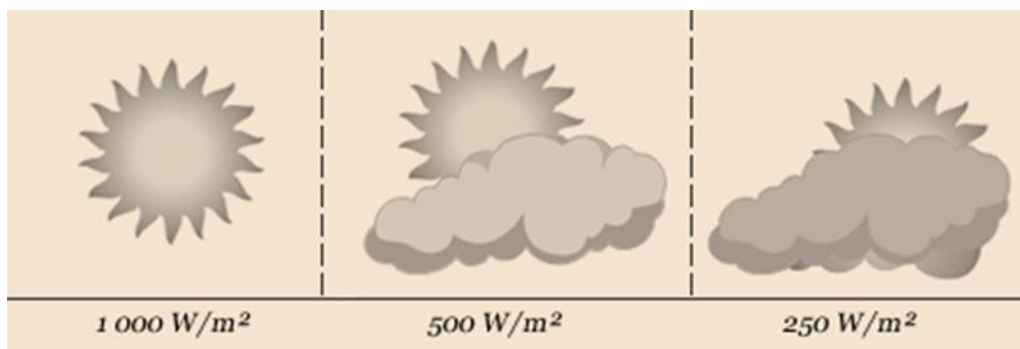
Fig. 2 L'atmosphère collectrice de chaleur.

Les échanges varient d'une façon très importante en fonction du temps (à l'échelle : saison, jour) et du lieu.

Ces différences provoquent des mouvements importants des masses d'air (et d'eau).

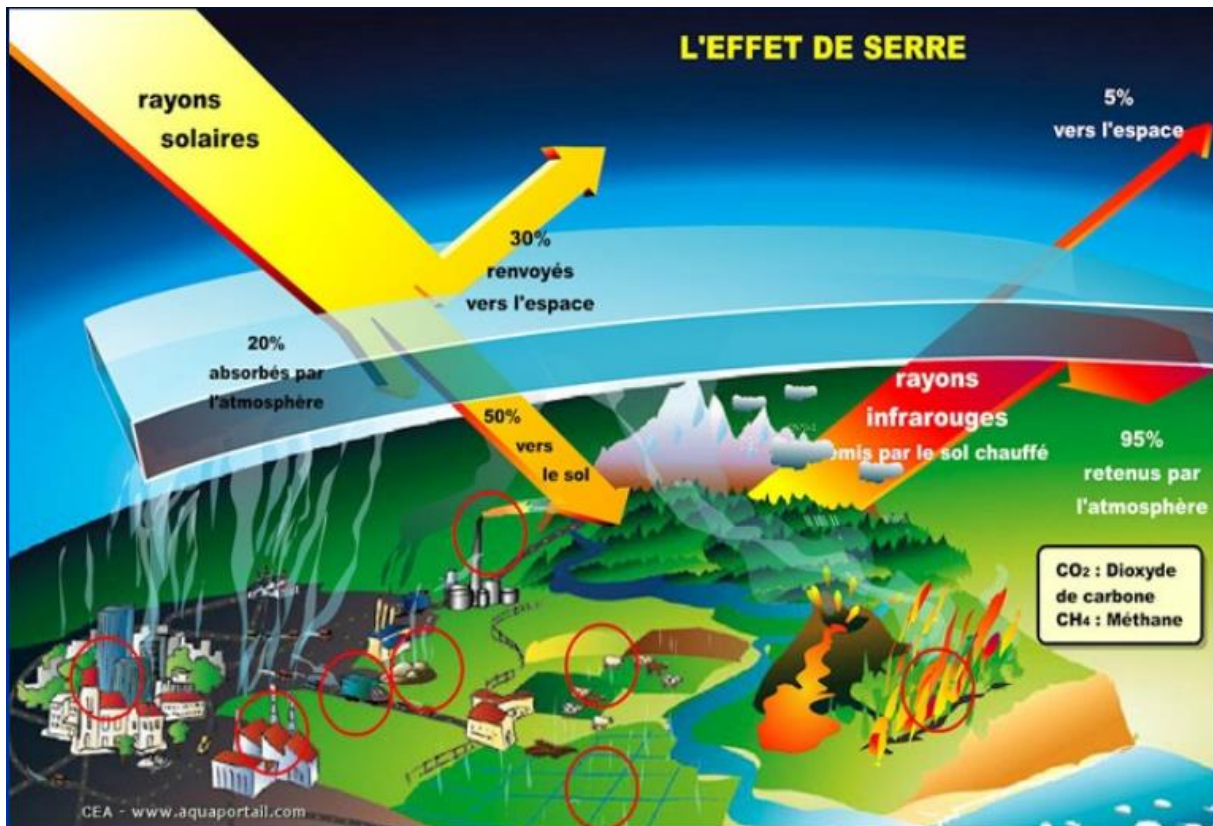
L'atmosphère joue donc un rôle de transport d'eau. Les vitesses varient de quelques dizaines de km/h, au sol, à plus de 400 km/h en altitude.

1. Puissance émise par le soleil : 63 500 kW/m<sup>2</sup>.
2. Constante solaire : 1 370 W/m<sup>2</sup>.
3. Rayonnement réfléchi.
4. Rayonnement absorbé et diffusé.
5. Rayonnement solaire à la surface de la Terre (max : 1 000 W/m<sup>2</sup>).



**Puissance solaire pour différents ciels.**

## L'EFFET DE SERRE



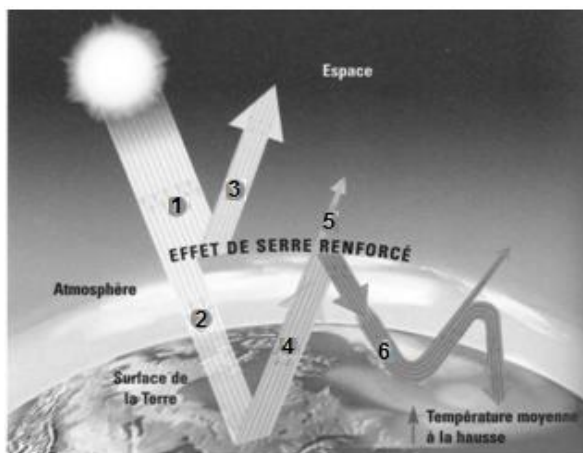
*Effet de serre*

### Effet de serre naturel :

Ce phénomène est **naturel** (Fig. 2), c'est grâce à lui que notre atmosphère joue le rôle d'une véritable serre de jardin, et permet ainsi de conserver des températures favorables au développement de la vie (environ 15°C sur Terre en moyenne).

### Effet de serre renforcé :

L'effet de serre renforcé (Fig.3) est le réchauffement accéléré de l'atmosphère dû à la présence d'un surplus de GES. Les GES sont les mêmes gaz que pour l'effet de serre naturel soit le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'oxyde de diazote (N<sub>2</sub>O) mais en plus grande quantité. Il provoque une augmentation progressive de la température de la surface de la Terre en retenant plus longtemps la chaleur.



- 1 La Terre reçoit de l'énergie solaire
- 2 Une partie du rayonnement solaire est absorbée par l'atmosphère et atteint la surface terrestre
- 3 Une partie du rayonnement solaire est réfléchié par l'atmosphère vers l'espace
- 4 L'énergie du rayonnement solaire réchauffe le sol. Celui-ci émet des rayons infrarouges (chaleur) vers l'atmosphère
- 5 Une plus petite partie des rayons infrarouges traverse l'atmosphère et atteint l'espace
- 6 Davantage de rayons infrarouges sont emprisonnés et la température moyenne augmente

Fig.3. Effet de serre renforcé

## L'atmosphère collectrice de chaleur

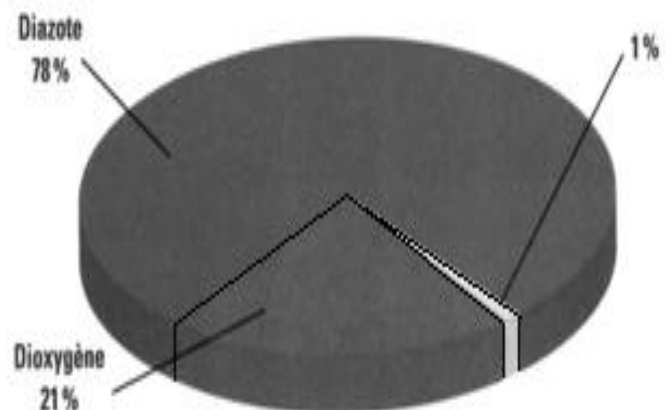
Les rayons infrarouges ne repartent pas dans l'espace à cause des gaz présents dans l'atmosphère. Ainsi, l'effet de serre naturel (GES) est produit. Une partie de ces rayons traverse l'atmosphère vers l'espace. Une autre partie reste piégée par les gaz atmosphériques. Il en résulte un échauffement de l'atmosphère : c'est l'effet de serre. L'ozone (O<sub>3</sub>), un gaz particulier, est une molécule gazeuse composée de 3 atomes d'oxygène. L'ozone peut être utile et nuisible tout dépendant à quelle hauteur il est dans l'atmosphère.

On notera aussi le trou dans la couche d'ozone qui est l'amincissement de la couche d'ozone dû à la présence de composés halogénés comme les CFC ou chlorofluocarbures. Les deux principaux dérivés des CFC sont les Halons et les HCFC

## Composition de l'atmosphère

En absence d'eau, on admet que la composition moyenne la plus probable est la suivante :

Eléments	Volume %	Environ %
N	78,09	78 %
O	20,95	21 %
Ar	0,93	1 %
CO <sub>2</sub>	0,03	
Ne	1,8.10 <sup>-3</sup>	
He	5,2.10 <sup>-4</sup>	
Kr	1,0.10 <sup>-4</sup>	
H	5,0.10 <sup>-5</sup>	
Xe	0,8.10 <sup>-6</sup>	



Cette composition est quasiment constante jusqu'à 85 km d'altitude, sauf pour l'ozone qui est surtout présent entre 30 et 40 km d'altitude et qui est responsable de la remontée en température dans la stratosphère où il absorbe le rayonnement solaire.

### **Le rayonnement Terrestre**

La Terre absorbe l'énergie du Soleil et émet de la chaleur vers l'espace sous forme de radiation infrarouge. La différence entre le flux solaire absorbé (qui chauffe la Terre) et le flux d'infrarouges émis vers l'espace (qui la refroidit) peut être calculée pour les différents points de la surface de la Terre.



### **- Circulation générale dans l'atmosphère**

L'air se raréfiant en altitude, la limite supérieure de l'atmosphère est assez imprécise. L'atmosphère terrestre s'estompe progressivement entre 500 et 800 km d'altitude.

. L'atmosphère contient de nombreuses poussières ainsi que des particules solides ou liquides en suspension (aérosols). Ces particules (noyau) permettent la formation des nuages. C'est dans cette première couche au-dessus du sol que se produisent les phénomènes météorologiques : vents, nuages, pluies, tornades, cyclones, ouragans...

### **- Formation des nuages**

La formation des précipitations nécessite la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique ; la saturation étant une condition essentielle à tout déclenchement de la condensation.

Pour qu'il y ait précipitations il faut que les gouttelettes ou les cristaux composant les nuages (les hydrométéores) se transforment en gouttes de pluie susceptibles de tomber sous l'effet de leur poids.

## Les Précipitations

### Quelques définitions

**Précipitations :** Toutes les eaux météoriques (hydrométéores) qui tombent sur la surface de la terre (après condensation des nuages), tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle).

**Pluie :** Eau produite par la condensation des nuages (sous l'effet du froid) qui tombe de l'atmosphère en gouttes sur la terre.

Il existe plusieurs types de pluies : Pluies fines, Pluies d'orage, - Pluies acides (pollutions industrielles : nuisent à la végétation)

**Bruine** ou **Crachin** : Petite pluie fine à gouttes d'eau de taille petite (0,2 à 0,5 mm) qui tombent très lentement et paraissent flotter dans l'air, fréquente dans les régions côtières et dans les vallées.

**Neige** : Précipitations atmosphériques constituées de particules de glace ramifiées contenant de l'air, généralement cristallisées.

**Grésil** : Précipitation de pluie totalement gelée les grains de glace ne dépassent pas 5 mm

**Grêle** : Précipitations atmosphériques solides (billes disjointes de glace) dont le diamètre peut varier de 5 à 50 mm

**Météores** : Le tonnerre, les éclairs, la pluie, la neige, la grêle sont des Météores.

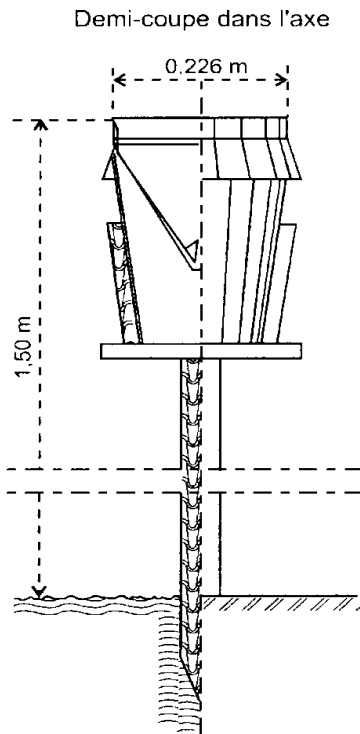
**Averse** : Pluie soudaine et abondante généralement très supérieure à la moyenne du jour ou du mois

**Isohyètes** : Courbes d'égales hauteur de précipitations

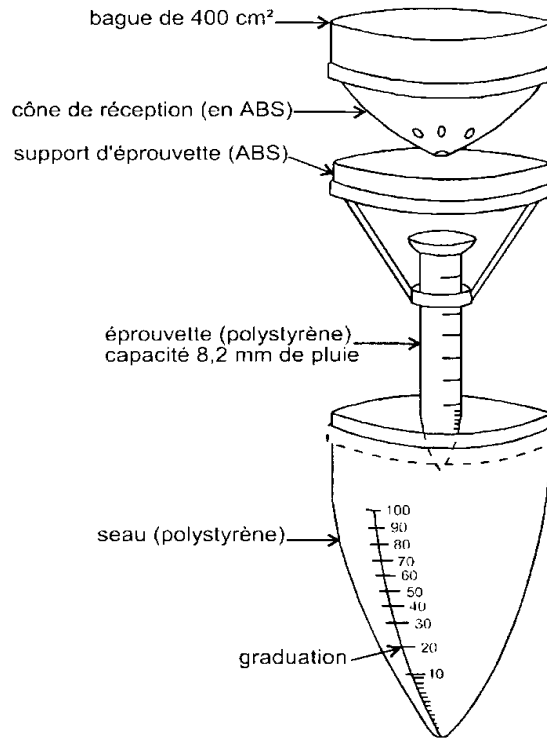
**Crue** : Montée du niveau d'un cours d'eau ou d'un lac au-delà des limites habituelles (débordement...)

# MESURE DES PRECIPITATIONS

## Les pluviomètres manuels



Pluviomètre "Association"



Pluviomètre SPEIA (Météo-France)

## Pluviomètres totalisateurs

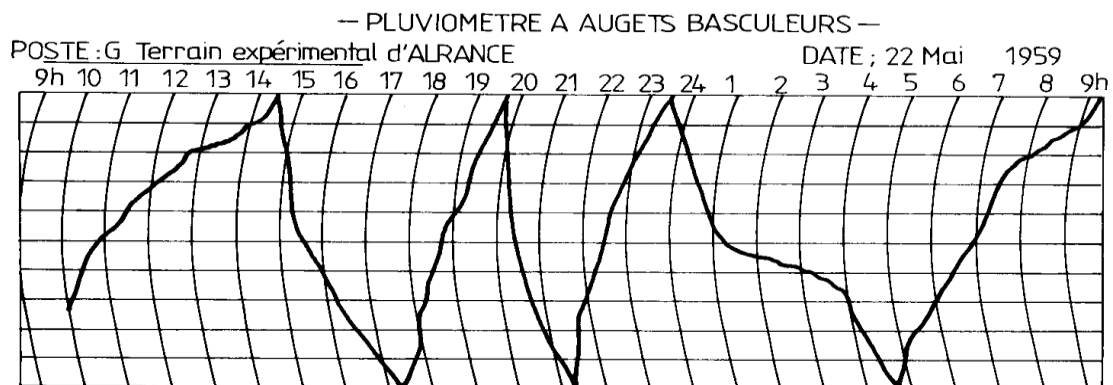
- Les pluviomètres totalisateurs sont généralement fabriqués par les services techniques des services hydrologiques nationaux.
- Un modèle relativement répandu peut être fabriqué à l'aide d'un fût de 200 litres sur lequel a été soudée ou fixée une bague de pluviomètre.
- L'eau transitant par l'impluvium de cette bague s'accumule dans le fût qui est vidangé lors du passage de l'observateur à l'aide d'un robinet.
- Le volume des quantités d'eau extraites est mesuré et rapporté à la superficie de la bague. Par exemple :
- Pour une bague de 1000 cm<sup>2</sup>, un litre représente 10 mm
- Pour une bague de 400 cm<sup>2</sup>, un litre représente 25 mm
- Les pluviomètres totalisateurs ne doivent pas être négligés. Ils permettent d'obtenir des informations en un point sur les pluies cumulées entre deux



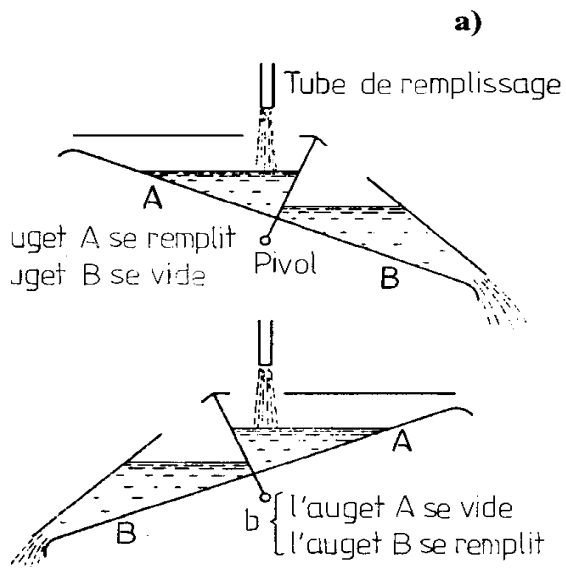
relevés. Ces informations peuvent considérablement améliorer la connaissance de la pluviométrie dans des régions difficiles d'accès

## LES PLUVIOGRAPHES

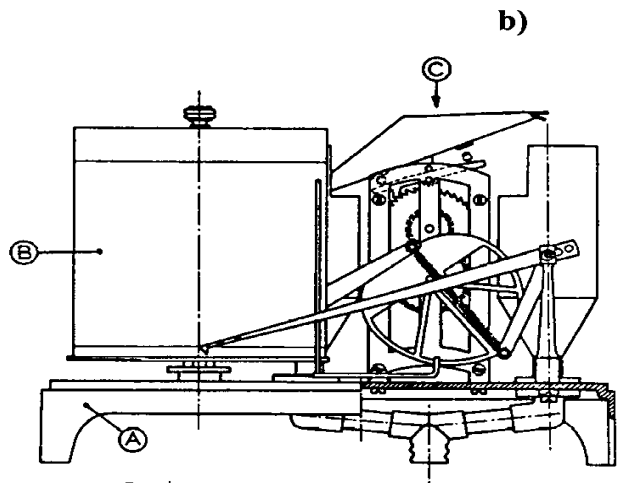
Avec un pluviographe enregistreur, on obtient des graphiques, nommés pluviogrammes, ou des enregistrements sur mémoires magnétiques. On peut ainsi étudier l'intensité de la pluie sur différents intervalles de temps, pratiquement d'une minute à plusieurs heures et déterminer le total des précipitations sur une durée donnée (par exemple la journée de 7 heures à 7 heures le lendemain).



# PLUVIOGRAPHE A AUGETS BASCULEURS

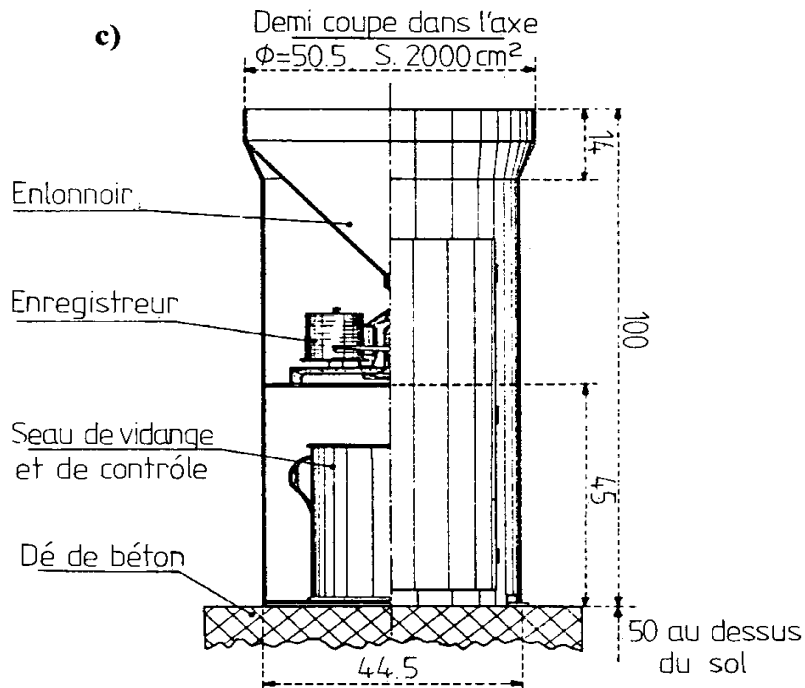


SCHEMA DE PRINCIPE



(A) Socle  
 (B) Cylindre enregistreur  
 (C) Mechanisme pluviométrique à augets

ENREGISTREUR DU PLUVIOGRAPHE  
 TYPE R 208

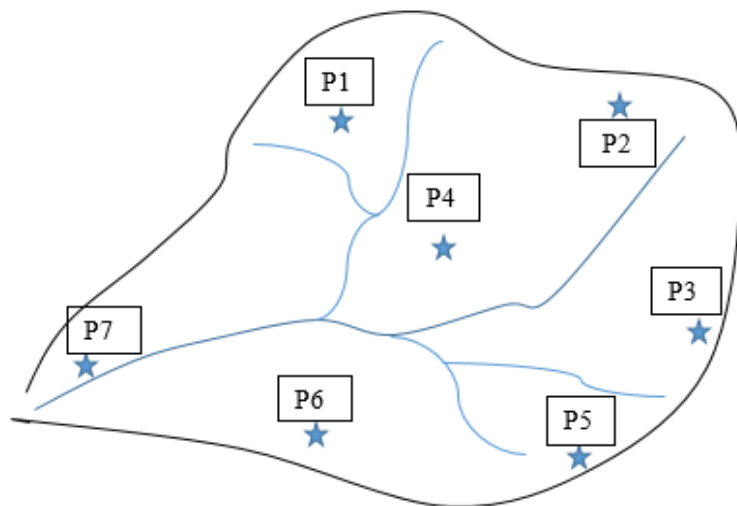


## **CALCUL DE LA PLUIE MOYENNE SUR UN BASSIN VERSANT**

### **CALCUL DE LA PLUIE MOYENNE, PAR LA METHODE ARITHMETIQUE.**

S'applique lorsque la pluie et les postes sont répartis de façon relativement homogène sur le bassin, et quand la topographie n'est pas trop accidentée, on applique une simple moyenne arithmétique des précipitations de tous les postes pluviométriques (si les conditions ne sont pas satisfaites, la méthode n'est pas valable).

$$P = \frac{\sum P_i}{n}$$
$$= \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

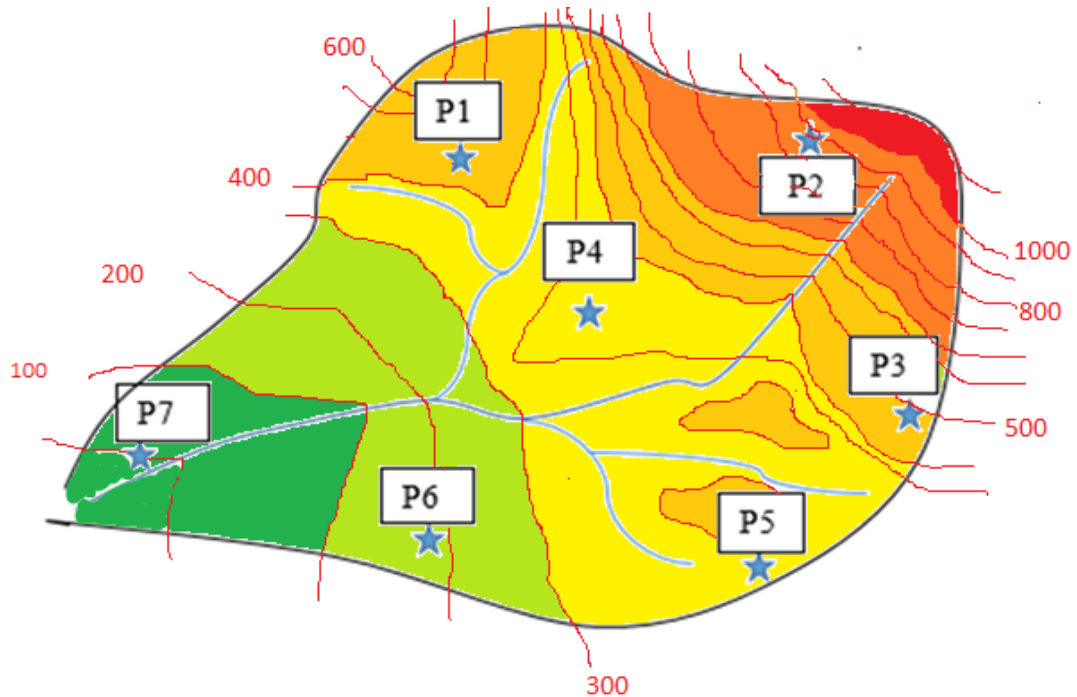


### **METHODE DE LA MOYENNE PONDEREE TENANT COMPTE DE LA COURBE HYSOMETRIQUE: [ H = f (A ) ] et de [ P = f (H) ]**

Il s'agit de B.V. montagneux

On fractionne le BV. En surfaces correspondantes à différentes tranches d'altitudes (courbes Hypsométriques) et on affecte à chaque tranche d'altitude et donc à chaque surface Si la hauteur de précipitation donnée par la loi:  $P = f(H)$ .

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i S_i}{S}, \quad S = \sum S_i$$



## CALCUL DE LA MOYENNE PAR LA MÉTHODE DES ISOHYÈTES

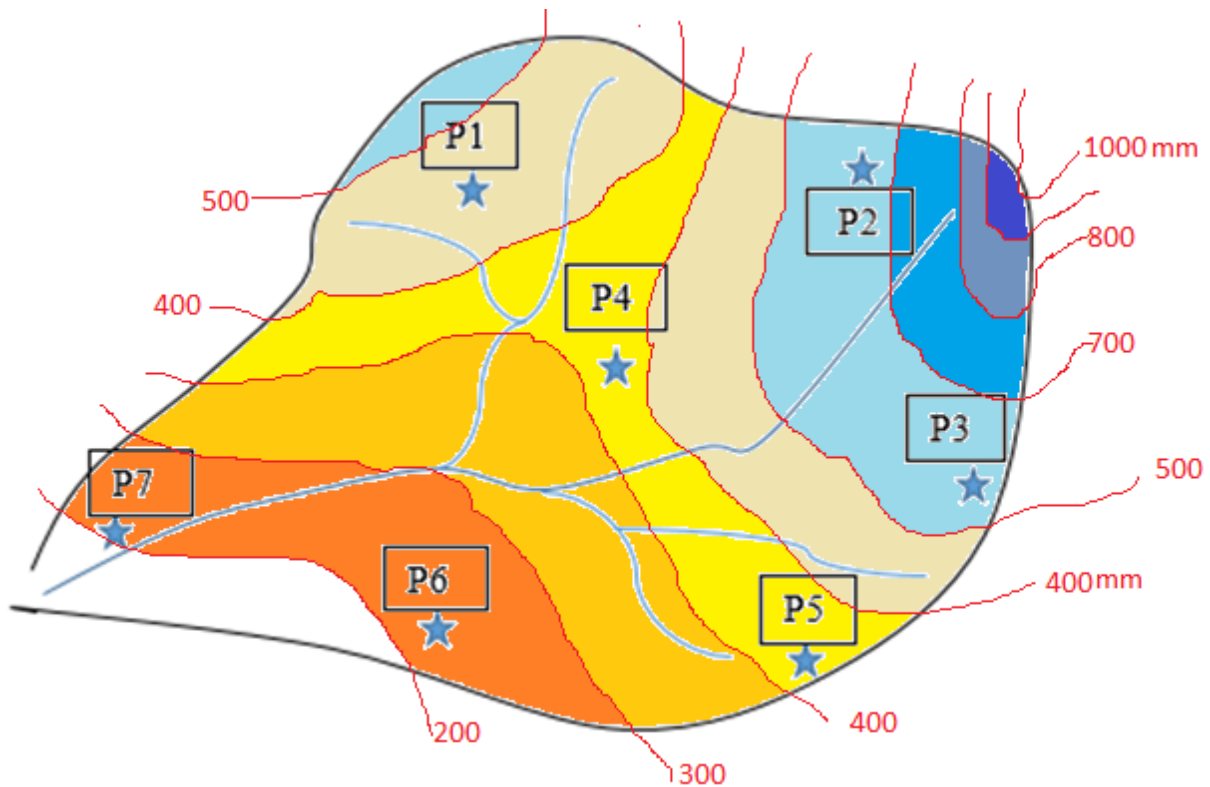
Une courbe isohyète est le lieu géométrique des points sur lesquels il est tombé la même quantité de pluie, pendant une période donnée.

La pluie ( $P_i$ ) tombée sur la surface ( $S_i$ ) est la moyenne des valeurs des 2 isohyètes.

$$P_i = \frac{h_i + h_{(i+1)}}{2}$$

La pluie moyenne tombée sur le bassin est :

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i S_i}{S}, \quad S = \sum S_i$$



## CALCUL DE LA PLUIE MOYENNE PAR LA MÉTHODE DE THIESSEN

Pour le calcul des coefficients de Thiessen (poids) à appliquer à chaque poste, on détermine sur la carte la surface totale du bassin et les surfaces de chaque polygone, par planimétrie.

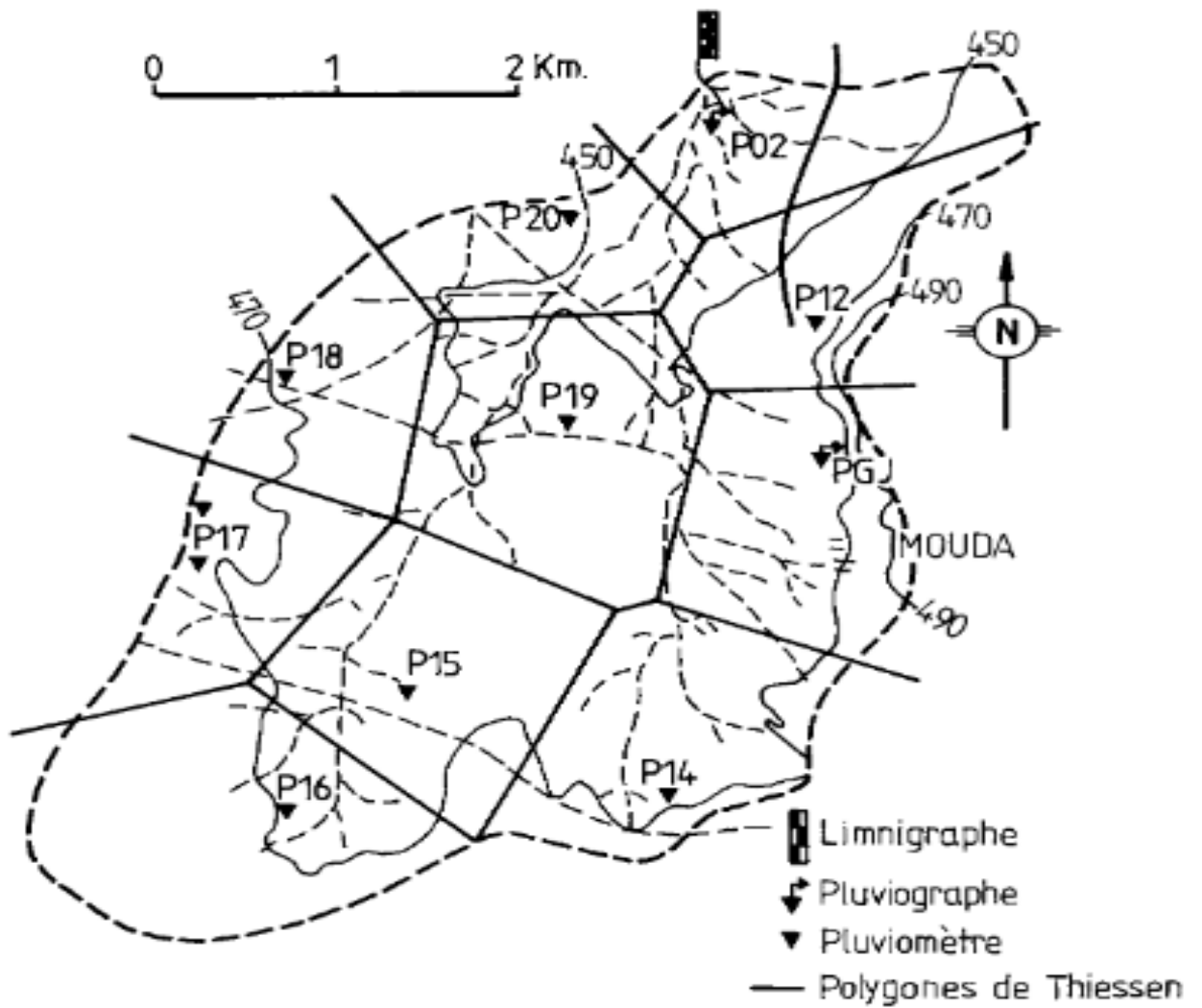
Les zones représentatives sont ainsi des polygones obtenus en traçant entre les stations prises deux à deux les médiatrices.

La surface du polygone de Thiessen d'un poste  $i$  est :  $S_i$

le coefficient de Thiessen du poste  $i$  est égal à :  $C_i = \frac{S_i}{S}$ .

La pluie moyenne tombée sur le bassin est égale à la somme des pluies partielles ( $C_i \cdot P_i$ ).

$$P_{moy} = \sum C_i \cdot P_i$$



### Exemple :

Station	Surface en m <sup>2</sup>	Coefficient de Thiessen ( $C_i$ )	Pluie en mm au poste ( $P_i$ )	Pluie partielle ( $C_i \cdot P_i$ )
A	3.10		1 000	
B	5.76		1 150	
C	5.72		1 120	
D	12.62		1 200	
E	6.51		1 300	
F	7.10		1 500	
Total				

## Chapitre 3 Estimation de l'évaporation et de l'évapotranspiration

$$\text{P (précipitations)} = \text{E (évaporation)} + \text{R (ruissellement)} + \text{I (infiltration)}$$

[ Entrées ] = [ Sorties ]

Evaporation à partir surface d'eau libre

(mer, lac, cours d'eau, etc.)

sol ou par l'intermédiaire des végétaux (évapotranspiration)

### L'évapotranspiration dépend de nombreux facteurs :

- température du sol, de l'air et de l'eau ;
- hygrométrie de l'air (humidité) ;
- état et quantité d'eau contenue dans le sol ;
- rayonnement solaire ;
- vent et pression atmosphérique ;
- nature et état de la végétation ;
- topographie et exposition.

### MESURE DES PARAMETRES PHYSIQUES CONDITIONNANTS L'EVAPORATION

Faites soit par les services météorologiques ou par l'installation de stations climatologiques.

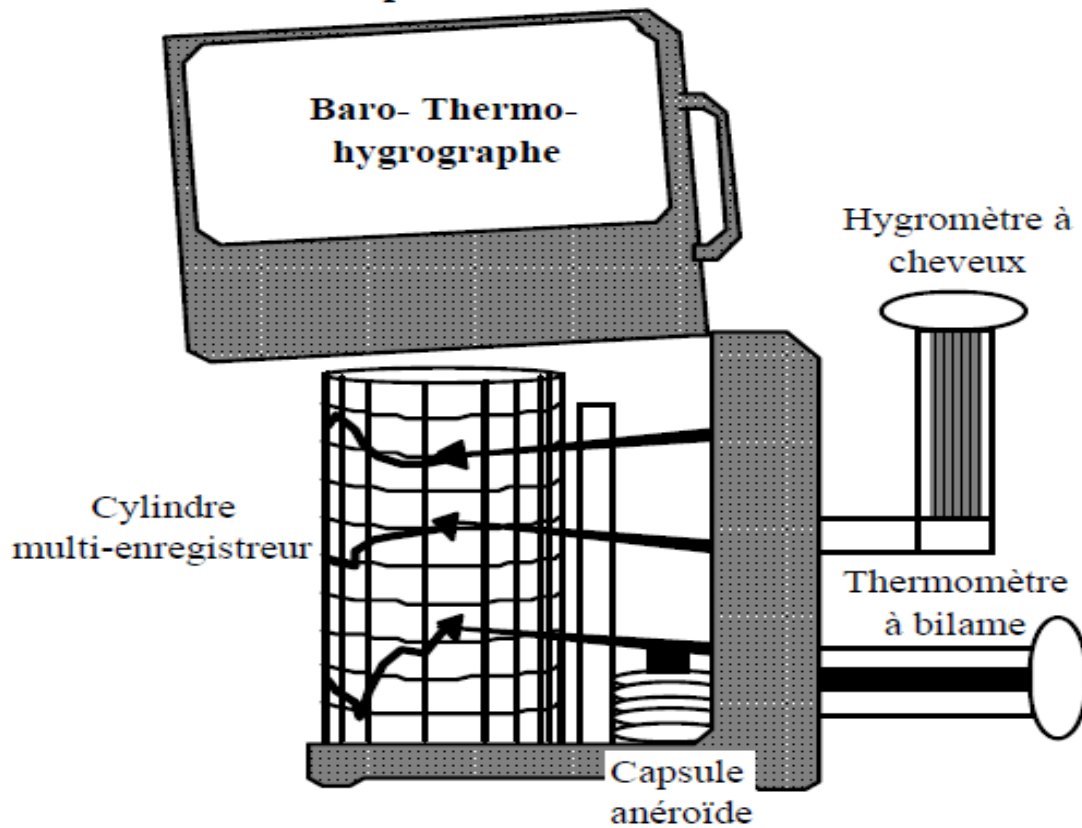
**Températures :** Thermomètre à mercure à 0,1° C, thermomètre à minima, sondes thermoélectriques de terrains (affichage digital)

**Humidité de l'air :** Psychromètre, Hygromètre enregistreur

**Pressions :** Barographes métalliques, enregistrement en "parallèle" de la température, de l'hygrométrie et de la pression.

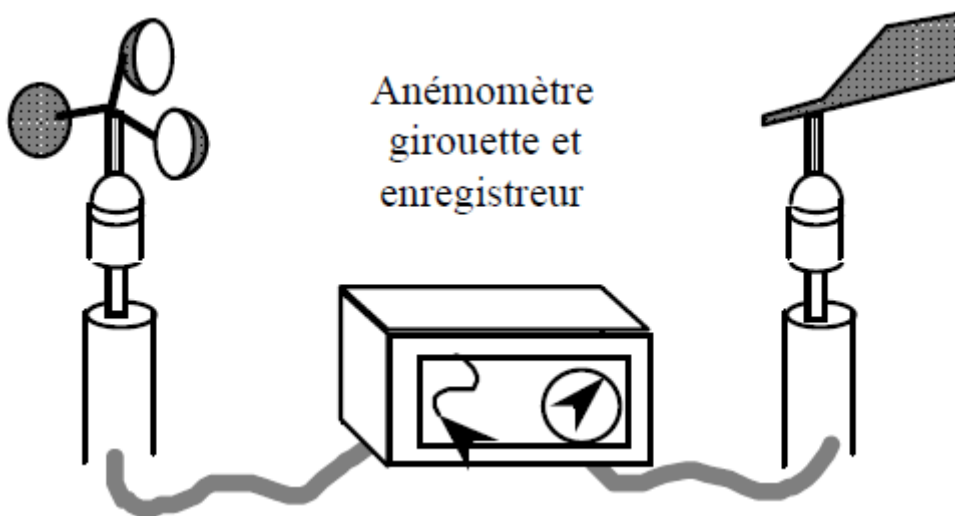
**Rayonnement solaire :** Phyrhéliomètre ou Pyranomètre

L'enregistrement en "parallèle" de la température, de l'hygrométrie et de la pression.



### Le vent :

Anémomètres enregistreurs des vitesses Instantanées, girouette donnant la direction du vent





## Stations météo de terrain (Station de mesures autonome)

**Station météorologique professionnelle** : enregistre **automatiquement et en continu** les paramètres climatiques.

Elle est conçue pour opérer en toute **autonomie** sur des sites de mesure **isolés**.

**Grandeurs mesurées** : la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, les précipitations et le rayonnement solaire global.

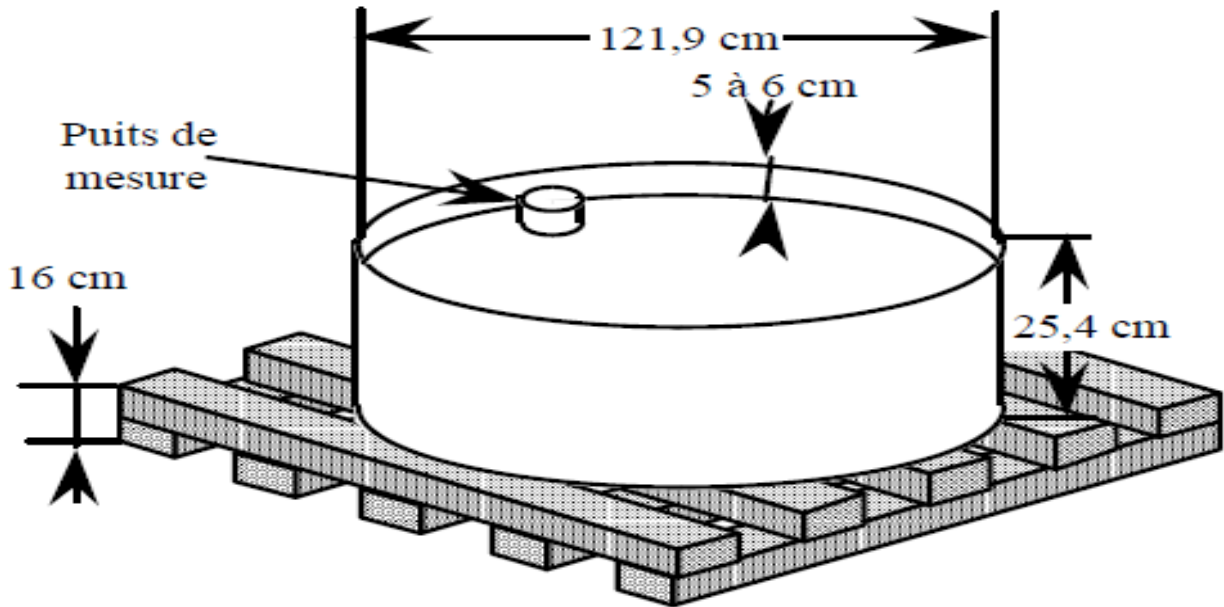
La station peut être déployée et configurée en moins de 3 min. par une personne seule...



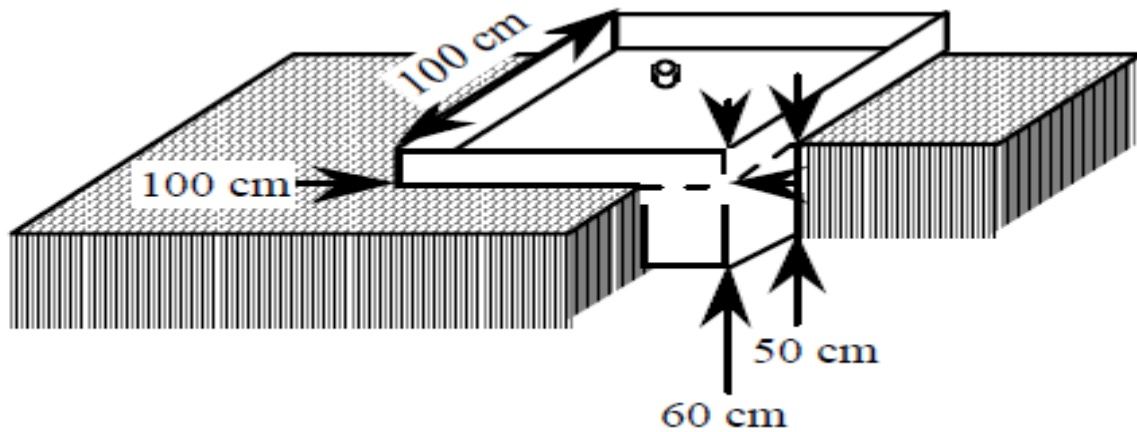
## MESURES DE L'EVAPORATION

### à partir d'une surface libre

Bac classe A (du Weather Bureau, U.S.A)

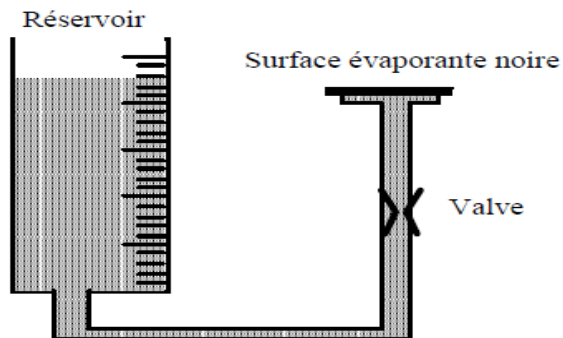


Bac Colorado et Bac ORSTOM

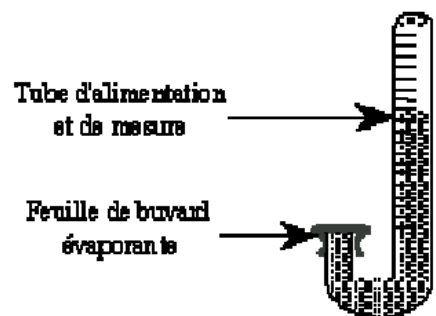


### à partir de surfaces poreuses : les atmomètres

Le "Black Bellani"



Le "Piche"



## MESURES ET ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

### Notion d'évapotranspiration réelle et potentielle

On appelle **évapotranspiration réelle (ETR)**, la quantité d'eau, généralement exprimée en millimètres, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant.

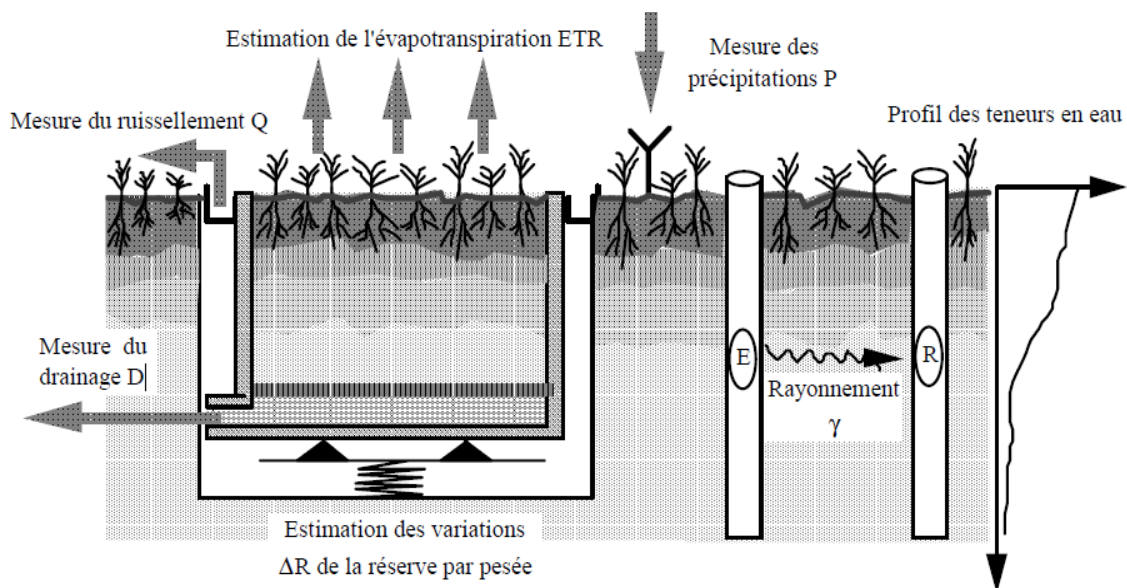
**L'évapotranspiration potentielle (ETP)** est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à

partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant.

### Mesures directes:

L'échelle entre la surface, en **agronomie**(parcelles:  $m^2$ ) en **hydrologie**(BV: dizaines de  $Km^2$ ) rend les mesures très difficiles.

La mesure d'ETR peut être faite **sur une case lysimétrique**.



Un bilan très simple permet d'évaluer l'Etr sur un intervalle de temps  $\Delta t$  puisque l'on doit avoir la relation suivante :

$$P = [Q + D + Etr] + \Delta R$$

entrée = [sorties] + variation de la réserve

### Estimation de l'évapotranspiration

Plusieurs formules permettent d'évaluer l'ETP à partir de différentes mesures climatologiques. La plus complète et la plus complexe est certainement la formule de Penman basée sur la notion de bilan énergétique (différentes températures,

hygrométrie, rayonnement global, albédo, *etc.*) font que son emploi est rarement possible compte tenu des mesures disponibles.

### Formule de Turc :

$$E_{tp} = 0,4 \cdot \frac{t}{t + 15} \cdot (I_g + 50) \cdot K$$

Avec :  $E_{tp}$  évapotranspiration potentielle mensuelle (en mm d'eau) ;

$t$  température moyenne mensuelle de l'air (en °C) ;

$I_g$  radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (en calorie/cm<sup>2</sup>/jour) ;

$K$  un coefficient égal à 1 si l'humidité relative  $hr$  est supérieure à 50 % (généralement le cas sous nos climats) ;

$$\text{sinon } K = 1 + \frac{50 - hr}{70}$$

Si la radiation globale  $I_g$  n'est pas mesurée, on pourra l'évaluer à partir de la durée d'insolation  $h$  par la formule

$$I_g = I_gA [ 0,18 + 0,62 \frac{h}{H} ]$$

avec :  $I_gA$  radiation globale théorique (en cal/cm<sup>2</sup>/jour) ;

$H$  durée théorique des jours du mois.

### Formule de Thornthwaite :

THORNTHWAITE a proposé également une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$E_{tp} = 16 \cdot \left( 10 \frac{t}{I} \right)^a \cdot K$$

Avec :

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,5} \text{ et } I = \sum_1^{12} i$$

$$a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$$

t est la température moyenne mensuelle du mois considéré ;

Etp est l'évapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau) ;

K est un coefficient d'ajustement mensuel.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
K	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	1,05	0,91	0,75	0,70

## Evaluation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

### Formule de TURC

TURC a proposé une formule permettant d'évaluer directement l'Etr annuelle moyenne d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle :

$$Etr = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{avec} \quad L = 200 + 25 t + 0,05 t^3$$

Avec :

**Etr**: représente l'évapotranspiration réelle (en mm/an) ;

**P** : la hauteur annuelle de pluie (en mm) ;

**t** : la température annuelle (en °C).

Cette formule ne donne que l'ordre de grandeur de l'Etr. Elle permet l'estimation du "**déficit d'écoulement**" qui ne se rapproche de l'évapotranspiration réelle que pour des bassins versant relativement étendus, sans échanges à la frontière et pour des durées d'observation assez longues. On préférera donc la méthode suivante.

### Bilan simplifié selon THORNTHWAITE :

Basé sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

La quantité d'eau stockée dans la **RFU** est bornée par 0 (la RFU vide) et **RFU max** (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm).

- La satisfaction de l'**ETP a priorité** sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (**ETP = ETR**).
- La RFU est également **prioritaire** sur l'écoulement

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois **P**, de l'**ETP** et de la **RFU**.

$$\text{Si } \mathbf{P > ETP} \Rightarrow \mathbf{ETR = ETP}$$

Il reste un **excédent** (**P - ETP**)  $\Rightarrow$  affecté à la **RFU**

Si la **RFU** est **complète**  $\Rightarrow$  à l'écoulement **Q**

$$\text{Si } \mathbf{P < ETP}$$

Toute la pluie **P** s'évapore et on **prend** à la **RFU** (jusqu'à **RFU = 0**) l'eau nécessaire pour **satisfaire l'ETR**.

On a deux (2) cas : **(1<sup>er</sup>)** - Si **P + RFU > ETP**  $\Rightarrow$  **ETR = ETP**

**(2<sup>ème</sup>)** - Si **P + RFU < ETP**  $\Rightarrow$  **ETR = P + RFU**

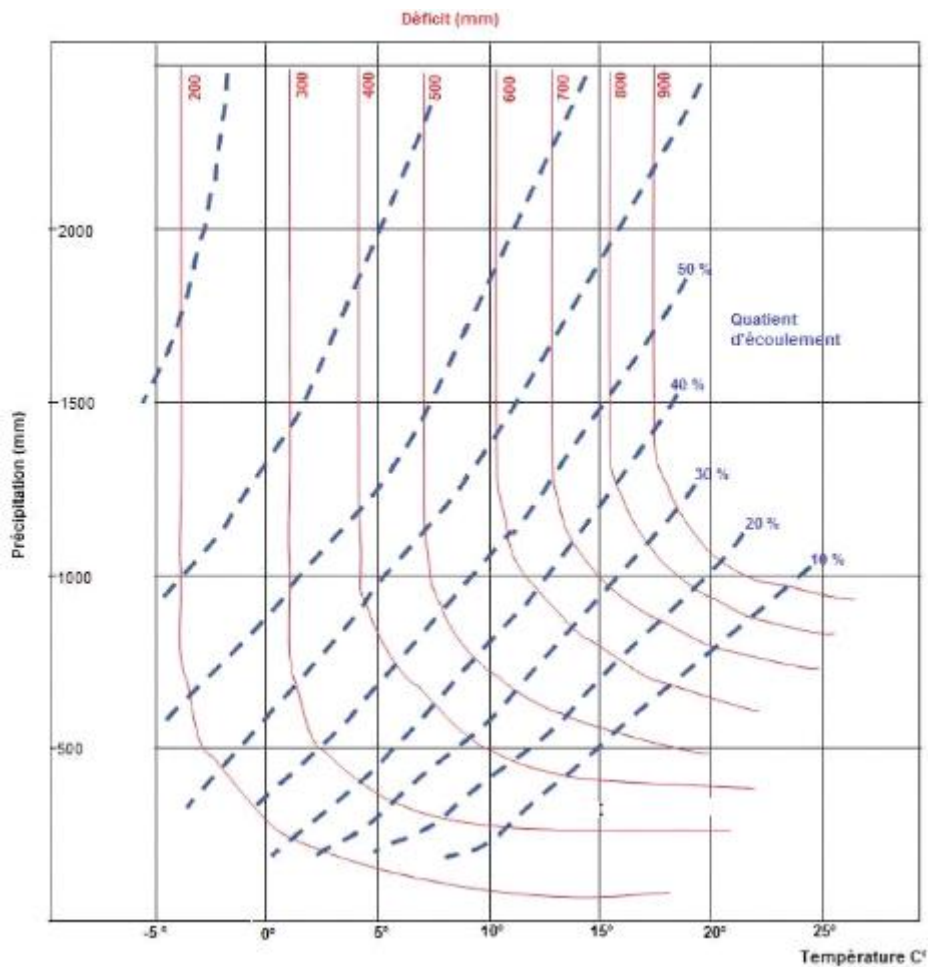
Si **RFU = 0**,  $\Rightarrow$  (**Da = ETP - ETR**) représente le **déficit agricole**, c'est-à-dire la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

Après l'établissement du bilan par mois, on évalue l'**ETR annuelle** par la **somme de 12 ETR mensuelles**. Cette méthode peut être également utilisée avec l'estimation d'**ETP** par la formule de Turc et donne des résultats satisfaisants sous nos climats.

**Autres méthodes empiriques :**

### 3ème Méthode (Graphique) : Méthode de Wundt :

L'abaque de Wundt modifié par Coutagne, permet de déterminer graphiquement l'évapotranspiration réelle en fonction de la température moyenne annuelle en (°C) et les précipitations moyennes annuelles en (mm).



*Abaque de Wundt modifié par Coutagne*

## Formule de Serra :

Serra simplifie l'expression de Thornthwaite

$$i = 0,09T^{3/2} \qquad a = 1,6 \cdot \frac{I}{100} + 0,5$$

## Formule de coutagne :

$$D = P - \lambda P^2$$

D : déficit d'écoulement annuel (en mètre).

P : précipitation annuelle en mètre.

T : température moyenne annuelle en °C.

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$$

Formule applicable pour  $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

/P en mètre

## Chapitre 4 : Cycle et bilan hydrologique

### Cycle de l'eau

#### Définition

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique, est l'ensemble des cheminements que peut suivre l'eau.

Le déplacement des particules d'eau sous deux états principaux (vapeur et liquide), constitue le cycle global de l'eau (cycle naturel).

Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol, avec des durées très variables



: une goutte de pluie peut retourner à l'océan en quelques jours alors que sous forme de neige, en montagne, elle pourra mettre des dizaines d'années.

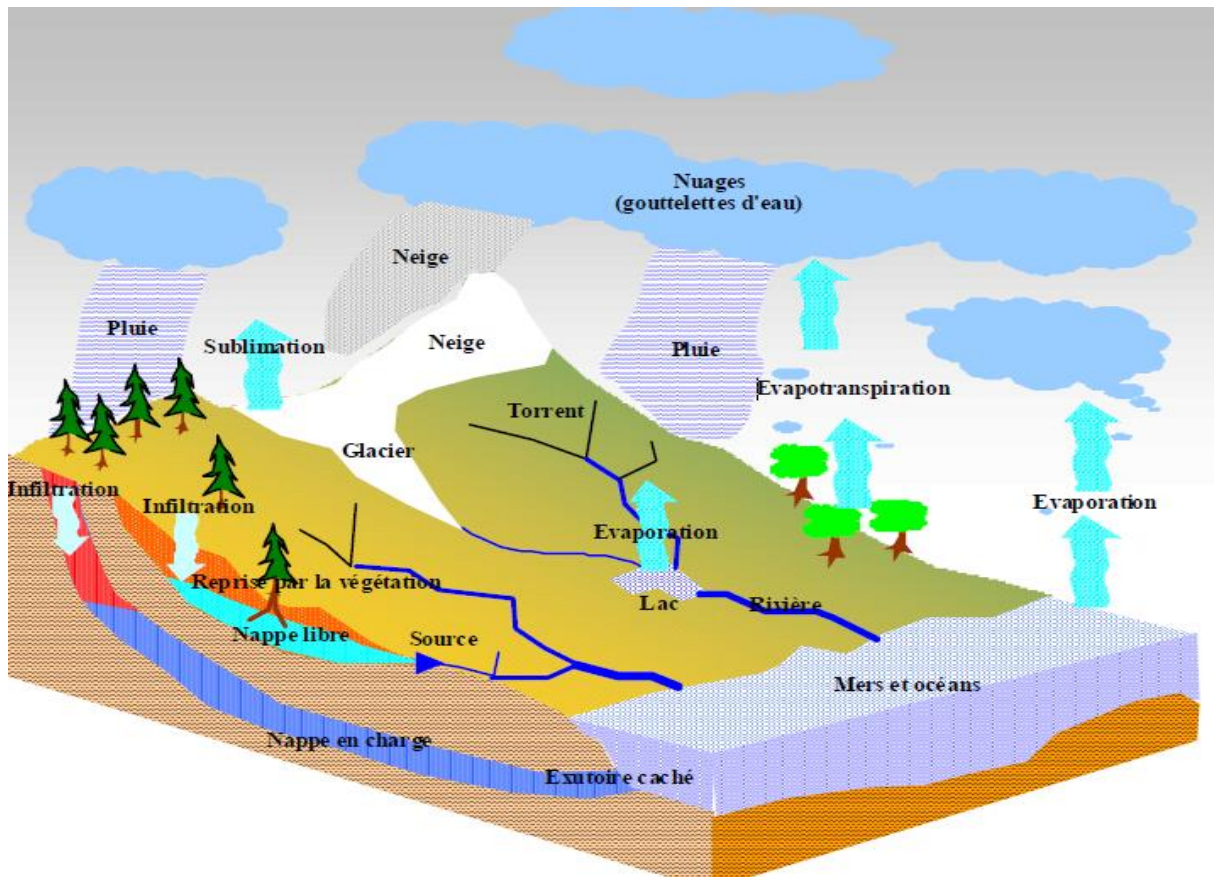
Ce dernier n'a pas de point de départ, (océans : + important volume).

### **Composantes du Cycle Hydrologique :**

- Le soleil réchauffe l'eau → s'évapore
- Courants d'air → l'atmosphère
- Températures basses → Condensation de la vapeur en nuages.
- Nuages → entraînés par les courants d'air autour de la Terre
- Particules de nuage se heurtent → retombent (Précipitations).
- Ruissèlement et Infiltration, après fusion (eaux à l'état solide)
  - Une grande partie des précipitations sur les continents retourne aux océans à partir des eaux superficielles et souterraines où le cycle de l'eau "se termine" ... et "recommence".
- Avec l'Evapotranspiration et l'Evaporation → un nouveau cycle de l'eau prendra naissance.

- Le cycle peut être résumé par l'équation suivante :

$$\mathbf{P} \text{ (précipitations)} = \mathbf{E} \text{ (évaporation)} + \mathbf{R} \text{ (ruissellement)} + \mathbf{I} \text{ (infiltration)}$$



*Schéma illustrant le Cycle de l'eau*

**Précipitations:** Toutes les eaux météoriques (hydrométéores) qui tombent sur la surface de la terre (après condensation des nuages) , tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle).

**Evaporation:** Passage de l'eau de la phase **liquide** à la phase **vapeur**.

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. ). Les **sols humides**, les **plans d'eau**, la **couverture végétale** sont les principales **sources de vapeur** d'eau.

**Sublimation:** Passage direct de l'eau (sous forme **solide**: glace) en **vapeur**.

**Interception:** Processus par lequel une **partie des précipitations** est **retenue** par la **végétation**, **puis évaporée sans atteindre** la surface du sol. Si la végétation offre un important degré de couverture, la rétention d'eau peut atteindre jusqu'à **30%** de la précipitation totale pour une forêt mixte, **25% pour les prairies** et **15%** pour les cultures.

**Evapotranspiration:** Englobe l'évaporation et la transpiration des plantes. On distingue:

**a- Evapotranspiration réelle (ETR)** la quantité d'eau, généralement exprimée en millimètres, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant.

**b- Evapotranspiration potentielle (ETP)** est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à

partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant.

**Stockage:** Souvent associé aux pertes. On définit l'eau de stockage comme l'eau retenue dans les creux et les dépressions du sol pendant et après une averse.

**Infiltration:** Pénétration des eaux dans les couches superficielles depuis la surface du sol.

L'infiltration est nécessaire pour alimenter les eaux souterraines et reconstituer les réserves aquifères. Elle peut réduire les débits de ruissellement

**Percolation:** Infiltration profonde des eaux dans le sol, en direction des nappes.

**Ecoulements:**

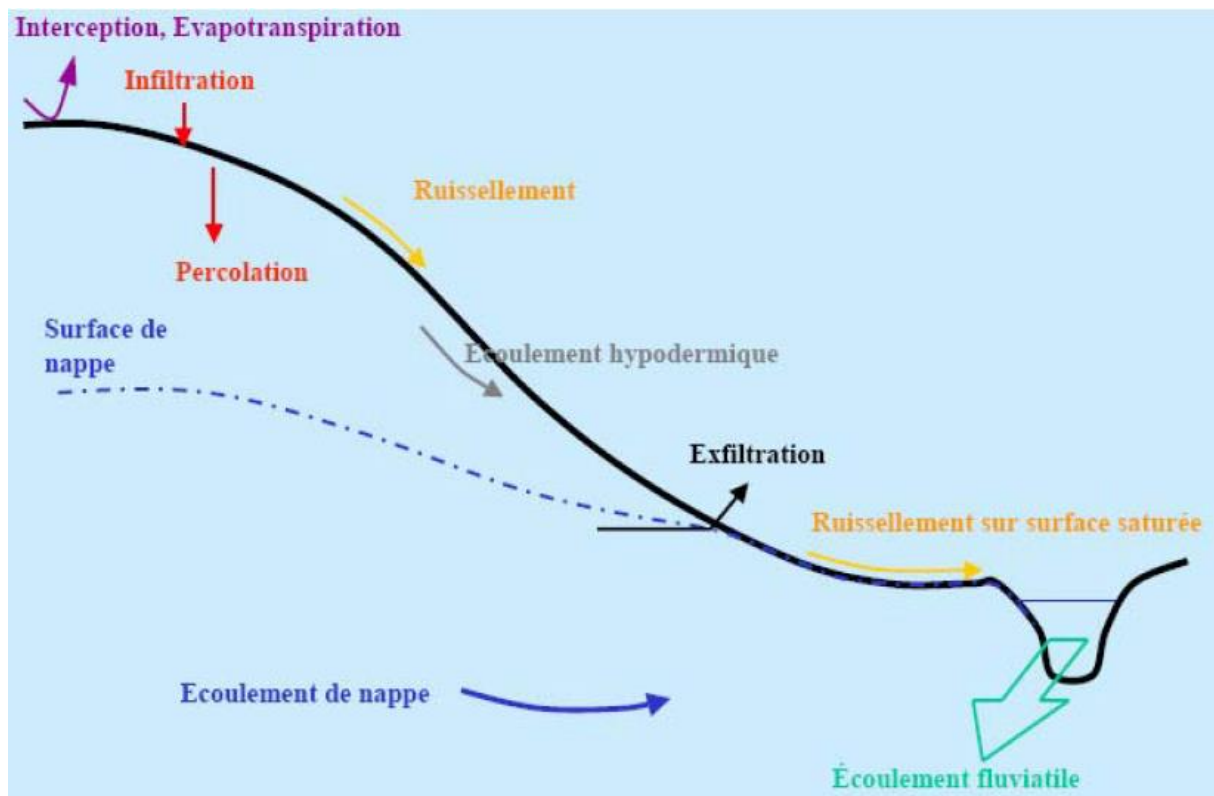
**1- Ecoulements rapides** (Les écoulements qui gagnent rapidement les exutoires pour constituer les crues) se subdivisent en:

**a- écoulement de surface** (mouvement de l'eau sur la surface du sol)

**b- écoulement de subsurface** (mouvement de l'eau dans les premiers horizons du sol: écoulement hypodermique).

**2- Ecoulements souterrains plus lents** (écoulements souterrain de l'eau dans le sol), il caractérise les nappes d'eaux souterraines.

## Mécanismes (processus) Hydrologiques



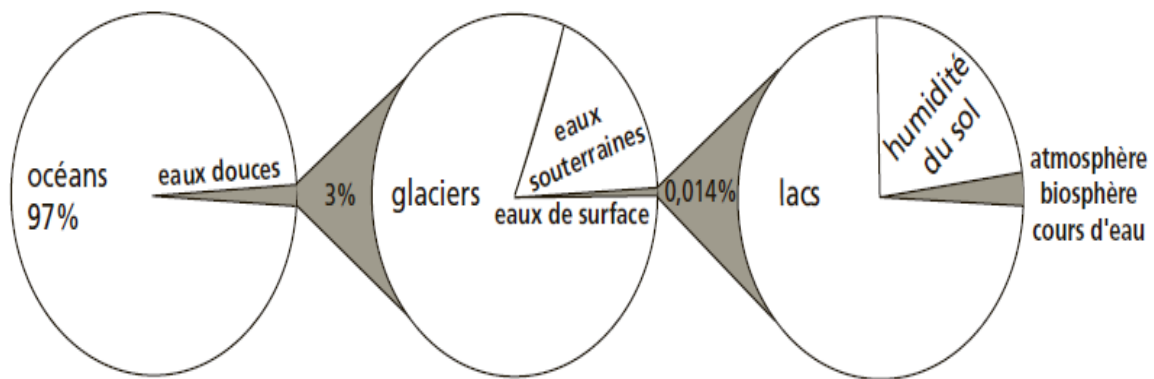
## Répartition de l'eau

Différents types d'eau sur la planète

Si l'eau est très présente sur la Terre, l'eau salée des mers et des océans représente 96,4% du volume d'eau total. **L'eau douce représente seulement 3,4% du volume total de l'eau sur notre planète.**

Cette eau douce est répartie comme suit :

- 2,15% est contenue dans les glaciers ou les neiges éternelles (environ 70% de l'eau douce totale)
- **0,63% se retrouve dans les eaux souterraines** (environ 22% de l'eau douce totale)
- 0,019% constituent les **eaux de surface** : lacs, rivières, fleuves (environ **0,6%** seulement de l'eau douce totale)
- Une très faible quantité (0,001% de l'eau totale) est contenue dans l'atmosphère



### A l'échelle du globe :

Les océans occupent une superficie = 70% de la surface du globe (97% de la masse totale d'eau dans la biosphère)

la superficie des terres émergées de l'hémisphère Nord est deux fois supérieure à celle de l'hémisphère sud

les eaux douces ne représentent qu'environ 3% du volume total des eaux du globe (99% dans les calottes polaires)

### A l'échelle des continents :

Continents	Précipitations mm	Evaporation mm	Ruissellement mm
Europe	790	507	283
Afrique	740	587	153
Asie	740	416	324
Amérique du Nord	756	418	339
Amérique du Sud	1600	910	685

<b>Australie et Océanie</b>	<b>791</b>	<b>511</b>	<b>280</b>
<b>Antarctique</b>	<b>165</b>	<b>0</b>	<b>165</b>
<b>Moyenne pour tous les continents</b>	<b>800</b>	<b>485</b>	<b>315</b>

#### **Références bibliographiques :**

- **Foucault A. (2009).** Climat et climatologie. Dunod, 320 pages
- **Hufty A. (2001).** Introduction à la climatologie. Presses Université Laval- 542 pages
- **Musy A., Higy C. (2004).** Hydrologie Une science de la nature. Collection Gérer l'environnement, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- **Triplet J-P., et Roche G (1977).** Météorologie générale. Edition de l'Ecole Nationale de la Météorologie, 317 pages.
- **Vigneau J-P., Viers G. (1994).** Eléments de climatologie. Ed Nathan, 224 pages.
- **Laborde J.P. (2009).** Eléments d'hydrologie de surface. Ecole polytechnique de l'université de Nice - Sophia Antipolis, 192 pages.