

# Hydrogéologie

## Définition:

Hydrogéologie est l'étude du cycle de l'eau et l'estimation des différents flux.

cela regroupe:

1/ → la climatologie (Partie aérienne de cycle de l'eau)

2/ → l'hydrologie de surface (écoulements de surface)

3/ → l'hydrodynamique souterraine (écoulement en milieu saturé)

## I. Hydrologie de Surface:

### Définition:

Science de traitement des problèmes quantitatifs et qualitatifs des débits de cours d'eau.

### Sciences Utilisées:

Hydrologie de surface utilise comme science:

1/ → Météorologie (Météo)

2/ → climatologie (climat)

3/ → Géographie

4/ → Géologie

5/ → Pédologie

comportant  
du  
Bassin

6/ → Hydraulique (écoulement à surface libre)

7/ → Statistique et calcul numérique

### Domaines d'applications:

1. l'agriculture
2. la lutte contre la pollution
3. l'énergie hydraulique
4. le transport solides

5. l'étude des ressources en eau
6. la sécurité des rivières et des personnes
7. la navigation
8. les loisirs

## II. L'eau ( $H_2O$ )

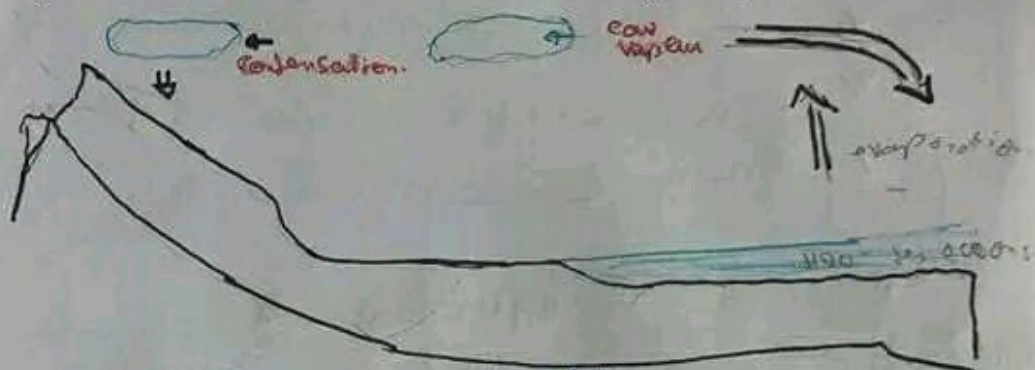
L'eau : la ressource principale de la vie. existe dans la nature dans trois états :

Solide : glace

liquide : eau liquide

Gaz : Vapeurs.

Le cycle Hydrologique : Ensemble de transformations et de transferts de l'eau.



• Répartition des eaux du globe

- Océans et eaux salées : 97,3%
- Glaciers et calottes : 2,1%
- Eaux souterraines : 0,46%
- Lacs et Plans d'eau : 0,01%
- Humidité du sol : 0,005
- Atmosphère : 0,001
- Rivières : 0,0001

Volume Total

1 438 234,2  $\times 10^3$  km<sup>3</sup>

## III. Bassin

Versant (R.V.) :

### Définition

c'est le territoire sur lequel tous les écoulements de l'eau convergent vers l'exutoire.

L'exutoire : un même point que tous les écoulements d'eau convergent vers.



→ Il existe selon leur définition - Trois types de Bassins Versant :

→ B-V Topographique :  
un territoire limité physiquement par les lignes de crêtes (lignes de partage des eaux).

→ B-V hydrologique :

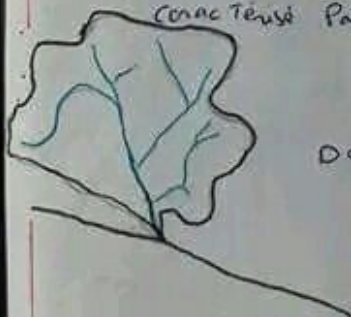
↳ extension Algébrique du B-V Topographique

→ B-V hydrogéologique :

un volume d'espace constitué de l'espace superficielle et l'espace souterrain contribuant aux écoulements observables en l'exutoire.

### III.1 Le réseau hydrographique :

C'est l'ensemble des cours d'eau dans un Bassin Versant caractérisé par sa densité de drainage  $D_d$ .



$$D_d = \sum L_i / A$$

A : la surface du Bassin.

$D_d$  varie de 0,02 (calcaires) jusqu'à 300.

### III.2 Caractéristique morphométrique :

on les utilise pour condenser la fonction  $h = f(x, y)$  en fixant un certain nombre de paramètres rattachés à l'intérieur du B-V ( $h, x, y$  coordonnées de B-V).

Il y a trois types de Paramètres Morphométriques :

#### 1/ La surface A :

• s'obtient par le planimétrage sur une carte topographique et s'exprime en  $km^2$

$$A = L \cdot P$$



## 2/ La Longueur :

(4)

La Longueur utilise 4 caractéristiques différentes :

a/ La Périmètre P de R.V. :

Il est curvimétré sur carte topographique.

L : rec Tangle de longueur

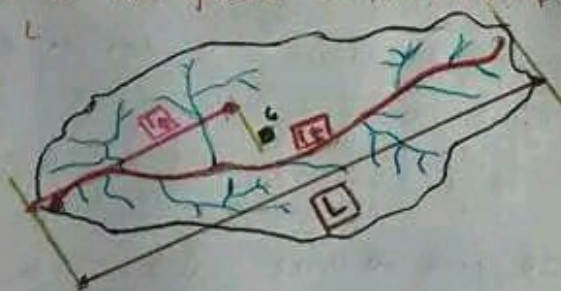
on définit : P : rec Tangle de largeur

$$P = 2 \cdot (L + P)$$

b/ La Longueur du Plus Long Thalweg  $L_t$

c/ la distance de P existence au centre de gravité du Bassin  $P_g$

d/ la Plus grande longueur entre 2 points de la frontière  $L$



## 3/ Coefficient de Gravobius $K_c$ :

$$K_c = \frac{P}{2 \sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

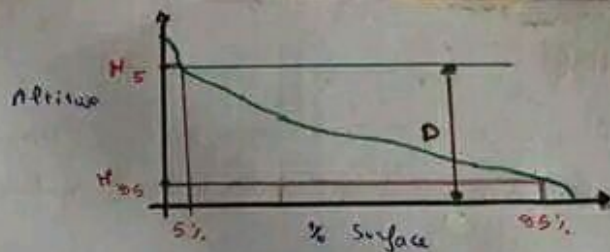
c'est le rapport du Périmètre P sur la surface A d'un Bassin Versant.

## III-2 Caractéristiques des Altitudes (hypsonomie) :

L'Altitude totale est constitué par la dispersion des Altitudes.

Pour cela on construit une coupe par le Planimétrage de ces différentes Altitudes (axe Y) et la surface correspondante (axe X).





→ une autre manière consiste à échantillonner les altitudes selon un maillage centré, on admet que :

Altitude moyenne = Altitude au centre de la maille

→ La dénivellation D :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

### III.4 Les indices de Pente :

Les indices Caractérisant les Pentes du R.V et nous donnent des comparaisons et des Classifications.

$$I = \frac{D L_c}{A}$$

→ Pente moyenne d'une Bande j :

$$m_j = \frac{D}{d_j}$$

avec

D : l'équidistance des courbes de niveau.

$d_j$  : la longueur moyenne de la Bande entre les lignes de niveau j et j+1.

### III.5 Caractéristiques géologiques :

Contrôle le régime des Cours d'eau qui drainent un B.V.

• En période de crue → volume d'eau : Plus grands  
bassin : imperméable

• en période de basses eaux → débit : Plus forts  
rappels : Plus nombreux et importantes

aussi : Contrôle l'évapotranspiration Thermiquement :  
→ Conduite du Sol  
→ dépend de végétation ou fonctions des sols



## Le Couvert Vegetal

Il influe sur la quantité d'eau disponible pour l'écoulement de surface par l'évapotranspiration qui varie selon la nature des végétaux.

- végétation étalée peu → ruissellement retardé → Point de crue atténué → écoulement plus long → eau d'évapotranspiration ↑ → Volume de crue ↓.

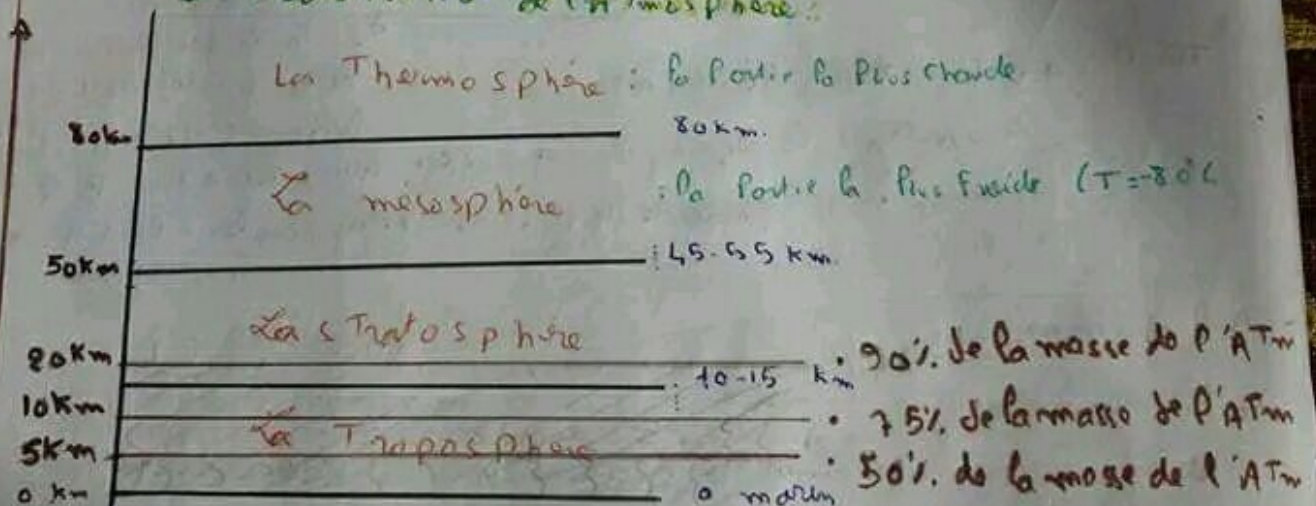
## II. L'ATMOSPHERE ET L'HYDROMETEOROLOGIE :

hydrologiquement :

l'atmosphère est un :

- énorme réservoir de vapeur d'eau soit liquide ou glace (solide). La condensation de ces vapeurs donne les précipitations.
- vaste système de transport et de répartition de l'eau ATM dans la surface des terres et des océans (Jeu des courants aériens).
- grand collecteur de la chaleur par la radiation solaire directe et la réflexion des rayons du terre chauffée par le soleil.

### II.1 Constitution de l'Atmosphère :



masse Totale de l'Atmosphère :  $m_T = 5 \cdot 10^{15}$  tonnes.



## II-2 Mesures liées à l'estimation de l'évaporation et l'évapotranspiration

Le passage de l'eau à l'atmosphère, vers chez le passage de la phase  $P \rightleftharpoons G$  - le passage qui est contrôlé par plusieurs

facteurs (T de l'eau, de l'air, V, etc...). Se fait :

- Par évaporation d'une surface (eau libre, etc...)
- Par l'évapotranspiration d'un sol ou des végétaux.

### 1/ Mesure des paramètres qui contrôlent l'évaporation:

#### a/ Température

•  $T_{max} = \theta_{max}$  •  $T_{min} = \theta_{min}$  •  $T_{moy \text{ journalière}} = \theta_m$

$$\theta_m = (\theta_{max} + \theta_{min}) / 2 \pm 0.1^\circ C$$

Ces mesures de T sont prises dans : • Un Abri météorologique



#### b/ Humidité de l'air

mesuré indirectement par :

#### 1/ Psychromètre

$$e_a = e_{e'} - 0.00079 \cdot P \cdot (t - t')$$

où :

$e_e$  : tension de vapeur réelle à la température

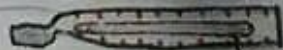
$e_{e'}$  : tension de vapeur saturante à la température

$P$  : la Pression

#### 2/ Hygromètre enregistreur

Étude et l'enregistrement de l'allongement des corps des hygromètres organiques avec la croissance de l'humidité relative

Organisme



aussi à l'intérieur de cet appareil on a 2 thermomètres :

→ 1<sup>er</sup> pour  $T_{max}$

2<sup>ème</sup> pour  $T_{min}$



### C/ Mesure des Pressions

- on les mesure Avec des Barographe Métallique à Capsule anéroïde.
- On y a des Appareils qui enregistrent : T, P, hygrométrie au même temps.

### D/ Le rayonnement solaire

mesuré Par : D'héliographe de Campbell-Stokes :  
un sphère cristalline qui focalise les rayons solaires sur un papier blanc sensible.

### E/ Mesure de Vent

mesuré Par : anémomètre : Vitesses instantanées.  
girouette : direction de Vent.

### F/ Mesure de l'évaporation

#### 1/ Appareil d'une surface libre

mesuré Par :

- Bac classe A : c'est un Bac Annulaire à épaisseur d'eau de 17.5 à 20 cm et un sous Bac aéré.
- Bac Colorado et ORS TOM : un Bac conique d'une hauteur de 60 cm. et épaisseur d'eau plus grande que celle du Bac Précédent.
- Bac CGT : c'est un Bac cylindrique à Fond conique de 60 cm de Profondeur.

Pour utiliser ces Bacs on doit :

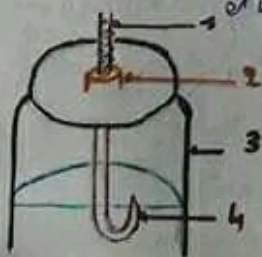
- → les installer dans un site représentatif
- → les installer dans un milieu en herbier, non sableux et non gravilleux.
- → " dans un milieu entouré par un grillage.
- → les accompagner d'un pluviomètre pour corriger l'évaporation apparente des Précipitations.

• cette évaporation apparente est mesurée

Par : une pointe recouverte montée sur une tige filetée

et une molette graduée permet de déplacer la Pointe

• on mesure 2 fois / Jour : à 6 h et 18 h.



- 1: Tige Filetée.
- 2: Molette.
- 3: Puits de Mesure.
- 4: Pointe.



Le Passage du niveau de l'évaporation d'un Bâc à un réservoir de grande dimension, consiste à multiplier par un coefficient selon le type de Bâc.

Type de Bâc	Coefficient
Bâc de Classe A	0.6 à 0.8
Bâc O.R.S.T.O.M	0.6 à 0.5
Bâc présentant une surface plane	1

2/ à partir de surfaces poreuses les atmètres

Ce sont des appareils qui mesurent le pouvoir évaporant de l'air ambiant  
→ Ils ont les qualités suivantes:

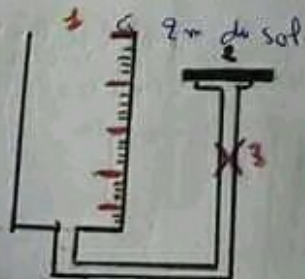
1. Faible inertie thermique
2. Surface évaporante plane
3. Horizontal à comportement de corps noir
4. Faible perturbation des vitesses du vent.
5. ne modifie pas l'humidité et l'air ambiant au voisinage de l'appareil

on donne deux appareils principaux:

Le Black Bellani

évaporation Appartie d'une surface poreuse:

- de porcelaine noir de 1,5 cm de diamètre
- installée sans protection



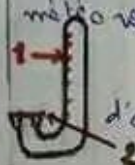
- 1: Réservoir
- 2: Surface évaporante noire
- 3: Valve

Le "Piche"

Surface évaporante constituée par:

- un film de papier buvard blanc qui est fixé à l'extrémité du tube en verre et qui se change chaque jour après mesure
- un tube en verre sous forme de "U" qui sert à la fois à l'alimentation et la mesure de l'évaporation

Le "Piche" est disposé à l'intérieur de l'abri météorologique.



La mesure dépend des conditions d'alimentation.

- 1: Tube d'alimentation et de mesure
- 2: Feuille de buvard évaporante



2/ Mesure et estimation de l'E Vapo Transpiration.

a) EvapoTranspiration Réelle et EvapoTranspiration  
Potential (E<sub>er</sub> et E<sub>p</sub>)

(Mesure direct)  $E_{tr}$ : quantité d'eau évaporée ou transpirée par:

1 - le sol      2 - les végétaux      3 - les surfaces d'un R.V.      4 - les surfaces extérieures

(Estimation)  $E_{tp}$  : quantité d'eau évaporée ou transpirée par :

- un Bassin versant (si cet eau n'étant pas un facteur limitant).

a 1/ Mesures Directes (E.C.) :

La mesure de  $F_{12}$  se fait sur un casé psychométrique.

Let nos. be consistent:

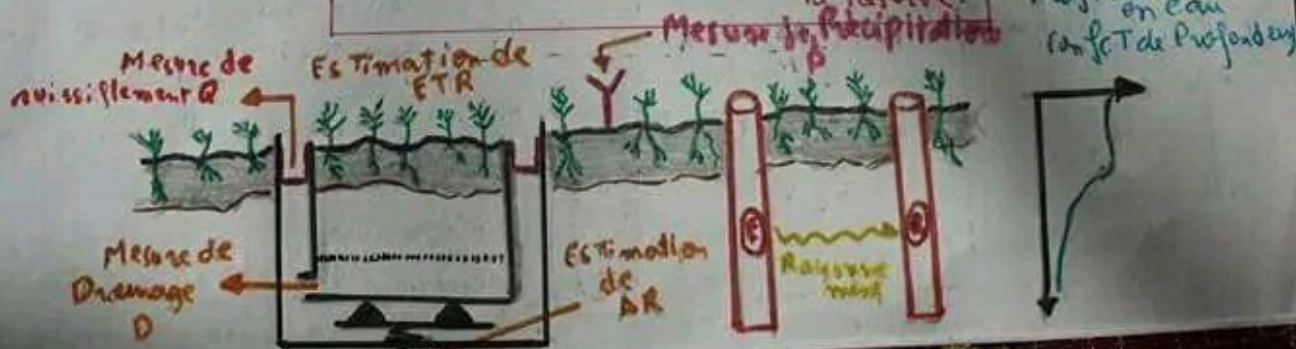
1. → Bloc du sol de quelque m<sup>2</sup> de surface à épaisseur = 2 m.
2. → une Base drainée (Formée par des drains) Pour enregistrer les débits. D Sortent par les drains
3. → un collecteur au surface qui récupère l'eau de ruissellement avec un jébit Q enregistré.
4. → un Pluviomètre qui mesure les apports d'eau.

↳ stock d'eau **R** dans le cas est évalué par une mesure à la source  
à mention des tensions existants le sol

cela donne l'équation suivante  $\Delta R$ , évaporation nulle.

$$P = \underbrace{[Q + D + Ft_2]}_a + \underbrace{\Delta R}_b$$

entrée = [ sorties ] + Variation de  $P_{\text{a}} \text{ résistive}$ .





## b/ Estimation de l'évapo Transpiration (Etp):

Pour l'estimer on utilise 3 Formules de Turc ou de Thornthwaite ou de Penman

### Formule de Turc:

C'est la simplification de la Formule la plus complète et complexe de Penman.

$$Etp = 0,45 (t + 15) \cdot (19 + 50) \cdot K$$

- d'où :
- $t$  : température moyenne mensuelle
  - $19$  : radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol
  - $K$  : Coefficient :  
→ Si Humidité > 50%  $K = 1$   
Humidité ≤ 50%  $K = 1 + (50 - h)/10$

N.B : cette Formule est rarement utilisée.

### Formule de Thornthwaite:

Se Base Sur Température, se calcule pour un mois considéré

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

- d'où :
- $t$  : température moyenne mensuelle
  - $Etp$  : l'évapo Transpiration Potentielle du mois considéré
  - $K$  : Coefficient d'Adjustement mensuel.

et :

$a = \frac{1,6}{100} \times I + 0,5$	$I = \frac{16}{1} i$	$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,5}$
--------------------------------------	----------------------	--------------------------------------

### Formule de Penman:

Commence avec un Bilan énergétique simple:

$$R_n = A + S + E \cdot L$$

- $A$  : Flux de chaleur au bénéfice de l'Atm.
- $S$  : Flux de chaleur des échanges Thermique avec le sol.
- $E$  : Flux évaporé.
- $L$  : chaleur latente.

## c/ Evaluation de l'évapo Transpiration réelle

### Formule de Turc

Pas Fortement utilisée car elle présente une grande erreur.  
elle dépend de l'Étr annuelle moyenne des grands Bassins:



$$E_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0.5 + P_e}} \cdot e^{-0.000023 \cdot P_e}$$

- $E_{tr}$ : évapotranspiration réelle (mm/an)
- $P_e$ : hauteur annuelle de pluie (mm)
- $t$ : température annuelle ( $^{\circ}C$ )

10

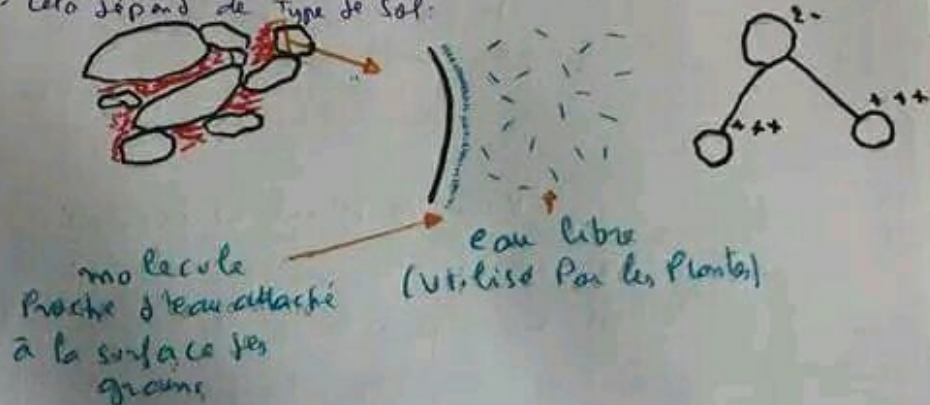
### Bilan de Thornthwaite

calcul d'entrée et de sortie

c'est une méthode basée sur P, RFU (nécessaire Facilement Utilisée)

RFU: varie de 0 à 200 mm à une moyenne de 100 mm.

- cela dépend du type de sol:



→ Si  $P > E_{tp}$  ...  $E_{tr} = E_{tp}$ :

donc on a un excédent de pluie  $P - E_{tp}$  qui va vers les RFU et si les RFU = 100 (complètes) il va vers Q. an' égale dans ce cas

$$Q = P_{\text{excédent}} - E_{tp}$$

• Si  $P < E_{tp}$ : on évapore toute P et si il y a un manque d'eau on prend de RFU (jusqu'à couvrir le manque ou la vider).

Pour satisfaire  $E_{tr}$ :

$$E_{tr} = P + \min(RFU, E_{tp} - P)$$

$$RFU = 0 \text{ ou } RFU + P - E_{tp}$$

• Si  $RFU = 0$ : donc Da la quantité d'eau qu'il faut apporter aux plantes pour qu'elle ne souffre pas de la sécheresse

$$Da = E_{tp} - E_{tr}$$

exemple: on prend pour une année les mois (1, 4, 7, 10)

comme synthèse: Si:  $P > E_{tp}$ ,

$$E_{tr} = E_{tp}$$

$$Q = P - E_{tp} \text{ à } RFU = 100$$

$$\text{Si } P < E_{tp}: \text{ à } RFU = 0, E_{tr} = E_{tp} - Da$$



## I. Les Précipitations:

(13)

Les événements météorologiques qui tombent sur la surface de la Terre sous forme liquide, solide sont provoqués par un changement de Température et de Pression.

Les Précipitations sont exprimées soit en :

intensité (mm/h)  
ou  
hauteur de précipité (mm)

## II. Mesure des Précipitations:

Pour mesurer les précipitations on utilise plusieurs méthodes. (Cela est intéressant pour la météorologie, l'agriculture, l'hydrologie...)

### 1/ Les Pluviomètres:

C'est un appareil à surface de réception limitée par une collerette cylindrique.

L'eau traversant la surface se dirige par un entonnoir vers un seau récepteur.

Dans le seau existe une éprouvette graduée pour mesurer H.D.T (la Hauteur de Pluie Tombée) directement.



si on ne peut calculer H.D.T. par:  $H.D.T = V/S$   
avec V: le volume d'eau tombé  
S: la surface de la réception.

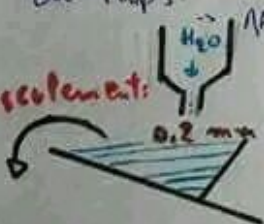
- 1: surface réceptrice
- 2: seau récepteur
- 4: éprouvette graduée

### 2/ Les Pluviographes:

Les appareils qui enregistrent la Hauteur de Pluie cumulée en fonction du temps.

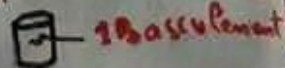
Il y a deux types:

**Basculement:**



- 1/ Pluviographes à auge basculeuse, chaque basculement = 0,2 mm.

L'enregistrement se fait sur le cylindre:



- 2/ Pluviographes à siphon.



### 3. Les Nivomètres :

(16)

on fait généralement des mesures par sondage pour avoir des caractéristiques du manteau neigeux. On prend pour ex haire l'équivalent en eau et on peut calculer cet équivalent en fonction de la quantité.

### II.2 Publication des données Pluviométriques :

on donne comme résultats de chaque station de mesure :

- 1) → La Hauteur Pluviométrique : journalière, mensuelle, annuelle.
- 2) → Le module Pluviométrique (moyenne arithmétique) annuel moyen.
- 3) → La fraction Pluviométrique mensuelle
- 4) → Les moyennes : le nombre moyen de jours de pluie, la variabilité des précipitations et les jours de pluie.
- 5) → Les courbes de la Pluviométrie mensuelle et annuelle

### II.3 Calcul de la moyenne arithmétique sur une surface :

Cela se fait généralement par 2 méthodes principales :

- méthode de polygones de Thiessen.
- méthode des isohyètes.

#### → Méthode de Polygone de Thiessen

→ la plus utilisée quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène, elle sert à calculer la moyenne pondérée selon l'équation suivante :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum A_i \cdot P_i}{A} \quad \text{avec} \quad P_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

- $A$  : aire totale du bassin
- $A_i$  : surface du polygone associé à la station  $i$
- $P_i$  : précipitation enregistrée dans la station  $i$ .

#### Méthode des isohyètes

dépend essentiellement des tracés de courbes d'isohyètes dessinant avec le maximum de vraisemblance le relief de la région.

→ généralement les précipitations moyennes du bassin calculées par cette méthode donne la relation suivante :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^K A_i \cdot P_i}{A} \quad \text{avec} \quad P_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

$P_{\text{moy}}$  : Précipitation moyenne du bassin

- $A$  : surface totale du bassin
- $A_i$  : surface entre deux isohyètes  $i$  et  $i+1$
- $K$  : nombre total d'isohyètes
- $P_i$  : moyennes des hauteurs  $h$  entre  $i$  et  $i+1$