



TD N°1 Chapitre : Cycle de l'eau.

- 1- Définir ; Hydrologie, Hydrogéologie, Cycle de l'eau, Flux, Sublimation, Aquifère.
- 2- Dans un tableau bien détaillé expliquer les différents réservoirs du cycle de l'eau.
- 3- Quel est le moteur principal du cycle de l'eau.
- 4- En utilisant le Tab. N° 1 (voir cours), expliquer (brièvement) les interactions entre les éléments du cycle de l'eau qui se traduisent par des changements et des fluctuations dans les niveaux de stock en eau.
- 5- Expliquer (brièvement) le phénomène de perturbation du cycle de l'eau.

Exercice :

Grâce au cycle de l'eau qui permet le renouvellement de certaines eaux terrestres, qui est expliqué par le tableau ci-dessous. Quelle est la fraction (volume) d'eau dont on peut exploiter pour les besoins de notre consommation, expliquez ?.

Évaporation sur les océans	425 000
Évaporation sur les continents	71 000
Précipitations sur les océans	385 000
Précipitations sur les continents	111 000
Apport des cours d'eau aux océans	40 000

Flux hydriques annuels sur l'ensemble de la planète exprimés en kilomètres cubes d'eau.

.....
.....

TD N°02 (Méthodes de comblement des lacunes des séries pluviométriques).

1. Présentation des relevés pluviométriques

Les données pluviométriques sont le plus souvent archivées sous formes de tableaux numériques (tableaux des pluies journalières, mensuelles etc...) ou de graphiques (pluviogrammes et courbes de pluies cumulées). Le mode de présentation adopté en Algérie par les services gestionnaires (ANRH, ONM, etc...)

2. Interprétation des données pluviométriques

Pour déterminer la pluie moyenne sur un bassin versant, toutes les stations météorologiques ; aussi bien celles dans le bassin que celles situées dans son voisinage immédiat ; doivent être considérées. Toutefois, afin d'éviter toutes conclusions erronées, il est impératif de donner une interprétation propre aux valeurs des précipitations mesurées ; ces dernières ne pouvant être acceptées à coup de vue. A titre d'exemple, une précipitation annuelle pour une station donnée peut être de faible importance si l'instrument de mesure fût largement changé d'un site à l'autre durant la période pour laquelle on calcule la moyenne. De plus, plusieurs stations pluviométriques peuvent présenter des lacunes d'observations ou de mesures dues ; par exemple ; à l'absence de l'observateur ou à une panne instrumentale. Il devient donc nécessaire, et c'est souvent le cas, de procéder à une estimation des données faisant défaut. Plusieurs techniques dites "méthodes de comblement des lacunes ou d'homogénéisation des données observées" sont utilisées par différents organismes pour palier à ce genre de contraintes. Parmi ces techniques on cite les suivantes.

3. La méthode du Rapport Normal " *Normal Ratio Method* "

Utilisée par l'US Environmental Service, cette méthode permet d'estimer la pluie manquante à la station lacunaire X, soit P_x , par la relation suivante :

$$P_x = \frac{N_x}{3} \left(\frac{P_A}{N_A} + \frac{P_B}{N_B} + \frac{P_C}{N_C} \right)$$

Où P_A , P_B et P_C sont respectivement les pluies aux stations avoisinantes (ou de référence) A, B et C pour la période considérée et N_x , N_A , N_B et N_C sont les pluies normales (ou modules pluviométriques moyens) calculées de préférence sur une période de 30 ans.

Cette méthode est recommandée si les stations de référence sont uniformément espacées et si l'écart absolu relatif défini par:

$$|N_i - N_x| / N_i$$

est supérieur à 10 % ; i pouvant prendre les indices A, B et C. Au cas où cet écart est inférieur à 10 % pour l'ensemble des stations, la moyenne arithmétique des trois stations de base est attribuée à la station lacunaire X.

4. Application :

1- La station pluviométrique X était in opérationnelle pour une partie d'un mois durant laquelle une averse avait eu lieu. Aux trois stations avoisinantes A, B et C les précipitations respectives étaient de 98, 80 et 110 mm. Sachant que les modules pluviométriques annuels (ou normales) aux stations X, A, B et C sont respectivement 880, 1008, 842 et 1080 mm, estimer la hauteur des précipitations tombées à la station X lors de l'averse sus-citée.

**TD N°03**

(Détermination de la précipitation moyenne sur l'ensemble d'un bassin versant Méthode de Thiessen).

Nom :	Prénom :	La note :
Matricule :	Emargement :	Groupe :

1. Enoncé :

Soit un bassin versant d'Isser, dont on a installé des stations pluviométriques, au niveau du bassin, on décide de déterminer la précipitation moyenne sur l'ensemble du bassin :

* Déterminer les précipitations moyennes annuelles sur l'ensemble du bassin en utilisant la méthode de Thiessen?

Données :

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P annuelle (mm)	750	700	650	688	624	780	695	600	660

* Le Bassin versant d'Isser est désigné sur la page N°2

2. Solution :

x: station pluviométrique.

L'exutoire.



Nord



Ech: $\frac{1}{500\,000}$

Bassin Versant d'ISSER

TD N° 04 L'INFILTRATION

Nom :	Prénom :	La note :
Matricule :	Emargement :	Groupe :

Exercice 1 : l'infiltration

L'estimation de l'importance du processus d'infiltration permet de déterminer quelle fraction de pluie va participer à l'écoulement de surface, et quelle fraction va participer à la recharge des nappes souterraines.

Parmi les nombreux modèles du processus d'infiltration existants, on peut retenir deux grandes approches, à savoir : une approche basée sur des relations empiriques, à 2, 3 ou 4 paramètres (fonction d'infiltration de Horton,...) et une approche à base physique (modèle de Philipp, Green et Ampt,...).



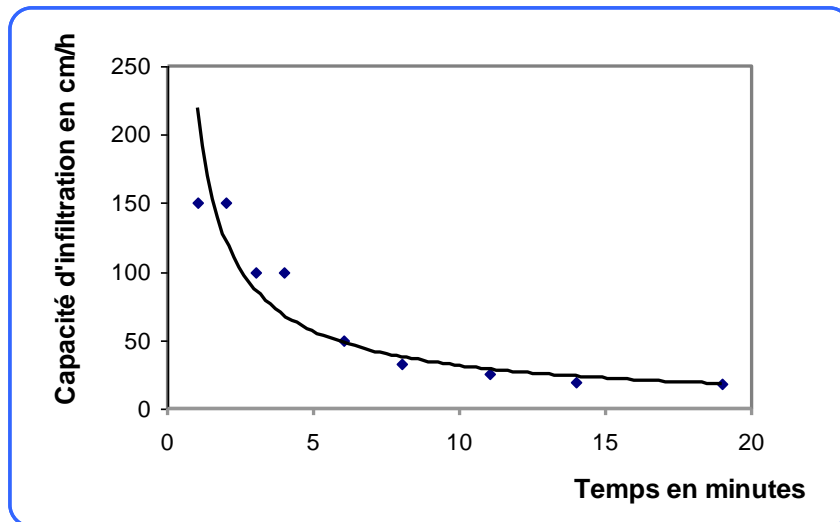
Photo du Dispositif du double anneau

la pluie va participer à

approches, empiriques, Horton,...) modèle de

Le tableau qui suit présente les valeurs enregistrées sur le terrain à l'aide du dispositif du double anneau

Heure	Lecture (cm)	Temps (min)	Δt (hr)	Hauteur infiltrée (cm)	Capacité d'infiltration (cm/h)
13H47	41,5	0			
13H48	43	1			
13H49	44,5	1			
13H50	45,5	1			
13H51	46,5	1			
13H53	48	2			
13H55	49	2			
13H58	50,3	3			
14H01	51,3	3			
14H06	52,8	5			
14H11	54,3	5			



Courbe

capacité d'infiltration en fonction du temps.

représentative de la

1- Calculer la capacité d'infiltration d'infiltration à l'aide de la fonction d'infiltration de Horton

$$i(t) = i_f + (i_0 - i_f) \times e^{-\gamma \cdot t}, \text{ avec :}$$

$i(t)$: capacité d'infiltration au temps t [cm/h],

i_0 : capacité d'infiltration respectivement initiale dépendant surtout du type de sol [cm/h],

i_f : capacité d'infiltration finale [mm/h],

t : temps écoulé depuis le début de l'opération [h],

γ : constante empirique, fonction de la nature du sol [min-1]. $\gamma = \frac{i_0 - i_f}{I_f}$

Exercice 2 :

Les précipitations moyennes mensuelles ainsi que les valeurs de l'évapotranspiration potentiel (ETP) et réelle (ETR) de la période qui s'étant entre 1990 et 2006 calculées pour la région de Bouteldja (extrême Est de l'Algérie) à l'aide des données des stations météorologique des salines et de Ben M'hidi ; sont présentées dans le tableau qui suit :

Paramètre Station	P (mm/an)	ETR (mm/an)	ETP (mm/an)
Les Salines	676.17	468.03	915.39
Ben M'hidi	618.69	432.55	918.56

1- Calculez la lame d'eau ruisselée en mètre à l'aide de la formule de Tixerant-Berckaloff $R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$? Avec : P :

Précipitation moyenne en m, R : Ruissellement en m, ETP : Evaporation potentiel en m.

2- Calculez la quantité d'eau infiltrée en mètre en se basant sur la formule du bilan hydrologique : $P = ETR + R + I_e$?

3- Calculez le pourcentage des précipitations évaporées, des eaux ruisselées ainsi que celles infiltrées?

TD N°5 : Notion de la réserve facilement utilisable (RFU)

Le sol a un impact important sur le bilan car il possède une capacité de stockage qui peut s'épuiser ce qui conduit au flétrissement des végétaux et ainsi à une baisse de l'évapotranspiration.

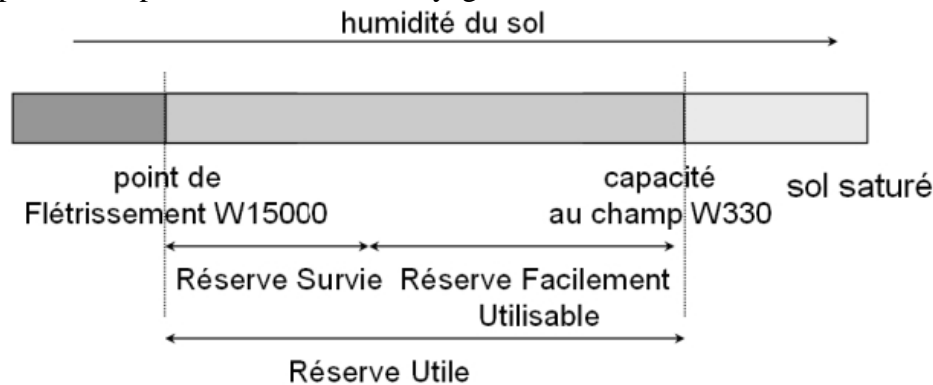
La porosité du sol (20 à 30% en général) peut être considérée comme une capacité de stockage :

- Lorsque le sol est rempli d'eau, la porosité est presque totalement occupée par l'eau, le sol est dit saturé,
- Une grande partie de cette eau s'écoule par gravité verticalement dans le sous-sol ou latéralement,
- Le sol se draine jusqu'à atteindre la « capacité au champ » W330 qui correspond l'eau contenue dans le sol à une tension d'humidité du sol de -330 hPa (généralement obtenue après 48 h de ressuyage) : l'eau qui subsiste alors dans le sol est retenue par succion,
- La végétation puise dans cette réserve jusqu'à une tension de -15000hPa, puis elle flétrit (la valeur de tension de -15000hPa est nommée W15000 ou point de flétrissement),
- La réserve utile est la différence entre l'eau contenue dans le sol à la capacité au champ et l'eau contenue dans le sol au point de flétrissement, elle varie d'un sol à l'autre, elle correspond à une lame d'eau contenue dans une épaisseur unitaire de sol et est exprimée généralement en mm/m,
- La réserve utile totale = réserve utile * épaisseur sol

Estimation de la réserve utile (RU) en mm

Point de flétrissement : W15000 sans qu'il y ait de dépérissement irréversible des végétaux

Capacité au champ : W330 après saturation et ressuyage durant 48h



Il existe de multiples fonctions pour quantifier la RU à partir de données de texture des sols. Les équations de régression linéaire de **Rawls** ont l'avantage d'être simples et ont été testées sur un large échantillon de sols américains (2 500 horizons prélevés dans 32 États des États-Unis), leur validation a offert des coefficients de corrélation de 0,80 et de 0,87 pour l'estimation de la teneur en eau à - 15 000 hPa et à - 330 hPa respectivement.

$$W330 = 257,6 - (2 \times Sa) + (3,6 \times Ar) + (29,9 \times MO)$$

$$W15000 = 26 + (5 \times Ar) + (15,8 \times MO)$$

avec :

- W330 teneur en eau à -330 hPa (en mm/m)
- W15000 teneur en eau à -15 00 hPa (en mm/m)
- Ar : teneur en argile (en %)
- Sa : teneur en sable (en %)
- MO : teneur en matière organique (en %)

La réserve utile (RU) en mm est calculée pour chaque horizon par la fonction suivante :

$$RU = (W330 - W15000) \times h$$

- h : épaisseur de l'horizon (en m)

* Exercice d'application :

Calculez la réserve utile d'un sol formé de deux (02) horizons ?

- Horizon de surface (0-20 cm) : 10% argile, 30% sable, 2% matière organique
- Horizon profond (20-70 cm) : 15% argile, 20% sable.

Estimer la valeur de RFU?



TD N°06

Enoncé : Les données figurants dans les tableaux ci-dessous représentent les moyennes et les hauteurs mensuelles des températures et des précipitations des stations Météorologiques des Salines et de Ben M'hidi.

Tab. N° 01 : Station des Salines sur une période de 16 ans (1990 – 2006)

Mois Paramètre	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aout
P (mm)	37.33	61.83	86.94	123.06	102.68	78.69	49.76	64.23	43.13	12.25	3.03	13.24
T (°C)	22.60	19.81	15.36	13.23	11.06	11.39	13.29	15.17	18.69	22.68	25.04	26.13
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24

Tab. N° 02 : Station de Ben M'hidi sur une période de 16 ans (1990 – 2006)

Mois Paramètre	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aout
P (mm)	39.43	45.47	86.0	106.73	98.92	79.91	46.01	61.85	36.36	6.53	1.99	9.49
T (°C)	23.57	20.29	15.48	12.43	10.69	11.6	13.31	15.09	18.58	22.19	24.83	26.14
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24

Question N01 : Calculer l'ETR par les formules de Turc et de Coutagne ?

a. Formule de Turc :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)}} ; L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : Précipitation annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C.

L : Pouvoir évaporant.

b. Formule de Coutagne : $ETR = P - \lambda P^2$

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations répond à la condition suivante :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \quad \text{pour} \quad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

Avec :

ETR : L'évapotranspiration réelle en m.

P : Précipitation moyenne annuelle en m.

T : Température moyenne annuelle en °C.

Question N02 : Calculer l'ETP par la formule de Thornthwaite ?

L'évapotranspiration potentielle est la quantité maximale de vapeur d'eau susceptible d'être reprise par l'atmosphère si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était un facteur limitant.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle on applique la formule de Thornthwaite.

$$ETP = 16 \left(10 \frac{T}{I}\right)^a . K$$

$$\text{Avec : } i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5}, \quad I = \sum_{i=1}^{12} i, \quad a = (1.6/100)I + 0.5$$

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.

T : Température moyenne du mois considéré en °C.

K : Coefficient d'ajustement mensuel.

I : Indice thermique mensuel.



TD N 7 Ruissellement superficiel

A) La formule de **Tixeront-Berkaloff** pour l'évaluation du ruissellement (R) se présente comme suit :

$$R = P^3/3 \text{ ETP}^2. \text{ Si } P < 600 \text{ mm Avec :}$$

R : ruissellement en mm ; P : précipitation moyenne annuelle en mm ; ETP : évapotranspiration potentielle moyenne annuelle calculée par la méthode de Thornthwaite en mm.

La formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par **Romantchouk** (1974) :

$$R = (0.01P)^3/3. \text{ si } P > 600 \text{ mm}$$

B) L'estimation du ruissellement par la formule **D.G.R.E** est comme suit : Cette formule appliquée par la Direction Générale des Ressources en Eau tunisienne et élaborée par A. Ghorbel. Elle se base sur une corrélation de la lame d'eau annuelle écoulée et sur la pluviométrie moyenne sur plusieurs bassins contrôlés.

On aura de cette corrélation trois groupes de bassins ayant les ruissellements différents :

- Premier groupe, peu ruisselant.
- Second groupe, moyennement ruisselant.
- Troisième groupe, très ruisselant.

Les équations des droites de régression ajustées aux trois groupes sont :

- Premier groupe, $Re = 0.26 P - 80$
- Second groupe, $Re = 0.26 P$
- Troisième groupe, $Re = 0.26 P - 150$

Re : lame d'eau annuelle écoulée en mm.

P : pluviométrie moyenne sur le bassin en mm.

Le choix du groupe auquel appartient le bassin ou le sous bassin dont nous voulons estimer l'apport reste un problème, car pour un bassin donné, les différents sous bassins n'appartiennent pas au même groupe. Cette différence dans les écoulements est due probablement à des conditions géologiques et pédologiques particulières.

Pour résoudre ce problème, Ghorbel a tenté une corrélation entre le pourcentage cumulée des formations du quaternaire et des alluvions et l'écart entre la lame d'eau ruisselée observée et celle calculée par la formule

$Re = 0.26 P$ qui caractérise le deuxième groupe.

Cette corrélation, peut améliorer l'estimation du ruissellement en faisant une correction des valeurs calculées. Le tableau qui suit présente les corrections des lames d'eaux écoulées à partir de cette correction.

Quaternaire + alluvions (%)	0	1 - 2	3 - 5	5 - 7	7 - 22	22 - 26	26 - 30	> 30
C	+150	+120	+80	+40	+6	-20	-30	-80

Tab.1. Valeurs des corrections (C) des lames écoulées (Re)

Application 1 :

Calculer la lame d'eau ruisselée (Re mm) dans les stations mentionnées au tableau ci-dessous.

Station	ETP (mm)	P (mm)
Ain Oussera (2000/2010)	961.27	218.02
Djelfa (1983/2013)	831.70	305.90

Tab.2. Précipitations et Evapotranspirations

Application 2 :

Sachant que dans le bassin versant de l'Oued Guebli, la couverture alluvionnaire représente environ 5.93% de la superficie totale du bassin (estimée à partir de la carte géologique du bassin).

Calculer la lame d'eau ruisselée dans ce bassin pour les quatre stations pluviométriques mentionnées dans le tableau ci-dessous (utiliser deux méthodes et comparer les résultats).

Station	P (mm)
Guenitra (89/90 – 03/04)	650.27
Aflassane (89/90 – 03/04)	809.69
Tamalous (89/90 – 03/04)	852.89
Zitouna (79/77 – 90/91)	1574.56

Tab.3. Précipitations moyennes annuelles dans le bassin versant de l'Oued Guebli.



TD N° 8 Etablissement du bilan Hydrique.

Problème :

A une station d'observation climatologique, les moyennes de la température (T° C) et les hauteurs de pluies sur une période de 20 ans sont les suivantes.

Paramètres \ Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Pluies (mm)	52	89	120	130	122	90	92	72	44	13	05	9.5
T° C	23	20	15	11	12	11.5	13	15	18	21	24	25
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24

Noter que (HR : l'humidité relative est > 50 %).

- 1- Estimer à partir de ces observations et par la formule de Thornthwaite l'ETP de cette station?
- 2- On se propose d'affiner cette estimation en procédant à l'estimation de l'ETR par la méthode du bilan d'eau de Thornthwaite en prenant pour RFU = 100 mm ; Quelles sont les valeurs annuelles des différents termes du bilan?
- 3- Calculer le déficit d'écoulement d'après la formule de Turc (ETR par la formule de Turc) ; Comparer le résultat obtenu avec celui obtenu par la méthode du bilan d'eau par Thornthwaite ; Quelle est votre conclusion?
- 4- Représenter les différents résultats obtenus sur un graphique et donner votre conclusion. ?

On donne :

- ETP par Thornthwaite $ETP = 16 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a \cdot K$ Avec : $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.5}$, $I = \sum_{i=1}^{12} i$, $a = (1.6/100)I + 0.5$.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2} \right)}}$$

- ETR par Turc : $L = 300 + 25t + 0.05t^3$