

- **Coefficient pluviométrique (Cp)**

Le coefficient pluviométrique correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires et les années déficitaires par rapport à la moyenne de la même série :

- Une année excédentaire (AE) si : $C_p > 1$.
- Une année déficitaire (AD) si : $C_p < 1$.
- La moyenne si : $C_p = 1$.

Ce paramètre est en relation proportionnelle avec la pluviométrie. Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne annuelle observée à une station donnée. Mathématiquement, il se détermine par l'équation :

$$C_p = P / P_{\text{moy}}$$

Avec :

C_p : Coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie de l'année donnée en (mm).

P_{moy} : Pluviométrie moyenne pour une période de n années en (mm).

- **Rythme climatique**

1. Diagramme pluviothermique (Ombro-thermique)

Le diagramme pluviothermique (combinaison de deux paramètres climatiques qui sont ; les précipitations et les températures), permet la détermination du type du climat caractérisant une région, Le diagramme pluvio-thermique est établi selon la méthode de Gaussen et Bagnouls et dont les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations. Cela permet de déterminer la période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égale au double de la température du même mois (**Fig.**).

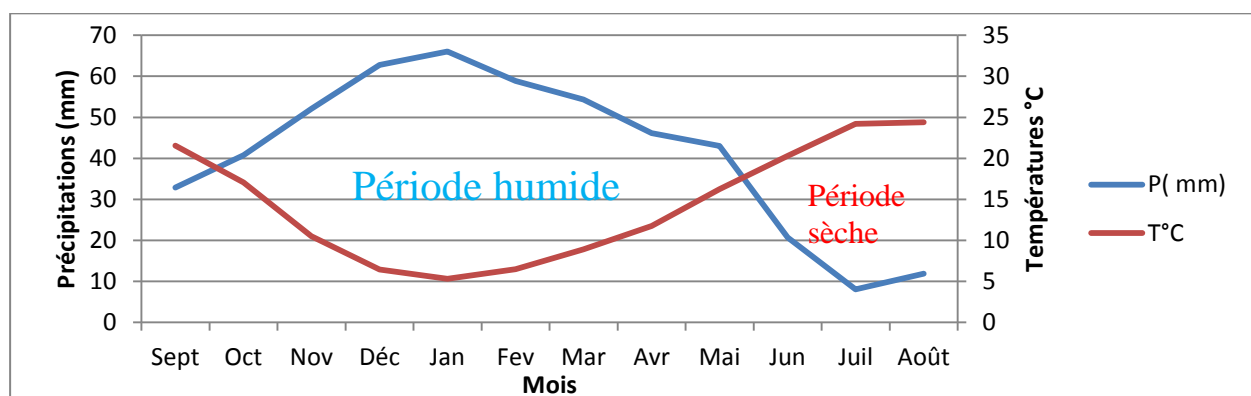


Fig. Diagramme Ombrothermique.

La représentation graphique de ce diagramme établi à partir des données des températures et des précipitations de la station météorologique montre deux périodes :

- La première froide et humide ; s'étale sur 8 mois, du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai (lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de la courbe des températures).

- La seconde chaude et sèche ; s'étale sur 4 mois, depuis fin Mai jusqu'à fin Septembre (lorsque la courbe des températures passe au-dessus de la courbe des précipitations).

La détermination de cette période sèche est d'une grande importance pour la connaissance de la période déficitaire en eau.

2. Indice d'aridité annuel d'E Martonne

Pour caractériser le climat d'une région donnée et évaluer son degré d'aridité, on fait appel à plusieurs indices, le plus utilisé est celui d'E Martonne, lié aux températures et aux précipitations, il est calculé par la formule suivante :

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

A : coefficient d'aridité.

Pour :

- $A < 5$: climat hyperaride.
- $5 < A < 7,5$: climat désertique.
- $7,5 < A < 10$: climat steppique.
- $10 < A < 20$: climat semi-aride.
- $20 < A < 30$: climat tempéré.
- $A > 30$: le climat est humide (l'écoulement est abondant).

❖ Exemple d'un bilan hydrique de Thornthwaite :

L'établissement du bilan hydrique d'une région donnée consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les différentes composantes à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, pour un but d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : ruissellement en (mm).

I : infiltration moyenne en (mm).

ETR : évapotranspiration réelle.

1. Estimation de l'évapotranspiration

Ce paramètre englobe l'ensemble de deux phénomènes ; d'évaporation (processus physique) et la transpiration (processus biologique). Il est considéré comme le plus important du bilan hydrologique après les précipitations car il conditionne l'abondance ou le déficit de l'eau pour la végétation. On distingue :

- Evapotranspiration réelle (ETR) qui représente l'eau réellement perdue par celle-ci sous forme de vapeur.
- Evapotranspiration potentielle (ETP) qui est l'eau susceptible d'être perdue dans les mêmes conditions quand elle n'est plus facteur limitant (Bouchet R,J, 1963).

Evapotranspiration potentielle (ETP)

Est la quantité maximale d'eau pouvant s'évaporer par les sols, surfaces d'eaux libres et transpirer par les êtres vivants sur une surface limitée et pendant une période bien définie, On utilise la méthode de C,W Thornthwaite pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP), elle est basée essentiellement sur la température :

$$ETP = 16(10T/I)^a \cdot K$$

Avec :

- ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm,
- T : température moyenne mensuelle en C°,
- I : somme des indices thermiques mensuels i ; $i = (T/5)^{1,514}$
- K : facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée (Nombre d'heures de la journée).
- a : exposant climatique : $a = 0,016 I + 0,5$

Avec :

$$I = 86,11 \quad a = 1,87$$

Les résultats sont résumés dans les tableaux ci-dessous (bilan hydrique), et illustrés dans la figure suivante.

Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement, la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée, L'évaluation de ce paramètre est effectuée par des formules empiriques :

La formule de Turc

Elle permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle :

$$ETR = \frac{P}{0,9 + \sqrt{P^2/L^2}}$$

Avec : $L = 300 + 25T + 0,05T^3$

ETR : évapotranspiration réelle (mm),

L : paramètre arbitraire lié à la température,

P : précipitation moyenne annuelle (mm),

T : température moyenne annuelle (C°),

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant:

Tab . ETR selon Turc à la station météorologique.

P (mm)	T (C°)	L	ETR (mm/an)
484,37	17,80	1026,98	356,15

❖ La méthode de l'eau de C.W. Thornthwaite

C'est une méthode du bilan hydrique du sol. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU) exprimée en mm de hauteur d'eau. La quantité d'eau maximum stockée par le sol son degré de saturation dépend de ; la nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle du terrain et du climat. Thornthwaite a admis que le sol est saturé quand il a absorbé une lame d'eau équivalente à 100 mm au maximum.

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle. Thornthwaite a considéré deux cas :

- si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès

(Ex) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP . Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

- Si $P - ETP > 0$; c,-à-d, : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.

- Si $P - ETP < 0$; c,-à-d, : $P < ETP$, ce cas est encore subdivisé en deux cas :

- Si $P + RFU > ETP$ $ETR = ETP$.

- Si $P + RFU < ETP$ $ETR = P + RFU$.

Les résultats des calculs sont résumés dans les tableaux ci-dessous (bilan hydrique).

❖ Etablissement du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite

– Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite pour la station météorologique a montré que l' ETP atteint son maximum au mois juillet (168,94 mm) et son minimum au mois de Février (17,52 mm).

– La constitution de la RFU débute au mois de novembre et s'étale jusqu'au mois de Mai.

– Le bilan hydrique pour une période de 34 ans dans la zone d'étude est déficitaire, les valeurs obtenues de l'évapotranspiration potentielle et réelle, le déficit agricole et l'excédent sont représentés dans le tableau.

Tab. Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à une station météorologique (1986-2020).

Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite													
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Annuel
P (mm)	25,98	45,18	56,85	62,42	56,5	53,7	54,05	48,15	41,76	21,4	6,7	11,68	484,37
T(C°)	24,26	20,05	14,63	11,23	10	9,86	11,84	14,65	18,65	23,52	27,07	27,87	17,8
I	10,92	8,18	5,08	3,4	2,85	2,79	3,68	5,09	7,33	10,42	12,89	13,48	86,11
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm)	114,32	75,38	37,07	21,29	18,41	17,52	29,89	47,54	82,13	127,79	168,94	166,89	907,17
ETR (mm)	25,98	45,18	37,07	21,29	18,41	17,52	29,89	47,54	82,13	81,03	6,7	11,68	424,42
RFU100 mm	0	0	19,78	60,91	99	100	100	100	59,63	0	0	0	
Da	88,34	30,2	0	0	0	0	0	0	0	46,76	162,24	155,21	482,75
Ex	0	0	0	0	0	35,18	24,16	0,61	0	0	0	0	59,95

Avec :

- T : température mensuelle en (C°).
- P : précipitation mensuelle en (mm).
- I : indice thermique.
- K : coefficient de latitude.
- ETP : évapotranspiration potentielle en (mm).
- ETR : évapotranspiration réelle en (mm).
- RFU : réserve facilement utilisable en (mm), (RFU=100mm) pour le calcul du bilan.
- Da : déficit agricole (mm).
- Ex : excédent en (mm).

➤ **Formules de vérification :**

$$P = \sum ETR + \sum EX \implies P = 424,42 + 59,95 = 484,37 \text{ mm.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA \implies ETP = 424,42 + 482,75 = 907,17 \text{ mm.}$$

$$DA = \sum ETP - \sum ETR \implies DA = 907,17 - 424,42 = 482,75 \text{ mm.}$$

$$EXC = \sum P - \sum ETR \implies EXC = 484,37 - 424,42 = 59,95 \text{ mm.}$$

Nous constatons que les résultats issus des bilans sont vérifiés

➤ **Interprétation du bilan hydrique**

La figure suivante illustre les résultats de tableau ci-dessus. Le bilan hydrique de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (168,94 mm) et son minimum au mois de Février (17,52 mm).

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement. Dès que la RFU diminue, il y aura un épuisement du stock, Quand la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA).

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de novembre (19,78 mm) et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de février jusqu'au mois d'avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

Le déficit agricole (DA) s'observe à partir du mois de Juin et se poursuit au mois d'Octobre.

L'excédent commence à partir du mois de Février jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de Février (35,18 mm),

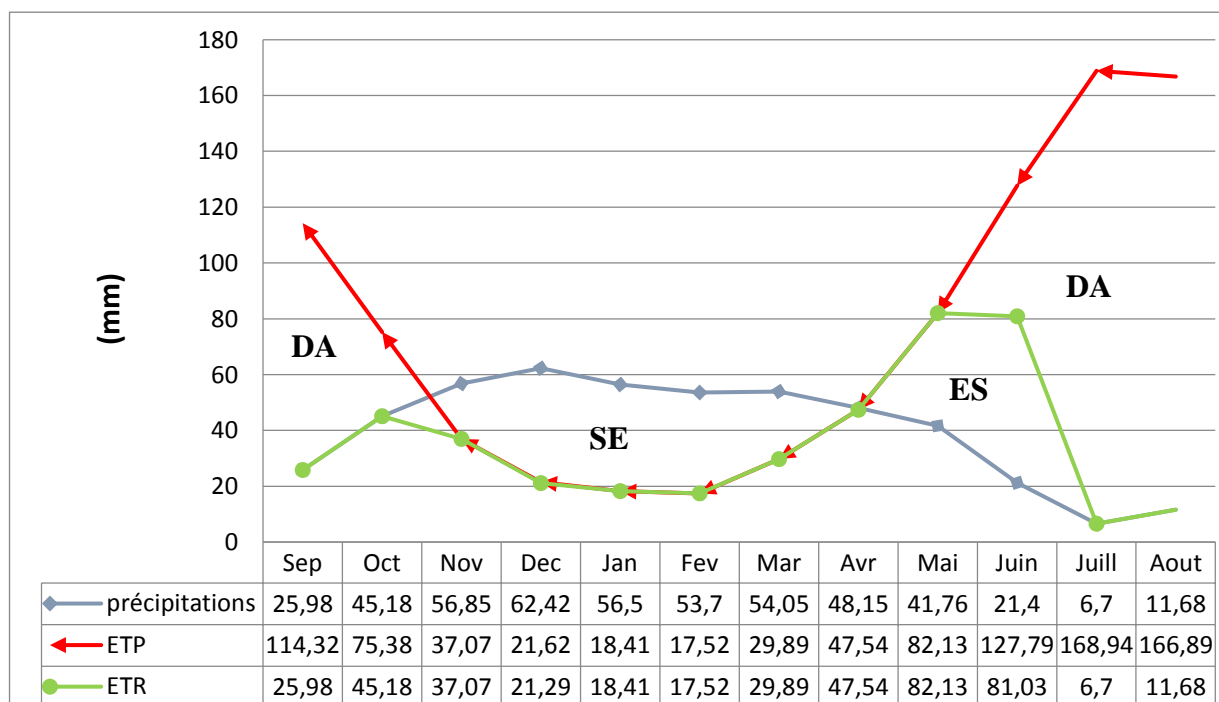


Fig. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite à la station météorologique.
(1986-2020).

DA : Déficit Agricole, **SE** : Surplus d'Eau, **ES** : Epuisement du stock

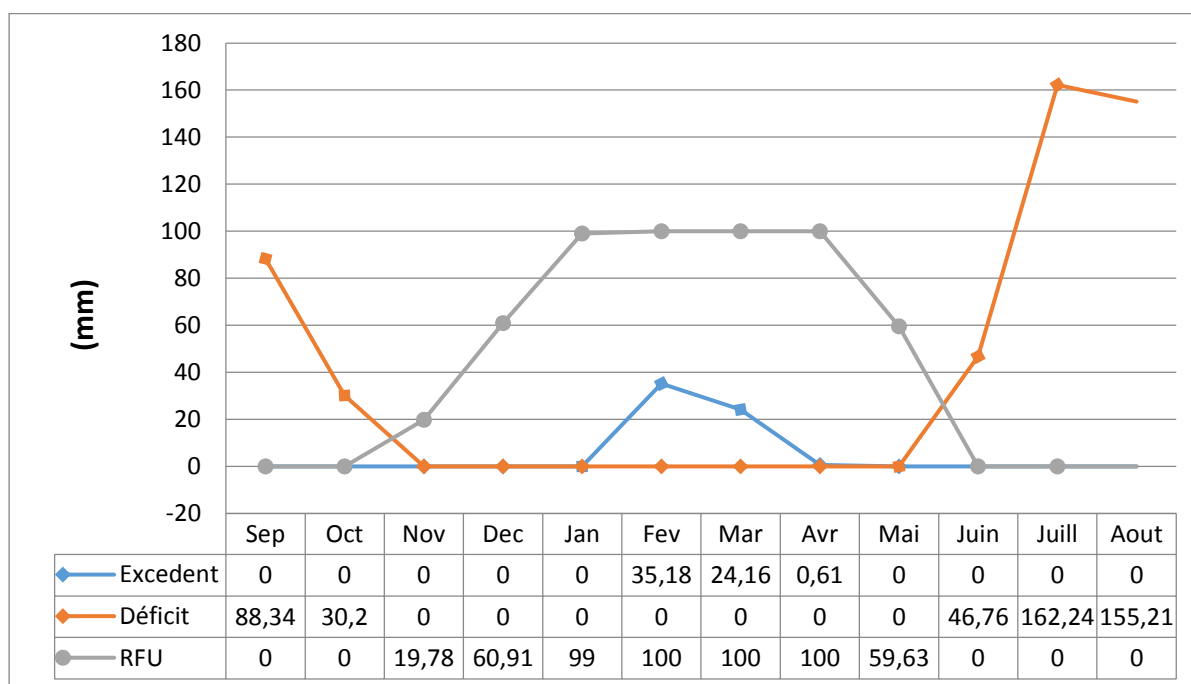


Fig. II.10. Variation mensuelles des résultats du bilan hydrique à la station météorologique.
(1986-2020).

❖ .Estimation du ruissellement

Le ruissellement peut être défini comme un phénomène physique d'écoulement non organisé de l'eau sur un bassin versant suite à des chutes de pluies. Suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau sera soumise à l'infiltration qui alimentera les nappes souterraines.

Le coefficient de ruissellement (R) est calculé par la formule de M, J Tixeront et Berkaloff, avec la condition de $P < 600\text{mm}$.

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Avec :

R : ruissellement,

P : précipitations,

ETP : Evapotranspirations potentielle calculée par la méthode de Thornthwaite,

Les résultats des calculs sont donnés dans le *tableau.II.12*.

Tab. Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff.

Station	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)
Paramètre	484,37	907,17	46,02

❖ Estimation de l'infiltration

L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol, elle renouvelle les stocks d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoulement souterrain, après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol. L'infiltration est difficile à calculer Quand on n'a pas des mesures faites sur le terrain, elle a été estimée de l'équation du bilan de l'eau :

$$P = ETR + R + I \quad \longrightarrow \quad I = P - R - ETR$$

Avec :

I : l'infiltration (mm),

ETP : évapotranspiration réelle (mm).

P : Précipitation Annuelle (mm),

R : Ruissellement Annuel (mm).

Si $I > 0$: Les entrée sont supérieures aux sorties,

Si $I < 0$: Les entrée sont inférieures aux sorties.

Les résultats des calculs sont donnés dans le tableau

Tab. Estimation de l'Infiltration en (mm).

Paramètres	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Valeurs	484,37	424,42	46,02	13,93

. Conclusion

La synthèse des données nous permet de conclure que :

- Le climat mixte (continental semi-aride et humide) de la région d'étude est confirmé par des Hivers pluvieux et froids et des Etés chauds, secs et ensoleillés, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux ; la précipitation et la température avec des moyennes de 484,37 mm et 17,80C° respectivement, à la station météorologique.

L'interprétation du bilan hydrique selon la formule de C,W Thorthwaite, donne une évapotranspiration réelle très élevées de l'ordre de 424,42 mm/an présentant un pourcentage de (87,62%) des précipitations totales.

La formule de Tixeront-Bercaloff, donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 46,02 mm/an (9,50%) des précipitations. l'infiltration a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique avec 13,93 mm/an (2,87%) des précipitations enregistrées, La période d'excédent s'effectue au mois de Novembre et commence à s'épuiser au mois de Mai,

Le déficit agricole pour satisfaire les besoins en eaux d'irrigation des cultures est estimé à 482,75 mm à la station météorologique.