

## I. INTRODUCTION

Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre, le cycle global de l'eau. La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration qui renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de l'écoulement souterrain (*Castany., 1998*).

L'ouvrage de *P. Seltzer « climat de l'Algérie »* sur la période de (1913-1938), qui est le plus adéquat et le plus approprié, en outre « la carte pluviométrique de l'Algérie » de (*Chaumont M.et Paquin C. 1913-1963*) sont devenus les travaux de référence de toutes études climatologiques, c'est pourquoi on les consulte durant cette étude.

La pluviométrie, et la température, sont les facteurs climatiques indispensables qu'on doit collecter au début de chaque étude climatologique, pour la quantification des ressources en eau et la détermination des différents paramètres du bilan hydrologique.

## II. CLIMAT ET L'EAU EN ALGÉRIE

La plupart des pays méditerranéen reçoivent des quantités importante d'eau à la période hivernale, l'Algérie une de ces pays, elle est considérée sèche bien qu'elle dispose d'une quantité énorme d'eau sous forme de précipitations peuvent atteindre 65 milliards de m<sup>3</sup>, mais malheureusement on ne profite que d'une quantité très limitée cela dû au nombre réduit des jours précipités, la concentration de la précipitation sur des espaces limités, la forte évaporation et le grand problème c'est l'évacuation rapide vers la mer.

L'organisation des ressources hydrauliques est connue dans ses grandes lignes schématiquement, les ressources de surface décroissant du Nord au Sud et à mesure que croissent les ressources souterraines, ce phénomène est lié à :

- ✓ La répartition pluviométrique abondante sur le littorale (surtout N-E) et décroissant vers le Sud avec le net gradient.

- ✓ Les données structurales les plus amples et calme vers le Sud.

## III. PARAMÈTRES CLIMATOLOGIQUES

Les études de l'hydroclimatologie sont basées sur les données climatiques fournies par les stations météorologiques telle que la pluviométrie, la température, le vent, et l'humidité relative. La précipitation est le paramètre le plus important, elle influe directement sur le régime des cours d'eau et les écoulements, l'infiltration et l'alimentation des nappes d'eau souterraines, et aussi sur l'évapotranspiration.

Cinq stations météorologiques sont situées dans les périphéries du bassin versant de Kebir Ouest peuvent le contrôler, leurs altitudes varient de 1,30m à Skikda, jusqu'au 96m à Azzaba,

malheureusement une sixième celle de Charka qui se trouve au plein centre du bassin n'est pas fonctionnelle.

Les données sont recueillies au niveau de l'ONM et de l'ANRH de Skikda, Annaba et Constantine. Le tableau ci-après récapitule les coordonnées et les références des cinq stations consultées.

**Tableau III.1. Références des stations pluviométriques**

Coordonnées	Skikda	Azzaba	Ain Charchar	Berrahal	Zit Emba
X	874,50	892,35	909,50	923,35	/
°E	6° 54' 33"	7° 5' 45"	7° 17' 17"	7° 27' 30"	7° 18' 22"
Y	406,40	391,35	393,27	405,56	/
°N	36° 20' 47"	36° 44' 38"	36° 45' 15"	36° 50' 5"	36° 40' 53"
Altitude (m)	1,30	96	34	33	58
Code	031102	031106	031201	031302	0312 ..

### III.1 Régime des vents

Il représente l'un des facteurs les plus déterminants du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. Les vents dominants dans la région d'oued Kebir Ouest sont de direction Nord-Ouest avec une vitesse presque constante au cours de l'année varient entre 3,22 m/s la vitesse minimale enregistrée au mois de Mai et 3,89 m/s une vitesse maximale enregistrée au mois de Décembre, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 3,52 m/s.

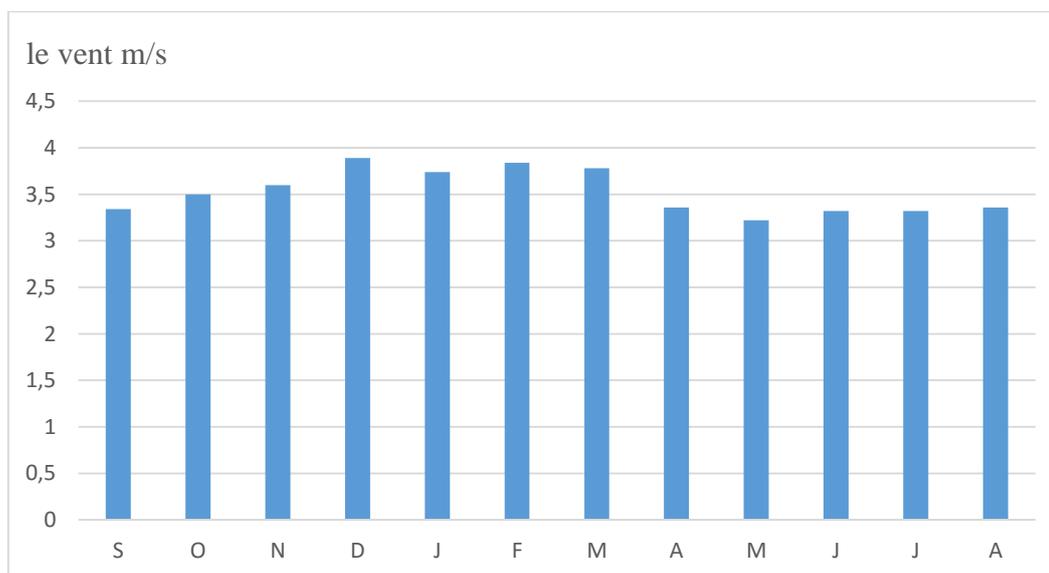
Le sirocco se manifeste aux mois de Juillet et Août mais de manière discontinue, ce sont des vents de direction Sud-Est et Sud-Ouest, ils proviennent généralement du Sahara ils sont sec et chaud soufflant sur la région pendant la période sèche.

Puisque la station de Skikda est la seule qui enregistre la vitesse du vent alors on s'y retourne pour recueillir les données possibles, et dans le tableau ci-après on trouve les moyennes mensuelles

**Tableau III.2. Vitesse du vent enregistrée à la station de Skikda**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Vitesse m/s	3,34	3,50	3,60	<b>3,89</b>	3,74	3,84	3,78	3,36	<b>3,22</b>	3,32	3,32	3,36	<b>3,52</b>

Station de Skikda 2012



**Figure III.1 : Vitesse du vent enregistrée à la station de Skikda**

### III.2 Humidité relative

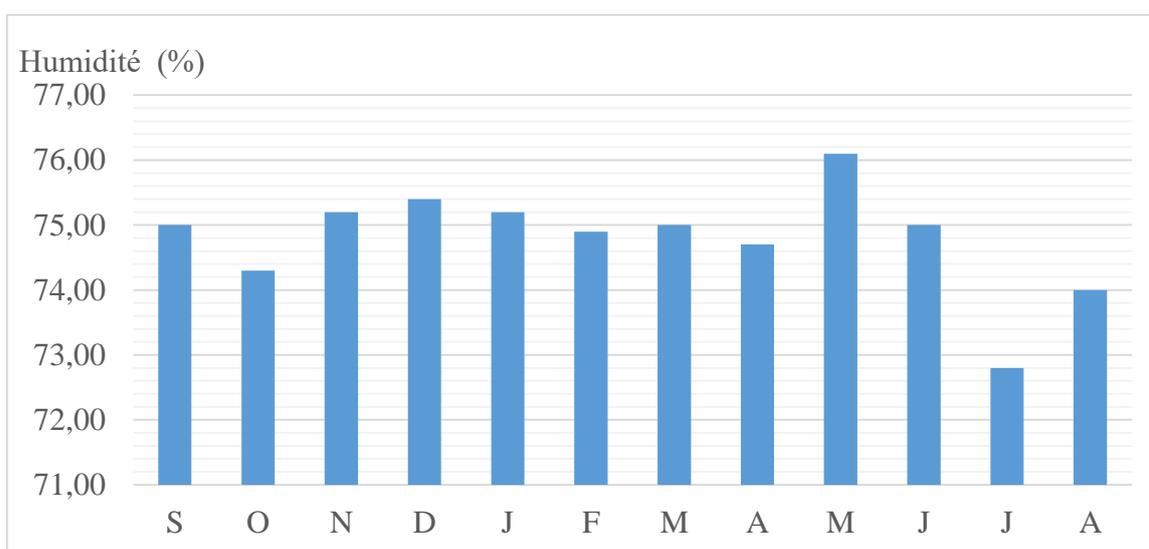
L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température, exprimée en (%).

Les moyennes mensuelles présent au niveau de la station de Skikda varient entre 72,80 % valeur minimale transcrite au mois de Juillet et 76,10 % valeur maximale enregistrée au mois de Mai avec une moyenne annuelle de l'ordre de 74,80 %.

**Tableau III.3. Humidité relative moyenne mensuelles à la station de Skikda**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Hum (%)	75,00	74,30	75,20	75,40	75,20	74,90	75,00	74,70	<b>76,10</b>	75,00	<b>72,80</b>	74,00	<b>74,80</b>

Station de Skikda



**Figure III.2 : Moyenne Mensuelle de l'humidité relative à la station de Skikda**

### III.3 Précipitations

Les précipitations désignent les gouttes d'eau ou les cristaux de glace qui, formés après condensation et agglomération dans les nuages, deviennent trop lourds pour se maintenir en suspension dans l'air et tombent au sol ou s'évaporent avant de l'atteindre. D'autre façon c'est la hauteur de la lame d'eau recueillie par la pluviométrie quel que soit l'origine de cette eau, pluie, neige, grêle ou toutes autres formes de condensation.

Dans les études pareilles en s'intéresse uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordial dans le comportement hydrogéologique du bassin versant, elles sont relativement importantes, variables, et irrégulières d'une année à l'autre, et d'une saison à l'autre.

Dans l'équation du bilan hydrologique, la pluviométrie est le paramètre essentiel que nous essaierons d'étudier de façon mensuelle, saisonnière, et annuelle. La forme particulière de ce bilan s'écrit :

$$P = E_{tr} + R + I$$

Où :  $P$  = Précipitation moyenne annuelle (mm).

$E_{tr}$  = Évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

$R$  = Ruissellement moyen annuel (mm).

$I$  = Infiltration moyenne annuelle (mm).

La pluviométrie obtenue par les différentes méthodes statistiques, arithmétiques et graphiques n'est qu'une estimation de la valeur vraie puisque nous la mesurons en un point donné qui serait représentatif de la superficie totale du bassin versant. L'altitude, l'exposition et l'éloignement à la mer de la station sont les principaux facteurs qui conditionnent la précipitation.

### III.3.1 Répartition interannuelle des précipitations

La carte de précipitation moyenne annuelle de *M. Chaumont* et *C. Paquin* montre une répartition géographique des précipitations qui dépend d'une part de l'influence de la mer et d'autre part de l'altitude et de l'orographie.

D'autres cartes des précipitations du Nord Algérien établies par l'A.N.R.H pour la période (1965-1995) montre que les précipitations oscillent entre 400 et 700 mm dans la plaine alluviale de l'oued el-Kebir Ouest.

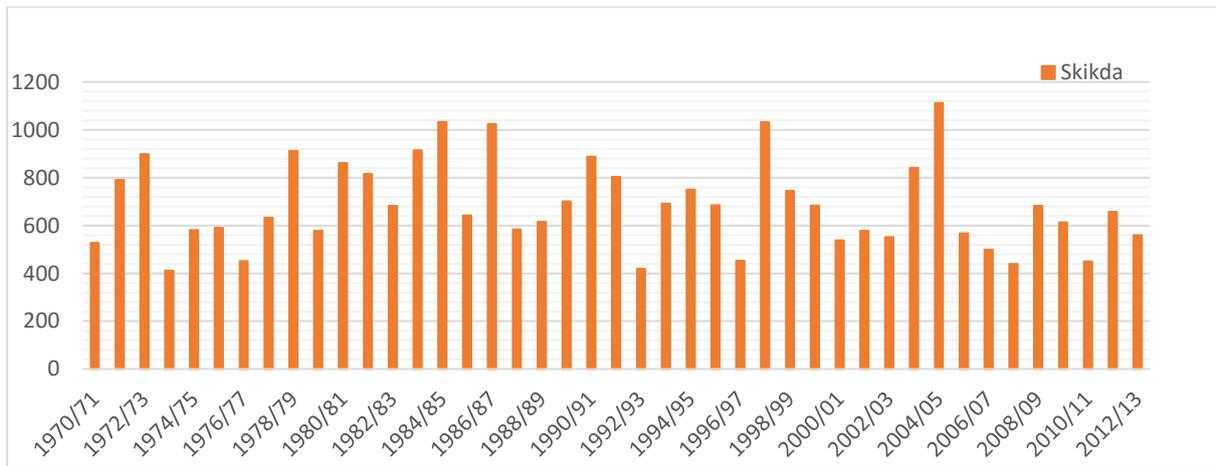
L'étude d'un échantillon de précipitations allant de 1970 jusqu'au 2013, recueillies au niveau des différentes stations pluviométriques de Skikda, Azzaba, Ain Charchar, Zit-Emba et Berrahal nous a permis de réaliser un graphe et un histogramme de chaque station où ils représentent les hauteurs de la pluie interannuelle d'une période de 43 ans.

D'après les données étudiées on remarque que la pluviosité varie de 268 mm la valeur minimale enregistrée à la station de Zit-Emba en 1984/85, et 1275,1 mm en 2002/03 la valeur maximale transcrite à la station de Ain Charchar.

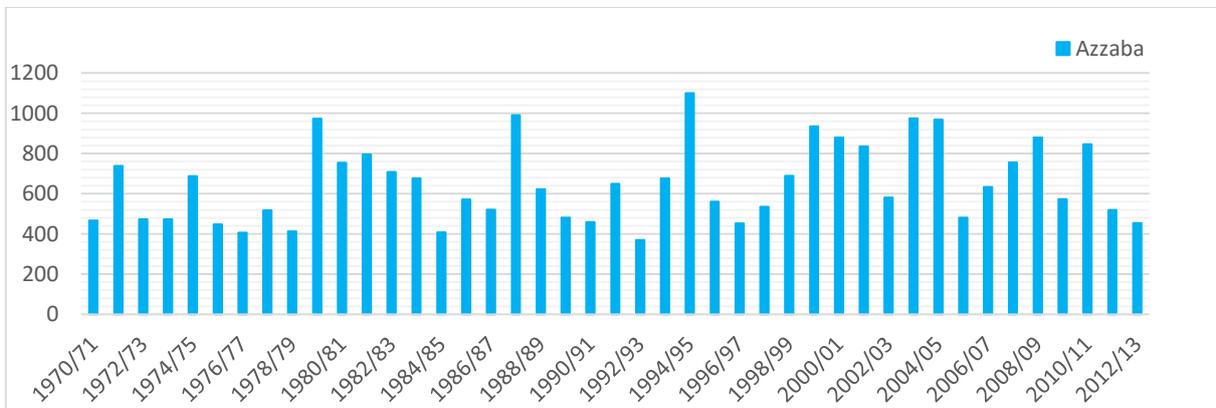
Le tableau ci-après récapitule les minima et les maxima des précipitations enregistrées dans les différentes stations pluviométriques.

**Tableau III.4. Les valeurs minimales et maximales observées dans différentes stations**

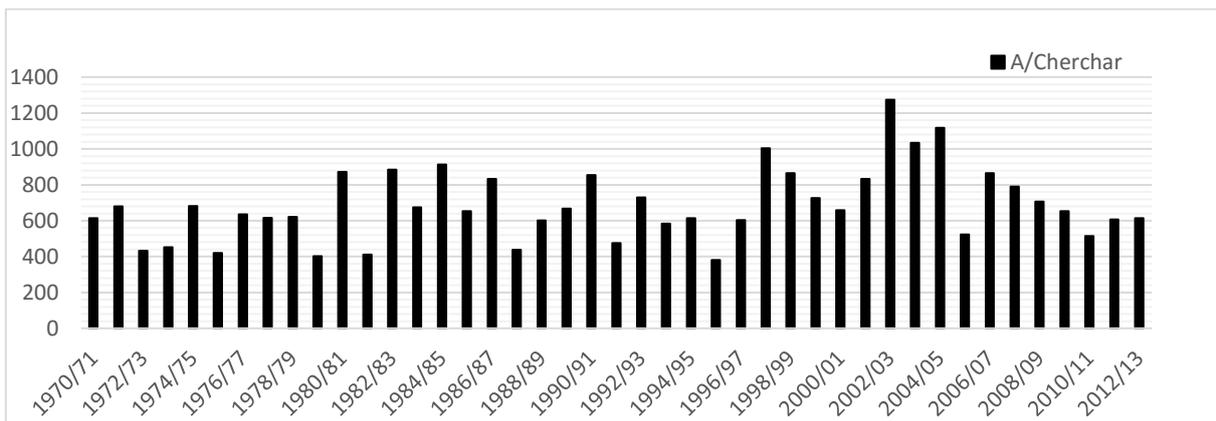
Station	$P_{max}$	Année	$P_{min}$	Année
<i>Skikda</i>	1112,4	2004/05	411,3	1973/74
<i>Azzaba</i>	1099,7	1994/95	370,5	1992/93
<i>A. Charchar</i>	1275,1	2002/03	381,3	1995/96
<i>Zit-Emba</i>	912,46	2004/05	268,0	1984/85
<i>Berrahal</i>	1068,9	2004/05	433,6	2001/02



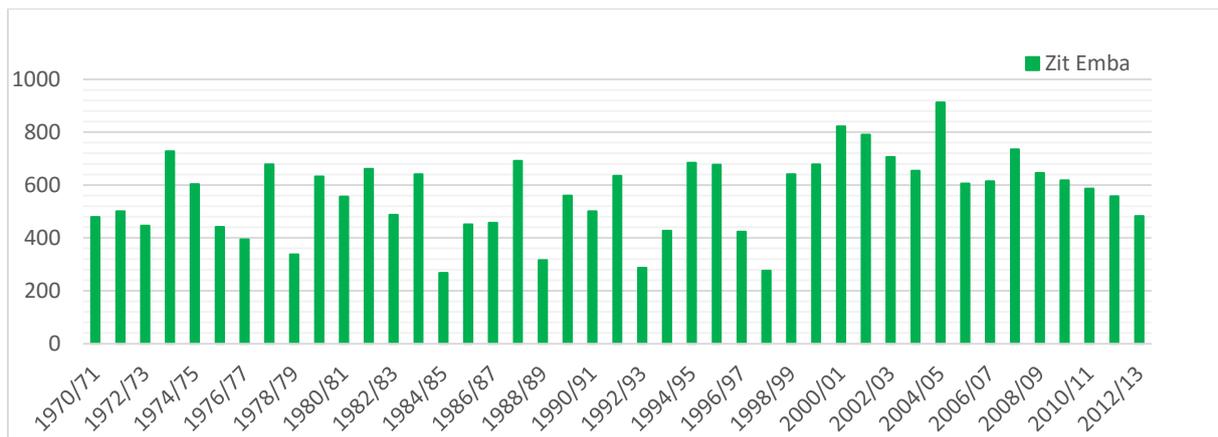
**Figure III.3 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Skikda (1970-13)**



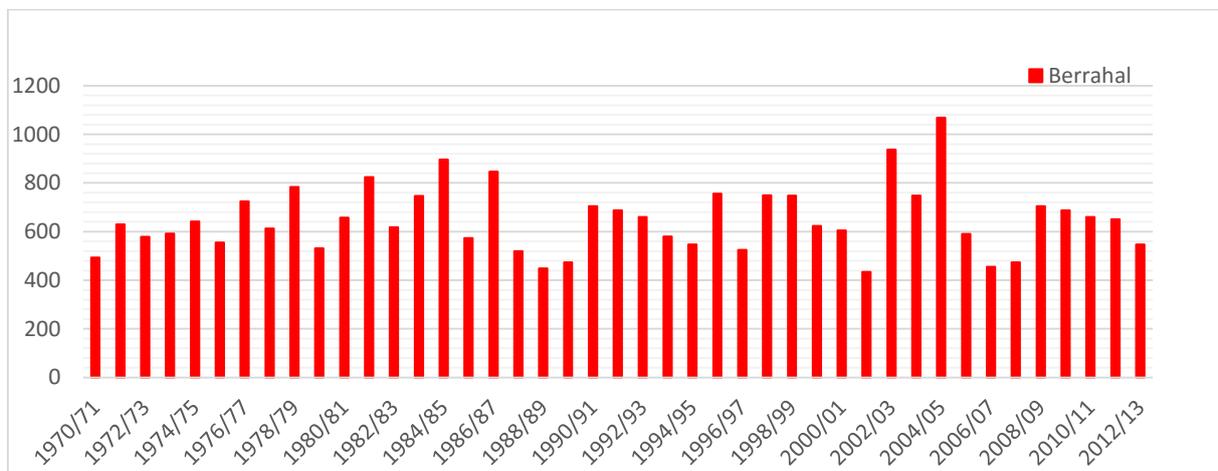
**Figure III.4 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Azzaba (1970-13)**



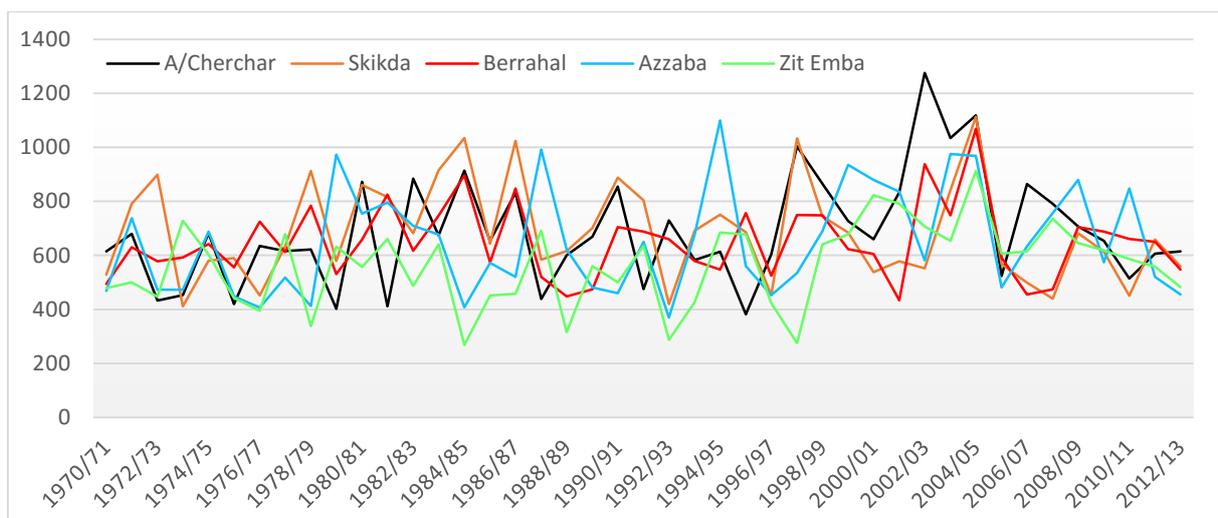
**Figure III.5 : Variation interannuelle des précipitations à la station de A. Charchar (1970-13)**



**Figure III.6 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Zit-Emba (1970-13)**



**Figure III.7 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Berrahal (1970-13)**



**Figure III.8 : Variation interannuelle des précipitations (1970-13)**

### III.3.2 Répartition mensuelle des précipitations

La précipitation moyenne mensuelle présente une croissance allons de Septembre jusqu'au Décembre où elle atteint son maximum puis elle se décroisse au fur et à mesure jusqu'au mois de Juillet le mois le plus sec durant l'année, comme il est montré sur l'histogramme suivant.

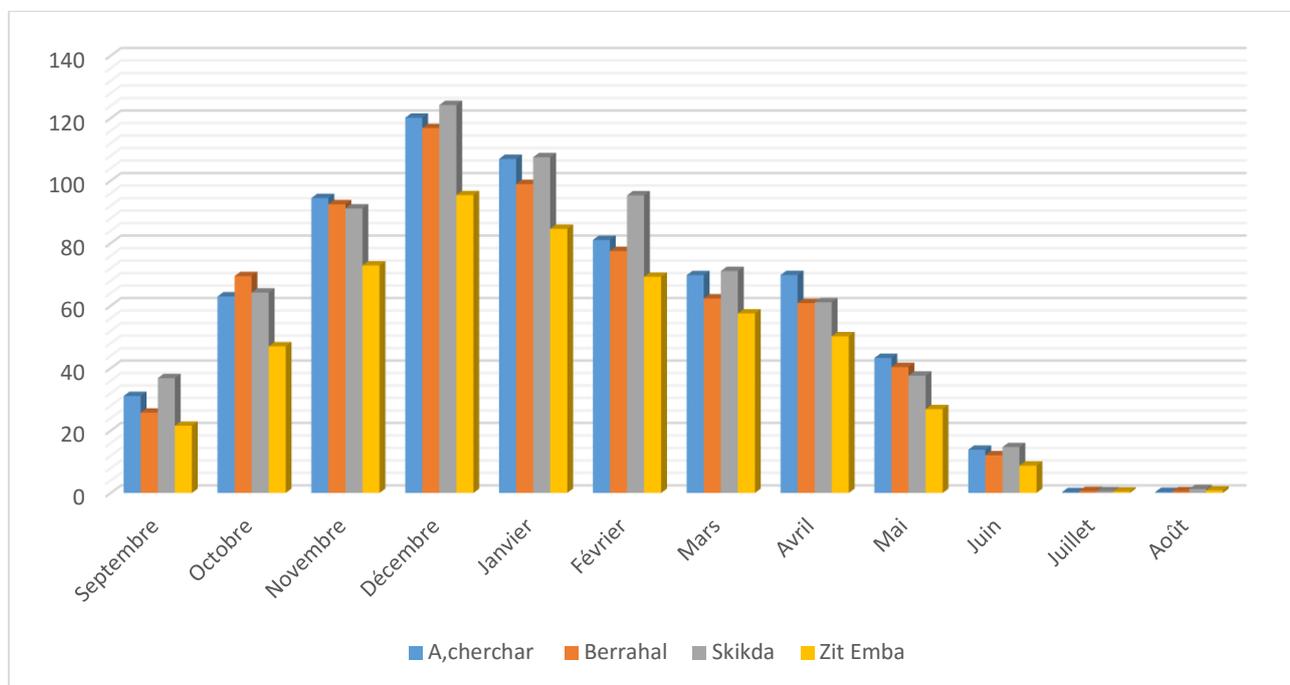


Figure. III.9 : Moyennes mensuelles des précipitations (1970-2013)

### III.3.3 Représentation saisonnière des précipitations

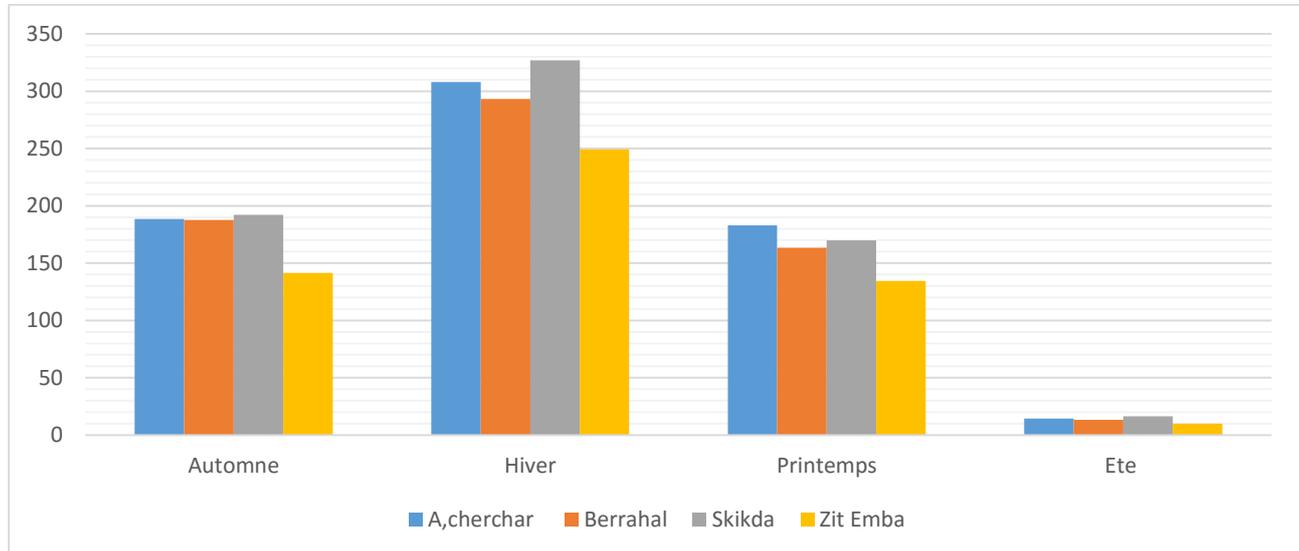
Tableau. III.5 : Représentation saisonnière des précipitations

Station	Automne			Hiver			Printemps			Été			Moy/An (mm)
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Skikda	192,10			327,00			169,80			16,47			705,37
	27,23			46,36			24,07			2,33			100 %
A. Charchar	188,48			308,12			182,88			14,47			693,95
	27,16			44,40			26,35			2,09			100 %
Berrahal	192,10			327,00			169,80			13,21			657,64
	28,54			44,59			24,87			2,01			100 %
Zit Emba	141,42			249,19			134,61			10,03			535,25
	26,42			46,56			25,15			1,87			100 %

L'étude de la pluviosité saisonnière montre que l'hiver est la saison la plus pluvieuse, avec un pourcentage qui dépasse 44 % dans les quatre stations. Presque la moitié de la précipitation annuelle. Le printemps et l'automne ont presque la même quantité tombant elle représente presque le un quart de la précipitation totale enregistrée sur les quatre stations.

En été la précipitation ne dépasse en aucun cas 16,50 mm, la valeur maximale enregistrée à la station de Skikda est 16,47 mm, qui veut dire 2,33 % de la précipitation annuelle.

En général c'est le climat méditerranéen qui se caractérise par un hiver pluvieux (humide) et froid et un été sec et chaud.



**Figure III.10 : Moyennes saisonnière des précipitations (1970-2013)**

### III.3.4 Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée

La lame d'eau précipitée sur un bassin versant est égale au quotient en millimètre (mm) par la superficie en millimètre carrés (mm<sup>2</sup>), elle permet de cerner la variabilité des précipitations sur de longues séries d'observation.

Dans la région d'étude nous sommes référés aux données de précipitations d'une période de 50 ans (1913-1963) représentant la série ancienne recueillie par (M. Chaummont et C. Paquin) et les séries récentes de l'A.N.R.H.

Des différentes méthodes peut être utilisés pour le calcul de la lame d'eau :

#### A. Méthode des Isohyètes

Considérée comme la méthode la plus précise, elle donne la lame d'eau précipitée comme étant le quotient de la somme des valeurs partielles par la surface du bassin.

$$P = (\sum P_i S_i) / S_{totale}$$

D'après les cartes d'isohyètes établies par (M. Chaummont et C. Paquin) la lame d'eau est évaluée à

$$P = 817,61 \text{ mm}$$

et d'après la carte de l'A.N.R.H en a

$$P = 654,59 \text{ mm}$$

### B. Méthode Arithmétique

Elle donne de bons résultats lorsque le bassin versant renferme plusieurs stations bien réparties à des altitudes différentes suivent la formule :  $P = \sum P_i / n$

Où :  $P_i$  : précipitation moyenne mensuelle pour chaque poste pluviométrique en mm

$n$  : le nombre de postes = 10

Alors  $P = 7467/10 \rightarrow P = 746,7 \text{ mm}$

### C. Méthode de THIESSEN

Cette méthode géométrique est moins précise à l'analyse au cours de laquelle, on attribue à chaque pluviomètre une zone d'influence présumée, tel qu'un point situé dans cette zone soit plus près en distance horizontale de ce pluviomètre.

La hauteur de précipitation choisie est celle relevée à la station à l'intérieure du polygone en considérant les précipitations uniformément réparties. La hauteur d'eau recherchée sur le bassin s'obtient par quotient de la somme des volumes partiels par la surface totale :

$$P = (\sum P_i S_i) / S_{\text{totale}}$$

Le résultat calculé toujours par (M. Chaumont et C. Paquin) est de l'ordre de :  $P = 575,81 \text{ mm}$

#### EN CONCLUSION :

La moyenne de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant de l'oued Kebir Ouest et pour les études déjà faites est de l'ordre de 698,67 mm, pour cette étude et pour notre série de 1970-2013 elle est de l'ordre de **712,32 mm**.

### III.4 Température

La température de l'air est un des facteurs ayant une grande influence sur le climat et sur les calculs du bilan hydrique car il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réelle.

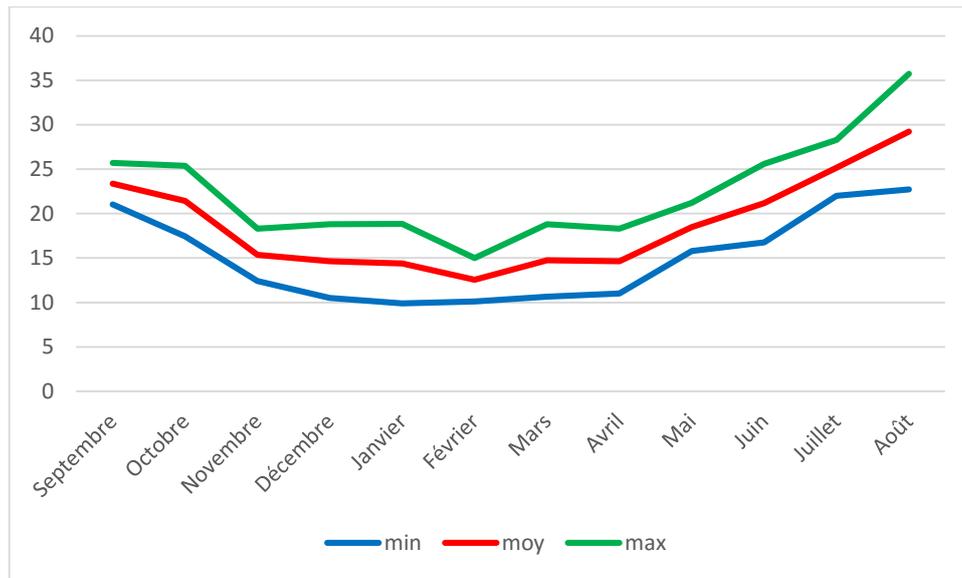
Les données dont nous disposons sont celle de la station de Skikda pour une période de 42 ans (1970 – 2013) et l'autre d'une période de 25 ans de P. SELTZER (1913 – 1938).

**Tableau III.6 : La température moyenne mensuelle série P. SELTZER**

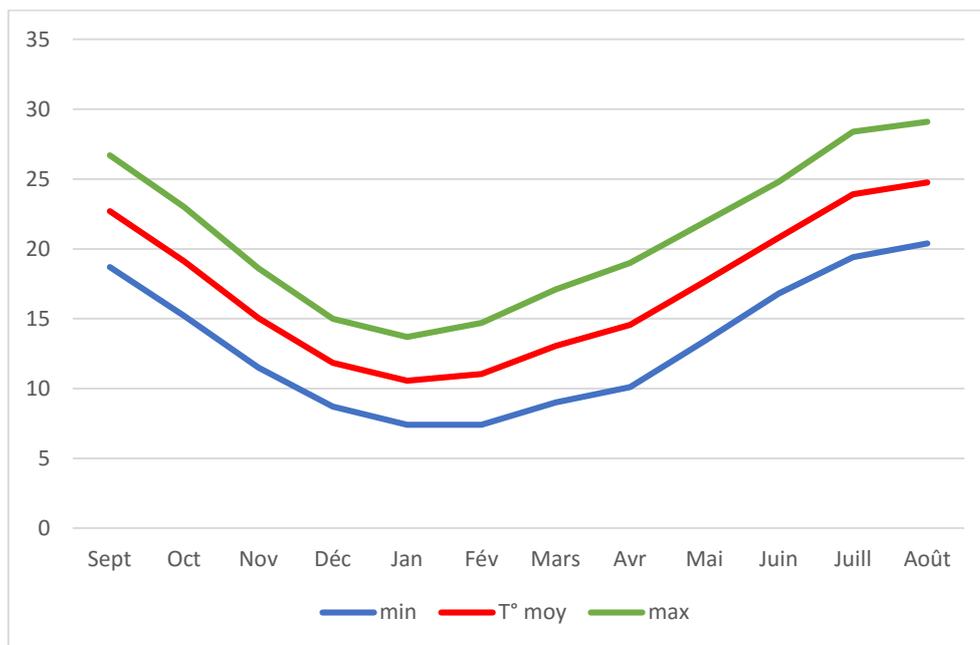
SELTZER(1913/38)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
min	18,7	15,2	11,5	8,7	7,4	7,4	9,0	10,1	13,4	16,8	19,4	20,4
moy	<b>22,7</b>	<b>19,1</b>	<b>15,05</b>	<b>11,85</b>	<b>10,55</b>	<b>11,05</b>	<b>13,05</b>	<b>14,55</b>	<b>17,65</b>	<b>20,8</b>	<b>23,9</b>	<b>24,75</b>
max	26,7	23,0	18,6	15,0	13,7	14,7	17,1	19,0	21,9	24,8	28,4	29,1

**Tableau III.7 : La température moyenne mensuelle à la station de Skikda**

Skikda (1970/13)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
min	21,05	17,46	12,4	10,5	9,9	10,1	10,66	11	15,8	16,75	22	22,74
moy	<b>23,38</b>	<b>21,42</b>	<b>15,35</b>	<b>14,65</b>	<b>14,38</b>	<b>12,55</b>	<b>14,74</b>	<b>14,65</b>	<b>18,50</b>	<b>21,18</b>	<b>25,15</b>	<b>29,24</b>
max	25,7	25,38	18,3	18,8	18,85	15	18,81	18,3	21,2	25,6	28,3	35,74



**Figure III.11 : La température moyenne mensuelle à la station de Skikda**



**Figure III.12 : La température moyenne mensuelle série de P. SELTZER**

Il est clairement remarquable d’après les graphes et les tableaux ci-dessus que la température moyenne atteint son maximum au mois d’Août, elle est de l’ordre de 29,24 °C valeur enregistrée à la station de Skikda, et de 24,75 °C pour la série de P. Seltzer, tandis que la température moyenne minimale est remarquée au mois de Février pour la station de Skikda, elle est de l’ordre de 12,55 °C, et de l’ordre de 10,55 °C au mois de Janvier pour la série de P. Seltzer. On peut aussi remarquer que la saison chaude s’étale du mois de Juin jusqu’au mois d’Octobre où les températures mensuelles dépassent la moyenne annuelle, alors que la période allant de Novembre à Avril représente la saison froide avec une moyenne mensuelle inférieure à la moyenne annuelle.

### III.4.1 Relation précipitation – température

#### a) Le diagramme Ombrothermique

Un diagramme ombrothermique est un type particulier de diagramme climatique, représentant les variations mensuelles sur une année des température et des précipitation selon des gradations standardisées: une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures ( $P = 2T$ ). Il a été développé par Henri GAUSSEN et F. BAGNOULS (1953).

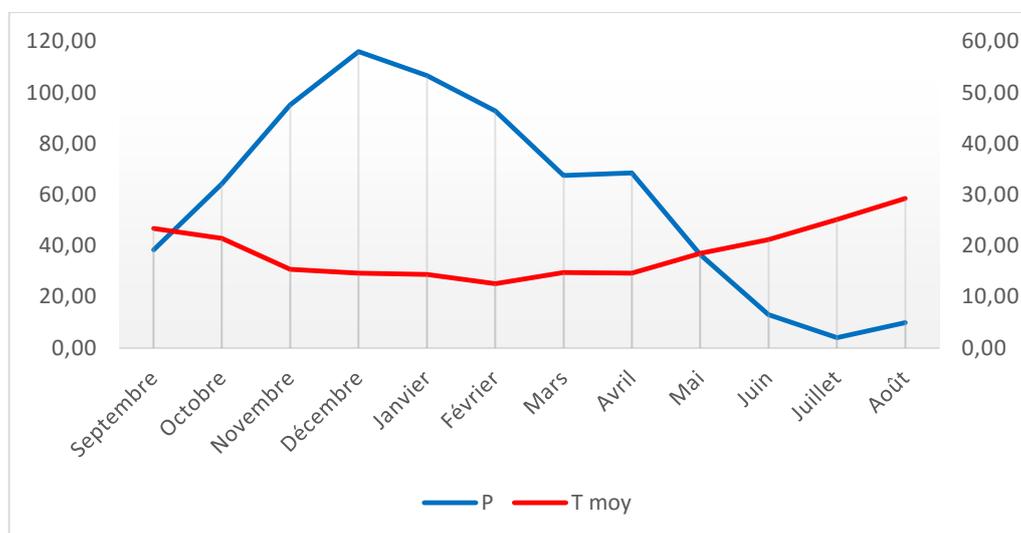
Ces diagrammes permettent de comparer facilement les climats de différents endroits d'un coup d'œil du point de vue pluviosité. Les températures sont indiquées à droite et les précipitations sont indiquées à gauche.

L'analyse des deux paramètres climatiques, la précipitation et la température permet de tracer la courbe ombrothermique qui met en évidence la période de sécheresse.

Pour H. GAUSSEN et F. BAGNOULS un mois sec est celui où le total de précipitation mensuelle en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle.

Donc on doit établir un diagramme ombrothermique dans lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

#### b) La courbe Ombrothermique



**Figure III. 13 : Diagramme ombrothermique de la station de Skikda (1970 -2013)**

D'après le diagramme ombrothermique, on peut distinguer deux périodes différentes, la première commence au mi-Mai jusqu' à mi-Septembre, c'est la période de sécheresse qui devienne plus accentuée au Juillet et Août, c'est la saison de l'été, au-delà la température commence à se réduire. Au-delà la température s'abaisse au fur et à mesure, et la précipitation reprend, dès le début d'Octobre, c'est l'automne. La pluie tombe pendant toute la période allant d'Octobre jusqu'à mi-Mai, pour avoir son maximum au mois de Décembre en plein Hiver.

### c) Détermination d'humidité du sol (méthode d'HEUVERTE)

Pour déterminer l'humidité du sol selon la méthode d'Heuverte, il est nécessaire d'avoir les données des paramètres des températures et des précipitations établies mensuellement pour calculer le rapport (P/T), qui permet de connaître l'humidité du sol, pour distinguer également le types de régime climatique régnant sur la zone étudiée, enfin le résultat du rapport P/T doit répondre à une proposition des quatre suivantes :

- Régime très sec où  $P/T < 1$ .
- Régime sec où  $1 < P/T < 2$ .
- Régime subhumide où  $2 < P/T < 3$ .
- Régime humide où  $P/T > 3$ .

**Tableau III. 8 : Relation température précipitation**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	38,37	64,29	95,06	115,99	106,57	92,75	67,55	68,46	36,46	12,99	3,96	9,87
T °C	23,38	21,42	15,35	14,65	14,38	12,55	14,74	14,65	18,50	21,18	25,15	38,24
P/T	1,64	3,00	6,19	7,92	7,41	7,39	4,58	4,67	1,97	0,61	0,16	0,26

Le calcul du rapport P/T nous a permis de construire le tableau suivant, dans lequel on a classé chaque mois selon leur régime correspondant.

**Tableau III. 9 : Répartition des régimes selon la méthode d'Heuverte**

Station	Régime	Mois
Skikda	Très Sec	Juin, Juillet, et Août
	Sec	Septembre, Mai
	Subhumide	Octobre
	Humide	Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, et Avril

## IV. LE RÉGIME CLIMATIQUE

### a) Indice de MARTONNE

En se basant sur le régime de précipitation et des températures De MARTONNE (1923) a défini un indice d'aridité « A » dont :

$$A = P / (T + 10)$$

**P** : précipitations moyennes annuelles (mm)

**T** : température moyennes annuelles (°C).

Et nous avons 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

$$A = 712,32 / (18,76+10) = 24,76$$

L'indice d'aridité calculé pour la station de Skikda est de l'ordre de 24,76 pour les autres stations, l'indice d'aridité est de l'ordre de 22,7 à Azzaba, 25,2 à Ain Charchar et 23,1 à Berrahal indiquant donc un climat tempéré. Il est de 18,2 à Zit-Emba, ce qui reflète un climat semi-aride.

### b) Climagramme de L. EMBERGER

Le quotient pluviométrique "Q<sub>2</sub>" d'EMBERGER correspond à une expression synthétique du climat méditerranéen tenant compte de la moyenne annuelle des précipitations (P mm) et des températures. Pour cette dernière sont prise en considération d'une part la moyenne des minima du mois le plus froid "m", et d'autre part la moyenne des maxima du mois le plus chaud "M".

Le Climagramme de L. EMBERGER permet de définir le climat de la région étudiée, c'est un abaque comportant en ordonnées les valeurs Q<sub>2</sub> donnée par la relation :  $Q_2 = [(2000 P) / (M^2 - m^2)]$

Dont : Q<sub>2</sub> : est appelée quotient pluviométrique d'Emberger.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés absolu (°K).

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degrés absolu (°K).

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

Sur l'axe des abscisses en mettant les moyennes des minima de la saison froide (hiver) en °C.

Pour la station de Skikda :

$$M = 29,24 \text{ °C} + 273,15 = 302,39 \text{ K}$$

$$m = 12,55 \text{ °C} + 273,15 = 285,70 \text{ K}$$

$$P = 712,32 \text{ mm (moyenne annuelle)}$$

$$Q_2 = 145,15$$

Les valeurs du quotient pluviométrique pour les stations de Ain Charchar, Berrahal Azzaba et Zit Emba sont respectivement : 122,6, 112,3, 110,1 et 88,6 ce qui indique un régime subhumide.

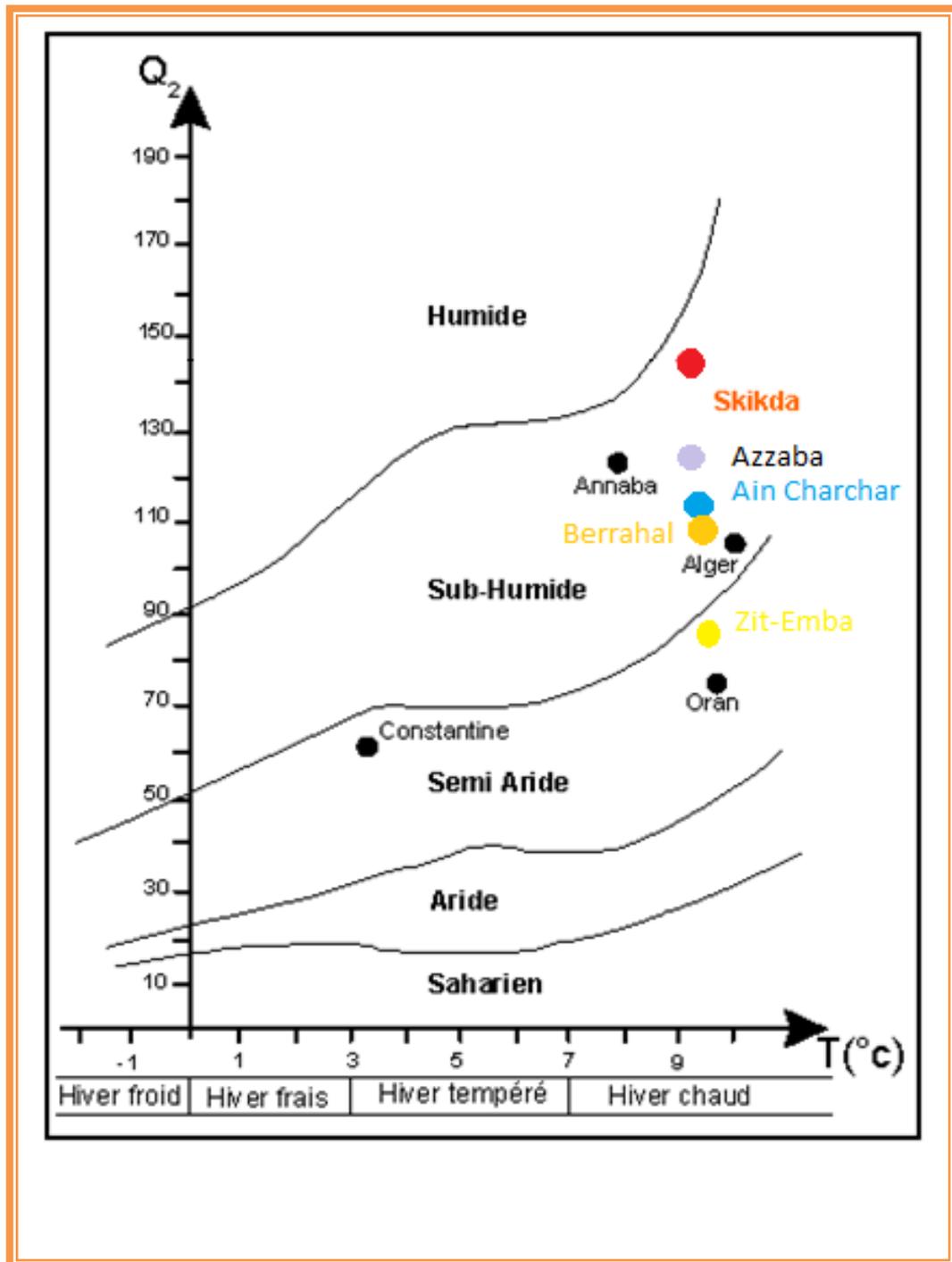


Figure III. 14 : Climagramme de L. EMBERGER

### c) Climatogramme de PEGUY

Le climatogramme de Peguy est une méthode graphique permettant de déterminer le régime climatique d'une région. On met sur le graphique les températures mensuelles en abscisse et les précipitations en ordonnées. On obtient alors douze points représentant douze mois.

Cette méthode a montré que les mois de Décembre et Janvier sont des mois humides, les mois de Février, Mars, Avril, Octobre et Novembre des mois tempérés et enfin Mai, Juin, Juillet Aout et Septembre sont des mois arides.

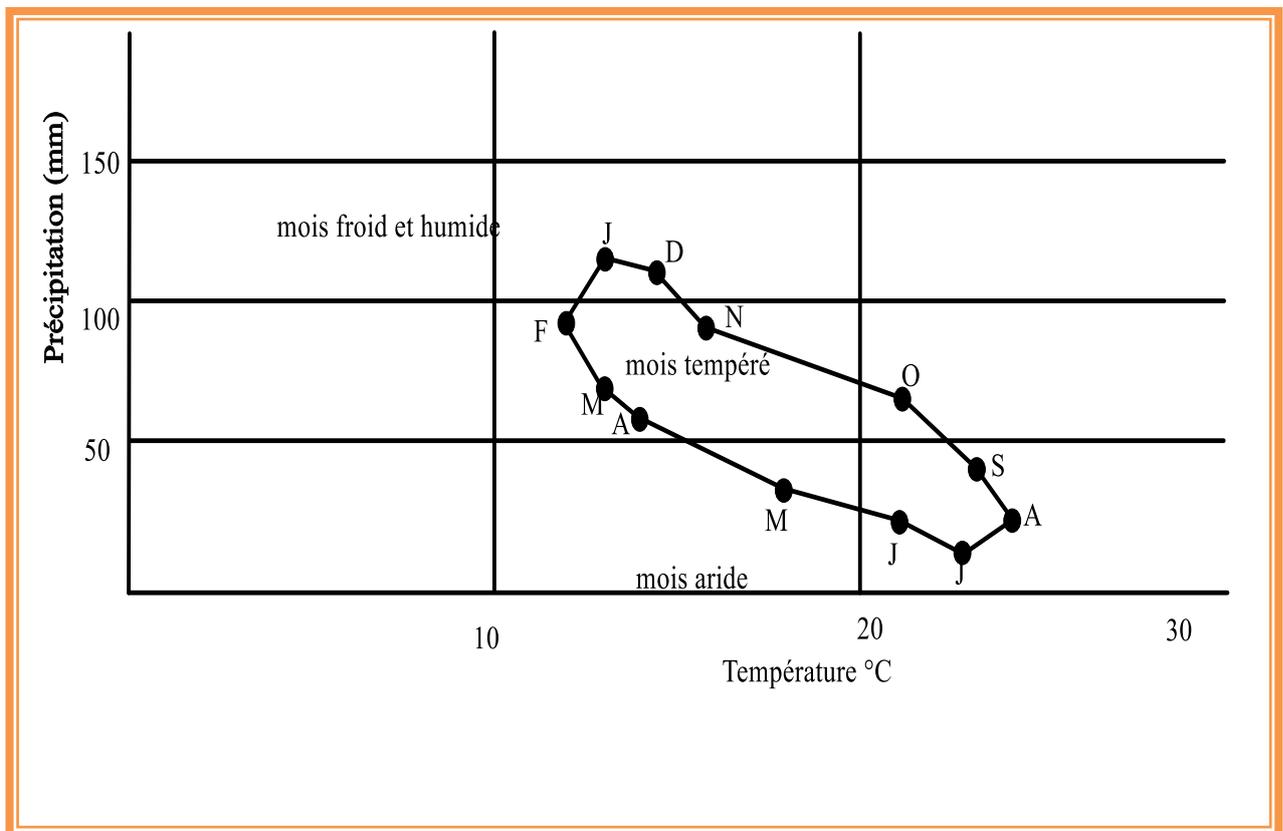


Figure III. 15 : Climatogramme de Peguy

## V. LE BILAN HYDRIQUE

Le bilan de l'eau global a pour but d'établir et évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants du bilan (Évaporation, Ruissellement, et Infiltration), l'équation d'équilibre entre les apports et les pertes influent directement sur la variation des réserves, en calcule ce bilan pour évaluer ses composants. Il est donné par la formule suivante :

$$P = E_{tr} + R + I$$

**P** : Pluviométrie moyenne annuelle en mm

**E<sub>tr</sub>** : Évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

**R** : Ruissellement moyen annuel en mm

**I** : Infiltration moyenne annuelle en mm

### V.1 Évapotranspiration

L'évapotranspiration est définie comme l'ensemble de toutes pertes (sols, végétation, plan d'eau libre, etc...), par transformation de l'eau en vapeur. Ce paramètre est un élément très important pour l'établissement d'un bilan hydrologique, il est fonction des paramètres climatiques et leurs variations.

#### V.1.1 Évapotranspiration potentielle ETP

Dans les régions à climat humide ou subhumide C.W. THORNTHWAITE a défini l'évapotranspiration potentielle par la perte en eau qui est conditionné par :

- ❖ La température de l'air et de l'eau.
- ❖ L'insolation et l'humidité de l'air.
- ❖ La vitesse et la turbulence du vent.
- ❖ La pression barométrique et l'altitude.

et il a proposé une formule pour le calculer basée sur un indice thermique et la température moyenne mensuelle.

#### V.1.2 Calcul de l'ETP selon THORNTHWAITE

La formule utilisée est :  $ETP = 16 (10 t / I)^a$

$$i = (t / 5)^{1,514} \text{ et } I = \sum_1^{12} i$$

$$a = 0,016 I + 0,5$$

$$ETP_c = ETP. K$$

Où : **ETP** = évapotranspiration potentielle (mm).

**ETP<sub>c</sub>** = évapotranspiration potentielle corrigé (mm)

**t** = température moyenne mensuelle en degré (°C)

**I** = somme des indices thermiques mensuels

**a** = exposant climatique

**K** est un facteur de corrélation mensuel dépend de la latitude et du mois.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de C. W. Thornthwaite sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III.10 : Calcule de l'ETP selon THORNTHWAITE**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total/an
<i>T°</i>	23,38	21,42	15,35	14,65	14,38	12,55	14,74	14,65	18,50	21,18	25,15	29,24	18,77
<i>i</i>	10,33	9,05	5,46	5,09	4,95	4,03	5,14	5,09	7,25	8,90	11,54	14,50	91,33
<i>ETP</i>	101,08	85,132	44,291	40,417	38,969	29,84	40,905	40,417	63,868	83,272	116,63	156,73	841,55
<i>K</i>	1,05	0,91	0,75	0,70	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	/
<i>ETP<sub>c</sub></i>	106,13	77,47	33,218	28,292	28,448	23,275	41,723	46,48	84,305	110,75	155,12	194,34	929,55

### V.1.3 Évapotranspiration réelle ETR

L'évapotranspiration réelle (ETR) appelée aussi le déficit d'écoulement ( $D_e$ ), correspond à la quantité d'eau évaporée ou transpirée par le sol, les végétations, et les plans d'eau libres.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle peut se faire à l'aide de plusieurs formules. La hauteur des précipitations et les températures moyennes mensuelles forment les bases de ces calculs.

## V.2 Calcule de l'ETR

### a. Formule de TURC

Cette formule est applicable à tous les climats, elle est en fonction des précipitations et des températures moyennes annuelles.

$$ETR = P [0,9 + (P / L)^2]^{1/2}$$

$$\text{Avec : } L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

**ETR** : évapotranspiration réelle (mm/an)

**P** : hauteur moyenne annuelle de la pluie (mm)

**T** : température moyenne annuelle (°c)

$$L = 300 + 25 (18,77) + 0,05 (18,77)^3 \rightarrow L = 1099,90$$

$$\Rightarrow ETR = 712,32 [0,9 + (712,32 / 1099,99)^2]^{1/2}$$

$$\Rightarrow ETR = 620,13 \text{ mm/an} \quad \text{soit } 87,06 \% \text{ des précipitations}$$

$$R = P - ETR \quad \text{Donc } R = 712,32 - 620,13 = 92,19 \text{ mm}$$

**b. Formule de COUTAGNE**

Le déficit d'écoulement calculé à partir de cette formule peut être rapproché de l'évapotranspiration réelle qui ne fait intervenir que la température et les précipitations.

$$\text{ETR} = \text{P} - \lambda \text{P}^2 \quad \text{Avec : } \lambda = \frac{1}{0,8+0,14\text{T}}$$

**ETR** : évapotranspiration réelle (m/an)

**P** : hauteur annuelle de la pluie (m/an)

**T** : température moyenne annuelle (°C)

On ne peut jamais appliquer cette formule sauf si :  $1/8\lambda < \text{P} < 1/2\lambda$

Nous avons  $\lambda = 0,29$  donc les données pluviométriques qu'on veut utiliser répondent bien à cette condition  $0,431 < 0,712 < 1,724$

$$\Rightarrow \text{ETR} = 0,712 - 0,29 \times 0,506 = 0,565\text{m/an}$$

$$\Rightarrow \text{ETR} = 0,565 \text{ m/an} = 565 \text{ mm/an} \text{ soit } 79,32 \% \text{ des précipitations}$$

$$\text{Et } R = 712,32 - 565 = 147,32 \text{ mm /an}$$

L'évapotranspiration réelle calculé selon la méthode de Coutagne dans les autres stations sont mentionnés dans le tableau suivant :

**Tableau III.11 : Évapotranspiration réelle (méthode de COUTAGNE)**

Station	T °C	P (mm)	ETR (mm)
Ain Charchar	18,5	719,7	547,67
Azzaba	18,5	646,1	525,21
Berrahal	18,5	659,2	524,56
Zit-Emba	18,5	520	470,76

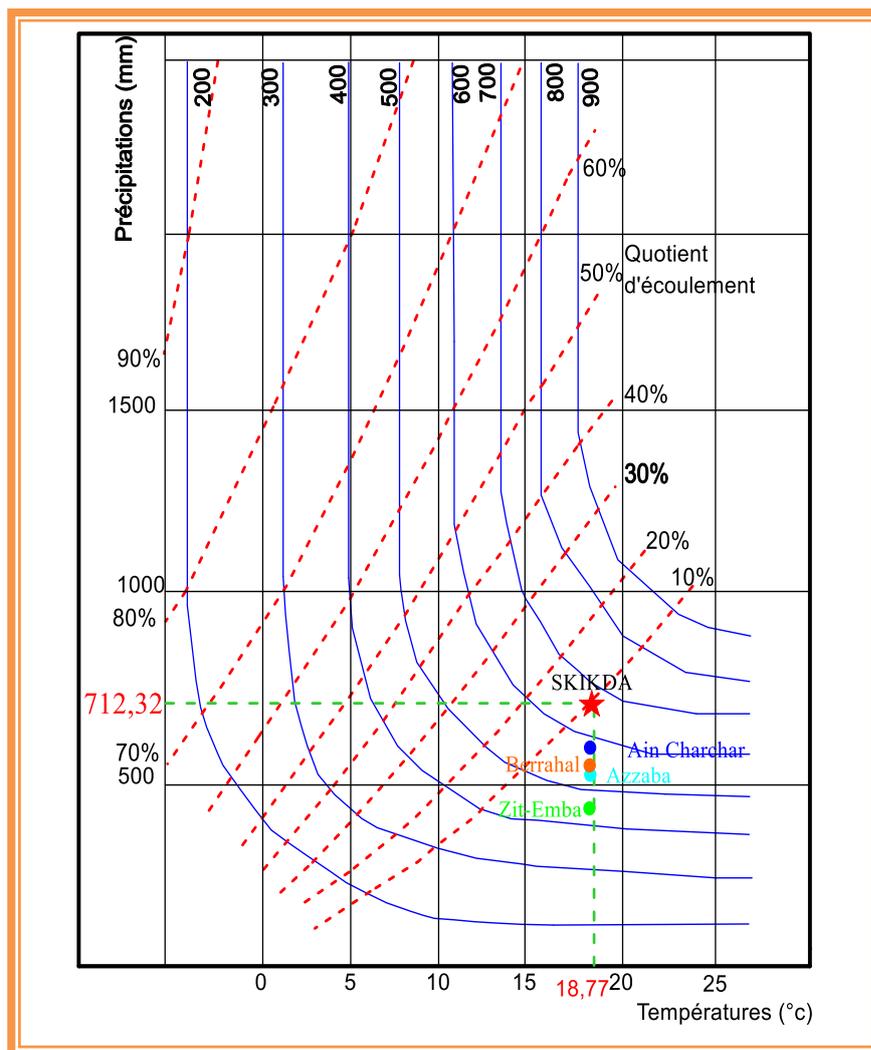
**c. Formule de WUNDT**

Cette méthode permet d’obtenir graphiquement l’ETR (le déficit d’écoulement) à partir d’un diagramme (de WUNDT) en fonction de la température moyenne et les précipitations. En utilisant les résultats obtenus à la station de Skikda pour une précipitation égale à 712,32 mm et une température de 18,77 °C.

À partir du diagramme de WUNDT, dont lequel les températures et les précipitations sont prises en considération, nous pouvons obtenir graphiquement l’ETR (le déficit d’écoulement) en utilisant les résultats obtenus à la station de Skikda pour une précipitation égale à 712,32 mm et une température de 18,77 °C.

La projection des grandeurs de P et T nous donne la valeur de l’ETR ( $D_e$ ) sur le diagramme et elle est de l’ordre de 680 mm soit 95,46 % pour la station de Skikda.

Le ruissellement alors est  $R = P - ETR = 712,32 - 680 \rightarrow R = 32,32 \text{ mm}$



**Figure III.16 : Abaque de WUNDT modifiée par COUTAGNE**

### V.3 Méthode du bilan hydrique de THORNTHWAITE

C.W Thornthwaite a proposé une méthode qui permet de connaître les différents termes d'un bilan hydrique à l'échelle mensuelle, il fait intervenir l'évapotranspiration (ETR) et la pluviométrie (P), cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). Cette dernière peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. On suppose qu'une lame d'eau de 100 mm est la quantité nécessaire pour que le sol soit saturé. Cette valeur représente alors la quantité d'eau optimale que le sol peut retenir ou soustraire à l'écoulement interne. On peut distinguer trois cas :

⇒ **P > ETP** : alors  $ETR = ETP$

- Il reste un excédent (P- ETP) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète à l'écoulement Q

⇒ **P = ETP**

- Les précipitations sont reprises par l'évapotranspiration.

⇒ **P < ETP**

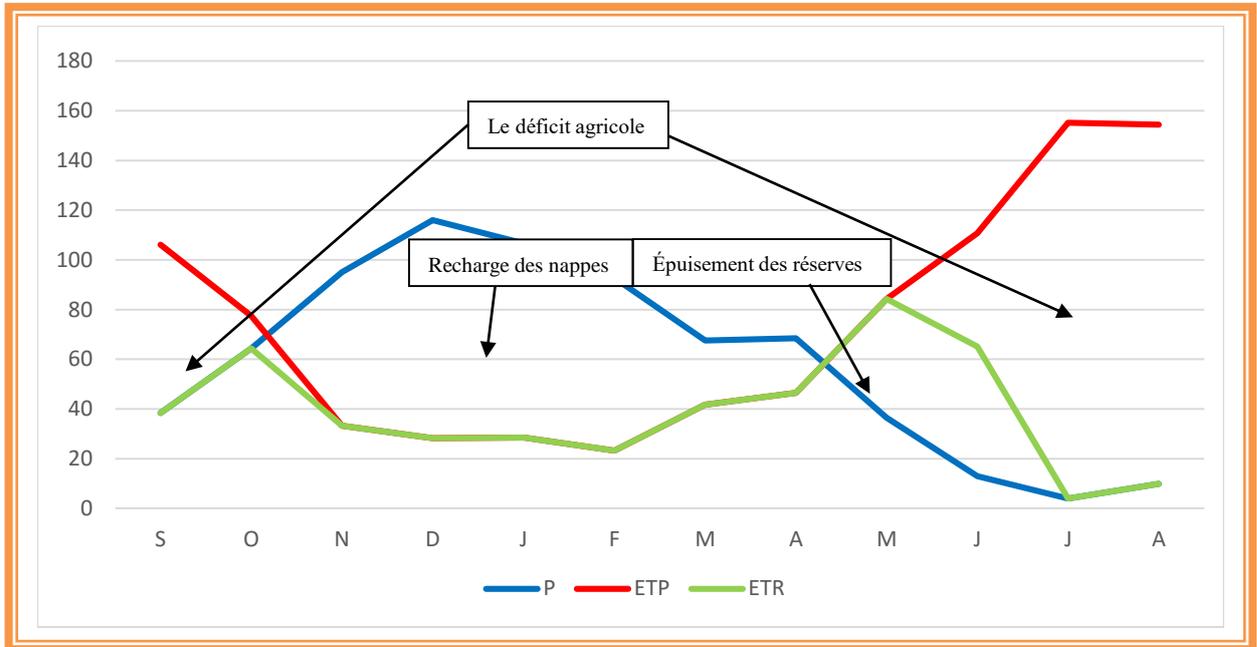
- Dans ce cas il y a un épuisement des réserves et en aura alors un déficit.
- Si le RFU = 0 la quantité  $D = ETP - ETR$  représente le déficit agricole

**Tableau III.12 : Bilan de THORNTHWAITE**

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
<i>T</i>	23,38	21,42	15,35	14,65	14,38	12,55	14,74	14,65	18,50	21,18	25,15	29,24	225,19
<i>P</i>	38,37	64,29	95,06	115,99	106,6	92,75	67,55	68,46	36,46	12,99	3,96	9,87	<b>712,32</b>
<i>i</i>	10,33	9,05	5,46	5,09	4,95	4,03	5,14	5,09	7,25	8,9	11,54	14,5	91,33
<i>K</i>	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	
<i>ETP</i>	106,13	77,47	33,22	28,29	28,45	23,28	41,72	46,48	84,31	110,8	155,12	154,34	889,55
<i>ETR</i>	38,37	64,29	33,22	28,29	28,45	23,28	41,72	46,48	84,31	65,15	3,96	9,87	<b>467,39</b>
<i>RFU</i>	0,00	0,00	61,84	100	100	100	100	100	72,59	2,31	0,00	0,00	636,74
<i>Ex</i>	0,00	0,00	0,00	49,54	78,12	69,48	25,83	21,98	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>244,94</b>
<i>D</i>	67,76	13,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	148,85	144,47	374,26

Le tableau du bilan d'eau de Thornthwaite nous aide à conclure qu'à partir du mois de Novembre le RFU commence à restaurer les stocks, pour atteindre son maximum au mois de Décembre, ces réserves se reconstituent, et on aura aussi un excédent varie de 0,00 mm au mois de Novembre à 49,54 mm au Décembre puis il se diminue à 21,98 mm au mois d'Avril revenant à 0,00 à partir du mois de Mai.

Le déficit agricole est un phénomène signifiant le manque de l'eau, il manifeste en été, au mois de Juillet, avec 148,85 mm, puis il atteint son maximum au mois d'Aout avec 184,47 mm, il durera pendant quatre mois jusqu'au mois d'Octobre ou en enregistre un déficit de 13,18 mm. Pendant ces mois les réserves sont épuisés, mais dès le mois de Novembre la reconstitution des stocks débute et le cycle recommence de nouveau.



**Figure III.17 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite à la station de Skikda (1970/13)**

La figure III.17, représente les paramètres du bilan d'eau selon Thornthwaite, dont on peut remarquer que la précipitation enregistrée au mois de Septembre est faible 38,37mm, contre une forte évaporation ETP de 106,13 mm, cela mène à une perte d'eau sous forme de déficit agricole (D) 67,76 mm. Peu à peu la précipitation devient plus intense en même temps moins d'évaporation, ce qui contribue à recharger les nappes dès le mois de Novembre, les réservoirs sont pleins à partir de Décembre et l'excédent (ex) va s'écouler, mais au mois de Mai la précipitation diminue une autre fois et le niveau des réserves s'abaisse jusqu'à l'épuisement des stocks (RFU) en Juillet ou le déficit agricole apparaitre une autre fois 148,85 mm.

Cet épuisement persiste jusqu'au mois d'Octobre formant une période de déficit agricole, et à partir de ce mois la précipitation retombe en reconstituant les réserves et les cours d'eau, est c'est la saison pluvieuse étalant jusqu'au mois de Mai.

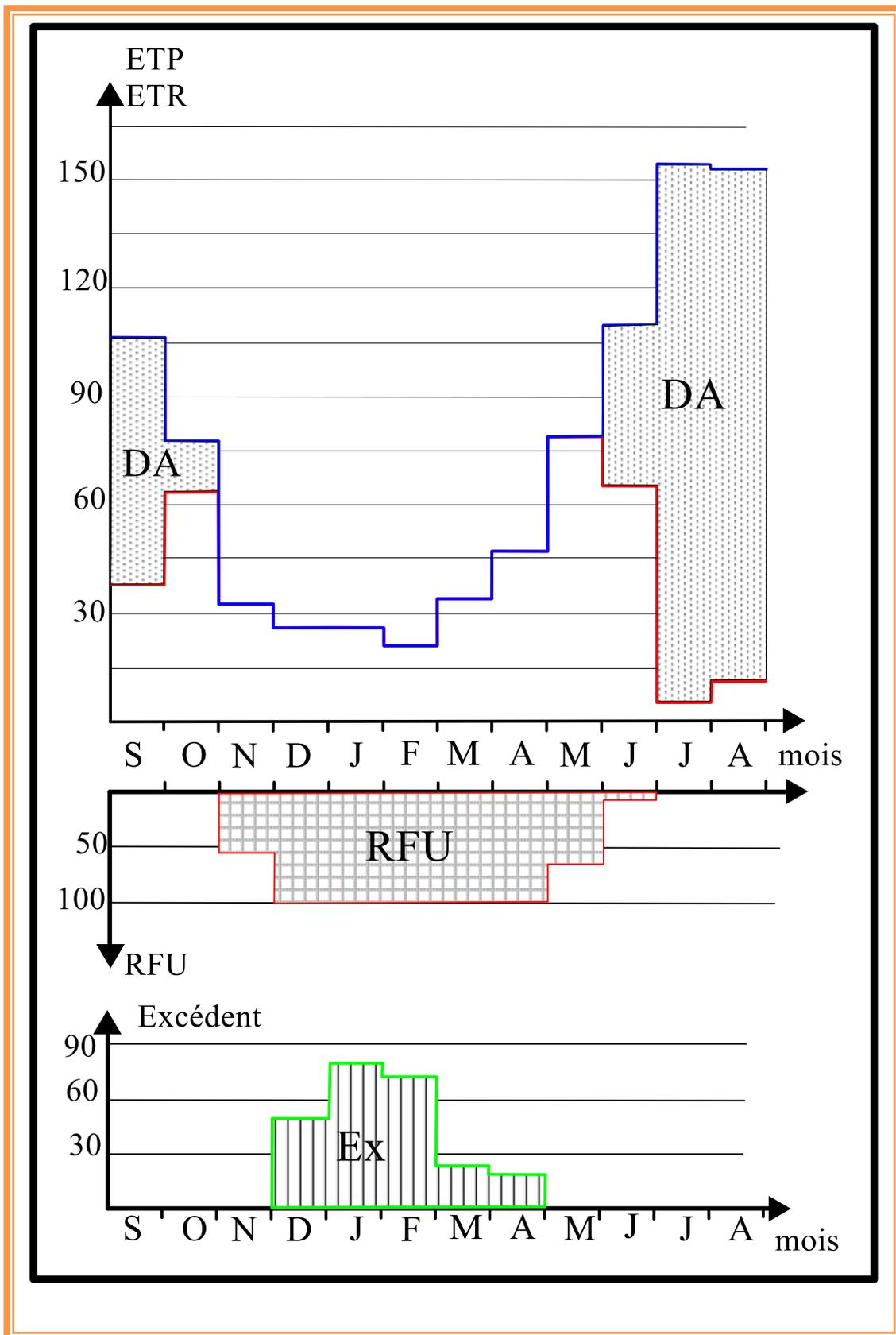


Figure III.18 : Le bilan d'eau selon Thornthwaite à la station de Skikda 1970/2013

#### V.4 Discussion des résultats

Les différentes valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes formules appliquées sur la station de Skikda sont récapitulées dans le tableau suivant :

**Tableau III.13 : Valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes méthodes**

	<i>Paramètre (mm)</i>	<b>ETR</b>	<b>R</b>	<b>ETP</b>
<i>Méthode</i>	Thornthwaite	467,39	244,93	929,55
	Coutagne	565	147,32	
	Turc	620,13	92,19	
	Wundt	680	32,32	
<i>Moyenne</i>		<b>583,13</b>	<b>129,19</b>	

#### V.5 Le bilan hydrologique

Le bilan de l'eau global a pour but principal d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Pour calculer le bilan il est indispensable d'évaluer ses composantes.  $P = ETR + R + I$

Où :  $P$  = Précipitation moyenne annuelle (mm).

$ETR$  = Évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

$R$  = Ruissellement moyen annuel (mm).

$I$  = Infiltration moyenne annuelle (mm).

À propos des paramètres de cette équation, on a une précipitation moyenne annuelle égale à **712,32** mm/an.

Pour l'évapotranspiration réelle nous l'avons calculer par les différentes méthodes et la moyenne générale des quatre estimations est de l'ordre de **583,13** mm

À partir de la moyenne annuelle des précipitations et de l'évapotranspiration nous calculons la lame d'eau écoulee et qui est égale à **129,19** mm ce qui représente 18,14 % des précipitations. Cette quantité représente l'écoulement total qui englobe l'écoulement superficiel et souterrain, (R+I).

#### V.6 Calcul de l'infiltration

En vue d'estimer la valeur du ruissellement on utilise la méthode de TIXERONT-BERKALOFF

$$R = P^3 / 3 ETP^2$$

$P$  : Hauteur de précipitation (mm).

$R$  : Ruissellement de surface (mm).

$ETP$  : Évapotranspiration potentielle (mm).

Dont :  $P = 712,32$  mm

$ETP = 467,39$  mm

$\Rightarrow R = 129,19$  mm

Mais nous avons la quantité d'eau écoulee est 244,94 mm englobant l'écoulement superficielle et souterraine alors  $I = 244,94 - 129,19 = 115,75$  mm soit 16,25 % de la précipitation.

## VI. CONCLUSION

Cette étude hydroclimatologique dont nous avons essayé de rassembler le maximum de données pour plusieurs de stations pluviométriques et pour les divers facteurs climatiques (précipitation, température, humidité, vent...etc.), pour obtenir une analyse assez complète, qui nous a permis d'effectuer les évaluations et les variations de la lame d'eau écoulée dans le bassin versant afin de pouvoir calculer le bilan d'eau.

Dans ce chapitre, et après utilisation des différentes méthodes, on a trouvé que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par un été chaud et sec, où la précipitation atteint les 2 mm comme moyenne mensuelle, et une température supérieure à 24 °C, et un hiver froid et pluvieux, avec une moyenne annuelle de précipitation de l'ordre de 712,32 mm.

La saison humide s'étale depuis le mois d'Octobre jusqu'à Mai, et l'autre saison de Juin jusqu'à septembre.

En ce qui concerne la lame d'eau précipitée sur le bassin, on a trouvé quelle est de l'ordre de 712,32 mm, et une température de 18,77 °C comme moyenne annuelle pour une période de 43 ans (1970/13). L'évapotranspiration réelle est égale en moyenne à 583,13 mm soit 81,86 % des précipitations, cette quantité appréciable favorisée par la présence d'importantes surfaces de plans d'eau, représentées par l'abondance des marécages qui se répartissent le long de l'oued el-Kebir, la quantité d'eau ruisselée à la surface est estimée à 129,19 mm, dont 115,75 mm soit 16,25 % des précipitations s'infilte dans le sol.