

I-Introduction:

Dans un pays comme l'Algérie caractérisé par le contraste entre le climat méditerranéen de la bordure littorale et le climat désertique du sud en passant par le climat des montagnes, des hauts plateaux, il est nécessaire de pouvoir préciser le type climatique du secteur que l'on étudie.

Notre région d'étude, sur le plan météorologique, constitue une zone de transition entre plusieurs phénomènes climatiques, notamment, le passage du régime climatique méditerranéen au climat saharien caractérisé par des influences desséchantes qui règnent, pendant une partie de l'année, sur le Sahara Septentrional.

Le relief caractérisé par les derniers chaînons de l'Atlas Saharien et formant une barrière aux influences méditerranéennes accentue les contrastes climatiques.

Les données disponibles intéressent neuf stations du secteur d'étude qui couvrent pratiquement la majeure partie du bassin versant (Tab.01).

Tab .01 : Coordonnées des stations pluviométriques.

station	x	y	z	installation
Aflou	34°6'46"	2°6'8"E	1406	1847
Oued Morra	34°9'34"	2°19'9"	1304	Après 1960
Sidi Bouzid	34°20'59'	2°15'43"E	1267	Après 1960
Seklafa	33°55'48'	2°8'54'' E	1233	Après 1960
El Ghicha	33°59'51'	2°21'33'' E	1100	Après 1960
Tadjemout	33°52'34''	2°31'39'' E	894	1925
Sidi Makhoulouf	33°47'22''	2°55'59'' E	886	Après 1960
Laghouat	33°46'	2°56' E	765	1885
Ksar El Hirane	33°47'32''	3°8'52'' E	719	Après 1960

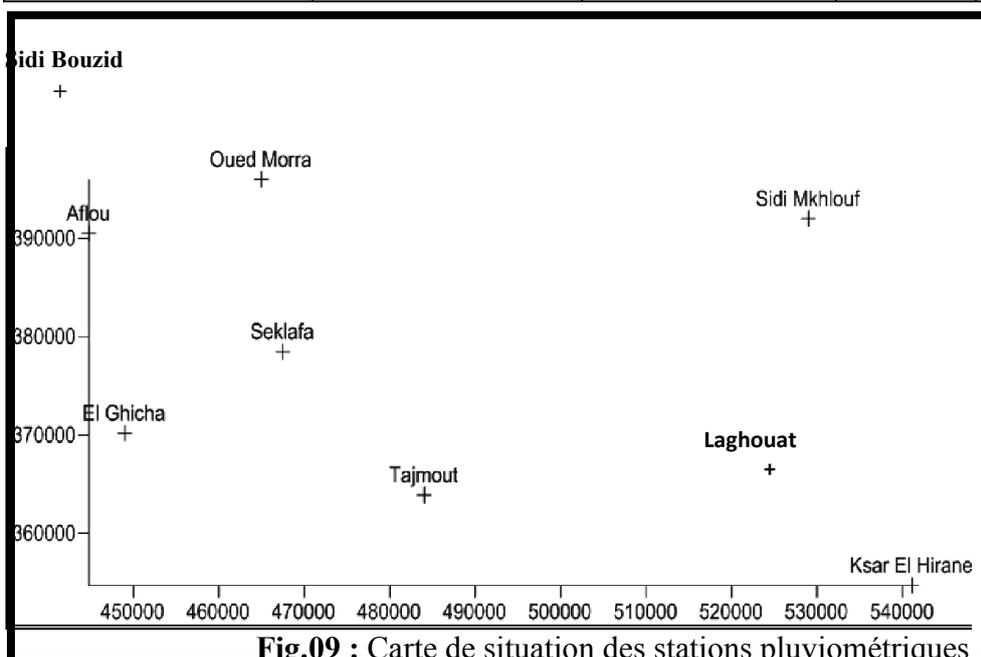


Fig.09 : Carte de situation des stations pluviométriques

II- Les paramètres climatiques :

a- Les précipitations : (fig. 10)

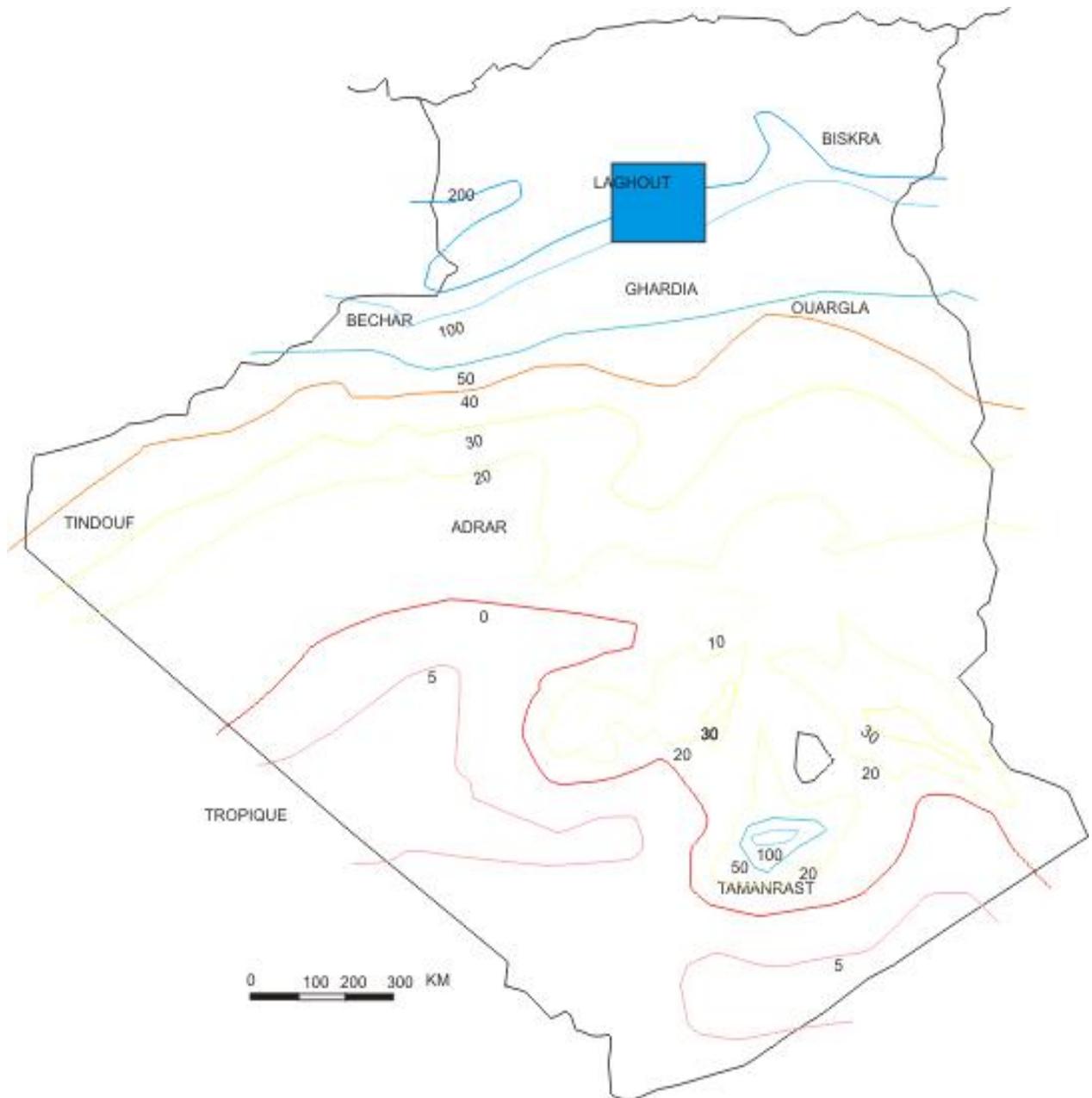


Fig.10: Carte des précipitations en Algérie (Dubief 1952).

a.1-Pluviométrie mensuelles : Les données concernent la période de 1990 à 2011 soit 21 ans d'observations.(Tab.02) (fig.11)

Tab .02 : Précipitations moyennes mensuelles (1990-2011).

Station	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	année
Sidi Bouzid	27,52	34,55	17,25	22,44	20,17	22,46	20,91	19,18	13,57	3,06	0,11	7,57	208,79
Aflou	27,58	31,48	18,52	17,95	22,81	20,44	27,09	31,56	23,67	12,58	8,05	15,91	257,64
Oued Morra	16,64	13,14	8,25	7,17	10,05	7,69	10,88	8,89	8,55	5,01	2,25	6,51	105,03
El Ghicha	22,33	20,26	7,96	3,94	11,83	8,24	13,97	11,50	10,59	9,98	2,45	5,09	128,14
Seklafa	26,92	27,34	6,34	10,93	11,53	10,40	19,05	13,33	12,49	9,31	8,24	13,21	169,09
Tadjmout	22,89	23,56	12,64	17,52	13,21	17,14	25,94	11,44	11,26	7,60	2,65	9,69	175,53
Sidi Mkhlouf	20,88	21,36	5,70	7,11	12,47	11,28	10,25	13,70	7,83	4,68	1,74	6,59	123,60
Ksar El Hirane	27,11	16,83	10,89	15,15	15,61	11,52	14,97	14,79	7,87	7,41	2,39	6,40	150,94
Laghouat	13,27	7,00	10,12	19,86	9,25	10,53	4,72	12,20	25,30	17,02	6,60	13,91	149,71

1. Station de Sidi Bouzid :

Située au nord-ouest du secteur d'étude à 1267 m d'altitude, la moyenne mensuelle est de 17.39 mm. Le maximum apparait le mois d' octobre avec (34.55 mm), le minimum apparait en juillet (0.11 mm). La moyenne mensuelle n'est pas atteinte par les mois suivants : novembre, mai, juin, juillet et août. Par contre, elle est dépassée par les autres mois.

2. Station d'Aflou:

Cette station est installée à une altitude de 1406 m, la moyenne mensuelle égale à 21.47 mm. Les précipitations atteignent leur maximum en Avril (31.56 mm) et Octobre (31.48 mm), les minima apparaissent durant les mois de Juillet avec (8.05 mm) et Aout (15.91 mm). La moyenne mensuelle n'est pas atteinte par les mois suivants : novembre, décembre, février, juin, juillet et août . Par contre, elle est dépassée par les autres mois.

3. Station de Oued Morra :

Pour cette station, septembre est le mois le plus pluvieux avec une lame précipitée de 16,64 mm. Le minimum apparait en Juillet avec 02, 25 mm.

4. Station d 'El Ghicha :

Septembre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 22.33 mm. Tandis que Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 2.54 mm seulement.

5. Station de Seklafa :

Elle est située à 1233 m d'altitude, la moyenne mensuelle de 14.09 mm. Deux maxima apparaissent, l'un en octobre avec (27.34mm), l'autre secondaire en septembre avec (26.92 mm). Par contre, les minima apparaissent en juillet (9.24 mm) et un minimum secondaire en novembre (6.34 mm). La moyenne mensuelle n'est dépassée que pour septembre et octobre.

6. Station de Tadjmout :

Pour la station de Tadjmout, mars est le mois le plus pluvieux avec 25,94 mm. Le minimum apparaît en Juillet avec 2,65 mm.

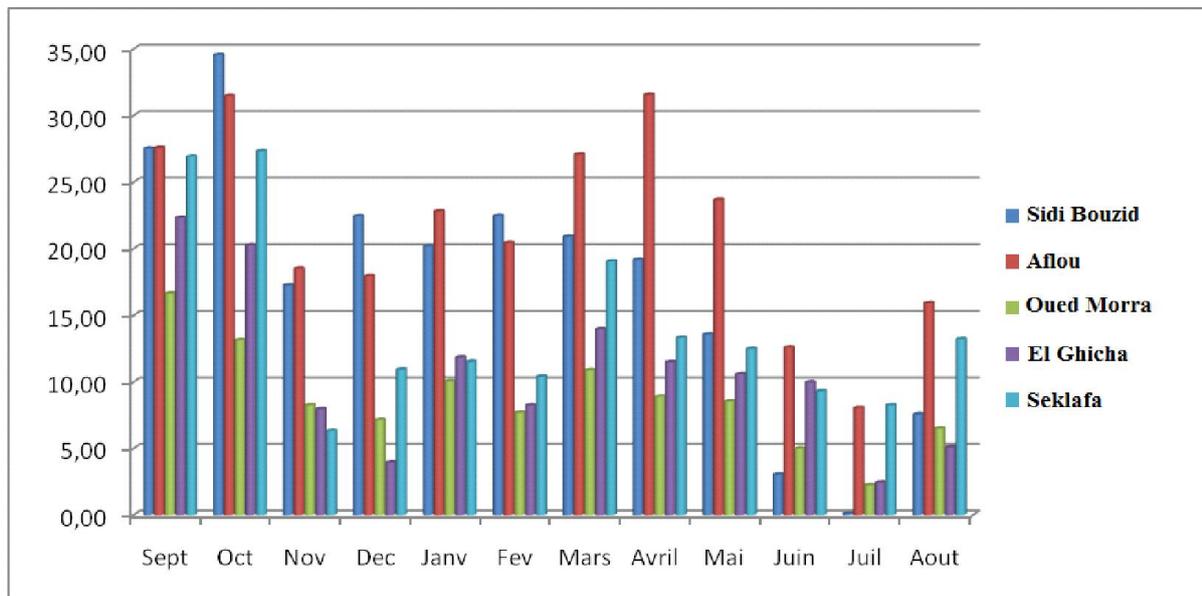
7. Station de Sidi Makhlouf :

Octobre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 21.36 mm. Tandis que Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 1.74 mm seulement.

8. Station de Ksar El Hirane:

Septembre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 27.11 mm. Tandis que Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 2.39 mm seulement.

a-stations de l'amont



b-stations de l'aval

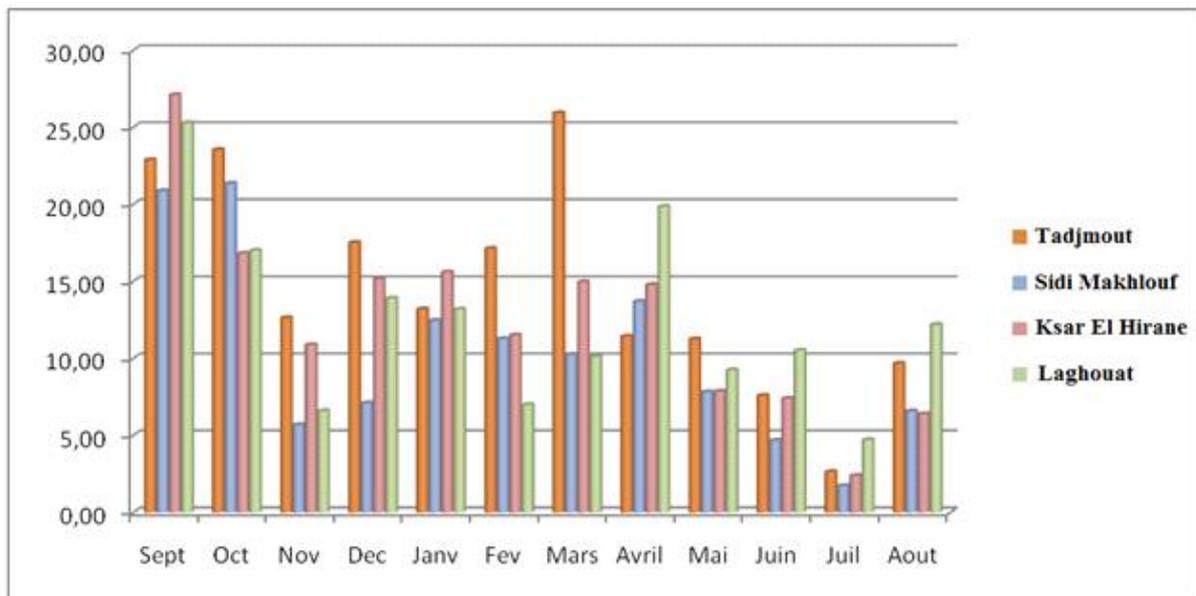


Fig. 11 : Précipitations moyennes mensuelles pour les 09 stations (1990-2011).

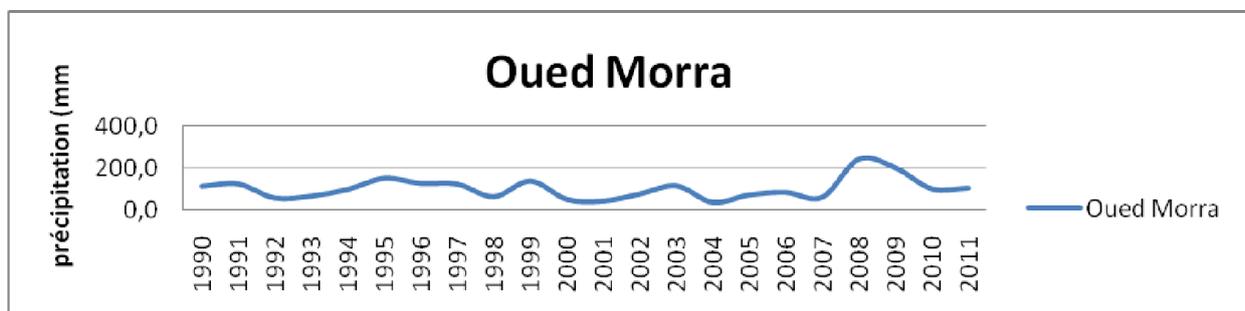
Il ressort de cette étude des précipitations mensuelles que le bassin versant de l'Oued M'zi est caractérisé par une pluviosité maximale pendant le mois d'Octobre et Septembre à l'exception de la station de Tadjmout qui présente une pluviosité maximale pendant le mois de mars tandis que juillet, juin et aout successivement sont sec .(Fig.11)

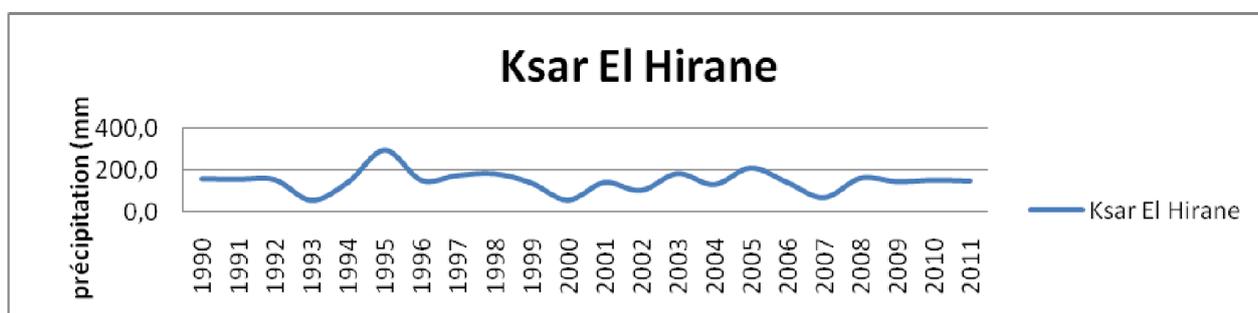
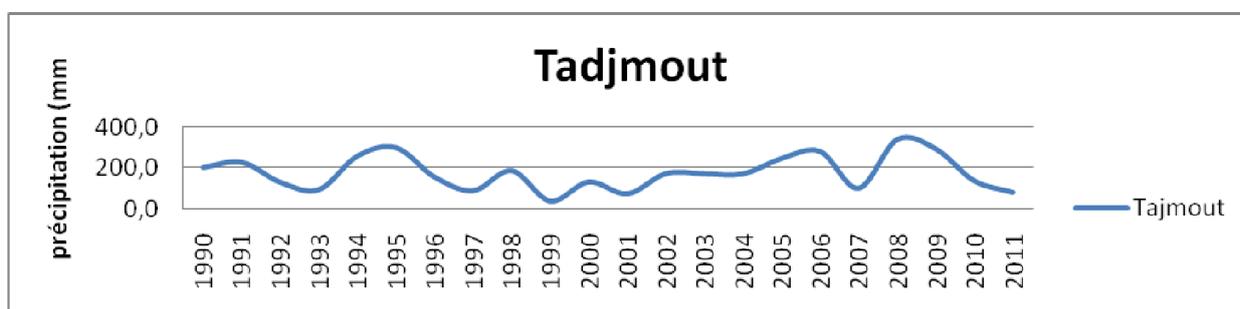
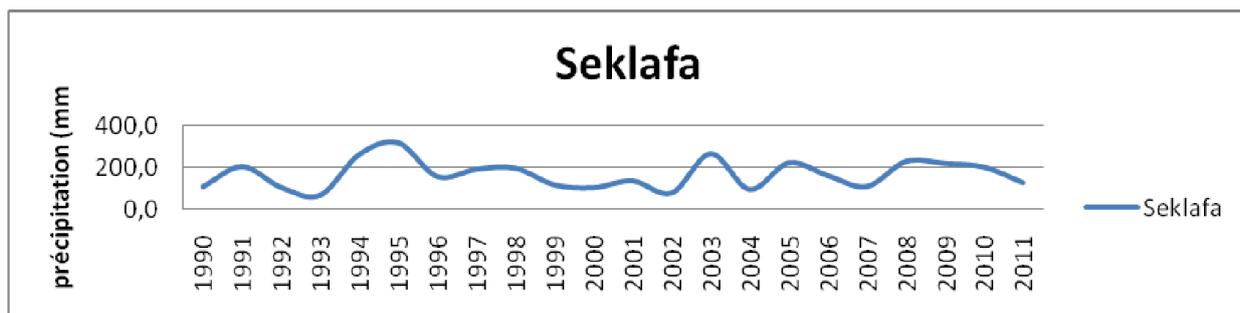
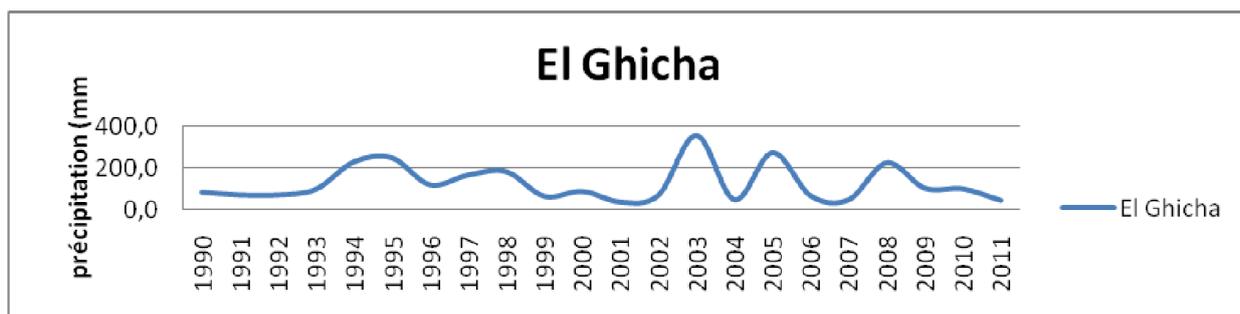
a.2-Pluviométrie annuelles : (Fig.12, Fig.13 et 14)

La période d'étude s'étend de 1990 à 2011 (Tab.03) soit 21 an pour les stations suivantes : Sidi Bouzid, Aflou, Oued Morra, El Ghicha, Seklafa, Tadjmout, Sidi Mkhoulf, Ksar El Hirane et Laghouat.

Tab.03 : Valeurs des précipitations annuelles des neuf stations (1990-2011).

Années	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tadjmout	Laghouat	Sidi Mkhoulouf	Ksar El Hirane
1990	149,9	243,8	114,8	82,5	111,0	201,5	112,0	126,5	159,8
1991	282,2	383,5	126,0	69,3	205,9	227,0	178,0	135,4	157,9
1992	51,2	150,7	59,0	69,3	107,8	128,3	102,0	66,2	155,4
1993	37,6	168,9	68,0	96,5	70,7	92,0	65,0	49,0	58,4
1994	94,0	313,3	99,5	228,5	263,0	257,9	119,0	137,0	144,8
1995	341,0	328,6	152,4	247,6	317,9	299,5	121,0	193,8	296,6
1996	102,5	351,8	128,7	117,8	159,1	154,3	180,9	126,7	153,1
1997	459,0	350,8	125,2	164,8	193,3	86,8	236,7	175,3	176,5
1998	106,2	87,1	65,1	181,6	198,3	185,8	62,7	125,2	184,2
1999	38,5	115,4	139,4	62,8	119,7	35,7	251,3	114,2	140,6
2000	82,1	138,9	53,0	87,0	106,4	130,3	80,9	76,2	59,1
2001	78,2	153,0	44,7	35,3	138,4	71,5	95,2	119,8	142,9
2002	180,7	170,3	78,0	68,0	81,0	171,4	101,4	50,1	105,0
2003	240,7	337,0	116,6	355,7	266,8	171,0	148,2	131,7	185,1
2004	201,0	237,8	38,5	45,8	98,1	170,3	228,4	71,3	132,6
2005	490,6	292,3	73,8	272,8	223,5	245,5	121,9	161,3	212,1
2006	280,8	230,9	85,7	65,2	163,4	281,0	251,2	128,1	142,8
2007	146,9	159,5	62,5	46,2	111,7	99,0	91,4	52,4	71,0
2008	409,6	341,0	243,2	223,6	230,4	339,4	180,0	283,7	163,3
2009	223,0	372,7	202,0	101,5	220,5	293,5	159,7	131,0	147,3
2010	154,5	312,0	102,5	98,7	203,5	135,6	137,7	124,9	149,4
2011	403,7	385,5	106,0	42,9	129,5	78,8	148,7	115,8	150,0
Moyenne	207	255,7	103,8	125,6	169,1	175,3	144,2	122,5	149,7





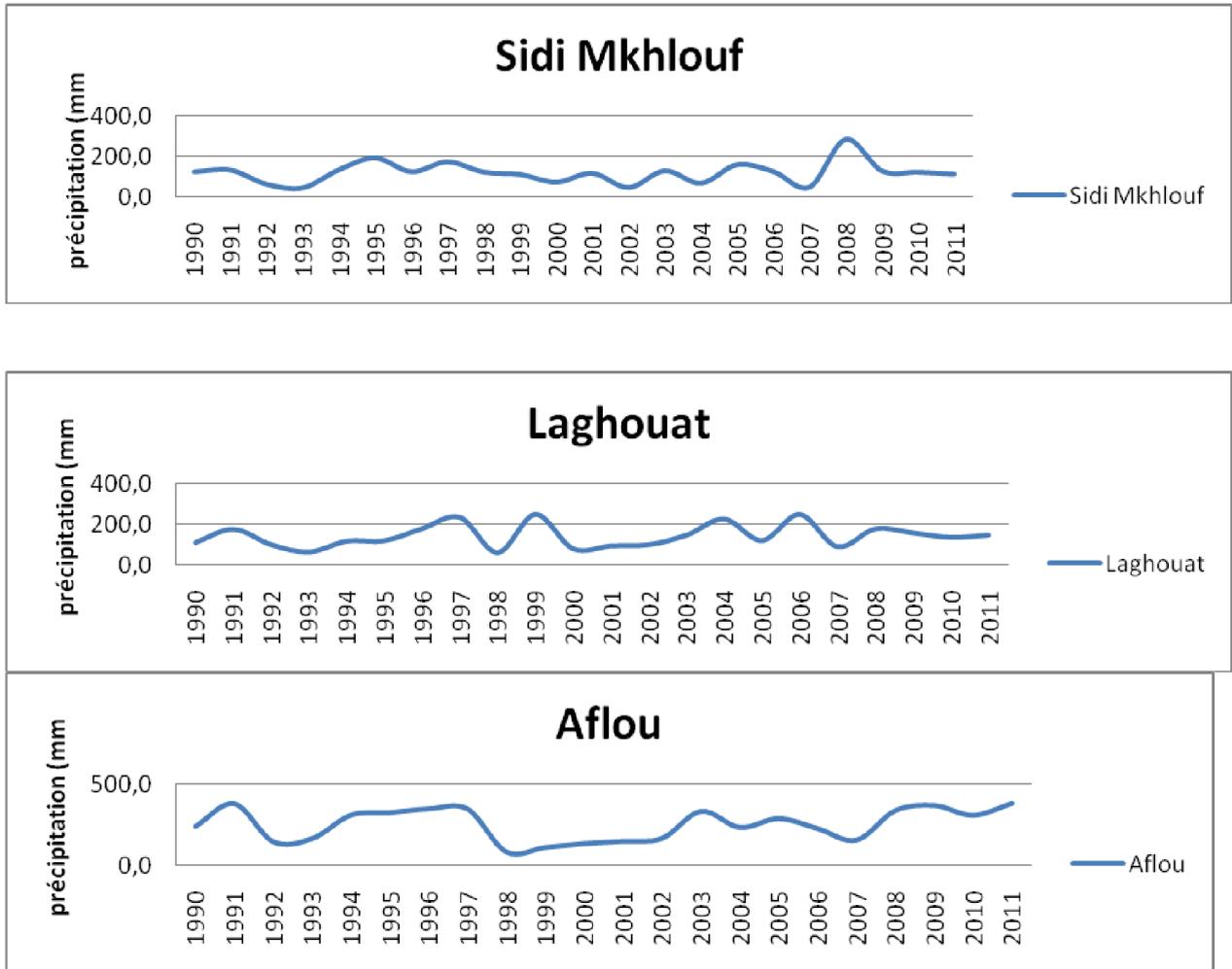


Fig. 12 : L'évolution des Précipitations annuelles pour toutes les stations période (1990-2011)

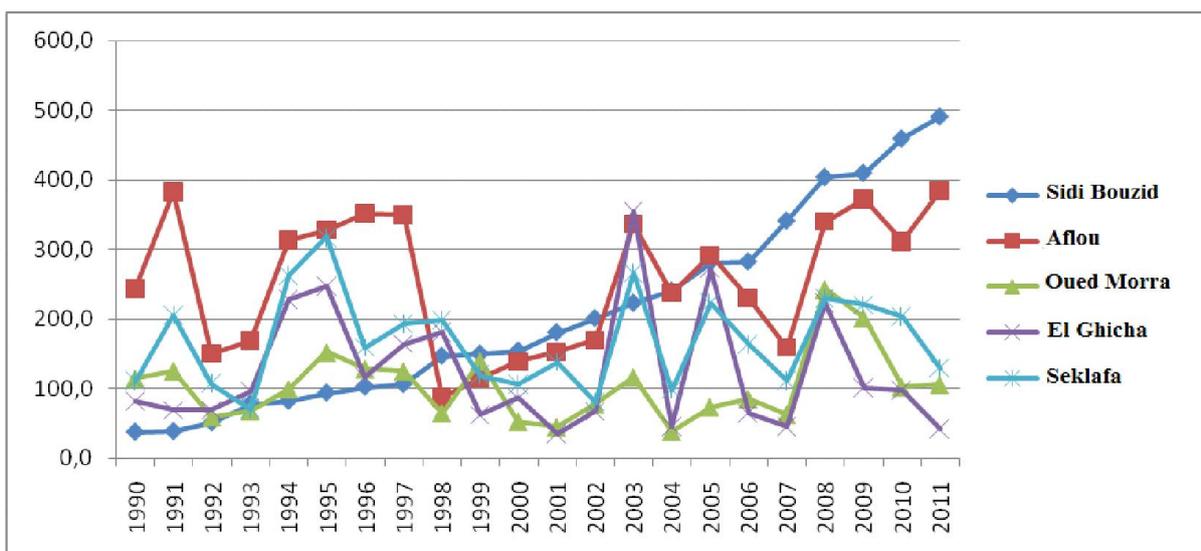


Fig. 13 : Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles (stations amont), période (1990-2011)

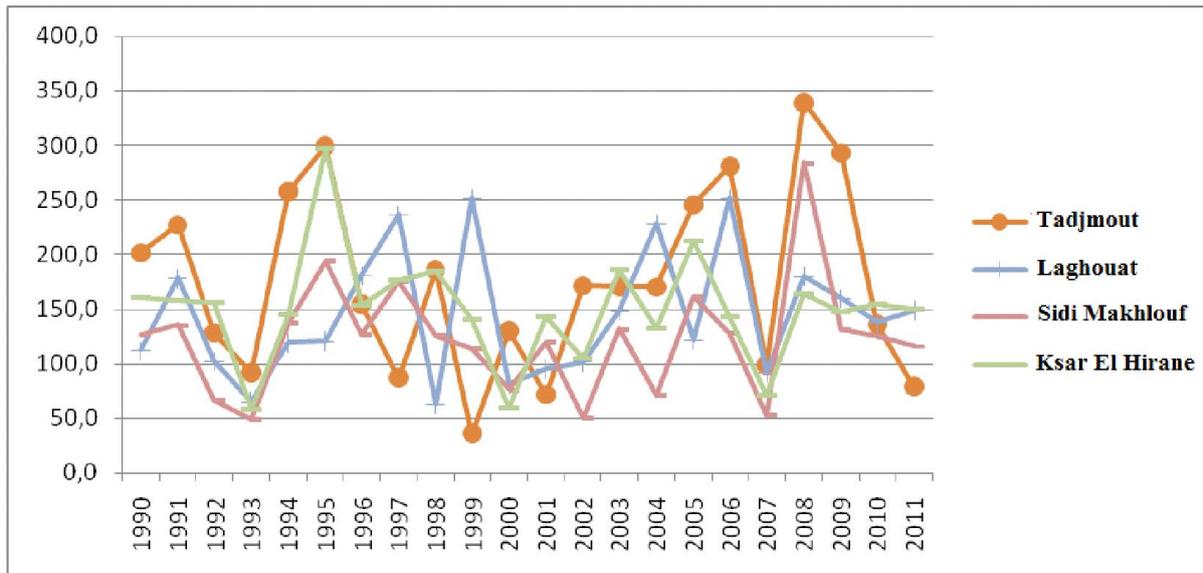


Fig. 14 : Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles (stations aval), période (1990-2011)

a-3 Variations interannuelles des précipitations

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations montre que l'année 2011 est la plus arrosée avec une précipitation maximale de 459 mm à la station de Sidi Bouzid et Oued Morra. L'année 2004 est la plus sèche avec 38.5 mm à Oued Morra.

La variation temporelle des précipitations annuelles montre que le régime annuel est très irrégulier d'une année à l'autre.

a-4 Le coefficient pluviométrique : (Tab. 04,05)

C'est le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne, il permet de distinguer les années déficitaires des années excédentaires $H > 1$: Année excédentaire ; $H < 1$: Année déficitaire .

$$H = \frac{P}{P_i}$$

H : coefficient pluviométrique .
P : pluviométrie d'une année donnée .
P : pluviométrie moyenne pour une période de N années.

Tab.04: Le coefficient pluviométrique

Années	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tadjmout	Laghouat	Sidi Mkhlof	Ksar El Hirane
1990	0,72	0,95	1,11	0,66	0,66	1,15	0,78	1,03	1,07
1991	1,36	1,50	1,21	0,55	1,22	1,30	1,23	1,11	1,06
1992	0,25	0,59	0,57	0,55	0,64	0,73	0,71	0,54	1,04
1993	0,18	0,66	0,65	0,77	0,42	0,52	0,45	0,40	0,39
1994	0,45	1,23	0,96	1,82	1,56	1,47	0,83	1,12	0,97
1995	1,65	1,29	1,47	1,97	1,88	1,71	0,84	1,58	1,98
1996	0,50	1,38	1,24	0,94	0,94	0,88	1,25	1,03	1,02
1997	2,22	1,37	1,21	1,31	1,14	0,50	1,64	1,43	1,18
1998	0,51	0,34	0,63	1,45	1,17	1,06	0,43	1,02	1,23
1999	0,19	0,45	1,34	0,50	0,71	0,20	1,74	0,93	0,94
2000	0,40	0,54	0,51	0,69	0,63	0,74	0,56	0,62	0,40
2001	0,38	0,60	0,43	0,28	0,82	0,41	0,66	0,98	0,96
2002	0,87	0,67	0,75	0,54	0,48	0,98	0,70	0,41	0,70
2003	1,16	1,32	1,12	2,83	1,58	0,98	1,03	1,07	1,24
2004	0,97	0,93	0,37	0,36	0,58	0,97	1,58	0,58	0,89
2005	2,37	1,14	0,71	2,17	1,32	1,40	0,85	1,32	1,42
2006	1,36	0,90	0,82	0,52	0,97	1,60	1,74	1,05	0,96
2007	0,71	0,62	0,60	0,37	0,66	0,56	0,63	0,43	0,48
2008	1,98	1,33	2,34	1,78	1,36	1,94	1,25	2,32	1,09
2009	1,08	1,46	1,95	0,81	1,30	1,67	1,11	1,07	0,99
2010	0,75	1,22	0,99	0,79	1,20	0,77	0,95	1,02	1,00
2011	1,95	1,51	1,02	0,34	0,77	0,45	1,03	0,95	1,00

Tab.05 : Tab.représentant les années déficitaires et excédentaires

Années	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tajmout	Laghouat	Sidi Mkhlof	Ksar El Hirane
1990	defc	defc	exce	defc	defc	exce	defc	exce	exce
1991	exce	exce	exce	defc	exce	exce	exce	exce	exce
1992	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	exce
1993	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
1994	defc	exce	defc	exce	exce	exce	defc	exce	defc
1995	exce	exce	exce	exce	exce	exce	defc	exce	exce
1996	defc	exce	exce	defc	defc	defc	exce	exce	exce
1997	exce	exce	exce	exce	exce	defc	exce	exce	exce
1998	defc	defc	defc	exce	exce	exce	defc	exce	exce
1999	defc	defc	exce	defc	defc	defc	exce	defc	defc
2000	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
2001	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
2002	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
2003	exce	exce	exce	exce	exce	defc	exce	exce	exce
2004	defc	defc	defc	defc	defc	defc	exce	defc	defc
2005	exce	exce	defc	exce	exce	exce	defc	exce	exce
2006	exce	defc	defc	defc	defc	exce	exce	exce	defc
2007	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
2008	exce	exce	exce	exce	exce	exce	exce	exce	exce
2009	exce	exce	exce	defc	exce	exce	exce	exce	defc
2010	defc	exce	defc	defc	exce	defc	defc	exce	defc
2011	exce	exce	exce	defc	defc	defc	exce	defc	exce

D'après les résultats on remarque :

Trois épisodes déficitaires pour toutes les stations (1992 sauf Ksar El Hirane.1993).(2000.2001.2002) et (2007)

Un épisode excédentaire pour toute la station l'année 2008.(Tab.05)

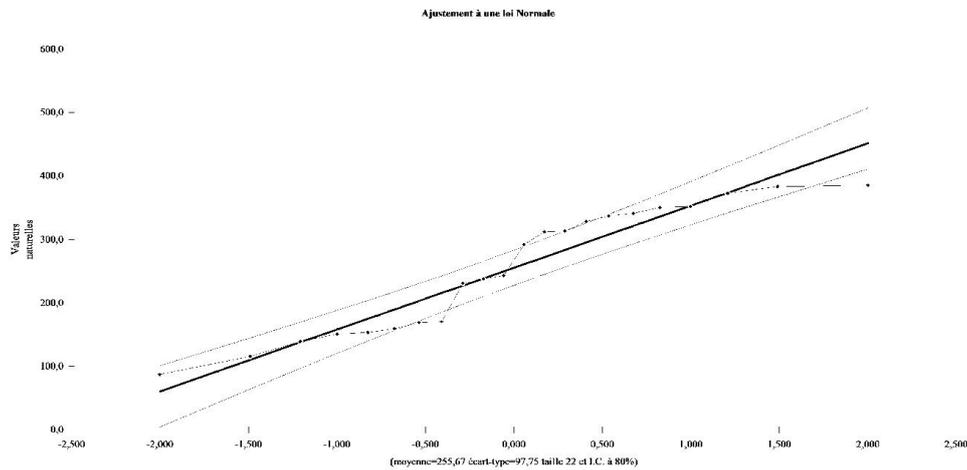
A-4 Etude statistique des précipitations annuelles :

1-ajustement à la loi normale et Log normale(Fig. 15)(Tab.06)

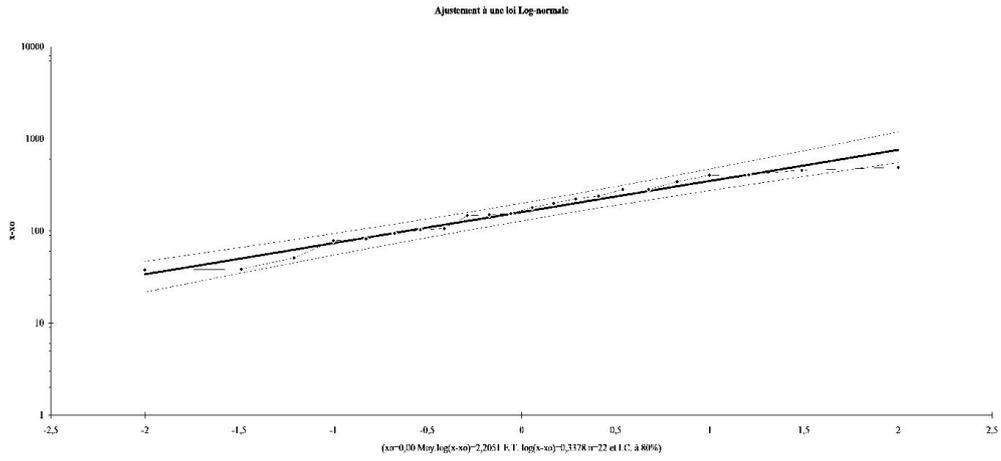
Tab.06 : les paramètres statistiques

STATIONS	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tadjmout	Laghouat	Sidi Mkhelouf	Ksar El Hirane
Moyenne (mm)	207	255.7	103.8	125.6	169.1	175.3	144.2	122.5	149.7
Ecart type	145,7	97,7	44,7	88,6	67,5	84,3	58,2	53,3	58,6
Coef. De variation	0,73	0,38	0,48	0,71	0,40	0,48	0,40	0,43	0,41
Selon le CV	Loi Log norm.	Loi norm	Loi norm.	Loi Log norm.	Loi norm.	Loi norm.	Loi norm.	Loi norm.	Loi norm.
P décennale (U= 1,28)	255.12	375.49	153.08	170.78	266.85	262.39	218.6	185.22	223.05
P centenaire (U=2,23)	290.84	457.29	1.89.65	204.31	340.05	335.58	279.06	231.77	278.53
P millénaire (U=3,09)	323.18	517.05	222.76	234.67	393.53	389.05	323.19	273.91	328.75
Période de retour des précipitations les plus faibles	1	1	1.1	1.1	1	1	1.1	1.1	1
Période de retour des précipitations les plus élevées	13.3	55	327.2	34.4	72.9	28	36	681.5	463.4

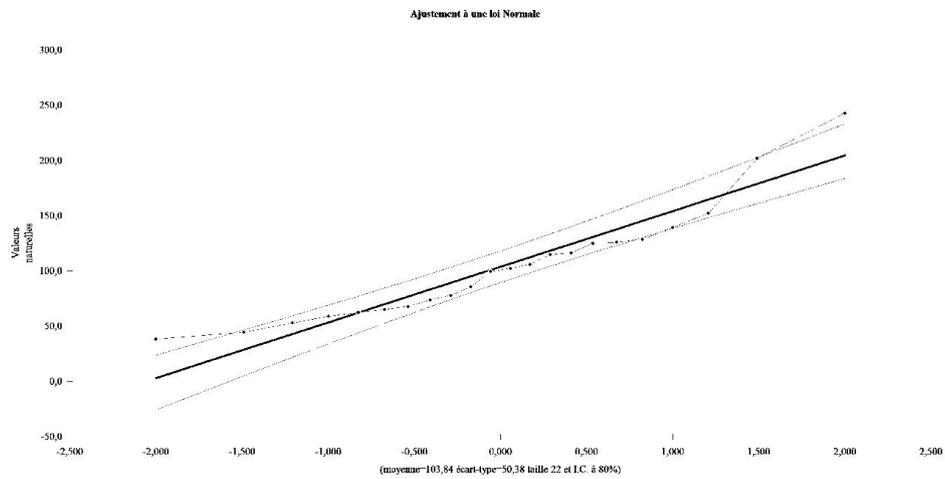
Aflou



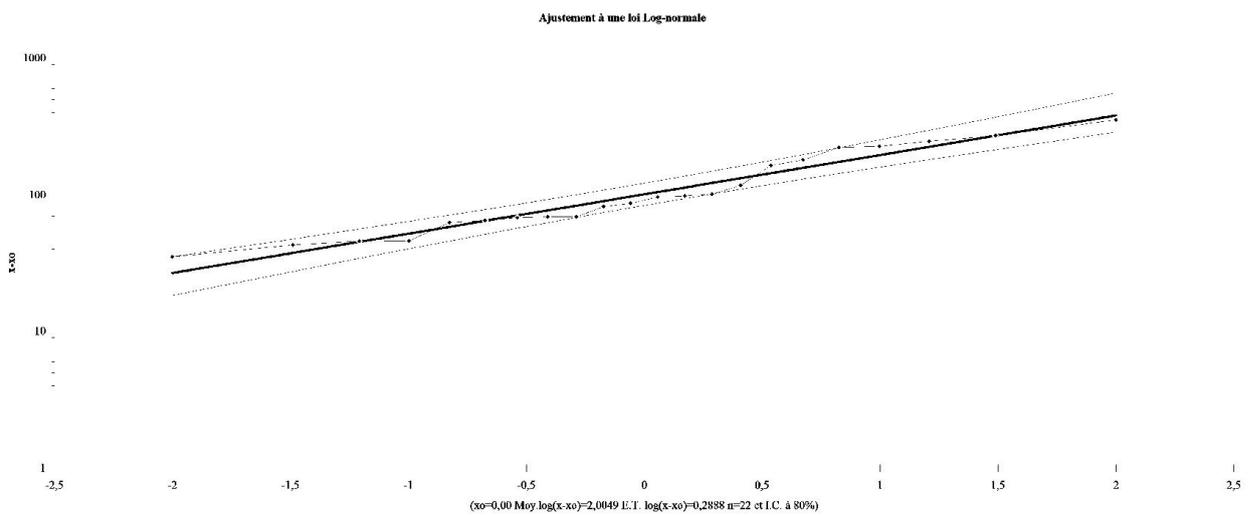
Sidi Bouzid



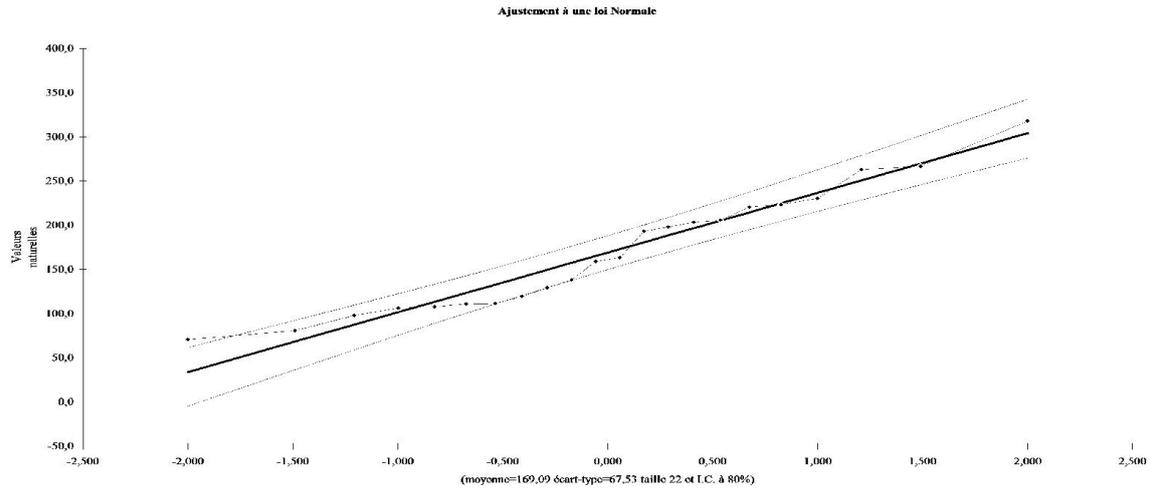
Oued Morra



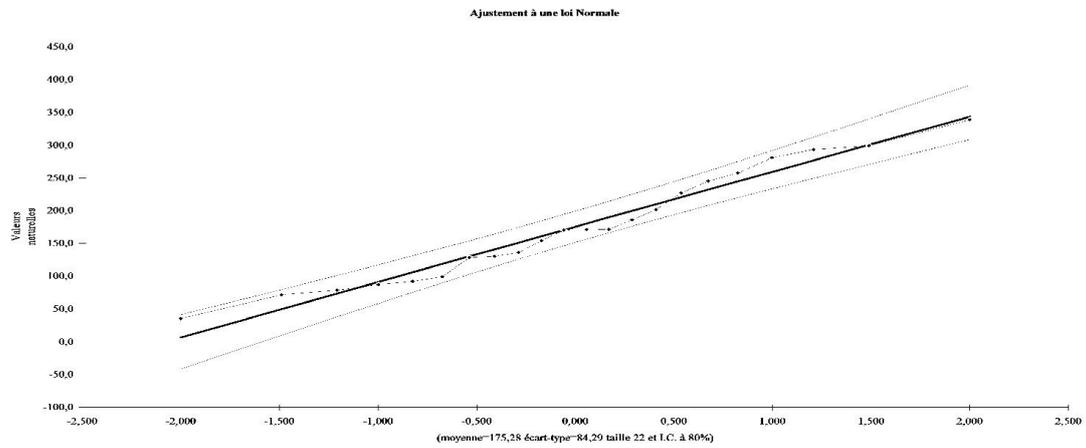
El Ghicha



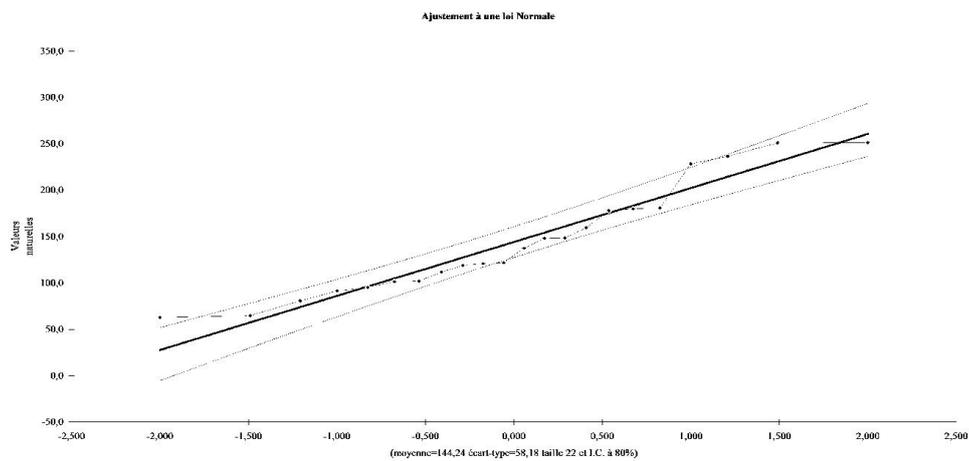
Seklafa



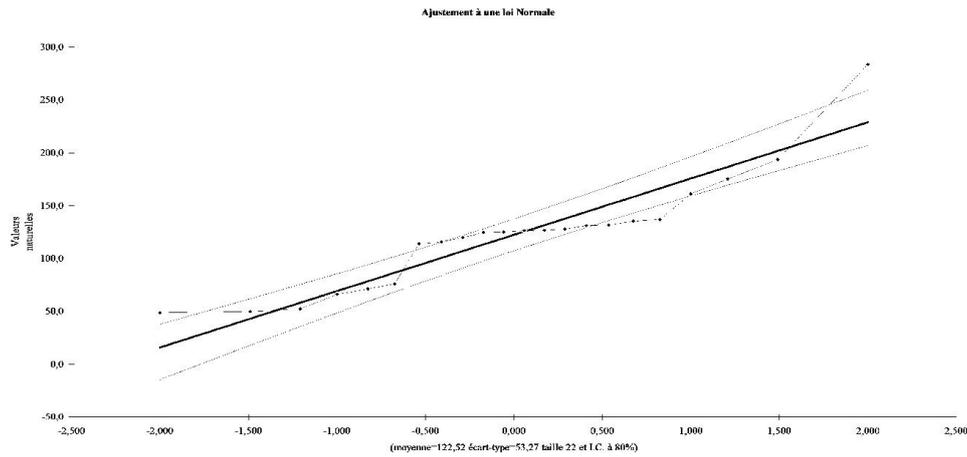
Tadjmout



Laghouat



Sidi Makhoulouf



Ksar El Hirane

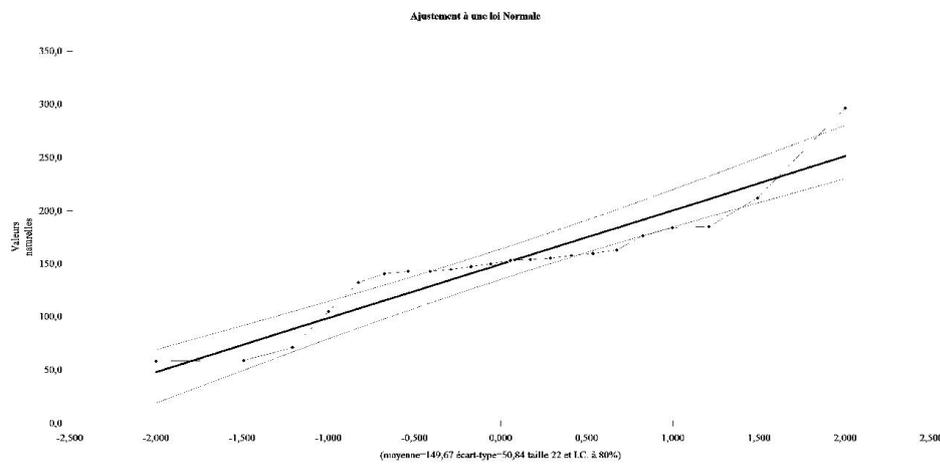


Fig. 15: Ajustement graphique des précipitations moyennes annuelles à la loi normale et log normale

A.5- Test du χ_2 :

Le **test du χ_2** est un test statistique permettant de tester l'adéquation d'une série de données à une famille de lois de probabilités ou de tester l'indépendance entre deux variables aléatoires.

On va l'appliquer aux séries des données pluviométriques pour vérifier l'adéquation au loi statistiques.(Tab.07)

Tab .07: Valeurs de χ_2 tabulé et χ_2 calculé des neuf stations

Stations	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tajmout	Laghouat	Sidi Mkhoulouf	Ksar El Hirane
χ^2 calculé	4,78	2,48	2,09	0,27	5,27	1,63	2,54	0,72	3,91
χ^2 tabulé	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99

Comme on a 5 classes et 2 paramètres le degré de liberté est égal à 2, et avec un risque d'erreur tolérée de 5 %, le χ^2 calculé étant inférieur au χ^2 tabulé, l'ajustement permet donc d'admettre une distribution normale des précipitations pour toutes les stations à l'exception des stations de Sidi Bouzid et El-Ghicha on a attribué la loi log normale .

a-6- Etude de la pluviométrie saisonnière :

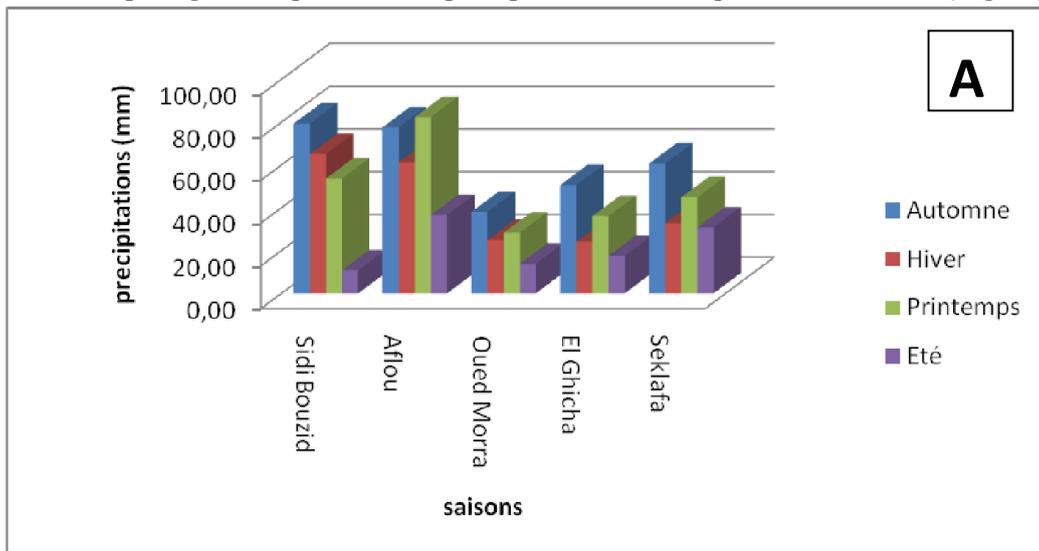
Le Tab.si dessous représente les données des précipitations saisonnières des neuf stations pour la période (1990/2011).(Tab.08)

Tab.08. :Précipitations saisonnières pour la période (1990/2011)

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Sidi Bouzid	79,32	65,08	53,65	10,74
Aflou	77,58	61,20	82,32	36,54
Oued Morra	38,03	24,91	28,32	13,77
El Ghicha	50,54	24,01	36,06	17,52
Seklafa	60,60	32,86	44,87	30,76
Tajmout	59,09	47,87	48,64	19,93
Sidi Mkhoulouf	47,95	30,86	31,78	13,01
Ksar El Hirane	54,82	42,28	37,62	16,20
Laghouat	30,39	39,64	42,22	37,53

L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons.

La distribution saisonnière des précipitations (Fig.15) montre, que l'été correspond à la saison la plus sèche. L'Automne et le printemps présentent la saison humide ou s'effectueraient la plus grande quantité des précipitations ainsi que l'écoulements.(Fig.16)



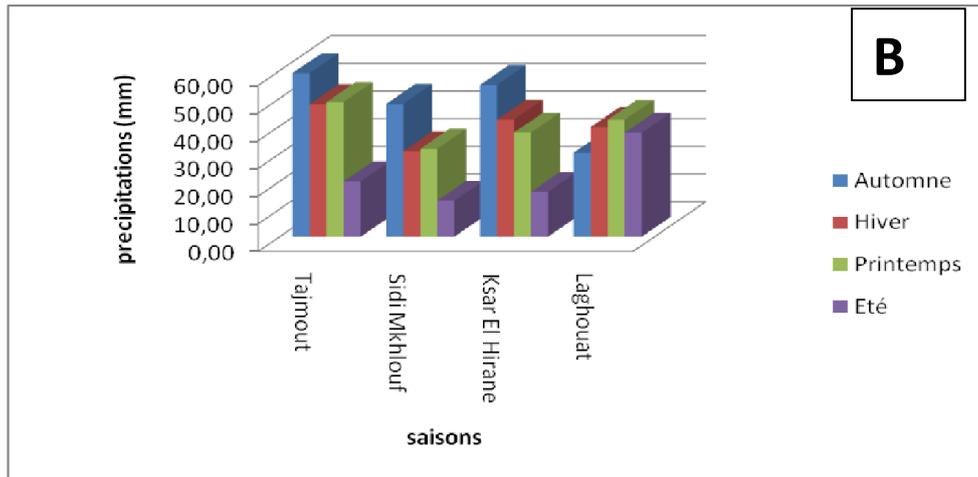


Fig.16 : Variations saisonnières des précipitations (A : station Amont, B :station aval) (1990-2011).

b-La Température

Liée aux radiations solaires, la température est un élément essentiel du climat car elle influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. Donc, elle agit sur l'évapotranspiration et par conséquent sur le bilan hydrique (le ruissellement et l'infiltration) et sur le taux de salinité en particulier les eaux de surface.

On dispose des températures moyennes des stations d'Aflou et de Laghouat pour les périodes 1913-1938 et 1990 -2011

b-1-Variations des températures moyennes mensuelles :

Période (1913-1938) :

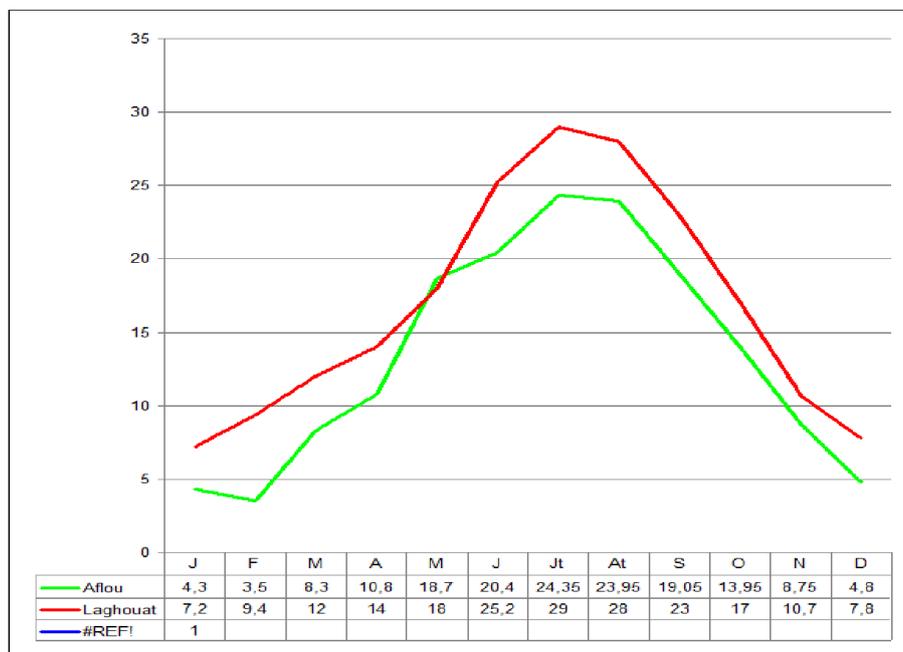


Fig. 17 : Variation des températures moyennes mensuelles aux stations d'Aflou et Laghouat (1913-1938)

Les données intéressent les températures moyennes mensuelles pour la période de 1913-1938 soit 25 an. La moyenne est de 16,77 °C pour Laghouat et 13,40 °C pour Aflou. L'analyse de la courbe de variation de la température moyennes mensuelle montre que les valeurs maximales sont observées pendant l'été en juillet avec 29 °C à Laghouat et 24,35 °C à Aflou. Les températures minimales sont de 3,5 °C à Aflou (février) et 7,2 °C à Laghouat en janvier.(Fig.17)

Période (1990-2011) :

1 Station d' Aflou: (Fig.18)

Températures moyennes mensuelles :

Tab. 09 : Températures moyennes mensuelles et annuelles Aflou (1990-2011).

Station	Période	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Mo y.
Aflou	1990-2011	3,9	4,4	8,0	10,7	16,0	19,3	24,2	24,7	20,7	15,2	10,6	5,6	13,6

La température moyenne annuelle est de 13,63°C(Tab.09). Les températures moyennes mensuelles les plus basses s'observent au mois de janvier et février avec 3,9°C et 4,4°C, tandis que les températures moyennes mensuelles les plus élevées s'observent aux mois de juillet avec 24,2°C et d'août avec 24,75°C, l'écart thermique entre le mois chaud et le mois froid varie de 20,85 °C. La période froide s'étend de novembre à avril correspondant à la période pluvieuse. La période chaude s'étend de mai à octobre correspondant à la saison estivale.

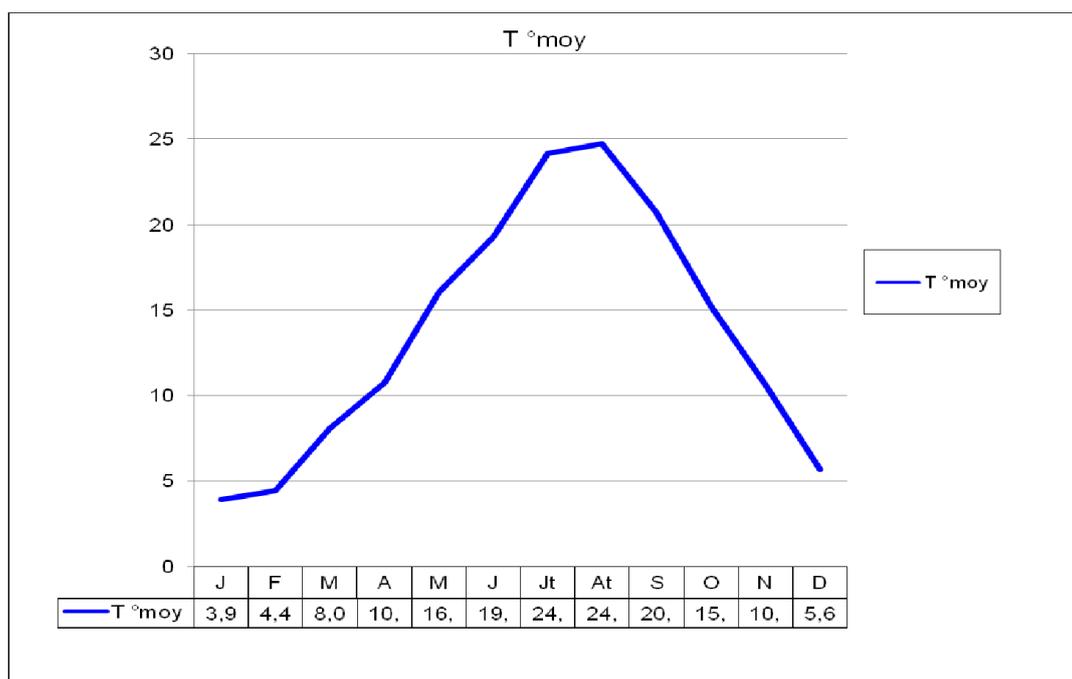


Fig. 18 : Variation mensuelle de température à la station d'Aflou

2-Station de Laghouat

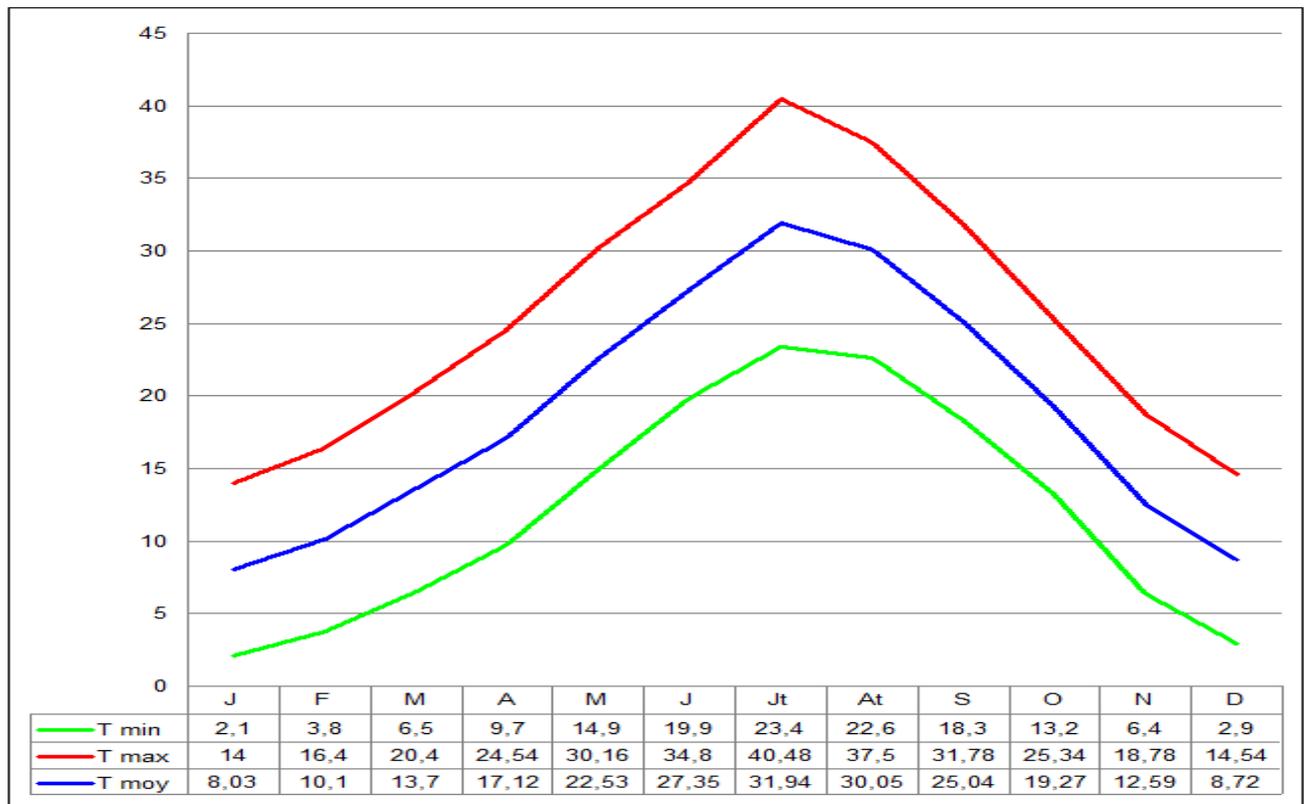


Fig . 19: courbes des températures station de Laghouat (1990-2011).

Le graphe des courbes de la température maximale et minimale(Fig.19)montre que le plus grand écart s’observe au mois de juillet avec un maximum de 40,48°C et un minimum de 23,4 °C avec 17,08 °C, par contre le plus faible écart s’observe en décembre avec un maximum de 14,54°C et un minimum de 2,9°C avec 11,64 °C.

c-L’humidité de l’aire : Station de Laghouat (1979-1980) et (1990 - 2011)

La seconde période (1990 - 2011) est moins humide avec une humidité moyenne annuelle de 46,16 % que la période (1979 - 1980) où la moyenne est de est de 55% .(Tab.10)

L’humidité relative mensuelle est très faible en juillet et aout (30-34%) (Fig.20)pour les deux périodes elle atteint son maximum en octobre et janvier avec 68% pour la période 1979-1980. La seconde période (1990 - 2011) nous parait moins humide avec un maximum de 63% en décembre.

Tab 10: L'humidité relative de la station de Laghouat.

Humidité relative	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
(1979-1980)	58	68	63	66	68	52	63	60	50	48	34	33
(1990-2011)	42	51	56	63	62	54	46	40	37	31	30	30

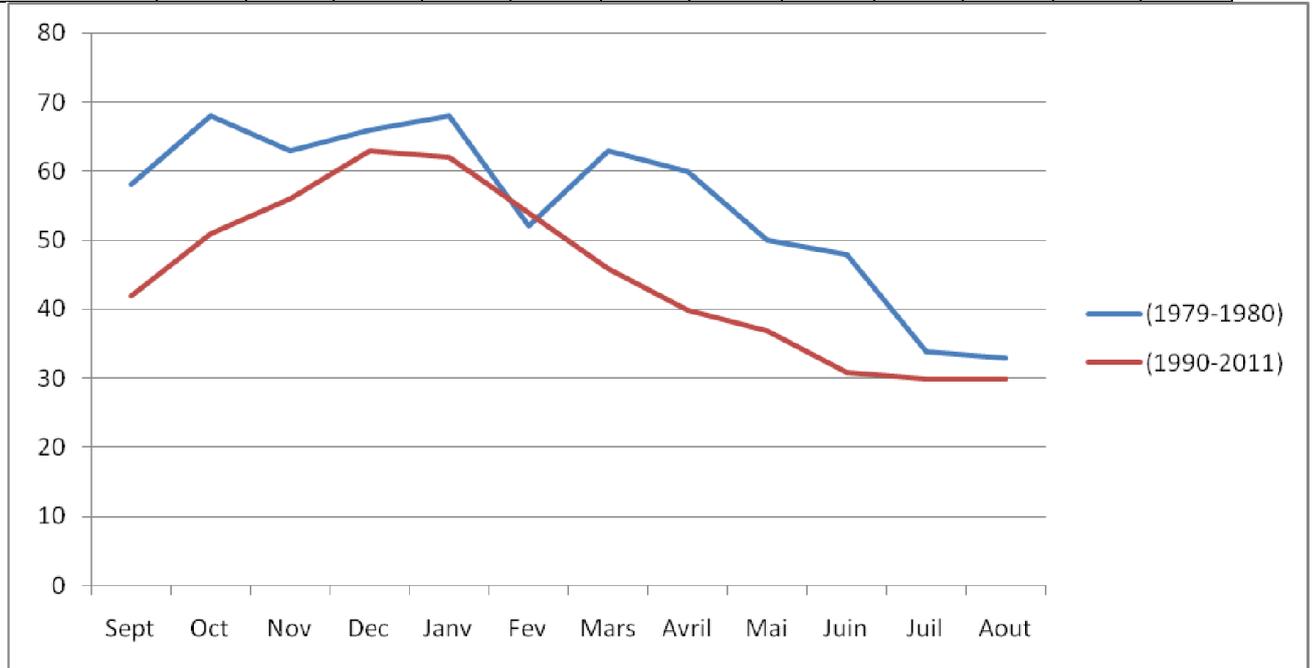


Fig.20 :L'humidité dans la région de Laghouat période (1979 - 1980) et (1990-2011).

d- L'insolation

L'ensoleillement est de 67 heures en décembre qui représente le minimum et 83 h en juillet comme maximum

e- Le vent (Tab.11,12)

Les vents, et notamment les vents de sable, jouent un rôle particulièrement desséchant. La Fig.21 montre que les vents les plus fréquents soufflent de l'est avec 32,8% le mois de juin. En hiver, ce sont les vents du nord et d'ouest, pour le printemps du nord et d'est, en été d'est et sud.

Tab 11 : fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984)

mois	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
JAN	200	54	116	8	110	51	82	44
FEV	175	40	77	9	77	54	96	40
MARS	216	56	101	27	87	57	98	40
AVRIL	166	81	189	45	130	63	143	60
MAI	209	68	210	49	191	100	158	48
JUIN	88	76	328	63	228	84	108	16
JUIL	64	39	269	86	253	110	127	18
AOUT	108	49	258	57	226	125	173	16
SEP	100	43	245	83	215	99	122	18
OCT	156	74	108	58	124	55	117	55
NOV	101	56	110	17	65	48	114	27
DEC	143	50	86	15	67	48	117	34

Tab 12:fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984).

Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
8.78	4.17	5.12	8.78	3.41	3.38	1.35	3.65	8.66	6.97	3.50	8.91

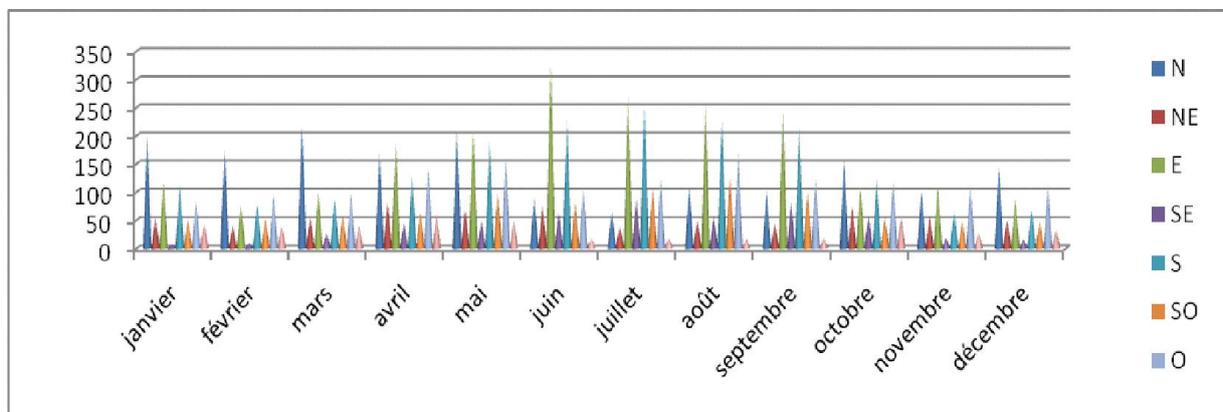


Fig. 21: fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984).

f- Caractérisation du climat

a- Méthodes graphiques

Les indices bioclimatiques, permettent de caractériser le niveau de sécheresse ou d'aridité d'un lieu ou d'un climat. Les méthodes les plus couramment utilisées sont les suivantes:

1-Diagramme ombro-thermique

Cette méthode tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et donne une expression relative à la sécheresse estivale en durée

et en intensité (Gausсен et Bagnouls, 1952). Un mois donné est considéré comme sec quand $p < 2t$, c'est-à-dire quand les pertes en eau (supposées causées par une température trop forte) sont supérieures aux apports (précipitations).

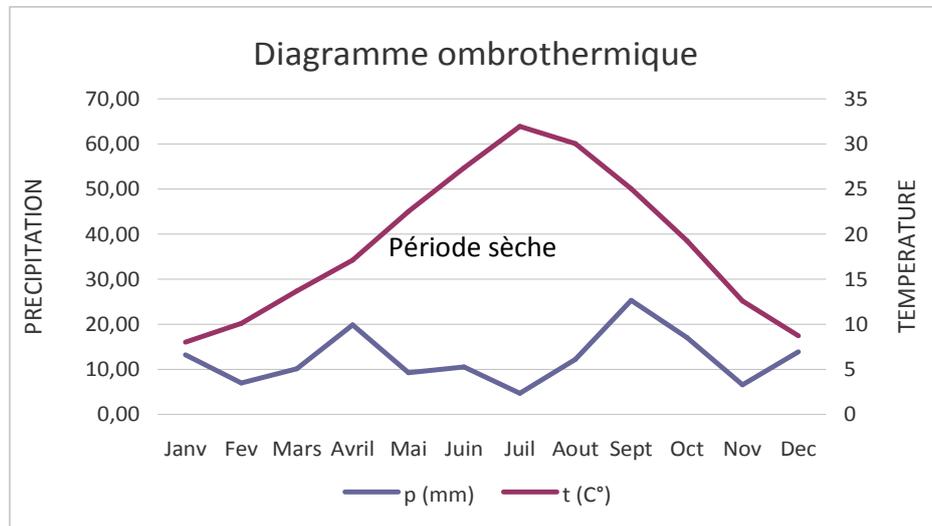


Fig. 22 : Diagramme ombrothermique , station de Laghouat.

D'après la courbe ombrothermique, on constate que la période déficitaire s'étale toute l'année (fig.21).

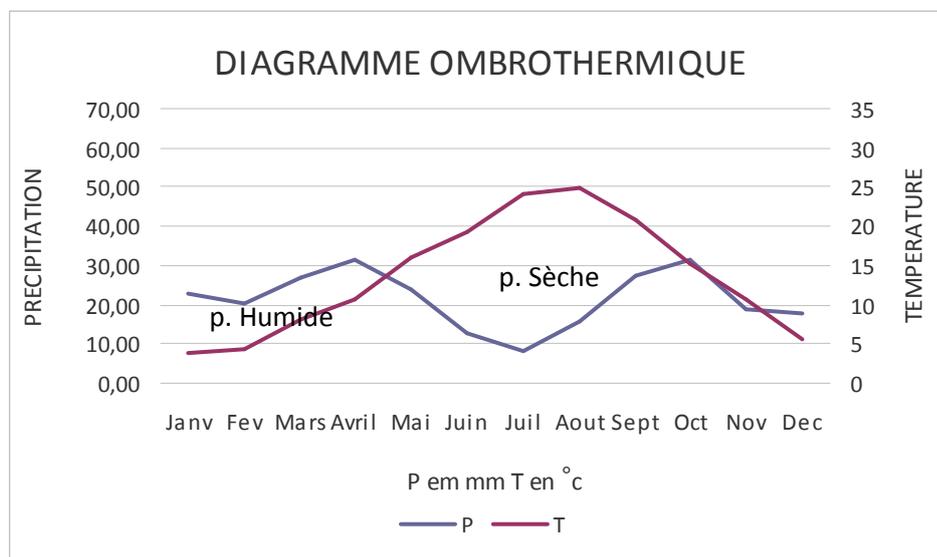


Fig.23 : Diagramme ombro-thermique de la station d'Aflou.

Appliquée à la station d'Aflou, il résulte que la saison sèche s'étend du mois d'avril jusqu'à mi-novembre.(Fig.23)

2-Diagramme ombrothermique d'Euverte :

Les besoins en eau des plantes suivent une progression exponentielle et pour un accroissement de température de 6°C les besoins en eau doublent.

Le diagramme ombrothermique comporte en abscisse les mois de l'année et en ordonnées les températures en progression linéaire, et les précipitations en échelle logarithmique.

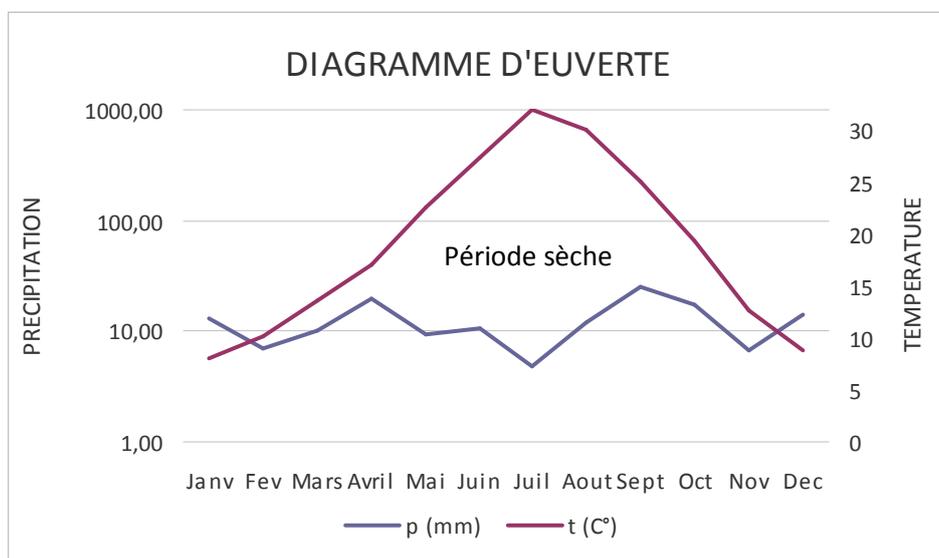
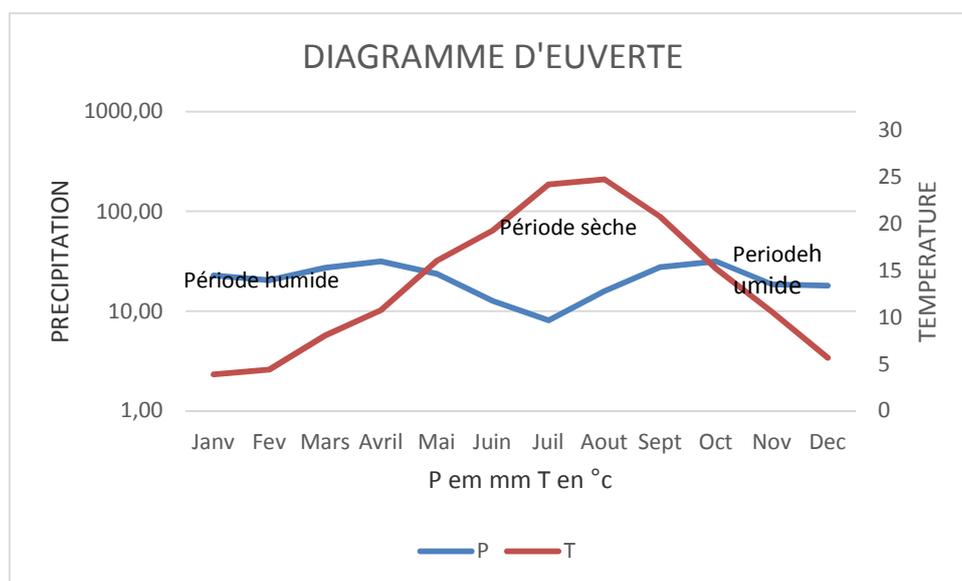


Fig.24: Diagramme d'Euverte station de Laghouat



la période humide est très réduite elle s'étale seulement sur deux mois décembre et janvier, pour Aflou la période humide est d'environ de six à sept mois d'octobre à avril.

g-Les paramètres climatiques :

g-1- Indice De Martonne :

-indice annuel :

En 1923, De MARTONNE a défini un indice d'aridité "A" comme suite :

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

T+10

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyennes annuelles (°C)

$A < 5$: 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=5.18 pour la station de Laghouat donc un climat désertique

A=11.61 pour la station d'Aflou donc un climat semi-aride

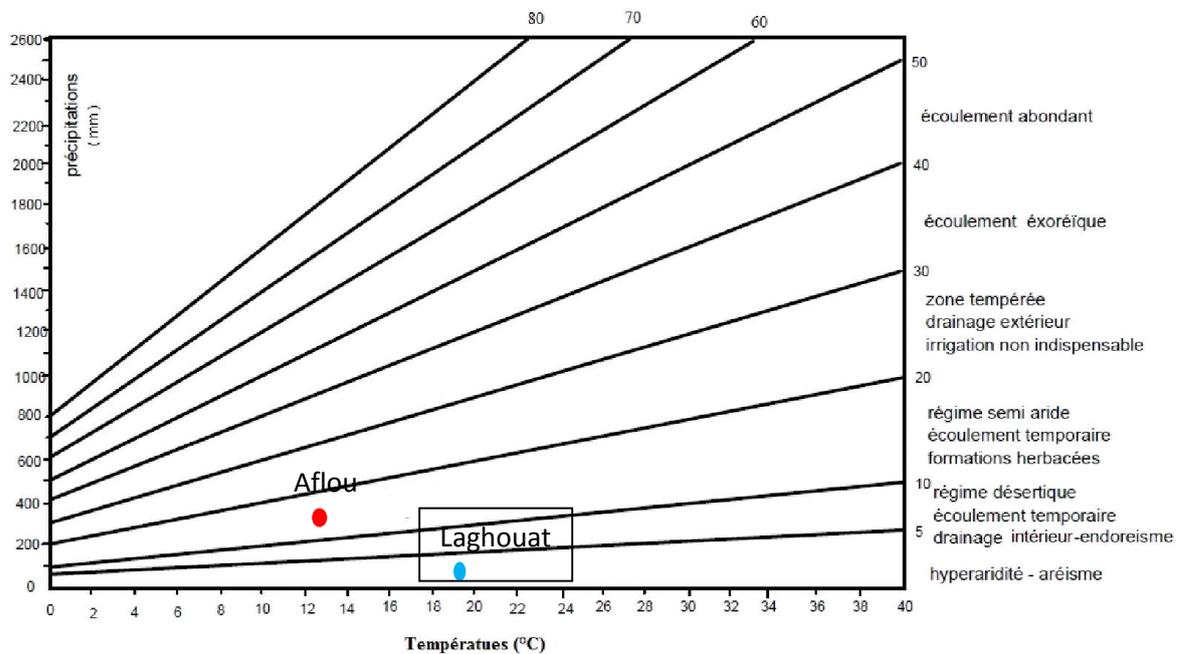


Fig.25: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne

g-2-Indice de continentalité de Kerner :

Met en évidence l'influence de la mer sur la région étudiée. Il est donné par la relation suivante :

$$K = (T_o - T_a) * 100 / A$$

Avec :

K : indice de continentalité thermique exprimé en %

T_o : température moyenne du mois d'octobre en °C

T_a : température moyenne du mois d'avril en °C

A : amplitude thermique en °C

Appliqué à la station de Laghouat, l'indice de continentalité égale à 5,6% car cette dernière se situe loin de la méditerranée.

g.3-Indice pluviométrique de Moral :

l'indice pluviométrique de Moral (IA), permet de distinguer un climat sec ($IA < 1$) d'un climat humide ($IA > 1$) définit comme suite:

$$(IA) = \frac{P}{T^2} - 10T + 200$$

IA : indice pluviométrique annuel

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : température moyenne annuelle en °C

Pour Laghouat $IA = 0,4$ caractérise un climat sec.

A Aflou $IA = 1,10$, un climat semi-aride.

g.4-Méthode de Stewart :

Cet indice tient compte des précipitations moyennes annuelles ainsi que des températures moyennes des minima du mois le plus froid et maxima du mois le plus chaud.

$$Q2 = 3.43 \frac{P}{M+m}$$

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°C).

m: moyenne des minima du mois le plus froid en (°C).

Pour :

$10 < Q2 < 50$: climat semi-aride

$Q2 < 2$: climat désertique

Le $Q2$ calculé pour la station de Laghouat est égal à 12,06 donc un climat semi-aride.

g.5-Climatogramme d'Emberger :

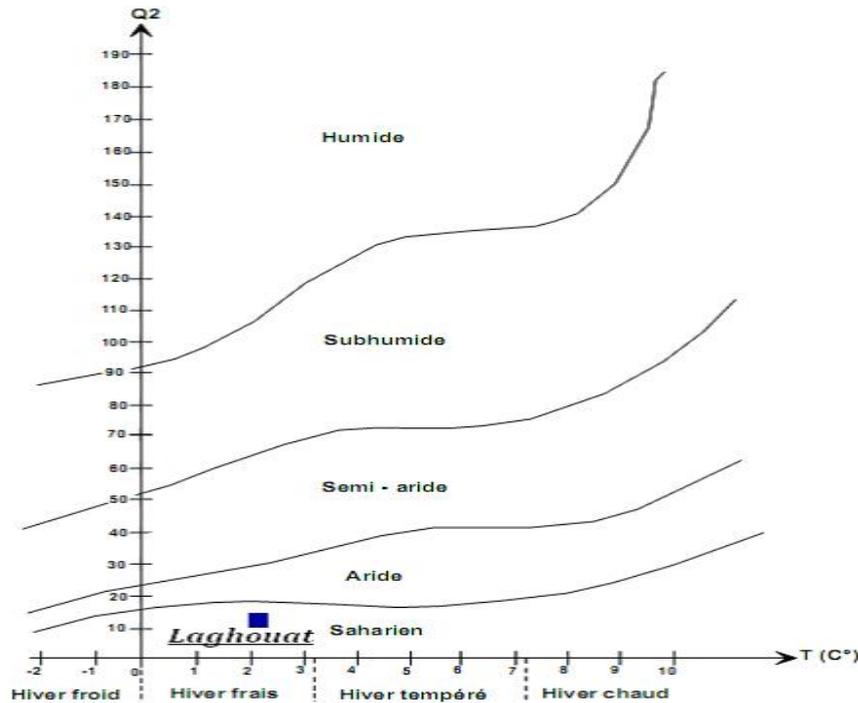


Fig.26:représentation de la station de Laghouat sur le Climagramme d'Emberger.

Utilisant les précipitations et la température, L. Emberger a proposé une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuel défini par :

$$Q = 2000P/M^2 - m^2 \quad Q_{\text{laghouat}} = 13,24.$$

Où:

Q: Quotient pluvio-thermique d'Emberger ;

P: Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

M: La température maximum du mois le plus chaud, en degré kelvin (K°).

m : La température minimum du mois le plus froid, en degré Kelvin (K)

D'après le Climagramme d'Emberger, le climat de Laghouat est saharien caractérisé par un hiver frais (Fig26).

h-conclusion sur les indices climatiques :

Sachant que les éléments climatiques les plus importants pour caractériser un climat sont les précipitations, les températures et l'évaporation; les méthodes combinant ces éléments sont plus intéressantes que celles qui incluent un ou deux éléments seulement. Toutes ces méthodes ont qualifié le climat du secteur d'étude comme étant aride pour Laghouat et semi-aride à Aflou.

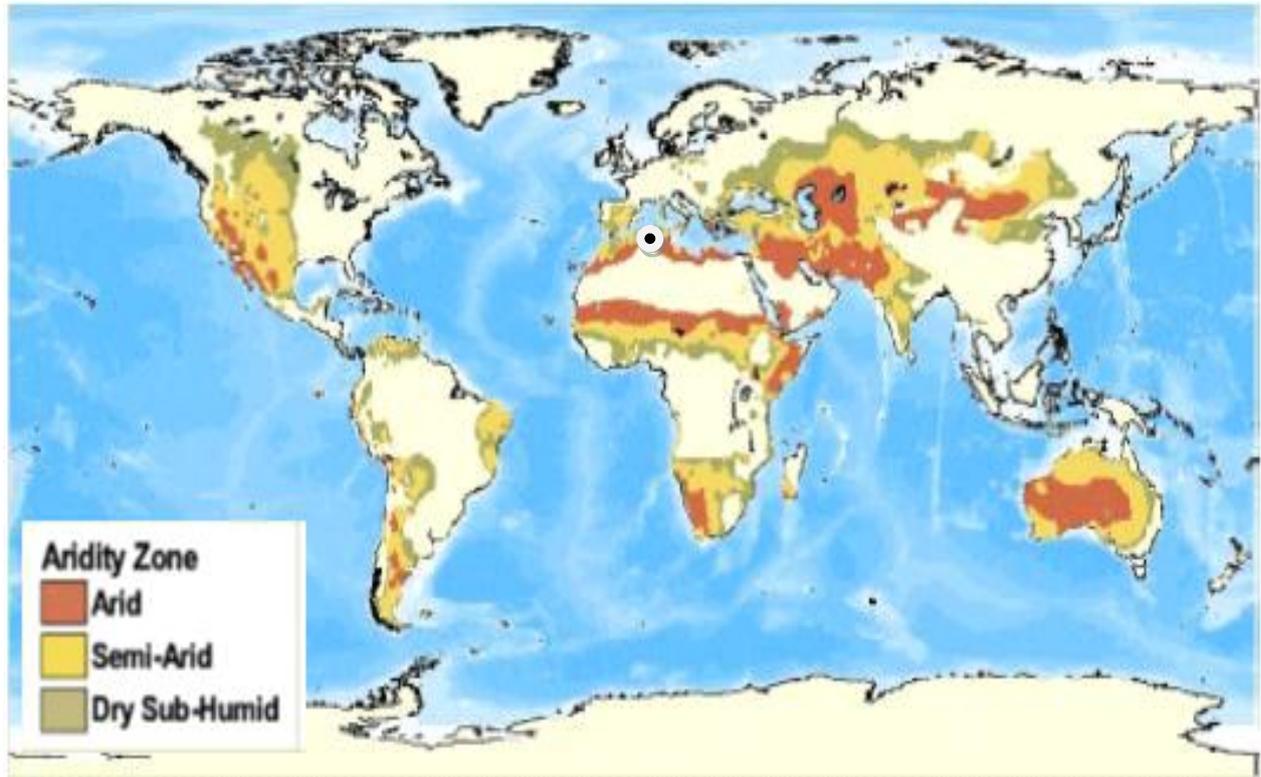


Fig. 27: La carte mondiale des terres arides Source: UNEP/GRID 1991 dans WRI.

La figure ci-dessus (Fig. 27) montre la situation du bassin versant de Oued M'zi sur la carte des terres arides.

i-Evaporation :

Les mesures réalisées avec un évaporomètre Piche au niveau de la station de Laghouat et la station d'Aflou sont mentionnées dans le Tab.ci dessous .

Tab .13: Moyennes mensuelles de l'évaporation Lagouat (1973-1980) et Aflou (1999-2011).

station	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juillet	août	année
Laghouat 1973- 1980	61	57	52	52	37	41	52	60	85	98	96	95	786
Aflou 1999- 2011	65,08	40,11	19,52	11,73	9,11	12,07	25,43	35,1	62	85,6	108,5	95,2	569,5

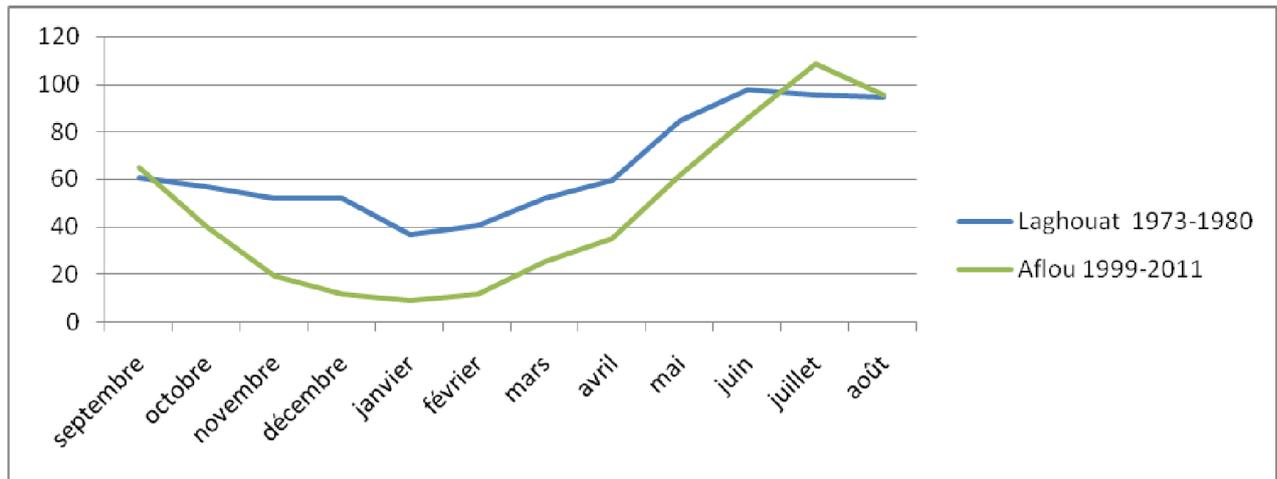


Fig. 28: Evaporation moyenne mensuelle Laghouat (1973-1980), Aflou (1999-2011).

Pour la station de Laghouat l'évaporation la plus élevée est observée au mois de Juillet avec 96 mm, la plus faible au mois de Janvier avec 37 mm.

Pour la station d'Aflou l'évaporation la plus élevée est observée au mois de Juillet avec 108,52 mm, la plus faible au mois de Janvier avec 9,11 mm.

j-L'évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique. La précision avec laquelle l'évapotranspiration est estimée essentielle pour le calcul du bilan hydrique.

On a pu avoir des données d'ETP calculée par les deux méthodes Penman et Turc pour la période de 21 an (1990-2011) station de Laghouat. (Fig.17)

1990/2011	Penman (mm/mois)	Turc (mm/mois)
Mois:		
Janvier	43	44
Février	60	60
Mars	110	102
Avril	154	136
Mai	195	181
Juin	216	212
Juillet	231	231
Août	202	202
Septembre	149	140
Octobre	97	99
Novembre	54	62
Décembre	37	43

Fig. 29 :ETP moyenne cumulée Penman et Turc (1990-2011) Laghouat (source Bneder 2012).

k-Evapotranspiration potentielle ETP :

C'est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant.

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle, a été établie par la formule de Thornthwaite et celle de Bouchet.

k.1 -Formule de Thornthwaite :

On a appliqué la formule de THORNTHWAITE à la station de Laghouat et la station d'Aflou:

A la station de Laghouat

$$ETP = 16 [10T / I]^a \text{ (mm)}$$

Où :

ETP : L'évapotranspiration potentielle non corrigée, (mm).

T : La température moyenne mensuelle en C°.

I : L'indice annuel de chaleur, $I = \sum_{i=1}^{12} i$

i : L'indice mensuel de chaleur, $i = [T/5]^{1.514}$

a : L'exposant climatique, ($a = 0.016 I + 0.5$)

Les valeurs de ETP calculées par cette formule doivent être corrigées à l'aide d'un facteur correctif K, qui dépend du temps et du lieu de la station intéressée: ETP corrigée= ETP.K

$$I = 96,08 \quad a = 2,037$$

ETPc = 1014,51 mm, soit 677,67% des précipitations.

Tab.14: ETP calculée par la méthode de Thornthwaite à la station de Laghouat (1990-2011).

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	année
ETP calculée	11,1	17,71	32,96	51,9	90,81	134,8	184,91	163,3	112,62	66,05	27,75	13,13	907,08
K	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,2	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86	
ETP corrigée	9,76	15,23	33,95	56,57	108,07	161,76	225,59	187,8	116	64,07	24,42	11,29	1014,51

A la station d'Aflou :

Les résultats obtenus, pour la station d'Aflou, sont mentionnés dans le Tab. 22 avec :

$$I = 60,8 \text{ et } a = 1,47.$$

Donc, ETPc= 766,74 mm, soit 279,30 % des précipitations.

Tab. 15 : l'ETP selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Aflou. Période(1990-2011).

Aflou	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	année
ETP calculée	8,31	9,93	24,19	37,03	66,83	87,69	122,36	126,48	97,56	61,68	36,27	14,36	692,76
K	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03	0,97	0,87	0,86	
ETP corrigée	7,32	8,44	24,91	40,37	80,20	105,22	149,28	146,72	100,49	59,83	31,56	12,35	766,74

I-Evapotranspiration réelle ETR :

L'évapotranspiration réelle est une réponse, en termes de vapeur d'eau, d'un milieu donné à la demande exercée par l'évapotranspiration potentielle, compte tenu de la quantité d'eau disponible.

L'évapotranspiration réelle est estimée à l'aide des formules de TURC, COUTAGNE, WUNDT et THORNTHWAITE.

I.1- Formule de Turc :

En utilisant la hauteur annuelle de pluie et la température moyenne annuelle, la formule de Turc nous permet d'évaluer l'évapotranspiration réelle annuelle.

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

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

ETR : Evapotranspiration réelle (en mm/an)

P : Hauteur annuelle de pluie (en mm)

T : Température moyenne annuelle (en °C)

Les résultats obtenus par l'application de la formule de Turc pour les stations de Laghouat et Aflou (1990/2011) sont dans le Tab.si dessous :

Tab.16. Evapotranspiration réelle par la méthode de Turc

Stations	T °C	P mm	ETR mm/an
Aflou	13,63	274,53	270,76
Laghouat	18,87	149,71	156,23

I. 2-Méthode de Wundt :

Cette méthode permet d'obtenir à partir d'un diagramme le déficit d'écoulement en fonction de la température et des précipitations.

ETR Laghouat=200 mm ETR Aflou = 290mm

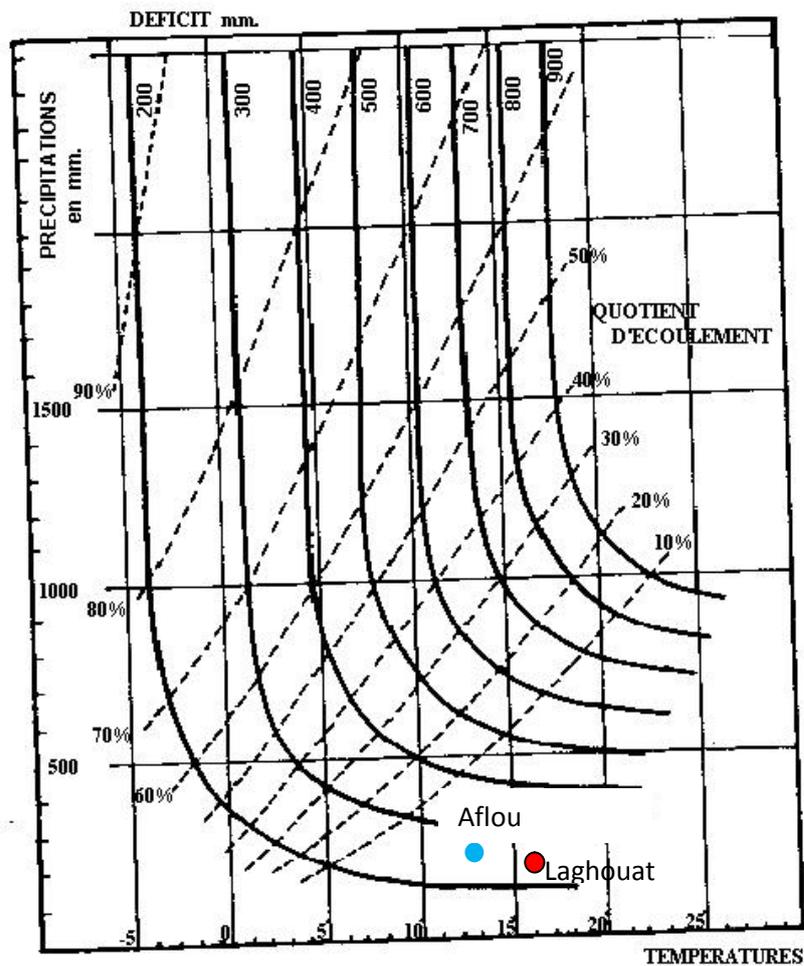


Fig.30 : l'abaque de Wundt pour déterminer le déficit d'écoulement (ETR) pour Laghouat et Aflou

1.3- Formule de Coutagne :

D'après Coutagne : $ETR = P - \lambda P^2$ avec : $\lambda = 1 / 0.8 + 0.14T$

P : La précipitation moyenne annuelle, en m.

T : La température moyenne annuelle, en C°.

Cette formule n'est valable que pour des valeurs du P comprise entre : $1/8\lambda < P < 1/2\lambda$.

$\lambda = 0.29$ pour Laghouat et 0.36 pour Aflou

on a $P > 1/2\lambda$ pour les deux stations la formule n'est pas applicable.

1.4- Méthode de Verdeil :

En 1989, Verdeil a établi un abaque bi-logarithmique pour les régions arides et semi-arides où les précipitations ne dépassent pas les 600 mm, en tenant compte que des précipitations.

Pour Laghouat Etr = 144 mm et Aflou : 260 mm

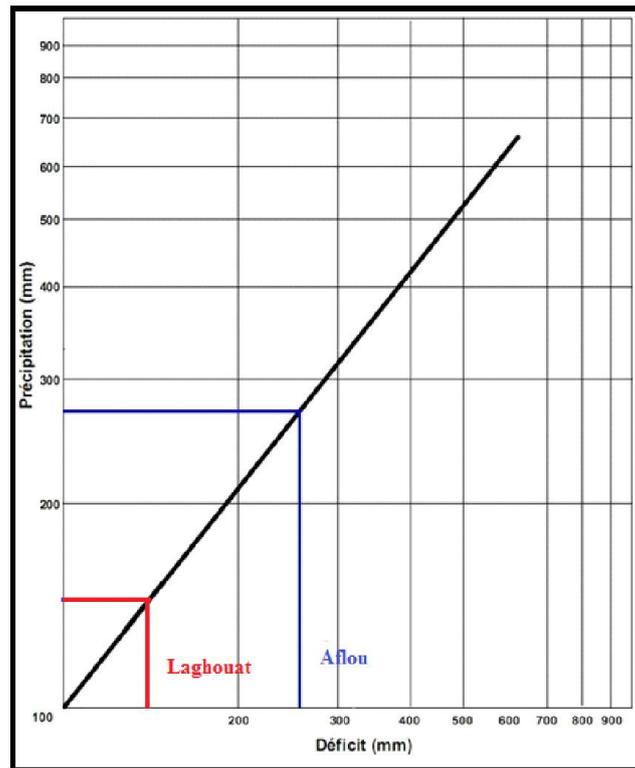


Fig. 31:Projection des stations pluviométriques sur l'abaque de VERDEIL.

1.5-Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, ce qui convient à notre secteur d'étude, vu les caractéristiques de son climat. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). L'estimation de ce paramètre a été faite par l'application de la formule de Hallaire 1960 (cité par J.Ricard1979).

$$\text{RFU} = (C - F / 100) * h * D + 30 \text{ mm}$$

Avec :

RFU : Réserve facilement utilisable en (mm)

C : Capacité de rétention aux champs

F : Capacité au point de flétrissement des plantes

h: profondeur de la couche traversée par les racines

D : Densité apparente du sol, supposée : $D = 1$

30 mm : correspondent au déracinement capillaire.

Hallaire propose :

C - F = 05 % : un sol sableux

C - F = 10% -15% : un sol limoneux

C - F = 20 % :un sol argilo – limoneux

La majeure partie du sol de la région d'étude est limoneuse, on prend **C-F =10 %**
profondeur **h= 650mm**.

$$RFU = (10 / 100) * 650 * 1 + 30 \text{ mm}$$

$$RFU = 95 \text{ mm.}$$

Dans cette méthodes ,on se base sur le principe suivant:

$$\text{Si : } P > ETP \rightarrow ETR = ETP \rightarrow RFU = P - ETP.$$

Si : $P = ETP \rightarrow$ Les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n’y aura pas de surplus pour alimenter la RFU donc $[RFU = 0]$.

Si : $P < ETP \rightarrow$ on a épuisement des réserves, dans ce cas on aura un déficit du bilan ($ETP - ETR$), ou encore $(ETP-P)$ qui représentera la quantité d’eau qu’il faudra ajouter à l’ETR pour atteindre l’ETP.

**Tab.. 17: Bilan hydrique moyen (1990-2011)
à la station de Laghouat, par la méthode de Thornthwaite.**

	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	Annuel
P (mm)	13,91	13,2	7	10,12	19,86	9,25	10,53	4,72	12,2	25,3	17,02	6,6	149,71
E.T.P. (mm)	11,29	9,76	15,23	33,95	56,57	108,07	161,76	225,59	187,8	116	64,07	24,42	1014,51
Variation de la réserve (mm)	2,62	3,44	-8,23	-23,83	-36,71	-98,82	-151,23	-220,87	-175,6	-90,7	-47,05	-17,82	
Réserve d'eau utile (mm)	2,62	6,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
E.T.R. (mm)	13,91	9,76	13,06	10,12	19,86	9,25	10,53	4,72	12,20	25,30	17,02	6,60	152,33
Déficit (mm)	-2,62	0,00	2,17	23,83	36,71	98,82	151,23	220,87	175,60	90,70	47,05	17,82	862,18
P - E.T.P.	2,62	3,44	-8,23	-23,83	-36,71	-98,82	-151,23	-220,87	-175,60	-90,70	-47,05	-17,82	
Coef. mensuel d'humidité	0,19	0,35	-0,63	-2,35	-1,85	-10,68	-14,36	-46,79	-14,39	-3,58	-2,76	-2,70	
Excédent (mm)													0

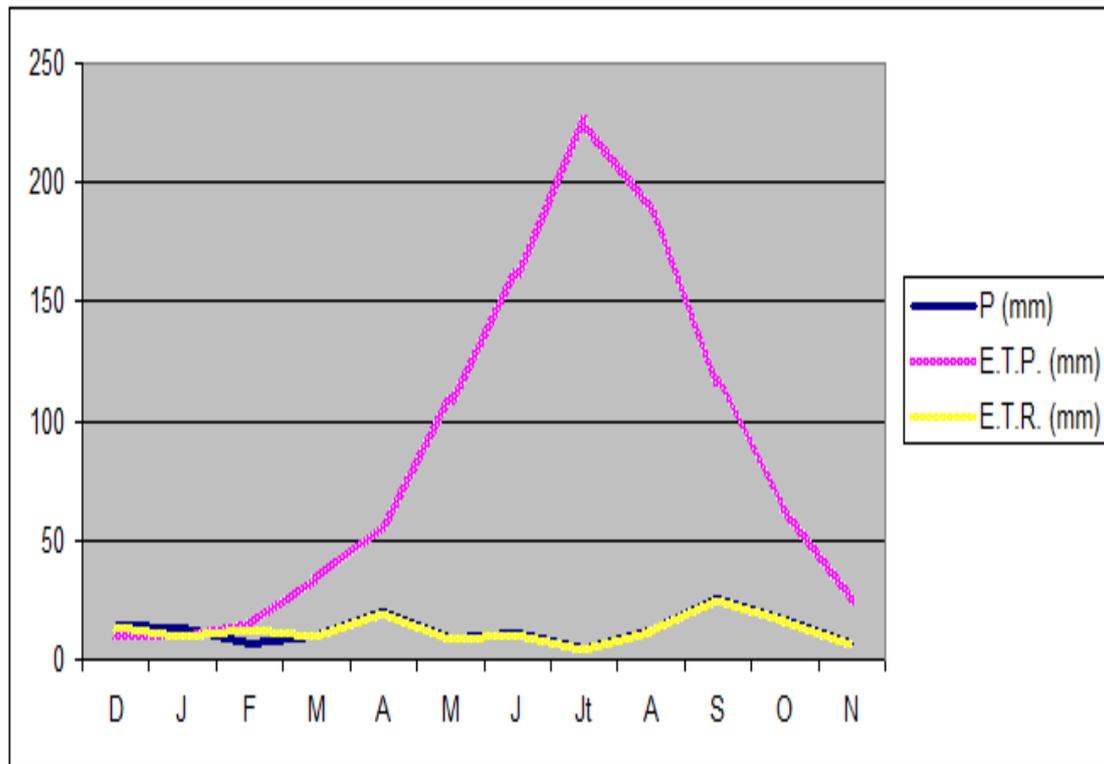


Fig.32 : Graphe représentant le bilan hydrique par la méthode de THORNWAITE station de Laghouat (1990-2011)

L'observation du bilan hydrologique nous amène à dire que l'E.T.P. est importante du mois de Juin jusqu'au mois d'août, avec des valeurs atteignant les 225,59 mm au mois de Juillet. A partir du mois de Mai, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les Juin-Aout. Au-delà de cette période, on a une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock.

Tab.18: ETR de la station de Laghouat par différentes méthodes

Méthode	ETR(mm)
Turc	156.23
Wundt	200
Verdeil	144
Thornthwaite	152.33
Moyenne	175

On remarque que les résultats de l'évapotranspiration varient d'une méthode à l'autre

Tab.. 19: Bilan hydrique moyen (1990-2011)à la station d'Aflou, par la méthode de Thornthwaite.

	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	
P (mm)	24,78	33,01	31,71	24,09	26,59	24,63	12,1	11,89	15,05	27,77	24,17	18,74	274,53
E.T.P. (mm)	12,35	7,32	8,44	24,91	40,37	80,2	105,22	149,28	146,72	100,49	59,83	31,56	766,69
Variation de la réserve (mm)	12,43	25,69	23,27	-0,82	-13,78	-55,57	-93,12	-137,39	-131,67	-72,72	-35,66	-12,82	-0,13
Réserve d'eau utile (mm)	12,43	38,12	61,39	60,57	46,79	0	0	0	0	0	0	0	
E.T.R. (mm)	12,35	7,32	8,44	24,91	40,37	71,42	12,1	11,89	15,05	27,77	24,17	18,74	274,53
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	8,78	93,12	137,39	131,67	72,72	35,66	12,82	492,16
P - E.T.P.	12,43	25,69	23,27	-0,82	-13,78	-55,57	-93,12	-137,39	-131,67	-72,72	-35,66	-12,82	287,35
Coef. mensuel d'humidité	0,50	2,63	1,78	-0,03	-0,52	-2,26	-7,70	-11,56	-8,75	-2,62	-1,48	-0,68	
Excédent (mm)													0

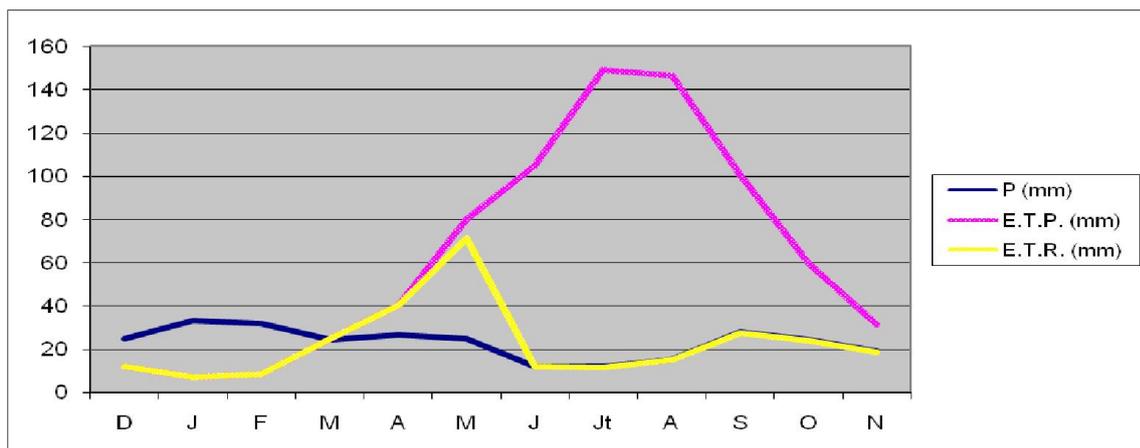


Fig.33 : Graphe représentant le bilan hydrique par la méthode de THORNWAITE Station d'Aflou (1990-2011)

l'évolution de l'ETPc à l'échelle mensuelle, montre l'existence de deux périodes bien distinctes : l'une pendant laquelle les précipitations sont supérieures à L'ETP (Décembre - Février) et la seconde c'est l'inverse (Mars - Novembre).(Fig.)

Pendant la saison froide, le bilan hydrique est positif où les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU.

A partir du mois de Mai apparaît un déficit agricole qui montre une période sèche et qui se poursuit jusqu'à l'épuisement de la RFU.

m-Bilan hydrologique

Un système hydraulique qui peut être un lac, une rivière, un aquifère, ou un bassin versant comme notre cas est conditionné par une équation de base qui permet de distribuer les précipitations s'écrit : Variation de stock=entrées -sorties

Les **entrées** : qui peuvent être des précipitation, infiltration dans le sol, percolation ou bien des apports artificiels (stockage souterrain d'eau).

Les **sorties** : comme l'évaporation, la transpiration, le ruissellement de surface, les émergences et le pompage.

Le calcul du bilan hydrologique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que: les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration. Le bilan s'écrit selon la formule :

$$P = E + R + I$$

Où :

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm

E : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

R : Ruissellement moyen annuel en mm

I : Infiltration moyenne annuelle en mm

m.1-Ruissellement superficiel :

estimé comme suite par la formule de Tixeront-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3(ETPc)^2$$

appliqué à la station de Laghouat, on' a :

$$R=(149.71)^3/3(1014.51)^2$$

Tab.20 : ruissellement superficiel pour la station de Laghouat (1990-2011)

Stations	P (mm)	ETPc (mm)	R (mm)	
Laghouat	149,71	1014,51	1,09	0,73 % des P
Aflou	274,53	766.69	11,73	4,27 % des P

m.2-Infiltration :

L'infiltration est déduite à partir de l'équation principale du bilan

$$P = ETR + R + I \text{ donc } I = P - (ETR + R)$$

L'application de la formule pour la station de Laghouat a donné les résultats mentionnés dans le Tab.suivant :

Tab.21 : ETR de la station de Laghouat par différentes méthodes

Méthodes	P (mm)	ETR		R		I	
		mm	% des P	mm	% des P	mm	% des P
Turc	149,71	156,23	/	1,09	0,73	/	/
Wundt		200	/			/	/
Verdeil		144	96,18			4,62	3,086
Thornthwaite		152,33	/			/	/

Pour Aflou les résultats sont mentionnés dans le Tab.suivant :

Tab.22 :ETR de la station d'Aflou par différentes méthodes

Méthodes	P (mm)	ETR		R		I	
		mm	% des P	mm	% des P	mm	% des P
Turc	274,53	270,76	98,62	11,73	4,27	3,95	1,44
Wundt		290	/			/	/
Verdeil		260	94,70			2,8	1,02
Thornthwaite		274,53	/			/	/

Seule la méthode de Verdeil donne des valeurs acceptables.

Conclusion :

L'étude hydro climatologiques du bassin versant de Oued M'zi située au versant sud du Djebel Amour nous permet de déduire que Le climat de la région d'étude qui a été déterminé par différentes méthodes, varie de semi-aride à hyper-aride prédominé par des Influences sahariennes. Les stations méridionales sont caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières et des températures élevées surtout pendant la période estivale pour la période (1990-2011), avec un maximum de 40,48 °C au mois de juillet pour la station de Laghouat indiquant que la région est déficitaire durant toute l'année. Les régions situées au nord sont plus arrosées avec un hiver froid et une période humide assez longue.

Pour le bilan hydrologique seule la méthode de verdeil donne des résultats acceptables pour les deux stations.

Les crues du printemps contribuent à l'alimentation de la plateforme saharienne en générale et des inféroflux en particulier.