

Chapitre 3 : Etude climatologique

I- Introduction

Les caractéristiques climatologiques d'un bassin versant peuvent influencer sur tous les processus hydrologiques et hydrogéologiques dans ce bassin. Ce chapitre apportera plus de lumière sur la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la zone d'étude.

Les mesures de pluie directes au sol provenant d'un réseau de pluviomètres sont ponctuelles. Elles sont avant tout une valeur indicative du volume de pluie recueilli en un point spécifique. Pour des opérations d'aménagement, de gestion des eaux et de prévention des risques, cette connaissance spatiale discrète est insuffisante, notamment lors de l'interprétation d'événements pluvieux extrêmes

II. Acquisition des données :

Cette étude est réalisée grâce à une série de données pluviométriques issue de :

- * La Direction Provinciale de l'Agriculture Taza ;
- * L'Agence du Bassin Hydraulique-Fès ;
- * La Direction Provinciale des Eaux et Forêt de Nord-Est Taza ;
- * Travaux Public – bureau d'Hydrologie de Taza ;
- * Bureau Hydrologie de Guercif.

Après la collecte et le dépouillement des données, on constate qu'on peut diviser les 33 stations réparties sur le territoire de la Province de Taza en 3 groupes, selon la longueur de la période des données :

- **Groupe 1** : séries longues ne contiennent pas de manques : Taza (76 ans), Aknoul (46 ans), Tahla (36 ans), Guercif (36 ans) ;
- **Groupe2** : séries longues dépassant 20 ans d'enregistrement, avec certaines données manquantes : Anguied, Bab Azhar, Bab Marzouka, Bab Boudir, Echoyeb, El Kifane, El Kouchet, Had Msila, Tamjilte, Taineste, Rechida, Oued Amlil ;
- **Groupe3** : séries courtes, avec beaucoup de données manquantes. On peut le diviser en deux séries :
 - Série dépassant 10 ans (Lamrija, Saka, Taddert, Bab Lakhmis, Marticha, Chebabat, Bab Larbaa...);
 - Série ne dépassant pas 10 ans qu'on a éliminé (Tizi Ousli, Bab Laouata, Bni Hitem...).

Dans cette étude, nous allons nous intéresser qu'aux 5 stations qui ont beaucoup plus d'influence sur le secteur d'étude : stations de Taza, Bab Marzoka, Bab Boudir, El Kifane et Tadderte (figure 7).

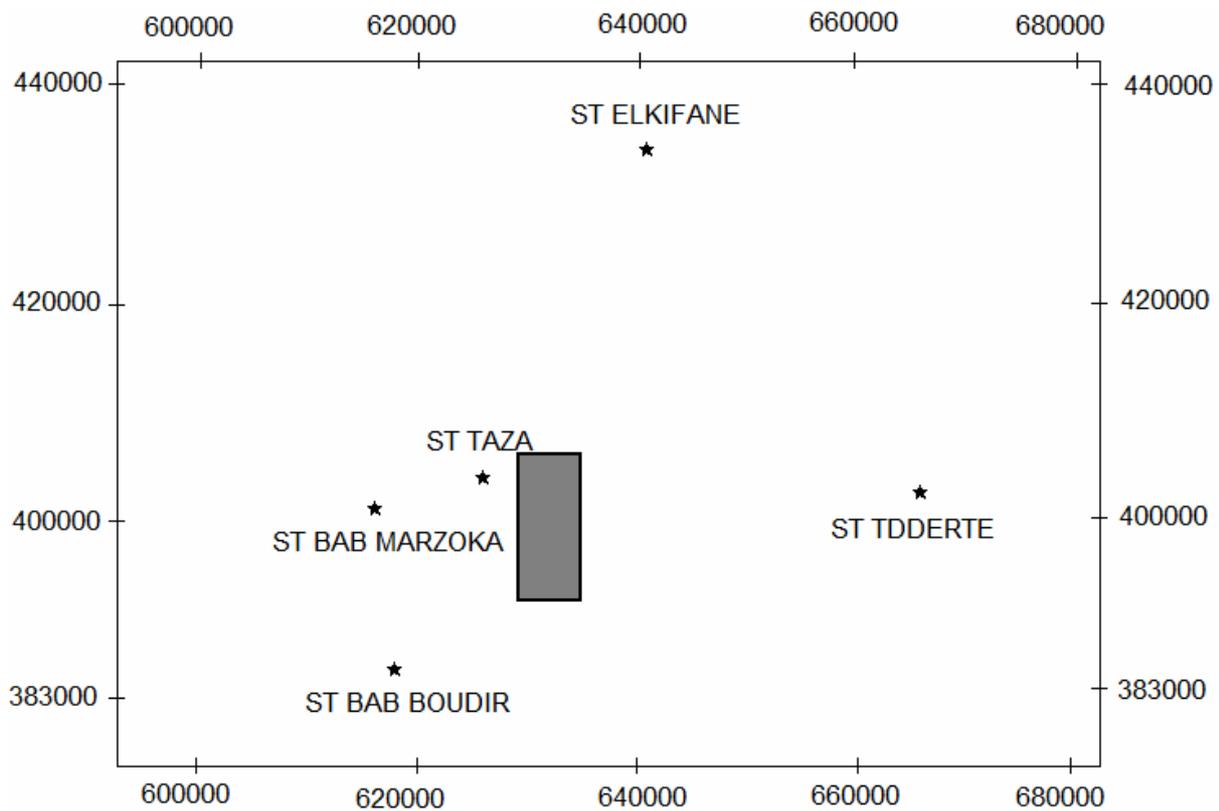


Figure 7 : Position des stations climatologiques prises en compte dans cette étude

III. Reconstitution des données manquantes :

Dans le but de travailler sur des données complètes, nous avons utilisé des méthodes statistiques pour reconstituer les lacunes dans les séries des données pluviométriques.

Méthode 1 : Si la moyenne annuelle de la station en question diffère de moins de 10% des stations environnantes, alors une simple moyenne arithmétique donne une bonne estimation des précipitations manquantes.

$$P_x = 1/n * \sum P_i$$

Avec

P_x : donnée manquante de la station « x »

P_i : donnée de la station environnante « i » pour la même période

n : nombre de stations environnantes

Méthode 2 : Si la moyenne annuelle de la station en question diffère de plus de 10% avec une des stations environnantes, l'interpolation doit alors être une pondération par le rapport des moyennes annuelles. C'est la méthode du rapport rationnel :

$$P_x = 1/n * \sum N_x/N_i * P_i$$

Avec

P_x : donnée manquante de la station « x »

P_i : donnée de la station environnante « i » pour la même période

N_x : moyenne annuelle de la station « x »

N_i : moyenne annuelle de la station environnante « i »

n : nombre de stations environnantes

En pratique : pour calculer le manque d'une station donnée, deux cas se présentent :

- on utilise la méthode 1 lorsque les stations environnantes sont situées à une distance $\leq 50\text{km}$
- on utilise la Méthode 2 lorsque les stations environnantes sont situées à une distance $> 50\text{km}$

Méthode 3 : utilise la valeur médiane.

Statistiquement la médiane est la valeur des précipitations qui partage la série des données en deux parties égales. C'est une valeur probable réalisable en une année sur deux. Dans le contexte climatique méditerranéen, où les précipitations se caractérisent par une extrême variabilité interannuelle, la valeur de la médiane a plus de signification climatique que la moyenne arithmétique. C'est dans ce sens que nous avons adopté pour son emploi dans le comblement des lacunes, là où les deux méthodes (méthodes 1 et 2) sont inapplicables. Une donnée manque dans une station donnée et pour un mois donné de l'année est comblée par la valeur médiane de ce mois de la dite station.

IV. Test d'homogénéité des données

IV. 1- Différents facteurs affectant l'homogénéité des données

Les conditions de mesure d'une station peuvent varier au cours du temps. Les modifications des conditions de mesure peuvent introduire des ruptures artificielles dans les données qui ne reflètent pas les variations réelles du climat. En résultat, les séries climatiques sont composées de données climatiques réelles et de ruptures dues à des modifications des conditions de mesure. Ces ruptures peuvent être du même ordre de grandeur que le signal climatique réel. La correction de ces ruptures artificielles est donc nécessaire avant d'entreprendre des études sérieuses qui portent sur des séries climatiques. Le processus de détection et de correction des ruptures d'origine non climatique est appelé homogénéisation.

IV. 2 Les principales modifications qui peuvent affecter l'homogénéité des séries

- le déplacement d'une station ;
- le remplacement d'un instrument de mesure ;
- le changement des heures d'observations ;
- une modification de l'environnement immédiat de l'instrument de mesure (urbanisation, croissance d'un arbre à proximité)
- un changement d'observateur.

IV. 3 Différents types de test d'homogénéité

Plusieurs méthodes sont employées pour tester l'homogénéité des données climatiques. Parmi ces méthodes, on cite : test de la régression linéaire et test des doubles cumuls.

Test de régression linéaire

Cette méthode consiste à chercher la corrélation entre deux séries de données pluviométriques. Elle est employée lorsque deux séries de données pluviométriques de deux stations présentent une intersection assez longue dans la période d'enregistrement des données.

En testant la signification de cette relation à l'aide de la table de Bravais Pearson, avec :

- Un seuil $\alpha = 0.05$ et
- Un Nombre de degré de liberté ddl, avec $ddl = n-p-1$; où
 - n : nombre de couples d'observation,
 - p : nombre de variables explicatives,

On peut conclure que les données pluviométriques des deux stations sont corrélées ou pas.

Et donc Si **R (calculé)** est supérieur à **R (lu)** dans la table, on conclut qu'il existe une corrélation linéaire significative, avec un risque $\alpha = 0.05$ (voir table de BRAVAIS-PEARSON en Annexe).

Vu la quantité des données pluviométriques, nous allons effectuer une étude de corrélation entre 4 stations ayant un nombre suffisant des données : stations de Taza, Bab Marzoka, Bab Boudir et El Kifane. Alors que les données de la station de Tadderte ne présentent que 17 ans de mesure. Le tableau 4 montre les différentes corrélations qui existent entre les 4 stations.

Corrélation Taza/ Bab Boudir			Corrélation Taza/Bab Marzoka			Corrélation Taza/ El Kifane		
années	p,an b, boudir	p an Taza	années	p,an b , mrzka	p,an Taza	années	p,an el kifan	p,an Taza
73/74	1244	645,7	70/71	837,7	668,9	73/74	403	645,7
74/75	1118,8	607,9	71/72	700,3	535,3	74/75	331,7	607,9
75/76	1181,2	790,1	72/73	556,3	555	75/76	421,9	790,1
76/77	1850,1	904,1	73/74	415,6	645,7	76/77	319,6	904,1
77/78	1744,7	665,6	74/75	529,2	607,9	77/78	399,8	665,6
78/79	1064,7	522,6	75/76	528,4	790,1	78/79	397	522,6
79/80	1411,2	568,77	76/77	685,3	904,1	79/80	339,5	568,77
80/81	978	463,5	77/78	705,5	665,6	80/81	237,3	463,5
81/82	1126,1	451,4	78/79	683,9	522,6	81/82	328,2	451,4
82/83	714,8	418,5	79/80	677,8	568,77	82/83	204,5	418,5
83/84	938,2	554,4	80/81	460,6	463,5	83/84	348,9	554,4
84/85	640,3	361,9	81/82	429,7	451,4	84/85	172,3	361,9
85/86	1084,2	630,9	82/83	466,9	418,5	85/86	323,2	630,9
86/87	1030	413,6	83/84	549,3	554,4	86/87	325,578125	413,6
87/88	1775,3	523,4	84/85	385,5	361,9	87/88	263,083842	523,4
88/89	1008,3	477	85/86	802,9	630,9	88/89	271,3	477
89/90	960,5	629,5	86/87	537,3	413,6	89/90	433,4	629,5
90/91	1237,5	509,7	87/88	525,3	523,4	90/91	353,9	509,7
91/92	1160,6	407,1	88/89		477	91/92	238	407,1
92/93	743,5	472,8	89/90	592,2	629,5	92/93	116,1	472,8
93/94	1025	469,78	90/91	594	509,7	93/94	251,5	469,78
94/95	603,6	274,7	91/92	499,4	407,1	94/95	166,9	274,7
95/96	1694,5	954	92/93	326	472,8	95/96	342,4	954
96/97	1323,6	824,3	93/94	463,9	469,78	96/97	342,3	824,3
97/98	926	755	94/95	305,3	274,7	97/98	411,4	755
98/99	298,5	290	95/96	854,1	954	98/99	269,8	290
99/00	498,7	412	96/97	562,7	824,3	99/00	197,6	412
00/01	1152,5	790	97/98	562,3	755	00/01	418,7	790
01/02	678,4	460	98/99	345	290	01/02	278	460
02/03	1448,4	793	99/00	415,2	412	02/03	359,5	793
03/04	1124,7	820	00/01	644,9	790	03/04	279	820
04/05	535,7	417,3	01/02	460,6	460	04/05	176,7	417,3
05/06	899,6	645	02/03	712,1	793	05/06	285	645
06/07	613,9	319,7	03/04	680,6	820	06/07	240,5	319,7
			04/05	383,2	417,3			
			05/06	505,9	645			
			06/07	314,4	319,7			
R calculée	0,700603433		R calculée	0,72117651		R calculée	0,63327335	
ddl	32		Ddl	35		ddl	32	
R lu	0,339		R lu	0,325		R lu	0,339	

Corrélation Bab Marzoka/ Bab Boudir			Corrélation El Kifan /Bab Boudir			Corrélation Bab Marzka/ El Kifan		
années	p an b,bodir	p an b,mrzoka	Années	p an b,boudir	a an el kifane	années	p an b,marzka	a an el kifane
73/74	1244	744,1	73/74	1244	403	73/74	744,1	403
74/75	1118,8	529,2	74/75	1118,8	331,7	74/75	529,2	331,7
75/76	1181,2	528,4	75/76	1181,2	421,9	75/76	528,4	421,9
76/77	1850,1	685,3	76/77	1850,1	319,6	76/77	685,3	319,6
77/78	1744,7	705,5	77/78	1744,7	399,8	77/78	705,5	399,8
78/79	1064,7	683,9	78/79	1064,7	397	78/79	683,9	397
79/80	1411,2	677,8	79/80	1411,2	339,5	79/80	677,8	339,5
80/81	978	460,6	80/81	978	237,3	80/81	460,6	237,3
81/82	1126,1	429,7	81/82	1126,1	328,2	81/82	429,7	328,2
82/83	714,8	466,9	82/83	714,8	204,5	82/83	466,9	204,5
83/84	938,2	549,3	83/84	938,2	348,9	83/84	549,3	348,9
84/85	640,3	385,5	84/85	640,3	172,3	84/85	385,5	172,3
85/86	1084,2	802,9	85/86	1084,2	323,2	85/86	802,9	323,2
86/87	1030	537,3	86/87	1030	325,58	86/87	537,3	325,58
87/88	1775,3	525,3	87/88	1775,3	263,08	87/88	525,3	263,08
88/89	1008,3	415,6	88/89	1008,3	271,3	88/89	415,6	271,3
89/90	960,5	592,2	89/90	960,5	433,4	89/90	592,2	433,4
90/91	1237,5	594	90/91	1237,5	353,9	90/91	594	353,9
91/92	1160,6	499,4	91/92	1160,6	238	91/92	499,4	238
92/93	743,5	326	92/93	743,5	116,1	92/93	326	116,1
93/94	1025	463,9	93/94	1025	251,5	93/94	463,9	251,5
94/95	603,6	305,3	94/95	603,6	166,9	94/95	305,3	166,9
95/96	1694,5	854,1	95/96	1694,5	342,4	95/96	854,1	342,4
96/97	1323,6	562,7	96/97	1323,6	342,3	96/97	562,7	342,3
97/98	926	562,3	97/98	926	411,4	97/98	562,3	411,4
98/99	298,5	345	98/99	298,5	269,8	98/99	345	269,8
99/00	498,7	415,2	99/00	498,7	197,6	99/00	415,2	197,6
00/01	1152,5	644,9	00/01	1152,5	418,7	00/01	644,9	418,7
01/02	678,4	460,6	01/02	678,4	278	01/02	460,6	278
02/03	1448,4	712,1	02/03	1448,4	359,5	02/03	712,1	359,5
03/04	1124,7	680,6	03/04	1124,7	279	03/04	680,6	279
04/05	535,7	383,2	04/05	535,7	176,7	04/05	383,2	176,7
05/06	899,6	505,9	05/06	899,6	285	05/06	505,9	285
06/07	613,9	314,4	06/07	613,9	240,5	06/07	314,4	240,5
R calculée	0,737425455		R calculée	0,53046221		R calculée	0,70110721	
Ddl	32		Ddl	32		ddl	32	
R lu	0,339		R lu	0,339		R lu	0,339	

Tableau 4 : Corrélation entre les stations avec R (calculé), ddl et R (lu)

Ces résultats montrent une forte corrélation entre les séries des précipitations annuelles des quatre stations. Ils attestent d'une homogénéité des données acquises et la possibilité de leur utilisation dans la description du climat du Bassin versant de Oued Jeouna.

Test des doubles cumuls

Cette méthode a été longtemps utilisée car sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de moyen de calcul particulier. Elle permet de mettre en évidence des erreurs systématiques dans une série de données. Soit deux séries d'observations (x_i , y_i) sur des variables corrélées entre elles. Il existe alors une relation du type :

$$y_i = ax_i + b$$

Si, par exemple, à partir d'une certaine date, on produit une erreur systématique sur « x », les variables « x » et « y » seront encore corrélées mais avec des coefficients a' et b'

Si on porte dans un graphique « xi » en fonction de « yi », il ne sera généralement pas possible de constater cet écart. Par contre, si on ne porte plus « xi » et « yi » mais « Yi » et « Xi », le test sera défini ainsi...

$$Y_i = \sum_{j=1}^i y_j ; X_i = \sum_{j=1}^i x_j$$

On aura alors une fonction monotone croissante en fonction du temps. Si « x » et « y » sont stables, les points s'aligneront sur une droite, mais si une des séries subit à partir d'une certaine date, une erreur systématique, on verra les points s'aligner selon deux droites.

Ce teste oblige le choix d'une station comme référence. Dans ce cas on utilise la station de Taza comme référence. Cependant, pour l'utiliser elle-même, la station doit subir un test en se basant sur l'allure de sa courbe des précipitations cumulées.

La figure 8 montre que l'allure de la courbe cumulative de la station de Taza est rectiligne ce qui nous permet de l'utiliser comme courbe de référence de test de double cumul des autres stations. A partir de ce test on observe une corrélation entre les stations (figures 9 à 12) ce qui montre une homogénéité des données et donc nous pouvons les utiliser dans l'étude climatologique du bassin versant de Oued Jeouna.

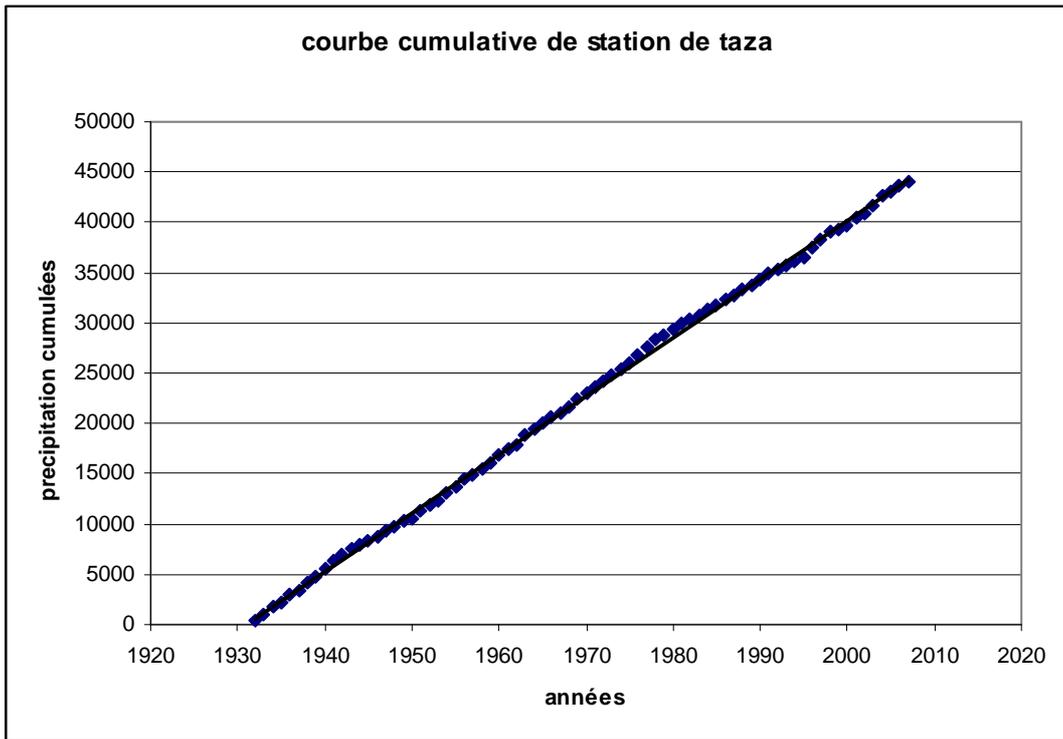


Figure 8 : Courbe cumulative de la station de Taza

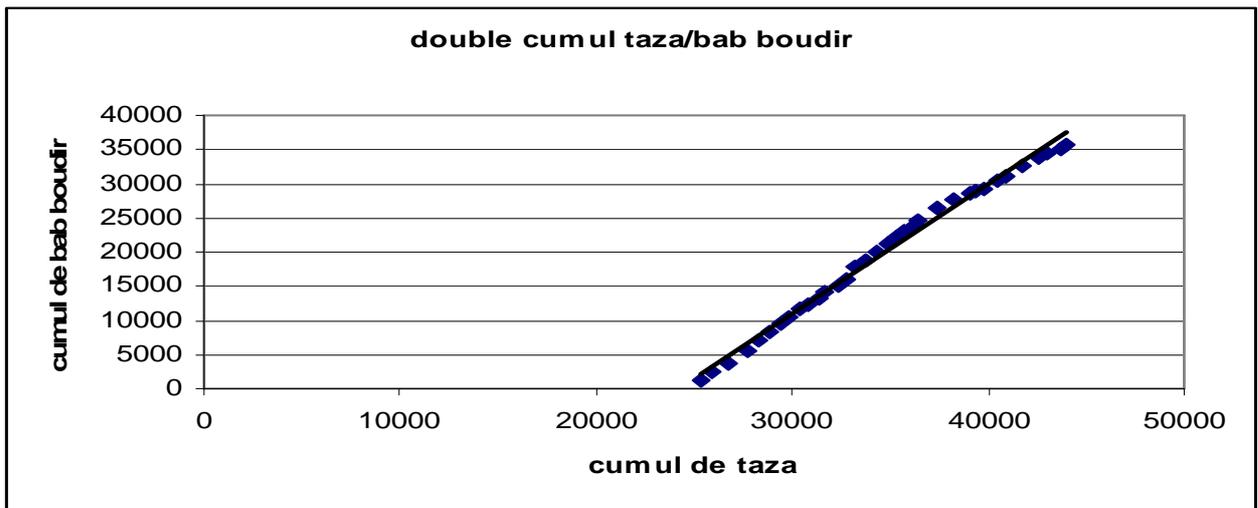


Figure 9 : Double cumul Taza/Bab Boudir

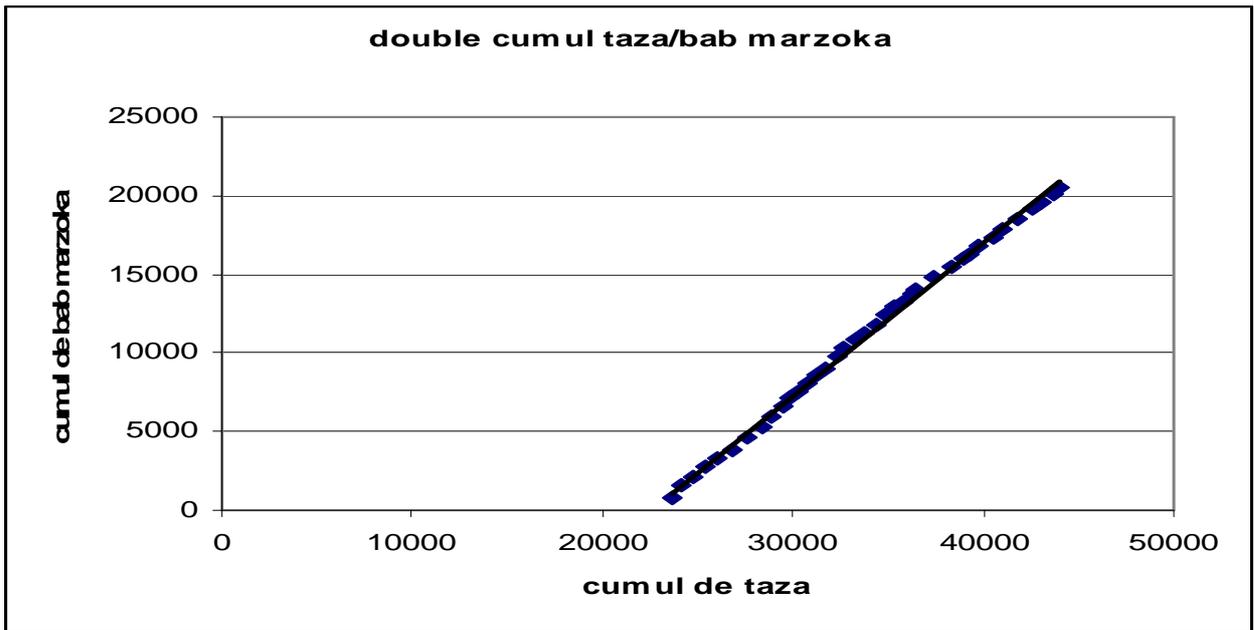


Figure 10 : Double cumul Taza/Bab Marzouka

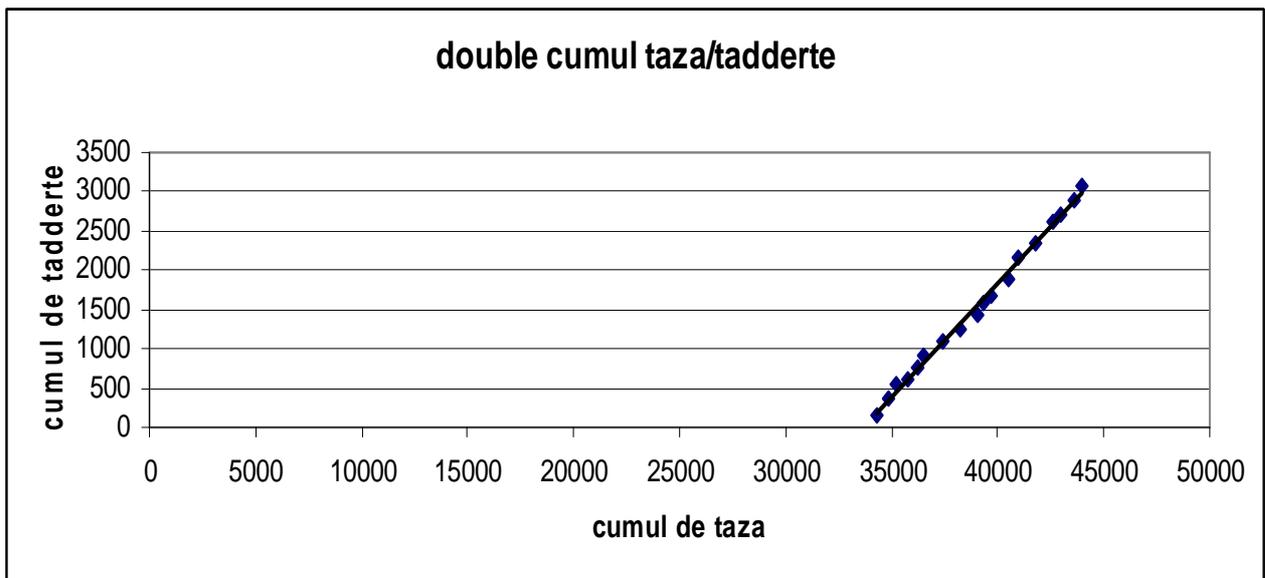


Figure 11 : Double cumul Taza/Tadderte

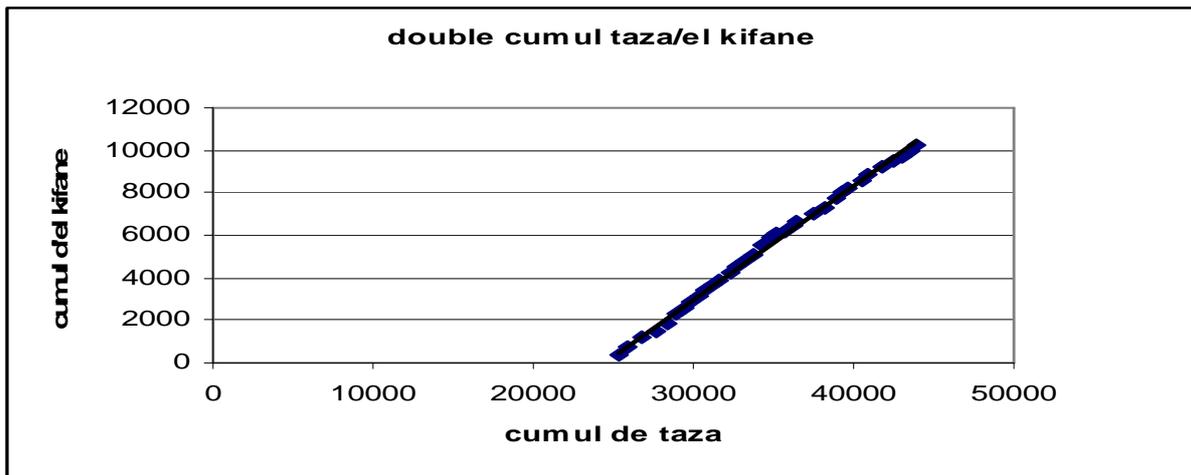


Figure 12 : Double cumulé Taza/El Kifane

V. Analyse fréquentielle des précipitations annuelles

A partir des précipitations annuelles de chaque station, plusieurs paramètres statistiques caractéristiques de chaque station ont été calculés : la moyenne, la valeur max, la valeur min, l'écart type, le coefficient de variation, les quantiles et les centiles. Le tableau 5 illustre les différentes valeurs caractéristiques de chaque paramètre des stations étudiées.

Station	Taza	Bab Boudir	Bab Marzoka	El Kifane	Tadderte
Moyenne	578,42	1053,97	552,52	301,40	170,18
Max	969,2	1850,1	854,1	433,4	278,7
Min	274,7	298,5	305,3	116,1	47,8
Ecart.Type	164,08	375,75	147,39	82,94	55,98
Coefficient de variation (%)	28,37	35,65	26,68	27,52	32,90
Quartile 1	453,43	782,53	460,6	243,25	149,75
Quartile 2	552,15	1047,35	537,3	321,4	177,75
Quartile 3	674,13	1223,43	680,6	352,65	189,175
centile D1	409,55	606,69	367,92	182,97	98,21
centile D2	440,4	700,24	418,42	237,72	140,78
centile D3	466,74	923,36	463,24	261,93	153,21
centile D4	519,8	984,06	513,66	278,2	169,62
centile D5	552,15	1047,35	537,3	321,4	177,75
centile D6	607,9	1123,52	562,54	331	182,7
centile D7	649,5	1162,66	651,48	343,05	186,61
centile D8	704,4	1275,84	685,02	374,5	193,56
centile D9	806,5	1620,67	724,9	408,88	228,31

Tableau 5 : Paramètres caractéristiques des stations étudiées

Le tableau 5 montre que :

- les fortes précipitations sont enregistrées à Bab Boudir. La moyenne annuelle des précipitations est de 1053,97. Ceci peut être expliqué par le fait que cette station est localisée sur les reliefs du Moyen Atlas.
- les valeurs de précipitation sont identiques aux stations de Taza (578,42) et Bab Marzoka (moyenne de 552,52)

- les faibles précipitations sont enregistrées à Tadderte (moyenne de 170,18). Ceci est dû à la position géographique à l'est des reliefs du Moyen Atlas ;
- les valeurs sont peu faibles à la station d'El Kifane (moyenne de 301,40).

A la lumière de ces données, on se pose des questions relatives aux caractéristiques de la précipitation dans le secteur d'étude :

- *Question 1* : Quelle est la quantité minimum de pluie réalisable en neuf années sur dix ? Cette information est nécessaire pour savoir si les pluies sont suffisantes pour alimenter les cultures ou si une irrigation est nécessaire ;
- *Question 2* : Quelles sont les précipitations médianes sur lesquelles on peut généralement compter ?
- *Question 3* : Quelle est la quantité de pluie maximum reçue une année sur neuf afin de prévoir d'éventuels systèmes de protection du sol et/ou d'évacuation de l'eau...

Pour répondre à ces questions, nous présentons sur les figures ci-dessous (13 à 17), les pluies annuelles de chaque station pendant les trente dernières années.

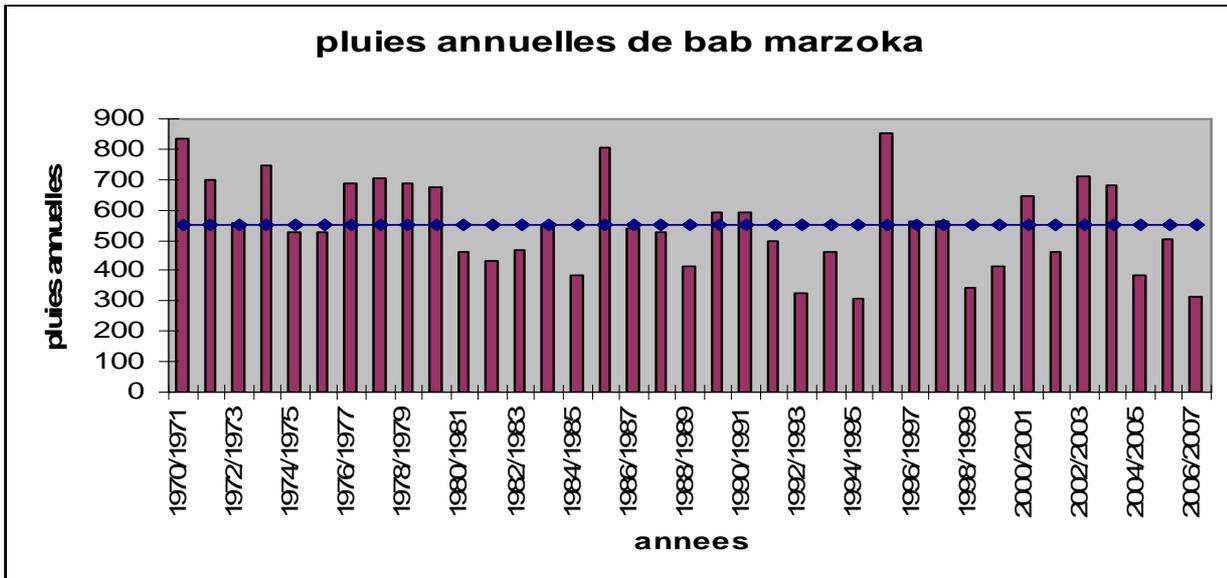


Figure 13: Pluies annuelles de la station de bab marzoka

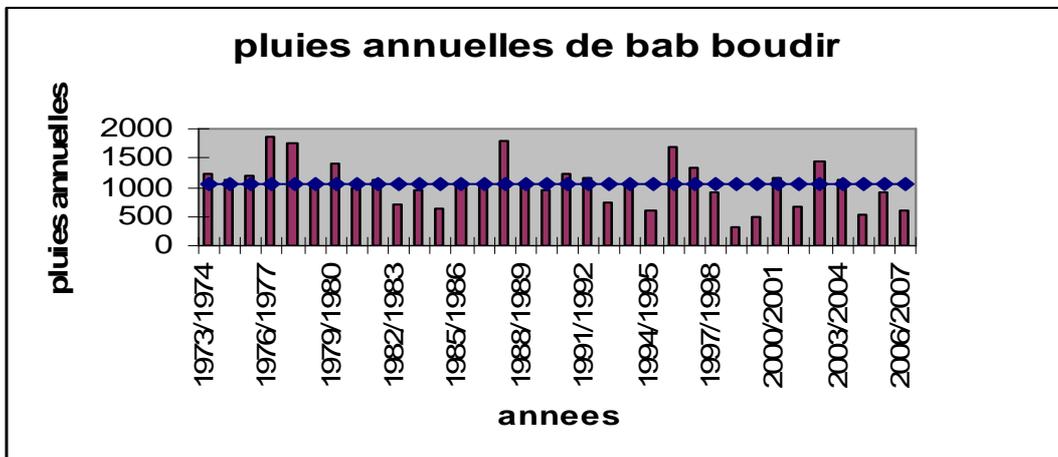


Figure 14: Pluies annuelles de la station de Bab Boudir

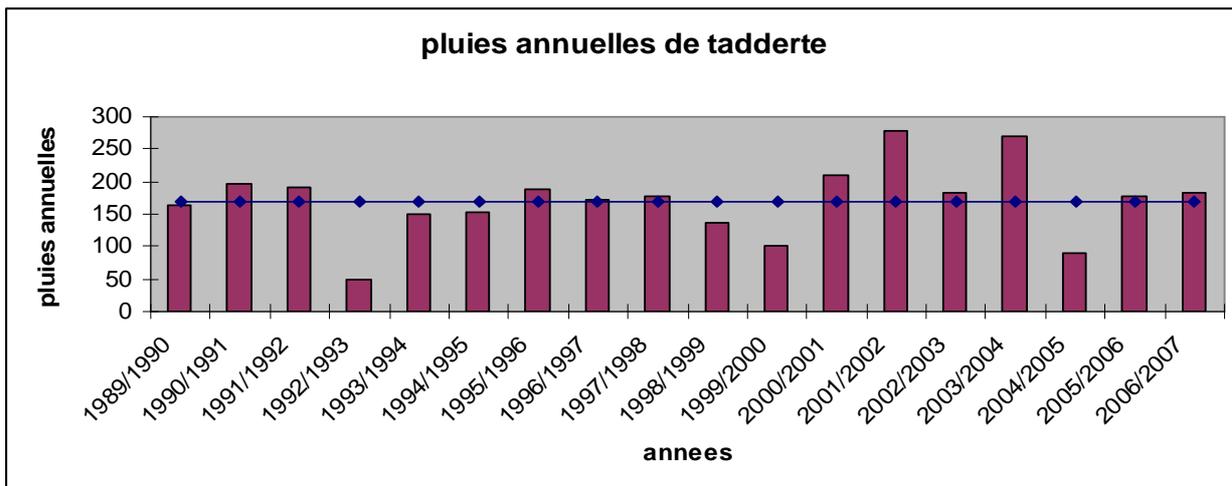


Figure 15: Pluies annuelles de la station de Tadderte

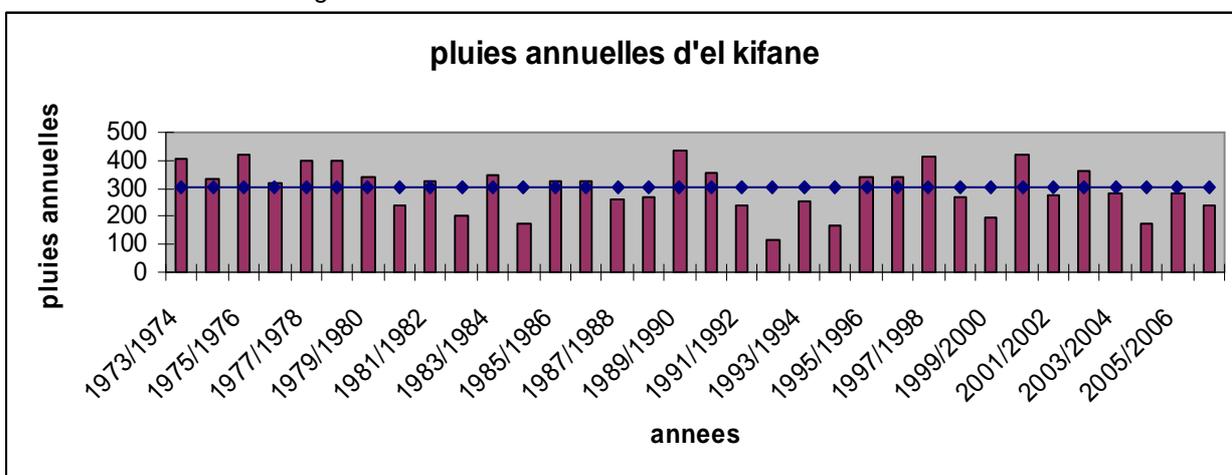


Figure 16: Pluies annuelles de la station d'El Kifane

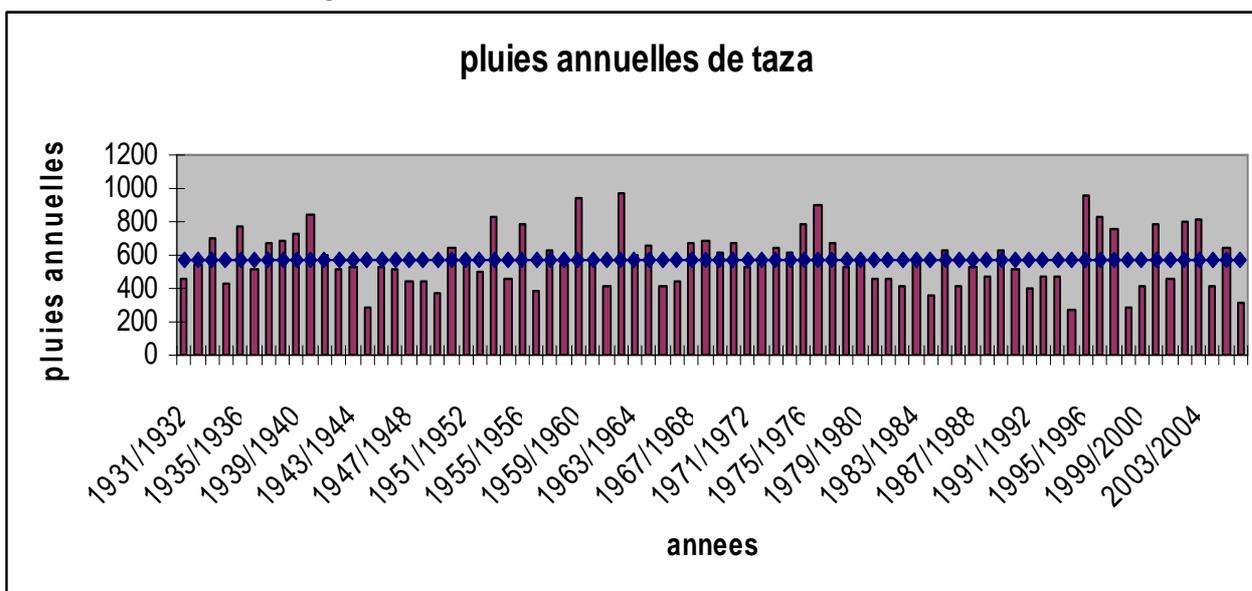


Figure 17: Pluies annuelles de la station de Taza

La comparaison sur les figures 13 à 17 entre les années de faible, moyenne et forte pluviométrie permet de tirer les résultats suivants :

- L'année de pluviométrie faible est marquée par des précipitations faibles et irrégulières. Les mois où la pluie est faible sont très fréquents. On remarque, cependant, que certains mois marquent des précipitations relativement fortes notamment le mois de mai et pendant l'été. Ces pluies, qui se font sous forme d'averses, se caractérisent par une très grande intensité. Ce régime pluviométrique s'exprime dans les cours d'eau par des écoulements torrentiels qui engendrent des débordements des eaux et des risques d'inondation.
- L'année de moyenne pluviométrie se caractérise par une pluviométrie relativement importante et qui diffère en fonction de l'altitude des stations (la moyenne est de 578,41 mm dans la station de Taza).
- L'année de forte pluviométrie est marquée par une pluviométrie est très importante, notamment dans la station de Bab Boudir où on note une moyenne de 1053,97 mm .

VI. Analyse des précipitations mensuelles

Le but de cette analyse est d'avoir une idée sur la distribution des pluies à l'échelle mensuelle. En effet, la variation mensuelle des pluies permet de mieux comprendre la répartition temporelle des entrées du bassin qualitativement ainsi que quantitativement.

Les figures 18 à 22 présentent les variations mensuelles des précipitations au niveau de chaque station. L'analyse des courbes montre que la période de pluviométrie importante commence dès le mois de Septembre pour l'ensemble des stations observées et s'étend jusqu'au mois de Mai. La période de faible pluviométrie commence dès le mois de Juin (début d'été) et se termine au mois de Septembre.

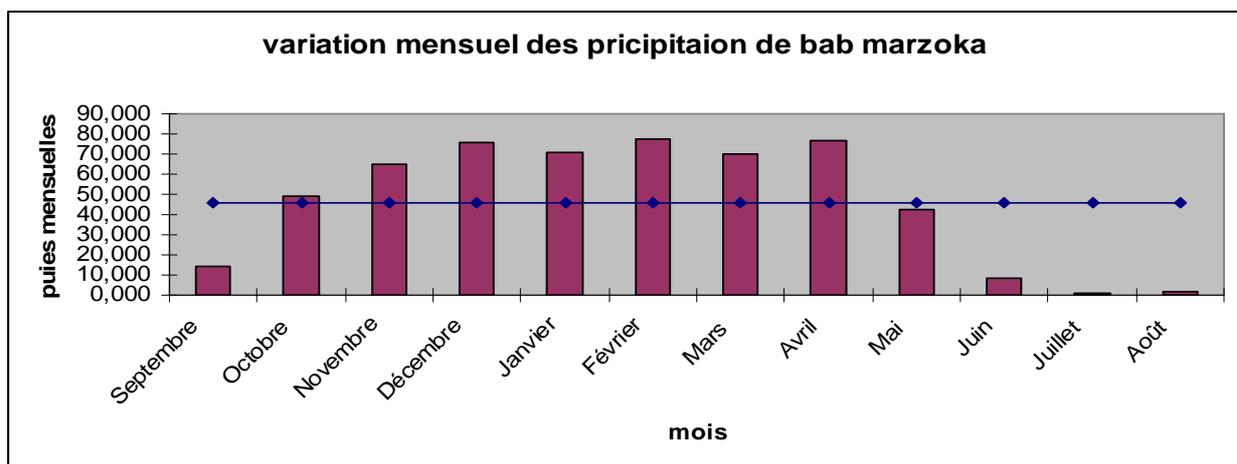


Figure 18 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Bab Marzoka

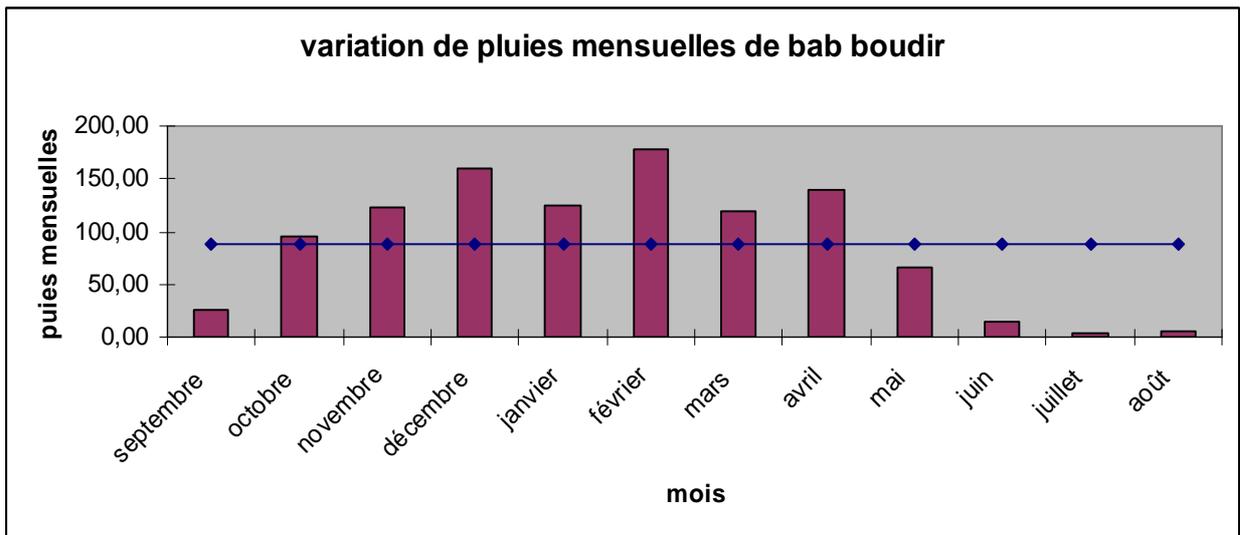


Figure 19 : Variation mensuelle des précipitations de la station de bab boudir

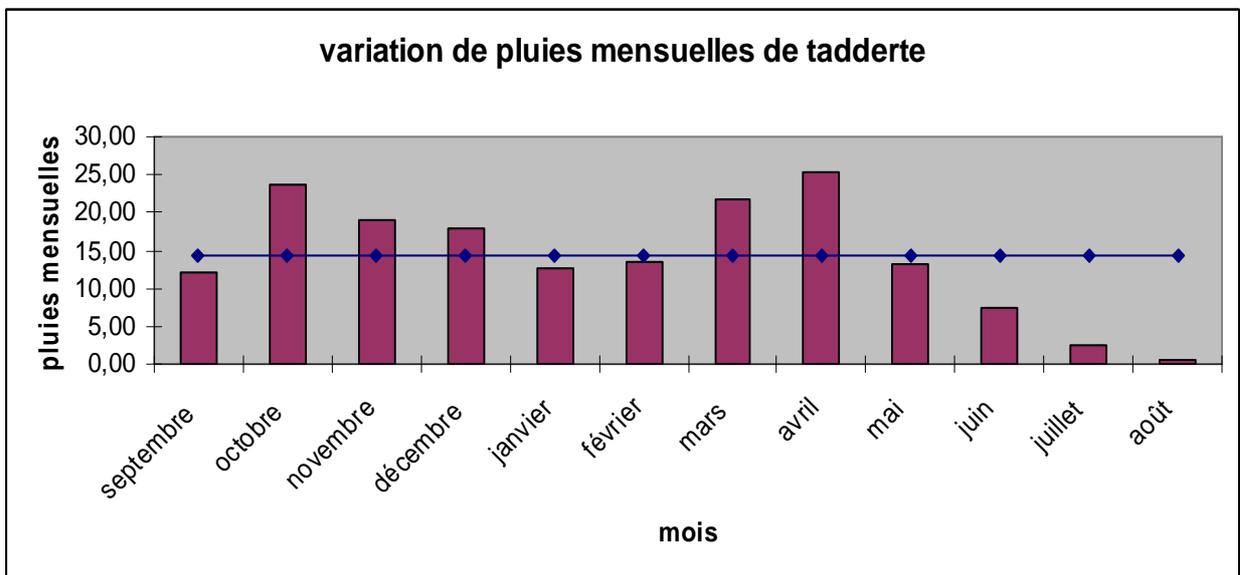


Figure 20 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Tdderte

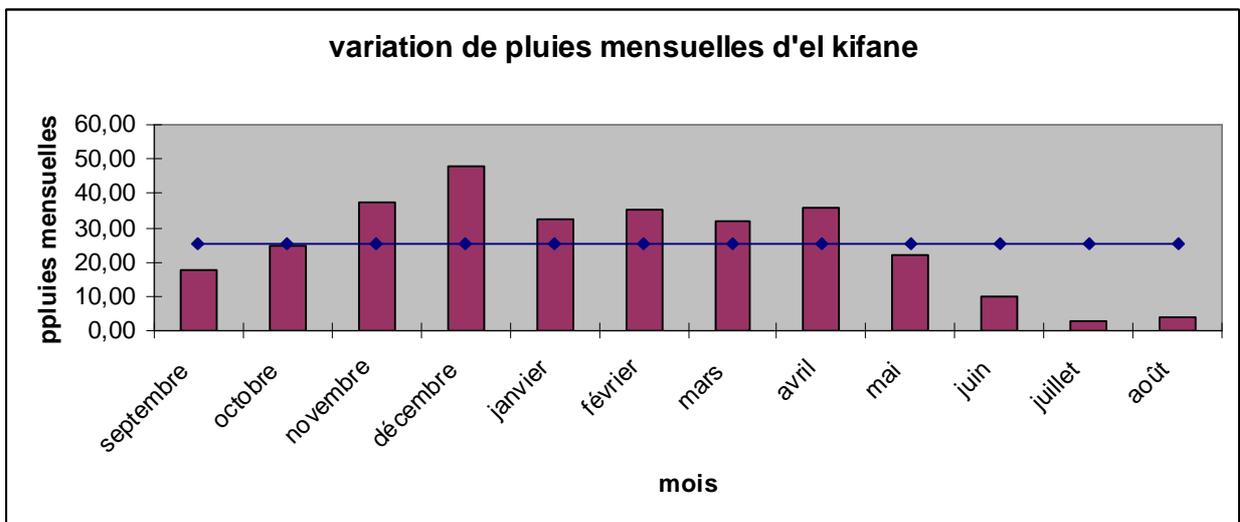


Figure 21 : Variation mensuelle des précipitations de la station d'El Kifane

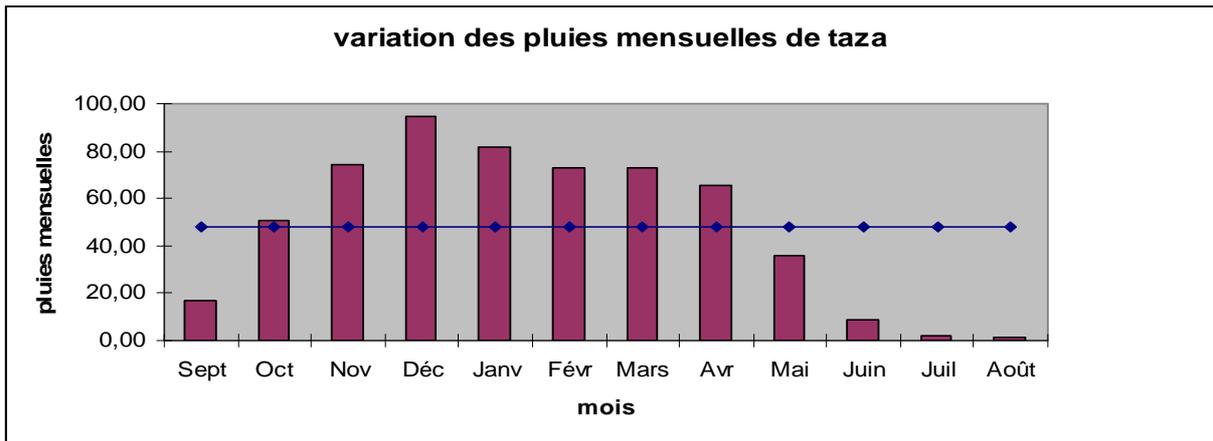


Figure 22 : Variation mensuelle des précipitations de la station de Taza

VII. Analyse des précipitations saisonnières

La variation idéale est le passage d'une quantité moyenne des précipitations en automne et l'augmentation des précipitations dans l'hiver. Elle est suivit par une légère diminution des précipitations au printemps et de forte diminution en été.

Les figures 23 à 26 montrent que la variation idéale est exactement représentée dans les stations de Bab Boudir, Bab Marzoka, El Kifane et la station de Taza. Dans la station de Tadderte (figure 27), on observe des précipitations au printemps plus élevées qu'en hiver et en automne. Ces précipitations restent relativement faibles durant toute l'année.

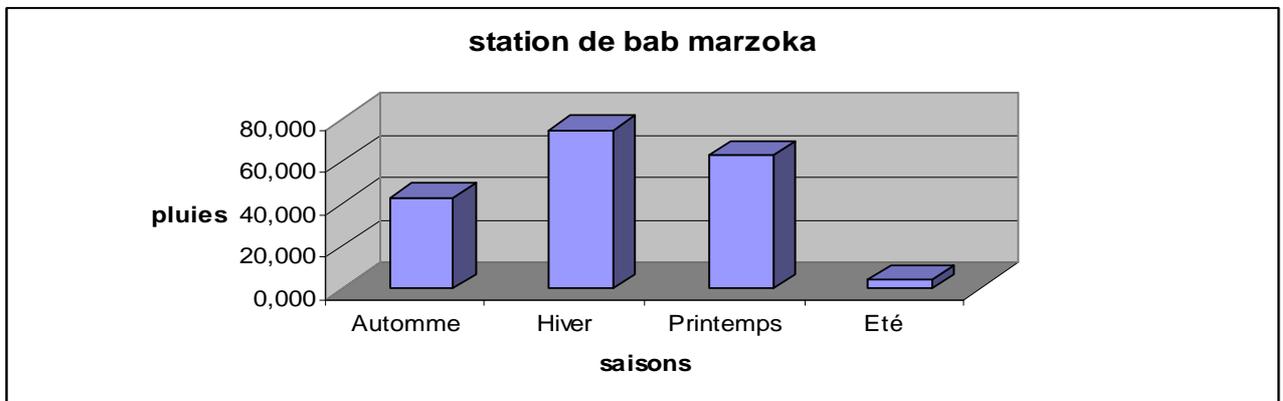


Figure 23 : Précipitations saisonnières de la station de Bab Marzoka

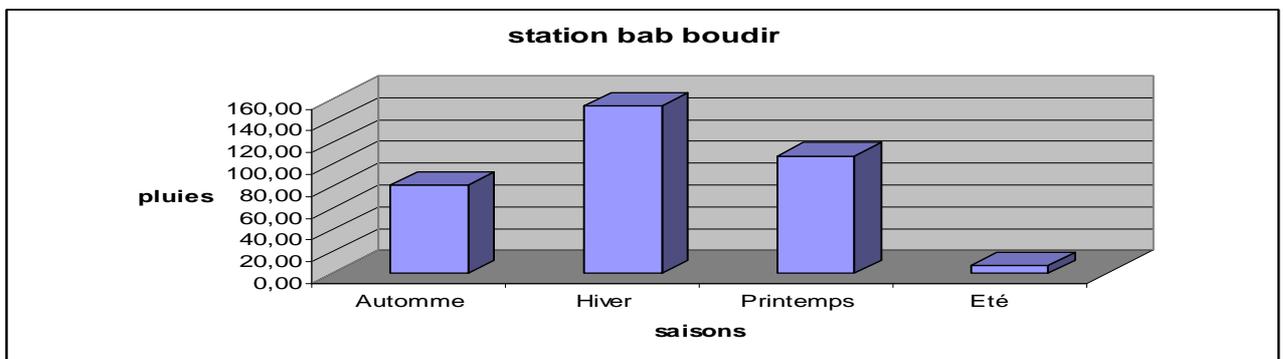


Figure 24 : Précipitations saisonnières de la station de Bab Boudir

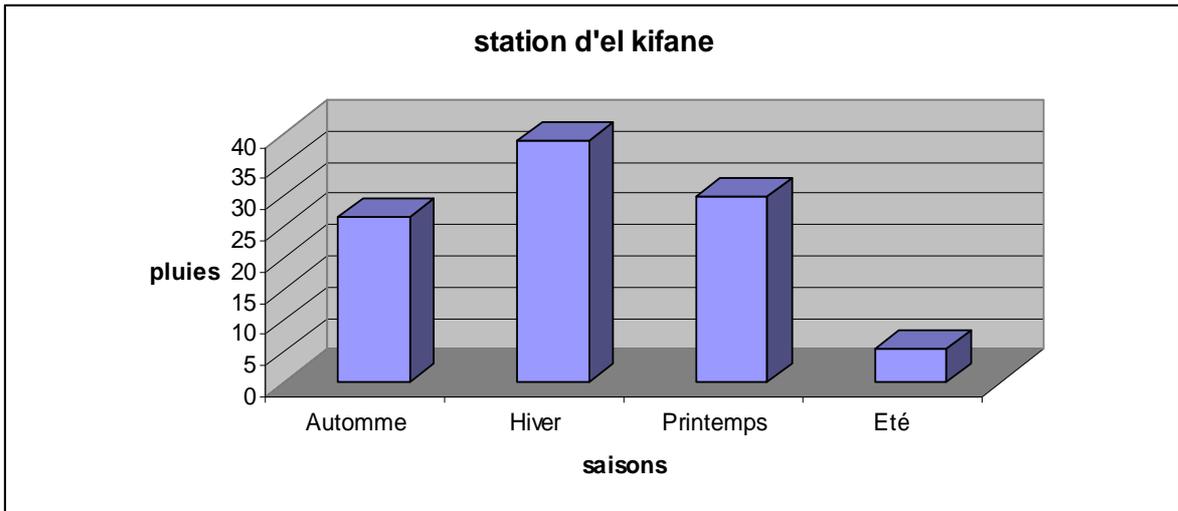


Figure 25 : Précipitations saisonnières de la station d'El Kifane

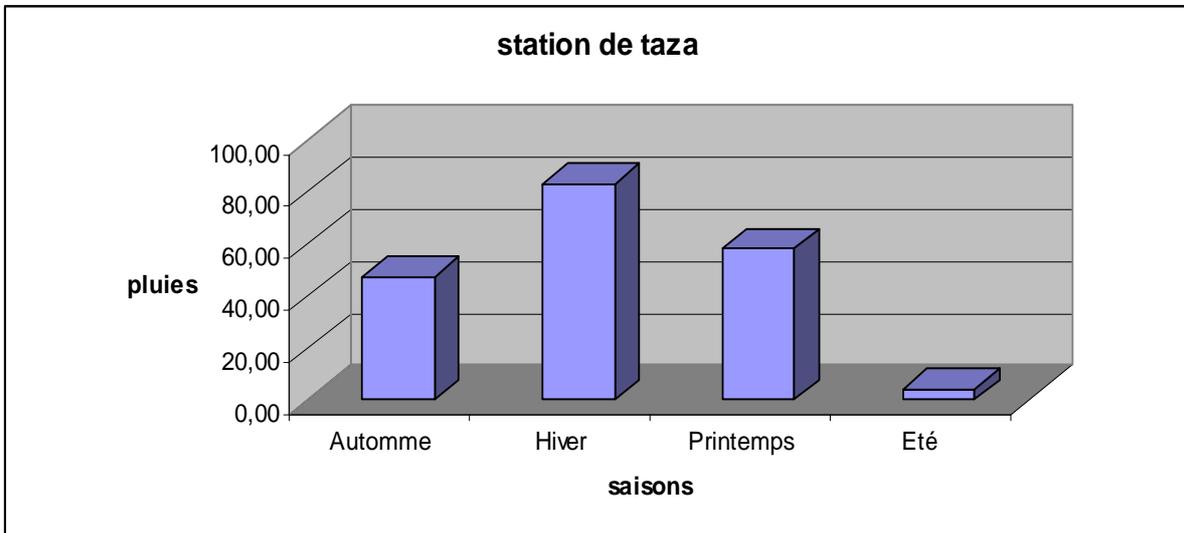


Figure 26 : Précipitations saisonnières de la station de Taza

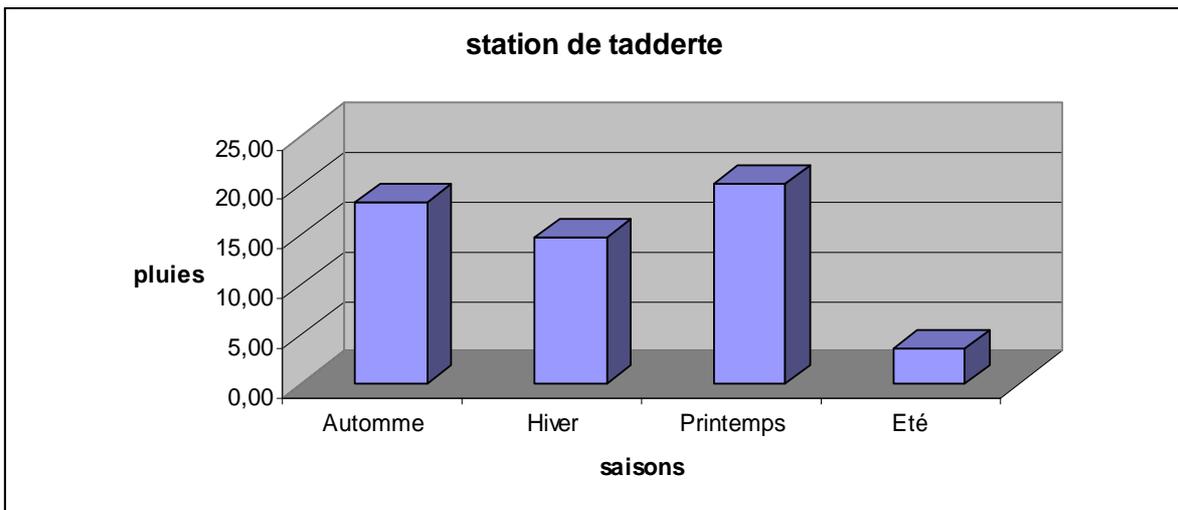


Figure 27 : Précipitations saisonnières de la station de Tadderte

VIII. Influence de l'altitude sur les variations des précipitations

Les stations de mesures qui entourent le secteur d'étude sont situées à des altitudes différentes. L'altitude influence directement sur la variation des précipitations d'une manière quantitative et qualitative. La quantité des précipitations augmente vers les hautes altitudes.

La figure 28 montre une variation proportionnelle des quantités des précipitations en fonction de l'altitude. Les quantités des précipitations augmentent avec l'altitude.

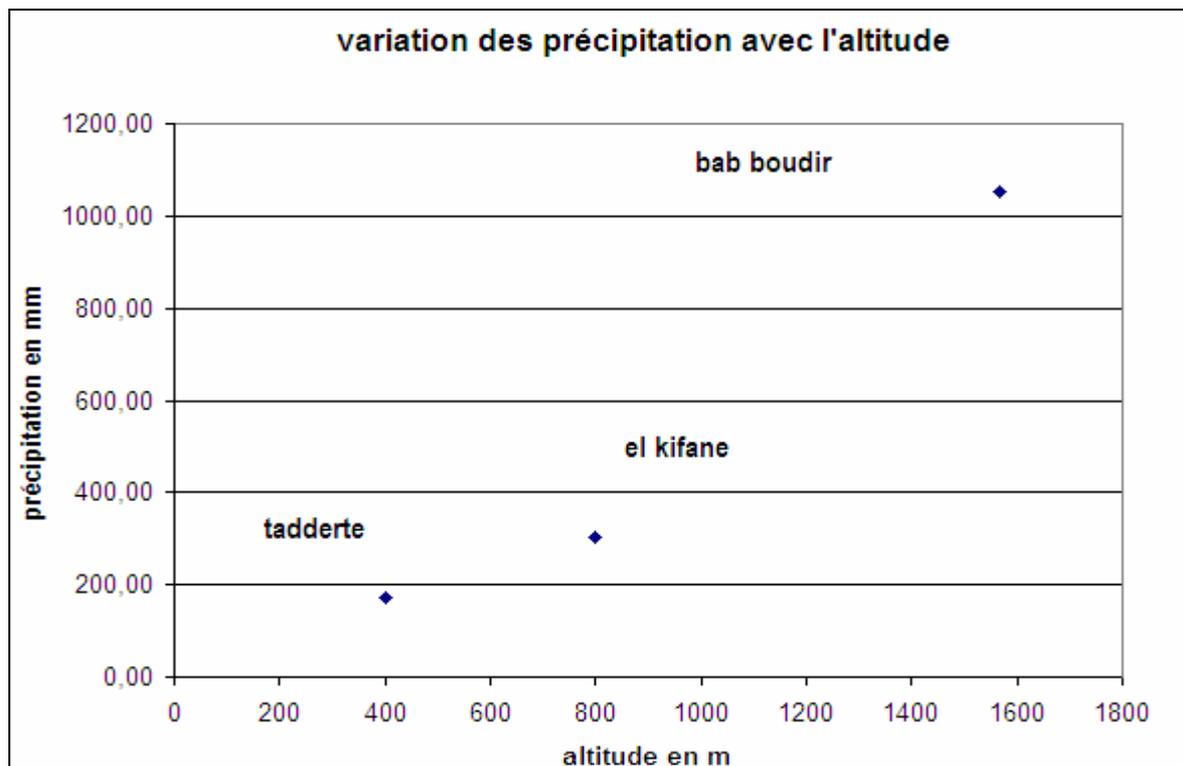


Figure 28 : Variation des précipitations en fonction de l'altitude

IX. Variation de la Température

La température est un paramètre très important, vu qu'elle intervient d'une part comme élément déterminant pour la spécification du climat et d'autre part comme facteur essentiel pour l'estimation des potentialités hydrologiques d'une région donnée.

Les figures 29 -30 montrent la variation de la température au niveau de la station de Taza.

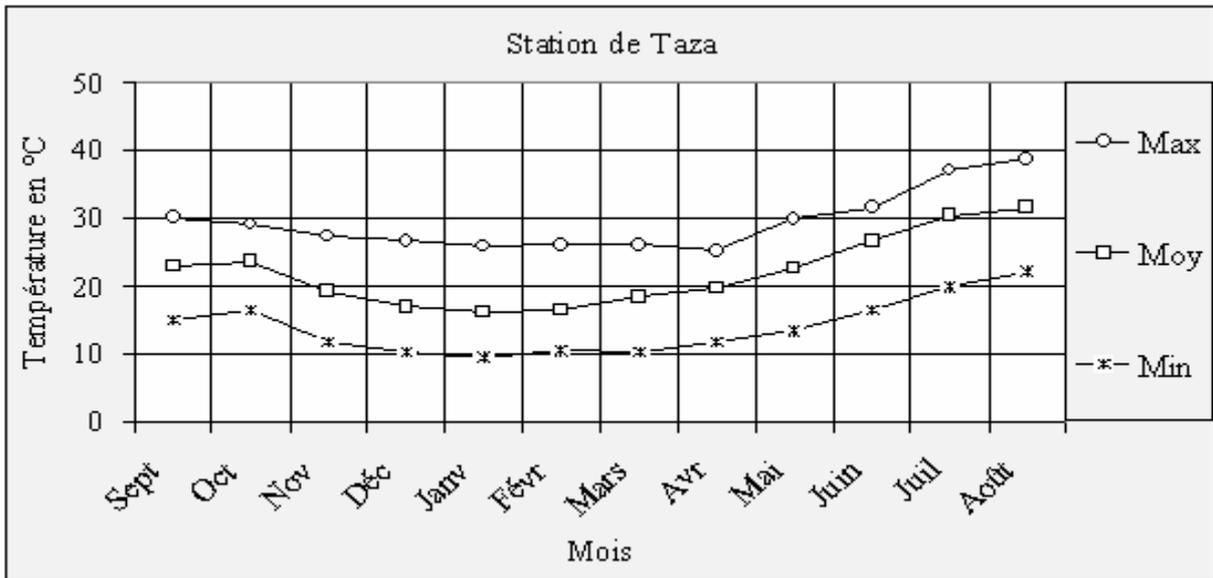


Figure 29 : Variation de la température mensuelle minimale, moyenne et maximale de la station de Taza

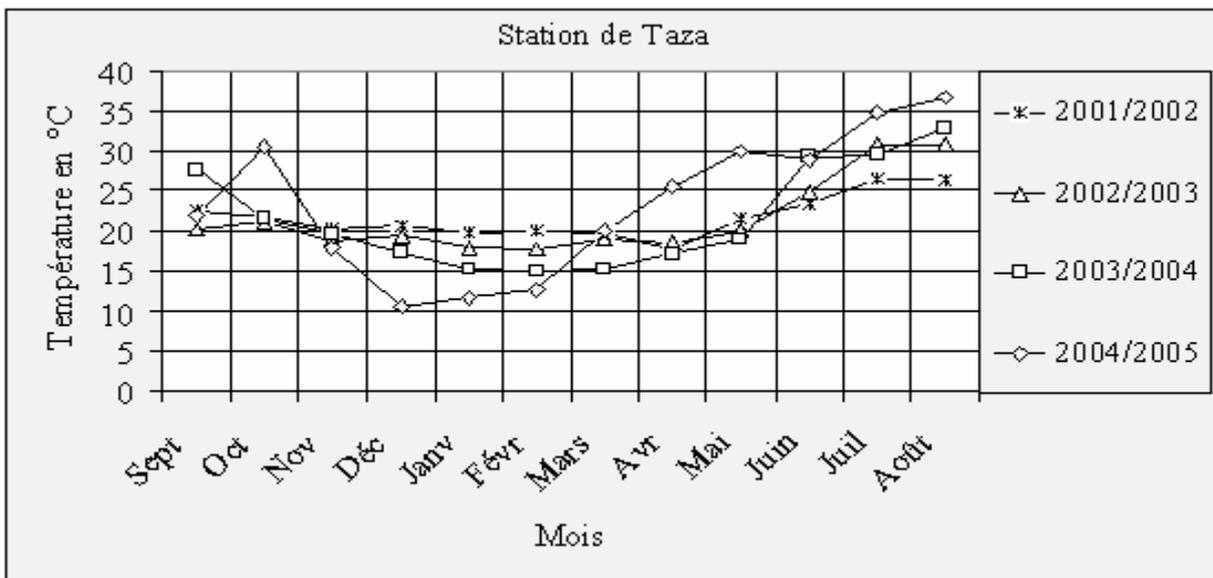


Figure 30 : Variation des températures moyennes mensuelles durant 4 années (2001-2005) de la station de Taza

Il ressort de ces diagrammes que les températures moyennes mensuelles au niveau de la station de Taza sont variables. Le mois de Janvier est le mois le plus froid avec des températures minimales qui peuvent atteindre 4°C, alors que les mois de Juillet et Août sont les plus chauds avec des températures extrêmes pouvant atteindre plus de 40°C.

X. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer la période sèche et la période humide de l'année. Il définit la période humide comme étant celle où les précipitations mensuelles dépassent le double des températures mensuelles, tandis que la période sèche est celle où le double des températures mensuelles dépasse les précipitations mensuelles.

Sur le diagramme ombrothermique de la station de Taza (figure 31), on remarque que la période humide dure six mois et couvre la période d'Octobre à Avril.

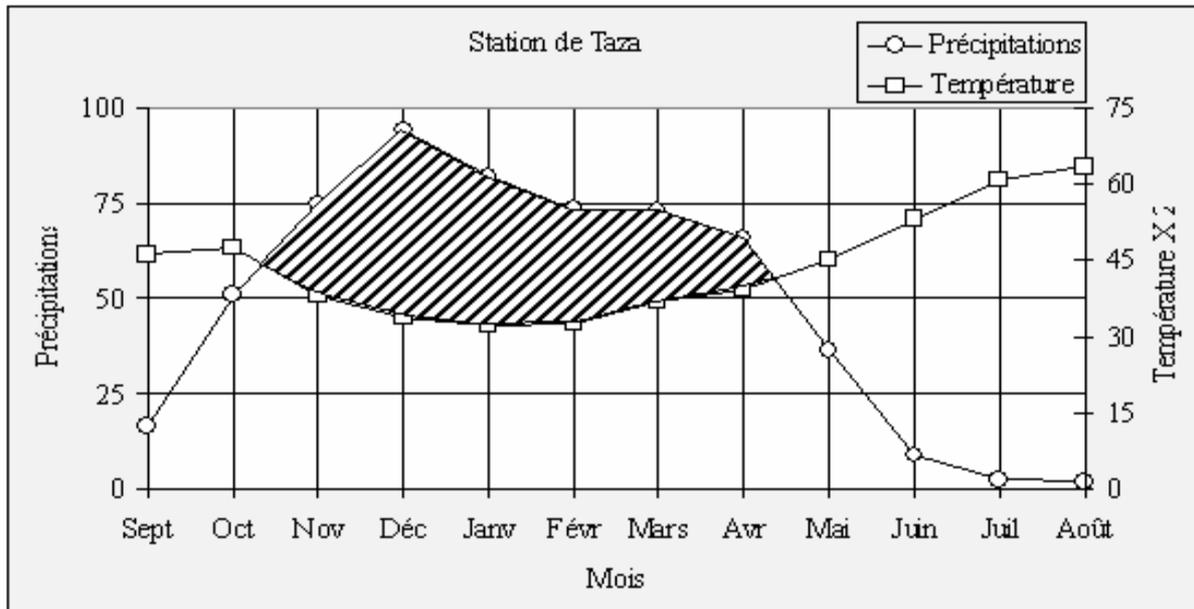


Figure 31 : Diagramme ombrothermique de Gausson de la station de Taza

Le secteur d'étude est soumis à un climat de montagne avec un effet de continentalité bien marqué. La température joue un rôle capital dans les quantités d'eau que peuvent fournir les précipitations et donc aux écoulements de surface ainsi dans la quantité des eaux qui peuvent s'évaporer.

XI. l'Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un élément essentiel du cycle hydrologique ; son évaluation permet de mettre en regard les quantités de précipitations incidentes aussi bien à l'échelle des continents qu'à celle du bassin versant.

L'air ambiant n'est jamais sec, mais il contient une part plus ou moins importante d'eau sous forme gazeuse qui est fournie par :

- l'évaporation physique au-dessus des surfaces d'eau libre, des sols dépourvus de végétation et des surfaces couvertes par la neige ou la glace ;

- la transpiration des plantes qui permet la transformation des eaux des plantes sous forme de vapeur d'eau et qui s'échappe vers l'atmosphère.

Le terme évapotranspiration prend en compte la combinaison de l'évaporation directe à partir des surfaces d'eau libre et des sols nus et de la transpiration des végétaux. On peut ainsi distinguer :

- l'évapotranspiration réelle ETR : est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique ;
- l'évapotranspiration potentielle ETP : est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifique (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance.

XI.1 Evapotranspiration potentielle ETP

En 1948, Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration potentielle mensuelle. Cet auteur définit d'abord un indice mensuel « i »

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

Ainsi la formule de l'ETP s'écrit comme suit : $ETP = 16 \times \left(\frac{10 \times T}{I}\right)^\alpha$

ETP: évapotranspiration potentielle en mm

T : est la température moyenne du mois considéré, exprimée en °C

I : est la somme des indices mensuels de l'année

$$\alpha = \left(\frac{1.6 \times I}{100}\right) + 0.5 = 0.49239 + 1792.10^{-5} \times I - 771.10^{-7} \times I^2 + 675.10^{-9} \times I^3$$

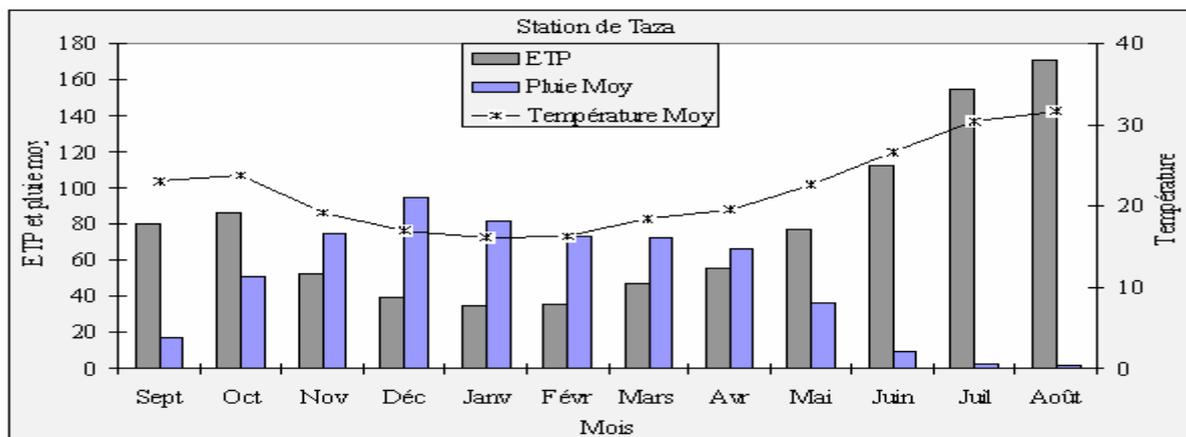


Figure 32 : Variation de l'ETP, de la température et des précipitations

Les valeurs de l'ETP calculées par la formule de Thornthwaite à l'échelle mensuelle sont en général supérieures à la lame d'eau précipitée (figure 32), sauf pour les mois de Novembre à Avril. L'ETP atteint son maximum pendant la période estivale (mois de Juin à Septembre).

XI.2 évapotranspiration réelle ETR

M. Turc adapte à la famille des courbes $D = f(P, T)$ établie à partir des observations faites sur 254 bassins versants situés sous tous les climats du monde la formule :

$$D = ETR = \frac{P}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}};$$

$$L = 0.05 \times T^3 + 25 \times T + 300$$

P : précipitation moyenne annuelle égale à 538 mm.

T : température moyenne annuelle dans le bassin considéré en °C.

ETR : évapotranspiration réelle en mm par an

L'adaptation de la formule de Turc aux conditions marocaines a nécessité de pondérer la température moyenne annuelle « T » par la pluie et d'utiliser « T' ».

Pour le bassin de Sebou dans lequel se trouve le bassin versant de Jeouna.

$$T' = 0.75 \times T = 0.75 \times 22^\circ C = 16.5^\circ C$$

C'est ainsi qu'on peut obtenir $ETP = 485mm$

XII. Bilan hydrique

L'utilisation des différents paramètres hydro-climatiques calculés, auparavant, permet de fournir une base de données nécessaire pour le calcul de l'ETR par la méthode de Thornthwaite. Cette méthode prend en compte la notion de saturation du sol. En effet dans les zones arides à semi-arides, le sol est considéré saturé quand il absorbe une lame d'eau équivalente à des précipitations de 50 mm. La RFU (réserve facilement utilisable en mm) est défini comme étant la ressource en eau facilement utilisable et qui dépend de la saturation du sol et des précipitations. Le tableau 6 et la figure 33 illustrent les principaux résultats obtenus :

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juin	Août
Température moyenne	23	24	19	17	16	16	18	20	23	27	30	32
ETP (mm)	81	86	52	40	35	36	47	55	77	113	155	171
Pluie moy (mm)	17	51	75	94	82	73	73	66	36	9	2	2
P-ETP (mm)	-64	-35	22	55	47	37	25	10	-41	-104	-152	-170
RFU (mm)	0	0	22	50	50	50	50	50	9	0	0	0
Excédent (mm)	0	0	0	27	47	37	25	10	0	0	0	0

Tableau 6 : Calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thornthwaite

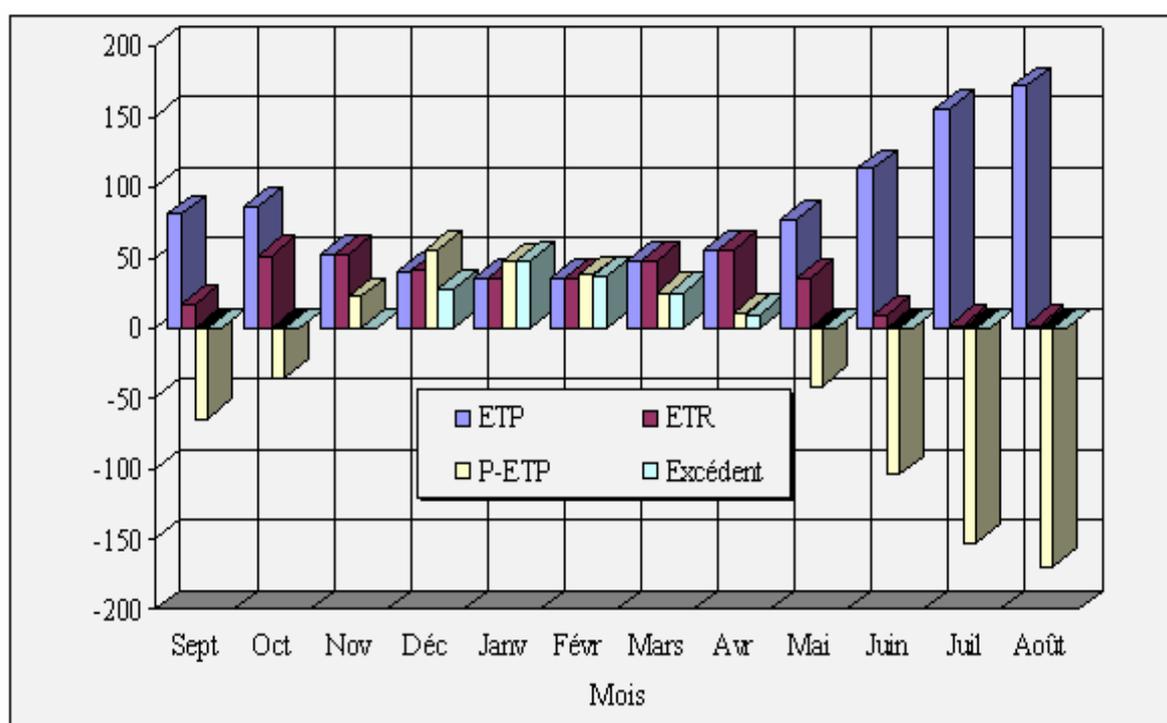


Figure 33 - Variation mensuelle des différents termes du bilan hydrique de la zone d'étude

XIII- Conclusion

L'étude des paramètres climatiques a permis de nous donner des précisions sur les différents processus hydrologiques dans le bassin versant de Jeouna. Elle sera d'une grande utilité pour connaître les différents paramètres entrants dans le bilan hydrique du secteur d'étude.