



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Moussa DIEW

Fouad EL ANSARI

Année Universitaire : 2017/2018

Titre : Relation pluies-débits dans le bassin versant El Mers (Haut Sebou)

Résumé

Le présent travail porte sur l'étude des relations entre les précipitations et les débits enregistrés sur de longues périodes au niveau de la station El Mers. Cette étude est primordiale pour des études ultérieures pour la modélisation hydrologique notamment pour l'étude de la prévision des crues.

Cette étude a été entamée par une présentation géographique et géologique du bassin versant. L'étude du relief du bassin versant a donné un indice de compacité de l'ordre de 1.8, ce qui a permis de déduire que le bassin a une forme allongée, ce qui favorise un rassemblement rapide des eaux de ruissellement vers l'exutoire.

De sa part, l'étude climatique a mis en évidence que le type de climat au niveau de la zone d'étude (El Mers) est de type semi-aride et qu'il existe une saison humide (Septembre-Mai) et une saison sèche (Mai-Août).

La dernière partie quant à elle porte sur l'étude hydrologique de notre bassin versant et nous permet de dire qu'il existe un synchronisme entre les précipitations et les débits.

Mots clés : bassin versant El Mers, modélisation hydrologique, crues, synchronisme

Abstract

This work focuses on the study of the relationship between the precipitation and the flows at El Mers. This study is essential for future studies for hydrological modeling that is used for flood forecasting.

This study was initiated by a geographical and geological presentation of the watershed. The study of the watershed relief gave a compactness index of about 1.8, leading to conclude that the watershed has an elongated shape, which favors a rapid collection of runoff water towards the outlet.

For its part, the climate study has shown that the type of climate in the study area (El Mers) is semi-arid and that there is a wet season (September-May) and a dry season (May-August).

The last part concerns the hydrological study of our watershed and allows to state that there is a synchronism between rainfall and flow.

Key words: El Mers watershed, hydrological modeling, floods, synchronism

AVANT PROPOS

*Je dédie ce modeste travail de fin
d'étude à :*

*Ma famille pour leurs encouragements
et leur soutien qui me permettent de rester
focalisé sur mon objectif.*

*Mes très chers parents, qui ne cessent de
se sacrifier pour ma réussite et
m'éclairent le chemin par leurs douaa.
Ainsi qu'à mon petit frère et mes sœurs.*

Moussa.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous rendons grâce à ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté d'achever ce travail.

Arrivé au terme de la rédaction de ce mémoire, il nous est particulièrement agréable d'exprimer notre gratitude et nos remerciements à toutes ces personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Mr. Lahcen Benaabidate Professeur à la Faculté de sciences et Techniques de Fès. Vous nous avez fait l'honneur de nous encadrer au cours de notre Projet de Fin d'étude. Vous nous avez toujours accueilli avec votre amabilité et simplicité et vous nous avez guidé et éclairé, par vos précieux conseils au cours de la réalisation de ce travail. Veuillez trouver ici, l'expression de notre profond respect et de notre vive gratitude.

Nos sincères remerciements s'adressent aux membres du jury pour le fait d'avoir accepté de juger notre travail ainsi que tous les professeurs de la FST avec lesquels nous avons travaillé au cours de notre cursus universitaire.

Pour finir nous remercions tous nos amis et collègues qui sont toujours à nos côtés pour nous apporter leur soutien moral.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	9
CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT EL MERS.....	10
1.1.1 Situation géographique	10
1.2 Cadre géologique du bassin versant Haut Sebou	10
• <i>Le Primaire</i>	10
• <i>Permien-Trias</i>	11
• <i>Le Lias</i>	11
• <i>Le Miocène</i>	11
• <i>Le quaternaire</i>	11
1.3 Caractéristiques physiques du bassin versant El Mers.....	12
1.3.1 Caractéristiques du relief	12
1.3.2 Altitudes caractéristiques.....	13
• Altitudes extrêmes	13
• Altitude moyenne	13
• Altitude médiane	13
1.4 Caractéristiques morphométriques du bassin versant El Mers	13
1.4.1 Surface et périmètre	13
1.4.2 Ordre et chevelu hydrographique.....	13
1.4.3 Caractéristique de forme	13
1.4.3.1 Indice de compacité de Gravelius.....	13
1.4.3.2 Rectangle équivalent	14
Chapitre2 : Contexte CLIMATOLOGIQUE	16
2.1 Introduction	16
2.2 Etude des précipitations	16
2.2.1 Précipitations moyennes annuelles	16
2.2.2 Précipitations moyennes mensuelles.....	17
2.3 Etude des températures	17
2.3.1 Températures moyennes annuelles.....	18

2.3.2	Températures moyennes mensuelles	18
2.3.3	Relation entre les précipitations et les températures	19
2.3.3.1	Indice d'aridité (indice de Martonne).....	19
2.3.3.2	Classification de Bagnouls et Gaussen	20
2.3.3.3	Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger	21
2.4	Evapotranspiration	22
2.4.1	Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	22
2.4.2	Calcul d'évapotranspiration réelle (ETP).....	23
Chapitre 3 : CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DU BASSIN VERSANT EL MERS		25
3.1	Introduction	25
3.2	Réseau hydrographique.....	25
3.3	La densité de drainage.....	26
3.4	Régime d'écoulement du bassin versant El Mers	27
3.4.1	Analyse des débits annuels	27
3.4.2	Analyse des débits mensuels.....	27
3.5	Relation pluies-débits annuels	28
3.6	Relation pluies-débits mensuels.....	29
CONCLUSION GENERALE		30
Références bibliographiques.....		31

Liste des figures

<i>Figure 1: Localisation du grand bassin versant de Sebou (ABHS)</i>	<i>10</i>
<i>Figure 2: Carte géologique du bassin versant d' Haut Sebou de la retenue de barrage Alla El Fassi élaborée par SIG. Extrait de la carte géologique de Sefrou au 1/100 000 (A .CHARRIERE, 1971).....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3: Exemples d'indices de compacité</i>	<i>14</i>
<i>Figure 4: Précipitations moyennes annuelles (1981-2009).....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 5: Précipitations moyennes mensuelles (1981-2009)</i>	<i>17</i>
<i>Figure 6: Températures moyennes annuelles (2003-2012)</i>	<i>18</i>
<i>Figure 7: Températures mensuelles maximales, minimales et moyennes (2003-2011)</i>	<i>18</i>
<i>Figure 8: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne</i>	<i>20</i>
<i>Figure 9: Diagramme ombrothermique (2003-2009)</i>	<i>21</i>
<i>Figure 10: Diagramme d'Emberger montrant l'étage climatique de la station El Mers.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 11: Histogramme de l'ETP mensuelle moyenne.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 12: Carte du réseau hydrographique du bassin versant El Mers</i>	<i>25</i>
<i>Figure 13: Classification descriptive (HOWARD, 1967) : les différents types de base des réseaux hydrographiques.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 14: Histogramme des débits moyens annuels (1981-2007).....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 15: Débits moyens mensuels (1981-2007)</i>	<i>27</i>
<i>Figure 16: Relation pluies-débits annuelles (1981-2007)</i>	<i>28</i>
<i>Figure 17: Relation pluies-débits mensuels (1981-2007)</i>	<i>29</i>

Liste des Tableaux

Tableau 1: les différents paramètres physiques du bassin versant El Mers	15
Tableau 2: Coordonnées géographiques de la station El Mers.....	16
Tableau 3: Classification de Martonne selon la valeur de I.....	19
Tableau 4: valeurs mensuelles moyennes de l'ETP.....	23
Tableau 5: résultats du bilan de Thornthwaite.....	24

Liste d'abréviations

SIG : Système d'Information Géographique
ETP : évapotranspiration potentielle
ETR : évapotranspiration réelle
RFU : Réserve Facilement Utilisable
ABHS : Agence du Bassin Hydraulique de Sebou
MNT : Modèle Numérique de Terrain

INTRODUCTION GENERALE

Les études hydrologiques et hydrogéologiques au Maroc entamées depuis plusieurs décennies par la direction de l'hydraulique et par les universités, ont permis d'avoir des connaissances préliminaires sur les potentialités en eau, le mode de fonctionnement des principaux bassins versants et les aquifères superficiels.

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite. Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique.

Au cours des vingt dernières années, le Maroc a connu un certain nombre d'événements d'inondations tragiques au niveau de plusieurs régions du pays en raison d'une part, de la croissance démographique, du développement urbain, agricole, et industriel qui entraînent une occupation croissante des zones vulnérables et d'autre part, de l'aggravation des phénomènes extrêmes (sécheresse et crues) suite aux changements climatiques.

Pour notre projet, nous travaillons dans le bassin versant El Mers situé dans la partie SSE du bassin versant Haut Sebou situé à son tour dans la partie haute du grand bassin de Sebou et qui a connu des inondations catastrophiques ces dernières années ayant enregistré la plus grosse crue de son histoire soit 2600 m³/s. Cette crue a causé des dégâts matériels importants au niveau de l'infrastructure routière, d'alimentation en eau potable, et des terrains agricoles.

Pour faire face à cette situation, il est impératif de se donner des moyens pour pouvoir anticiper les inondations, pour réduire au mieux les dégâts et surtout la prévention des inondations pour déterminer quels sont les événements susceptibles de se produire dans le temps et dans l'espace.

De ce fait, notre projet porte sur la relation pluie-débit étant une étape fondamentale pour des études ultérieures sur la modélisation hydrologique qui permet de donner une représentation simplifiée du cycle de l'eau à l'échelle du bassin versant, afin d'expliquer sa réponse aux différentes conditions auxquelles il est soumis. Elle permet ainsi de connaître le fonctionnement du bassin versant, prévoir des débits en fonction de scénarios météorologiques et des aménagements hydrauliques existants et aussi de simuler les débits sur des cours d'eau.

Dans cette optique, notre étude s'articule principalement sur les points suivants :

- La première étape sera consacrée aux caractéristiques du bassin versant à savoir sa situation géographique et géologique, ses caractéristiques physiques et morphométriques.
- La deuxième étape sera focalisée sur le contexte climatologique de la zone d'étude
- La dernière partie quant à elle sera consacrée à l'étude hydrologique du bassin versant El Mers.

CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT EL MERS

1.1.1 Situation géographique

Le bassin versant Haut Sebou est situé sur la partie haute du grand bassin de l'oued Sebou. Il se localise entre les latitudes 33° et 34° nord et les longitudes 4°03" et 5°20" ouest et couvre une superficie de 5764 km². Le bassin versant El Mers étant un sous bassin du bassin versant Haut se situe dans le SSE de ce dernier avec l'exutoire se trouvant à une altitude de 1210m.

La délimitation du bassin El Mers a été faite par un logiciel du SIG (Arc GIS) sur les cartes topographiques de Meknès et Berkine au 1/250.000.



Figure 1: Localisation du grand bassin versant de Sebou (ABHS)

1.2 Cadre géologique du bassin versant Haut Sebou

- *Le Primaire*

Il affleure dans le bassin versant du Haut Sebou sous forme de schistes et de quartzites. Il se trouve localisé surtout dans la vallée de l'Oued Sebou, Oued Azzaba, El Adrej, Ribat El Khair et en rive gauche de l'Oued Sebou dans la boutonnière de Bsabis.

- *Permien-Trias*

Il affleure sous forme d'argilites rouges souvent gypsifères et salifères et de basaltes doléritiques brunâtres et verdâtres. Il est représenté dans la vallée encaissée de l'Oued Sebou à l'ouest d'Azzaba, dans la cuvette d'El Menzel, dans le versant nord d'El Adrej et dans le secteur de Tazouta.

- *Le Lias*

Présent dans la totalité du Causse Moyen Atlassique, il est représenté par trois faciès principaux :

- * Les dolomies peu résistantes qui fournissent le faciès des dolomies sableuses.
- * Les dolomies massives plus résistantes qui reposent directement sur le Trias dans le canyon de l'Oued Sebou.
- * Les dolomies litées qui sont caractérisées par une série de bancs calcaires dolomitiques dans la partie centrale du causse.

Les Lias inférieur et moyen couvrent des surfaces étendues des causses de Sefrou, d'El Menzel et apparaissent dans les cassures tectoniques et le long des anticlinaux où il forme leur ossature. Le lias supérieur est surtout caractérisé par un faciès marneux avec des poussées calcaires.

- *Le Miocène*

Représenté par un faciès de molasse dans la vallée encaissée de l'Oued Sebou puis par des marnes grises ou bleues du Tortonien.

Au pied du Causse de Sefrou, le Miocène est représenté par des marnes sableuses et du grès. Il couvre aussi le couloir Pont Mdez- El Adrej, la région de Tazouta (marne, grès et calcaire), et le secteur de l'Oued Maasser (micro conglomérats, marnes).

- *Le quaternaire*

Il est caractérisé par le processus de karstification avec formation d'encroûtement et croûtes sur les zones tabulaires. Les formes spectaculaires de karstification sont représentées par le réseau de vallées sèches, les cuvettes fermées à fond plat colmatées par des dépôts argileux limoneux occupés souvent par des dayats temporaires ou permanentes.

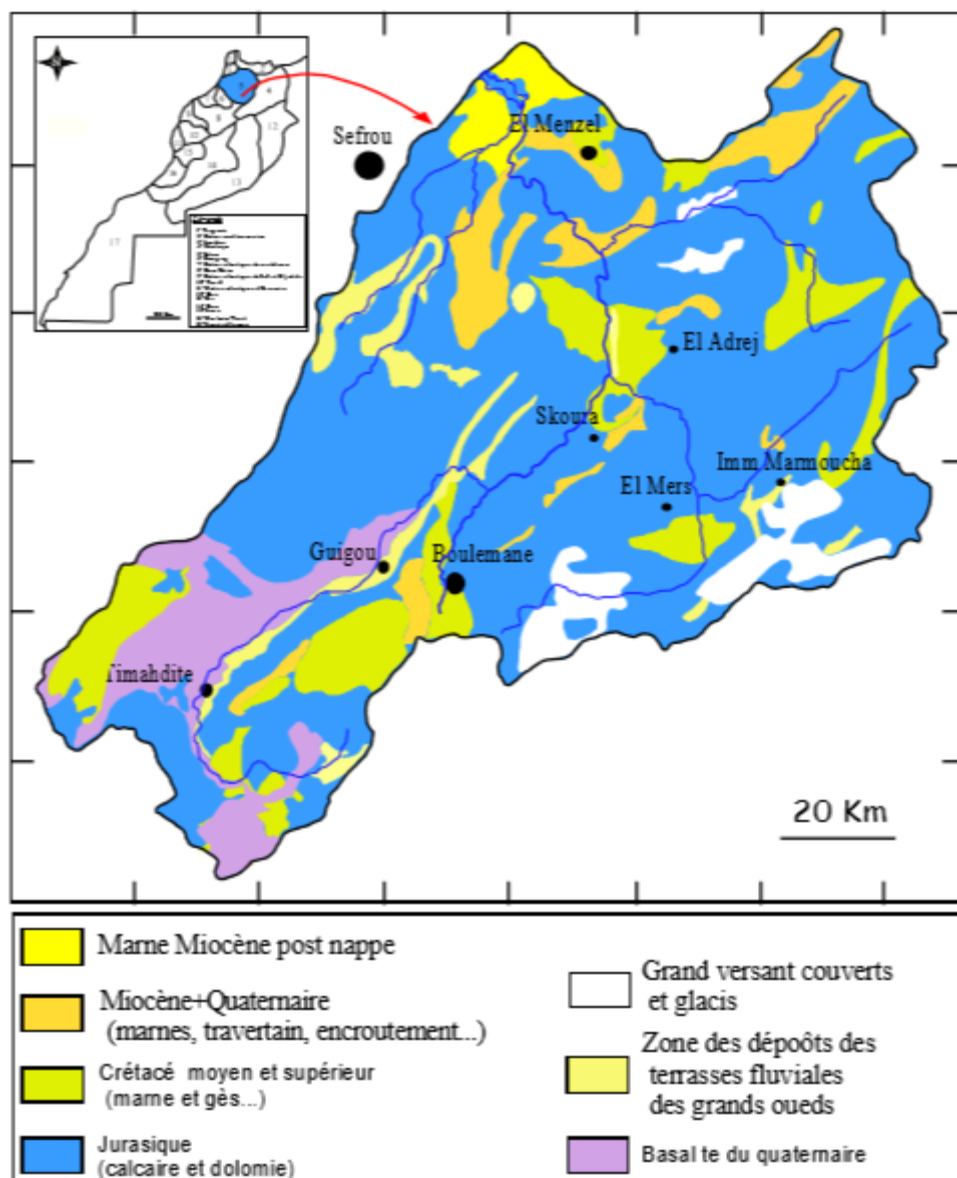


Figure 2: Carte géologique du bassin versant d' Haut Sebou de la retenue de barrage Alla El Fassi élaborée par SIG. Extrait de la carte géologique de Sefrou au 1/100 000 (A .CHARRIERE, 1971)

1.3 Caractéristiques physiques du bassin versant El Mers

1.3.1 Caractéristiques du relief

Pour la détermination des facteurs climatologiques et hydrologiques qui sont étroitement liés à l'altitude, il est indispensable de faire une étude des différents paramètres du relief. De ce fait la répartition des tranches d'altitude s'effectue par l'application du logiciel Arc Gis sur les cartes topographiques au 1/250.000 de Meknès et Berkine à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT).

1.3.2 Altitudes caractéristiques

- *Altitudes extrêmes*

Les altitudes extrêmes sont représentées par l'altitude la plus haute et la plus basse du bassin versant. L'altitude la plus haute se trouvant aux environs de 2550m et l'altitude la plus basse vers les 1210m.

- *Altitude moyenne*

Il s'agit de la moyenne entre l'altitude la plus haute et la plus basse de notre bassin versant soit 1855m.

- *Altitude médiane*

Cette altitude correspond au point d'ordonné 50% de la courbe hypsométrique

- *Altitude la plus fréquente*

L'altitude la plus fréquente se traduit par le maximum de la courbe des fréquences altimétriques, autrement dit c'est l'altitude de la plus grande surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveau successives.

1.4 Caractéristiques morphométriques du bassin versant El Mers

1.4.1 Surface et périmètre

La connaissance de la surface et du périmètre d'un bassin versant est primordiale pour le calcul des indices permettant de caractériser un bassin versant et de le comparer à un autre.

Ces deux paramètres ont été calculés par le logiciel Arc GIS et il nous a permis de ressortir un périmètre de 50,809km et une surface de 61,56km².

1.4.2 Ordre et chevelu hydrographique

Le réseau hydrographique est composé d'un cours d'eau principal et d'une série de tributaire dont les ramifications s'étendent vers les parties les plus hautes du bassin versant. Un tributaire qui ne reçoit l'apport d'aucun autre cours d'eau s'appelle « vecteur d'ordre 1 », les tributaires dont les apports sont exclusivement des vecteurs d'ordre 1 sont des cours d'eau de deuxième ordre. En général on appelle un bassin « d'ordre n » lorsque l'ordre maximal de ses cours d'eau est n.

- Dans notre étude, le bassin versant El Mers est un bassin d'ordre 3.

1.4.3 Caractéristique de forme

1.4.3.1 Indice de compacité de Gravelius

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914) KG qui permet d'avoir une idée sur la forme du bassin versant, il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieure à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

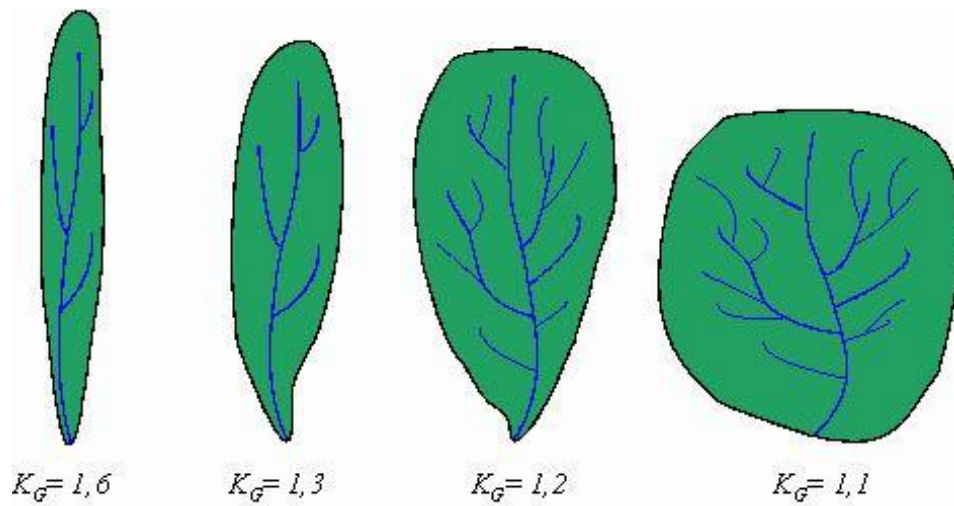


Figure 3: Exemples d'indices de compacité

➤ L'indice de Gravelius est donné par la formule suivante:

$$KG = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec : KG : l'indice de compacité de Gravelius.

A : surface du bassin versant (61.56km^2).

P : périmètre du bassin (50.81Km)

- Ce qui donne $KG = 1.8$ d'où le du bassin versant est de forme allongée.

1.4.3.2 Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent aussi appelé rectangle de Gravelius est un rectangle assimilable au bassin versant étudié ayant la même superficie et le même périmètre que ce dernier. De cette façon, les courbes de niveau deviennent des droites parallèles à petites côtes du rectangle. L'un des petits cotés représente l'exutoire (aval) et l'autre représente l'altitude maximale du bassin (amont) ;

On a:
$$L = \frac{KG \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG} \right)^2} \right]$$

Avec : P= 50.81km

A= 61.56km^2

$$KG = 1.8$$

➤ D'où : $L = 22.48\text{km}$

$$l = 2.738\text{km}$$

Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons mis en évidence les caractéristiques physiques du bassin versant El Mers. Le tableau suivant résume les différents paramètres physiques du bassin versant El Mers :

Tableau 1: les différents paramètres physiques du bassin versant El Mers

Paramètres	Valeurs
périmètre	50.809km
Superficie	61.56km ²
Indice de compacité	1.8
longueur du rectangle équivalent	22.48km
largeur du rectangle équivalent	2.738km
Altitude maximale	2550m
Altitude minimale	1210m
Altitude moyenne	1855m

2.1 Introduction

La climatologie est une branche de la géographie physique qui étudie les climats de la terre autrement dit, la succession des conditions météorologiques ou des états de l'atmosphère d'un lieu donné sur de longues périodes. Afin de déterminer le climat environnant notre zone d'étude, la prise en compte de deux paramètres qui sont la hauteur des précipitations et la température de l'air est primordiale pour établir des classifications (Emberger ; Bagnouls & Gaussen). Ces paramètres sont appréciés à partir du dépouillement des données de notre station d'étude (El Mers).

Le tableau suivant résume les coordonnées de la station El Mers

Tableau 2: Coordonnées géographiques de la station El Mers

Station	X (m)	Y (m)	Z (m)
El Mers	593.100	318.620	1210

2.2 Etude des précipitations

En météorologie, le terme précipitation désigne toutes les eaux météorologiques qui tombent sur la surface terrestre aussi bien sous forme liquide (gouttelettes d'eau) que sous forme solide (cristaux de glace) qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol.

Il s'agit d'un des facteurs qui nous permettra de caractériser le type de climat de notre zone d'étude en considérant la quantité annuelle des précipitations et le régime pluviométrique mensuel.

2.2.1 Précipitations moyennes annuelles

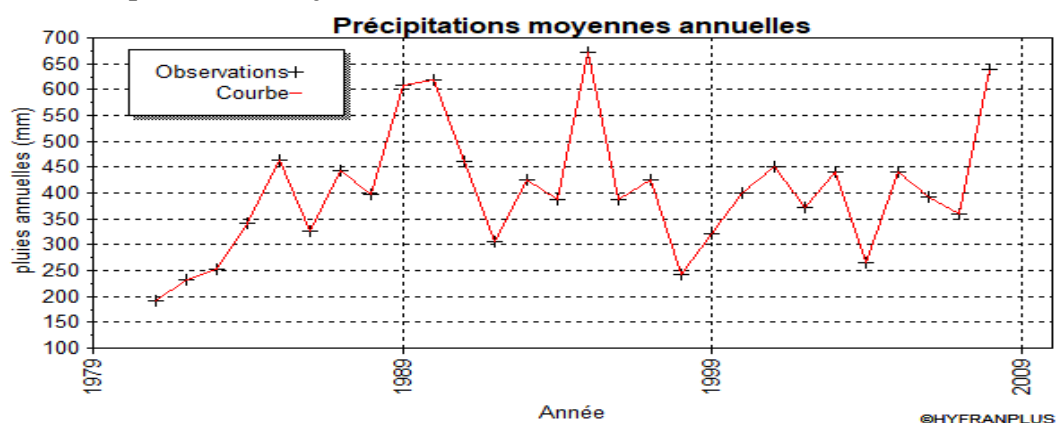


Figure 4: Précipitations moyennes annuelles (1981-2009)

L'analyse de l'histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station El Mers montre que les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 402,5mm, avec 672mm comme moyenne maximale et 192,7mm comme moyenne minimale.

2.2.2 Précipitations moyennes mensuelles

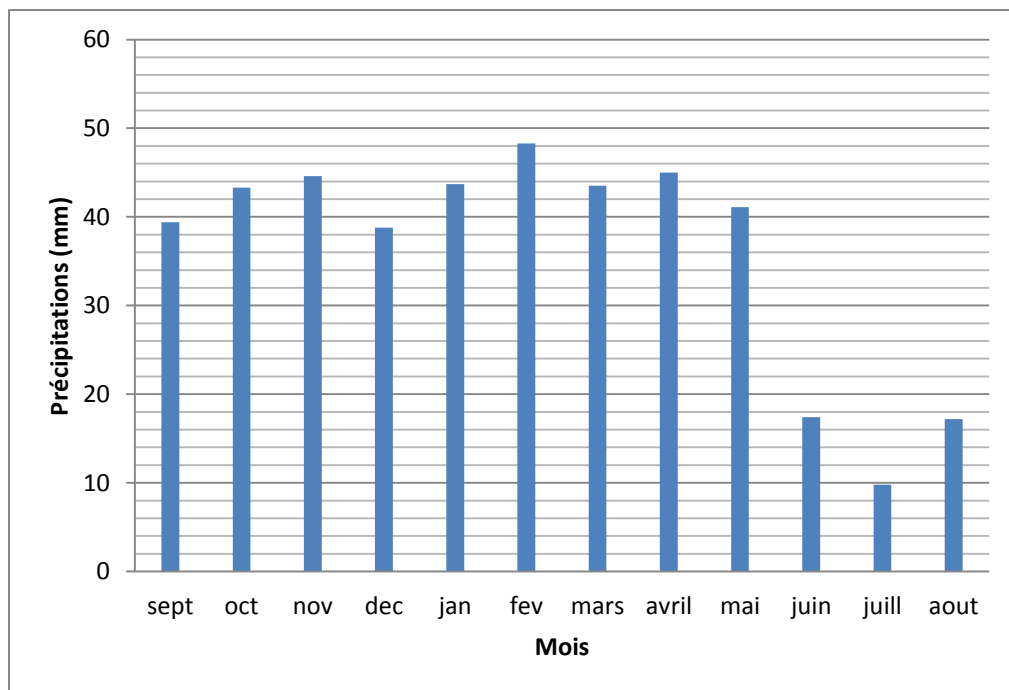


Figure 5: Précipitations moyennes mensuelles (1981-2009)

En analysant la l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles mesurées sur la station El Mers pendant la période 1981-2009, on peut voir que les précipitations sont plus ou moins importantes entre le mois de septembre et le mois de mai variant entre 38,8mm et 48,3mm alors qu'elles sont plus ou moins faibles entre le mois de Mai et le mois d'Août, le mois de Juillet étant le mois le moins arrosé avec une dizaine de millimètre.

2.3 Etude des températures

Pour la caractérisation du contexte climatique d'un bassin versant, il est impératif de faire une étude préalable du facteur température en considérant aussi bien la variation des températures annuelles que celle des températures mensuelles de la zone d'étude.

2.3.1 Températures moyennes annuelles

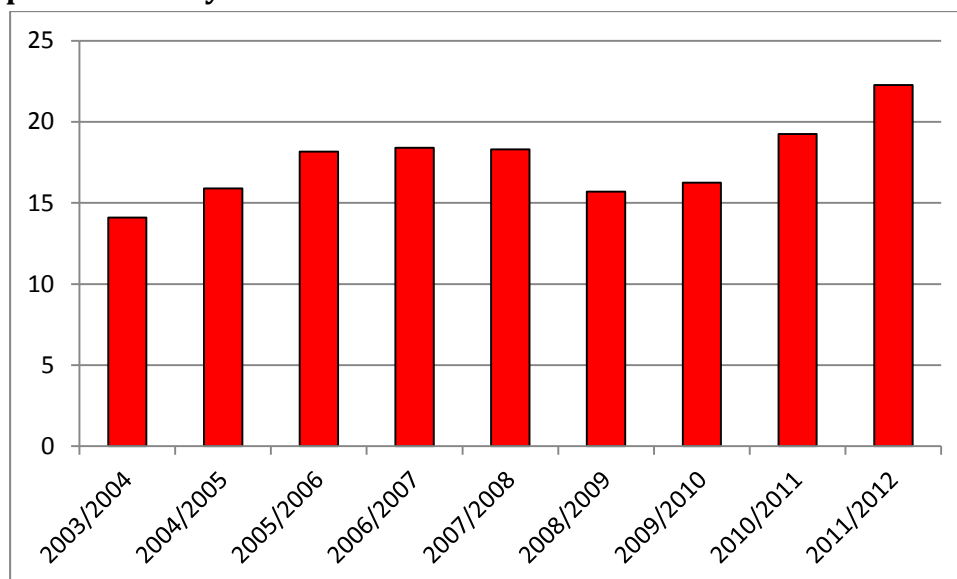


Figure 6: Températures moyennes annuelles (2003-2012)

L'histogramme des températures moyennes annuelles prises sur la station El Mers pendant la période 2003-2012 que la température de l'année la plus froide (2003/2004) est de l'ordre de 14,1°C ; la température de l'année la plus chaude (2011/2012) est de l'ordre de 22,26°C et que la température moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station est de 17,59°C.

2.3.2 Températures moyennes mensuelles

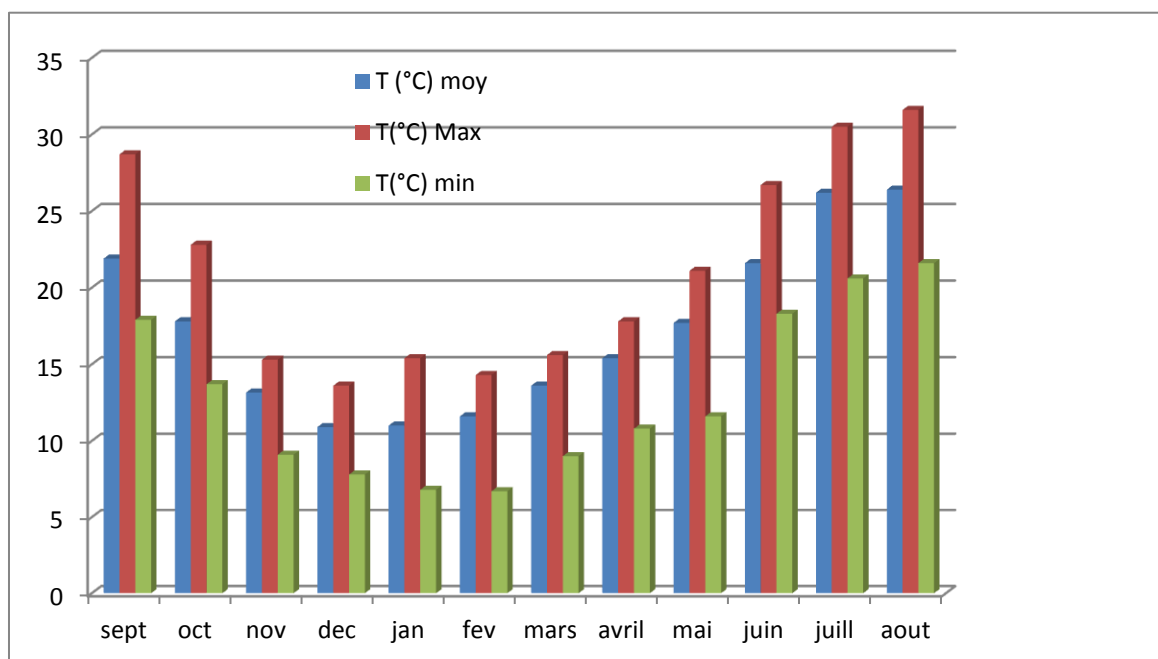


Figure 7: Températures mensuelles maximales, minimales et moyennes (2003-2011)

L'histogramme présente les températures mensuelles prises sur la station El Mers pendant la période 2003-2011. La température maximale du mois le plus chaud (Aout) est de l'ordre de 31,6°C, la température minimale du mois le plus froid (décembre) est de l'ordre de 7,8°C et la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 17,27°C.

2.3.3 Relation entre les précipitations et les températures

Le climat régnant dans une région, peut être déterminé à travers certains paramètres qui mettent en relation la température et les précipitations caractérisant cette région. Pour cela, plusieurs auteurs dont Emmanuel Martonne, Bagnouls & Gaussen et Emberger ont proposés diverses formules, indices et graphiques permettant de déterminer le type de climat régnant dans la zone d'étude.

2.3.3.1 Indice d'aridité (indice de Martonne)

L'indice d'aridité est une formule climatologique qui a été présentée par un géographe, climatologue français du nom d'Emmanuel Martonne. Cet indice est en fonction des précipitations moyennes annuelles (mm) et de la température moyenne annuelle (°C), il permet de déterminer le type de climat caractérisant une région d'étude. Ce paramètre se calcul par la formule suivante :

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

Où : I : indice d'aridité

P : précipitation moyenne annuelle (402,5mm)

T : température moyenne annuelle (17,59°C)

Ce qui donne I= 14,58

Suivant les valeurs de (I), Emmanuel De Martonne a établi la classification suivante :

Tableau 3: Classification de Martonne selon la valeur de I

valeurs de I	I < 5	5 < I < 7,5	7,5 < I < 10	10 < I < 20	20 < I < 30	I > 30
type de climat	hyper aride	désertique	steppique	semi-aride	tempéré	humide

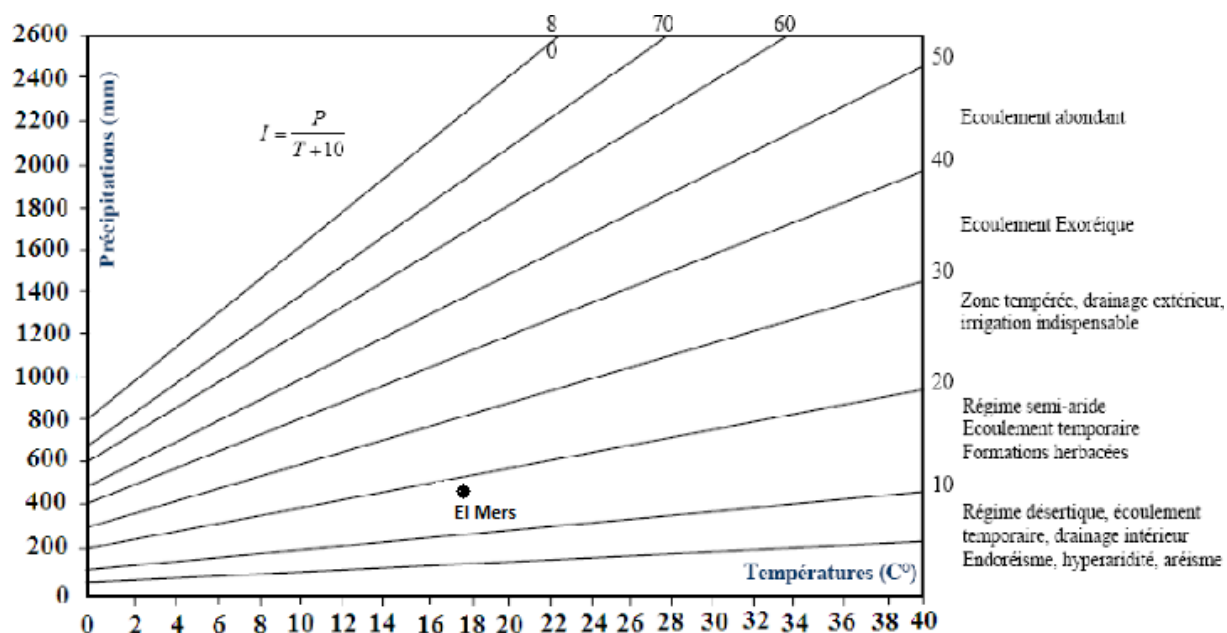


Figure 8: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne

D'après l'abaque d'aridité annuel de De Martonne, l'indice d'aridité de Martonne étant égal à 14,8 donc ceci nous permet de dire que le climat de la station El Mers est de type semi-aride avec écoulement temporaire et formation herbacées.

2.3.3.2 Classification de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique est un diagramme qui a été développé par les botanistes Henri Gaussen et F.Bagnouls représentant la variation mensuelle des précipitations et des températures selon l'échelle suivante : une graduation de l'échelle des précipitations correspond à deux graduations de l'échelle des températures ($P = 2T$). Ce diagramme a pour but de déterminer sur une année les mois humides et les mois secs.

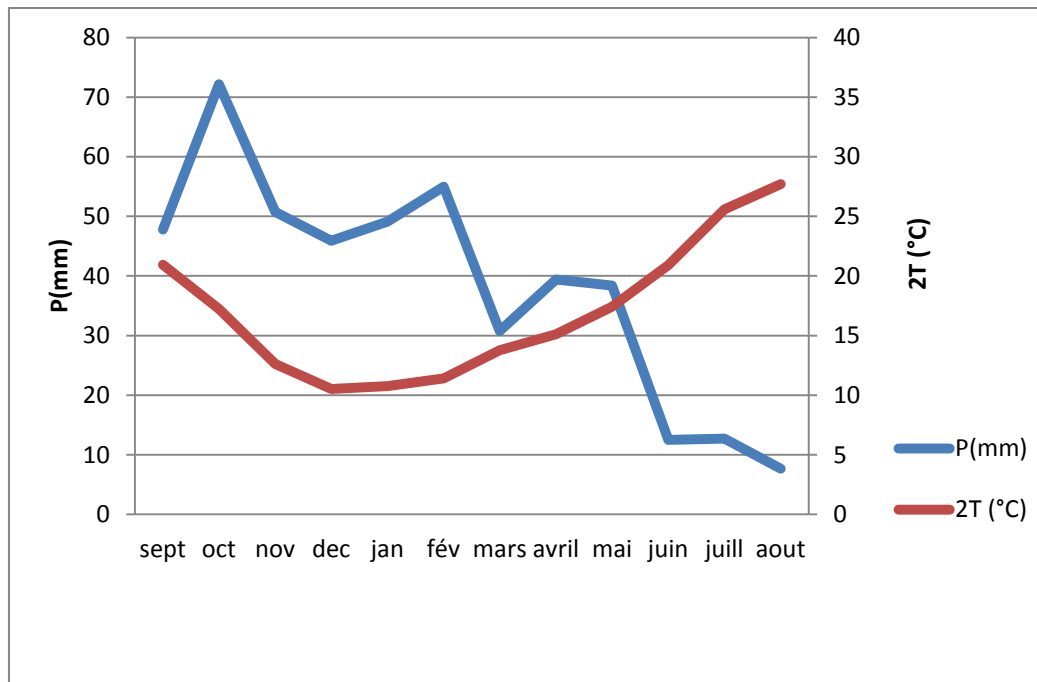


Figure 9: Diagramme ombrothermique (2003-2009)

L'analyse du diagramme ombrothermique de la station El Mers sur la période 2003-2009 permet de dégager deux zones du diagramme :

La première s'étalant du mois de septembre jusqu'au mois de mai où $P > 2T$ donc c'est une période humide ;

La deuxième s'étalant du mois de mai jusqu'au mois d'aout où $P < 2T$ donc c'est une période sèche.

2.3.3.3 Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger a été préconisé (1939) par un botaniste du nom de Louis Emberger afin de permettre l'étude du climat méditerranéen. Pour cela il faut déterminer le quotient pluviométrique d'Emberger (Q) étant un coefficient spécifique au climat méditerranéen qui permet de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Le quotient pluviométrique est en fonction des précipitations annuelles, la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud et la moyenne des minimas des températures du mois le plus froid ; Il est donné par la formule suivante :

$$Q = \frac{2000 * P}{(M + m) * (M - m)}$$

Avec : P : précipitations moyenne annuelles (402,5mm)

M : température maximale du mois le plus chaud (31,6°C + 273.15) °k

m : température minimale du mois le plus froid (7,8°C + 273.15) °k

- Ce qui donne : $Q = 57,7$

D'après la classification d'Emberger, la station El Mers est située dans l'étage semi-aride à hiver chaud.

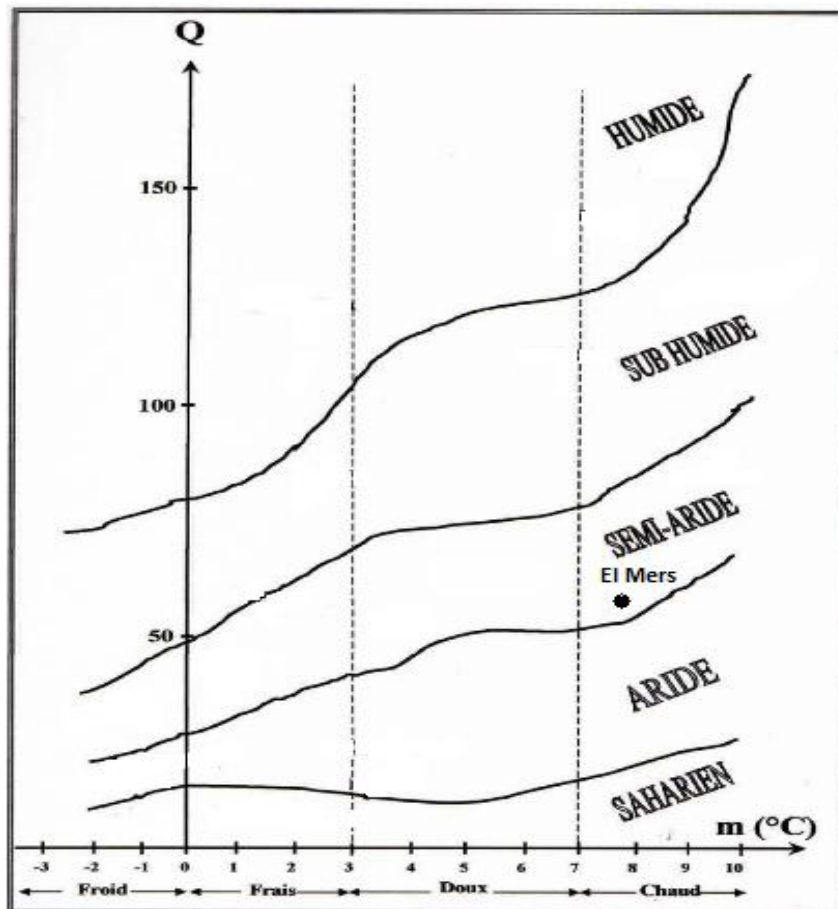


Figure 10: Diagramme d'Emberger montrant l'étage climatique de la station El Mers

2.4 Evapotranspiration

2.4.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

La notion d'évapotranspiration regroupe les processus d'évaporation et de transpiration. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau évaporée par un stock d'eau libre. Il existe diverses méthodes pour le calcul d'ETP, mais pour notre étude nous allons utiliser la méthode de Thornthwaite (1948) basée sur la température moyenne mensuelle ; la formule est la suivante :

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

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (mm)

T : température moyenne mensuelle du mois considéré (°c)

I : indice thermique annuel

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

$$a = \frac{1.6}{100} \cdot I + 0.5$$

K : coefficient dépendant de la latitude

Tableau 4: valeurs mensuelles moyennes de l'ETP

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Ju	A
T (°C)	21,9	17,8	13,16	10,9	11	11,6	13,6	15,4	17,7	21,6	26,2	26,4
K	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24
ETP (mm)	100,2	59,8	28,6	19,08	20,22	23,77	41,37	58,31	85,9	123,8	175,14	165,5

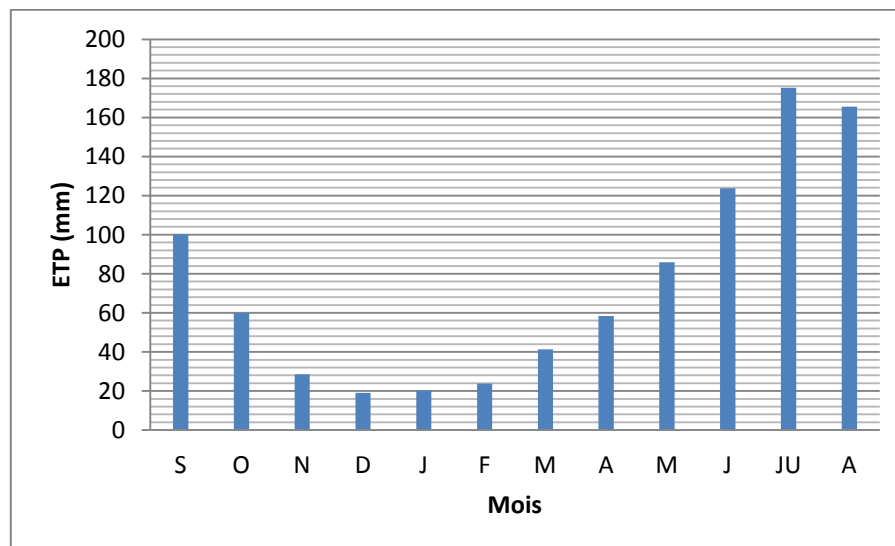


Figure 11: Histogramme de l'ETP mensuelle moyenne

L'analyse de l'histogramme de l'ETP mensuelle moyenne dans le bassin versant El Mers pendant la période 2003-2011 montre que celle-ci varie entre 19,08 mm (mois de décembre) et 175,14 mm (mois de juillet). La variabilité de l'ETP s'explique par celle des températures moyennes mensuelles.

2.4.2 Calcul d'évapotranspiration réelle (ETP)

Il existe également diverses méthodes pour le calcul de l'ETP mais dans notre étude, nous allons utiliser la méthode de Thornthwaite. Dans cette méthode, nous allons non seulement calculer l'ETR mais aussi le RFU, l'excès et le déficit mensuels. Pour cela nous allons faire intervenir d'une part les ETP mensuelles moyennes et d'autre part les précipitations mensuelles moyennes.

De ce fait on a :

- Si $P > ETP$, on a $ETR = ETP$
- Si $P+RFU < ETP$, on a $ETR = P+RFU$
- $RFU_{max} = 50mm$

Tableau 5: résultats du bilan de Thornthwaite

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
P (mm)	39,4	43,3	44,6	38,8	43,7	48,3	43,5	45	41,1	17,4	9,8	17,2
ETP (mm)	100,2	59,8	28,6	19,08	20,22	23,77	41,37	58,31	85,9	123,8	175,14	165,5
RFU (mm)	0	0	16	35,72	50	50	50	36,69	0	0	0	0
ETR (mm)	39,4	43,3	28,6	19,08	20,22	23,77	41,37	58,31	77,79	17,4	9,8	17,2
Excès (mm)	0	0	0	0	9,2	24,14	2,13	0	0	0	0	0
Déficit (mm)	60,8	16,5	0	0	0	0	0	0	8,11	106,4	165,34	148,3

L'examen du bilan de Thornthwaite nous permet de dire que l'ETR présente un minimum de 9.8mm pendant le mois de juillet et atteint un maximum de 77.79mm pendant le mois de Mai. Ceci serait dû à la variation mensuelle des conditions météorologiques telles que la température et la précipitation.

Le déficit de l'eau atteint son maximum pendant le mois de juillet car il s'agit du mois le mois arrosé de la zone d'étude (El Mers) et celui où l'ETP atteint son maximum.

Conclusion

D'après nos analyses, l'étude des précipitations de la station El Mers montre que les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 402,5mm ; la température moyenne annuelle est de 17,59°C et qu'à la suite des classifications faites à partir de la relation entre les précipitations et la température, on déduit que le type de climat régnant dans notre zone d'étude (bassin versant El Mers) est de type semi-aride.

3.1 Introduction

Le bassin versant El Mers est drainé par un cours d'eau principale (oued Sebou) d'orientation générale WSW-ENE qui prend naissance aux environs de 2500m d'altitude (amont) et se prolonge jusqu'à l'exutoire (station El Mers) situé aux environs de 1210m d'altitude

3.2 Réseau hydrographique

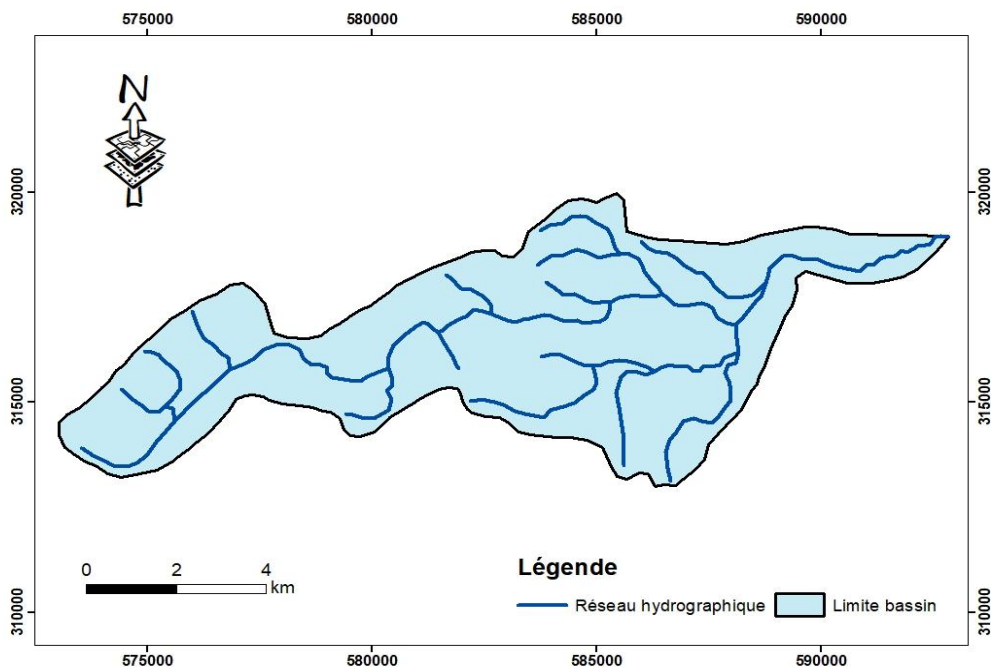


Figure 12: Carte du réseau hydrographique du bassin versant El Mers

Le réseau hydrographique étant l'ensemble de tous les cours d'eau d'un bassin versant (fleuve, ruisseau, ruisselet, séguia etc.) qu'ils soient aussi bien pérennes ou temporaires. D'après la classification descriptive d'Howard (1967) qui résume les différents types de base de réseau hydrographique, le bassin versant El Mers est caractérisé par un réseau de type dendritique.

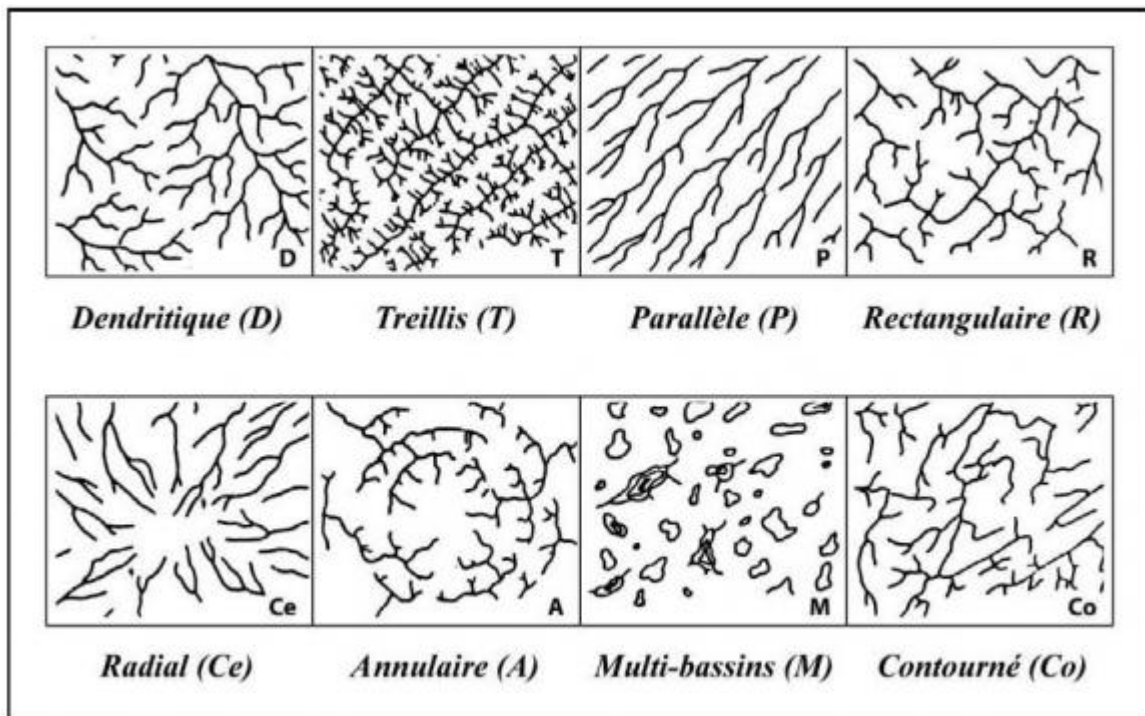


Figure 13: Classification descriptive (HOWARD, 1967) : les différents types de base des réseaux hydrographiques

3.3 La densité de drainage

Selon Lamas (1993), la densité de drainage d'un bassin versant est définie comme un paramètre reflétant son écoulement, la stabilité du réseau hydrographique et le type de ruissellement de surface.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Dd = \sum Li/A$$

Avec : Dd : densité de drainage (km⁻¹)

Li : longueur d'un affluent d'ordre i ($\sum Li = 61.054\text{km}$)

A : superficie du bassin versant (61.56km²)

➤ D'où $Dd = 0.99\text{km}^{-1}$

3.4 Régime d'écoulement du bassin versant El Mers

3.4.1 Analyse des débits annuels

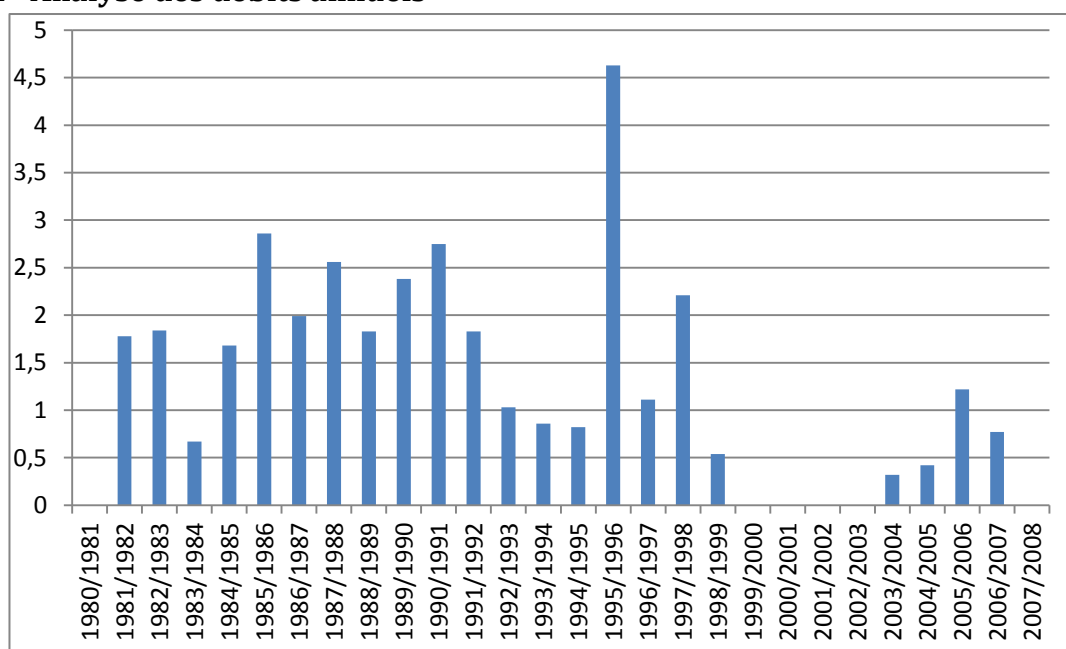


Figure 14: Histogramme des débits moyens annuels (1981-2007)

Selon l'histogramme, la série de mesures des débits moyens annuels sur la station El Mers pendant la période 1981-2007 varie entre le minimum de 0,32 m³/s (2003/2004) et le maximum 4,63 m³/s (1995/1996).

3.4.2 Analyse des débits mensuels

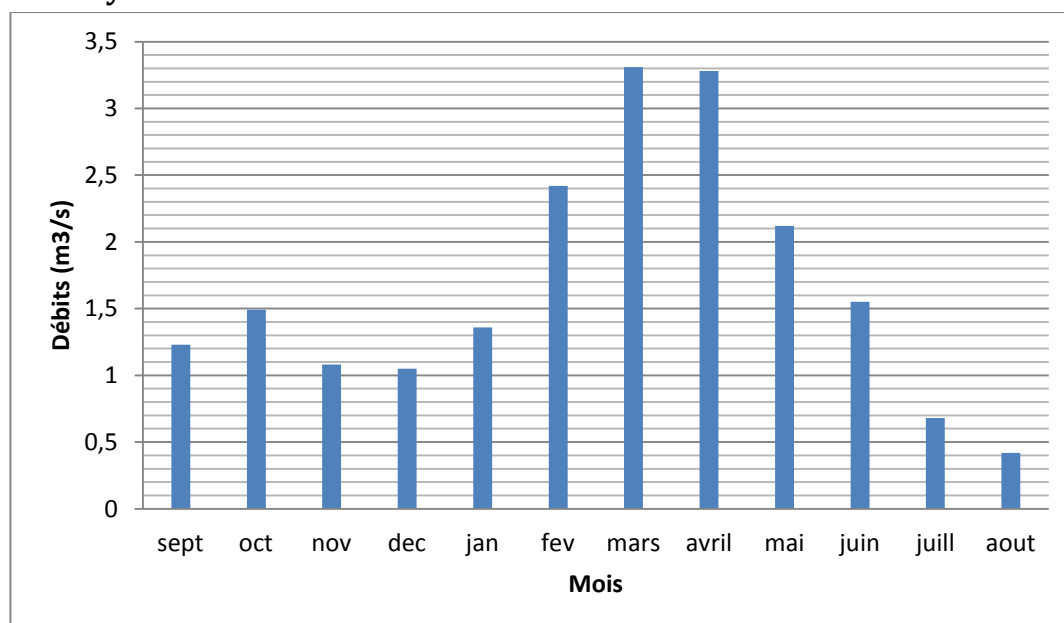


Figure 15: Débits moyens mensuels (1981-2007)

L'analyse de la variation des débits moyens mensuels enregistrée sur la station de mesure (El Mers) pendant la période 1981-2007 montre que les débits varient entre 1 et 1,5 m³/s entre le mois de septembre et décembre ; ils augmentent jusqu'au maximum de 3,31 m³/s au mois de mars et diminuent jusqu'au minimum de 0,42 m³/s au mois d'août.

3.5 Relation pluies-débits annuels

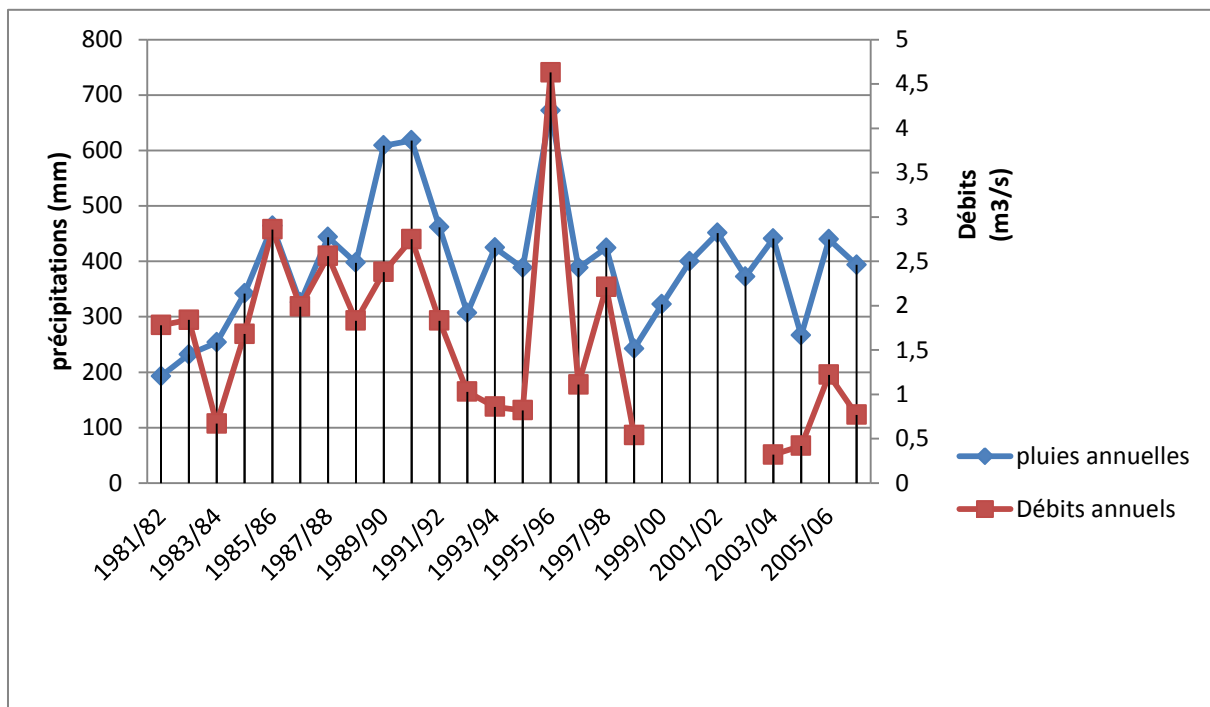


Figure 16: Relation pluies-débits annuelles (1981-2007)

L'analyse du graphique représentant la relation entre les précipitations et les débits annuels enregistrés sur la station El Mers entre la période 1981-2007 montre une très bonne corrélation entre ces deux paramètres à l'exception de des années 1983/84, 1993/94, 2003/04 où les précipitations augmentent alors que les débits diminuent ; donc à l'exception de ces années on peut dire que le débit est sensible à la variation des précipitations.

3.6 Relation pluies-débits mensuels

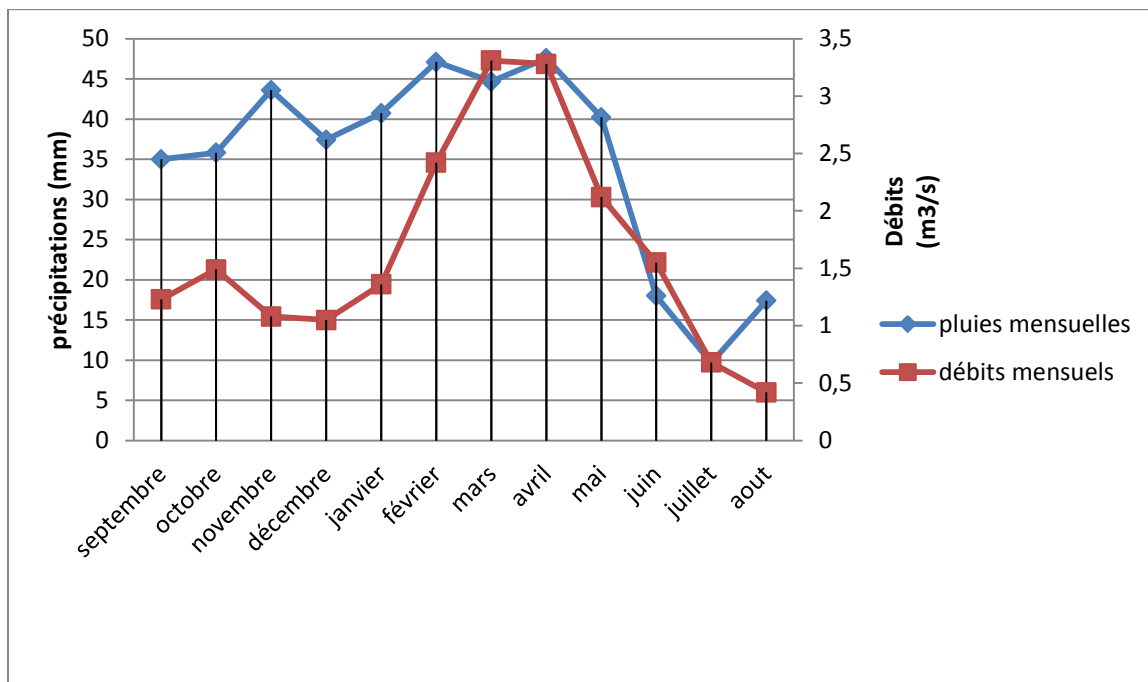


Figure 17: Relation pluies-débits mensuels (1981-2007)

L'analyse du graphique représentant la relation entre les précipitations et les débits mensuels montre aussi bien une bonne corrélation que d'irrégularités entre les deux paramètres ; concernant les irrégularités on a le débit qui décroît alors que les précipitations sont en croissance (novembre et août) et on a le contraire entre le mois de février et mars où les précipitations sont en décroissance alors que le débit continue de croître.

Conclusion

Le bassin versant El Mers étant un sous bassin du bassin Haut Sebou est alimenté par un cours d'eau principal de direction générale WSW-ENE. La corrélation entre les précipitations et les débits (annuels et mensuels) pendant la période 1981-2007 enregistrés au niveau de la station El Mers montre que malgré quelques irrégularités, il existe un synchronisme entre les deux paramètres.

En effet, le débit au niveau de la station El Mers est sensible à la variation des précipitations et des apports des affluents en amont du bassin versant El Mers.

Notre étude avait pour but la détermination de la relation entre les précipitations et les débits enregistrés au niveau de la station El Mers. De ce fait, nous avons établi des synthèses partielles et des conclusions de la région d'étude dans le courant de ce mémoire. Au terme de ce travail, nous pouvons établir le bilan suivant :

Le bassin versant El Mers est un sous bassin du bassin versant Haut Sebou qui lui se situe à son tour dans la partie haute du grand bassin de Sebou.

L'étude morphométrique nous a permis de caractériser la forme, les altitudes caractéristiques de notre bassin, la superficie et le périmètre ont permis de quantifier des paramètres tels que le coefficient de compacité qui nous à permis de dire que le bassin est de forme allongé.

L'étude climatologique montre que les précipitations recueillies pour le bassin versant El Mers pendant la période 1981-2009 ont une moyenne annuelle de 402.5mm et une moyenne mensuelle et les températures recueillies pendant la période 2003-2012 montre que la température moyenne annuelle est de 17.59°C. La combinaison entre la température et la précipitation a montré que le bassin versant El Mers est soumis à un climat de type semi-aride. Nous avons également dégagé deux saisons distinctes :

Une Saison humide qui s'étend du mois de septembre au mois de mai, avec des pluies plus ou moins importantes et des températures faibles ;

Saison sèche qui s'étend du mois de mai au mois de septembre, où la pluviométrie est relativement faible et les températures étant élevées.

L'étude hydrologique montre qu'il existe un synchronisme entre les débits et les précipitations donc le débit au niveau de la station El Mers est sensible à la variation des précipitations et des apports des affluents en amont du bassin versant El Mers.

5 Références bibliographiques

Abboudi A., (2016): Caractérisation hydrologique, qualitative des eaux de surface et modélisation hydraulique du bassin versant de Guigou amont (bassin versant de Sebou, Maroc), Thèse Doctorat, FST-Fès.

Benaabidate L., (2017) : cours hydrologie et climatologie du professeur, FST-Fès.

Bouadila A., (2015) : Elaboration d'un modèle hydrométéorologique sous les plateformes ATHYS et GR4J, Mémoire de fin d'études FST-Fès.

Musy A., (2005) : cours d'hydrologie générale. Epfl, Suisse.