

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département des sciences et Techniques



N° Ref :.....

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Sciences Hydrauliques

**Comportement hydrologique du bassin
versant de l'Oued Mellah
(Nord-Est Algérien)**

Réalisé par :

- BOUCENECHÉ Ghada
- GRINE Fatima Zohra

Soutenu devant le jury :

Mr. KEBLOUTI M.	M.C.B	CUAB MILA	Président
Mme. CHEBBAH L.	M.A.A	CUAB MILA	Examineur
Mr. BERHAIL S.	M.C.B	CUAB MILA	Promoteur

Année universitaire : 2015/2016

Remerciement

Nous remercions Dieu tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné le courage, la santé, la volonté et la patience de réaliser et de mener à terme ce mémoire.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et notre connaissance au Docteur BERHAIL Sabri pour son encadrement, son soutien, ses précieux conseils et critiques attentives tout au long de notre travail.

Nous voudrions également remercier les membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter, et débattre notre mémoire.

Nos vifs remerciements à tous les amis pour l'aide et l'encouragement pour réaliser ce mémoire et tous les collègues des promotions Master Hydraulique.

Nos sincères remerciements s'adressent également à notre familles, les parents, les frères et les sœurs qui n'ont pas hésité de l'aide et l'encouragement moralement et matériellement jusqu'à la fin de ce mémoire.

Fatima Z. et Ghada

Sommaire

• Remerciements.....	I
• Sommaire.....	II
• Liste des tableaux.....	III
• Liste des figures.....	IV
• Liste des annexes.....	V
• Résumé.....	VI
• Abstract.....	VII
• ملخص.....	VIII
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : REPRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE.	
INTRODUCTION	2
I.1 CADRE GEOGRAPHIQUE	2
I.1.1 Situation géographique	2
I.1.2 Relief	4
I.2 GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED MELLAH	5
I.2.1 Lithologie	5
I.2.2 Analyses stratigraphiques et tectonique	6
I.2.2.1 Stratigraphique.....	6
I.2.2.2 Tectonique	6
I.3 MORHOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED MELLAH.....	7
I.3.1 Caractéristiques physiques du bassin	7
I.3.2 Caractéristiques morphologiques du bassin.....	7
I.3.2.1 Indice de compacité	7
I.3.2.2 Rectangle équivalent.....	8
I.3.2.3 Courbe hypsométrique du bassin versant	9
I.3.2.4 Indice de pentes.....	10
I.3.2.5 Dénivelée spécifique.....	11
I.3.2.6 Temps de consoutration.....	11
I.3.2.7 vitesse de ruissellement.....	12
I.4 HYDRO-CLIMATOLOGIE	12
I.4.1 Caractéristiques hydrologiques	12
I.4.1.1 Précipitation	12
I.4.1.2 Température	13
I.4.1.3 Climat.....	14
I.4.1.4 Diagramme Ombrothermique	15
I.4.2 Bilan hydrique	16
I.4.2.1 Evapotranspiration	16
- Evapotranspiration potentielle	17
- Evapotranspiration réelle	17
I.4.2.2 Ruissellement	20
I.4.2.3 Infiltration	21
I.4.4 Vents	22
I.4.5 Couvert végétal.....	22

CONCLUSION	24
CHAPITRE II : REGIME PLUVIOLETRIQUE DU BASSIN VERSNT	
II.1 CRITIQUE DES DONNEES	25
II.2 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES HYDRO-PLUVIOMETRIQUE	25
II.2.1 Station de bassin de l'Oued Mellah	25
II.2.2 Précipitations moyennes annuelles	26
- Méthode arithmétique	26
II.2.3 Coefficient pluviométrique	27
II.2.4 Précipitations moyennes saisonnières	29
II.2.5 Précipitations moyennes mensuelles	30
CONCLUSION	33
CHAPITRE III : REGIME FLUVIALE DU BASSIN VERSANT D'OUED MELLAH	
INTRODUCTION	34
III.1 VARIATION ANNUELLE DE DEBITS	34
III.2 VARIATION SAISONIERE DE DEBITS	35
III.3 VARIATION MENSUELLE DE DEBITS	36
III.3.1 Coefficient de variation mensuel	36
III.3.2 Coefficient moyen des débits	38
III.4 COURBE DES DEBITS CLASSES.....	39
III.4.1 Les débits d'étiage issus de la courbe des débits classés (1976-2007).....	39
CONCLUSION	41
CHAPITRE IV : CORRELATION PLUIE-DEBIT	
IV.1 CORRELATION ENTRE LES PRECIPITATIONS ET LES DEBITS	42
IV.1.1 Corrélation entre les précipitations et les débits moyens annuels	43
IV.1.2 Corrélation entre les précipitations et les débits moyens mensuels	43
IV.1.3 Corrélation entre les précipitations et les débits moyens saisonniers.....	44
IV.2 VARIATION COMPARATIVE DES PRECIPITATIONS ET DES DEBITS	45
CONCLUSION	46
CHAPITRE V :BILANS PARTICULIERS	
INTRODUCTION	47
V.1 BILAN MOYEN ANNUEL DE L'ECOULEMENT	47
V.2 LAME D'EAU ECOULEE.....	48
V.3 DEFICIT D'ECOULEMENT.....	48
V.4 COEFFICIENT D'ECOULEMENT.....	50
CONCLUSION.....	52
CONCLUSION GENERALE.....	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIE.....	55
ANNEXE.....	56

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristiques morphométriques de bassin versant de l'Oued Mellah . . .	10
Tableau 02 : Classification de l'ORSTOM pour différents reliefs.....	11
Tableau 03 : Précipitation moyennes mensuelles à la station de Bouchegouf (1985-2006).....	13
Tableau 04 : Températures moyennes mensuelles de la station de Bouchegouf (1985-2006).....	13
Tableau 05 : Indice mensuel d'aridité	15
Tableau 06 : Résultat de l'ETR par la méthode de Turc	18
Tableau 07 : Vérification de la condition $1/8\lambda < P (m) < 1/2\lambda$	18
Tableau 08 : Résultat de l'ETR par la méthode de Coutagne	18
Tableau 09 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Bouchegouf	19
Tableau 10 : Résultats du ruissellement	21
Tableau 11 : Résultats de l'infiltration	22
Tableau 12 : Estimation de taux d'infiltration.....	22
Tableau 13 : Les coordonnées Lambert de la station de Bouchegouf.....	25
Tableau 14 : Répartitions des précipitations moyennes annuelles de la station Bouchegouf	26
Tableau 15 : Evolution du coefficient pluviométrique (1974-2009).....	28
Tableau 16 : Précipitations saisonnières (1974-2009)	29
Tableau 17 : L'écart type et le coefficient de variation des pluies mensuelles.....	32
Tableau 18 : Débits moyens saisonniers (1976-2007)	35
Tableau 19 : L'écart type et le coefficient de variation des débits mensuels	37
Tableau 20 : Le coefficient moyen des débits (1976-2007).....	38
Tableau 21 : Fréquence de débits journaliers de l'Oued Mellah.....	41
Tableau 22 : Débits caractéristiques de l'Oued Mellah	41
Tableau 23 : Bilan moyen annuel de l'écoulement.....	47
Tableau 24 : Résultat de calcul du bilan annuel de l'écoulement (1976-2007).....	51

Liste des figures

Figure 01 : Situation géographique du bassin versant de l'Oued Mellah.....	2
Figure 02 : Carte du réseau hydrographique de l'Oued Mellah.....	4
Figure 03 : Carte du relief du bassin versant de l'Oued Mellah.....	4
Figure 04 : Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Mellah.....	5
Figure 05 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mellah.....	9
Figure 06 : Variations des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Boucheouf (1985-2006).....	13
Figure 07 : Variations des températures moyennes mensuelles pour la station de Boucheouf (1985-2006).....	14
Figure 08 : Diagramme Ombrothermique (1985-2006).....	16
Figure 09 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques.....	20
Figure 10 : Bilan de l'eau de C.W Thornthwaite de la station de Boucheouf.....	20
Figure 11 : Carte du couvert végétal de l'Oued Mellah.....	23
Figure 12 : Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Boucheouf (1974-2009).....	27
Figure 13 : Les variations des coefficients pluviométriques à la station de Boucheouf (1974-2009).....	29
Figure 14 : Histogramme des précipitations moyennes saisonnières interannuelles de la station de Boucheouf (1974-2009).....	30
Figure 15 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles interannuelles de la station de Boucheouf (1974-2009).....	30
Figure 16 : Coefficient de variation des pluies mensuelles.....	32
Figure 17 : Débits moyens annuels de la station de Boucheouf (1976-2007).....	34
Figure 18 : Débit moyen saisonnière de la station de Boucheouf (1976-2007).....	35
Figure 19 : Débits mensuels interannuels de la station de Boucheouf (1976-2007).....	36
Figure 20 : Variation annuelle du coefficient de variation mensuel de la station de Boucheouf.....	37
Figure 21 : Evolution des coefficients des débits moyens de l'Oued Mellah (1985-2006).....	39
Figure 22 : Courbe des débits classés à Oued Mellah (1976-2007).....	40
Figure 23 : Corrélation entre les précipitations annuelles et les débits annuels (1976-2007)	43
Figure 24 : Corrélation entre les précipitations mensuelles et les débits mensuels (1976- 2007).....	44
Figure 25 : Corrélation entre les précipitations saisonnières et les débits saisonniers (1976 -2007).....	44
Figure 26 : Variations comparatives des précipitations mensuelles et des débits mensuels	47
Figure 27 : Corrélation entre les précipitations annuelles et les déficits d'écoulements annuels.....	49
Figure 28 : Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulements.....	50

Liste des annexes

Annexe 1 : Les précipitations moyennes mensuelles de la station de Bouchegouf (1974-2009).....	56
Annexe 2 : Les précipitations moyennes annuelles de la station de Bouchegouf (1974-2009).....	56
Annexe 3 : Les débits moyens mensuelles de la station de Bouchegouf (1976-2007) ...	57
Annexe 4 : Les débits moyens annuels de la station de Bouchegouf (1976-2007)	57
Annexe 5 : Les précipitations de la station de Bouchegouf (1974-2009).....	58
Annexe 6 : Les débits de la station de Bouchegouf (1974-2009).	59

Résumé :

L'eau est une matière première de grande importance pour la survie des êtres humains et de leur environnement. L'augmentation de la population et la diversification des besoins sollicitent de plus en plus cette ressource, ce qui mené a des pénuries quantitatives et qualitatives.

Cependant, grand nombre de ces pénuries pourraient être évitées par une gestion optimisée de l'eau, et à titre d'exemple, l'Algérie a connu ces dernières décennies de grands problèmes liées à des aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eaux dues essentiellement à la traditionnelle gestion sectorielle qui gère les différents besoins indépendamment, donnant une trop grands importance aux aspects économiques de l'eau « ressource » et négligeant le milieu « aquatique ».

Le concept de gestion intégrée et patrimoniale est très promoteur. Il tient compte de l'ensemble des spécificités de l'eau « ressource » et de l'eau « milieu », des interactions existant entre les différents besoins et veut que l'eau soit considérée comme un patrimoine de grande valeur que l'on veut transmettre aux générations futures.

La gestion durable de l'eau passe par la réalisation de la gestion intégrée et patrimoniale. Pour ce concept de la gestion intégrée de la ressource, une meilleur connaissance du système « eau » est nécessaire.

Les données collectées doivent pouvoir être gérées, modifiées, adaptées, puis analysées sous forme de cartes pour faciliter la compréhension et la communication.

Ce mémoire présente d'abord un modelé de la gestion intégrée des ressources dans le bassin versant de l'Oued Mellah d'une manière générale et leur large champ d'application.

Mot clés : la Gestion de l'eau, ressource en eau, pluies, débits liquides, Oued Mellah.

Abstract:

Water is a material of a great importance for the survival of human beings and their environment. The increase in population and the diversification of needs solicit increasingly this resource, which has conducted to quantitative and qualitative shortages.

However, many of these shortages could be avoided by an optimized water management, and for example, Algeria has in recent decades a major problems related to quantity and quality of resources in waters mainly due to traditional sectorial management that manages the different needs independently, giving a too great importance to economic aspects of water «resource» and neglecting the environment «aquatic».

The concept of integrated and patrimonial management is very developer. It takes into account all the specifics of water «resource» and water «environment», the interactions between the different needs and wants that water be considered as heritage of a great value that we want to transmit to future generations.

Sustainable water management comes through the implementation of integrated and patrimonial management. For this concept of integrated management of the resource, a better understanding of «water» system is needed.

The data collected should be managed, modified, adapted and analyzed in a card form to facilitate understanding and communication.

This thesis present first a model of the integrated management of resources in the watershed of Oued Mellah in main manner and its wide field of application.

Key words : water management, water resources, rainfall, water debits, Oued Mellah.

ملخص :

الماء هو مادة أولية لما له من أهمية كبيرة في بقاء البشر و محيطهم. إن إرتفاع نسبة السكان و الاحتياجات المختلفة، تتطلب أكثر فأكثر لهذه المادة مما أدى إلى نقص في كميتها و نوعيتها.

لكن عدد كبير من النفاصل نستطيع أن نتفادها بالتحكم الجيد في الماء، فعلى سبيل المثال الجزائر عرفت في الآونة الأخيرة مشاكل كبيرة متعلقة بالمظهر الكمي والنوعي للموارد المائية، و هذا راجع إلى سبب رئيسي و هو عادات التسيير القطاعي الذي يسير الاحتياجات بصفة مستقلة. التي تعطي أهمية كبيرة للمظهر الإقتصادي للماء « مورد» و عدم الأخذ بالإعتبار الوسط « المائي ».

مفهوم التسيير المندمج المتكامل يكون مطور جيدا. يأخذ بعين الإعتبار جميع خصوصيات الماء « مورد » و الماء « وسط » التداخل الموجود بين الإحتياجات المختلفة، فلهذا يعتبر الماء موروث له أهمية كبيرة، لتسليمه للأجيال القادمة.

التسيير المستدام للماء يمر عبر التسيير المندمج المتكامل. لهذا فإن فهم التسيير المندمج للموارد المائية و معرفة جيدة للنظام « الماء » ضروري.

إن المعطيات المجموعة يجب أن تكون مسيرة، متغيرة، متكيفة، و بعدها تحلل هذه المعطيات على شكل خريطة لتسهيل الفهم و الاتصال.

هذه المذكرة هي أولا نموذج للتسيير المندمج لموارد الحوض المائي لواد ملاح، بصفة عامة و على نطاق واسع.

كلمات مفتاحية :

تدفق المياه، وادي ملاح، إدارة المياه ، الأمطار، الموارد المائية.

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

L'Oued Mellah draine un bassin versant de 550 km². Cependant, le sous équipement du réseau météorologique, hydrométrique et l'absence de longues séries d'observation n'ont pas rendu possible l'approfondissement de l'étude de certains phénomènes hydrologiques.

Toute fois avec des mesures disponibles, il est possible de dégager les grands traits fondamentaux de l'écoulement et de procéder à une estimation des ressources en eau.

L'étude de l'Oued Mellah sera articulée autour des deux parties essentielles :

La première partie tente de définir le comportement de l'Oued, et de préciser les différents facteurs du régime : la lithologie, la végétation, le climat.... Interfèrent dans la genèse de l'écoulement, c'est pourquoi, nous avons réservé une grande place dans notre étude.

En ce qui concerne l'étude hydrologique proprement dite, qui constitue la seconde partie de notre travail, nous nous sommes fondés sur le traitement statistique des données hydrométriques. Il est important donc d'examiner les débits de la station jaugeage.

Par ailleurs, nous avons insisté sur la grande irrégularité de l'écoulement annuelle et du régime saisonnier de l'Oued Mellah.

Ainsi le but de notre travail est de caractériser la nature hydrologique du bassin versant de l'Oued Mellah. Pour cela nous avons suivi les méthodes d'investigations suivantes :

- La géologie, nous permet de situer les grands ensembles morpho-structuraux et leurs type de formations géologiques ainsi que la nature des matériaux.
- L'analyse morphométrique et hydrologique du bassin versant de l'Oued Mellah. Afin de caractériser les types de relief. L'étude de l'écoulement de surface des oueds pour pouvoir caractériser les types d'écoulement reconnaître les apports en eaux de surface et leurs influences.
- L'hydro climatologie en eaux de surface et leurs influences climatiques sur le bassin de l'Oued Mellah et la caractérisation du régime des précipitations en tant que source principale des apports en eaux.

Chapitre I

REPRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE

Introduction :

L'objectif de ce premier chapitre est de connaître le site, le relief, le climat et la structure spécifique du bassin versant de l'oued Mellah. A cet effet, nous avons divisé ce chapitre en quatre parties : la première décrit la géographie alors que la seconde et la troisième traitent successivement la géologie et la morphologie du bassin versant de l'oued Mellah, et la dernière partie sera consacrée à l'hydroclimatologie.

I.1 Cadre géographique :

I.1.1 Situation Géographique :

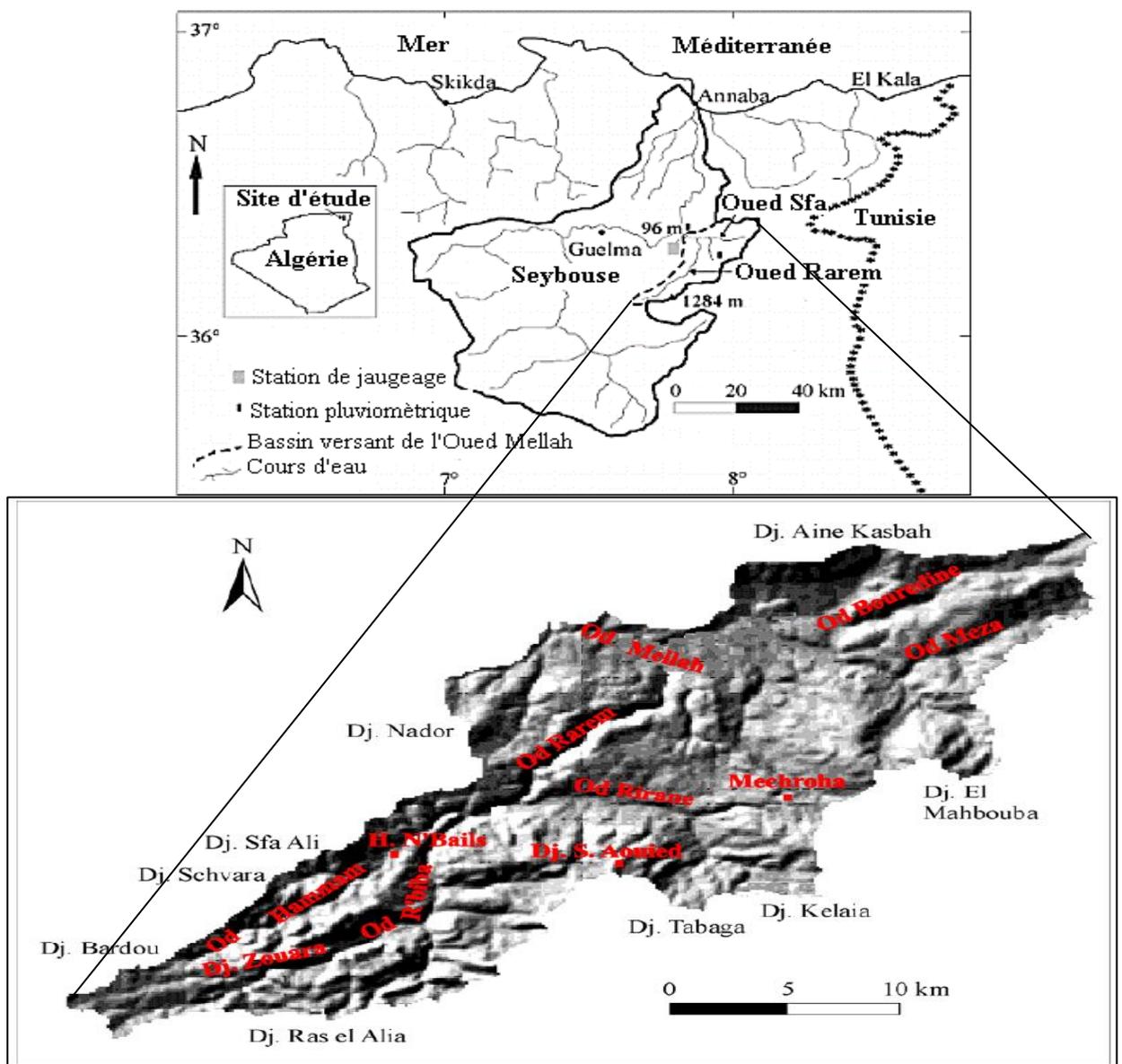


Figure 01: Situation géographique du bassin versant de l'Oued Mellah. [1]

Le bassin versant de l'Oued Mellah fait partie de l'ensemble du grand bassin versant de l'Oued Seybouse. Il se dessine entre les latitudes 36° 07' et 36° 23' Nord et longitudes 7° 40' et 8° 04' Est. En outre, le bassin de l'Oued Mellah est limité :

- Au nord par la daïra de Bouchegouf et au Nord-Ouest par Djebel Nadour.
- Au Sud par la daïra de Sedrata et au Sud-Est par la wilaya de Souk Ahras.
- A l'Est par Bouhadjar et à l'Ouest par la commune de ben Smih.

Le bassin contrôlé par la station hydrométrique de Bouchegouf se situe à l'Est de la moyenne Seybouse et occupe une superficie de 550 km². Il est en forme allongée d'une orientation Sud-Ouest – Nord-Est et une topographie très hétérogène. Le cours d'eau principal de l'Oued Mellah est formé de la réunion de l'Oued Sfa et de l'Oued Ranem. Ce dernier présente dans son cours supérieur une direction Sud-Ouest – Nord-Est qui lui est imposé par le bombement triasique qu'il traverse au Djebel Nador et par le changement d'orientation des axes des plis. L'Oued Mellah est formé de la confluence des oueds Sekaka et Rirane qui traversent une région très accidentée aux versants fortement escarpés. L'Oued Sekaka est naît de la jonction de l'Oued R'biba et de l'Oued Hammam qui draine les eaux de la région de Douar Aine Ketone. Le chevelu de l'Oued R'biba prend sa source d'une multitude de djebels et kefs aux sommets aigus, qui représentent pour la plupart la ligne de crêtes du bassin de l'Oued Mellah. Au sud-ouest, il y a Djebel Bardou (1261m), au Sud et Sud-Est apparaissent djebels Ras el Alia (1317m), El Azega (1100m), Tabaga (1227m) et Djebel Safiat el Aouied (1151m). Quant à l'Oued Hammam, d'une orientation Sud-Ouest - Nord-Est, ces drains sont naît de Djebel Schvara (864 m) situé au Nord-Ouest et des djebels Zouara (1292m), Bou Aichoun (1102m) et Besbessa (963m) positionnés au sud-est du bassin. [1]

L'Oued Rirane et ses affluents, suivant une direction Sud-Est - Nord-Ouest, traversent un ensemble de reliefs montagneux fortement cerné par les ravines. Ces massifs qui forment une partie de la limite Sud du bassin, se définissent essentiellement par Djebel El Koutz (1031m), Kef Djaffara (1054m), Djebel Safiet el Aouied (1151m) et Djebel Kelaia (1284m). A l'opposé de l'Oued Ranem, on distingue l'Oued Sfa et ses principaux affluents marqués par les Oueds Aouassia, Meza et Bouredine. La réunion de ces deux derniers forment l'Oued Sfa, d'une orientation Est - Ouest. Entre autres, les affluents de cet oued sont entaillés dans des chaînons au relief modéré et au couvert végétal plus au moins dégradé, parmi lesquels on distingue du Nord au Nord-Est Djebel Aine Kasbah (798 m), Ras Bab el Kef (795m) et Kef er Remoul (797m). En outre, s'étendant le long de la limite Sud, Sud-Est et est, les monts de Melaab (1093m), El Mahbouba (1262m) et Regzoune (1148m) se caractérisent par des volumes aérés de moindre importance introduits par des chevelus moins denses issus des oueds Meza et Aouassia. [1]

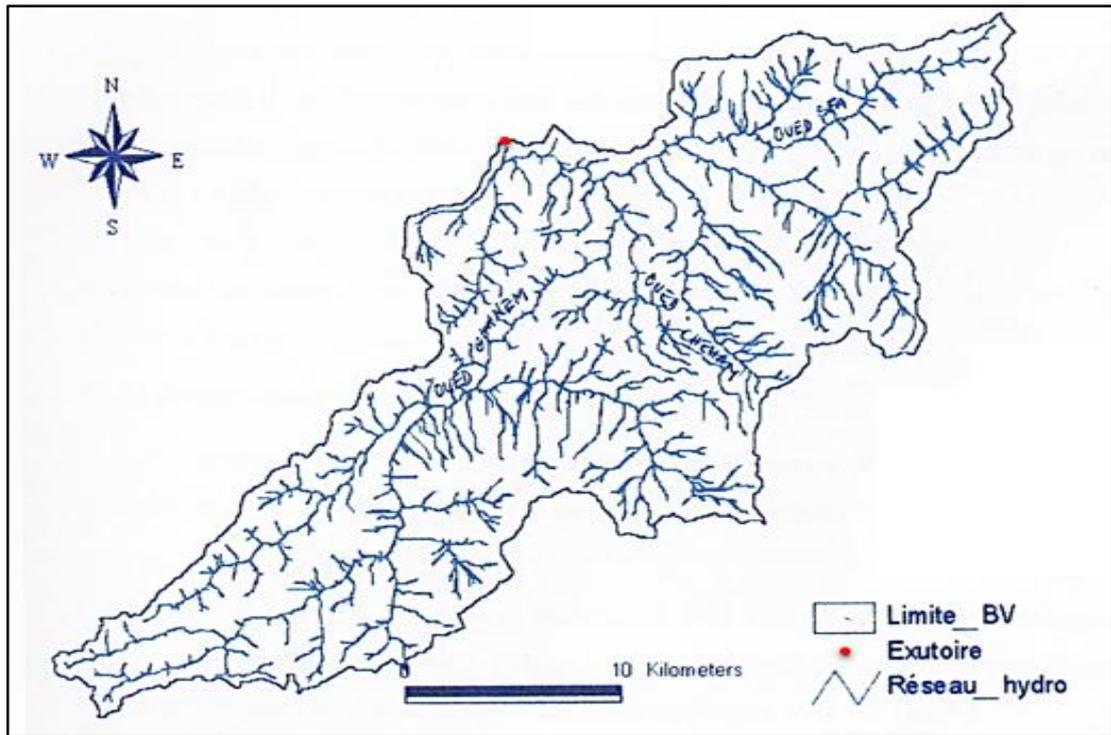


Figure 02 : Carte du réseau hydrographique de l'Oued Mellah. [1]

I.1.2 Relief:

Le bassin versant de l'Oued Mellah est grossièrement dominé par un relief accidenté qui a subi des encaissements plus ou moins profonds. Les altitudes varient entre 95 m et 1317 m.

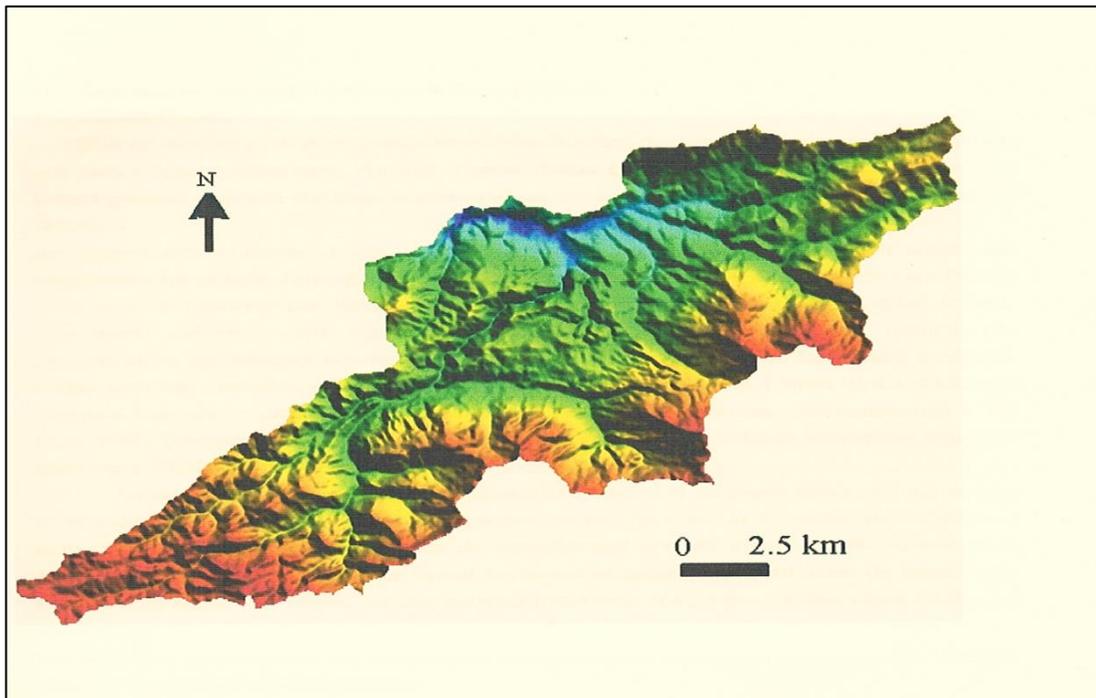


Figure 03 : Carte du relief du bassin versant de l'Oued Mellah. [1]

I.2 Géologie du bassin versant de l'Oued Mellah :

I.2.1 La lithologie :

Elle est dominée par trois grands ensembles lithologiques qui ne correspondent pas toujours aux zones hydrogéologiques, au Sud, l'Oued Rbiba qui devient l'Oued Sekaka en aval et l'Oued Ghirane, drainent des bassins versants constitués de calcaire hyprésiens et de marnes et marno-calcaires.

Au contact des calcaires et des assises marneuses, une réserve aquifère s'est constituée, comportant un niveau d'émergence à leur base. Ces formations se poursuivent vers l'est de sorte qu'il est probable que les eaux d'infiltration des calcaires hyprésiens du djbel kebaia. Ces bancs calcaires sont suffisamment importants et perméables pour assurer une régularisation des niveaux aquifères en débit de leur forte fissuration. Le secteur amont du Mellah peut être considéré comme un « château d'eau » de la région. L'Oued Rbiba et Ghirane prennent leurs sources dans cette zone. Les débits pérennes sont estimés respectivement à 300l/s et 150l/s , c'est à partir de ces mêmes formations aquifères que l'Oued Medjerda prend sa source.

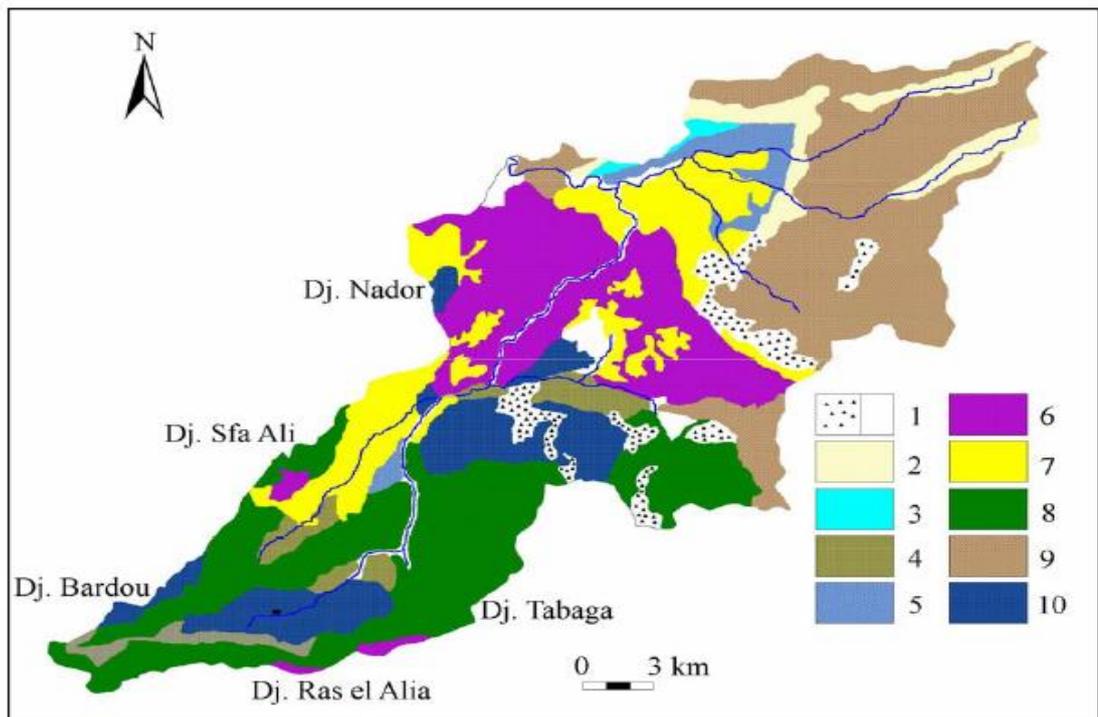


Figure 04 : Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Mellah. [1]

- 1- formation superficielles (éboulis de pentes : triangles, alluvions : teinte blanche).
- 2- argile sous-numidiennes (oligocène).
- 3- Marnes (barrémien).
- 4- Argiles gréseuses et conglomératiques (miocène).

- 5- Marno-calcaires (crétacé).
- 6- L'ensemble triasique (argiles à gypse, marnes et calcaires).
- 7- Conglomérats (Moi-pliocène).
- 8- Calcaire et marnes (sénomien supérieur).
- 9- Grès numidiens (oligocène).
- 10- Calcaires (crétacé).

Au centre, le trias domaine, il est constitué d'argiles et de gypse broyé, il joue un rôle fondamental par son extension et sa forte teneur en sel. En effet, la fréquence de cet élément dont l'incidence sur la qualité des eaux de ruissellement et d'infiltration est très néfaste et ne permet pas l'utilisation de l'eau de l'Oued Seybouse en saison sèche, au cours de laquelle les besoins sont accrus. La région est peu perméable seule la source de Ghaabet Oued Cheham à un débit appréciable.

Les alluvions des terrasses de Bouchegouf semblent plus argileuses que celles de Guelma. Elles sont moyennement perméables.

Les colluvions se trouvent surtout au pied des massifs calcaireux et gréseux au même au pied des calcaires marneux. Ils sont le résultat de l'altération mécanique des roches ou le produit sera déplacé vers le bas sous l'effet de la gravitation, mais parfois transporté par des mouvements de masse et de ruissellement de surface.

I.2.2 Analyses stratigraphiques et tectoniques :

La région d'étude présente de grands plissements d'orientation Sud-Ouest Nord-Est avec des zones d'effondrements de la structure synclinale et anticlinale. Ce bassin est constitué essentiellement du Trias, Crétacé, et du Miocène. Les calcaires de l'Aptien sont frappés par une tectonique bouleversante due probablement au diapirisme triasique. Les mouvements du Tertiaire ont façonné de relief du Tell.

I.2.2.1 Stratigraphie :

Les formations du Trias forment dans le bassin une série d'affleurement qui comprend des marnes, des argiles, du gypse et des dolomies présentées sous forme de bancs disloqués.

Le crétacé est presque identique dans le bassin versant de l'Oued Mellah. Le crétacé inférieur est marqué par l'aptien et le vraconien qui englobe les marnes gréseuses sont d'âge albien. En outre, les faciès du cénomaniens appartenant au crétacé supérieur montrent une sédimentation à dominance marneuse.

I.2.2.2 Tectonique :

Les grands plissements en zones d'effondrement sont des déformations produites à la phase eocène-miocène supérieure par le glissement des nappes telliennes. [2]

Ceci est surtout le résultat d'une tectonique de compression durant la phase alpine, d'une tectonique de distorsion pendant la phase miocène et enfin par le diapirisme du Trias.

I.3 Morphologie du bassin versant de l'Oued Mellah :

Le bassin versant fonctionne comme un collecteur de précipitations qui vont se transformer en plusieurs types d'écoulements tout dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morpho métriques (forme, relief, altitude, pente, réseau de drainage...etc.) et la nature du sol ainsi que le couvert végétal. Les caractéristiques qui interviennent de façon combinée pour expliquer les modalités de l'écoulement, s'approprient à une analyse quantitative.

I.3.1 Caractéristiques physiques du bassin :

Le bassin versant est un objet complexe dont l'ensemble des caractéristiques (géométriques, géologiques, physiographiques, humaines, etc.) joueront un rôle non seulement dans la réponse hydrologique du bassin (régime des écoulements) mais aussi, en amont et pour certains d'entre elles (altitude), directement dans le processus de formation de la pluie. Il faut noter l'existence, à la surface du bassin versant, d'un système longitudinal, le réseau de drainage ou hydrographique, défini comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels.

Permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Ce réseau est plus ou moins développé selon différents facteurs (géologie, climat, pente du terrain, etc.) il ne manque pas dans la littérature scientifique de paramètres quantifiés destinés à mesurer telle ou telle caractéristique des bassins versants. Ces facteurs d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment à aisément à partir de carte topographique ou en recourant à un modèle numérique de terrain.

I.3.2 Caractéristiques morpho-métriques du bassin :

Pour mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Mellah, il est impératif de connaître ces caractéristiques morpho métriques (forme, relief, altitude, pente, densité de drainage) qui expliquent le cycle de transformation des pluies en écoulements et s'approprient à une analyse quantifiée.

➤ **La surface du bassin versant :**

La surface du bassin égale à 550 km² environ.

➤ **Le périmètre du bassin versant :**

Le périmètre du bassin versant estimé à 120 km.

I.3.2.1 Indice de compacité :

La forme du bassin versant qui influe sur l'écoulement globale et l'allure de l'hydrogramme des pluies est exprimée par l'indice ou le coefficient de compacité.

De Gravellus donné par la formule suivante :

$$C = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec :

C : Indice de compacité.

P : Périmètre du bassin versant (km).

S : Superficie du bassin versant (km²).

Ce coefficient est égal 1 lorsque le bassin versant est parfaitement circulaire. Il est égal à 1.12 dans le cas d'un bassin versant carré, et il peut atteindre la valeur 3 pour des bassins versants allongés.

Dans notre cas C=1.43 donc le bassin versant de l'Oued Mellah caractérise par la forme allongée. Cette valeur favorise de temps de concentration d'eau de ruissellement.

I.3.2.2 Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est défini comme étant le rectangle de longueur (L) et de largeur (B) qui a la même surface (S) même périmètre (P), même indice de compacité (C) et même hypsométrie que le bassin versant étudié.

Ce paramètre facilite la comparaison entre les bassins versants du point de vue de leur influence sur l'écoulement.

$$L = \frac{C \cdot \sqrt{S}}{1.128} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

Avec :

C : indice de compacité.

S : Superficie du bassin versant (km²).

L : longueur du rectangle équivalent en km.

On obtient :

$$L = 48 \text{ km.}$$

La largeur du rectangle "B" est déterminée en fonction de la surface du bassin versant "S" et la longueur du rectangle "L" :

$$B = \frac{C \cdot \sqrt{S}}{1.128} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

On obtient :

$$B = 11.46 \text{ Km.}$$

I.3.2.3 Carte hypsométrique du bassin versant:

L'influence du relief sur l'écoulement de surface est chose évident il est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin.

Les courbes hypsométrique est une caractéristique topographique du bassin versant. Elle exprime la répartition de la surface totale en fonction des altitudes.

Les courbes hypsométrique est considérée comme une sorte de profil du bassin et sa pente moyenne en m/km^2 .

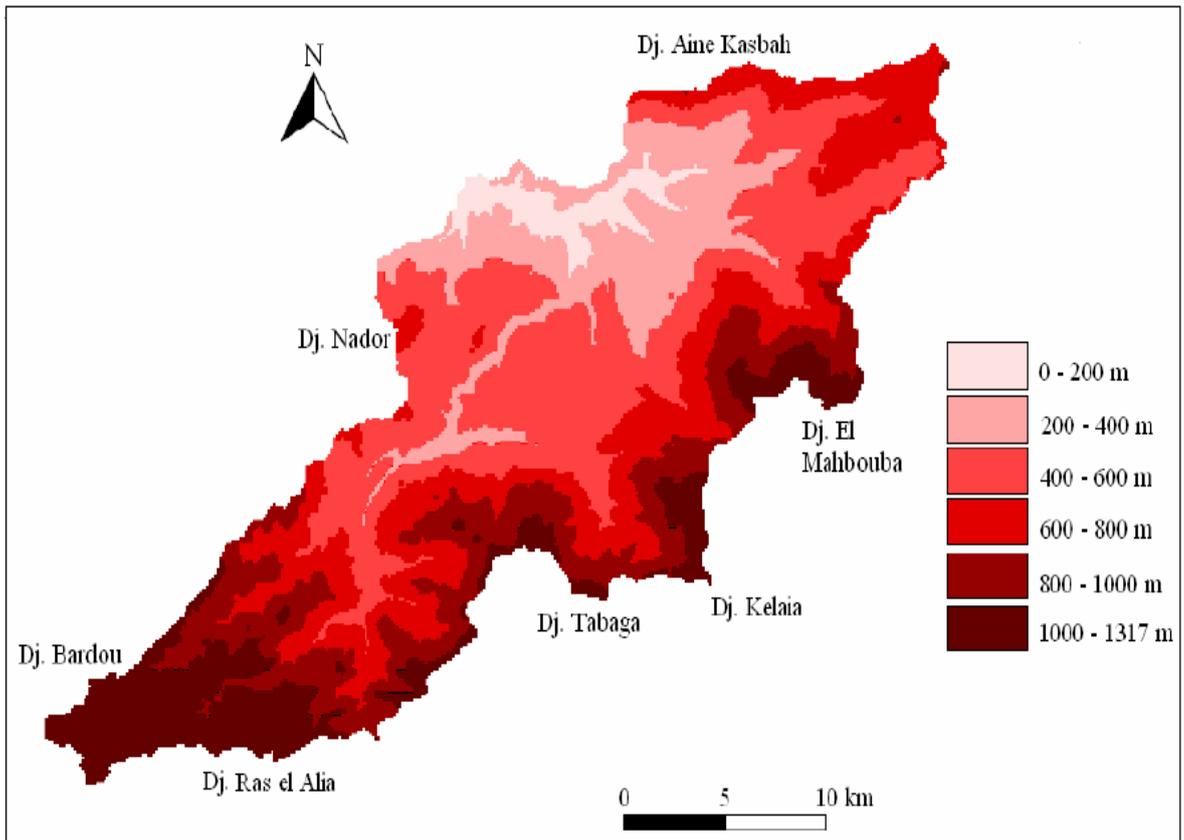


Tableau 1:Caractéristiques morphométriques de bassin versant de l'Oued Mellah [3]

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Surface	S	550	Km ²
Périmètre	P	120	Km
Indice de compacité	C	1.43	-
Altitude minimale	H _{min}	95	M
Altitude maximale	H _{max}	1317	M
Altitude moyenne	H _{moy}	641	M
Altitude à 5% de la surface	H _{5%}	1118	M
Altitude à 95% de la surface	H _{95%}	295	M
Indice de pente de roche	Ip	0.15	-
Longueur du thalweg principal	L _{Oued}	53	Km
Densité de drainage	Dd	4	Km/km ²
Coefficient de torrentialité	Ct	25.2	-

1.3.2.4 Indice de pentes :

La détermination de la pente topographique permet la comparaison et la classification d'un bassin versant. Ces indices de la pente sont calculés à partir de la connaissance et de la répartition hypsométrique.

- **Indice de pente globale :**

Il est défini comme étant le rapport de la dénivelé simple et de la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = \frac{D}{L}$$

I_g : Indice de pente globale en m/km.

D : dénivelé simple séparant les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin.

L : longueur du rectangle équivalent en km.

Ce qui donne : I_g = 17.15 m/km.

- **Indice de pente moyenne :**

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Elle ne tient compte pas de la forme de la courbe hypsométrique

H_{max}: altitude maximale du bassin (m).

H_{min}: altitude minimale du bassin (m).

L : longueur du rectangle équivalent en (m).

Ce qui donne : $I_{moy} = 25.45 \text{ m}$

1.3.2.5 Dénivelée spécifique :

La dénivelée spécifique ne dépend que de l'hypsométrie et de la forme du bassin versant.

Elle est estimée à partir de la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

D_s : dénivelée spécifique (m).

I_g : Indice de pente globale (m/km).

$$D_s = 402.20$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer), la dénivelée spécifique du bassin d'Oued Mellah se trouve dans la classe R6, donc on a un relief fort.

Tableau 02 : Classification de l'ORSTOM pour différents reliefs.

Classe	Type de relief	Intervalle de DS
R1	Relief très faible	$D_s < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$D_s > 500 \text{ m}$

1.3.2.6 Temps de concentration :

Le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis l'élément hydrologiquement le plus éloigné (en amont) du bassin versant jusqu'à l'exutoire est appelé temps de concentration du bassin. Pour sa détermination on utilise souvent la formule de GIANDOTTI car elle tient compte des paramètres morphologiques utilisés :

$$T_c = \frac{(1.5L + 4\sqrt{S})}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

S : Surface du bassin versant (km^2).

T_c : Temps de concentration (h).

L : Longueur du cours principal du Thalweg (L=53km).

H_{moy} : altitude moyenne (m).

H_{min} : altitude minimale (m).

Donc : $T_c = 8h 52min$.

I.3.2.7 Vitesse de ruissellement :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Vr = \frac{Lp}{Tc}$$

Lp : Longueur de talweg principale (Km).

Tc : Temps de concentration (h).

D'où : $Vr = 5,98 \text{ Km/h}$.

I.4 Hydro-climatologie :

Toute étude hydrologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro-climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et circulation des eaux de surfaces et souterraines.

Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du bassin versant de l'Oued Mellah, nous essayons d'étudier les facteurs climatiques de cette région. De ce fait, l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan hydrique.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : Les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan.

Cette étude climatique débouchera sur un calcul de bilan en exploitant les données météorologique disponible et utilisant la méthode adaptée à la région.

I.4.1 Caractéristiques hydrologiques :

I.4.1.1 Précipitation :

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux.

Tableau 03 : Précipitation moyennes mensuelles à la station de Bouchegouf (1985-2006).

Mois	Sép	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
P (mm)	28,66	42,85	60,65	64,90	71,19	58,11
Mois	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
P (mm)	56,08	51,49	45,34	11,96	2,65	13,20

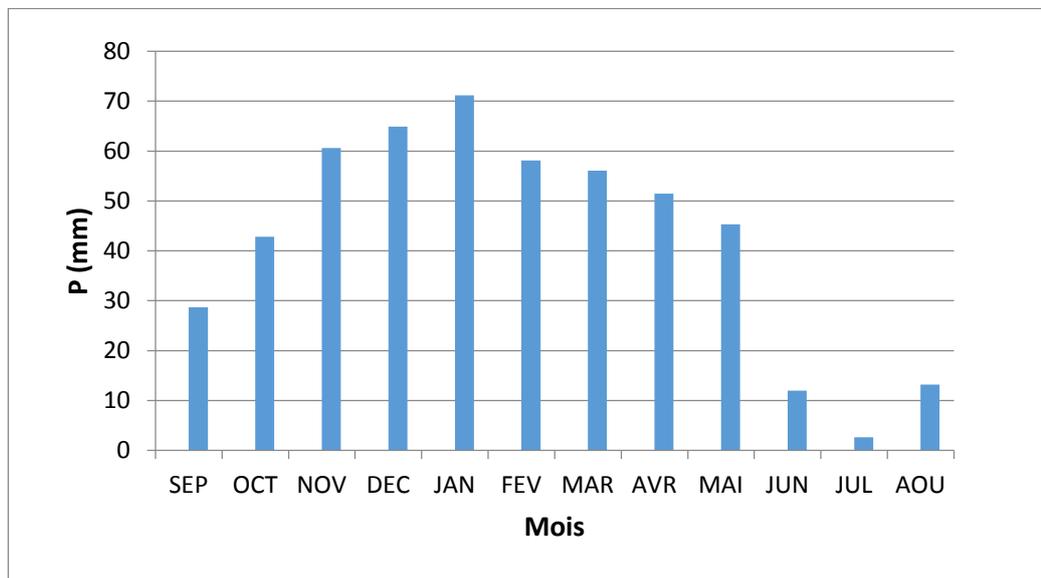


Figure 06 : Variations des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Bouchegouf (1985-2006).

1.4.1.2 Température :

Les températures ont une grande influence sur l'écoulement ainsi que les données relatives à l'évaporation favorisant le déficit d'écoulement. Nous avons eu recours aux données à la station Bouchegouf.

Tableau 04 : Températures moyennes mensuelles de la station de Bouchegouf (1985-2006). [4]

Mois	Sép	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
T (°C)	24.31	20.40	15.04	11.36	10.04	10.70
Mois	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû
T (°C)	12.70	15.10	19.05	23.92	27.16	27.74

Selon le tableau 4, on remarque le mois le plus froid est celui de janvier avec une température moyenne de l'ordre de 10.04 °C, et le mois le plus chaud est celui d'Août avec une température moyenne de 27.74 °C.

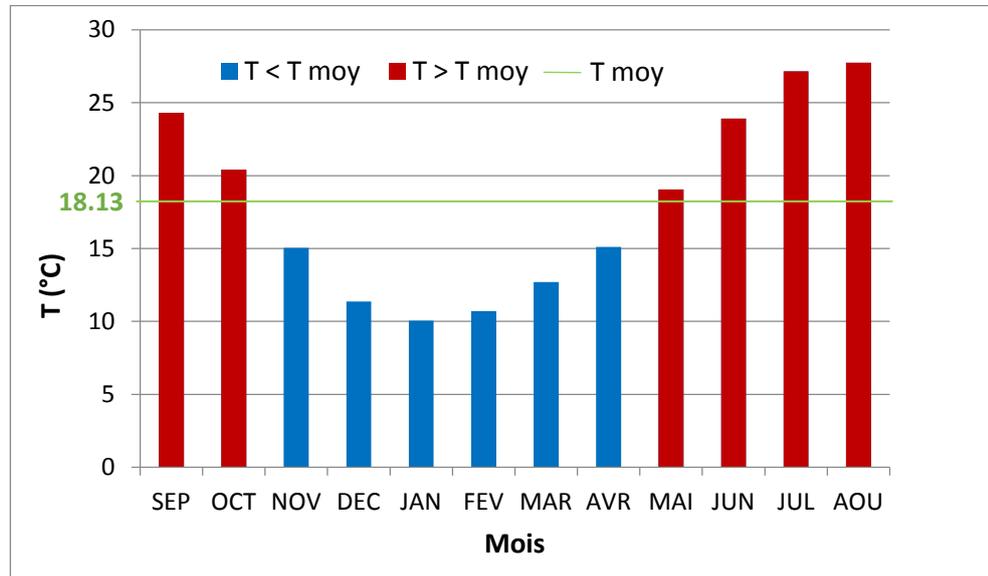


Figure 07 : Variations des températures moyennes mensuelles pour la station de Bouchegouf (1985-2006).

I.4.1.3 Climat :

Joue un rôle capital dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant. En plus des paramètres morphogénique de la connaissance des facteurs hydro climatologiques s'avère indispensable pour mieux comprendre les phénomènes d'écoulement superficiel et par là, le rôle régulateur du bassin versant des divers éléments du bilan hydrologique.

- **L'indice d'aridité annuelle :**

Pour déterminer le type du climat utilisant l'indice d'aridité " I " de Demartone qui donne les caractéristiques du climat régional.

Où :

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

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (C°).

I : Indice d'aridité annuelle.

Selon Demartonne :

$I < 5$: le climat est hyper-aride.

$5 < I < 7.5$: le climat est désertique.

$7.5 < I < 10$: le climat est steppique.

$10 < I < 20$: le climat est semi-aride.

$20 < I < 30$: le climat est tempéré.

$I > 30$: le climat est humide.

La valeur obtenue pour le paramètre I est de 18.02, ce qui implique que le climat de la région est semi-aride pour une température moyenne de 18.13°C et une précipitation de 507.05 mm.

- **L'indice d'aridité mensuel :**

L'indice mensuel (i), donné par la formule :

$$i = \frac{12 P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (C°).

i : Indice d'aridité mensuel.

Tableau 05 : Indice mensuel d'aridité.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV
T (°c)	24.31	20.4	15.04	11.36	10.04	10.70
P (mm)	28.659	42.845	60.65	64.9	71.185	58.114
I	10.023	16.912	29.065	36.460	42.625	33.689
Mois	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
T (°c)	12.7	15.1	19.05	23.92	27.16	27.74
P (mm)	56.077	51.492	45.34	11.957	2.647	13.197
I	29.644	24.617	18.729	4.230	0.854	4.196

Le tableau 5 montre une répartition mensuelle du climat. Les mois de Juin, Juillet et Août présentent un climat hyper-aride. Les mois de Septembre, octobre et mai jouissent d'un climat semi-aride. Les mois de Novembre, Mars et Avril présentent un climat tempéré alors que le climat humide marque le reste des mois de l'année.

I.4.1.4 Diagramme Ombrothermique :

Le Diagramme Ombrothermique est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes.

Le Diagramme Ombrothermique illustré dans la figure 10 fait ressortir deux périodes :

- Une période sèche qui s'étend entre le mois de Juin jusqu'au mois de Septembre.
- Une période humide qui dure huit mois donc du mois de Octobre jusqu'au mois de Mai.

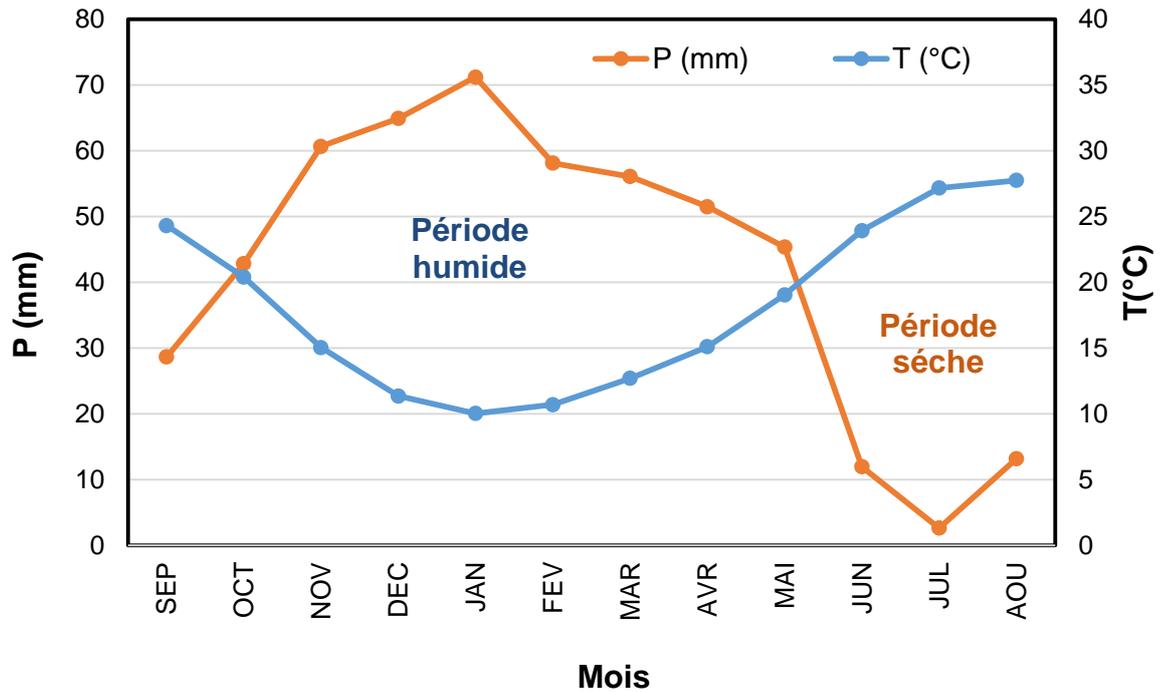


Figure 08 : Diagramme Ombrothermique (1985-2006).

I.4.2 Bilan Hydrique :

Les rapports est perte ainsi que la connaissance des variations des réserves en eau dans la méthode du bilan hydrique s'applique principalement pour établir la relation entre partie, le bilan d'eau est calculé par l'évaluation de l'évapotranspiration. Disposant des C.W THORNTHWAITE basée sur notion de RFU (réserve facilement utilisable).

I.4.2.1 Evapotranspiration:

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul :

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (ET) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) concerne le milieu saturé.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) concerne le milieu non saturé.

❖ **Evapotranspiration potentielle (ETP) :**

L'évapotranspiration potentielle correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de THORNTHWAITE qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle.

• **Méthode de THORNTHWAITE :**

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

$$a = \left(\frac{1.61}{100}\right) I + 0.5$$

$$I = \sum_1^{12} i$$

$$i = \left[\frac{T}{5}\right]^{1.51}$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

T : Température moyenne mensuelle du mois (°C).

I : Indice thermique annuel.

i : Indice thermique mensuel.

K : Coefficient d'ajustement.

❖ **Evapotranspiration réelle (ETR) :**

On appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR), nous avons essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par les Méthodes suivantes :

- Méthode de TURC.
- Méthode de COUTAGNE.
- Méthode de THORNTHWAITE.

• **Méthode de TURC :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

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

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

Tableau 06 : Résultat de l'ETR par la méthode de Turc.

P (mm)	T (°c)	L	ETR (mm)
507.05	18.12	1050.47	476.36

• **Méthode de COUTAGNE :**

$$ETR = P - \lambda P^2$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 T}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (C°).

La formule de COUTAGNE est applicable pour les précipitations moyennes annuelles comprise entre $1/8 \lambda$ et $1/2 \lambda$.

Tableau 07 : Vérification de la condition $1/8 \lambda < P (m) < 1/2 \lambda$.

λ	$1/8 \lambda$	P (m)	$1/2 \lambda$
0.299	0.418	0.507	1.672

Tableau 08 : Résultat de l'ETR par la méthode de Coutagne.

P (mm)	λ	ETR (mm)
507.05	0.299	430.14

- **Méthode de THORNTHWAITE :**

Les résultats de calcul du bilan d'eau par la méthode de THORNTHWAITE au niveau de la station de Bouchegouf sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 09 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Bouchegouf (1985-2006).

Mois	P (mm)	T (°c)	I	K	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU (mm)	EXC (mm)	DA (mm)
SEP	28.65	24,31	10,72	1,03	116.49	28.65	00	00	87.84
OCT	42.84	20,40	8,24	0,97	78.72	42.84	00	00	35.88
NOV	60.65	15,04	5,21	0,86	39.19	39.19	21.46	00	00
DEC	64.90	11,36	3,42	0,81	21.70	21.70	64.66	00	00
JAN	71.18	10,04	2,84	0,87	18.45	18.45	100	17.39	00
FEV	58.11	10,70	3,13	0,85	20.33	20.33	100	37.78	00
MAR	56.07	12,70	4,04	1,03	34.08	34.08	100	21.99	00
AVR	51.49	15,10	5,24	1,10	50.51	50.51	100	0.98	00
MAI	45.34	19,05	7,43	1,21	86.26	45.34	59.08	00	00
JUIN	11.99	23,92	10,46	1,22	133.82	11.95	00	00	62.79
JUIL	2.64	27,16	12,66	1,24	172.98	2.64	00	00	170.34
AOU	13.19	27,74	13,06	1,16	168.43	13.19	00	00	155.24
Annuel	507.05	217,52	86,50	/	940.96	328.87	/	78.14	512.09

- **Interprétation du bilan d'eau de C.W. THORNTHWAITE pour la station de Bouchegouf :**

Le bilan d'eau établi par la méthode de THORNTHWAITE a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (172.98 mm) et son minimum au mois de janvier (18.45 mm). La reconstitution de la RFU s'effectue au mois d'Octobre et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de Janvier jusqu'au mois d'avril, puis elle commencée à être épuisée, vide complètement au mois de juin.

L'écoulement commence après que le RFU (100 mm) soit janvier et se terminer en Avril avec un maximum au mois de Février (37.78 mm) et un minimum au mois d'avril (0.98 mm) l'excédent égal à 78.14mm représentant 15.41 % des précipitations annuelles, alors que l'ETR est de l'ordre de (328.87 mm) présentant 64.86 % des précipitations annuelles.

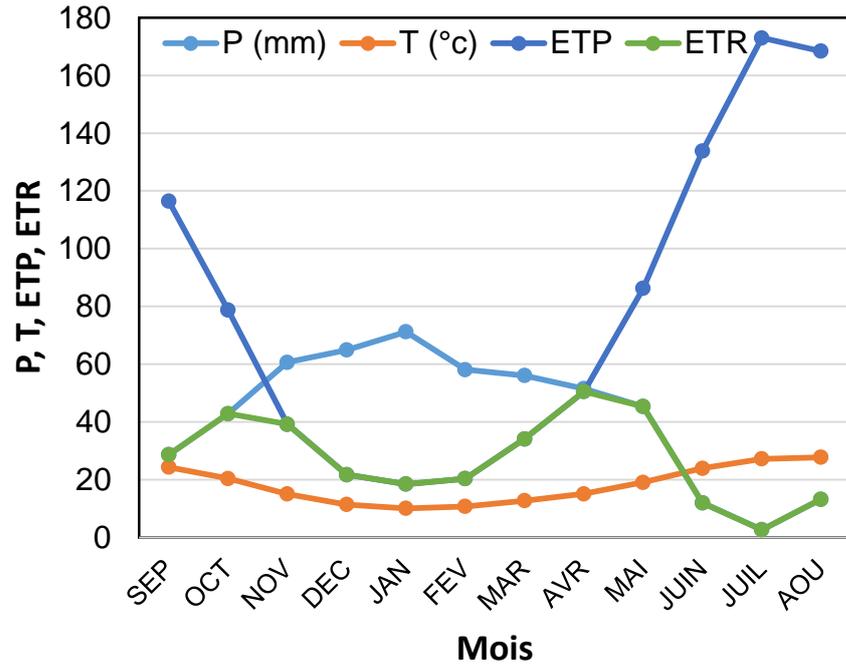


Figure 09 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques

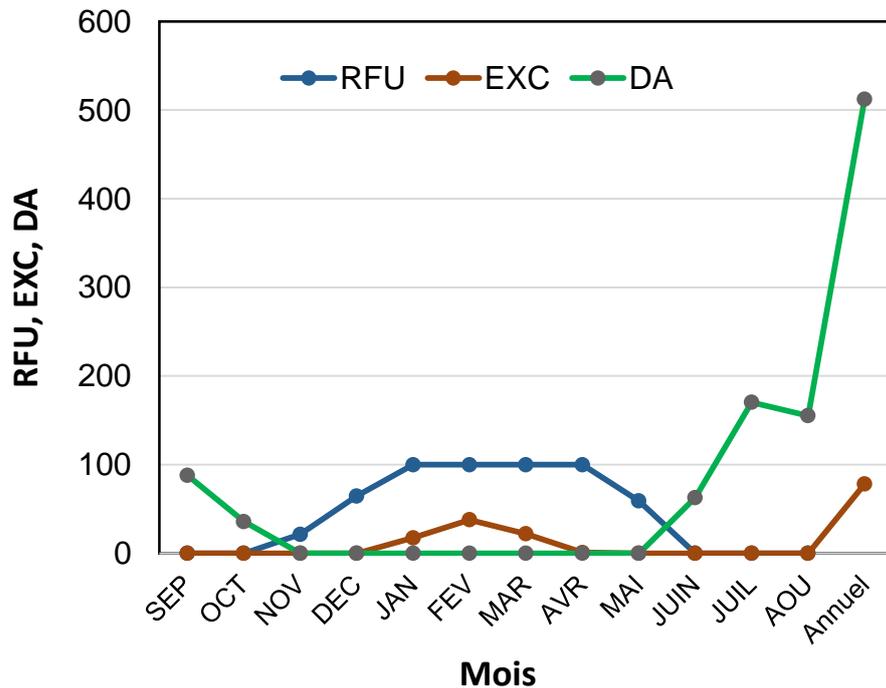


Figure 10 : Bilan de l'eau de C.W THORNTHTWAITE de la station de Bouchegouf.

1.4.2.2 Ruissellement (R) :

Le ruissellement dépend de plusieurs facteurs : nature du sol, pente et végétation, cette dernière a un rôle important dans la diminution du ruissellement. Le coefficient de ruissellement peut être calculé par deux formules :

- Tixeront Berkallof par Romantchouk (1974), pour $P > 600$ mm

$$R = \frac{P^3}{3}$$

- Tixeront Berkallof, pour $P < 600$ mm

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

Avec :

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

$$R (\%) = \frac{R \times 100}{P}$$

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Résultats du ruissellement.

P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
507.05	940.96	49.07	9.67

I.4.2.3 Infiltration (I) :

Pour déterminer l'infiltration on utilise l'équation du bilan hydrologique qui s'écrit :

$$P = ETR + R + I$$

Donc :

$$I = P - ETR - R$$

Avec :

I : Infiltration (mm).

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

Si : $I > 0$ Les entrées sont supérieures aux sorties.

$I < 0$ Les entrées sont inférieures aux sorties.

$$I (\%) = \frac{I \times 100}{P}$$

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Résultats de l'infiltration.

P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)	I (%)
507.05	328.87	49.07	129.11	25.46

- **Taux d'infiltration (τ) :**

$$\tau = \frac{I}{PE}$$

$$PE = P - ETR$$

Avec :

τ : Taux d'infiltration (mm)

PE : Pluie efficace (mm).

I : Infiltration (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

Tableau 12 : Estimation de taux d'infiltration.

P (mm)	ETR (mm)	I (mm)	PE (mm)	τ (mm)
507.05	328.87	129.11	178.18	0.72

I.4.3 Vents :

Les vents dominants qui soufflent sur la région de Bouchegouf sont ceux du Nord. NordO, Sud et Sud-Est, mais les derniers sont les plus dominants.

I.4.4 Couvert végétal :

La végétation est la résultante des facteurs physico-géographique étudiés précédemment : climat, relief, lithologie auxquels s'ajoute le facteur humain (défrichement, mise en culture et reboisement).

Cette dernière protège le sol contre l'érosion par son action mécanique du système acinaire. Elle améliore la capacité d'infiltration des eaux dans le sol, diminue le ruissellement superficiel et apporte au sol de la matière organique, soit naturellement dans une agriculture continue. D'autre part, la présence d'une couverture végétale empêche la pluie de tomber directement sur le sol et diminue, par conséquent l'effet de l'érosion pluviale.

Le couvert végétal se raréfie du Nord au Sud ou prédominant les montagnes. Deux types de domaines existent dans le bassin versant de l'Oued Mellah ; le domaine forestier et le domaine agricole.

I.4.4.1 Domaine forestier :

Un regroupe tous les terrains occupés par la végétation naturelle, il représente 82,19% de la superficie totale du bassin versant, ce domaine regroupe deux type de couvert végétal.

❖ Le maquis :

Les terrains occupés par les formations frutescentes ne dépassant pas en général 3 mètre de haut. Elle se présente généralement en couverture végétale uniforme, l'une dense et l'autre dispersée. Il couvre 16.21 % de la superficie du bassin versant.

❖ Les terrains de parcours :

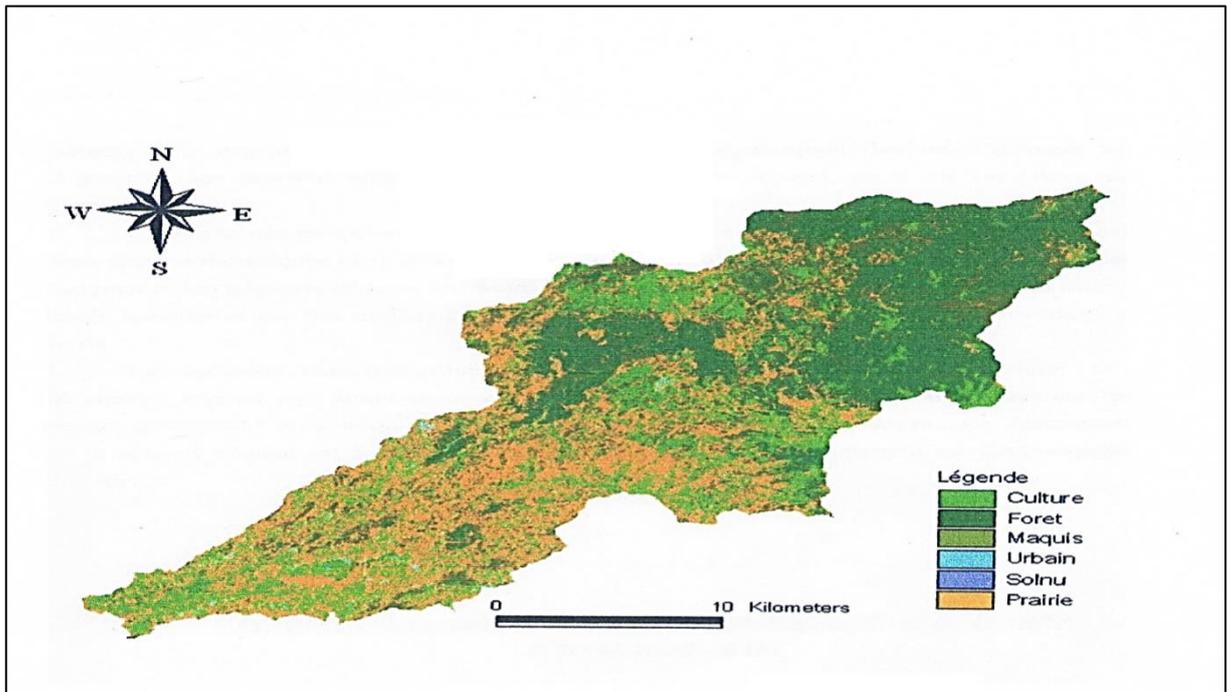
Ceux sont des surfaces occupées par une végétation basse et dégradée. Ils se présentent en formation touffues, ne dépassant pas en général un mètre de haut. Ils occupent généralement la partie sommitale des collines et couvrent 40.36% de la superficie totale du bassin versant.

I.4.4.2 Domaine agricole :

Ce domaine comporte tous les terrains à vocation agricole cultivés. Il occupe 14.55% de la superficie totale du bassin versant.

I.4.4.3 Les terrains non occupés :

Ceux sont les terrains urbains attendus sur 3.26% de la superficie totale du bassin versant.



Conclusion :

L'Oued Mellah draine un ensemble de secteur lithologiquement irrégulier. Aux facteurs lithologiques, structuraux, tectoniques, et de dynamique fluviale, s'ajoutent les caractéristiques morphométriques car elles permettent mieux saisir les modalités de l'écoulement.

La végétation, qui a une influence certaine sur l'écoulement fluviale. Le couvert végétal agit directement sur le débit ainsi que sur les eaux souterraines car les plantes favorisent l'infiltration ; donc jouent un rôle dans la recharge des nappes. Autrement dit le couvert végétal est facteur très important qui influence directement sur l'écoulement fluviale.

L'étude climatologique nous permet de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse et avec des températures relativement élevées.

Chapitre II

REGIME PLUVIOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT

II.1 Critique des données hydro-pluviométriques :

Les données pluviométriques ont été fournies par la station de Bouchegouf pour une période de 1974-2009.

Les relevés pluviométriques journalier font défaut, mais nous disposons des relevés mensuels ainsi qu'annuels.

La continuité et la durée de ces relevés variant selon la station de Bouchegouf, certaines séries montrent des continuités importantes.

Les données des précipitations mensuelles en (mm) qui couvrent la période de septembre 1974 jusqu'au aout 2009.

II.2 Traitement statistique des données hydro-pluviométriques :

Pour le traitement de ces données hydro pluviométriques, nous avons choisi de travailler à différents pas de temps pour aboutir à une comparaison aux échelles mensuels, saisonnière et annuels.

II.2.1 Station de bassin de l'Oued Mellah :

Le bassin de l'Oued Mellah est pourvu de la station hydraulique dont les coordonnées sont les suivantes :

Tableau 13 : Les coordonnées Lambert de la station de Bouchegouf.

Nom de la station	X	Y	Z
Bouchegouf	948,726	362,494	95

- **Paramètre de la série pluviométrique :**

- La moyenne annuelle :

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

- L'écart type :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{N}}$$

X_i = précipitation annuelle en (mm).

N = nombre d'année d'observation.

- La variance : c'est la puissance carrée de l'écart type.

$$V = \delta^2$$

- Le coefficient de variation :

$$CV = \frac{\delta}{\bar{X}}$$

II.2.2 Précipitations moyennes annuelles :

La quantité d'eau reçue par le bassin versant est un élément de base importante pour caractériser son climat.

Les précipitations moyennes annuelles peuvent être déterminées par trois méthodes principales :

- La méthode de la moyenne arithmétique.
- La méthode des polygones de THIESSEN.
- La méthode d'isohyètes.

Pour notre cas nous avons utilisé la méthode arithmétique.

Cette méthode consiste à calculer la moyenne des arithmétiques des valeurs obtenues au niveau de la station étudiées.

- **Méthode arithmétique :**

La méthode la plus simple consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations, enregistrées sur la station de Bouchegouf, son efficacité est meilleur pour petits bassins ou l'influence de l'altitude, de l'exposition de l'attitude sur les précipitations est partout identique.

Les résultats de calcul des précipitations moyennes annuelles sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Répartitions des précipitations moyennes annuelles de la station Bouchegouf.

Station	Période d'observation	Précipitation annuelle
Bouchegouf	1974-2009	529.68

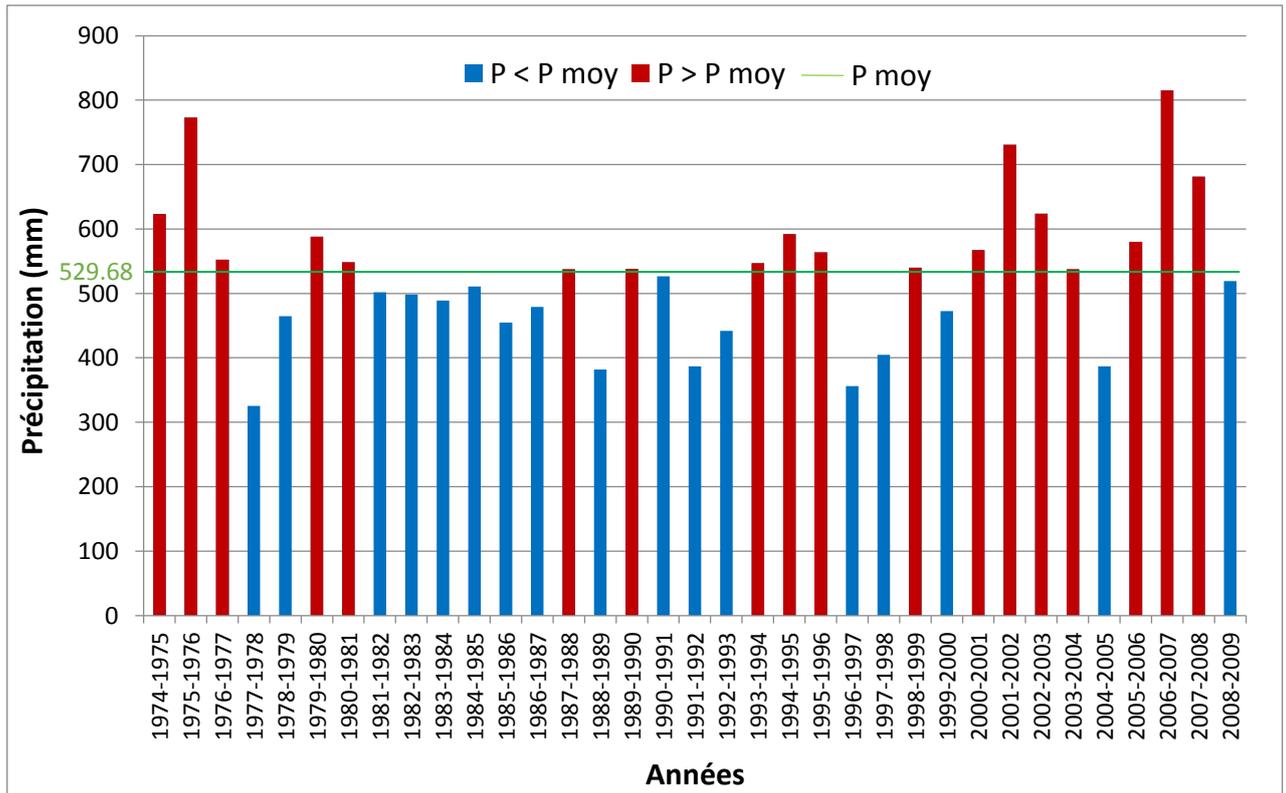


Figure 12 : Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Bouchegouf (1974-2009).

L'interprétation de l'histogramme fait ressortir, que d'une manière générale la précipitation se caractérise par leur irrégularité interannuelle.

La figure 14 montre que les précipitations varient d'une année à l'autre pour la période (1974-2009) d'une moyenne interannuelle de 529.68 mm.

On observe des années pluvieuses dont la hauteur dépasse largement la moyenne à savoir les années : 1974-1975, 1975-1976, 2002-2003, 2006-2007, 2007-2008 et d'autre de pluviosité très faible, telles : 1977-1978, 1988-1989, 1990-1991, 2004-2005.

Les précipitations montrent donc une irrégularité interannuelle frappante.

Le maximum de pluviométrie a été observé en 2006-2007 avec une valeur de 814.9 mm, et alors que le minimum a été enregistré en 1977-1978 avec une valeur 325.15 mm.

II.2.3 Coefficient pluviométrique :

Le coefficient pluviométrique (CP) correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires (CP>1) des années déficitaires (CP<1). Le coefficient pluviométrique est donné par la formule suivante :

$$CP = \frac{P}{\bar{P}}$$

Avec :

P : Pluviométrie de l'année considérée.

\bar{P} : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude, qui est donnée par l'équation suivante :

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum P_i$$

$$\bar{P} = 529,689 \text{ mm}$$

Où : $i = 1 \div 35$ et $N = 35$.

Tableau 15 : Evolution du coefficient pluviométrique (1974-2009).

Années	P (mm)	CP	Type de l'année	Années	P (mm)	CP	Type de l'année
1974-1975	623,45	1,18	E	1992-1993	441,95	0,83	D
1975-1976	773,05	1,46	E	1993-1994	547,1	1,03	E
1976-1977	552,45	1,04	E	1994-1995	592,05	1,12	E
1977-1978	325,15	0,61	D	1995-1996	563,8	1,06	E
1978-1979	464,6	0,88	D	1996-1997	355,9	0,67	D
1979-1980	588,2	1,11	E	1997-1998	404,55	0,76	D
1980-1981	548,35	1,04	E	1998-1999	540,05	1,02	E
1981-1982	501,85	0,95	D	1999-2000	472,35	0,89	D
1982-1983	498,35	0,94	D	2000-2001	567,05	1,07	E
1983-1984	489	0,92	D	2001-2002	731,05	1,38	E
1984-1985	510,9	0,96	D	2002-2003	623,8	1,18	E
1985-1986	454,5	0,86	D	2003-2004	537,35	1,01	E
1986-1987	479	0,90	D	2004-2005	386,7	0,73	D
1987-1988	537,43	1,01	E	2005-2006	580	1,09	E
1988-1989	382,1	0,72	D	2006-2007	814,9	1,54	E
1989-1990	538,2	1,02	E	2007-2008	681,3	1,29	E
1990-1991	526,5	0,99	D	2008-2009	519,15	0,98	D
1991-1992	387	0,73	D	/	/	/	/

E : excédentaire, D : déficitaire.

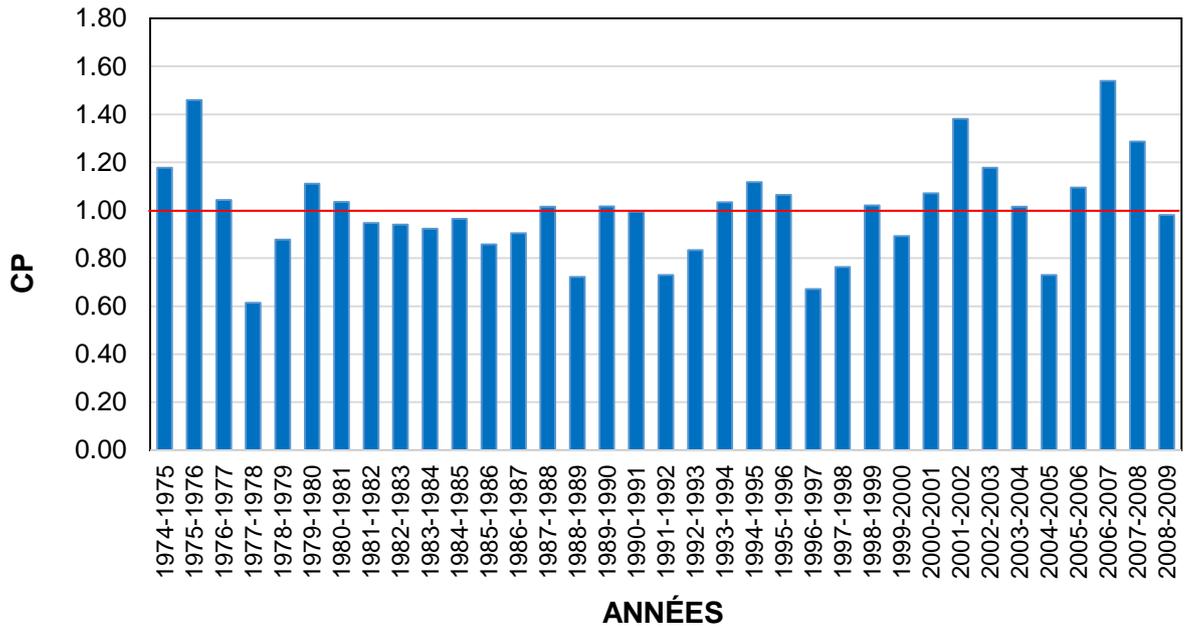


Figure 13 : Les variations des coefficients pluviométriques à la station de Bouchegouf (1974-2009).

D'après ce diagramme, on remarque que les années excédentaires de la station de Bouchegouf sont légèrement supérieures que les années déficitaires (Figure13).

II.2.4 Précipitations moyennes saisonnières :

Tableau 16 : Précipitations saisonnières (1974-2009).

Saison	Automne			Hiver		
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
P moy mensuelle	31.58	43.91	58.82	66.99	74.05	59.33
P moy saisonnière	134.31			200.37		
Saison	Printemps			Eté		
Mois	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
P moy mensuelle	63.05	59.68	42.47	14.69	3.42	11.67
P moy saisonnière	165.20			29.78		

Les précipitations saisonnières pour la période étudié, se caractérisent par la toute les saisons de l'année participent aux précipitations annuelles, avec taux variable.

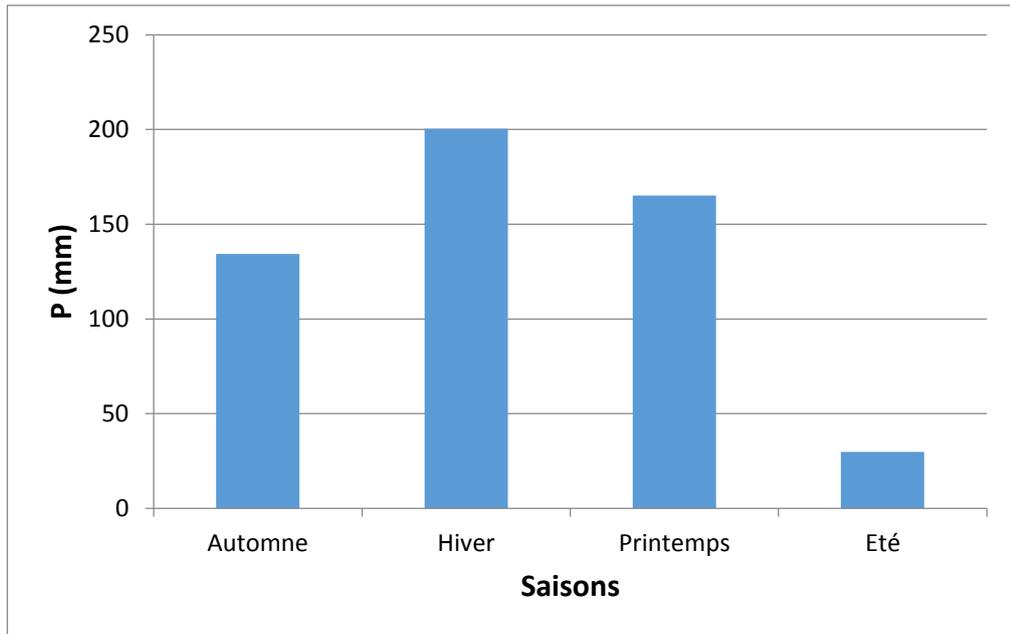


Figure 14 : Histogramme des précipitations moyennes saisonnières interannuelles de la station de Bouchegouf (1974-2009).

On observe que l'Hiver est la saison la plus pluvieuse avec précipitation maximale (200.37 mm) est après le printemps, et l'automne. On remarque aussi que l'Eté qui consiste la saison sèche avec précipitation minimale de 29.78 mm (Figure14).

II.2.5 Précipitations moyennes mensuelles :

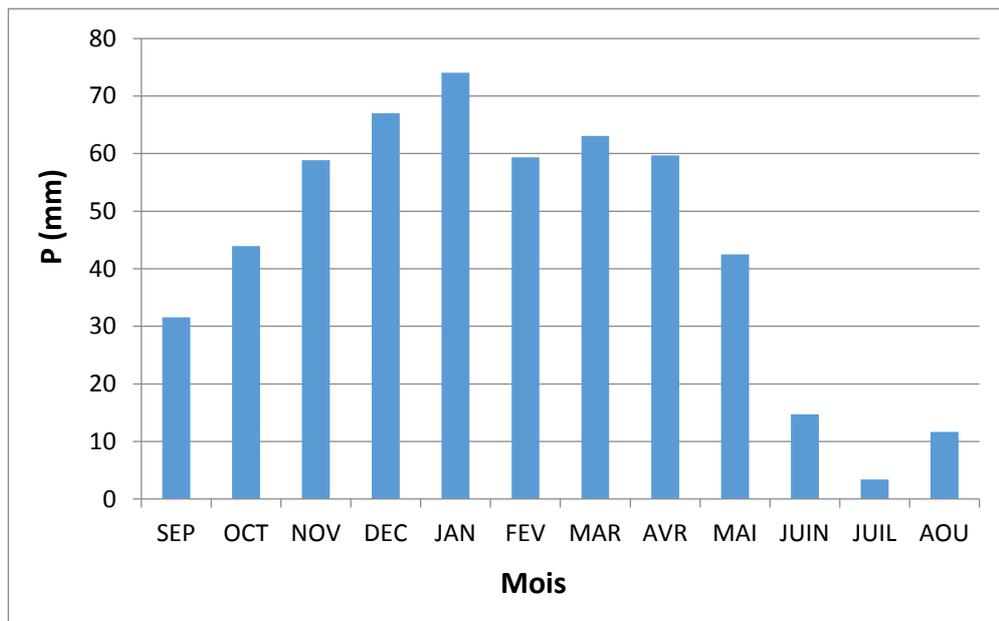


Figure 15 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles interannuelles de la station de Bouchegouf (1974-2009).

D'après la figure 15, on remarque que les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril, dépassent la moyenne, par contre les mois de Septembre, Mai, Juin, Juillet, Août qui correspondent l'inférieur à la moyenne mensuelle.

L'analyse de la figure relatifs à la variation des précipitations mensuelles montre que le début des précipitations est enregistré avec une précipitation maximale de mois de Janvier (74.05 mm), alors que le minimum enregistré au mois de Juillet (3.42mm).

La précipitation moyenne mensuelle est obtenue de la manière suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{N}$$

Avec :

P_i = la hauteur de la pluie mensuelle exprimée en mm

N = nombre de mois au cours de l'année.

- **Ecart type :**

Il s'obtient de la manière suivante, et il exprime la variabilité du paramètre en question autour la moyenne

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (P - \bar{P})^2}{n}}$$

Avec :

δ : Ecart-type

P : Précipitation mensuelle.

\bar{P} : Précipitation moyenne mensuelle.

- **Coefficient de variation :**

Ce paramètre traduit l'ampleur de variation du paramètre entre le minimum et maximum, il est défini à l'aide de la formule suivante :

$$Cv = \frac{\delta}{\bar{P}}$$

Avec :

δ = Ecart-type

\bar{P} =Précipitation moyenne mensuelle.

Tableau 17 : L'écart type et le coefficient de variation des pluies mensuelles.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
Ecart type	18,67	22,64	33,73	32,85	33,81	23,9
CV	0,59	0,52	0,57	0,49	0,46	0,4
Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Ecart type	31,45	26,75	30,48	12,01	4,32	12,97
CV	0,5	0,45	0,72	0,82	1,26	1,11

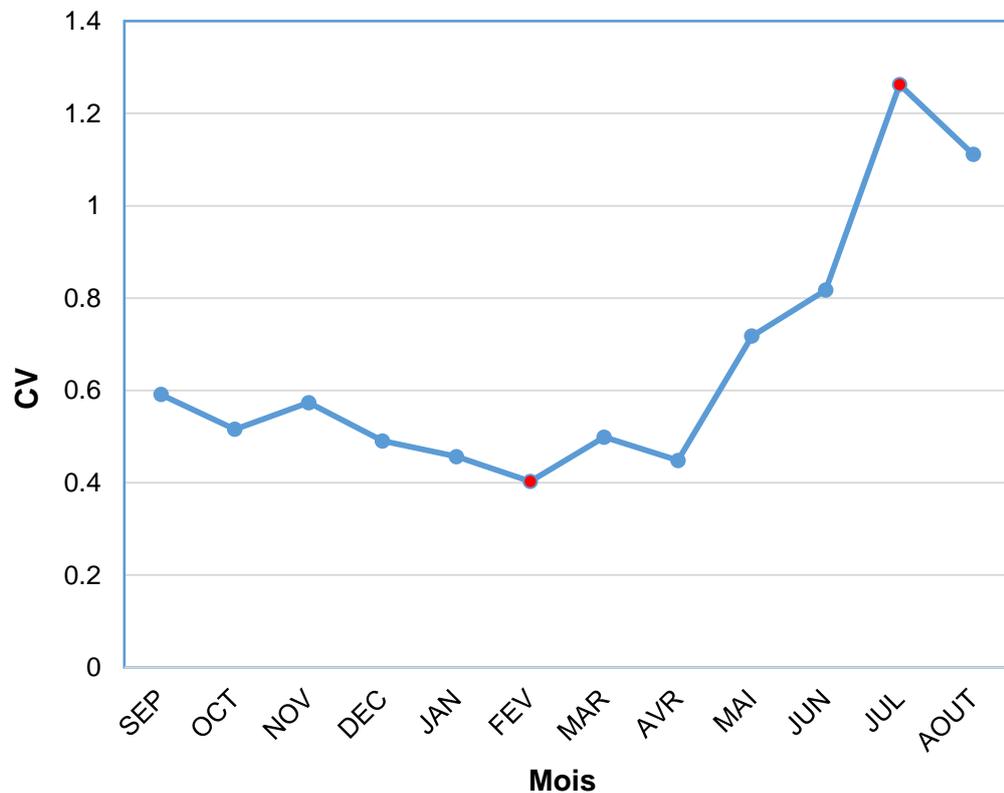


Figure 16 : Coefficient de variation des pluies mensuelles.

Les coefficients de variations (Tableau 17) et (figure 16), varient entre 0.40 et 1.26 montre que les mois les plus secs enregistrent des coefficients supérieurs (Juillet et Août) en revanche les mois humide démontrent des coefficients de variations inférieurs.

Conclusion :

Les précipitations dans le bassin versant d'Oued Mellah varient entre (300-800mm).

La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 529.68 mm. D'après les calculs des précipitations moyennes saisonnières on trouve que la saison la plus pluvieuse est l'Hiver avec une précipitation maximale (74.05 mm) dans le mois de janvier par contre l'Eté est la saison sèche avec une précipitation minimale (3.42mm) dans le mois de juillet.

Chapitre III

REGIME FLUVIALE DU BASSIN VERSANT D'OUED MELLAH

Introduction :

Les observations hydrométriques expriment le comportement hydrologique du bassin versant en un point donné et en un temps déterminé. Elles traduisent statistiquement l'interférence des facteurs physico-géographiques

Les données des débits instantané en (m^3/s) couvrent la période de 1976 jusqu'au 2007 pour la station hydrométrique de Bouchegouf.

III.1 Variation annuelle de débits (1976-2007) :

L'écoulement moyen annuel où l'abondance annuelle est une notation fondamentale en hydrologie.

C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à l'issu d'un bassin.

Le débit moyen annuel de la série étudiée est l'ordre de ($3,05 \text{ m}^3/\text{s}$) pour la période de 1976-2007.

Les années 1976-1977, 1987-1988, 1988-1989, 1990-1991 et surtout l'année de 2006-2007 qui a connu le débit moyen le plus élevé de la série d'étude il a atteint $8,63 \text{ m}^3/\text{s}$.

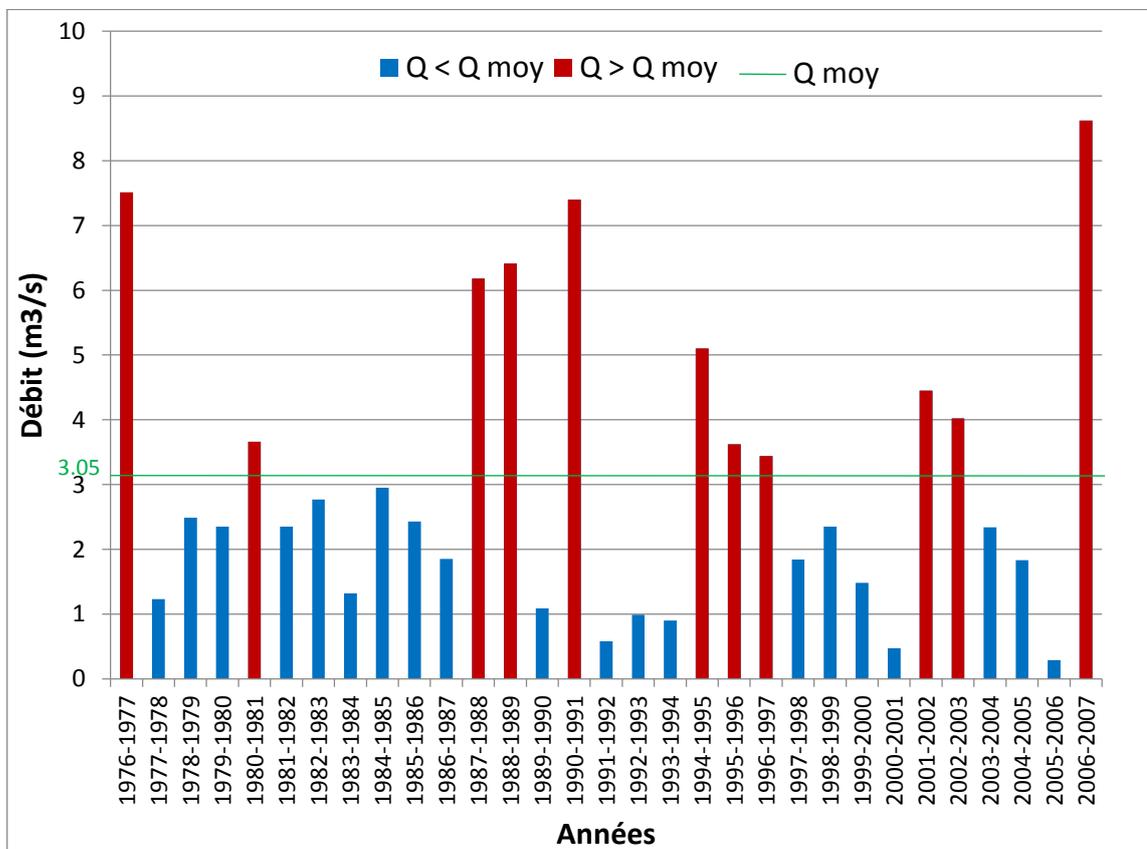


Figure 17 : Débits moyens annuels de la station de Bouchegouf (1976-2007).

III. 2 Variations saisonnières des débits :

Tableau 18 : Débits moyens saisonniers (1976-2007).

Saison	Automne			Hiver		
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
Q moy mensuel	0.28	0.49	1.78	3.97	6.70	7.88
Q moy saisonnier	2.56			18.56		
Saison	Printemps			Eté		
Mois	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
Q moy mensuel	6.30	5.50	2.52	0.66	0.23	0.22
Q moy saisonnier	14.32			1.12		

On observe que l'Hiver est la saison la plus humide, avec un débit maximale de 18.56 m³/s, suivi par ceux du printemps et d'automne avec des moyennes respectives de 14.32 m³/s et 2.56 m³/s et l'Eté la saison la plus sèche avec un débit minimal de 1.12 m³/s.

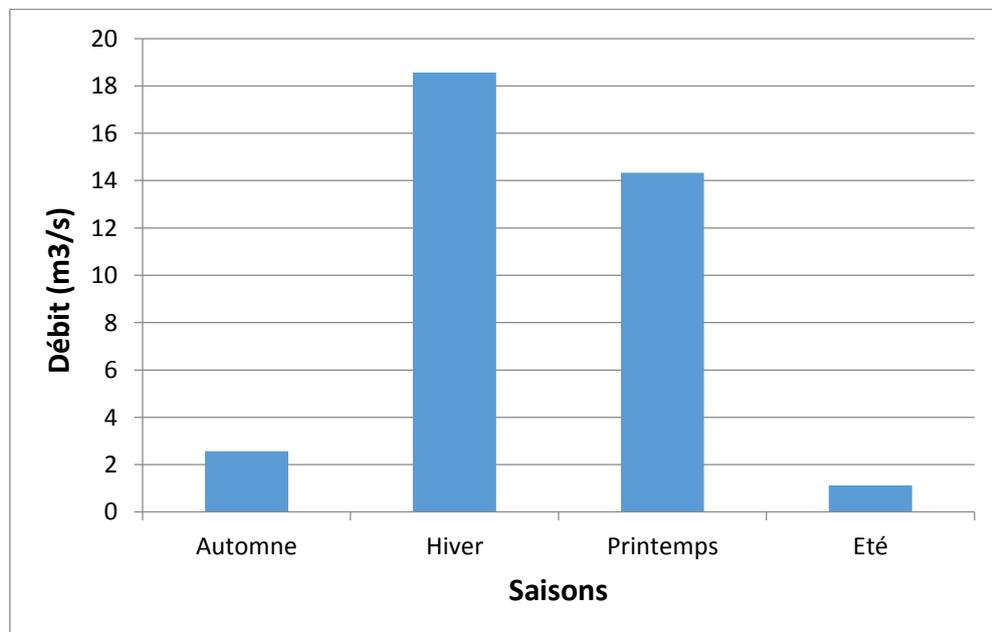


Figure 18 : Débit moyen saisonnière de la station de Bouchegouf (1976-2007).

III.3 Variations mensuelles des débits :

L'analyse des débits mensuels permet de mieux comprendre le régime des cours d'eau et leur variabilité inter-saisonnière.

Il ya deux différents périodes d'écoulement, une saison des hautes eaux qui correspond à une période relativement pluvieuse de Janvier à Avril avec un maximum de 7.88 m³/s en février, et la saison des basses eaux s'étend de Septembre et Juillet avec minimum de 0.22 m³/s en Août.

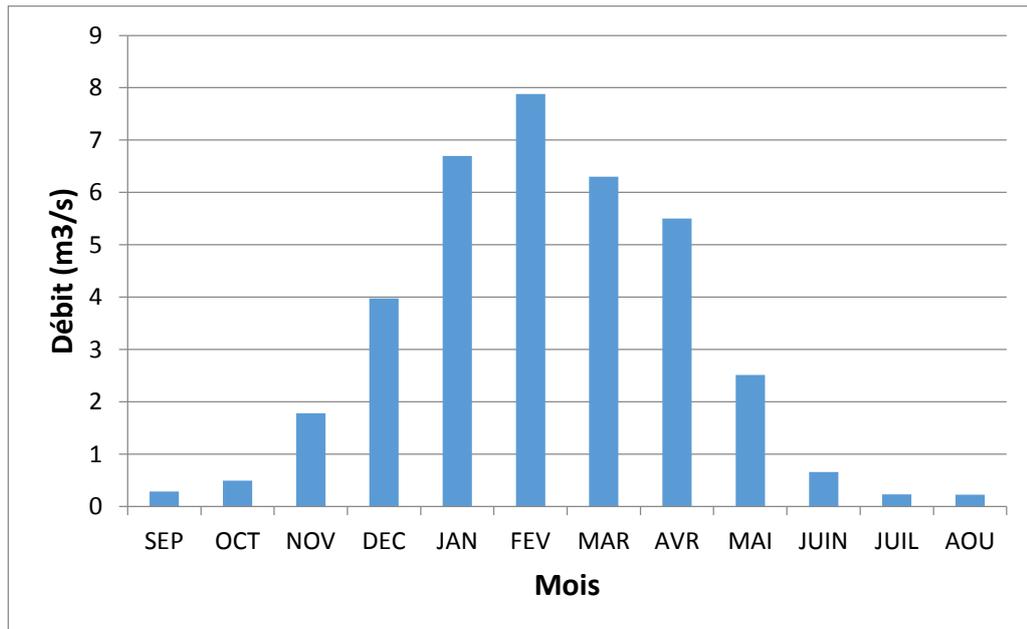


Figure 19 : Débits mensuels interannuels de la station de Bouchegouf (1976-2007).

III.3.1 Coefficient de variation mensuel :

Afin de mieux cerner la variabilité de l'écoulement dans le temps nous avons utilisée également le coefficient de variation (CV), paramètre statistique qui permet de mesuré la dispersion des modules particuliers au tour de la moyenne ou le module globale (tableau 19), nous donnons ici uniquement les coefficients de variation à l'échelle mensuelle du bassin versant de l'Oued Mellah.

Le calcul de coefficient de variation et l'écart type est obtenue de la manière suivante :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(Q - \bar{Q})^2}{N}}$$

$$CV = \frac{\delta}{\bar{Q}}$$

Avec :

δ : Ecart-type.

CV : Coefficient de variation.

\bar{Q} : Moyenne mensuelle.

N : Nombre des années.

Tableau 19 : L'écart type et le coefficient de variation des débits mensuels

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév
Ecart type	0.26	0.40	3.72	60.5	8.12	8.74
CV	0.93	0.81	2.08	1.52	1.21	1.10
Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Ecart type	7.59	6.35	2.86	0.59	0.17	0.29
CV	1.20	1.15	1.14	0.89	0.75	1.26

Cependant, durant la saison estivale (Juillet- Août- Septembre). Le cours d'eau se trouve le plus à sec, la variabilité inter mensuelle traduite par des coefficients de variation (CV) supérieure à 1 presque pour tous les mois (figure 20), atteint son maximum au mois de Novembre (CV= 2.08).

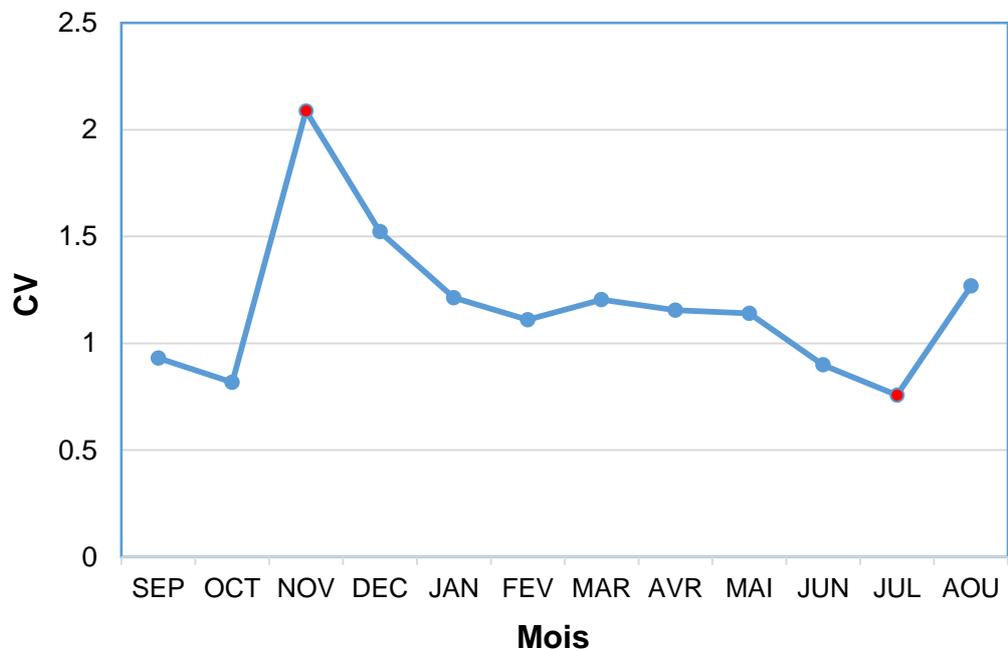


Figure 20 : Variation annuelle du coefficient de variation mensuel de la station de Bouchegouf.

III.3.2 Coefficient moyen des débits :

Le coefficient moyen des débits définit le régime d'un cours d'eau pendant une période considérée. Il est donné par la formule suivante :

$$CMD = \frac{Q_i}{Q}$$

Avec :

CMD : Coefficient moyen des débits.

Q_i : Débits moyens mensuels en m³/s.

Q : Débits moyens.

Si :

CMD > 1 : Période des hautes eaux.

CMD < 1 : Période des basses eaux.

Tableau 20 : Le coefficient moyen des débits (1976-2007).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV
Q moy Mens	0.28	0,49	1.78	3.97	6.7	7.88
CMD	0.09	0.16	0.58	1.3	2.19	2.58
Mois	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
Q moy Mens	6.3	5.5	2.51	0.65	0.23	0,22
CMD	2.06	1.8	0.82	0.21	0.07	0.07

La figure 21 fait ressortir deux périodes :

- Une période des basses eaux s'étend de mois de Mai jusqu'au mois de Novembre.

- Une période des hautes eaux s'étend sur cinq mois du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril.

Ce qui est en corrélation avec les périodes sèches et humides.

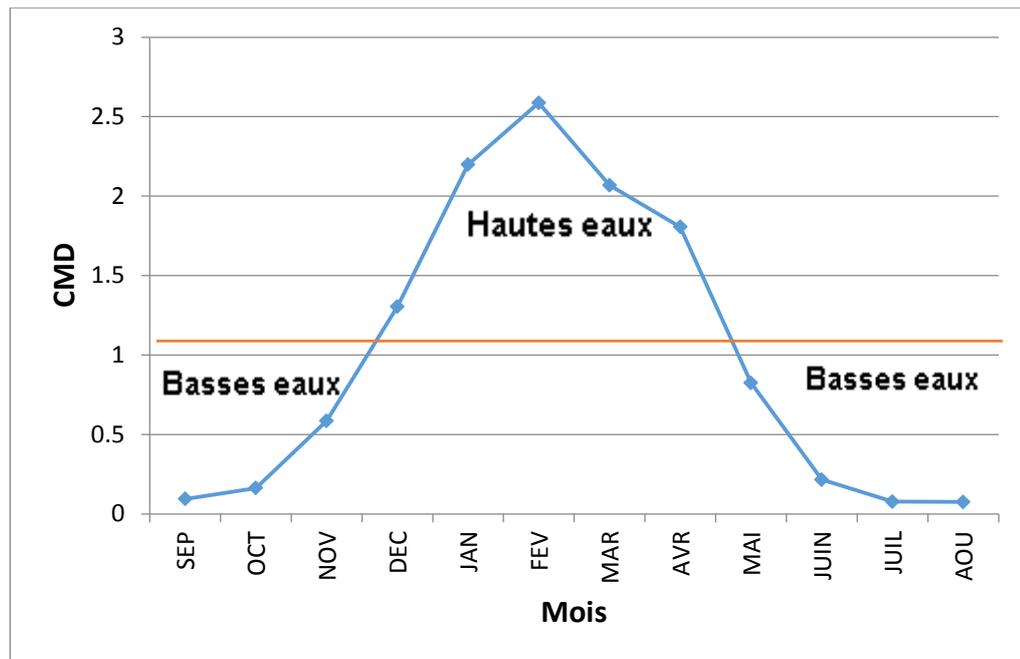


Figure 21: Evolution des coefficients des débits moyens de l'Oued Mellah (1976-2007).

Ce graphique montre aussi que les coefficients moyens des débits (CMD) mensuels croient du mois de septembre jusqu'au mois de février puis s'amorce la descente qui est rapide. Nous remarquons que le débit le plus élevé s'observe le mois de février de 21.55 % de l'apport global et le plus faible en mois d'aout avec un apport de 0.62 % de l'apport global.

III.4 Courbes des débits classés :

La dispersion des débits moyens journaliers est représentée par la courbe de distribution de leurs fréquences (courbes des débits classés) où les écoulements sont donnés en fonction de leur fréquence de dépassement (probabilité de dépassement de la valeur de chaque flux en pourcentage du temps). Le classement des débits a été effectué sur les données de la période de (1976-2007) correspondants à 31 cycles (11315 valeurs moyennes journalières).

III.4.1 Les débits d'étiage issus de la courbe des débits classés (1976-2007) :

Afin de caractériser le régime d'étiage d'un cours d'eau, on définit habituellement des débits caractéristiques d'étiage moyen :

- Le Débit Caractéristique d'Étiage(ou DCE), qui correspond au débit égalé ou dépassé 355 jours par an.
- Les Débits Caractéristiques de durées 9, 6, 3 et 1 mois : DC9, DC6, DC3 et DC1, débits dépassés respectivement 274, 182, 91 et 30 jours dans l'année, ainsi que 10 jours (DCM). Ces débits caractéristiques peuvent également s'exprimer en pourcentage puisqu'il s'agit de près des valeurs dépassées 75, 50, 25 % de l'année.
- L'étiage absolu (ou minimum absolu), qui ne passe pas nécessairement par la courbe des débits classés, mais se fonde de la même manière sur tous les débits moyens journaliers disponibles car il représente le plus bas débit connu d'un cours d'eau. [5]

Ces valeurs permettent d'aborder les étiages de manière simple, sans traitement statistique élaboré, et de représenter les débits les plus indigents

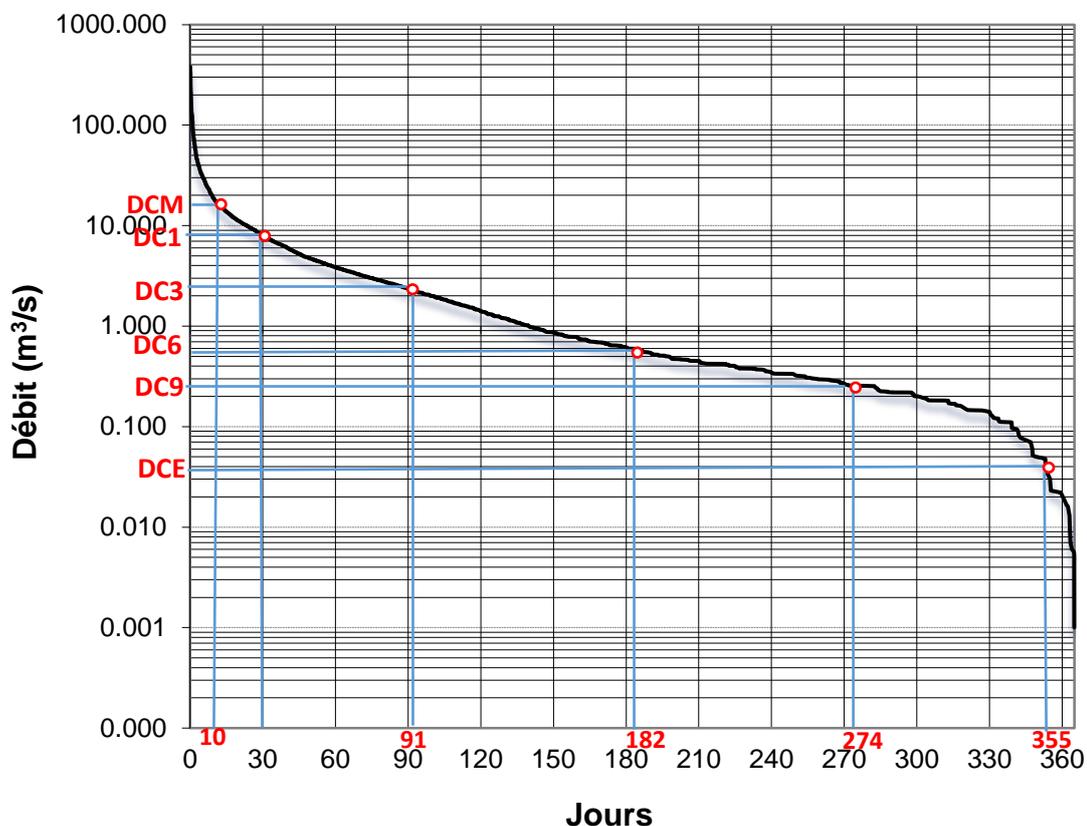


Figure 22 : Courbe des débits classés à Oued Mellah de 1976 à 2007

D'après notre analyse, nous observons que les débits moyens journaliers supérieurs à 200 m³/s sont fréquents, notamment les débits journaliers supérieurs à 100 m³/s.

Les crues arrivant à Oued Mellah réunissent généralement les flots des différentes branches hydrographiques du bassin jusqu'à l'aval ; les hauteurs d'eau s'en trouvent, par conséquent, élevées à l'exutoire du bassin versant. Les fréquences d'autres débits moyens journaliers sont énumérées sur les tableaux suivant :

Tableau 21 : Fréquence des débits journaliers à Oued Mellah

Seuil (m ³ /s)	Q > 500	Q > 200	Q > 100	Q > 50	Q > 20	Q > 10	Q > 5	Q > 1	0<Q<1	Lit à sec
Nombre de Jours	0	11	18	44	194	434	692	2806	6718	149

La courbe des débits classés montre la très grande abondance des débits inférieurs à 50 m³/s, et la faiblesse des débits d'étiage. Le DC6, ou débit médian, n'est que de 0.59 m³/s ; et sur la période de 31 ans, les autres débits caractéristiques se présentent comme suit :

Tableau 22 : Débits caractéristiques de l'Oued Mellah

	Max	DCM	DC1	DC3	DC6	DC9	DCE
Débit (m ³ /s)	378.56	18.08	7.94	2.32	0.59	0.25	0.031

Ces derniers ne possèdent pas des pouvoir régulateurs car son débit d'étiage est trop faible qui est de 0.031 m³/s.

Conclusion :

Le bassin est soumis à un régime hydrologique marqué par une période d'abondance en hiver et par une période de basses eaux en été. Au contraire, la saison printanière connaît une courte période de hautes eaux.

La courbe est obtenue en classant les débits mesurés instantanés ou journaliers par ordre décroissant.

Les valeurs de débits caractéristiques témoignent de l'importance des irrégularités des écoulements de surfaces à Oued Mellah et de ses affluents.

Chapitre IV

CORRELATION PLUIE-DEBIT

IV.1 Corrélation entre les précipitations et les débits :

La corrélation entre les pluies et les débits pour la mise en évidence de part des pluies et des débits afin de mieux comprendre la réponse hydrologique des bassins. Nous allons effectuer des corrélations à des pas de temps mensuel et annuel.

Sur les graphiques, les débits mensuels et les hauteurs de pluie moyennes mensuelles forment un nuage de point incliné. Les droites de régression seront de la forme $y = ax+b$.

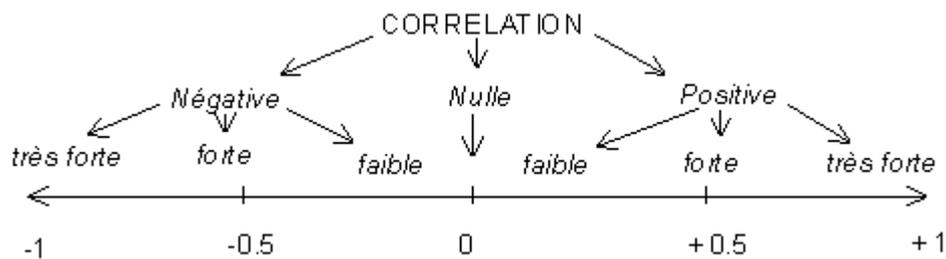
Un coefficient de corrélation est affecté à chaque droite, il montre la relation entre les deux paramètres étudiés.

L'existence d'une corrélation linéaire entre deux variables ayant été décelée graphiquement, on se doit de mesurer l'intensité de cette corrélation.

La mesure de corrélation peut se faire au coefficient de corrélation linéaire « R ».

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Le coefficient de corrélation linéaire varie de -1 à +1. Son interprétation est la suivante:



- **R = -1** : la corrélation entre les deux variables est négative et parfaite (relation fonctionnelle entre y et x).
- **R = 1** : la corrélation entre les deux variables est positive et parfaite (relation fonctionnelle entre y et x).
- **R = 0** : les deux variables sont indépendantes.
- **0 < R < 1** : plus la valeur de R est proche de 1, plus l'hypothèse d'une corrélation entre x et y envisageable.

IV.1.1 Corrélation entre les précipitations moyennes annuelles et les débits moyens annuels :

La figure 25 montre le lien existant entre les précipitations et les débits annuels à la station de Bouchegouf.

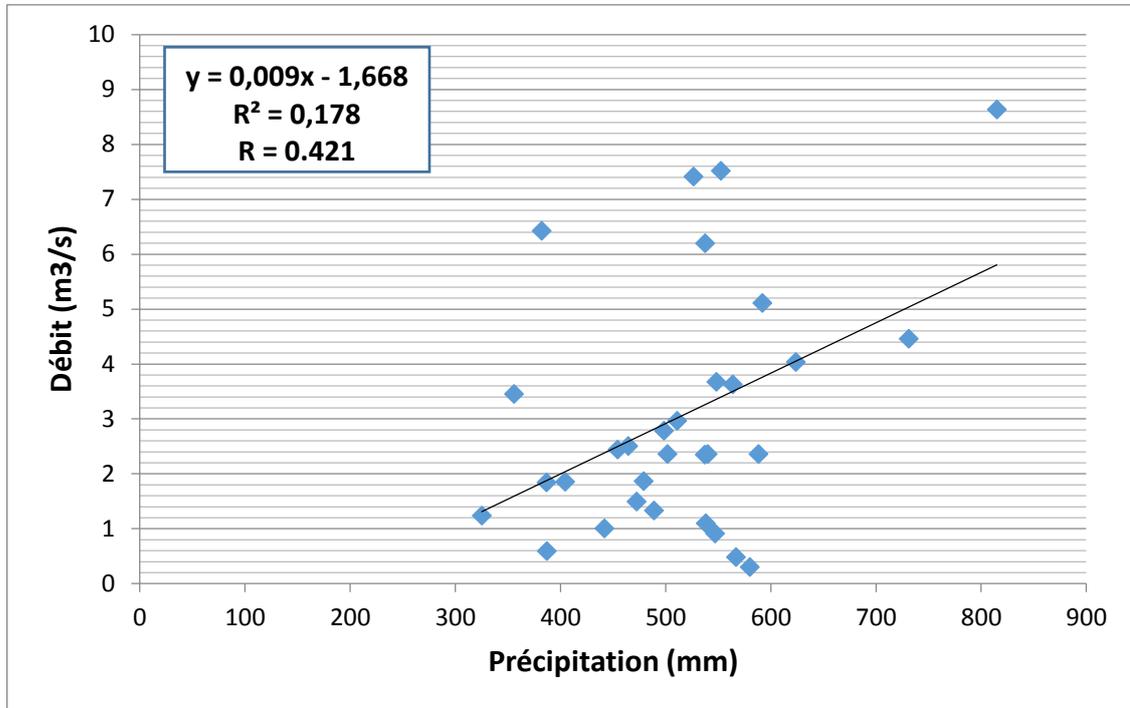


Figure 23 : Corrélation entre les précipitations annuelles et les débits annuels (1976-2007).

On remarque que le coefficient de corrélation de $R = 0.42$ est un peu plus faible puisque la valeur est loin de 1, les précipitations et les débits sont étroitement liés et l'écoulement proviendrait donc quasiment de la pluie.

Cependant la faiblesse des coefficients de corrélation peut être expliquée par le fait que la lithologie du bassin de l'oued Mellah provoque l'infiltration d'une partie des eaux de précipitation ce qui est responsable de la réduction du débit annuel d'écoulement par conséquent le coefficient de corrélation diminue.

IV.1.2 Corrélation entre les précipitations moyennes mensuelles et les débits moyens mensuels :

La corrélation pluie-débit à l'échelle des moyennes mensuelles (figure 24) est bonne puisque son coefficient de corrélation ($R = 0.77$) est proche de 1.

Les précipitations sont étroitement liées aux débits et l'écoulement proviendrait donc quasiment de la pluie.

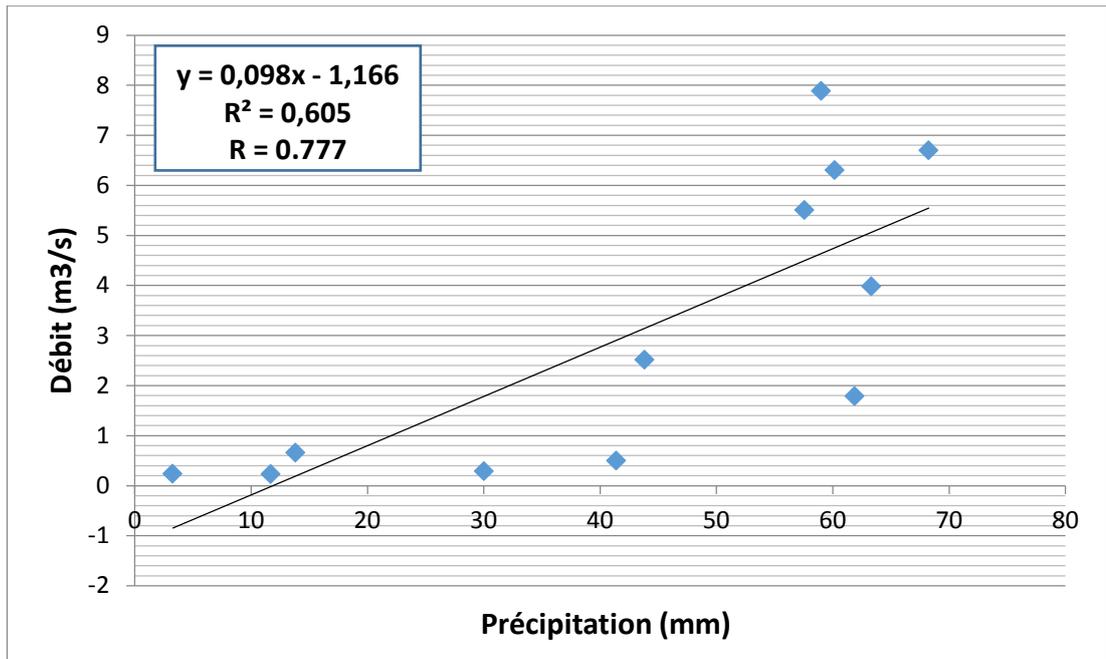


Figure 24 : Corrélation entre les précipitations mensuelles et les débits mensuels (1976-2007).

IV.1.3 Corrélation entre les précipitations et les débits moyens saisonniers :

La corrélation débit-pluie à l'échelle saisonnier est très bonne puisque son coefficient $R = 0.83$ Est proche de 1.

Les précipitations sont étroitement liées aux débits, seule la pluie qui contribue à l'écoulement au niveau de l'exutoire du bassin.

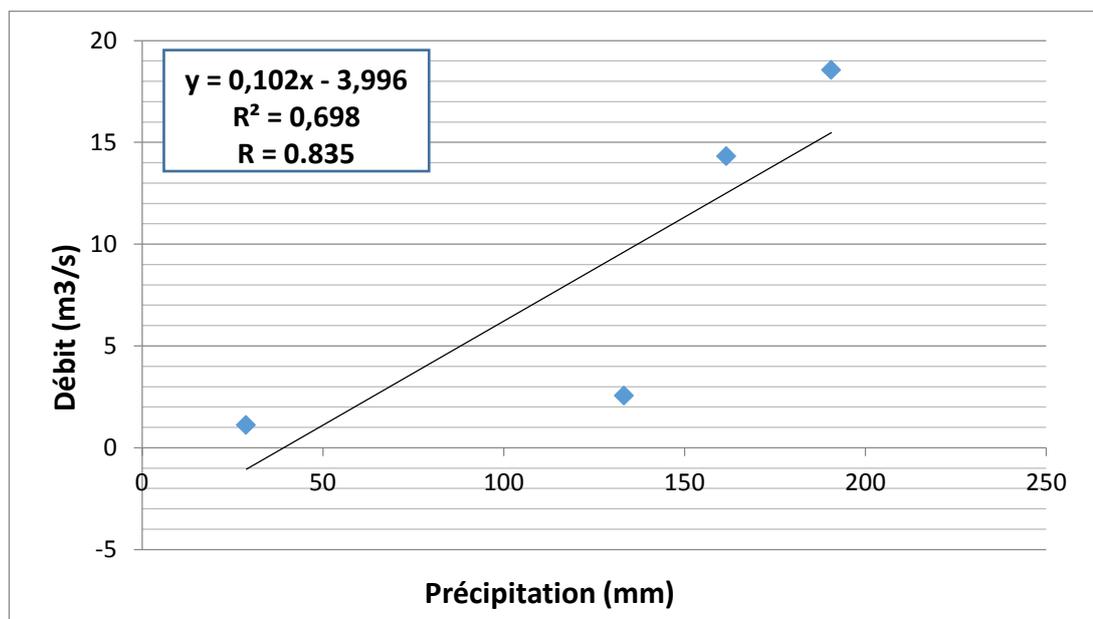


Figure 25 : Corrélation entre les précipitations saisonnières et les débits saisonniers (1976-2007).

IV. 2 Variation comparative des précipitations et des débits :

La relation entre la tranche d'eau précipitée et la lame d'eau écoulee, permet de montrer celle entre l'évolution des débits et les hauteurs mensuelles pluviométrique. Lorsqu'on compare les variations mensuelles des débits à l'évolution des précipitations mensuelles de la station de Bouchegouf de l'Oued Mellah (figure 26), on constate qu'il existe une simultanéité entre les débits et les précipitations mensuelles.

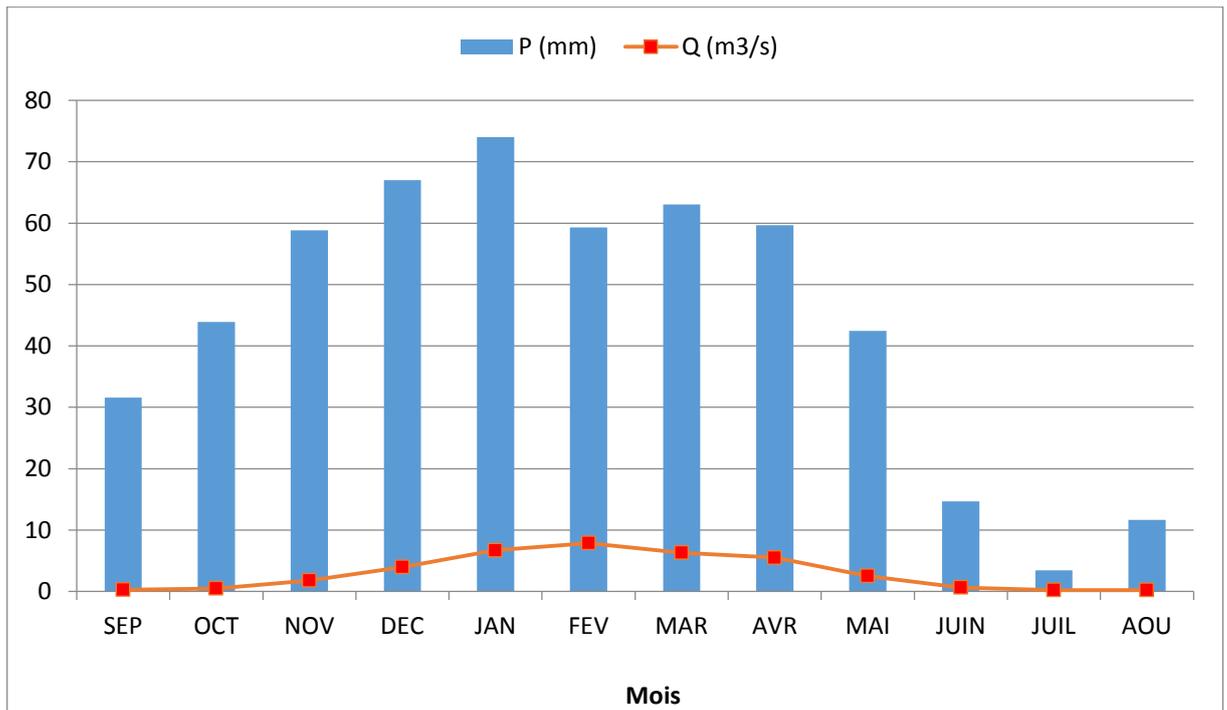


Figure 26 : Variations comparatives des précipitations mensuelles et des débits mensuels.

Le régime pluviométrique est caractérisé par la succession de deux périodes : sèche et humide.

La première s'étend de Juin à Septembre, et la seconde du mois d'Octobre au mois de Mai. Le régime moyen de l'écoulement mensuel de l'Oued Mellah montre une distribution uni modale centrée sur le mois de février.

La courbe des débits suit l'évolution de celle des pluies avec un décalage ou un temps de réponse du bassin versant d'un mois, le maximum pluviométrique de janvier, ne se transforme en maximum hydrologique en février, ou les précipitations sont couplées aux débits de base restitués par la nappe phréatique.

Conclusion :

Les figures de corrélation montrent que les débits augmentent quand les précipitations augmentent et que tous les couples de point P-Q forment un nuage autour de droit de régression.

Chapitre V

BILANS PARTICULIERS

Introduction :

L'écoulement de l'eau dans un bassin prend différents formes selon le lieu où il se produit : sur les versant, l'écoulement peut être superficiel (ruissellement) ou de subsurface, en profondeur, il alimente les nappes, et fluviale constituant un Oued, il peut revêtir plusieurs formes selon les conditions météorologiques.

L'écoulement fluvial est un écoulement qui s'enchaîne dans le temps et dans l'espace, traduisant le comportement hydrologique du bassin versant. Ce comportement peut être observé à l'aide de l'analyse du volume d'eau s'écoulent à l'exutoire du système.

V.1 Bilan moyen annuel de l'écoulement :

On doit entendre par le bilan moyen annuel l'étude de la comparaison des volumes d'eau précipités et des volumes écoulés dans un bassin versant donné au cours d'une année particulière ou d'une série d'année. Ce qui implique l'établissement du rapport entre les précipitations et les débits.

Tableau 23 : Bilan moyen annuel de l'écoulement

S (km²)	P (mm)	L (mm)	D	CE (%)	q (l/s/km²)	Q (m³/s)
550	529.68	174.78	339.48	0.33	5.54	3.05

Avec :

S : Surface du bassin.

P : Tranche d'eau précipitée en moyenne.

L : Lamme d'eau écoulee en moyen.

q : Module spécifique.

Q : Module brut.

C = L/P : Coefficient moyen annuel de l'écoulement.

D'après la différence de ces deux notion précipitées (P-L), nous obtenons ce que l'on appelle le déficit moyen annuel de l'écoulement (D en mm), proche de l'évapotranspiration ou N nombre d'années observées est suffisamment grande (31ans).

Enfin, le rapport L/P est appelé coefficient moyen annuel de l'écoulement (CE). Ce coefficient est qualifié selon J. Loup d'apparent, si l'on considère une année

particulière, car le bilan est faussé par la rétention. Mais d'après une série d'année, les perturbations causée par les retentions et les restitutions successives, s'annulent à peu près.

Pour cette étude, nous retendrons l'année hydrologique correspondant à l'année climatique (sept- Aout) adoptée par DEMRH (Direction des Etudes de Milieu et de la Recherche Hydraulique).

Le bassin versant de l'Oued Mellah, affluent dynamique drainant un bassin humide est caractérisé par des valeurs assez élevées (174.78 mm) de lame d'eau écoulée pour (339.48 mm) déficit moyen annuel et un coefficient d'écoulement de (33.61%).

V.2 Lamme d'eau écoulée :

La lamme d'eau écoulée est donnée par la relation suivante :

$$L = \frac{Q[(365 \times 86400)]}{S}$$

Avec :

L : Lamme d'eau annuelle écoulée en mm.

Q : Débit moyen annuel en m³/s.

S : Superficie du bassin versant en m².

La lamme d'eau écoulée représente la hauteur d'eau écoulée à l'exutoire défini comme étant le rapport entre le débit et la surface du bassin versant du laps de temps considère.

V.3 Déficit d'écoulement :

L'étude du déficit montre le terme du bilan hydrologique ($D = P - L$), c'est-à-dire la différence entre la hauteur d'eau reçue par un bassin versant en une période considère et l'écoulement dans l'oued du bassin pendant cette même période. [6] Le déficit d'écoulement calculé par la relation suivante :

$$D = P - L$$

Avec :

D : Le déficit d'écoulement (mm).

P : Les précipitations (mm).

L : La lamme d'eau écoulée (mm).

L'intérêt du déficit permet d'estimer ce qu'il est convenu d'appeler évapotranspiration, somme de l'évaporation physique qui atteint directement l'eau d'origine pluviale et de la consommation par les plantes.

Le déficit annuel moyen de l'écoulement dans notre bassin est (339.48 mm).

Dans notre plaine, ce déficit calculé par la méthode de C.W. THORNTWAITE.

D'autre part le déficit d'écoulement est une valeur caractéristique hydrologique important lorsque il s'agit d'étudier la corrélation : précipitation-écoulement.

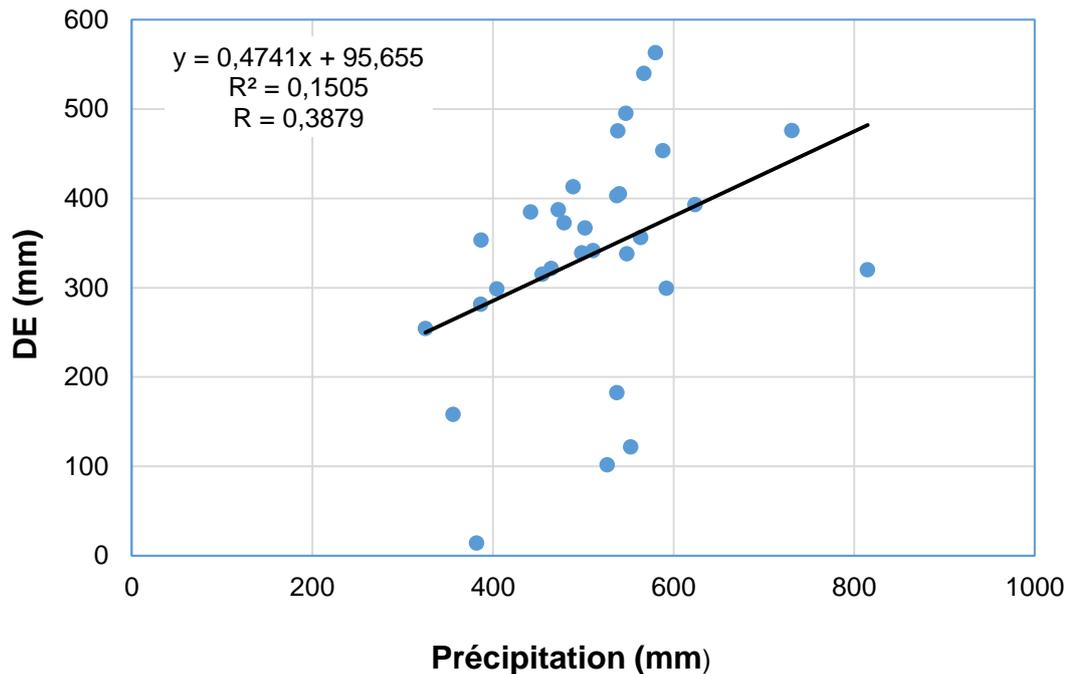


Figure 27 : Corrélation entre les précipitations annuelles et les déficits d'écoulements annuels.

Dans le bassin de l'Oued Mellah les déficits d'écoulement varient naturellement d'une année à une autre selon plusieurs facteurs. Cette variation est de 14.08 mm en 1988-1989 jusqu'à 563.16 mm en 2005-2006. Le déficit moyen est de l'ordre de 339.48 mm.

On a observée très grande variation des pluies a pour conséquence une variation au niveau des déficits, cette éventuelle variation semble être due à la variation des précipitations à l'échelle annuelle ainsi que leur répartition dans l'année.

La figure 27 montre que la corrélation entre le déficit d'écoulement et les précipitations est bonne (R = 0.38).

V.4 Le coefficient d'écoulement :

Le coefficient d'écoulement est le quotient de la lame d'eau écoulée sur la lame d'eau précipité, bien que son intérêt est limité car il varie beaucoup d'une année à l'autre mais il reflète néanmoins l'impact des facteurs physico-géographiques de chaque bassin versant, notamment la perméabilité des terrains et l'importance des facteurs thermiques et leur influence sur l'écoulement à l'aide de la formule suivante.

$$CE = \frac{L}{P}$$

Avec :

CE : Coefficient d'écoulement.

P : Les précipitations (mm).

L : La lame d'eau écoulée (mm).

Ce dernier dépend généralement de trois facteurs principaux :

- **La pluie** : qui influence par son densité et sa répartition spatio-temporelle.
- **Les caractères physique** : surtout la surface, la pente, la nature du substratum, la perméabilité, la végétation et l'état d'humidité du sol quand commence la pluie.
- **La température** : qui fuit l'évaporation.

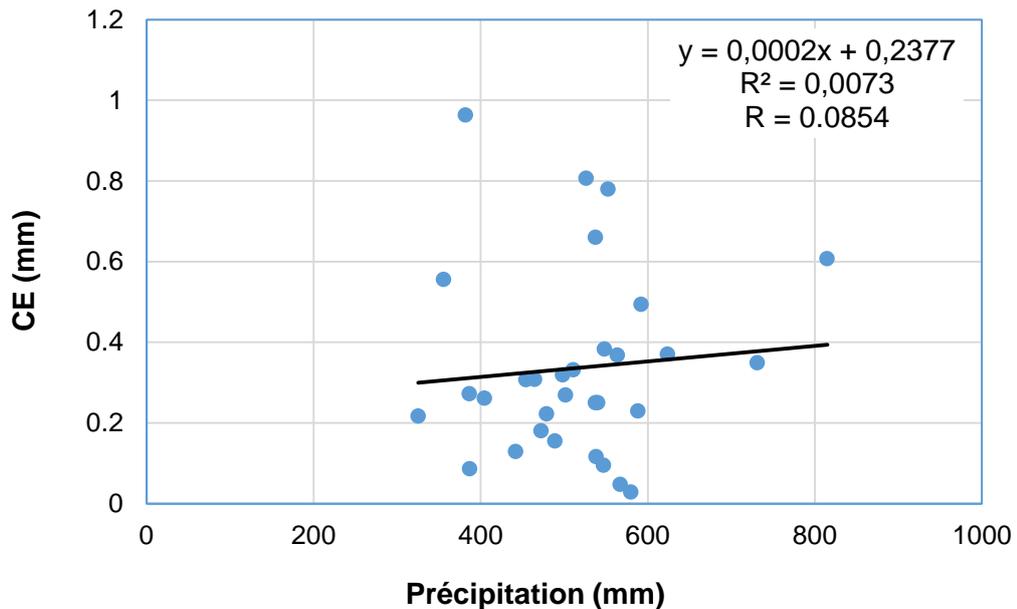


Figure 28 : Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulements.

La figure 28 montre la relation entre le coefficient d'écoulement et la nature de précipitation à l'échelle annuelle ; ce coefficient varie entre 0.029 pour l'année 2005-2006 et 0.96 pour l'année 1988-1989. La corrélation entre ces deux paramètres apparaît convaincante.

Tableau 24 : Résultat de calcul du bilan annuel de l'écoulement pour la période (1976-2007).

Années	P (mm)	Q (m ³ /s)	L (mm)	Déficit (mm)	CE (mm)
1976-1977	552,45	7,51	430,62	121,83	0,779
1977-1978	325,15	1,23	70,70	254,45	0,217
1978-1979	464,6	2,50	143,26	321,34	0,308
1979-1980	588,2	2,35	134,93	453,27	0,229
1980-1981	548,35	3,67	210,31	338,04	0,384
1981-1982	501,85	2,35	135,01	366,84	0,269
1982-1983	498,35	2,78	159,20	339,15	0,319
1983-1984	489	1,33	76,14	412,86	0,156
1984-1985	510,9	2,96	169,57	341,33	0,332
1985-1986	454,5	2,43	139,53	314,97	0,307
1986-1987	479	1,86	106,54	372,46	0,222
1987-1988	537,43	6,19	354,92	182,51	0,660
1988-1989	382,1	6,42	368,02	14,08	0,963
1989-1990	538,2	1,09	62,72	475,48	0,117
1990-1991	526,5	7,41	424,82	101,68	0,807
1991-1992	387	0,59	33,58	353,42	0,087
1992-1993	441,95	1,00	57,19	384,76	0,129
1993-1994	547,1	0,91	51,95	495,15	0,095
1994-1995	592,05	5,11	292,72	299,33	0,494
1995-1996	563,8	3,62	207,77	356,03	0,369
1996-1997	355,9	3,45	197,73	158,17	0,556
1997-1998	404,55	1,85	105,89	298,66	0,262
1998-1999	540,05	2,36	135,11	404,94	0,250
1999-2000	472,35	1,49	85,26	387,09	0,180
2000-2001	567,05	0,47	27,17	539,88	0,048
2001-2002	731,05	4,45	255,35	475,70	0,349
2002-2003	623,8	4,03	230,97	392,83	0,370
2003-2004	537,35	2,34	134,34	403,01	0,250
2004-2005	386,7	1,84	105,40	281,30	0,273
2005-2006	580	0,29	16,84	563,16	0,029
2006-2007	814,9	8,63	494,76	320,14	0,607
Moyenne	514,26	3,05	174,78	339,48	0,336

Conclusion :

L'analyse pluviométrique a été réalisée sur la période d'observation (1974-2009), avec une précipitation moyenne annuelle de cette série étudiée est de 529.68mm.

L'Oued Mellah affiche un débit moyen annuel de $3.05 \text{ m}^3/\text{s}$ et module spécifique élevées 3.05 l/s/km^2 .

Le calcul du bilan hydrologique moyen annuel (1976-2007) fait apparaitre un déficit d'écoulement élevé (339.48 mm en moyenne, soit 66% de la lame d'eau précipité, alors que le déficit d'écoulement est de 34%.

L'étude des variations interannuelles de l'écoulement a été mis en évidence par les critères arithmétique : l'écart à la moyenne, rapport de module extrême $R = 29.76$ des notations de statiques mathématiques (coefficient de variation et écart-type).

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, mené dans un vaste bassin versant de la Seybouse nous avons essayé de dégager les grands traits du régime de l'Oued Mellah.

Cependant, l'absence de longue série d'observation n'ont pas rendu possible l'approfondissement de l'étude des phénomènes hydrologiques liés essentiellement aux formes de l'écoulement extrême.

L'étude géologique, les formations prédominantes sont d'âge quaternaire avec une épaisseur assez limitée. Ceci nous a permis de dire que la zone d'étude a une perméabilité moyenne mais l'action de l'érosion reste importante sur la majorité de la surface du bassin surtout la zone à forte pente et dépourvue de végétation.

La diversité lithologique offre au bassin versant de l'Oued Mellah la particularité d'être un milieu favorisant l'écoulement, d'une part, et l'infiltration d'énormes quantités d'eaux d'autre part, diversité lithologique qui entraîne obligatoirement des conséquences sur la stabilité du régime des eaux souterraines.

L'étude géomorphologique de la région, le bassin versant de l'Oued Mellah a une superficie de 550 km² et une forme éloignée.

Le temps de concentration est estimé à 9 heures et 16 min avec une vitesse de ruissellement de 5.72 km/h. la densité de drainage ($Dd = 4 \text{ km/km}^2$) caractérise un réseau hydrographique bien développé.

Les données climatiques de la région étudiée, ce dernier a une saison semi-aride. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 529.68mm.

Pour une température moyenne annuelle de 18.13 °C l'évaluation annuelle de ces deux permet de distinguer une période chaude et sèche et une période humide. l'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 328.87 mm.

L'absence moyenne annuelle brute et spécifique, élément purement géographique, les variations interannuelles, saisonnières et mensuelles, mises en évidence par des critères arithmétiques et des notions statistiques, ont constitué la base de notre analyse.

L'analyse de la série de précipitations (1974-2009), relève l'existence de tendances statistiquement significatives qui présentent des différences saisonnières et annuelle. La région d'étude reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de (529.68 mm), et pour les saisons de précipitations on remarque les plus fortes variations sont le printemps et l'hiver, l'apport mensuel montre que le mois de janvier qui présente les plus fortes tendances.

Le sous équipement du réseau hydrographique et la brièveté des séries d'observation, ont compliqué notre tâche. Néanmoins, nous avons pu dégager les caractéristiques du régime de l'Oued Mellah en appuyant sur le traitement statistique de données pluviométriques et hydrométriques.

L'écoulement moyen annuel de l'Oued Mellah est de $3.05 \text{ m}^3/\text{s}$, et son abondance spécifique de (5.54 l/s/km^2), le déficit moyen annuel de l'écoulement est de (339.48mm). Sur le plan hydrologique, le régime est marqué par une saison de hautes eaux claquées sur la saison pluvieuse. Les débits sont étroitement liés aux pluies aux échelles mensuelles et annuelles. Les coefficients de corrélation entre les deux paramètres sont assez élevés. Ils témoignent de la bonne réponse hydrologique du bassin versant, mais aussi de la bonne qualité des données hydrologiques et pluviométriques utilisées.

A la grande variabilité interannuelle due à l'irrégularité de l'alimentation pluviale et à l'évapotranspiration, s'ajoutent les variations saisonnières du régime de l'Oued Mellah qui dépendent étroitement du régime climatique.

Ainsi deux saisons hydrologiques se dégagent : une saison d'abondance couvre l'ensemble de la saison de froide et une saison de pénurie coïncide avec la saison chaude.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

- [1] **Khanchoul K.**, 2006 ; Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants du Nord-Est Algérien, Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat d'Etat en Géologie, Option Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar de Annaba. 296p
- [2] **Chouabi A.**, 1987 ; Etude géologique de la région de Hammam N'bails Sud-Est de Guelma-Constantine, Algérie, un secteur des Maghrébides. p (35- 49)
- [3] **Mebarki A.**, 2005 ; Hydrologie des bassins de l'Est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantine. 360 p
- [4] **Mouchara N.**, 2009 ; Impact des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est Algérien), Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en hydrogéologie, Université Badji Mokhtar de Annaba. 141p
- [5] **Lang C.**, 2007 ; Etiages et tarissements : vers quelles modélisations ? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français, Th. Doc., Université de Metz. 375 p

Sites internet :

- [6] http://www.persee.fr/doc/noroi_0029-182x_1985_num_125_1_4219 (date de consultation : 25/04/2016)

ANNEXE

Annexe 1 : Tableau des précipitations moyennes mensuelles de la station de Bouchegouf (1974-2009).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
P moy (mm)	31,57	43,91	58,82	66,99	74,04	59,33	63,05	59,68	42,47	14,69	3,41	11,67
P max (mm)	72,85	104,95	133,95	149,95	160,25	144,4	163,05	123,4	140,55	53,03	15,5	52,8
P min (mm)	5,1	10,7	1,35	17	10,65	18,65	21	19,9	1,2	0,2	0	0

Annexe 2 : Tableau des précipitations moyennes annuelles de la station de Bouchegouf (1974-2009).

Années	P moy (mm)	P max (mm)	P min (mm)	Années	P moy (mm)	P max (mm)	P min (mm)
1974-1975	51,95	136,95	7,1	1992-1993	36,82	73,8	0,4
1975-1976	64,42	163,05	0,85	1993-1994	45,59	102,9	1,2
1976-1977	46,03	136,6	0,85	1994-1995	49,33	93,45	2,3
1977-1978	27,09	64,75	0	1995-1996	46,98	88,5	2,05
1978-1979	38,71	86,75	8,4	1996-1997	29,65	66,9	0,5
1979-1980	49,01	121,1	15,5	1997-1998	33,71	113,2	0,5
1980-1981	45,69	117,6	0	1998-1999	45	103,7	2,95
1981-1982	41,82	123,4	1	1999-2000	39,36	97,9	2,45
1982-1983	41,52	122,35	1,9	2000-2001	47,25	90,95	0
1983-1984	40,75	77,95	0	2001-2002	60,92	133,95	0,6
1984-1985	42,57	102,3	0,3	2002-2003	51,98	140,55	0,6
1985-1986	37,87	79,25	1,1	2003-2004	44,77	133,65	0
1986-1987	39,91	90,8	0,8	2004-2005	32,225	65,65	3,5
1987-1988	44,78	144,4	0	2005-2006	48,33	121,3	3
1988-1989	31,84	108,9	1,8	2006-2007	67,9	160,25	1,05
1989-1990	44,85	99,05	2,85	2007-2008	56,77	149,95	4,3
1990-1991	43,87	83,55	0,85	2008-2009	43,26	131,4	3,9
1991-1992	32,25	57,4	0,3	/	/	/	/

Annexe 3 : Tableau des débits moyens mensuels de la station de Bouchegouf (1976-2007).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
Q moy (m ³ /s)	0,28	0,49	1,78	3,97	6,7	7,88	6,3	5,5	2,51	0,65	0,23	0,22
Q max (m ³ /s)	1,27	1,51	19,6	25,74	35,54	39,67	41,1	26,7	12,54	2,66	0,7	1,63
Q min (m ³ /s)	0	0,06	0,01	0,08	0,18	0,44	0,23	0,27	0,08	0,01	0,01	0

Annexe 4 : Tableau des débits moyens annuels de la station de Bouchegouf (1976-2007).

Années	Q moy (m ³ /s)	Q max (m ³ /s)	Q min (m ³ /s)	Années	Q moy (m ³ /s)	Q max (m ³ /s)	Q min (m ³ /s)
1976-1977	7,51	41,1	0,44	1992-1993	0,99	3,77	0,02
1977-1978	1,23	6,73	0,01	1993-1994	0,9	4,09	0
1978-1979	2,49	17,34	0,16	1994-1995	5,1	18,06	0,07
1979-1980	2,35	10,35	0,16	1995-1996	3,62	17,23	0,25
1980-1981	3,66	19,6	0,24	1996-1997	3,44	17,27	0,09
1981-1982	2,35	11,3	0,23	1997-1998	1,84	12,22	0,02
1982-1983	2,77	21,9	0,2	1998-1999	2,35	14,2	0,06
1983-1984	1,32	5,71	0,09	1999-2000	1,48	8,8	0,01
1984-1985	2,95	11,11	0,19	2000-2001	0,47	1,15	0,03
1985-1986	2,43	7,59	0,25	2001-2002	4,45	18,89	0,1
1986-1987	1,85	5,08	0,15	2002-2003	4,02	15,93	0,01
1987-1988	6,18	39,67	0,15	2003-2004	2,34	12,54	0,17
1988-1989	6,41	25,74	0,25	2004-2005	1,83	11,03	0,03
1989-1990	1,09	5,99	0,1	2005-2006	0,29	1,63	0,01
1990-1991	7,4	26,91	0,15	2006-2007	8,62	35,54	0,12
1991-1992	0,58	2,51	0	/	/	/	/

**Annexe 5: Tableau des précipitations moyennes de la station de Bouchegouf
(1974-2009).**

Années	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	Moyenne annuelle
1974-1975	22,1	104,95	7,1	34,2	137	72,2	87,5	81,8	47,5	8,85	8,5	11,85	623,45
1975-1976	72,85	100,35	6,3	66,5	154,1	70,9	163,05	87,4	15,95	20,2	0,85	14,75	773,05
1976-1977	65,65	43,95	1,35	90,6	75,35	65,05	136,6	47,1	7,4	13,8	0,85	4,75	552,45
1977-1978	20,2	43,8	16	48,9	10,65	64,75	53	37,45	29,75	0,75	0	0	325,15
1978-1979	14,4	22,8	63,6	35,2	33,6	86,75	83,8	33,2	55,1	8,4	15,5	12,3	464,6
1979-1980	30,35	55,05	121	37,7	50,55	39,55	66	57,55	61,85	22,9	15,5	30,2	588,2
1980-1981	25,95	60,85	118	33,7	67,2	34,9	49,05	70,2	48,05	16,7	0	24,2	548,35
1981-1982	5,1	35,5	62,9	29	62,75	63,4	70,9	123,4	26,45	18,7	2,8	1	501,85
1982-1983	27,65	40,8	74,3	17	37,95	50,55	68,3	122,35	31	17,7	8,9	1,9	498,35
1983-1984	49	21,05	78	71,1	53,5	45,95	54,65	61,4	35,35	14,9	0	4,15	489
1984-1985	30,3	25,85	30,8	102	69	76,4	59,9	54,95	40,35	14,6	0,3	6,2	510,9
1985-1986	15,95	46,3	61	79,3	48,35	58,35	65,1	29,6	35,6	4,75	1,1	9,2	454,5
1986-1987	15,15	62	90,8	68,5	72,05	83	45,35	19,9	9,45	7,45	0,8	4,6	479
1987-1988	14,7	63,6	79,3	45,8	112,2	144,4	33,63	35,5	1,2	7,1	0	0	537,43
1988-1989	22	15,2	9,6	21,1	91,2	34,8	108,9	50,3	4,6	16,1	6,5	1,8	382,1
1989-1990	27,55	54,65	61	65,2	76,1	60,7	99,05	42,95	35,9	8,15	4,1	2,85	538,2
1990-1991	38,3	55	83,6	67	59,45	62	63,25	22,95	47,35	24,8	0,85	2,1	526,5
1991-1992	38	10,7	41	55,5	39,45	57,4	28,85	28,95	25,75	34,2	0,3	27	387
1992-1993	25,15	31,85	27,8	73,8	60,55	39,85	34,8	39,05	35,3	20,7	0,4	52,8	441,95
1993-1994	10,1	34,8	54,8	103	86,05	27,4	84,7	46,55	50,2	21,6	1,2	26,9	547,1
1994-1995	16,15	62,15	52,4	80	55,7	60,4	93,45	76,7	65,15	20,4	7,35	2,3	592,05
1995-1996	15,05	84,25	77,1	88,5	38,8	46,6	54,55	62,55	74,75	13,4	6,25	2,05	563,8
1996-1997	10,6	36,2	66,9	42,3	45	42,3	22,6	45,8	39,4	3,5	0,5	0,85	355,9
1997-1998	15,6	24,75	13,6	85,4	113,2	33,15	44,35	53,5	4,1	14,4	0,5	2,05	404,55
1998-1999	39,95	32,95	41,9	36,7	44,2	103,7	76,4	89,85	47,95	18,9	2,95	4,7	540,05
1999-2000	37,35	25,55	37,6	27,7	90,5	18,65	52,55	97,9	48,25	8,9	2,45	25	472,35
2000-2001	30,9	56,8	71,5	91	73,35	50,4	37	76,5	34	0,2	0	45,45	567,05
2001-2002	69,75	65,85	134	93,2	78,05	61,75	81,45	60,3	61,15	1,4	0,6	23,6	731,05
2002-2003	67,4	21,5	106	72,7	52,25	42,6	74,8	29,2	140,55	9,85	0,6	6,4	623,8
2003-2004	33,4	46,05	47,7	76,7	71,5	45,8	30,1	37	133,65	9,05	0	6,45	537,35
2004-2005	25,45	49,7	29	31,4	65,65	57,5	25,75	47,2	27,5	3,5	8,5	15,6	386,7
2005-2006	33,35	19,9	87,6	58,7	121,3	89,65	21	89,1	30,35	3	10,65	15,45	580
2006-2007	60,7	33,9	79,1	135	160,3	81,6	45,6	95,75	71,15	49,3	2	1,05	814,9
2007-2008	60,2	32,4	63,1	150	82,55	44,85	53,05	77,15	53,02	53	4,3	7,7	681,3
2008-2009	18,95	16	64,1	131	102,5	59,3	37,9	57,85	11,4	3,9	4,55	11,4	519,15
Total	1105,25	1537	2059	2345	2591,7	2076,55	2206,93	2088,9	1486,47	514,5	119,7	408,6	529,68
P. Moy mensuelle (mm)	31,5786	43,9143	58,82	66,99	74,049	59,33	63,0551	59,6829	42,4706	14,7	3,419	11,674	529,68
P. Moy saisonnière(mm)	134,3171429			200,3714286			165,2085714			29,79228571			/

**Annexe 6 : Tableau des débits moyens de la station de Bouchegouf
(1974-2009).**

Années	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	Moy
1976-1977	0,80	0,83	0,56	1,41	17,58	12,49	41,11	10,70	2,30	1,40	0,49	0,45	7,51
1977-1978	0,30	0,07	0,01	0,57	0,33	2,69	2,05	6,74	1,22	0,41	0,24	0,17	1,23
1978-1979	0,22	0,33	0,44	0,79	1,20	17,35	4,64	2,72	1,55	0,39	0,19	0,16	2,50
1979-1980	0,17	0,18	0,30	0,43	0,81	4,49	10,35	3,81	6,12	0,93	0,45	0,21	2,35
1980-1981	0,24	1,47	19,61	5,38	5,62	2,60	1,02	4,69	1,95	0,84	0,28	0,30	3,67
1981-1982	0,23	0,26	0,61	0,51	1,36	11,30	3,03	7,83	1,34	0,76	0,52	0,50	2,35
1982-1983	0,20	0,32	0,35	0,46	0,59	1,59	3,68	21,90	2,96	0,67	0,35	0,22	2,78
1983-1984	0,41	0,33	1,37	0,47	1,01	0,66	5,72	3,50	1,80	0,42	0,14	0,10	1,33
1984-1985	0,30	0,44	0,55	4,27	9,17	11,12	4,62	2,87	1,17	0,52	0,28	0,20	2,96
1985-1986	0,44	0,36	0,42	0,72	2,01	6,23	7,59	6,16	3,90	0,79	0,33	0,26	2,43
1986-1987	0,29	0,46	2,16	5,09	4,66	2,26	4,19	1,74	0,77	0,34	0,17	0,16	1,86
1987-1988	0,16	0,43	1,65	2,12	15,04	39,67	9,69	3,69	1,01	0,47	0,20	0,16	6,19
1988-1989	0,25	1,52	0,47	25,74	22,03	7,11	11,55	4,37	2,54	0,75	0,38	0,31	6,42
1989-1990	0,28	0,42	0,39	0,43	1,30	1,36	5,99	1,69	0,72	0,28	0,15	0,11	1,09
1990-1991	0,16	0,75	5,04	13,73	12,12	26,92	12,85	12,24	3,21	1,18	0,44	0,27	7,41
1991-1992	0,22	0,30	0,43	0,43	0,80	1,05	2,51	0,70	0,29	0,28	0,02	0,00	0,59
1992-1993	0,07	0,07	0,20	1,31	0,91	3,78	2,89	1,52	0,88	0,28	0,03	0,02	1,00
1993-1994	0,00	0,34	0,26	0,63	4,09	1,37	0,98	0,71	1,61	0,36	0,11	0,41	0,91
1994-1995	0,07	0,23	1,59	10,29	9,41	7,70	18,06	9,51	2,84	1,13	0,28	0,16	5,11
1995-1996	0,25	1,31	0,86	0,77	0,95	1,73	4,86	17,24	11,81	2,67	0,70	0,34	3,62
1996-1997	0,23	0,38	1,39	8,19	17,27	2,64	4,53	2,93	2,90	0,58	0,24	0,10	3,45
1997-1998	0,13	0,22	0,28	1,18	3,40	12,23	1,99	1,82	0,69	0,16	0,02	0,05	1,85
1998-1999	0,09	0,42	0,40	0,61	14,20	1,95	7,54	1,76	0,69	0,46	0,07	0,08	2,36
1999-2000	0,01	1,38	0,07	0,09	0,67	8,80	3,73	1,40	1,55	0,08	0,03	0,01	1,49
2000-2001	0,31	0,30	0,32	0,46	1,15	1,10	0,83	0,70	0,23	0,04	0,04	0,22	0,47
2001-2002	0,72	0,74	4,39	18,89	9,31	6,65	3,88	4,72	3,04	0,66	0,32	0,11	4,45
2002-2003	0,76	0,52	8,01	4,96	7,67	15,94	5,37	3,42	1,48	0,20	0,02	0,01	4,03
2003-2004	1,28	0,18	0,39	3,73	3,43	1,68	1,29	0,80	12,54	2,22	0,39	0,20	2,34
2004-2005	0,14	0,43	0,34	0,41	3,88	11,04	1,76	1,77	2,04	0,15	0,05	0,04	1,84
2005-2006	0,07	0,22	0,17	0,16	0,19	0,45	0,24	0,28	0,09	0,02	0,02	1,64	0,29
2006-2007	0,15	0,12	2,32	9,14	35,55	18,47	6,88	26,71	2,73	0,97	0,34	0,17	8,63
Total	8,96	15,34	55,34	123,34	207,72	244,40	195,43	170,64	77,97	20,42	7,29	7,11	3,05
Q. Moy mensuel (m3/s)	0,2891	0,4948	1,785	3,9789	6,70063	7,8839	6,3042	5,5046	2,515	0,659	0,235	0,2293	/
Q. Moy saisonnier (m3/s)	2,569115581			18,56339644			14,32407166			1,123034342			/