

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique

جامعة سعيدة – د. الطاهر مولاي-

Universitaire de Saida Dr. MOULAY TAHAR-Faculté de Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique



Mémoire de Fin d'étude

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Hydrologie du bassin versant de l'oued Mekerra aval.

Présenter Par :

M^{lle} : BENCHOHRA Ouijdane Rajaa.

M^{me} : BAKOURA Abdesamed Soulaïmen.

Soutenue le 26/06/2024, devant le jury composé de :

Mr : HAFIAN.M

Président

Mr : CHEKILA

Examineur

Mr : YLES.F

Encadreur

Année universitaire :2023/2024

Remerciements

Avant tout, notre gratitude et nos remerciements vont à ALLAH, Dieu le Miséricordieux, l'Unique, le Tout-Puissant, Pour nous avoir guidé et protégé.

Nous tenons à témoigner toute notre reconnaissance à Mr **YLES fouad** notre encadreur, qui a accepté de diriger notre recherche et de répondre à nos questions durant la préparation de ce mémoire, et aussi pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nos remerciements vont également à tous nos professeurs qui ont bien voulu répondre à nos questions. Ils nous ont été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire.

Nous exprimons toute notre gratitude à Mr **BENIKDES Aissa**, notre chef de département de Génie Civil et d'Hydraulique, ainsi qu'à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Enfin nous tenons à remercier Monsieur **HAFIANE.M** et Monsieur **CHEKILA.A** qui nous ont fait l'honneur de juger ce mémoire.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :

À nos chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières pour nous tout au long de nos études,

À nos chères sœurs Manel et Fatima pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

À nos chers frères Nadir ; Khaled ; Abdelkader et Mohamed pour leur appui et leurs encouragements,

À tous nos familles pour leur soutien tout au long de notre parcours universitaire,

À nos cher amie Mohand qui nous ont aidé énormément dans ce travail.

À toute la promotion de 2023/2024.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là.

Radjaa & Abdesamed

Résumé

Le bassin versant d'Oued Mekerra aval couvre une superficie de 1744.81 Km² se situe dans une zone semi-aride, Il est affecté par le changement climatique d'une part et la forte pression anthropique d'autre part. Dans le cadre de ce travail et afin de mieux comprendre cette problématique, l'étude portera dans une première phase sur la caractérisation de plusieurs paramètres en particulier, physiques, morphométriques et climatiques et dans une deuxième phase, l'évolution des régimes pluviométriques et hydrologiques et leurs conséquences sur les ressources en eau superficielle.

Mots-clés : Oued Mekerra aval, Morphologie, Climatologie, Hydrologie, Ajustement.

Abstract

The Oued Mekerra aval watershed 1744.81 Km² is located in a semi-arid zone, affected by climate regression on one side and strong pressure on the other side. As part of this work and in order to better understand the problem, the study will focus at first on the characteristics of some factors in particular, physical, morphometric, geological and climate characteristics followed by an adjustment of the series of precipitations and in a second phase the evolution of rainfall regimes and hydrological and their consequences on surface water resources

Keywords : Oued Mekerra aval, Climatology, Morphology, Hydrology, Adjustment

ملخص

تقع متجمعات المياه مكره (1744.81 كم²) في منطقة شبه قاحلة، متأثرة بانحدار المناخ من ناحية، والضغط الشديد من ناحية أخرى. ومن أجل فهم المشكلة أفضل، ستركز الدراسة في المرحلة الأولى على تمييز بعض العوامل الفيزيائية والشكلية والمناخية على وجه الخصوص، تلاها تعديل لسلسلة الترسبات، وفي المرحلة الثانية تطور أنظمة هطول الأمطار والهيدرولوجية ونتائجها على موارد المياه السطحية

Sommaire

Remerciements

Dédicace.....	I
Résumé	II
Listes des figures.....	V
Listes des tableaux.....	VII
Listes des abréviations.....	X
Introduction générale	1
Chapitre I Présentation de la region d'étude	2
I.1. Cadre géographique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.....	3
I.2. Caractéristiques physiques du bassin d'Oued Mekerra Aval	4
I.2.1. Surface et périmètre du bassin versant.....	4
I.2.2. Étude du relief.....	4
I.2.3. Forme du bassin	6
I.2.4. Notion du rectangle équivalent.....	6
I.2.5 Altitudes caractéristiques du bassin	7
I.2.6. Indices de pente	9
I.2.7. Dénivelée spécifique.....	10
I.2.8. Indice de pente de ROCHE.....	11
I.3. Étude du réseau hydrographique	12
I.3.1. La densité de drainage « Dd »	14
I.3.2. Rapport de confluence	14
I.3.3. Rapport des longueurs.....	14
I.3.4. Fréquence des cours d'eau.....	14
I.3.5. Coefficient de torrencialité	15
I.3.6. Temps de concentration.....	15
Chapitre II Étude climatologique du bassin.....	17
II.1. Situation climatique	18
II.2. Pluviométrie	18
II.2.1. Précipitations moyennes annuelles.....	18
II.2.2. Précipitations moyennes mensuelles	19
II.3. Température.....	20
II.4. Détermination du climat.....	21
II.4.3. Quotient pluviothermique d'Emberger	24
II.4.4. Indice de STEWART	26
II.5. L'évapotranspiration réelle et le déficit d'écoulement.....	26

II.5.1. L'évapotranspiration réelle	26
II.6. Les différents paramètres du bilan hydrologique	31
II.6. Ruissellements	33
II.7. Infiltration.....	33
II.8. Volume d'eau infiltré	34
Chapitre III Étude hydrologique.....	35
III.1. La pluviométrie	36
III.1.1. Introduction	36
III.1.2. Étude des précipitations.....	37
III.1.2.1. Étude des précipitations annuelles.....	37
III.1.2.2. Étude des précipitations mensuelles	40
III.1.2.3. Études des précipitations saisonnières :	42
III.1.3. Analyse statistique des séries pluviométriques	44
III.1.3.1. Ajustement des précipitations	44
III.2. Étude hydrologique	54
III.2.1. Débits moyens annuels.....	54
III.2.2. Analyse des débits annuels.	54
III.2.3. Hydraulicité	56
III.2.4. Étude des débits mensuels	57
III.2.5. Étude des débits saisonniers :	58
III.2.6. Ajustement des débits annuels	58
III.2.7. Étude des débits mensuels.	61
III.2.8. Coefficient mensuel de débits.	62
Conclusion.....	65
Références bibliographique.....	68

Liste des figures

Chapitre I Étude des paramètres hydrologiques : cas de bassin versant

d'oued Mekerra aval

Figure (I-1) : Limites du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.	03
Figure (I-2) : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.	05
Figure (I-3) : Rectangle équivalent sous bassin de l'Oued Mekerra aval.	07
Figure (I-4) : Modèle numérique de terrain du bassin versant de l'Oued Mekerra.	09
Figure (I-5) : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Mekerra.	13

Chapitre II ÉTUDE CLIMATOLOGIQUE : cas de bassin versant d'oued Mekerra aval

Figure (II-1) : Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station météorologique de SBA période (1996-2006).	19
Figure (II-2) : Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station météorologique de SBA période (1996-2006).	19
Figure (II-3) : Les courbes de répartition des températures de la station météorologique de SBA période (1996-2006)	20
Figure (II-4) : Diagramme Ombrothermique	21
Figure (II-5) : Abaque de l'indice de DEMARTONNE	23
Figure (II-6) : Abaque de l'indice d'aridité d'EMBERGER [A.ANSER]	25
Figure (II-7) : Abaque de P. VERDEIL	28
Figure (II-8) : Abaque de WUNDT du déficit	29

Chapitre III ÉTUDE HYDROLOGIE : cas de bassin versant d'Oued Mekerra aval

Figure (III-1) : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station du Sarno bge (1974/2011).	38
Figure (III-2) : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Sidi Bel Abbes (1974/2011).	38
Figure (III-3) : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Tessala (1974/2011).	39
Figure (III-4) : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Lamtar (1974/2011).	39
Figure (III-5) : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sarno bge (1974/2011).	41

Figure (III-6) : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (1974/2011).	41
Figure (III-7) : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tessala (1974/2011).	41
Figure (III-8) : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Lamtar (1974/2011).	42
Figure (III-9) : Répartition des régimes saisonniers des précipitations dans la station de Sarno bge.	43
Figure (III-10) : Répartition des régimes saisonniers des précipitations dans la station de Sidi Bel Abbès.	43
Figure (III-11) : Répartition des régimes saisonniers des précipitations dans la station de Tessala.	43
Figure (III-12) : Répartition des régimes saisonniers des précipitations dans la station de Lamtar.	43
Figure (III-13) : L'ajustement de la station de Sarno bge à la loi de Log normale.	45
Figure (III-14) : L'ajustement de la station de Sidi Bel Abbès à la loi de Gumbel.	48
Figure (III-15) : L'ajustement de la station de Tessala à la loi de Gumbel.	50
Figure (III-16) : L'ajustement de la station de Lamtar à la loi de lognormale.	52
Figure (III-17) : variations des débits moyens annuels (m^3/s).	55
Figure (III-18) : Variation de l'hydraulicité durant la période d'étude (1988-2001).	57
Figure (III-19) : variations des débits mensuelles (m^3/s).	57
Figure (III-20) : Histogramme des débits saisonniers de la station de sidi Ali Benyoub Mekerra (1988/2002).	58
Figure (III-21) : variations des débits mensuelles (m^3/s).	62
Figure (III-22) : variation de coefficients mensuels de débits.	63

Liste des tableaux

Chapitre I Étude des paramètres hydrologiques : cas de bassin versant d'oued Mekerra aval

Tableau (I-1) : Répartition hydrométrique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.	05
Tableau (I-2) : Altitude moyenne de sous bassin versant de l'Oued Mekerra aval.	08
Tableau (I.3) : Classification du relief selon Ds.	10
Tableau (I-4) : Résultat de Dénivelée spécifique.	10
Tableau (I-5) : Résultat de l'indice de pente globale.	10
Tableau (I-6) : Classement du relief selon Ig par l'ORSTOM [Mokadmi S. 2012.	11
Tableau (I-7) : Récapitulation des paramètres morpho-métriques du bassin de l'Oued Mekerra.	12
Tableau (I-8) : Classification du réseau hydrographique (bassin de l'Oued Mekerra aval).	13
Tableau (I-9) : Récapitulation des paramètres hydrographiques du bassin de l'oued Mekerra aval.	16

Chapitre II ÉTUDE CLIMATOLOGIQUE : cas de bassin versant d'Oued Mekerra aval

Tableau (II-1) : Précipitations moyennes annuelles de la station météorologique de SBA période (1996 au 2006).	18
Tableau (II-2) : précipitation moyennes Mensuelles de la station météorologique.	19
Tableau (II-3) : Températures moyennes mensuelles entre (1996-2006).	20
Tableau (II-4) : Détermination du type de climat d'après la méthode de Martonne.	22
Tableau (II-5) : Situation bioclimatique de la région d'étude.	24
Tableau (II-6) : représente le calcul de λ .	27
Tableau (II-7) : Paramètre mensuelle interannuels de l'ETP (THORNTWAITE).	30
Tableau (II-8) : représentation des différentes valeurs de l'ETP, ETR, R_u en fonction de précipitation.	32
Tableau (II-9) : Les différentes valeurs de l'ETR.	32
Tableau (II-10) : Caractéristiques climatiques, statistique et hydrologiques.	34

Chapitre III ÉTUDE HYDROLOGIE : cas de bassin versant d'Oued Mekerra aval

Tableau (III-1) : Coordonnées des quatre stations météorologiques d'Oued Mekerra aval.	36
Tableau (III-2) : Valeurs des précipitations moyennes annuelles des quatre stations pluviométriques du bassin versant de la Mekerra entre (1974 à 2011).	37
Tableau (III-3) : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles des quatre stations de l'oued Mekerra aval.	40
Tableau (III-4) : Valeur des précipitations saisonnières a la station de l'oued Mekerra aval.	42
Tableau (III-5) : Classement des précipitations de la station Sarno bge par ordre croissant.	44
Tableau (III-6) : calcul des paramètres de test χ^2 station sarno bge.	46
Tableau (III-7) : La valeur critique sera tabulée station sarno bge.	47
Tableau (III-8) : classement des précipitations de station Sidi Bel Abbes par ordre croissant.	47
Tableau (III-9) : calcul des paramètres de test χ^2 station Sidi Bel Abbes.	48
Tableau (III-10) : La valeur critique sera tabulée station Sidi Bel Abbes.	49
Tableau (III-11) : classement des précipitations de station Tessala par ordre croissant.	49
Tableau (III-12) : calcul des paramètres de test χ^2 station Tessala.	50
Tableau (III-13) : La valeur critique sera tabulée station Tessala.	51
Tableau (III-14) : classement des précipitations de station Lamtar par ordre croissant.	51
Tableau (III-15) : calcul des paramètres de test χ^2 station Lamtar.	52
Tableau (III-16) : La valeur critique sera tabulée station Lamtar.	53
Tableau (III-17) : Résultats des paramètres statistiques.	53
Tableau (III-18) : valeurs des débits moyennes annuelles à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.	55
Tableau (III-19) : Variation de l'hydraulicité durant la période d'étude.	56
Tableau (III-20) : valeurs des débits moyennes mensuelles à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.	57
Tableau (III-21) : valeur des débits saisonniers a la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.	58
Tableau (III-22) : classement des débits par ordre croissant.	59

Tableau (III-23) : Résultats des paramètres statistiques.	60
Tableau (III-24) : calcul des paramètres de test χ^2 débits de station de sidi Ali Benyoub.	60
Tableau (III-25) : La valeur critique sera tabulée débits de station de sidi Ali Benyoub.	60
Tableau (III-26) : les débits du différent temps de retour.	61
Tableau (III-27) : valeurs des débits moyennes mensuelles à la station de sidi Ali Benyoub.	61
Tableau (III-28) : valeurs des Coefficient mensuel des débits à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.	63

Liste des abréviations

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources hydrauliques.

MNT : Modèle numérique du terrain

P : Précipitation

T : Température

Kc : indice de compacité.

Tc : Temps de concentration.

Rc : Rapport de confluence.

Dd : Densité de drainage.

Ct : Coefficient de torrentialité.

Cv : Coefficient de variation.

ETR : évapotranspiration réelle.

ETP : évapotranspiration potentielle

SBA : Sidi Bel abbés.

CMD : Coefficient de débit mensuelles

n : Nombre d'années.

K : Nombre de classe.

n_i : Effectif.

np_i : Effectif espéré.

σ : Écart type.

Introduction générale

« L'eau n'est pas nécessaire à la vie, elle est la vie » (Antoine de Saint-Exupéry).

L'eau est cruciale pour toute activité humaine et la garantie d'un bon fonctionnement des écosystèmes. La demande croissante en eau, l'exagération des phénomènes naturels tels que le changement climatique et la désertification ont conduit à des sécheresses à répétition, ce qui a engendré une rareté de l'eau.

L'Algérie, pays semi-aride et qui devient de plus en plus aride, souffre d'un stress hydrique notable dû à plusieurs causes dont les plus importantes sont :

- Une pluviométrie annuelle faible selon les périodes.
- Une sécheresse s'étendant sur plusieurs années.

Les potentialités en eau de l'Algérie sont globalement estimées à dix-huit milliards de mètres cubes, dont les trois quarts sont dans la région nord. Une grande partie de ces ressources proviennent des eaux de surface contrairement aux régions sahariennes où les ressources sont souterraines.

Dans ce mémoire de fin d'études, nous nous intéressons à l'étude hydrologique du bassin versant Mekerra aval.

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous donnons un diagnostic physico-géographique. Nous décrivons les principaux facteurs naturels intervenant dans l'approvisionnement en eau et ses débits (localisation, réseaux hydrologiques).

Dans le deuxième chapitre, nous exposons une étude climatologique du bassin étudié qui vise à comprendre les caractéristiques climatiques et à établir un bilan hydrologique pour estimer les réserves en eau à l'exutoire de l'oued.

Le dernier chapitre, nous nous consacrons à l'étude des processus hydrologiques, leurs fonctions et leur impact sur les changements spatiaux et temporels. Cela va nous permettre de donner une analyse statistique des paramètres hydrographiques et évalue l'apport hydrique mensuel, saisonnier et annuel.

Une conclusion générale est donnée à la fin de ce mémoire.

Chapitre I

PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

I.1. Cadre géographique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval

Le bassin versant d'Oued Mekerra aval fait partie du grand bassin de la Macta qui s'étend au Nord-Ouest de l'Algérie dans les derniers contreforts tabulaires du versant sud de l'Atlas Tellien qui est formé par les monts de Tlemcen, de Daïa et de Saïda. Il est compris entre la latitude nord 34° et 36° et la longitude ouest $-1^{\circ}14'$ et $-0^{\circ}32'$ (Figure 0-1). La longueur du thalweg principal est de 70Km [ANRH]. Les limites du bassin versant de l'Oued Mekerra sont définies :

Au nord, par la chaîne montagneuse de Tessala, qui constitue le segment occidental de l'Atlas tellien, au sud, par la ride anticlinale des hauts plateaux du Ras-El-Ma, au sud de laquelle commence le bassin versant du chott Ech-Chergui, à l'est, par le sous-bassin d'Oued El Hammam (Macta) et à l'Ouest, par le bassin de la Tafna.

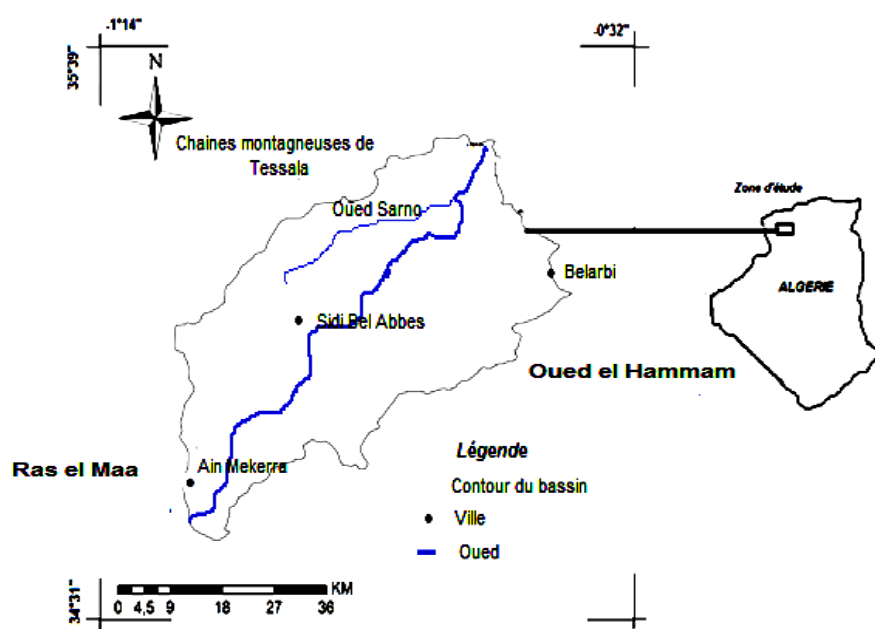


Figure (I-1) : Limites du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.

Dans sa course de l'amont vers l'aval, l'Oued Mekerra traverse plusieurs villes importantes telles que : Ras El Ma, Haçaïba, Sidi Ali Ben Youb, Tabia, Boukhanifis, Sidi Khaled et Sidi Bel Abbès. Son point de départ se situe sur les hauts plateaux de Ras El Ma, à environ 1450 mètres d'altitude, dans la haute vallée steppique.

Il est alimenté par plusieurs vallées fluviales, notamment l'Oued Mouzen (Tissaf), Tedjmout et Farat Ezziét, et prend ses sources au pied de plusieurs chaînes de montagnes, dont Teniet El Baroud, Djouazène, Beghra et Rokbet En Naama.

I.2. Caractéristiques physiques du bassin d'Oued Mekerra Aval

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage Musset (2005). Parmi les caractéristiques morphologiques nous citons en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs physiques, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques. Pour le cas de notre étude, nous avons utilisé le logiciel MAP-INFO 7.0 pour la digitalisation, ainsi que pour la détermination du modèle numérique du terrain (M.N.T).

I.2.1. Surface et périmètre du bassin versant

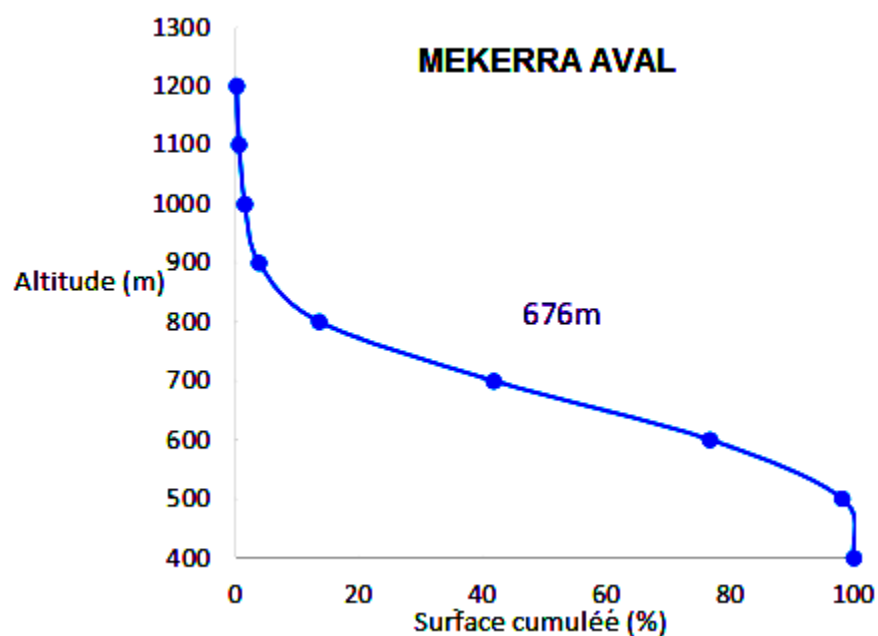
Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits d'écoulement sont en partie reliés à sa surface. La détermination de la surface du bassin versant ainsi que son périmètre ont été déterminé par la technique de digitalisation de la carte topographique établit à l'échelle 1/25000 grâce au logiciel MAP-INFO 7.0. Cette technique nous a un permis de déterminer avec précision la surface de notre bassin versant qui est de 1744,8 Km² et un périmètre de 228,30 Km.

I.2.2. Étude du relief

Les altitudes ainsi que la forme du relief influent considérablement sur les différents paramètres hydro-climatiques d'une région donnée. Elles déterminent en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. Partant de la répartition par tranches d'altitudes du bassin (tableau I-1), nous avons établi la courbe hypsométrique et le diagramme des fréquences altimétriques dans la figure (I-2) et le tableau (0-1) présente cette répartition en Km² de a surface total de l'Oued Mekerra aval.

Tableau (I-1) : Répartition hydrométrique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.

Altitude (m)	Superficies en (km ²)	Surface cumulée en (km ²)	Surface cumulée en (%)
1200-1150	2.77	2.77	0.16
1150-1050	7.27	10.04	0.58
1050-950	15.99	26.03	1.49
950-850	40.14	66.17	3.79
850-750	170.54	236.71	13.57
750-650	490.92	727.63	41.73
650-550	610.87	1338.5	76.76
550-450	372.23	1710.73	98.10
450-400	33.05	1743.78	100.00

**Figure (I-2) : Courbe hydrométrique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.**

La courbe hypsométrique, montre une concavité vers le bas avec des pentes faibles vers les hautes altitudes 1% à 2% indiquant la présence de zone abruptes en amont du bassin, favorisant ainsi un écoulement torrentiel. Les pentes de la courbe sont importantes vers les basses altitudes et expriment que l'Oued Mekerra termine sa course au niveau d'une zone pénéplaine et les risques d'inondation ne sont pas à exclure.

I.2.3. Forme du bassin

La nature de la forme d'un bassin, influence énormément l'écoulement et détermine l'allure de son hydro gramme. Un bassin très allongé ne réagit pas de la même manière qu'un autre bassin de forme très ramassés ayant évidemment les mêmes caractéristiques Roche (1963).

Généralement, la forme d'un bassin versant est relative à l'indice de compacité de Gravelius. Ce dernier est déterminé en comparant le périmètre (P) du bassin à celui d'un cercle possédant la même superficie (A).

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

K_G : Indice de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin versant (Km).

A : Surface du bassin versant (Km²).

Sur le plan morphologique, l'indice de compacité K_G est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire, est supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée. Pour le cas du bassin versant de l'oued Mekerra Aval, la valeur du coefficient de compacité $K_G = 1,53$ indique que le bassin est de forme plutôt allongée.

I.2.4. Notion du rectangle équivalent

Ce paramètre traduit l'influence de la forme géométrique du bassin sur les écoulements. Le rectangle équivalent s'identifie par une simple transformation géométrique du contour du bassin en un rectangle de même surface (A), de périmètre (P), de longueur (L), de largeur (l), indice de compacité K_C , et de la même courbe hypsométrique que le bassin versant étudié. Les courbes de niveau devenant des droites parallèles aux petites côtes et les exutoires du bassin versant étant assimilées à l'un de ces petits côtés du rectangle (Figure I.3).

La longueur du rectangle est déduite à partir de la relation suivante :

$$L = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (2)$$

L'application de la relation (1), donne $L=94.93$ km

La largeur : $l = 18.37$ km

$S=l \times L = 18.37 \times 94.93 = 1743.5$ km²

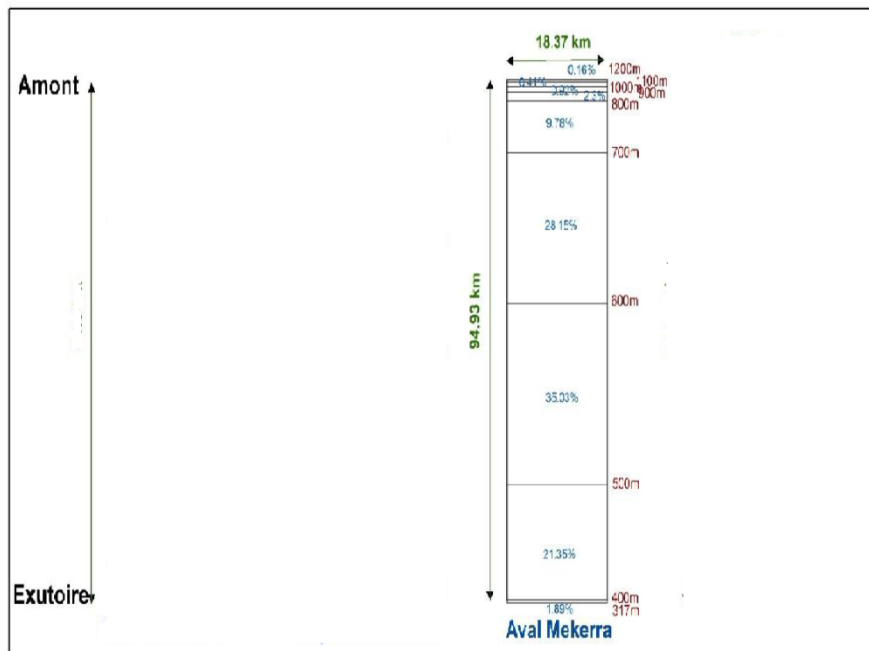


Figure (I-3) : Rectangle équivalent sous bassin de l'Oued Mekerra aval [1].

I.2.5 Altitudes caractéristiques du bassin

I.2.5.1. Les altitudes maximales et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. Ces deux données déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. Pour le cas de notre bassin $H_{\max} = 1192$ et $H_{\min} = 317$ m.

I.2.5.2. L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A} \quad (3)$$

$$H_{moy} = 586,19\text{m}$$

H_{moy} : altitude moyenne du bassin (m) ; A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau (Km^2) ;

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m) ; A : superficie totale du bassin versant (Km^2).

Tableau (I-2) : Altitude moyenne de sous bassin versant de l'Oued Mekerra aval.

H_i (m)	A_i (km^2)	$H_i \cdot A_i$ (m)
1150	2,77	3185,5
1050	7,27	7633,5
950	15,99	15190,5
850	40,14	34119
750	170,54	127905
650	490,92	319098
550	610,87	335978,5
450	372,23	167503,5
350	33,05	11567,5

La figure (I.4) englobe le modèle numérique du terrain (M.N.T) du bassin versant de l'Oued Mekerra. Elle donne un aperçu quant à la répartition des altitudes dans le bassin et confirme par ailleurs les informations données par la courbe hypsométrique.

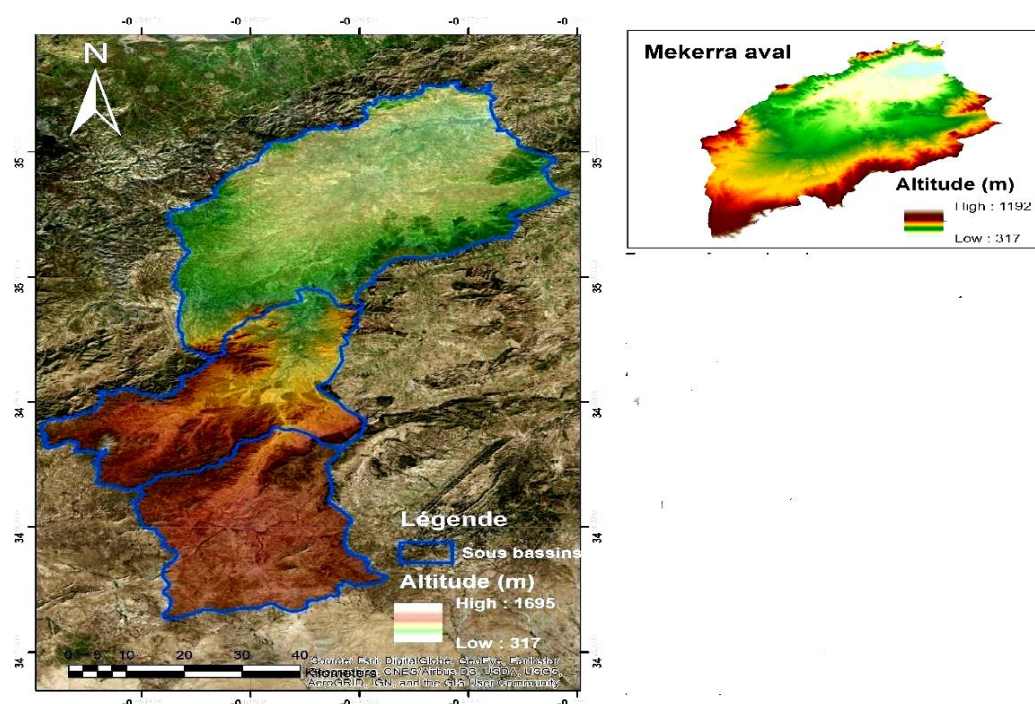


Figure (I-4) : Modèle numérique de terrain du bassin versant de l'Oued Mekerra.[1]

I.2.6. Indices de pente

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global I_g donné par la relation :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (4)$$

I_g : indice globale de Roche

D : dénivelée (m).

L : Longueur du rectangle équivalent en (Km)

Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale.

H_5 et H_{95} sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée D est donc égale à $H_5 - H_{95}$. Donc $H_{5\%} = 891\text{m}$ et $H_{95\%} = 517\text{m}$

I.2.7. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour différents bassins. La dénivelée spécifique se calcule alors par la relation suivante :

$$Ds = I_g \cdot \sqrt{A} \quad (5)$$

I_g : Indice de pente global (m/Km).

A : aire du bassin (km²).

Les valeurs de I_g , I_p et D_s sont portées au tableau (I.2).

Tableau (I-3) : Classification du relief selon D_s .

$D_s < 10$ m	Relief très faible
$10 < D_s < 25$	Relief faible
$25 < D_s < 50$	Relief assez faible
$50 < D_s < 100$	Relief modéré
$100 < D_s < 250$	Relief assez fort
$250 < D_s < 500$	Relief fort
$D_s > 500$	Relief très fort

Tableau (I-4) : Résultat de Dénivelée spécifique.

Nom du bassin	L(m)	l(m)	D(m)	Ds (m)
Oued Mekerra aval	94930	18370	374	164.52

Tableau (I-5) : Résultat de l'indice de pente globale.

Nom du bassin	H _{5%} (m)	H _{95%} (m)	L(m)	I _g (m/Km)	I _g (%)
Oued Mekerra aval	891	517	94930	0,0039	0.39

Tableau (I-6) : Classement du relief selon Ig par l'ORSTOM [2].

Relief	Ig (m)
Relief très faible	Ig < 0,002 m/km
Relief faible	0,002 < Ig < 0,005
Relief assez faible	0,005 < Ig < 0,01
Relief modéré	0,01 < Ig < 0,02
Relief assez fort	0,02 < Ig < 0,05
Relief fort	0,05 < Ig < 0,5
Relief très fort	Ig > 0,5

Donc dans notre cas : $0,002 < Ig < 0,005$ d'après la classification ORSTOM (Tableau 0-6), le relief du bassin d'Oued Mekerra aval a un relief faible

I.2.8. Indice de pente de ROCHE

Indice de roche sert à déterminer la pente moyenne, il tient compte du facteur de ruissellement et son influence sur le régime hydrologique, cet indice se calcule par la relation suivante : **[3]**

$$Ip_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (6)_0$$

L : Longueur du thalweg principal en Km.

H_{max} : Altitude maximale en m.

H_{min} : Altitude minimale en m.

$$Ip_{moy} = 0,0092 \text{ (m/Km)} \quad \text{et} \quad Ip_{moy} = 0.92 \text{ (\%)}$$

Dans le tableau (I.7), nous avons représenté les différents résultats des paramètres obtenues.

Tableau (I-7) : Récapitulation des paramètres morpho-métriques du bassin de l'Oued Mekerra.

Caractéristiques	Paramètres	Symbol e	Unités	Valeurs
Morphologie du bassin versant	Surface	A	km^2	1744.81
	Périmètre	P	km	228.30
	Coefficient de GRAVELIUS	K_G	-	1.53
	Longueur du rectangle équivalent	L	km	94.91
	Largeur du rectangle équivalent	l	km	18.37
Relief	Altitude maximale	H_{max}	m	1150
	Altitude moyenne	H_{moy}	m	586.11
	Dénivellé spécifique	Ds	m	164
	Pente globale Ip	Ip	%	0,92

I.3. Étude du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique, est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Il peut donc prendre une multitude de formes. La différence du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux.

- Géologie : La nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique

- Climat : Le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.

- Pente du terrain : Elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.

– Cours d'eau : Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle l'écoulement est présent. Contrairement, dans les plaines les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine [4]. Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Mekerra Aval (figure I-5), a été réalisé par la digitalisation des courbes de niveau, à partir de la carte d'état-major avec une échelle de 1/100000.

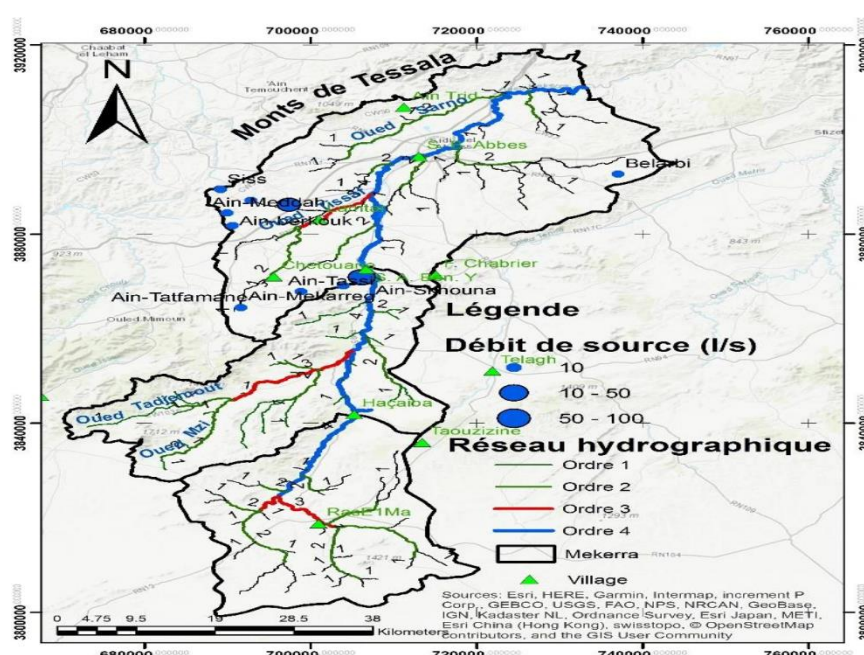


Figure (I-5) : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Mekerra.

Divers paramètres sont utilisés pour définir le réseau hydrographique parmi, les plus importants nous citons, la densité de drainage (Dd), le rapport de confluence (Rc), le rapport des longueurs (Rl), la fréquence des cours d'eau (Fs) et le temps de concentration (Tc).

**Tableau (I-8) : Classification du réseau hydrographique
(bassin de l'Oued Mekerra aval).**

Ordre	Nombre	Longueur (km)	Longueur moyenne (km)
1	33	195.2	5.92
2	18	97	5.39
3	2	24.5	12.25
4	1	45.3	45.3
Total	54	362	6.70

I.3.1. La densité de drainage « Dd »

La densité de drainage d'un bassin versant est définie comme étant la longueur moyenne du réseau hydrographique par km² de l'aire S du bassin. Elle reflète la dynamique de ce dernier, la stabilité du réseau de drainage et le type de ruissellement de surface. Elle est obtenue par la relation suivante :

$$Dd = \sum L / A \quad (7)$$

Dd : Densité de drainage en km/km²

L : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

A : Aire du bassin en km².

I.3.2. Rapport de confluence

Il est défini par la relation suivante :

$$Rc = Nn / N (n + 1) \quad (8)$$

Rc : Rapport de confluence.

Nn : Nombre de cours d'eau d'ordre n.

I.3.3. Rapport des longueurs

Le rapport des longueurs est calculé par la relation suivante :

$$R_L = L (N + 1) / L_n \quad (9)$$

R_L : Rapport des longueurs

L_n : Longueur de cours d'eau d'ordre n.

I.3.4. Fréquence des cours d'eau

Elle correspond au nombre de cours d'eau par unité de surface. Elle est obtenue à partir du rapport du nombre de cours d'eau (N) à la surface totale (A) du bassin. Elle est calculée par la relation suivante :

$$Fs = N / A \quad (10)$$

F_s : Fréquence des cours d'eau

N : Nombre de thalweg

A : Surface du bassin en Km^2

I.3.5. Coefficient de torrentialité

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage :

$$C_t = D_d \cdot F_1 \quad (11)$$

D_d : Densité de drainage

F_1 : Fréquence des thalwegs élémentaires $F_1 = N_1 / A$

Avec

N_1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1

I.3.6. Temps de concentration

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, pour son calcul, nous faisons appel à la formule de Giandotti.

$$T_c = 4 (A + 1,5 L)^{\frac{1}{2}} / 0.8 (H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

T_c : Temps de concentration (heures)

A : Superficie du bassin (km^2)

L : longueur du thalweg principal (km)

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{min} : Altitude minimale (m)

Dans le tableau I.6, nous avons représenté les valeurs des différents paramètres hydrographiques du bassin de l'oued Mekerra Aval.

Formule de Kirpich (1940)

Cette formule est applicable pour les zones arides et semi arides, elle est définie par :

$$T_c = 0.6615.L^{0.77}I_g^{0.385} \quad (13)$$

L : Longueur du bassin versant (km).

Ig : Indice de la pente globale

Tableau (I-9) : Récapitulation des paramètres hydrographiques du bassin de l'oued Mekerra aval.

Caractéristiques hydrographiques				
	Paramètres	Symbole	Unités	Valeurs
Oued Mekerra aval	Densité de drainage	Dd	Km/km ²	0,20
	Temps de concentration	Tc	Heure	20h60mn
	Coefficient de torrencialité	Ct	-	0,004
	Fréquence des cours d'eau	Fs	-	0,019

L'exploration du tableau (I.8), montre que la valeur du coefficient de torrencialité Ct est relativement faible (0,004). Ceci est dû essentiellement à la faiblesse des précipitations, où encore à la forte perméabilité des structures lithologiques. D'autre part, le temps de concentration s'avère assez important (20h), en raison de la forme et du relief qui caractérise le bassin. La valeur de densité de drainage (0,20 Km/Km²) et la fréquence des cours d'eau (0,019) indiquent que le bassin versant est assez bien drainé. L'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui forment le bassin (présence de faille qui favorisent la genèse des cours d'eau et d'autre part au régime climatique, caractérisé par des pluies irrégulières et violentes. Tous ces paramètres indiquent que le réseau hydrographique est bien organisé. On considère alors, que le réseau hydrographique, de notre bassin témoignent d'un chevelu hydrographique bien hiérarchisé moyennement dense, mais assez ramifié.

Chapitre II

Étude climatologique du bassin

II.1. Situation climatique

Le bassin versant de Mekerra aval est caractérisé par un climat semi-aride un été sec et chaud et un hiver froid et pluvieux.

II.2. Pluviométrie

II.2.1. Précipitations moyennes annuelles

Selon les mesures effectuées au niveau de la station de Sidi bel Abbès, la pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 350mm et 500 mm/an, Selon les mesures effectuées au niveau de la station métrologique de SBA, les précipitations sont irrégulières et elles varient entre 350m et 500 mm/an. La moyenne annuelle des précipitations au cours d'une période de 10 ans (1996-2006) est de l'ordre de 319 mm/an.

Tableau (II-1) : Précipitations moyennes annuelles de la station météorologique de SBA période (1996 au 2006).

Année	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Somme
1996-1997	18.6	4	9	9	49.4	2.2	0	34.4	13.1	1.6	1.3	5.8	148.40
1997-1998	46.7	20.4	70.9	70.9	25.1	37.2	11	33.2	30.7	5.3	0	2.9	354.30
1998-1999	4.8	0	15.2	15.2	50	44.8	85.7	0	1.2	0	0	0	216.90
1999-2000	21.2	17.9	79.8	79.8	0	0	9.5	23	38.1	0	0	0	269.30
2000-2001	39.7	64.2	61.5	61.5	104.1	60.7	0.6	13	12.6	0	0	0	417.90
2001-2002	10.3	58	147	147.3	7.7	2.5	28.9	48.6	47.1	0	0	10.8	508.50
2002-2003	0	15.3	72.8	72.8	78.8	81.9	22.7	28	12	5.6	0	0	389.90
2003-2004	0.1	19.4	22.8	22.8	44.3	35.5	8.1	31.4	44.9	0.9	0	6.5	236.70
2004-2005	14.3	42.7	33.3	33.3	8.6	24.3	31.7	5.6	0	7.2	0	0	201.00
2005-2006	1.1	37.7	111	111.2	62.5	62.5	5.7	22.9	35.4	3.2	0	0	453.40
Pmoy(mm)	15.6	27.9	62.4	62.38	43.0	35.1	20.3	24.0	23.5	2.3	0.13	2.6	319

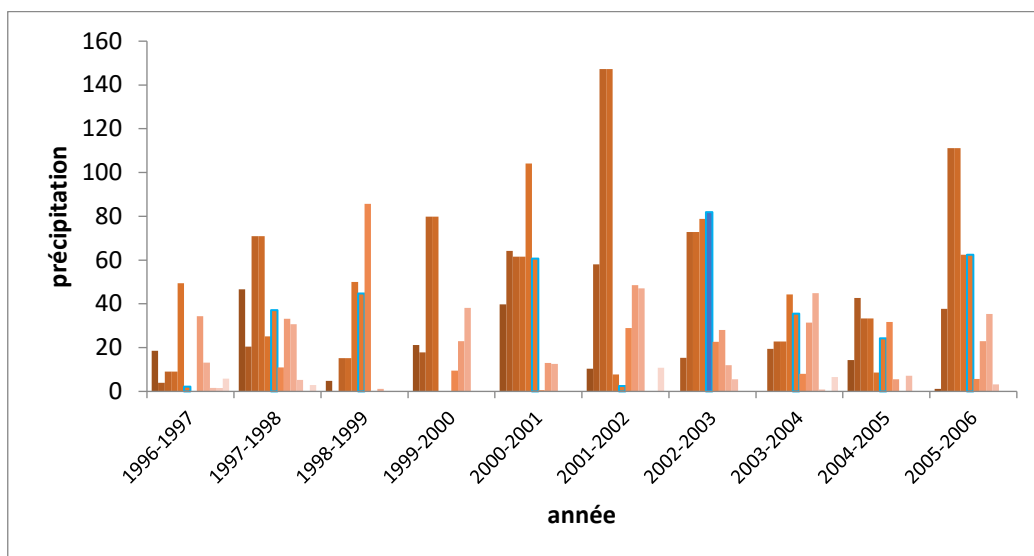


Figure (II-1) : Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station météorologique de SBA période (1996-2006).

II.2.2. Précipitations moyennes mensuelles

Dans le tableau (II-2) et la figure (II -2), nous avons représenté les précipitations mensuelles durant la période (1996 au 2006).

Tableau (II-2) : précipitation moyennes Mensuelles de la station météorologique.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Moy
Pmoy (mm)	15.68	27.96	62.38	62.38	43.05	35.16	20.39	24.01	23.51	2.38	0.13	2.6	26.63

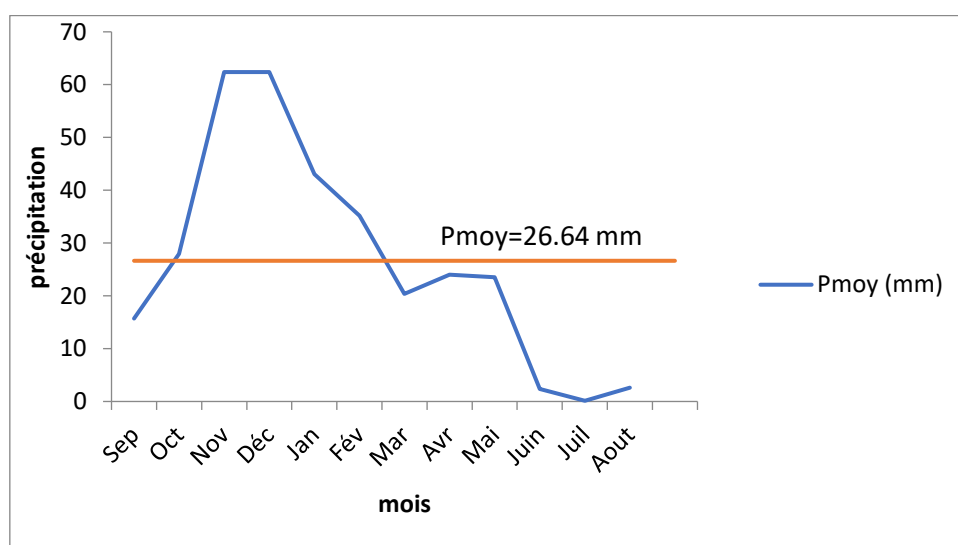


Figure (II-2) : Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station météorologique de SBA période (1996-2006).

L'analyse de la figure (II-2), montre une baisse de la pluviométrie qui commence au mois de Juin, et qui s'achève vers le mois de septembre et une forte pluie qui se situe entre le mois d'Octobre à Avril. Ces précipitations se concentrent essentiellement en hiver et au printemps. Les pluies de printemps sont importantes mais l'été est sec. On remarque que les précipitations accusent donc une irrégularité non seulement annuelle mais aussi mensuelle.

II.3. Température

La connaissance de la température dans une région ainsi que la maîtrise de leurs variations sont autant d'éléments fondamentaux qui conditionnent les potentialités hydriques, particulièrement par l'effet de l'évapotranspiration en matière de bilan de l'eau.

Tableau (II-3) : Températures moyennes mensuelles entre (1996-2006).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec.	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Tmax	30	26	19	16	15	16	20	21	26	32	34	35	24
TMin	16	12	7	5	3	4	6	8	11	16	19	19	11
Tmoy	23	19	13	10,5	9	10	13	14,5	18,5	24	26,5	27	17,3

Les températures maximales moyennes mensuelles ne sont pas assez élevées et varient entre 17.3°C en Janvier (mois le plus froid) et 35°C en Juillet et Août (les mois les plus chaud de l'année) (Tableau II-3). A partir de ces données on conclut que les mois de Juillet et Août sont généralement les plus chauds et La température minimale enregistrée dans la zone d'étude, est de l'ordre de 3°C

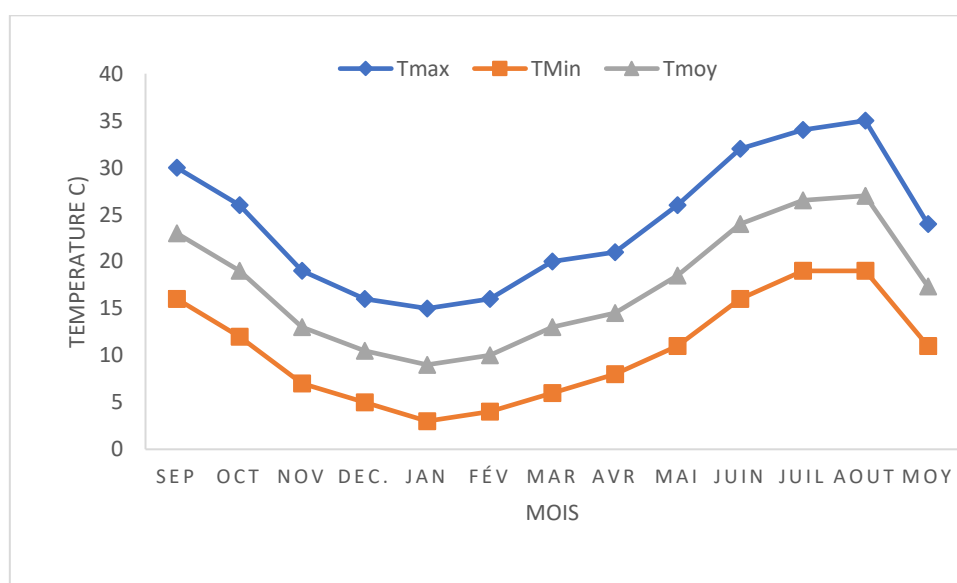


Figure (II-3) : Les courbes de répartition des températures de la station météorologique de SBA période (1996-2006).

II.4. Détermination du climat

Après avoir identifié tous les facteurs climatiques, principalement les précipitations et la température de la zone d'étude, il faut déterminer le type de climat qui y régné. Dans ce cas, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Afin de déterminer le type de climat de la région, il est nécessaire d'appliquer l'une des méthodes suivantes :

- Diagramme Ombrothermique.
- Méthode DE MARTONNE.
- Méthode de l'EMBERGER.
- Indice de STEWART.

II.4.1. Diagramme Ombrothermique

Il permet d'estimer les éléments de climat d'une région du point de vue précipitation et température pendant une période donnée et permet également de préciser les périodes sèches et humides [6]. IL permet de calculer la durée de la saison sèche en portant la pluviométrie mensuelle (P en mm) et la température moyenne mensuelle (T en °C) sur le même graphe.

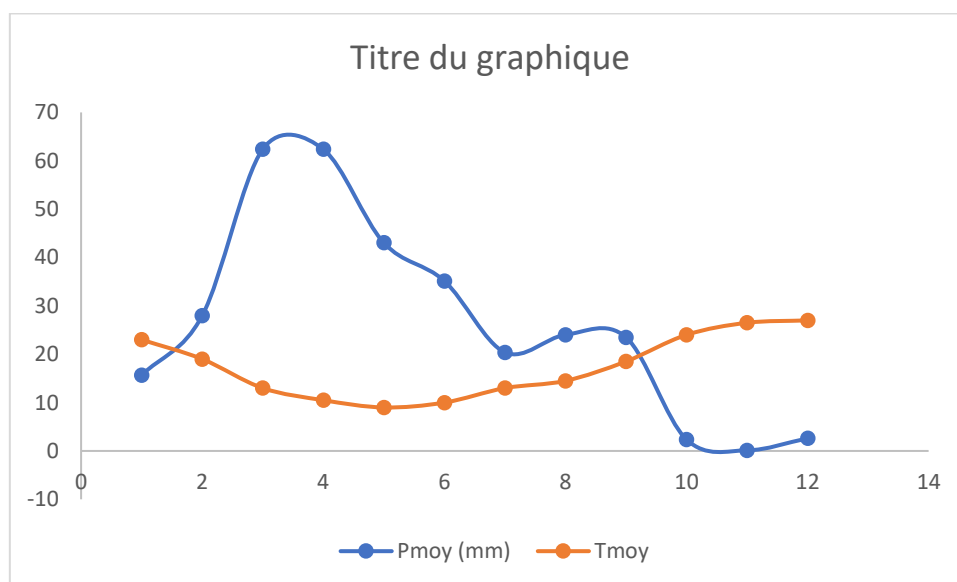


Figure (II-4) : Diagramme Ombrothermique.

II.4.2. Méthode DE MARTONNE

De Martonne a défini L'indice d'aridité I correspondant au rapport entre la moyenne mensuelle des précipitations P en (mm) et la moyenne annuelle des températures T en (c°)

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

I : Indice d'aridité de Martonne ;

P : Précipitations annuelle en (mm) ;

T : Température moyenne annuelle en (C°) ;

Où :

- Si $I < 10$ le climat est aride ;
- Si $10 < I < 20$ le climat est semi-aride ;
- Si $20 < I < 50$ le climat est froid tempéré ou tropical ;
- Si $50 < I$ le climat est subhumide ;

Tableau (II-4) : Détermination du type de climat d'après la méthode de Martonne.

Station	P (mm)	T(C°)	I	Type de climat
Mekerra aval	319.63	17.3	11.70	Semi-aride

Selon la répartition donnée par DEMARTONNE l'indice d'aridité (I) est compris entre 10 et 20, $10 < I < 20$ l'exploitation de l'abaque de l'indice d'aridité de DEMARTONNE montre que notre région a un climat semi-aride

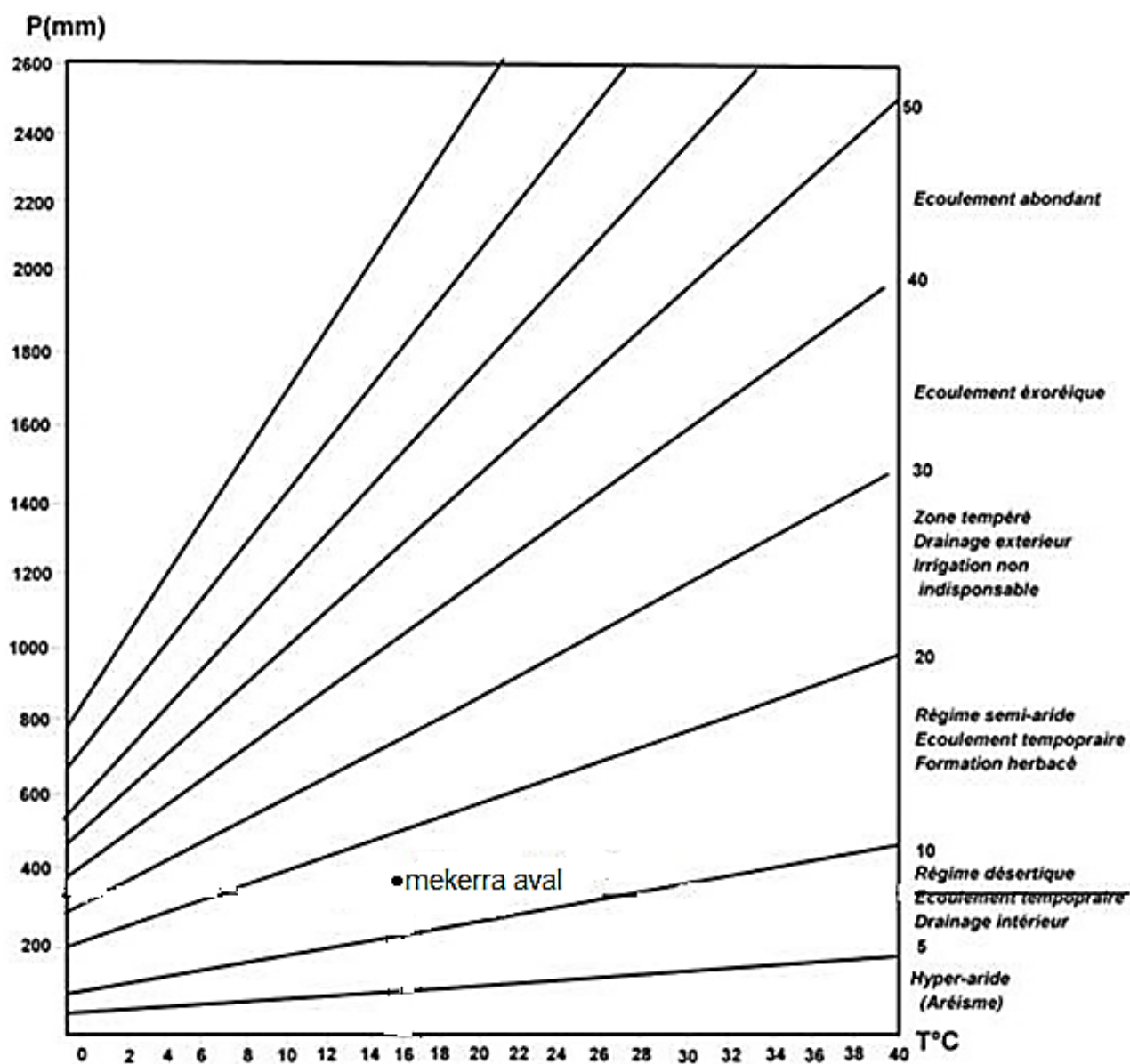


Figure (II-5) : Abaque de l'indice de DEMARTONNE.

II.4.3. Quotient pluviothermique d'Emberger

Emberger a proposé un quotient pluviothermique (Q2) qui permet de situer la station dans l'étage bioclimatique convenable, où il fait intervenir le total des précipitations annuelles (P), la moyenne des maximales des mois les plus chauds (M) et la moyenne des minimales des mois les plus froids (m).

Il permet d'apprécier physiquement la notion d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température. Il est calculé selon l'équation suivante :

$$Q = \frac{P}{\left[\frac{(M + m)}{2} \times (M - m) \right]} \times 1000 \quad (2)$$

Q : Quotient pluviothermique d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

M : Moyenne de maximal des mois les plus chauds en K°.

m : moyenne minimal des mois les plus froids en K°.

M et m sont exprimés en Kelvin ($T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273.15$)

Quand :

50 < Q2 < 100 : Climat tempéré.

25 < Q2 < 50 : Climat semi-aride.

10 < Q2 < 25 : Climat aride.

10 < Q2 : Climat désertique.

Selon la base des valeurs des précipitations et des températures on estime que la région d'étude est caractérisée par une valeur Quotient pluviothermique d'Emberger Q2=34.18 qui permet de situer la région de SBA dans l'étage bioclimatique semi-aride.

Tableau (II-5) : Situation bioclimatique de la région d'étude.

Station	P (mm)	M (K°)	m (K°)	Q2	Type de climat
Mekerra aval	319.63	308.15	276.15	34.18	Semi-aride

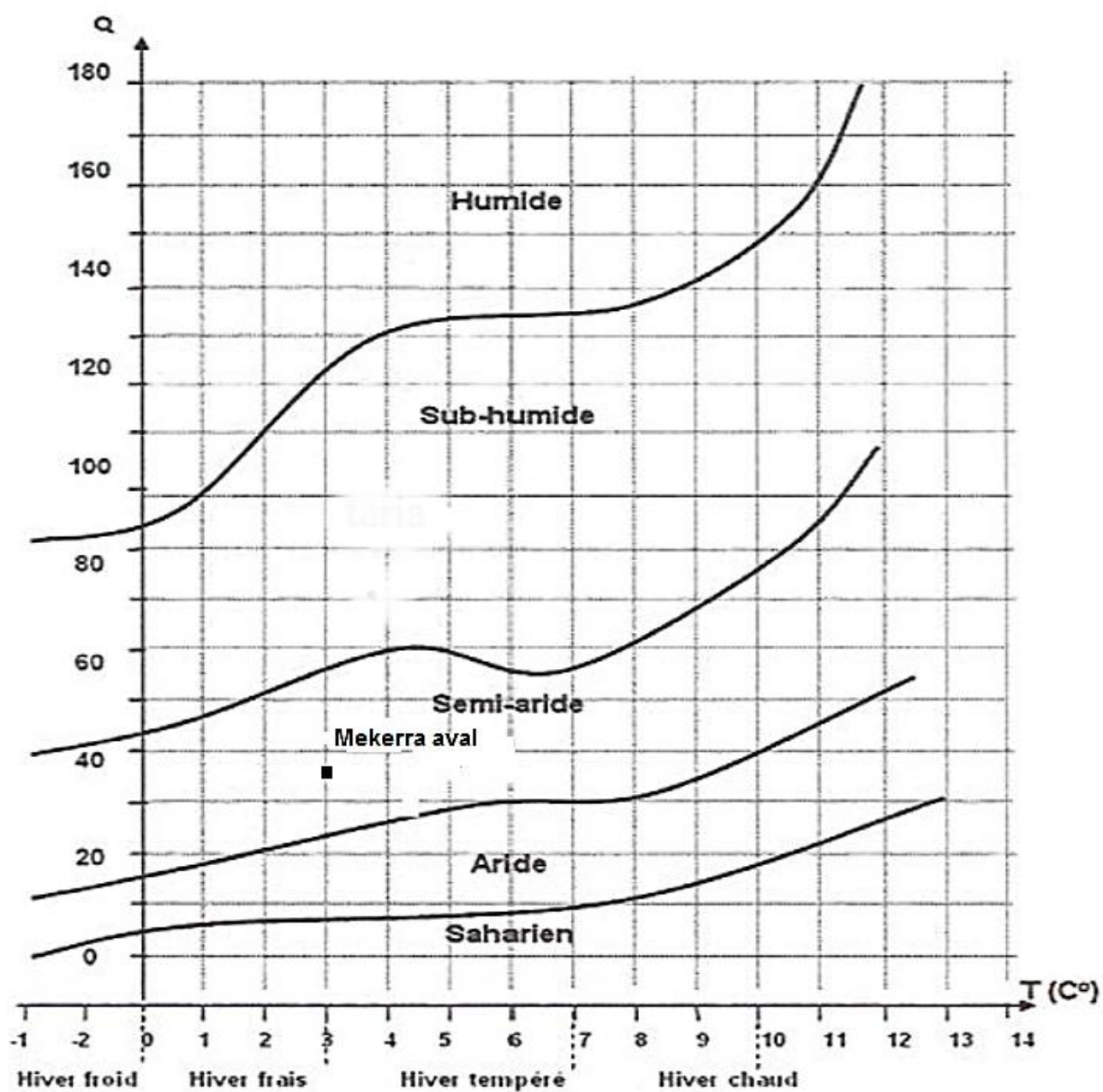


Figure (II-6) : Abaque de l'indice d'aridité d'EMBERGER

II.4.4. Indice de STEWART

Il est donné par la relation suivante :

$$Q = 3.43 \times \frac{P}{M + m} \quad (3)$$

Q : Le quotient pluviothermique (indice de STEWART).

P: Précipitation moyenne annuelle (mm).

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (°C).

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

Le calcul de l'indice de STEWART donne une valeur de $Q=29.62$ qui est comprise entre 20 et 50 ; $20 < 29.62 < 50$ selon l'indice de STEWART notre région est caractérisée par un climat semi-aride.

II.5. L'évapotranspiration réelle et le déficit d'écoulement

L'évapotranspiration réelle désigne les pertes d'eau sous forme de vapeur d'eau, elle correspond à un phénomène complexe qui regroupe à la fois des processus d'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol, des processus de transpiration qui correspondent à l'utilisation de l'eau atmosphérique et de l'eau dans l'atmosphère par les végétaux [3]. Le déficit d'écoulement est défini par la différence entre les précipitations est la lame d'eau écoulée a l'échelle du bassin versant. Pour permettre d'atteindre une estimation acceptable des valeurs d'ETR et de déficit d'écoulement nous utilisons des méthodes empiriques.

II.5.1. L'évapotranspiration réelle

A. Méthode de TURC

La formule de turc s'écrit de la manière suivante [7] :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{B^2}}} \quad (5)$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

$$B = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (6)$$

T : température moyenne annuelle (C°).

Montre que : $B=747.46$

La formule (5) nous permet de calculer l'évapotranspiration réelle :

$$ETR = 307.15 \text{ mm}$$

Méthode de COUTAGNE :

Le déficit d'écoulement qui est l'équivalent de l'évapotranspiration réelle est donné par la relation suivante [5] :

$$D = ETR = P - (\lambda P^2) \quad (7)$$

ETR : Évapotranspiration réelle en mm

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} \quad (8)$$

T : température moyenne annuelle (C°).

L'application de la relation nous permet de donner les résultats qui sont enregistrés dans le tableau (II-5).

Tableau (II-6) : représente le calcul de λ .

P(m)	Y	$\frac{1}{8\lambda}$	$\frac{1}{2\lambda}$
0.319	0.31	0.40	1.61

Selon le tableau (II.5) nous déduisons que la formule de COUTAGNE n'est pas applicable dans notre cas, car p n'est pas comprise entre $\frac{1}{8\lambda}$ et $\frac{1}{2\lambda}$.

Méthode de P. VERDEIL :

L'utilisation de l'abaque de P. VERDEIL nous permet de trouver un déficit d'écoulement D .
 $D=300$ mm

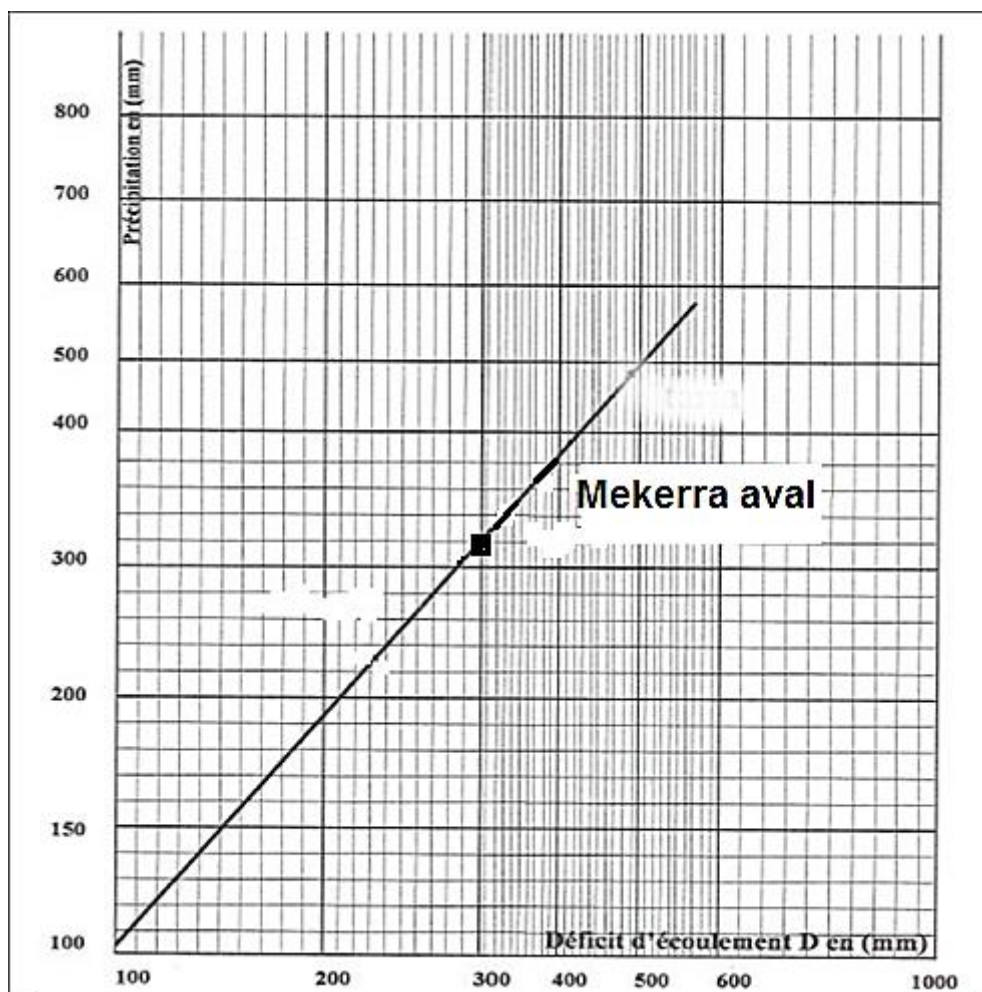


Figure (II-7) : Abaque de P. VERDEIL.

Méthode de WUNDT

L'abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE, permet de déterminer graphiquement l'évapotranspiration réelle en fonction de la température moyenne annuelle (°C) et les précipitations moyennes annuelles (mm). Cette dernière, nous permet de donner les résultats suivants :

$D=300\text{mm}$

Quotient d'écoulement : 10%

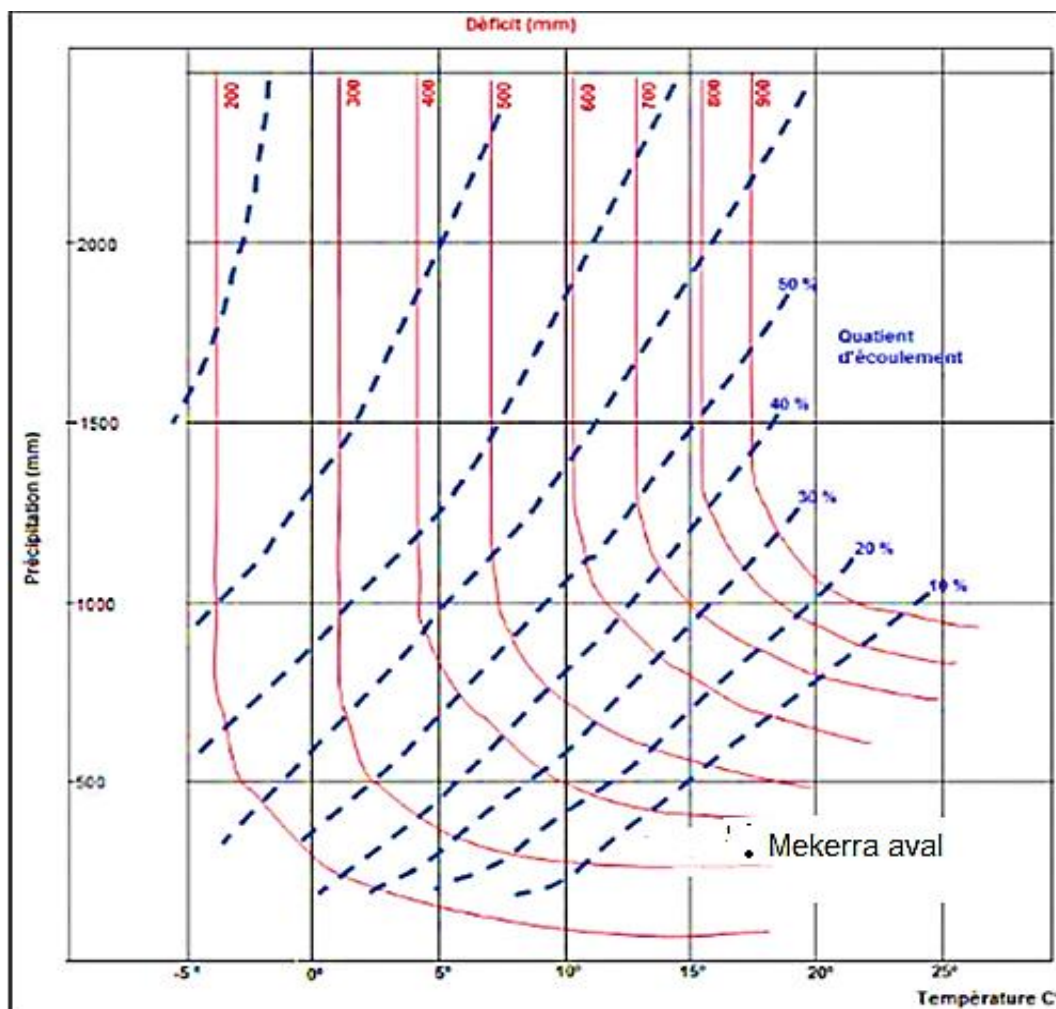


Figure (II-8) : Abaque de WUNDT du déficit.

II.5.2. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle ETP est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. La valeur de l'évapotranspiration potentielle est fonction de l'énergie disponible [7]

Méthode de THORNTWAITE

$$ETP = 1.6 \frac{10T^\alpha}{I} \quad (9)$$

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (mm d'eau)

T : Température moyenne mensuelle ($^{\circ}C$) ;

I : somme des indices thermiques mensuels de l'année ;

Avec :

- ETP : l'évapotranspiration moyenne du mois m ($m= 1$ à 12) en mm
- T : moyenne interannuelle des températures du mois ($^{\circ}C$).
- $\alpha = 0.016 \times I + 0.5$ 1.37
- I : indice thermique annuel :

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad (10)$$

$$i(m) = \left[\frac{T(m)}{5} \right]^{1.514} \quad (11)$$

Tableau (II-7) : Paramètre mensuelle interannuels de l'ETP (THORNTWAITE)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	total
$T(^{\circ}C)$	9	10	13	14,5	18,5	24	26,5	27	23	19	13	10,5	/
i (mm)	2,43	2,85	4,24	5,01	7,24	10,74	12,48	12,84	10,07	7,54	4,24	3,07	82,75
ETP (mm)	18,6	22,58	36,4	44,4	69,18	111,1	133,07	137,67	102,8	72,6	36,4	24,6	809,48

II.6. Les différents paramètres du bilan hydrologique

Nous avons utilisé l'abaque de THORNTWAITE ce dernier nous permet de calculer les indices thermiques mensuelles en fonction des températures, et l'indice annuel.

THORNTWAITE nous donne les valeurs estimées de l'ETP pour les différents mois.

Le tableau (II.7) résume les valeurs de l' ETP , l' ETR et la réserve utile (R_U).

- Si les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle $P > ETP$.
 - L'évapotranspiration réelle sera égale à l'évapotranspiration potentielle.
 - $ETR = ETP$ L'excédent des précipitations sera emmagasiné dans le sol.
- Si les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle $P < ETP$.
 - L'évapotranspiration réelle sera égale la somme des précipitations du mois.

Si la réserve antérieure d'humidité du sol est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'évapotranspiration réelle sera égale à l'évapotranspiration potentielle $ETR = ETP$, et les réserves du sol seront alors réduites par la différence entre l'évapotranspiration potentielle et précipitation du mois considéré.

Si la réserve d'humidité du sol est insuffisante pour satisfaire ETP , ETR reste inférieure à celle-ci sera égale à la somme des précipitations du mois, et des réserves disponibles [8].

Pour le mois de janvier :

$$Ru_{janvier} = P - ETP \quad (12)$$

Pour le mois de février :

$$Ru_{février} = P - ETP + Ru_{janvier} \quad (13)$$

Tableau (II-8) : représentation des différentes valeurs de l'ETP, ETR, Ru en fonction de précipitation

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	total
T(C°)	9	10	13	14,5	18,5	24	26,5	27	23	19	13	10,5	/
ETP	18,6	22,58	36,4	44,4	69,18	111,1	133,07	137,67	102,8	72,6	36,4	24,6	809,48
P	43,05	35,1	20,3	24,01	23,5	2,38	0,13	2,6	15,6	27,9	62,3	62,3	319,63
RU	24,45	37,03	21,02	0,63	0	0	0	0	0	0	0	0	/
ETR	18,6	22,58	20,39	24,01	23,51	2,38	0,13	2,6	15,68	27,96	36,4	24,68	218,92

Le tableau (II.8) résume les différentes valeurs de l'évapotranspiration réelle calculées avec différentes méthodes.

Tableau (II-9) : Les différentes valeurs de l'ETR.

Méthode	ETR	Unité
TURC	307.15	mm
WUNDT	300	mm
P. VERDEIL	300	mm
THORNTWAITE	221.55	mm

Pour avoir une seule valeur d'ETR, on prend la moyenne de tous ces résultats.

On aura donc :

$$\text{ETR} = 281.51 \text{ mm}$$

Donc :

$$\text{ETP} = 809.48 \text{ mm}$$

II.6. Ruissellements

Le ruissellement est l'écoulement des eaux à la surface de la terre, notamment la surface des sols, contrairement à celle qui pénètre par infiltration. L'intensité des précipitations favorise le ruissellement en proportion de l'insuffisance de l'infiltration et de capacité de rétention de la surface du sol [8].

Pour calculer le ruissellement nous utilisons la formule de TIXERONT et de BERKALOFF

$$R = \frac{P^3}{3E^2} \quad (14)$$

R : Ruissellements en mm

P : Pluviométrie annuelle en mm

E : Évapotranspiration en mm

P=319.63 mm

E=740.33 mm

La formule (14) nous donne :

$$R = 16.61 \text{ mm}$$

II.7. Infiltration

Selon le bilan hydrologique :

$$P = D + R + I \quad (15)$$

P : Pluviométrie annuelle en mm

D : ETR, déficit d'écoulement mm

I : Infiltration en mm

D'après l'application de la formule (15) : $I = 319.63 - (281.51 + 16.61)$

$$I = 21.51 \text{ mm}$$

II.8. Volume d'eau infiltré

$$Ve = S \times I \quad (16)$$

Ve : Volume d'eau infiltré m³.

S : surface du bassin versant m².

I : la lame d'eau infiltré dans le bassin versant en m.

$$S = 1744.81 \text{ km}^2 = 1744.81 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$I = 21.51 \times 10^{-3} \text{ m}$$

La formule (16) montre que le volume d'eau infiltré est égal à :

$$V_e = 37530648 \text{ m}^3$$

Tableau (II-10) : Caractéristiques climatiques, statistique et hydrologiques.

Caractéristique climatique	Symboles	Résultats	Unité
Précipitation moyenne annuelle	P	319.63	mm
Température moyenne annuelle	T	17.3	C°
Évapotranspiration potentielle	ETP	809.48	mm
Évapotranspiration réelle	ETR	281.51	mm
Ruissellement	R	16.61	mm
Infiltration	I	21.51	mm
Volume d'eau infiltre	V _e	37530648	m ³

Chapitre III

Étude hydrologique

III.1. La pluviométrie

III.1.1. Introduction

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau Roche (1963). Les relevés pluviométriques constituent l'une des données indispensables dans l'étude du climat d'une région. Les précipitations, représentent essentiellement le facteur influençant le régime d'écoulement et le volume d'eau infiltré.

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, SELTZER (1946), MEDINGER (1956), Chaumont et Paquin (1971). Dans le Nord de l'Algérie, la moyenne des précipitations annuelles varie de (300mm à 600mm) de pluie par an et les ressources en eau renouvelables sont faibles, irrégulières et localisées dans la bande côtière. TOUAZ (2001), indique que les précipitations en Algérie, se caractérisent par un aspect d'irrégularité dans le temps et dans l'espace. La répartition spatiale des précipitations est caractérisée par un gradient Nord-Sud bien marqué et un gradient Est-Ouest plus faible.

La région de Sidi Bel-Abbes fait partie des régions de l'Algérie où la moyenne des précipitations annuelles est au-dessous de la moyenne des précipitations au niveau national, un déficit en précipitation semble donc bien marquer la région notamment durant la période post 1974 [9].

La station pluviométrique retenue comme représentative de la zone d'étude est celle de Mekerra, les coordonnées de cette Station sont représentées dans le tableau (III-1).

Tableau (III-1) : Coordonnées des quatre stations météorologiques d'Oued Mekerra aval.

Station	Code	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Période d'observation
Sarno bge	110304	35,30	-0,57	425	1974 - 2011
Bel-Abbes	110305	35,18	-0,65	470	1974 - 2011
Tessala	110313	35,24	-0,76	580	1974 - 2011
Lamtar	110310	35,07	-0,79	552	1974 - 2011

III.1.2. Étude des précipitations

L'écoulement moyen annuel ou l'abondance annuelle est une notion fondamentale en hydrologie. C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin versant.

III.1.2.1. Étude des précipitations annuelles

Dans le tableau (III-2), nous avons représenté les précipitations annuelles de différentes stations

Tableau (III-2) : Valeurs des précipitations moyennes annuelles des quatre stations pluviométriques du bassin versant de la Mekerra entre (1974 à 2011).

Précipitation Année	Station Sarno bge (mm)	Station Sidi Bel Abbés (mm)	Station Tessala (mm)	Station Lamtar (mm)
1974-1975	581,1	375,4	611,7	439
1975-1976	522,7	412,3	304,9	449,8
1976-1977	344,6	444,6	232,4	379,5
1977-1978	317,1	297,7	227,8	317,7
1978-1979	316,3	298,9	313,3	337,7
1979-1980	453,1	419,7	472,3	336,6
1980-1981	314,5	317,4	608,4	394,1
1981-1982	155,9	211,4	253,9	266,8
1982-1983	336,5	282	243,7	278,8
1983-1984	120,8	222,8	301,8	262,5
1984-1985	705,5	408,8	267,7	368,3
1985-1986	451,3	343,6	246	322,4
1986-1987	224,8	301,5	288,8	279,1
1987-1988	284,2	219,8	245,6	178,6
1988-1989	351,6	229,9	263,2	258
1989-1990	292,2	261,1	312	212,2
1990-1991	357,3	352,5	431,7	367,5
1991-1992	342,2	270,7	403	299,7
1992-1993	229,5	148	250,9	236,1
1993-1994	251,2	233,8	240,9	258,4
1994-1995	359,3	248,8	342,1	250,6
1995-1996	376,2	430	484,6	420,9
1996-1997	148,4	153,7	182,6	163,6
1997-1998	354,3	339,8	292,4	291,2
1998-1999	216,9	281,7	195,3	190,5
1999-2000	269,3	199,8	347,6	262,7
2000-2001	417,9	373	415,2	455,8
2001-2002	508,5	363,1	340,9	317,9
2002-2003	389,9	301,5	401,7	359,3
2003-2004	236,7	307,4	286,1	296,4
2004-2005	201	266,6	233,8	245
2005-2006	453,4	338,6	325,1	357,8
2006-2007	228,9	307,8	349	318,4
2007-2008	254,3	230,1	229,3	459,4
2008-2009	446,9	586,6	457	584,5
2009-2010	334,8	366,4	452,3	454,3
2010-2011	398,3	341,4	286,6	270,8

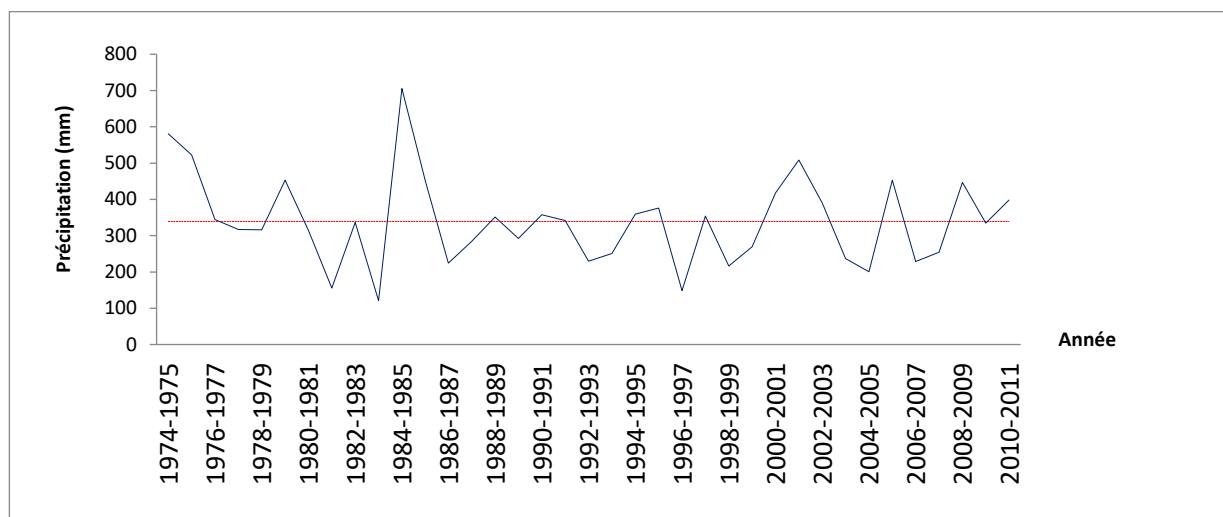


Figure (III-1) : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station du Sarno bge (1974/2011).

L'analyse du tableau (III-2) et de la figure (III-1), montre que la moyenne interannuelle est de 339.12mm avec plusieurs valeurs au-dessous de la moyenne pendant plusieurs années à savoir l'année (1980/1984), (1986/2000), (2002/2008). Ces périodes indiquent un déficit pluviométrique bien marqué à cause de la faiblesse des précipitations. Par contre, on remarque des précipitations au-dessus de la moyenne interannuelle durant le reste des années avec un maximum de (705.5 mm) enregistré durant l'année (1984/1985).

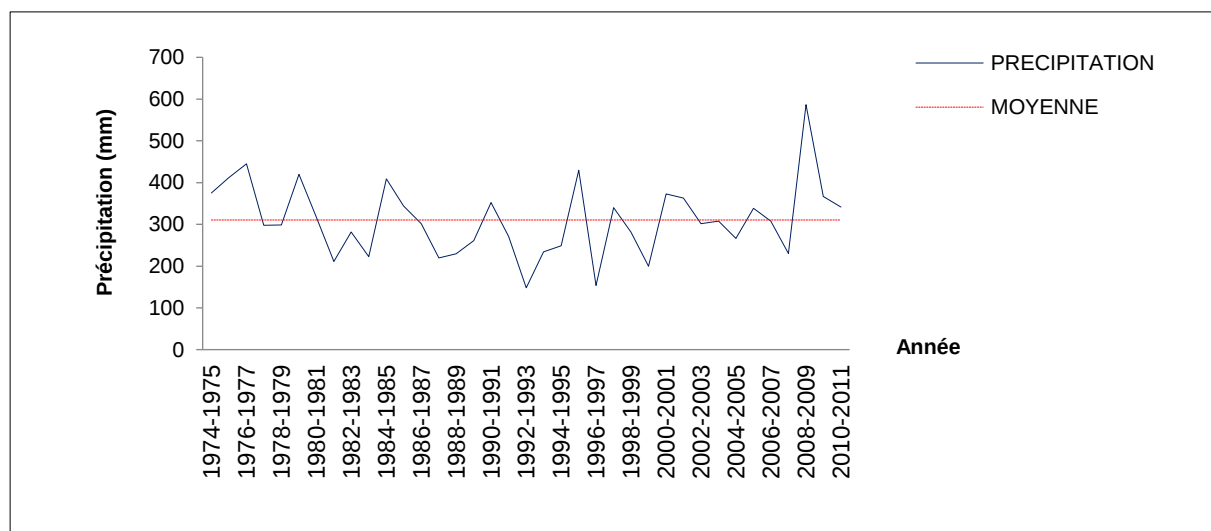


Figure (III-2) : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Sidi Bel Abbès (1974/2011).

L'analyse du tableau (III-2) et de la figure (III-2), montre que la moyenne interannuelle est de 310.49mm avec des valeurs au-dessous de la moyenne pendant plusieurs années à savoir les périodes (1980/1984) et (1986/2008). Cela indique un déficit pluviométrique bien marqué à cause de la faiblesse des précipitations. Par contre, on remarque un retour des précipitations au-dessus de la moyenne durant le reste des années avec un maximum de (586.6 mm) enregistré durant l'année (2008/2009).

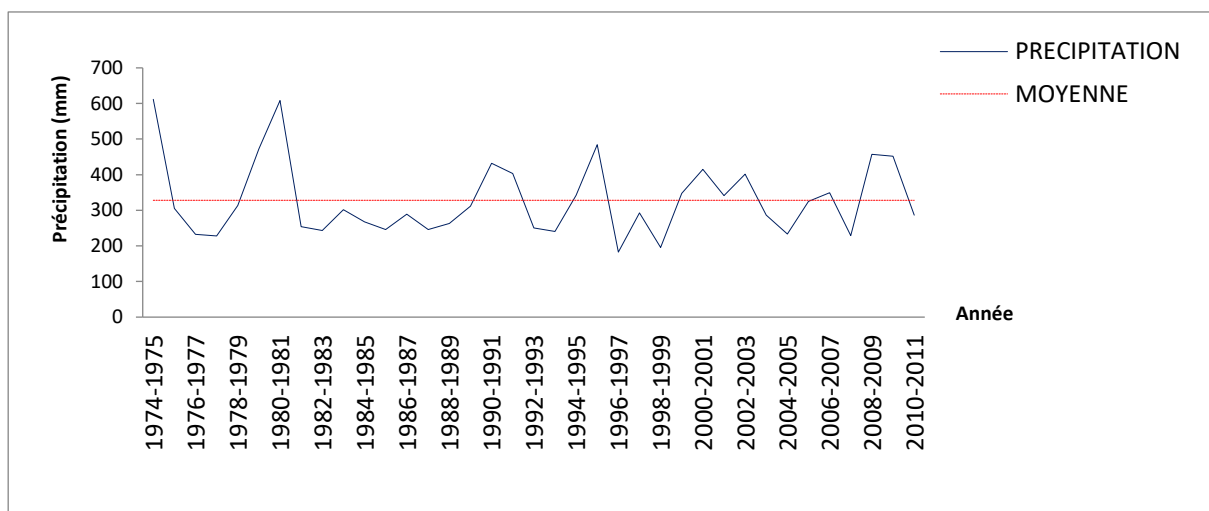


Figure (III-3) : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Tessala (1974/2011).

La figure (III-3), montre que la moyenne interannuelle à la station de Tessala est de 328.15mm. Plusieurs valeurs sont au-dessous de la moyenne pendant plusieurs années à savoir (1975/1978), (1981/1990) et (1996/2000). Ces périodes indiquent un déficit pluviométrique bien marqué à cause de la faiblesse des précipitations. On remarque aussi des précipitations durant le reste des années avec un maximum de (611.7 mm) enregistré durant la période (1974/1975).

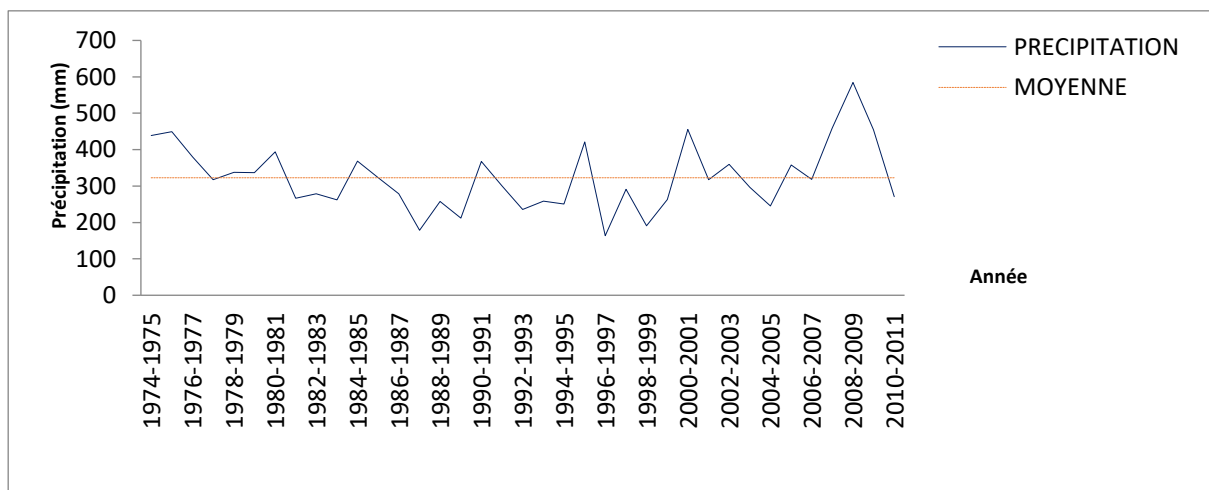


Figure (III-4) : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Lamtar (1974/2011).

La figure (III-4) montre que la moyenne interannuelle à la station de Lamtar est de 322.75mm. Plusieurs valeurs sont au-dessous de la moyenne à savoir, celles de la période (1986/2000). Ces valeurs reflètent un déficit pluviométrique bien marqué à cause de la faiblesse des précipitations pendant cette période. Par contre, on marque un retour des précipitations durant le reste des années avec un maximum de (584.5 mm) enregistré durant l'année (2008/2009).

III.1.2.2. Étude des précipitations mensuelles

Les valeurs mensuelles des précipitations au cours de la période d'étude (1974/2011) montrent clairement des variations mensuelles et saisonnières dans la répartition des précipitations à l'échelle annuelle.

Les figures (III-5, III-6, III-7, III-8) montrent deux périodes distinctes :

- La période sèche correspondant à l'été, caractérisée par un déficit pluviométrique important.
- La saison des pluies correspondant au reste de l'année.

Tableau (III-3) : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles des quatre stations de l'Oued Mekerra aval.

Mois Précipitation	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Station Sarnobge	14,7	34,0	48,6	48,6	42,9	42,0	39,7	36,2	23,7	4,2	1,6	2,9	339,12
Station Sidi Bel-Abbes	18,5	31,0	46,3	34,2	37,2	41,9	35,2	29,2	26,6	6,0	1,4	3,0	310,49
Station Tessala	14,1	25,9	48,3	44,7	52,2	46,4	37,5	31,2	24,1	2,5	0,0	1,2	328,15
Station Lamtar	17,6	32,9	38,8	40,2	41,6	45,3	38,4	27,2	26,4	8,1	1,4	4,9	322,75

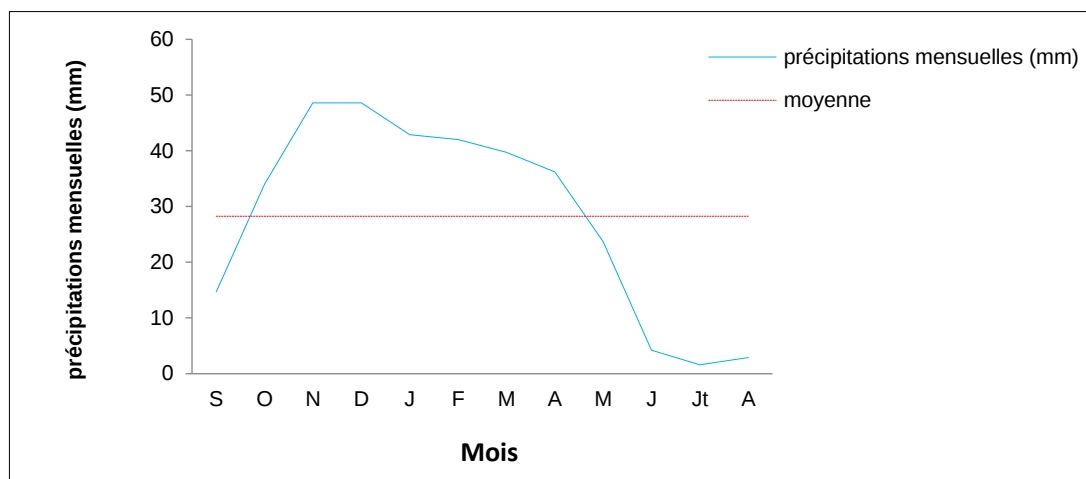


Figure (III-5) : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sarno bge (1974/2011).

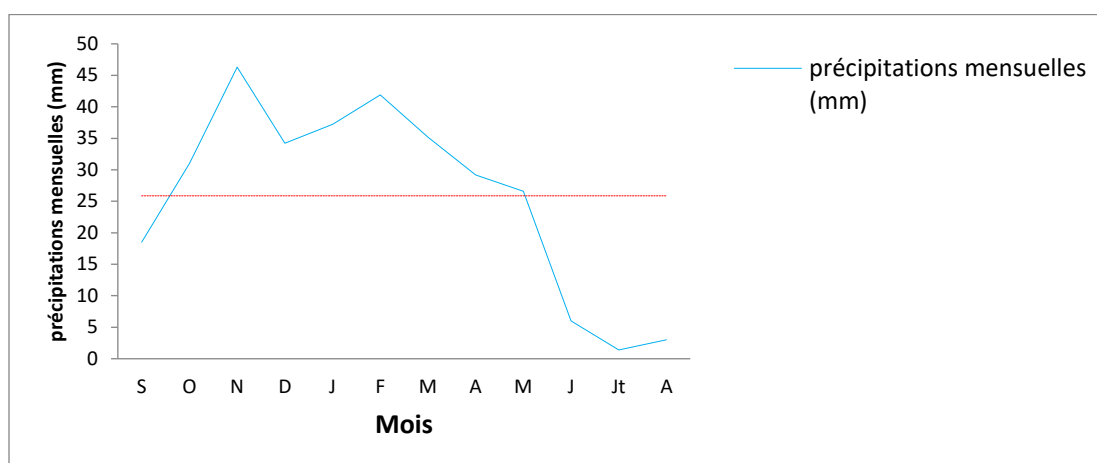


Figure (III-6) : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (1974/2011).

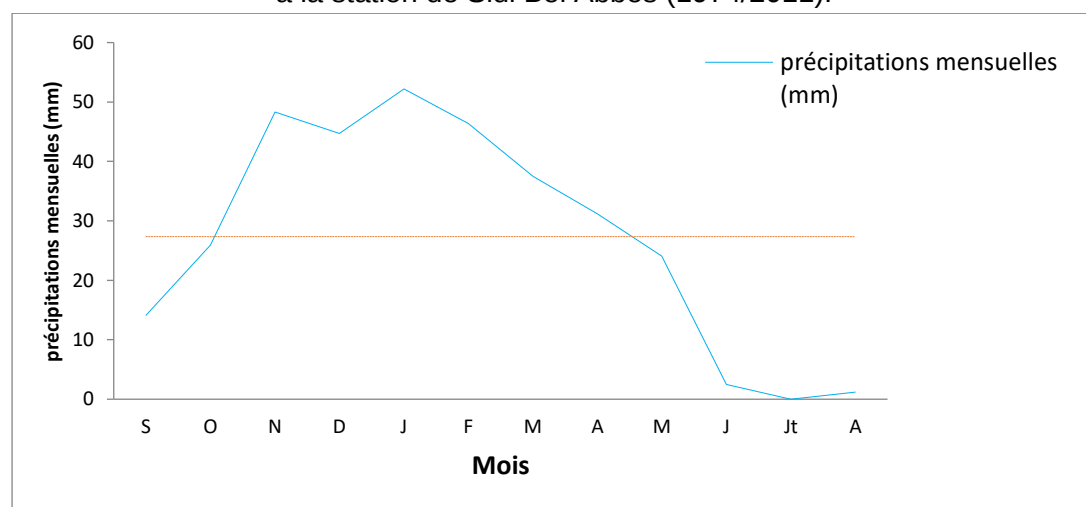


Figure (III-7) : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tessala (1974/2011).

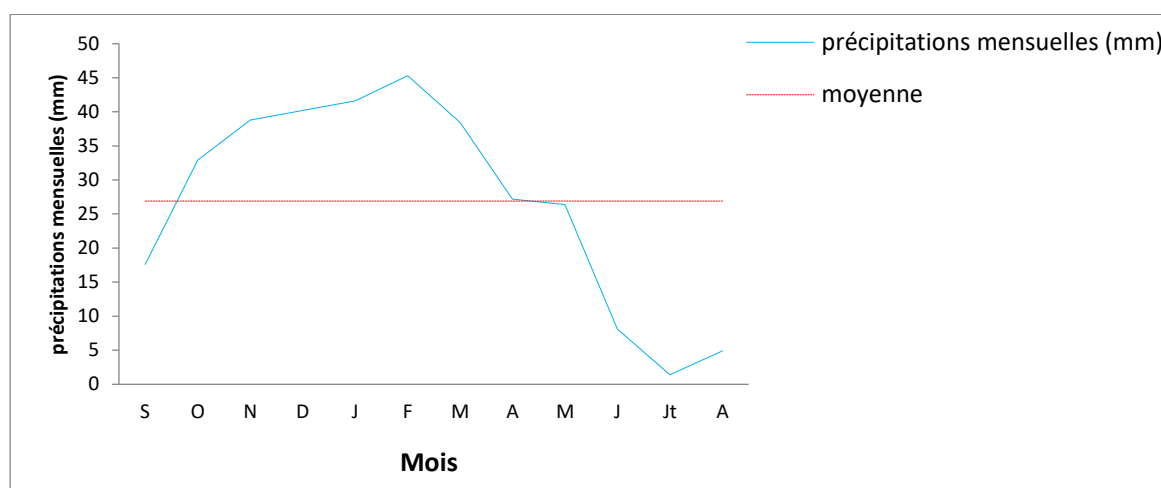


Figure (III-8) : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Lamtar (1974/2011).

III.1.2.3. Études des précipitations saisonnières :

L'analyse du tableau (III-4) et des figures (III-9, III-10, III-11, III-12) montre que la répartition saisonnière des précipitations révèle deux saisons de fortes pluies similaires, l'automne et le printemps, les quantités de précipitations sont comparables, approximativement ; entre 27% et 31%. L'hiver est la saison la plus pluvieuse, représentant plus de 37 % des précipitations annuelles. En revanche, l'été est la saison sèche avec très peu de précipitations, représentant seulement 3 % des précipitations annuelles.

Tableau (III-4) : Valeur des précipitations saisonnières a la station de l'oued Mekerra aval.

Saison Précipitation	Automne	Hiver	Printemps	Été
Station de Sarno bge	97,32	133,48	99,61	8,71
Station Sidi Bel-Abbes	95,77	113,39	90,95	10,39
Station Tessala	88,28	143,34	92,85	3,68
Station Lamtar	89,35	127,05	91,99	14,37

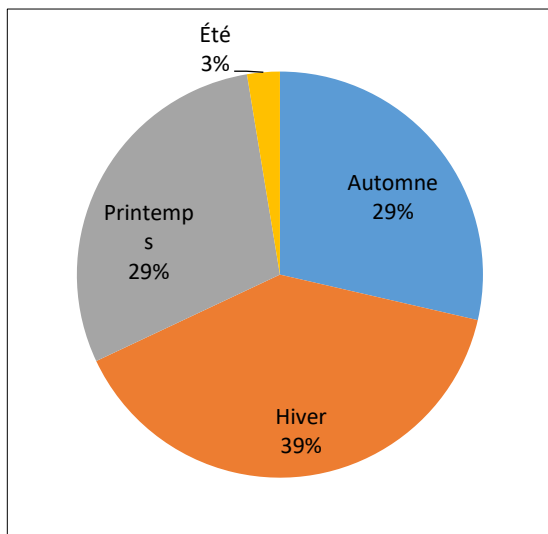


Figure (III-9) : Répartition des régimes saisonniers des précipitations dans la station de Sarnobge.

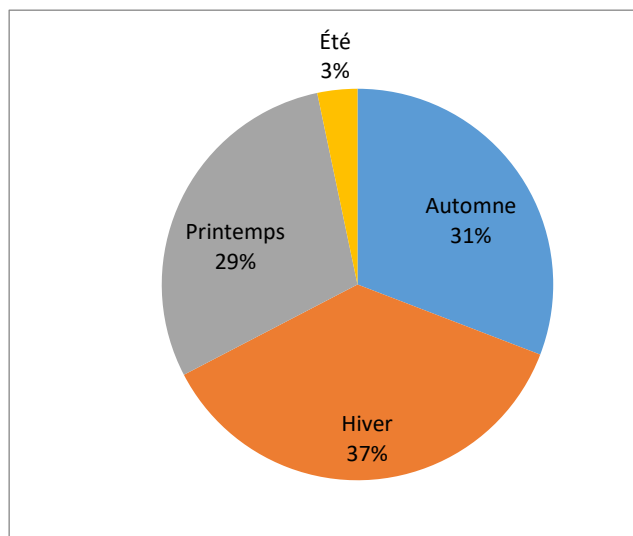


Figure (III-10) : Répartition des régimes saisonniers des précipitations dans la station de Sidi Bel Abbès.

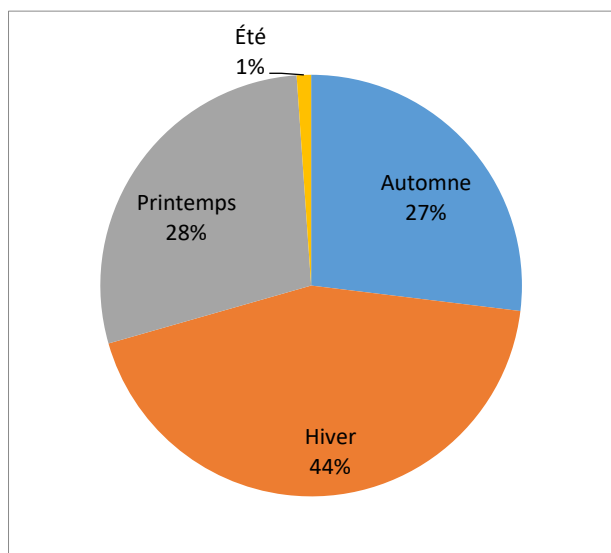


Figure (III-11) : Répartition des régimes saisonniers des précipitations dans la station de Tessala.

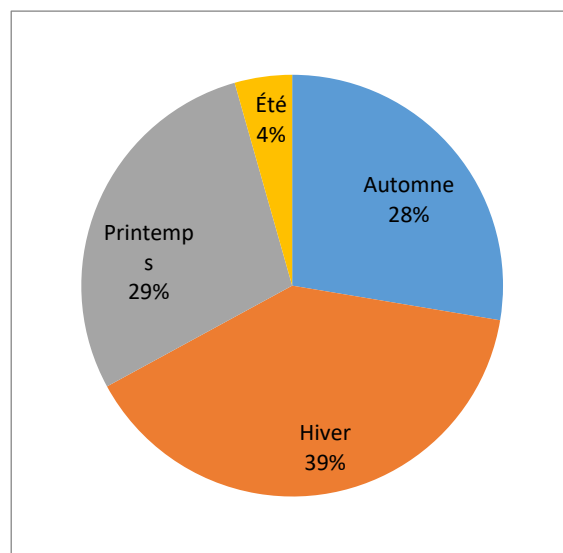


Figure (III-12) : Répartition des régimes saisonniers des précipitations dans la station de Lamtar.

III.1.3. Analyse statistique des séries pluviométriques

III.1.3.1. Ajustement des précipitations

Les séries pluviométriques utilisées dans cette analyse sont celles de quatre stations en aval d'Oued Mekerra. L'analyse couvre les précipitations de 1974 à 2011, soit 37 années de données d'observation. Le but de cette étude est de trouver les règles d'ajustement de la répartition annuelle des précipitations et ainsi d'estimer les paramètres d'ajustement. Les résultats de calcul de ces paramètres sont présentés dans les tableaux (III-5, III-6, III-7, III-8), où les précipitations sont réparties par ordre croissant [10].

Tableau (III-5) : Classement des précipitations de la station Sarno bge par ordre croissant.

Ordre	Année	Précipitation en mm
1	1983-1984	120,8
2	1996-1997	148,4
3	1981-1982	155,9
4	2004-2005	201
5	1998-1999	216,9
6	1986-1987	224,8
7	2006-2007	228,9
8	1992-1993	229,5
9	2003-2004	236,7
10	1993-1994	251,2
11	2007-2008	254,3
12	1999-2000	269,3
13	1987-1988	284,2
14	1989-1990	292,2
15	1980-1981	314,5
16	1978-1979	316,3
17	1977-1978	317,1
18	2009-2010	334,8
19	1982-1983	336,5
20	1991-1992	342,2
21	1976-1977	344,6
22	1988-1989	351,6
23	1997-1998	354,3
24	1990-1991	357,3
25	1994-1995	359,3
26	1995-1996	376,2
27	2002-2003	389,9
28	2010-2011	398,3
29	2000-2001	417,9
30	2008-2009	446,9
31	1985-1986	451,3
32	1979-1980	453,1
33	2005-2006	453,4
34	2001-2002	508,5
35	1975-1976	522,7
36	1974-1975	581,1
37	1984-1985	705,5

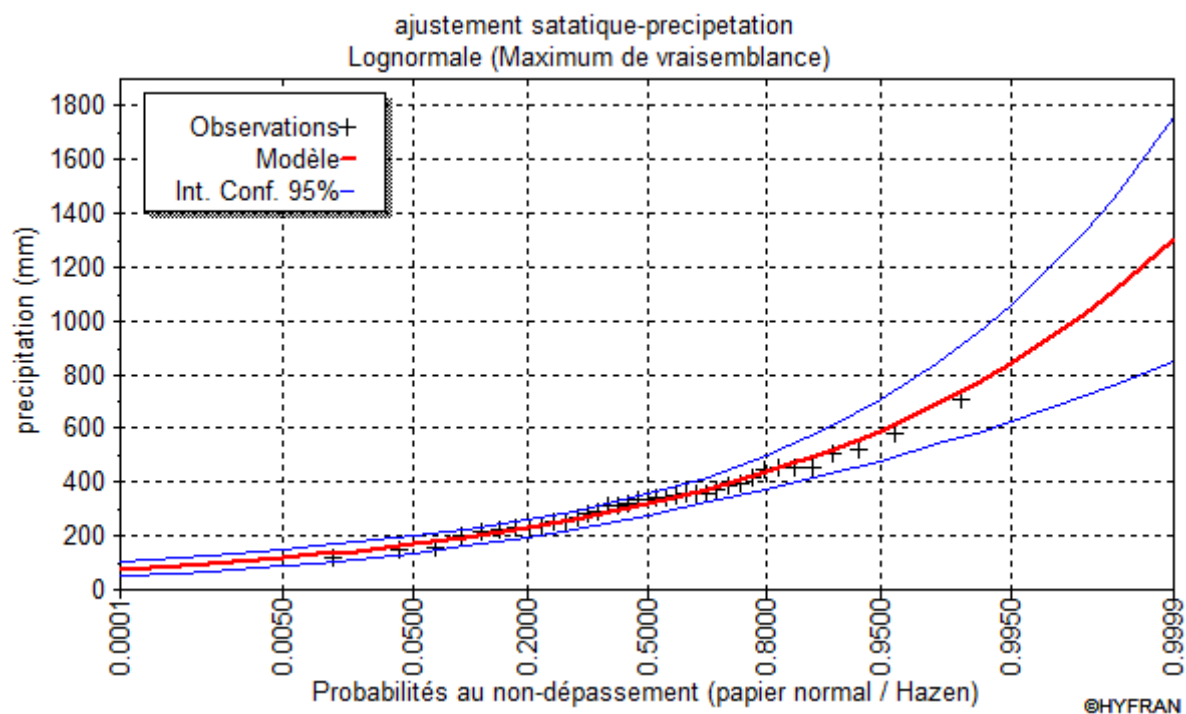


Figure (III-13) : L'ajustement de la station de Sarno bge à la loi de Log normale.

III.1.3.2. Calculs des paramètres statistiques pour la station de Sarno bge :

1. la moyenne :

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i}{37} = 339.12 \quad (1)$$

2. la variance et définie par :

$$V = 1/n \sum (P_i - P_{moy})^2 = 14763.72 \quad (2)$$

3. l'écart type sera :

$$\sigma = \sqrt{V} = 121.5 \quad (3)$$

4. Coefficient de variation :

$$C_V = \frac{\sigma}{P_{moy}} = \frac{121.5}{339.12} = 0.35 \quad (4)$$

III.1.3.3. Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré)Tableau (III-6) : calcul des paramètres de test X^2 (station Sarno bge)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	120.8< ξ <218.25	5	6.17	0.22
2	218.25< ξ <315.7	10	6.17	2.38
3	315.7< ξ <413.15	13	6.17	7.56
4	413.15< ξ <510.6	6	6.17	0.005
5	510.6< ξ <608.05	2	6.17	2.82
6	608.05< ξ <705.5	1	6.17	4.33

$$X^2_{calculé} = 17.32$$

$$X^2 = \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (5)$$

$$\text{Avec } np_i = \frac{N}{K} \quad (6)$$

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

$$\vartheta = K - 1 \quad (7)$$

$$\vartheta = 6 - 1$$

$$\vartheta = 5$$

D'après la table de khi deux on a : $\alpha = 0.05$

Tableau (III-7) : La valeur critique sera tabulée station Sarno bge

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
5	5%	11.07

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau III-6 est égale à 17.32 valeur supérieure au χ^2 tabulée qui est de 11.07 pour un degré de liberté ν égale à 4 et un risque toléré de 5%.

L'ajustement d'une loi log normale est donc n'est pas confirmer pour la station de Sarnobge.

Tableau (III-8) : classement des précipitations de station Sidi Bel Abbes par ordre croissant.

Ordre	Année	Précipitation en mm
1	1992-1993	148
2	1996-1997	153,7
3	1999-2000	199,8
4	1981-1982	211,4
5	1987-1988	219,8
6	1983-1984	222,8
7	1988-1989	229,9
8	2007-2008	230,1
9	1993-1994	233,8
10	1994-1995	248,8
11	1989-1990	261,1
12	2004-2005	266,6
13	1991-1992	270,7
14	1998-1999	281,7
15	1982-1983	282
16	1977-1978	297,7
17	1978-1979	298,9
18	1986-1987	301,5
19	2002-2003	301,5
20	2003-2004	307,4
21	2006-2007	307,8
22	1980-1981	317,4
23	2005-2006	338,6
24	1997-1998	339,8
25	2010-2011	341,4
26	1985-1986	343,6
27	1990-1991	352,5
28	2001-2002	363,1
29	2009-2010	366,4
30	2000-2001	373
31	1974-1975	375,4
32	1984-1985	408,8
33	1975-1976	412,3
34	1979-1980	419,7
35	1995-1996	430
36	1976-1977	444,6
37	2008-2009	586,6

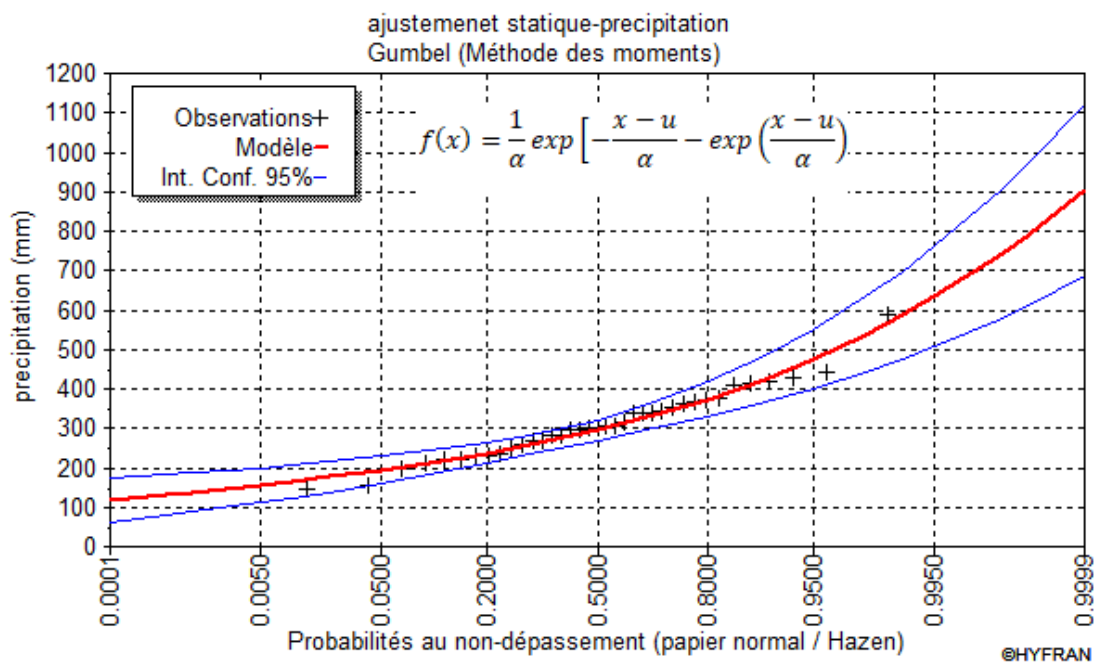


Figure (III-14) : L'ajustement de la station de Sidi Bel Abbas à la loi de Gumbel.

III.1.3.4. Calculs de paramètre de test X^2 (khi deux)

Tableau (III-9) : calcul des paramètres de test X^2 station Sidi Bel Abbas

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	$148 < x_i < 221.1$	5	6.17	0.22
2	$221.1 < x_i < 294.2$	10	6.17	2.38
3	$294.2 < x_i < 367.3$	14	6.17	9.94
4	$367.3 < x_i < 440.4$	6	6.17	0.005
5	$440.4 < x_i < 513.5$	1	6.17	4.33
6	$513.5 < x_i < 586.6$	1	6.17	4.33

$$\chi^2_{calculé} = 21.21$$

D'après la table de khi deux on a : $\alpha = 0.05$ et $\vartheta = 5$

Tableau (III-10) : La valeur critique sera tabulée station Sidi Bel Abbès

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
5	5%	11.07

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau III-10 est égale à 21.21 valeur supérieure au χ^2 tabulée qui est de 11.07 pour un degré de liberté ν égale à 3 et un risque toléré de α . L'ajustement d'une loi Normal est donc non confirmé pour la station de Sidi Bel Abbès.

III.1.3.5. Calcul des précipitations pour les périodes de récurrence donnée :

Tableau (III-11) : classement des précipitations de station Tessala par ordre croissant.

Ordre	Année	Précipitation en mm
1	1996-1997	182,6
2	1998-1999	195,3
3	1977-1978	227,8
4	2007-2008	229,3
5	1976-1977	232,4
6	2004-2005	233,8
7	1993-1994	240,9
8	1982-1983	243,7
9	1987-1988	245,6
10	1985-1986	246
11	1992-1993	250,9
12	1981-1982	253,9
13	1988-1989	263,2
14	1984-1985	267,7
15	2003-2004	286,1
16	2010-2011	286,6
17	1986-1987	288,8
18	1997-1998	292,4
19	1983-1984	301,8
20	1975-1976	304,9
21	1989-1990	312
22	1978-1979	313,3
23	2005-2006	325,1
24	2001-2002	340,9
25	1994-1995	342,1
26	1999-2000	347,6
27	2006-2007	349
28	2002-2003	401,7
29	1991-1992	403
30	2000-2001	415,2
31	1990-1991	431,7
32	2009-2010	452,3
33	2008-2009	457
34	1979-1980	472,3
35	1995-1996	484,6
36	1980-1981	608,4
37	1974-1975	611,7

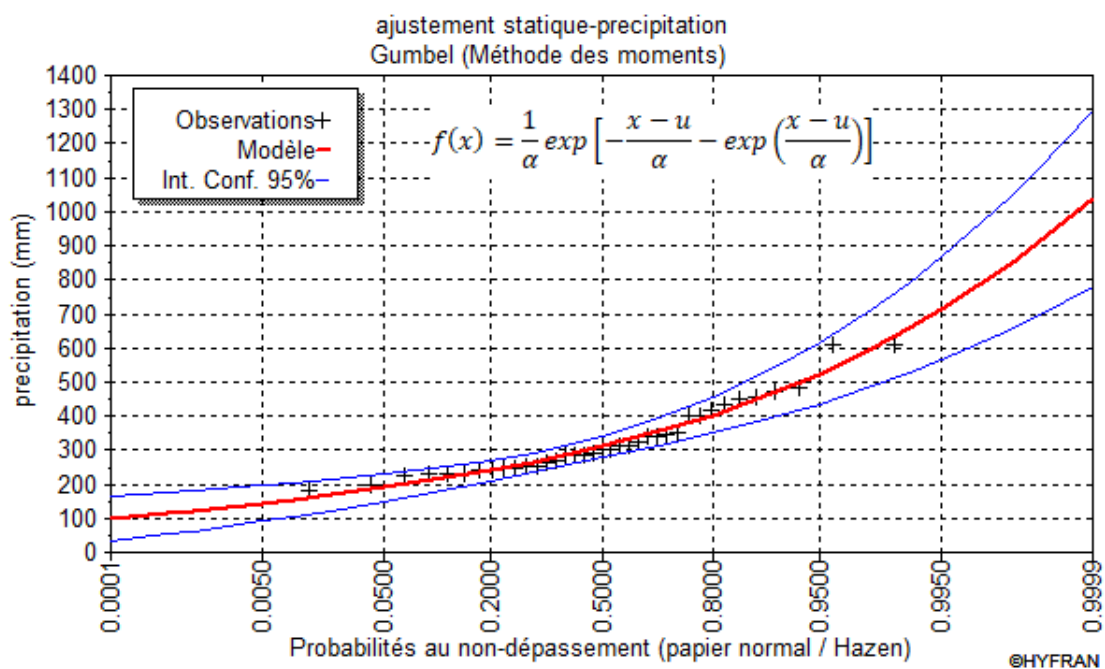


Figure (III-15) : L'ajustement de la station de Tessala à la loi de Gumbel.

III.1.3.6. Calculs de paramètre de test χ^2 (khi deux)

Tableau (III-12) : calcul des paramètres de test χ^2 station Tessala.

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	182.6<xi<254.1	12	6.17	5.51
2	254.1<xi<325.6	11	6.17	3.78
3	325.6<xi<397.15	4	6.17	0.76
4	397.15<xi<468.7	6	6.17	0.005
5	468.7<xi<540.2	2	6.17	2.82
6	540.2<xi<611.7	2	6.17	2.82

$$X^2_{calculé} = 15.70$$

D'après la table de khi deux on a : $\alpha = 0.05$ et $\vartheta=3$

Tableau (III-13) : La valeur critique sera tabulée station Tessala

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
5	5%	11.07

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau III-13 est égale à 15.70 valeur supérieure au χ^2 tabulée qui est de 11.07 pour un degré de liberté ν égale à 3 et un risque toléré de 5%. L'ajustement d'une loi normal est donc non confirmé pour la station de Tessala.

Tableau (III-14) : classement des précipitations de station Lamtar par ordre croissant.

Ordre	Année	Précipitation en mm
1	1996-1997	163,6
2	1987-1988	178,6
3	1998-1999	190,5
4	1989-1990	212,2
5	1992-1993	236,1
6	2004-2005	245
7	1994-1995	250,6
8	1988-1989	258
9	1993-1994	258,4
10	1983-1984	262,5
11	1999-2000	262,7
12	1981-1982	266,8
13	2010-2011	270,8
14	1982-1983	278,8
15	1986-1987	279,1
16	1997-1998	291,2
17	2003-2004	296,4
18	1991-1992	299,7
19	1977-1978	317,7
20	2001-2002	317,9
21	2006-2007	318,4
22	1985-1986	322,4
23	1979-1980	336,6
24	1978-1979	337,7
25	2005-2006	357,8
26	2002-2003	359,3
27	1990-1991	367,5
28	1984-1985	368,3
29	1976-1977	379,5
30	1980-1981	394,1
31	1995-1996	420,9
32	1974-1975	439
33	1975-1976	449,8
34	2009-2010	454,3
35	2000-2001	455,8
36	2007-2008	459,4
37	2008-2009	584,5

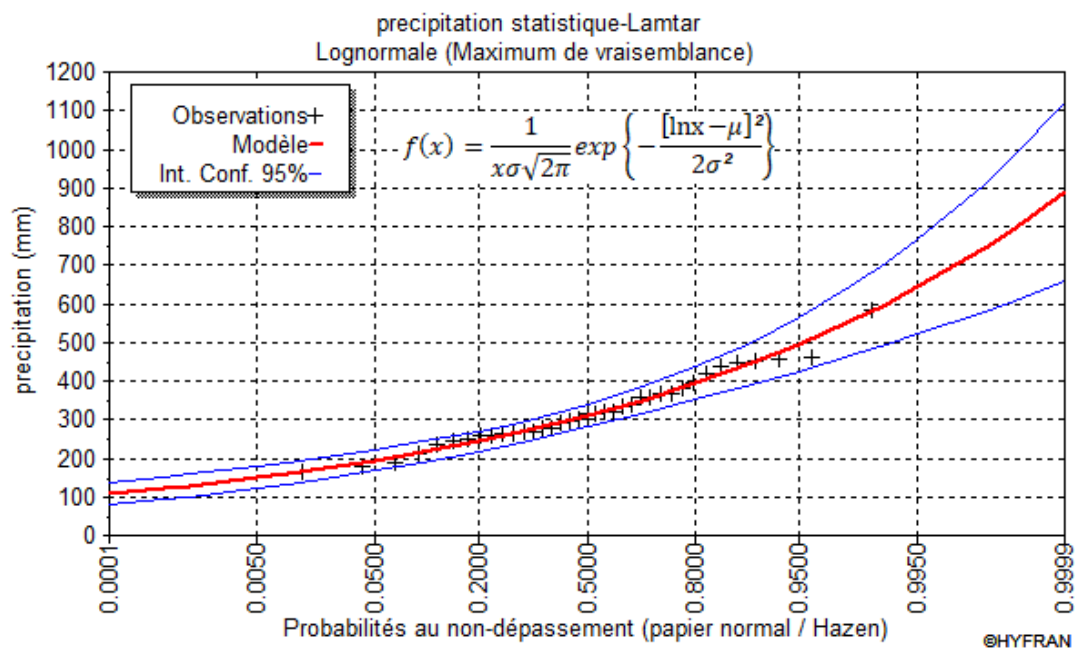


Figure (III-16) : L'ajustement de la station de Lamtar à la loi de lognormale.

III.1.3.7. Calculs de paramètre de test X^2 (khi deux)

Tableau (III-15) : calcul des paramètres de test χ^2 station Lamtar

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	163.6<xi<233.8	4	6.17	0.76
2	233.8<xi<303.9	14	6.17	9.94
3	303.9<xi<374.1	10	6.17	2.38
4	374.1<xi<444.2	4	6.17	0.76
5	444.2<xi<514.4	4	6.17	0.76
6	514.4<xi<584.5	1	6.17	4.33

$$X^2_{calculé} = 18.93$$

D'après la table de khi deux on a : $\alpha = 0.05$ et $\vartheta=5$

Tableau (III-16) : La valeur critique sera tabulée station Lamtar

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
5	5%	11.07

La valeur du X^2 calculée, d'après le tableau III-18 est égale à 18.93 valeur supérieure au X^2 tabulée qui est de 11.07 pour un degré de liberté ϑ égale à 2 et un risque toléré de 5%. L'ajustement d'une loi log normal est donc non confirmé pour la station de Lamtar.

Tableau (III-17) : Résultats des paramètres statistiques.

Stations	Paramètres	Résultats
SARNO BGE	Moyenne	339,12
	Variance	14763.72
	Écart type	121.5
	Cv	0.35
SBA	Moyenne	310.49
	Variance	7558.69
	Écart type	86.94
	Cv	0.27
TASSALA	Moyenne	328.15
	Variance	10787.77
	Écart type	103.86
	Cv	0.32
LAMTAR	Moyenne	322.75
	Variance	8079.85
	Écart type	89.89
	Cv	0.28

III.2. Étude hydrologique

Le comportement hydrologique d'un cours d'eau, dépend essentiellement de plusieurs facteurs physico-géographiques influençant l'écoulement : le régime des précipitations, la nature du bassin versant, sa situation géographique, l'infiltration etc... Une estimation précise des ressources en eau passe donc par la prise en compte des débits moyens annuels et mensuels, les variations saisonnières des débits et l'intensité des débits des crues [11][5].

III.2.1. Débits moyens annuels.

Le débit moyen annuel ou écoulement moyen annuel est une notion fondamentale en hydrologie. Il dépend essentiellement de la distribution des précipitations et de leur intensité, mais il est fonction également du relief du bassin et de ses caractéristiques physico-géologiques. Le débit moyen annuel est mesuré à l'exutoire du bassin versant, il est exprimé en m^3/s .

Nous disposons actuellement de séries de données hydrométriques représentant 14 années d'observations. Les données sont fournies par les services de l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydriques, (2005).

En Algérie, l'année hydrologique adoptée par les services de l'ANRH, correspond à l'année climatique allant de Septembre à Août. Afin d'utiliser convenablement la documentation hydrologique fournie par ses services [12].

III.2.2. Analyse des débits annuels.

La variation annuelle des débits tableau (III-18), montre une fluctuation importante des débits d'une année à l'autre. Sur toute la période d'étude, neuf années ont affiché des débits inférieurs à la valeur moyenne interannuelle ($0,578 m^3/s$). L'année la plus sèche était celle de 1998/1999 avec un débit observé de $0,13m^3/s$.

Tableau (III-18) : valeurs des débits moyennes annuelles à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.

Année	Débit (mm)
1988-1989	0,371
1989-1990	0,947
1990-1991	1,15
1991-1992	0,331
1992-1993	0,235
1993-1994	0,186
1994-1995	0,55
1995-1996	1,04
1996-1997	0,332
1997-1998	0,82
1998-1999	0,13
1999-2000	0,268
2000-2001	0,555
2001-2002	1,178
Q moyen annuel = 0,578 m ³ /s	

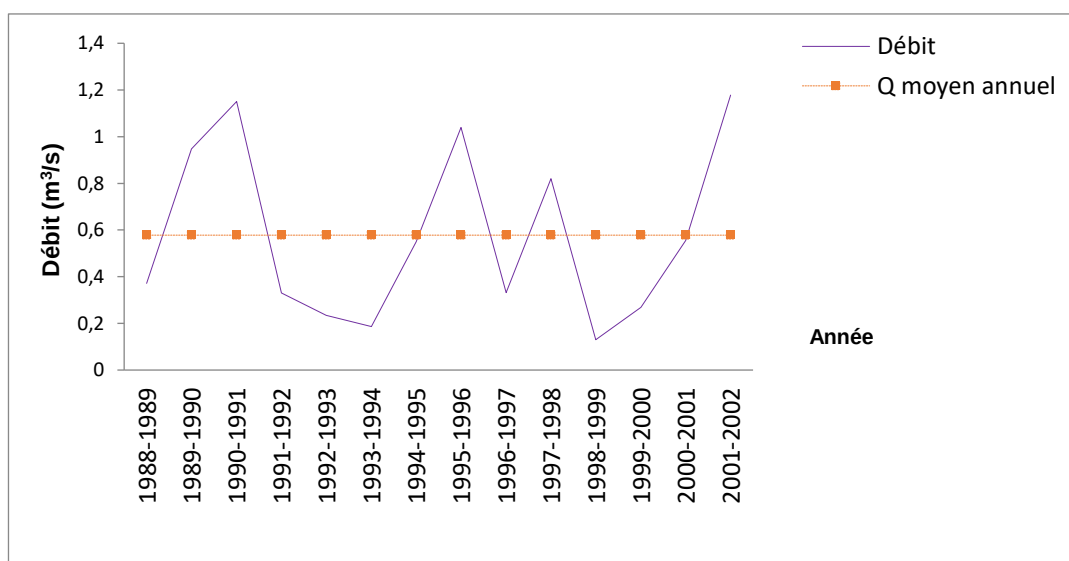


Figure (III-17) : variations des débits moyens annuels (m³/s)

D'après la figure (III-17) on remarque que durant la période comprise entre (1991/1995) et (1999/2001) les valeurs de débits se trouvent ou dessous de la moyenne, on constate des valeurs importantes durant une période de 7 ans ou ces dernières se trouvent ou dessus de la moyenne avec un max de 1.178 m³/s.

III.2.3. Hydraulicité

Les mesures hydrométriques permettent de montrer les variations des débits d'une année à une autre. L'analyse de ce tableau, montre que les années de faible hydraulicité (Q_i / Q_{moy}) sont les plus prépondérantes. Pour cette classe, l'année la plus marquée était celle de (2001/2002) avec une hydraulicité K= 2,03. Les crues enregistrées durant cette année ont eu déjà des impacts sur la situation hydrologique de l'Oued Mekerra.

Tableau (III-19) : Variation de l'hydraulicité durant la période d'étude (1988-2001).

Année	Débit	Hydraulicité
1988-1989	0,371	0.64
1989-1990	0,947	1.63
1990-1991	1,15	1.98
1991-1992	0,331	0.57
1992-1993	0,235	0.40
1993-1994	0,186	0.32
1994-1995	0,55	0.95
1995-1996	1,04	1.79
1996-1997	0,332	0.57
1997-1998	0,82	1.41
1998-1999	0,13	0.22
1999-2000	0,268	0.46
2000-2001	0,555	0.96
2001-2002	1,178	2.03

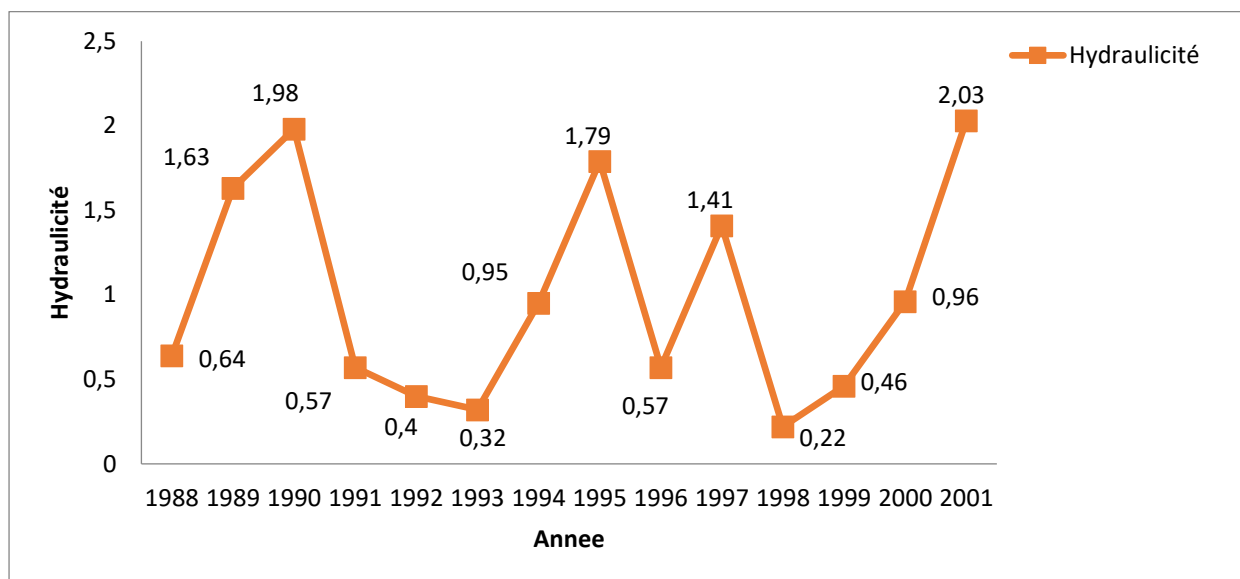


Figure (III-18) : Variation de l'hydraulicité durant la période d'étude (1988-2001).

III.2.4. Étude des débits mensuels

Tableau (III-20) : valeurs des débits moyennes mensuelles à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annuelles
Débit (m ³ /s)	1,403	1,350	0,344	0,205	0,259	0,250	0,920	0,318	0,608	0,268	0,237	0,772	0,562

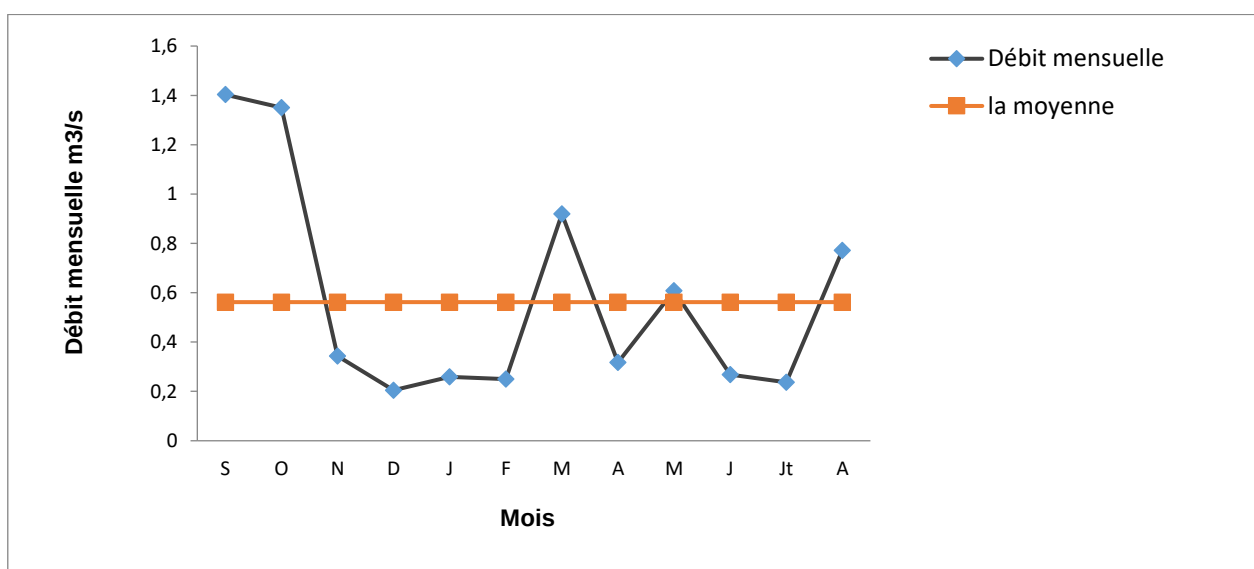


Figure (III-19) : variations des débits mensuelles (m³/s)

La figure (III-19) montre que la moyenne mensuelle maximale est enregistrée durant le mois de Septembre avec un débit de $1.403 \text{ m}^3/\text{s}$ alors que le minimum est enregistré au mois de Décembre ($0.205 \text{ m}^3/\text{s}$) et juillet ($0.237 \text{ m}^3/\text{s}$) à cause des faibles précipitations.

III.2.5. Étude des débits saisonniers :

Tableau (III-21) : valeur des débits saisonniers a la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
Débits (m^3/s)	3.097	0.714	1.846	1.277

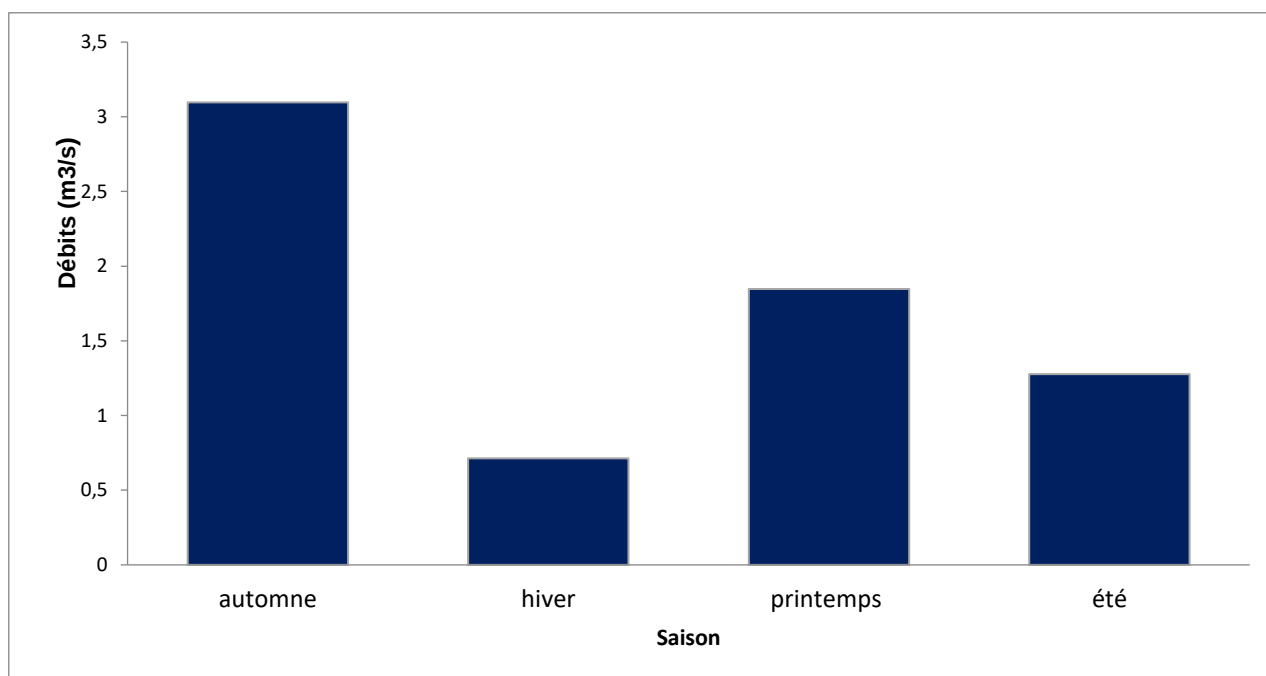


Figure (III-20) : variation des débits saisonniers de la station de sidi Ali Benyoub Mekerra (1988/2002).

D'après l'histogramme on remarque un débit max en automne avec une valeur de $3.097 \text{ m}^3/\text{s}$ et un débit min en hiver évalué à $0,714 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.2.6. Ajustement des débits annuels

L'analyse fréquentielle des débits annuels, présente un grand intérêt dans l'élaboration des projets d'aménagements hydrauliques. Dans ce travail, nous essayons de trouver une loi d'ajustement de la distribution des débits annuels. La variabilité des débits sur la période considérée, mise en évidence par les coefficients de variation, nous laisse penser à un ajustement de type Log-normal. Pour vérifier cette adéquation, nous passons à l'ajustement graphique puis au test du χ^2 .

Tableau (III-21) : classement des débits par ordre croissant

Ordre	Année	Débit(m ³ /s)
1	1998-1999	0,13
2	1993-1994	0,186
3	1992-1993	0,235
4	1999-2000	0,268
5	1991-1992	0,331
6	1996-1997	0,332
7	1988-1989	0,371
8	1994-1995	0,55
9	2000-2001	0,555
10	1997-1998	0,82
11	1989-1990	0,947
12	1995-1996	1,04
13	1990-1991	1,15
14	2001-2002	1,178

III.2.6.1. Calculs des paramètres statistiques pour la station de Sidi Ali Benyoub

1. La moyenne :

$$Q_{moy} = \frac{\sum Q_i}{14}$$

2. la variance et définie par :

$$V = \frac{1}{n} \sum (X_i - Q_{moy})^2$$

3. l'écart type sera :

$$\sigma = \sqrt{V}$$

$$C_V = \frac{\sigma}{Q_{moy}} = \frac{0.36}{0.578} = 0.62 > 0.3$$

Tableau (III-23) : Résultats des paramètres statistiques.

Paramètre	Résultats
Moyenne	0.578
Variance	0.13
Écart type	0.36
Coefficient de variation	0.62

Cette valeur nous oriente vers un ajustement log-normal

III.2.6.2. Calculs de paramètre de test χ^2 (khi deux)

Tableau (III-24) : calcul des paramètres de test χ^2 débits de station de sidi Ali Benyoub

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	$0,13 < x_i < 0,392$	7	3.5	3.5
2	$0,392 < x_i < 0,654$	2	3.5	0.64
3	$0,654 < x_i < 0,916$	1	3.5	1.79
4	$0,916 < x_i < 1,178$	4	3.5	0.07

$$\chi^2_{calculé} = 6$$

D'après la table de khi deux on a : $\alpha = 0.05$ et $\vartheta = 3$

Tableau (III-25) : La valeur critique sera tabulée débits de station de sidi Ali Benyoub

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau (III-24) est égale à 6 valeur inférieure au χ^2 tabulée qui est de 7.81 pour un degré de liberté ϑ égale à 3 et un risque toléré de 5%. L'ajustement d'une loi normal est donc confirmé pour la station de Sidi Ali Benyoub.

Donc : $\chi^2_{calculé} \leq \chi^2_{Tabulée}$ la loi normale d'ajustement est confirmé.

III.2.6.3. Calcul les débits pour les périodes de récurrence donnée :

$$\begin{aligned} \log Q &= \log Q_{moy} + \sigma U \\ U = 0 &\rightarrow \log Q = \log Q_{moy} \\ Q &= e^{\log Q} \end{aligned} \quad (8)$$

Tableau (III-26) : les débits du différent temps de retour station de sidi Ali Benyoub

Temps de retour	U	Log Q	Q
10 ans	1.28	0.22	1.25
20 ans	1.56	0.32	1.38
50 ans	2.05	0.5	1.65
100 ans	2.33	0.6	1.82

$$\log Q = \log Q_{moy} + \sigma U$$

Q : Débit moyen annuel.

σ : Écart type.

U : Variable de GAUSS

III.2.7. Étude des débits mensuels.

Les enregistrements à long terme du débit des rivières montrent des changements saisonniers dans le système (remplacement des niveaux d'eau élevés et bas), en fonction des principaux facteurs affectant le débit. La distribution mensuelle du débit est ensuite utilisée pour classer le régime d'écoulement de la rivière (voir tableau (III-24)). Ces systèmes peuvent être traduits à travers diverses normes numériques et graphiques. Dans ce travail nous retiendrons principalement le coefficient de débit mensuel (C.M.D)

Tableau (III-27) : valeurs des débits moyennes mensuelles à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annuelles
Débit (m ³ /s)	1,403	1,350	0,344	0,205	0,259	0,250	0,920	0,318	0,608	0,268	0,237	0,772	0,562

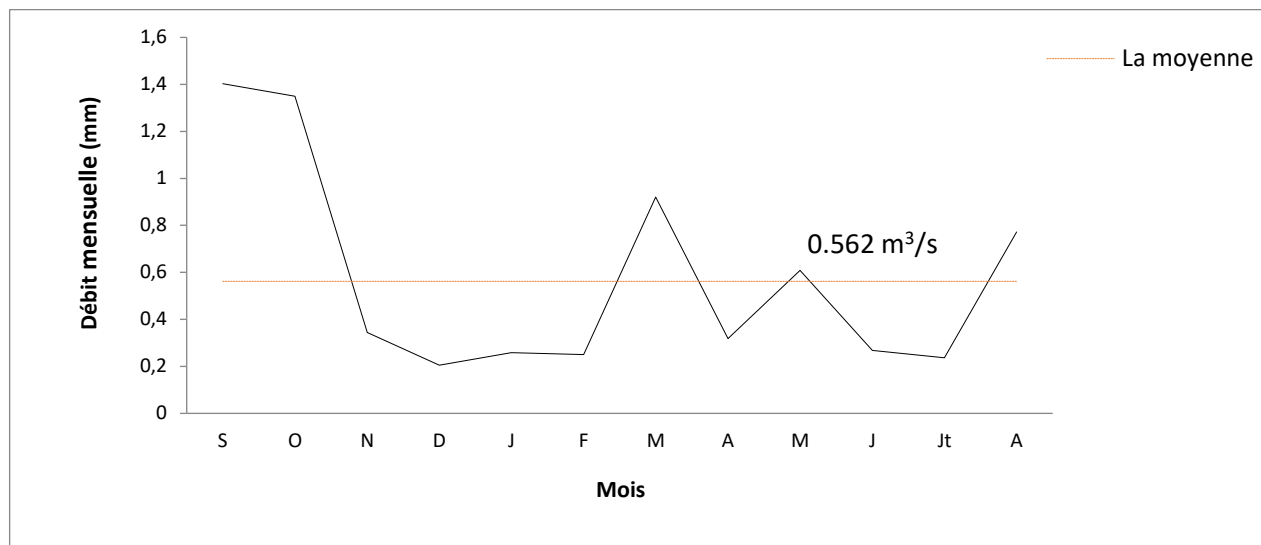


Figure (III-21) : variations des débits mensuelles (m^3/s)

III.2.8. Coefficient mensuel de débits.

On définit le coefficient de débit mensuel comme le rapport du débit mensuel moyen au module interannuel pour la période considérée (mesurée en nombre d'années). Le module interannuel est calculé à partir d'une série d'observations sur plusieurs années (moyenne arithmétique). Le coefficient de débit mensuel (CMD) permet de comparer les changements saisonniers des conditions des cours d'eau. Les CMD inférieurs à l'unité correspondent aux mois des basses eaux et les CMD supérieurs à l'unité représentent les mois des hautes eaux [9]

L'analyse de la figure (III-25) et le tableau (III-31), montrent que le débit maximal est observé au mois de septembre, alors que le débit minimal est enregistré en décembre-juillet.

Tableau (III-28) : valeurs des Coefficient mensuel des débits à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annuelles
CMD	2.50	2.40	0.61	0.37	0.46	0.45	1.64	0.57	1.08	0.48	0.42	1.37	1

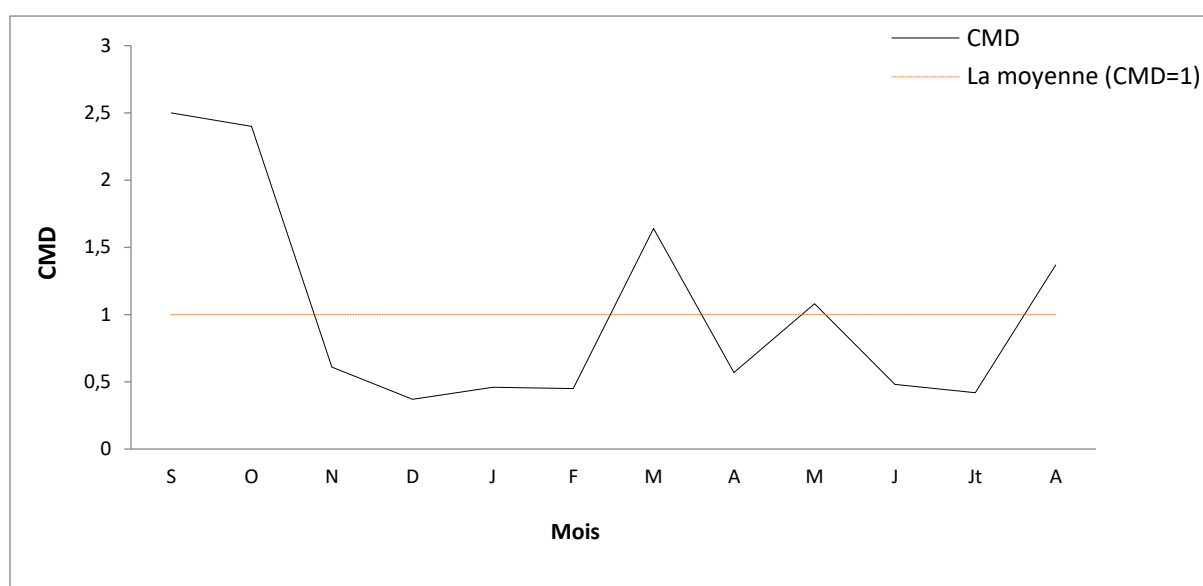


Figure (III-22) : variation de coefficients mensuels de débits.

La figure indique que les mois de (septembre, octobre, mars, May, aout) ont un $CMD > 1$ donc on marque une période des hautes eaux, et un $CMD < 1$ aux autres mois de l'année donc on marque une période des basses eaux.

En effet, le régime moyen de ce bassin à alimentation essentiellement pluviale, comporte des hautes eaux de saison humide de mai pour la station de Sidi Ali Ben Youb. Les mois d'Octobre, Novembre et Septembre présentent un C.M.D supérieure à l'unité, en raison des fortes pluies orageuses provoquant des inondations au début de l'année hydrologique. Le maximum mensuel se situe en Octobre, pour la station, alors que le C.M.D de Juillet et Janvier représente le minimum mensuel d'écoulement.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a été menée sur le bassin versant d'oued Mekerra aval qui fait partie du grand bassin de la Macta qui s'étend au nord-ouest de Algérie. A travers cette étude, nous avons tenté d'élucider les principales caractéristiques de sa fonctionnalité sur la base de l'analyse des précipitations observées et des données hydrologiques.

Le bassin versant aval d'Oued Mekerra est caractérisé par un climat semi-aride avec des précipitations annuelles moyennes de 319,63 mm et qui sont inférieures à la moyenne annuelle nationale.

Le bilan hydrologique montre un déficit important et un faible ruissellement (16.61 mm) du fait des températures élevées et des faibles précipitations, on note également une infiltration de 21,51 mm ce qui donne une quantité d'eau infiltrée de 37 530 648 m³, qui peut s'expliquer par la nature du sol (perméabilité importante) et l'importante superficie du bassin versant et qui est de l'ordre de 1744.81Km².

Après le calcul des différents paramètres statistiques pour les quatre stations hydrométriques du bassin versant ; nous avons déduit que les séries pluviométriques se rapprochent et peuvent être prises en considération dans les études hydrologiques du bassin.

Nous avons déduit aussi que le débit maximal mensuel est observé au début de l'année hydrologique (Septembre) d'une valeur de 1,403 m³/s alors que le débit minimal est enregistré en décembre et un débit moyen annuel mesuré à l'exutoire du bassin versant de 0,578 m³/s.

Annexe : 01. Loi Normale Réduite :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du$$

Annexe 1. Loi Normale Réduite : $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du$

u	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.54380	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84614	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.87900	0.88100	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91309	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92220	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983
3.6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989
3.7	0.99989	0.99990	0.99990	0.99990	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992

Annexe : 02. La table de χ^2

La table donne une probabilité α pour que χ^2 égale ou dépasse une valeur donnée en fonction du nombre de degré de liberté γ

$\alpha \backslash \gamma$	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.016	0.455	1.074	1.642	2.705	3.841	5.412	6.635	10.827
2	0.211	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	7.824	9.210	13.815
3	0.584	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	9.837	11.345	16.266
4	1.064	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	11.668	13.277	18.467
5	1.610	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	13.388	15.086	20.515
6	2.204	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	15.033	16.812	22.457
7	2.833	6.346	8.383	9.803	12.017	14.067	16.622	18.475	24.322
8	3.490	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	18.168	20.090	26.125
9	4.168	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	19.679	21.666	27.877
10	4.865	9.342	11.781	13.442	15.987	18.307	21.161	23.209	29.588
11	5.578	10.341	12.899	14.631	17.275	19.675	22.618	24.725	31.264
12	6.304	11.340	14.011	15.812	18.549	21.026	24.054	26.217	32.909
13	7.042	12.340	15.119	16.985	19.812	22.362	25.472	27.688	34.528
14	7.790	13.339	16.222	18.151	21.064	23.685	26.873	29.141	36.123
15	8.547	14.339	17.322	19.311	22.307	24.996	28.259	30.578	37.697
16	9.312	15.338	18.418	20.465	23.542	26.296	29.633	32.000	39.252
17	10.085	16.338	19.511	21.615	24.769	27.587	30.995	33.409	40.790
18	10.865	17.338	20.601	22.760	25.989	28.869	32.346	34.805	42.312
19	11.651	18.338	21.689	23.900	27.204	30.144	33.687	36.191	43.820
20	12.443	19.337	22.775	25.038	28.412	31.410	35.020	37.566	45.315
21	13.240	20.337	23.858	26.171	29.615	32.671	36.343	38.932	46.797
22	14.041	21.337	24.939	27.301	30.813	33.924	37.659	40.289	48.268
23	14.848	22.337	26.018	28.429	32.007	35.172	38.968	41.638	49.728
24	15.659	23.337	27.096	29.553	33.196	36.415	40.270	42.980	51.179
25	16.473	24.337	28.172	30.675	34.382	37.652	41.566	44.314	52.620
26	17.292	25.336	29.246	31.795	35.563	38.885	42.856	45.642	54.052
27	18.114	26.336	30.319	32.912	36.741	40.113	44.140	46.963	55.476
28	18.939	27.336	31.391	34.027	37.916	41.337	45.419	48.278	56.893
29	19.768	28.336	32.461	35.139	39.087	42.557	46.693	49.588	58.302
30	20.599	29.336	33.530	36.250	40.256	43.773	47.962	50.892	59.703

Références bibliographiques

- [1] **OTMANE Abdelkader, 2019.** « Impacts de la variabilité climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin versant de l'Oued Mekerra. Thèse de Doctorat. Université Aboubakar Belkaïd Tlemcen ».
- [2] **Mokadmi, S. (2012)** « Etude hydrologique et modélisation du transport solide en suspension dans le sous bassin versant de l'oued Mekerra. USTO ».
- [3] **BEN ZATER. B, 1996** « Étude hydrologique du bassin versant d'Oued El-Hammam. Thèse de magister. Institut d'agronomie.154 pages. C.U. MASCARA ».
- [4] **HALLOUCHE B, 1986.** « Contribution à l'étude hydrogéologique de la partie occidentale du bassin versant de l'Oued El MALLEH (W. Sidi Bel Abbes) ». Projet d'ingéniorat d'état.
- [5] **Source** : A.N.R.H d'Oran
- [6] **REMANIE RAS 1989** « L'hydrologie de l'ingénieur.450 pages. Eyrolles ».
- [7] **OULD Ahmed Salem Abdi ,2018.** « Étude des paramètres morpho métriques et hydrographiques du bassin versant de l'oued TARIA. Thèse de Master ».
- [8] **NASRI. K, SLIMANI. D (2002-2003).** « Étude de faisabilité d'une retenue collinaire sur l'oued ben ADOUANE wilaya de SAIDA. Thèse de DEUA ».
- [9] **YLES FOUAD ,2014.** « Hydrologie et transport solide dans le bassin versant de l'oued SAIDA : Modélisation Pluie-Débit et Débit liquide – Transport Solide. Thèse de Doctorat ».
- [10] **HACHEMAOUI. D, SADEK.M ,2016.** « Hydrologie et Modélisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'oued El- MALLEH Wilaya de Temouchent. Thèse de Master ».
- [11] **BOUABALLAH F. (1997).** Mise au point d'un modèle de transformation pluie-débit au pas de temps annuel. Rapport de DEA, DEA Hydrogéologie-Hydrologie filière Géochimie isotopique, Paris Sud Orsay, CEMAGREF Antony, 45 pp. Poly copier

