

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique

جامعة سعيدة – د. الطاهر مولاي -

UNIVERSITE DE SAIDA – Dr MOULAY TAHER – Faculté des Sciences et
Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en Hydraulique urbaine

THEME

**Application du Test de Ki carré pour la vérification de
l'ajustement graphique sur un certains nombre de stations
pluviométriques du bassin versant de Makera aval**

Présenté par :

M^{elle} : Naas Khadidja

M^{elle} : Djelti Naima

Membres du jury

Mr Talbi Okacha

Président

Mr Hafiane Mohamed

Examineur

Mr : Yles Fouad

Encadrant

Année Universitaire : 2025-2026

Remerciements

Avant tous, 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 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 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 sont 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 civile et d'Hydraulique, ainsi qu'à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Dédicace

Je dédie ce travail a :

A cœur vaillant rien d'impossible souhaitant que le fruit de nos efforts fournis jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleur.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A ma chère binôme, Djelti Naima, qui a été une sœur et pas seulement une collègue tout au long de mon parcours universitaire.

A ma mère : la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prés pour moi tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie leurs études.

A mon père : école de mon enfance, et qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie.

à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger. Que dieu les gardes et les protège.

A mes adorables sœurs et à mes frères, a mes amies A mon fiancé ; a tous qui me sont chères ; a tous ceux qui m'aiment ; a tous ceux que j'aime

khadidja.

Dédicace

Avec tout mon amour et ma reconnaissance, je dédie ce travail

À moi-même, et à ma chère binôme, Naas Khadîdja

À notre collaboration, notre courage et notre persévérance tout au long de ce parcours universitaire.

Je nous souhaite un avenir plein de réussite, de bonheur et de succès.

À ma chère mère, Rachida

Pour son amour infini, son soutien et ses sacrifices ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

À mon très cher père, Habib

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

À mes sœurs, Nour el houda, Radjaa, chaimaa

Grâce à leur présence et à leurs encouragements constants.

Merci pour ta présence, ta gentillesse et tes encouragements précieux.

À mes chères amies,

Chaïmaa, Mokhtaria, Douaà

Pour leur soutien, leur sincérité et les beaux moments partagés.

À mon très cher ami, Bilal

Merci d'être resté à mes côtés dans les moments les plus rudes. Grâce à toi, mon succès a un goût bien plus beau. Merci pour tout Naima

Résumé

Cette étude porte sur l'analyse des séries pluviométriques annuelles du bassin versant de l'Oued Mekerra aval à partir des données de 12 stations pluviométriques couvrant la période 1974–2011, ainsi que sur l'étude des débits de la station de Sidi Ali Benyoub. Le travail repose sur une analyse statistique des séries pluviométriques par le calcul de la moyenne, de la variance, de l'écart-type et du coefficient de variation. Les résultats obtenus montrent une variabilité importante des précipitations entre les différentes stations, avec des degrés de dispersion et d'irrégularité variables. Un ajustement graphique a été réalisé par le logiciel HYFRAN + afin d'estimer les précipitations correspondant aux périodes de retour de 10, 50 et 100 ans. Le test du Khi-deux (χ^2) a également été appliqué afin de vérifier la validité de l'ajustement des données observées. Le test du Khi-deux a montré que toutes les stations présentent un ajustement qui répondent à la loi normale.

Mots-clés : Bassin versant, Test de khi carré, pluviométrie, Morphologie.

Abstract:

Rainfall and runoff are essential components of the hydrological functioning of watersheds, where the spatial and temporal variability of precipitation strongly influences streamflow and flood risks. This study aims to analyze the annual rainfall series of the Oued Mekerra downstream watershed using data from 12 rainfall stations covering the period from 1974 to 2011, in addition to the study of discharge data from the Sidi Ali Benyoub station.

The work was based on a statistical analysis of rainfall series through the calculation of the mean, variance, standard deviation, and coefficient of variation. A statistical fitting using the normal distribution and Henry's line was carried out to estimate rainfall values corresponding to return periods of 10, 50, and 100 years. The Chi-square (χ^2) test was also applied to verify the validity of the fitting between the observed series and the selected theoretical distribution.

The obtained results show significant variability in rainfall amounts among the different stations, with varying degrees of dispersion and irregularity. The Chi-square test revealed that some stations present an acceptable fit to the normal distribution, while others require the use of another probability distribution better suited to the observed data. Concerning the annual discharges of the Sidi Ali Benyoub station, the results confirmed the validity of the adjustment using the normal distribution.

This study highlights the importance of statistical and hydrological analyses in understanding the rainfall and hydrological behavior of the Oued Mekerra downstream watershed, contributing to better water resources management and flood risk prevention.

Keywords : Drainage basin, Chi-square test, Pluviometry, Morphology .

ملخص

تُعدّ التساقطات المطرية والجريان السطحي من أهم العوامل المؤثرة في النظام الهيدرولوجي للأحواض المائية، حيث يؤدي التباين الزمني والمكاني للأمطار إلى تغيرات واضحة في كميات الجريان واحتمالية حدوث الفيضانات. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل السلاسل المطرية السنوية لحوض وادي مكرة السفلي اعتماداً على بيانات 12 محطة مطرية خلال فترة تمتد من 1974 إلى 2011، بالإضافة إلى دراسة تصريف محطة سيدي علي بن يوب.

ركزت الدراسة على التحليل الإحصائي للسلاسل المطرية من خلال حساب المتوسط، التباين، الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف، مع إجراء التعديل الإحصائي باستعمال القانون العادي وخط هنري لتقدير الأمطار لفترات عودة للتحقق من مدى مطابقة السلاسل المطرية للقانون (χ^2) مختلفة (10، 50 و 100 سنة). كما تم تطبيق اختبار كاي-تربيع النظري المعتمد.

أظهرت النتائج وجود تباين معتبر في كميات الأمطار بين المحطات، حيث سجلت بعض المحطات قيماً مرتفعة للتشتت وعدم الانتظام. كما بين اختبار كاي-تربيع أن بعض المحطات توافق القانون العادي إحصائياً، في حين أن محطات أخرى لا تتوافق معه، مما يستدعي اعتماد قوانين احتمالية أخرى أكثر ملاءمة. أما بالنسبة للتصريفات السنوية بمحطة سيدي علي بن يوب، فقد أكدت النتائج صلاحية التعديل بالقانون العادي.

تُبرز هذه الدراسة أهمية التحليل الإحصائي والهيدرولوجي في فهم سلوك الأمطار والتصريفات داخل حوض وادي مكرة السفلي، مما يساهم في تحسين تسيير الموارد المائية والتخطيط لمشاريع الحماية من الفيضانات.

الكلمات المفتاحية : الحوض المائي، اختبار كاي-تربيع، التساقطات المطرية، المورفولوجيا.

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME

LISET DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE.....18

Chapitre I : présentation de la région d'étude

I-1 cadre géographique du bassin versante de l'oued mekkera aval.....	21
I-2 caractéristique physique du bassin de l'oued mekkera aval.....	22
I-3 surface et périmètre du bassin versant.....	22
I-4 Etude morpho métrique.....	23
I-4-1 étude de relief.....	23
I-4-2 Forme de bassin.....	24
I-4-3 Notion du rectangle équivalent.....	25
I-4-4 Altitudes caractéristique du bassin	25
1- Les altitudes maximale et minimale.....	25
2- L'altitude moyenne	26
I-4-5 Indice de pente	27
I-4-6 Indice de pente de roche	27
I-4-7 Dénivelée spécifique	27
I-4-8 La pente moyenne.....	28
I-5 Etude du réseau hydrographique	28
I-5-1 Densité de drainage	28

I-5-2 Rapport de confluence	29
I-5-3 Rapport de longueur	29
I-5-4 Fréquence des cours d'eau.....	29
I-5-5 Coefficient de torrentialité.....	29
I-5-6 Temps de concentration	30

Chapitre II : Etude pluviométrique

II-1 Introduction.....	32
II-2 Etude des précipitations.....	33
II-2-1 Variation de précipitation annuelle.....	33
II-2-2 variation de précipitation mensuelle	37
II-2-3 variation de précipitation saisonnière.....	43

Chapitre III : Etude hydrologique

III-1 Etude hydrologique	49
III-2 Etude des débits mensuels.....	49
III-3 Analyse des débits annuels	50
III-4 Hydraulicité.....	51
III-5 Coefficient mensuel des débits.....	53
III-6 Coefficient de variation	54

Chapitre IV : Ajustement graphique des stations retenues

IV-1 Ajustement graphique des précipitations.....	56
IV-2 Ajustement de la station Ben Badis.....	57
IV-2-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de ben badis.....	58
IV-2-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	58
IV-3 Ajustement de la station Sarnos bge.....	59

IV-3-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de sarnos bge	60
IV-3-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	60
IV-4 Ajustement de la station Hassi Daho.....	61
IV-4-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de hassi daho.....	62
IV-4-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	62
IV-5 Ajustement de la station Mostpha Ben Brahim	63
IV-5-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de Mostpha Ben Brahim..	64
IV-5-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	64
IV-6 Ajustement de la station Ain Trid.....	65
IV-6-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station d'ain trid.....	66
IV-6-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	66
IV-7 Ajustement de la station Bel Abbès.....	67
IV-7-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de Bel-Abbès.....	68
IV-7-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	68
IV-8 Ajustement de la station Tessala.....	69
IV-8-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de tessala.....	70
IV-8-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	70
IV-9 Ajustement de la station Ain berd.....	71
IV-9-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station d'ain berd.....	72
IV-9-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	72
IV-10 Ajustement de la Station sidi lahcen.....	73
IV-10-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de sidi lahcen.....	74
IV-10-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	74
IV-11 Ajustement de la Station Tabia.....	75

IV-11-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de tabia.....	76
IV-11-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	76
IV-12 Ajustement de la Station hassi zahana	77
IV-12-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de hassi zahana.....	78
IV-12-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	78
IV-13 Ajustement de la station lamtar	79
IV-13-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de lamtar.....	80
IV-13-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée.....	80

V- vérification de l'ajustement graphique par la méthode KI_KAREE

V-1 test x^2 (khi carré).....	82
V-2 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Ben badids.....	83
V-3 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Sarnos bge	84
V-4 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Hassi daho.....	85
V-5 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Mostpha ben Brahim....	86
V-6 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Ain trid	88
V-7 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Bel Abbes	89
V-8 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Tessala.....	90
V-9 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Ain Berd	91
V-10 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station sidi lahcen	93
V-11 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Tabia	94
V-12 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Hassi Zahana	95
V-13 Calculs de paramètre de test x^2 (khi carré) de la station Lamtar.....	96

Conclusion

Référence bibliographique

Annexe

LISTE DES FIGURES

Figure (I-1): Limite du bassin versant de la Mekerra aval

Figure (I-2) : Situation du bassin versant de l'Oued Mekerra aval et localisation des stations utilisées

Figure (I-3) : courbe hydrométrique du bassin versant de l'oued makkera aval.

Figure (II-1) : variation des précipitations annuelles des différentes stations (1974/2011)

Figure (II-2) : variations de précipitations mensuelles des différentes stations (1974/2011)

Figure (II-3) : variations de précipitation saisonnière des différentes stations (1974/2011)

Figure (III-1) : variations des débits mensuelles (m^3/s).

Figure (III-2) : variation des débits moyens annuels (m^3/s)

Figure (III-3) : Variation de l'hydraulicité durant la période d'étude (1988-2001).

Figure (III-4) : variation de coefficients mensuels de débits.

Figure (IV-1) : L'ajustement de la station de Ben badis à la loi normale.

Figure (IV-2) : L'ajustement de la station de Sarnos bge à la loi normale.

Figure (IV-3) : L'ajustement de la station de Hassi daho à la loi normale.

Figure (IV-4) : L'ajustement de la station de Mostpha ben brahim à la loi normale.

Figure (IV-5) : L'ajustement de la station de Ain trid à la loi normale.

Figure (IV-6) : L'ajustement de la station de Bel-abbes à la loi normale.

Figure (IV-7) : L'ajustement de la station de Tassala à la loi normale

Figure (IV-8) : L'ajustement de la station de Ain berd à la loi normale.

Figure (IV-9) : L'ajustement de la station de Sidi lahcen à la loi normale.

Figure (IV-10) : L'ajustement de la station de Tabia à la loi normale.

Figure (IV-11) : L'ajustement de la station de Hassi zahana à la loi normale.

Figure (IV-12) : L'ajustement de la station de Lamtar à la loi normale.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I-1) : répartition hydrométrique du bassin versant de l'oued makarra aval.

Tableau (I-2) : récapitulation des paramètres morpho-métriques du bassin de l'oued makerra

Tableau (I-3) : classification du relief selon D_s

Tableau (II-1) : Caractéristiques des stations pluviométriques retenues

Tableau (III-1) : valeurs des débits moyennes mensuelles à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra

Tableau (III-2) : la variation annuelle des débits

Tableau (III-3) : Variation de l'hydraulicité

Tableau (III-4) : valeurs des Coefficient mensuel des débits à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.

Tableau (III-5) : valeurs des Coefficient de variation à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.

Tableau (IV-1) : Classement des précipitations de la station Ben Badis par ordre croissant.

Tableau (IV-2) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée.

Tableau (IV-3) : Classement des précipitations de la station Sarnos bge par ordre croissant.

Tableau (IV-4) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (IV-5) : Classement des précipitations de la station Hassi Daho par ordre croissant.

Tableau (IV-6) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (IV-7) : Classement des précipitations de la station Mostpha Ben Brahim par ordre croissant

Tableau (IV-8) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (IV-9) : Classement des précipitations de la station Ain Trid par ordre croissant.

Tableau (IV-10) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (IV-11) : Classement des précipitations de la station bel-abbes par ordre croissant.

Tableau (IV-12) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (IV-13) : Classement des précipitations de la station tessala par ordre croissant

Tableau (IV-14) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (IV-15) : Classement des précipitations de la station Ain berd par ordre croissant

Tableau (IV-16) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (IV-17) : Classement des précipitations de la station sidi lahcen par ordre croissant

Tableau (IV-18) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (IV-19) : Classement des précipitations de la station tabia par ordre croissant

Tableau (IV-20) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée.

Tableau (IV-21) : Classement des précipitations de la station hassi zahana par ordre croissant

Tableau (IV-22) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée.

Tableau (IV-23) : Classement des précipitations de la station lamtar par ordre croissant.

Tableau (IV-24) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Tableau (V-1) : calcul des paramètres de test X^2 (station ben badis)

Tableau (V-2) : La valeur critique sera tabulée station ben badis

Tableau (V- 3) : calcul des paramètres de test X^2 (station SarnoS bge)

Tableau (V-4) : La valeur critique sera tabulée station Sarnobge

Tableau (V-5) : calcul des paramètres de test X^2 (station hassi daho)

Tableau (V-6) : La valeur critique sera tabulée station hassi daho

Tableau (V- 7) : calcul des paramètres de test X^2 (station mostpha ben brahim)

Tableau (V-8) : La valeur critique sera tabulée station mostpha ben brahim

Tableau (V-9) : calcul des paramètres de test X^2 (station ain trid)

Tableau (V-10) : La valeur critique sera tabulée station ain trid

Tableau (V-11) : calcul des paramètres de test X^2 (station bel-abbes)

Tableau (V-12) : La valeur critique sera tabulée station bel-abbes

Tableau (V- 13) : calcul des paramètres de test X^2 (station Tessala)

Tableau (V- 14) : La valeur critique sera tabulée station tessala

Tableau (V-15) : calcul des paramètres de test X^2 (station Ain berd)

Tableau (V-16) : La valeur critique sera tabulée station ain berd

Tableau (V-17) : calcul des paramètres de test X^2 (station sidi lahcen)

Tableau (V-18) : La valeur critique sera tabulée station sidi lahcen

Tableau (V-19) : calcul des paramètres de test X^2 (station Tabia)

Tableau (V-20) : La valeur critique sera tabulée station Tabia

Tableau (V-21) : calcul des paramètres de test X^2 (station hassi zahana)

Tableau (V-22) : La valeur critique sera tabulée station Hassi zahana

Tableau (V-23) : calcul des paramètres de test X^2 (station lamtar)

Tableau (V- 24) : La valeur critique sera tabulée station lamtar

LISTE DES ABREVIATIONS

P : précipitation

Kc : indice de compacité

Tc : Temps de concentration

Rc : Rapport de confluence

Dd : Densité de drainage

Cv : coefficient de variation

CMD : Coefficient de débit mensuel

n : Nombre d'années

k : Nombre de classe

ni : Effectif

npi : Effectif espéré

σ : Ecart type

χ^2 : khi carré

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'étude des séries météorologiques est d'une grande importance en hydrologie et en climatologie. Bien que le climat d'une région soit en constante évolution, les changements ne se produisent généralement pas à une échelle de temps qui nous est immédiatement évidente.

Un changement dans un élément météorologique peut entraîner des changements dans le climat régional. Par exemple, si la température régionale moyenne augmente de manière significative, cela peut affecter la quantité de nébulosité ainsi que le type et la quantité de précipitations qui se produisent. Si ces changements se produisent sur de longues périodes, les valeurs climatiques moyennes de ces éléments seront également affectées. Les changements dans la variabilité du climat et les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes ont fait l'objet d'une attention accrue ces dernières années. En effet, plusieurs études ont été réalisées en analysant l'évolution de la pluviométrie dans diverses parties du globe et à différentes échelles temporelles. [1]

L'eau est devenue, ces dernières années pour de nombreux pays dont l'Algérie, une problématique d'ordre stratégique. En effet, l'Algérie est confrontée aujourd'hui à un manque d'eau important dû à la semi-aridité de son territoire, aux faibles précipitations et à la sécheresse qui sévit d'année en année. Plusieurs études, notamment celles de [2] ainsi que [3] Ces travaux montrent que le Nord de l'Algérie est caractérisé par des précipitations annuelles moyennes comprises entre 300 et 600 mm. Toutefois, les ressources en eau renouvelables demeurent faibles, irrégulières et principalement concentrées dans la bande côtière. Selon [4], les précipitations en Algérie présentent une forte irrégularité aussi bien dans le temps que dans l'espace. Leur répartition spatiale est marquée par un gradient pluviométrique net du Nord vers le Sud, tandis que le gradient Est Ouest apparaît moins prononcé.

De ce fait, l'eau en Algérie n'a jamais autant retenu l'attention des pouvoirs publics secoués par les organismes spécialisés qui prévoient de graves pénuries à des échéances très proches. Il est admis que des mesures sont nécessaires pour améliorer la capacité à s'adapter à la variabilité hydrologique et aux phénomènes extrêmes

(inondations et sécheresses) observés aujourd'hui dans des circonstances dynamiques (notamment les pressions actuelles dues à la démographie, à l'économie, à l'utilisation des terres et au développement régional). [5]

Le bassin versant de l'oued Mekerra aval, fait partie des bassins méditerranéenne sud. Il est caractérisé par un climat de type semi-aride, chaud en été et froid et sec en hiver. Les irrégularités sévères des précipitations dans le temps et dans l'espace ont engendrés des averses fréquentes et irrégulières.

Le présent travail s'inscrit dans cette axe. Il s'intéresse au bassin versant de l'Oued Mekerra Aval faisant partie des zones où la moyenne annuelle des précipitations est inférieure à la moyenne nationale, traduisant ainsi un déficit pluviométrique notable, notamment durant la période postérieure à 1974. Dans le cadre de cette étude plusieurs stations pluviométriques seront retenues.

ORGANISATION DU MEMOIRE

Les travaux entrepris dans le cadre de cette thèse s'organisent autour de cinq chapitres qui sont développés dans ce mémoire.

- Le diagnostic physico-géographique, qui permettra de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement (situation, relief, réseau hydrographique).
- Etude et analyse des précipitations, (annuel, mensuel et saisonnier).
- Détermination des processus hydrologiques, leurs fonctionnement et leur impact sur la variabilité spatio-temporelle. L'étude hydrologique portera aussi, sur le traitement statistiques des données hydrométriques ainsi que l'évaluation des apports liquides annuels, mensuels et saisonniers.
- le test d'ajustement graphique ou d'adéquation, qui compare globalement la distribution observée dans un échantillon statistique à une distribution théorique.
- Vérification de l'ajustement graphique par la méthode de Khi-carrée.

Enfin, nous clôturons cette thèse par une conclusion générale.

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

I) Présentation de la région d'étude

I.1) Cadre géographique du bassin versant de l'oued mekkera aval :

Le bassin versant d'Oued Mekera 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 Saida. Il est compris entre les latitudes nord 34° et 36° et la longitude ouest $-1^{\circ}14'$ et $-0^{\circ}32'$ (Figure 1). La longueur du thalweg principal est de 70Km (selon ABH).

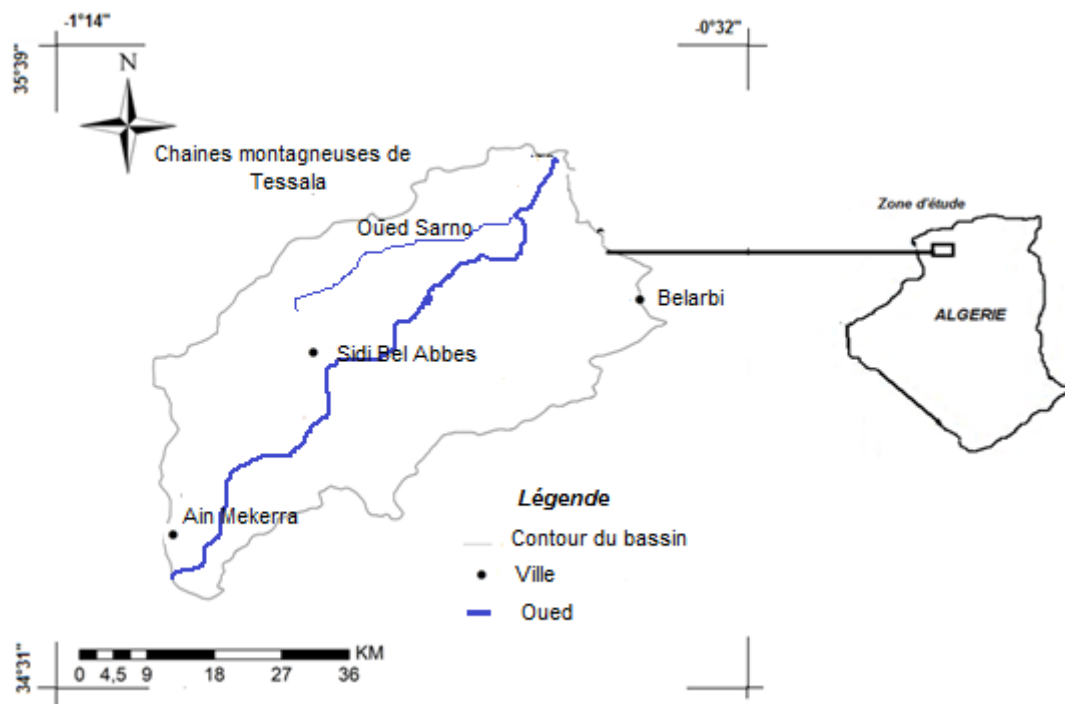


Figure (I-1): Limite du bassin versant de la Mekerra aval

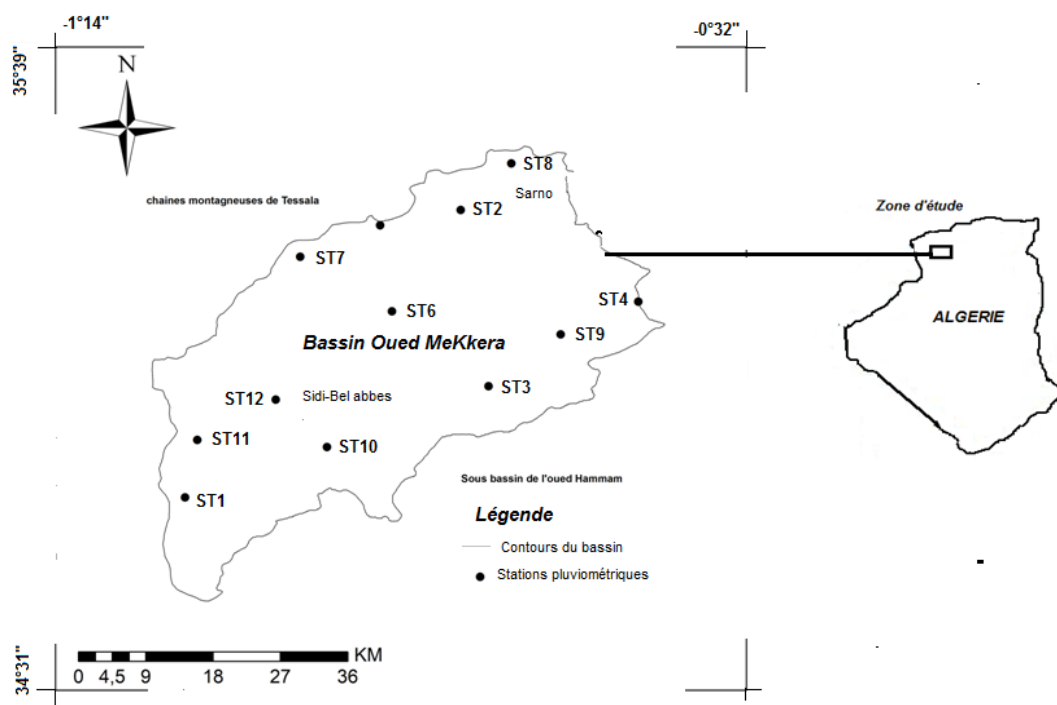


Figure (I-2) : Situation du bassin versant de l'Oued Mekerra aval et localisation des stations utilisées

I-2) caractéristique physique du bassin de l'oued mekerra aval :

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique. 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.

I-3) surface et périmètre du bassin versant

Le bassin versant c'est l'aire de réception des précipitations des cours d'eau. La détermination de la surface du bassin versant ainsi que son périmètre est obtenue par la technique de digitalisation. Cette dernière a permis de détermination avec précision la surface du bassin versant qui est de 1744 Km² et un périmètre de 228 Km

I-4) Etude morphométrique

I-4-1) étude de relief

Les altitudes ainsi que la forme du relief influent considérable sur différents paramètres hydro-climatique 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 altimétrique dans la figure (I-3) et le tableau (I-1) présente cette répartition en km² de la surface totale de l'oued Makkara aval.

Tableau (I-1) : répartition hydrométrique du bassin versant de l'oued makarra aval.

Altitude (m)	Superficies (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)
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

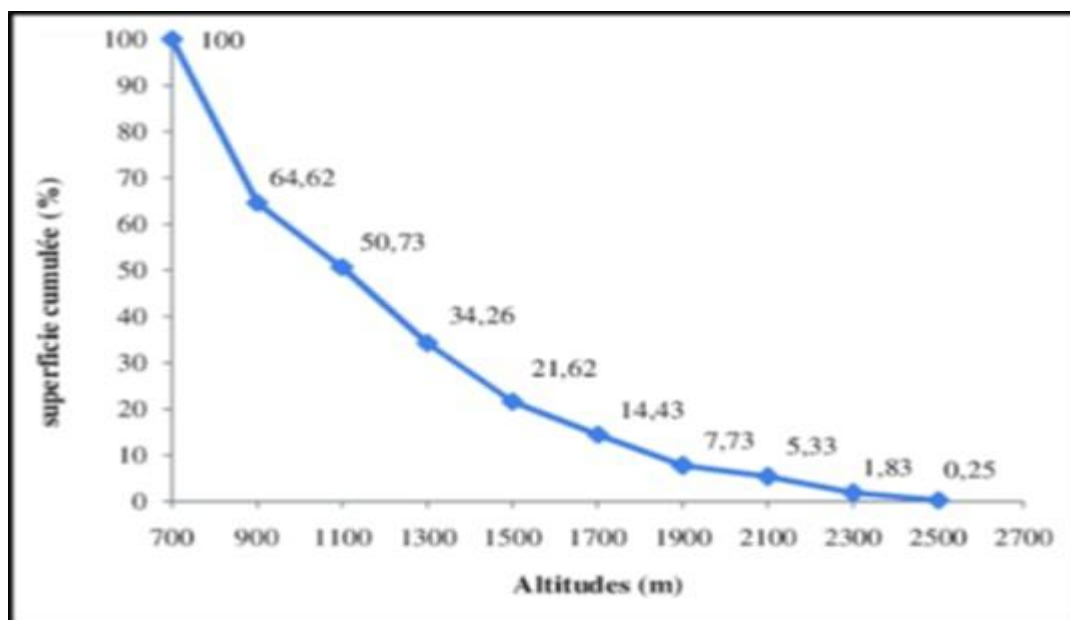


Figure (I-3) : courbe hydrométrique du bassin versant de l'oued makarra aval.

La courbe hybsométrique, montre une concavité vers le bas avec des pentes faible 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 makkerra terminer sa cours au niveau d'une zone pénéplaine et les risques d'inondation ne sont pas à exclure.

I-4-2) forme de bassin

La nature de la forme de bassin, influence énormément l'écoulement et déterminer 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 caractéristique roche.

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 gravélius.

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 Mekkara, la valeur du coefficient de compacité $K_G = 1.53$ indice que le bassin est de forme plutôt allongée.

I-4-3) 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 (I), indice de compacité K_c , les courbe de niveau devenant des droites parallèles aux petites cotes et les

exutoires du bassin versant étant assimilées à l'un de ces petits cotes du rectangle est déduite à partir de la relation suivante :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} * [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{K_c})^2}] \quad (2)$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} * [1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{K_c})^2}] \quad (3)$$

L'application de la relation (1) et (2) Donne L= 94.9 Km. Et l=18.33Km.

I-4-4) Altitudes caractéristiques du bassin

1. Les altitudes maximale 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 du bassin versant Mekkara :

$$H_{\max} = 1112\text{m} \quad \text{et} \quad H_{\min} = 317\text{m}$$

$H_{\max}$: l'altitude maximale du bassin

$H_{\min}$: l'altitude minimale du bassin

2. L'altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit à partir d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{A_i * h_i}{A} \quad (4)$$

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

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) : récapitulation des paramètres morpho-métriques du bassin de l'oued makerra

caractéristique	Paramètres	symbole	unités	Valeurs
Morphologie du bassin versant	Surface	A	Km ²	1744.8
	Périmètre	P	Km	228
	Coefficient de Gravelius	K _G	-	1.53
	Longueur du rectangle équivalent	L	Km	94.9
	Largeur du rectangle équivalent	I	Km	18.31
Relief	Altitude maximale	H _{max}	m	1112
	Altitude minimale	H _{min}	m	317
	Altitude moyenne	H _i	m	586
	Dénivelle spécifique	D _s	m	164
	Pente globale	I _p	%	0.92

I-4-5) Indice 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 :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (5)$$

I_g : indice globale de roche

D: dénivelée (m)

L : longueur du rectangle équivalent en (km)

I-4-6) Indice de pente de roche [6]

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

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

L: longueur du thalweg principal en km

H_{max} : Altitude maximale en m

H_{min} : Altitude minimale en m

$I_{p\ moy} = 0.0092$ (m/Km) et $I_{p\ moy} = 0.92\%$

I-4-7) dénivelée spécifique [7]

La dénivelée spécifique apparait donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépende 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 :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A} \quad (7)$$

I_g : indice de pente global (m/Km)

A: aire du bassin (km²)

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

I-4-8) la pente moyenne

La pente moyenne d'un bassin versant est une caractéristique essentielle qui renseigne sur sa topographie et influence directement le ruissellement et le débit de pointe lors d'averses. Elle est définie comme le rapport entre la dénivelée totale du rectangle équivalent et sa longueur.

$$I_{\text{moy}} = \frac{D \cdot L}{A} \quad (8)$$

$$D = H_{\text{max}} - H_{\text{min}} \text{ (m)} \quad (9)$$

I_{moy} : pente moyenne du cours d'eau

D : la différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'exutoire

L : longueur du cours d'eau principal

A : superficie totale du bassin versant

I-5) Etude du réseau hydrographique [8]

I-5-1) densité de drainage

La densité de drainage est définie par la relation suivante :

$$Dd = \sum L / A \quad (10)$$

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-5-2) rapport de confluence

Il est défini par la relation suivante :

$$R_c = N_n / N(n+1) \quad (11)$$

R_c : rapport de confluence

N_n : nombre de cours d'eau d'ordre n

I-5-3) rapport de longueur

Le rapport de longueur est calculé par la relation suivante :

$$R_L = L(N+1) / L_n \quad (12)$$

R_L : rapport des longueurs

L_n : longueur de cours d'eau d'ordre n

I-5-4) fréquence des cours d'eau

Elle correspond au nombre 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 :

$$F_s = N/A \quad (13)$$

F_s : fréquence des cours d'eau

N : nombre de talweg

A : surface du bassin en km^2

I-5-5) coefficient de torrentialité

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

$$C_t = D_d * F_1 \quad (14)$$

C_t : coefficient de torrentialité

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-5-6) 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.

$$T_c = 4(A + 1.5L)^{\frac{1}{2}} / 0.8(H_{moy} - H_{min})^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

T_c : temps de concentration (heures)

A : superficie du bassin (km^2)

L : longueur du talweg principal (km)

H_{moy} : altitude moyenne (m)

H_{min} : altitude minimale (m)

Chapitre II : Etude pluviométrique

II) Etude pluviométrique [9]

II-1) Introduction

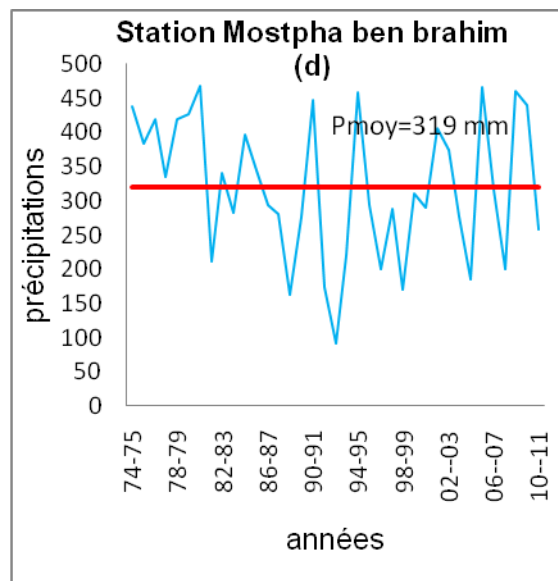
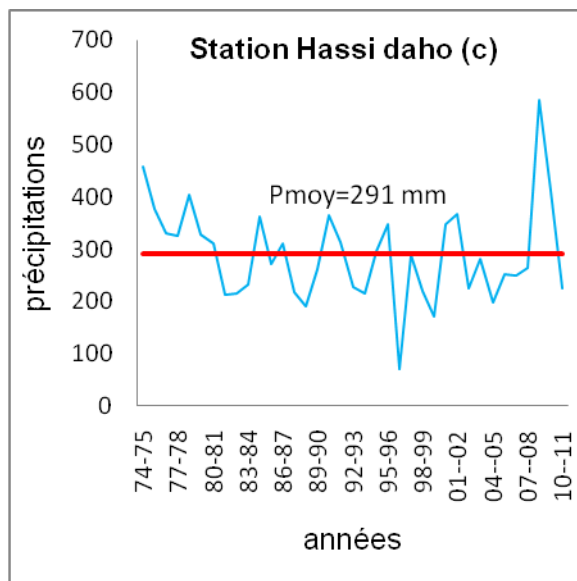
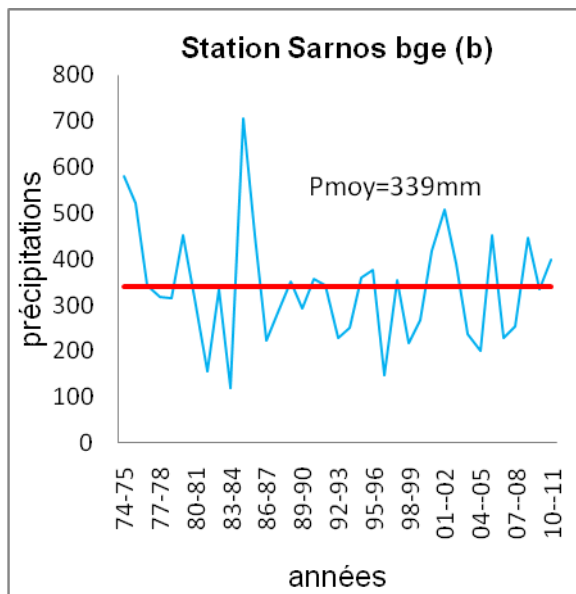
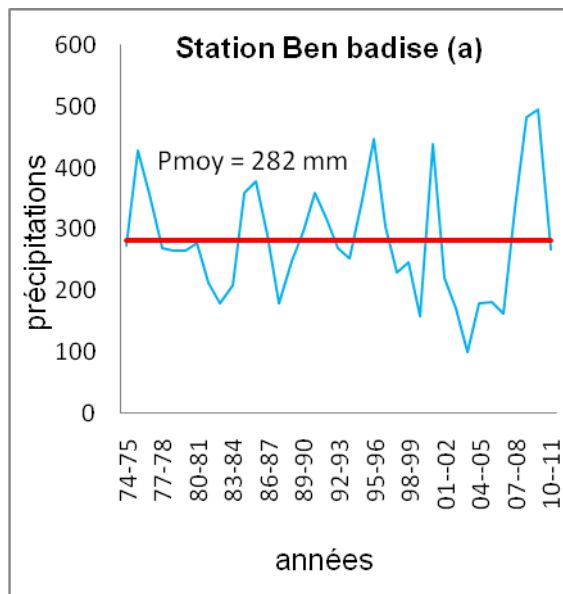
Les conditions climatiques constituent l'un des facteurs essentiels contrôlant le comportement hydrologique des bassins versants. Elles influencent directement le ruissellement de surface ainsi que le volume des eaux infiltrées dans le sol, comme l'a indiqué **Roche (1963)**. Les données pluviométriques représentent ainsi l'un des paramètres fondamentaux dans l'étude du climat d'une région, en raison du rôle déterminant des précipitations dans la définition du régime d'écoulement. Les stations pluviométriques retenues dans le cadre de ce travail sont aux nombres de douze (12). Les caractéristiques géographiques sont présentées dans le tableau (II-1)

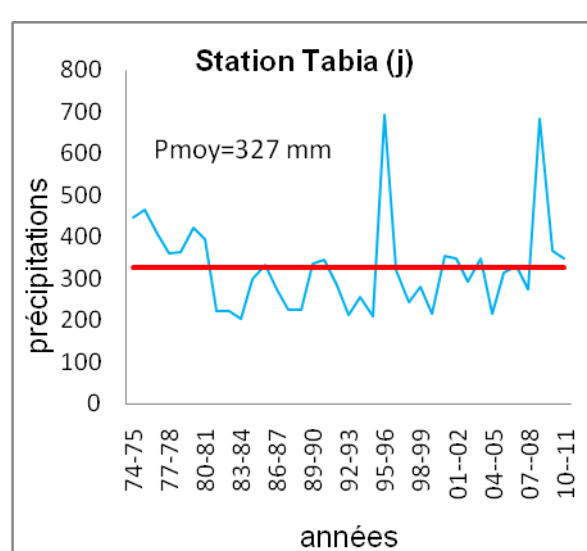
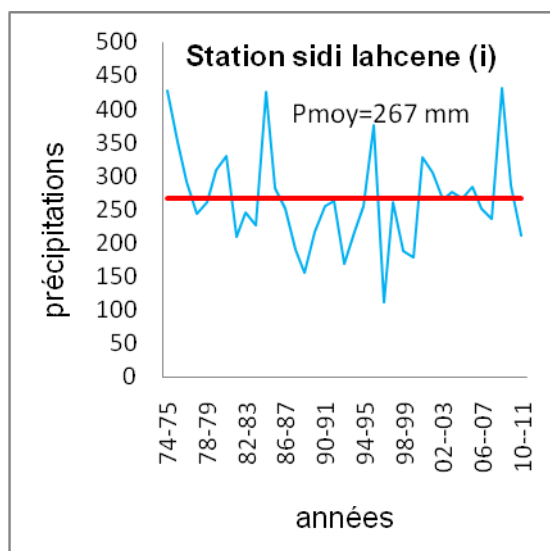
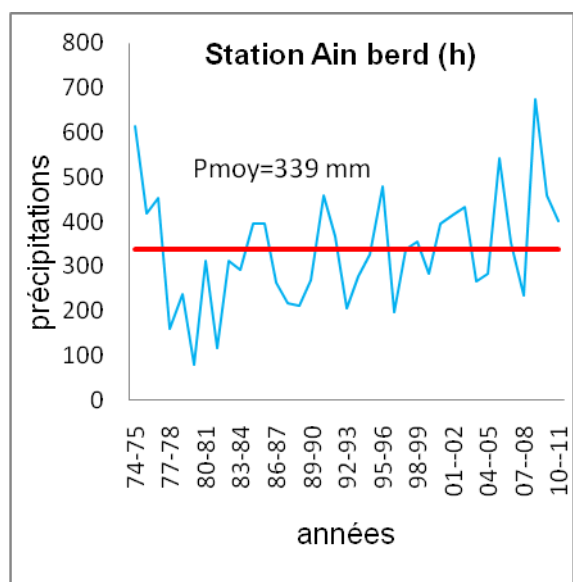
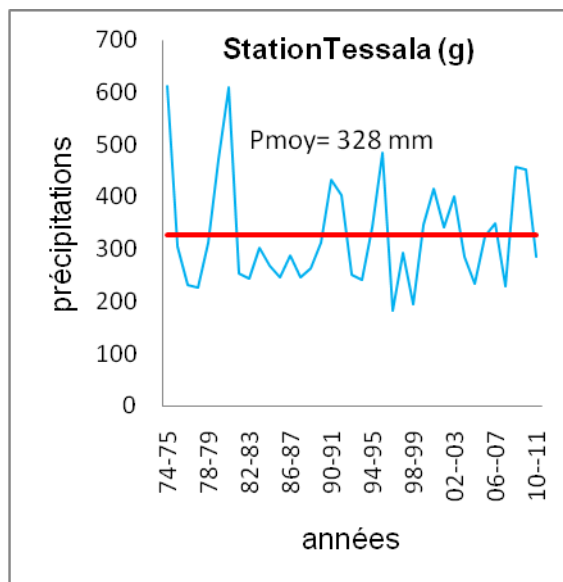
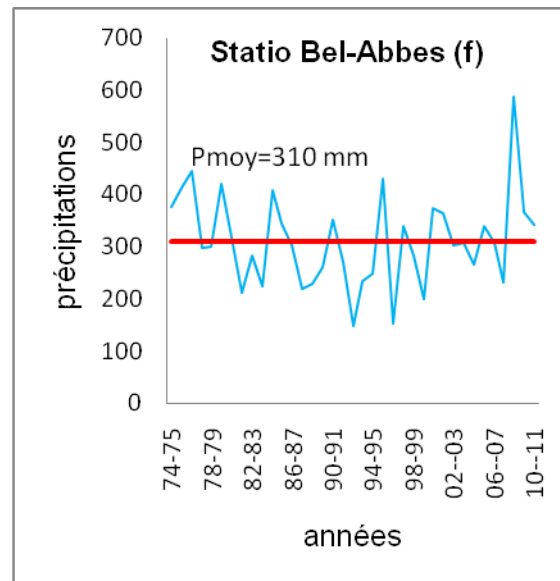
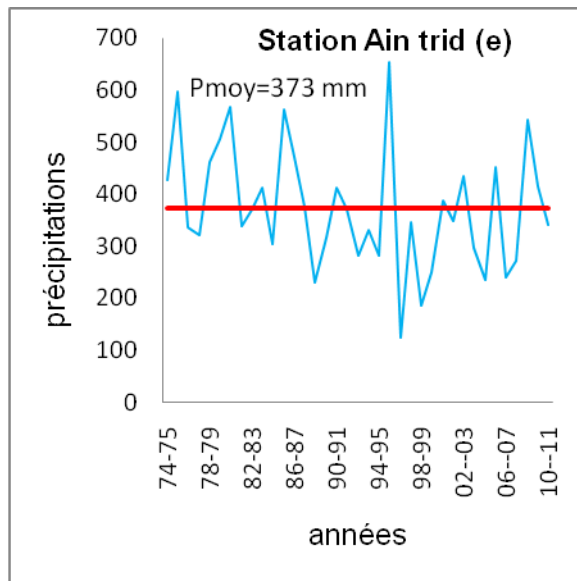
Tableau (II-1) : Caractéristiques des stations pluviométriques retenues

N	Station	Code ANRH	X (°)	Y (°)	Z (m)
1	Ben badis	110307	-0,90	34,95	732
2	Sarnos bge	110304	-0,57	35,30	425
3	Hassi daho	110309	-0,54	35,09	642
4	Mostpha ben brahim	110312	-0,36	35,19	596
5	Ain trid	110314	-0,67	35,28	530
6	Bel-Abbes	110305	-0,65	35,18	470
7	Tessala	110313	-0,76	35,24	580
8	Ain berd	110315	-0,51	35,36	492
9	Sidi lahcene	110318	-0,45	35,15	501
10	Tabia	110322	-0,73	35,01	617
11	Hassi zahana	110317	-0,89	35,02	630
12	Lamtar	110310	-0,79	35,07	552

II-2) Etude des précipitations

II-2-1) Variation de précipitations annuelles





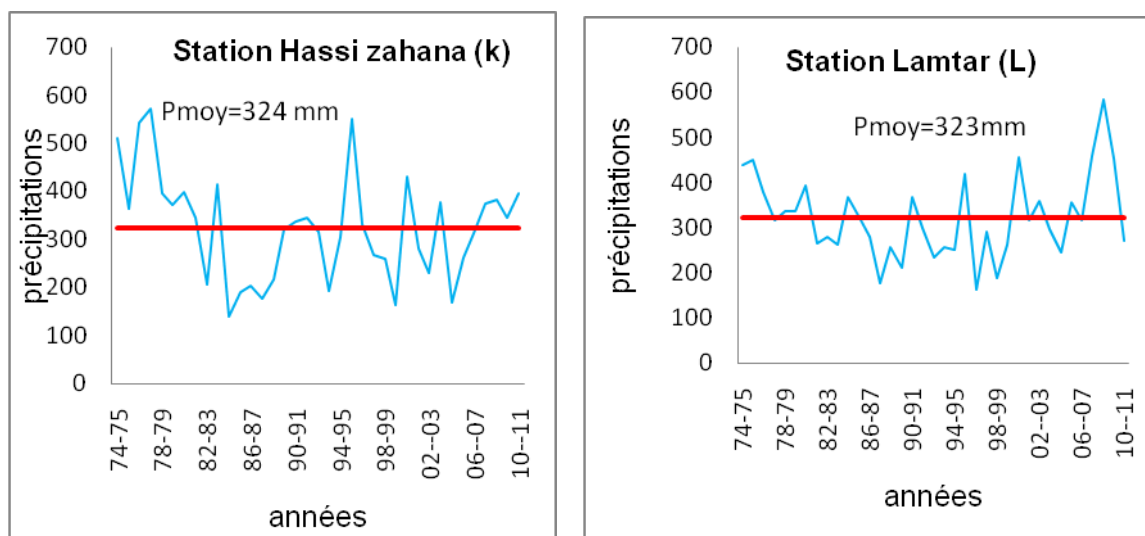


Figure (II-1) : variation des précipitations annuelles des différentes stations (1974/2011)

L'analyse de la figure (II-a), montre que la moyenne annuelle des précipitations est d'environ 282mm. La variation annuelle des précipitations fluctue de façon visible autour de cette moyenne. Des périodes de déficit pluviométrique marquées ont été enregistrées entre 1978-1983 1987 à 1989, ainsi qu'entre 2002 et 2006, traduisant des conditions climatiques relativement sèches. En revanche, certaines années ont connu un excédent pluviométrique important, notamment durant les périodes 1975-1976, 1994-1995 et 2000-2001, ainsi qu'entre 2008 et 2010, où les précipitations ont atteint des niveaux élevés avoisinant les 500 mm. Comme nous remarquons dans la figure (II-b) montre que la moyenne interannuelle est de 339 mm 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 mm enregistré durant l'année (1984/1985). Le graphe de la région de Hassi daho montre une fluctuation nette et irrégulière des précipitations annuelles sur la période (1974/2011). Tandis que la courbe oscille fortement entre des années de sécheresse sévère (moins de 100mm en 1996) et des années très pluvieuses dépassant les 500 mm en 2008 cela reflète un climat instable caractérisé par une grande variabilité et une difficulté à prévoir les saisons de pluie. Les graphiques relatifs aux stations de Mostpha Ben Brahim, Aïn Trid et Sidi Bel Abbès mettent en évidence une variabilité interannuelle marquée des précipitations durant la période 1974–2011, traduisant l'irrégularité du régime pluviométrique dans la région.

Au niveau de la station de Mostpha Ben Brahim, la moyenne annuelle est de l'ordre de 319 mm. La série montre une forte fluctuation entre années humides et années sèches, avec des maxima

dépassant 450 mm et des minima inférieurs à 150 mm, notamment au début des années 1990, ce qui témoigne d'une variabilité importante.

La station d'Aïn Trid présente la moyenne annuelle la plus élevée, estimée à 373 mm. Elle se caractérise par une irrégularité pluviométrique accentuée, avec des valeurs variant entre moins de 200 mm et plus de 600 mm. Des épisodes de sécheresse marqués apparaissent, particulièrement à la fin des années 1990, alternant avec des années exceptionnellement humides.

Concernant la station de Sidi Bel Abbès, la moyenne annuelle est d'environ 310 mm. Là encore, une alternance irrégulière entre années humides et sèches est observée. Certaines années enregistrent des précipitations supérieures à 500 mm, notamment vers la fin de la période étudiée, tandis que d'autres présentent des déficits importants avec des valeurs inférieures à 200 mm.

Les graphiques des stations de Tessala, Aïn Berd et Sidi Lahcène mettent en évidence une variabilité interannuelle importante des précipitations durant la période 1974–2011, confirmant le caractère irrégulier du régime pluviométrique dans la région.

Au niveau de la station de Tessala, la moyenne annuelle est d'environ 328 mm. La série montre une alternance entre années humides et sèches, avec des précipitations pouvant dépasser 600 mm durant certaines années, notamment au début de la période, tandis que d'autres années enregistrent des déficits marqués inférieurs à 250 mm. Cette fluctuation traduit une instabilité notable des apports pluviométriques.

Concernant la station de Aïn Berd, la moyenne annuelle est estimée à 339 mm. Cette station se caractérise par une forte variabilité, avec des valeurs extrêmes allant de moins de 100 mm à plus de 650 mm. Les périodes sèches, particulièrement au début des années 1980, alternent avec des années très humides, notamment vers la fin de la période étudiée, indiquant une irrégularité accentuée. Pour la station de Sidi Lahcène, la moyenne annuelle est de l'ordre de 267 mm, ce qui en fait la station la moins arrosée parmi celles étudiées. Elle présente également une variabilité interannuelle marquée, avec des épisodes de sécheresse prononcés (moins de 150 mm) et quelques années relativement humides dépassant 400 mm.

Les graphiques relatifs aux stations de Tabia, Hassi Zahana et Lamtar mettent en évidence une variabilité interannuelle importante des précipitations sur la période 1974–2011, confirmant l'irrégularité du régime pluviométrique dans la région.

Au niveau de la station de Tabia, la moyenne annuelle est d'environ 327 mm. La série pluviométrique présente des fluctuations marquées, avec des années exceptionnellement humides

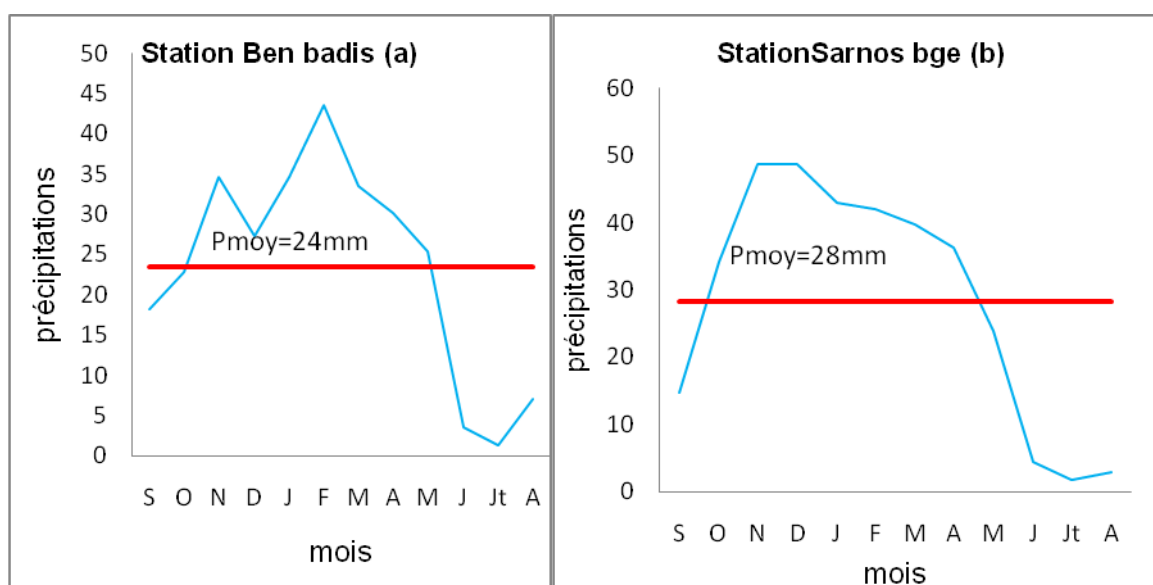
dépassant 650 mm, notamment au milieu des années 1990 et vers la fin de la période, contrastant avec des années sèches où les précipitations descendent en dessous de 250 mm. Cette alternance traduit une forte irrégularité des apports.

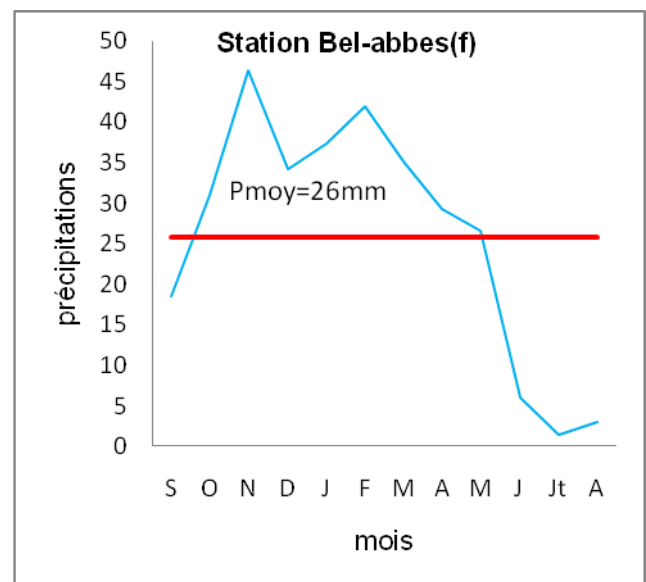
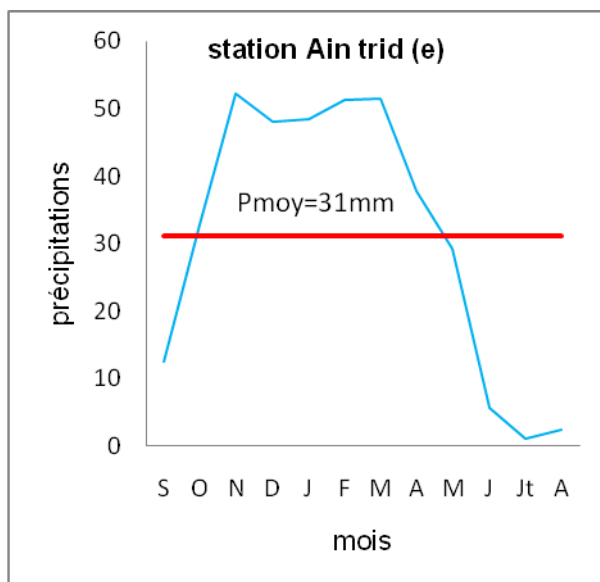
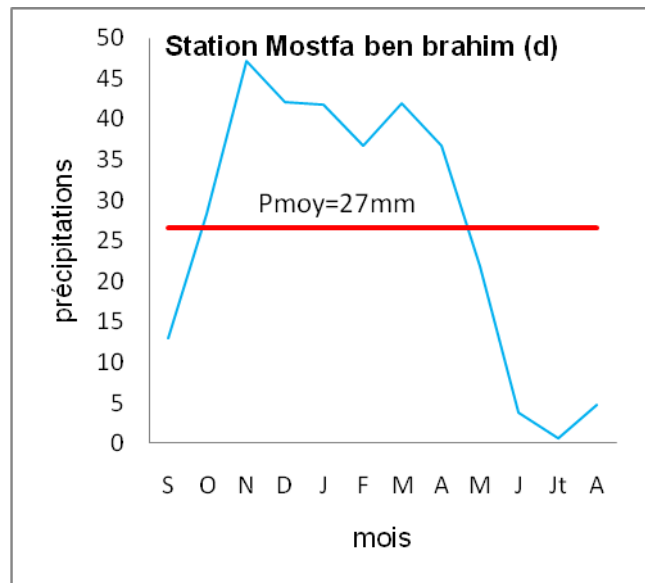
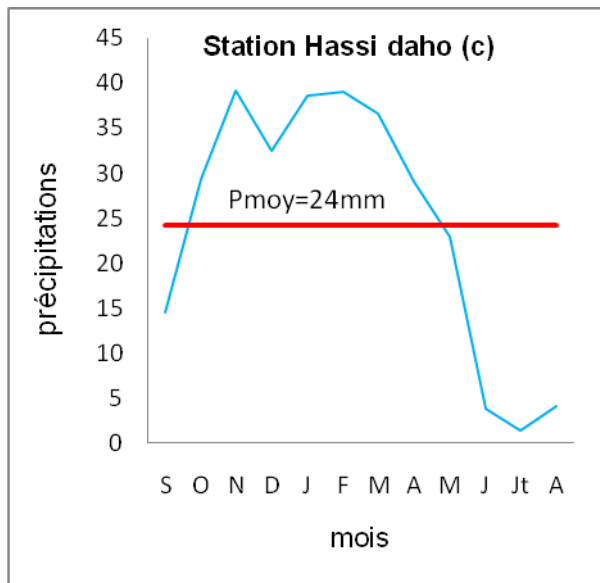
Concernant la station de Hassi Zahana , la moyenne annuelle est estimée à 324 mm. Les données montrent également une variabilité notable, avec un pic supérieur à 500 mm et des valeurs inférieurs à 200 mm. Les périodes sèches et humides s'alternent de manière irrégulière, ce qui met en évidence un régime pluviométrique instable.

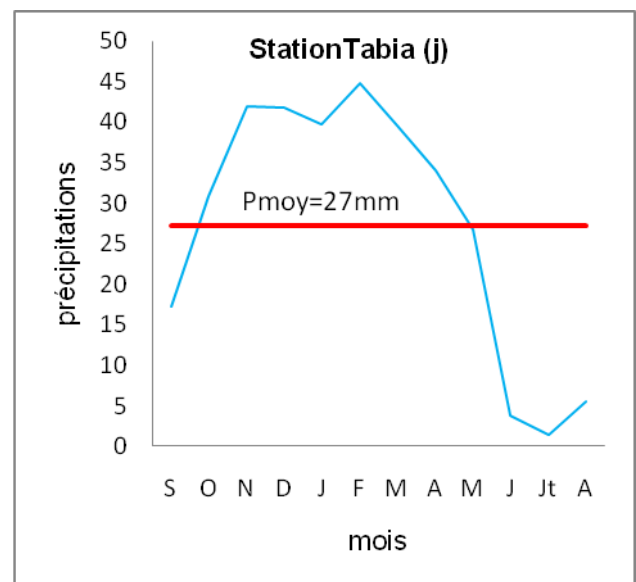
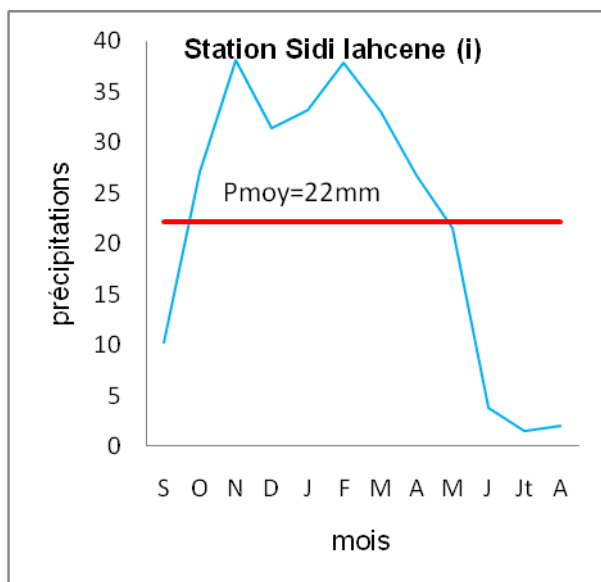
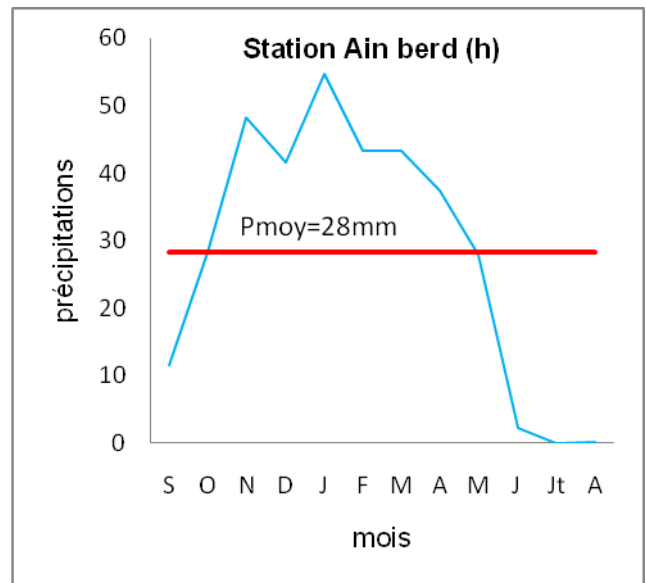
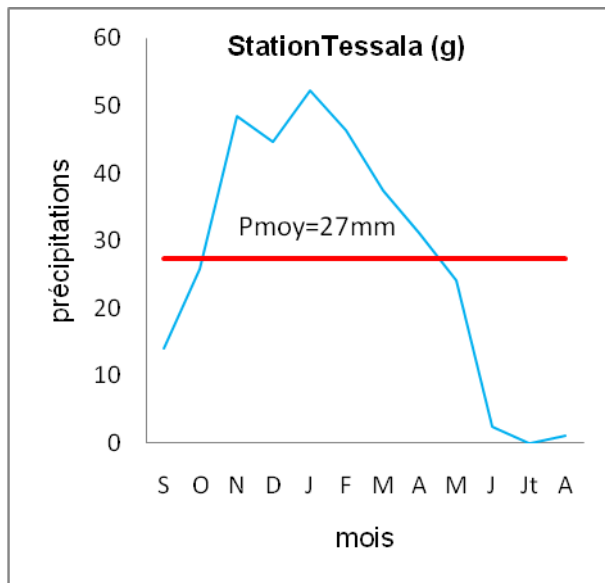
Pour la station de Lamtar , la moyenne annuelle est de l'ordre de 323 mm. La série présente des fluctuations comparables aux autres stations, avec des valeurs oscillant entre environ 180 mm et près de 600 mm. Certaines années récentes se distinguent par des précipitations relativement élevées, traduisant une variabilité persistante.

II-2-2) Variation de précipitations mensuelles

Les précipitations mensuelles enregistrées sur les différentes stations de la Mekerra Aval sont présentées dans la (figure II-2)







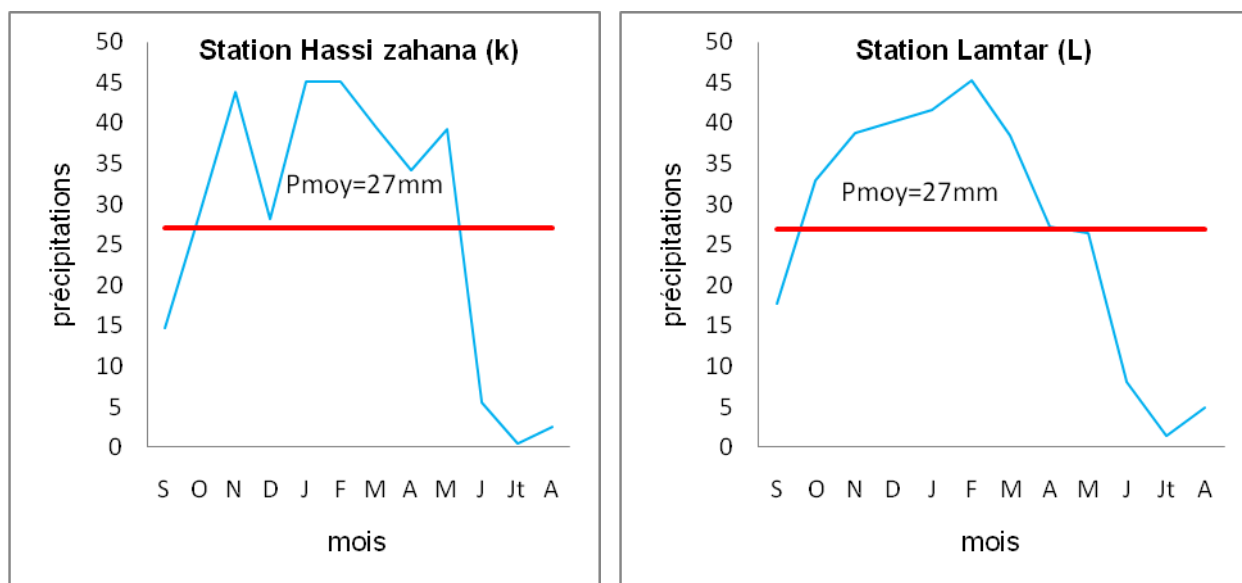


Figure (II-2) : variations de précipitations mensuelles des différentes stations
(1974/2011)

Les graphiques représentant la variation mensuelle des précipitations au niveau des différentes stations étudiées mettent en évidence un régime pluviométrique de type méditerranéen, caractérisé par une forte concentration des précipitations durant la période allant de novembre à mars, et une diminution très marquée durant la période allant de juin à août.

Au niveau de la station de Ben Badis, la moyenne mensuelle est d'environ 24 mm. Les précipitations augmentent progressivement à partir du mois d'octobre pour atteindre leur maximum en février, avant de diminuer progressivement à partir du mois de mars. La période allant de juin à août se caractérise par une quasi-absence de précipitations, avec des valeurs très faibles.

Concernant la station de Sarnos, la moyenne mensuelle est estimée à 28 mm. Le régime pluviométrique suit la même tendance, avec des valeurs maximales entre novembre et janvier dépassant 45 mm, puis une diminution progressive à partir du mois de mars. La période allant de juillet à août se distingue par une sécheresse marquée, avec des précipitations presque nulles.

Pour la station de Hassi Daho, la moyenne mensuelle est d'environ 24 mm. La distribution mensuelle montre également un maximum durant la période allant de novembre à mars, suivi d'une diminution progressive à partir du mois d'avril. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées entre juin et août.

Les stations de Mostfa Ben Brahim, Aïn Trid et Sidi Bel Abbès confirment le même schéma général, avec une concentration des précipitations entre novembre et mars et une baisse importante entre juin et août.

Au niveau de la station de Mostfa Ben Brahim, la moyenne mensuelle est d'environ 27 mm. Les précipitations augmentent à partir du mois d'octobre pour atteindre leur maximum entre novembre et mars, avec des valeurs dépassant 40 mm, avant de diminuer progressivement à partir du mois d'avril jusqu'à atteindre des valeurs très faibles en juin, juillet et août.

Concernant la station d'Aïn Trid, la moyenne mensuelle est estimée à 31 mm, ce qui en fait la station la plus arrosée parmi celles étudiées. Les précipitations atteignent leur maximum entre novembre et mars avec des valeurs supérieures à 50 mm, puis diminuent progressivement à partir du mois d'avril pour atteindre une sécheresse marquée en juillet et août.

Pour la station de Sidi Bel Abbès, la moyenne mensuelle est d'environ 26 mm. Le régime suit la même tendance générale, avec des valeurs élevées entre novembre et mars et une diminution progressive vers les mois suivants, avec des précipitations très faibles voire nulles durant juin, juillet et août.

Les stations de Tessala, Aïn Berd et Sidi Lahcène présentent également la même distribution, avec une concentration des précipitations entre octobre et mars et une baisse importante entre juin et août.

Au niveau de la station de Tessala, la moyenne mensuelle est d'environ 27 mm, avec une augmentation progressive à partir du mois d'octobre jusqu'au maximum atteint entre décembre et février (supérieur à 50 mm), puis une diminution progressive à partir du mois de mars jusqu'à des valeurs très faibles en juin, juillet et août.

Concernant la station d'Aïn Berd, la moyenne mensuelle est d'environ 28 mm, avec un maximum pluviométrique entre décembre et février dépassant 50 mm, suivi d'une diminution progressive à partir du mois de mars et des valeurs minimales en juillet et août.

La station de Sidi Lahcène est la moins arrosée, avec une moyenne mensuelle d'environ 22 mm. Les précipitations sont concentrées entre novembre et mars, tandis que les valeurs restent très faibles durant juin, juillet et août.

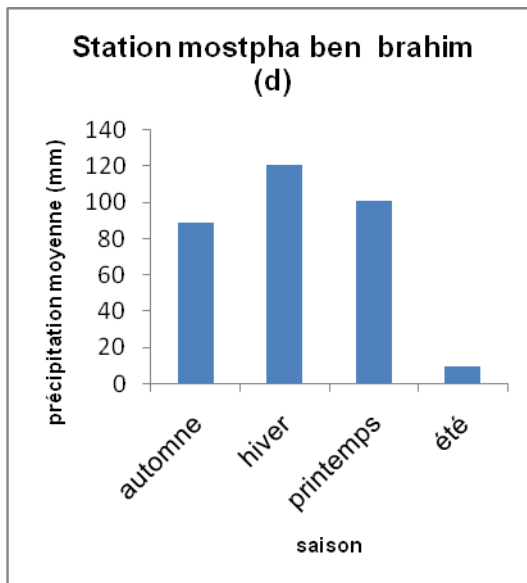
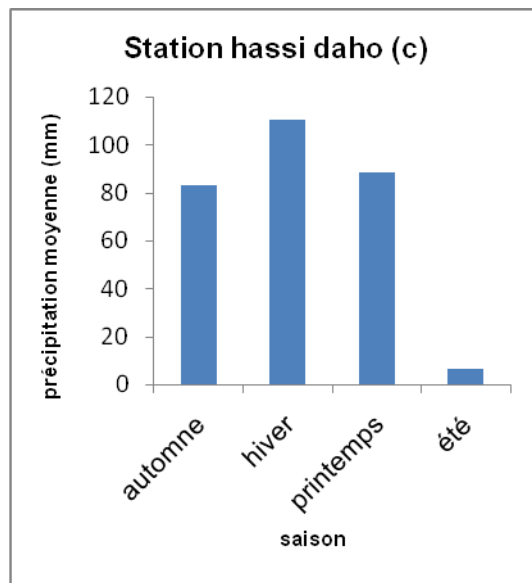
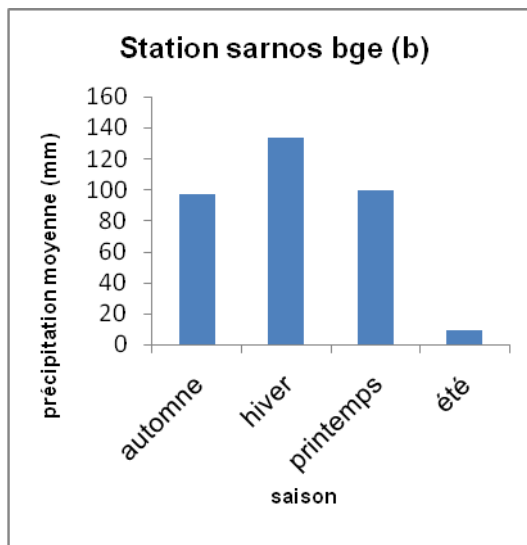
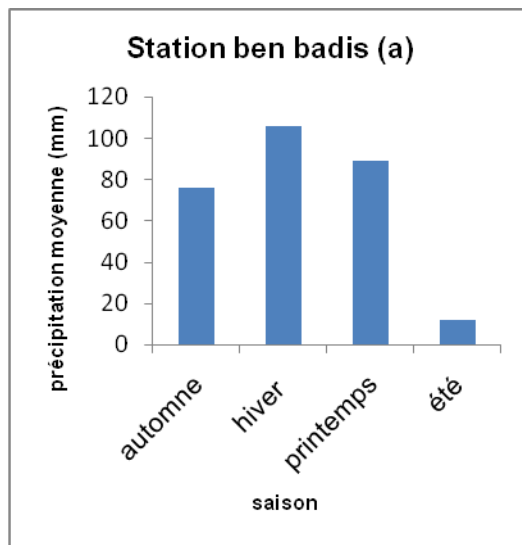
Enfin, les stations de Tabia, Hassi Zahana et Lamtar présentent les mêmes caractéristiques générales, avec une concentration des précipitations entre octobre et mars et une diminution nette entre juin et août.

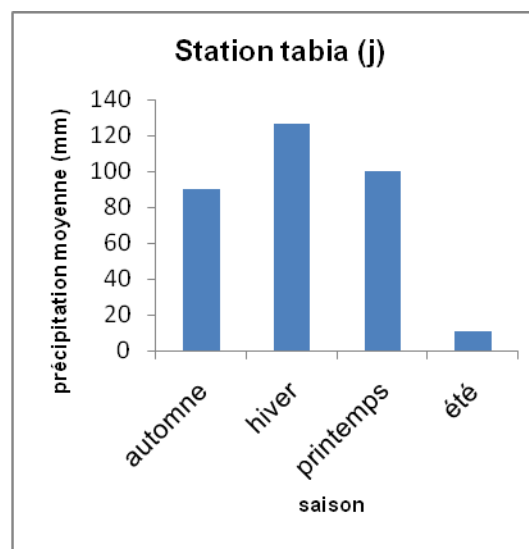
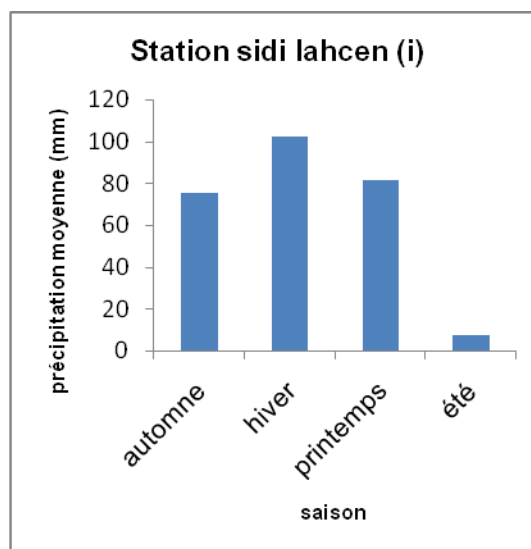
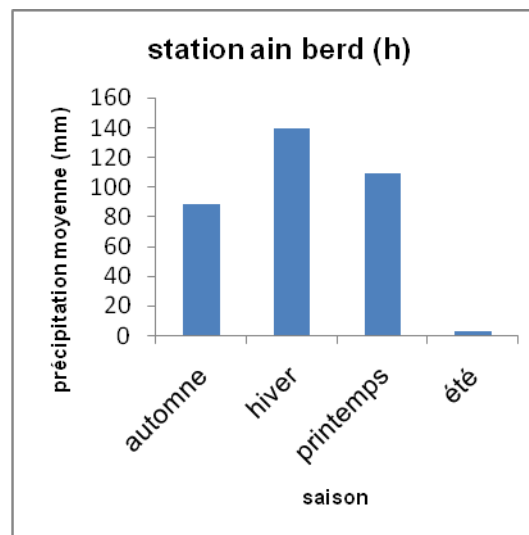
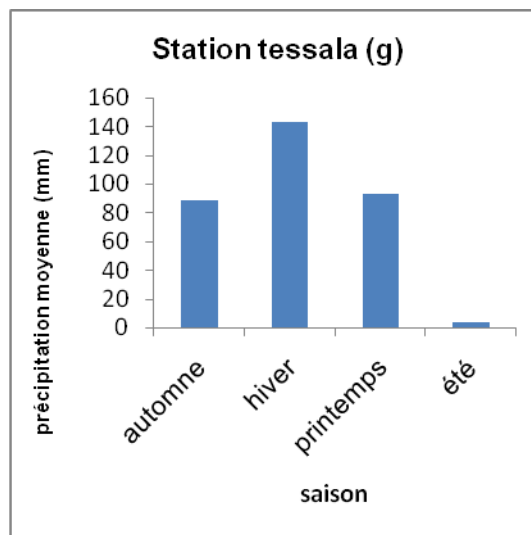
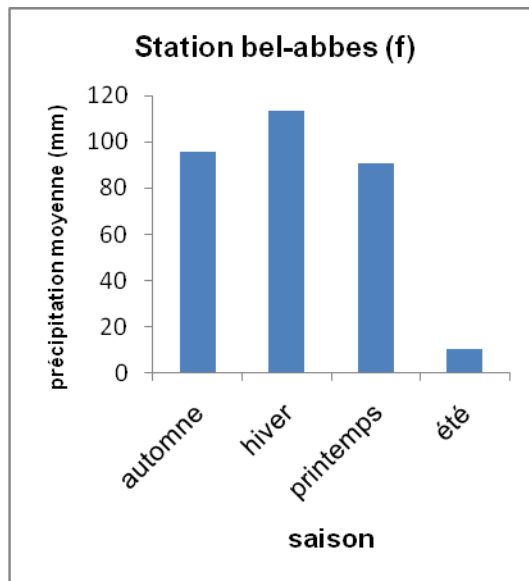
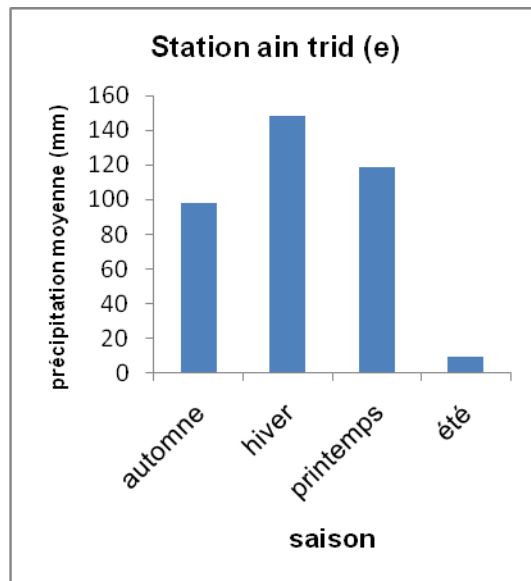
Au niveau de la station de Tabia, la moyenne mensuelle est d'environ 27 mm, avec un maximum atteint en janvier et février dépassant 40 mm, suivi d'une diminution progressive jusqu'à des valeurs très faibles en juin, juillet et août.

Concernant la station de Hassi Zahana, la moyenne mensuelle est d'environ 27 mm, avec des pics pluviométriques en janvier et février proches de 45 mm, avant une baisse importante en été.

Pour la station de Lamtar, la moyenne mensuelle est d'environ 27 mm, avec des valeurs maximales entre décembre et février, puis une diminution progressive vers les mois secs (juin à août).

Sur l'ensemble des stations, met en évidence un régime pluviométrique méditerranéen homogène, caractérisé par une forte concentration des précipitations durant les mois froids et une sécheresse estivale marquée. Cette répartition influence directement la disponibilité des ressources en eau et les activités agricoles dans la région.

II-2-3) Variation de précipitation saisonnière



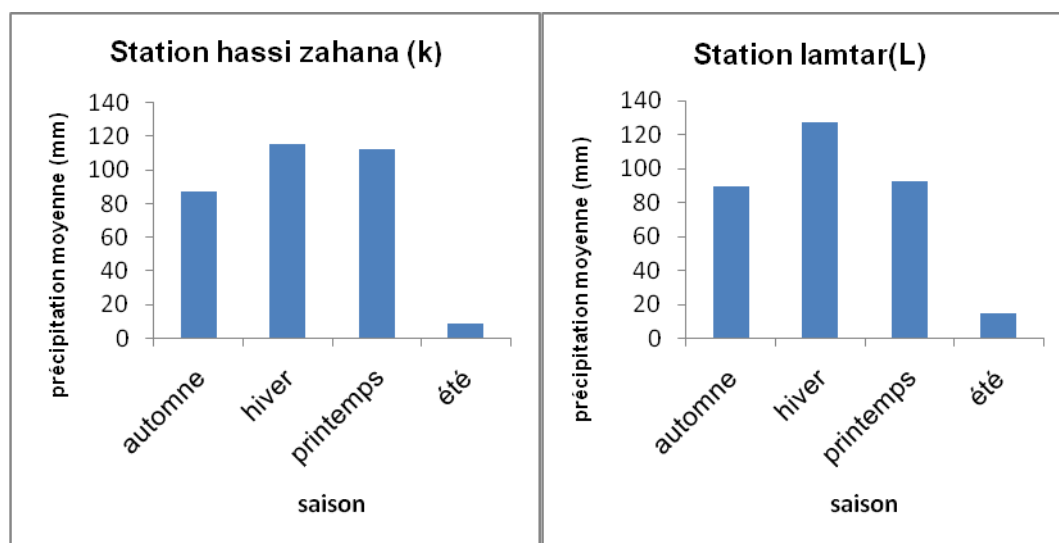


Figure (II-3) : variations de précipitation saisonnière des différentes stations (1974/2011)

Les histogrammes représentant la répartition saisonnière des précipitations au niveau des stations de Ben Badis, Sarnos et Hassi Daho mettent en évidence une distribution très contrastée des apports pluviométriques au cours de l'année, caractéristique d'un climat méditerranéen.

Au niveau de la station de Ben Badis, les précipitations sont maximales en hiver avec une moyenne d'environ 105 mm, suivies du printemps avec 90 mm de précipitations vient ensuite l'automne avec 75 mm, et enfin l'été enregistre une valeur très faible de l'ordre de 10 mm, traduisant ainsi une saison sèche bien marquée.

Concernant la station de Sarnos, les précipitations hivernales sont également dominantes avec une moyenne d'environ 135 mm, ce qui représente le maximum saisonnier le plus élevé parmi ces stations. Le printemps 100 mm et l'automne 95 mm présentent des valeurs relativement proches, tandis que l'été reste très sec 10 mm.

Pour la station de Hassi Daho, la distribution saisonnière suit la même tendance, avec un maximum en hiver 110 mm, suivi du printemps 90 mm et de l'automne 80 mm. L'été est marqué par une quasi-absence de précipitations 5 mm, confirmant la forte sécheresse estivale.

Les histogrammes représentant la répartition saisonnière des précipitations au niveau des stations de Mostpha Ben Brahim, Aïn Trid et Sidi Bel Abbès confirment une distribution typiquement

méditerranéenne des apports pluviométriques, caractérisée par une forte concentration en hiver et une sécheresse estivale marquée.

Au niveau de la station de Mostpha Ben Brahim, les précipitations maximales sont enregistrées en hiver avec une moyenne d'environ 120 mm, suivies du printemps 100 mm et de l'automne 90 mm. L'été reste très peu arrosé avec une moyenne proche de 10 mm, traduisant une saison sèche bien installée.

Concernant la station d'Aïn Trid, les précipitations hivernales dominent largement avec une moyenne d'environ 150 mm, constituant la valeur la plus élevée parmi ces stations. Le printemps 120 mm et l'automne 100 mm présentent également des apports importants, tandis que l'été enregistre des valeurs très faibles 10 mm.

Pour la station de Sidi Bel Abbès, la répartition saisonnière suit la même tendance, avec un maximum en hiver 115 mm, suivi de l'automne 95 mm et du printemps 90 mm. L'été demeure très sec, avec des précipitations moyennes de l'ordre de 10 mm.

Ces résultats mettent en évidence une forte concentration des précipitations durant la saison hivernale, une contribution significative des saisons intermédiaires (automne et printemps), et une sécheresse estivale très marquée. Cette organisation saisonnière confirme l'influence du climat méditerranéen et ses implications sur la gestion des ressources en eau dans la région.

Les histogrammes représentant la répartition saisonnière des précipitations au niveau des stations de Tessala, Aïn Berd et Sidi Lahcen mettent en évidence une distribution typiquement méditerranéenne, caractérisée par une forte concentration des pluies en hiver et une sécheresse estivale très marquée.

Au niveau de la station de Tessala, les précipitations atteignent leur maximum en hiver avec une moyenne d'environ 140 mm, suivies du printemps 95 mm et de l'automne 90 mm. L'été se distingue par une quasi-absence de précipitations, avec une valeur très faible 5 mm, traduisant une saison sèche prononcée.

Concernant la station d'Aïn Berd, la répartition saisonnière est similaire, avec un maximum hivernal d'environ 140 mm, suivi du printemps 110 mm et de l'automne 90 mm. L'été reste extrêmement sec, avec des précipitations presque nulles 5 mm.

Pour la station de Sidi Lahcen, les précipitations hivernales sont également dominantes 100 mm, suivies du printemps 80 mm et de l'automne 75 mm. L'été enregistre des valeurs très faibles 5 à 10 mm, confirmant une sécheresse estivale bien marquée.

Ces stations confirment une forte concentration des précipitations durant la saison hivernale, une contribution notable du printemps et de l'automne, et une sécheresse estivale persistante. Cette organisation saisonnière traduit clairement l'influence du climat méditerranéen et ses effets sur la disponibilité des ressources hydriques dans la région.

Les histogrammes représentant la répartition saisonnière des précipitations au niveau des stations de Tabia, Hassi Zahana et Lamtar mettent en évidence une distribution typiquement méditerranéenne, caractérisée par une forte concentration des pluies durant la saison hivernale et une sécheresse estivale marquée.

Au niveau de la station de Tabia, les précipitations maximales sont enregistrées en hiver avec une moyenne d'environ 125 mm, suivies du printemps 100 mm et de l'automne 90 mm. L'été reste très sec, avec une valeur faible d'environ 10 mm, traduisant une saison sèche bien marquée.

Concernant la station de Hassi Zahana, la distribution saisonnière est légèrement différente, avec des valeurs relativement proches entre l'hiver 115 mm et le printemps 110 mm, ce qui indique une contribution importante de la saison printanière. L'automne enregistre environ 85 mm, tandis que l'été reste très peu arrosé 10 mm.

Pour la station de Lamtar, les précipitations atteignent leur maximum en hiver 125 mm, suivies du printemps 90 mm et de l'automne 90 mm. L'été enregistre des précipitations légèrement plus élevées que dans les autres stations 15 mm, bien que cette saison demeure globalement sèche.

Ces stations confirment une organisation saisonnière des précipitations dominée par l'hiver, avec une contribution non négligeable du printemps et de l'automne, et une sécheresse estivale persistante. Cette répartition reflète clairement l'influence du climat méditerranéen et ses implications sur la disponibilité des ressources en eau dans la région.

Chapitre III : Etude hydrologique

III-1) Etude hydrologique [10]

Le comportement hydrologique d'un cours d'eau dépend en grande partie de divers facteurs physico-géographiques, tels que le régime des précipitations, les caractéristiques du bassin versant, la situation géographique ainsi que le taux d'infiltration.

Ainsi, une estimation précise des ressources en eau nécessite la prise en compte des débits moyens annuels et mensuels, ainsi que des variations saisonnières des débits et de l'ampleur des crues

III-2) Etude des débits mensuels

Tableau (III-1) : 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	Annuel les
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	0,578

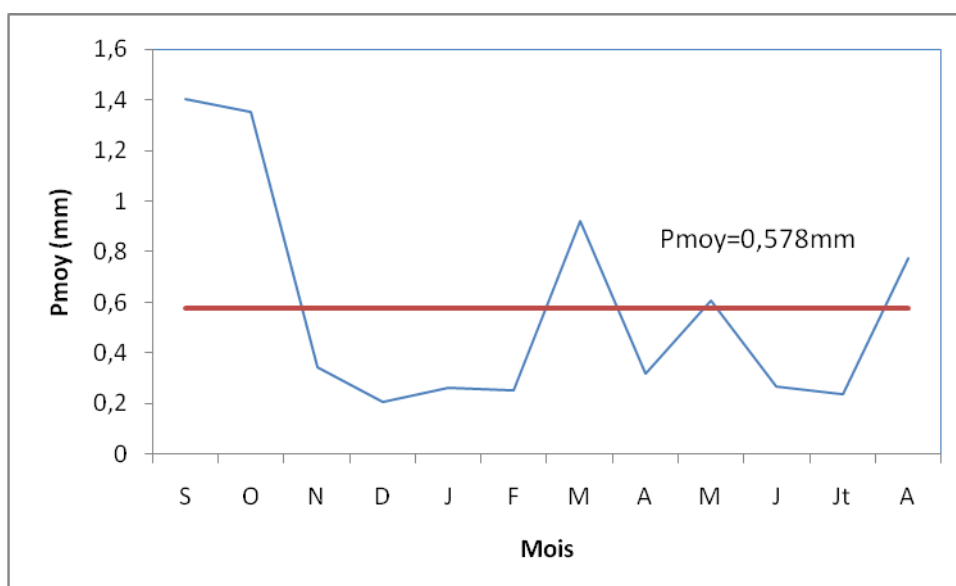


Figure (III-1) : variations des débits mensuelles (m³/s).

La figure (III-1) montre que le débit mensuel maximal a été enregistré en septembre, avec une valeur de 1,403 m³/s. En revanche, le débit minimal a été observé en décembre (0,205 m³/s) et en juillet (0,237 m³/s), en raison de la faiblesse des précipitations durant ces deux mois.

III-3) Analyse des débits annuels

Le tableau (III-2), relatif à la variation annuelle des débits, met en évidence des fluctuations marquées des valeurs de débit d'une année à l'autre. Sur l'ensemble de la période d'étude, neuf années ont enregistré des débits inférieurs à la moyenne interannuelle, estimée à 0,578 m³/s. L'année 1998/1999 est considérée comme la plus sèche, avec un débit observé de 0,13 m³/s.

Tableau (III-2) : la variation annuelle des débits

Années	Débit (m ³ /s)
1988-1989	0,371
1989-1990	0,947
1990-1991	1,150
1991-1992	0,331
1992-1993	0,235
1993-1994	0,186
1994-1995	0,550
1995-1996	1,040
1996-1997	0,332
1997-1998	0,820
1998-1999	0,130
1999-2000	0,268
2000-2001	0,555
2001-2002	1,178
Q moyen annuel = 0,578 m ³ /s	

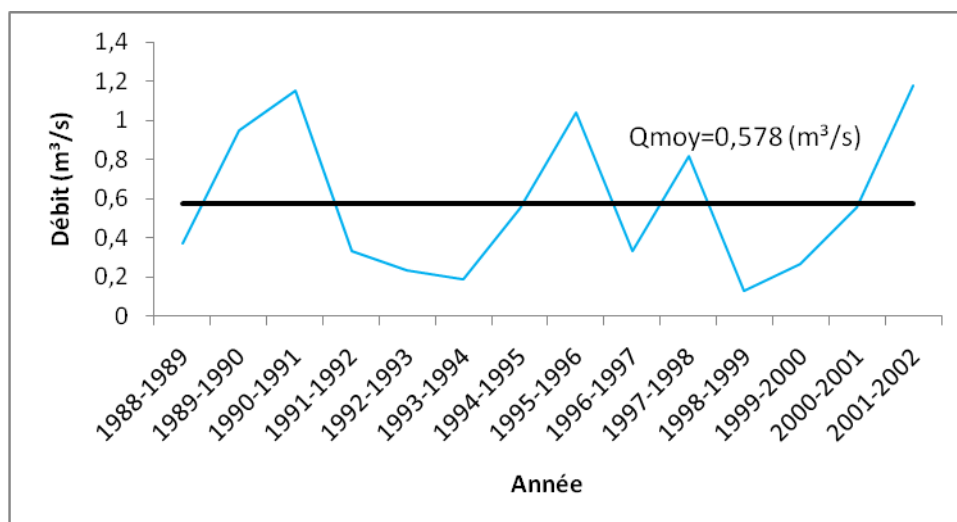


Figure (III-2) : variation des débits moyens annuels (m³/s)

La figure (III-2) montre que durant la période entre 1991/1995 à 1999/2001, les débits étaient inférieurs à la moyenne générale. Toutefois, au cours de cette période de sept ans, des valeurs élevées ont également été enregistrées, dépassant la moyenne interannuelle et atteignant un maximum de 1,178 m³/s.

III-4) Hydraullicité

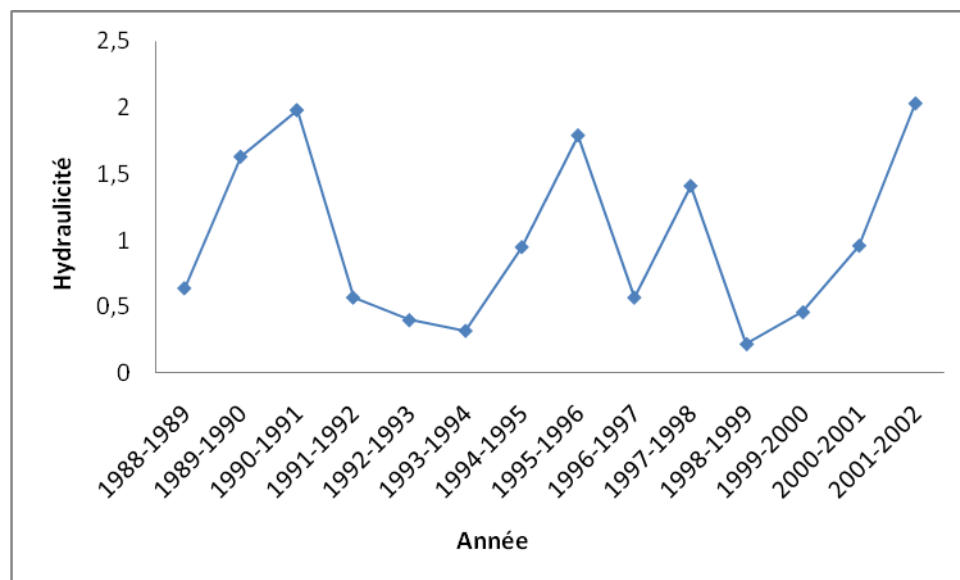
Les mesures hydrométriques mettent en évidence des variations marquées des débits d'une année à l'autre, traduisant l'instabilité du régime hydrologique au cours de la période étudiée. L'analyse des données montre que les années à faible hydraullicité ($Q_i / Q_{Moy} < 1$) sont les plus dominantes, avec plusieurs années caractérisées par un déficit hydrique et des débits inférieurs à la moyenne interannuelle, ce qui confirme la prédominance d'un caractère sec durant la majorité de la période d'étude.

En revanche, certaines années ont enregistré une forte hydraullicité ($Q_i / Q_{Moy} > 1$). L'année 2001/2002 se distingue particulièrement, avec un coefficient d'hydraullicité $K=2,03$, traduisant une abondance hydrique exceptionnelle. Les crues observées durant cette année ont eu un impact notable sur la situation hydrologique de l'Oued Mekerra, notamment par l'élévation des niveaux d'eau et l'intensification du ruissellement.

Dans l'ensemble, cette analyse met en évidence l'alternance d'années sèches et humides, confirmant le caractère irrégulier du régime hydrologique et sa forte dépendance aux variations annuelles des précipitations.

Tableau (III-3) : Variation de l'hydraulicité

Année	Débit (m ³ /s)	Hydraulicité
1988-1989	0,371	0,64
1989-1990	0,947	1,63
1990-1991	1,150	1,98
1991-1992	0,331	0,57
1992-1993	0,235	0,40
1993-1994	0,186	0,32
1994-1995	0,550	0,95
1995-1996	1,040	1,79
1996-1997	0,332	0,57
1997-1998	0,820	1,41
1998-1999	0,130	0,22
1999-2000	0,268	0,46
2000-2001	0,555	0,96
2001-2002	1,178	2,03

**Figure (III-3) :** Variation de l'hydraulicité durant la période d'étude (1988-2001).

III-5) Coefficient mensuel de débits

On définit le coefficient mensuel de débit, comme le rapport du débit moyen mensuel au module interannuel de la période considérée (calculé sur un certain nombre d'années). Le module interannuel se calcul (moyenne arithmétique) sur une série d'observations de plusieurs années. Le coefficient mensuel de débits (CMD), permet la comparaison des variations saisonnières du régime d'un 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.

Le tableau (III-4) montre que les coefficients de débit les plus élevés sont enregistrés en septembre et octobre, ce qui indique une période de hautes eaux. En revanche, les valeurs les plus faibles sont observées en décembre et en août, traduisant une période de basses eaux.

D'une manière générale, les débits élevés se concentrent en automne, tandis que l'écoulement reste faible durant le reste de l'année.

Tableau (III-4) : 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
CMD	2,43	2,34	0,60	0,35	1	0,43	1,59	0,55	1,05	0,46	0,41	1,34

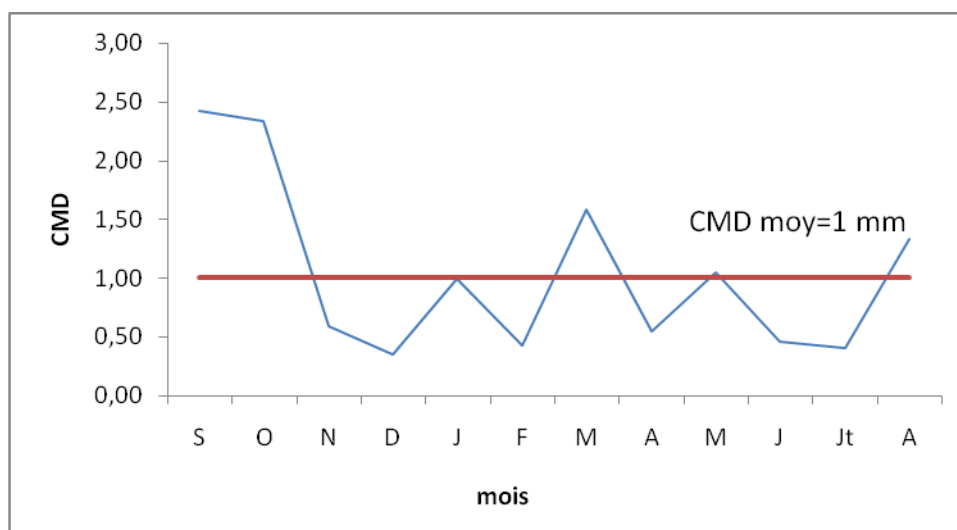


Figure (III-4) : variation de coefficients mensuels de débits.

La courbe du coefficient mensuel de débit (CMD) met en évidence une variation marquée au cours des mois de l'année. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en septembre et en octobre, avec un pic notable en septembre. Une augmentation apparaît également en mars, tandis que le mois de mai présente une valeur proche de la moyenne, traduisant des périodes d'abondance relative.

En revanche, les autres mois affichent des valeurs plus faibles, notamment décembre et juillet où les minimums sont observés, ce qui correspond à des phases de faible écoulement.

Dans l'ensemble, la courbe illustre l'alternance de périodes de forte et de faible hydraulicité au cours de l'année, confirmant l'irrégularité du régime et sa dépendance aux variations des précipitations. Le débit moyen enregistrés au mois d'Aout est effectivement important a cause des orages d'été qui déclenchent des crues exceptionnelle capable de relevé le débit

III-6) Coefficient de variation

Le coefficient de variation est utilisé pour mesurer le degré de dispersion des débits autour de leur moyenne. Il constitue un indicateur essentiel de l'irrégularité et de la variabilité du régime hydrologique tableau (III-5).

Tableau (III-5) : valeurs des Coefficient de variation à la station de sidi Ali Benyoub Mekerra.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Ann
CV	1.138	1.035	0.738	0.429	0.598	0.828	1.859	0.83	2.044	1.455	1.072	2.302	0.649

L'exploration de ce tableau, montre une variabilité mensuelle marquée des valeurs du coefficient de variation, comprises entre 0,429 et 2,302. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en août, mai et mars, traduisant une forte irrégularité des débits, tandis que les valeurs les plus faibles apparaissent en décembre et janvier, indiquant une relative stabilité.

Globalement, ces résultats confirment le caractère irrégulier de l'écoulement et sa dépendance aux fluctuations des précipitations.

Chapitre IV : Analyse statistique des séries pluviométriques

IV-Analyse statistique des séries pluviométriques

IV-1 Ajustement graphique des précipitations [11]

Les séries pluviométriques utilisées dans cette analyse sont celles de douze 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 (IV-1),(IV-2),(IV-3),(IV-4),(IV-5),(IV-6),(IV-7),(IV-8), (IV-9),(IV-10),(IV-11), (IV-12), où les précipitations sont réparties par ordre croissant.

IV-2 Ajustement de la station Ben Badis

Tableau (IV-1) : Classement des précipitations de la station Ben Badis par ordre croissant.

Ordre	Années	Précipitation en mm
1	2003—2004	98,80
2	1999—2000	158,50
3	2006—2007	162,20
4	2002—2003	170,20
5	2004—2005	178,10
6	1987—1988	179,20
7	1982—1983	179,90
8	2005—2006	181,30
9	1983—1984	208,30
10	1981—1982	213,60
11	2001—2002	221,11
12	1997—1998	228,80
13	1998—1999	246,20
14	1988—1989	248,00
15	1993—1994	251,30
16	1979—1980	263,90
17	1978—1979	264,00
18	2010—2011	266,59
19	1992—1993	268,60
20	1977—1978	269,50
21	1974—1975	272,50
22	1980—1981	278,30
23	1986—1987	291,00
24	1989—1990	297,30
25	1996—1997	304,40

26	1991—1992	316,20
27	2007—2008	333,70
28	1994—1995	348,80
29	1976—1977	356,30
30	1984—1985	358,10
31	1990—1991	360,00
32	1985—1986	379,00
33	1975—1976	427,40
34	2000—2001	438,40
35	1995—1996	447,30
36	2008—2009	482,00
37	2009—2010	495,22

IV-2-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de ben badis

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 282,27 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 9257,31 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 96,21 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0.34 \quad (4)$$

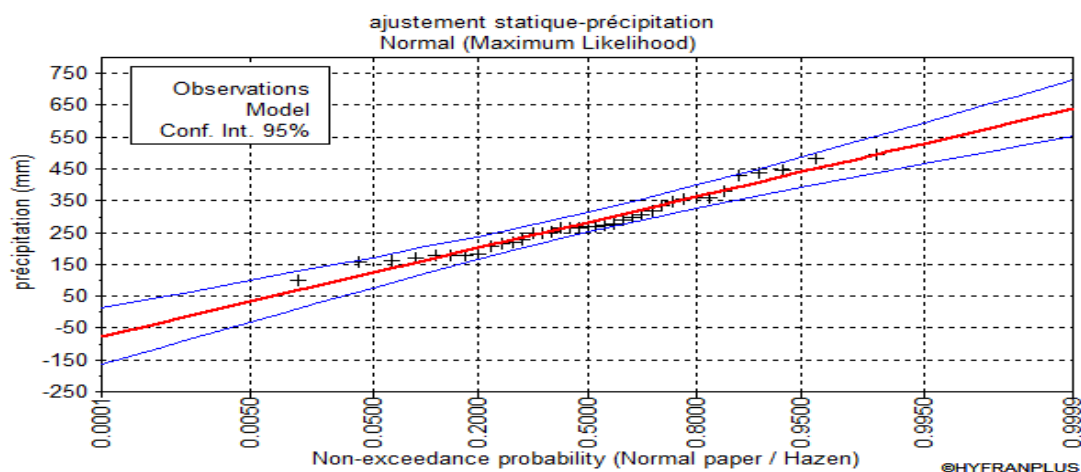


Figure (IV-1) : L'ajustement de la station de Ben badis à la loi normale.

IV-2-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de droite de d'HENRY, $P = P_{\text{moy}} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau IV-2) .

Tableau (IV-2) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée.

Stations	Ben badis
P_{10 ans} (mm), ($\mu=1,28$)	405.42
P_{50 ans} (mm), ($\mu=2,05$)	479.50
P_{100 ans} (mm), ($\mu=2,32$)	505.47

IV-3 Ajustement de la station Sarnos bge

Tableau (IV-3) : Classement des précipitations de la station Sarnos bge par ordre croissant.

Ordre	Années	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

IV-3-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de sarnos bge

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 339,19 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 15173,83 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 123,18 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0.36 \quad (4)$$

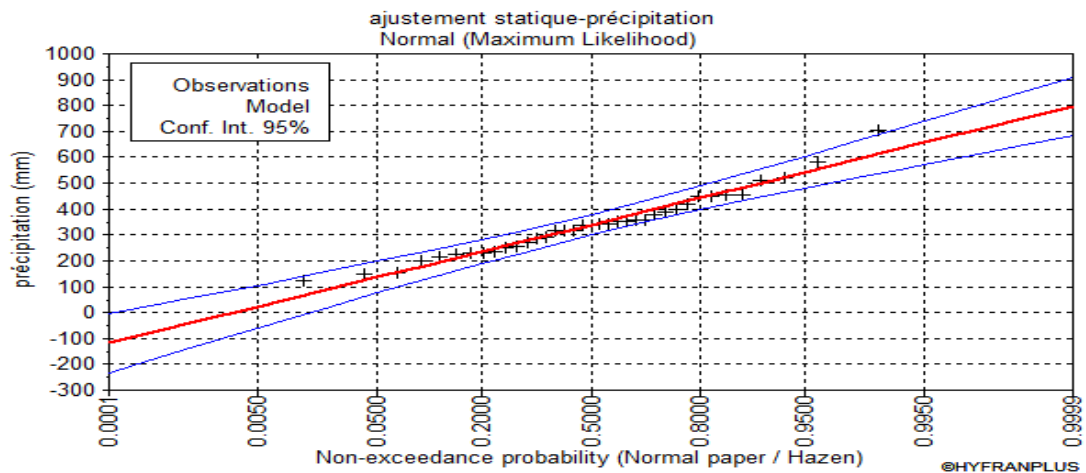


Figure (IV-2) : L'ajustement de la station de Sarnos bge à la loi normale.

IV-3-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{\text{moy}} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau IV-4).

Tableau (IV-4) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée

Stations	Sarnos bge
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=1,28)$	496.86
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,05)$	591.71
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,32)$	624.96

IV-4 Ajustement de la station Hassi Dahou

Tableau (IV-5) : Classement des précipitations de la station Hassi Dahou par ordre croissant.

Ordre	Années	Précipitation en mm
1	1996-1997	72,1
2	1999-2000	172
3	1988-1989	191,4
4	2004—2005	199,6
5	1981-1982	213
6	1993-1994	215,6
7	1982-1983	216,9
8	1987-1988	219,9
9	1998-1999	221,5
10	2002—2003	225,2
11	2010—2011	226,2
12	1992-1993	229,8

13	1983-1984	233,2
14	2006—2007	249,6
15	2005—2006	252,1
16	1989-1990	263,2
17	2007—2008	265,4
18	1985-1986	272,2
19	2003—2004	283,6
20	1997-1998	288,9
21	1994-1995	297,8
22	1986-1987	310,9
23	1980-1981	311,2
24	1991-1992	315
25	1977-1978	325,7
26	1979-1980	329,1
27	1976-1977	331,3
28	1995-1996	347,9
29	2000-2001	349,5
30	1984-1985	363
31	1990-1991	364,5
32	2001—2002	368,7
33	1975-1976	377,2
34	1978-1979	405,1
35	2009—2010	412,7
36	1974-1975	459
37	2008—2009	585,6

IV-4-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de hassi daho

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 290,96 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 8540,09 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 92,41 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0.31 \quad (4)$$

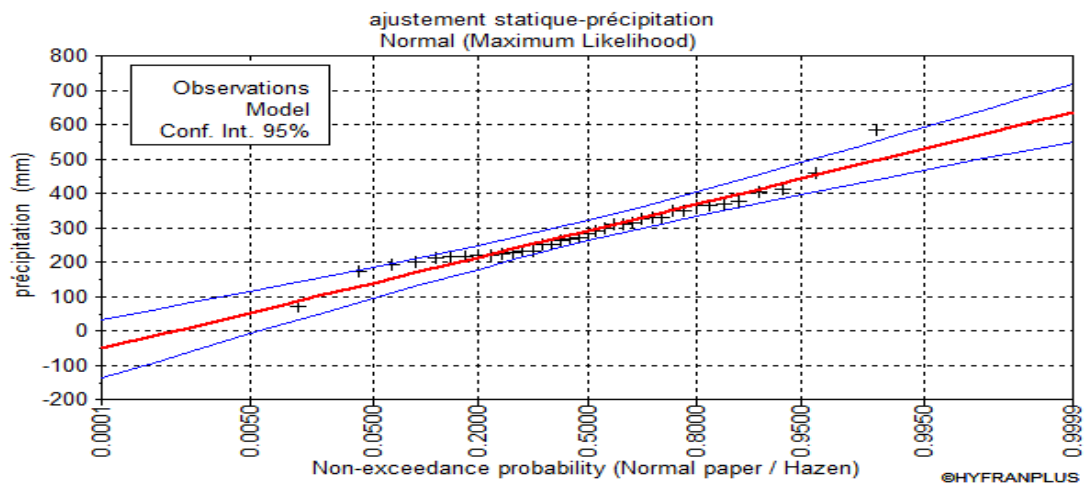


Figure (IV-3) : L'ajustement de la station de Hassi daho à la loi normale.

IV-4-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau IV-6).

Tableau (IV-6) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée.

Stations	Hassi daho
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=1,28)$	409.24
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=2,05)$	480.40
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=2,32)$	505.35

IV-5 Ajustement de la station Mostpha Ben Brahim

Tableau (IV-7) : Classement des précipitations de la station Mostpha Ben Brahim par ordre croissant.

Ordre	Années	Précipitation en mm
1	1992-1993	91,1
2	1988-1989	162,1
3	1998-1999	170,2
4	1991-1992	172,9
5	2004—2005	184,2
6	2007—2008	199,8
7	1996-1997	200,3
8	1981-1982	210,6
9	1993-1994	221,1
10	2010—2011	257,4

11	1989-1990	277,6
12	2003—2004	277,8
13	1987-1988	281
14	1983-1984	282,1
15	1997-1998	287,8
16	2000-2001	289,8
17	1986-1987	293,8
18	1995-1996	294
19	1999-2000	311
20	2006—2007	316,8
21	1977-1978	335,4
22	1982-1983	340,8
23	1985-1986	344,3
24	2002—2003	374,2
25	1975-1976	383,9
26	1984-1985	397,5
27	2001—2002	407,1
28	1976-1977	419,1
29	1978-1979	420,4
30	1979-1980	427,3
31	1974-1975	437,7
32	2009—2010	440,6
33	1990-1991	447,8
34	1994-1995	458,6
35	2008—2009	461
36	2005—2006	466,7
37	1980-1981	468,4

IV-5-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de Mostpha Ben Brahim

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 319,24 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 10690,63 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 103,39 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0.32 \quad (4)$$

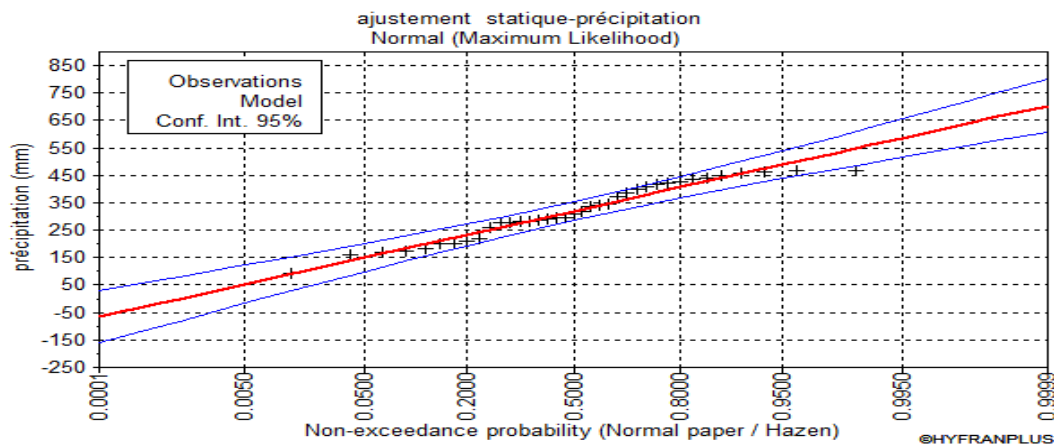


Figure (IV-4) : L'ajustement de la station de Mostpha ben brahim à la loi normale.

IV-5-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau IV-8).

Tableau (IV-8) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée.

Stations	Mostpha ben brahim
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=1,28)$	451.57
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,05)$	531.18
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,32)$	559.10

IV-6 Ajustement de la station Ain Trid

Tableau (IV-9) : Classement des précipitations de la station Ain Trid par ordre croissant.

Ordre	Années	Précipitation en mm
1	1996-1997	125,1
2	1998-1999	187,4
3	1988-1989	229,8
4	2004-2005	236,5
5	2006-2007	240,1
6	1999-2000	251,5
7	2007-2008	271,5
8	1992-1993	281,6
9	1994-1995	283,3

10	2003-2004	297,6
11	1984-1985	303,7
12	1989-1990	317,2
13	1977-1978	322,7
14	1993-1994	332,2
15	1976-1977	337,5
16	1981-1982	337,9
17	2010—2011	342,6
18	1997-1998	346,8
19	2001-2002	349,3
20	1982-1983	371,9
21	1991-1992	372
22	1987-1988	375,9
23	2000-2001	387,9
24	1990-1991	412,2
25	1983-1984	412,4
26	2009-2010	415,9
27	1974-1975	427,7
28	2002—2003	434,2
29	2005-2006	451,6
30	1978-1979	462,5
31	1986-1987	471
32	1979-1980	505,2
33	2008-2009	543,5
34	1985-1986	562,7
35	1980-1981	566,8
36	1975-1976	596,4
37	1995-1996	653,8

IV-6-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station d'ain trid

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 373,45 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 13921,10 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 117,98 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0.31 \quad (4)$$

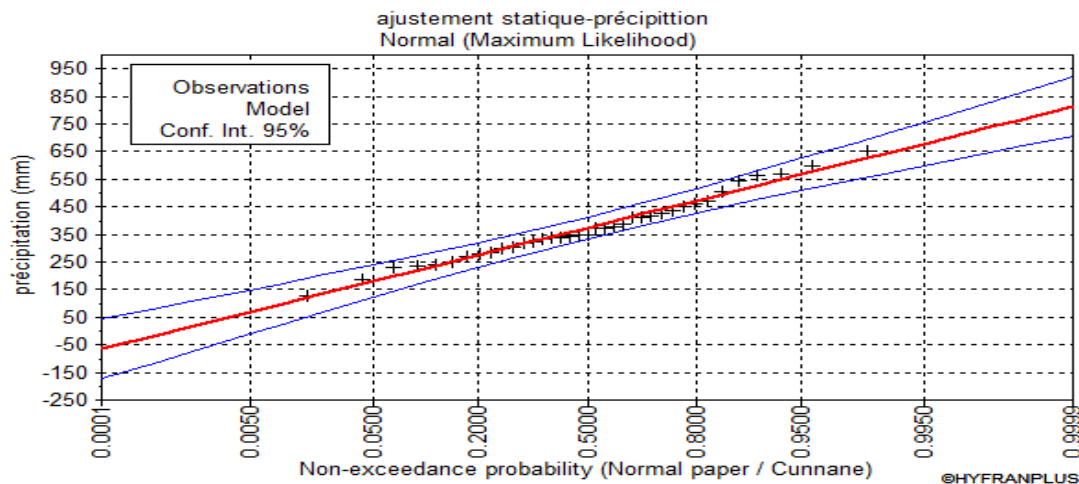


Figure (IV-5) : L'ajustement de la station de Ain trid à la loi normale.

IV-6-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau (IV-10)).

Tableau (IV-10) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée.

Stations	Ain trid
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=1,28)$	524.46
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,05)$	615.30
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,32)$	647.16

IV-7 Ajustement de la station Bel Abbes

Tableau (IV-11) : Classement des précipitations de la station bel-abbes par ordre croissant.

Ordre	Années	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	2002—2003	301,5
19	1986-1987	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

IV-7-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de Bel-Abbes

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 310,49 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 7768,65 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 88,14 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0.28 \quad (4)$$

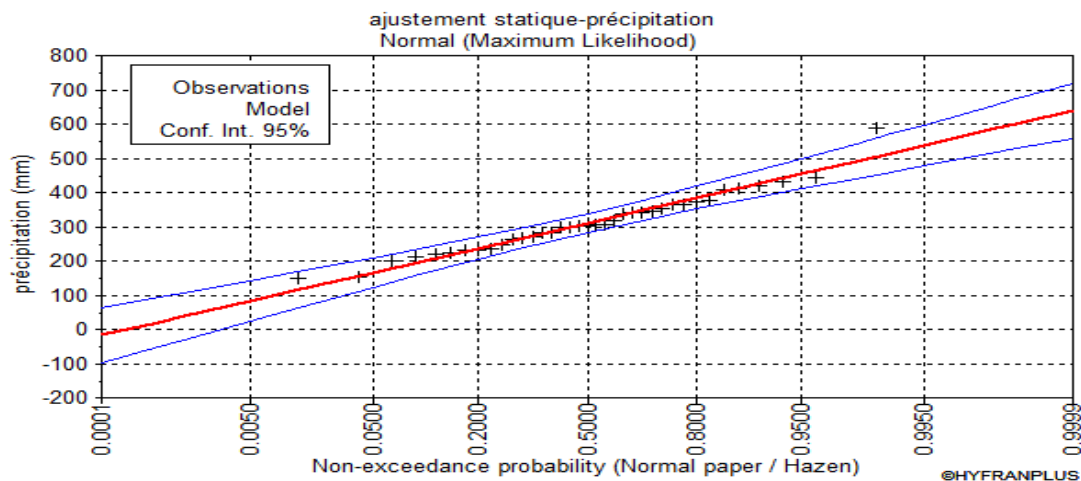


Figure (IV-6) : L'ajustement de la station de Bel-abbes à la loi normale.

IV-7-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau (IV-12)).

Tableau (IV-12) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurence donnée.

Stations	Bel-abbes
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=1,28)$	423.30
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=2,05)$	419.17
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=2,32)$	514.97

IV-8 Ajustement de la station Tessala

Tableau (IV-13) : Classement des précipitations de la station tessala par ordre croissant.

Ordre	Années	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

IV-8-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de tessala

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 328,15 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 11087,42 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 105,29 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0,32 \quad (4)$$

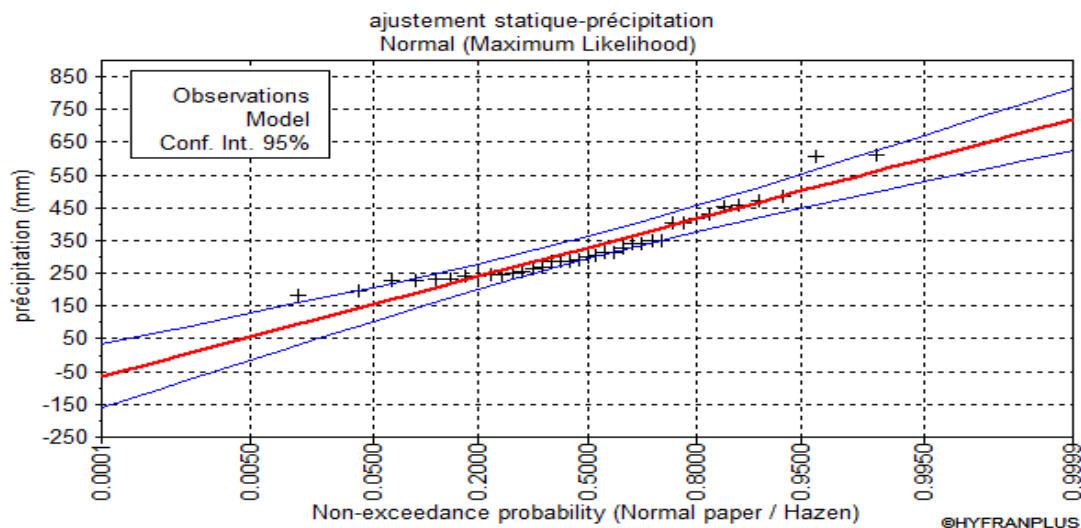


Figure (IV-7) : L'ajustement de la station de Tassala à la loi normale.

IV-8-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau (IV-14)).

Tableau (IV-14) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurrence donnée.

Stations	Tessala
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=1,28)$	462.92
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,05)$	543.99
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,32)$	572.42

IV-9 Ajustement de la station Ain berd

Tableau (IV-15) : Classement des précipitations de la station Ain berd par ordre croissant.

Ordre	Années	Précipitation en mm
1	1979-1980	81
2	1981-1982	117,8
3	1977-1978	161,6
4	1996-1997	198,1

5	1992-1993	206,3
6	1988-1989	211,9
7	1987-1988	218,6
8	2007—2008	236,4
9	1978-1979	239,6
10	1986-1987	263,2
11	2003—2004	267,4
12	1989-1990	271,7
13	1993-1994	278,6
14	2004—2005	285,1
15	1999-2000	285,9
16	1983-1984	294,5
17	1980-1981	313,7
18	1982-1983	313,9
19	1994-1995	326,4
20	1997-1998	339,4
21	2006—2007	353,3
22	1998-1999	356,8
23	1991-1992	367,6
24	1985-1986	395,6
25	1984-1985	396,6
26	2000-2001	397,6
27	2010—2011	403,4
28	2001—2002	416,8
29	1975-1976	420,8
30	2002—2003	433,3
31	1976-1977	454,4
32	2009—2010	458,6
33	1990-1991	460,1
34	1995-1996	480,5
35	2005—2006	543,4
36	1974-1975	615,5
37	2008—2009	674,9

IV-9-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station d'ain berd

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 338,92 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 16503,20 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 128,46 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0,37 \quad (4)$$

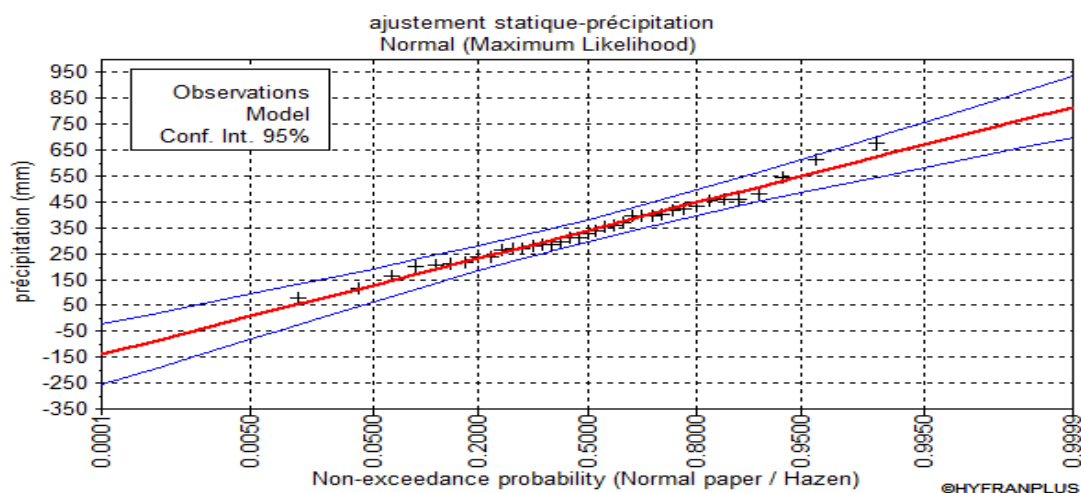


Figure (IV-8) : L'ajustement de la station de Ain berd à la loi normale.

IV-9-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau (IV-16))

Tableau (IV-16) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurrence donnée.

Stations	Ain berd
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=1,28)$	503.34
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=2,05)$	602.26
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm)}, (\mu=2,32)$	636.94

IV-10 Ajustement de la Station sidi lahcen

Tableau (IV-17) : Classement des précipitations de la station sidi lahcen par ordre croissant.

Ordre	Années	Précipitation en mm
1	1996-1997	112,6

2	1988-1989	157,5
3	1992-1993	169,7
4	1999-2000	180
5	1998-1999	189,1
6	1987-1988	191,9
7	1981-1982	210
8	2010—2011	212,7
9	1993-1994	217,4
10	1989-1990	218,3
11	1983-1984	226,5
12	2007—2008	237,7
13	1977-1978	245,3
14	1982-1983	246,2
15	1986-1987	251,5
16	2006—2007	251,5
17	1994-1995	255,5
18	1990-1991	256,6
19	1978-1979	260,8
20	1997-1998	261,5
21	1991-1992	264,2
22	2002—2003	265,7
23	2004—2005	266,7
24	2003—2004	276,1
25	1985-1986	282,3
26	2005—2006	284,5
27	2009—2010	286,4
28	1976-1977	292,9
29	2001—2002	305
30	1979-1980	310
31	2000-2001	329,6
32	1980-1981	331,1
33	1975-1976	352,3
34	1995-1996	376,9
35	1984-1985	426,4
36	1974-1975	427,3
37	2008—2009	431,9

IV-10-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de sidi lahcen

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 266,52 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 5289,95 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 72,73 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0,27 \quad (4)$$

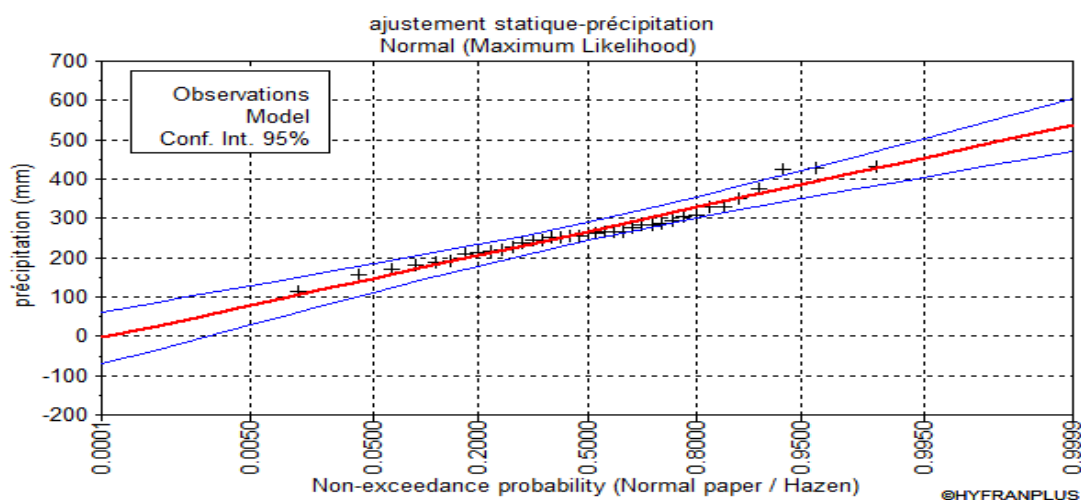


Figure (IV-9) : L'ajustement de la station de Sidi lahcen à la loi normale.

IV-10-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau (IV-18)).

Tableau (IV-18) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurrence donnée.

Stations	Sidi lahcen
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=1,28)$	359.61
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,05)$	415.61
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,32)$	435.25

IV-11 Ajustement de la Station Tabia

Tableau (IV-19) : Classement des précipitations de la station tabia par ordre croissant.

Ordre	Années	Précipitation en mm
1	1983-1984	202
2	1994-1995	207,8
3	1992-1993	211,2
4	1999-2000	213,6
5	2004—2005	215
6	1982-1983	221,1
7	1981-1982	221,8
8	1987-1988	222,6
9	1988-1989	223,4
10	1997-1998	242,2
11	1993-1994	253,8
12	1986-1987	272
13	2007—2008	272,3
14	1998-1999	280,3
15	1991-1992	282,1
16	2002—2003	292,7
17	1984-1985	297
18	2005—2006	314,6
19	1996-1997	317,8
20	2006—2007	328,4
21	1985-1986	330,3
22	1989-1990	335,4
23	1990-1991	344
24	2001—2002	346,2
25	2010—2011	347,9
26	2003—2004	348,2
27	2000-2001	354,4
28	1977-1978	360,3
29	1978-1979	362,4
30	2009—2010	365,1
31	1980-1981	394,4
32	1976-1977	405,4
33	1979-1980	422,4
34	1974-1975	447,4
35	1975-1976	464,5
36	2008—2009	682,5
37	1995-1996	692,8

IV-11-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de tabia

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 326,9 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 12700,36 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 112,69 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0,34 \quad (4)$$

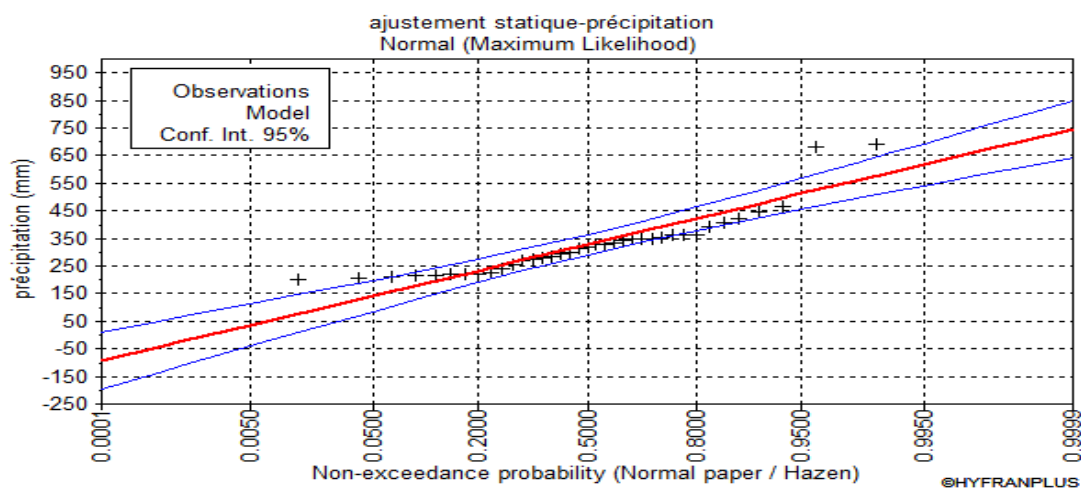


Figure (IV-10) : L'ajustement de la station de Tabia à la loi normale.

IV-11-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau (IV-20)).

Tableau (IV-20) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurrence donnée.

Stations	Tabia
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=1,28)$	471.14
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,05)$	557.91
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,32)$	588.34

IV-12 Ajustement de la Station hassi zahana

Tableau (IV-21) : Classement des précipitations de la station hassi zahana par ordre croissant.

Ordre	Années	Précipitation en mm
1	1984-1985	138,9
2	1999-2000	164,2
3	2004—2005	167,6
4	1987-1988	176,2
5	1985-1986	191
6	1993-1994	191,6
7	1986-1987	203,5
8	1982-1983	204,9
9	1988-1989	217,9
10	2002—2003	230,2
11	1998-1999	258,3
12	2005—2006	260,9
13	1997-1998	266,9
14	2001—2002	281,3
15	1994-1995	304,8
16	2006—2007	311,8
17	1992-1993	316,6
18	1989-1990	322,1
19	1996-1997	330,6
20	1990-1991	336,2
21	2009—2010	344
22	1981-1982	344,2
23	1991-1992	345,3
24	1975-1976	365,1
25	1979-1980	371,4
26	2007—2008	373,6
27	2003—2004	376,2
28	2008—2009	383,3
29	1978-1979	395,5
30	2010—2011	396,8
31	1980-1981	397,7
32	1983-1984	415
33	2000-2001	431,3
34	1974-1975	511,5
35	1976-1977	544,7
36	1995-1996	552,3
37	1977-1978	573

IV-12-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de hassi zahana

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 324,22 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 12548,75 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 112,02 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0,34 \quad (4)$$

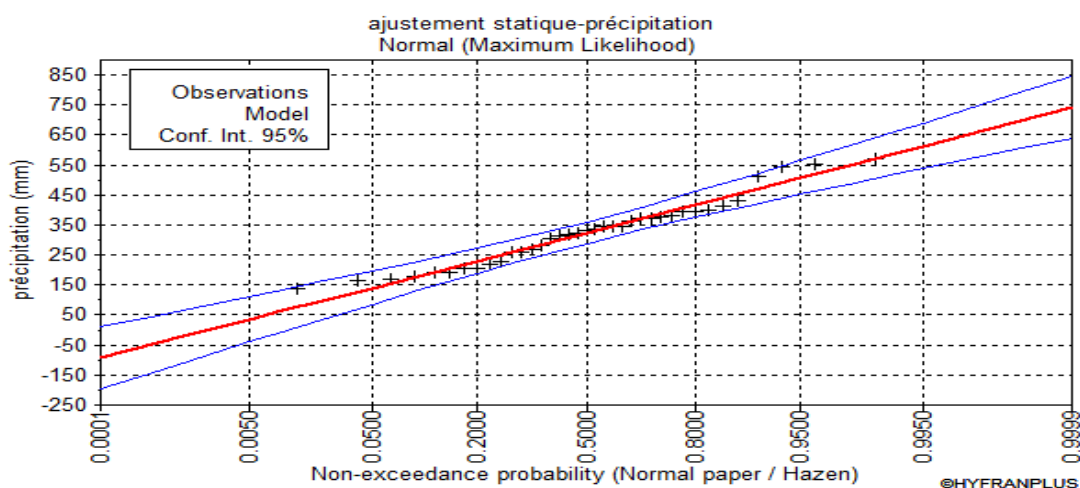


Figure (IV-11) : L'ajustement de la station de Hassi zahana à la loi normale.

IV-12-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau (IV-22)).

Tableau (IV-22) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurrence donnée.

Stations	Hassi zahana
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=1,28)$	467.69
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,05)$	553.86
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,32)$	584.10

IV-13 Ajustement de la station Iamtar

Tableau (IV-23) : Classement des précipitations de la station lamtar par ordre croissant.

Ordre	Années	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

IV-13-1 Calculs des paramètres statistiques pour la station de lamtar

1- la moyenne

$$p_{moy} = \frac{\sum P_i}{N} = 322,75 \quad (1)$$

2- la variance

$$V = 1/n \sum_i (P_i - P_{moy})^2 = 8304,29 \quad (2)$$

3- l'écart type

$$\sigma = \sqrt{V} = 91,12 \quad (3)$$

4- Coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{p_{moy}} = 0,28 \quad (4)$$

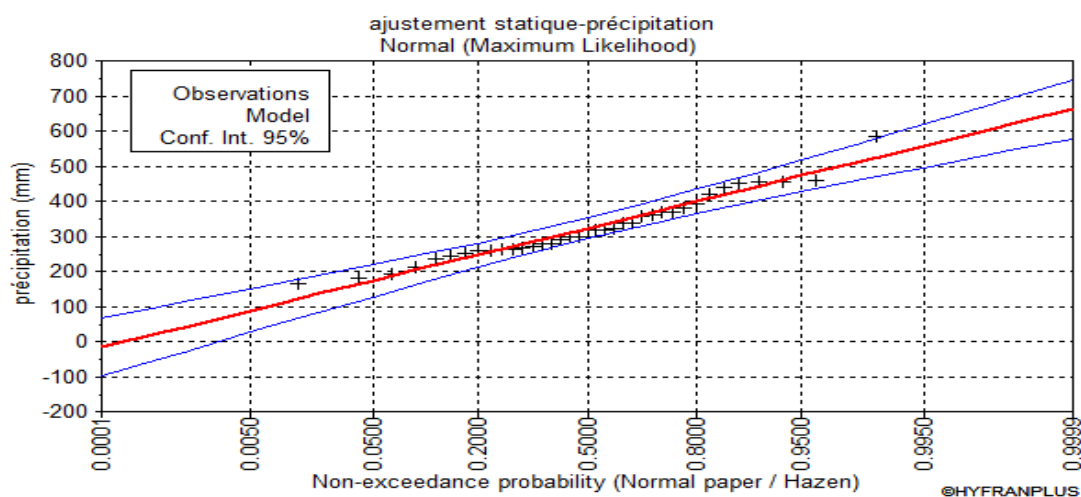


Figure (IV-12) : L'ajustement de la station de Lamtar à la loi normale.

IV-13-2 Calcul des précipitations pour des périodes de récurrence donnée

A partir de l'équation de la droite de d'HENRY, $P = P_{moy} + \sigma \cdot \mu$ on détermine les valeurs des précipitations pour les périodes de récurrence donnée, (tableau (IV-24)).

Tableau (IV-24) : Valeurs des précipitations pour des périodes de recurrence donnée.

Stations	Lamtar
$P_{10 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=1,28)$	439.38
$P_{50 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,05)$	509.54
$P_{100 \text{ ans}} \text{ (mm), } (\mu=2,32)$	534.14

Chapitre V : vérification de l'ajustement graphique par la méthode KI_KAREE

V- vérification de l'ajustement graphique par la méthode KI_KAREE

V-1 test χ^2 (khi carré) [12]

Le test du Test du Khi-deux est utilisé pour vérifier la qualité de l'ajustement graphique des données pluviométriques observées à une loi de probabilité théorique (telle que la loi normale, Gumbel, ou log-normale).

Dans le cadre de cette étude, ce test est appliqué à un ensemble de stations pluviométriques situées dans le bassin versant de la Mekerra aval. L'objectif principal est de déterminer si les distributions théoriques choisies représentent correctement les séries de précipitations observées.

Le principe du test repose sur la comparaison entre les fréquences observées et les fréquences théoriques. La statistique du Khi-deux est calculée selon la relation suivante :

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

Où :

n_i : Fréquence observée

np_i : fréquence théorique

La valeur calculée de χ^2 est ensuite comparée à la valeur critique (tabulée) pour un degré de liberté donné et un seuil de signification (généralement 5 %).

Si $\chi_{calculé}^2 < \chi_{tabulé}^2 \rightarrow$ l'ajustement est acceptable

Si $\chi_{calculé}^2 > \chi_{tabulé}^2 \rightarrow$ l'ajustement est rejeté

V-2 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Ben badids**Tableau (v-1) :** calcul des paramètres de test X^2 (station ben badis)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	98.80< x_i <179.20	6	6.17	0.005
2	179.20< x_i <213.60	4	6.17	0.76
3	213.60< x_i <264	7	6.17	0.11
4	264< x_i <291	6	6.17	0.005
5	291< x_i <358.1	7	6.17	0.11
6	358.1< x_i <495.22	7	6.17	0.11

 $X^2_{calculé} = 1.1$

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

Avec :

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

N : Nombre d'années**K** : Nombre de classe **n_i** : Effectif **np_i** : Effectif espéré

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

$$\vartheta = 6 - 1 - 2$$

$$\vartheta = 3$$

D'après la table de khi deux on a : $\alpha = 0.05$ **Tableau (v-2) :** La valeur critique sera tabulée station ben badis

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau (V-1) est égale à 1.1 valeur inférieure au χ^2 tabulée qui est de 7.81 pour un degré de liberté égale à 3 et un risque toléré de 5%.

Donc, on accepte l'hypothèse. Ce qui signifie que l'ajustement est statistiquement valide.

V-3 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Sarnos bge

Tableau (V- 3) : calcul des paramètres de test X^2 (station SarnoS bge)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	120.8<xi<216.9	5	6.17	0.22
2	216.9<xi<284.2	8	6.17	0.54
3	284.2<xi<336.5	6	6.17	0.005
4	336.5<xi<376.2	7	6.17	0.11
5	376.2<xi<446.9	4	6.17	0.76
6	446.9<xi<705.5	7	6.17	0.11

$X^2_{calculé} = 1.745$

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

Avec :

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

$$\vartheta = 6 - 1 - 2$$

$$\vartheta = 3$$

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

Tableau (v-4) : La valeur critique sera tabulée station Sarnobge

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau (v-3) est égale à 1.745 valeurs inférieures 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 normale est donc confirmé pour la station de Sarnobge.

V-4 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Hassi daho

Tableau (v-5) : calcul des paramètres de test X^2 (station hassi daho)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	72.1 < xi < 216.9	7	6.17	0.11
2	216.9 < xi < 226.2	4	6.17	0.76
3	226.2 < xi < 265.4	6	6.17	0.005
4	265.4 < xi < 325.7	8	6.17	0.54
5	325.7 < xi < 364.5	6	6.17	0.005
6	364.5 < xi < 585.6	6	6.17	0.005

$$X^2_{\text{calculé}} = 1.42$$

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

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V-6) : La valeur critique sera tabulée station hassi daho

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau (V-5) est égale à 1.42 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 normale est donc confirmé pour la station.

V-5 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Mostpha ben Brahim

Tableau (V- 7) : calcul des paramètres de test χ^2 (station mostpha ben brahim)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	91.1<xi<184.2	5	6.17	0.22
2	184.2<xi<277.6	6	6.17	0.005
3	277.6<xi<287.8	4	6.17	0.76
4	287.8<xi<340.8	7	6.17	0.11
5	340.8<xi<427.3	8	6.17	0.54
6	427.3<xi<468.4	7	6.17	0.11

$$X^2_{calculé} = 1.75$$

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

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V-8) : La valeur critique sera tabulée station mostpha ben brahim

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du khi carré (χ^2) calculée est égale à **1.75**, elle est **inférieur** à la valeur tabulée **7.81**.

Donc, l'ajustement est accepté, ce qui signifie que la loi théorique adoptée représente correctement les données observées. Par conséquent, cette loi de probabilité peut être retenue pour l'analyse fréquentielle et l'interprétation hydrologique des précipitations.

V-6 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Ain trid**Tableau (v-9) :** calcul des paramètres de test X^2 (station ain trid)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	125.1<xi<251.5	6	6.17	0.005
2	251.5<xi<317.2	6	6.17	0.005
3	317.2<xi<342.6	5	6.17	0.22
4	342.6<xi<412.2	7	6.17	0.11
5	412.2<xi<451.6	5	6.17	0.22
6	451.6<xi<653.8	8	6.17	0.54

$$X^2_{calculé} = 1.1$$

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

Avec :

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (v-10) : La valeur critique sera tabulée station ain trid

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du khi carré (χ^2) calculée est égale à **1.1**, elle est **inférieur** à la valeur tabulée **7.81**.

Donc, l'ajustement est accepté, ce qui signifie que la loi théorique adoptée représente correctement les données observées. Par conséquent, cette loi de probabilité peut être retenue pour l'analyse fréquentielle et l'interprétation hydrologique des précipitations.

V-7 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Bel Abbas

Tableau (V-11) : calcul des paramètres de test χ^2 (station bel-abbes)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	148<xi<230.1	8	6.17	0.54
2	230.1<xi<266.6	4	6.17	0.76
3	266.6<xi<301.5	7	6.17	0.11
4	301.5<xi<341.4	6	6.17	0.005
5	341.4<xi<373	5	6.17	0.22
6	373<xi<586.6	7	6.17	0.11

$$\chi^2_{\text{calculé}} = 1.745$$

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

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V-12) : La valeur critique sera tabulée station bel-abbes

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du khi carré (χ^2) calculée est égale à 1.745, elle est **inférieur** à la valeur tabulée 7.81.

Donc, l'ajustement est accepté, ce qui signifie que la loi théorique adoptée est en bon accord avec les données observées. Cette loi de probabilité peut donc être retenue pour représenter convenablement les données étudiées.

V-8 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Tessala

Tableau (V- 13) : calcul des paramètres de test X^2 (station Tessala)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	182.6<xi<240.9	7	6.17	0.11
2	240.9<xi<253.9	5	6.17	0.22
3	253.9<xi<301.8	7	6.17	0.11
4	301.8<xi<342.1	6	6.17	0.005
5	342.1<xi<415.2	5	6.17	0.22
6	415.2<xi<611.7	7	6.17	0.11

$$X^2_{calculé} = 0.775$$

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

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V- 14) : La valeur critique sera tabulée station tessala

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du khi carré (χ^2) calculée est égale à 0.775, elle est inférieure à la valeur tabulée **7.81**.

Donc, l'ajustement est accepté, ce qui signifie que la loi théorique adoptée est en bon accord avec les données observées. Cette loi de probabilité peut donc être retenue pour représenter convenablement les données étudiées.

V-9 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Ain Berd

Tableau (V-15) : calcul des paramètres de test χ^2 (station Ain berd)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	81< x_i <211.9	6	6.17	0.005
2	211.9< x_i <263.2	4	6.17	0.76
3	263.2< x_i <313.9	8	6.17	0.54
4	313.9< x_i <396.6	7	6.17	0.11
5	396.6< x_i <433.3	5	6.17	0.22
6	433.3< x_i <674.9	7	6.17	0.11

$$\chi^2_{calculé} = 1.745$$

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

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V-16) : La valeur critique sera tabulée station ain berd

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du khi carré (χ^2) calculée est égale à 1.745, elle est **inférieur** à la valeur tabulée **7.81**.

Donc, l'ajustement est accepté, ce qui signifie que la loi théorique adoptée est en bon accord avec les données observées. Cette loi de probabilité peut donc être retenue pour représenter convenablement les données étudiées.

V-10 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station sidi lahcen

Tableau (V-17) : calcul des paramètres de test χ^2 (station sidi lahcen)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	112.6<xi<212.7	8	6.17	0.54
2	212.7<xi<251.5	7	6.17	0.11
3	251.5<xi<261.5	5	6.17	0.22
4	261.5<xi<276.1	4	6.17	0.76
5	276.1<xi<310	6	6.17	0.005
6	310<xi<431.9	7	6.17	0.11

$$\chi^2_{\text{calculé}} = 1.745$$

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

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V-18) : La valeur critique sera tabulée station sidi lahcen

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau (V-17) est égale à 1.745 valeurs inférieures 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 normale est donc confirmé pour la station.

V-11 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Tabia

Tableau (V-19) : calcul des paramètres de test χ^2 (station Tabia)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	202 < x_i < 221.8	7	6.17	0.11
2	221.8 < x_i < 253.8	4	6.17	0.76
3	253.8 < x_i < 292.7	5	6.17	0.22
4	292.7 < x_i < 330.3	5	6.17	0.22
5	330.3 < x_i < 362.4	8	6.17	0.54
6	362.4 < x_i < 692.8	8	6.17	0.54

$$\chi^2_{\text{calculé}} = 2.39$$

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

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V-20) : La valeur critique sera tabulée station Tabia

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau (V-19) est égale à 2.39 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 normale est donc confirmé pour la station.

V-12 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Hassi Zahana

Tableau (V-21) : calcul des paramètres de test χ^2 (station Hassi Zahana)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	138.9 < xi < 176.2	4	6.17	0.76
2	176.2 < xi < 217.9	5	6.17	0.22
3	217.9 < xi < 311.8	7	6.17	0.11
4	311.8 < xi < 344.2	6	6.17	0.005
5	344.2 < xi < 395.5	7	6.17	0.11
6	395.5 < xi < 573	8	6.17	0.54

$$X^2_{calculé} = 1.745$$

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

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V-22) : La valeur critique sera tabulée station Hassi zahana

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau (V-21) est égale à 1.745 valeurs inférieures au χ^2 tabulée qui est de 7.81 pour un degré de liberté égale à 3 et un risque toléré de 5%.

Donc, on accepté l'hypothèse. Ce qui signifie que l'ajustement est statistiquement valide.

V-13 Calculs de paramètre de test χ^2 (khi carré) de la station Lamtar

Tableau (V-23) : calcul des paramètres de test X^2 (station lamtar)

Classe	Intervalle des précipitations	n_i	np_i	χ^2
1	163.6 < xi < 245	6	6.17	0.005
2	245 < xi < 270.8	7	6.17	0.11

3	270.8<xi<299.7	5	6.17	0.22
4	299.7<xi<337.7	6	6.17	0.005
5	337.7<xi<394.1	6	6.17	0.005
6	394.1<xi<584.5	7	6.17	0.11

$$X^2_{calculé} = 0.455$$

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

Avec :

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

N : Nombre d'années

K : Nombre de classe

n_i : Effectif

np_i : Effectif espéré

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

Tableau (V- 24) : La valeur critique sera tabulée station lamtar

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

La valeur du χ^2 calculée, d'après le tableau (V-23) est égale à 0.455 valeurs inférieures 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 normale est donc confirmé pour la station

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a permis d'analyser les caractéristiques morphométriques, climatiques et hydrologiques du bassin versant de l'Oued Mekerra aval, ainsi que d'étudier les séries pluviométriques et les débits annuels à l'aide de l'analyse statistique et du test du Khi-deux (χ^2).

L'étude morphométrique a montré que le bassin versant se caractérise par des pentes et un réseau hydrographique favorisant la rapidité du ruissellement superficiel, ce qui augmente le risque des crues pendant les périodes de fortes précipitations. L'étude climatique a également révélé que la région appartient au domaine semi-aride marqué par une irrégularité spatiale et temporelle des précipitations.

Les résultats de l'analyse statistique ont mis en évidence une variation importante des précipitations entre les stations étudiées. La station d'Ain Trid a enregistré la moyenne pluviométrique la plus élevée avec environ 373,45 mm, tandis que la station de Sidi Lahcen a présenté la moyenne la plus faible avec environ 266,52 mm. Les coefficients de variation, compris entre 0,27 et 0,37, traduisent une forte variabilité des précipitations annuelles.

Les résultats du test du Khi-deux ont montré que toutes les stations, s'ajustent à la loi normale.

Enfin, cette étude a montré que le bassin versant de l'Oued Mekerra aval présente une forte sensibilité aux variations climatiques, ce qui nécessite une meilleure gestion des ressources en eau et le renforcement des études hydrologiques futures afin de limiter les risques de crues et de sécheresse.

Référence bibliographique

[1] : Vannikov et al (1990), (.Organisations pelliculaires superficielle de quelques sols de région dub désertique Agadez (Rep du Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. Thèse Paris, 213 p. +annexes.

[2] : Seltzer (1946),. Le climat de l'Algérie, Univ. Alger. Inst. Météo et physique du globe, Carbonnel. 219p. 2cartes.

[3] : Chaumont et Paquin (1971). Carte pluviométrique de l'Algérie, éch. 1/50000. Afrique du nord, Alger. 4 feuilles, 1notice.

[4] : Touaz (2001), . Evaluation des ressources en eau et acquisition de bases de données à référence spatial et temporelles en Algérie du Nord. Thèse de doctorat université de Nice, France.

[5]: YLES (2014) Hydrologie et transport solide dans le bassin versant de l'oued SAIDA : Modélisation Pluie-Débit et Débit liquide – Transport Solide. Thèse de Doctorat ».

[6]: BEN ZATER. B,1996. <<Etude hydrologique du bassin versant d'Oued El-Hammam Thèse de magister. Institut d'agronomie. 154 pages. C.U.MASCARA>>

[7] : Mokadmi, S. (2012) <<Etude hydrologique et modélisation du transport solide en suspension dans le sous bassin versant de l'Oued Mekerra. USTO >>

[8] : HALLOCHE B, 1986. <<contribution à l'étude hydrologique de la partie occidentale du bassin versant de l'Oued El MALLEH (W. Sidi Bel Abbes)>> Projet d'ingéniorat d'état.

[9] : Touazi, M. & Laborde, J. P. (2004). Modélisation pluie-débit à l'échelle annuelle en Algérie du nord. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 17(4), 503–516.

YLES F (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] : ABH : Agence des bassins hydrographique en Algérie

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] : 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 ».

[12] : Fisher, Ronald A. "On the Interpretation of χ^2 from Contingency Tables, and the Calculation of P".*Journal of the Royal Statistical Society.* 1922 et 1924.

Annexes

Annexe 1 : Valeurs des précipitations moyennes annuelles des douze stations pluviométriques du bassin versant de la Mekerra entre (1974 à 2011).

station année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
74-75	272.5	581.1	459	437.7	427.7	375.4	611.7	615.5	427.3	447.4	511.5	439
75-76	427.4	522.7	377.2	383.9	596.4	412.3	304.9	420.8	352.3	464.5	365.1	449.8
76-77	356.3	344.6	331.3	419.1	337.5	444.6	232.4	454.4	292.9	405.4	544.7	379.5
77-78	269.5	317.1	325.7	335.4	322.7	297.7	227.8	161.6	245.3	360.3	573	317.7
78-79	264	316.3	405.1	420.4	462.5	298.9	313.3	239.6	260.8	362.4	395.5	337.7
79-80	263.9	453.1	329.1	427.3	505.2	419.7	472.3	81	310	422.4	371.4	336.6
80-81	278.3	314.5	311.2	468.4	566.8	317.4	608.4	313.7	331.1	394.4	397.7	394.1
81-82	213.6	155.9	213	210.6	337.9	211.4	253.9	117.8	210	221.8	344.2	266.8
82-83	179.9	336.5	216.9	340.8	371.9	282	243.7	313.9	246.2	221.1	204.9	278.8
83-84	208.3	120.8	233.2	282.1	412.4	222.8	301.8	294.5	226.5	202	415	262.5
84-85	358.1	705.5	363	397.5	303.7	408.8	267.7	396.6	426.4	297	138.9	368.3
85-86	379	451.3	272.2	344.3	562.7	343.6	246	395.6	282.3	330.3	191	322.4
86-87	291	224.8	310.9	293.8	471	301.5	288.8	263.2	251.5	272	203.5	279.1
87-88	179.2	284.2	219.9	281	375.9	219.8	245.6	218.6	191.9	222.6	176.2	178.6
88-89	248	351.6	191.4	162.1	229.8	229.9	263.2	211.9	157.5	223.4	217.9	258
89-90	297.3	292.2	263.2	277.6	317.2	261.1	312	271.7	218.3	335.4	322.1	212.2
90-91	360	357.3	364.5	447.8	412.2	352.5	431.7	460.1	256.6	344	336.2	367.5
91-92	316.2	342.2	315	172.9	372	270.7	403	367.6	264.2	282.1	345.3	299.7
92-93	268.6	229.5	229.8	91.1	281.6	148	250.9	206.3	169.7	211.2	316.6	236.1
93-94	251.3	251.2	215.6	221.1	332.2	233.8	240.9	278.6	217.4	253.8	191.6	258.4
94-95	348.8	359.3	297.8	458.6	283.3	248.8	342.1	326.4	255.5	207.8	304.8	250.6
95-96	447.3	376.2	347.9	294	653.8	430	484.6	480.5	376.9	692.8	552.3	420.9
96-97	304.4	148.4	72.1	200.3	125.1	153.7	182.6	198.1	112.6	317.8	330.6	163.6
97-98	228.8	354.3	288.9	287.8	346.8	339.8	292.4	339.4	261.5	242.2	266.9	291.2
98-99	246.2	216.9	221.5	170.2	187.4	281.7	195.3	356.8	189.1	280.3	258.3	190.5
99-00	158.5	269.3	172	311	251.5	199.8	347.6	285.9	180	213.6	164.2	262.7
00-01	438.4	417.9	349.5	289.8	387.9	373	415.2	397.6	329.6	354.4	431.3	455.8
01-02	221.1	508.5	368.7	407.1	349.3	363.1	340.9	416.8	305	346.2	281.3	317.9
02-03	170.2	389.9	225.2	374.2	434.2	301.5	401.7	433.3	265.7	292.7	230.2	359.3
03-04	98.8	236.7	283.6	277.8	297.6	307.4	286.1	267.4	276.1	348.2	376.2	296.4
04-05	178.1	201	199.6	184.2	236.5	266.6	233.8	285.1	266.7	215	167.6	245
05-06	181.3	453.4	252.1	466.7	451.6	338.6	325.1	543.4	284.5	314.6	260.9	357.8
06-07	162.2	228.9	249.6	316.8	240.1	307.8	349	353.3	251.5	328.4	311.8	318.4
07-08	333.7	254.3	265.4	199.8	271.5	230.1	229.3	236.4	237.7	272.3	373.6	459.4
08-09	482	446.9	585.6	461	543.5	586.6	457	674.9	431.9	682.5	383.3	584.5
09-10	495.2	334.8	412.7	440.6	415.9	366.4	452.3	458.6	286.4	365.1	344	454.3
10-11	266.59	398.3	226.2	257.4	342.6	341.4	286.6	403.4	212.7	347.9	396.8	270.8

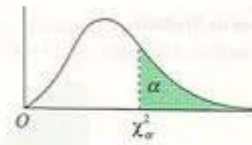
Annexe 2 : Précipitations mensuelles

mois précipitation	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jui	A	année
Station 1	18.23	22.88	34.57	27.31	34.58	43.56	33.57	30.14	25.44	3.52	1.32	7.12	23,52
Station 2	14.67	34.03	48.61	48.61	42.85	42.02	39.71	36.18	23.71	4.22	1.63	2.86	28,26
Station 3	14.46	29.3	39.17	32.47	38.67	39.03	36.63	29.11	22.85	3.78	1.36	4.13	24 ,25
Station 4	13.05	28.34	47.24	42.11	41.9	36.73	42.02	36.72	21.89	3.81	0.64	4.78	26,60
Station 5	12.61	32.82	52.28	48.07	48.47	51.4	51.43	37.76	29.34	5.68	1.10	2.5	31,12
Station 6	18.47	30.96	46.34	34.2	37.24	41.95	35.16	29.17	26.61	6.01	1.36	3.02	25,87
Station 7	14.07	25.86	48.35	44.67	52.24	46.42	37.52	31.25	24.08	2.46	0.03	1.20	27,34
Station 8	11.64	28.29	48.12	41.61	54.65	43.19	43.19	37.46	27.98	2.40	0.05	0.33	28,24
Station 9	10.24	27.12	38.08	31.38	33.19	37.87	33.06	26.75	21.55	3.79	1.50	1.99	22,21
Station 10	17.22	30.79	41.83	41.79	39.69	44.73	39.59	33.91	26.70	3.74	1.42	5.48	27,24
Station 11	14.76	28.82	43.79	28.18	45.11	45.11	39.33	34.25	39.20	5.45	0.42	2.42	27,02
Station 12	17.63	32.94	38.77	40.20	41.58	45.26	38.41	27.17	26.40	8.1	1.38	4.89	26,89

. Annexe 4 : table de distribution de χ^2 Table de distribution de χ^2 (loi de K. Pearson)

La table donne la probabilité α , en fonction du nombre de degrés de liberté ν , pour que χ^2 égale ou dépasse une valeur donnée χ^2_α

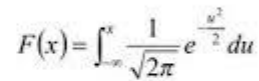
$$\alpha = P(\chi^2 \geq \chi^2_\alpha)$$



ν	$\alpha = 0,990$	$\alpha = 0,975$	$\alpha = 0,950$	$\alpha = 0,900$	$\alpha = 0,100$	$\alpha = 0,050$	$\alpha = 0,025$	$\alpha = 0,010$	$\alpha = 0,001$
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
2	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
3	0,12	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
4	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
5	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	20,52
6	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	22,46
7	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,47	24,32
8	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	26,13
9	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
10	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
11	3,05	3,82	4,57	5,58	17,27	19,67	21,92	24,72	31,26
12	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
13	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
14	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
15	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
16	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,84	32,00	39,25
17	6,41	7,56	8,67	10,08	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
18	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,80	42,31
19	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
20	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	45,32
21	8,90	10,28	11,59	13,24	29,61	32,67	35,48	38,93	46,80
22	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
23	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	49,73
24	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,41	39,37	42,98	51,18
25	11,52	13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	52,62
26	12,20	13,84	15,38	17,29	35,56	38,88	41,92	45,64	54,05
27	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
28	13,57	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
29	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
30	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70

Quand ν est supérieur à 30, on utilise la table de la loi normale (table de l'écart réduit) avec :

$$t = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2\nu - 1}$$



Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998